สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเรือประมง

A STUDY ON USING BIO-DIESEL AS THE FUEL FOR FISHERY BOAT

T110291

ทวีศักดิ์ พนาสถิตย์

TAWEESAK PANASATIT

วพ.
ท 2281
2553

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 110291
วัน,เดือน,ปี - 1 พ.ย. 2553

b 12263400
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL 2010-EN-M-100-094

A STUDY ON USING BIO-DIESEL AS THE FUEL FOR FISHERY BOAT

TAWEESAK PANASATIT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN AGRICALTURAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL 2010-EN-M-100-094

COPYRIGHT 2010

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเรือประมง

Thesis Title A Study on Using Bio-diesel as the Fuel for Fishery Boat

นักศึกษา นายทวีศักดิ์ พนาสถิตย์

รหัสประจำตัว 51061205

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.วัชระ เพิ่มชาติ

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2010-EN-M-100-094

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ทรงวุฒิ	แสงจันทร์	
ดร.ประสันต์	ชุ่มใจหาญ	
ผศ.ดร.บัญชา	ค้งตระกูล	
รศ.จิราภรณ์	เบญจประกายรัตน์	
รศ.ดร.วัชระ	เพิ่มชาติ	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 30 เมษายน พ.ศ. 2553 เวลา 10.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 30 เมษายน พ.ศ. 2553

สำนักทะเบียนและประมวลผล สจถ.
วันที่ส่งเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
วันที่ 3 เดือน มิ.ย. พ.ศ. 53
ลงชื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเรือประมง
นักศึกษา	นายทวีศักดิ์ พนาสถิตย์
รหัสนักศึกษา	51061205
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเกษตร
พ.ศ.	2553
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.วัชระ เพิ่มชาติ

บทคัดย่อ

เนื่องจากทรัพยากรน้ำมันที่ลดน้อยลง ในขณะที่ความต้องการใช้น้ำมันกลับสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ภาครัฐจึงได้กำหนดนโยบายเรื่องพลังงานทดแทนขึ้น โดยการส่งเสริมให้นำพืชผลเกษตรมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงทดแทน และได้กำหนดเป้าหมายในการเพิ่มสัดส่วนของการใช้พลังงานทดแทนให้ได้ร้อยละ 8 ภายในปี พ.ศ. 2554 โดยปัจจุบันมีการส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนร้อยละ 5 (B5) กับรถยนต์ดีเซลทั่วไป และภาครัฐยังต้องการขยายตลาดไบโอดีเซลไปยังกลุ่มเรือประมง ซึ่งถือเป็นภาคเกษตรกรรมส่งออกที่สำคัญของประเทศ วิทยานิพนธ์นี้เป็นการทดสอบการใช้ไบโอดีเซลกับเรือประมงแบบลากเดี่ยว ขนาดความยาวเรืออยู่ในช่วง 9–12 เมตร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการใช้ไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์เรือประมง ซึ่งส่วนใหญ่ใช้เครื่องยนต์ CUMMINS ขนาด 115 แรงม้า และกำลังมีการปรับเปลี่ยนมาใช้เครื่องยนต์ HINO ขนาด 163 แรงม้า โดยมุ่งเน้นศึกษาเรื่องของสมรรถนะและความทนทานของเครื่องยนต์เป็นสำคัญ

ผลการศึกษาในห้องปฏิบัติการ พบว่า เครื่องยนต์เรือประมงทั้งสองยี่ห้อ สามารถนำมาใช้งานกับไบโอดีเซลได้ในสัดส่วนผสมตั้งแต่ร้อยละ 20 โดยปริมาตร (B20) ขึ้นไป สำหรับการใช้งานกับน้ำมัน B100 จะมีผลต่อการสึกหรอของเครื่องยนต์ค่อนข้างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล และในส่วนของสมรรถนะเครื่องยนต์ พบว่าเครื่องยนต์ CUMMINS มีกำลังไม่แตกต่างจากเครื่องยนต์ HINO มากนัก แต่มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะที่สูงกว่าประมาณร้อยละ 38.2 และ 11.1 เมื่อใช้น้ำมัน B20 และ B100 เป็นเชื้อเพลิง ตามลำดับ สำหรับการทดสอบการใช้งานจริงกับเรือประมง พบว่าโดยรวมเครื่องยนต์ทั้งสองยี่ห้อสามารถใช้งานกับน้ำมัน B20 ได้ โดยอัตราการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ทั้งสองยี่ห้อมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 26.79 และ 27.00 L/hr ตามลำดับ ในขณะที่การปล่อยมลพิษมีสัดส่วนที่ใกล้เคียง ส่วนการสึกหรอเมื่อพิจารณาจากน้ำหนักแหวนลูกสูบที่หายไป พบว่า น้ำหนักแหวนลูกสูบของเครื่องยนต์ HINO และ CUMMINS สูญหายไปเฉลี่ยร้อยละ 0.37 และ 0.30 ตามลำดับ โดยในการทดสอบไม่พบการสึกหรอของปั๊มเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A Study on Using Bio-diesel As the Fuel for Fishery Boat
Student	Mr. Taweesak PANASATIT
Student ID	51061205
Degree	Master of Engineering
Program	Agricultural Engineering
Year	2010
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Watchara PERMCHART

ABSTRACT

The Thai government policies concerning alternative energies have been launched because of the decreasing of resource; meanwhile, the demand of oil has been continually increased. Conversion of agricultural products to alternative fuels (i.e. bio-diesel and ethanol) seems to be promising policy, which is earmarked up to be 8% in 2011. At present, bio-diesel (B5) has been promoted to be used as the fuel in transport sector, which has been the first energy consumer of the country. Moreover, an increasing in market share of bio-diesel, especially in fishery sector, has been an importantly agricultural exporter of the country. The thesis report presents a laboratorial study on using bio-diesel as the fuel in single-tow type boat with 9 – 12 m in length. The effects of using bio-diesel as the fuel on performance and durability of boat engines, namely, 115-hp CUMMINS and 163-hp HINO were the main objectives in the laboratorial study.

The testing results showed that bio-diesel with blending ratio until 20% vol. (abbreviated as B20) can be used as the fuel in both engines. In case of 100% vol. bio-diesel (B100), it was found that there were more effects on the engine wear compared to those of diesel. In addition, engine power of CUMMINS engine were found to be slightly different from those of HINO engine whereas their specific fuel consumptions were found to be higher of about 38.2 and 11.1% when B20 and B100 were used as the fuel, respectively. Meanwhile, fuel consumptions were found to be 26.79 and 27.00 L/hr for HINO and CUMMINS, respectively, whereas the emissions were found to be slightly differences. For the weight losses of piston rings, it was found that those of HINO and CUMMINS engines were 0.37 and 0.30%, respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้เป็นอย่างดี ด้วยคำแนะนำ และการให้คำปรึกษาของ รศ.ดร.วัชระ เพิ่มชาติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณ ผศ.ดร.วีระชัย อาจหาญ หัวหน้าศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล และ อ. ชาญชัย ธรรมสโรจน์ ผู้เชี่ยวชาญการทดสอบเครื่องยนต์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่และเครื่องมือในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ตลอดจน รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ที่กรุณาให้ความรู้และข้อแนะนำเกี่ยวกับมาตรฐานไบโอดีเซล อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณ บริษัท Advance Energy Saving จำกัด จ.กรุงเทพฯ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและความรู้ด้านกระบวนการล้างโดยใช้อากาศในการผลิตไบโอดีเซล

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ และบัณฑิตวิทยาลัย สจล. ที่ให้ความช่วยเหลือ ด้านเอกสารและคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้า ที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ทวีศักดิ์ พนาสถิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญรูป.....IX

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ.....XI

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....3

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในวิทยานิพนธ์.....3

1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....3

1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....4

1.6 ขอบเขตการศึกษา.....4

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....4

บทที่ 2 การตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....5

2.1 บทนำ.....5

2.2 งานวิจัยเชิงการทดลองที่เกี่ยวกับสมรรถนะและการปล่อยมลพิษ.....5

บทที่ 3 ทฤษฎี.....9

3.1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซล.....9

3.2 ค่าต่าง ๆ ในการทำงานของเครื่องยนต์.....13

3.3 การวัดและทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์.....28

บทที่ 4 เครื่องยนต์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบและวิธีการทดสอบ.....45

4.1 วิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์และคุณภาพไอเสีย.....46
4.3 การทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์.....53
4.4 การประกอบและติดตั้งเครื่องยนต์ในเรือประมง.....54
4.5 การจัดเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการทดสอบภาคสนาม.....59
4.6 ตารางการทำงานของเรือประมงในการทดสอบภาคสนาม.....59
4.7 วิธีการตรวจวัดในการทดสอบภาคสนาม.....59

บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....63
5.1 วิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....63
5.1.1 คุณสมบัติของน้ำมันที่ใช้ในการทดสอบ.....63
5.1.2 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์จำแนกตามเครื่องยนต์..... 63
5.1.3 ผลเปรียบเทียบอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะจำแนกตามเครื่องยนต์.....67
5.1.4 ผลการตรวจวัดมลพิษ.....71
5.1.5 ผลการวิเคราะห์ควันดำที่หัวฉีด.....72
5.1.6 ผลการวิเคราะห์การสึกหรอของเครื่องยนต์.....76
5.1.7 ผลการทดสอบการติดเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิต่ำ.....83
5.2 การทดสอบภาคสนาม.....83
5.2.1 คุณสมบัติของน้ำมันที่ใช้ในการทดสอบ.....83
5.2.2 ผลการตรวจวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง.....83
5.2.3 ผลการตรวจวัดมลพิษจากการเผาไหม้.....84
5.2.4 ผลการตรวจวัดการสึกหรอของเครื่องยนต์.....85

บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....93
6.1 สรุปผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....93
6.2 สรุปผลการทดสอบภาคสนาม.....96
6.3 ข้อเสนอแนะทางทางเศรษฐศาสตร์.....97
6.4 ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยต่อไป.....98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บรรณานุกรม.....99

ภาคผนวก.....103

ภาคผนวก ก. เอกสารรับรองคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล.....104

ภาคผนวก ข. ข้อมูลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....109

ภาคผนวก ค. ข้อมูลการทดสอบในภาคสนาม.....115

ภาคผนวก ง. บทความที่ได้รับการเผยแพร่.....124

ภาคผนวก จ. มาตรฐานการทดสอบ EMA.....129

ประวัติผู้เขียน.....181

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 สมดุลความร้อนของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนและเครื่องยนต์ดีเซล....42

4.1 คุณสมบัติของเครื่องยนต์ที่นำมาทดสอบ....46

4.2 แผนการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ตามมาตรฐาน EMA 200-hour Test....54

4.3 น้ำหนักของแหวนลูกสูบก่อนทำการทดสอบภาคสนาม....56

4.4 ปั๊มเชื้อเพลิง HINO รุ่น EH700....56

4.5 ปั๊มเชื้อเพลิง CUMMINS รุ่น 6B5.9-M....56

4.6 ผลการตรวจวัดแรงดันหัวฉีดของเครื่องยนต์ก่อนทำการทดสอบในภาคสนาม....56

4.7 ตารางการทำงานของเรือประมงทั้ง 2 ลำ ในการทดสอบภาคสนาม....60

5.1 คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 4 ชนิด ที่ใช้ในการทดสอบ....65

5.2 ค่า Coking index ที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมัน B20, B50 และ B100 ที่ภาระ 80% ของกำลังสูงสุด (Rated power) ที่ความเร็วรอบ 1,800 rpm....73

5.3 การสึกหรอของแหวนลูกสูบเมื่อใช้น้ำมันดีเซล....76

5.4 คุณสมบัติน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 เมื่อใช้น้ำมันดีเซล....79

5.5 คุณสมบัติน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 เมื่อใช้น้ำมัน B20....79

5.6 คุณสมบัติน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 เมื่อใช้น้ำมัน B50....80

5.7 คุณสมบัติน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 เมื่อใช้น้ำมัน B100....80

5.8 คุณสมบัติน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M เมื่อใช้น้ำมันดีเซล....81

5.9 คุณสมบัติน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M เมื่อใช้น้ำมัน B20....81

5.10 คุณสมบัติน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M เมื่อใช้น้ำมัน B5....82

5.11 คุณสมบัติน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M เมื่อใช้น้ำมัน B10....82

5.12 น้ำหนักแหวนลูกสูบที่หายไปจากการทดสอบภาคสนาม (Field Test) เมื่อใช้น้ำมัน B20 เป็นเชื้อเพลิง ที่ 1,000 ชั่วโมง....86

5.13 ค่า Coking index ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง B20 เป็นเวลา 1,000 ชั่วโมง....86

5.14 ปั๊มเชื้อเพลิง HINO รุ่น EH700....88

5.15 ปั๊มเชื้อเพลิง CUMMINS รุ่น 6B5.9-M....88

5.16 ผลการตรวจวัดแรงดันหัวฉีดของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700....88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.17 ผลการตรวจวัดแรงดันหัวฉีดของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M.....89
5.18 คุณสมบัติน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 เมื่อใช้น้ำมัน B20.....91
5.19 คุณสมบัติน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-Mเมื่อใช้น้ำมัน B20.....91
6.1 ราคาน้ำมันต่อลิตรของน้ำมันชนิดต่างๆ.....97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

3.1 แสดงกำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์....14
3.2 กราฟกำลัง แรงบิด เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์....16
3.3 กราฟความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์เพลาเทียบกับอัตราส่วนความเข้มของไอดี....18
3.4 การมัลติเพล็กซ์แบบโอเอฟดีเอ็ม....19
3.5 กราฟความสิ้นเปลืองสัมพัทธ์เพลาเทียบกับความจุของเครื่องยนต์....19
3.6 ลักษณะโครงสร้างโพรนีเบรก....29
3.7 ลักษณะโครงสร้างไดนาโมมิเตอร์แบบสายพาน....30
3.8 ลักษณะโครงสร้างไฮดรอลิคไดนาโมมิเตอร์....32
3.9 ลักษณะโครงสร้างสำหรับไฮดรอลิคไดนาโมมิเตอร์แบบแอจิเตเตอร์....33
3.10 ลักษณะโครงสร้างสำหรับไดนาโมมิเตอร์แบบไฟฟ้า....34
3.11 ลักษณะและแหล่งที่ก่อให้เกิดความความฝืด....35
3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงม้าความผืดกับความเร็วรอบ....36
3.13 การเปรียบเทียบการสูญเสียในการดูดไอดีที่ตำแหน่งลิ้นเร่งเปิดและเกือบเปิด....37
3.14 ความร้อนที่ได้รับและสูญเสียให้กับระบบ....39
3.15 กราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยทั่วไป....43
3.16 แผนภาพสมดุลความร้อนแบบแซนคี (Sankey)....44
4.1 เครื่อง AW – Dynamometer Model NEB2-300....48
4.2 เครื่อง SUT – Dynamometer Model SUT-HYDURA-180....48
4.3 เครื่อง Electric Breaker – Dynamometer....49
4.4 คุณสมบัติเครื่องวัดความทึบแสงสำหรับวัดควันดำ (Opacity meter)....49
4.5 เครื่องวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงแบบ Volumetric gravitational flow meter....50
4.6 เครื่องวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ (Tachometer)....50
4.7 เครื่องวิเคราะห์ไอเสีย TESTO Model 350-XL....51
4.8 กล้อง Nikon 40x Model MSZ-U ต่อเชื่อมกับเครื่อง Nikon Digital Sight DS-11....51
4.9 ภาพถ่ายหัวฉีดและค่า Coking index....52
4.10 เครื่องชั่งแบบละเอียด....52
4.11 Schematic diagram of the experimental set-up....53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.12 การติดตั้งเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 ในเรือโชควันดี 25 57
4.13 การติดตั้งเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M ในเรือโชคชลธี 1 58
4.14 การติดตั้งเครื่องวัดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง Fuel PET M – LS4150 61
4.15 เครื่องวัดความทึบแสงสำหรับวัดควันดำ (Opacity meter) 61
4.16 การใช้เครื่องวิเคราะห์ไอเสีย TESTO Model 350-XL 62
5.1 สมรรถนะเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 64
5.2 สมรรถนะเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M 66
5.3 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซล 67
5.4 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมัน B20 68
5.5 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมัน B50 69
5.6 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมัน B100 70
5.7 ผลการตรวจวัดปริมาณการปล่อยก๊าซของเครื่องยนต์ 71
5.8 ผลการตรวจวัดค่าควันดำของเครื่องยนต์ที่กำลังสูงสุด 72
5.9 การกำหนดเส้น reference เพื่อหาพื้นที่เข่าที่จับหัวฉีด 72
5.10 ลักษณะหัวฉีดของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 74
5.11 ลักษณะหัวฉีดของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M 75
5.12 อัตราการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 84
5.13 ผลการตรวจวัดการปลดปล่อยก๊าซและค่าควันดำของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 84
5.14 ผลการตรวจวัดการปลดปล่อยก๊าซและค่าควันดำของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M 85
5.15 หัวฉีดเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 87
5.16 หัวฉีดเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น EH700 87
5.17 หัวฉีดที่ฉีดเป็นเส้นตรงไม่เป็นละอองเนื่องจากแรงดันตก 89
5.18 รูปแบบของละอองฝอยจากหัวฉีดที่แรงดันมาตรฐาน 90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

Al	=	อลูมิเนียม
B20	=	ไบโอดีเซล 20 % ผสมกับน้ำมันดีเซล 80 % โดยปริมาตร
B50	=	ไบโอดีเซล 50 % ผสมกับน้ำมันดีเซล 50 % โดยปริมาตร
B100	=	ไบโอดีเซล 100 %
CO	=	ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์
CO_2	=	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
CI	=	ค่าดัชนีที่เป็นตัวบอกปริมาณเขม่าที่จับที่หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (Coking Index)
Cr	=	โครเมียม
Cu	=	ทองแดง
EMA	=	มาตรฐานการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้กับเชื้อเพลิงทางเลือก (200-hr Screening Test for Alternative Fuels) ที่กำหนดโดยองค์กร The Alternative Fuels Committee of the Engine Manufacture's Association; EMA-1982 (Dept. of Energy, 1982)
Fe	=	เหล็ก
NO	=	ก๊าซไนโตรเจนมอนนอกไซด์
NO_2	=	ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์
NO_X	=	ออกไซด์ของไนโตรเจน
O_2	=	ก๊าซออกซิเจน
Pb	=	ตะกั่ว
Smoke	=	เขม่าควันดำ
Si	=	ซิลิคอน
SO_2	=	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
SFC	=	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

วิกฤติพลังงานของโลกเกิดขึ้นหลายครั้งตั้งแต่ปี พ.ศ. 2516 แต่ละครั้งที่เกิดวิกฤตพลังงาน นานาประเทศมีความตื่นตัว และมีความพยายามนำพลังงานหมุนเวียนใช้ทดแทนพลังงานจากฟอสซิลและประเทศไทยก็ได้มีความพยายามนำพลังงานทดแทนมาใช้เช่นเดียวกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) ที่สามารถหาได้ในท้องถิ่น เช่น นำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อวิกฤติพลังงานแต่ละครั้งผ่านไป ราคาน้ำมันลดลง ความสนใจในการนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงก็ลดลง และไม่มีความต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม ในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา พบว่า โลกมีวิกฤติพลังงานเกิดขึ้นหลายครั้ง ราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกขยับสูงขึ้นเป็นลำดับ และดูเหมือนจะไม่มีการลดลง ราคาน้ำมันของโลกที่ขยับสูงขึ้น ในหลายครั้งขึ้นกับปัญหาการเมืองระหว่างประเทศ ปัญหาล่าสุดคือ ความกลัวต่อแผนการนิวเคลียร์ของอิหร่าน รวมถึงปัญหาการทดลองยิงจีปนาวุธของประเทศเกาหลีเหนือไปยังทะเลญี่ปุ่นเมื่อวันที่ 5 กรกฎาคม 2549 ส่งผลให้ราคาน้ำมันของตลาดโลกพุ่งขึ้น ทำสถิติสูงสุดใหม่ที่ 75.4 ดอลลาร์ต่อบาร์เรล (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2549: 1) จากสาเหตุทั้งปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกประเทศ การจัดหาแหล่งพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการใช้ในประเทศ จึงถือเป็นนโยบายหลักที่สำคัญของภาครัฐในการแก้ปัญหาเศรษฐกิจของประเทศ การหาพลังงานทดแทนในภาพแบบของเชื้อเพลิงชีวภาพ (Bio-fuel) ที่สามารถหาวัตถุดิบและผลิตได้เองในประเทศ เพื่อทดแทนการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งของการจัดหาแหล่งพลังงานทดแทน

ปัจจุบันมีการนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันดีเซล งานวิจัยที่เกี่ยวกับการนำน้ำมันพืช เช่น น้ำมันจากปาล์ม น้ำมันมะพร้าว ฯลฯ มาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล ต่างสรุปตรงกันว่าคุณสมบัติของน้ำมันพืชเหล่านี้ ยังไม่เหมาะสม เนื่องจากการนำไปใช้งานโดยตรงกับเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งจุดระเบิดด้วยการอัด มักเกิดปัญหากับระบบฉีดเชื้อเพลิงและระบบการเผาไหม้ เนื่องจากน้ำมันพืชมีความหนืดสูงและยังมีการระเหยตัวต่ำ การค้นคว้าวิจัยต่อมาจึงมีการนำน้ำมันพืชไปผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่าทรานเอสเทอริฟฟิเคชั่น (Transesterification) เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันพืชให้ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล โดยนำน้ำมันพืชมาทำปฏิกริยากับแอลกอฮอล์ และใช้กรดแก่หรือเบสแก่เป็นตัวเร่งปฏิกริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้เรียกว่าไบโอดีเซล (พิสมัย. 2548)

งานวิจัยในต่างประเทศที่เกี่ยวกับการนำน้ำมันไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ พบว่า นำน้ำมันไบโอดีเซลสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหากับเครื่องยนต์ในช่วงเวลาทดสอบระยะสั้น (Sureshkumar. 2008; Gumus. 2008) ส่วนงานวิจัยในประเทศไทยที่ผ่านมา คณะวิจัยจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล (2546) นุภาพ (2550) รวมถึง วัชรพลและคณะ (2550) ได้ศึกษาและพบว่า สามารถนำน้ำมันไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่างๆ และน้ำมันไบโอดีเซล 100% ไปใช้กับเครื่องยนต์ต่างๆ ได้ตามความเหมาะสมของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ

ในส่วนของเครื่องยนต์เรือประมงสามารถแบ่งชนิดของเครื่องยนต์ ตามชนิดของน้ำมันที่ใช้ ได้แก่ เครื่องยนต์เบนซิน และเครื่องยนต์ดีเซล เครื่องยนต์เบนซินใช้กับเรือประมงพื้นบ้านขนาดเล็ก ขนาดเครื่องยนต์ไม่เกิน 15 แรงม้า ส่วนเครื่องยนต์ดีเซลชาวประมงใช้มากที่สุดมีขนาดตั้งแต่ 3 แรงม้า ขึ้นไป จนถึงประมาณ 1,700 แรงม้า ชนิดเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้มี 2 ประเภท คือ ใช้เครื่องยนต์เรือโดยตรง (Marine engine) ได้แก่ ยี่ห้อแคตเตอร์ฟิลล่า,ยันม่าร์,ไดย่า,คัมมิ่น (CUMMINS) ,โวลโว่-เพนต้าและการ์ดเนอร์ เป็นต้น ส่วนอีกแบบหนึ่งเป็นเครื่องยนต์รถบรรทุกดัดแปลง (Truck engine) ซึ่งชาวประมงที่มีทุนน้อยนิยมใช้กัน เพราะเป็นเครื่องยนต์เก่านำมาดัดแปลง ราคาค่อนข้างถูก ได้แก่ ยี่ห้อนิสสันและฮีโน่ (HINO) เป็นต้น (อ้างอิงจาก www.fisheries.go.th) ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ดีเซลเหล่านี้มีขนาดใหญ่ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูง ดังนั้นน้ำมันไบโอดีเซลจึงน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับชาวประมง ในการนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้ แต่ที่ผ่านมามีการศึกษาวิจัยการใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์เรือประมงค่อนข้างน้อย และเป็นงานวิจัยเฉพาะเครื่องยนต์สูบเดียวเท่านั้น (วิโรจน์และจินดา. 2549) ส่งผลให้ชาวประมงขาดความมั่นใจในการนำน้ำมันไบโอดีเซลไปใช้กับเรือประมง รวมถึงจากการสำรวจในปัจจุบัน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2551) พบว่าเครื่องยนต์เรือประมงส่วนใหญ่ใช้เครื่องยนต์ CUMMINS ซึ่งเป็นเครื่องยนต์เก่าที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นหลัก ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ที่มีราคาแพง ชิ้นส่วนอะไหล่หายาก ซึ่งตรงกันข้ามกับเครื่องยนต์เก่าจากประเทศญี่ปุ่น เช่นเครื่องยนต์ HINO หรือ KOMATSU ที่สามารถหาอะไหล่ได้ง่ายกว่า ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมุ่งศึกษาและทดสอบการใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์เรือประมง โดยใช้เรือประมงแบบลากเดี่ยวขนาดความยาว 9 – 12 เมตร ซึ่งเป็นเรือขนาดกลางที่ชาวประมงแถบภาคตะวันออกนิยมใช้ประมาณ 57% และภาคใต้ประมาณ 43% ของจำนวนเรือประมงขนาดกลางทั้งหมด (กรมประมง. 2552) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีต่อเครื่องยนต์เรือประมงในระดับห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้เพื่อนำผลการศึกษาไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวิเคราะห์ เพื่อกำหนดแนวทางในการนำไปใช้งานจริงกับเรือประมงต่อไป (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2551)โดยมุ่งเน้นเปรียบเทียบการทดสอบระหว่างเครื่องยนต์ HINO กับเครื่องยนต์ CUMMINS เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้น ให้ชาวประมงเชื่อมั่นว่าเครื่องยนต์เหล่านี้สามารถใช้น้ำมันไบโอดีเซลได้ และศึกษาแนวโน้มว่าเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลแล้วเครื่องยนต์ HINO สามารถใช้แทนเครื่องยนต์ CUMMINS ซึ่งมีปัญหาเรื่องอะไหล่ทดแทนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไบโอดีเซล โดยทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลรอบปานกลางของเครื่องยนต์เรือประมง

1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไบโอดีเซลที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์

1.2.3 เพื่อศึกษาผลกระทบของน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไบโอดีเซลที่มีต่อมลพิษ

1.2.4 เพื่อศึกษาการนำน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนที่เหมาะสมไปทดสอบใช้งานจริงกับเครื่องยนต์เรือประมงเป็นเวลา 1,000 ชั่วโมง เพื่อสร้างความเชื่อมั่นให้กับชาวประมงในการนำน้ำมันผสมดังกล่าวไปใช้งานกับเครื่องยนต์เรือประมง

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

1.3.1 เครื่องยนต์ดีเซลเผาไหม้โดยการอัดอากาศให้อุณหภูมิสูงแล้วจึงฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่กระบอกสูบ ดังนั้นการนำเชื้อเพลิงที่มีจุดติดไฟต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศร้อน เครื่องยนต์ก็จะสามารถทำงานได้

1.3.2 น้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้มีความหนืดสูง หากผสมกับน้ำมันดีเซลจะช่วยลดความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิง ช่วยให้การฉีดน้ำมันเป็นละอองได้ดีขึ้น ส่งผลทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น

1.3.3 ระบบปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์แต่ละยี่ห้อมีการออกแบบเพื่อการใช้งานที่แตกต่างกันตามลักษณะการใช้งานของเครื่องยนต์ ซึ่งจะส่งผลต่อสมรรถนะและการปลดปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์

1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1.4.1 น้ำมันที่นำมาทดสอบ ใช้น้ำมันดีเซล 100% น้ำมันไบโอดีเซลผสมน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 20%, 50% และน้ำมันไบโอดีเซล 100% โดยปริมาตร

1.4.2 สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ กำลัง แรงบิด และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

1.4.3 แก๊สไอเสียที่ทำการวัด ได้แก่ CO_2, CO, NO_X และค่าควันดำของไอเสีย

1.4.4 ศึกษาการสึกหรอของชิ้นส่วนและระบบปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

1.4.5 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์เรือประมง โดยไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ใดๆทั้งสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1.5.1 ศึกษาสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากบริษัท ที่ผ่านมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน

1.5.2 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านการใช้เชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซลรวมทั้งวิธีการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์, มลพิษ และการสึกหรอที่เกิดขึ้น

1.5.3 ทดสอบและวิเคราะห์ผลการใช้น้ำมันเชื้อไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนผสมต่างๆเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ทั้งในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม

1.6 ขอบเขตการศึกษา

1.6.1 ศึกษาถึงวิธีการและสัดส่วนที่เหมาะสมของการผสมน้ำมันระหว่างน้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล เพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์เรือประมง

1.6.2 ศึกษาผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์เรือรอบปานกลางเมื่อใช้น้ำมันผสมเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลโดยไม่ปรับแต่งเครื่องยนต์

1.6.3 ผลกระทบของการใช้น้ำมันผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสมในเครื่องยนต์ดีเซลรอบปานกลางในเรือประมงในนำไปใช้จริง

1.7 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท คือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีของเชื้อเพลิงดีเซล การทำงานของเครื่องยนต์ การวัดและทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

บทที่ 4 กล่าวถึงเครื่องยนต์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบและวิธีการทดสอบ

บทที่ 5 ผลการทดสอบ วิเคราะห์ผลในห้องปฏิบัติการและการทดสอบภาคสนาม

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยในห้องปฏิบัติการ การทดสอบภาคสนาม และข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

งานวิจัยเพื่อศึกษาผลของการนำน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆมาใช้ในการทดสอบกับเครื่องยนต์ ทั้งเครื่องยนต์แก๊สโซลีนและดีเซล พบว่าแนวทางงานวิจัยมีหลายแนวทางทั้งด้านการทดลองเพื่อศึกษาสมรรถนะการใช้งาน การวิเคราะห์เชิงตัวเลข การปรับแต่งของเครื่องยนต์เพิ่มสมรรถนะเครื่องยนต์ ในบทนี้ได้อ้างอิงงานวิจัยเพื่อศึกษาการใช้งานของเครื่องยนต์ดีเซล

2.2 งานวิจัยเชิงการทดลองที่เกี่ยวกับสมรรถนะและการปล่อยมลพิษ

Ramadshas, Jayarai and MuraLeedharan (2005;31-42) ศึกษาคุณลักษณะและผลกระทบเมื่อใช้น้ำมันยางผ่านกระบวนการผลิตไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซล นัยสำคัญของการที่จะนำน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้คือ ค่าความหนืด จากการทดลองและวิเคราะห์ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์และไอเสียของน้ำมันไบโอดีเซล อยู่ในขั้นที่ยอมรับได้และสามารถนำไปใช้งานได้ ถ้าหากใช้ในอัตราส่วนผสมที่ไม่เกิน 80% จะทำให้ประสิทธิภาพเบรกสูงขึ้นแต่เขม่าที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้สูง เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ และอัตราส่วนผสมกับน้ำมันไบโอดีเซล 50-80% สามารถใช้แทนน้ำมันดีเซลได้โดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์

สวิทชาติ ญาณแก้ว (2547) ศึกษาผลกระทบของสมรรถนะ และการสึกหรอของเครื่องยนต์ เมื่อนำน้ำมันปาล์มดิบผ่านกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริค กำจัดกรดไขมันอิสระออกด้วยสารละลายโซดาไฟ ซึ่งได้ผลผลิตน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์ม มาใช้ในเครื่องยนต์ทางการเกษตรโดยเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล พบว่าน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดมีสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง โดยมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล นอกจากนี้เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดมีอายุการใช้งานประมาณ 1,200 ชั่วโมง ในขณะที่เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอายุการใช้งานมากกว่า 6,000 ชั่วโมง สำหรับเมทิลเอสเทอร์มีสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง โดยมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 16.7-20.1% และเครื่องยนต์มีอายุการใช้งานประมาณ 3,000 ชั่วโมง

จีรศักดิ์ เพียรเจริญ (2550) ศึกษาผลกระทบของสมรรถนะ การสึกหรอ และผลมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ เมื่อนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันพืชใช้แล้วผสมกับน้ำมันดีเซลมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กพบว่าน้ำมันผสม W20% (น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว 20%:น้ำมันดีเซล 80%) มีแนวโน้มที่สามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กได้ เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงอยู่ในเกณฑ์มาตราฐานของน้ำมันดีเซล คือค่าความถ่วงของน้ำมันจำเพาะ ปริมาณขี้เถ้า ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงต่างจากน้ำมันดีเซล 4% ทำให้มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 4.7% ในด้านมลพิษพบว่าค่า CO มีมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล 1.5% อันเนื่องมาจากค่าความหนืดของน้ำมันผสม 20% มีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลทำให้ค่ามลพิษดังกล่าวมีมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ส่วนในด้านสึกหรอจากการนำชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ไปชั่งน้ำหนักโดยตรงและวัดระยะห่างปากแหวนพบว่ามีการสึกหรอมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล อันเนื่องมาจากคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน อีกทั้งความสกปรกที่เกิดจากกากถ่าน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องยนต์มากกว่าน้ำมันดีเซล

นิโรจน์ อัครปัญญาวิทย์ (2547) ศึกษาการใช้น้ำมัน B2 และ B5 ทดสอบกับเครื่องยนต์โตโยต้า D4D และอีซูซุ D.MAX ผลในด้านสมรรถนะและมลพิษของน้ำมัน B2 มีความใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาก แต่ B5 สามารถลดควันดำได้ต่ำกว่าดีเซล และเมื่อใช้น้ำมัน B20 และ B100 ทำให้ค่ามลพิษไฮโดรคาร์บอน (HC), คาร์บอนมอนอคไซด์ (CO) ลดลงแต่ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) เพิ่มขึ้น

Merve Cetinkaya และ Yahya Ulusoy (2004) ทดลองโดยใช้น้ำมันพืชใช้แล้วมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล แล้วทำการทดสอบกับรถยนต์ดีเซลในสภาพการใช้งานจริงทั้งในเมืองและนอกเมือง เพื่อต้องการทราบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชใช้แล้วเทียบกับน้ำมันดีเซล โดยนำไปใช้กับรถ Renault Megane 4 จังหวะ 4 สูบ มีกำลัง 100 แรงม้า ทดสอบในฤดูหนาวถึง 7,500 กิโลเมตร ผลปรากฏว่าในด้านของแรงบิดและแรงม้าเบรกเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันพืชใช้แล้วมีค่าน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล 3-5% อุณหภูมิไอเสียเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล มีค่าน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลนั้นที่ฝาสูบ หัวฉีด หัวลูกสูบ กระบอกสูบ มีความสะอาดมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

นุภาพ แย้มไตรพัฒน์ (2550) นำน้ำมันไบโอดีเซลที่ทำจากน้ำมันพืชใช้แล้ว มาทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะ เพื่อศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ ได้แก่ ค่าแรงบิดกำลังงานและวิเคราะห์แก๊สไอเสียต่างๆที่ออกมาโดยใช้น้ำมันไบโอดีเซล 100%(B100) เปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลโดยนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 2500cc พบว่า แรงบิดสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลมีค่า 135.66 N·m ที่ความเร็วรอบ 2,200 rpm ค่ากำลังเบรคสูงสุด 52.59 kW ที่ 3,400 rpm เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลได้ค่าแรงบิดสูงสุด 130.97 N·m ที่ความเร็วรอบ 2,200 rpm ค่ากำลังเบรคสูงสุด 51.89 kW ที่ 3,400 rpm ในด้านการวิเคราะห์ไอเสีย พบว่าปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ CO_2 , HC , CO เมื่อใช้น้ำมันทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณควันดำเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลมีค่าน้อยกว่า

กิติพงษ์ เสถียรเสาวภาคร์ และคณะ (2550) ศึกษาผลกระทบของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว 100 % เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตร ขนาด 1 กระบอกสูบ จากผลการทดสอบในส่วนของสมรรถนะและการปล่อยควันดำ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง พบว่าให้แรงบิดและกำลังเบรคต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงประมาณ 5% และมีอัตราการสิ้นเปลืองจำเพาะสูงกว่าประมาณ 10% และให้ปริมาณควันดำต่ำกว่า ในส่วนของการศึกษา พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามคู่มือ

วัชรพล ปุณขันธ์ (2550) ศึกษาสมรรถนะและการปล่อยก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วเมื่อใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดีเซลกับน้ำมันสบู่ดำเป็นเชื้อเพลิง โดยทำการทดสอบการใช้น้ำมันผสมในอัตราส่วนต่างๆ ในเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว ระบบฉีดตรง รุ่น EFL 250 Truck จำนวน 4 กระบอกสูบ ระบายความร้อนด้วยน้ำ จากการศึกษาพบว่าแรงบิดและกำลังที่ออกจากเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันผสมจะมีค่าน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 2-6 % และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉพาะมีค่ามากกว่าประมาณ 5-11% ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันผสมมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันผสมมีค่าประสิทธิภาพทางความร้อนน้อยกว่าน้ำมันดีเซล 5-7% นอกจากนี้ยังพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันผสมมีปริมาณ CO, CO_2 และปริมาณควันดำที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล จากการศึกษาขั้นต้นสรุปได้ว่า เชื้อเพลิงที่ผสมระหว่างน้ำมันดีเซลกับน้ำมันสบู่ดำทุกสูตรที่นำมาทดสอบนั้นสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลได้และไม่มีผลกระทบที่มีนัยสำคัญต่อเครื่องยนต์

ชญานนท์ แสงมณี และคณะ(2550) ศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลคอมมอลเรลโดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ในการทดสอบได้ใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันมะพร้าว ผสมกับดีเซลในอัตราส่วน 5 และ 100% ทำการทดสอบและเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล โดยใช้รถยนต์ยี่ห้ออีซูซูขนาด 2,999cc ทดสอบบนเครื่องทดสอบกำลังเครื่องยนต์ (Chassis dynamometer) เพื่อศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ ได้แก่ แรงบิด กำลัง อัตราการสิ้นเปลืองจำเพาะ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ความดันเบรคเฉลี่ย ซึ่งผลจากการทดสอบน้ำมันไบโอดีเซลทั้งสองชนิดมีสมรรถนะของเครื่องยนต์ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล น้ำมันไบโอดีเซล B5 มีสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีกว่าน้ำมันไบโอดีเซล B100 และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวมีสมรรถนะของเครื่องยนต์สูงกว่าน้ำมันพืชใช้แล้ว

K. Sureshkumar, R. Velraj and R. Ganesan (2008) ศึกษาสมรรถนะและการปล่อยก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ดัดแปลงเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดีเซลกับน้ำมันไบโอดีเซลจากเมล็ด Pongamia pinnata พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันผสมน้ำมันไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระดับ 40% โดยปริมาตร สามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลน้ำมันดีเซลได้ โดยให้ผลการปลดปล่อยมลพิษต่างๆ น้อยกว่าน้ำมันดีเซลและสมรรถนะดีกว่า

M. Gumus (2008) ศึกษาสมรรถนะและการปล่อยก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดีเซลกับน้ำมันไบโอดีเซลจากเมล็ด hazelnut ผลในด้านสมรรถนะและมลพิษของน้ำมัน B5 และ B20 มีความ ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาก แต่ B5 สามารถลดควันดำได้ต่ำกว่าดีเซลและเมื่อใช้น้ำมัน B20 และ B100 ทำให้ค่ามลพิษ HC , CO ลดลงแต่ NO_x เพิ่มขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ทฤษฎี

3.1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซล (Sher, E. 1998)

คุณสมบัติของเชื้อเพลิงทดสอบสำหรับการทำวิทยานิพนธ์นี้แสดงไว้ในตารางภาคผนวก ก. โดยรายละเอียดต่าง ๆ อธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.1.1 เลขซีเทน (Cetane number)

การวัดคุณภาพการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงดีเซลซึ่งเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปคือเลขซีเทน การกำหนดค่าของเลขซีเทนถูกนิยามโดยการผสมกันของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนบริสุทธิ์อ้างอิง 2 ชนิด ซึ่งได้แก่ Cetane (n-axadecane) ที่มีคุณสมบัติการจุดระเบิดสูงให้มีเลขซีเทนเป็น 100 และ Isocetane หรือ Heptamethyl nonane เป็น Paraffin ที่มีกิ่งสาขามาก มีคุณสมบัติการจุดระเบิดต่ำ กำหนดให้มีเลขซีเทนเป็น 15 โดยใช้มาตรฐาน ASTM D613 ในการทดสอบ

$$\text{Cetane number} = \%\ \text{n-cetane} + 0.15\ (\%\text{heptamethyl nonane}) \qquad (3.1)$$

เลขซีเทนนี้มีผลต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของเชื้อเพลิง เช่น คุณสมบัติการสตาร์ทเครื่อง, มลภาวะ, ความดันในห้องเผาไหม้สูงสุด และเสียงของเครื่องยนต์ เป็นต้น ผลดีของการที่เชื้อเพลิงมีเลขซีเทนสูง ได้แก่ เครื่องยนต์ที่มีสมรรถนะสูง, เพิ่มคุณสมบัติการสตาร์ทเครื่องในขณะเย็น, ลดควันดำในช่วงการอุ่นเครื่องยนต์, ลดเสียงดัง, ลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลพิษ แต่เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการทดสอบเพื่อหาค่าเลขซีเทนนั้นสูงจึงได้มีการคำนวณ Cetane index ขึ้นมาเพื่อประมาณค่าคุณสมบัติการจุดระเบิดแทน โดยใช้ค่า API gravity และ Mid-boiling temperature (50% evaporated) ตามมาตรฐาน ASTM D976

3.1.2 ค่าการระเหย (Volatility)

รายละเอียดที่ได้ระหว่างการกลั่นเชื้อเพลิง ได้แก่ Initial boiling point (IBP), End point (EP) หรือ Final boiling point (FBP), Percent of condensate recovered และ Percent residue of nonvolatile matter โค้งการกลั่นตัวของเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไป

Volatility (การกลั่น หรือช่วงการระเหิดของเชื้อเพลิง) มีผลต่อคุณสมบัติอื่น ๆ รวมถึง ความหนาแน่น, จุดวาบไฟ, อุณหภูมิการจุดระเบิดด้วยตัวเอง, ความหนืด และเลขซีเทน ค่าการระเหยที่สูงจะทำให้เกิด Vapor lock และจุดวาบไฟที่ต่ำลง Vapor lock จะทำให้เครื่องยนต์ เกิดความล้มเหลวในการติดเครื่องยนต์ใหม่หลังจากดับเครื่องยนต์ลงในช่วงเวลาสั้นในสภาวะร้อน แต่อย่างไรก็ตาม ค่าการระเหยที่สูงก็ยิ่งทำให้เชื้อเพลิงระเหยได้อย่างสมบูรณ์ในห้องเผาไหม้ แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่ตามมาคือส่วนที่มีจุดเดือดสูงอาจเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดการสะสมรวมตัวในเครื่องยนต์และเพิ่มระดับควัน แต่อย่างไรก็ตาม ภายในช่วง 350 C° ถึง 400 C° อุณหภูมิที่กลั่นตัวไปแล้วในช่วง 50% ของการระเหยของเชื้อเพลิงดีเซลมีผลอย่างชัดเจนต่อแนวโน้มของควันโดยส่งผลต่อการฉีด,การผสมของเชื้อเพลิงและใช้สำหรับการคำนวณ Cetane index ตามมาตรฐาน ASTM D976

ส่วนค่าการระเหยที่สูงขึ้นช่วยปรับปรุงการติดเครื่องขณะเย็นและการอุ่นเครื่อง ในขณะที่ส่วนที่ค่าการระเหย ต่ำมีแนวโน้มที่จะเพิ่มการสะสม,รวมตัว,ควัน และการสึกหรอ เนื่องจากเชื้อเพลิงระเหยยาก ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

3.1.3 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงดีเซลให้ประโยชน์ในการบ่งชี้องค์ประกอบ และคุณลักษณะที่สัมพันธ์กับสมรรถนะ เช่น คุณภาพการจุดระเบิด, กำลัง, การประหยัดเชื้อเพลิง, คุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำ และแนวโน้มของควัน บางครั้งอาจแสดงความหนาแน่นเป็นความถ่วงจำเพาะ หรือ API gravity ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการกลั่นต่าง ๆ โดยประมาณแสดงดังต่อไปนี้ (Sher, E. 1998)

Straight-run distilled	805-870 kg/m^3
Hydrocracked gas oil	815-840 kg/m^3
Thermally cracked gas oil	835-875 kg/m^3
Catalytically cracked gas oil	930-965 kg/m^3

3.1.4 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของของไหลบ่งบอกถึงความต้านทานการไหลของมัน ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเชื้อเพลิงดีเซล เนื่องมาจากมันมีอิทธิพลต่อสมรรถนะของอุปกรณ์ฉีดเชื้อเพลิง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อความหนืดเพิ่มขึ้นมุมกรวยสเปรย์ของหัวฉีดจะลดลง, การกระจายเชื้อเพลิง และการพุ่งของสเปรย์ (Spray penetration) ก็จะลดลงไปด้วย ในขณะที่ขนาดของหยดเชื้อเพลิง (Droplet) ใหญ่ขึ้น ดังนั้นความหนืดจะมีผลต่อ Injection timing ที่เหมาะสมสำหรับรูปร่างหัวฉีด และความดันการฉีดเชื้อเพลิงหนึ่ง ๆ นอกจากนี้ความหนืดจะมีอิทธิพลต่อปริมาณของเชื้อเพลิงที่ฉีดด้วย

เชื้อเพลิงดีเซลมักจะมีการกำหนดคุณสมบัติขอบเขตบนของความหนืดเพื่อให้แน่ใจว่ามีการไหลของเชื้อเพลิงที่เพียงพอสำหรับการติดเครื่องขณะเย็นและยังมีการกำหนดความหนืดต่ำสุดเพื่อปกป้องการสูญเสียกำลังที่อุณหภูมิสูงด้วย เนื่องจากหากว่าเชื้อเพลิงมีความหนืดต่ำมากเกินไปจะทำให้ Penetration ของสเปรย์ยาวเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดการ Wet ที่ผนังห้องเผาไหม้ ทำให้สูญเสียกำลังของเครื่องยนต์ได้ ในกรณีของน้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ทดสอบนั้นมีความหนืดสูงกว่าดีเซล แต่ยังอยู่ในช่วงข้อกำหนดของประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 คุณสมบัติการหล่อลื่น (Lubricity)

คุณสมบัติการหล่อลื่นของเชื้อเพลิงดีเซลปกติแล้วทำนายได้โดยการทดสอบ High frequency reciprocating rig (HFRR) ซึ่งจากการทดสอบนี้ ค่าคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันไบโอดีเซลโดยปกติจะมีค่าสูงกว่าดีเซล

3.1.6 คุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิงดีเซล

เชื้อเพลิงดีเซลมากถึง 20% อาจประกอบด้วย Heavy paraffinic hydrocarbons ซึ่งมีความสามารถในการละลายที่จำกัดในเชื้อเพลิง Paraffins จะสะสมรวมตัวกันเป็นไข (Wax) เมื่ออยู่ในสภาวะที่เย็นเพียงพอ ซึ่งนั่นเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ การเกิดในระบบเชื้อเพลิงในยานพาหนะเป็นแหล่งของปัญหาในการทำงานต่าง ๆ เช่นทำให้เกิดการอุดตันในระบบเชื้อเพลิง

3.1.7 เสถียรภาพของเชื้อเพลิงดีเซล

คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของเชื้อเพลิง คือ ความมีเสถียรภาพระหว่างช่วงเวลาระหว่างการผลิต การใช้งานในเครื่องยนต์ และการก่อตัวของตะกอนระหว่างการเก็บเชื้อเพลิงดีเซลในระยะยาว ไนโตรเจน และสารประกอบที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบมักจะเกี่ยวข้องอย่างมากในกระบวนการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิง เนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเป็นตะกอนเชื้อเพลิง กลไกที่การเผาไหม้ของไฮโดรคาร์บอนเกิดขึ้นในหลายขั้นตอน เริ่มต้นด้วยการเริ่มเกิดโซ่ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดอนุมูลอิสระ เมื่ออนุมูลอิสระของไฮโดรคาร์บอนก่อตัวขึ้น สามารถรวมตัวกับออกซิเจนเพื่อก่อให้เกิดอนุมูล Peroxide ซึ่งในทางกลับกันสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนอื่น โดยการกำเนิดอนุมูลอิสระของไฮโดรคาร์บอนอื่น และ Hydroperoxide ดังนั้นกระบวนการเผาไหม้จึงไม่สูญสลายไปได้ด้วยตนเอง อนุมูลอิสระยังสามารถเป็นเหตุให้เกิด Polymerization และปฏิกิริยาการเผาไหม้เพื่อก่อให้เกิดวัสดุที่น้ำหนักโมเลกุล ซึ่งสามารถสะสมรวมตัวในระบบเชื้อเพลิง ขั้นตอนสุดท้ายคือ Chain termination เมื่อ Antioxidant หายไป เป็นปฏิกิริยาซึ่งนำไปสู่ผลิตภัณฑ์ที่ไร้อนุมูลอิสระ

ความสามารถของเชื้อเพลิงในการรักษาเสถียรภาพในถังเก็บขึ้นอยู่กับตัวแปรซึ่งควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาด้วยตัวเอง อาทิ Oxidation ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการเกิดปฏิกิริยาด้วยตัวเองที่ซับซ้อนปรากฏออกมาโดยทั่วไปมี 2 ชนิด ได้แก่ Soluble gum ซึ่งเป็นพวก Nonvolatile และ Insoluble gum ซึ่งมักถูกเรียกว่าเป็นตะกอน และเป็นผลิตภัณฑ์ที่อันตรายที่สุดของการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิงในถังเก็บ การเกิดผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมสภาพในระบบเชื้อเพลิงถูกสังเกตเห็นได้จากการอุดตันที่ไส้กรอง และการสะสมรวมตัวของสารเหนียว ๆ (Gum) ในระบบจุดระเบิดและหัวฉีด สาเหตุหลักของปัญหาการทำงานเหล่านี้ อาจเป็นเพราะความจริงที่ว่าเชื่อเพลิงดีเซลทำหน้าที่เป็นตัวหล่อเย็นหัวฉีด ซึ่งเป็นไปได้มากที่สุดที่จะเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิสูง ในส่วนของถังเชื้อเพลิงเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อเพลิงถูกทำให้เย็นลงและให้ความร้อนอีกครั้ง การเกิดวัฏจักรการให้ความร้อนและการทำให้เย็นต่อเนื่องกันอาจทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิงดีเซลที่ไม่มีเสถียรภาพทางความร้อน

3.1.8 ปริมาณซัลเฟอร์ (Sulphur content)

วิธีหนึ่งในการลดระดับไอเสียทั้งหมดของ Particulate matter (TPM) จากเครื่องยนต์ดีเซล คือ การใช้เชื้อเพลิงดีเซลที่มีปริมาณกำมะถันต่ำ (<0.05% โดยน้ำหนัก) ระหว่างกระบวนการเผาไหม้กำมะถันส่วนใหญ่ในเชื้อเพลิงถูกเปลี่ยนเป็น Sulphur dioxide (SO_2) ซึ่งส่วนมากถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ที่ซึ่งอาจเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเพิ่มเติม นำไปสู่มลภาวะทางอากาศ SO_2 ที่เหลือจะถูกเผาไหม้ในไอเสียดีเซลที่มีออกซิเจนหนา และเกิดเป็น Sulphur trioxide (SO_2) อุณหภูมิไอเสียดีเซลที่สูงจะรักษา SO_3 ไว้ในสภาวะไอ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับน้ำ โดยปฏิกิริยาคายความร้อนนำไปสู่การก่อตัวของละอองกรดกำมะถันในอากาศ ซึ่งเมื่อรวมตัวกับน้ำโดยพันธะทางเคมีจะถูกปล่อยออกมาเป็น Particulate matter

ประโยชน์อื่นของการลดระดับกำมะถันในเชื้อเพลิงดีเซลคือ การลดการสึกหรอ ซึ่งระดับกำมะถันที่สูงในเชื้อเพลิงทำให้เกิดการสึกหรอที่แหวนลูกสูบ และการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรงของกระบอกสูบ การที่กำมะถันทำให้เกิดการสึกหรอเนื่องมาจาก 2 กลไก คือ การสึกหรอเชิงกัดกร่อน และการสะสมรวมตัว ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับกำมะถันของเชื้อเพลิงและสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์โดยตรง

สำหรับในประเทศไทยค่ามากที่สุดของกำมะถันในดีเซลถูกกำหนดไว้คือ 0.05% ในการผลิตเชื้อเพลิงที่มีกำมะถันน้อยกว่า 50 ppm และปริมาณ Aromatic 5% โดยปริมาตร จำเป็นที่จะต้องใช้สภาวะ Hydro-processing ที่รุนแรงขึ้นหรือเทคโนโลยี Hydro-processing ที่แตกต่างออกไป

3.1.9 ปริมาณอะโรมาติก (Aromatic content)

ส่วนประกอบ Aromatic ในเชื้อเพลิงดีเซลเป็นปัญหาที่สำคัญเพราะว่าทำให้เกิดการปล่อย Particulate emission อย่างไรก็ตาม Aromatics มีส่วนช่วยในการหล่อลื่นของเชื้อเพลิง ดังนั้นการกำจัดสารเหล่านี้จะทำให้เกิดอัตราการสึกหรอของปั๊มหัวฉีดอย่างสูงอย่างผิดปกติ

3.1.10 ปริมาณน้ำและตะกอน (Water and Sediment content)

เราไม่สามารถที่จะกำจัดน้ำออกจากเชื้อเพลิงดีเซลได้หมด เนื่องจากขั้นตอนแรกที่มีน้ำเข้ามาคือระหว่างกระบวนการผลิต นอกจากนั้นยังมีความเสี่ยงของการมีน้ำเจือปนมาระหว่างการขนส่งและการเก็บในถัง การเกิดขึ้นของน้ำในถัง เก็บอาจทำให้เกิดการเติบโตของเชื้อราและแบคทีเรีย การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ทำให้เกิดปัญหากับเครื่องยนต์โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบเชื้อเพลิง เช่น เกิดการอุดตันที่ไส้กรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตะกอนที่พบในเชื้อเพลิงดีเซลส่วนใหญ่เป็นอนินทรีย์โดยกำเนิด เช่น สนิม, อนุภาคโลหะ และฝุ่นละอองบางส่วนสามารถเป็นสารอินทรีย์จากการเสื่อมสภาพขององค์ประกอบเชื้อเพลิงที่ไม่เสถียร, การกระทำของแบคทีเรียที่รอยต่อของน้ำมัน-น้ำ หรือไขจากเชื้อเพลิง

ตะกอนสามารถนำไปสู่การอุดตันไส้กรองในยานพาหนะ และน้ำยังช่วยเพิ่มสภาวะกรด ทำให้เกิดปัญหาเนื่องมาจากการกัดกร่อนและความสึกหรอในเครื่องยนต์และระบบฉีดเชื้อเพลิง การทดสอบมาตรฐานสำหรับปริมาณน้ำและตะกอนทำได้โดยวิธีเหวี่ยง

3.1.11 จุดวาบไฟ (Flash point)

จุดวาบไฟคือการวัดอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดซึ่งเชื้อเพลิงเกิดจากการลุกไหม้ได้จากแหล่งกำเนิดประกายไฟภายใต้สภาวะห้องปฏิบัติการที่ได้มาตรฐาน จุดวาบไฟนี้จะมีผลต่อเชื้อเพลิงในการพิจารณาด้านการขนส่ง, รูปแบบการจัดเก็บ และการระวังดูแลรักษา

3.1.12 สภาพการอัดตัวได้ของเชื้อเพลิง (Compressibility)

คุณสมบัติการอัดตัวได้ของเชื้อเพลิงเป็นคุณสมบัติซึ่งมีผลต่อการฉีดเชื้อเพลิง โดยเชื้อเพลิงเหลวที่มีสภาพการอัดตัวได้สูงจะทำให้องศาการฉีดเชื้อเพลิงล่าช้าเนื่องจากปั๊มจะต้องใช้เวลามากขึ้นในการอัดเชื้อเพลิงให้ได้ความดันที่ต้องการ

ตัวแปรที่บ่งบอกถึงสภาพการอัดตัวได้คือ Bulk modulus โดย Bulk modulus เป็นสัดส่วนผกผันกับสภาพอัดตัวได้ น้ำมันดีเซลซึ่งมี Bulk modulus น้อยกว่าน้ำมันไบโอดีเซล ดังนั้นน้ำมันดีเซลจึงมีสภาพการอัดตัวได้สูงกว่าน้ำมันไบโอดีเซล องศาการฉีดเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลจึงมีแนวโน้มที่จะล่าช้ากว่าน้ำมันดีเซล

3.2 ค่าต่าง ๆ ในการทำงานของเครื่องยนต์(Willard W. Pulkrabek.1997)

การทำงานของเครื่องยนต์สันดาปภายในแบบลูกสูบเคลื่อนที่สลับทิศ ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่สิ่งที่เครื่องยนต์ให้ คือ งาน แรงบิด กำลัง ไปจนถึงสิ่งที่ต้องป้อนให้เครื่องยนต์ คือ อากาศ เชื้อเพลิง การเผาไหม้ รวมทั้งประสิทธิภาพ และการวัดสารพิษในไอเสียด้วย

ความจุของเครื่องยนต์ทั่วไป มีค่าตั้งแต่ 0.1 cm^3 (0.0061 in^3) สำหรับเครื่องบินเล็กไปจนถึง 8 L (490 in^3) ของรถยนต์ขนาดใหญ่และใหญ่กว่านี้มาก สำหรับเครื่องยนต์เรือขนาดใหญ่ ความจุทั่วไปของเครื่องยนต์รถยนต์ยุคนี้ มีค่าระหว่าง 2 ถึง 3 ลิตร

กรณีที่กำหนดความจุของเครื่องยนต์ระยะชักยาว จะมีกระบอกสูบเล็ก ส่งผลให้มีการสูญเสียพลังงานความร้อนน้อย เนื่องจากพื้นที่ผิวห้องเผาไหม้มีขนาดเล็ก ประสิทธิภาพทางความร้อนในห้องเผาไหม้จึงสูง อย่างไรก็ดี ระยะชักซึ่งยาว จะส่งผลให้ความเร็วของลูกสูบสูงและแรงเสียดทานสูงขึ้นตาม ทำให้กำลังที่ถูกนำไปใช้งานโดยเพลาข้อเหวี่ยงลดลง ถ้าลดระยะชักให้สั้นลง จะต้องขยายกระบอกสูบ การสูญเสียพลังงานจากแรงเสียดทานจะลดลง แต่การสูญเสีย

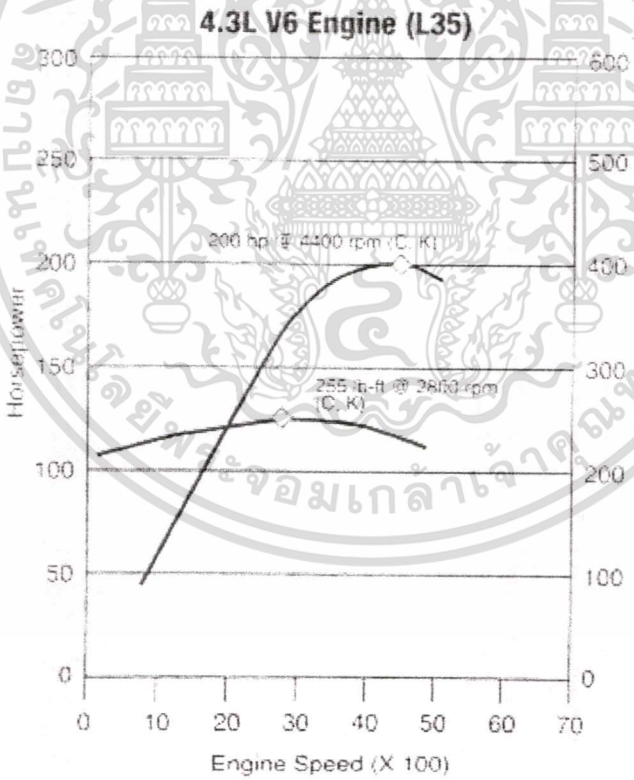
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานความร้อนจะเพิ่มขึ้น เครื่องยนต์จึงมีระยะชักพอ ๆ กับเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ โดยอาจจะมีค่าใดค่าหนึ่งมากกว่าอีกค่าเล็กน้อยขึ้นอยู่กับเหตุผลประกอบทางเทคนิค รวมทั้งปรัชญาที่โรงงานผู้ผลิตยึดถือด้วย เครื่องยนต์ที่ใหญ่มากมีอัตราระยะชักต่อเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบถึง 4 : 1

ปริมาตรในห้องเผาไหม้ มีค่าน้อยที่สุดเมื่อลูกสูบอยู่ที่ศูนย์ตายบน เราเรียกปริมาตรนี้ว่า ปริมาตรอัด มีการพยายามสร้างเครื่องยนต์ที่สามารถปรับอัตราส่วนการอัดได้ในขณะใช้งาน บางแบบใช้ลูกสูบแบบสองชิ้น ปรับระยะตามโหลดและความเร็วรอบโดยอาศัยความดันของน้ำมันเครื่อง เครื่องยนต์สองจังหวะบางรุ่น ใช้ลิ้นแบบปลอกสำหรับหมุนและเปลี่ยนขนาดของช่องคายไอเสีย ซึ่งเป็นการปรับอัตราส่วนในการอัดไปในตัว

3.2.1 งาน

งานคือการให้พลังงานของเครื่องยนต์ความร้อน งานในเครื่องยนต์สันดาปภายในแบบลูกสูบชักหรือลูกสูบเคลื่อนที่สลับทิศ คืองานที่เกิดจากการขยายตัวของก๊าซในห้องเผาไหม้นั่นเอง งานคือผลของการกระทำของแรงผ่านระยะทาง แรงซึ่งเกิดจากความดันที่กระทำต่อลูกสูบที่กำลังเคลื่อนที่ จึงทำให้เกิดงานในเครื่องยนต์สันดาปภายใน



ภาพที่ 3.1 แสดงกำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์

ที่มา : Willard W. Pulkrabek.1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 3.1 แสดงกำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์ มีอัตราส่วนอัด 9.2 :1 ความเร็วรอบสูงสุด 5,600 rpm กำลังสูงสุด 200 hp ที่ 4,400 rpm แรงบิดสูงสุด 225 lb·ft (305 N·m) ที่ 2,800 rpm

เครื่องยนต์ของรถยนต์ยุคปัจจุบัน มีค่าแรงบิดสูงสุดประมาณ 200 ถึง 300 N·m ที่ความเร็วรอบประมาณ 4,000 ถึง 6,000 rpm เราเรียกตำแหน่งที่เครื่องยนต์ให้แรงบิดสูงสุดว่าความเร็วรอบแรงบิดสูงสุด (Maximum brake torque speed หรือ MBT) เป้าหมายในการออกแบบเครื่องยนต์รถยนต์ยุคนี้ คือ การทำให้กราฟแรงบิด (ภาพที่ 3.1) เป็นเส้นราบและมีค่าสูงทั้งช่วงความเร็วรอบสูงและความเร็วรอบต่ำ เครื่องยนต์ดีเซลมักมีแรงบิดสูงกว่าเครื่องยนต์เบนซินขนาดเดียวกัน ส่วนเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ มักมีแรงบิดสูงและความเร็วรอบแรงบิดสูงสุด (MBT) อยู่ในย่านความเร็วรอบต่ำ

กำลัง (Power) คือ อัตรางานต่อหน่วยเวลาของเครื่องยนต์ สามารถกำหนดคำจำกัดความของ กำลังเพลา (Brake power) กำลังบ่งชี้สุทธิ (Net indicated power) กำลังบ่งชี้รวบยอด (Gross indicated power) กำลังสูบ (Pumping power) และแม้กระทั่งกำลังเสียดทาน (Friction power) ได้ด้วยค่างานและความดันผลเฉลี่ยในดังนี้

$$\dot{W} = \eta_m \dot{W}_i \tag{3.2}$$

$$(\dot{W}_i)_{net} = (\dot{W}_i)_{gross} - (\dot{W}_i)_{pump} \tag{3.3}$$

$$\dot{W}_b = \dot{W}_i - \dot{W}_f \tag{3.4}$$

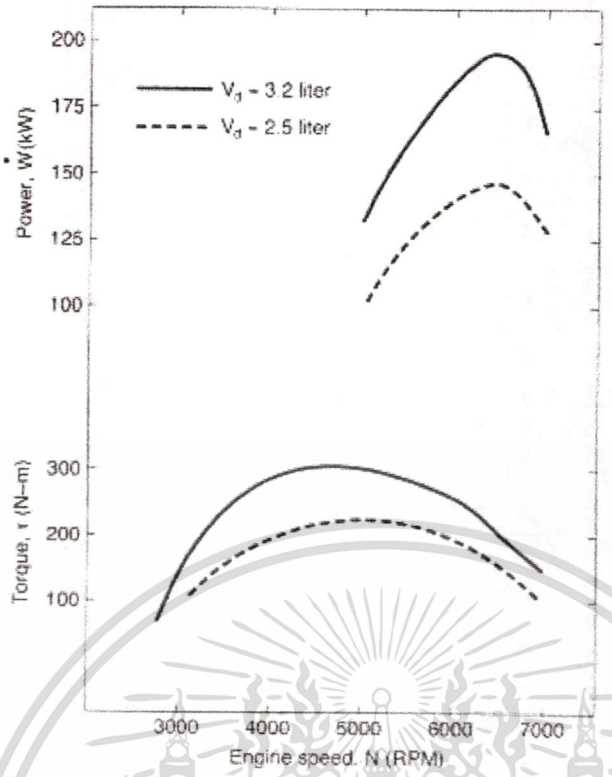
โดยมี η_m เป็นค่าประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องยนต์

จากภาพที่ 3.2 แสดงแรงบิดสูงสุด เกิดขึ้นเมื่อมีการประจุไอดีเข้าสู่กระบอกสูบได้มากที่สุด และความดันมีค่าสูงสุด ส่วนกำลังเพลาของเครื่องยนต์ซึ่งลดที่ความเร็วสูงเพราะระยะระยะเวลาที่ลิ้นเปิดให้ไอดีไหลเข้าสั้นลง รวมทั้งหักล้างด้วยแรงเสียดทาน ซึ่งเพิ่มขึ้นตามความเร็วของเครื่องยนต์ ซึ่งช่วงแรกจะลดลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นเพราะช่วงเวลาในการสูญเสียความร้อนสั้นลง และกลับเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ความเร็วสูง เพราะแรงเสียดทานเพิ่มขึ้น ค่านี้จะต่ำลงทุกย่าน เมื่อเพิ่มอัตราส่วนอัด ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพความร้อนเพิ่มขึ้น

แรงบิดและกำลังเป็นฟังค์ชั่นของความเร็วรอบ ที่รอบต่ำแรงบิดจะเพิ่มเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น และเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นอีก แรงบิดจะเพิ่มจนถึงค่าสูงสุดแล้วลดลงตามภาพที่ 3.1 และ 3.2 เพราะความเร็วรอบเพิ่มขึ้นไอดีจะถูกประจุเข้ากระบอกสูบได้น้อยลง เนื่องจากช่วงเวลาที่ลิ้นไอดีเปิดสั้นลง

กำลังบ่งชี้ (Indicated power) เพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ส่วนกำลังเพลา (Brake power) เพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบจนถึงค่าสูงสุด แล้วลดลงเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นอีก เพราะถูกหักล้างด้วยแรงเสียดทานภายในเครื่องยนต์ซึ่งเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบและมีค่ามากโดยเฉพาะที่รอบสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 กราฟกำลัง แรงบิด เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์

ที่มา : Willard W. Pulkrabek.1997

สามารถเพิ่มกำลังของเครื่องยนต์ โดยการเพิ่มความจุ ความดันผลเฉลี่ย และ/หรือ ความเร็วรอบ การเพิ่มความจุ ทำให้มวลและขนาดของเครื่องยนต์เพิ่มตามไปด้วย ซึ่งเป็นสิ่งไม่พึงประสงค์สำหรับการใช้งานในรถยนต์ ด้วยเหตุผลดังกล่าว เครื่องยนต์ของรถยนต์สมัยใหม่จึงมีขนาดเล็กและทำงานที่รอบสูง และมักใช้อุปกรณ์ช่วยประจุไอดี เช่น เทอร์โบชาร์เจอร์ หรือ ซูเพอร์ชาร์เจอร์ เพื่อเพิ่มความดันผลเฉลี่ย

สามารถเปรียบเทียบเครื่องยนต์ ด้วยวิธีต่าง ๆ ตามสมการต่อไปนี้

กำลังสัมพัทธ์ (Specific power) $$SP = \dot{W}_b / A_p \quad (3.5)$$

กำลังต่อความจุ (Output per displacement) $$OPD = \dot{W}_b / V_d \quad (3.6)$$

ปริมาตรสัมพัทธ์ (Specific volume) $$SV = V_d / \dot{W}_b \quad (3.7)$$

น้ำหนักสัมพัทธ์ (Specific weight) $$SW - G / \dot{W}_b \quad (3.8)$$

โดย : $\dot{W}_b$ = กำลังเพลา

A_p = พื้นที่ขนาดตัดลูกสูบทุกสูบรวมกัน

V_d = ความจุ

G = น้ำหนักเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ค่าเหล่านี้มีค่าความสำคัญสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้ขับเคลื่อนยานพาหนะ เช่น เรือ รถ และโดยเฉพาะเครื่องบิน ซึ่งต้องการให้น้ำหนักเบาที่สุด ในขณะที่น้ำหนักของเครื่องยนต์ไม่มีความสำคัญสำหรับเครื่องยนต์ติดตั้งกับที่ขนาดใหญ่

3.2.2 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ (Special fuel consumption)

เรากำหนดค่า ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ ดังนี้

$$sfc = \dot{m}_f/\dot{W} \tag{3.9}$$

โดย : $\dot{m}_f$ = อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง

$\dot{W}$ = กำลัง

หากใช้กำลังเพลาในการคำนวณ เราจะได้ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์เพลา (Brake specific fuel consumption)

$$bsfc = \dot{m}_f/\dot{W}_b \tag{3.10}$$

และถ้าใช้กำลังบ่งชี้ในการคำนวณ จะได้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์บ่งชี้ (Indicated specific fuel consumption)

$$isfc = \dot{m}_f/\dot{W}_i \tag{3.11}$$

นอกจากนี้เราสามารถให้คำจำกัดความของความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์อื่น ๆ ได้อีก เช่น :

fsfc = ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์เสียดทาน
(Friction specific fuel consumption)

Igsfc = ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์รวบยอดบ่งชี้
(Indicated gross specific fuel consumption)

Insfc = ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์สุทธิบ่งชี้
(Indicated net specific fuel consumption)

psfc = ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์สูบ
(Pumping specific fuel consumption)

จากสมการข้างต้น จะได้ว่า

$$\eta_m = \dot{W}_b/\dot{W}_i = (\dot{m}_f/\dot{W}_i)/(\dot{m}_f/\dot{W}_b) = (isfc)/(bsfc) \tag{3.12}$$

โดย η_m = ประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องยนต์

ที่ความเร็วต่ำความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์เพลาจะลดลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นจนถึงค่าต่ำสุด แล้วจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในย่านความเร็วสูง เนื่องจากต้องใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงไปชดเชยกับแรงเสียดทานภายในเครื่องยนต์ ซึ่งเพิ่มขึ้นตามความเร็ว ส่วนที่ความเร็วต่ำความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะสูงเพราะ

1. การทำงานต่อหนึ่งวัฏจักรใช้เวลานาน ทำให้สูญเสียพลังงานความร้อนทางผนังกระบอกสูบและผนังห้องเผาไหม้

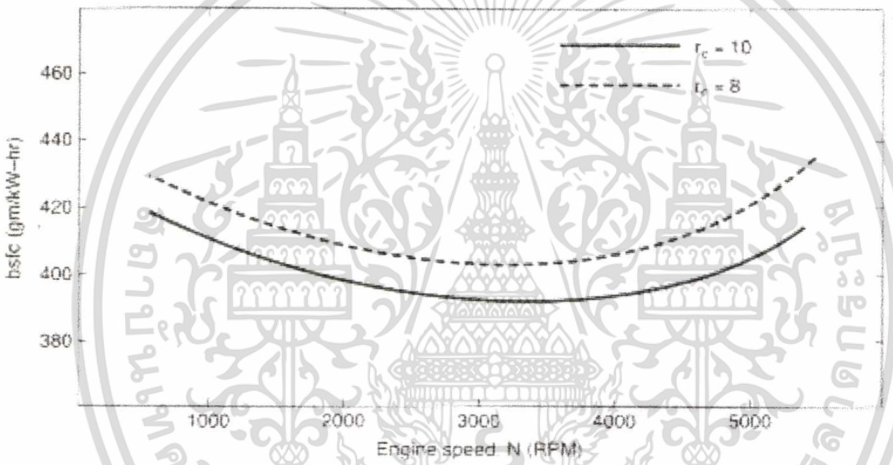
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
110291

2. การออกแบบลูกเบี้ยวควบคุมลิ้น ซึ่งเน้นแรงบิดที่ความเร็วปานกลาง และกำลังที่ความเร็วสูง ทำให้การประจุไอดีและการคายไอเสียที่ความเร็วต่ำ ไม่เหมาะสมเท่าที่ควร

3. หากวัดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ความเร็วต่ำขณะที่ลิ้นผีเสื้อเปิดเพียงเล็กน้อย จะได้ค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงมาก เพราะเครื่องยนต์สูญเสียพลังงานไปในรูปของ งานสูบ w_p

ภาพที่ 3.3 แสดงความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์เพลา ซึ่งแปรตามอัตราส่วนการอัดและอัตราส่วนสมมูลย์ โดยจะลดลงเมื่ออัตราส่วนการอัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากประสิทธิภาพความร้อน (η_t) สูงขึ้น และค่านี้จะมีค่าต่ำสุดในช่วงที่อัตราส่วนสมมูลย์ประมาณ 1 (ϕ=1) และจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อออกห่างจากตำแหน่งนี้ ไม่ว่าจะไปทางไอดีบางลง หรือหนาขึ้นก็ตาม

ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์เพลา มีค่าลดลงเมื่อความจุของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นและจะมีค่าต่ำมากสำหรับเครื่องยนต์ขนาดใหญ่มาก



ภาพที่ 3.3 กราฟความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์

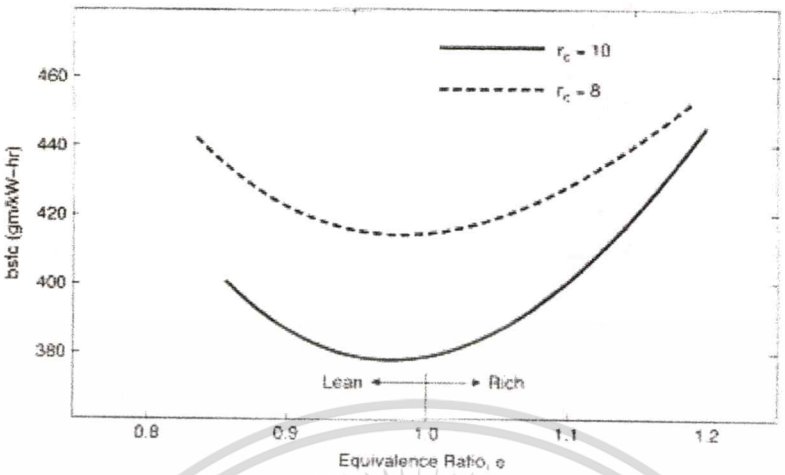
ที่มา : Willard W. Pulkrabek.1997

ค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์จะลดลง เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น เนื่องจากระยะเวลาของการสูญเสียความร้อนสั้นลง แต่เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงกว่าระดับปานกลางแรงเสียดทานที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกลับเพิ่มขึ้น การเพิ่มอัตราส่วนการอัดเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพความร้อนและทำให้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดลง

โดยทั่วไปแล้วค่าความสิ้นเปลืองสัมพัทธ์เพลาจะต่ำลงเมื่อขนาดของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลมาจากอัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิวที่เพิ่มขึ้น ทำให้การสูญเสียความร้อนน้อยลง

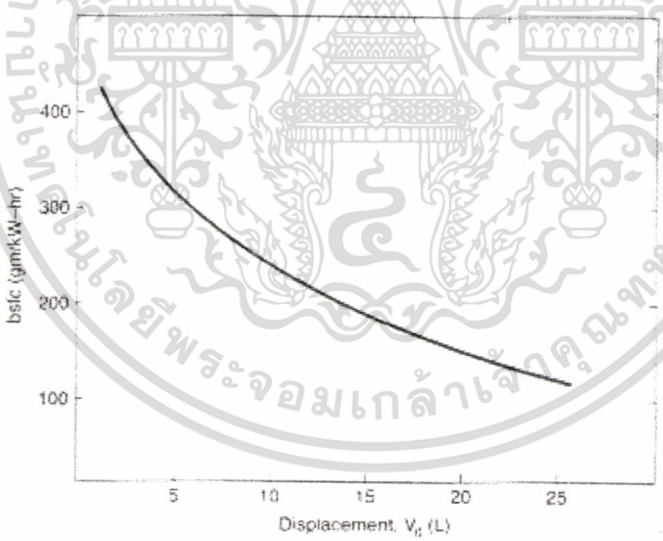
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้แรงเสียดทานสัมพัทธ์ก็ยังน้อยลงกว่าด้วย เนื่องจากเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ทำงานที่ความเร็วรอบต่ำ



ภาพที่ 3.4 กราฟความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์เพลาเทียบกับอัตราส่วนความเข้มของไอดี ซึ่งมีค่าต่ำสุดเมื่อไอดีค่อนข้างเจือจาง (Lean) และสูงขึ้นเมื่อไอดีจางหรือเข้มกว่าค่านี้

ที่มา : Willard W. Pulkrabek.1997



ภาพที่ 3.5 กราฟความสิ้นเปลืองสัมพัทธ์เพลาเทียบกับความจุของเครื่องยนต์

ที่มา : Willard W. Pulkrabek.1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ (Engine efficiencies)

ช่วงเวลาสำหรับการสันดาปในแต่ละวัฏจักรของเครื่องยนต์นั้นสั้นมาก โมเลกุลของเชื้อเพลิงจึงไม่สามารถจับคู่กับโมเลกุลของออกซิเจนได้อย่างครบถ้วน และอุณหภูมิบางตำแหน่งก็ไม่เอื้อให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวเสมอไปด้วย ดังนั้นเชื้อเพลิงส่วนหนึ่งจึงไม่ถูกเผาไหม้ และถูกคายออกจากเครื่องยนต์พร้อมกับไอเสีย เราจึงใช้ประสิทธิภาพการสันดาป (Combustion efficiency, η_c) ในการกำหนดสัดส่วนเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้หากเครื่องยนต์ทำงานได้อย่างสมบูรณ์ในสภาวะปกติ η_c จะมีค่าระหว่าง 0.95 ถึง 0.98

สำหรับการทำงานต่อหนึ่งสูบและหนึ่งวัฏจักร ความร้อนที่ได้จากการสันดาป คือ :

$$Q_{in} = m_f Q_{HV} \eta_c \tag{3.13}$$

ที่ความเร็วรอบและโหลดคงที่ :

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_f Q_{HV} \eta_c \tag{3.14}$$

และประสิทธิภาพความร้อน (thermal efficiency)

$$\eta_t = W/Q_{in} = \dot{W}/\dot{m}_f Q_{HV} \eta_c = \eta_f/\eta_c \tag{3.15}$$

โดย: W = งานต่อหนึ่งวัฏจักร

$\dot{W}$ = กำลัง

m_f = มวลเชื้อเพลิงต่อหนึ่งวัฏจักร

$\dot{m}_f$ = อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง

Q_{HV} = ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

η_f = ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิง (ดูสมการ 3-17)

สามารถกำหนดประสิทธิภาพความร้อนได้สองแบบ คือ ประสิทธิภาพความร้อนบ่งชี้โดยการใช้กำลังบ่งชี้ หรือประสิทธิภาพความร้อนเพลา โดยการใช้กำลังเพลาแทนค่าในสมการ (3-13) และสัดส่วนของค่าทั้งสอง คือประสิทธิภาพเชิงกล η_m

$$\eta_m = (\eta_t)_b/(\eta_t)_i \tag{3.16}$$

ประสิทธิภาคความร้อนบ่งชี้ของเครื่องยนต์ทั่วไปมีค่าประมาณ 50% ถึง 60% ส่วนประสิทธิภาพความร้อนเพลา ประมาณ 30% เครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้าขนาดใหญ่มาก อาจมีประสิทธิภาพความร้อนเพลามากกว่า 50%

กำหนดประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงดังนี้

$$\eta_f = W/Q_{HV} = \dot{W}/\dot{m}_f Q_{HV} \tag{3.17}$$

$$\eta_f = 1/(sfc) Q_{HV} \tag{3.18}$$

สามารถเขียนสมการประสิทธิภาพความร้อนสำหรับหนึ่งสูบและหนึ่งวัฏจักรได้ดังนี้

$$\eta_t = W/m_f Q_{HV} \eta_c \tag{3.19}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 สารมลพิษ

สารมลพิษในไอเสีย 4 อย่าง ที่ต้องควบคุมปริมาณ คือ NO_x ,CO, HC และละอองของแข็ง โดยวัดปริมาณสารมลพิษ 2 วิธีด้วยกัน คือ ปริมาณสารมลพิษสัมพัทธ์ (Specific emissions) และดัชนีปริมาณสารมลพิษ (Emissions index) โดยใช้หน่วย g/kW-hr สำหรับปริมาณสารมลพิษสัมพัทธ์ และอัตราไหลของสารมลพิษต่ออัตราไหลของเชื้อเพลิง สำหรับดัชนีปริมาณสารมลพิษ

ปริมาณสารมลพิษสัมพัทธ์

$$(SE)_{NO_x} = \dot{m}_{NO_x}/\dot{W}_b \tag{3.20}$$

$$(SE)_{CO} = \dot{m}_{CO}/\dot{W}_b$$

$$(SE)_{HC} = \dot{m}_{HC}/\dot{W}_b$$

$$(SE)_{part} = \dot{m}_{part}/\dot{W}_b$$

โดย: $\dot{m}$ = อัตราไหลของสารมลพิษ

$\dot{W}_b$ = กำลังเพลา

ดัชนีปริมาณสารมลพิษ

$$(EI)_{NO_x} = \dot{m}_{NO_x}[gm/sec]/\dot{m}_f[kg/sec] \tag{3.21}$$

$$(EI)_{CO} = \dot{m}_{CO}[gm/sec]/\dot{m}_f[kg/sec]$$

$$(EI)_{HC} = \dot{m}_{HC}[gm/sec]/\dot{m}_f[kg/sec]$$

$$(EI)_{part} = \dot{m}_{part}[gm/sec]/\dot{m}_f[kg/sec]$$

3.2.5 วัฏจักรดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซลยุคเก่า เชื้อเพลิงจะถูกฉีดล่าช้ามาก คือในช่วงสุดท้ายของจังหวะอัด จากการที่ต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการฉีดเชื้อเพลิงและการลุกไหม้ที่เกิดขึ้นค่อนข้างล่าช้า ทำให้การเผาไหม้ส่วนหนึ่งเกิดขึ้นในจังหวะทำงาน และตำแหน่งความดันสูงสุดอยู่เลยศูนย์ตายบนไปเล็กน้อย จึงเหมาะที่จะอนุโลมให้การสันดาปของเครื่องยนต์แบบนี้ เป็นการรับพลังงานความร้อนแบบความดันคงที่ในวัฏจักรอากาศมาตรฐานตามวัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งมีส่วนอื่นเหมือนกับวัฏจักรออทโท สามารถเรียกวัฏจักรดีเซลได้อีกแบบหนึ่งว่า วัฏจักรความดันคงที่ (Constant-Pressure cycle)

3.2.5.1 การสันดาปในของเครื่องยนต์ดีเซล

การสันดาปเครื่องยนต์ดีเซล เป็นกระบวนการไม่คงที่ที่เกิดขึ้นพร้อมกันหลายๆจุด ของไอดีต่างความเข้ม ในอัตราที่ขึ้นอยู่กับการฉีดเชื้อเพลิง อากาศที่ไหลเข้าสู่เครื่องยนต์ไม่ถูกปิดกั้นด้วยลิ้นผีเสื้อ แรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ จึงถูกควบคุมโดยปริมาณของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดในแต่ละวัฏจักร เนื่องจากไม่มีการปิดกั้นด้วยลิ้นผีเสื้อ ความดันในท่อไอดีจึงมีค่าคงที่ประมาณ 1 บรรยากาศ งานที่สูญเสียไปในช่วงดูดอากาศของวัฏจักรเครื่องยนต์แบบนี้ จึงน้อยมาก ทำให้ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพความร้อนสูงกว่าเมื่อเทียบกับแคร์องยนต์แก๊สโซลีน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้งานที่ความเร็วต่ำและโหลดต่ำ ซึ่งเป็นช่วงที่ลิ้นผีเสื้อของแคร์องยนต์แก๊สโซลีนเปิดแคบ ทำให้งานจากการสูบอากาศมีค่าสูง สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล

ในจังหวะอัดมีเพียงอากาศเท่านั้นที่อยู่ในกระบอกสูบและอัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไปนี้ก็มีค่าสูงมาก อัตราส่วนของการอัดของเครื่องยนต์ดีเซลสมัยใหม่มีค่าประมาณ 12 ถึง 24 เมื่อเปรียบเทียบกับแคร์องยนต์แก๊สโซลีน ประสิทธิภาพความร้อน (ประสิทธิภาพการแปลงสภาพเชื้อเพลิง) จะมีค่าสูงเมื่อแทนค่าอัตราส่วนการอัดเหล่านี้ อย่างไรก็ดี เนื่องจากอัตราส่วนรวมอากาศ-เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลเป็นค่าที่เจือจาง (ความเข้มของไอดี $\phi \approx 0.8$) กำลังเพลาจึงมักมีค่าน้อยกว่าของแคร์องยนต์แก๊สโซลีน เมื่อเปรียบเทียบด้วยความจุเท่ากัน

เชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าสู่กระบอกสูบในช่วงปลายของจังหวะอัดจากหัวฉีดหนึ่ง หรือหัวฉีดมากกว่า 1 หัวต่อห้องเผาไหม้ของแต่ละสูบ ระยะเวลาของการฉีดเชื้อเพลิงประมาณ 20 องศาของการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง โดยเริ่มตั้งแต่ 15 องศา ก่อนศูนย์ตายบนและสิ้นสุดประมาณ 5 องศาหลังศูนย์ตายบน เนื่องจากระยะเวลาจริงของการล่าช้าของการเผาไหม้ค่อนข้างคงที่ จึงต้องฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าขึ้นเล็กน้อย เมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วสูง

นอกจากอากาศจะต้องหมุนควงและไหลอย่างปั่นป่วนแล้ว ความเร็วของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดต้องสูงด้วย เพื่อให้เชื้อเพลิงแผ่กระจายผสมกับอากาศอย่างทั่วถึงหลังจากเชื้อเพลิงถูกฉีดแล้วจะต้องผ่านขั้นตอนต่าง ๆ จำนวนมากเพื่อให้กระบวนการสันดาปเป็นไปอย่างราบรื่น

1. การกระจายเป็นฝอย (Atomization) หยดเชื้อเพลิงจะถูกทำให้กระจายเป็นฝอยเล็ก ๆ ยิ่งหัวฉีดฉีดเชื้อเพลิงออกมาเป็นหยดเล็กเพียงใด การกระจายเป็นฝอยก็จะยิ่งรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้นเพียงนั้น

2. การระเหยเป็นไอ (Vaporization) ละอองเล็ก ๆ ของเชื้อเพลิงระเหยเป็นไอ ซึ่งเกิดขึ้นรวดเร็วมากในอากาศความร้อนสูง จากการถูกอัดด้วยความร้อนของอากาศที่ถูกอัดด้วยอัตราส่วนการอัดไม่ต่ำกว่า 12 :1 ร้อยละ 90 ของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าสู่กระบอกสูบจะระเหยภายในเวลา 0.001 วินาทีหลังจากถูกฉีด เมื่อเชื้อเพลิงส่วนแรกระเหยบริเวณรอบข้างจะเย็นลงจากความร้อนแฝงของการระเหยและมีผลกระทบต่อการระเหยในช่วงต่อไป บริเวณใกล้หัวฉีดซึ่งมีเชื้อเพลิงเข้มข้นอยู่และถูกลดอุณหภูมิจากการระเหยของเชื้อเพลิงส่วนแรกทำให้ละอองเชื้อเพลิงเกิดการอิ่มตัวแบบอะดิอาแบติก การระเหยของเชื้อเพลิงในย่านนี้จะหยุดชะงักจนกระทั่งถูกคลุกเคล้าและได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น การระเหยของเชื้อเพลิงจึงจะดำเนินต่อไป

3. การผสม (Mixing) ภายหลังการระเหย ไอของเชื้อเพลิงจะต้องถูกผสมกับอากาศก่อนเพื่อให้ได้ไอดีที่มีความเข้มอยู่ในระดับที่เกิดการสันดาปได้ การผสมนี้เกิดขึ้นได้จากความเร็วของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อเพลิงที่ถูกฉีด รวมกับการหมุนควงและการไหลอย่างปั่นป่วนของอากาศภายในกระบอกสูบ แสดงการแผ่กระจายของไอดีความเข้มต่าง ๆ กัน รอบลำเชื้อเพลิงเหลวที่ออกจากหัวฉีด การสันดาปจะเกิดขึ้นได้ในย่านความเข้มของไอดีระหว่าง $\phi \approx 1.8$ (เข้ม) และ $\phi \approx 0.8$ (จาง)

4. การลุกไหม้ (Self ignition) ประมาณ 8 องศาก่อนศูนย์ตายบน หรือ 6-8 องศาหลังจากการเริ่มฉีดเชื้อเพลิง ส่วนผสมของอากาศ-เชื้อเพลิงจะเริ่มลุกไหม้ขึ้นการสันดาปที่แท้จริงจะเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาขั้นที่สอง ซึ่งรวมไปถึงการแตกตัวของโมเลกุลขนาดใหญ่ของไฮโดรคาร์บอนกลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็กโดยการออกซิเดชั่นบางส่วนด้วยปฏิกิริยานี้ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น และกระจายความร้อนออกโดยรอบทำให้อากาศบริเวณใกล้เคียงมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย และทำให้กระบวนการสันดาปเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในที่สุด

5. การสันดาป (Combustion) การสันดาปเกิดขึ้นจากการลุกไหม้พร้อม ๆ กันหลายตำแหน่งในบริเวณที่ไอดีค่อนข้างเข้ม คือช่วงที่มีความเข้ม $\phi \approx$ 1-1.5 ในช่วงเวลานี้ เชื้อเพลิงประมาณ 70% ถึง 95% ในห้องเผาไหม้อยู่ในสภาพที่เป็นไอ เมื่อการสันดาปเริ่มขึ้นเปลวไฟจากหลายจุดที่เกิดการลุกไหม้จะแผ่กระจายไปอย่างรวดเร็ว และเผาไหม้ไอดีที่มีความเข้มเหมาะแก่การเกิดการสันดาปโดยไม่ต้องอาศัยให้เกิดการลุกไหม้ขึ้นเอง อุณหภูมิและความดันในกระบอกสูบในช่วงนี้จึงสูงขึ้นมากอุณหภูมิและความดันที่สูงขึ้นนี้จะลดช่วงเวลาของการระเหยลงรวมทั้งช่วงล่าช้าของการลุกไหม้ของละอองเชื้อเพลิงส่วนที่เหลือทำให้เกิดตำแหน่งที่เชื้อเพลิงลุกไหม้เพิ่มขึ้นอีกและช่วยเร่งกระบวนการสันดาปขึ้น เชื้อเพลิงเหลวยังคงถูกฉีดออกจากหัวฉีดในช่วงที่เชื้อเพลิงส่วนแรกลุกไหม้แล้ว หลังจากช่วงแรกของการสันดาปซึ่งไอดีในส่วนผสมที่เหมาะแก่การสันดาปลุกไหม้หมดแล้วส่วนที่เหลือของกระบวนการสันดาปจะขึ้นอยู่กับอัตราที่เชื้อเพลิงถูกฉีดกระจายเป็นฝอยระเหยและผสมกับอากาศในสัดส่วนที่เหมาะสม อัตราการสันดาปซึ่งควบคุมโดยอัตราการฉีด เชื้อเพลิงทำให้ความดันเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ต่อจากช่วงเริ่มต้นที่ความดันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การสันดาปเกิดขึ้นในระยะการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยงประมาณ 40 องศา ถึง 50 องศา ซึ่งนับว่านานกว่าช่วงฉีดเชื้อเพลิงซึ่งเป็นเวลาเพียง 20 องศามาก ทั้งนี้เพราะเชื้อเพลิงบางส่วนต้องใช้เวลานานในการผสมกับอากาศเพื่อให้ได้ไอดีที่เหมาะแก่การสันดาป การสันดาปจึงใช้เวลามากถึงจังหวะกำลัง ซึ่งความดันสูงมาก จนกระทั่งลูกสูบอยู่ที่ 30 องศา ถึง 40 องศาหลังศูนย์ตายบน ประมาณ 60% ของเชื้อเพลิง จะถูกเผาไหม้ในช่วง 1 ใน 3 แรกของช่วงเวลาที่เกิดการสันดาปทั้งหมด อัตราการเผาไหม้เพิ่มขึ้นตามความเร็วของเครื่องยนต์ ดังนั้นมุมของเพลาข้อเหวี่ยงในช่วงที่เกิดการเผาไหม้จึงค่อนข้างคงที่ ในช่วงหลังของกระบวนการสันดาป ประมาณ 10% ถึง 35% ของไอเชื้อเพลิง จะมีความเข้มเหมาะแก่การสันดาป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วเฉลี่ยของเครื่องยนต์แปรผกผันกับความยาวของระยะชัก ซึ่งทำให้ความเร็วเฉลี่ยของลูกสูบของเครื่องยนต์ทุกเครื่องมีค่าประมาณ 5-15 เมตรต่อวินาที เครื่องยนต์ขนาดใหญ่ความเร็วต่ำจะมีเวลาเพียงพอในการฉีดเชื้อเพลิงให้กระจายเป็นฝอย ระเหยเป็นไอและผสมกับอากาศเพื่อให้เกิดการสันดาปอยู่ระหว่าง 40 องศา ถึง 50 องศาของเพลาข้อเหวี่ยง เครื่องยนต์แบบฉีดตรง (Direct injection) เหล่านี้มีห้องเผาไหม้เปิดขนาดใหญ่ ซึ่งไม่ต้องอาศัยการหมุนควงของไอดี เครื่องยนต์เหล่านี้จะฉีดเชื้อเพลิงด้วยความดันสูงเพื่อให้ลำเชื้อเพลิงพุ่งด้วยความเร็วสูง และสามารถพุ่งผ่านห้องเผาไหม้ขนาดใหญ่ได้ ซึ่งจะช่วยผสมกับอากาศได้เป็นอย่างดี เครื่องยนต์แบบฉีดตรงมีประสิทธิภาพความร้อนเพลาสูง เพราะทำงานที่ความเร็วต่ำ การสูญเสียพลังงานโดยแรงเสียดทานจึงต่ำ และยังมีอัตราส่วนที่ผิวต่อปริมาตรของห้องเผาไหม้ต่ำ ซึ่งช่วยลดการสูญเสียความร้อนอีกด้วย

เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก การทำงานของกระบอกสูบเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงและต้องการหมุนควงของอากาศอย่างรวดเร็วเพื่อช่วยให้เชื้อเพลิงระเหยและผสมกับอากาศได้ดี ขั้นตอนนี้เกิดขึ้นด้วยความเร็วประมาณ 10 เท่าของเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ เพื่อให้การสันดาปอยู่ในระยะ 40 องศา ถึง 50 องศาของเพลาข้อเหวี่ยงเช่นเดียวกัน จึงต้องใช้รูปทรงพิเศษของท่อไอดีและกระบอกสูบเพื่อให้ได้การหมุนควงของไอดีเพียงพอ ซึ่งรวมถึงห้องเผาไหม้พิเศษซึ่งแยกจากห้องเผาไหม้หลักด้วย เครื่องยนต์แบบฉีดเชื้อเพลิงทางอ้อม และมีห้องเผาไหม้แยกต่างหากนี้ จะฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้รองขนาดเล็ก โดยใช้ความดันในการฉีดเชื้อเพลิงไม่มาก เพราะเชื้อเพลิงมีความเร็วเพียงพอที่จะพุ่งผ่านห้องเผาไหม้ขนาดเล็กนี้ การหมุนควงของอากาศในห้องเผาไหม้รองทำให้เกิดการผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศ และเมื่อไอดีในห้องนี้เกิดการสันดาปก็จะขยายตัวผ่านช่องแคบเข้ามาสู่ห้องเผาไหม้หลัก โดยพาละอองเชื้อเพลิงมาด้วยและกระตุ้นให้เกิดการหมุนควงในห้องเผาไหม้หลัก จากนั้นจะเกิดการเผาไหม้หลักในลักษณะเดียวกับในแคร์องยนต์แก๊สโซลีน เนื่องจากเครื่องยนต์ฉีดเชื้อเพลิงทางอ้อมแบบนี้ทำงานได้ที่ความเร็วสูง จึงเหมาะแก่การใช้งานในรถยนต์นั่ง เนื่องจากอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของห้องเผาไหม้แบบนี้มีค่าสูง จึงมีการสูญเสียความร้อนมากกว่า ทำให้ต้องใช้อัตราส่วนการอัดที่สูง นอกจากนี้การติดเครื่องยนต์แบบนี้ขณะเย็นก็ทำได้อย่างอยากลำบากด้วย

3.2.5.2 การฉีดเชื้อเพลิง (Fuel injection)

เส้นผ่านศูนย์กลางของรูปล่อยเชื้อเพลิงของหัวฉีดทั่วไปมีค่าประมาณ 0.2-1.0 มิลลิเมตร หัวฉีดอาจมีรูปล่อยเชื้อเพลิง 1 รู หรือมากกว่านั้น

ความเร็วของเชื้อเพลิงเหลวขณะพ้นปลายหัวฉีดมีค่าประมาณ 100-200 เมตร/วินาที และจะถูกลดความเร็วอย่างรวดเร็วจากแรงเสียดทานของอากาศ การระเหยและการหมุนควงของอากาศในห้องเผาไหม้ ไอของเชื้อเพลิงจะพุ่งเลยลำของเชื้อเพลิงเหลว และควรจะถึงผนังส่วนไกลสุดของห้องเผาไหม้ การระเหยเกิดขึ้นภายนอกของลำเชื้อเพลิงเหลว ขณะที่ส่วนที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกนกลางยังเป็นของเหลวอยู่ แสดงแกนซึ่งเป็นของเหลวถูกล้อมรอบด้วยไอที่เป็นเชื้อเพลิงความเข้มต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. เข้มเกินไปที่จะลุกไหม้ได้
2. เข้มแต่ลุกไหม้ได้
3. Stochiometric
4. จางแต่ลุกไหม้ได้
5. จางเกินไปที่จุลุกไหม้

ละอองเชื้อเพลิงที่พ้นปลายหัวฉีดมีขนาดประมาณ 10^{-5}เมตร หรือเล็กกว่านั้น โดยทั่วไปจะมีขนาดอื่น ๆ ปะปนอยู่ด้วย องค์ประกอบที่มีผลต่อขนาดของละอองเชื้อเพลิงคือ ส่วนต่างของความดันที่ปากรู ขนาดและรูปทรงของรูจ่ายเชื้อเพลิง คุณสมบัติของเชื้อเพลิงและอุณหภูมิของอากาศรวมทั้งการไหลอย่างปั่นป่วนด้วย ความดันที่สูงช่วยให้ขนาดของละอองเล็กลง หัวฉีดของเครื่องยนต์ขนาดเล็ก ซึ่งมีการหมุนควงของไอดีด้วยความเร็วสูง จะฉีดเชื้อเพลิงไปยังผนังกระบอกสูบ ซึ่งช่วยให้กระบวนการระเหยเป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่ใช้ได้กับเครื่องยนต์ที่มีผนังกระบอกสูบร้อนจัดเท่านั้น เพราะเวลาในการระเหยของเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ขนาดเล็กซึ่งทำงานที่ความเร็วสูงมีจำกัด วิธีนี้ไม่จำเป็นและไม่ควรใช้กับเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ความเร็วต่ำ ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ที่มีการหมุนควงของไอดีความเร็วต่ำ และผนังกระบอกสูบค่อนข้างเย็น ทำให้เชื้อเพลิงระเหยได้ยาก ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์มีค่าสูง และปริมาณไฮโดรคาร์บอนในไอเสียก็สูงด้วย

3.2.5.3 ความล่าช้าของการจุดระเบิดและค่าซีเทน

เมื่อไอดีมีความเข้มเหมาะแก่การสันดาปและมีอุณหภูมิสูงพอสำหรับการลุกไหม้ ช่วงล่าช้าของการจุดระเบิดจะมีค่าประมาณ 0.0004-0.003 วินาที การเพิ่มอุณหภูมิ,ความดัน,ความเร็วของเครื่องยนต์ และ/หรืออัตราส่วนการอัด จะช่วยลดช่วงล่าช้าของการจุดระเบิดลงได้ ส่วนขนาดของละอองเชื้อเพลิง ความเร็วที่ถูกฉีด อัตราการฉีด และคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเชื้อเพลิงไม่ค่อยมีผลต่อความล่าช้าของการจุดระเบิด เมื่อเครื่องยนต์ทำงานด้วยความเร็วสูง การไหลอย่างปั่นป่วนของไอดีจะเพิ่มขึ้นตาม อุณหภูมิของผนังกระบอกสูบจะสูงขึ้น ช่วงเวลาของความล่าช้าของการจุดระเบิดจะลดลง อย่างไรก็ดีความล่าช้าของการจุดระเบิดจะค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลาของวัฏจักร และทำให้ช่วงเวลาของการสันดาปค่อนข้างคงที่เมื่อคิดเป็นมุมของเพลาข้อเหวี่ยง ไม่ว่าเครื่องยนต์จะทำงานที่ความเร็วสูงเพียงใดก็ตาม

หากเริ่มฉีดเชื้อเพลิงเร็วเกินไป ความล่าช้าของการจุดระเบิดจะเพิ่มขึ้น เพราะอุณหภูมิและความดันยังต่ำอยู่และหากฉีดเชื้อเพลิงล่าช้าเกินไป ลูกสูบจะเคลื่อนที่ออกจากศูนย์ตายบนทำให้ความดันและอุณหภูมิต่ำลง และส่งผลให้ความล่าช้าของการจุดระเบิดเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังนั้นจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องใช้เชื้อเพลิงที่มีค่าซีเทนเหมาะสมแก่เครื่องยนต์แต่ละเครื่อง เพราะค่าซีเทนเป็นตัวกำหนดค่าความล่าช้าของการจุดระเบิด จึงต้องเหมาะสมกับวัฏจักรของเครื่องยนต์นั้น ๆ และกระบวนการฉีดเชื้อเพลิงด้วย หากค่าซีเทนต่ำ ความล่าช้าของการจุดระเบิดจะยาวนานเกินไป ปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าสู่กระบอกสูบก่อนเริ่มการสันดาปจะมากเกินไป และเมื่อการสันดาปเริ่มขึ้น เชื้อเพลิงจำนวนมากจะลุกไหม้ขึ้นอย่างรวดเร็วเกินไปก่อนศูนย์ตายบนทำให้สูญเสียกำลังของเครื่องยนต์ไปส่วนหนึ่ง

3.2.5.4 เขม่า (Soot)

เปลวไฟในเครื่องยนต์ดีเซลแปรเปลี่ยนได้อย่างมาก เมื่อเชื้อเพลิงเกิดการลุกไหม้ เปลวไฟจะลามไปอย่างรวดเร็วไปยังทุกส่วนของห้องเผาไหม้ที่มีส่วนผสมในอัตราส่วนที่เอื้อต่อการสันดาป ไอดีที่มีความเข้มระหว่าง 0.8 ถึง 1.5 จะช่วยให้การเผาไหม้ต่อเนื่อง ซึ่งมีทั้งจากไอดีจางจากไอดีพอเหมาะและจากไอดีเข้ม ในช่วงที่กำลังเกิดการเผาไหม้ ซึ่งไอดีเข้ม จะไม่มีออกซิเจนเพียงพอที่จะทำให้เกิดคาร์บอนไดออคไซด์แบบ Stoichiometric แต่จะได้คาร์บอนมอนอคไซด์และคาร์บอนในรูปของแข็ง คาร์บอนในรูปของแข็งนี้ ก็คือควันดำที่เราเห็นท้ายรถบรรทุกและที่หัวรถจักรนั่นเอง

คาร์บอนในรูปของแข็งจะเกิดขึ้นมาก ในบริเวณที่ไอดีมีความเข้มสูงจนเกิดการสัปดาปได้เพียงเล็กน้อย แต่เมื่อไอดีถูกคลุกเคล้าด้วยการหมุนควงและการไหลอย่างปั่นป่วนในช่วงต่อมาของการสันดาป เขม่าขนาดใหญ่เหล่านี้ก็จะทำปฏิกิริยาอีกต่อหนึ่ง ทำให้เหลือควันดำจากเขม่าขนาดใหญ่นี้ในไอเสียน้อยมาก เขม่าในสถานะของแข็งนี้ ก็คือเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งและทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้เช่นกัน เมื่อมีอัตราส่วนผสมพอเหมาะ

เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลมีอัตราส่วนอากาศ-เชื้อเพลิงที่จาง คาร์บอน ส่วนใหญ่จึงสามารถจับคู่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนส่วนที่เหลือ และแม้จะพ้นห้องเผาไหม้แล้วก็ยังสามารถเกิดปฏิกิริยาในระบบไอเสียได้ ซึ่งช่วยให้ปริมาณคาร์บอนในสภาวะของแข็งลดน้อยลง นอกจากนี้เครื่องยนต์ดีเซลส่วนใหญ่จะมีอุปกรณ์ดักและกรองคาร์บอนในสถานะของแข็งนี้ไว้ได้อย่างมาก คาร์บอนในสถานะของแข็งซึ่งเกิดขึ้นในห้องเผาไหม้จึงผสมอยู่ในไอเสียที่ถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณที่น้อยมาก

เพื่อควบคุมควันดำ (เขม่า) ให้อยู่ในระดับที่กฎหมายอนุญาต เครื่องยนต์ดีเซล จึงทำงานด้วยอัตราความเข้มไอดีรวมค่อนข้างจาง ($\phi < 0.8$) หากเราให้เครื่องยนต์เหล่านี้ทำงานด้วยความเข้มของไอดีเหมาะสมตามทฤษฎี ปริมาณเขม่าในไอเสียจะสูงเกินไป แม้จะทำงานด้วยความเข้มไอดีเจือจางแล้ว ไอเสียจากท่อไอเสียของรถบรรทุกและรถโดยสารยังมีปัญหาในหลายเมืองซึ่งกฎหมายเข้มงวดต่อการใช้รถโดยสารและรถบรรทุก ทำให้ต้องมีการปรับปรุงเครื่องยนต์เหล่านี้ให้ปล่อยสารพิษในไอเสียน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องยนต์ดีเซล ทำงานโดยไม่ต้องอาศัยลิ้นผีเสื้อ ควบคุมกำลังจากปริมาณของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีด เมื่อรถบรรทุกหรือหัวลากรถไฟต้องทำงานหนัก เช่น เร่งความเร็วจากการจอดนิ่ง หรือต้องขับขึ้นเขา เชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าสู่กระบอกสูบในปริมาณมากเป็นพิเศษ ทำให้ไอดีเข้มข้นและเกิดเขม่าซึ่งเป็นคาร์บอนในสถานะของแข็ง และเราจะสังเกตุเห็นควันดำได้ในสภาวะใช้งานเหล่านี้

เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลทำงานโดยใช้ไอดีจาง จึงมีค่าประสิทธิภาพเผาไหม้สูงประมาณ 98% โดย 2% ที่ขาดหายไปเป็นปริมาณ HC ในไอเสียประมาณครึ่งหนึ่งซึ่งอยู่ในรูปของคาร์บอนซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็งและ HC ที่อยู่ในสารประกอบอื่น ซึ่งอาจถูกดูดซับโดยเขม่าและปะปนไปในไอเสีย หากคาร์บอนปริมาณ 0.5% ในเชื้อเพลิงกลายเป็นคาร์บอนสถานะของแข็งในไอเสีย ควันดำก็จะมากเกินกว่าระดับที่อนุญาต หมายถึงปริมาณคาร์บอนในสภาวะของแข็งในไอเสียจะต้องถูกควบคุมให้มีค่าต่ำกว่า 0.5%

เนื่องจากประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลมีค่าถึง 98% และใช้อัตราส่วนการอัดสูง ประสิทธิภาพความร้อนของเครื่องยนต์เหล่านี้จึงสูงกว่าของแครื่องยนต์แก๊สโซลีนวัฏจักรออทโท แต่เนื่องจากไอดีจางกำลังที่ให้ต่อความจุจึงต่ำกว่าของแครื่องยนต์แก๊สโซลีน

3.2.5.5 ปัญหาขณะอากาศเย็น

การติดเครื่องยนต์ดีเซลในอากาศที่เย็นเป็นไปอย่างยากลำบากเพราะทั้งอากาศและเชื้อเพลิงเย็น เชื้อเพลิงจึงระเหยได้ช้ามาก ช่วงล่าช้าของการจุดระเบิดก็ยาวนานกว่าปกติ น้ำมันหล่อลื่นก็เย็นเช่นเดียวกัน ความหนืดจึงสูง ทำให้การไหลไปยังส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์เป็นไปอย่างยากลำบาก มอเตอร์สตาร์ทจึงต้องหมุนเครื่องยนต์ที่เย็นจัดมีการหล่อลื่นไม่เพียงพอเพราะเชื้อเพลิงมีความหนืดสูง ทำให้เครื่องยนต์หมุนช้า ก๊าซส่วนหนึ่งจึงมีเวลาในการรั่วผ่านลูกสูบ ความดันจากการอัดจึงไม่สูงเพียงพอ ขณะที่มอเตอร์สตาร์ทหมุนเครื่องยนต์เพื่อให้ติดอากาศจะต้องถูกอัดจนอุณหภูมิสูงเกินอุณหภูมิลุกไหม้ได้เองของเชื้อเพลิงอย่างเพียงพอ การสูญเสียความร้อนส่วนหนึ่งไปทางผนังกระบอกสูบซึ่งเย็นด้วย ทำให้อุณหภูมิของอากาศยิ่งต่ำลงอีก จึงจำเป็นต้องใช้หัวเผาในการแก้ปัญหานี้ หัวเผาก็คือความต้านทานทางไฟฟ้าซึ่งแปลงพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ให้เป็นพลังงานความร้อน โดยถูกติดตั้งอยู่ในห้องเผาไหม้และทำงานประมาณ 10-15 วินาที ก่อนเริ่มการติดเครื่องยนต์ และเมื่อเครื่องยนต์ติดแล้วก็ยังต้องใช้ความร้อนจากหัวเผา ช่วยในการสันดาปในช่วงวัฏจักรแรก ๆ ต่อจากนั้นจึงหยุดการทำงานของหัวเผาได้ และเชื้อเพลิงจะถูกจุดให้ลุกไหม้ด้วยความร้อนจากการที่อากาศในห้องเผาไหม้ถูกอัด

การติดเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ ต้องใช้พลังงานสูงมากในการหมุนเครื่องยนต์ที่เย็นอยู่และกำลังของมอเตอร์สตาร์ทอาจไม่เพียงพอหรือไม่เหมาะสม จึงต้องใช้เครื่องยนต์ขนาดเล็กติดเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ ซึ่งมักเป็นเครื่องยนต์ 2 สูบ หรือ 4 สูบ เครื่องยนต์นี้จะถูกติดขึ้นก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วจึงส่งกำลังไปหมุนล้อช่วยแรงของเครื่องยนต์ขนาดใหญ่อีกต่อหนึ่ง เมื่อเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ติดแล้ว จึงปลดการส่งกำลังจากเครื่องยนต์ขนาดเล็กนี้

เครื่องยนต์ดีเซลขนาดกลางหลายรุ่น ใช้อัตราส่วนการอัดสูงกว่าที่จำเป็นเพื่อช่วยให้เครื่องยนต์ติดได้ง่ายขึ้นในอากาศเย็น บางรุ่นใช้ล้อช่วยแรงขนาดใหญ่ด้วยจุดประสงค์เดียวกัน บางรุ่นมีระบบอุ่นน้ำมันหล่อลื่นด้วยระบบไฟฟ้าเพื่อให้ติดเครื่องยนต์ได้ง่ายขึ้น บางรุ่นใช้ปั๊มไฟฟ้าอัดเชื้อเพลิงไปตามจุดต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ก่อนการติดเครื่อง ซึ่งนอกจากจะช่วยให้เครื่องยนต์ติดง่ายแล้วยังช่วยลดการสึกหรอของชิ้นส่วนต่าง ๆ ในช่วงเวลานี้ได้อย่างมากด้วย การฉีดเชื้อเพลิงล่าช้าและการใช้ไอดีความเข้มสูงก็ถูกนำมาใช้เพื่อให้เครื่องยนต์ติดได้ง่ายขึ้นด้วย

มีการนิยมปล่อยให้เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ทำงานต่อเนื่องในอากาศหนาวแม้ยังไม่ต้องการใช้งาน เพื่อป้องกันปัญหาจากการติดเครื่อง ผู้ขับรถบรรทุกก็ปล่อยให้เครื่องยนต์ทำงานตลอดขณะจอดพักบนทางหลวงในฤดูหนาว ซึ่งไม่สมควรทำเป็นอย่างยิ่ง เพราะนอกจากจะทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยไม่จำเป็นแล้ว ยังเป็นการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมอีกด้วย

อีกปัญหาของการใช้เครื่องยนต์ดีเซลในฤดูหนาวโดยเฉพาะในรถบรรทุกและรถยนต์นั่ง คือ การสูบเชื้อเพลิงจากถังเชื้อเพลิง ซึ่งมักอยู่ห่างจากห้องเครื่องยนต์ จึงไม่ได้รับความร้อนที่ช่วยให้เชื้อเพลิงอุ่นขึ้น เชื้อเพลิงที่เย็นจัดและมีความหนืดสูงนี้ จึงไหลผ่านท่อเชื้อเพลิงขนาดเล็กและยาวด้วยความยากลำบาก เชื้อเพลิงบางแบบกลายเป็นวุ้นเมื่ออากาศเย็น รถยนต์หลายรุ่นจึงต้องมีระบบอุ่นถังเชื้อเพลิงหรือมีระบบให้เชื้อเพลิงไหลผ่านห้องเครื่องยนต์โดยให้เชื้อเพลิงไหลผ่านในอัตรา 2 เท่าของที่เครื่องยนต์จำเป็นต้องใช้ แล้วให้ส่วนที่เหลือไหลกลับไปสู่ถังเชื้อเพลิงเพื่อให้ผสมคลุกเคล้ากับเชื้อเพลิงที่เย็นในถังเชื้อเพลิง ส่วนใหญ่แล้วจำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงคุณภาพสูงในฤดูหนาวสำหรับรถยนต์ ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงราคาสูง แต่มีความหนืดต่ำ ไหลได้ง่าย ทั้งขณะผ่านท่อเชื้อเพลิงและผ่านหัวฉีด

3.3 การวัดและทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ (เสมอขวัญ ตันติกุล.2544)

3.3.1 ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer)

ไดนาโมมิเตอร์ถือว่าเป็นเครื่องมือสำหรับทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ โดยปกติเครื่องมือนี้จะวัดค่าแรงบิด จากนั้นจึงนำค่าแรงบิดที่ได้ไปหาค่าแรงม้าของเครื่องยนต์ต่อไป ไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้งานทั่วไปมีหลายแบบ การตัดสินใจเลือกแบบไหนขึ้นกับปัจจัยที่ต้องการศึกษาและความเหมาะสมในหลาย ๆ ด้าน แม้ว่าไดนาโมมิเตอร์จะมีหลายแบบ แต่หลักการวัดและค่าที่ได้จะไม่แตกต่างกันมากนัก ค่าส่วนใหญ่ที่ต้องการวัดจะเป็นค่าแรงบิดและแรงบิดภายใต้เงื่อนไขเครื่องยนต์รับภาระในปริมาณต่าง ๆ

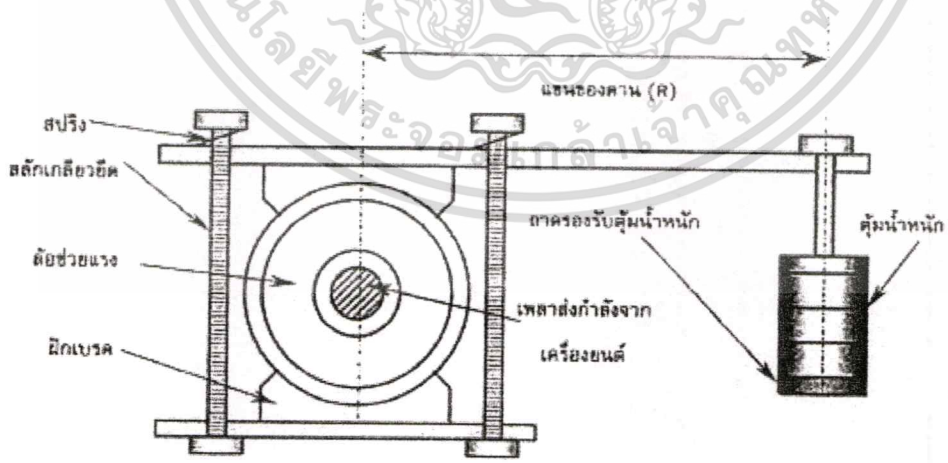
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การวัดแรงม้าเบรค (Brake horsepower)

การวัดแรงม้าเบรคมีความสำคัญและเป็นการวัดที่ไม่ยุ่งยาก การวัดส่วนใหญ่จะกระทำในห้องปฏิบัติการ และการวัดแรงม้าเบรคสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่นโดยใช้โพรนีเบรคหรือใช้สายพานหรือเชือก ไฮดรอลิคไดนาโมมิเตอร์และไดนาโมมิเตอร์แบบไฟฟ้าเป็นต้น ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.2.1 โพรนีเบรค (Prony brake)

โพรนีเบรคเป็นเครื่องมือวัดแรงม้าอย่างง่าย ๆ ที่ไม่ซับซ้อน แสดงดังภาพที่ 3.6 ลักษณะของโพรนีเบรคจะประกอบด้วยก้ามปูซึ่งมีผ้าเบรคติดตั้งอยู่ ปกติก้ามปูจะติดตั้งประกบกับล้อช่วยแรง และก้ามปูดังกล่าวสามารถปรับระยะให้ห่างหรือชิดตามความต้องการจากก้ามปูจะมีแขนหรือคานต่อออกไป และที่ปลายคานจะติดตั้งถาดรองรับก้อนน้ำหนักสำหรับเป็นการเพิ่มภาระ (Load) ปริมาณน้ำหนักที่เพิ่มได้สูงสุดจะนำมาใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่าแรงม้าเบรคของเครื่องยนต์ สำหรับวิธีการกระทำโดยการปรับก้ามปูให้เลื่อนเข้าชิดล้อช่วยแรง จะมีผลให้เครื่องยนต์รับภาระมากยิ่งขึ้นความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะตกลง เมื่อความเร็วรอบต่ำลงให้เร่งเครื่องขึ้น ขณะเดียวกันก็เพิ่มน้ำหนักในถาด โดยสังเกตว่าแขนของคานอยู่ในแนวระนาบตลอดเวลา ทำการเร่งเครื่องยนต์พร้อมเติมก้อนน้ำหนักจนกระทั่งเครื่องยนต์เร่งได้ในรอบสูงสุด จากนั้นนำน้ำหนักที่ได้มาใช้ในการคำนวณ ข้อจำกัดของโพรนีเบรคคือ เหมาะสำหรับทดสอบเครื่องยนต์ที่มีรอบการทำงานต่ำ การปรับภาระที่ความเร็วเปลี่ยนแปลงกระทำได้ยาก สำหรับการคำนวณหาแรงม้าเบรค โดยใช้สูตรต่อไปนี้



ภาพที่ 3.6 ลักษณะโครงสร้างโพรนีเบรก

ที่มา : เสมอขวัญ ตันติกุล.2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B.H.P. = \frac{2\pi FRN}{4500} = \frac{2\pi TN}{4500} \quad (3.22)$$

เมื่อ $T = FR$

โดย T = แรงบิด (N·m)

F = แรงตามแนวเส้นสัมผัส (N)

R = แขนของแรงหรือความยาวคาน (m)

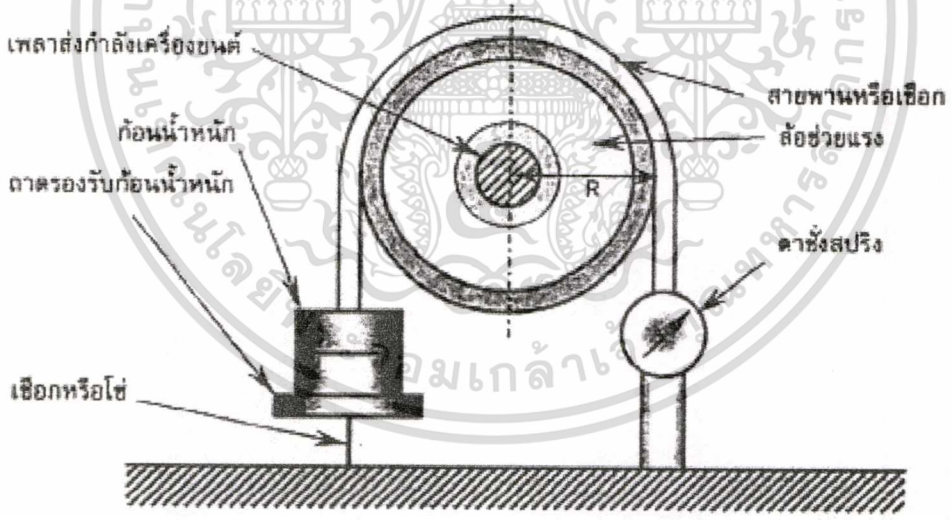
N = ความเร็วรอบ (rpm)

หรืออาจหาจากสมการ

$$B.H.P. = \frac{TN}{716} \quad (3.23)$$

3.3.2.2 ไดนาโมมิเตอร์แบบสายพาน (Rope brake)

ไดนาโมมิเตอร์แบบสายพานเป็นเครื่องมือวัดแรงม้าเบรคอย่างง่าย ๆ อีกแบบหนึ่งอาศัยหลักการคล้าย ๆ กับโพรนีเพรค โดยอาศัยความฝืดของสายพานหรือในบางครั้งอาจใช้เชือกแทนก็ได้ ดังแสดงในภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 ลักษณะโครงสร้างไดนาโมมิเตอร์แบบสายพาน

ที่มา : เสมอขวัญ ตันติกุล.2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปโครงสร้างไดนาโมมิเตอร์แบบสายพาน จะเห็นว่าด้านหนึ่งของสายพานจะถูกยึดกับถาดรองรับก้อนน้ำหนักสำหรับปรับภาระเครื่องยนต์ ปลายสายพานด้านหนึ่งจะยึดกับตาชั่งสปริงปกติตุ้มน้ำหนักจะต้องแขวนตรงข้ามกับทิศทางการหมุนของล้อช่วยแรงเสมอ หลักการวัดและการเพิ่มน้ำหนักก็กระทำคล้าย ๆ กับแบบโพรนีเบรค สำหรับสูตรในการคำนวณใช้สูตรเดียวกันแบบโพรนีเบรคที่แตกต่างออกไปก็คือวิธีการคิดค่าแรงบิด คือ

$$T = (W - w)\frac{D}{2} \tag{3.24}$$

เมื่อ T = แรงบิดของเครื่องยนต์ (N·m)

$(W-w)$ = โหลดที่แท้จริง (N)

W = มวลก้อนน้ำหนักที่ใช้แขวนบนถาด (N)

w = ค่าแรงที่อ่านได้จากตาชั่งสปริง (N)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของล้อช่วยแรง (m)

กรณีเชือกหรือสายพานที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่อนข้างมาก จะใช้สูตร

$$T = (W - w)\frac{(D + d)}{2} \tag{3.25}$$

เมื่อ d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเชือกหรือสายพาน (m)

3.3.2.3 ไฮดรอลิคไดนาโมมิเตอร์ (Hydraulic dynamometer)

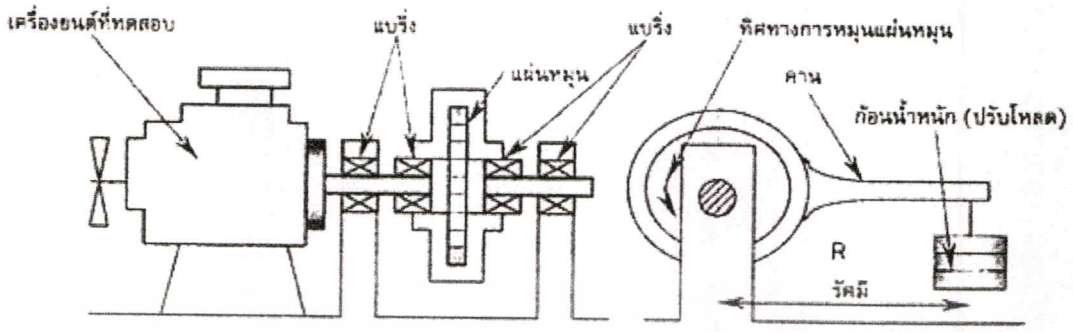
การวัดแรงม้าเบรคไฮดรอลิคจริงแล้วมีหลักการไม่แตกต่างไปจากแบบโพรนีเบรคหรือแบบไดนาโมมิเตอร์แบบสายพานดังที่กล่าวมาแล้ว เพียงแต่สอบแบบแรกนั้นอาศัยความฝืดของผ้าเบรคหรือสายพาน สำหรับแบบนี้จะใช้ของเหลวเป็นตัวสร้างความฝืดนั่นเอง ไฮดรอลิคไดนาโมมิเตอร์ที่มีใช้ในปัจจุบันมีอยู่หลายแบบ แต่โดยหลักการทำงานจะไม่ต่างกันมากนัก เช่น แบบอาศัยความหนืด และแบบอาศัยโมเมนตัมของของเหลว ดังมีรายละเอียดคือ

3.3.2.3.1 ไฮดรอลิคไดนาโมมิเตอร์แบบความหนืด (Friction type)

ไดนาโมมิเตอร์แบบนี้จะใช้ความหนืดของของเหลว เช่นความหนืดของน้ำหรือน้ำมันเป็นตัวสร้างความฝืด ส่วนประกอบสำคัญได้แก่แผ่นหมุน (Disk) ซึ่งจะประกอบอยู่ในตัวเรือน (Casing) ภายในบรรจุน้ำหรือน้ำมันไว้ เมื่อต่อการส่งกำลังเครื่องยนต์ที่จะทำการทดสอบไปหมุนแผ่นหมุน แผ่นหมุนจะส่งกำลังไปยังตัวเรือนโดยอาศัยความหนืดของของเหลว นั่นก็หมายความว่าตัวเรือนจะพยายามหมุนตามชุดขับ (แผ่นหมุน) เพื่อที่จะวัดแรงบิดที่ส่งมาจากเครื่องยนต์ กระทำโดยนำก้อนน้ำหนักไปวางต้นการหมุนไว้เพื่อให้คานอยู่ในแนวระดับ หากต้องการทราบแรงบิดสูงสุดของเครื่องยนต์ต้นกำลัง กระทำโดยเร่งรอบเครื่องยนต์ขึ้นพร้อมกับโหลดก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนเครื่องยนต์ไม่สามารถรับโหลดไว (เครื่องยนต์อาจดับหรือคานไม่สามารถคงตัวอยู่ในแนวระดับได้) รูปแสดงไฮดรอลิคไดนาโมมิเตอร์แบบความหนืดอย่างง่ายดังแสดงในภาพที่ 3.8



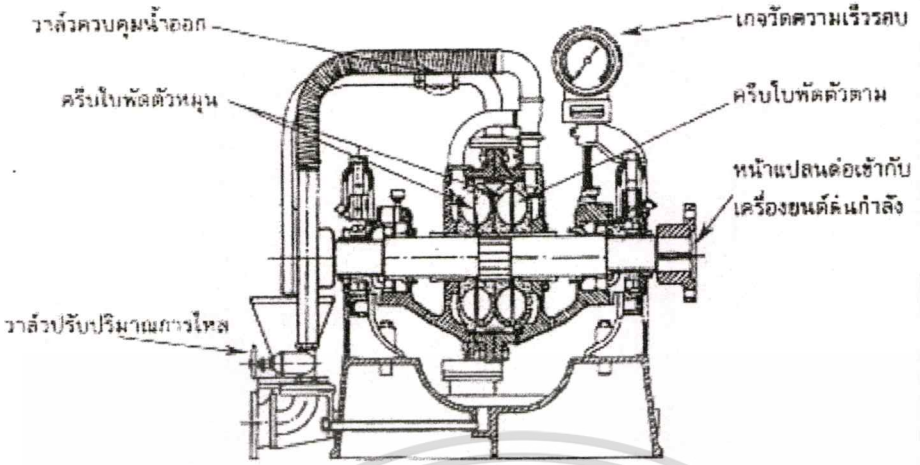
รูป 3.8 ลักษณะโครงสร้างไฮดรอลิคไดนาโมมิเตอร์

ที่มา : เสมอขวัญ ตันติกุล.2544

3.3.2.3.2 ไฮดรอลิคไดนาโมมิเตอร์แบบแอจิเตเตอร์ (Agitator type)

ไดนาโมมิเตอร์แบบแอจิเตเตอร์ (Agitator) อาจเรียกอีกชื่อหนึ่งคือแบบโมเมนตัม ไดนาโมมิเตอร์แบบนี้จะอาศัยโมเมนตัมของของเหลวเปลี่ยนเป็นแรงบิด โดยโครงสร้างของไดนาโมมิเตอร์แบบนี้จะมีชุดเปลี่ยนโมเมนตัมเป็นแรงบิด ซึ่งหลักการทำงานคล้ายการทำงานของทอร์คคอนเวอร์เตอร์ของชุดเกียร์อัตโนมัติ โดยมีครีบใบพัดตัวหมุน (Rotor) และครีบใบพัดตัวตาม (Stator) และมีของเหลวไหลวนระหว่างใบพัดทั้งสอง เมื่อเครื่องยนต์ต้นกำลังส่งแรงขับมายังชุดครีบใบพัดตัวหมุน ชุดครีบใบพัดตัวหมุนจะผลักของเหลวให้ไปกระทบกับครีบใบพัดตัวตามซึ่งจะยึดติดกับตัวเรือน (Casing) มีผลทำให้ตัวเรือนเกิดแรงกระทำให้หมุนตามใบพัดตัวขับ เพื่อหาแรงบิดของเครื่องยนต์ต้นกำลังกระทำโดยปรับเพิ่มหรือลดปริมาณของเหลวที่ส่งเข้าไปยังไดนาโมมิเตอร์ ข้อดีของไดนาโมมิเตอร์แบบนี้คือ สามารถทดสอบเครื่องยนต์ต้นกำลังในขอบเขตที่กว้างมากคือสามารถทดสอบเครื่องยนต์ตั้งแต่ 50 แรงม้า ถึง 100,000 แรงม้า สำหรับไฮดรอลิคไดนาโมมิเตอร์อย่างง่าย แสดงในภาพที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.9 ลักษณะโครงสร้างสำหรับไฮดรอลิคไดนาโมมิเตอร์แบบแอจิเตเตอร์

ที่มา : เสมอขวัญ ตันติกุล.2544

สำหรับไฮดรอลิคไดนาโมมิเตอร์นั้นการหาแรงม้าเบรคก็ยังคงใช้สูตรเดียวกันแบบโพรนีเบรค และการหาแรงบิดก็เหมือนกับแบบโพรนีเบรค คือ

$$T = WR \tag{3.26}$$

เมื่อ T = แรงบิดที่เกิดจากเครื่องยนต์ (N·m)

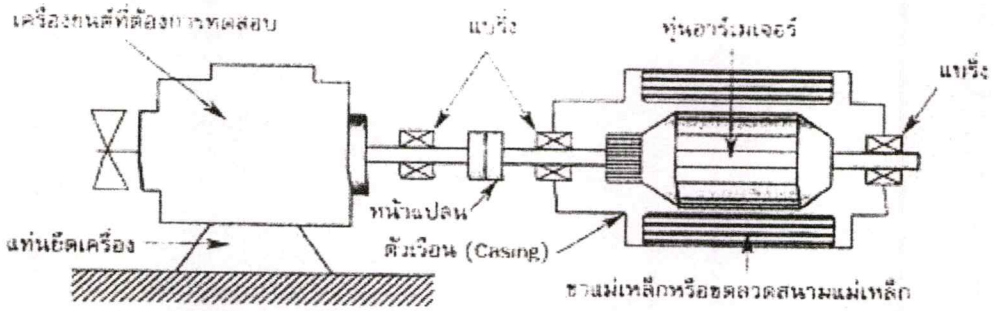
W = มวลก้อนน้ำหนักที่ใช้แขวนบนถาด (N)

R = แขนของแรง (m)

3.3.2.4 ไดนาโมมิเตอร์แบบไฟฟ้า (Electrical dynamometer)

ไดนาโมมิเตอร์แบบไฟฟ้าบางทีอาจมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เอ็ดดี้เคอร์เรนท์ไดนาโมมิเตอร์ (Eddy current dynamometer) ก็ได้ เพราะโดยหลักการทดสอบจะนำเยนเนอเรเตอร์ (ไดนาโมหรือเครื่องกำเนินกระแสไฟฟ้า) มาติดตั้งอยู่บนเพลาซึ่งมีแบริ่งรองรับ (ตัวเรือนเยนเนอเรเตอร์หมุนอิสระ) ขณะเดียวกันจะต่อเพลาของอาร์เมเจอร์ (ทุ่นขดลวดตัวหมุน) เข้ากับเครื่องยนต์ เมื่อเครื่องยนต์หมุน ทุ่นอาร์เมเจอร์ก็จะหมุนด้วย สนามแม่เหล็กที่อยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กซึ่งอยู่กับที่กับทุ่นอาร์เมเจอร์จะบังคับให้ตัวเรือนของเยนเนอเรเตอร์หมุนตามทุ่นอาร์เมเจอร์ ในทิศทางเดียวกัน ซึ่งก็จะสามารถหาแรงบิดที่เกิดขึ้นได้แล้วนำมาคำนวณเป็นแรงม้าของเครื่องยนต์ได้สำหรับรูปไดนาโมมิเตอร์อย่างง่าย แสดงในภาพที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.10 ลักษณะโครงสร้างสำหรับไดนาโมมิเตอร์แบบไฟฟ้า
ที่มา : เสมอขวัญ ตันติกุล.2544

สำหรับการหาแรงม้าเครื่องยนต์โดยนำเยเนอเรเตอร์มาต่อกับเครื่องยนต์แล้ววัดเอาท์พุต (Out put) ที่ได้ของเยนเนอเรเตอร์มาคำนวณหาค่าแรงม้าเลยทีเดียวก็สามารถกระทำได้ แต่การวัดแบบนี้ไม่ค่อยเป็นที่ยอมรับเท่าใดนัก เนื่องจากจะต้องมีการปรับแก้ค่าประสิทธิภาพของเยนเนอเรเตอร์ ซึ่งประสิทธิภาพของเยนเนอเรเตอร์มีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้อง เช่น ความเร็วรอบและอุณหภูมิ เป็นต้น ทำให้การทดสอบในกรณีที่ 2 นี้ไม่เป็นที่นิยม

เมื่อพิจารณากำลังเบรคที่ได้จากไดนาโมมิเตอร์ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

จาก งาน = แรง x ระยะทาง (รัศมีที่แรงกระทำใน 1 รอบ)

$$= 2\pi T \quad (T = Fr) \tag{3.27}$$

เมื่อเครื่องยนต์หมุน N รอบต่อนาที จะได้ $= 2\pi NT$ = กำลังเบรค

กรณีพิจารณาเอาท์พุตของเยนเนอเรเตอร์จะได้ว่า

$$P = VI \tag{3.28}$$

เมื่อ P = กำลังไฟฟ้า (W)

V = แรงเคลื่อนไฟฟ้า (V)

I = กระแสไฟฟ้า (A)

หากประสิทธิภาพของเยนเนอเรเตอร์มีค่าเข้าใกล้ 100% กำลังที่ได้จากทั้ง 2 วิธี จะไม่แตกต่างกัน

3.3.2.5 แซสซิสไดนาโมมิเตอร์ (Chassis dynamometer)

แซสซิสไดนาโมมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบหาแรงม้าเครื่องยนต์ที่ติดตั้งอยู่บนรถยนต์ คือ ทดสอบหาแรงม้าเครื่องยนต์ที่ประกอบเป็นรถยนต์ทั้งคันแล้ว ซึ่งการทดสอบรถยนต์สามารถกระทำโดยทดสอบบนถนน (Road test) แต่เนื่องจากควบคุมตัวแปรหรือปัจจัยต่าง ๆ ได้ยาก เช่น สภาพถนนที่ใช้ทดสอบมีความหลากหลายหรือมีลักษณะที่แตกต่างกัน ผลกระทบ

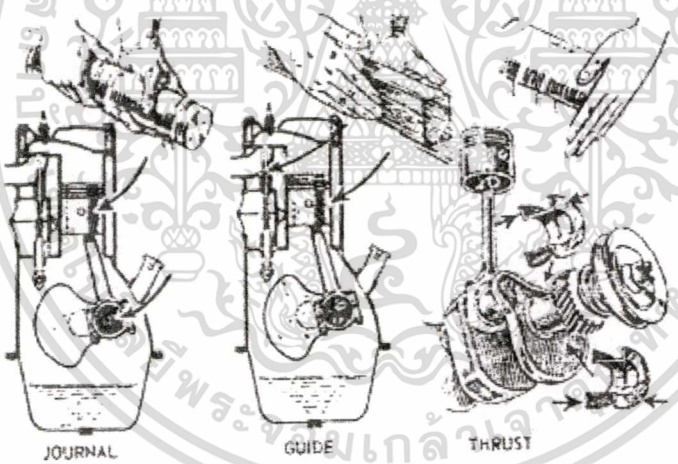
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแรงต้นของลม (Wind resistance) และลักษณะผิวสัมผัสยางกับถนนที่ไม่สามารถควบคุมได้หรือควบคุมยาก เป็นต้น ดังนั้นการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยใช้แซสซิสไดนาโมมิเตอร์เพราะออกแบบให้รถยนต์วิ่งอยู่บนลูกกลิ้งของไดนาโมมิเตอร์โดยที่รถไม่มีการเคลื่อนที่อุปกรณ์ต่อวัดและการควบคุมโหลดกระทำได้ง่าย

3.3.3 การวัดแรงม้าความฝืด (Friction horsepower)

แรงม้าความฝืด คือ แรงม้าที่ต้องสูญเสียอันเนื่องมาจากความฝืดที่เกิดขึ้นภายในเครื่องยนต์ซึ่งความฝืดดังกล่าวมาจากแหวนลูกสูบกับผนังกระบอกสูบ จากเจอนัลแบริ่ง และความฝืดจากแรงเบียดด้านข้าง เป็นต้น ลักษณะความฝืดที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มและแสดงเป็นภาพให้เข้าใจง่าย ๆ ดังภาพที่ 3.11

จากภาพที่ 3.11 จะเห็นว่าความฝืดที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์โดยทั่วไปจะมี 3 ลักษณะ คือ ความฝืดในลักษณะเพลาหมุน (Journal) เช่นที่แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยง ก้านสูบ สลักลูกสูบ และจุดรองรับเพลาที่มีการหมุนต่าง ๆ ความฝืดในลักษณะการเคลื่อนที่ขึ้นลง (Guide) เช่นที่ลูกสูบ ก้านลิ้น ลูกกระทุ้งลิ้น เป็นต้น และความฝืดในลักษณะเกิดการเบียดด้านข้าง (Thrust) เช่นที่แบริ่งรองรับการเบียดด้านข้าง (แบริ่งกันรุน) เป็นต้น

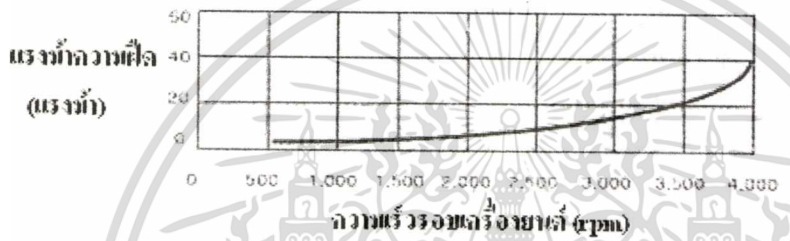


ภาพที่ 3.11 ลักษณะและแหล่งที่ก่อให้เกิดความความฝืด
ที่มา : เสมอขวัญ ตันติกุล.2544

จากภาพที่ 3.11 จะเห็นว่าความฝืดที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์โดยทั่วไปจะมี 3 ลักษณะ คือ ความฝืดในลักษณะเพลาหมุน (Journal) เช่นที่แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยง ก้านสูบ สลักลูกสูบ และจุดรองรับเพลาที่มีการหมุนต่าง ๆ ความฝืดในลักษณะการเคลื่อนที่ขึ้นลง (Guide) เช่นที่ลูกสูบ ก้านลิ้น ลูกกระทุ้งลิ้น เป็นต้น และความฝืดในลักษณะเกิดการเบียดด้านข้าง (Thrust) เช่นที่แบริ่งรองรับการเบียดด้านข้าง (แบริ่งกันรุน) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสูญเสียอันเนื่องมาจากความฝืด (Friction losses) ในเครื่องยนต์มักจะกล่าวถึงในรูปของแรงม้าความฝืด (Friction losses) ในเครื่องยนต์มักจะกล่าวถึงในรูปของแรงม้าความฝืด (Friction horsepower) ซึ่งแรงม้าความฝืดหมายถึงจำนวนแรงม้าที่ต้องการเพื่อเอาชนะความสูญเสียเนื่องจากความฝืดในเครื่องยนต์ วิธีการหาแรงม้าความฝืด โดยเตรียมเครื่องยนต์ให้พร้อม โดยให้เครื่องยนต์ทำงานจนถึงอุณหภูมิทำงาน จากนั้นดับเครื่องยนต์ ตัดการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิง และเปิดลิ้นเร่งให้กว้างสุด จากนั้นขับเครื่องยนต์ให้หมุนโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าภายใต้สภาพดังกล่าวนี้สามารถหาจำนวนกำลังที่ต้องการเพื่อขับเครื่องยนต์ให้หมุนที่ความเร็วรอบต่าง ๆ โดยที่ความเร็วรอบต่ำเครื่องยนต์จะมีความฝืดน้อย แต่เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงขึ้นปริมาณความฝืดจะมีเพิ่มขึ้น ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างแรงม้าความฝืดกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ดังแสดงในภาพที่ 3.12



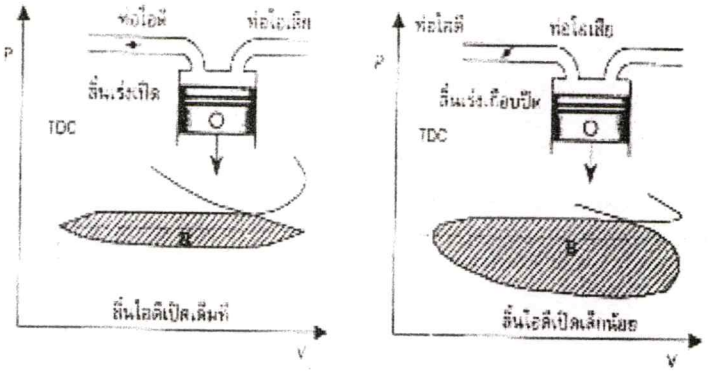
ภาพที่ 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงม้าความผืดกับความเร็วรอบ

ที่มา : เสมอขวัญ ตันติกุล.2544

จากภาพที่ 3.12 จะเห็นว่าที่ความเร็วรอบต่ำ ความฝืดเครื่องยนต์จะยังไม่มาก แต่เมื่อเครื่องยนต์มีความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น ความฝืดก็จะสูงขึ้นตามด้วย แม้จะไม่เป็นปฏิภาคตรง แต่จะเห็นว่าที่ความเร็วรอบสูง ๆ ความฝืดจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนที่สูงมาก

ความจริงแล้วการสูญเสียในลักษณะของความฝืดนอกจากที่กล่าวมาแล้วยังมีความฝืดจากความเสียดทานต่าง ๆ เช่น ในเครื่องยนต์ 4 จังหวะ มีความฝืดจากการดูดไอดี การคายไอเสีย การขับอุปกรณ์ประกอบเครื่องยนต์ต่าง ๆ เช่น ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง ปั๊มน้ำมันหล่อลื่น ปั๊มน้ำมันหล่อเย็น เป็นต้น สำหรับการสูญเสียเนื่องจากการดูดไอดีในขณะที่ลิ้นเร่งเปิดและเกือบปิด ดังภาพที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.13 การเปรียบเทียบการสูญเสียในการดูดไอดีที่ตำแหน่งลิ้นเร่งเปิดและเกือบเปิด
ที่มา : เสมอขวัญ ตันติกุล.2544

3.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงม้าเบรค แรงม้าบ่งชี้ และแรงม้าความฝืด

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่ากำลังม้าเบรค คือ กำลังที่ส่งออกจากเครื่องยนต์เพื่อนำไปใช้งาน หรืออาจกล่าวได้ว่าแรงม้าเบรคเป็นแรงม้าสุทธิที่ได้จากเครื่องยนต์ ส่วนแรงม้าบ่งชี้ คือ แรงม้าที่ได้จากกระบอกสูบ หรือเป็นแรงม้าที่เกิดจากกำลังดันที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้หรือกระบอกสูบ และสำหรับแรงม้าความฝืด คือ แรงม้าของเครื่องยนต์ที่ต้องการเพื่อเอาชนะความฝืดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์ ซึ่งแรงม้าต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วมีความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

เมื่อกำหนดให้ ***B.H.P.*** = แรงม้าเบรค
I.H.P. = แรงม้าบ่งชี้
F.H.P. = แรงม้าความฝืด

ดังนั้น แรงม้าเบรค = แรงม้าบ่งชี้ - แรงม้าฝืด

หรือ $$B.H.P. = I.H.P. - F.H.P. \quad (3.29)$$

หรือ อาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าแรงม้าที่เครื่องยนต์ส่งออกมาได้จริง เท่ากับแรงม้าที่เกิดขึ้นในกระบอกสูบลบด้วยแรงม้าที่สูญเสียเนื่องจากความฝืด

จากสมการ เราสามารถเปลี่ยนรูปได้ตามเงื่อนไขต่าง ๆ ตามที่ต้องการ

$$I.H.P. = B.H.P. + F.H.P.$$

$$F.H.P. = I.H.P. - B.H.P. \quad (3.30)$$

3.3.5 ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ (Engine efficiency)

ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ หมายถึง ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่เครื่องยนต์ได้รับ (พลังงานที่เกิดจากการสันดาปเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้) ซึ่งเป็นพลังงานที่ถือว่าไม่มีการสูญสีย หรือมีค่าเท่ากับ 100% กับกำลังที่เครื่องยนต์สามารถส่งออกได้จริง (เครื่องยนต์ คืออุปกรณ์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนพลังงามความร้อนเป็นพลังงานกล) แต่ในเครื่องยนต์จริงพลังงานความร้อนไม่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานกลได้หมดเนื่องจากเกิดการสูญเสียในกรณีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. สูญเสียความร้อนบางส่วนไปกับการคายไอเสีย
2. สูญเสียไปกับระบบระบายความร้อนหรือระบบหล่อเย็น
3. สูญเสียความร้อนบางส่วนที่ห้องเผาไหม้ เช่น ฝาสูบ ผนังกระบอกสูบ
4. สูญเสียไปกับการเอาชนะความฝืดที่จุดต่าง ๆ ภายในเครื่องยนต์
5. สูญเสียความร้อนไปกับระบบหล่อลื่น
6. สูญเสียความร้อนไปกับการแผ่รังสีความร้อนตามส่วนผิวของชิ้นส่วนเครื่องยนต์
7. สูญเสียกับการนำพลังงานกลบางส่วนไปขับอุปกรณ์ประกอบ เช่น ปั๊มน้ำมันหล่อลื่น ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง ปั๊มน้ำหล่อเย็น อัลเตอร์เนเตอร์ เป็นต้น

ประสิทธิภาพเครื่องยนต์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ ประสิทธิภาพทางกล ประสิทธิภาพความร้อน และประสิทธิภาพความจุ ดังมีรายละเอียด คือ

3.3.5.1 ประสิทธิภาพทางกล (Mechanical efficiency)

ประสิทธิภาพทางกลของเครื่องยนต์ เป็นอัตราส่วนของกำลังที่เครื่องยนต์ส่งออกมาได้จริง (กำลังม้าเบรค) กับกำลังที่ได้จากกระบอกสูบของเครื่องยนต์ (กำลังม้าบ่งชี้) ที่ความเร็วรอบต่อนาทีที่เท่ากัน โดยปกติทั่วไปกำลังที่ส่งออกหรือกำลังม้าเบรคจะมีค่าน้อยกว่ากำลังม้าที่ผลิตได้จากกระบอกสูบ เนื่องจากต้องมีการสูญเสียกำลังม้าบางส่วนไปกับการเอาชนะความฝืดจากจุดสัมผัสที่มีการหมุนหรือเคลื่อนที่ ดังนั้นประสิทธิภาพทางกลมีสูตรดังนี้ คือ

$$\text{Mechanical Efficiency} = 1 - \frac{Engine Losses}{I.H.P.} \qquad (3.31)$$

โดยทั่วไปประสิทธิภาพทางกลของเครื่องยนต์สันดาปภายในจะมีค่าประมาณ 80-90% เครื่องยนต์แก๊สโซลีนจะมีประสิทธิภาพทางกลประมาณ 86-93% ขณะที่เครื่องยนต์ดีเซลที่มีขนาดเท่ากันจะมีประสิทธิภาพทางกลประมาณ 83-86% ปกติค่าประสิทธิภาพทางกลจะมีค่าสูงเมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบต่ำ แต่ที่ความเร็วรอบสูงขึ้นประสิทธิภาพทางกลจะลดลง การเพิ่มประสิทธิภาพทางกลอาจโดยการออกแบบแบริ่งหรือจุดที่ทำให้เกิดความฝืดและแรงต้านให้เหลือความฝืดให้น้อยที่สุด อุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ ต้องออกแบบให้ใช้กำลังเครื่องยนต์ให้น้อยที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุดนั่นเอง

3.3.5.2 ประสิทธิภาพความร้อน (Thermal efficiency)

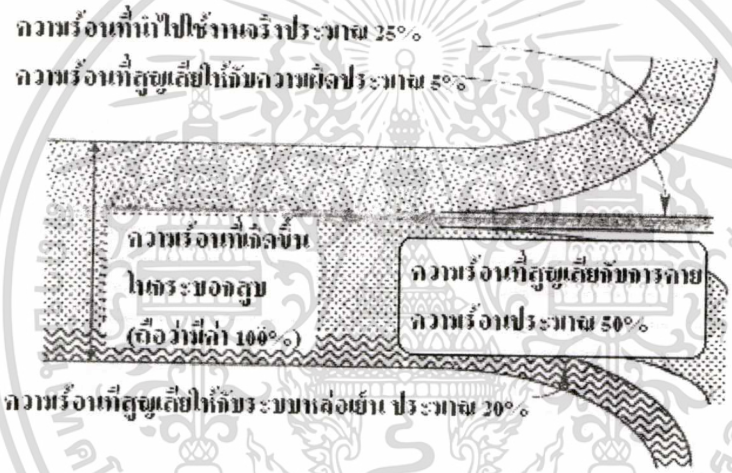
ประสิทธิภาพทางความร้อนเครื่องยนต์เป็นความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่เครื่องยนต์ส่งออก (Power output) กับพลังงาน (Energy) ที่เกิดจากการสันดาปน้ำมันเชื้อเพลิงความร้อนที่ได้จากการสันดาปเชื้อเพลิงเราไม่สามารถนำมาใช้ได้ทั้งหมด เพราะความร้อนบางส่วนต้องสูญเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้กับระบบหล่อเย็น (Cooling) ระบบหล่อลื่น (Lubricating) และสูญเสียไปกับการระบายก๊าซร้อนหรือไอเสีย ซึ่งถือว่ามีปริมาณการสูญเสียมากที่สุดในเครื่องยนต์ การสูญเสียความร้อนดังกล่าวเป็นเหตุให้ประสิทธิภาพความร้อนลดลง

ประสิทธิภาพความร้อนสามารถหาได้จากหลายกรณีบางครั้งอาจหาได้จากกำลังม้านอินดิเคต เรียกว่าประสิทธิภาพทางความร้อนบ่งชี้หรือฐานอินดิเคต (Indicated thermal efficiency; η_{it}) หรืออาจหาจากกำลังม้าเบรค ซึ่งเรียกว่าประสิทธิภาพทางความร้อนเบรคหรือบนฐานเบรค (Brake thermal efficiency ; η_{bt}) สำหรับการสูญเสียความร้อนในเครื่องยนต์ดังแสดงในภาพที่ 3.14

จากรูป 3.14 แสดงให้เห็นว่าพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นเท่ากับ 100% สูญเสียให้กับระบบหล่อเย็นประมาณ 20 % สูญเสียให้กับระบบการเอาชนะความฝืดประมาณ 5%และสูญเสียให้กับการคายไอเสียประมาณ 50% ดังนั้นพลังงานความร้อนที่เหลือที่จะนำไปใช้งานจริง ๆ ประมาณ 25 % เท่านั้น



ภาพที่ 3.14 ความร้อนที่ได้รับและสูญเสียให้กับระบบ
ที่มา : เสมอขวัญ ตันติกุล.2544

จากที่กล่าวมาแล้วว่าประสิทธิภาพความร้อนเป็นอัตรส่วนระหว่างงานกลที่ได้กับพลังงานความร้อนที่ใส่ให้เครื่องยนต์ โดยประสิทธิภาพความร้อนจะคิดจากฐานแรงม้าบ่งชี้หรือแรงม้าเบรค ดังสูตร

$$\eta_{it} = \frac{I.H.P}{Q_A} \qquad (3.32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับประสิทธิภาพความร้อนที่คิดบนฐานแรงม้าเบรค

$$\eta_{bt} = \frac{B.H.P}{Q_A} \tag{3.33}$$

การหาประสิทธิภาพทางความร้อนจำเป็นที่จะต้องทราบงานหรือแรงม้าที่ได้จากเครื่องยนต์ มวลหรือปริมาตรเชื้อเพลิงที่ใช้ต่อเวลา และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้ ดังนั้นสมการที่ใช้หาค่าประสิทธิภาพทางความร้อน คือ

$$\text{ประสิทธิภาพความร้อน } \eta_t = \frac{hp}{m \times cv} \tag{3.34}$$

เมื่อ hp = แรงม้าเครื่องยนต์ (แรงม้าเบรคหรือแรงม้าบ่งชี้)

m = มวลเชื้อเพลิงที่ใช้ต่อเวลา เช่น kg/sec, kg/min
หากเป็นเชื้อเพลิงแก๊สอาจเป็น m^3 /sec

cv = ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง มีหน่วยเป็น j/kg

3.3.5.3 ประสิทธิภาพสัมพันธ์ (Relative efficiency)

ประสิทธิภาพสัมพัทธ์คืออัตราส่วนระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จริงหรือวัฏจักรการทำงานจริง (Actual cycle) ต่อประสิทธิภาพทางอุดมคติ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\eta_R = \frac{\eta_{it}}{\eta_{id}} \tag{3.35}$$

เมื่อ η_R = ประสิทธภาพสัมพัทธ์

η_{it} = ประสิทธิภาพเครื่องยนต์จริง

η_{id} = ประสิทธิภาพทางทฤษฎีหรือประสิทธิภาพทางอุดมคติ

ประสิทธิภาพสัมพัทธ์เป็นตัวชี้ถึงคุณภาพในการออกแบบเครื่องยนต์ว่าสามารถออกแบบเข้าใกล้อุดมคติมากน้อยเพียงใด นั่นก็หมายความว่าประสิทธิภาพสัมพัทธ์ยิ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าเครื่องยนต์ดังกล่าวมีประสิทธิภาพสูงและเข้าใกล้วัฏจักรทางอุดมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5.4 ประสิทธิภาพความจุ (Volumetric efficiency)

ประสิทธิภาพความจุ หมายถึง อัตราส่วนจำนวนไอดีที่สามารถถูกดูดเข้ามาได้จริงในกระบอกสูบต่อจำนวนไอดีที่ควรเข้ามาในกระบอกสูบได้ตามทฤษฎี (ภายใต้อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน) ดังนั้นสูตรที่ได้ คือ

$$\text{ประสิทธิภาพความจุ} = \frac{\text{จำนวนไอดีที่ดูดเข้ามาได้จริง}}{\text{จำนวนไอดีที่ดูดเข้ามาได้ทางทฤษฎี}} \qquad (3.36)$$

การดูดไอดีเข้ากระบอกสูบถือว่าเป็นเครื่องชี้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์อีกทางหนึ่งนั่นก็หมายความว่า ถ้าเครื่องยนต์สามารถดูดไอดีเข้ามาเท่ากับหรือใกล้เคียงกับปริมาตรดูดไอดีทางทฤษฎี ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ก็จะสูงขึ้น แต่เนื่องจากไอดีต้องผ่านท่อทางแคบ ๆ และคดงอทั้งในคาร์บูเรเตอร์และท่อร่วมไอดีด้วยความเร็วสูง นอกจากนี้ไอดีต้องสัมผัสกับความร้อนทั้งจากเครื่องยนต์และท่อไอเสีย ทำให้อุณหภูมิไอดีสูงขึ้น มีผลให้ไอดีเกิดการขยายตัว จากเหตุผลดังกล่าวมีผลให้จำนวนไอดีที่บรรจุเข้ากระบอกบรรจุได้น้อยลง จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่า ที่ความเร็วรอบปานกลางประสิทธิภาพความจุไอดีจะมีค่าประมาณ 80% แต่ที่ความเร็วรอบสูง ประสิทธิภาพความจุจะลดลงเหลือประมาณ 50% เท่านั้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นเป็นเหตุผลทำให้กำลังที่ส่งออก (Out Put) ของเครื่องยนต์ลดลงเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น เพราะที่ความเร็วรอบสูงเครื่องยนต์จะมีระยะเวลาในการดูดไอดีสั้นมาก และไอดียังบรรจุเข้ากระบอกสูบไม่สะดวกจึงให้กำลังที่ได้ลดลง เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าวเครื่องยนต์รุ่นใหม่จึงออกแบบให้ไอดีสามารถบรรจุเข้ากระบอกสูบได้มากขึ้นที่ความเร็วรอบสูง เช่น เพิ่มความโตของลิ้นไอดี เพิ่มจำนวนลิ้นไอดีให้มากขึ้น หรือที่ความเร็วรอบสูงลิ้นไอดีจะมีระยะยกมากกว่าปกติ เป็นต้น

3.3.5.5 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (Fuel consumption)

ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการชี้ถึงสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์อีกประการหนึ่ง และเป็นปัจจัยสำคัญในการพิจารณาเลือกใช้เครื่องยนต์แต่ละเครื่องได้เช่นกัน โดยปกติประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ได้จากความสามารถในการทำงานหรือกำลังส่งออกที่เพลาที่ได้ต่อปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้หมดไปต่อเวลา ดังนั้นอัตราส่วนการใช้เชื้อเพลิงต่อเวลา ต่อกำลังที่เครื่องยนต์ผลิตได้เรียกว่า ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ซึ่งปกติจะสามารถหาได้ 2 ลักษณะ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5.5.1 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบนฐานบ่งชี้ (Indicatedspecific fuel consumption;isfc)

ความสิ้นเปลืองจำเพาะบนฐานบ่งชี้หมายถึงปริมาณหรือมวลเชื้อเพลิงที่ใช้หมดไปต่อแรงม้าบ่งชี้หรือกำลังบงชี้ ดังสมการ

$$isfc = \frac{m_f}{I.H.P \times hr} \tag{3.37}$$

เมื่อ $isfc$ = ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบนฐานบ่งชี้ kg/kW-hr, m^3/kW

m_f = ปริมาณหรือมวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ kg/kW, m^3/kW

$I.H.P.$ = แรงม้าบ่งชี้ kW

hr = หน่วยเวลาเป็นชั่วโมง

3.3.5.5.2 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบนฐานเบรก (Brake specific fuel consumption;bsfc)

ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบนฐานเบรค หมายถึง ปริมาณหรือมวลเชื้อเพลิงที่ใช้หมดไปต่อแรงม้าเบรคหรือกำลังเบรคที่ได้ ดังสมการ

$$\text{ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบนฐานเบรค} = \frac{\text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้}}{\text{แรงม้าเบรค x หน่วยเวลา}} \tag{3.38}$$

3.3.5.6 การสมดุลความร้อน (Heat balance)

การสมดุลความร้อนคือการวิเคราะห์ปริมาณความร้อนที่ได้จากการสันดาปเชื้อเพลิงว่าสามารถเปลี่ยนเป็นงานกล (งานเพลา) ในปริมาณเท่าใด มีการสูญเสียไปกับส่วนใดบ้างเพราะเป็นที่ทราบกันในเบื้องต้นแล้วว่าความร้อนที่ได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นงานกลส่งออกที่เพลาไม่ถึง 50% ส่วนใหญ่สูญเสียไปกับการคายไอเสีย ระบบหล่อเย็นและอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมดุลความร้อนของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนและเครื่องยนต์ดีเซล

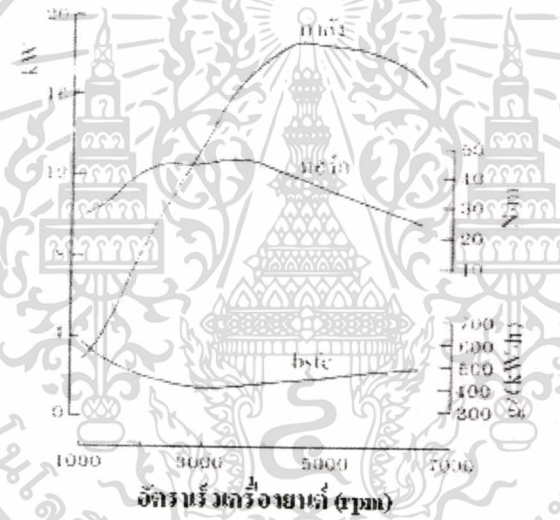
ลำดับ	รายการความร้อนทั้งหมด	เครื่องยนต์แก๊สโซลี(%)	เครื่องยนต์ดีเซล (%)
1	เปลี่ยนเป็นพลังงานกล	20-28	32-40
2	สูญเสียไปกับการคายไอเสีย	30-37	23-30
3	สูญเสียไปกับระบบหล่อเย็น	32-85	30-33
4	สูญเสียไปกับการแผ่รังสี	8-10	5-7

ที่มา : เสมอขวัญ ตันติกุล.2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

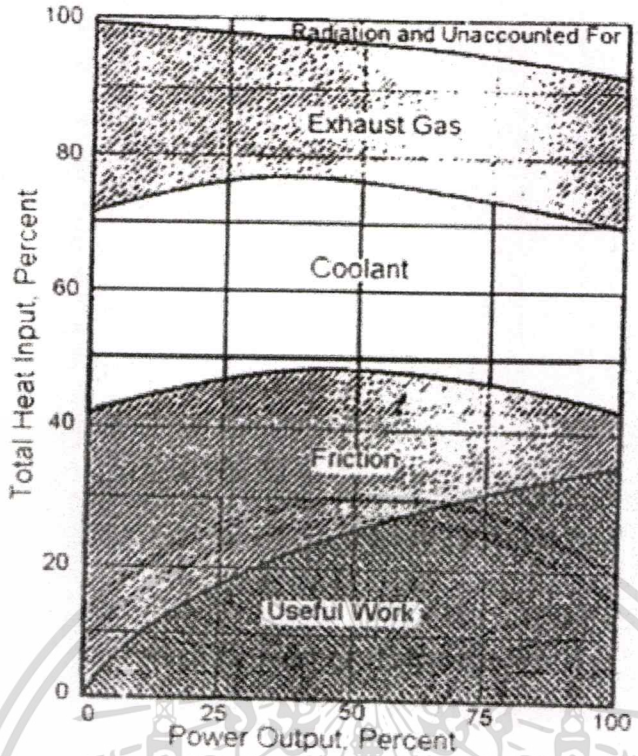
สำหรับการทำสมดุลความร้อนเพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ถึงความร้อนที่เปลี่ยนเป็นงานกล หรือสูญเสียไปกับระบบต่าง ๆ ในสัดส่วนเท่าใด หรืออาจนำข้อมูลมาสร้างแผนภาพสมดุลความร้อน และการทำสมดุลความร้อนจำเป็นต้องรู้ข้อมูลต่าง ๆ คือ กำลังส่งออกของเครื่องยนต์ งานที่ต้องเอาชนะความฝืด การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง อัตราเร็ว ภาระเครื่องยนต์ อัตราการไหลน้ำหล่อเย็นและไอเสียต่อเวลา อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าหรือออก อุณหภูมิไอเสีย เป็นต้นสำหรับแผนภาพสมดุลความร้อนดังแสดงในภาพที่ 3.15

ในเครื่องยนต์มีการสูญเสียความร้อนมากกว่าในแผนภาพสมดุลความร้อนที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เช่น มีการสูญเสียความร้อนให้กับผนังกระบอกสูบ ลิ้น ฝาสูบ มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างไอดีกับไอเสียตกค้าง สูญเสียความร้อนเพื่อเอาชนะความฝืด ระบบหล่อลื่น เป็นต้น ซึ่งรายละเอียดดังกล่าวสามารถแสดงได้ในแผนภาพสมดุลความร้อนแบบแซนดี (Sankey) ดังภาพที่ 3.16



รูป 3.15 กราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยทั่วไป
ที่มา : เสมอขวัญ ตันติกุล.2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.16 แผนภาพสมดุลความร้อนแบบแซนคี (Sankey)

ที่มา : เสมอขวัญ ตันติกุล.2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
เครื่องยนต์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ และวิธีการทดสอบ

การทดสอบการใช้น้ำมันไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์เรือประมง ในห้องปฏิบัติการ (Laboratory test) มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาถึงสมรรถนะของเครื่องยนต์เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ตลอดจนดูผลกระทบของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์เรือประมง ในด้านความทนทานของเครื่องยนต์ (Durability test) โดยใช้รูปแบบการทดสอบที่เรียกว่า " 200-hr Screening Test for Alternative Fuels " ซึ่งเป็นมาตรฐานการทดสอบที่กำหนดโดย The Alternative Fuels Committee of the Engine Manufacture's Association; EMA-1982 (Dept. of Energy, 1982) โดยทดสอบกับเครื่องยนต์เรือประมงแบบลากเดี่ยว ขนาดความเร็วรอบกลาง 2 ยี่ห้อ ได้แก่ 1) เครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 , 2) เครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M จำนวนยี่ห้อละ 1 เครื่อง

สำหรับเชื้อเพลิง 4 ชนิด ได้แก่ น้ำมันดีเซล (Diesel), B20, B50, และ B100 ทดสอบตามมาตรฐานดังกล่าวข้างต้น เป็นระยะเวลาสะสม 500 ชั่วโมง เพื่อประเมินผลกระทบของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีต่อสมรรถนะต่างๆ ของเครื่องยนต์ ได้แก่ 1) กำลัง (Power), 2) แรงบิด (Torque), 3) อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง(Fuel consumption), 4) มลพิษที่เกิดขึ้น (Emissions index), และ 5) การสึกหรอของของเครื่องยนต์ (Engine wear) โดยพิจารณาจากน้ำหนักแหวนลูกสูบก่อนและหลังการทดสอบ สิ่งปนเปื้อนประเภทโลหะและอโลหะในน้ำมันเครื่อง (Impurities in engine oil) สุ่มเก็บตามชั่วโมงการทำงานที่กำหนดไว้

เป้าหมายของการทดสอบในห้องปฏิบัติการนี้ เพื่อหาสาเหตุและปัญหาที่อาจจะเกิดกับเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ในระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งเป็นระยะเวลาที่เพียงพอ แต่มิได้เป็นการทดสอบเพื่อเป็นการรับประกันเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันไบโอดีเซล ว่าจะไม่ก่อความเสียหายขึ้นตลอดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ แต่ผลที่ได้รับจากการทดสอบนี้ จะนำมาวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้น ก่อนที่จะนำไปสู่การทดสอบการใช้ภาคสนามกับเรือประมง (Field test) แล้วนำไปประเมินผลจากบริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายเครื่องยนต์เรือประมงต่อไป

4.1 วิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

4.1.1 น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

ในการดำเนินโครงการฯ ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งหมด 4 ชนิด คือ

- น้ำมันดีเซล 100 % ใช้อักษรย่อ "Diesel"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- น้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วน 80 : 20 โดยปริมาตร ใช้อักษรย่อ "B20"
- น้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วน 50 : 50 โดยปริมาตร ใช้อักษรย่อ "B50"
- น้ำมันไบโอดีเซล 100% ใช้อักษรย่อ "B100"

4.1.2 เครื่องยนต์เรือประมงที่ใช้ในการทดสอบ

นำเครื่องยนต์เรือประมงทั้ง 2 ยี่ห้อ ๆ ละ 4 เครื่อง แต่ละยี่ห้อนั้นเป็นรุ่นเดียวกัน ดังนี้

1) เครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 จำนวน 4 เครื่อง

2) เครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M จำนวน 4 เครื่อง

โดยเครื่องยนต์ HINO นำไปทดสอบกับน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 4 ชนิด คือ น้ำมันดีเซล, B20, B50 และ B100 ตามลำดับ สำหรับเครื่องยนต์ CUMMINS ก็จะนำไปทดสอบในลักษณะและวิธีการเดียวกัน

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของเครื่องยนต์ที่นำมาทดสอบ

Specifications	HINO รุ่น EH700	CUMMINS Model 6B5.9-M
Brake power (bhp)	116 at 2,200 rpm	115 at 2,500 rpm
Engine torque (N·m)	442 at 2,000 rpm	327 at 2,500 rpm
Displacement (cc)	6,443	5,900
No. of cylinder	6	6
Firing order	1-4-2-6-3-5	1-5-3-6-2-4
Compression ratio	17.9 : 1	17.3 : 1
Fuel consumption (L/hr)	22.3 at 2,000 rpm	23.7 at 2,500 rpm

ที่มา : Nameplate ของเครื่องยนต์

4.2 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์และคุณภาพไอเสีย (Performance test or Short-term Test)

4.2.1 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

อ้างอิงมาตรฐาน ISO 15550-2002: Internal Combustion Engine Determination and Method for the Measurement of Engine Power (ISBGS, 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ทั่วไป (ISBGS, 2002) ที่ใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในเกือบทุกชนิด รวมถึงเครื่องยนต์เรือขนาดเล็ก – กลาง โดยจะทำการทดสอบโดยใช้น้ำมันดีเซลกับเครื่องยนต์เรือประมงทั้ง 2 ยี่ห้อ ๆ ละ 1 เครื่อง สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการอ้างอิงและเปรียบเทียบผลกับการทดสอบเครื่องยนต์ยี่ห้อเดียวกัน โดยใช้น้ำมัน B20, B50, และ B100 ตามลำดับ

4.2.2 การประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์และคุณภาพของไอเสีย

เป็นการทดสอบเพื่อหาสมรรถนะเครื่องยนต์ ได้แก่ 1) ค่ากำลัง (Engine break power), 2)ค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ (Engine break torque), 3)อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel consumption) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ ตลอดจนตรวจวัดคุณภาพของไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ได้แก่ 1)ค่าเขม่าควันดำ (Smoke), 2)ค่าไอเสียต่างๆ (Exhaust gas emissions), และ 3)อุณหภูมิไอเสีย (Exhaust gas temperature)

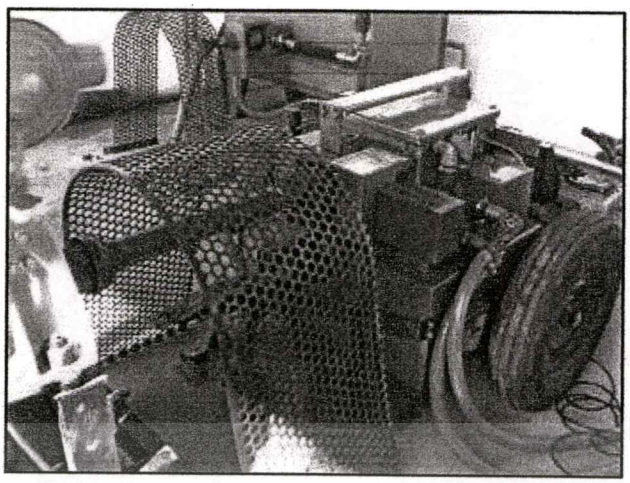
โดยจะนำข้อมูลที่ตรวจวัดได้ทั้งหมด มาวิเคราะห์และแสดงผลวิเคราะห์ในเชิงเปรียบเทียบ โดยใช้รูปแบบการแสดงผลวิเคราะห์ในรูปของกราฟแสดงสมรรถนะของเครื่องยนต์ (Performance curves) ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นแนวทางหนึ่งในการกำหนดค่าต่างๆ ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานเครื่องยนต์แต่ละยี่ห้อต่อไป

4.2.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์และการวัดคุณภาพไอเสีย

สำหรับอุปกรณ์และเครื่องมือวัดต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์และคุณภาพไอเสีย มีดังต่อไปนี้

1) เครื่อง AW–Dynamometer Model NEB2-300 จำนวน 1 เครื่อง ใช้สำหรับวัดค่าแรงบิดและกำลังเครื่องยนต์ โดยมีความสามารถในการรับแรงบิดได้ถึง 1,490 N·m torque dynamometer และ 4,475 N·m torque drive line สำหรับความสามารถในการรับกำลังของเครื่องยนต์ สามารถรับได้ถึง 74.6, 156.6 และ 223.7 kW ที่ความเร็วรอบ 540 , 1,000 และ 2,000 rpm ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.1

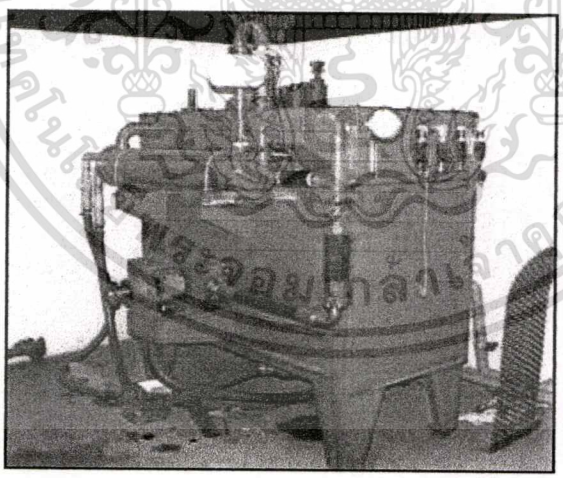
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 เครื่อง AW – Dynamometer Model NEB2-300

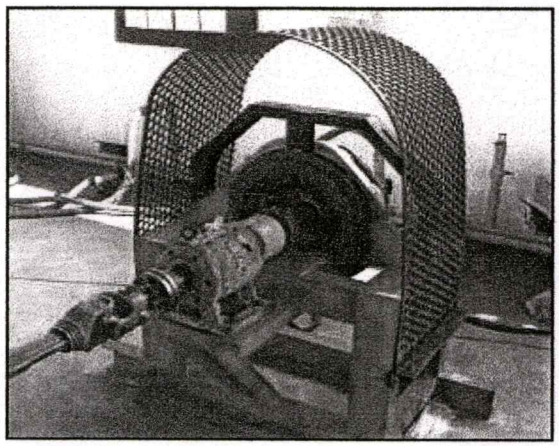
2) เครื่อง SUT–Dynamometer model SUT-HYDURA-180 จำนวน 3 เครื่อง ใช้สำหรับวัดค่าแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ โดยมีความเร็วรอบของปั๊มอยู่ในช่วง 600–2,500 rpm และแรงดันน้ำมันในระบบ (แรงดันต่อเนื่อง) ได้ถึง 210 bar ดังแสดงในภาพที่ 4.2

3) เครื่อง Electric breaker–Dynamometer CERCA B-Series Model B5-19 ขนาด 24V 105 A จำนวน 1 เครื่อง ใช้สำหรับวัดค่าแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ ซึ่งสามารถรับแรงบิดของเครื่องยนต์ได้สูงสุดถึง 1,900 N·m ดังแสดงในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.2 เครื่อง SUT – Dynamometer Model SUT-HYDURA-180

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 เครื่อง Electric Breaker – Dynamometer

4) เครื่องวัดความทึบแสงสำหรับวัดควันดำ (Opacity meter) ยี่ห้อ RED MOUNTAIN ENGINEERING Model 1667 ใช้สำหรับวัดเขม่าควันในไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ เพื่อตรวจวัดค่าเปอร์เซ็นต์ควันดำของไอเสีย ภาพที่ 4.4 แสดงเครื่องวัดควันดำที่ใช้ในการทดลอง

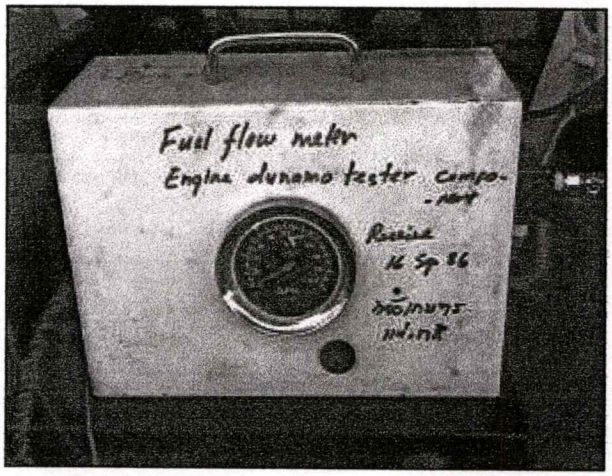
5) เครื่องวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงแบบ Volumetric gravitational flow meter เพื่อใช้สำหรับวัดอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์

6) เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer) ยี่ห้อ DIGICON Model DT-240P ใช้สำหรับวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ เพื่อให้สามารถกำหนดรอบเครื่องยนต์ที่ค่าต่างๆ กัน ให้คงที่ตามมาตรฐานการทดสอบฯ

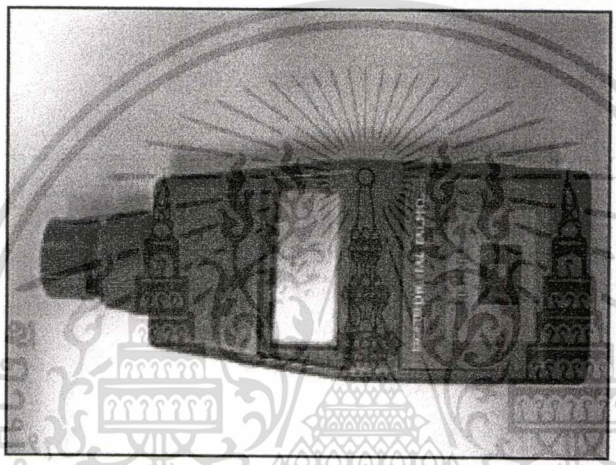


ภาพที่ 4.4 เครื่องวัดความทึบแสงสำหรับวัดควันดำ (Opacity meter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



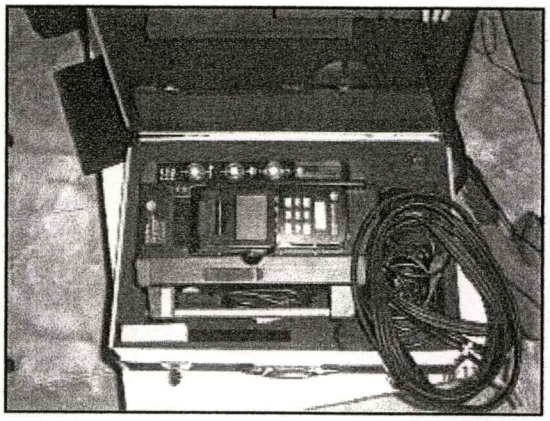
ภาพที่ 4.5 เครื่องวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงแบบ Volumetric gravitational flow meter



ภาพที่ 4.6 เครื่องวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ (Tachometer)

7) เครื่องวิเคราะห์ไอเสียจากการเผาไหม้ (Fuel gas analyzer) ยี่ห้อ TESTO Model 350-XL ใช้สำหรับวัดค่ามลพิษจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์และอุณหภูมิของไอเสีย โดยมลพิษที่ทำการตรวจวัด ได้แก่ CO, NO, NO_2, NO_x, CO_2, O_2, และ SO_2 โดยเฉพาะค่า CO นั้น ในกรณีที่มีค่าสูงเกิน 8,000 ppm ตัวเครื่องจะสามารถปรับค่าได้จนสามารถอ่านค่า CO ได้ถึง 100,000 ppm (10 %vol.) ดังภาพที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

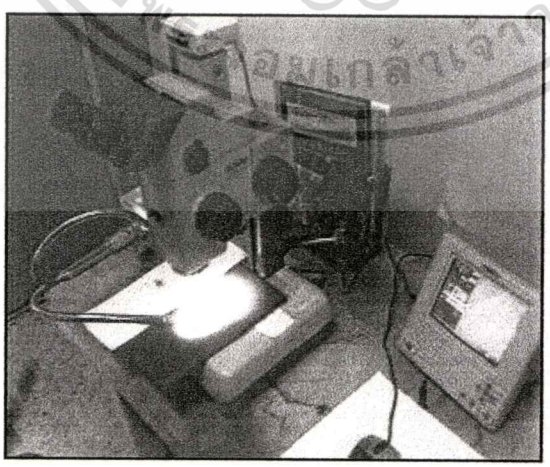


ภาพที่ 4.7 เครื่องวิเคราะห์ไอเสีย TESTO Model 350-XL

8) กล้อง NIKON 40x Model MSZ-U ขนาดกำลังขยาย 40 เท่า โดยต่อเชื่อมกับเครื่อง NIKON DIGITAL SIGHT DS-11 เพื่อใช้สำหรับดูภาพขยายของหัวฉีดน้ำมัน และถ่ายภาพได้ในเวลาเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.8 โดยภาพหัวฉีดขยายดังภาพที่ 4.9 จะนำไปคำนวณหาค่า Coking index ซึ่งหมายถึง ค่าอัตราส่วนของปริมาณเขม่าที่จับบนหัวฉีดเมื่อเครื่องยนต์ขับเคลื่อนโดยน้ำมันไบโอดีเซล ต่อปริมาณเขม่าที่จับบนหัวฉีดเมื่อเครื่องยนต์ขับเคลื่อนด้วยน้ำมันดีเซล ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากัน ดังสมการที่ 4.1

$$\text{Coking Index} = \frac{\text{พื้นที่เขม่าที่จับหัวฉีดเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล} - \text{พื้นที่หัวฉีดที่สะอาด}}{\text{พื้นที่เขม่าที่จับหัวฉีดเมื่อใช้กับน้ำมันดีเซล} - \text{พื้นที่หัวฉีดสะอาด}} \quad (4.1)$$

9) เครื่องชั่งแบบละเอียด ยี่ห้อ METTLER TOLEDO ซึ่งมีความละเอียดในการชั่งถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ดังภาพที่ 4.10 โดยชั่งน้ำหนักได้ต่ำสุด 10 mg และสูงสุด 220 g ใช้สำหรับการหาค่าน้ำหนักของแหวนลูกสูบก่อนและหลังการทดสอบ เพื่อดูความสึกหรอที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 4.8 กล้องNIKON 40xModel MSZ-U ต่อเชื่อมกับเครื่อง NIKON DIGITAL SIGHT DS-11

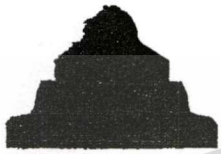
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) Clean



(b) Diesel 1.0



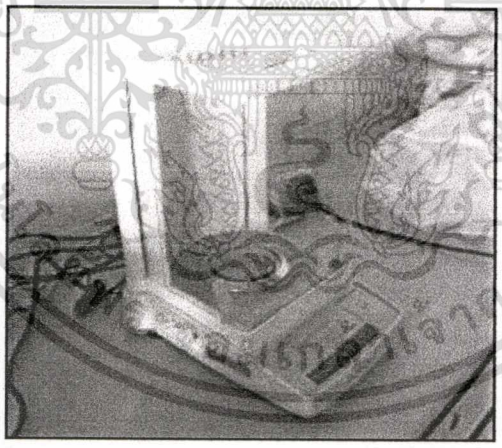
(c) Bio-diesel avg. 2.2



(d) Bio-diesel worst

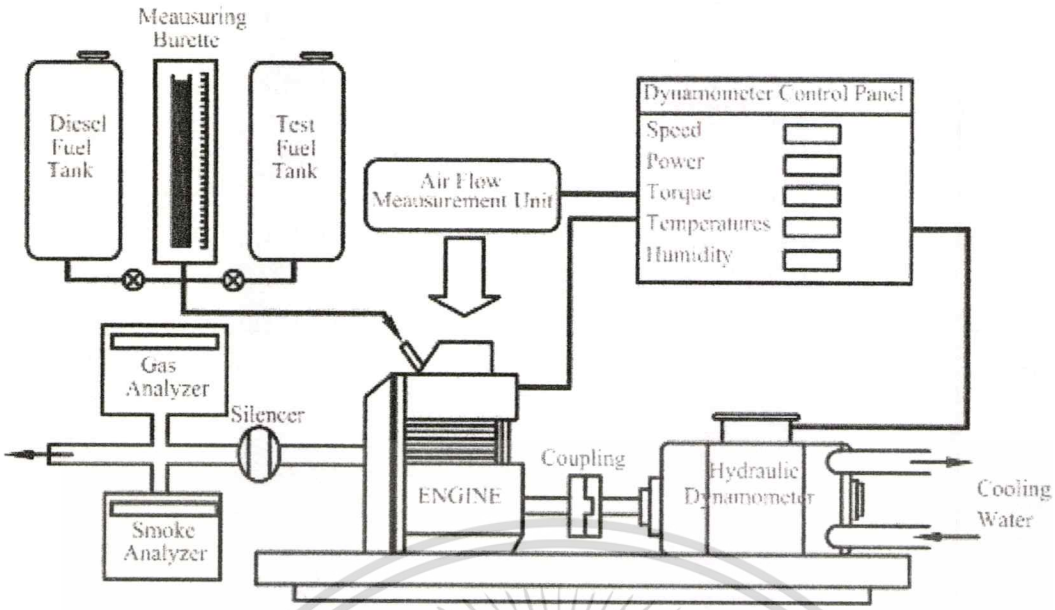
ภาพที่ 4.9 ภาพถ่ายหัวฉีดและค่า Coking index

(a) Clean, *(b)* Diesel : 1.0, *(c)* Bio-diesel avg. : 2.2, และ *(d)* Bio-diesel : worst



ภาพที่ 4.10 เครื่องชั่งแบบละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 Schematic diagram of the experimental set-up

ภาพที่ 4.11 แสดงชุดอุปกรณ์การทดสอบ Performance test (Short-term test) และการติดตั้งเครื่องมือวัดต่างๆ เพื่อทำการตรวจวัดค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์และมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่สัดส่วนต่างๆ โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 15550-2002: Internal Combustion Engine Determination and Method for the Measurement of Engine Power (ISBGS, 2002)

4.3 การทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ (Durability Test or Long-term Test)

4.3.1 การทดสอบ Durability Test ของเครื่องยนต์–อ้างอิงมาตรฐาน 200-hr Screening Test for Alternative Fuels, EMA 200 Hours Test (Dept. of Energy, 1982)

มาตรฐานการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงทางเลือก (Alternative fuel) โดยหน่วยงาน The Alternative Fuels Committee of the Engine Manufacturer's Association (1982) ของประเทศสหรัฐอเมริกา หรือเรียกย่อๆ EMA 200-hours Test (Dept. of Energy, 1982) โดยการทดสอบได้กำหนดรูปแบบของภาระงานหรือโหลด (Load) เป็นลักษณะ Duty cycle ดังแสดงในตารางที่ 4.2

โดยทำการทดสอบซ้ำต่อเนื่อง 18 ชั่วโมง (6 Cycles) และหยุดพัก 6 ชั่วโมง เพื่อให้เครื่องยนต์มีอุณภูมิเท่าบรรยากาศ และทำการทดสอบซ้ำและต่อเนื่องจนครบ 200 ชั่วโมง จำนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 cycles ซึ่งจะทำให้ได้ชั่วโมงทดสอบเป็น 400 ชั่วโมง (สะสม) และในการทดสอบนี้ จะทำการเพิ่มชั่วโมงการทดสอบจนครบ 500 ชั่วโมง (สะสม) ตามข้อกำหนดของ EMA 200-hour Test

ตารางที่ 4.2 แผนการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ตามมาตรฐาน EMA 200-hour Test

Cycle step	Engine Speed (rpm)	Torque	Power	Time (min)
1	Rated	-	Rated	60
2	85%	Maximum	95%	60
3	90%	28%	25%	30
4	Low Idle	0	0	30
Total				**180**

ที่มา : Department of Energy. 1982

4.3.2 การประเมินผลการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ตามมาตรฐาน EMA 200-hour Test

1) ตรวจวัดการสึกหรอของแหวนลูกสูบ โดยการชั่งน้ำหนักของแหวนลูกสูบก่อนทำการทดสอบ เมื่อครบ 200 ชั่วโมง นำแหวนลูกสูบมาชั่งน้ำหนักแล้วประกอบแหวนลูกสูบที่ลูกสูบเดิมของแต่ละเครื่องยนต์ ทดสอบต่อไปจนครบ 500 ชั่วโมง นำแหวนลูกสูบมาชั่งน้ำหนักตามลำดับ

2) ตรวจวัดคุณภาพของน้ำมันเครื่องทุก ๆ 50 ชั่วโมงใช้งาน จนครบ 500 ชั่วโมง คุณสมบัติที่ตรวจวัด ได้แก่ (1) ค่าความหนืด, (2) ค่าความถ่วงจำเพาะ, (3) ค่าความเป็นด่าง, และ (4) ปริมาณน้ำที่ปนเปื้อน เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่สัดส่วนผสมต่างๆ ว่าจะมีผลต่อระบบการหล่อลื่นของเครื่องยนต์มากน้อยเพียงใด

นอกจากนี้ยังได้ทำการตรวจวัดการสึกหรอของชิ้นส่วนอื่นๆ เครื่องยนต์ โดยทำการตรวจหาสิ่งปนเปื้อนประเภทโลหะและอโลหะบางชนิด เช่น เหล็ก (Fe), อลูมิเนียม (Al), ทองแดง (Cu), และโครเมี่ยม (Cr) เป็นต้น เพื่อดูการสึกหรอของชิ้นส่วนอื่นๆ ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล ทั้งนี้เพราะชิ้นส่วนของเครื่องยนต์แต่ละชิ้นผลิตมาจากวัสดุที่ต่างชนิดกัน ดังนั้นสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ที่ตรวจพบในน้ำมันเครื่อง จึงสามารถที่จะใช้เป็นแนวทางในการบ่งชี้ถึงการสึกหรอของชิ้นส่วนนั้นๆ ของเครื่องยนต์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การเตรียมการ

การทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์เป็นการทดสอบเพื่อหาผลกระทบที่เกิดกับเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันผสม เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบนี้เป็นเครื่องยนต์ชุดเดียวกับที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

การเตรียมการเริ่มด้วยการถอดชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ออกและเปลี่ยนชิ้นส่วนที่สึกหรอจากการทดสอบสมรรถนะ ได้แก่ ลูกสูบ,แหวนสูบ,สลักสูบ,แบริ่งก้านสูบ,วาล์วไอดี,วาล์วไอเสีย, หัวฉีดและปั๊มเชื้อเพลิง โดยก่อนทำการประกอบได้ทำการถ่ายภาพและชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนต่างๆ ในส่วนของหัวฉีดและปั๊มเชื้อเพลิงจะถูกทำการถอดชิ้นส่วนภายในออกมาถ่ายภาพและชั่งน้ำหนักโดยละเอียดทุกชิ้นส่วน หลังจากประกอบชิ้นส่วนต่างๆเรียบร้อยแล้ว หัวฉีดจะถูกนำไปทดสอบความดันในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนที่จะประกอบเข้ากับเครื่องยนต์

การทดสอบภาคสนาม (Field test) สำหรับการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในเครื่องยนต์เรือประมง มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาถึงสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมัน B20 ตลอดจนดูผลกระทบของการใช้น้ำมัน B20 กับเครื่องยนต์เรือประมง ในด้านการสึกหรอของเครื่องยนต์ ภายหลังจากการใช้งานเครื่องยนต์ในสภาวะการทำงานจริงเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 1,000 ชั่วโมง โดยในการศึกษาภาคสนาม ได้ทำการติดตั้งเครื่องยนต์จำนวน 2 เครื่อง ที่คัดเลือกมาจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ สำหรับขับใบจักรเรือประมง จำนวน 2 ลำ ได้แก่

1) เครื่องยนต์ HINO	รุ่น EH700	จำนวน 1 เครื่อง
2) เครื่องยนต์ CUMMINS	รุ่น 6B5.9-M	จำนวน 1 เครื่อง

โดยเรือประมงที่ใช้ในการทดสอบเป็นเรือประมงขนาดความยาวเรืออยู่ในช่วง 9–12 เมตร และมีระวางน้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 4 ตัน

4.4 การประกอบและติดตั้งเครื่องยนต์ในเรือประมง

การทดสอบภาคสนาม ก่อนที่จะทำการติดตั้งเครื่องยนต์ให้กับเรือประมงแต่ละลำนั้น เครื่องยนต์แต่ละเครื่องจะถูกเปลี่ยนแหวนลูกสูบใหม่ทั้งหมด เพื่อชั่งน้ำหนักแหวนก่อนทดสอบ และหลังจากทดสอบภาคสนามเสร็จสิ้นครบ 1,000 ชั่วโมง จะทำการชั่งน้ำหนักแหวนลูกสูบอีกครั้ง ทั้งนี้เพื่อประเมินค่าการสึกหรอจากน้ำหนักแหวนลูกสูบที่สูญหายไป

4.4.1 การตรวจประเมินชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ก่อนการทดสอบการใช้งานจริง

การประเมินค่าการสึกหรอของเครื่องยนต์ โดยพิจารณาจากน้ำหนักแหวนลูกสูบที่สูญหายไปแล้ว ทดสอบสมรรถนะของปั๊มเชื้อเพลิงและหัวฉีด ของเครื่องยนต์ แต่ละเครื่อง โดยอ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบของบริษัทผู้ผลิตปั๊มเชื้อเพลิง โดยไม่ทำการปรับแต่งชิ้นส่วนใดๆ ของเครื่องยนต์ทั้งก่อนและหลังการทดสอบ และเมื่อทดสอบภาคสนามครบ 1,000 ชั่วโมงแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสร็จ จะทำการถอดปั๊มและหัวฉีด เพื่อนำมาทดสอบสมรรถนะของอุปกรณ์เหล่านี้ เปรียบเทียบกับสมรรถนะก่อนเริ่มทดสอบภาคสนาม โดยแหวนลูกสูบที่นำมาใช้ประกอบใหม่กับเครื่องยนต์ทั้ง 2 เครื่องมีการชั่งน้ำหนักเริ่มต้นดังแสดงในตารางที่ 4.3 - ตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.3 น้ำหนักของแหวนลูกสูบก่อนทำการทดสอบภาคสนาม

เครื่องยนต์	น้ำหนักแหวนลูกสูบ (g)
HINO รุ่น EH700	638.6484
CUMMINS รุ่น 6B5.9-M	385.0748

ตารางที่ 4.4 ปั๊มเชื้อเพลิง HINO รุ่น EH700

PUMP SPEED	Standard		Before	
(rpm)	Delivery	Governor	Delivery	Governor
1,000	64.4-66.6	64.4-66.6	74.5	87
1,500	64.0-67.0	64.0-67.0	71	83.5
375	7.0-9.0	7.0-9.0	25.9	15.8

ตารางที่ 4.5 ปั๊มเชื้อเพลิง CUMMINS รุ่น 6B5.9-M

PUMP SPEED	Standard	Before
(rpm)	Delivery	Delivery
1,000	14.2-14.6	16
1,600	14.9-15.7	16.5
275	4.0-5.0	5.5

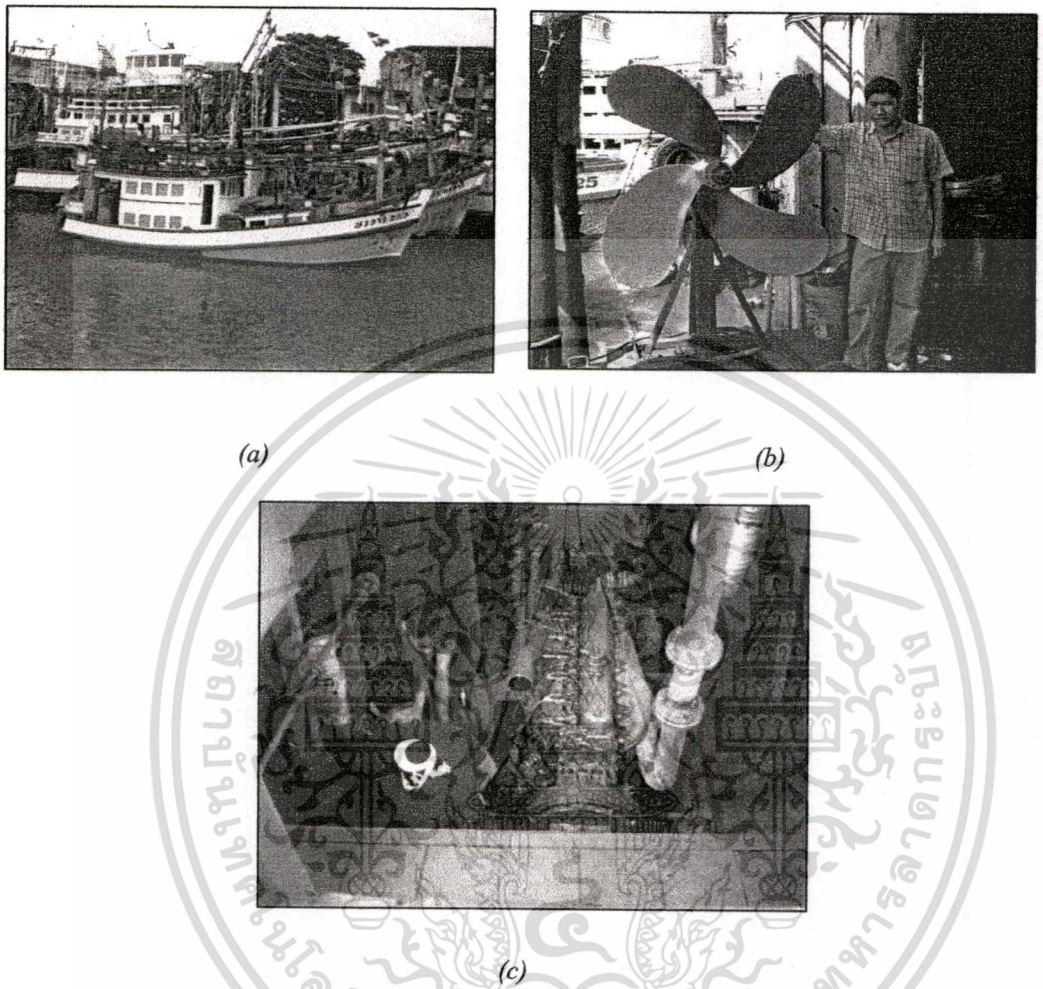
หมายเหตุ กรณีที่เลือกใช้ Speed pump ต่างๆในการทดสอบปั๊มนั้น แต่ค่ามาตรฐานของการทดสอบปั๊มแต่ละยี่ห้อไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตปั๊มยี่ห้อนั้นๆ เป็นผู้กำหนด

ตารางที่ 4.6 ผลการตรวจวัดแรงดันหัวฉีดของเครื่องยนต์ก่อนทำการทดสอบในภาคสนาม

	มาตราฐาน	1	2	3	4	5	6
แรงดันหัวฉีด HINO (kg/cm^2)	221-229	200	200	210	200	220	205
แรงดันหัวฉีด CUMMINS (kg/cm^2)	220	220	215	220	225	220	200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายหลังจากทดสอบสมรรถนะของปั๊ม และหัวฉีดดังแสดงในตารางที่ 4.6 รวมถึงการชั่งน้ำหนักแหวนแล้ว จะประกอบชิ้นส่วนเหล่านี้ เข้ากับเครื่องยนต์ที่ถูกคัดเลือก และเครื่องยนต์แต่ละรุ่น จะประกอบเข้ากับชุดใบจักรขนาดต่างๆ กัน ดังต่อไปนี้



(a) *(b)* *(c)*

ภาพที่ 4.12 การติดตั้งเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 ในเรือโชควันดี 25
(a) ลักษณะของเรือ, *(b)* ใบจักรขนาด 45 นิ้ว, *(c)* การติดตั้งเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700

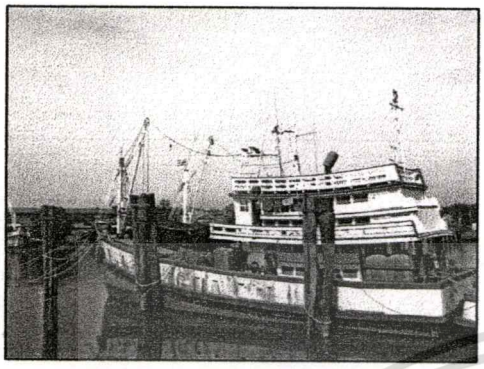
4.4.2 การประกอบและติดตั้งเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700

การประกอบและติดตั้งเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 ทำการติดตั้งเพื่อขับใบจักรขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 นิ้ว ที่อัตราส่วนการทดรอบเครื่องยนต์ต่อแกนใบจักร 6 ต่อ 1 โดยมีเรือประมง 1 ลำ สำหรับทดสอบ คือ เรือโชควันดี 25

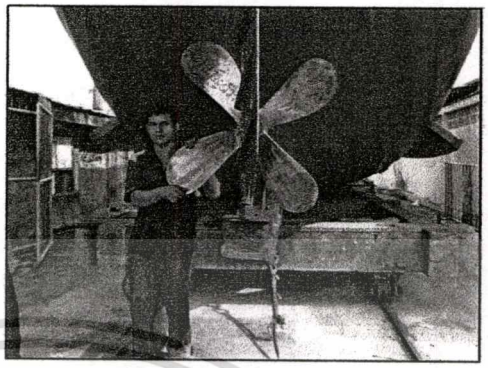
4.4.3 การประกอบและติดตั้งเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

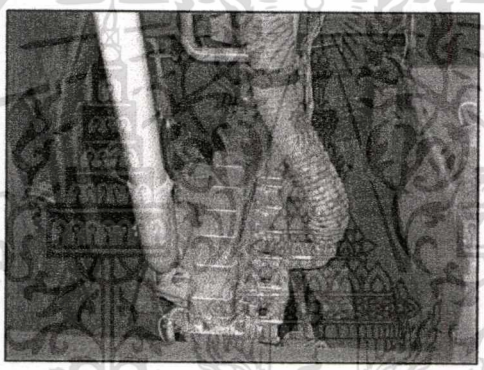
การประกอบและติดตั้งเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M จะทำการติดตั้งกับเรือประมง 1 ลำ คือ เรือโชคชลธี 1 เพื่อขับใบจักรขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 นิ้ว ที่อัตราส่วนการทดรอบเครื่องยนต์ต่อแกนใบจักร 4 ต่อ 1



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 4.13 การติดตั้งเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M ในเรือโชคชลธี 1
(a) ลักษณะของเรือ, *(b)* ใบจักรขนาด 32 นิ้ว, *(c)* การติดตั้งเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M

หมายเหตุ การใช้ขนาดใบจักรของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 และ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M ที่แตกต่างกันนั้นเนื่องจากปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. ขนาดกำลังของแรงม้าเครื่องยนต์
2. อัตราการทดของเฟืองเกียร์ ซึ่งในที่นี้เครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 จะใช้อัตราทดที่ 6: 1 ส่วนเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M ใช้อัตราการทดที่ 4:1 (กรณีเครื่องยนต์มีกำลังหรือแรงบิดน้อยอัตราทดต้องมากเพื่อเพิ่มแรงบิดในการลาก ช่วงที่ทำงานในสภาวะ working speed)
3. ขนาดซุ้มท้ายของเรือที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดไม่เท่ากัน ซึ่งจะขึ้นกับขนาดของท้องเรือที่สามารถรองรับขนาดของใบจักรได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การจัดเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการทดสอบภาคสนาม

สำหรับการทดสอบภาคสนามได้จัดเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับใช้ในการทดสอบ โดยแบ่งออกเป็นส่วน ได้แก่ 1) น้ำมันดีเซล สั่งซื้อจากผู้จำหน่ายที่อยู่ในพื้นที่ทำการทดสอบ โดยมีปริมาณการสั่งซื้อทั้งสิ้น 66,000 ลิตร โดยจัดเก็บไว้ที่บริเวณท่าเรือที่ใช้ในการจอดเรือ, และ 2) น้ำมันไบโอดีเซล ได้ทำการสั่งซื้อจากบริษัทผู้ผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่ขึ้นทะเบียนไว้กับกรมธุรกิจพลังงาน จำนวนทั้งสิ้น 16,400 ลิตร พร้อมกันนี้ได้แนบผลการทดสอบคุณสมบัติน้ำมันไบโอดีเซลเทียบกับค่ามาตรฐานตามประกาศกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2550 (กรมธุรกิจพลังงาน, 2552) ดังแสดงในตารางภาคผนวก ก.

การผสมน้ำมันดีเซลกับน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อให้ได้น้ำมัน B20 ดำเนินการการผสมที่บริเวณท่าเรือที่ใช้จอดเรือ โดยทำการผสมในถังให้ได้สัดส่วนตามที่กำหนด จากนั้นจึงถ่ายลงสู่เรือประมงที่ใช้ในการทดสอบ

4.6 ตารางการทำงานของเรือประมงในการทดสอบภาคสนาม

การเก็บข้อมูลการทดสอบภาคสนาม เนื่องจากเรือประมงที่ใช้ทดสอบทั้ง 2 ลำ ออกเดินเรือไม่พร้อมกัน จึงไม่สามารถทำงานได้พร้อมกันตลอดการทดสอบ แต่อย่างไรก็ตามได้กำหนดการทำงานของเรือแต่ละลำเป็น 3 รอบการทำงานเหมือนกัน เพื่อนับชั่วโมงการทำงานสะสมให้ได้ไม่น้อยกว่า 1,000 ชั่วโมง โดยคิดชั่วโมงการทำงานของเรือประมงที่ 18 ชั่วโมงต่อ 1 วันทำงาน

4.7 วิธีการตรวจวัดในการทดสอบภาคสนาม

สำหรับการเก็บข้อมูลภาคสนามนั้น ได้พิจารณาแล้วว่า ในการทำงานของชาวประมงนั้นมีตัวแปรอีกหลายตัวที่เป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ในขณะทำการทดสอบและเก็บข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งสภาพภูมิอากาศ เช่น ความเร็วลม, ความแรงของคลื่น และสภาพของท้องฟ้า เป็นต้น ดังนั้นในการทดสอบภาคสนาม เรือทั้ง 2 ลำ สิ่งแวดล้อมในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ คือตัวแปรที่ทำให้ผลการวิเคราะห์มีความแตกต่างกันของเรือทั้ง 2 ลำ จากตารางที่ 4.7 แสดงการทำงานของเรือประมงทั้ง 2 ลำในการทดสอบภาคสนาม โดยข้อมูลที่จะทำการตรวจวัด ได้แก่ 1) อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง,2) มลพิษจากการเผาไหม้ และ3) การสึกหรอของเครื่องยนต์ ซึ่งมีวิธีการตรวจวัดค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ตารางการทำงานของเรือประมงทั้ง 2 ลำ ในการทดสอบภาคสนาม

เครื่องยนต์	รอบการออกเรือ	วันที่เรือออกจากฝั่ง	วันที่เรือกลับเข้าฝั่ง	จำนวนวันทำงาน (day)	จำนวนชั่วโมงการทำงาน (hr)	จำนวนชั่วโมงสะสม (hr)
HINO	1	17 ส.ค. 52	3 ก.ย. 52	17	306	306
	2	7 ก.ย. 52	5 ต.ค. 52	28	504	810
	3	9 ต.ค. 52	30 ต.ค.52	21	378	1,188
CUMMINS	1	17 ส.ค. 52	7 ก.ย. 52	21	378	378
	2	11 ก.ย. 52	4 ต.ค. 52	23	414	792
	3	8 ต.ค. 52	27 ต.ค.52	19	342	1,134

4.7.1 การตรวจวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

การตรวจวัดอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ใช้เครื่องวัดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง Fuel PET M–LS4150 แสดงในภาพที่ 4.14 โดยติดตั้งเครื่องวัดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไว้ที่ห้องเครื่องยนต์ ซึ่งการตรวจวัดจะกระทำที่สภาวะการทำงานจริงของเรือประมง คือ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะเดินเครื่องปกติ (Normal speed) ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่าง 1,700–1,750 rpm (ค่าความเร็วรอบที่ประมาณจากการวัดด้วย RPM Meter) และความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะทำการลากอวน (Working speed) ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่าง 1,900–1,950 rpm (ค่าความเร็วรอบที่ประมาณจากการวัดด้วย RPM Meter) ทั้งนี้ความเร็วรอบทั้ง 2 ช่วงนี้จะมีค่าคาดเคลื่อนได้ เนื่องจากเรือประมงจะไม่มีหน้าปัดแสดงความเร็วของเรือ ผู้ควบคุมเรือจึงขับเรือด้วยความเร็วจากประสบการณ์ของตัวเองและกำหนดจากการเร่งของเครื่องยนต์ที่ใช้งาน(ระดับเกียร์ที่ใช้) รวมถึงสภาพอากาศในขณะขับเรือ ซึ่งในการทดสอบภาคสนามนี้เรือที่ใช้ในการทดสอบทุกๆลำจะกำหนดให้มีเงื่อนไขเดียวกัน เนื่องจากช่วงเวลาในการทดสอบ สภาพอากาศ ความเร็วลม สภาพคลื่นลมและพื้นที่ที่ทำการทดสอบเป็นพื้นที่เดียวกัน โดยทำการวัดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่อเวลา ซึ่งค่าแสดงปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงมีหน่วย L/hr โดยวัดค่า 3 ครั้งในแต่ละความเร็วรอบเครื่องยนต์ แล้วจึงหาค่าเฉลี่ยของอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละความเร็วรอบ

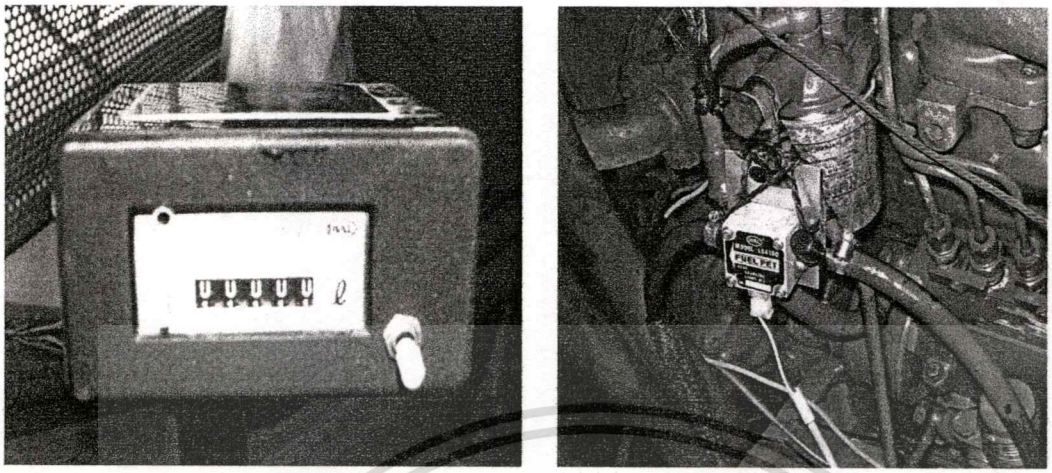
4.7.2 การตรวจวัดมลพิษจากการเผาไหม้

การตรวจวัดมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เรือประมงนั้น ทั้ง 2 ลำ ได้ทดสอบเก็บค่ามลพิษ 6 ชนิด ได้แก่ CO, NO_x ,เขม่าควันดำ (Smoke), CO_2 ,SO_2 และ O_2

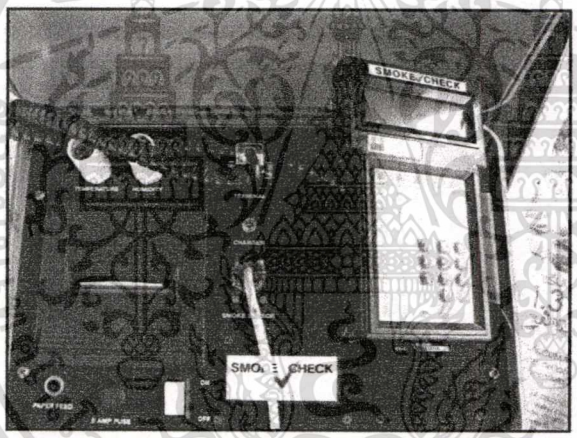
ค่ามลพิษดังกล่าว ได้แบ่งการทดสอบในการเก็บค่าออกเป็น 2 ส่วน เช่นเดียวกับการตรวจวัดการใช้เชื้อเพลิง โดยใช้อุปกรณ์ในการวัด คือ เครื่อง Opacity meter สำหรับวัดเขม่าควันดำแสดงในภาพที่ 4.15 และเครื่อง Flue gas analyzer สำหรับวัดปริมาณก๊าซไอเสียแสดงในภาพที่ 4.16 โดยลักษณะการตรวจวัดจะเริ่มวัดตั้งแต่ก่อนทำการทดสอบในภาคสนาม (ชม.ที่ 0) ระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบภาคสนาม (ชม.ที่ 300-600) และสุดท้ายเป็นการทดสอบที่ครบ 1,000 ชั่วโมงในภาคสนามแล้ว

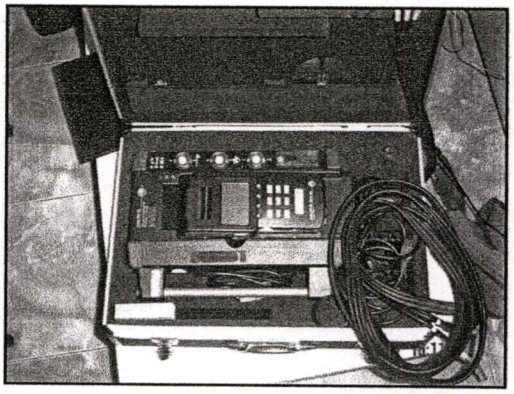


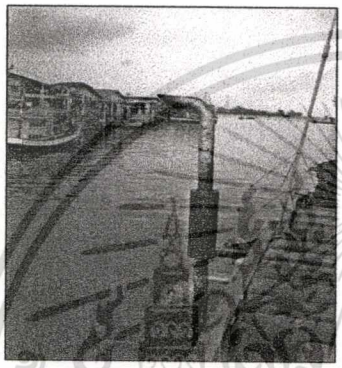
ภาพที่ 4.14 การติดตั้งเครื่องวัดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง Fuel PET M – LS4150



ภาพที่ 4.15 เครื่องวัดความทึบแสงสำหรับวัดควันดำ (Opacity meter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้







ภาพที่ 4.16 การใช้เครื่องวิเคราะห์ไอเสีย TESTO Model 350-XL

4.7.3 การตรวจวัดการสึกหรอของเครื่องยนต์

สำหรับการการตรวจวัดการสึกหรอของเครื่องยนต์เรือประมง ได้ทดสอบจากการสึกหรอของแหวนลูกสูบ, ตราบเขม่าที่บริเวณหัวฉีด, วิเคราะห์น้ำมันเครื่องเพื่อหาปริมาณสิ่งปนเปื้อน รวมถึงคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไป และการทดสอบสมรรถนะของปั๊มหัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

5.1 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลในห้องปฏิบัติการ

5.1.1 คุณสมบัติของน้ำมันที่ใช้ในการทดสอบ

น้ำมันดีเซลที่ นำมาใช้ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการสั่งซื้อจากบริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน) ซึ่งเป็นน้ำมันดีเซลธรรมดาประเภทกำมะถันต่ำ ส่วนน้ำมันไบโอดีเซลสั่งซื้อจาก บริษัท ไบโอเอ็นเนอร์ยี่พลัส จำกัด (กรมธุรกิจพลังงาน.2552) ซึ่งได้รับการรับรองจากกรมธุรกิจพลังงานให้เป็นผู้ผลิตและจำหน่ายน้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ที่ถูกต้องตามกฎหมาย ดังตารางที่ 5.1

5.1.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์จำแนกตามเครื่องยนต์

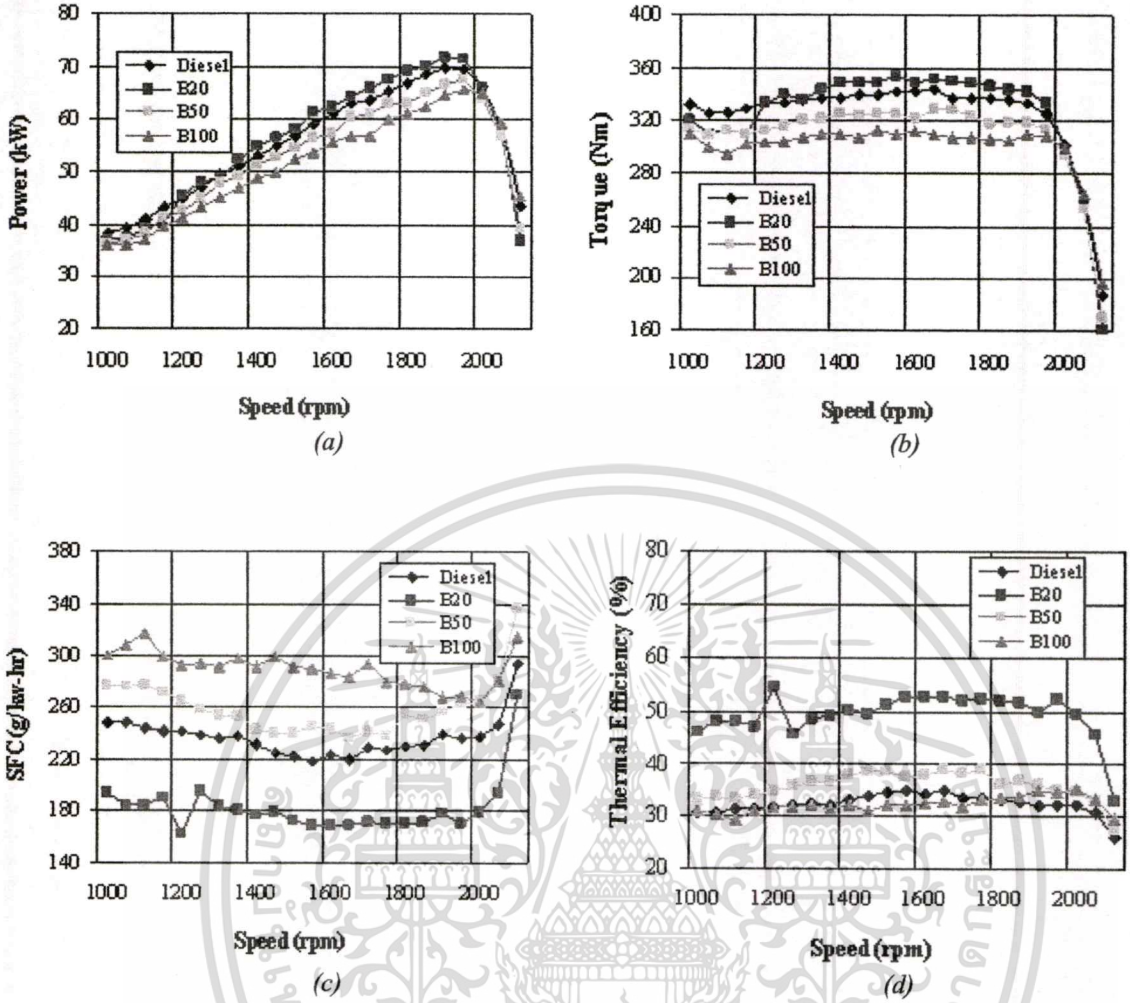
การทดสอบและตรวจวัดเพื่อหาค่าที่แสดงถึงสมรรถนะของเครื่องยนต์ 3 ตัวหลัก ได้แก่

1) ค่ากำลังของเครื่องยนต์ (Engine power)
2) ค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ (Engine torque)
3) อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption, SFC)
4) ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency)

จากภาพที่ 5.1 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ HINOรุ่น EH700 โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ พบว่า ค่ากำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ดังภาพที่ 5.1(*a*) จะอยู่ในช่วงความเร็วรอบ 1,800 – 2,000 rpm สำหรับเครื่องยนต์ HINOรุ่นEH700 น้ำมัน B20 จะให้ค่ากำลังของเครื่องยนต์สูงที่สุด รองลงมา คือ น้ำมันดีเซล, B50, และ B100 โดยมีค่ากำลังสูงสุดที่ 71.7, 69.8, 67.5 และ 65.6 kW ตามลำดับ ซึ่งค่ากำลังสูงสุดนี้ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ดังภาพที่ 5.1(*b*) เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ สำหรับอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ(Specific fuel consumption, SFC) ดังภาพที่ 5.1*(c)* พบว่า เครื่องยนต์ HINOรุ่น EH700 เมื่อใช้ B20 เป็นเชื้อเพลิง จะให้ค่า SFC เฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 0.172 kg/kW-hr โดยคิดค่าเฉลี่ยในช่วงที่รอบเครื่องยนต์เรือใช้งานจริง (1,500–1,800 rpm) ในขณะที่น้ำมัน B100, B50 และน้ำมันดีเซล มีค่า SFC เฉลี่ยสูงกว่า คือ 0.291, 0.242 และ 0.224 kg/kW-hr ตามลำดับ เมื่อคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ เปรียบเทียบกันระหว่าง การทดสอบกับน้ำมันชนิดต่างๆ พบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมัน B20 มีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล,B50 และ B100 โดยที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมัน B100 มีค่าต่ำที่สุด ดังแสดงไว้ในภาพที่ 5.1*(d)*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2.1 เครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700



ภาพที่ 5.1 สมรรถนะเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700
(a) ค่ากำลัง, *(b)* ค่าแรงบิด, *(c)* อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ,
(d) ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ผลการทดสอบเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 5.2 พบว่า ค่ากำลังสูงสุดของเครื่องยนต์จะอยู่ในช่วงความเร็วรอบ 1,800 – 2,000 rpm เมื่อใช้น้ำมัน Diesel เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งแตกต่างกับเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 โดยน้ำมันที่ให้ค่ากำลังสูงสุดสำหรับเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M คือ น้ำมันดีเซล, B20, B50, และ B100 ตามลำดับ โดยมีค่าที่ 65.5, 62.9, 59.5 และ 59.3 kW ตามลำดับ กำลังของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M จะตกลงเล็กน้อย เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลในส่วนผสมที่สูงขึ้น เนื่องจากเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M มีระบบปั๊มจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแบบ Rotary ซึ่งเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงและสามารถรักษาระดับกำลังของเครื่องยนต์ได้ โดยพิจารณาจากค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ ซึ่งพบว่า ตลอดช่วงความเร็วรอบที่ทำการทดสอบ ค่าแรงบิดยังคง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สม่ำเสมอสำหรับทุกๆ ชนิดของน้ำมัน และเมื่อพิจารณาค่า SFC เฉลี่ย พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน คือ อยู่ระหว่าง 0.277 – 0.303 kg/kW-hr

ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 4 ชนิด ที่ใช้ในการทดสอบ (n.a. = not analysis)

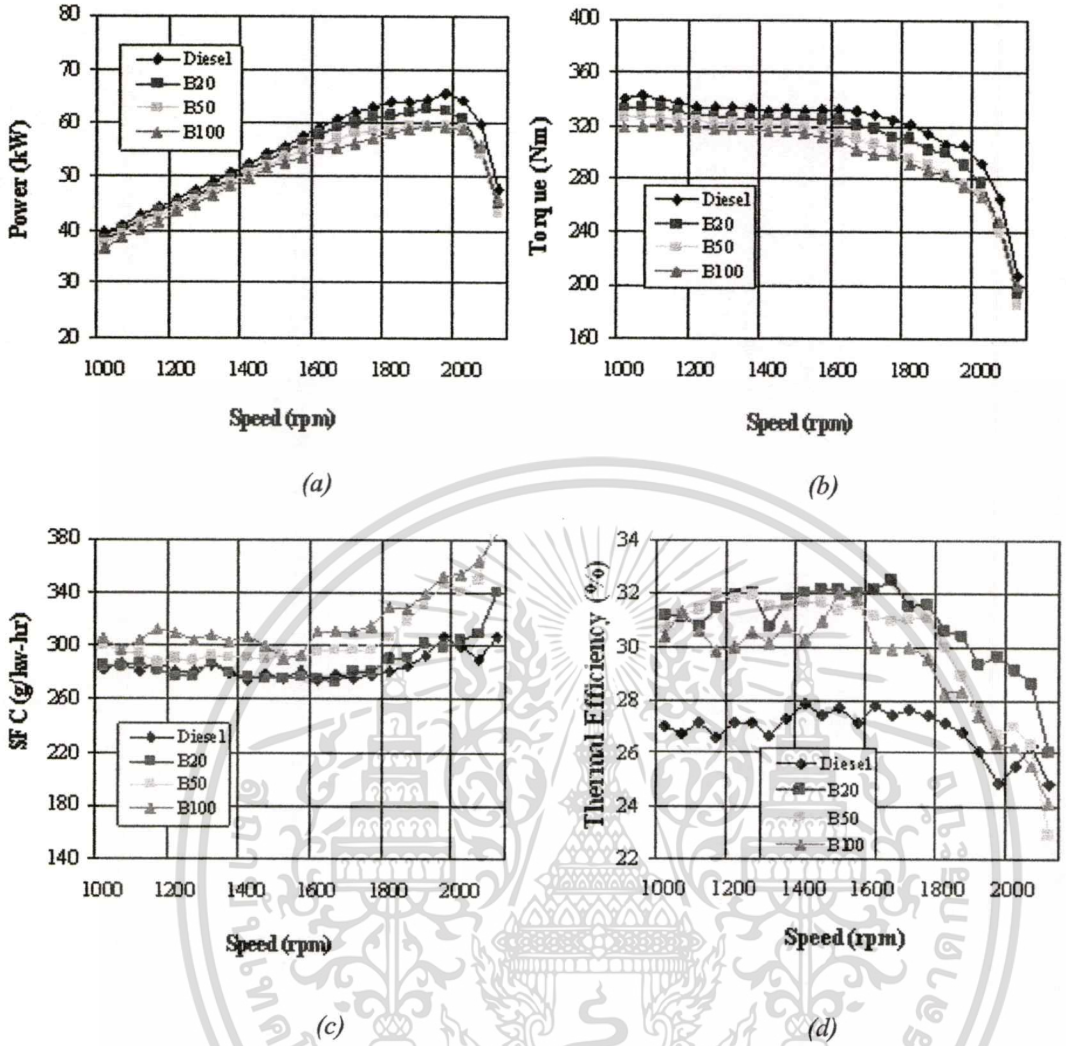
	คุณสมบัติ	วิธีทดสอบ	Diesel (Standard)	B20	B50	B100
1	Density @ 15 ^{0}C,kg/m^3 Density @ 30 ^{0}C,g/ml	ASTM D1298-99	0.8681 0.8513	0.867 0.856	0.869 0.859	0.873 0.863
2	Kinematic Viscosity @ 40 ^{0}C,cSt	ASTM D445	>1.8 <4.1	2.91	3.60	4.65
3	Flash Points ,^{0}C	ASTM D93	61	71	90	120
4	Cloud Points ,^{0}C	ASTM D97-96a	n.a.	n.a.	n.a.	16
5	Total Acid Number ,mg KOH/g	ASTM D664-01	n.a.	n.a.	n.a.	0.358
6	Oxidation Stability @ 110 ^{0}C ,hr	EN14112	n.a.	n.a.	n.a.	17.34
7	Iodine Number,gI_2/100g	AOCS Tg1-64	-	10	18	40
8	Methyl Ester ,%vol.	EN 14103	-	n.a.	n.a.	98.65
9	Lionolenic Acid Methyl Ester ,%wt.	EN 14105	-	n.a.	n.a.	0.063
10	Monoglyceride ,%wt.	EN 14105	-	n.a.	n.a.	0.37
11	Diglyceride ,%wt.	EN 14105	-	n.a.	n.a.	0.031
12	Triglyceride ,%wt.	EN 14105	-	n.a.	n.a.	<0.001
13	Free glycerin ,%wt.	EN 14105	-	n.a.	n.a.	<0.001
14	Total glycerin ,%wt.	EN 14105	-	n.a.	n.a.	0.1
15	Excess Methanol ,%wt.	EN 14110	-	n.a.	n.a.	<0.001
16	Water Content ,%wt.	EN 14103	0.049	0.047	0.041	0.035
17	Sulfur (Diesel),%wt.	ASTM D4294	<0.035	-	-	-
18	Sulfur (B100) ,%wt.	ASTM2622	-	n.a.	n.a.	<0.001

ที่มา : กรมธุรกิจพลังงาน. 2552

: ภาคผนวก ก. เอกสารรับรองคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2.2 เครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M



ภาพที่ 5.2 สมรรถนะเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M
(a) ค่ากำลัง, *(b)* ค่าแรงบิด, *(c)* อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ,
(d) ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

เมื่อพิจารณาอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ(SFC) พบว่า การทดสอบกับน้ำมัน B20 มีค่า SFC เฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 0.238 kg/kW-hr โดยคิดค่าเฉลี่ยในช่วงที่รอบเครื่องยนต์เรือใช้งานจริง (1,500 – 1,800 rpm) รองลงมาคือ B50 และน้ำมันดีเซล และ B100 โดยมีค่า SFC เฉลี่ยที่ 0.250, 0.269 และ 0.304 kg/kW-hr ตามลำดับ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลมีค่าต่ำกว่าการใช้น้ำมัน B20,B50 และ B100 โดยที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมัน B20 และ B50 มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด แสดงดังภาพ 5.2*(d)*

จากผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ 2 ยี่ห้อ คือ เครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 และเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 4 ชนิด คือ น้ำมันดีเซล, B20, B50

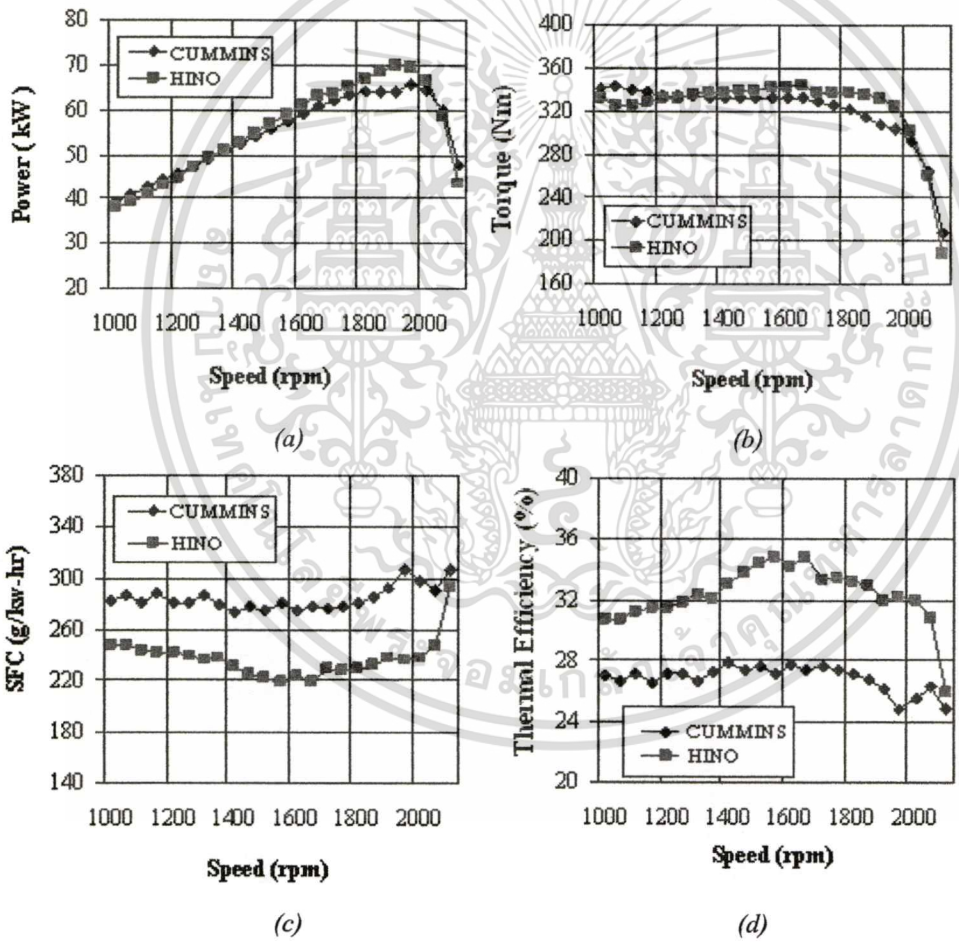
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ B100 ในภาพรวม พบว่า น้ำมัน B20 มีแนวโน้มในการให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ดีกว่าน้ำมันในสัดส่วนอื่นๆที่นำมาวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ ไม่ว่าจะเป็น ค่ากำลังสูงสุด ค่าแรงบิด และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า น้ำมัน B20 สามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลกับเรือประมงรอบกลางได้ และสามารถส่งผลให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ดีขึ้นด้วย

5.1.3 ผลเปรียบเทียบอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ

เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างในด้านของสมรรถนะของเครื่องยนต์ให้ชัดเจนขึ้น จึงได้แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ทั้ง 2 ยี่ห้อ โดยเปรียบเทียบการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดเดียวกันคือ น้ำมันดีเซล, B20, B50, และ B100ดังแสดงในภาพที่ 5.3 – ภาพที่5.6

5.1.3.1 เครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซล

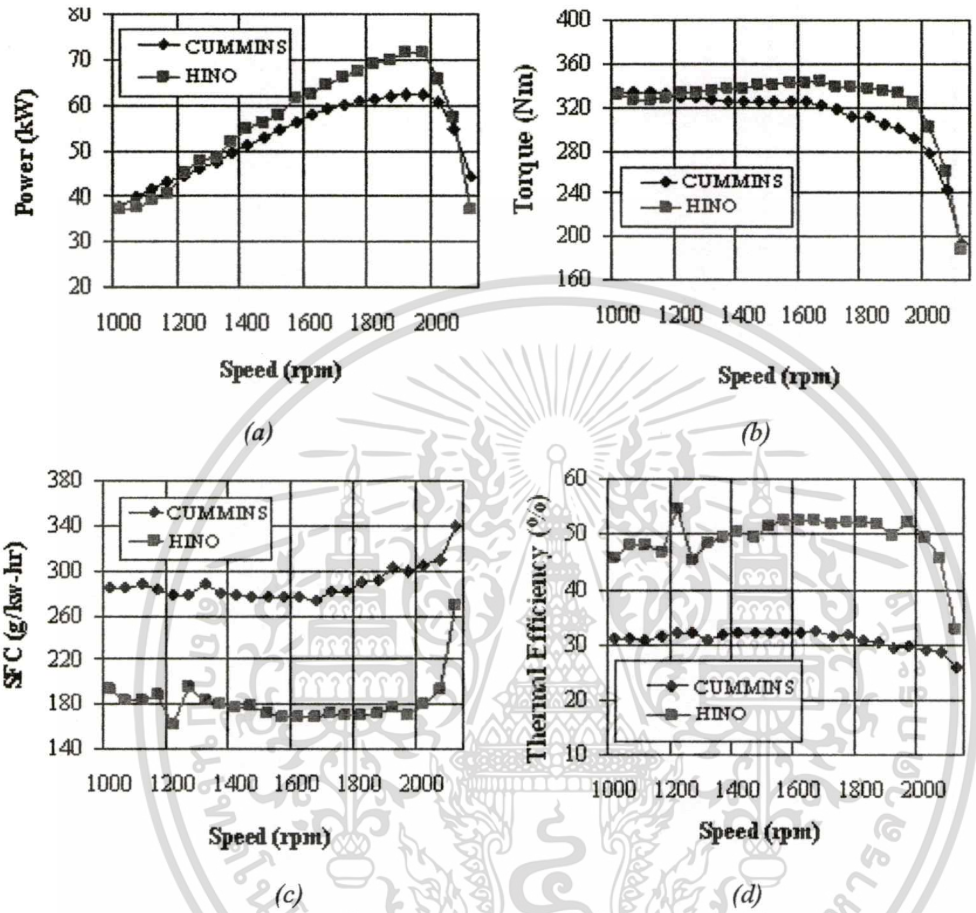


ภาพที่ 5.3 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซล
(a) ค่ากำลัง, *(b)* ค่าแรงบิด, *(c)* อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ,
(d) ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งแสดงค่ากำลัง, แรงบิด และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ทั้ง 2 ยี่ห้อ เมื่อใช้น้ำมันดีเซล, B20, B50, และ B100 เป็นเชื้อเพลิง ตามลำดับ

5.1.3.2 เครื่องยนต์ใช้น้ำมัน B20



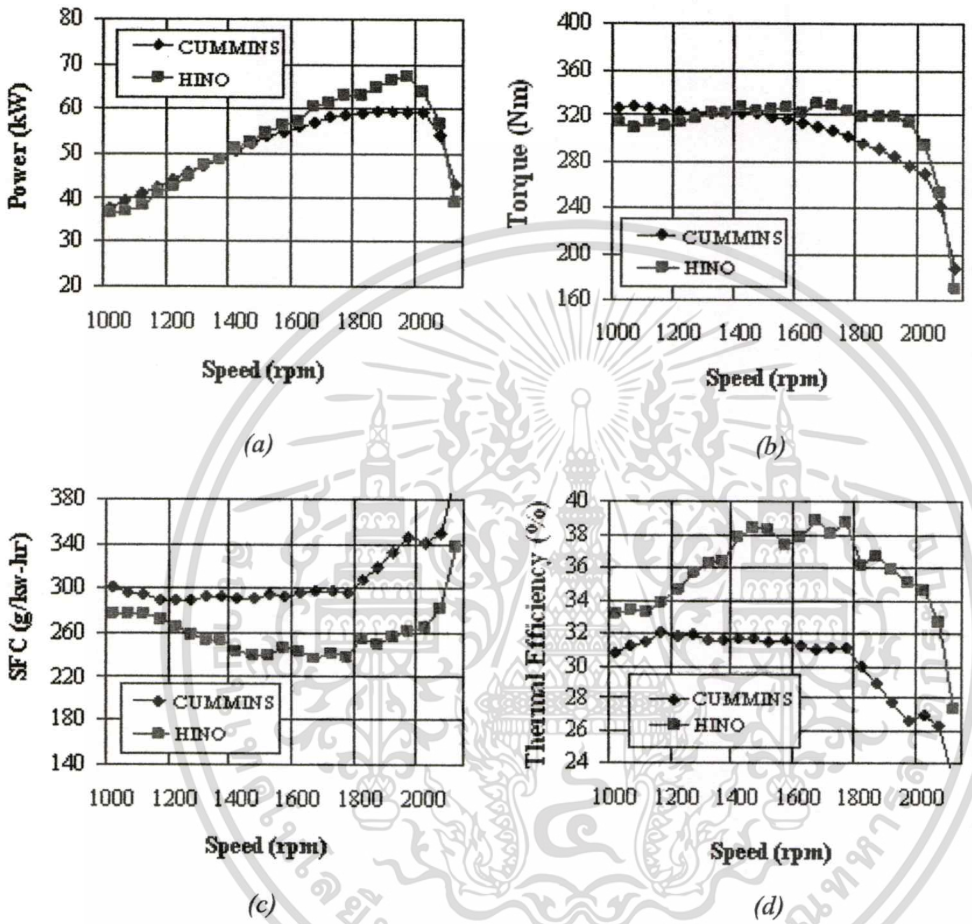
ภาพที่ 5.4 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมัน B20
(a) ค่ากำลัง, *(b)* ค่าแรงบิด, *(c)* อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ,
(d) ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

จากผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ 2 ยี่ห้อ คือ เครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 และเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 4 ชนิด คือ น้ำมันดีเซล, B20, B50, และ B100 และเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์แต่ละชนิด ผลการทดสอบโดยใช้น้ำมันดีเซล ซึ่งเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กันปกติ พบว่า เครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 มีสมรรถนะที่ดีกว่าเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M โดยพิจารณาจากค่ากำลังสูงสุด,ค่าแรงบิดและประสิทธิภาพเชิงความร้อน เมื่อเปรียบเทียบกับ ในสภาพการทำงานที่มีภาระ (Load)การทำงานสูงสุด ที่ความเร็วรอบใช้งานจริง (1,500–1,800 rpm) นอกจากนั้นยังพบว่า เครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ(SFC) ต่ำกว่าเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ พบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 มีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M ที่ทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์

5.1.3.3 เครื่องยนต์ใช้น้ำมัน B50



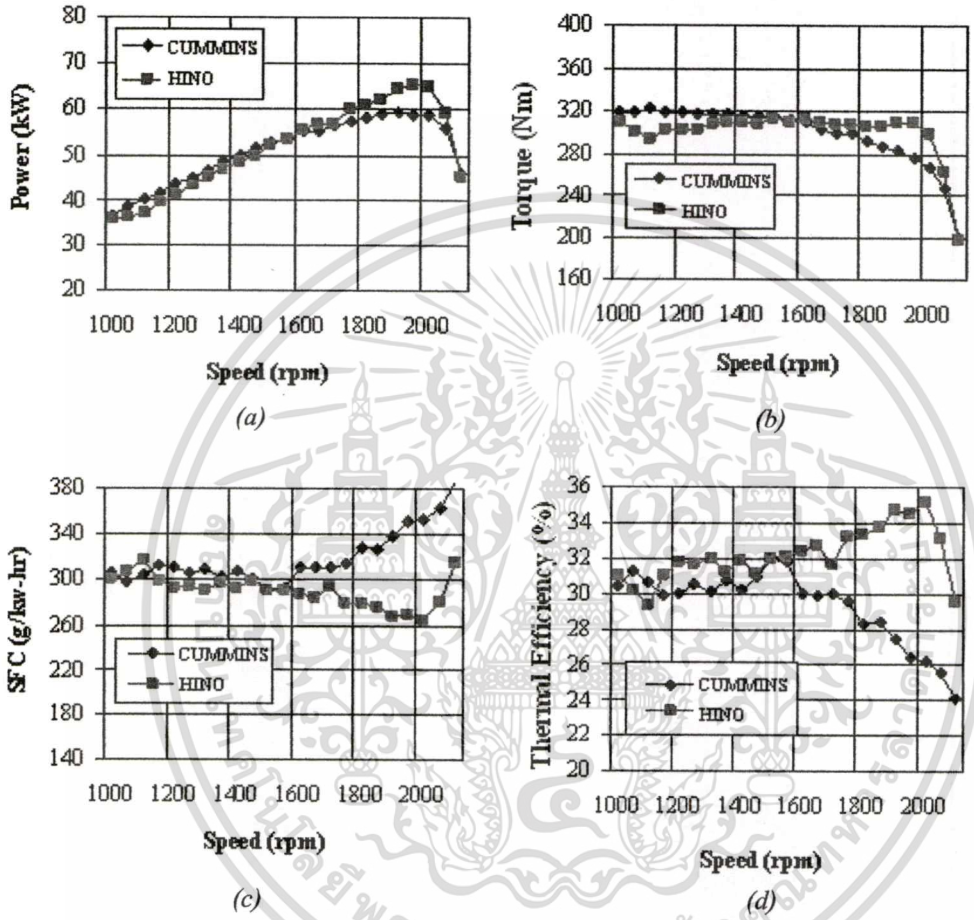
ภาพที่ 5.5 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมัน B50
(a) ค่ากำลัง, *(b)* ค่าแรงบิด, *(c)* อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ,
(d) ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลที่มีส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซล คือ B20, B50, และ B100 พบว่า ในสภาวะการทำงานที่ภาระการทำงานสูงสุด และความเร็วรอบใช้งานจริงในช่วง 1,500 – 1,800 rpm ผลของค่ากำลังสูงสุด และค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ จะมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อใช้น้ำมัน B20 และลดต่ำลงเมื่อใช้น้ำมัน B50 และ B100 ตามลำดับ เครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 สามารถตอบสนองต่อน้ำมันไบโอดีเซล ได้ดีกว่าเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M รวมไปถึงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) ที่ต่ำกว่า เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ พบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 มีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M ที่ทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์แต่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์มีค่าน้อยกว่าเมื่อใช้น้ำมัน B20

5.1.3.4. เครื่องยนต์ใช้น้ำมัน B100



ภาพที่ 5.6 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมัน B100
(a) ค่ากำลัง, *(b)* ค่าแรงบิด, *(c)* อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ,
(d) ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

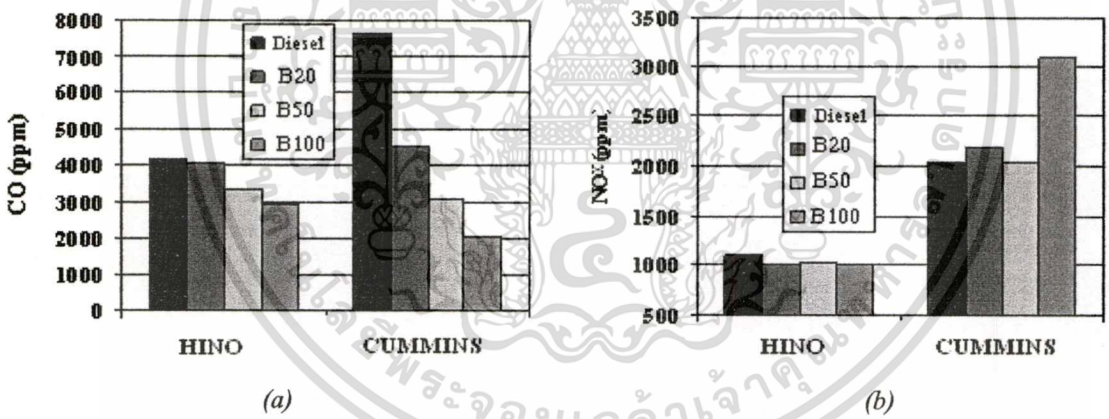
อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ประเภทน้ำมันเชื้อเพลิงและการเลือกใช้ชนิดของเครื่องยนต์สำหรับเรือประมงรอบเดินกลาง จำเป็นต้องศึกษาถึงปัจจัยด้านมลพิษและการสึกหรอของเครื่องยนต์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลและองค์ประกอบในการตัดสินใจเลือกใช้งานเครื่องยนต์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 ผลการตรวจวัดมลพิษ

ในภาพที่ 5.7*(a)* แสดงผลการตรวจวัดปริมาณ CO พบว่า เครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 เมื่อใช้น้ำมันดีเซลปล่อยปริมาณ CO มากที่สุด และปริมาณของ CO จะมีแนวโน้มลดลงตามสัดส่วนผสมของไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้น สำหรับเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M แนวโน้มในการปล่อยปริมาณ CO มีลักษณะเช่นเดียวกันกับเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 แต่ปริมาณ CO ที่ปล่อยออกมา พบว่ามีค่าสูงกว่าของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 มาก โดยเฉพาะในกรณีที่ใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมัน B20 เป็นเชื้อเพลิง คือ มีค่า 7,647 และ 4,534 ppm ส่วนเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 มีค่าการปล่อย CO ที่ 4,148 และ 4,058 ppm ตามลำดับ

ผลการตรวจวัดปริมาณ NO_x ดังแสดงในภาพที่ 5.7*(b)* พบว่าปริมาณการปล่อย NO_x ของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 มีค่าใกล้เคียงกันสำหรับทุกๆ น้ำมันที่นำมาทดสอบ คือ น้ำมันดีเซล , B20, B50 และ B100 ให้ปริมาณการปล่อย NO_x ที่ 1,096 , 1,008 , 1,042 และ 1,021 ppm ตามลำดับ ส่วนเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M พบว่า ปริมาณการปล่อย NO_x มีค่า 2,029 , 2,193 , 2,034 และ 3,085 ppm ตามลำดับ โดยพบว่า แนวโน้มการปล่อย NO_x ของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M มีสัดส่วนที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มสูงขึ้น



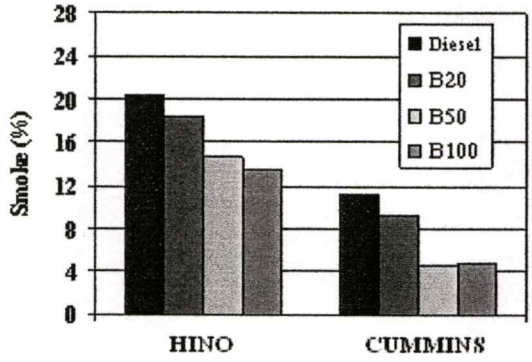
(a) *(b)*

ภาพที่ 5.7 ผลการตรวจวัดปริมาณการปล่อยก๊าซของเครื่องยนต์

(a) ปริมาณการปล่อย CO, *(b)* ปริมาณการปล่อย NO_x

จากภาพที่ 5.8 แสดงผลการตรวจวัดค่าควันดำในภาพของค่าความทึบแสง โดยพบว่าเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 เมื่อใช้น้ำมันดีเซล, B20, B50 และ B100 ค่าควันดำที่เกิดขึ้น วัดค่าได้ คือ 20.4, 18.5, 14.7 และ 13.4% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าลดลงตามสัดส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้น สำหรับเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M ค่าควันดำของน้ำมันดีเซลและน้ำมัน B20 มีค่าใกล้เคียงกัน คือ 11.0 และ 9.19% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกับน้ำมัน B50 และ B100 ที่ให้ค่าควันดำ 4.42 และ 4.76% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.8 ผลการตรวจวัดค่าควันดำของเครื่องยนต์ที่กำลังสูงสุด

5.1.5 ผลการวิเคราะห์คราบเขม่าที่หัวฉีด

ดัชนีบ่งบอก หรือ Coking index (CI) คือ ค่าดัชนีที่เป็นตัวบอกปริมาณเขม่าที่จับที่หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง B20, B50 และ B100 ว่าเป็นกี่เท่าเมื่อเทียบกับการเผาไหม้ด้วยน้ำมันดีเซลปกติ ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{Coking Index} = \frac{\text{พื้นที่ที่เขม่าอันเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง}}{\text{พื้นที่เขม่าอันเกิดจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลปกติ}}$$



B = (A+B) – A ซึ่งบางครั้ง พื้นที่ (A+B) ≤ พื้นที่ A

ภาพที่ 5.9 การกำหนดเส้น reference เพื่อหาพื้นที่เขม่าที่จับหัวฉีด

วิธีการหาค่า Coking index ทำโดยการถ่ายภาพ และใช้ Plane meter เพื่อหาพื้นที่ของหัวฉีดที่ล้างสะอาด (พื้นที่ A) และนำไปทดสอบโดยใช้น้ำมันดีเซล นำกลับมาถ่ายภาพ และใช้ Plane meter เพื่อหาพื้นที่ของหัวฉีดอีกครั้ง (พื้นที่ A+B) และนำมาคำนวณหาพื้นที่หัวฉีดที่เพิ่มขึ้น (พื้นที่ B) ซึ่งเป็นพื้นที่เขม่าอันเกิดจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลปกติ ดังแสดงในภาพที่ 5.9 จากนั้นเริ่มทำการทดสอบและหาพื้นที่หัวฉีด โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเป็น B20, B50 และB100 โดยผลการวิเคราะห์ Coking index เมื่อเครื่องยนต์รับภาระ 80% ของกำลังสูงสุด หรือ Rated power แสดงไว้ในตารางที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ค่า Coking index ที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมัน B20, B50 และ B100 ที่ภาระ 80% ของกำลังสูงสุด (Rated power) ที่ความเร็วรอบ 1,800 rpm

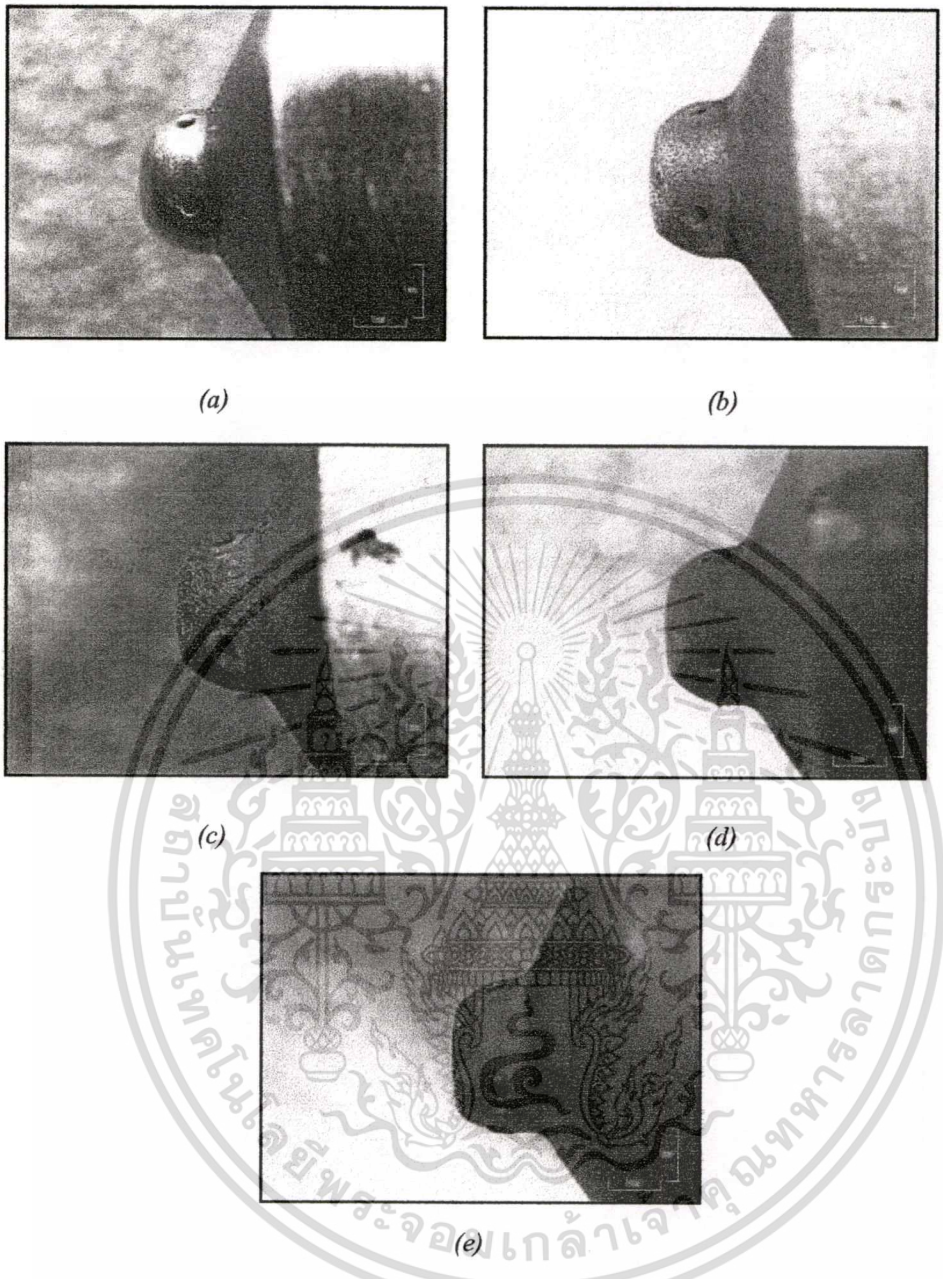
	Coking Index		
	B20	**B50**	**B100**
เครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700	1.16	2.18	2.25
เครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M	1.27	2.01	2.85

ผลการวิเคราะห์ค่า CI แสดงให้เห็นว่าค่า CI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลในส่วนผสมที่สูงขึ้น เนื่องจากผลกระทบของสมบัติและอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลที่สัดส่วนผสมสูงๆ มีความหนืด,น้ำหนักโมเลกุลสูงและค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีอัตราการใช้น้ำมันสูงกว่าเป็นผลทำให้เกิดเขม่าที่หัวฉีดมากกว่าน้ำมันดีเซล ลักษณะหัวฉีดของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 โดยพบว่าสัดส่วนของน้ำมันไบโอดีเซลที่มากขึ้นเกิดเขม่าที่หัวฉีดหนาขึ้น แสดงดังภาพที่ 5.10 (a),(b),(c),(d) และ (e) ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับหัวฉีดของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M ดังภาพที่ 5.11 (a),(b),(c),(d) และ (e) ตามลำดับ ซึ่งสรุปได้ว่าน้ำมันไบโอดีเซลมีผลต่อเขม่าที่ติดกับหัวฉีด ดังนั้นควรพิจารณาถึงผลกระทบที่จะตามมาจากการเกิดเขม่าที่หัวฉีดประกอบด้วย เช่น ผลกระทบต่อปั๊มหัวฉีด ซึ่งในการทดสอบ 500 ชั่วโมง ยังไม่พบความผิดปกติของปั๊มหัวฉีดในเครื่องยนต์ใด นอกจากนี้ ยังพบว่า ค่า CI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเครื่องยนต์รับภาระมากขึ้น โดยที่เครื่องยนต์แต่ละชนิด มีค่า CI ใกล้เคียงกัน

อย่างไรก็ตามมีข้อสังเกตบางประการ คือ ในการวิเคราะห์พื้นที่หัวฉีดซึ่งใช้ Plane meter จากภาพถ่ายที่มีกำลังขยาย 15 เท่านั้น การกำหนดเส้น Reference เพื่อหาพื้นที่โดยใช้ Plane meter อาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากภาพถ่ายที่ไม่ชัดเจนและการกำหนดเส้น Reference ให้อยู่ในตำแหน่งเดิมจึงค่อนข้างเป็นไปได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.5.1 หัวฉีดเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 ทดสอบที่ 1,800 rpm



(a) *(b)*

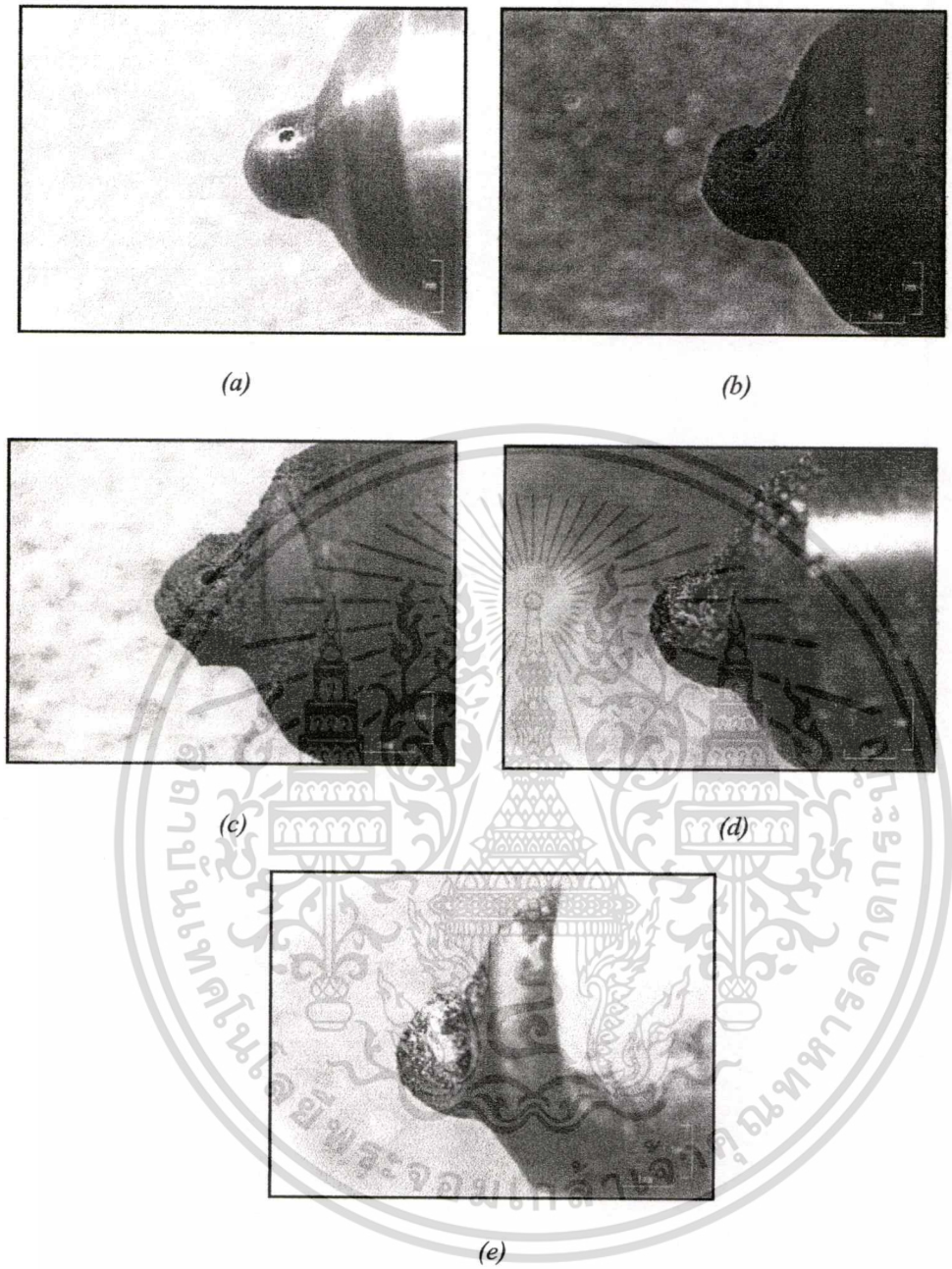
(c) *(d)*

(e)

ภาพที่ 5.10 ลักษณะหัวฉีดของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700
*(a)*หัวฉีดที่ล้างสะอาด, *(b)* หัวฉีดที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมันดีเซล,
*(c)*หัวฉีดที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมัน B20, *(d)*หัวฉีดที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมัน B50,
*(e)*หัวฉีดที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมัน B100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.5.2 หัวฉีดเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M ทดสอบที่ 1,800 rpm



(a) *(b)*

(c) *(d)*

(e)

ภาพที่ 5.11 ลักษณะหัวฉีดของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M
*(a)*หัวฉีดที่ล้างสะอาด, *(b)* หัวฉีดที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมันดีเซล,
*(c)*หัวฉีดที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมัน B20, *(d)*หัวฉีดที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมัน B50,
*(e)*หัวฉีดที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมัน B100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.6 ผลการวิเคราะห์การสึกหรอของเครื่องยนต์

5.1.6.1 การสึกหรอของแหวนลูกสูบ

การตรวจวัดการสึกหรอของแหวนลูกสูบนั้น ทำโดยการชั่งน้ำหนักแหวนลูกสูบที่เปลี่ยนใหม่ก่อนการทดสอบ โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 (ความละเอียด 0.0001 g) และชั่งน้ำหนักแหวนลูกสูบเมื่อชั่วโมงทำงานสะสมครบ 200 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักแหวนลูกสูบหลังทำการทดสอบ Long-term test ที่ 500 ชั่วโมง โดยทำการทดสอบกับน้ำมัน Diesel, B20, B50 และ B100 ผลการตรวจวัดน้ำหนักแหวนลูกสูบที่หายไป แสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 การสึกหรอของแหวนลูกสูบเมื่อใช้น้ำมันดีเซล

	น้ำหนักแหวนลูกสูบที่หายไป (%)			
	เครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700		เครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M	
	200 hr	500 hr	200 hr	500 hr
น้ำมันดีเซล	0.12	0.03	0.03	0.06
น้ำมัน B20	0.11	0.31	0.03	0.06
น้ำมัน B50	0.08	0.19	0.08	0.19
น้ำมัน B100	1.37	2.88	0.55	1.11

จากการตรวจวัดการสึกหรอของแหวนลูกสูบเมื่อทำการทดสอบ Long-term test ที่ 200 และ 500 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่า เมื่อสัดส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซลสูงขึ้น การสึกหรอของแหวนลูกสูบ (น้ำหนักของแหวนลูกสูบที่หายไป) ก็ยิ่งสูงขึ้น และการสึกหรอของแหวนลูกสูบเมื่อใช้น้ำมันที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซล มีค่าสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล

5.1.6.2 ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่อง

การทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ 2 ยี่ห้อ โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 4 ชนิด คือ น้ำมันดีเซล, B20, B50 และ B100 ตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานทุกๆ 50 ชั่วโมง แล้วเปลี่ยนน้ำมันเครื่องเมื่อทำงานได้ 200 ชั่วโมง แล้วทดสอบต่อไปจนครบ 500 ชั่วโมง โดยใช้น้ำมันเครื่องยี่ห้อ Castrol Tecron Extra SAE Grade 15W-40 ซึ่งเป็นน้ำมันเครื่องสำหรับใช้กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องยนต์ดีเซล โดยผลการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 5.3 ซึ่งจากผลการตรวจวัด สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1.6.2.1 ความหนาแน่นของน้ำมันเครื่อง (ASTM D 1298-99)

1) จากผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นที่องศาของน้ำมันเครื่องที่ผ่านการทดสอบ ณ ชั่วโมงการทำงานที่ 50, 100, 150 และ 200 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าความหนาแน่นของน้ำมันเครื่องเพิ่มขึ้น (ความหนาแน่นของน้ำมันเครื่องที่อุณหภูมิ 40 ^{0}C มีค่า 0.870 g/mL) โดยจะแปรผันตรงกับระยะเวลาที่ใช้ในการเดินเครื่องยนต์ ซึ่งความความหนาแน่นจะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งสามารถเรียงลำดับจากค่ามากไปน้อยตามยี่ห้อเครื่องยนต์ได้ดังนี้ คือ เครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 และเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M ผลของความแตกต่างของความหนาแน่นของน้ำมันเครื่อง จากการทดสอบด้วยน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดเดียวกัน คือ น้ำมัน B20 เนื่องมาจากสภาพของเครื่องยนต์ที่มีอายุการใช้งานมานาน และลักษณะเฉพาะด้านการออกแบบของเครื่องยนต์ที่แตกต่างกัน

2) เมื่อพิจารณาผลของการทดสอบการใช้น้ำมัน B20, B50, และ B100 กับเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 พบว่า สัดส่วนของปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ผสมน้ำมันดีเซลมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของน้ำมันเครื่อง โดยเมื่อสัดส่วนของน้ำมันไบโอดีเซลมากกว่าร้อยละ 20 โดยปริมาตร จะทำให้ความหนาแน่นของน้ำมันเครื่อง มีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่อง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณควันดำที่เกิดขึ้น คือ น้ำมัน B20 มีค่ามากกว่าน้ำมัน B50 และน้ำมัน B100 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องจากควันดำที่เกิดจากการเผาไหม้ถูกชะล้างลงไปอยู่ในน้ำมันเครื่อง ดังนั้นเพื่อยืดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์และน้ำมันเครื่องควรใช้สัดส่วนของน้ำมันไบโอดีเซลน้อยกว่าร้อยละ 20 โดยปริมาตร

5.1.6.2.2 ความหนืดของน้ำมันเครื่อง (ASTM D 445-04)

1) คุณสมบัติด้านความหนืดของน้ำมันเครื่อง (น้ำมันหล่อลื่น) ที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการทดสอบเพิ่มมากขึ้น อาจเนื่องจาก เขม่า สารประกอบอะโรมาติก,HC และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ ซึ่งลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด มีความแตกต่างกัน ซึ่งสามารถแยกประเภทอย่างง่ายโดยดูจากสีของเปลวไฟ และปริมาณของเขม่าควัน ตัวอย่างเช่น เชื้อเพลิงคุณภาพดีจะให้เปลวไฟสีขาวถึงฟ้า มีเขม่าและควันน้อย เป็นต้น

2) จากผลการวิเคราะห์ความหนืดของน้ำมันเครื่องที่อุณหภูมิ 40 ^{0}C เมื่อทดสอบด้วยเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 และ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M โดยใช้น้ำมัน B20 พบว่า ความหนืดของน้ำมันเครื่องเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการทดสอบเครื่องยนต์นานขึ้นจาก 50, 100, 150 และ 200 ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องมาจากการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาที่ทำการทดสอบเครื่องยนต์ ทำให้เกิดสารประกอบ HC และเขม่า ซึ่งจะถูกชะล้างลงมายังน้ำมันเครื่อง ส่งผลให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนืดเพิ่มขึ้น และเสื่อมสภาพลงในที่สุด และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพของการสันดาปของเครื่องยนต์ และใช้ความหนืดของน้ำมันเครื่องเป็นเกณฑ์ โดยเรียงลำดับจากค่ามากไปน้อย พบว่า ประสิทธิภาพของการสันดาปของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M มีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 ตามลำดับ

3) เมื่อพิจารณาผลของการทดสอบการใช้น้ำมัน B20, B50 และ B100 กับเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 พบว่าสัดส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผสมกับน้ำมันดีเซล มีผลต่อความหนืดของน้ำมันเครื่อง ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นของน้ำมันเครื่อง รวมถึงปริมาณเขม่าและควันดำที่ท่อไอเสีย ค่าความหนืดนี้ อาจใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ หรือชนิดของเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ชนิดนั้นๆ สำหรับเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 นี้ สรุปได้ว่า น้ำมัน B20 มีความเหมาะสมที่สุด

5.1.6.2.3 ปริมาณโลหะและอโลหะปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง

1) ปริมาณโลหะปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง

จากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะ ในน้ำมันเครื่อง พบค่า Fe, Pb, Cr และ Cu ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบของน้ำมันเชื้อเพลิงต่อการสึกหรอ พบว่า น้ำมัน B100 ทำให้เครื่องยนต์ทั้ง 2 ยี่ห้อ มีการสึกหรอสูงสุด รองมา คือ น้ำมัน B50, น้ำมันดีเซล และ น้ำมัน B20 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการสึกหรอระหว่างเครื่องยนต์ พบว่า เครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 มีค่าการสึกหรอมากที่สุดและเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M ตามลำดับ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงการสึกหรอของชิ้นส่วนโลหะภายในเครื่องยนต์ เช่น แหวน กระบอกสูบ และอื่นๆ เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่น และความหนืดของน้ำมันเครื่องที่เพิ่มขึ้น อันส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการหล่อลื่นลดลง

2) ปริมาณอโลหะปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง

จากการวิเคราะห์ปริมาณอโลหะในน้ำมันเครื่อง พบว่า อโลหะ Al และ Si มีแนวโน้มทำให้ความหนืดของน้ำมันเครื่องเพิ่มขึ้น ซึ่งค่า Al เป็นตัวบ่งชี้ถึงการสึกหรอของ Bearing ส่วนค่า Si ที่พบนั้น อาจมาจากฝุ่นละอองที่สามารถผ่านกรองอากาศเข้ามาในเครื่องยนต์ได้ นอกจากนั้นยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการสึกหรอของเครื่องยนต์อีก เช่น 1) ค่าความชื้นที่เหลืออยู่ในกระบอกสูบ ซึ่งจะทำให้เกิดการสึกหรอในช่วง start เครื่องยนต์, 2) การกระจายตัวของน้ำมันเครื่องที่ไม่ดีพอ, 3) น้ำมันเครื่องสกปรกหรือเสื่อมสภาพ, 4) ชนิดของเชื้อเพลิง และ 5) ระบบกรองอากาศที่ไม่มีประสิทธิภาพ เป็นต้น ตารางที่ 5.4 – ตารางที่ 5.11 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability ของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 และ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M เมื่อใช้น้ำมันดีเซล, B20, B50 และ B100 เป็นเชื้อเพลิง ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 คุณสมบัติน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 เมื่อใช้น้ำมันดีเซล

คุณสมบัติ	อายุการใช้งาน (hr)									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ความหนืดที่ 40 °C (cSt)	110	119	128	137	110	118	126	134	142	150
ความหนืดที่ 100 °C (cSt)	15.10	15.71	16.32	16.91	15.03	15.58	16.13	16.68	17.23	17.78
ความหนาแน่น 40 °C (kg/m^3)	882.1	882.3	882.4	882.6	882.2	882.5	882.8	883.1	883.5	883.6
ความหนาแน่น 100 °C (kg/m^3)	852.5	853.0	853.5	854.0	852.4	852.9	853.6	854.1	854.5	855.1
ค่าความเป็นด่าง (gKOH/g)	11	10.2	9.5	8.5	11.2	10.3	9.4	8.2	8.0	7.8
Fe (ppm)	15.48	16.05	17.72	17.97	14.31	15.35	16.71	17.22	17.97	18.44
Pb (ppm)	0.36	0.50	0.63	0.87	0.47	0.57	0.58	0.76	0.95	1.10
Cr (ppm)	0.17	0.32	0.53	0.69	0.21	0.39	0.47	0.69	0.87	0.91
Cu (ppm)	0.31	0.50	0.84	1.27	0.34	0.56	1.09	1.40	2.12	2.62
Al (ppm)	0.73	1.10	1.32	1.51	0.65	0.97	1.39	1.50	1.88	2.22
Si (ppm)	3.92	4.09	4.65	5.91	3.25	3.57	4.57	5.73	7.08	8.01

ตารางที่ 5.5 คุณสมบัติน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 เมื่อใช้น้ำมัน B20

คุณสมบัติ	อายุการใช้งาน (hr)									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ความหนืดที่ 40 °C (cSt)	112	123	138	152	111	125	139	153	167	181
ความหนืดที่ 100 °C (cSt)	15.1	16.2	16.9	17.8	15.1	15.9	16.8	17.7	18.5	19.3
ความหนาแน่น 40 °C (kg/m^3)	882.2	882.4	882.6	882.6	882.0	882.4	882.6	882.8	883.0	883.1
ความหนาแน่น 100 °C (kg/m^3)	851.0	852.1	853.2	854.4	851.5	852.5	853.5	854.6	855.7	856.5
ค่าความเป็นด่าง (gKOH/g)	11.45	11.21	10.85	10.4	11.21	10.54	10.01	9.5	9.2	9.3
Fe (ppm)	15.48	16.05	17.72	17.97	14.32	15.36	16.71	17.22	17.97	18.44
Pb (ppm)	0.32	0.45	0.56	0.78	0.42	0.51	0.52	0.68	0.85	0.98
Cr (ppm)	0.15	0.29	0.47	0.62	0.19	0.35	0.42	0.62	0.78	0.81
Cu (ppm)	0.28	0.45	0.75	1.13	0.30	0.51	0.97	1.25	1.89	2.34
Al (ppm)	0.65	0.98	1.18	1.35	0.58	0.87	1.24	1.34	1.68	1.98
Si (ppm)	3.5	3.65	4.15	5.28	2.95	3.19	4.08	5.12	6.32	7.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 คุณสมบัติน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 เมื่อใช้น้ำมัน B50

คุณสมบัติ	อายุการใช้งาน (hr)									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ความหนืดที่ 40 °C (cSt)	111	131	150	170	110	135	156	174	193	224
ความหนืดที่ 100 °C (cSt)	15	16.2	17.4	17.7	18.3	15.2	16.4	17.9	18.7	20.1
ความหนาแน่น 40 °C (kg/m^3)	881.3	881.6	881.9	882.2	881.5	881.8	882.1	882.4	882.7	883.0
ความหนาแน่น 100 °C (kg/m^3)	851.6	853.0	854.5	856.0	851.5	853.0	854.1	856.2	857.8	859.7
ค่าความเป็นด่าง (gKOH/g)	10.8	10.2	10.5	9.8	11.2	10.8	10.3	9.6	9.8	9.3
Fe (ppm)	14.89	15.40	16.89	17.12	13.85	14.78	15.9	16.45	17.15	17.54
Pb (ppm)	0.12	0.22	0.76	1.32	0.28	0.38	0.97	1.25	1.32	1.45
Cr (ppm)	0.18	0.32	0.52	0.78	0.2	0.35	0.48	0.65	0.71	0.79
Cu (ppm)	0.31	0.58	1.15	1.4	0.29	0.42	1.05	1.54	2.08	2.74
Al (ppm)	0.85	1.12	1.65	2.98	0.72	0.98	1.57	1.95	2.47	2.51
Si (ppm)	3.1	3.24	4.25	5.02	3.15	3.52	4.98	5.49	6.89	7.43

ตารางที่ 5.7 คุณสมบัติน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 เมื่อใช้น้ำมัน B100

คุณสมบัติ	อายุการใช้งาน (hr)									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ความหนืดที่ 40 °C (cSt)	110	135	161	185	111	134	159	182	209	235
ความหนืดที่ 100 °C (cSt)	15.5	16.6	17.7	18.5	15.7	162	17.9	19.1	20.2	21.3
ความหนาแน่น 40 °C (kg/m^3)	882.5	882.9	883.3	883.8	883.2	883.7	884.1	884.6	885.0	885.5
ความหนาแน่น 100 °C (kg/m^3)	851.2	853.4	855.1	857.2	851.5	853.4	855.2	857.2	859.6	861.2
ค่าความเป็นด่าง (gKOH/g)	11.1	10.85	10.2	10.3	11.5	10.4	10.2	9.5	9.8	10.1
Fe (ppm)	16.22	17.25	18.15	18.62	16.34	17.21	17.51	18.72	19.12	19.51
Pb (ppm)	0.25	0.39	0.89	1.2	0.35	0.42	1.1	1.15	1.28	1.5
Cr (ppm)	0.21	0.35	0.50	0.65	0.25	0.38	0.52	0.61	0.72	0.81
Cu (ppm)	0.45	0.68	1.05	1.25	0.35	0.58	1.15	1.67	2.14	2.87
Al (ppm)	0.95	1.25	1.87	2.52	0.87	1.11	1.75	2.15	2.51	2.45
Si (ppm)	2.53	3.15	4.58	5.12	2.17	2.95	4.67	5.35	7.21	7.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 คุณสมบัติน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M เมื่อใช้น้ำมันดีเซล

คุณสมบัติ	อายุการใช้งาน (hr)									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ความหนืดที่ 40 °C (cSt)	111.2	113.5	115.6	117.8	111.6	113.4	115.8	117.5	121.5	123.5
5ความหนืดที่ 100 °C (cSt)	15.2	15.7	16.4	16.8	15.2	16.3	16.8	17.5	17.9	18.4
ความหนาแน่น 40 °C(kg/m^3)	873.4	873.8	874.2	874.6	873.2	873.6	874.5	874.4	874.9	875.2
ความหนาแน่น100°C(kg/m^3)	844.9	845.3	845.7	846.1	845.2	845.5	845.9	846.2	846.7	847.8
ค่าความเป็นด่าง (gKOH/g)	10.2	10.5	9.6	9.9	10.5	10.9	9.8	9.5	9.6	9.2
Fe (ppm)	17.50	19.92	20.31	21.96	22.89	23.06	18.23	19.41	19.80	21.37
Pb (ppm)	0.48	0.58	1.45	1.58	1.76	2.06	0.46	0.55	1.31	1.50
Cr (ppm)	0.34	0.52	0.85	0.83	0.99	1.10	0.33	0.50	0.68	0.78
Cu (ppm)	0.48	0.81	1.61	2.32	2.94	3.95	0.46	0.76	1.52	2.19
Al (ppm)	1.21	1.53	2.41	2.89	3.44	3.32	1.14	1.45	2.29	2.74
Si (ppm)	3.63	5.42	6.42	7.36	9.85	10.41	3.38	3.85	6.45	6.99

ตารางที่ 5.9 คุณสมบัติน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M เมื่อใช้น้ำมัน B20

คุณสมบัติ	อายุการใช้งาน (hr)									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ความหนืดที่ 40 °C (cSt)	111.5	113.5	116.5	121.5	112.1	115.3	118.6	120.5	123.8	126.8
ความหนืดที่ 100 °C (cSt)	15.5	16.9	18.2	19.3	15.4	17.2	18.3	19.55	20.8	21.9
ความหนาแน่น 40 °C (kg/m^3)	873.1	874.2	875.6	876.1	873.5	874.5	875.9	876.4	877.5	878.5
ความหนาแน่น 100 °C (kg/m^3)	845.1	846.2	847.5	484.5	845.2	846.5	847.6	848.9	849.5	855.2
ค่าความเป็นด่าง (gKOH/g)	11.2	10.5	10.8	9.5	10.8	10.5	9.7	9.2	9.5	9.1
Fe (ppm)	17.50	18.25	18.59	19.97	20.31	20.89	16.86	17.84	18.17	19.47
Pb (ppm)	0.40	0.48	1.15	1.32	1.47	1.72	0.38	0.46	1.09	1.25
Cr (ppm)	0.29	0.44	0.60	0.69	0.83	0.92	0.27	0.41	0.57	0.65
Cu (ppm)	0.40	0.66	1.32	1.91	2.45	3.29	0.38	0.63	1.25	1.82
Al (ppm)	1.02	1.27	2.01	2.41	2.86	2.75	0.95	1.21	1.91	2.29
Si (ppm)	3.00	4.50	5.35	6.13	8.6	8.66	2.81	3.21	5.08	5.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 คุณสมบัติน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M เมื่อใช้น้ำมัน B50

คุณสมบัติ	อายุการใช้งาน (hr)									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ความหนืดที่ 40 °C (cSt)	111.6	114.8	118.5	122.6	112.5	115.9	119.5	123.5	128.4	130.7
ความหนืดที่ 100 °C (cSt)	15.4	17.2	19.5	20.9	15.5	17.5	19.2	20.3	22.5	23.4
ความหนาแน่น 40 °C (kg/m^3)	873.5	875.6	877.1	879.6	873.6	875.4	877.6	879.5	881.6	883.5
ความหนาแน่น 100 °C (kg/m^3)	845.6	847.5	849.2	851.6	845.2	847.5	849.2	851.6	853.9	855.4
ค่าความเป็นด่าง (gKOH/g)	11.2	10.8	10.2	10.5	11.5	11.1	10.5	10.4	10.2	9.8
Fe (ppm)	17.60	18.69	19.05	20.49	20.86	21.46	17.22	18.25	18.59	19.97
Pb (ppm)	0.42	0.51	1.21	1.39	1.54	1.81	0.42	0.48	1.15	1.32
Cr (ppm)	0.36	0.46	0.63	0.72	0.87	0.97	0.29	0.44	0.60	0.69
Cu (ppm)	0.42	0.70	1.39	2.01	2.58	3.46	0.45	0.67	1.32	1.91
Al (ppm)	1.05	1.34	2.11	2.53	3.02	2.90	1.00	1.27	2.01	2.41
Si (ppm)	3.10	3.56	5.63	6.45	8.90	9.16	2.96	3.38	5.35	6.13

ตารางที่ 5.11 คุณสมบัติน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M เมื่อใช้น้ำมัน B100

คุณสมบัติ	อายุการใช้งาน (hr)									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ความหนืดที่ 40 °C (cSt)	111.6	115.8	120.6	125.7	112.3	117.8	124.6	126.9	132.5	135.7
ความหนืดที่ 100 °C (cSt)	15.6	16.9	19.5	21.3	15.7	16.8	20.8	22.5	23.5	26.8
ความหนาแน่น 40 °C (kg/m^3)	873.9	876.5	879.2	882.5	873.5	876.9	879.5	882.5	885.6	888.1
ความหนาแน่น 100 °C (kg/m^3)	845.6	848.5	851.6	854.2	845.6	848.2	851.3	854.2	857.6	860.3
ค่าความเป็นด่าง (gKOH/g)	11.3	10.8	10.4	9.5	10.2	9.5	9.4	9.6	9.5	9.2
Fe (ppm)	16.50	17.42	17.73	18.97	19.28	19.79	16.17	17.05	17.35	18.52
Pb (ppm)	0.36	0.43	1.03	1.19	1.32	1.55	0.34	0.41	0.98	1.13
Cr (ppm)	0.26	0.39	0.54	0.62	0.74	0.82	0.24	0.37	0.51	0.59
Cu (ppm)	0.36	0.60	1.19	1.72	2.21	2.96	0.34	0.57	1.13	1.64
Al (ppm)	0.90	1.14	1.80	2.17	2.58	2.47	0.85	1.09	1.71	2.06
Si (ppm)	3.36	3.04	4.81	5.52	7.43	7.79	2.53	2.89	4.57	5.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.7 ผลการทดสอบการติดเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิต่ำ

การทดสอบการสตาร์ทเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิต่ำนั้น เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลเป็นผลผลิตจากน้ำมันพืช ซึ่งสามารถกลายเป็นของแข็งหรือเป็นไขได้ ดังนั้นการนำน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้งานในเครื่องยนต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องยนต์ที่ต้องทำงานอยู่ในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำที่ประมาณ 15 °C และต้องดับเครื่องยนต์เป็นเวลานานๆ การสตาร์ทเครื่องยนต์อาจไม่สามารถทำได้ เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลมีสภาพเป็นไข (Wax)

5.2 ผลการทดสอบภาคสนาม

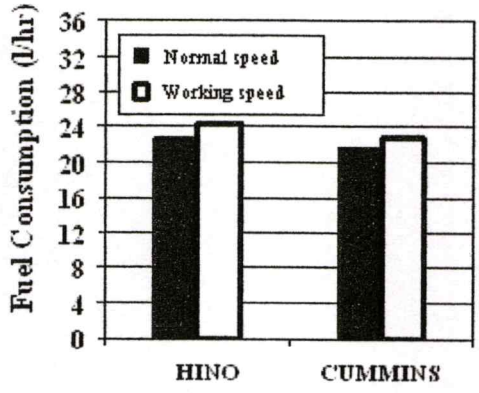
5.2.1 คุณสมบัติของน้ำมันที่ใช้ในการทดสอบ

น้ำมันดีเซลที่นำมาใช้ในการทดสอบภาคสนามสั่งซื้อจากบริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน) ซึ่งเป็นน้ำมันดีเซลธรรมดาประเภทกำมะถันต่ำ ส่วนน้ำมันไบโอดีเซลสั่งซื้อจาก บริษัท วีระสุวรรณ จำกัด (กรมธุรกิจพลังงาน.2552) ซึ่งได้รับการรับรองจากกรมธุรกิจพลังงาน รายละเอียดการทดสอบน้ำมัน B100 ตามภาคผนวก ก.

5.2.2 ผลการตรวจวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

จากภาพที่ 5.12 เมื่อใช้น้ำมัน B20 ทดสอบกับเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 และเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M พบว่า ที่ความเร็วรอบปกติ (Normal speed) มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่ 22.70 และ 21.73 L/hr ตามลำดับ การทดสอบที่ความเร็วรอบใช้งาน (Working speed) มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่ 24.26 และ 22.65 L/hr ตามลำดับ สำหรับเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบปกติแตกต่างจากความเร็วรอบใช้งาน 6.44% และเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M แตกต่างกัน 4.10% แสดงว่าช่วงการใช้งานของเครื่องยนต์ทั้ง 2 ยี่ห้อมีช่วงรอบการใช้งานที่แคบ อัตราการใช้เชื้อเพลิงจึงแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งช่วงรอบการใช้งานดังกล่าวปรับตามสภาพโหลดการใช้งาน

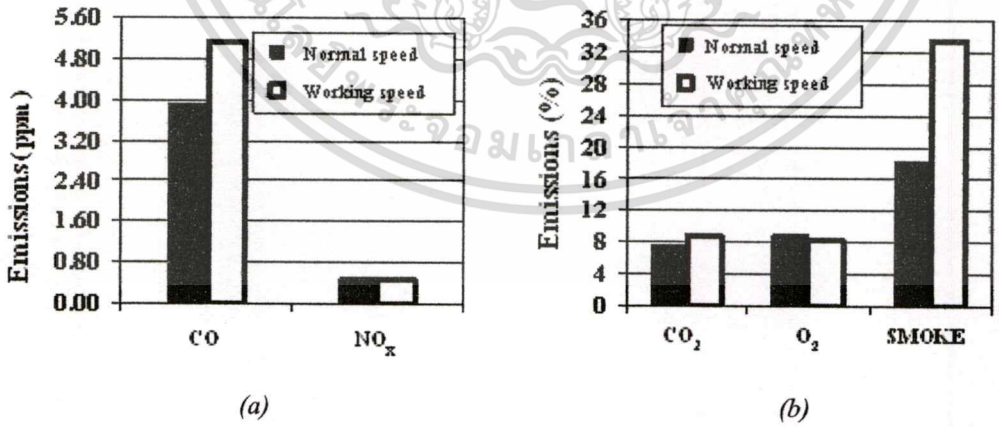
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.12 อัตราการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 และเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M

จากภาพที่ 5.13 พบว่าการปลดปล่อยก๊าซ CO, NO_X, CO_2 และ Smoke ที่ความเร็วรอบปกติ มีค่า 3.913 ppm, 0.511 ppm, 7.64% และ 9.04% ตามลำดับ สำหรับที่ความเร็วรอบใช้งานการปลดปล่อยก๊าซ CO, NO_X, CO_2 และ Smoke มีค่า 5.134 ppm, 0.468 ppm, 8.82%,และ 33.33% ตามลำดับ โดยพบว่าการปลดปล่อย CO และ Smoke มีค่าสูงขึ้นตามความเร็วรอบ ทั้งนี้อาจเกิดจากโหลดขณะเดินเรือมีค่าสูง และไม่สม่ำเสมอจากแรงคลื่นที่ปะทะ จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงสูงขึ้น ทั้งนี้พบว่า NO_X และ CO_2 มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อาจเกิดจากอุณหภูมิภายนอกขณะอยู่ในทะเลประมาณ 28-30 องศาเซลเซียส ซึ่งส่งผลต่ออุณหภูมิขณะเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าไม่สูง ส่งผลให้การปลดปล่อย NO_X และ CO_2 มีค่าต่ำไปด้วย

5.2.3 ผลการตรวจวัดมลพิษจากการเผาไหม้

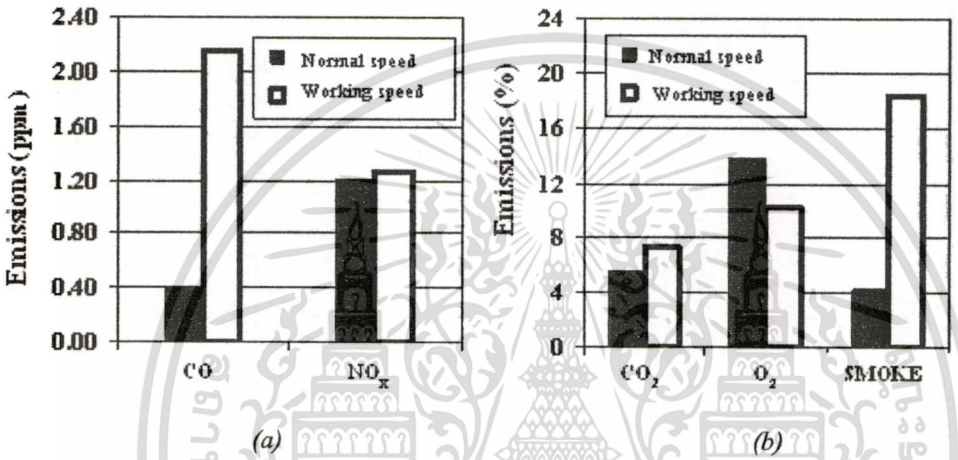


(a) *(b)*

ภาพที่ 5.13 ผลการตรวจวัดการปลดปล่อยก๊าซและค่าควันดำของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700
(a) ผลการปลดปล่อยก๊าซ CO, NO_X , *(b)*ผลการปลดปล่อยก๊าซ CO_2, O_2 และ Smoke

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 5.14 พบว่าการปลดปล่อยก๊าซ CO, NO_X , CO_2 และ Smoke ที่ความเร็วรอบปกติ มีค่า 0.383 ppm, 1.207 ppm, 5.53% และ 4.28% ตามลำดับ สำหรับที่ความเร็วรอบใช้งาน การปลดปล่อยก๊าซ CO, NO_X , CO_2 และ Smoke มีค่า 2.143 ppm, 1.264 ppm, 7.31%, และ 18.33% ตามลำดับ โดยพบว่าการปลดปล่อย CO และ Smoke มีค่าสูงขึ้นตามความเร็วรอบ ทั้งนี้อาจเกิดจากโหลดขณะเดินเรือมีค่าไม่สม่ำเสมอจากแรงคลื่นที่ปะทะจึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงสูงขึ้น ทั้งนี้พบว่าค่า NO_X และ CO_2 มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เกิดจากอุณหภูมิภายนอกขณะอยู่ในทะเล ซึ่งส่งผลต่ออุณหภูมิขณะเผาไหม้มีค่าไม่สูง ส่งผลให้ค่า NO_X และ CO_2 มีค่าต่ำไปด้วย ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700



ภาพที่ 5.14 ผลการตรวจวัดการปลดปล่อยก๊าซและค่าควันดำของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M

(a) ผลการปลดปล่อยก๊าซ CO, NO_X , *(b)* ผลการปลดปล่อยก๊าซ CO_2, O_2 และ Smoke

หมายเหตุ การปลดปล่อยก๊าซ SO_2 มีปริมาณตั้งแต่ 0-1 ppm ซึ่งในการทดสอบในภาคสนามมีปริมาณน้อยมากจึงไม่ได้แสดงผลในกราฟวิเคราะห์การปลดปล่อยมลพิษ

5.2.4 ผลการตรวจวัดการสึกหรอของเครื่องยนต์

5.2.4.1 ผลการตรวจวัดน้ำหนักแหวนลูกสูบ

การตรวจวัดการสึกหรอของแหวนลูกสูบ โดยการชั่งน้ำหนักแหวนลูกสูบที่เปลี่ยนใหม่ก่อนการทดสอบ โดยเครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียด 0.0001 g และชั่งน้ำหนักแหวนลูกสูบเมื่อชั่วโมงทำงานสะสมครบ 1,000 ชั่วโมง ผลการตรวจวัดน้ำหนักแหวนลูกสูบที่หายไป แสดงในตารางที่ 5.12 โดยน้ำหนักแหวนลูกสูบก่อนและหลังการใช้งานของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 มีความแตกต่างกัน 0.20% และ 0.30% สำหรับเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.12 น้ำหนักแหวนลูกสูบที่หายไปจากการทดสอบภาคสนาม (Field test) เมื่อใช้น้ำมัน B20 เป็นเชื้อเพลิง ที่ 1,000 ชั่วโมง

	น้ำหนักแหวนลูกสูบ (g)		
	แหวนลูกสูบใหม่	แหวนลูกสูบที่ผ่านการใช้งาน	น้ำหนักแหวนลูกสูบที่หายไป (%)
HINO รุ่น EH700	638.6484	638.3519	0.20
CUMMINS	385.0748	383.9280	0.30

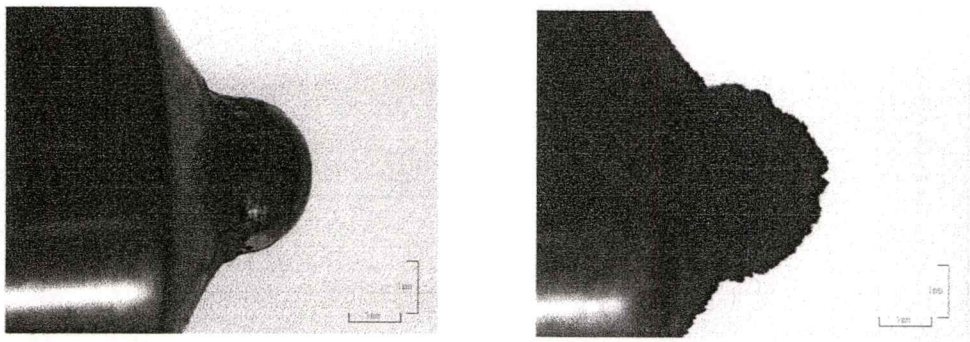
5.2.4.2 ผลการตรวจวัดคราบเขม่าที่หัวฉีด

ค่า Coking index ของหัวฉีด จากตารางที่ 5.13 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่า Coking index จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ แสดงให้เห็นว่าเมื่อเครื่องยนต์ทำงานเป็นเวลา 1,000 ชั่วโมง ปริมาณเขม่าที่เกาะบริเวณหัวฉีดจะเพิ่มมากขึ้น โดยเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 ที่ผ่านการทดสอบภาคสนามจะมีค่า Coking index สูงขึ้นประมาณ 75 – 80 % ลักษณะของเขม่าแสดงดังภาพที่ 5.15 สำหรับเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M มีค่า Coking index สูงขึ้นประมาณ 70–75% ลักษณะของเขม่าแสดงดังภาพที่ 5.16 ดังนั้นเพื่อให้การทำงานของเครื่องยนต์เรือมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในทุกๆ 1,000 ชั่วโมง หรือประมาณ 3-4 รอบของการออกเรือ (ระยะเวลาประมาณ 2 – 3 เดือน) ควรมีการทำความสะอาดหัวฉีด และตรวจเช็คสภาพให้อยู่ในมาตรฐานอยู่เสมอ

ตารางที่ 5.13 ค่า Coking index ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง B20 เป็นเวลา 1,000 ชั่วโมง

เครื่องยนต์	HINO	CUMMINS
Coking index	4.96	4.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) *(b)*

ภาพที่ 5.15 หัวฉีดเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700

(a) ก่อนทดสอบภาคสนาม, *(b)* ผ่านการใช้งานไป 1,000 ชั่วโมง



(a) *(b)*

ภาพที่ 5.16 หัวฉีดเครื่องยนต์ Cummmins รุ่น EH700

(a) ก่อนทดสอบภาคสนาม, *(b)* ผ่านการใช้งานไป 1,000 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.4.3 ผลการตรวจวัดสมรรถนะปั๊ม และหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

ตารางที่ 5.14 ปั๊มเชื้อเพลิง HINO รุ่น EH700

PUMP SPEED	Standard		Before		After	
(rpm)	Delivery	Governor	Delivery	Governor	Delivery	Governor
1000	64.4-66.6	64.4-66.6	74.5	87	74.5	87
1500	64.0-67.0	64.0-67.0	71	83.5	71	83.5
375	7.0-9.0	7.0-9.0	25.9	15.8	25.9	15.8

ตารางที่ 5.15 ปั๊มเชื้อเพลิง CUMMINS รุ่น 6B5.9-M

PUMP SPEED	Standard	Before	After
(rpm)	Delivery	Delivery	Delivery
1000	14.2-14.6	16	16
1600	14.9-15.7	16.5	16.5
275	4.0-5.0	5.5	5.5

เนื่องจากเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 เป็นเครื่องยนต์ที่ออกแบบมาเพื่อรับภาระเริ่มต้นที่ไม่สูง ซึ่งเป็นเครื่องยนต์สำหรับรถบรรทุก ดังนั้นเพื่อให้เครื่องยนต์รับภาระการทำงานได้สูงขึ้น ชาวประมงจึงปรับแต่งในส่วนของปั๊มเชื้อเพลิงให้มีการส่งน้ำมันได้มากขึ้น เพื่อให้เครื่องยนต์มีการจุดระเบิดดีขึ้น จึงทำให้เครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 มีปริมาณการใช้น้ำมันเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับปั๊มเชื้อเพลิงชนิดเดียวกันที่ยังไม่ได้ถูกปรับแต่ง แต่สำหรับเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M เป็นเครื่องยนต์ที่ออกแบบมาเพื่อรับภาระเริ่มต้นสูงได้ ปริมาณการใช้น้ำมันจึงเป็นไปตามมาตรฐานของเครื่องยนต์แต่ละยี่ห้อ ซึ่งแสดงผลการทดสอบปั๊มเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ทั้ง 2 ยี่ห้อ แสดงในตารางที่ 5.14 และตารางที่ 5.15 ถึงแม้ว่าเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 ได้ถูกปรับแต่งให้ใช้น้ำมันมากขึ้น แต่ปริมาณการใช้น้ำมันของเครื่องยนต์ทั้ง 2 ยี่ห้อ จากการใช้งานจริงมีปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงใกล้เคียงกันในช่วงของความเร็วรอบใช้งาน

ตารางที่ 5.16 ผลการตรวจวัดแรงดันหัวฉีดของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700

แรงดันหัวฉีด	หัวฉีด						
	มาตรฐาน	1	2	3	4	5	6
แรงดันก่อนทดสอบ (kg/cm^2)	221-229	200	200	210	200	220	205
แรงดันครบ 1,000 hr (kg/cm^2)		200	200	210	200	220	205

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.17 ผลการตรวจวัดแรงดันหัวฉีดของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M

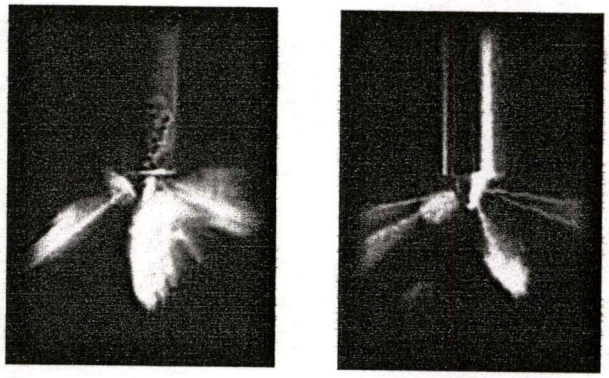
แรงดันหัวฉีด	หัวฉีด						
	มาตรฐาน	1	2	3	4	5	6
แรงดันก่อนทดสอบ (kg/cm^2)	220	220	215	220	225	220	200
แรงดันครบ 1,000 hr (kg/cm^2)		220	215	220	225	220	200

จากตารางที่ 5.16 และตารางที่ 5.17 แสดงผลการตรวจวัดแรงดันหัวฉีดของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 และเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M ตามลำดับ พบว่าหัวฉีดแต่ละชุดโดยส่วนใหญ่แรงดันหัวฉีดจะต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ซึ่งแรงดันหัวฉีดที่ลดลงนี้จะส่งผลให้หัวฉีดไม่สามารถฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้น้ำมันบางส่วนไม่เป็นละออง ลักษณะดังภาพที่ 5.17 ทำให้ เกิดการเผาไหม้ที่ไม่เต็มประสิทธิภาพ ส่งผลให้เปลี่ยนเป็นพลังงานกลในกระบอกสูบได้น้อย ระบบจ่ายน้ำมันจึงต้องจ่ายน้ำมันเพิ่มขึ้น มีผลทำให้มีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น ซึ่งลักษณะการฉีดเชื้อเพลิงที่ดี ควรฉีดเป็นละอองฝอยมากที่สุดตามลักษณะภาพที่ 5.18 สำหรับแรงดันหัวฉีดก่อนและหลังการทดสอบในภาคสนามมีค่าแตกต่างกันน้อยมากหรือบางหัวฉีดมีค่าไม่แตกต่างจากก่อนทำการทดสอบ แสดงว่าแรงดันของหัวฉีดและสมรรถนะของปั๊มน้ำมันที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล B20 มีค่าไม่แตกต่างจากก่อนเริ่มการทดสอบภาคสนาม จากผลดังกล่าวแสดงว่าเครื่องยนต์ที่จะใช้งานน้ำมันไบโอดีเซล B20 ไม่มีความจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนหรือปรับแต่งอุปกรณ์หัวฉีดและปั๊มเชื้อเพลิงแต่อย่างใด ทั้งนี้แรงดันหัวฉีดที่ลดลงจากค่ามาตรฐานเมื่อพิจารณาค่าแรงดันเริ่มต้นก่อนการทำการทดสอบในภาคสนามพบว่าต่ำกว่ามาตรฐานเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 5.17 หัวฉีด ที่ฉีดเป็นเส้นตรงไม่เป็นละอองเนื่องจากแรงดันตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.18 รูปแบบของละอองฝอยจากหัวฉีดที่แรงดันมาตรฐาน

5.2.4.4 ผลวิเคราะห์สิ่งปนเปื้อนและคุณสมบัติของน้ำมันเครื่อง

การทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ 2 ยี่ห้อ โดยการวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันเครื่องเมื่อใช้น้ำมัน B20 ที่ผ่านการใช้งานทุกๆ 350 ชั่วโมง โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันเครื่องจำนวน 3 ตัวอย่าง โดยใช้ช่วงที่เรือประมงเข้าเทียบท่าในแต่ละครั้ง จนครบจำนวนทั้งหมด 1,000 ชั่วโมง สะสมโดยใช้น้ำเครื่องยี่ห้อ Castrol Tectron Extra SAE Grade 15W-40 ซึ่งเป็นน้ำมันเครื่องสำหรับใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล โดยผลการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 5.18 – 5.19 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.18 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability ของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 ในขณะที่ตารางที่ 5.19 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability ของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M

5.2.4.4.1 ความหนาแน่นของน้ำมันเครื่อง (ASTM D 1298-99)

ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นที่องศาของน้ำมันเครื่องที่ผ่านการทดสอบที่ชั่วโมงการทำงานที่ 350, 700, 1000 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่า ความหนาแน่นของน้ำมันเครื่องเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยจะแปรผันตรงกับระยะเวลาที่ใช้ในการเดินเครื่องยนต์ ซึ่งความความหนาแน่นจะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M มีความหนาแน่นของน้ำมันเครื่องมากกว่าเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 ผลของความแตกต่างของความหนาแน่นของน้ำมันเครื่อง จากการทดสอบด้วยน้ำมัน B20 เนื่องมาจากสภาพของเครื่องยนต์ที่มีอายุการใช้งานมานาน และลักษณะเฉพาะด้านการออกแบบของเครื่องยนต์ที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.18 คุณสมบัติน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 เมื่อใช้น้ำมัน B20

คุณสมบัติ	น้ำมันเครื่อง		
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
ความหนืดที่ 40 °C (cSt)	81.190	67.160	70.88
ความหนืดที่ 100 °C (cSt)	8.340	7.860	7.970
ความหนาแน่น 40 °C (g/mL)	0.860	0.865	0.864
ความหนาแน่น 100 °C (g/mL)	0.829	0.835	0.833
Fe (ppm)	8.010	8.280	8.220
Pb (ppm)	0.950	1.150	1.070
Cr (ppm)	0.590	0.630	0.610
Cu (ppm)	1.100	1.210	1.190
Al (ppm)	2.310	2.410	2.400
Si (ppm)	4.780	4.930	4.890

ตารางที่ 5.19 คุณสมบัติน้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-Mเมื่อใช้น้ำมัน B20

คุณสมบัติ	ตัวอย่างน้ำมันเครื่อง		
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
ความหนืดที่ 40 °C (cSt)	75.75	82.03	79.34
ความหนืดที่ 100 °C (cSt)	8.990	9.390	9.270
ความหนาแน่น 40 °C (g/ml)	0.889	0.872	0.880
ความหนาแน่น 100 °C (g/ml)	0.860	0.844	0.854
Fe (ppm)	9.450	8.930	9.120
Pb (ppm)	1.220	1.160	1.200
Cr (ppm)	0.600	0.570	0.590
Cu (ppm)	1.720	1.680	1.700
Al (ppm)	2.210	2.130	2.160
Si (ppm)	5.610	5.460	5.300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.4.4.2 ความหนืดของน้ำมันเครื่อง (ASTM D 445-04)

เมื่อพิจารณาในส่วนของค่าความหนืดของน้ำมันเครื่องจะพบว่าเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 และ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M มีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 70-80 cSt แสดงให้เห็นว่าน้ำมันเครื่องที่ใช้นั้นเสื่อมสภาพได้ใกล้เคียงกัน เนื่องมาจากสภาพของเครื่องยนต์ที่นำมาทดสอบได้ผ่านการใช้งานและซ่อมบำรุงมาแล้ว มีการสึกหรอมาพอสมควร จึงทำให้คุณภาพน้ำมันเครื่องที่ใช้เสื่อมสภาพได้ค่อนข้างเร็ว

โดยสรุป น้ำมันไบโอดีเซล B20 เมื่อนำมาทดลองใช้ 1,000 ชั่วโมง ไม่ส่งผลกระทบใดๆ ต่อระบบหล่อลื่นหรือคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ ในกรณีที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องยนต์ตามกำหนด ในที่นี้โดยประมาณ 500 ชั่วโมงต่อรอบการเปลี่ยนถ่าย 1 ครั้ง

5.2.4.4.3 ปริมาณโลหะและอโลหะปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง (X-ray Fluorescence, XRF)

1) ปริมาณโลหะปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะในน้ำมันเครื่อง พบค่า Fe, Pb, Cu, และ Cr ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบของน้ำมันเชื้อเพลิงต่อการสึกหรอ พบว่า น้ำมัน B20 ทำให้เครื่องยนต์ทั้ง 2 ยี่ห้อมีการสึกหรอ เมื่อเปรียบเทียบการสึกหรอระหว่างเครื่องยนต์ พบว่า เครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M มีค่าการสึกหรอมากกว่าเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงการสึกหรอของชิ้นส่วนโลหะภายในเครื่องยนต์ เช่น แหวน กระบอกสูบ และอื่นๆ เป็นต้น

2) ปริมาณอโลหะปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง

จากการวิเคราะห์ปริมาณอโลหะในน้ำมันเครื่อง พบว่า อโลหะ Al และ Si มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งค่า Al เป็นตัวบ่งชี้ถึงการสึกหรอของ Bearing ส่วนค่า Si ที่พบนั้น อาจมาจากฝุ่นละอองที่สามารถผ่านกรองอากาศเข้ามาในเครื่องยนต์ได้ นอกจากนั้นยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการสึกหรอของเครื่องยนต์อีก เช่น 1)ค่าความชื้นที่เหลืออยู่ในกระบอกสูบ ซึ่งจะทำให้เกิดการสึกหรอในช่วงสตาร์ทเครื่องยนต์, 2) การกระจายตัวของน้ำมันเครื่องที่ไม่ดีพอ, 3) น้ำมันเครื่องสกปรกหรือเสื่อมสภาพ, 4) ชนิดของเชื้อเพลิง และ 5) ระบบกรองอากาศที่ไม่มีประสิทธิภาพ เป็นต้น ซึ่งมีโอกาสเกิดได้ทั้งเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ในห้องปฏิบัติการทั้ง 2 ยี่ห้อ ได้แก่ 1) เครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 และเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M กับน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ น้ำมันดีเซล, B20, B50 และ B100 โดยมุ่งศึกษาถึงผลของน้ำมันชนิดต่างๆ ว่าจะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์และการปลดปล่อยมลพิษ

จากข้อมูลการทดสอบในเบื้องต้น พบว่า สามารถนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืช (Vegetable oil) หรือไขมันสัตว์ (Animal fat) ที่ผ่านมาตรฐานไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ของกรมธุรกิจพลังงาน มาผสมกับน้ำมันดีเซล เพื่อใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์เรือประมงได้ โดยในภาพรวมพบว่า เครื่องยนต์ไม่เกิดอาการเสียหาย หรือมีปัญหาในการใช้งานที่น่าเป็นห่วงมากนัก แต่ก็ยังมีผลกระทบต่อทั้งสมรรถนะของเครื่องยนต์และมลพิษที่ปล่อยออกมาด้วย ดังนั้นจึงมีข้อควรพิจารณาในการนำน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้งาน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

6.1.1 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

1) ยี่ห้อของเครื่องยนต์เรือที่จะนำมาใช้งานกับน้ำมันไบโอดีเซลนั้น ควรใช้สัดส่วนผสมระหว่างน้ำมันดีเซลกับน้ำมันไบโอดีเซลอย่างเหมาะสม เนื่องจากสัดส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซลที่มากขึ้น ส่งผลให้อัตราการใช้น้ำมันที่เพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ทั้งในส่วนของกำลังและแรงบิดที่ลดลงของเครื่องยนต์ด้วย จากการทดสอบ พบว่า สำหรับเครื่องยนต์ HINOรุ่น EH700 น้ำมัน B20 ให้ค่ากำลังของเครื่องยนต์มากที่สุด เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล โดยน้ำมัน B20 ให้ค่ากำลังสูงกว่าน้ำมันดีเซล 2.72 % ส่วนน้ำมัน B50 และ B100 ให้ค่ากำลังของเครื่องยนต์ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 4.58 และ 7.16 % ตามลำดับ สำหรับค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ พบว่าน้ำมัน B20 ให้ค่าแรงบิดสูงกว่าน้ำมันดีเซล 3.24% ส่วนน้ำมัน B50 และ B100 ให้ค่าแรงบิดต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 4.41 และ 7.94% ตามลำดับ

สำหรับอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) พบว่าน้ำมัน B20 มีค่า SFC น้อยกว่าน้ำมันดีเซล 23.15 % ส่วนน้ำมัน B50 และ B100 มีค่า SFC มากกว่าน้ำมันดีเซล 7.68 และ 29.79 % ตามลำดับ และจากข้อมูลสมรรถนะเครื่องยนต์ พบว่า ควรเลือกใช้น้ำมัน B20 สำหรับเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 เนื่องจากน้ำมัน B20 ให้ค่ากำลังและแรงบิดที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล และมีค่า SFC น้อยกว่าของน้ำมันดีเซล ที่ความเร็วรอบการใช้งานในช่วง 1,500 – 1,800 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M เมื่อทดสอบกับน้ำมันชนิดต่างๆ พบว่า น้ำมัน B20 และน้ำมันดีเซลให้ค่ากำลังใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล โดยน้ำมัน B 20 ให้ค่ากำลังน้อยกว่าน้ำมันดีเซล 4.57 % ส่วนน้ำมัน B50 และ B100 ให้กำลังน้อยกว่าน้ำมันดีเซล 9.30 และ 9.60 % ตามลำดับ ค่าแรงบิดเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่า น้ำมัน B20, B50 และ B100 ให้ค่าแรงบิดน้อยกว่าน้ำมันดีเซล 2.62, 4.37 และ 9.60 % ตามลำดับ สำหรับค่า SFC พบว่า น้ำมัน B20, B50 และ B100 มีอัตราการสิ้นเปลืองมากกว่าน้ำมันดีเซล 1.81, 6.14 และ 9.39 % ตามลำดับ จากข้อมูลสมรรถนะ พบว่าควรเลือกใช้น้ำมัน B20 เพราะมีค่ากำลัง และแรงบิดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่แตกต่างจากของน้ำมันดีเซลมากนัก

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ พบว่าเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M ให้กำลังเครื่องยนต์น้อยกว่าเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 อยู่ระหว่าง 6 – 12 % สำหรับทุกสัดส่วนน้ำมันที่นำมาทดสอบ

สำหรับสมรรถนะทางด้านอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำพาะ (SFC) พบว่า เครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M มีค่า SFC มากกว่าเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 อยู่ในช่วง 4 – 65 % สำหรับทุกน้ำมันที่นำมาทดสอบ ดังนั้นถ้าจะพิจารณาสมรรถนะทางด้านอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำพาะ หรือค่า SFC เครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 ควรได้รับการเลือกมาใช้งาน เนื่องจากมีค่า SFC ต่ำที่สุด ที่ความเร็วรอบใช้งานจริง

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพเชิงความร้อน ซึ่งแสดงถึงความร้อนจากเชื้อเพลิงที่ป้อนให้แก่เครื่องยนต์แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานเพลา โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนแปรผันตรงกับกำลังของเครื่องยนต์ แปรผกผันกับอัตราการสิ้นเปลืองและค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 จากน้ำมัน B20 มีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล , B50 และ B100 ตามลำดับ แสดงว่าน้ำมัน B20 สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นงานที่เพลาได้สูงสุด ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับกำลังของเครื่องยนต์และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของน้ำมัน B20 มีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซล, B50 และ B100 สำหรับเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์จากน้ำมันดีเซลมีค่าสูงกว่าน้ำมัน B20, B50 และ B100 ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับกำลังของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M และมีสาเหตุเช่นเดียวกันกับเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 แต่เครื่องยนต์ทั้ง 2 ยี่ห้อ มีปัจจัยเรื่องอายุการใช้งานและการสึกหรอที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของทั้ง 2 เครื่องยนต์มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณากำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์ พบว่าน้ำมัน B20 มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ทดสอบในภาคสนาม เนื่องจากประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.2 ผลการตรวจวัดมลพิษ

จากผลการทดสอบเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 เมื่อใช้น้ำมัน Diesel, B20, B50 และ B100 ค่าควันดำที่ตรวจวัดได้ มีค่า 20.4, 18.5, 14.7 และ 13.4 % ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่า ค่าลดลงตามสัดส่วนของน้ำมันไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้น สำหรับเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M ค่าควันดำของน้ำมันดีเซล และ B20 มีค่าใกล้เคียงกัน คือ 11.0 และ 9.19 % ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกับน้ำมัน B50 และ B100 ที่ให้ค่าควันดำ 4.42 และ 4.76 % ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบการปล่อยควันดำของเครื่องยนต์ทั้ง 2 ยี่ห้อ พบว่า เครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 ปล่อยควันดำมากที่สุดและเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M ตามลำดับ ในทุกชนิดน้ำมันที่นำมาทดสอบ

สำหรับการปลดปล่อยมลพิษ CO ของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 พบว่า น้ำมันดีเซล, B20, B50 และ B100 ให้ค่าการปลดปล่อย CO ที่ 4,148 , 4,058 , 3,335 และ 2,908 ppm ตามลำดับ โดยพบว่า น้ำมัน B20 ให้ค่าการปลดปล่อย CO ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีแนวโน้มลดต่ำลงตามสัดส่วนน้ำมันไบโอดีเซลที่เพิ่มสูงขึ้น สำหรับเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M ค่าการปลดปล่อย CO ของน้ำมันดีเซล, B20, B50 และ B100 มีค่าการปล่อยดังนี้ คือ 7,647 , 4,534 , 3,065 และ 2,065 ppm ตามลำดับ โดยค่าการปล่อย CO ของน้ำมันดีเซลมีค่าสูง และลดต่ำลงเมื่อสัดส่วนของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบการปลดปล่อยค่า CO ของเครื่องยนต์ทั้ง 2 ยี่ห้อ พบว่า เครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M ปล่อยค่า CO สูงสุด รองลงมา คือ เครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 ตามลำดับ

สำหรับค่าการปล่อย NO_x พบว่าเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 ให้ค่าการปล่อย NO_x ที่ใกล้เคียงกันของทุกน้ำมันที่นำมาทดสอบ คือ น้ำมันดีเซล, B20, B50, B100 ให้ค่าการปล่อย NO_x ที่ 1,096 , 1,008 , 1,042 และ 1,021 ppm ตามลำดับ ส่วนเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M เมื่อทดสอบด้วยน้ำมันดีเซล, B20, B50 และ B100 พบว่า ค่าการปลดปล่อย NO_x มีค่าดังนี้ คือ 2,029 , 2,193 , 2,034 และ 3,085 ppm ตามลำดับ โดยพบว่า แนวโน้มการปล่อย NO_x ของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M มีสัดส่วนที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อสัดส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นและเมื่อเปรียบเทียบค่าการปลดปล่อย NO_x ของเครื่องยนต์ทั้ง 2 ยี่ห้อ พบว่าเครื่องยนต์ CUMMINSรุ่น 6B5.9-M มีการปล่อย NO_x มากกว่าเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700

6.1.3 ผลการตรวจวัดการสึกหรอของเครื่องยนต์

จากการตรวจวัดการสึกหรอของแหวนลูกสูบเมื่อทำการทดสอบ Long-term test ที่ 200 และ 500 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่า เมื่อสัดส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซลสูงขึ้น การสึกหรอของแหวนลูกสูบ (น้ำหนักที่สูญหาย) ก็ยิ่งสูงขึ้น และการสึกหรอของแหวนลูกสูบ เมื่อใช้น้ำมันที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซล ก็สูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ค่า Coking index (CI) พบว่า เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลในส่วนผสมที่สูงขึ้น ค่า CI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากผลกระทบของสมบัติและอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลที่มีส่วนผสมสูงๆ มีความหนืดและมีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างสูง อีกทั้งมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้อัตราการใช้น้ำมันสูงกว่า เป็นผลทำให้เกิดเขม่าที่หัวฉีดมากกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า น้ำมันไบโอดีเซลมีผลต่อเขม่าที่หัวฉีด ดังนั้นควรพิจารณาถึงผลกระทบที่จะตามมาจากการเกิดเขม่าที่หัวฉีดประกอบด้วย เช่น ผลกระทบต่อปั๊มหัวฉีด ซึ่งในการทดสอบครบ 500 ชั่วโมง ยังไม่พบความผิดปกติของปั๊มหัวฉีดในเครื่องยนต์ชนิดทุกยี่ห้อ นอกจากนี้ ยังพบว่า ค่า CI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเครื่องยนต์รับภาระมากขึ้น โดยที่เครื่องยนต์แต่ละชนิด มีค่า CI ใกล้เคียงกัน

6.2 สรุปผลการทดสอบภาคสนาม

สำหรับการศึกษาการใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เรือประมงแบบลากเดี่ยวในการทดสอบใช้งานจริง พบว่า น้ำมัน B20 ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์เรือประมงได้ โดยในภาพรวม พบว่า เครื่องยนต์ไม่เกิดอาการเสียหาย หรือมีปัญหาในการใช้งานที่น่าเป็นห่วงมากนัก แต่ก็ยังมีผลกระทบต่อทั้งสมรรถนะของเครื่องยนต์และมลพิษที่ปล่อยออกมา โดยเฉพาะอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ดังนั้นจึงมีข้อควรพิจารณาในการนำน้ำมัน B20 มาใช้งาน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1) อัตราการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 และเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M มีแนวโน้มที่สูงขึ้นเมื่อเร่งเครื่องยนต์เพิ่มความเร็วรอบจากความเร็วรอบปกติสู่ความเร็วรอบใช้งาน ซึ่งเครื่องยนต์จะรับโหลดมากขึ้น ทำให้อัตราการใช้เชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้น และอัตราการใช้เชื้อเพลิงในห้องปฏิบัติการมีค่าน้อยกว่าการทดสอบใช้งานจริง เนื่องจากสภาพการใช้งานจริงมีสภาพโหลดจากคลื่นลมที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งแตกต่างจากโหลดในห้องปฏิบัติการ

2) ผลการตรวจวัดมลพิษ พบว่าแนวโน้มการปลดปล่อย CO และ Smoke ของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 และเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M มีแนวโน้มเดียวกัน คือ เมื่อเร่งเครื่องยนต์เพิ่มความเร็วรอบจากความเร็วรอบปกติสู่ความเร็วรอบใช้งาน การปลดปล่อยไอเสียเหล่านี้จะเพิ่มสูงขึ้น สำหรับการปลดปล่อย NO_X และ CO_2 มีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเร่งเครื่องยนต์ เพิ่มความเร็วรอบจากความเร็วรอบปกติสู่ความเร็วรอบใช้งาน

3) การสึกหรอของแหวนลูกสูบในการทดสอบใช้งานจริง แสดงให้เห็นว่าเครื่องยนต์มีการสึกหรอที่สูงมากขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลในห้องปฏิบัติการ ซึ่งการสึกหรอที่มากขึ้น จะส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ ดังนั้นควรศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของระยะเวลาที่เหมาะสมในการเปลี่ยนชิ้นส่วนเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมัน B20 หรือน้ำมันไบโอดีเซลที่มีส่วนผสมมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 ข้อเสนอแนะทางทางเศรษฐศาสตร์

จากผลการศึกษาพบว่าส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซลที่เหมาะสมสำหรับใช้ในเครื่องยนต์เรือประมง คือ น้ำมัน B20 ดังนั้น เนื้อหาส่วนนี้จะเปรียบเทียบในสัดส่วนราคาน้ำมันน้ำมันดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมัน B20 เพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นให้ชาวประมงมีความเชื่อมั่นในเรื่องต้นทุนที่ต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลโดยตรง เบื้องต้นพิจารณาเฉพาะเรื่องเปอร์เซ็นแตกต่างระหว่างราคาน้ำมันดีเซลเปรียบเทียบกับราคาน้ำมันไบโอดีเซล

ตารางที่ 6.1 ราคาน้ำมันต่อลิตรของน้ำมันชนิดต่างๆ

เชื้อเพลิง	ราคาน้ำมันต่อลิตร (บาท)	ส่วนต่างจากน้ำมันดีเซล (บาท)	% แตกต่าง
ดีเซล	28.79	0	0
B20	25x20%+28.79x80%=28.03	0.76	2.64

หมายเหตุ ราคาน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล ณ วันที่ 2 เมษายน 2553

จากรายงานราคาน้ำมันเมื่อวันที่ 2 เมษายน 2553 พบว่าน้ำมันไบโอดีเซลราคา 25 บาทต่อลิตร (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากปาล์มและพืชน้ำมัน. 2553) และราคาน้ำมันดีเซลราคา 28.79 บาทต่อลิตร (สำนักนโยบายปิโตรเลียมและปิโตรเคมี. 2553)

จากตารางที่ 6.1 พบว่าต้นทุนต่อลิตรเมื่อนำน้ำมัน B20 มาใช้ มีราคาถูกกว่าการใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 0.76 บาท และจากค่าของสมรรถนะเมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมัน B20 มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นน้ำมัน B20 จึงมีความเหมาะสมในการใช้งานกับเครื่องยนต์เรือประมงกว่าน้ำมันดีเซล โดยการใช้น้ำมันไบโอดีเซลมีการสึกหรอของชิ้นส่วนและระบบปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้น ซึ่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการพิจารณาการใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์เรือประมง ถึงแม้น้ำมัน B20 จะมีราคาต่ำกว่าน้ำมันดีเซล และการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ มลพิษที่ลดลงจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซล ควรจะนำมาเป็นปัจจัยในการคิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ด้วย เนื่องจากมีผลต่อการลดลงในการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (fossil fuel) และลดสภาวะโลกร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยต่อไป

เครื่องยนต์สันดาปภายใน เป็นเครื่องจักรที่มีระบบต่างๆที่มีความสำคัญต่อการทำงาน เช่น ระบบปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ระบบหล่อลื่น ระบบระบายอากาศ ระบบระบายความร้อน รวมทั้งโครงสร้างของเครื่องยนต์ โดยในแต่ละระบบมีความซับซ้อนและมีรายละเอียดมาก จึงจำเป็นที่จะต้องมีการทดสอบในด้านอื่นๆเพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงในการใช้งานว่ามีความปลอดภัยเมื่อใช้งานกับเครื่องยนต์ และไม่ก่อปัญหากับระบบการทำงานต่างๆของเครื่องยนต์ โดยเฉพาะระบบเชื้อเพลิง

จากข้อมูลของน้ำมันไบโอดีเซลที่นำมาทดสอบกับเครื่องยนต์ พบว่ามีข้อบกพร่องในสมบัติของเชื้อเพลิงนั้นคือ มีความหนืดสูง มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมันดีเซล การศึกษาเรื่องระบบปั๊มฉีดเชื้อเพลิงและหัวฉีดเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับน้ำมันไบโอดีเซลจึงมีความสำคัญ เพื่อให้น้ำมันไบโอดีเซลสามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานกลที่ดีขณะเกิดการเผาไหม้ โดยไม่ส่งผลต่อการทำงานและความเสียหายของระบบเชื้อเพลิง

การศึกษาวิเคราะห์การสึกหรอชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องยนต์ ทั้งที่เกิดจากการจุดระเบิดที่แตกต่างจากน้ำมันดีเซลและการกัดกร่อนจากน้ำมันไบโอดีเซล การเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นเป็นการทดลองที่สำคัญ เพื่อใช้เป็นข้อบ่งชี้ถึงอายุการใช้งานของเครื่องยนต์

การปรับแต่งเครื่องยนต์เรือประมง (Tune-up) ให้เหมาะสมกับน้ำมันไบโอดีเซล โดยเฉพาะน้ำมัน B20 เพื่อทำให้การป้อนเพลิงเป็นไปในสัดส่วนที่เหมาะสมและสัมพันธ์กับการจุดระเบิด ทำให้ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงลดลงและปลดปล่อยปริมาณมลพิษในไอเสียลดลงด้วย นอกจากมีการบริการปรับแต่งเครื่องยนต์แล้ว ตรวจสอบความสะอาดของไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง กรองน้ำมันเครื่อง กรองอากาศ เพื่อให้เครื่องยนต์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ. 2549 .**น้ำมันเตา**. [Online].Available http://www.dmf.go.th/events/news.show_news.asp?id=8849-34k.

กรมธุรกิจพลังงาน. 2552. **รายชื่อผู้ผลิตไบโอดีเซล (B100) ที่ได้รับความเห็นชอบการจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายจากกรมธุรกิจพลังงาน** . กระทรวงพลังงาน. (ก.ค. 2552)

กรมประมง. 2552. **เรือประมงและเครื่องยนต์**. [Online]. Available http://www.fisheries.go.th/DOF_THAI/Division/Web_gear/HP_gear_03.html

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ). 2551. **โครงการวิจัยและทดสอบการใช้ไบโอดีเซลตั้งแต่ร้อยละ 20 ขึ้นไปกับเรือประมง**. กระทรวงพลังงาน.

กรรมาธิการ สภาผู้แทนราษฎร. 2545. **พลังงานทดแทน เอทานอล และไบโอดีเซล**. พิมพ์ ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บริษัท แปลนพริ้นท์ติ้ง จำกัด.

กิติพงษ์ เสถียรเสาวภาคร์และคณะ. 2550. **"การศึกษาผลกระทบจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วต่อสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ทางการเกษตรแบบสูบเดียวในการใช้งานระยะยาว"**. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3 กรุงเทพฯ

คณะวิจัยจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพายัพ. 2546. **รายงานวิจัยการศึกษาผลกระทบการใช้น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันพืชในเครื่องยนต์ดีเซล.** สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพมหานคร.

เจษฎา ตัณฑเศรษฐี.2546. **เครื่องยนต์สันดาปภายใน.** เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า.กรุงเทพฯ

จีรศักดิ์ เพียรเจริญ.2550.**"การทดสอบน้ำมันพืชใช้แล้วผสมน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก".**วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต,มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชัชรี ไทยสุชาติ. 2547. **" การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์กวนผสมแบบต่อเนื่อง."**วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมปิโตรเคมีบัณฑิตวิทยาลัย,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ธนาทิพย์ อัศวผดุงสิทธิ์ และคณะ. 2547. **"ทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยเมทานอลโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา."**วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์.3(2) : 139-149.

นิโรจน์ อัครปัญญาวิทย์ และคณะ.2546, **"การวิจัยการใช้น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันปาล์มดิบเพื่อใช้ในเครื่องยนต์เกษตร."**วารสารประสิทธิภาพพลังงาน 13(62): 76-81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นุภาพ แย้มไตรพัฒน์. 2550. **" การศึกษาเชิงทดลองการใช้น้ำมันไบโอดีเซลทำจากน้ำมันพืชใช้แล้วกับเครื่องยนต์ดีเซล."** การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ

พนัส งามกนกวรรณ.2549. **เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม.** [Online]. Available : http://www.diw.go.th/diw_web/html/versionthai/news/ไบโอดีเซล/pdf.

พนิดา ศิริบังเกิดผล และ ลลิตา อัตนโถ. 2548. **" การศึกษาการพัฒนาเครื่องต้นแบบผลิตไบโอดีเซล."** วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 20(2):30.

พิศมัย เจนวนิชปัญจกุล. 2548. **" ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืช."** วิศวกรรมสาร. 58(2) : 46-54.

พิศมัย เจนวนิชปัญจกุล. 2549. **" เชื้อเพลิงไบโอดีเซลระดับชุมชนเพื่อเสรษฐกิจพอเพียง."** ในการประชุมวิชาการประจำปี สวทช. : NAC 2006. ปทุมธานี : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2550. **น้ำมันพืชใช้แล้วเหมาะสมที่สุดในการผลิตเป็นไบโอดีเซล.** [Online].Available:http://www.thaienergynews.com/articleShowDetail.asp?ObjectID=138.

วัชรพล ปุณขันธ์ และคณะ. 2549. **"ผลกระทบของน้ำมันไบโอดีเซลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล."** วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 33(3) : 193-208.

วิโรจน์ จันสุด,จินดา เจริญพรพานิชย์.2549.การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่2: **"สมรรถนะของเครื่องยนต์เล็กแบบฉีดตรงที่ใช้น้ำมันเมล็ดยางพาราดิบ"**ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม เกล้าคุณทหารลาดกระบัง,กรุงเทพฯ

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2549.**รอบรู้เรื่องราวไบโอดีเซล.** พิมพ์พินิจการพิมพ์ ,สมุทรปราการ.

สวิทชาติ ญาณแก้ว. 2547. **การทดสอบ ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องจักรกลทางการเกษตร.** มหาบัณฑิต วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2547.

เสมอขวัญ ตันติกุล. 2544. **เครื่องยนต์สันดาปภายใน.** สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2549.**ไบโอดีเซล Biodiesel.** [Online]. Available : http://www.most.go.th/news/newsgov/defult.asp?GID=417.

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากปาล์มและพืชน้ำมัน.2553. **ราคาจำหน่ายน้ำมันไบโอดีเซล B100.** [Online]. Available : http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th/index2.php

สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง. 2550. **การใช้ Biodiesel ในเยอรมนี.** [Online]. Available : http://www.doeb.go.th/knowleage/bio_german.htm-19k.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักนโยบายปิโตรเลียมและปิโตรเคมี. 2553.**รายละเอียดตารางราคาน้ำมัน.** [Online]. Available : http://www.eppo.go.th/retail_changes.html

สุจินันท์ ยิ้มคมขำ. 2549. **ไบโอดีเซล.**[Online]. Available : http://www.cementhai.co.th.

สุพรชัย มั่งมีสิทธิ์. 2550. **ไบโอดีเซล ชุมชนคนรากแก้ว วิถีการอยู่อย่างพอเพียง.** พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม:สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร.

Department of Energy. 1982. **Handbook of EMA 200 Hour Test – Hydrogenated Soy Ethyl Ester and Diesel Fuel**. University of Idaho, Idaho. 78 p.

Hill, P. 2006. **Bubble Washing Biodiesel.** [Online]. Available : http://www.biodieselgear.com/bubble/biodiesle.html

International Standards for Business, Government and Society. 2002. **ISO 15550: 2002 Internal Combustion Engines - Determination and Method for Measurement of Engine Power - General Requirements**. International Organization for Standardization. (March 2002). Online available: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=28185

K.Sureshkumar, R.Velraj, R.Ganesan. 2008.**"Performance and exhaust emission characteristics of a CI engine fueled with Pongamia pinnata methyl ester (PPME) and its blends with diesel"**. Renewable Energy :College of Engineering,Anna University, Guindy, Chennai,TamiNadu 600025 ,India.

Merve Cetinkaya,Yahya Ulusoy. 2004, **"Engine and winter road test performances of used cooking oil originated biodiesel."**

M. Gumus, R.2008. **"Evaluation of hazelnut kernel oil of Turish origin as alternative fuel in diesel engines** "Renewable Energy.Automotive Division ,Department of Mechanical Education, Marmaru University, Ziverbey,

Pelly, M. 2005. **Mike Pelly's biodiesel method.** [Online]. Available : http://www.Jorneytofoever.org/biodiesel_mike.html-65k.

Prateepchaikul, G. and Apichato, T. 2003. **"Palm Oil as a Fuel for Agricultural Diesel Engines : Comparative Testing against Diesel Oil."** SONGKLANAKARIN Journal of Science and Technology. 25(3).

Puhan, S. 2005. **" Performance and emission study of Mahua oil (madhuca indica oil) ethyl ester in a 4 – stroke natural aspirated direct injection diesel engine."** Renewable Energy. 30: 1269 - 1278.

Ramadhas, A.S., Jayarai, S. and Muraleedharan, C. 2003. **"Use of Vegetable Oils As I.C.Engine Fuels – A Review."** Renewable Energy. 29: 31-42.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Raymond, R., Tan. Alvin, B. Culaba. and Michael, R. I. Purvis. 2003. **"Carbon balance implications of coconut biodiesel utilization in the Philippine automotive transport sector."** Biomass and BioEnergy. 29: 579 - 585.

Sher, E. 1998. **"Handbook of air pollution from internal combustion engine-Pollutant formation and control. "** United States of America : Academic Press

Wikipedia.2007.**Glycerol**.[Online].Available:http://en.wikipedia.org/wiki/Glycerol# Synthesis_and_production

Willard W. Pulkrabek.1997. **"Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine."** Pearson Education Indochina Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

เอกสารรับรองคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล

1. หนังสือรับรองการให้ความเห็นชอบการจำหน่ายหรือ
   มีไว้เพื่อจำหน่ายไบโอดีเซล ประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน
   บริษัท ไบโอเอ็นเนอร์ยี่พลัส จำกัด (หน้า 105)
2. เอกสารรับรองคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ
   บริษัท ไบโอเอ็นเนอร์ยี่พลัส จำกัด (หน้า 106-107)
3. เอกสารรับรองคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลสำหรับการทดสอบภาคสนาม
   บริษัท วีระสุวรรณ จำกัด(หน้า 108)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารรับรองคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล

FROM :BIOENERGYPLUS CO LTD FAX NO. :035258696 Oct. 16 2008 15:56 P2

เลขที่ _๒/๒๕๕๑ แบบ อพ. พ ๔๐๗

หนังสือรับรอง
การให้ความเห็นชอบการจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่าย
ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน

หนังสือรับรองฉบับนี้ ออกให้เพื่อแสดงว่า ผู้ค้าน้ำมันชื่อ บริษัท ไบโอเอ็นเนอยี่พลัส จำกัด มีที่อยู่/ที่ตั้งสถานประกอบการหรือสำนักงานใหญ่ ตั้งอยู่เลขที่ ๑๐๑ ซอย ๒๐ มิถุนา แยก ๘ แขวง สามเสนนอก เขต ห้วยขวาง จังหวัด กรุงเทพฯ ได้รับความเห็นชอบการจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน ณ สถานที่ที่กำหนดดังต่อไปนี้

☑ สถานที่ผลิต ๑๙๙ หมู่ ๒ ถนนอุดมสรยุทธ ตำบลคลองจิก อำเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

☑ สถานที่จำหน่าย ๑๙๙ หมู่ ๒ ถนนอุดมสรยุทธ ตำบลคลองจิก อำเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

โดยผู้ขอรับความเห็นชอบการจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขที่อธิบดีกำหนด

การจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน ตามหนังสือรับรองฉบับนี้ ให้ใช้ได้ตั้งแต่วันที่ ๗ มิถุนายน ๒๕๕๑ จนถึงวันที่ ๖ มิถุนายน ๒๕๕๓

ออกให้ ณ วันที่ ๗ มิถุนายน ๒๕๕๑

(นายแสงชัย ปั้นพึงสุข)
ผู้อำนวยการกองควบคุมกิจการพลังงาน

สำเนาถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารรับรองคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล (ทดสอบในห้องปฏิบัติการ)

Bio Energy Plus Co., Ltd.

QUALITY CONTROL DIVISION
100 Soi 20 Mituna 11 Yak 8 Samsennok, Huaykwang, Bangkok 10320, Thailand
Tel +66(0)3525-8695 Fax. +66(0)3525-8696

Certificate of Analysis

Product : Biodiesel (B-100)
Customer / Supplier Name : บริษัท เอ็นเนอร์จี้ พลัส จำกัด
Cert No. : SUT/02
Quantity : 19,000 litres
Date of Issue : 21 November 2008
Lot No. : 081121-109

TEST ITEM	TEST METHOD	Specification	RESULT
1. Appearance	Visual	C & B	C & B
2. Density @ 15°C, kg/m³	ASTM D1298-99	860 - 900	873
3. Density @ 30°C, g/ml			0.863
4. Kinematic Viscosity @ 40°C, cSt	ASTM D445-04	3.5 - 5	4.430
5. Total Acid Number, mg KOH/g	ASTM D664-01	0.50 max	0.3508
6. Cloud Point, °C	ASTM D2500		19
7. Flash Point, °C	ASTM D93	120°C	>120
8. Iodine Value, g I₂/100g	EN 14111	120 max	30
9. Water Content, %wt	EN 12937	0.05 max	0.0292
10. Methyl Ester, %wt	EN 14103	96.5 min	98.04
11. Linolenic Acid Methyl Ester, %wt	EN 14103	12.0 max	0.049
12. Monoglyceride, %wt	EN 14105	0.80 max	0.386
13. Diglyceride, %wt	EN 14105	0.20 max	0.042
14. Triglyceride, %wt	EN 14105	0.20 max	<0.001
15. Free glycerin, %wt	EN 14105	0.02 max	<0.001
16. Total glycerin, %wt	EN 14105	0.25 max	0.105
17. Excess Methanol, %	EN 14110	0.20 max	<0.005
18. Oxidation Stability @ 110°C, hours	EN 14112	10 min	13.88

Remark :

Approved by : Narathorn Sukrajai
Position Title : Quality Control Chemist
Date of Issue : 21 November 2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารรับรองคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล (ทดสอบในห้องปฏิบัติการ)

Bio Energy Plus Co., Ltd.

QUALITY CONTROL DIVISION
100 Soi 20 Mitune 11 Yak 3 Samsennok, Huaykwang Bangkok 10320, Thailand
Tel. +66(0)3525-8895 Fax +66(0)3525-8696

Certificate of Analysis

Product : Biodiesel (B-100)
Customer / Supplier Name : บริษัท เอ็นเนอร์จี้พลัส จำกัด
Cert No. : SUT'01
Quantity : 12,000 litres
Date of Issue : 1 November 2008
Lot No. : 08110'-101

TEST ITEM	TEST METHOD	Specification	RESULT
1. Appearance	Visual	C & B	C & B
2. Density @ 15°C, kg/m³	ASTM D1298-99	860 - 900	873
3. Density @ 30°C, g/ml			0.863
4. Kinematic Viscosity @ 40°C, cSt	ASTM D445-04	3.5 - 5	4.623
5. Total Acid Number, mg KOH/g	ASTM D664-01	0.50 max	0.4007
6. Cloud Point, °C	ASTM D2500		19
7. Flash Point, °C	ASTM D93	120°C	>120
8. Iodine Value, g I₂/100g	EN 14111	120 max	30
9. Water Content, %wt	EN 12937	0.05 max	0.0341
10. Methyl Ester, %wt	EN 14103	96.5 min	98.11
11. Linolenic Acid Methyl Ester, %wt	EN 14103	12.0 max	0.039
12. Monoglyceride, %wt	EN 14105	0.80 max	0.391
13. Diglyceride, %wt	EN 14105	0.20 max	0.053
14. Triglyceride, %wt	EN 14105	0.20 max	<0.001
15. Free glycerin, %wt	EN 14105	0.02 max	<0.001
16. Total glycerin, %wt	EN 14105	0.25 max	0.108
17. Excess Methanol, %	EN 14110	0.20 max	<0.005
18. Oxidation Stability @ 110°C, hours	EN 14112	10 min	13.31

Remark :

Approved by : Nawithon Sukmee
Position Title : Quality Control Chemist
Date of Issue : 1 November 2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารรับรองคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล (ทดสอบภาคสนาม)

บริษัท สิงหลวงรวม จำกัด
Singluangruam Co., Ltd.
53/2 หมู่ 5 ตำบลนาดี อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร 74000
53/2 Moo 5, Nadee, Amphur Muang, Samuthsakorn 74000, Thailand.
โทร : 034-468801-2 แฟกซ์ : 034-468803

Certificate of Analysis

Product : Biodiesel (B-100) (Methyl Ester)

Sample Lab No. : 22.10.52
Customer/Supplier : บริษัท เซ็นเกษร์วิชั่น จำกัด
Sample Location : T-22
Sample Condition : Normal

Delivery Date :22 Oct 2009
Dute of Test :22 Oct 2009
Date of Sampling :22 Oct 2009

	TEST ITEM	TEST METHOD	LIMIT	RESULT
1	Appearance.	Visual	C&B	C&B
2	Density @ 15 ° C,kg/m³	ASTM D 4052-96	860-900	872.4
	SP.GR. 30 ° C			862.2
3	Kinematic Viscosity @ 40 ° C,mm²/s	ASTM D 445-06	3.5-5.0	4.44
4	Phosphorus, mg/kg	ASTM D 4951-02	max 10	Nil
5	Sulphur Content,ppm by wt.	ASTM D 2622-03	max 10	5.11
6	Flash Point, (P.M.), ° C	ASTM D 93-02a	min 120	130
7	Copper Strip Corrosion (3hrs.@50° C).	ASTM D 130-94	max No.1	1a
8	Total Contaminate,%wt.	EN 12662	max 0.0024	0.00102
9	Total Acid Number,mg KOH/g	ASTM D 664-01	max 0.50	0.1
10	Water Content,%wt.	EN 12937	0.05	0.029
11	Sodium plus Potassium,mg/kg	ASTM D 5185-02	max 5.0	Nil
12	Calcium plus Magnesium,mg/kg	ASTM D 5185-02	max 5.0	Nil
13	Cloud Point, °C	ASTM D 2500-02	max 16	15
14	Oxidation Stability at 110° C,hours	EN 14112	min 10	12.11(a)
15	Carbon Residue on 10% Distillation Residue, %wt	ASTM D 4530-00	max 0.30	0.08
16	Iodine Value,g I_2/100g	EN 14111	max 120	25
17	Methyl Ester,%wt.	EN 14103	min 96.5	98.7
18	Linolenic Acid Methyl Ester,%wt.	EN 14103	max 12.0	0.0
19	Methanol,%wt.	EN 14110	max 0.20	0.003
20	Monoglyceride,%wt.	EN 14105	max 0.80	0.015
21	Diglyceride,%wt.	EN 14105	max 0.20	0.0
22	Triglyceride,%wt.	EN 14105	max 0.20	0.0
23	Free glycerin,%wt.	EN 14105	max 0.02	< 0.015
24	Total glycerin,%wt.	EN 14105	max 0.25	< 0.015

Remark

(a) เติม Anti - oxidant Kerobit TP 26

Approved by : .....
(MS. Savaluck Boonyasuwat)
Date of Issue :22 OCT 2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1. ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์และการตรวจวัดคุณภาพไอเสีย

ตารางที่ ข.1.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 เมื่อใช้น้ำมันดีเซล

Engine Speed (rpm)	Engine power (kW)	Engine torque (N·m)	Specific fuel consumption (g/kW-hr)	Smoke (%)	Emissions index (ppm)			
					CO	NO	NO_2	NO_x
2,202	43.4	188	293.56	2.89	660	892	14.2	906
2,000	69.8	333	238.61	20.4	4,148	1,052	17.2	1,069
1,801	63.7	338	228.71	27.5	4,407	866	14.5	881
1,599	57.0	340	221.75	32.0	4,279	903	15.1	918
1,399	49.2	336	235.92	26.3	3,914	940	14.6	955
1,199	40.8	326	244.17	23.4	2,868	801	14.4	815

ตารางที่ ข.1.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 เมื่อใช้น้ำมัน B20

Engine Speed (rpm)	Engine power (kW)	Engine torque (N·m)	Specific fuel consumption (g/kW-hr)	Smoke (%)	Emissions index (ppm)			
					CO	NO	NO_2	NO_x
2,201	37.1	161	270.03	6.64	670	817	13.8	831
2,002	71.7	343	177.47	18.5	4,059	991	17.8	1,008
1,800	66.1	351	171.23	23.8	4,763	903	15.3	919
1,597	58.1	349	172.70	19.9	4,587	928	15.9	944
1,402	48.7	336	183.50	16.5	3,929	913	15	928
1,203	39.1	313	184.16	15.5	3,684	965	16.1	981

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1.3 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 เมื่อใช้น้ำมัน B50

Engine Speed (rpm)	Engine power (kW)	Engine torque (N·m)	Specific fuel consumption (g/kW-hr)	Smoke (%)	Emissions index (ppm)			
					CO	NO	NO_2	NO_x
2,200	39.1	170	337.00	3.26	2,885	1,088	16.4	1,104
1,999	66.6	319	256.90	14.7	3,335	1,024	18.1	1,042
1,799	61.2	328	241.61	16.3	3,686	922	14.8	937
1,598	54.6	325	240.37	26.4	3,846	948	15.8	964
1,402	47.6	321	253.80	23.1	3,666	923	15.4	938
1,200	38.2	313	276.84	13.6	3,088	959	14	973

ตารางที่ ข.1.4 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 เมื่อใช้น้ำมัน B100

Engine Speed (rpm)	Engine power (kW)	Engine torque (N·m)	Specific fuel consumption (g/kW-hr)	Smoke (%)	Emissions index (ppm)			
					CO	NO	NO_2	NO_x
2,200	45.4	197	314.85	2.96	536	799	8.8	808
1,999	64.8	310	267.58	13.4	2,908	1,008	12.8	1,021
1,799	56.9	307	293.30	6.69	2,934	911	12.4	701
1,601	52.4	313	290.86	7.74	2,558	937	13.1	950
1,399	45.1	307	290.80	7.35	2,423	917	13.8	931
1,199	37.1	294	317.34	7.35	2,071	909	14	923

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1.5 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ CUMMINSรุ่น 6B5.9-M เมื่อใช้น้ำมันดีเซล

Engine Speed (rpm)	Engine power (kW)	Engine torque (N·m)	Specific fuel consumption (g/kW-hr)	Smoke (%)	Emissions index (ppm)			
					CO	NO	NO_2	NO_x
2,200	47.7	207	307.53	3.28	447	1,399	34.1	1,429
1,999	64.2	307	292.15	9.19	7,647	1,988	39.7	2,029
1,801	62.1	329	276.12	5.38	9,216	1,598	22.3	1,632
1,600	55.6	332	275.20	8.15	10,051	1,586	22.7	1,609
1,400	48.9	334	286.20	7.70	16,857	1,466	22.8	1,477
1,200	42.7	340	281.02	7.08	17,092	1,475	29.1	1,508

ตารางที่ ข.1.6 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ CUMMINSรุ่น 6B5.9-M เมื่อใช้น้ำมัน B20

Engine Speed (rpm)	Engine power (kW)	Engine torque (N·m)	Specific fuel consumption (g/kW-hr)	Smoke (%)	Emissions index (ppm)			
					CO	NO	NO_2	NO_x
2,200	44.5	193	340.33	3.28	283	1,258	30.1	1,305
2,000	62.6	300	302.24	9.19	4,534	2,186	34.1	2,193
1,801	60.1	318	281.02	5.38	5,042	2,103	34.1	2,149
1,599	54.6	325	275.44	8.15	7,709	1,991	34.6	2,029
1,399	47.7	326	288.39	7.70	6,169	2,057	44.3	2,089
1,201	41.8	334	287.96	7.08	7,601	2,051	52.2	2,108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1.7 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ CUMMINSรุ่น 6B5.9-M เมื่อใช้น้ำมัน B50

Engine Speed (rpm)	Engine power (kW)	Engine torque (N·m)	Specific fuel consumption (g/kW-hr)	Smoke (%)	Emissions index (ppm)			
					CO	NO	NO_2	NO_x
2,200	43.1	187	401.16	1.15	500	1,414	43	1,452
2,000	59.5	284	331.85	4.42	8,065	1,995	35.7	2,034
1,802	58	307	296.53	2.52	8,833	1,792	30.8	1,813
1,602	53.6	319	293.11	5.28	11,113	1,729	30.3	1,760
1,400	47.2	322	292.12	5.39	1,5431	1,561	26.6	1,597
1,200	41.1	326	293.39	6.62	20,192	1,581	30.3	1,595

ตารางที่ ข.1.8 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ CUMMINSรุ่น 6B5.9-M เมื่อใช้น้ำมัน B100

Engine Speed (rpm)	Engine power (kW)	Engine torque (N·m)	Specific fuel consumption (g/kW-hr)	Smoke (%)	Emissions index (ppm)			
					CO	NO	NO_2	NO_x
2,200	45.9	199	385.77	2.50	415	2,542	107.3	2,650
2,001	59.3	283	339.07	4.76	2,065	2,994	90.7	3,085
1,800	46.3	299	310.39	2.58	2,031	2,525	71.6	2,597
1,600	52.7	314	290.53	1.78	2,032	2,279	68.9	2,348
1,399	46.5	317	308.73	3.55	2,347	2,415	71.8	2,487
1,204	40.2	321	304.13	5.64	3,003	2,649	76.9	2,726

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2. การตรวจวัดการสึกหรอของเครื่องยนต์โดยพิจารณาจากการสึกหรอของแหวนลูกสูบ

ตารางที่ ข.2.1 น้ำหนักแหวนลูกสูบใหม่ เทียบกับหลังการทดสอบ Durability (Long-term test) เมื่อใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ 200 และ 500 ชั่วโมง ตามลำดับ

เครื่องยนต์	น้ำหนักแหวนลูกสูบ (g)		
	แหวนลูกสูบใหม่	200 hr	500 hr
HINO	639.5635	638.7963	637.7029
CUMMINS	383.2796	383.1808	383.0613

ตารางที่ ข.2.2 น้ำหนักแหวนลูกสูบใหม่เทียบกับหลังการทดสอบ Durability (Long-term test) เมื่อใช้น้ำมัน B20 เป็นเชื้อเพลิง ที่ 200 และ 500 ชั่วโมง ตามลำดับ

เครื่องยนต์	น้ำหนักแหวนลูกสูบ (g)		
	แหวนลูกสูบใหม่	200 hr	500 hr
HINO	638.9391	638.2096	636.8549
CUMMINS	383.4497	383.3514	383.2334

ตารางที่ ข.2.3 น้ำหนักแหวนลูกสูบใหม่ เทียบกับหลังการทดสอบ Durability เมื่อใช้น้ำมัน B50 เป็นเชื้อเพลิง ที่ 200 และ 500 ชั่วโมง ตามลำดับ

เครื่องยนต์	น้ำหนักแหวนลูกสูบ (g)		
	แหวนลูกสูบใหม่	200 hr	500 hr
HINO	641.4437	639.969	638.1894
CUMMINS	383.0433	382.7369	382.3293

ตารางที่ ข.2.4 น้ำหนักแหวนลูกสูบใหม่ เทียบกับหลังการทดสอบ Durability (Long-term test) เมื่อใช้น้ำมัน B100 เป็นเชื้อเพลิง ที่ 200 และ 500 ชั่วโมง ตามลำดับ

เครื่องยนต์	น้ำหนักแหวนลูกสูบ (g)		
	แหวนลูกสูบใหม่	200 hr	500 hr
HINO	642.1223	633.3253	623.6486
CUMMINS	382.2930	380.1747	378.0575

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ข้อมูลการทดสอบในภาคสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.1) ข้อมูลการตรวจวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและการตรวจวัดคุณภาพไอเสีย

ตารางที่ ค.1.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 เมื่อใช้น้ำมัน B20 เป็นเชื้อเพลิง

Test No.	Engine Speed (rpm)	Fuel consumption (L/hr)	Smoke (%)	Emissions index				
				CO (ppm)	CO_2 (%)	NO_X (ppm)	O_2 (%)	SO_2 (ppm)
1	1,720	25.20	21	4,477-4,500	8.55-8.93	520-560	9.20-9.27	0
	1,902	27.60	37	4,703-4,860	9.93-9.97	500-530	9.28-9.63	0
2	1,700	19.80	13	3,770-3,982	6.29-6.44	550-556	11.21-11.36	0
	1,910	20.40	31	4,849-4,942	7.12-7.25	450-478	9.73-10.52	0
3	1,770	26.30	21	3,370-3,380	7.74-7.90	430-453	6.50-6.71	0
	1,920	27.20	32	5,900-5,550	9.10-9.52	421-433	5.10-5.12	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M เมื่อใช้น้ำมัน B20 เป็นเชื้อเพลิง

Test No.	Engine Speed (rpm)	Fuel consumption (L/hr)	Smoke (%)	Emissions index				
				CO (ppm)	CO_2 (%)	NO_X (ppm)	O_2 (%)	SO_2 (ppm)
1	1,319	23.020	15.52	1,147-1,261	5.64-6.24	1,208-1,274	12.45-13.86	0
	1,353	25.356	19.4	855-897	6.73-6.93	873-923	11.61-11.81	0
2	1,795	18.300	1.06	165-193	3.38-3.49	626-686	16.86-17.82	0
	1,963	27.00	25.6	4,486-4,773	5.45-5.72	1,114-1,177	11.25-12.05	0
3	1,392	16.80	1.73	230-240	6.30-6.90	1,670-1,730	10.10-11.60	0
	1,673	22.20	10	860-990	9.45-9.55	1,735-1,765	6.60-7.75	0

ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2) ข้อมูลการตรวจวัดการสึกหรอของเครื่องยนต์

ตารางที่ ค.2.1 น้ำหนักแหวนลูกสูบของเครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700 ก่อน และหลังการทดสอบภาคสนาม (Field Test) เมื่อใช้น้ำมัน B20 เป็นเชื้อเพลิง ที่ 1,000 ชั่วโมง

เครื่องยนต์ HINO รุ่น EH700			
สูบที่	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	น้ำหนักที่หาย
	น้ำหนักแหวน (g)	น้ำหนักแหวน (g)	(g)
1	106.2519	106.0699	0.1820
2	107.0224	106.5084	0.5140
3	106.3673	106.1704	0.1969
4	106.3558	106.2186	0.1372
5	106.4549	106.3892	0.0657
6	106.1961	105.9954	0.2007
รวม	638.6484	637.3519	1.2965
%			0.2030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2.2 น้ำหนักแหวนลูกสูบของเครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M ก่อน และหลังการทดสอบภาคสนาม (Field Test) เมื่อใช้น้ำมัน B20 เป็นเชื้อเพลิง ที่ 1,000 ชั่วโมง

เครื่องยนต์ CUMMINS รุ่น 6B5.9-M			
สูบที่	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	น้ำหนักที่หาย
	น้ำหนักแหวน (g)	น้ำหนักแหวน (g)	(g)
1	63.8234	63.7914	0.0320
2	63.7493	63.6507	0.0986
3	64.2035	64.1091	0.0944
4	64.0370	63.9661	0.0709
5	64.3117	64.0470	0.2647
6	64.9499	64.3637	0.5862
รวม	385.0748	383.9280	1.1468
%			0.2978

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.3) ข้อมูลการตรวจวัดระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง

ตารางที่ ค.3.1 ปั๊มเชื้อเพลิง HINO รุ่น EH700 ก่อนทดสอบภาคสนาม

1 TEST SPECIFICATIONS

INJECTION TIMING

Pre-stroke No.1 cyl 3.1 ± 0.03 mm. Injection Oder : 1-4-2-6-3-5

RESULT OF PUMP ON TEST BENCH

Pre-stroke 3.1 mm. at 0°

No.1 cyl	No.2 cyl	No.3 cyl	No.4 cyl	No.5 cyl	No.6 cyl
0.5	119.6	239.8	59.8	299	179.5

2 ADJUSTMENT OF DELIVERY QUANTITY

PUMP SPEED rpm	Rack Traval mm.	Number of Stroke	Delivery quantity cc.
(A) 1,000	6.6	1,000	64.6 - 66.6
(B) 1,500	6.6	1,000	64.0 - 67.0
© 375	About 5.2	1,000	7.0 - 9.0

RESULT OF PUMP ON TEST BENCH

No.1 cyl	No.2 cyl	No.3 cyl	No.4 cyl	No.5 cyl	No.6 cyl
50	60	104	103	65	65
45	59	98	99	65	60
3	5.6	62	62	10	13.2

3 ADJUSTMENT OF GOVERNOR

PUMP SPEED rpm	Rack Traval mm.	Remark
275	5.5	
400		
PUMP SPEED rpm	Rack Traval mm.	Remark
590	6.6	7
1,600	6.6	
1,725	4	

RESULT OF PUMP ON GOVERNOR TESTING

PUMP SPEED rpm	Rack Traval mm.	Remark
275	5.6	
400	4	
PUMP SPEED rpm	Rack Traval mm.	Remark
590	7.3	
1,600	7.1	
1,725	4.6	

4 ADJUSTMENT OF PUMP WITH GOVERNOR OPERATION

PUMP SPEED rpm	Number of Stroke	Delivery quantity cc.	Remark
(A) 1,000	1,000	64.6 - 66.6	
(B) 1,500	1,000	64.0 - 67.0	
© 375	1,000	7.0 - 9.0	IDLE

RESULT ADJUSTMENT OF PUMP WITH GOVERNOR OPERATION

PUMP SPEED rpm	Number of Stroke	Delivery quantity cc. cyl 1-2-3-4-5-6	Remark Rack
(A) 1,000	1,000	65-68-113-112-72-72	7.2 mm.
(B) 1,500	1,000	61-72-108-110-75-75	7.3 mm.
© 375	1,000	0-0-47.2-48-0-0	4.3 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3.2 ปั๊มเชื้อเพลิง HINO รุ่น EH700 หลังจากใช้งานไป 1,000 ชั่วโมง

1 TEST SPECIFICATIONS

INJECTION TIMING

Pre-stroke No.1 cyl 3.1 ± 0.03 mm. Injection Oder : 1-4-2-6-3-5

RESULT OF PUMP ON TEST BENCH

Pre-stroke 3.1 mm. at 0°

No.1 cyl	No.2 cyl	No.3 cyl	No.4 cyl	No.5 cyl	No.6 cyl
0.5	119.6	239.8	59.8	299	179.5

2 ADJUSTMENT OF DELIVERY QUANTITY

PUMP SPEED rpm	Rack Traval mm.	Number of Stroke	Delivery quantity cc.
(A) 1,000	6.6	1,000	64.6 - 66.6
(B) 1,500	6.6	1,000	64.0 - 67.0
© 375	About 5.2	1,000	7.0 - 9.0

RESULT OF PUMP ON TEST BENCH

No.1 cyl	No.2 cyl	No.3 cyl	No.4 cyl	No.5 cyl	No.6 cyl
50	60	104	103	65	65
45	59	98	99	65	60
3	5.6	62	62	10	13.2

3 ADJUSTMENT OF GOVERNOR

PUMP SPEED rpm	Rack Traval mm.	Remark
275	5.5	
400		
PUMP SPEED rpm	Rack Traval mm.	Remark
590	6.6	7
1,600	6.6	
1,725	4	

RESULT OF PUMP ON GOVERNOR TESTING

PUMP SPEED rpm	Rack Traval mm.	Remark
275	5.6	
400	4	
PUMP SPEED rpm	Rack Traval mm.	Remark
590	12	
1,600	12.5	
1,725	12.5	

4 ADJUSTMENT OF PUMP WITH GOVERNOR OPERATION

PUMP SPEED rpm	Number of Stroke	Delivery quantity cc.	Remark
(A) 1,000	1,000	64.6 - 66.6	
(B) 1,500	1,000	64.0 - 67.0	
© 375	1,000	7.0 - 9.0	IDLE

RESULT ADJUSTMENT OF PUMP WITH GOVERNOR OPERATION

PUMP SPEED rpm	Number of Stroke	Delivery quantity cc. cyl 1-2-3-4-5-6	Remark Rack
(A) 1,000	1,000	150-150-150-150-150-150	12.5
(B) 1,500	1,000	150-150-150-150-150-150	12.5
© 375	1,000		

TEST SPECIFICATIONS

RESULT OF PUMP ON TEST BENCH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3.3 ปั๊มเชื้อเพลิง CUMMINS รุ่น 6B5.9-M ก่อนทดสอบภาคสนาม

	TEST SPECIFICATIONS				RESULT OF PUMP ON TEST BENCH				
	TEST OPERATION	S/C	RPM	Requirement		TEST OPERATION	S/C	RPM	RESULT
1	Priming	C	200	Obtain delivery from all injectors and clear flow of fuel from blackleak and governor cover vent .	1	Priming	C	200	
2	Stabilisation	S/C	1,250	60.7 $\pm$ 2.0 mm^3/st	2	Stabilisation	S/C	1,250	1,100 rpm/8 cc/100st
3	Transfer Press.	C	100	Min 0.55 bar (8 lbf/in^2)	3	Transfer Press.	C	100	
4	Advance	S	1,000	2.5^O (2.0 mm) Adjust TP	4	Advance	S	1,000	1,100 rpm/8 cc/100st
5	Transfer Press.	C	1,000	4.7 to 5.7 bar (67 to 81 lbf/in^2	5	Transfer Press.	C	1,000	
6	Back leakage	C	1,250	40 to 80 cm^3/100 stroke	6	Back leakage	C	1,250	950 rpm/8 cc/100st
7	Advance - Full	C	1,250	3.75 to 4.75^o (3.0 to 3.8 mm)	7	Advance - Full	C	1,250	
8	Mae Delivery	S	1,250	60.7 $\pm$ 0.6 mm^3/st	8	Mae Delivery	S	1,250	700 rpm/9 cc/100st
9	Governor	S	1,380	4.0 to 4.5 cm^3	9	Governor	S	1,380	
10	Delivery	C	1,450	min 1.5 cm^3	10	Delivery	C	1,450	500 rpm/7 cc/100st
11	Delivery	C	1,250	min as test (8) - 2.0 mm^3/st	11	Delivery	C	1,250	
12	Exhaust brake	C	1,250	Exhaust brake closed Max. 0.5 cm^3	12	Exhaust brake	C	1,250	
13	Idle delivery	S	320	4.0 to 4.5 cm^3 Throtte closed	13	Idle delivery	S	320	8.0/100st
14	Shut - off	C	200	De - energise solenoid, wait 5 seconds	14	Shut - off	C	200	
15	Delivery	C	100	min as test (8) - 22.5 mm^3/st	15	Delivery	C	100	7.0/100st

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3.4 ปั๊มเชื้อเพลิง CUMMINS รุ่น 6B5.9-M หลังจากใช้งานไป 1,000 ชั่วโมง

	TEST SPECIFICATIONS					RESULT OF PUMP ON TEST BENCH			
	TEST OPERATION	S/C	RPM	Requirement		TEST OPERATION	S/C	RPM	RESULT
1	Priming	C	200	Obtain delivery from all injectors and clear flow of fuel from blackleak and governor cover vent .	1	Priming	C	200	
2	Stabilisation	S/C	1,250	60.7 $\pm$ 2.0 mm^3/st	2	Stabilisation	S/C	1250	
3	Transfer Press.	C	100	Min 0.55 bar (8 lbf/in^2)	3	Transfer Press.	C	100	
4	Advance	S	1,000	2.5^{O} (2.0 mm) Adjust TP	4	Advance	S	1,000	1100 rpm/6.0 cc/100st
5	Transfer Press.	C	1,000	4.7 to 5.7 bar (67 to 81 lbf/in^2	5	Transfer Press.	C	1,000	
6	Back leakage	C	1,250	40 to 80 cm^3/100 stroke	6	Back leakage	C	1,250	950 rpm/6.7 cc/100st
7	Advance - Full	C	1,250	3.75 to 4.75^{o} (3.0 to 3.8 mm)	7	Advance - Full	C	1,250	
8	Mae Delivery	S	1,250	60.7 $\pm$ 0.6 mm^3/st	8	Mae Delivery	S	1,250	700 rpm/6.0 cc/100st
9	Governor	S	1,380	4.0 to 4.5 cm^3	9	Governor	S	1,380	
10	Delivery	C	1,450	min 1.5 cm^3	10	Delivery	C	1,450	500 rpm/6.0 cc/100st
11	Delivery	C	1,250	min as test (8) - 2.0 mm^3/st	11	Delivery	C	1,250	
12	Exhaust brake	C	1,250	Exhaust brake closed Max. 0.5 cm^3	12	Exhaust brake	C	1,250	
13	Idle delivery	S	320	4.0 to 4.5 cm^3 Throtte closed	13	Idle delivery	S	320	5.2/100st
14	Shut - off	C	200	De - energise solenoid, wait 5 seconds	14	Shut - off	C	200	
15	Delivery	C	100	min as test (8) - 22.5 mm^3/st	15	Delivery	C	100	4.5/100st

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. ทวีศักดิ์ พนาสถิตย์,สมพร ธเนศวาณิชย์ และ วัชระ เพิ่มชาติ,**"การศึกษาการใช้ไบโอดีเซลกับเรือประมงแบบลากเดี่ยว,"**การประชุมวิชาการเรื่อง สภาวะโลกร้อน : ความหลาหลายทางชีวภาพและการใช้ประโยชน์อย่างยั้งยืน,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ,นครปฐม ,ประเทศไทย ,5-6 พฤศจิกายน ,2552
2. ทวีศักดิ์ พนาสถิตย์ และ วัชระ เพิ่มชาติ,**"การทดสอบการใช้น้ำมันไบโอดีเซลร้อยละ 20 กับเรือประมงแบบลากเดี่ยว."**การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 48 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน,กรุงเทพฯ,ประเทศไทย, 3-5 กุมภาพันธ์ ,2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการ

สภาวะโลกร้อน GB Global warming

ความหลากหลายทางชีวภาพและ
การใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน

เกียรติบัตรฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

ทวีศักดิ์ พนาสถิตย์

สมพร ธเนศวาณิชย์ และ วัชระ เพิ่มชาติ

ได้เข้าร่วมเสนอผลงานแบบปากเปล่าในหัวข้อเรื่อง

การศึกษาการใช้ไบโอดีเซลกับเรือประมงแบบลากเดี่ยว

ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

5-6 พฤศจิกายน 2552

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชานันท์ สุดสุข)
คณบดีคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์

(ดร. อรวรรณ ชุณหชาติ)
ประธานคณะกรรมการจัดการประชุมฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการเรื่อง สภาวะโลกร้อน: ความหลากหลายทางชีวภาพและการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน
5-6 พฤศจิกายน 2552 ณ มหาวิทยาลัย...

การศึกษาการใช้ไบโอดีเซลกับเรือประมงแบบลากเดี่ยว

Study on Using Bio-Diesel As the Fuel in Single-Tow Type Fishery Boat

ทวีศักดิ์ พนาสถิตย์ [1] สมพร ธเนศวานิชย์ [2] และ วัชระ เพิ่มชาติ [1]

Taweesak Panasatit [1], Somporn Tanatvanit [2] and Watchara Permchart [1]

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการทดสอบการใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเรือประมงแบบลากเดี่ยว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีต่อเครื่องยนต์เรือประมง ซึ่งแต่เดิมส่วนใหญ่จะใช้เครื่องยนต์ CUMMINS ขนาด 115 แรงม้า แต่เนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงที่สูงกว่า และการหาอะไหล่ในการซ่อมบำรุงยากกว่าของเครื่องยนต์ CUMMINS ดังนั้นเครื่องยนต์ HINO ขนาด 163 แรงม้า จึงถูกนำมาใช้แทน ในการทดลองจะศึกษาเปรียบเทียบถึงผลของการใช้ไบโอดีเซลที่มีต่อสมรรถนะและความทนทานของเครื่องยนต์ทั้งสองยี่ห้อ ซึ่งผลการทดสอบ พบว่า เครื่องยนต์ทั้งสองยี่ห้อสามารถใช้งานกับน้ำมันไบโอดีเซลได้ในสัดส่วนผสมตั้งแต่ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (B20) ขึ้นไปได้ แต่สำหรับไบโอดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์ (B100) พบว่าจะมีผลต่อการสึกหรอของเครื่องยนต์ค่อนข้างมาก เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ในส่วนของสมรรถนะเครื่องยนต์ พบว่า เครื่องยนต์ HINO มีกำลังและแรงบิดใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ CUMMINS แต่มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ต่ำกว่า 38.2 และ 11.1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้น้ำมัน B20 และ B100 เป็นเชื้อเพลิง ตามลำดับ

คำสำคัญ: ไบโอดีเซล, เรือประมง, สมรรถนะ

Abstract

This paper is a part of the research study on using bio-diesel as the fuel in single-tow type fishery boat. The effects of using bio-diesel on performance and durability of the boat engines were investigated. Mostly, 115-hp CUMMINS engines have been used as chief engine of fishery boats. Due to higher fuel consumption and unavailability of their spare parts, 163-hp HINO engines have been selected to replace. The experimental results were showed that blending ratio of bio-diesel from 20%vol. (referred to as B20) can be used as the fuel in both engines. Meanwhile, the engine wear was found to be higher for pure bio-diesel (B100) compared to that of diesel oil. In addition, power and torque of HINO engine were found to be slightly different from those of CUMMINS engine whereas specific fuel consumption of HINO engine was found to be lower of about 38.2 and 11.1% when B20 and B100 were used as the fuel, respectively.

Keywords: Bio-diesel, Fishery boat, Performance

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 10520. โทร. 086-3211646
E-mail: tpwat@hotmail.com

[2] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง 10240. โทร. 086-3316390
E-mail: pan2310@yahoo.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขอรับรองว่าผลงานวิจัย

เรื่อง

การทดสอบการใช้น้ำมันไบโอดีเซลร้อยละ 20 กับเรือประมงแบบลากเดี่ยว

โดย

ทวีศักดิ์ พนาสถิตย์ และวัชระ เพิ่มชาติ

ได้ผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์

และได้นำเสนอในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48

ระหว่างวันที่ 3 - 5 กุมภาพันธ์ 2553

(รองศาสตราจารย์ ดร.พนิต เข็มทอง)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ประธานคณะกรรมการดำเนินงานจัดประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบการใช้น้ำมันไบโอดีเซลร้อยละ 20 กับเรือประมงแบบลากเดี่ยว

Testing of Using Bio-diesel 20% As the Fuel for Single-tow Type Fishery Boat

ทวีศักดิ์ พนาสถิตย์[1] และ วัชระ เพิ่มชาติ[1]

Taweesak Panasatit [1] and Watchara Permchart [1]

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีต่อการใช้งานกับเครื่องยนต์เรือประมง โดยเป็นการศึกษาต่อเนื่องจากการศึกษาในห้องปฏิบัติการ 500 ชั่วโมง โดยในการทดสอบการใช้งานจริง 1,000 ชั่วโมงนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการใช้น้ำมัน B20 ในการใช้งานกับเรือประมง โดยทดสอบกับเครื่องยนต์ HINO ขนาด 116 แรงม้า และเครื่องยนต์ CUMMINS ขนาด 115 แรงม้า ในการทดสอบจะศึกษาผลของการใช้น้ำมัน B20 ที่มีต่อ 1) อัตราการใช้เชื้อเพลิง, 2) มลพิษจากการเผาไหม้, และ 3) การสึกหรอของแหวนลูกสูบ ซึ่งพบว่า โดยรวมเครื่องยนต์ทั้งสองยี่ห้อสามารถใช้งานกับน้ำมัน B20 ได้ โดยอัตราการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ HINO และ CUMMINS มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 26.79 และ 27.00 ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ในขณะที่การปล่อยมลพิษมีสัดส่วนที่ใกล้เคียง ส่วนการสึกหรอเมื่อพิจารณาจากน้ำหนักแหวนลูกสูบที่หายไป พบว่า น้ำหนักแหวนของเครื่องยนต์ HINO และ CUMMINS สูญหายไป 0.37 และ 0.30% ตามลำดับ โดยในการทดสอบไม่พบการสึกหรอของปั๊มเชื้อเพลิง ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าน้ำมัน B20 เป็นเชื้อเพลิงอีกทางเลือกหนึ่งให้กับชาวประมง และในขณะเดียวกันก็สามารถช่วยลดการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่งด้วย

ABSTRACT

This project is a part of the research work on using bio-diesel as the fuel for fishery boat with the aims at studying the effects of bio-diesel on performances of fishery boats. This study has been continually from 500-hr laboratory tests with 116-hp HINO and 115-hp CUMMINS engines. Fuel consumption, emissions as well as wear and tear of fuel injection pump were the main parameters to be investigated during 1,000 hrs of experiment. The results showed that bio-diesel B20 can be used as the fuel in both engines. Meanwhile, fuel consumptions were found to be 26.79 and 27.00 l/hr for HINO and CUMMINS, respectively, whereas the emissions were found to be slightly differences. For the weight losses of piston rings, it was found that those of Hino and CUMMINS engines were 0.37 and 0.30%, respectively. In addition, there were no significant wears and tears of fuel injection pumps of both engines. Therefore, it could be implied that B20 can be used as an alternative fuel for fishery to substitute fossil fuel; on the other hand, it can conserve the environmental problem resulted from air pollutants emitted to surrounding.

Keywords : Bio-diesel, Fishery boat, Performance

T Panasatit : tpa.oct@gmail.com

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Division of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

มาตรฐานการทดสอบ EMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานการทดสอบเครื่องยนต์ EMA

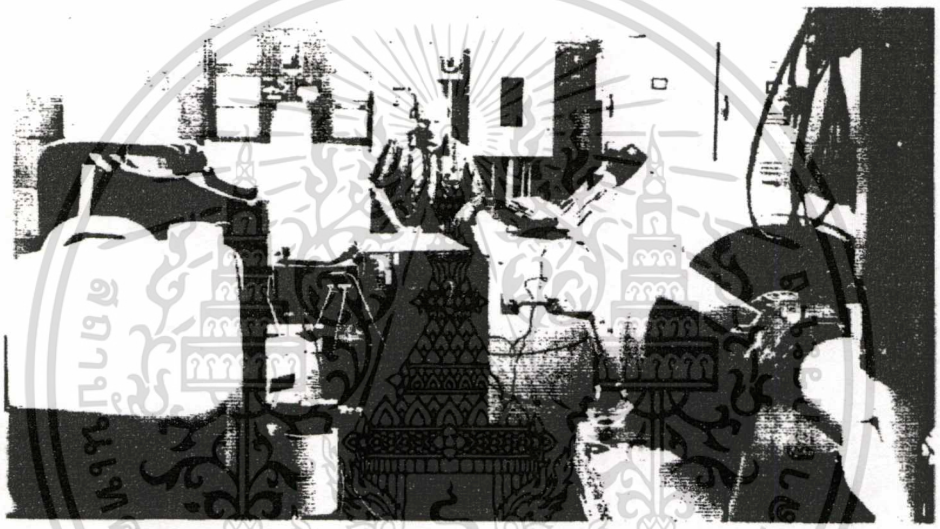
PERFORMANCE AND DURABILITY TESTING OF DIESEL ENGINES USING ETHYL AND METHYL ESTER FUELS

RECEIVED
FEB 27 1996
NATIONAL BIODIESEL BOARD

by

Charles L. Peterson, Brian Hammond, Daryl Reece,
Joe Thompson and Sid Beck

Department of Biological and Agricultural Engineering
University of Idaho, Moscow, Idaho 83844-2060



Submitted in completion of contract #52016-1

for the

National Biodiesel Board

January 1, 1995 - December 31, 1995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานการทดสอบเครื่องยนต์ EMA

Preface

This report provides details of the work on production, performance and durability testing of ethyl and methyl esters of four lipids and diesel control fuel. The purpose was to produce both ethyl and methyl esters of soybean oil, rapeseed oil, canola oil and beef tallow; to characterize the fuel properties of each of these fuels; and to compare their short and long term performance in engine dynamometer tests. Phillips 66 low sulfur diesel control fuel and Midwest Biofuels methyl ester of soybean oil were used as control fuels for all tests. The fuel produced by Midwest Biofuels was not used in the EMA 200 hour test as a comparison.

This report is submitted as the completion report for contracts 236-1 and 52016-1 from the National Biodiesel Board. Funding for this work was also provided in part by the Pacific Northwest and Alaska Regional Bioenergy Program Contract Number DE-B179-93BP09233 and USDA-ARS Specific Cooperative Agreement 58-6602-2-014. The authors express appreciation to all who made this work possible.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานการทดสอบเครื่องยนต์ EMA

TABLE OF CONTENTS

Abstract 1

Introduction 2

Project Overview 2

Project Goals, Objectives and Approach 3

Alternative Fuels 4

Literature Review 5

Ethyl and Methyl Ester Fuels 6

Feedstock Selection 7

Materials and Methods 7

Fuel Preparation 7

Fuel Types 9

Short Term Engine Testing Equipment 11

Engine and Dynamometer 11

Data Acquisition System 11

Opacity Meter 11

Fuel Equipment 12

Statistical Analysis 12

Long Term Engine Testing Equipment 12

Engine Dynamometer 12

Data Acquisition System 13

Fuel Equipment 13

Statistical Analysis 13

Procedures 14

Short Term Performance Tests 14

SAE Torque Test 15

Injector Coking Tests 15

Engine Performance Mapping Tests 15

Startup Procedures 15

Long Term Performance Tests 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Variable Speed Torque Tests 16
Start-up Procedures 16
Results and Discussion 17
Fuel Performance and Characterization 17
Short Term Performance Tests 20
SAE Torque Tests 20
Injector Coking Test 28
Correlations of Specific Properties for Ethyl and Methyl Esters ... 30
Engine Performance Mapping Tests 31
Long Term Performance Tests 32
Variable Speed Torque Tests, Oil and Wear Analysis 32
Conclusions 38
Recommendations 40
References 41
Appendix A Fuel Characterization
Appendix B Phoenix Chemical Lab
Appendix C Diversified Lab
Appendix D Torque Test Data
Appendix E Statistical Analysis, Torque Test
Appendix F Coking Test Data
Appendix G Injector Valve Opening Pressures
Appendix H Statistical Analysis, Correlations
Appendix I Mapping Test Data
Appendix J Statistical Analysis, Mapping Data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LIST OF TABLES

Table		Page
I	Equations for Processing Methyl and Ethyl Esters	8
II	Abbreviations for Fuels Used in the Short and Long Term Tests	10
III	Engine Manufacturer's Association Standard 200 Hour Test Cycle	13
IV	Randomly Selected Test Order for Short Term Performance Tests	14
V	Randomized Order for Long Term Performance Tests	16
VI	Partial List of Fuel Characterization for Ethyl Ester Fuels	17
VII	Partial List of Fuel Characterization for Methyl Ester Fuels	18
VIII	Biodiesel Fuel Performance Compared to Diesel for Short Term Tests	25
IX	Thermal Efficiencies for Fuels from Short Term Engine Tests	31
X	Engine Oil Wear Analysis from Long Term Performance Tests	33
XI	Engine Oil Viscosity from Long Term Performance Tests	34
XII	Engine Deposit Analysis from Long Term Performance Tests	35
XIII	Engine Piston Ring Wear from Long Term Performance Tests	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LIST OF FIGURES

Figure ..... Page

1. Power and Smoke Density of Ethyl Ester Fuels - Short Term Tests .. 20
2. Power and Smoke Density of Methyl Ester Fuels - Short Term Tests 21
3. Brake Power of Biodiesel Fuels Compared to Diesel 22
4. Torque of Biodiesel Fuels Compared to Diesel 23
5. Smoke Density of Biodiesel Compared to Diesel 24
6. Smoke Density Significant Difference 26
7. Horsepower Significant Difference 26
8. Torque Significant Difference 27
9. Exhaust Temperature Significant Difference 27
10. Fuel Economy Significant Difference 28
11. Injector Coking Index 29
12. Injector Coking Photographs 30
13. Brake Specific Fuel Consumption 32
14. Relative Percent Power 37
15. Injector Coking - Long Term 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานการทดสอบเครื่องยนต์ EMA

PERFORMANCE AND DURABILITY TESTING OF DIESEL ENGINES USING ETHYL AND METHYL ESTER FUELS

Final Report for NBB Contract Number 52016-1

ABSTRACT

The performance and durability testing of eight ester fuels were evaluated as diesel fuel substitutes. Approximately 8,330 liters (2,200 gallons) of ethyl and methyl ester fuels from rapeseed, soybean, canola and beef tallow were produced at the Analytical Lab, Department of Biological and Agricultural Engineering, University of Idaho. As reference fuels, 1,040 liters (275 gallons) of commercial grade low sulfur #2 diesel and 284 liters (75 gallons) of commercial grade soybean methyl ester were purchased. These fuels were characterized for specific properties and then used in short term engine tests, approximately three hours, using a John Deere (4239T) four cylinder, direct injection, turbocharged diesel engine; and long term tests, approximately 200 hours, using three Yanmar (3TN75E-S) three cylinder, direct injection, naturally aspirated diesel engines.

Results of fuel characterizations indicate: a) average viscosity of Biodiesel was 1.7 times more than diesel; b) average heat of combustion, on a mass basis, was 12 percent lower and c) sulfur content was 20 to 50 percent lower than diesel. Biodiesel correlations showed increased injector coking to be significantly related to an increase in viscosity, molecular weight and heat of combustion.

Short term performance testing, each fuel being tested three times, provided a statistically valid comparison of the fuels. Biodiesel fuel consumption increased by approximately 7.2 percent, on a mass basis, and power decreased 4.8 percent compared to diesel. Smoke density was reduced by as much as 79 percent using Biodiesel fuel. Only a slight difference existed between amounts of coking, with diesel fuel being the least followed by the methyl ester fuels.

Long term performance testing, consisting of one 200 hour test for each fuel, indicated all fuels "passed" as determined by the Engine Manufacturer's Association Test protocol. No problems with excessive wear, fuel flow, filter clogging, piston ring seizure, excessive oil dilution, or excess injector tip coking were found. Injector coking was least for diesel followed by ethyl ester fuels. Only slight coking differences existed.

Alternative and clean fuels are poised to have an impact on the future choice of fuels we use. Biodiesel, as one of these fuels, is rapidly making its presence known because of its environmental and energy security benefits. Special uses for Biodiesel fuels in compression ignition engines (diesel engines) are beginning to emerge, including environmentally sensitive areas such as marine applications and places where reduced exhaust smoke is required such as underground mining (Fiscor, 1994) and also farming applications. Cities are including

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Biodiesel fuels for their mass transit systems as part of the Clean Cities plan, a voluntary program sponsored by the Department of Energy, which encourages communities to use alternative fuels. These opportunities are providing the initial commercial use of Biodiesel as an alternative fuel.

Research using Biodiesel as an alternative and clean fuel has been in progress since 1979 at the University of Idaho. Since that beginning, researchers have continued to make contributions in this area. This study, an important step in the development of Biodiesel as an alternative fuel, addresses the production and performance of eight ethyl and methyl ester fuels. This project is intended to:

- Test two procedures developed at the University of Idaho for ethyl and methyl ester fuel production.
- Provide the Biodiesel industry with a comparison of properties and specifications for eight ethyl and methyl ester fuels.
- Support the development of a process to convert animal fat products to a transportation fuel.
- Determine the extent and impact each fuel has on injector coking in a direct injection compression ignition engine.
- Provide information on the performance of each fuel in short and long term durability testing.

INTRODUCTION

Project Overview

Research using vegetable oil as a fuel has made great strides. Initially, researchers tried chemically unmodified vegetable oil (neat vegetable oil) with conventional direct injection diesel engines. Before many years it was determined that for direct injection diesel engines, that type of fuel was unsatisfactory.

By chemically modifying the neat vegetable oil, a process known as transesterification, it could be used in all existing compression ignition (CI) engines with no modifications. In the transesterification process, ethanol or methanol is reacted with the neat vegetable oil in the presence of a catalyst to produce fatty acid esters and glycerol. This process changes the properties of the vegetable oil into a diesel like fuel. A decrease in carbon deposits and lubricating oil fouling in the diesel engine are the end result (Peterson et al , 1992).

During the transesterification process, impurities or by-products can be left in the fuels which will alter the performance of the engine and also cause excessive injector tip coking. By

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

refining the process to limit those impurities, researchers at the University of Idaho can improve upon their theoretical formula for fuel production. Those necessary refinements are determined from the specific properties and actual testing of the fuels. From the testing done for this project, a comparison of the theoretical to the actual Biodiesel fuel can be made, which will help with any refinements to the transesterification process.

The use of ethanol in Biodiesel production has not been studied as extensively as has methanol. Ethanol provides the advantage of making a fuel produced entirely from renewable resources. Recent testing also indicates ethyl ester fuels have greater engine compatibility, lower nitrous oxide levels, less visible particulate emissions, better biodegradability and lower toxicity than either diesel or methyl ester fuels. Researchers at the University of Idaho have developed methods to make both fuels. By making ethyl and methyl esters of each fuel, a comparison between the esters, the different vegetable oils, and the beef tallow should provide more insight into potentially important qualities that each fuel may have.

Project Goals, Objectives and Approach

The goals of this project were to:

- Further develop equipment and procedures for the production of ethyl and methyl esters from different feedstocks.
- Provide information about fuel specifications.
- Explore how each fuel responds in actual engine testing.

These goals were accomplished through the following objectives:

- Produce test quantities of ethyl and methyl esters of rapeseed oil, soybean oil, canola oil and beef tallow using the two procedures.
- Develop a complete set of fuel specifications for each of the fuels according to the requirements set forth in ASAE Engineering Practice, ASAE EP 552 (Peterson, 1995).
- Compare the performance of each of these fuels in short and long term engine tests.

To accomplish the above, rapeseed, canola seed and oil, soybean oil and beef tallow were purchased. The rapeseed, a non-edible vegetable oil, and canola seed, an edible vegetable oil, were pressed into oil by the farm scale processing plant at the University of Idaho. All neat oils were then transesterified to make approximately 1,040 liters (275 gallons) of each fuel, which included an ethyl and methyl version of each, for a total of eight fuels.

Fuel specifications for each fuel were determined by several companies. Those companies were: Phoenix Chemical Laboratory, Inc., Chicago Illinois; Diversified Labs Inc., Chantilly, Virginia; and the Analytical Laboratory, Department of Agricultural Engineering, University of Idaho. Engine oil metal wear analysis and viscosity of lubricating oil were determined by Cleveland Technical Center, Spokane, Washington.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The initial short term performance testing of the fuels began in May of 1994 and ended August 1994. Short term test procedures included a torque test (SAE J1349, 1990), an engine mapping test (SAE J1312, 1990) and an injector coking test (Korus et al., 1985). Each test was run on a John Deere (4239T) four cylinder, direct injection, turbocharged diesel engine and consumed about 284 liters (75 gallons) of each fuel. The long term performance testing procedure (EMA, 1982) ran from January 1995 through July 1995. These tests were run with Yanmar (3TN75E-S) three cylinder, naturally aspirated, direct injection diesel engines and consumed approximately 1,040 liters (200 gallons) of each fuel.

Alternative Fuels

It is estimated that 600 million metric tons per year of gasoline and 370 million metric tons per year of diesel fuel are burned by vehicles worldwide (Knott, 1995) Knott went on to say for worldwide use, alternative fuel use is expected to reach 10% by the year 2000 and 30% by 2010. The figures show a slow start for alternative fuels, which will grow into much wider use.

Basically there are two engine types: compression ignition engines, which require fuels with high cetane levels; and spark ignition, which require fuels with high octane levels. Alternative fuels for spark ignition engines are liquefied petroleum gas (LPG), compressed natural gas (CNG), fuel methanol and fuel ethanol. Of these four, LPG is thought to be the best. For compression ignition engines, an alternative to diesel fuel which has high cetane levels, is derived from vegetable oils.

Each of the alternative spark ignition engine fuels has its own benefits and drawbacks. To use LPG or CNG, vehicles need to be converted, which has proven to be costly, but the fuel itself is cheaper than gasoline. Methanol is highly toxic, can be absorbed through the skin, and is 100% miscible with water, so any kind of spill presents a serious problem to aquatic life (Reece and Peterson, 1995; Knott, 1995). Engine conversions are also necessary when using fuel methanol and ethanol. A major disadvantage of these fuels is that they cost about 20 percent more than gasoline.

Alternative compression ignition engine fuels derived from vegetable oils have both benefits and drawbacks. These fuels can be used with no engine modifications and are a renewable fuel source but the fuel cost is more than diesel.

In the future, alternative fuel use will increase and it does not look like one specific type of fuel will fit all needs. Limiting factors for the commercialization of a fuel might include the infrastructure to make the fuel available and the production to meet the demand. Looking at the agricultural side of alternative fuel use, farmers have long depended on diesel engines as a work horse for production. Developing an alternative fuel for diesel from vegetable oils could create more domestic markets for farmers, put America in a better, more secure energy position, clean up the air and also help to stabilize the greenhouse gases.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5

LITERATURE REVIEW

The following literature review is intended to give insight into the use and characteristics of Biodiesel fuel and the types and extent of research being done with diesel engines using that fuel. A brief history of Biodiesel fuels is presented followed by an examination of the types of fuels and research that has been done from past to present.

Biodiesel

Biodiesel is considered by many to be an up and coming alternative fuel for compression ignition engines which will replace some of the diesel fuel usage in this country. Currently defined as an ethyl or methyl ester derived from animal fat, vegetable oil, algae, used vegetable oils and animal fats or other renewable resources, it can contain different percentages of diesel fuel or no diesel fuel (Quick, 1980; Baum, 1994).

Biodiesel fuel has advantages over diesel in several areas. Pure Biodiesel, with no diesel added, is biodegradable, non-toxic and produces less air pollutants than diesel fuel. Being renewable is perhaps the greatest advantage as well as being more environmentally friendly. When growing rapeseed or soybeans as a fuel, both have a positive energy balance: more energy was produced than consumed during production. The energy to produce these fuels should go down, as improvements to increase yields are made to the growing process. Environmentally, Biodiesel is a non-toxic product and is more than 98% biodegradable (Staat and Vallet, 1994; Haines, 1994; Peterson et al., 1994a).

The term Biodiesel has been used to describe many different types of fuels through the years Since 1900, over 40 different biofuels have been tested (Quick, 1980). Fuels made from blends of diesel, vegetable oil, diesel and modified vegetable oil, and fuels using neat vegetable oil have all been coined as Biodiesel. For this paper, when the term Biodiesel is used, it will refer to 100 percent transesterified vegetable oil or animal fat fuel. The modification to the fuel is a chemical process referred to as transesterification, which involves reacting a triglycerol with an alcohol in the presence of a catalyst to produce glycerol and fatty acid esters (Peterson et al., 1991). Interesterification, esterification or alcoholysis are also names used to represent this process.

The process produces either an ethyl or methyl ester depending on the type of alcohol used, which reduces the viscosity to twice that of diesel. Before this process, the neat vegetable oil had a viscosity of 10 to 20 times that of diesel (Peterson et al., 1991) The methyl ester process has been the most researched and developed of the two. Both processes have been effective in reducing and eliminating carbon deposits which caused engine fouling problems seen with neat vegetable oil.

A common fuel for the compression ignition (CI) engine is diesel. However, this has not always been so. The original CI engine was made to run on neat vegetable oil and did so until

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

petroleum-derived fuels became more available at a lower cost (Quick, 1980). Not until fuel supplies were threatened did people again become aware of vegetable oil fuels. Funding for research increased and a renewed interest in Biodiesel fuels began. That research has improved the fuels to the point where there are not many differences in the performance of most Biodiesel fuels and diesel.

Biodiesel fuels have proven to be more environmentally friendly than diesel. Considered to be sulfur-free, engines fueled with Biodiesel also emit significantly fewer particulates, hydrocarbons, and carbon monoxide than diesel (Caruana, 1992). These fuels have a higher flash point, so they are safer than conventional diesel to handle and store.

The concern for the environment is another driving force moving the Biodiesel industry toward commercialization of Biodiesel fuels. The Energy Policy Act of 1992 and the Clean Air Act of 1990 both promote the development of alternative fuels. The Energy Policy Act defines goals for private fleet owners to replace 10% of the petroleum motor fuels with alternative fuels by the year 2000 (Allsup, 1994).

Ethyl and Methyl Ester Fuels

Using ethanol or methanol in the transesterification process has been studied by many researchers. However, much more research has been done using methanol than with ethanol. In a report by Schumacher et al. (1993), of 18 Biodiesel investigations conducted worldwide with ester fuels between the years 1982 to 1993, only two used ethanol, the others used methanol. Environmental concerns are now driving researchers to take a fresh look at ethanol.

Ethyl and methyl ester fuels have about the same physical and chemical properties. The performance of the ester is comparable to diesel (Wagner et al., 1984; Peterson et al , 1992). Some advantages of ethyl ester fuels over methyl esters include a lower smoke density and lower injector coking. Another advantage is that Biodiesel would be produced entirely from renewable resources, unlike methanol which has a fossil origin (Staat and Vallet, 1994).

Clark et al. (1984) investigated ethyl and methyl esters of soybean oil as a diesel fuel substitute. Those 200 hour tests were conducted on the same type diesel engine as this study. a John Deere (4239T) four cylinder engine. Their study concluded that power was decreased by 4 percent for ethyl esters and 2.5 percent for methyl esters compared to diesel. Also brake specific fuel consumption was 12 percent higher for ethyl esters and 10 percent higher for methyl esters. NOx levels were higher for methyl ester fuels.

Peterson et al. (1992) also concluded that ethyl and methyl ester fuels had comparable properties and engine performance. Methyl esters had slightly more power and torque output than the ethyl esters, but ethyl esters had lower injector tip coking, lower smoke opacity, and fewer deposits in the combustion chamber.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Recent testing with Biodiesel fuels in on-road vehicle tests have indicated ethyl and methyl ester fuels perform comparable to diesel fuel in heavy duty, high speed diesel engines with little modification (Reece and Peterson, 1993; Reece, 1995; Schumacher et al., 1995).

Feedstock Selection

Biodiesel can be made from a variety of neat vegetable oils with many different refining processes. The most common feedstocks are soybean, canola, rapeseed, safflower and sunflower (Peterson et al., 1990a), with the transesterification process, using methanol, being the most commercially used large-scale standard process in the chemical industry (Schaffer, 1994).

Rapeseed ester fuel research has been conducted by many, including Mittelbach et al. (1985); Zhang et al. (1988); Perkins et al. (1991); Feldman (1991); Peterson et al. (1992); Alfuso et al. (1993) and Reece and Peterson (1993). These researchers have found the performance of rapeseed esters to be comparable, even better in certain cases, with diesel fuel.

The canola seed variety of vegetable oil is edible and can be grown in the spring (Goering and Daughtery, 1982). The winter rapeseed is not edible and can be grown on cooler dryland areas in the fall (Peterson et al., 1990b). Both seeds have about the same physical characteristics (size, shape, color). Khan and Hanna (1983) found the oil content in rapeseed was about 43 percent. With this potential for production, it has good possibilities.

Others have researched soybean ester fuels: Wagner et al. (1984); Scholl and Sorenson (1993); and Schumacher et al. (1995). These researchers have found the performance of soybean esters to be comparable, even better in certain cases, than diesel fuel. Khan and Hanna (1983) rate soybeans as having 25 percent oil content (Most data today shows closer to 20% oil). The preferred plant oil for production of Biodiesel fuel in the western United States is rapeseed oil while in the eastern part, soybean oil is readily available.

Tallow and grease were studied by Marshall (1993). The University of Nebraska and Kansas State University are presently conducting research with beef tallow. Because beef tallow is being displaced in the food market as a result of health issues, a surplus exists. This surplus results in a feedstock less costly than vegetable oils.

MATERIALS AND METHODS

Fuel Preparation

Researchers at the University of Idaho have spent considerable time developing transesterification processes using both ethyl and methyl alcohols. A description of the transesterification process for fuels used in this research follows (Peterson et al., 1994b).

The Biodiesel fuels were processed in a batch type reactor. The methyl ester process utilizes 100 percent molar excess alcohol (preferably absolute or 100 percent pure), or a molar ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

of 6:1 alcohol to oil ratio. Based on the amount of input oil by weight, 1.1 percent potassium hydroxide (KOH) is used. Table I shows the equations used for the quantities of methyl ester processed.

The ethyl ester process utilizes 70 percent stoichiometric excess ethanol (absolute, 100 percent pure), or a molar ratio of 5.1:1 ethanol to oil ratio. Based on the amount of input oil by weight, 1.3 percent of KOH is used. Table I shows the equations used for quantities of ethyl esters processed.

Table I
Equations for Processing Methyl and Ethyl Ester Fuels

Methyl Ester Process		
	MeOH = 0.225 x Oil	KOH = Oil / 100
where;	Oil – desired amount of oil in liters(L) MeOH = amount of methanol needed in L KOH = amount of potassium hydroxide (Kg)	
Ethyl Ester Process		
	EtOH = 0.2738 x Oil	KOH = Oil / 85
where;	Oil = desired amount of oil in L EtOH = amount of ethanol needed in L KOH = amount of potassium hydroxide (Kg)	

The following transesterification procedure is for the ethyl and methyl ester production. The catalyst is dissolved into the alcohol by vigorous stirring in a small reactor. Pure methanol is very flammable and its flame is colorless when ignited. The oil is transferred into the Biodiesel reactor and then the catalyst/alcohol mixture is pumped into the oil and the final mixture stirred vigorously for two hours. A successful reaction produces two liquid phases: ester and crude glycerol. Crude glycerol, the heavier liquid, will collect at the bottom after several hours of settling. Phase separation can be observed within ten minutes and can be complete within two hours after stirring has stopped. Complete settling can take as long as 20 hours. After settling is complete, water is added at a rate of 5.5 percent by volume of the oil and then stirred for five minutes. The glycerol is then allowed to settle again.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

After settling is complete, the glycerol is drained and the ester layer remains. Washing the ester is a two step process, carried out with extreme care. A water wash solution at the rate of 28 percent by volume of oil and one gram of tannic acid per liter of water is added to the ester and gently agitated. Air is carefully introduced into the aqueous layer while simultaneously stirring very gently. This process is continued until the ester layer becomes clear. After settling, the aqueous solution is drained and water alone is added at 28 percent by volume of oil for the final washing.

Fuel Types

Using the "recipes," of the previous section, all of the fuels were prepared for these experiments using transesterification, except for the commercial grade methyl ester and diesel. For the Short and Long Term Performance testing of this project, 284 and 1,040 liters (75 and 200 gallons) of each fuel were prepared, respectively. Table II gives the abbreviations for each fuel as used in this report.

- Canola Ethyl Ester (CEE) - The Stonewall variety of canola seed feedstock was purchased from a local distributor and expelled at the University of Idaho's Agricultural farm scale processing facility. The expelled oil, as expected, was viscous, much like the neat soybean and rapeseed oil. Upon transesterification, the CEE was about twice as viscous as 2-D.

- Canola Methyl Ester (CME) - The Stonewall variety of canola seed feedstock was expelled and modified into methyl ester. In addition to the expelled oil, 1,040 liters (200 gallons) of the canola oil was also purchased for this study and modified into CME.

- Rapeseed Ethyl Ester (REE) - The Dwarf Essex variety of rapeseed was purchased from a local distributor and expelled at the University's processing facility. The viscosity at this time was very high, almost twenty times that of diesel fuel. Upon transesterification, the REE was about twice as viscous as 2-D.

- Rapeseed Methyl Ester (RME) - Also the Dwarf Essex variety of rapeseed, this feedstock was purchased from the same distributor as was REE and expelled and modified at the University of Idaho. This fuel has been used in Europe for several years and some engine manufacturers have issued guidelines for its use.

- Soybean Ethyl Ester (SEE) - The soybean oil feedstock was purchased from Food Services Brokerage Co. in Spokane, Washington and modified at the University of Idaho farm scale processing facility.

- Soybean Methyl Ester (SME) - The soybean oil feedstock was purchased from Food Services to produce the methyl ester fuel at the University of Idaho.

- Tallow Ethyl Ester (TEE) - Beef tallow feedstock was purchased from Iowa Beef Products in Kennewick, Washington, and processed into fuel at the University of Idaho. The beef tallow was in a solid state and needed to be heated to the liquid state before it could be modified.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Tallow Methyl Ester (TME) - A methyl ester fuel was made from the same feedstock as was TEE.

- Reference Diesel Fuel (2-D) - The reference fuel for this experiment was Phillips 66 Company[1] 0.05 low sulfur #2 diesel, lot S-288. This was purchased from Phillips 66 Company in a quantity large enough to complete the experiment.

- Midwest Biofuels (MWF) - Also used as a reference fuel in short term testing, this commercial grade methyl soyate was purchased from Interchem Industries, Inc, Leawood, Kansas and was not processed at the University of Idaho research laboratory. This fuel has been used in several mass transportation experiments with buses.

Table II. Abbreviations for Fuels Used in the Short and Long Term Tests

Fuel Abbreviation	Correct Identification
CEE	Canola Ethyl Ester
CME	Canola Methyl Ester
2-D	Phillips 0.05 Low Sulfur Diesel
MWF	Midwest Biofuels
REE	Rapeseed Ethyl Ester
RME	Rapeseed Methyl Ester
SEE	Soybean Ethyl Ester
SME	Soybean Methyl Ester
TEE	Beef Tallow Ethyl Ester
TME	Beef Tallow Methyl Ester

[1] The use of manufacturer's names or trade products does not represent an endorsement of the product nor discrimination toward similar products which are not named.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

According to the requirements in ASAE EP 552, the fuels were characterized by the Analytical Lab, Department of Agricultural Engineering, University of Idaho, testing for specific gravity, viscosity, cloud point, pour point, flash point, heat of combustion, total acid value, catalyst and fatty acid composition. A complete listing of fuel characteristics can be found in Appendix A.

Phoenix Chemical Labs, Chicago Illinois, tested the fuels for boiling point, water and sediment, carbon residue, ash, sulfur, cetane number, copper corrosion, Karl Fischer water, particulate matter and iodine number. Results of these tests are in Appendix B.

Diversified Labs Inc., Chantilly, Virginia, tested for HPLC and titration analysis for total and free glycerol, percent of oil esterified, free fatty acids and mono-, di-, and triglycerides. A complete listing is found in Appendix C.

Short Term Engine Testing Equipment

The short term tests were designed to give an accurate comparison between fuels. All tests were run three times in random order.

Engine and Dynamometer

The test engine was a John Deere (4239T) direct-injection, turbocharged diesel. This is a four cylinder engine with a bore of 106 mm, a stroke of 110 mm, a displacement of 3.917 L and a compression ratio 16.2:1. It has a high RPM of 2650, with 61 kW (82 HP) at 2500 RPM and 290 N•m (214 lb•ft) of torque at 1500 RPM. Attached to the engine was a General Electric 119 kW (159 HP) cradle type dynamometer.

Data Acquisition System

A Hewlett-Packard 3497A Series computer-based data acquisition system incorporating a 386 computer and a 44422A relay multiplexer assembly with thermocouple compensation was used to collect, process, and store the data on disc. Readings were taken every thirty seconds throughout the testing period.

Voltages from Omega iron-constantan (type J) thermocouples were converted to temperatures for ambient air, opacity, exhaust, fuel, oil and the turbo air inlet. Opacity was measured directly as a voltage by an opacity meter. The load cell on the cradle-type dynamometer was calibrated each day to determine a torque. The loading of the engine by the dynamometer to the desired RPM was controlled manually.

Opacity Meter

The opacity meter, a portable Telonic Berkley model 200, was connected into the exhaust system. A thermocouple at the opacity meter measured the exhaust temperature. The opacity meter consists of a light source on one side of the exhaust and a photo resistor mounted on the other. The meter provides an output reading from 0.0 to 1.0 volts, with 1.0 volt corresponding to no light transmission at all. The uncertainty of this reading is +/- 1 percent opacity.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Smoke density is a function of smoke particles per unit gas volume, the size distribution of the smoke particles, and the light absorption and scattering of the particles. Opacity is converted to smoke density with the use of the Beer-Lambert Law relationships between transmittance and the effective optical length. Smoke density has units of m^{-1} and should be reported at a standard temperature of 100 °C for comparative purposes (Reece, 1995).

Fuel Equipment

Each fuel was individually packaged in a 19 liter (5 gallon) container with its own fuel filter and connecting lines. Quick couplers were used to connect these containers to the engines. The amount of fuel used in a test was determined by direct weighing. A Toledo (model 2084) 45.5 kg (100 lbs) electric scale, accurate to 23 grams (0.05 lbs), sent data to the RS232 port of the computer for 30 second interval readings. A fuel overflow tank was also kept on the scales during testing.

Statistical Analysis

Statistical analysis of the short term tests was performed with the Statistical Analysis System (SAS). This consisted of an analysis of variance of the different fuels for the parameters involved. A statistical level of significance is defined by a (p) value less than or equal to 0.05 which would indicate the mean value of at least one of the fuels was not equal to the others. Statistically nonsignificant is defined as (p) values greater than 0.05. The parameters included power, torque, smoke density, fuel consumption at the charge pump, and temperatures for ambient air, exhaust at the opacity meter, exhaust at the engine outlet, fuel, crankcase oil and inlet air. A statistical correlation using SAS was performed on the specific properties of the Biodiesel fuels. From this information, properties of the fuels that contribute to injector coking could be identified.

Long Term Engine Testing Equipment

The long term performance tests were designed to test the effect of fuel on engine durability. Because of the cost and time involved to complete each test, there were no replications. Since each fuel is run in a different engine, information gained from these tests should not be used as a performance (power, torque, opacity, fuel economy, exhaust temperature) comparison between fuels but as a representation of how that fuel affected engine durability during the 200 hours.

Engine and Dynamometer

The three long term test engines were Yanmar 3TN75E-S three cylinder, 4 stroke, naturally aspirated and direct injection diesel engines with a bore and stroke of 75 mm, a displacement of 944 cc, a compression ratio of 17.6:1 and a power rating of 15 KW (20 HP) at 3000 RPM.

These engines were mounted on stands designed and built by Agricultural Engineering Department personnel at the University of Idaho. Cradle mounted (for torque measurement) Hydreco gear pumps, in line with the diesel engines served as the loading system. The flow of oil from these pumps was controlled by a Sperry-Vickers electronically modulated relief valve. This valve was then controlled by the computer-data acquisition/control unit. Fuel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

measurements were timed from a constant volume flowmeter and the RPM was read using a magnetic pickup connected near the clutch shaft. A DC gearhead motor operated the fuel injection pump throttle shaft for throttling.

Data Acquisition System

The Engine Manufacturer's Association (EMA) 200 hour screening test was used for the test protocol. The diesel engines and all accessories were controlled and data recorded by a computer operated data acquisition/control system (HP3497A) programmed in HP Basic. Table III shows the 200 hour EMA test cycle (EMA, 1982.) The system loads the engines and controls the throttle to the specifications of that test cycle.

Table III. The Engine Manufacturer's Association Standard 200 Hour Test Cycle.

Step	Speed	Torque	Power	Duration-Minutes
1	Rated	-----	Rated	60
2	85%	Max.	95%	60
3	90%	28%	25%	30
4	Low Idle	0	0	30

As the diesel engines are running, measurements of engine torque, speed, power output, fuel consumption and temperatures for exhaust, crankcase oil, fuel and hydraulic oil were taken. At 50 hour intervals, an in-line torque meter was attached between the engine and the cradle mounted gear pump and readings were taken as the engine, at full throttle, was loaded for a variable speed torque test.

Fuel Equipment

Fuels for each of the three diesel engines were stored outside the building in a heated, totally enclosed shed. The capacity for each fuel tank was 189 liters (50 gallons), which was enough to run the engines approximately 50 hours. Fuel use was calculated as it was pumped into a constant volume flowmeter and then timed as it was consumed. During the 50 hour variable speed torque tests, this fuel system was disconnected and fuel consumption was measured by direct weighing. Opacity readings were taken at 50 hour intervals during the engine torque tests.

Statistical Analysis

No attempt was made to statistically analyze the results of these tests for two reasons: a.) the testing process did not support repetition and b.) the three engines, although of identical makes and models, still exhibited individual differences.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROCEDURES

The purpose of the short term performance tests was to determine how each fuel would perform (power, torque, smoke density, exhaust temperature, fuel economy) under identical engine and load conditions and compare that with a reference fuel run under the same conditions. For this phase of testing, engine wear and carbon deposits on pistons and valves were not considered.

The purpose of the long term testing, using the Engine Manufacturer's Association 200 hour preliminary durability screening test, was to assess the potential impact of alternative fuels on diesel engine durability. By using this test, candidate fuels can be uniformly evaluated over longer periods of time for the effect on engine wear, injector coking, carbon deposits and effects on lubricating oil. Performance factors for this test won't be compared between fuels because they were run on different engines.

Short Term Performance Tests

This experiment was set up in a randomized complete block, allowing each fuel to be tested three times. The control variables for this experiment were RPM and the load put on the engine by the dynamometer. With these two variables changing, temperatures (exhaust, ambient, oil, inlet, fuel), horsepower, torque, opacity and mass fuel rate were monitored. Due to the output resolution from the fuel scale of 23 grams (0.05 lbs) and the fact that conditions were not changing rapidly, a sample rate was chosen at 30 seconds. The following test procedures were used: 1) a standard SAE Torque Test, 2) an injector tip coking test and 3) an engine performance mapping test. Table IV illustrates the order for the coking test.

Table IV. Randomly Selected Test Order for Short Term Performance Tests.

Order	Fuel	(Coking Test)			
1.	SME	12.	TME	23.	HYS*
2.	2-D	13.	TEE	24.	SME
3.	TEE	14.	SME	25.	TEE
4.	TME	15.	2-D	26.	CME
5.	RME	16.	RME	27.	SEE
6.	CME	17.	SEE	28.	TME
7.	HYS*	18.	CEE	29.	CEE
8.	SEE	19.	HYS*	30.	MWF
9.	CEE	20.	MWF	31.	RME
10.	REE	21.	CME	32.	2-D
11.	MWF	22.	REE	33.	REE

* This fuel was tested also, but results are not reported.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SAE Torque Test

SAE torque tests (SAE J1349, 1990) were conducted at each 100 RPM interval, from 2600 to 1300 RPM with the engine at full throttle and loaded to desired RPM by the dynamometer. Data was taken in 30 second intervals for two and one half minutes at each interval. The same fuel injectors were used for all fuels. Results for power, torque, smoke density and exhaust temperature from this test were used in the statistical analysis.

Injector Coking Tests

The objectives were to replicate the injector coking test described by Korus et al. (1985) and see how each Biodiesel compares with the reference fuel. For this test, the engine, at full throttle, was loaded by the dynamometer from 2500 to 1500 RPM in 200 RPM increments with 10 minute stays at each increment. Readings were taken every 30 seconds. After each complete test, the injectors were removed and photographed under a microscope at a magnification of 15X to measure the coking buildup. Three sets of four injectors were purchased to reduce the down time between tests. The injectors were pressure checked and cleaned after each coking test. One operator conducted all the testing procedures from start to finish.

Engine Performance Mapping Tests

Fuel mapping was done according to the procedure described in "Procedure for Mapping Engine Performance-Spark Ignition and Compression Ignition Engines" (SAE J1312, 1990). For the following speeds, 2500, 2250 and 2000, an engine loading of 100, 75, 50, 25 and 0 percent of maximum horsepower was tested. Data were collected at each 30 second interval for five minutes per loading. Results for fuel economy from this test were used in the statistical analysis.

Startup Procedures

Start up procedures consisted of running the engine two minutes on the reference fuel and eight minutes on the fuel to be tested, gradually increasing the RPM so that at the end of the eight minutes, testing was ready to begin. The opacity meter was set to zero before the engine was started, but with the exhaust fans running. Cool down consisted of ten minutes running on the reference fuel. Data was sent to three places: to a 3.5 inch disk, to a printer for a hard copy and to a monitor.

Long Term Performance Tests

The long term performance test (EMA, 1982) was set up in randomized order. This order is shown in Table V. Variables in this experiment were the RPM and engine load.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table V. Randomized Order for Long Term Performance Tests.

Test #	Fuel and Engine #		
1	CME, #1	RME, #2	SME, #3
2	TME, #1	SEE, #2	CEE, #3
3	2-D, #1	REE, #2	TEE, #3

The engines were operated in 12 hour shifts, 3 hours per cycle, allowing for 4 cycles per day. Once the engines were warmed up the computer program was started, no manual inputs were necessary, including shut down at the end of the day. Automatic operation ensured bias free, constant testing throughout the test period. Measurements were taken for power, RPM, load size and temperatures for load oil, crankcase oil, fuel, exhaust and ambient air. Engine lubricating oil was tested by a commercial laboratory at 50 hour intervals.

Variable Speed Torque Tests

At the beginning of the tests, the engines had a break-in period of 1.5 hours. After this break-in period, an in-line torque meter was installed and a variable speed torque test conducted. Power, torque, load size, opacity, fuel use and exhaust temperatures were monitored.

At each 50 hour interval, an oil sample was taken, compression checked, injector photos taken, injectors tested for pressure, rocker arm clearance measured and the variable speed torque test run.

At each 100 hour interval, an oil sample was taken, the oil and oil filters were changed, compression checked, injector photos taken, injectors tested for pressure, rocker arm clearance measured and the variable speed torque test run.

At each 150 hour interval, the same procedure was followed as at 50 hours.

At the end of 200 hours, the same procedure was followed as at 100 hours. The engines were then disassembled and measured for carbon deposits and wear.

Start up Procedures

Daily startup procedures consisted of warming up the engines at 1500 RPM for 20 minutes, with 10 more minutes at 2500 RPM, with the clutch engaged. During that thirty minutes, the cradle was greased, all fans were lubricated and inputs which defined the days run were entered into the program.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานการทดสอบเครื่องยนต์ EMA

17

RESULTS and DISCUSSION

The Results and Discussion section is divided into three segments. The first segment deals with the characterizations of each fuel and how they compare to the reference fuel. The second segment reports on the short term performance tests, specifically the torque, coking and mapping of each fuel. In this segment a comparison of how each fuel performed compared to diesel for smoke density, power, torque, exhaust temperature and fuel economy is shown. The thirds segment reports on the long term performance test, specifically the engine oil wear metal analysis, weight analysis of piston ring wear, weight analysis of carbon deposits on pistons and valves, and the fuel performance durability of each engine with respect to power.

Fuel Performance and Characterization

In general, all of the Biodiesel fuels had a performance comparable to diesel. No problems were encountered in start up, in filter plugging, fuel flow, excessive coking or loss of power. Characterizations performed on each fuel's specific properties are listed in the Appendix A. Table VI and VII give a brief summary of the evaluations.

TABLE VI. Partial List of Fuel Characterizations for Ethyl Ester Fuels

Property	2-D	REE	CEE	TEE	SEE
Viscosity					
cSt@ 40°C	2.98	6.17	4.89	5.04	4.49
Pour Point					
°C	-16	-10	-6	12	-3
Flash Point					
PMCC °C	74	163	177	185	171
Sulfur					
% wt	0.036	0.014	0.009	0.009	0.008
Cetane					
Number	46.0	64.9	59.6	72.4	52.7
Heat of Combustion					
(MJ/kg)Net	42.90	38.00	37.62	37.63	37.44
Percent					
Esterified		94.75	92.31	95.62	94.54
Percent					
Oxygen		11.36	11.90	11.84	4.72*
Iodine					
Number	9.0	96.7	101.6	47.2	43.0
Total					
Glycerol %wt		0.93	1.18	1.42	1.88

* Percent oxygen values are normally about 11 percent.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table VII. Partial List of Fuel Characterizations for Methyl Ester Fuels.

Property	RME	CME	TME	SME	MWF
Viscosity					
cSt @40 °C	5.650	4.754	4.814	3.891	3.900
Pour Point					
°C	-15	-9	16	-3	0
Flash Point					
PMCC °C	179	163	160	188	185
Sulfur					
% wt	0.012	0.009	0.010	0.012	0.020
Cetane					
Number	61.8	57.9	72.7	54.8	58.4
Heat of Combustion					
(MJ/kg)Net	37.77	37.23	37.25	37.04	37.14
Percent					
Esterified	98.02	96.35	97.80	98.17	94.11
Percent					
Oxygen	9.22	9.75	10.98	4.65*	10.82
Iodine					
Number	97.4	102.8	49.1	103.6	81.3
Total					
Glycerol %wt	0.86	0.87	0.60	0.75	1.25

* Percent oxygen values are normally about 11 percent.

From these characterizations shown in Table VI and VII, the following results were determined.

Viscosity - Viscosity levels for ethyl and methyl ester fuels were 1.31 to 2.07 times higher than diesel fuel. Rapeseed feedstock had the highest viscosity, an average of 1.98 times that of diesel while soybean feedstock was the lowest at 1.41 times. Ethyl ester fuels were 7.2 percent more viscous than the methyl esters. A low viscosity reading is important to insure fuel flow through filters and injectors. If injector spray patterns were altered by fuel flow, excessive coking and oil dilution could occur. Viscosity levels are recommended between 3.5 and 5.0 cSt (Baranescu, 1994; Koontz, 1994; Schaffer, 1994; Walker, 1994).

Pour Point - Pour point temperatures ranged from -15 °C for RME to 16 °C for TME with diesel at -16 °C. These temperature differences have been recognized as a limiting factor for Biodiesel use in colder regions. However, diesel is blended in winter months and it is possible

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

three fuels mentioned above were lowered to -16 °C, the physical state of TME would be solid and RME would be a gel.

Flash Point - Flash points for Biodiesel fuels were about twice those of diesel. Because of this, there is less chance of producing dangerous air/fuel vapor mixtures from Biodiesel fuels. Ethyl ester fuels had a lower flash point than the methyl ester fuels.

Sulfur - Sulfur content in Biodiesel fuels ranged from 20 to 50 percent lower than diesel. The diesel fuel used for this experiment was less than or equal to 0.05 percent sulfur. Burning fuels with high sulfur contents creates more pollutants.

Cetane - Cetane numbers ranged from 1.07 times greater than diesel for SEE to 1.48 times for TME. Minimum cetane specifications are 50 for Biodiesel and 40 for diesel (Baranescu, 1994; Koontz, 1994; Schaffer, 1994; Walker, 1994).

Heat of Combustion - Net heat of combustion for Biodiesel fuels was generally lower. The ranges were from 11.4 percent lower for REE to 13.7 percent lower for SME and MWF on a mass basis. Since Biodiesel fuels have a 4.1 percent higher specific weight, there is approximately an 8 percent lower energy content on a volume basis.

Percent Esterified - Esterification percentages were lower for ethyl ester than methyl ester fuels by 3.2 percent. The reference fuel, MWF, had the lowest percentage of the methyl ester fuels. These percentages indicate mono-, di- and triglycerides still remain in the esterified fuel. A possible answer to why there was a more complete reaction with the methyl ester than with the ethyl ester may be that methyl alcohol molecules are smaller and are generally more aggressive in the chemical reaction.

Total Glycerol - Gylcerol levels were higher than expected. On the average, glycerol levels were higher for ethyl ester fuels. The average total glycerol for the methyl ester fuels was 0.87 percent and ethyl ester fuels were 1.4 percent. Recommendations are for glycerol levels to be no more than 0.2 percent (Baranescu, 1994; Koontz, 1994; Schaffer, 1994; Walker, 1994).

Percent Oxygen - Percent oxygen levels in Biodiesel fuel were significantly higher than diesel. Because of this and the low sulfur content, Biodiesel fuels are considered very promising in reducing pollutants.

Iodine Numbers - Recommendations are that iodine numbers be kept below 115. All of the fuels tested met that standard (Baranescu, 1994; Koontz, 1994; Schaffer, 1994; Walker, 1994). Tallow ester fuels had the lowest readings with less than half the iodine content of the other ester fuels.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Short Term Performance Tests

SAE Torque Tests

The short term performance testing was accomplished using a John Deere (4239T) four cylinder, turbocharged diesel engine. The peak brake power output was reached between the engine speeds of 2100 to 2500 RPM. For this area, as shown in Figures 1 and 2, power for the ethyl and methyl ester fuels was less than diesel; but at 1300 RPM, power was about the same for the esters as diesel. Feldman (1991) attributes this performance of Biodiesel fuels at heavy loadings to a higher percent oxygen in the fuel. Torque test data can be found in Appendix D.

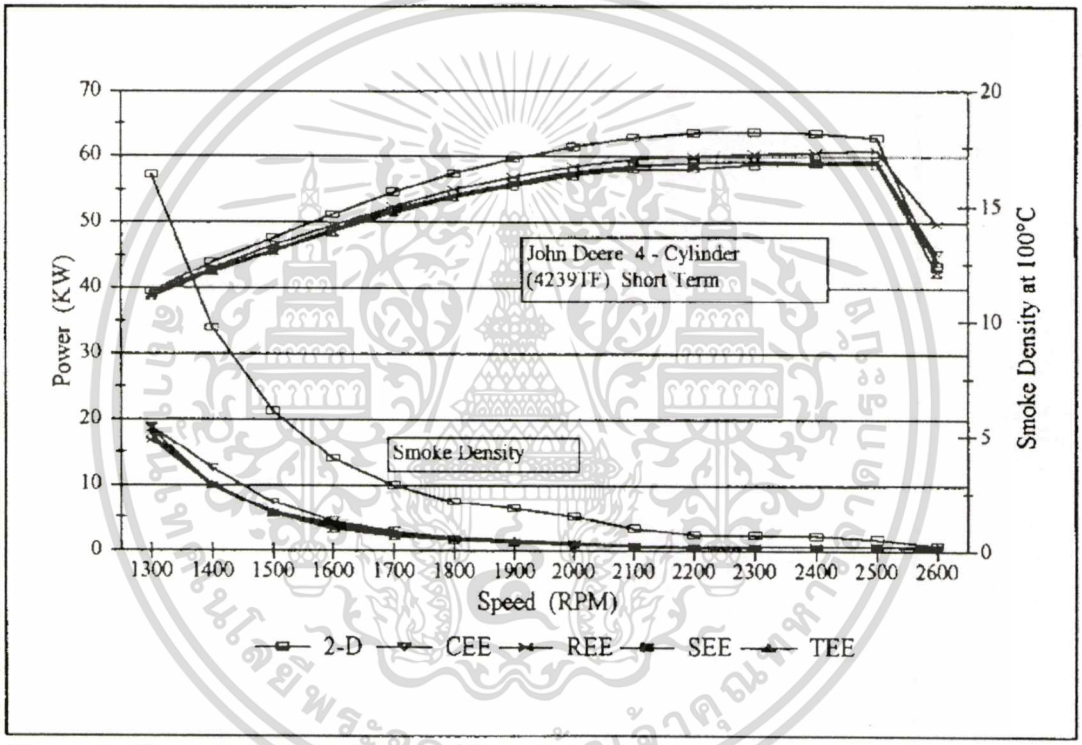


Figure 1. Power and smoke density of four ethyl ester fuels compared to diesel for the short term performance tests.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

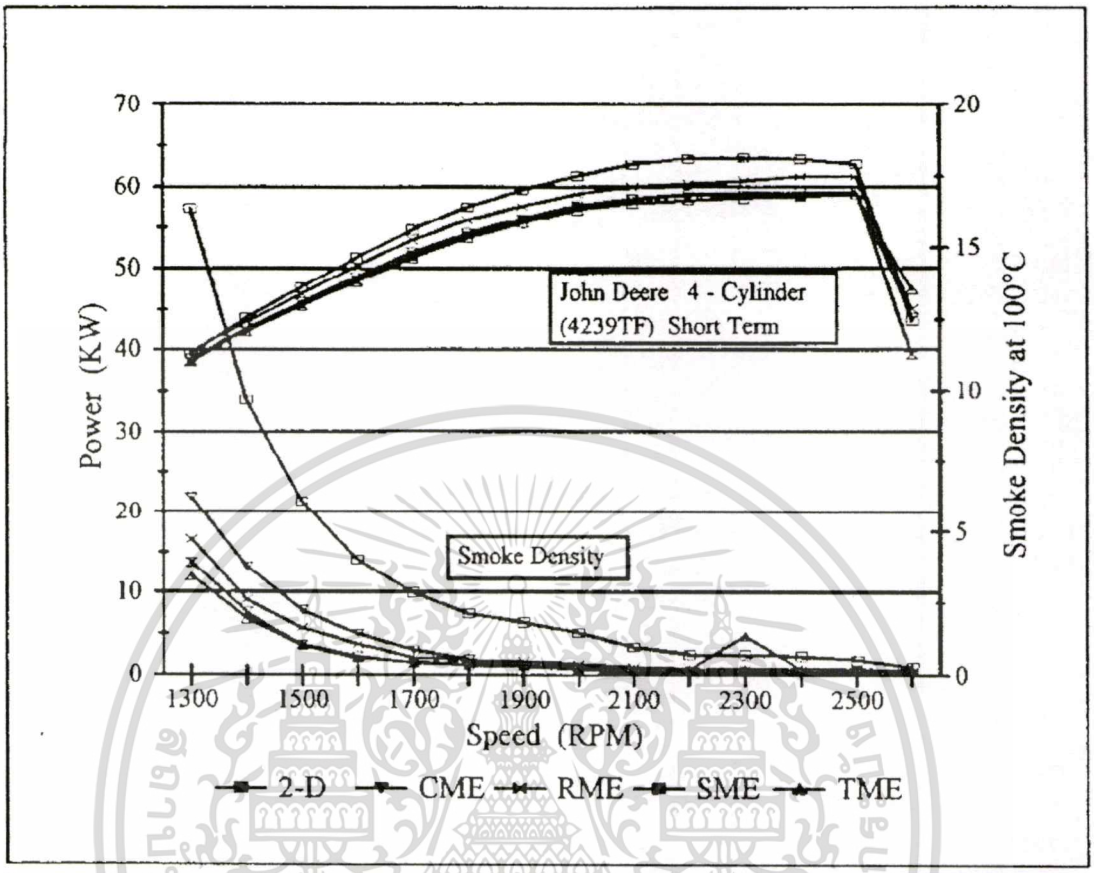


Figure 2. Power and smoke density of four methyl ester fuels compared to diesel for the short term performance tests.

For the ethyl ester fuels shown in Figures 1 and 3, the average of these compared to diesel is 4.8 percent less maximum power. Of this 4.8 percent, REE was the lowest at 3.0 percent and TEE highest at 5.8 percent of that average. These numbers are comparable to Clark et al. (1984). The average torque output shown in Figure 4 for the same ester was 4.7 percent less torque than diesel. Of this 4.7 percent, REE was at 3.0 percent less torque and TEE was at 5.6 percent less. The ethyl ester fuels also show a peak torque attained at a lower RPM than the methyl ester fuels.

For the methyl ester fuels, Figures 2 and 3 show that on the average, a 4.8 percent decrease in maximum power was demonstrated. Of that 4.8 percent, RME was 2.5 percent lower and TME was 5.6 percent lower. For torque output, Figure 4 shows that a average of 4.7 percent decrease in torque output was demonstrated. RME torque was 2.5 percent lower and TME was 5.6 percent lower.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figures 1, 2, and 5 also show the smoke density level for the given fuels. The smoke density curve for diesel and Biodiesel fuels do not always differ by the same increments through the RPM spread. For example, at 1600 RPM, diesel has a smoke density 6.8 times greater than TME, while at 1300 RPM, it is only 4.8 times as great. CME has a curve similar to diesel and stays at about 2.7 times less than diesel through the speed range. On the average, smoke density was 70.6 percent less than diesel for ethyl ester fuels and 73.9 percent less than diesel for methyl ester fuels. Complete statistical results are listed in Appendix E.

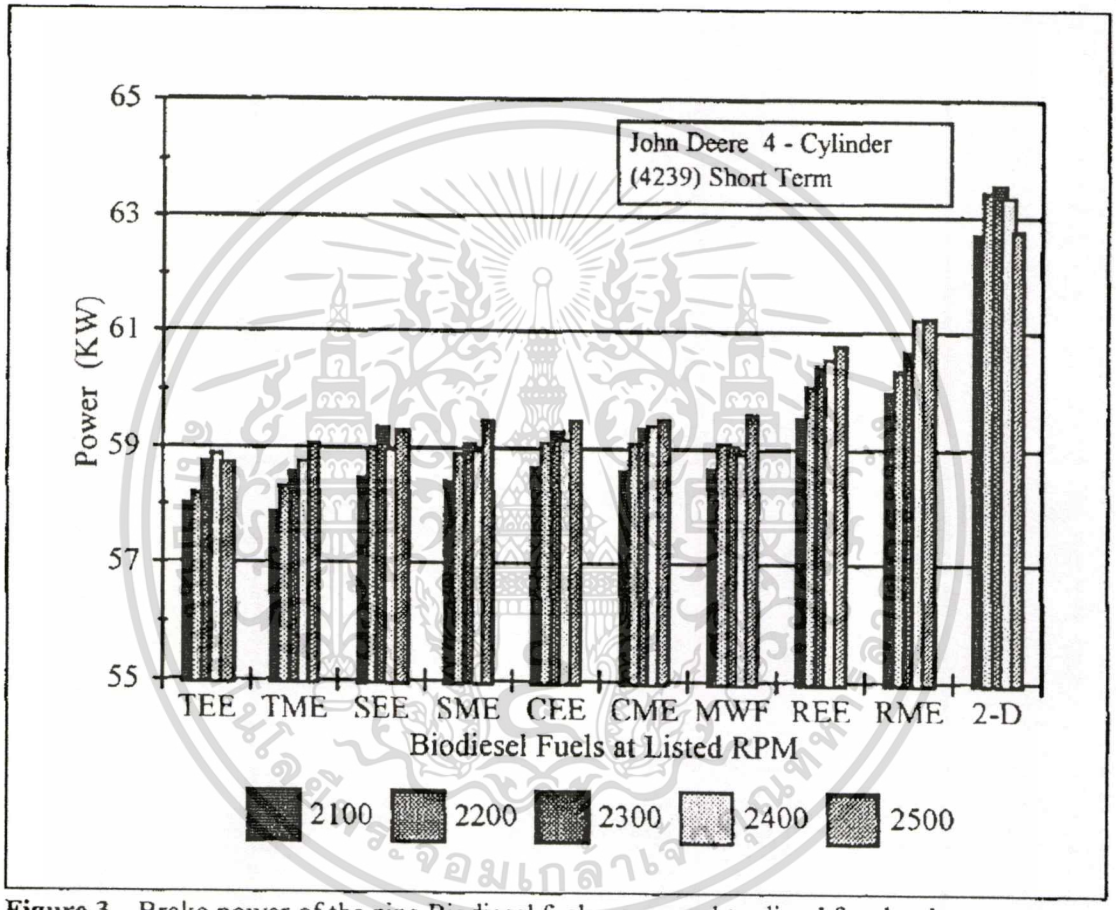


Figure 3. Brake power of the nine Biodiesel fuels compared to diesel for the short term performance tests.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานการทดสอบเครื่องยนต์ EMA

23

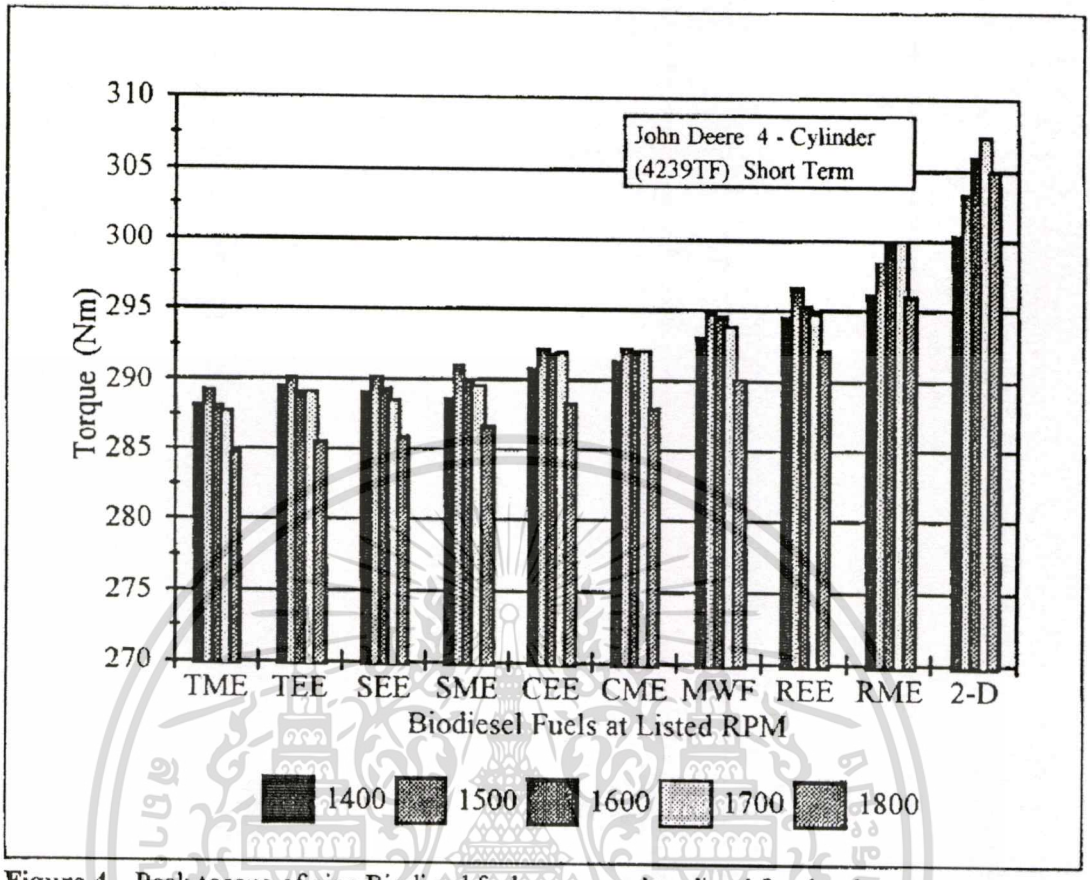


Figure 4. Peak torque of nine Biodiesel fuels compared to diesel for the short term performance tests.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

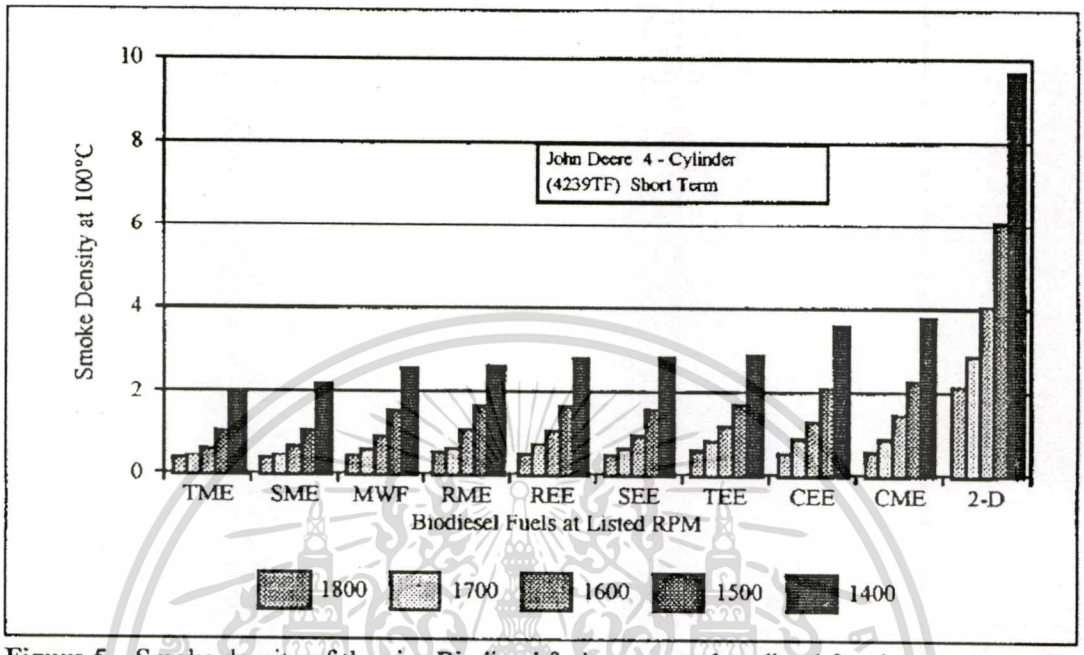


Figure 5. Smoke density of the nine Biodiesel fuels compared to diesel for short term performance tests.

The statistical analysis of variance for the torque tests using SAS indicated a significant difference between fuels for power, torque, smoke density and temperatures of opacity, inlet air, crankcase oil, inlet fuel and exhaust.

Table VII illustrates percent change of the specific fuel to the reference fuel, diesel. When compared separately to diesel, all fuels show a significant difference for all the parameters. Ethyl ester fuels had only slightly higher smoke density, about the same power, torque and exhaust temperature and only slightly better fuel economy than methyl ester fuels. A least significant difference (lsd) is included in the table. For the difference between two means to be significant at the 5% level the observed differences must exceed the lsd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table VIII. Biodiesel Fuel Performance Compared to Diesel from the Short Term Performance Tests.

Fuel Type	Smoke Density (m^{-1})	Power (HP)	Torque (lbs-ft)	Exhaust Temp (°C)	Fuel Econ (lbs/min)
RPM	1400	2500	1500	1400	2400
CEE	3.6 -62.9%	79.79 -5.2%	215.54 -3.6%	653.57 -5.1%	0.679 9.2%
CME	3.76 -61.2%	79.8 -5.2%	215.58 -3.6%	652.81 -5.2%	0.672 8.0%
2-D	9.7	84.16	223.67	688.62	0.622
MWF	2.55 -73.7%	79.34 -5.0%	217.38 -2.8%	649 -5.7%	0.692 11.3%
REE	2.79 -71.2%	81.52 -3.1%	218.74 -2.2%	659.92 -4.2%	0.682 9.6%
RME	2.6 -73.2%	82.15 -2.4%	220.1 -1.6%	636.79 -7.5%	0.679 9.1%
SEE	2.85 -70.6%	79.51 -5.5%	214.08 -4.3%	654.73 -4.9%	0.675 8.6%
SME	2.17 -77.6%	79.77 -5.2%	214.63 -4.0%	647.71 -5.9%	0.681 9.6%
TEE	2.89 -70.2%	78.76 -6.4%	213.89 -4.4%	650.31 -5.6%	0.662 6.5%
TME	1.96 -79.8%	79.22 -5.9%	213.31 -4.6%	645.99 -6.2%	0.675 8.5%
LSD	0.2487	0.8119	5.0016	306.03	

% Indicates the percent change from diesel for the given parameter
- Indicates the percent change is less than diesel fuel

Figures 6 through 10 are a graphical representation of the significant differences for each fuel. Any two vertical bars that do no overlap horizontally indicates these fuels are significantly different ($p<0.05$).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

26

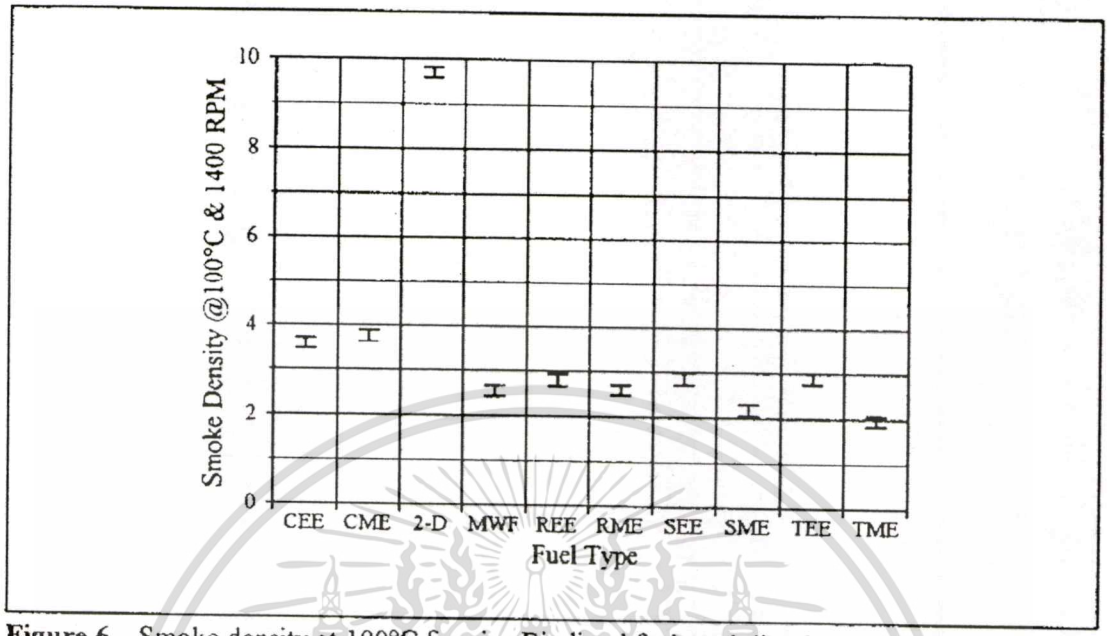


Figure 6. Smoke density at 100°C for nine Biodiesel fuels and diesel at 1400 RPM under full load conditions. The data is from the short term engine torque tests. Bars that do not overlap horizontally indicates significant difference for those fuels ($p<0.05$).

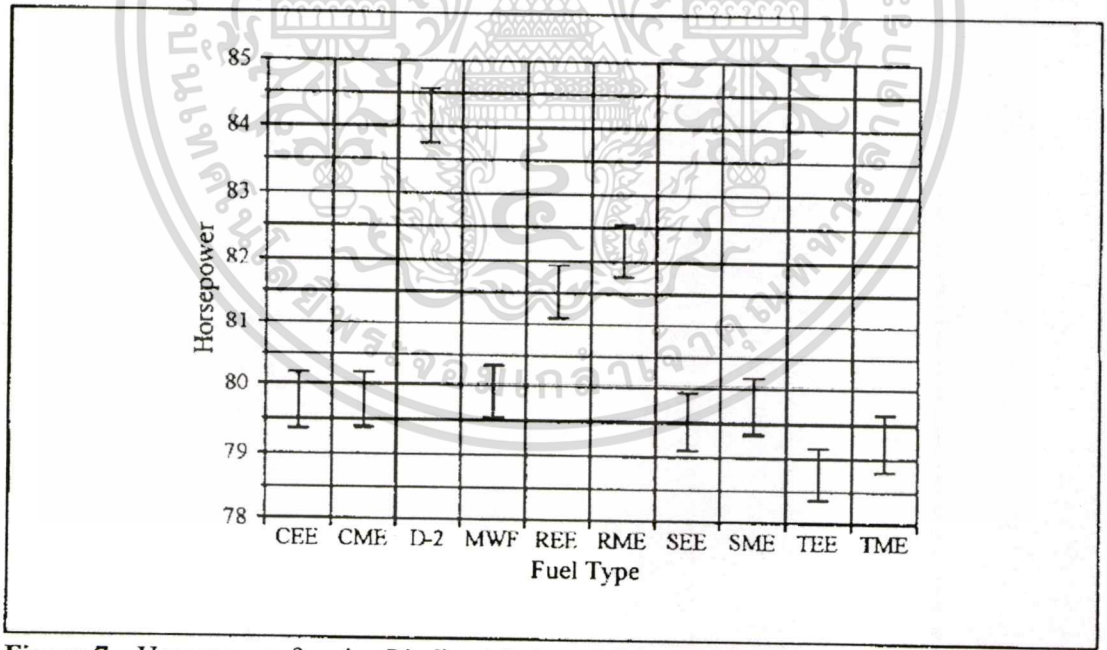


Figure 7. Horsepower for nine Biodiesel fuels and diesel at 2500 RPM under full load conditions. The data is from the short term torque tests. Bars that do not overlap horizontally indicates significant difference for those fuels ($p<0.05$).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

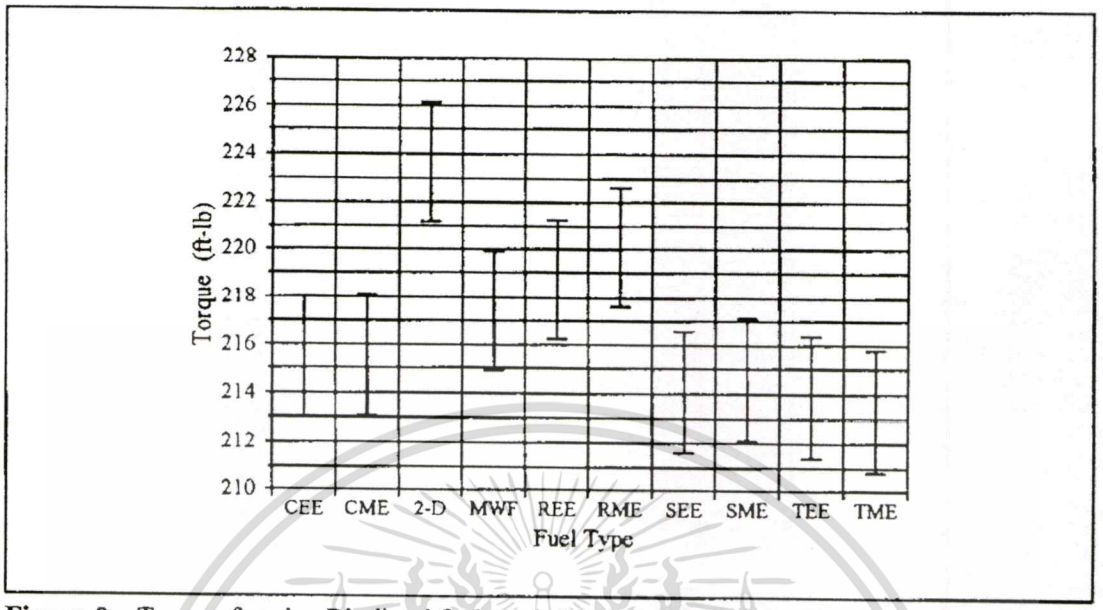


Figure 8. Torque for nine Biodiesel fuels and diesel at 1500 RPM. The data is from the short term torque tests. Bars that do not overlap horizontally indicates significant difference for those fuels ($p<0.05$).

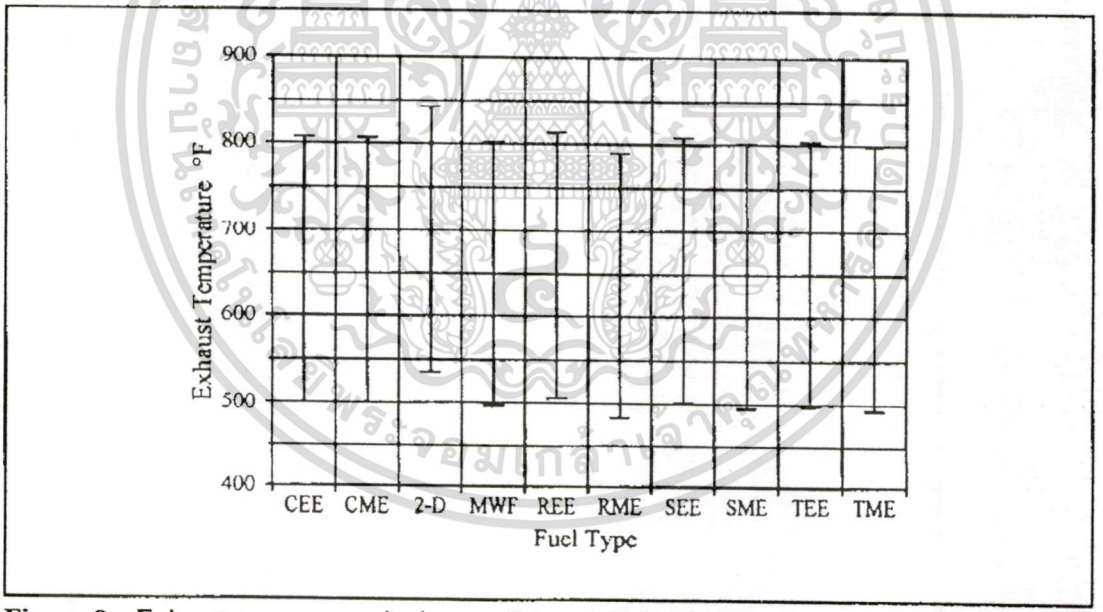


Figure 9. Exhaust temperature in degrees Fahrenheit for nine Biodiesel fuels and diesel at 1400 RPM under full load conditions. The data is from the short term engine torque tests. Bars that do not overlap horizontally indicates significant difference for those fuels ($p<0.05$).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

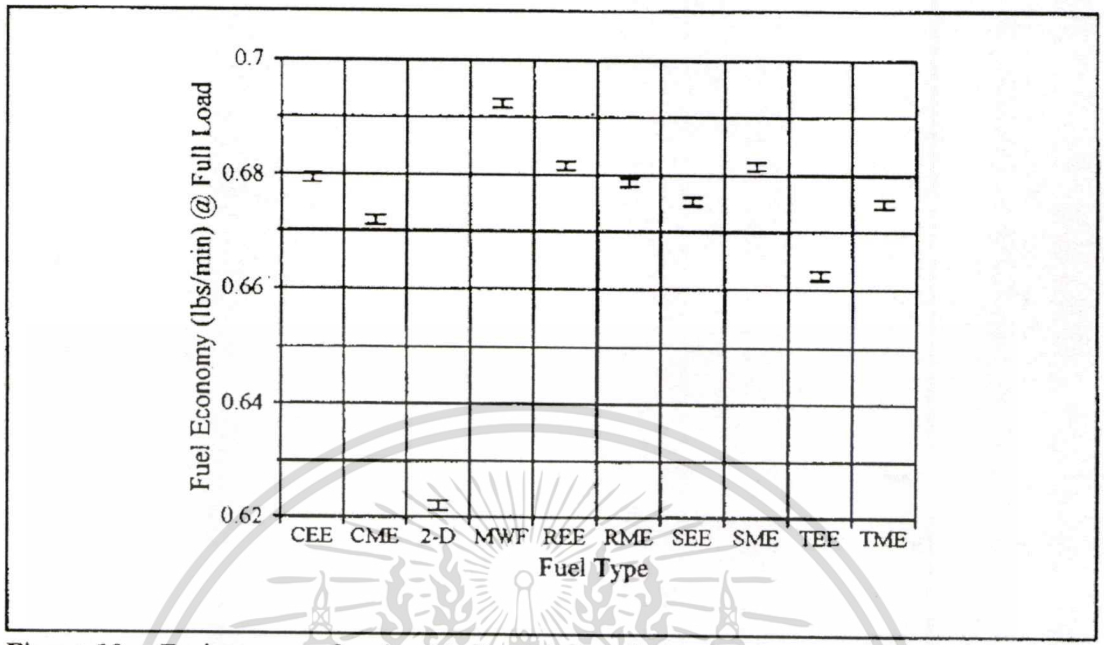


Figure 10. Fuel economy for nine Biodiesel fuels and diesel fuel at 2400 RPM. The data is from the short term engine mapping tests. Bars that do not overlap horizontally indicates significant difference for those fuels ($p<0.05$).

Further investigation into the differences between ethyl and methyl ester fuels made from the same feedstock show that the methyl ester fuels of SME and TME had a significant difference of smoke density, 25 percent less, than SEE and TEE. RME had 3.5 percent lower exhaust temperature than REE. Fuel economy for CME, RME, SME, TME used significantly more ($p<0.05$) fuel than their ethyl ester counterparts.

Comparing the ethyl and methyl ester fuels of this experiment to MWF, MWF had 29 percent less smoke density than CME and CEE, and the difference was statistically significant ($p<0.05$). MWF shows significantly lower power output than RME and REE. All the Biodiesel fuels had significantly lower ($p<0.05$) fuel consumption than MWF.

Comparing the ethyl and methyl ester fuels to RME showed that RME had significantly lower smoke density, 27 percent, than CEE and CME and significantly more smoke density than SME and TME, 24 percent. RME had significantly more power, 3 percent, than SEE, SME, TEE, and TME. RME and REE had significantly more power, 2.5 percent, than the other Biodiesel fuels. The fuels of CME, SEE, TEE and TME had significantly less fuel consumption than RME, 1.1 percent less.

Injector Coking Tests

Figure 11 shows the injector tip coking index for the ten fuels. Dividing each fuel's coking area by the diesel coking area gives the injector tip coking index. This rating of deposits on

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

the injector tips is a comparison scale and the higher the index, the more severe the deposits. Coking test data can be found in Appendix F. Shown in Figure 12 are examples of pictures taken of the injector coking. The coking on the injector tips was never severe enough to impede spray patterns. Valve opening pressures for each injector were recorded after each test and are listed in Appendix G.

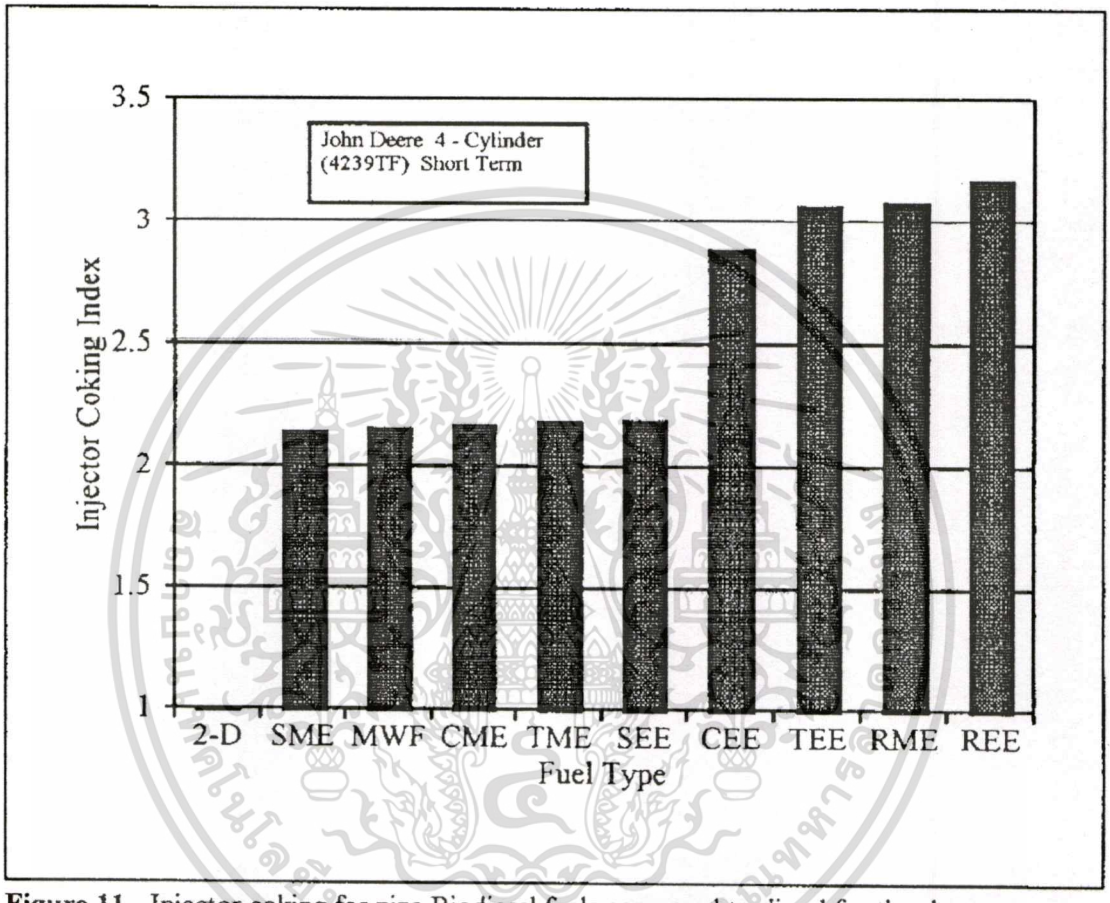


Figure 11. Injector coking for nine Biodiesel fuels compared to diesel for the short term performance tests.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

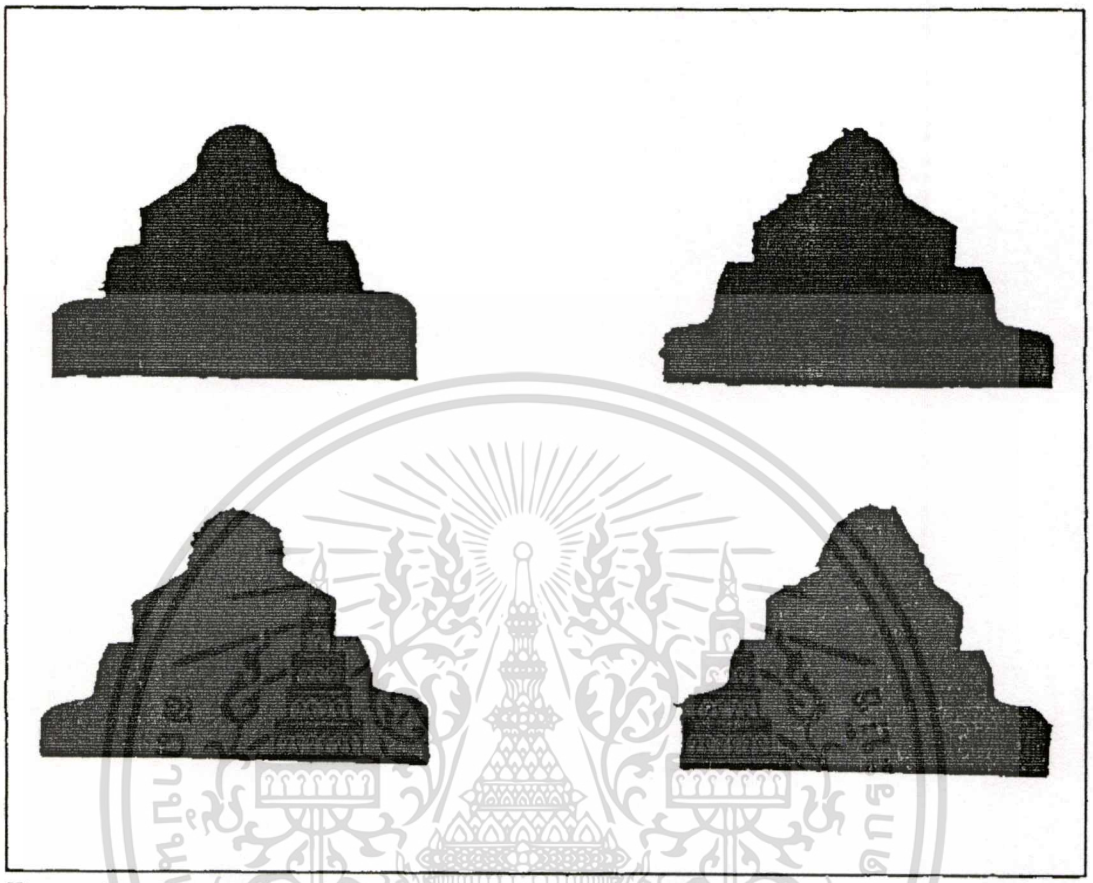


Figure 12. Injector tip coking pictures of Biodiesel fuels compared to diesel for the short term performance tests. Upper left - clean injector, upper right - average Biodiesel injector, lower left - average diesel injector, lower right - worst case Biodiesel injector.

Methyl esters, on the average, exhibited 2.37 times more coking on the injector tips than diesel, but 1.18 times less than the ethyl esters. Ethyl esters had 2.8 times more coking than diesel.

Correlations of Specific Properties For Ethyl and Methyl Esters

Correlations of specific properties in each fuel are shown in Appendix H. These correlations are ranked in order of importance. P values are listed in ( ). Increased coking is strongly correlated to an increase in viscosity (0.006), molecular weight (0.01) (Peterson et al. 1994b), heat of combustion (0.01) and a slight negative correlation to linoleic acid (-0.08).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table IX illustrates the thermal efficiencies of the fuels for the coking test. CEE and TEE had the highest readings, but only slightly more.

Table IX. Thermal Efficiencies for Test Fuels From the Short Term Performance Tests.

FUEL TYPE	EFFICIENCY	FUEL TYPE	EFFICIENCY
CEE	31.09%	CME	30.98%
REE	30.77%	RME	30.89%
SEE	30.98%	SME	30.93%
TEE	31.03%	TME	30.70%
2-D	30.56%	MWF	30.99%

Engine Performance Mapping Tests

As shown in Figure 13, the Biodiesel fuels had a higher brake specific fuel consumption rate. At the speed of 2500 RPM, the ethyl ester fuels consumed about 11.6 percent more than diesel, on a volume basis, while the methyl esters fuels were about 13 percent more. This trend appears to hold true for most of the RPM levels. The higher rate of fuel consumption would indicate lower heating values of the fuels being burned; thus, the engine uses more fuel to produce the same amount of horsepower. Mapping data can be found in Appendix I.

Statistical analysis of variance for the Mapping Tests using SAS indicates strong evidence there was a significant difference in the fuels for fuel economy. Results are listed in Appendix J.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

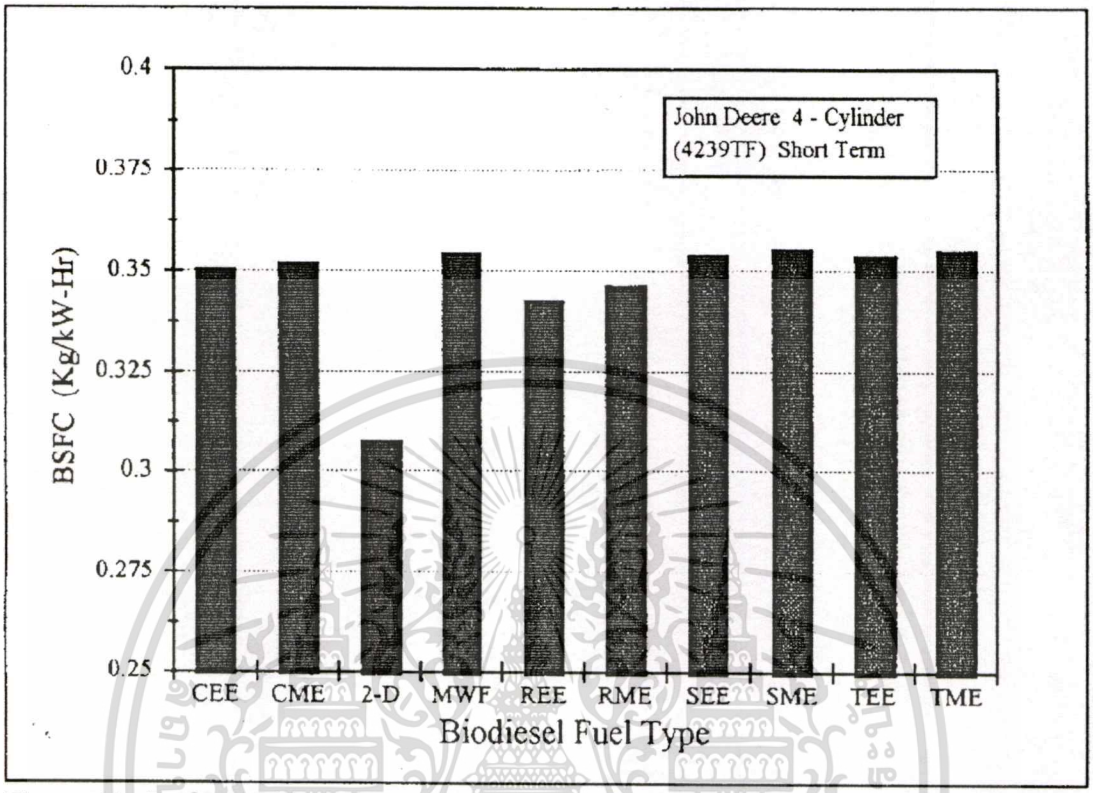


Figure 13. Brake specific fuel consumption of nine Biodiesel fuels compared to diesel at full load for the short term performance tests

Long Term Performance Tests

The long term performance testing was accomplished using three Yanmar (3TN75E-S) three cylinder, direct injection, naturally aspirated diesel engines. Engines were run for 200 hours following the load cycle outlined in the EMA standard for this test.

Variable Speed Torque Tests, Oil and Wear Analysis

Every 50 hours the oil was sampled to analyze engine wear. These results are shown in Table X. Maximum allowable limits for the various metals analyzed are as follows; a.) Iron, 100 parts per million (ppm), b.) Chromium, Aluminum, Copper, Lead and Silicon, 20 ppm, and c.) TBN, lower limit , 2 ppm (Turner, 1995). Silicon levels were high for all fuels during the first 100 hours of operation but acceptable after that, but none of the other metal limits were reached. Engine oil wear metal analysis indicates wear was normal for all engines throughout the long term performance tests.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table X. Engine Oil Wear Metal Analysis (ppm) from Long Term Performance Tests.

Fuel	Hours	Iron	Chromium	Aluminum	Copper	Lead	Silicon	TBN
2-D	50	16	3	7	2	1	19	6.5
	100	24	4	8	2	1	23	5.9
	150	11	1	4	0	0	6	6.6
	200	17	3	5	1	1	7	6.0
CEE	50	18	2	6	4	3	33	6.2
	100	29	4	7	4	5	25	5.6
	150	19	2	6	2	1	8	6.5
	200	30	4	8	2	4	9	6.3
CME	50	19	3	11	2	2	19	5.9
	100	31	4	8	3	5	19	5.4
	150	15	2	7	1	2	9	5.6
	200	28	3	9	2	5	11	5.3
REE	50	21	4	6	2	2	19	6.9
	100	32	7	6	3	3	17	6.1
	150	11	3	4	1	1	7	6.4
	200	24	8	5	1	2	11	5.8
RME	50	25	4	6	2	2	17	5.1
	100	44	6	7	2	4	16	4.7
	150	25	3	5	1	2	8	5.0
	200	51	5	6	2	6	6	4.8
SEE	50	24	3	5	3	3	45	6.2
	100	45	4	7	3	6	35	5.6
	150	22	2	6	1	1	9	6.7
	200	47	4	8	2	4	10	6.5
SME	50	23	3	7	4	3	24	5.5
	100	39	4	9	5	7	18	4.7
	150	21	2	5	2	3	9	5.0
	200	40	4	7	3	10	7	4.9
TEE	50	13	2	5	1	2	18	6.6
	100	22	4	6	2	2	16	6.1
	150	12	2	4	1	1	5	6.3
	200	18	4	4	1	1	5	5.9
TME	50	16	2	6	5	3	55	6.2
	100	23	3	7	5	3	47	5.8
	150	11	1	5	1	1	11	6.4
	200	19	2	5	2	1	12	6.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lubricating oil viscosity was also monitored at the 50 hour intervals. The lower viscosity limit of 12.5 cSt @ 100° C was reached during the first 100 hours of operation by several of the lubricating oils. But during the final 100 hours, no lubricating oils reached the minimum. Table XI shows those viscosity readings.

Table XI. Engine Oil Viscosity for Long Term Performance Test.

Fuel	Beginning Viscosity cSt @ 100 °C	End of First 100 Hours	End of Second 100 Hours
2-D	14.95	13.53	12.74
CEE	14.95	12.02*	12.54
CME	14.95	12.80	12.79
REE	14.95	12.84	12.59
RME	14.95	12.56	12.75
SEE	14.95	11.75*	12.64
SME	14.95	12.75	12.57
TEE	14.95	12.73	12.71
TME	14.95	11.56*	12.90

* Indicates viscosity below recommended levels

Measured wear on the various engine parts was minimal. Physically measuring parts such as the wrist pins, cylinder walls, valve stems, ring gap, main bearings, camshaft lobes and crankshaft showed no notable differences between fuels. Table XII shows the net weight of the carbon deposits on the pistons and valves and the percent change of that fuel to diesel. On the average, the weight of Biodiesel piston deposits were 16.5 percent more than diesel. The intake valves weighed 20.2 percent less in carbon deposits than diesel and the exhaust valves also averaged 62.9 percent less carbon deposits by weight than diesel. Table XIII indicates the wear on the piston rings by weight for the top, second and oil rings. On the average, Biodiesel piston rings showed 12.4 percent less wear on a weight basis than diesel rings. This was on one test only and the difference in piston ring weights was very small.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table XII. Weight Analysis of Carbon Deposits on Pistons and Valves for Long Term Performance Tests.

FUEL TYPE	PISTON (grams)	INTAKE VALVE (grams)	EXHAUST VALVE (grams)
2-D	0.6233	0.3033	0.3233
CEE	0.6967 11.76 %	0.2200 (-27.5 %)	0.1833 (-43.4 %)
CME	0.6967 11.76 %	0.1833 (-39.6 %)	0.0833 (-74.2 %)
REE	0.8267 32.6 %	0.2800 (-7.3 %)	0.1433 (-55.7 %)
RME	0.7767 24.6 %	0.4333 42.9 %	0.1300 (-59.8 %)
SEE	0.8067 29.4 %	0.2767 (-8.8 %)	0.1033 (-68.0 %)
SME	0.6167 (-1.1 %)	0.2067 (-31.9 %)	0.1267 (-60.8 %)
TEE	0.7267 16.6 %	0.2533 (-16.5 %)	0.1100 (-66.0 %)
TME	0.6633 6.4 %	0.0833 (-72.5 %)	0.0800 (-75.3 %)
Avg. Ethyl	22.6 %	(-15.0 %)	(-58.3 %)
Avg. Methyl	10.4 %	(-25.3 %)	(-67.5 %)
Tot. Average	16.5 %	(-20.2 %)	(-62.9 %)

% Indicates the percent change of the fuel to that of diesel. (weight of component of fuel / weight of component of diesel)

- Indicates the percent change is less than diesel fuel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table XIII. Weight Analysis of Piston Ring Wear for Long Term Performance Tests.

Fuel	Avg. Top Ring Net Weight (grams)	Avg. Second Ring Net Weight (grams)	Avg. Oil Ring Net Weight (grams)
2-D	0.0520	0.0797	0.0857
CEE	0.0158 (-30.4 %)	0.0108 (-13.5 %)	0.0075 (-8.8 %)
CME	0.0037 (-7.1 %)	0.0023 (-2.9 %)	0.0059 (-6.9 %)
REE	0.0123 (-23.6 %)	0.0117 (-14.6 %)	0.0113 (-13.2 %)
RME	0.0057 (-11.0 %)	0.0095 (-12.0 %)	0.0086 (-10.0 %)
SEE	0.0125 (-24.1 %)	0.0118 (-14.8 %)	0.0073 (-8.5 %)
SME	0.0052 (-10.0 %)	0.0130 (-16.3 %)	0.0057 (-6.7 %)
TEE	0.0079 (-15.2 %)	0.0032 (-4.0 %)	0.0102 (-11.9 %)
TME	0.0083 (-16.0 %)	0.0075 (-9.4 %)	0.0062 (-7.3 %)
Avg. Ethyl	(-23.3 %)	(-11.8 %)	(-10.6 %)
Avg. Methyl	(-11.0 %)	(-10.1 %)	(-7.7 %)
Average	(-17.2 %)	(-10.9 %)	(-9.2 %)
Average Total for the Three Rings	(-12.4 %)		

% Indicates the percent change of the piston ring weight for a particular fuel to that of diesel. (ring weight of fuel / ring weight of diesel)

- Indicates the percent change is less than diesel fuel.

All fuels met the requirements of the EMA Test standard. Those requirements stated that a 5 percent loss of power during a test constitutes failure. Figure 14 illustrates the relative percent power for the long term performance tests. Relative power was used because each engine has a somewhat different initial power level.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

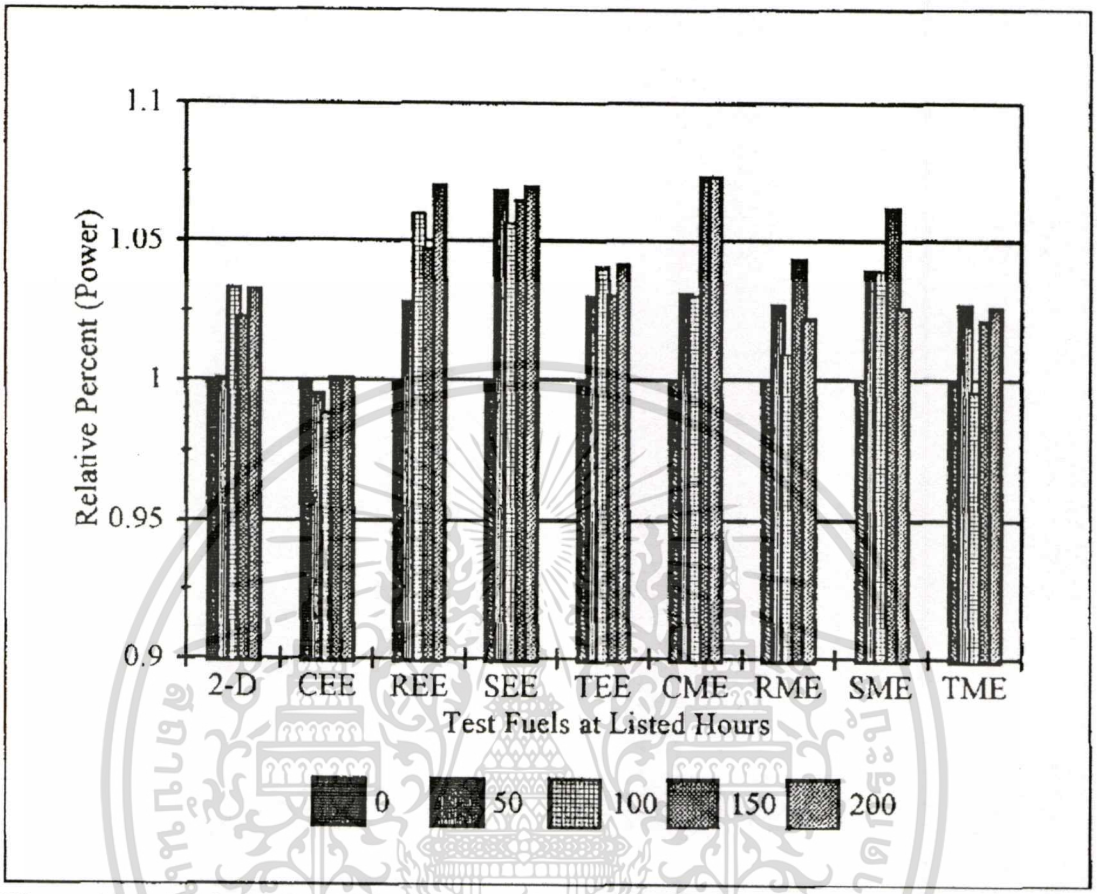


Figure 14. Relative percent power of eight Biodiesel fuels and diesel for the long term performance tests.

Injector coking for the Biodiesel fuels was slightly more than diesel. On the average, Methyl ester fuels had 1.39 times more coking while ethyl ester fuels had 1.16 times more coking than diesel. Coking deposits were never severe enough to inhibit injector spray patterns. Figure 15 shows the injector coking index for the eight Biodiesel fuels compared to diesel for the long term performance tests.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

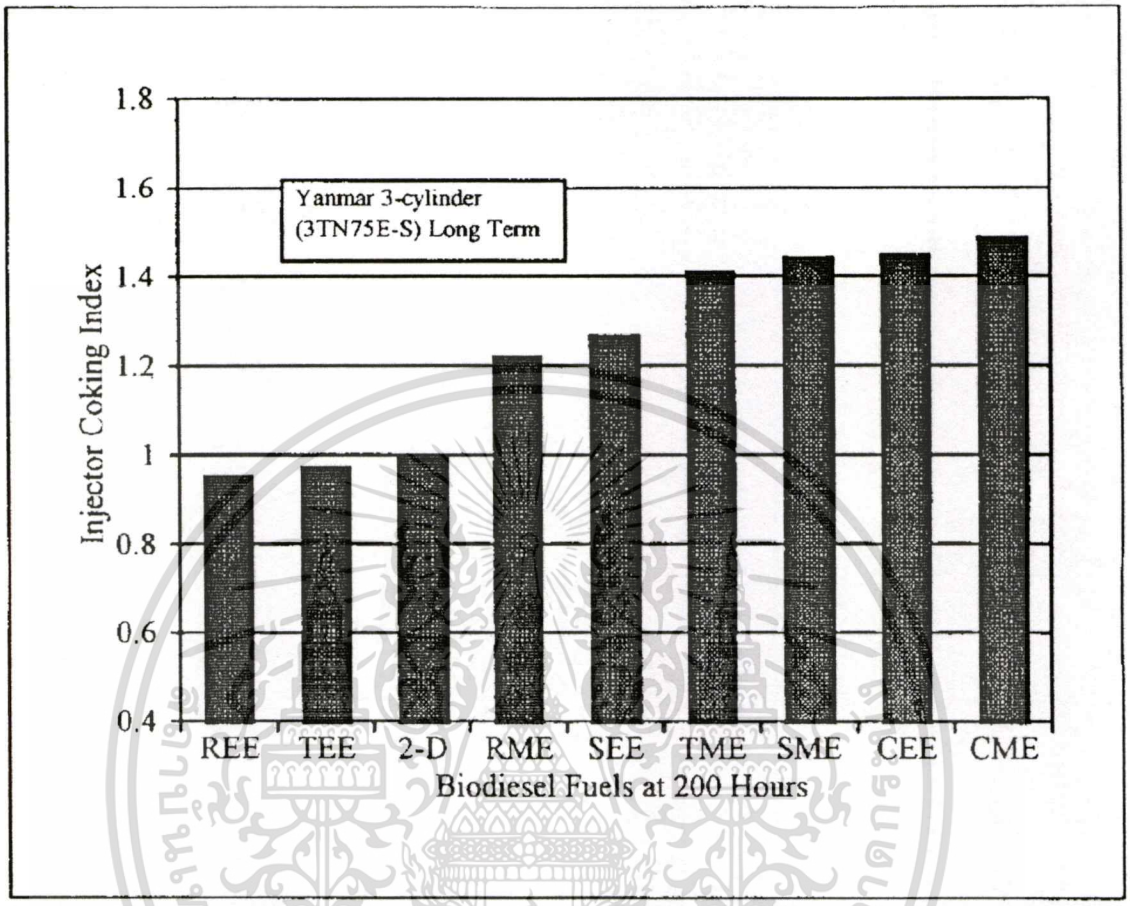


Figure 15. Injector coking index for eight Biodiesel fuels and diesel for the long term performance tests at the 200 hour interval.

Short and long term performance tests showed different patterns of injector coking. Those different patterns were a reflection of the type of loading put on the engines. For the short term tests, loading was extreme with the engine being loaded down to 1500 RPM. Long term tests were only loaded to a minimum of 2550 RPM. Both tests were severe in different ways.

CONCLUSIONS

The eight renewable fuel sources, an ethyl and methyl ester of rapeseed oil, soybean oil, canola oil, and beef tallow plus the two reference fuels, a commercial grade methyl soybean ester and a commercial grade low sulfur #2 diesel fuel encountered no problems with fuel flow, filter clogging, power loss, piston ring seizure and oil dilution in either the short or long term performance study. Comparing differences between ethyl and methyl ester fuels made

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

from the same feedstock, canola oil showed the least variation for power, torque, exhaust temperature and fuel economy. Soybean oil and tallow varied the most.

Some differences between fuels became apparent from the results of the fuel characterizations. Characteristics of Biodiesel fuels which were better than diesel were: 1) a higher flash point, 2) a higher cetane number, 3) a higher percent oxygen and 4) a lower sulfur content. Characteristics of Biodiesel fuels which were not as good as diesel: 1) a higher viscosity, 2) a higher pour point and 3) a lower heat of combustion. Ethyl ester fuels were somewhat more viscous and their percent esterification was 3.2 percent lower than methyl ester fuels. Correlations between injector tip coking and specific fuel characteristics indicated that increased coking was statistically correlated with increased viscosity, molecular weight and heat of combustion. Injector coking was less for diesel fuel in both the short and long term performance tests, but only slightly so. Injector coking was shown to be a function of fuel and also the type of test being performed.

The engine performance from the short term tests using Biodiesel fuels did not greatly differ from diesel fuel. An average power loss, 4.8 percent, combined with an increase of 7.2 percent fuel consumption was experienced with the Biodiesel fuels compared to diesel. Smoke density of the Biodiesel fuels averaged 72.2 percent less than diesel. In general, there was a statistically significant difference between the performance of the Biodiesel and diesel fuels for power (4.8% less), torque (3.5% less), exhaust temperature (5.6% less), smoke density (70.2% less) and fuel economy (8.2% more). Injector coking was highest for ethyl ester fuels, followed by methyl ester fuels and then diesel. Thermal efficiencies were about the same for all fuels tested.

The engine performance from the long term tests using Biodiesel fuels demonstrated an increase in relative power for all fuels over the EMA test period. Engine oil wear metal analysis results indicated no abnormal wear patterns. Weight analysis of piston ring wear indicates that Biodiesel had better lubricating qualities. Biodiesel had 12.4 percent less wear on a weight basis than diesel. Biodiesel carbon deposits on the valves were less than diesel (41% less), by weight, but slightly more deposits were on the pistons compared to diesel (16.5% more). Injector coking was never severe enough to inhibit injection spray patterns. Methyl ester fuels had the highest coking followed by ethyl ester fuels and then diesel. All fuels had a performance which surpassed the requirements of the EMA standard.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RECOMMENDATIONS

Based on observations and analysis of this study, recommendations for further research and application include:

- As the ester fuels become better, and injector tip coking from these ester fuels approaches the coking of diesel fuels, it will be critical to improve the sensitivity of measuring injector coking.
- Additional research with pour point depressants could improve the use of Biodiesel fuel in colder regions.
- Further testing with the ethyl esterification process to improve esterification rates as needed.
- Further testing with esterification percentages to see if there is any correlation between coking and lower esterification percentages.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REFERENCES

Allsup, J. 1994. DOE Projects/Alternative Fuels. Proceedings from the Commercialization of Biodiesel: Establishment of Engine Warranties, NCATT Center, University of Idaho, Moscow, ID 83843.

Alfuso, S., M. Auriemma, G. Police and M V. Prati 1993. The Effect of Methyl-Ester of Rapeseed Oil on Combustion and Emissions of DI Diesel Engines. SAE Paper No. 932801. SAE, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001.

Baranescu, R. 1994. Engine Warranty Policy (Navistar International Transportation Corporation). Proceedings from the Commercialization of Biodiesel: Establishment of Engine Warranties, NCATT Center, University of Idaho, Moscow, ID 83843

Baum, R. 1994. Microalgae are Possible Source of Biodiesel Fuel. Chemical and Engineering News. Vol 72, 28-9.

Caruana, C.M. 1992. Pollution Control Drives New Interest in Biodiesel. Chemical Engineering Progress. Vol 88,14-18.

Clark, S.J., L. Wagner, M.D. Schrock and P.G. Piennaar. 1984. Methyl and Ethyl Soybean Esters as Renewable Fuels for Diesel Engines. JAOCS, 61(10):1632-637.

EMA. 1982. 200 Hour Screening Test for Alternative Fuels. Energy News. Northern Agricultural Energy Center, Peoria, IL 61064

Feldman, M. 1991. Optimization of a Direct Injection Diesel Engine for Operation on Winter Rape Methyl Ester. M.S. Thesis, Agricultural Engineering Department, University of Idaho, Moscow, ID 83843.

Fiscor, S. 1994. Off-highway Diesel Engines Trends. Engineering and Mining Journal. Vol 195, 38-40.

Goering, C.E. and M.J. Daughtery. 1982. Energy Accounting of Eleven Vegetable Oil Fuels. ASAE Paper No. 0001-2351. ASAE, St. Joseph, MI 49085-9659.

Haines, H. 1994. "Truck in the Park" Demonstration. Proc from the Commercialization of Biodiesel: Establishment of Engine Warranties, NCATT Center, University of Idaho, Moscow, ID 83843.

Khan, L. M. and M. A. Hanna. 1983. Expression of Oil from Oil Seed-A Review. Journ. Agric. Engr. Res. 28, 495-503.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Knott, D. 1995. Alternative Motor Fuels: A Slow Start Toward Wider Use. Oil and Gas Journal. Vol. 93, pg 25-8.

Koontz, K. 1994. Engine Warranty Policy (Cummins Engine Co.) Proceedings from the Commercialization of Biodiesel: Establishment of Engine Warranties, NCATT Center, University of Idaho, Moscow, ID 83843.

Korus, R.A., J. Jo and C.L. Peterson. 1985. A Rapid Engine Test to Measure Fouling in Diesel Engines Using Vegetable Oil Fuels. JAOCS, 62(11).

Marshall, W.F. 1993. Biodiesel, Commercialization of a Renewable Fuel. Unpublished manuscript. IIT Research Institute, Bartlesville, OK 74003.

Mittlebach, M., P. Tritthart and H. Junek. 1985. Diesel Fuel Derived from Vegetable Oils, II: Emission Using Rape Oil Methyl Ester. Energy in Agriculture, 4(1985) 207-215

Perkins, L.A., C.L. Peterson and D.L. Auld. 1991. Durability Testing of Transesterified Winter Rapeseed Oil (Brassicanapus L.) as a Fuel in Small Bore, Multi Cylinder, DI, CI Engines. SAE Technical Paper No. 911764. SAE, Warrendale, PA 15096-0001. 16 pp.

Peterson, C.L., R.O. Cruz, L. Perkins, R. Korus and D.L. Auld. 1990a. Transesterification of Vegetable Oil for Use as Diesel Fuel: A Progress Report. ASAE Paper No. PNWS90-610, ASAE, St. Joseph, MI 49085-9659.

Peterson, C.L., M. Feldman, R. Korus and D.L. Auld. 1990b. Transesterification Process for Winter Rape Oil. Applied Engineering in Agriculture, 7(6):711-716.

Peterson, C.L., M.E. Casada, L.M. Safley, Jr., L. Perkins and D.L. Auld. 1990c. Agriculturally Produced Fuels. ASAE Paper No. 905532. ASAE, St. Joseph, MI 49085-9659.

Peterson, C.L., M. Feldman, R. Korus and D.L. Auld. 1991. Batch Type Transesterification Process for Winter Rape Oil. ASAE Paper No. 89-6569. ASAE, St. Joseph, MI 49085-9659.

Peterson, C.L., D.L. Reece, R. Cruz, J. Thompson. 1992. A Comparison of Ethyl and Methyl Esters of Vegetable Oil as Diesel Fuel Substitutes In Liquid Fuels From Renewable Resources. Proceedings of Alternative Energy Conference. ASAE, St. Joseph, MI 49085-9659

Peterson, C.L., D.L. Reece, J. Thompson, S. Beck, and X. Zhang. 1994a. Development of Biodiesel for Use in High-Speed Diesel Engines. Proceedings from the Commercialization of Biodiesel: Establishment of Engine Warranties, NCATT Center, University of Idaho, Moscow, ID 83843.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peterson, C.L., D.L. Reece, B.L. Hammond, J. Thompson and S.M. Beck. 1994b. Production and Testing of Ethyl and Methyl Esters. University of Idaho, Moscow, ID 83843.

Peterson, C.L. 1995. Reporting of Fuel Properties When Testing Diesel Engines With Alternative Fuels Derived From Biological Materials. ASAE EP S552. A Proposed ASAE Engineering Practice. University of Idaho. Moscow, ID 83843.

Quick, G.R. 1980. Developments in Use of Vegetable Oils as Fuel for Diesel Engines. ASAE Paper No. 80-1525. ASAE, St. Joseph, MI 49085-9659.

Reece, D.L. and C.L. Peterson. 1993. A Report on the Idaho on-Road Vehicle Test with RME and Neat Rapeseed Oil as an Alternative to Diesel Fuel. ASAE Paper No. 93-5018. ASAE, St. Joseph, MI 49085-9659.

Reece, D.L. and C.L. Peterson. 1995. Acute Toxicity of Biodiesel to Freshwater and Marine Organisms. Proc of the Second Biomass Conference of the Americas: Energy, Environment, Agriculture and Industry; National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado 80401-3393.

Reece, D.L. 1995. On-Road Testing of Rapeseed Biodiesel. M.S. Thesis. Ag Engr Dept, University of Idaho, Moscow, ID 83843.

SAE J1312. 1990. Procedure for Mapping Engine Performance-Spark Ignition and Compression ignition Engines. SAE, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096.

SAE J1349. 1990. Engine Power Test Code-Spark and Compression Ignition-Net Power Rating. SAE, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096.

Scholl, K.W. and Sorenson, S.C. 1993. Combustion of Soybean Oil and Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine. ASAE Paper No. 930934. ASAE, St. Joseph, MI 49085-9659.

Schumacher, L.G., T.S. Kolb and S.C. Borgelt. 1993. Biodiesel: World Status. Unpublished manuscript. University of Missouri, Columbia, MO 65211.

Schumacher, L.G., W.G. Hires and J.G. Krahl. 1995. Cummins 5.9L Biodiesel Fueled Engines. Proc of the Second Biomass Conference of the Americas: Energy, Environment, Agriculture and Industry; Proc of the Second Biomass Conference of the Americas: Energy, Environment, Agriculture and Industry; National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado 80401-3393.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Schaffer, A. 1994. Engine Warranty Policy (Mercedes-Benz). Proceedings from the Commercialization of Biodiesel: Establishment of Engine Warranties, NCATT Center, University of Idaho, Moscow, ID 83843.

Staat, F. and E. Vallet 1994. Vegetable Oil Methyl Ester as a Diesel Substitute. Chemistry and Industry, Vol 21:863-5.

Turner, R. 1995. Warning Limits for Various OEM. Cleveland Technical Center, Spokane, WA 99206

Wagner, L.E., S.J. Clark and M.D. Schrock. 1984. Effects of Soybean Oil Esters on the Performance, Lubricating Oil, and Wear of Diesel Engines. SAE Technical Paper Series 841385. SAE, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096.

Walker, L. 1994. Engine Warranty Policy (Detroit Diesel). Proceedings from the Commercialization of Biodiesel: Establishment of Engine Warranties, NCATT Center, University of Idaho, Moscow, ID 83843.

Zhang, Q., M. Feldman and C.L. Peterson. 1988. Diesel Engine Durability When Fueled with Methyl Ester of Winter Rapeseed Oil. ASAE Paper No. 88-1562, ASAE, St. Joseph, MI 49085-9659.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานการทดสอบเครื่องยนต์ EMA

Average data from coking test determined by SAS.
Tests were performed during the summer of 1994 on the
John Deere Engine.

Fuel Type	RPM	Opacity (%)	Power (hp)	Torque (ft-lb)	Ambient Temp °C	Opacity Temp °C	Exhaust Temp °C	Fuel Temp °C	Oil Temp °C	Inlet Temp °C	Econ lb/min
CEE	1500	4.91	60.28	211.06	30.60	408.94	640.15	36.51	110.50	36.35	0.454
	1700	2.40	68.09	210.37	30.05	416.49	631.79	32.14	110.90	36.22	0.516
	1900	1.24	73.33	202.69	29.42	418.65	628.17	30.09	111.38	35.36	0.562
	2100	0.46	75.84	189.67	28.74	413.61	606.98	30.48	111.46	34.75	0.598
	2300	0.29	77.41	176.76	28.02	410.92	596.01	29.09	109.53	33.88	0.627
	2500	0.44	79.13	166.24	27.57	400.92	582.44	26.87	94.02	30.84	0.678
CME	1500	3.97	60.74	212.68	28.04	401.23	637.26	33.32	108.31	33.71	0.473
	1700	1.40	68.45	211.48	27.52	412.85	634.22	29.63	109.72	32.59	0.523
	1900	0.67	73.67	203.63	26.95	415.15	629.15	28.30	110.31	32.49	0.567
	2100	0.17	76.63	191.65	26.33	410.43	608.81	28.53	110.46	32.24	0.607
	2300	0.09	77.81	177.69	25.71	406.34	594.85	26.70	108.46	31.18	0.092
	2500	0.28	79.77	167.58	25.27	398.68	586.38	24.91	93.25	28.62	0.687
D2	1500	10.91	62.14	217.56	29.41	428.90	674.44	36.74	112.87	34.51	0.441
	1700	6.01	71.05	219.50	28.92	437.75	671.90	33.38	113.19	33.76	0.488
	1900	3.61	77.32	213.72	28.35	440.29	665.60	31.16	113.54	33.97	0.530
	2100	1.91	80.98	202.53	27.73	437.38	654.93	30.40	113.76	34.54	0.565
	2300	1.14	83.45	190.55	27.16	434.09	636.47	26.54	111.32	33.47	0.601
	2500	1.01	83.96	176.39	26.77	420.39	619.79	25.26	95.10	31.99	0.636
MWF	1500	3.05	60.59	212.13	26.29	409.67	621.17	31.06	108.76	34.18	0.468
	1700	1.32	68.03	210.16	25.77	415.18	629.02	28.98	109.06	32.53	0.535
	1900	0.67	73.63	203.55	25.13	416.36	624.26	26.85	109.44	31.51	0.567
	2100	0.22	76.49	191.31	24.38	410.27	594.37	25.78	109.38	29.76	0.607
	2300	0.12	77.66	177.34	23.50	405.72	584.56	24.66	107.69	28.31	0.634
	2500	0.37	79.98	168.02	22.79	398.02	581.70	22.56	92.53	25.73	0.692
REE	1500	5.83	60.50	211.82	31.55	422.41	646.93	37.15	112.69	42.02	0.463
	1700	2.66	68.42	211.40	30.96	428.74	645.52	33.23	112.80	40.01	0.518
	1900	1.57	73.96	204.46	30.30	431.37	640.25	30.60	113.24	36.82	0.573
	2100	0.63	77.25	193.21	29.57	427.87	619.48	30.39	113.51	36.34	0.601
	2300	0.43	79.13	180.68	28.82	424.79	607.19	28.40	110.91	35.16	0.637
	2500	0.51	80.79	169.72	28.25	409.11	590.60	26.53	93.00	31.52	0.682
RME	1500	4.05	61.33	214.74	28.72	413.03	644.53	32.43	110.13	35.54	0.475
	1700	2.00	69.22	213.86	28.34	411.75	632.76	29.34	109.00	34.04	0.518
	1900	0.98	73.97	204.47	27.74	420.30	628.55	28.25	111.70	33.79	0.570
	2100	0.37	78.10	196.32	27.21	417.68	597.90	27.99	112.05	33.06	0.607
	2300	0.22	79.78	182.18	26.63	414.43	601.05	26.53	110.18	31.87	0.637
	2500	0.40	82.06	172.52	26.13	406.48	595.44	24.62	95.72	29.05	0.691
SEE	1500	4.70	60.43	211.60	30.38	407.28	642.94	36.10	110.78	37.11	0.468
	1700	2.05	68.17	210.59	29.66	414.34	639.25	31.70	111.11	36.23	0.520
	1900	0.90	73.66	203.62	28.94	416.49	633.06	28.98	111.28	34.71	0.565
	2100	0.32	76.14	190.41	28.23	409.69	611.04	29.17	111.42	32.80	0.594
	2300	0.19	77.61	177.23	27.53	407.74	595.97	27.88	109.48	32.24	0.630
	2500	0.36	79.52	167.05	27.03	399.18	588.43	26.10	94.27	30.02	0.688
SME	1500	2.59	60.62	212.27	28.59	406.10	635.35	33.10	109.98	36.32	0.474
	1700	1.13	68.05	210.23	28.23	412.38	625.12	30.39	110.41	34.34	0.516
	1900	0.64	73.44	203.00	27.80	415.08	620.24	29.18	111.14	34.50	0.573
	2100	0.17	76.32	190.88	27.34	409.33	594.79	28.39	111.62	35.17	0.606
	2300	0.08	77.59	177.17	26.88	406.01	588.38	26.66	110.53	34.33	0.632
	2500	0.27	79.75	167.54	26.51	395.53	597.67	25.35	97.75	31.40	0.692
TEE	1500	3.87	59.62	208.74	30.73	405.90	621.14	34.84	110.10	34.46	0.460
	1700	1.88	67.41	208.26	30.40	412.71	627.58	31.57	110.47	33.53	0.517
	1900	1.19	72.53	200.50	29.95	416.26	625.88	30.09	111.01	33.59	0.555
	2100	0.56	75.45	188.71	29.43	411.63	593.58	29.63	111.37	33.53	0.588
	2300	0.35	76.99	175.81	28.94	409.04	592.62	28.06	109.88	33.85	0.621
	2500	0.48	78.07	164.02	28.56	395.79	582.05	26.75	96.32	31.78	0.667
TME	1500	2.90	59.30	207.62	30.76	408.43	630.16	34.31	110.88	39.12	0.465
	1700	1.48	66.78	206.32	30.24	414.94	623.34	31.89	111.06	37.04	0.513
	1900	0.86	71.96	198.91	29.62	416.90	620.17	30.99	111.52	36.31	0.563
	2100	0.40	75.01	187.61	28.87	413.24	603.27	30.65	111.84	35.04	0.594
	2300	0.23	76.42	174.50	28.09	410.08	594.96	28.54	110.45	33.90	0.626
	2500	0.32	77.95	163.76	27.41	401.43	584.82	26.49	97.27	31.70	0.679

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายทวีศักดิ์ พนาสถิตย์ เกิดเมื่อวันที่ 9 กรกฎาคม พ.ศ.2523 ที่จังหวัดชุมพร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2548 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2551 โดยในปี พ.ศ. 2548 ได้เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรเครื่องกล บริษัทจีโอเซม (ไทยแลนด์) จำกัด และปี พ.ศ. 2549 ได้เข้าทำงานในตำแหน่ง แคดแคมเอ็นจิเนียร์ บริษัท กราฟฟิกโปรดักษ์เอเซีย จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้