สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การใช้น้ำมันพืชมาเป็นส่วนผสมของเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล

Using of blending vegetable oil with fuel for diesel engine

T045993

โดย

นายณพงศ์ สุทพิสิทธิ์

นายพิสุทธ์ เลิศสงคราม

นายรณรงค์ ปรมาธิกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 45993

วัน, เดือน, ปี 27 ก.พ. 2546

.b.....

.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การใช้น้ำมันพืชมาเป็นส่วนผสมของเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล

Using of blending vegetable oil with fuel for diesel engine

ผู้จัดทำ

1. นาย ณพงศ์ สุทพิสิทธิ์ รหัสประจำตัว 41014604
2. นาย พิสุทธ์ เลิศสงคราม รหัสประจำตัว 41014698
3. นาย รณรงค์ ปรมาธิกุล รหัสประจำตัว 41014723

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้น้ำมันพืชมาเป็นส่วนผสมของเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล

นาย ณพงศ์ สุทพิสิทธิ์ 41014604
นาย พิสุทธ์ เลิศสงคราม 41014698
นาย รณรงค์ ปรมาธิกุล 41014723
ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ปรึกษา
ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการใช้พลังงานต่างๆมีมากขึ้น และมีแนวโน้มสูงมาก พลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันกำลังจะหมดไปและอาจจะไม่เพียงพอต่อความต้องการในอนาคต การหาพลังงานทดแทนจึงเป็นสิ่งจำเป็น

น้ำมันพืชก็เป็นแหล่งพลังงานอีกแหล่งที่สามารถนำมาทดแทนน้ำมันปริโตรเลียม ซึ่งจะลดลงเรื่อยๆ อีกทั้งน้ำมันพืชต่างจากน้ำมันปริโตรเลียมตรงที่ น้ำมันพืชสามารถปลูกทดแทนใหม่ได้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอการใช้น้ำมันพืชมาผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล โดยน้ำมันที่ใช้จะมี น้ำมันพืชผสมกับดีเซลที่ขายตามท้องตลาด และ เอสเตอร์ของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ โดยจะนำน้ำมันมาทำการทดสอบวัดก๊าซไอเสีย ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง กำลังของเครื่องยนต์ แล้วเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของน้ำมันแต่ละชนิด และทำการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้สามารถใช้กับเชื้อเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การเปลี่ยนหัวฉีด การปรับองศาการจุดระเบิด อุปกรณ์อุ่นน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Using of blending vegetable oil with fuel for diesel engine

Napong Sutpisit

Pisut Lertsongkram

Ronarong Paramatikul

Dr.Chinda Charoenphonphanich Advisor

ABSTRACT

In this modern age of industrial world, energy is consumed in great signification. The foregoing tends to increase without limits, adequate energy for the future need could be occurred and support must be taken in consideration. Vegetable oil is another choice which is replace Petroleum oil. The purpose of this senior project is to present feasibility use of the blending fuel oil which is composed of diesel fuel oil, vegetable oil and its ester. To attain the effective result, it's necessary to compare an advantage and disadvantage for each of blending oil by Emission gas Testing, fuel expense and Engine Power. Modifing engine should also be done.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำทั้งทางด้านทฤษฎีและการแก้ปัญหา และขอขอบคุณพี่ๆ ปริญญาโทที่ให้คำปรึกษาและช่วยจัดหาอุปกรณ์ที่จำเป็นในการทำงานให้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน

โดยรวมแล้ววิทยานิพนธ์ฉบับนี้อาจจะไม่ค่อยสมบูรณ์นัก แต่ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะให้ประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจไม่มากก็น้อย

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญภาพ VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3

1.4 วิธีการดำเนินงาน 3

บทที่ 2 ทฤษฎี 4

2.1 เครื่องยนต์ดีเซล 4

2.1.1 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 5

2.1.2 ไดอะแกรม จังหวะการทำงานของลิ้น(Valve Timing Diagram) 6

2.1.3 ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก 6

2.2 น้ำมันดีเซล 8

2.2.1 คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล 8

2.2.2 ค่าซีเทนของน้ำมันดีเซล 9

2.2.3 ชนิดของน้ำมันดีเซล 9

2.3 น้ำมันดีเซลผสม 10

2.4 น้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการเอสเตอริฟิเคชั่น 10

2.5 ระบบการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก 11

2.5.1 หม้อกรองน้ำมันเชื้อเพลิง 11

2.5.2 ปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 12

2.5.3 การทำงานของปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 12

2.5.4 การควบคุมปริมาณการฉีดน้ำมันด้วยร่องบาก 13

2.5.5 การปรับเวลาในการเริ่มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง(ปรับองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง) 15

2.5.6 อุปกรณ์ควบคุมความเร็ว(Governor) 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	2.5.7 ห้องเผาไหม้แบบพรีคอมบัสชั่น(Pre-combustion Chamber)	17
บทที่	3 การออกแบบและอุปกรณ์	18
	3.1.1 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง	18
	3.1.2 อุปกรณ์อุ่นน้ำมัน(Oil Heater)	18
	3.1.3 ปรับองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	19
	3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	20
	3.2.1 เครื่องยนต์ดีเซล	20
	3.2.2 เครื่องวัดไอเสีย (Visitor01-L/LR)	21
	3.2.3 น้ำมันที่ใช้ในการทดสอบ	21
	3.2.4 ไดนาโมมิเตอร์แบบ Eddy Current	21
	3.2.5 แผ่น Gasket รองปั๊ม	22
	3.2.6 อุปกรณ์อุ่นน้ำมัน (Heater)	22
บทที่	4 การทดสอบและผลการทดลอง	23
	4.1 ขั้นตอนการทดสอบ	23
	4.2 ผลการทดสอบ	24
	4.2.1 ผลการทดสอบกับเครื่องที่ไม่ใส่ Load	24
	4.2.2 การทดสอบเปรียบเทียบน้ำมันดีเซลกับน้ำมันผสม	26
	4.2.3 การทดสอบเปรียบเทียบน้ำมันดีเซลกับเมทิลเอสเตอร์ของปาล์มเสตอรีน	29
	4.2.4 การทดสอบเปรียบเทียบการปรับแต่งเครื่องยนต์ที่เกิดกับน้ำมันแต่ละชนิด	32
บทที่	5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	43
	5.1 การทดลองเมื่อเครื่องยนต์มี ไม่มีภาระ	43
	5.2 การทดลองเมื่อเครื่องยนต์มีภาระด้วย	44
	5.2.1 วิเคราะห์ภาวะของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ	44
	5.2.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง	46
	5.2.2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงระหว่างน้ำมันดีเซลธรรมดาและน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันพืช	46
	5.2.2.2 เปรียบเทียบเชื้อเพลิงระหว่างน้ำมันดีเซลธรรมดาและน้ำมันเมทิลเอสเตอร์	47
	5.2.3 วิเคราะห์ผลของการปรับแต่งเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันพืชแต่ละชนิดเป็นเชื้อเพลิง	48
	5.2.3.1 ดีเซลธรรมดา	48
	5.2.3.2 ดีเซลปาล์มจาก ปตท.	49
	5.2.3.3 ดีเซลมะพร้าวจากอำเภอบางคนที	50
	5.2.3.4 ดีเซลมะพร้าวจากจังหวัดชุมพร	51
บทที่	6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1 สรุปผลการทดลอง 53
6.2 ข้อเสนอแนะ 53
บทที่ 7 ภาคผนวก 55
7.1 วัฏจักรดีเซล 43
7.2 การควบคุมจังหวะเปิด-ปิดวาล์วไอดี 44
7.3 การออกแบบลูกเบี้ยว 44
7.4 การปรับองศาการฉีดน้ำมัน 46
7.5 การควบคุมมลพิษ 59
7.5.1 ระบบไอเสีย 59
7.5.2 การเหลื่อมกันของการเปิด-ปิดวาล์ว 59
7.6 การคำนวณ 59
7.7 สมการการสันดาป 60

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้าที่

บทที่ 2 ทฤษฎี 4
ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล 9
ตารางที่ 2-2 แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงผสมแต่ละสูตร 10
ตารางที่ 2-3 คุณสมบัติบางประการของ Ester (จาก เอทานอล) 11
บทที่ 3 การออกแบบและอุปกรณ์ 18
ตารางที่ 3-1 ข้อมูลของเครื่องยนต์ 20
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดลอง 23
ตารางที่ 4-1 ผลการทดสอบก๊าซไอเสียของน้ำมันแต่ละชนิด 24

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้าที่

บทที่ 2 ทฤษฎี 4

รูปที่ 2-1 เครื่องยนต์ดีเซล 4

รูปที่ 2-2 แสดงการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ 5

รูปที่ 2-3 ไดอะแกรม จังหวะการทำงานของลิ้นสำหรับเครื่องยนต์ 4 จังหวะ 6

รูปที่ 2-4 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะแบบสูบนอน 6

รูปที่ 2-5 ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก 7

รูปที่ 2-6 ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชั่น 10

รูปที่ 2-7 หม้อกรองน้ำมันเชื้อเพลิง 11

รูปที่ 2-8 หลักการของปั๊มชนิดอัดกระแทก 12

รูปที่ 2-9 ปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบประจำสูบ 13

รูปที่ 2-10 การควบคุมปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงด้วยร่องบาก 14

รูปที่ 2-11 แสดงตำแหน่งในการทำงานของลูกปั๊ม 15

รูปที่ 2-12 แสดงการปรับเวลาในการเริ่มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 15

รูปที่ 2-13 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กชนิดใช้แรงเหวี่ยง 16

รูปที่ 2-14 ห้องเผาไหม้แบบพรีคอมบัสชั่น 17

บทที่ 3 การออกแบบและอุปกรณ์ 18

- การออกแบบ

รูปที่ 3-1 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล 18

รูปที่ 3-2 Oil Heater 19

- อุปกรณ์

รูปที่ 3-4 เครื่องยนต์ดีเซล Yanmar 20

รูปที่ 3-5 เครื่องวัดไอเสีย 21

รูปที่ 3-6 ไดนาโมมิเตอร์ 21

รูปที่ 3-7 แผ่น Gasket รองปั๊ม 22

รูปที่ 3-8 Heater 22

บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดลอง 23

- การทดสอบกับเครื่องที่ไม่ได้ใส่ Load

รูปที่ 4-1 อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่างๆ 24

รูปที่ 4-2 อุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 25

รูปที่ 4-3 ปริมาณก๊าซ O2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 25

รูปที่ 4-4 ปริมาณก๊าซ CO2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4-5 ปริมาณก๊าซ CO ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 26
- การทดสอบเปรียบเทียบน้ำมันดีเซลกับน้ำมันผสม
รูปที่ 4-6 อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่างๆ 26
รูปที่ 4-7 แรงบิดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ 27
รูปที่ 4-8 กำลังของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ 27
รูปที่ 4-9 Specific Fuel Consumption ที่ความเร็วรอบต่างๆ 27
รูปที่ 4-10 อุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 28
รูปที่ 4-11 ปริมาณก๊าซ O2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 28
รูปที่ 4-12 ปริมาณก๊าซ CO2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 28
รูปที่ 4-13 ปริมาณก๊าซ CO ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 29
- การทดสอบเปรียบเทียบน้ำมันดีเซลกับเมทิลเอสเตอร์ของปาล์มเสตอรีน
รูปที่ 4-14 อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่างๆ 29
รูปที่ 4-15 แรงบิดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ 29
รูปที่ 4-16 กำลังของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ 30
รูปที่ 4-17 Specific Fuel Consumption ที่ความเร็วรอบต่างๆ 30
รูปที่ 4-18 อุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 30
รูปที่ 4-19 ปริมาณก๊าซ O2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 31
รูปที่ 4-20 ปริมาณก๊าซ CO2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 31
รูปที่ 4-21 ปริมาณก๊าซ CO ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 31
- การทดสอบเปรียบเทียบการปรับแต่งเครื่องยนต์ที่เกิดกับน้ำมันแต่ละชนิด
- น้ำมันดีเซล
รูปที่ 4-22 อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่างๆ 32
รูปที่ 4-23 แรงบิดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ 32
รูปที่ 4-24 กำลังของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ 32
รูปที่ 4-25 Specific Fuel Consumption ที่ความเร็วรอบต่างๆ 33
รูปที่ 4-26 อุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 33
รูปที่ 4-27 ปริมาณก๊าซ O2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 33
รูปที่ 4-28 ปริมาณก๊าซ CO2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 34
รูปที่ 4-29 ปริมาณก๊าซ CO ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 34
- น้ำมันดีเซล-ปาล์ม
รูปที่ 4-30 อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่างๆ 34
รูปที่ 4-31 แรงบิดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ 35
รูปที่ 4-32 กำลังของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ 35
รูปที่ 4-33 Specific Fuel Consumption ที่ความเร็วรอบต่างๆ 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4-34 อุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 36
รูปที่ 4-35 ปริมาณก๊าซ O2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 36
รูปที่ 4-36 ปริมาณก๊าซ CO2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 36
รูปที่ 4-37 ปริมาณก๊าซ CO ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 37
- น้ำมันดีเซล-มะพร้าว(บางคนที)
รูปที่ 4-38 อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่างๆ 37
รูปที่ 4-39 แรงบิดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ 37
รูปที่ 4-40 กำลังของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ 38
รูปที่ 4-41 Specific Fuel Consumption ที่ความเร็วรอบต่างๆ 38
รูปที่ 4-42 อุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 38
รูปที่ 4-43 ปริมาณก๊าซ O2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 39
รูปที่ 4-44 ปริมาณก๊าซ CO2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 39
รูปที่ 4-45 ปริมาณก๊าซ CO ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 39
- น้ำมันดีเซล-มะพร้าว(ชุมพร)
รูปที่ 4-46 อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่างๆ 40
รูปที่ 4-47 แรงบิดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ 40
รูปที่ 4-48 กำลังของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ 40
รูปที่ 4-49 Specific Fuel Consumption ที่ความเร็วรอบต่างๆ 41
รูปที่ 4-50 อุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 41
รูปที่ 4-51 ปริมาณก๊าซ O2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 41
รูปที่ 4-52 ปริมาณก๊าซ CO2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 42
รูปที่ 4-53 ปริมาณก๊าซ CO ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ 42
บทที่ 7 ภาคผนวก 55
รูปที่ 7-1 วัฏจักรดีเซล 55
รูปที่ 7-2 กราฟความดัน-ปริมาตรของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ 57
รูปที่ 7-3 ผลขององศาการปิดวาล์วไอดีหลัง BDC 57
รูปที่ 7-4 เวลาเปิดปิดวาล์ว 58
รูปที่ 7-5 การเปลี่ยนแปลงจังหวะกดด้วยเฟืองไทม์มิ่ง 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลไม่ใช่ของใหม่ มีการใช้มาตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 แต่เนื่องจากน้ำมันจากปิโตรเลียมยังมีราคาถูก และหาได้ง่าย ทำให้ไม่มีผู้ใดให้ความสนใจใช้น้ำมันพืชแทนน้ำมันดีเซล หลังจากวิกฤตน้ำมันของโลกในปี ค.ศ. 1971 หรือ พ.ศ. 2514 เป็นต้นมา ได้เริ่มมีความตื่นตัว และพยายามเพื่อหาพลังงานทดแทนมาใช้โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) ที่สามารถหาได้ในท้องถิ่น น้ำมันพืชเป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่งที่ได้รับการสนใจ นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลอีกครั้ง ในต่างประเทศมีการนำน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันทานตะวัน และน้ำมันใช้แล้ว มาใช้ทดลองเดินเครื่องยนต์ดีเซล สำหรับประเทศไทยได้เคยมีงานวิจัยในเรื่องดังกล่าว ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 โดยทดลองใช้น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม รวมถึงเอสเตอร์ของน้ำมันปาล์ม เป็นพลังงานทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อวิกฤตน้ำมันผ่านไป ความสนใในการวิจัยค้นหาและศึกษาความเหมาะสมในการใช้ พลังงานทดแทนจากน้ำมันพืช ลดน้อยลง รวมถึงไม่มีการสนับสนุนงบประมาณการวิจัยในด้านนี้อย่างต่อเนื่อง ทำให้ข้อมูลการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลของประเทศมีจำกัด จนถึงเมื่อวิกฤตน้ำมันแพงอีกครั้ง เมื่อต้นปี พ.ศ. 2544 ข้อมูลที่มีไม่เพียงพอที่จะ ให้คำตอบถึงผลกระทบที่มีต่อเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในระยะยาว ผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมรวมถึงข้อมูลความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 ประเทศไทยมีงานวิจัยในเรื่องการ ใช้น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม รวมถึงเอสเตอร์ของน้ำมันปาล์ม เป็นพลังงานทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซล งานวิจัยการใช้น้ำมันถั่วลิสงแทนน้ำมันดีเซล ทำการทดลองโดยมีแนวคิดที่ต้องการทดลองกับน้ำมันพืชชนิดที่สามารถบีบแยกน้ำมันออกจากเมล็ดพืชได้ง่ายโดยใช้แรงคน ซึ่งทำให้พึ่งพาตนเองได้ หากมีวิกฤตขาดแคลนน้ำมันขึ้น สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) รายงานการวิจัยโดยใช้น้ำมันถั่วลิสงเป็นเชื้อ-เพลิงเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ยันมาร์ ขนาด 7 แรงม้า โดยไม่มีการดัดแปลงเครื่องยนต์แต่ประการใด ผลการทดลองพบว่า น้ำมันถั่วลิสงทั้งชนิดดิบและรีไฟน์ มีความหนืดสูง การติดเครื่องยนต์เป็นไปได้ยาก มีปัญหาในการเดินเครื่องที่รอบต่ำๆ เครื่องเดินสะดุด การสันดาปเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ และไม่ต่อเนื่อง ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ระยะสั้น พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันถั่วลิสงทั้งชนิดดิบและรีไฟน์เป็นเชื้อเพลิง ให้กำลังใกล้เคียงกับที่ใช้น้ำมันดีเซล หลังการทดสอบเดินเครื่องยนต์แล้ว ได้ตรวจสภาพชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันถั่วลิสงมีเขม่าจับที่ลูกสูบและวาล์วมากกว่าที่ใช้น้ำมันดีเซล และมีตะกรันขาวตกอยู่ในถังน้ำมันบรรจุเชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะมีผลต่อลูกสูบ และหัวฉีด หากหลุดติดไปกับน้ำมันเชื้อเพลิง

นอกจากนั้นแล้ว วท. ได้ทดลองนำ Fatty Acid Methyl Ester จากน้ำมันปาล์ม หรือที่เรียกสั้น ๆ ว่า เอสเตอร์ของน้ำมันปาล์ม มาเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลด้วย *Fatty Acid Methyl Ester* ที่นำมาทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้ได้วิจัยผลิตขึ้นในห้องปฏิบัติการ โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบทำปฏิกิริยากับเมททานอล มีกรดเป็นคะตะลิสต์ เอสเตอร์ของน้ำมันปาล์มที่ได้ มีค่าความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีค่า Cetane สูงกว่าน้ำมันดีเซล ในการทดลองกับเครื่องยนต์ พบว่าเครื่องยนต์ให้กำลังเทียบเท่ากับการใช้น้ำมันดีเซลทุกประการ อย่างไรก็ตามไม่มีรายงานการทดลอง และผลที่มีต่อเครื่องยนต์เมื่อใช้ในระยะยาว

แนวทางในการใช้น้ำมันพืชทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซล มี 2 แนวทาง ดังนี้

1.ดัดแปลงน้ำมันพืช

เนื่องจากน้ำมันพืชมีคุณสมบัติแตกต่างจากน้ำมันดีเซลมาก ทำให้ไม่เหมาะกับการใช้ในเครื่องยนต์ธรรมดาที่ไม่มีการดัดแปลงเครื่องยนต์เลย จำเป็นต้องดัดแปลงน้ำมันพืชโดยการลดความหนืด และเพิ่มการระเหยตัวเป็นไอของน้ำมันพืชให้ใกล้เคียงกับมาตรฐานน้ำมันดีเซล ทั้งนี้เพื่อให้สะดวกต่อการป้อนเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้ และให้เกิดการสันดาปได้อย่างสมบูรณ์และต่อเนื่อง ในแนวทางนี้ทำได้ 2 ทาง คือ

*ใช้น้ำมันดีเซล หรือน้ำมันก๊าดเป็นตัวทำละลายผสมกับน้ำมันพืชโดยตรง เพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชลง โดยผสมในสัดส่วนที่เหมาะสมและ ไม่เกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์ในระยะยาว อย่างไรก็ตามสัดส่วนน้ำมันพืชที่ผสมในน้ำมันดีเซลและชนิดของน้ำมันพืชที่ใช้ ขึ้นกับคุณสมบัติของน้ำมันพืชชนิดนั้นๆ และภูมิอากาศของแหล่งที่ใช้ด้วย เนื่องจากน้ำมันพืชมีคุณสมบัติไม่อยู่ตัวเมื่ออุณหภูมิต่ำลงความหนืดจะสูงขึ้นตามลำดับ นอกจากนั้นแล้ว ในน้ำมันพืชบางชนิดจะเกิดเป็นไขที่อุณหภูมิต่ำด้วย ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นการใช้น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซลและน้ำมันก๊าดเพื่อใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลที่ไม่มีการดัดแปลงเครื่องยนต์ จึงต้องเลือกชนิดน้ำมันพืช ชนิดของตัวทำละลาย สัดส่วนผสมที่เหมาะสมกับพื้นที่และฤดูกาลที่ใช้ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการ ใช้และ ไม่เกิดความยุ่งยากต่างๆตามมา เช่นการเกิดไขในท่อส่งน้ำมันทำให้เกิดการอุดตัน เป็นต้น

*นำน้ำมันพืชมาสังเคราะห์เป็น เมทธิลหรือเอทธิลเอสเตอร์ หรือที่เรียกว่า *ไบโอดีเซล* ด้วยจุดประสงค์เดียวกันคือ ลดความหนืดของน้ำมันพืชและให้น้ำมันพืชมีความคงตัวมากขึ้น ในการผลิต *ไบโอดีเซล* เป็นเชื้อเพลิงจำหน่ายในต่างประเทศเชื้อเพลิงนี้มีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและมีความคงตัว ความหนืดเปลี่ยนแปลงได้น้อยมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน จุดวาบไฟของ *ไบโอดีเซล*มีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีความปลอดภัยในการใช้และการขนส่ง นอกจากนั้นแล้ว ค่าซีเทนที่เป็นดัชนีบอกถึงคุณภาพการติดไฟของ *ไบโอดีเซล*ยังมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลอีกด้วย

2. ดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซล

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ถึงข้อจำกัดของน้ำมันพืชที่ใช้โดยตรงในเครื่องยนต์ดีเซลธรรมดา ที่มีปัญหาความยุ่งยากเมื่อใช้งานแต่การที่น้ำมันพืชมีค่าความร้อนประมาณ 83-85% ของน้ำมันดีเซล ทำให้สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ดี เนื่องจากต้องการลดปัญหาที่ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดด้านคุณสมบัติของน้ำมันพืชและหากต้องดัดแปลงน้ำมันพืชให้เหมาะสมกับเครื่องยนต์ธรรมดาก็ต้องผ่านกระบวนการและต้องมีการลงทุนเพิ่มในการออกแบบ ได้เน้นดัดแปลงในส่วนของลูกสูบ ระบบหัวฉีดและห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ให้ใช้พลังงานความร้อนจากน้ำมันพืชเพื่อเปลี่ยนเป็นแรงบิดได้อย่างคุ้มค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาน้ำมันพืชมาใช้เป็นส่วนผสมของน้ำมันดีเซล รวมไปถึงการใช้น้ำมันเอสเตอร์เพื่อใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซล

1.2.2 ศึกษาการปรับแต่งเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อให้สามารถที่จะใช้กับน้ำมันผสมได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อนำน้ำมันพืชมาผสมกับน้ำมันดีเซล และตลอดจนการใช้น้ำมันเอสเตอร์เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล

นอกจากนั้นได้ทำการปรับแต่งเครื่องยนต์เพิ่มเติมขึ้น คือ ตั้งองศาการฉีดน้ำมันล่วงหน้าและติดตั้งชุดอุ่นน้ำมัน เพื่อให้สามารถใช้กับน้ำมันผสมชนิดใหม่ได้อย่างเกิดประสิทธิภาพ

1.4 วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยในโครงการนี้จะเริ่มต้นด้วยการศึกษาการใช้น้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลยันมาร์ 4 จังหวะ 1 กระบอกสูบ โดยทำการทดสอบค่าหลักๆของเครื่องยนต์ คือ แรงบิดของเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองของน้ำมัน และปริมาณก๊าซไอเสีย จากนั้นก็จะทำการทดสอบน้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซลและน้ำมันเอสเตอร์เพื่อทำการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียกับน้ำมันดีเซล

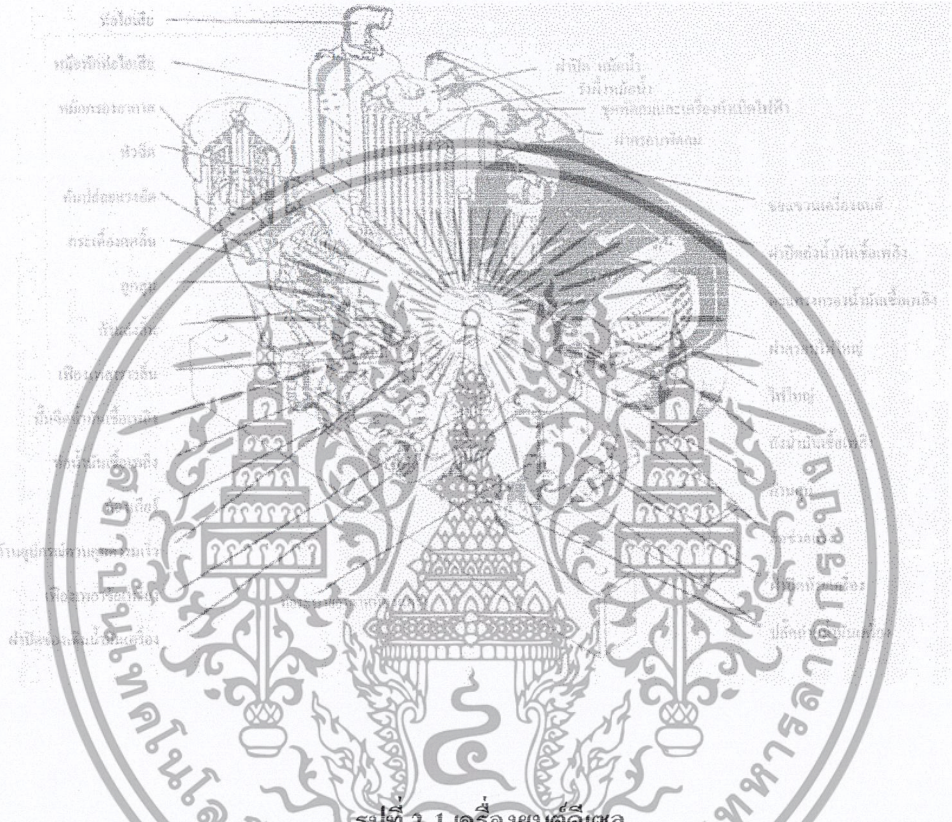
จากนั้นก็จะเริ่มเข้าสู่ขั้นตอนของการปรับแต่งเครื่องยนต์ โดยจะทำการปรับองศาการฉีดน้ำมันให้มีการฉีดล่วงหน้าก่อนศูนย์ตายบน และรวมไปถึงการติดตั้งชุดอุ่นน้ำมันก่อนเข้าหัวฉีดน้ำมัน แล้วทำการทดสอบน้ำมันทุกชนิด

ขั้นตอนสุดท้ายก็จะเป็นการสรุปการทำงาน ผลที่ได้รับจากงานวิจัยนี้และแนวทางในการพัฒนางานวิจัยเพิ่มเติมในการนำไปประยุกต์ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 เครื่องยนต์ดีเซล

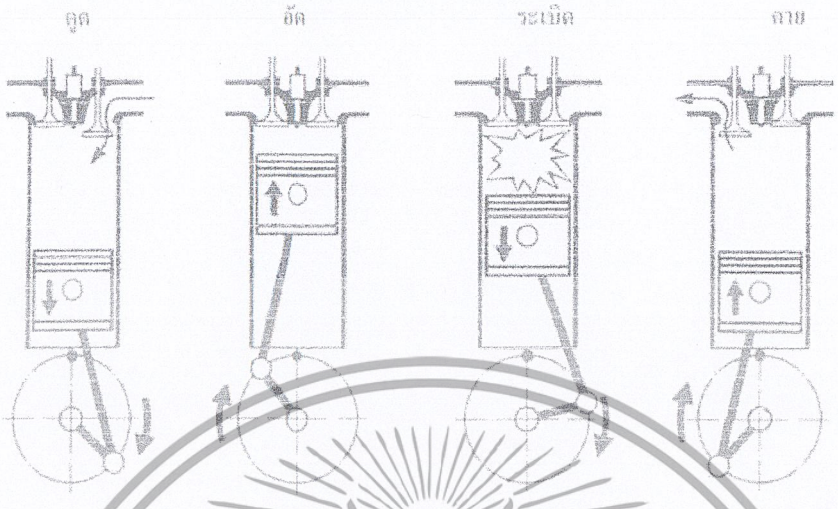


รูปที่ 2-1 เครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซลดังรูปที่ 2-1 อากาศแต่เพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่ถูกดูดเข้าไปบรรจุอยู่ภายในกระบอกสูบในจังหวะดูด และถูกอัดตัวในจังหวะอัดที่ตอนปลายของจังหวะอัดน้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้และเนื่องจากอัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์ชนิดนี้สูงมากโดยในตอนปลายของจังหวะอัดมีความดันสูงถึงประมาณ 400-700 ปอนด์ต่อตร.นิ้ว(2758-4826 กิโลปาสกาล)ความร้อนจากการอัดตัวจุดนี้ประมาณ 1000 องศาฟาเรนไฮต์ (538 องศาเซลเซียส)หรือสูงกว่าซึ่งสูงพอที่จะฉีดเชื้อเพลิงเข้าไป จึงทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นได้ ดังนั้นเครื่องยนต์ชนิดนี้จึงไม่ต้องการระบบไฟจุดระเบิดเหมือนอย่างเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนหรือเครื่องยนต์ก๊าซเหลวแต่ก็จำเป็นต้องมีปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงความดันสูงและหัวฉีดเครื่องยนต์ดีเซลได้ถูกสร้างให้มีขนาดแตกต่างกันออกไปตามความต้องการ โดยจะมีขนาดตั้งแต่ 2-3 กำลังม้า(3725 กิโลวัตต์)เครื่องยนต์ชนิดนี้ได้ถูกนำไปใช้กับวงการต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง เช่นเครื่องสูบน้ำ รถไถเดินตาม รถยนต์นั่งรถบรรทุก รถโดยสารรถแทรกเตอร์ รถไฟ เรือเดินสมุทร เป็นต้นนอกจากนี้ยังถูกนำไปใช้เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้กับงานก่อสร้างต่าง ๆ เครื่องยนต์ที่ใช้กับโรงไฟฟ้า เครื่องยนต์ที่ใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมและอื่น ๆ อีกเป็นจำนวนมาก

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล



รูปที่ 2-2 แสดงการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะดังรูปที่ 2 มีจังหวะในการทำงานดังนี้

จังหวะที่ 1 จังหวะดูด (Intake Stroke)

ลูกสูบจะเคลื่อนที่จากศูนย์ตายบนลงสู่ศูนย์ตายล่างจึงจะหมดจังหวะดูด ขณะนี้อากาศจะถูกดูดเข้ามาบรรจุอยู่เต็มภายในการะบอกสูบ

จังหวะที่ 2 จังหวะอัด (Compression Stroke)

จังหวะนี้จะต่อเนื่องมาจากจังหวะดูด คือ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงถึงศูนย์ตายล่างแล้วจะเริ่มเคลื่อนที่ขึ้นสู่ศูนย์ตายบน ขณะนี้ทั้งลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียจะปิดสนิท อากาศภายในกระบอกสูบจะถูกอัดตัวขึ้นไปเรื่อยๆ ตามการเคลื่อนตัวของลูกสูบจังหวะนี้จะสิ้นสุดลงก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นถึงศูนย์ตายบนเล็กน้อย

จังหวะที่ 3 จังหวะระเบิด (Expansion Stroke)

จังหวะนี้บางทีเรียกว่าจังหวะงาน(Power Stroke) เกิดขึ้นในตอนปลายของจังหวะอัด กล่าวคือ เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีความดันสูงถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้ ปะทะกับอากาศร้อนอันเกิดจากการอัดตัวของอากาศ จึงทำให้เกิดการเผาไหม้และการระเบิดอย่างรุนแรงผลักดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลงเราจะได้งานจากจังหวะนี้

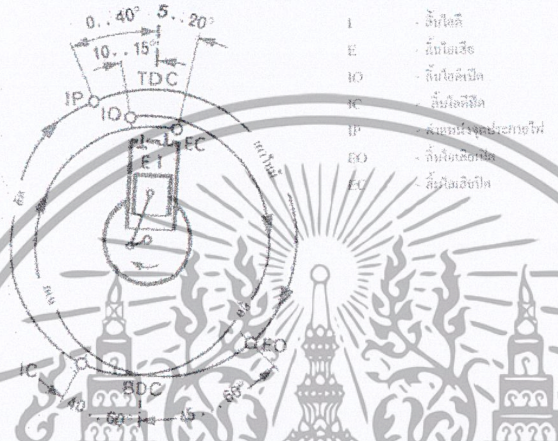
จังหวะที่ 4 จังหวะคาย (Exhaust Stroke)

หลังจากลูกสูบเคลื่อนที่ลงอันเนื่องมาจากแรงระเบิดจนเกือบถึงศูนย์ตายล่างแล้ว ลิ้นไอเสียจะเปิดปล่อยให้ไอเสียกันเกิดจากการเผาไหม้ออกไปจากกระบอกสูบและจะยังคงเปิดอยู่จนกระทั่งลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น ซึ่งการเคลื่อนที่ขึ้นของลูกสูบในจังหวะนี้จะเป็นการช่วยไล่ไอเสียออกอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นจึงเวียนเข้าหาจังหวะดูดอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ไดอะแกรม จังหวะการทำงานของลิ้น(Valve Timing Diagram)

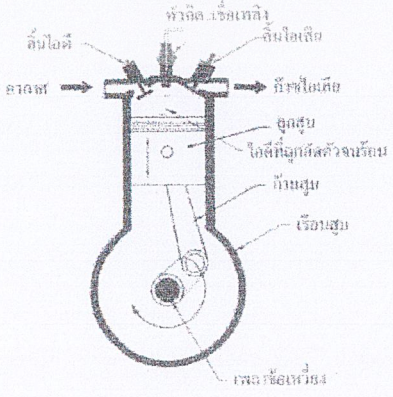
ไดอะแกรม จังหวะการทำงานของลิ้น จะเป็นเครื่องแสดงตำแหน่งหรือองศาในการเปิด- ปิดของลิ้นที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของลูกสูบของเครื่องยนต์ ซึ่งจะแตกต่างกันออกไปตามการออกแบบเครื่องยนต์ซึ่งไม่เหมือนกันแต่อย่างไรก็ตามวัตถุประสงค์หลักที่สำคัญก็คือ ต้องการให้การประจุไอดีเข้ากระบอกสูบ การจัดเวลาในการจุดระเบิดหรือการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง และการขับไล่ไอเสียให้ออกจากกระบอกสูบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้เครื่องยนต์มีสมรรถนะในการทำงานสูงสุดตามต้องการ ไดอะแกรมการทำงานของลิ้นสำหรับเครื่องยนต์ 4 จังหวะได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 ไดอะแกรม จังหวะการทำงานของลิ้นสำหรับเครื่องยนต์ 4 จังหวะ

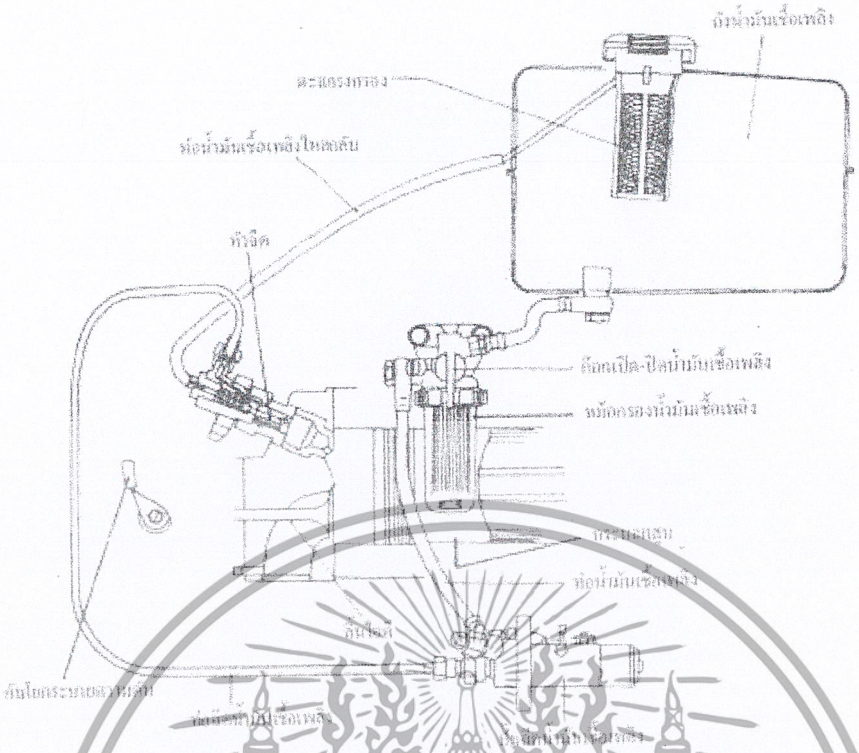
จากการศึกษาไดอะแกรมจังหวะการทำงานของลิ้นในทางปฏิบัติจะมีความแตกต่างไปจากทางทฤษฎีมาก โดยทั้งลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียจะเปิดก่อนและปิดหลังตำแหน่งการเปิด-ปิดของลิ้นทางทฤษฎี ทั้งนี้เนื่องมาจากเหตุผลหลายประการ เช่นความล่าช้าในการเคลื่อนตัวของลิ้นและกลไกประกอบลิ้น รูปร่างของลูกเบี้ยว ความเร็วของเครื่องยนต์ ความเฉื่อยของก๊าซไอดี เป็นต้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องจัดจังหวะการทำงานของลิ้นในทางปฏิบัติให้แตกต่างกันออกไปเพื่อช่วยแก้หรือบรรเทาปัญหาดังกล่าวมาแล้วข้างต้น

2.1.3 ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก



รูปที่ 2-4 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะแบบสูบนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-5 ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก

ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซล ดังรูปที่ 2-5 จะทำหน้าที่ดังต่อ ไปนี้

1. จัดส่งน้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณที่ถูกต้องตามความเร็วรอบ และภาระของเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนแปลงไป
2. จัดส่งน้ำมันเชื้อเพลิงในเวลาที่เหมาะสม
3. จัดส่งน้ำมันเชื้อเพลิงในอัตราที่เหมาะสม
4. กระจายน้ำมันเชื้อเพลิงให้เป็นฝอยละเอียด และจัดส่งน้ำมันเชื้อเพลิงให้เหมาะกับแบบของห้องเผาไหม้
5. กระจายน้ำมันเชื้อเพลิงให้สม่ำเสมอทั่วกระบอกสูบ

ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงจะต้องจัดส่งน้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณอันถูกต้องให้แต่ละสูบของเครื่องยนต์ในกรณีเครื่องยนต์หลายสูบ น้ำมันเชื้อเพลิงจะต้องฉีดเข้าไปในกระบอกสูบในเวลาที่เหมาะสม ทั้งนี้เนื่องจากการจัดส่งน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนหรือหลังเวลาดังกล่าวจะทำให้เกิดการสูญเสียกำลังงานอันเนื่องมาจากเกิดการเผาไหม้ในเวลาที่ไม่ต้องการ อัตราความเร็วในการฉีดก็จะมีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์ด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเร็วสูง ๆ อัตราความเร็วในการฉีดที่เหมาะสมนี้สามารถช่วยให้เครื่องยนต์เดินได้เรียบนอกจากนั้นการแตกตัวเป็นฝอยละเอียดของน้ำมันเชื้อเพลิงและรูปแบบของการฉีด จะทำให้เกิดการคลุกเคล้ากันอย่างทั่วถึงระหว่างฝอยน้ำมันกับอากาศอัด ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ การกระจายตัว สม่ำเสมอทั่วกระบอกสูบก็เช่นกัน จะทำให้ละอองน้ำมันมีโอกาสเข้าไปรวมตัวกับออกซิเจน ส่งผลให้เผาไหม้อย่างสม่ำเสมอและสมบูรณ์ เครื่องยนต์ก็จะเดินเรียบและให้กำลังงานสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 น้ำมันดีเซล

น้ำมันดีเซล เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมด้วยเช่นเดียวกันกับน้ำมันเบนซิน แต่จะมีช่วงจุดเดือดและความข้นใสสูงกว่าน้ำมันเบนซิน และเนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลต้องใช้ความร้อนจากการอัดตัวของอากาศเป็นตัวจุดน้ำมันเชื้อเพลิงในการลุกไหม้ ดังนั้นน้ำมันดีเซลที่เหมาะสมจึงต้องเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพดี จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพให้เหมาะสมกับการใช้งาน สารดังกล่าวได้แก่ สารต้านการรวมตัวกับอากาศ (anti-oxidant)สารลดปฏิกิริยาเร่งระหว่างผิวโลหะกับน้ำมันเชื้อเพลิง(metal deactivator) สารป้องกันการกัดกร่อน (corrosion inhibitor) สารเพิ่มค่าซีเทน (cetane additive) หรือสารกระจายสิ่งสกปรก (dispesant) เป็นต้น

2.2.1 คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล

คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล ก็คือคุณสมบัติในการติดไฟ(igniton quality) ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวที่สำคัญได้แก่ความล่าช้าในการจุดติดไฟ(ignition delay) เพราะน้ำมันที่ฉีดเข้าห้องเผาไหม้จะต้องใช้เวลาในการระเหยตัวและผสมกับอากาศอัดตัวภายในห้องเผาไหม้ก่อนที่จะเกิดการลุกไหม้ ดังนั้นถ้าความล่าช้าในการจุดระเบิดมีมาก น้ำมันที่สะสมอยู่ในห้องเผาไหม้ก็จะมีปริมาณมากทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นรุนแรงกว่าปกติหรือที่เรียกว่าการน็อกนั่นเอง มีผลทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลง คุณสมบัติในการจุดติดไฟที่เหมาะสมเท่านั้นจึงจะทำให้เครื่องยนต์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นคุณสมบัติที่ว่านี้ยังจะช่วยให้เครื่องยนต์สามารถสตาร์ทติดเครื่องได้ง่าย แม้ในอุณหภูมิต่ำ ระยะเวลาที่ใช้ในการอุ่นเครื่องก็สั้นลงด้วยโดยที่เครื่องยนต์ไม่ติด ๆ ดับ ๆ หรือก๊าซไอเสียมีสีขาว นอกจากนั้นยังสามารถป้องกันการน็อกและช่วยให้การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์เป็นไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งค่าซีเทนของน้ำมันดีเซลจะเป็นค่าที่ใช้วัดคุณสมบัติในการจุดติดไฟของน้ำมัน

เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลใช้ความร้อนจากการอัดตัวของอากาศเป็นตัวจุดน้ำมันเชื้อเพลิงให้เกิดการลุกไหม้ ดังนั้นน้ำมันดีเซลที่ดีก็จะต้องมีการกระจายตัวที่ดี เพื่อให้เกิดการคลุกเคล้ากับอากาศอัดภายในห้องเผาไหม้ได้อย่างทั่วถึง อันจะเป็นผลทำให้การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ดังกล่าวเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

การระเหยตัวของน้ำมันดีเซลก็เช่นกันจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลด้วย เพราะอัตราการระเหยตัวจะมีผลต่อขนาดของฝอยละอองของน้ำมันดีเซลที่ฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์น้ำมันดีเซลที่ระเหยช้าเกินไป ฝอยละอองจะมีขนาดใหญ่และพุ่งตัวไปได้ไกล การคลุกเคล้ากับอากาศอัดที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ก็ไม่ดี ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องยนต์ก็ลดลง นอกจากนั้นถ้าเป็นเครื่องยนต์ขนาดเล็ก น้ำมันอาจจะพุ่งไปกระทบกับผนังกระบอกสูบและชะล้างฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นลงสู่อ่างน้ำมันเครื่องทำให้น้ำมันเครื่องเจือจาง สูญเสียคุณสมบัติในการหล่อลื่น ทำให้เครื่องยนต์สึกหรอเร็วกว่าปกติ ในทำนองเดียวกันน้ำมันดีเซลที่ระเหยตัวเร็วเกินไป ฝอยละอองแม้จะมีความละเอียดดีแต่พุ่งตัวไปได้ไม่ไกลก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องยนต์ลดต่ำลงได้เช่นกัน นอกจากนั้นยังอาจทำให้เกิดการรั่วขึ้นภายในตัวปั๊มและหัวฉีด ซึ่งจะมีผลทำให้น้ำมันที่ฉีดออกไปมีปริมาณลดลง ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดต่ำลงเช่นกัน นอกจากนั้นยังจะทำให้ปั๊มและหัวฉีดเกิดการสึกหรอสูงขึ้นอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากคุณสมบัติที่สำคัญดังกล่าวข้างต้นแล้วก็ยังมีคุณสมบัติอื่น ๆ ที่ช่วยให้น้ำมันดีเซลมีคุณภาพดีขึ้น คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซลได้ถูกแสดงดังตารางที่ 2-1

คุณสมบัติของน้ำมัน	ดีเซล
ความหนาแน่น,กก.ต่อลิตร	0.82 ถึง 0.86
จุดหลอมละลาย,องศาเซลเซียส	-10 ถึง -30
จุดเดือด,องศาเซลเซียส	150 ถึง 360
ค่าความร้อนการระเหยตัว,กิโลจูลต่อกก.	544 ถึง 795
ค่าความร้อน,กิโลจูลต่อกก.	40,600 ถึง 44,400
จุดการลุกติดไฟเอง,องศาเซลเซียส	350 ถึง 380
ความต้องการอากาศ,กก.อากาศต่อกก.เชื้อเพลิง	14.5
ค่าซีเทน	>45

ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล

2.2.2 ค่าซีเทนของน้ำมันดีเซล

ค่าซีเทนของน้ำมันดีเซล คือตัวเลขที่แสดงค่าที่ใช้วัดคุณภาพของน้ำมันดีเซลด้านคุณสมบัติในการจุดติดไฟ ซึ่งค่าที่เหมาะสมจะช่วยให้เครื่องยนต์สตาร์ตติดง่าย ไม่เกิดการน็อกในเครื่องยนต์และจะช่วยให้ประหยัดน้ำมันได้อีกด้วย

ค่าความล่าช้าในการจุดติดไฟของน้ำมันดีเซลมีส่วนสัมพันธ์กับค่าซีเทนมากน้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนยิ่งสูง ความล่าช้าในการจุดติดไฟก็จะยิ่งต่ำปริมาณน้ำมันที่สะสมอยู่ในห้องเผาไหม้ก่อนจุดติดไฟก็จะยิ่งน้อยลง เครื่องยนต์ก็จะมีประสิทธิภาพสูง

2.2.3 ชนิดของน้ำมันดีเซล

น้ำมันดีเซลที่ใช้กัน โดยทั่วไปในประเทศไทยปัจจุบัน จำแนกออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์รอบสูง
2. น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์รอบต่ำ

น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์รอบสูง หรือที่นิยมเรียกกันโดยทั่วไปว่า น้ำมันโซล่า เป็นน้ำมันที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูง อาทิเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้กับรถยนต์ รถบรรทุก เรือขนาดเล็ก เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น น้ำมันจะมีสีเหลืองอ่อน

สำหรับน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์รอบต่ำ หรือที่นิยมเรียกกันโดยทั่วไปว่า น้ำมันขี้โล้ เป็นน้ำมันที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ เช่นเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ที่ใช้ในวงการอุตสาหกรรม และที่ใช้ในเรือขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 น้ำมันดีเซลผสม

น้ำมันชนิดนี้เป็นการผสมกันของน้ำมันดีเซลและน้ำมันพืช และอาจมีส่วนผสมอื่นๆเข้ามาอีกตามแต่สูตรของแต่ละที่ที่ผลิต ส่วนผสมหลักจะเป็นน้ำมันพืชซึ่งนิยมใช้น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันปาล์ม ส่วนผสมรองคือน้ำมันดีเซล

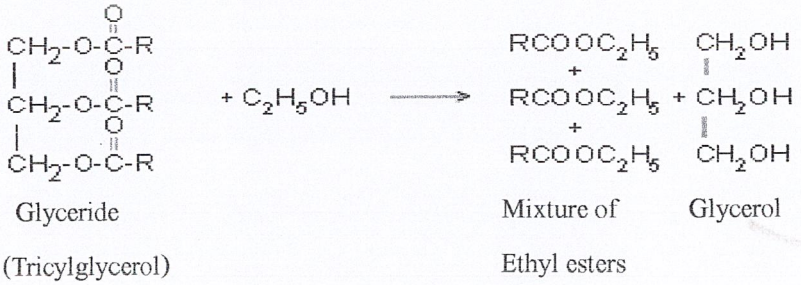
รายละเอียดการทดสอบ	diesel-มะพร้าว ทับสะแก	diesel-ปาล์ม ชุมพร 1*	diesel-ปาล์ม ชุมพร 2*	diesel-มะพร้าว บางคนที	diesel-มะพร้าว เชียงใหม่
ความถ่วงจำเพาะที่ 15.6 c	0.931	0.901	0.911	0.905	0.948
ความหนืดที่ 40 c	22.9	14.6	16.2	16.1	23
จุดไหลเท	21	18	15	15	15
กำมะถัน (%โดยน้ำหนัก)	0.004	0.01	0.007	0.005	0.001
น้ำและตะกอน (%โดยปริมาตร)	น้อยกว่า 0.025	น้อยกว่า 0.025	น้อยกว่า 0.025	0.075	0.075
เถ้า (%โดยน้ำหนัก)	0.001	0.025	0.01	0.02	0.01
จุดวาบไฟ	100	81	88	49	101
ค่าความร้อน (KJ/Kg)	37871	39406	39540	38500	37949

* หมายถึง ครั้งที่ทดสอบ

ตารางที่ 2-2 แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงผสมแต่ละสูตร

2.4 น้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการเอสเตอริฟิเคชั่น

เรียกว่า เอธิลเอสเทอร์ หรือเมทิลเอสเตอร์ เชื้อเพลิงชนิดนี้ คือน้ำมันพืชธรรมดาหรือใช้แล้ว เอาไปทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชั่น เพื่อขจัดกรีเซอรอลออกไป จะได้เป็น เอธิลเอสเตอร์ หรือ เมธิลเอสเตอร์ ตามแต่แอลกอฮอล์ที่มาทำปฏิกิริยาด้วยดังรูปที่ 1



รูปที่ 2-6 ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของ เอสเตอร์ คือขนาดโมเลกุลเล็กลงเหลือ 1 ใน 3 ของน้ำมันพืชเป็นผลให้ความหนืดของน้ำมันลดลงอย่างมาก และใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลเกือบทุกอุณหภูมิ การฉีดเป็นละอองเข้าสู่ห้องเผาไหม้จะทำได้ดีกว่าน้ำมันพืช ค่าซีเทน และ Heating Value จะสูงกว่าน้ำมันพืชชนิดนั้นๆเล็กน้อย นอกจากนี้ Biodiesel ที่ได้จากการสับเปลี่ยนแอลกอฮอล์กับกรีเซอรอลนั้น จะขจัดสิ่งปนเปื้อนที่ติดปนมากับน้ำมันได้หลายส่วนจากรูปที่ 1. ตัว R คือไฮโดรคาร์บอน(C_XH_Y) ซึ่งค่า x และ y จะแตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดของน้ำมันพืช และจะมีผลต่อความหนืด และค่าซีเทน(cetane number) และค่า x และ y ของน้ำมันพืชชนิดเดียวกัน แต่มาจากที่มาต่างกันก็จะมีค่า x และ y ไม่เหมือนกันด้วย ดังนั้นต้องดูว่ามาจากที่ใด

Specific gravity	0.88
Vicosity @ 20 c	7.5
Cetane index	49
Net heating valuc	33300

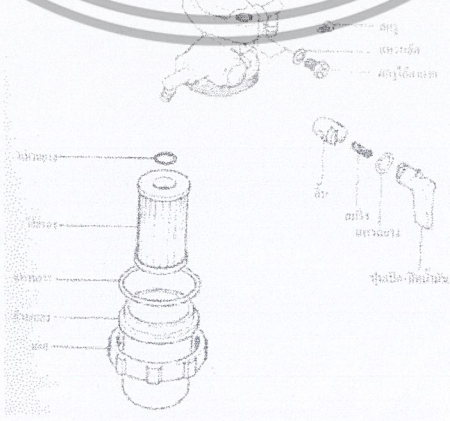
ตารางที่ 2-3 คุณสมบัติบางประการของ Ester (จาก เอทานอล)

2.5 ระบบการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก

ขณะที่เครื่องยนต์ทำงานน้ำมันเชื้อเพลิงจากถังเก็บน้ำมันเชื้อเพลิงจะไหลผ่านหม้อกรองเข้าสู่ปั๊มด้วยน้ำหนักของน้ำมันเชื้อเพลิงเอง จากนั้นปั๊มก็จะอัดน้ำมันเชื้อเพลิงให้มีความดันสูงขึ้นและส่งไปให้กับหัวฉีด ซึ่งจะทำหน้าที่กระจายน้ำมันเชื้อเพลิงให้เป็นฝอยละเอียดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์

2.5.1 หม้อกรองน้ำมันเชื้อเพลิง

การกรองน้ำมันเชื้อเพลิงในระหว่างการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กเป็นสิ่งสำคัญมาก เนื่องจากชิ้นส่วนที่ใช้ในปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและหัวฉีดต้องการความละเอียดมาก ดังนั้นการสึกหรอที่เกิดขึ้นจากเศษผงหรือสิ่งสกปรกที่ปะปนมากับน้ำมันเชื้อเพลิงแม้เพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบฉีดน้ำมันดีเซลลดลงได้ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลงตามไปด้วย



รูปที่ 2-7 หม้อกรองน้ำมันเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กโดยทั่วไปจะมีการกรองอยู่ 2 ขั้นตอนด้วยกันคือ

1. กรองผ่านตะแกรงที่ทางออกจากถังน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อดักเศษผงที่มีขนาดใหญ่
2. กรองผ่านหม้อกรองน้ำมันเชื้อเพลิง(fuel filter) ดังรูปที่ 2-7 เพื่อดักเศษผงที่มีขนาดเล็ก

สำหรับไส้กรองของหม้อกรองทำจากกระดาษชนิดพิเศษซึ่งไม่เพียงแต่ดักเศษผงที่มีขนาดเล็กเท่านั้น แต่ยังสามารถใช้ดักน้ำที่อาจจะปะปนมากับน้ำมันเชื้อเพลิงได้ด้วย

2.5.2 ปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

ปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจะทำหน้าที่อัดน้ำมันเชื้อเพลิงให้มีความดันสูงขึ้นเพื่อส่งให้กับหัวฉีด โดยที่น้ำมันดังกล่าวจะมีความดันตั้งแต่ 3200 ถึง 5000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว(22,063 ถึง 34,474 กิโลปาสกาล)

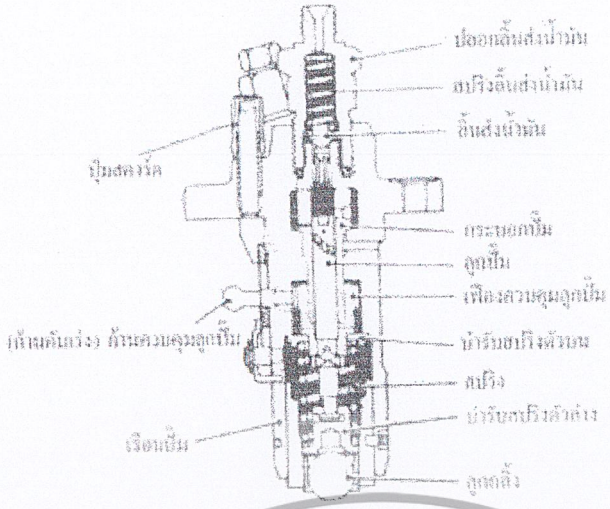
รูปที่ 2-8 หลักการของปั๊มชนิดอัดกระแทก

ปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กันในปัจจุบันเป็นชนิดอัดกระแทก(jerk pump) ดังรูปที่ 2-8 โดยแต่ละสูบจะมีหนึ่งปั๊ม ซึ่งใช้หลักการทำงานของลูกปั๊ม (plunger) และลูกเบี้ยว (cam) โดยที่เมื่อลูกเบี้ยวหมุนลูกปั๊มก็จะเคลื่อนที่ขึ้น-ลงทำให้การอัดน้ำมันเชื้อเพลิงให้มีความดันสูงส่งให้กับหัวฉีด รูปร่างของลูกเบี้ยวจะเป็นตัวควบคุมการตวงน้ำมันเชื้อเพลิง การจัดเวลาและความเร็วในการส่งน้ำมันเชื้อเพลิงไปให้กับหัวฉีด เพื่อทำการฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าทั้งปริมาณที่ถูกฉีดออกไปและช่วงระยะเวลาในการฉีด ก็สามารถควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.5.3 การทำงาน

ในขณะทำงานน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีความดันต่ำจากถังเก็บจะไหลผ่านก๊อกและหม้อกรองน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปยังปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง หรือปั๊มจะดูดน้ำมันจากถังเก็บผ่านหม้อกรองเข้ามายังปั๊มเองก็ได้ จากนั้นปั๊มก็จะทำหน้าที่อัดน้ำมันเชื้อเพลิงให้มีความดันสูงขึ้น และทำการฉีดน้ำมันในปริมาณที่ถูกต้องไปให้หัวฉีด เพื่อทำการฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



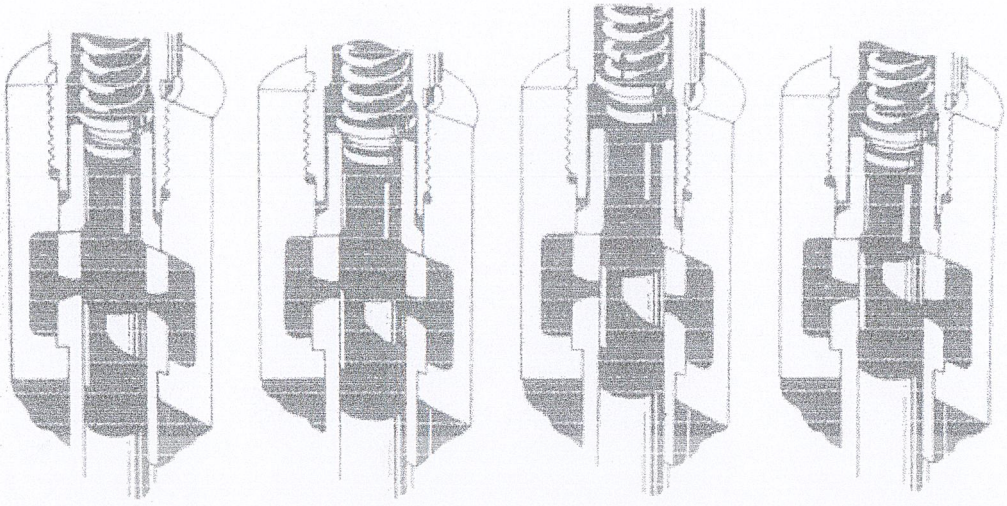
รูปที่ 2-9 ปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบประจำลูบ

ปั๊มแบบนี้ดังรูปที่ 2-9 จะถูกขับโดยเครื่องยนต์เพลาขับปั๊มซึ่งมีลูกเบี้ยวติดอยู่จะหมุนในอัตราเพียงครึ่งหนึ่งของความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ในขณะที่เพลาขับหมุนก็เกิดการถ่ายทอดกำลังงานผ่านลูกกลิ้ง(roller tappet) และลูกปั๊ม (plunger) ตามลำดับ จึงทำให้ลูกปั๊มทำการอัดน้ำมันเชื้อเพลิงให้มีความดันสูงขึ้น แล้วส่งผ่านลิ้นส่ง (delivery valve) ไปให้กับหัวฉีด (nozzle) อีกต่อหนึ่ง

2.5.4 การควบคุมปริมาณการฉีดน้ำมันด้วยร่องบาก

วิธีการควบคุมแบบนี้ดังรูปที่ 2-10 จะใช้ร่องบาก (helix) ที่ลูกปั๊มควบคุมการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับวิธีการทำงานดังรูปที่ 2-10 ก.เมื่อลูกปั๊มอยู่ในตำแหน่งต่ำสุด ช่องน้ำมันเชื้อเพลิงเข้า (inlet port) และช่องระบายน้ำมันเชื้อเพลิง (by-pass port) จะอยู่ในตำแหน่งเปิด ส่วนลิ้นส่งน้ำมัน(delivery valve) ซึ่งอยู่ทางตอนบนของปั๊มจะอยู่ในตำแหน่งปิด ดังนั้นน้ำมันเชื้อเพลิงจากปั๊มป้อนน้ำมันหรือจากถังเก็บโดยตรง ที่เข้ามาบรรจุอยู่ภายในห้องปั๊ม (pump chamber) รอบ ๆ กระบอกปั๊ม ก็จะถูกส่งเข้ามาบรรจุอยู่เต็มภายในกระบอกปั๊มทั้งทางด้านบนของลูกปั๊มและในร่องบากที่ตัวลูกปั๊ม ดังนั้นเมื่อส่วนนูนของลูกเบี้ยวดันลูกปั๊มให้เคลื่อนตัวขึ้น จนกระทั่งขอบบนของลูกปั๊มปิดช่องน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองดังรูปที่ 2-10 ข. ลูกปั๊มก็จะเริ่มทำการอัดน้ำมันเชื้อเพลิงภายในกระบอกปั๊มขึ้นไปเรื่อย ๆ จนกระทั่ง ณ จุดหนึ่งเมื่อความดันของน้ำมันสูงพอที่จะเอาชนะแรงกดของสปริงลิ้นส่งได้แล้วก็ทำให้ลิ้นส่งเปิด ดังรูปที่ 2-10 ค.น้ำมันเชื้อเพลิงก็จะถูกจัดส่งผ่านลิ้นไปยังหัวฉีดเพื่อทำการฉีดเข้าห้องเผาไหม้ต่อไป เมื่อลูกปั๊มเคลื่อนตัวต่อไปจนกระทั่งร่องบากที่ลูกปั๊มตรงกับช่องระบายน้ำมันแล้ว น้ำมันเชื้อเพลิงความดันสูงภายในกระบอกปั๊มจะถูกระบายออกทางช่องนี้ ทำให้ความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงภายในกระบอกสูบลดลง สปริงก็จะดันลิ้นส่งน้ำมันให้ปิด ดังรูปที่ 2-10 ง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



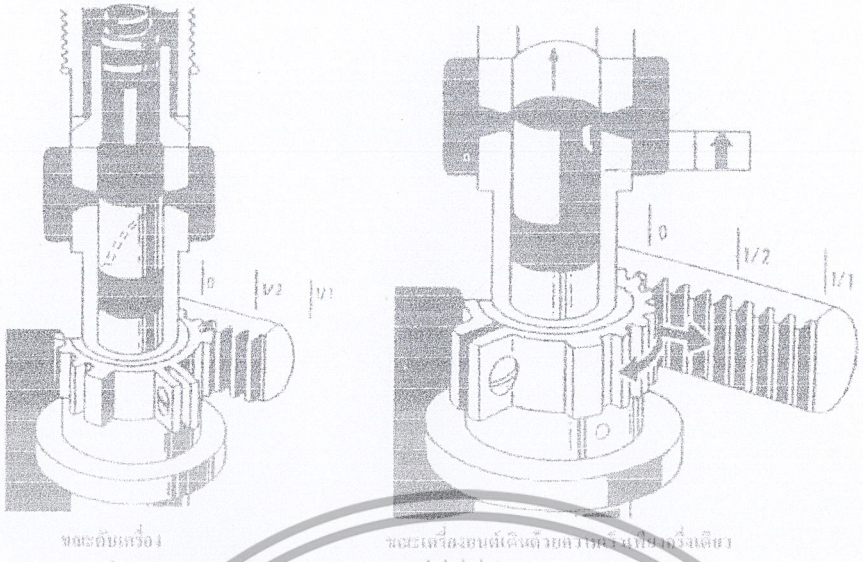
รูปที่ 2-10 การควบคุมปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงด้วยร่องบาก

สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อเพลิงที่จะส่งให้หัวฉีดในแต่ละจังหวะของการทำงานจะขึ้นอยู่กับการจัดระยะเวลาในการปิดช่องน้ำมันเข้าและช่องระบายน้ำมัน ซึ่งหมายถึงระยะทางในการเคลื่อนตัวของลูกปั๊มจากตำแหน่งที่เริ่มส่งน้ำมันจนกระทั่งสิ้นสุดการส่งน้ำมันเชื้อเพลิงระยะทางดังกล่าวเรียกว่า

ระยะเกิดประโยชน์(effective stroke) ซึ่งจะสามารถควบคุมการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงได้ สำหรับวิธีการควบคุมก็จะกระทำได้ด้วยการหมุนลูกปั๊มให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระยะเกิดประโยชน์มากน้อยตามต้องการ

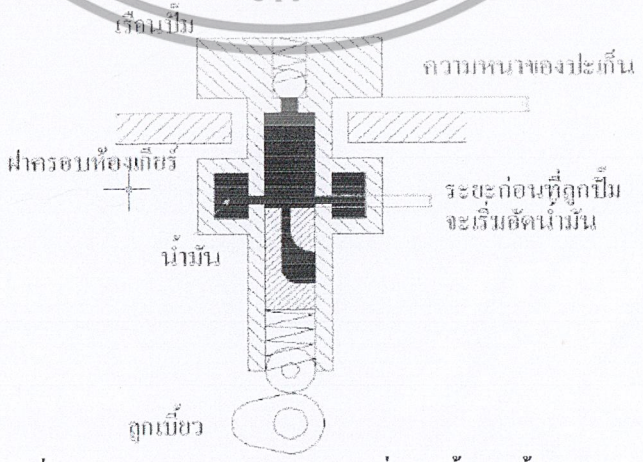
ในกรณีดับเครื่องลูกปั๊มจะถูกบีบคมอยู่ในตำแหน่งที่ร่องบากของลูกปั๊มตรงกับช่องระบายน้ำมันเชื้อเพลิงตลอดเวลา กล่าวคือไม่มีระยะเกิดประโยชน์เลย ดังรูปที่ 2-11 ก. ดังนั้นที่ตำแหน่งนี้จะ ไม่มีการส่งน้ำมันเชื้อเพลิงเกิดขึ้น ถึงแม้จะสตาร์ตเครื่องยนต์ก็จะ ไม่ติด ถ้าปรับระยะเกิดประโยชน์ในตำแหน่งกึ่งกลาง ดังรูปที่ 2-11 ข. เครื่องยนต์ก็จะทำงานด้วยความเร็วเพียงครึ่งเดียวเนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิงที่จัดส่งมีเพียงครึ่งเดียว และถ้าปรับระยะเกิดประโยชน์ยาวที่สุดดังรูปที่ 2-11 ค. น้ำมันที่จัดส่งเข้าเครื่องก็จะมีจำนวนมาก เครื่องยนต์ก็จะทำงานด้วยความเร็วสูง ส่วนการหมุนเปลี่ยนตำแหน่งของลูกปั๊ม สามารถที่จะกระทำได้ด้วยการเลื่อนก้านบังคับ (control rack) ที่ต่อเข้ากับเฟืองของปลอกบังคับ (control pinion) ที่สามารถทำให้ลูกปั๊มหมุนไปสู่ตำแหน่งที่ต้องการได้ ก้านบังคับนี้จะต่อเข้ากับอุปกรณ์ควบคุมความเร็ว(governor) และคันเร่งอีกทีหนึ่งจึงสามารถเบาหรือเร่งเครื่องได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-11 แสดงตำแหน่งในการทำงานของลูกปั๊ม

2.5.5 การปรับเวลาในการเริ่มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง(ปรับองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง)



รูปที่ 2-12 แสดงการปรับเวลาในการเริ่มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2-12 ปรับเวลาในการเริ่มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงทำได้โดยการเปลี่ยนความหนาของปะเก็นระหว่างฝาครอบห้องเกียร์และปั๊มให้หนาขึ้นหรือบางลงเพื่อเพิ่มหรือลดระยะก่อนที่ลูกปั๊มจะเริ่มทำการอัดน้ำมันส่งผลให้การเริ่มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงช้าลงหรือเร็วขึ้นตามต้องการ

2.5.6 อุปกรณ์ควบคุมความเร็ว(Governor)

อุปกรณ์ควบคุมความเร็ว(governor) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในระบบน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซล จะช่วยรักษาความเร็วของเครื่องยนต์ ให้คงที่อยู่เสมอ โดยอัตโนมัติ ตั้งแต่ความเร็วเดินเบาไปจนถึงความเร็วสูง ถึงแม้ว่าภาระที่เครื่องยนต์ได้รับจะเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม

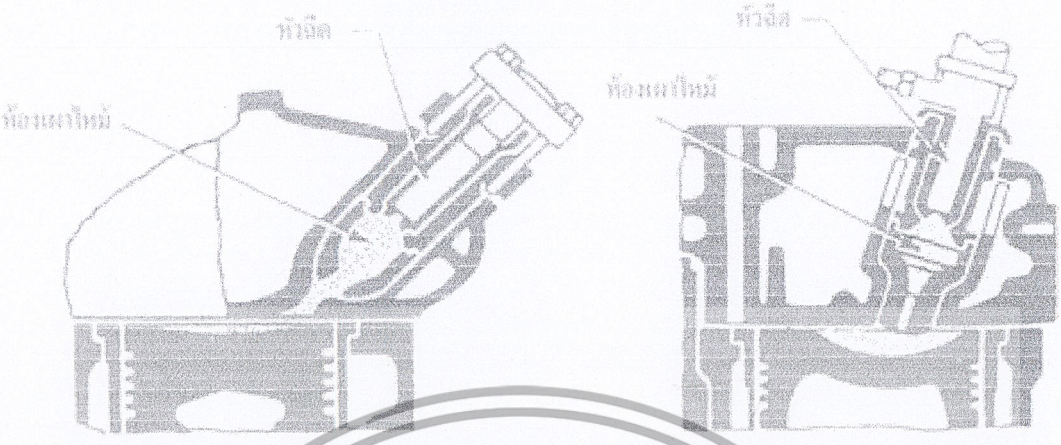
โดยทั่ว ๆ ไปผู้ใช้จะปรับความเร็วของเครื่องยนต์ตามที่ต้องการด้วยการปรับคันเร่ง หลังจากนั้นก็เป็นหน้าที่ของอุปกรณ์ควบคุมความเร็ว ที่จะพยายามรักษาความเร็วของเครื่องยนต์ให้คงที่ ด้วยการควบคุมการทำงานของก้านบังคับลูกปั๊ม เพื่อที่จะให้ลูกปั๊มเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ส่งเข้าเครื่องให้พอเหมาะกับภาระที่เปลี่ยนแปลงไปของเครื่องยนต์อุปกรณ์ควบคุมความเร็วที่นิยมใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก จะเป็นชนิดใช้แรงเหวี่ยง ตัวอุปกรณ์ควบคุมความเร็วอันประกอบด้วยลูกตุ้มแหวี่ยงและกลไก จะติดตั้งอยู่ทางปลายด้านหนึ่งของเพลาข้อเหวี่ยงภายในตัวเครื่อง ดังรูปที่ 2-13 ผลจากแรงเหวี่ยงของลูกตุ้มในขณะที่เครื่องยนต์ทำงานจะส่งผ่านก้านต่อต่าง ๆ ที่อยู่ภายในทำให้ก้านบังคับลูกปั๊มเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ส่งเข้าเครื่องให้เหมาะสมกับภาระที่เปลี่ยนแปลงไปได้ตามต้องการ

รูปที่ 2-13 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กชนิดใช้แรงเหวี่ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.5.7 ห้องเผาไหม้แบบพรีคอมบัสชั่น(Pre-combustion Chamber)



รูปที่ 2-14 ห้องเผาไหม้แบบพรีคอมบัสชั่น

ห้องเผาไหม้แบบนี้ส่วนใหญ่จะสร้างไว้ในฝาสูบห้องเผาไหม้แบบนี้สามารถบรรจุอากาศอัดได้ประมาณ 30 เปอร์เซนต์ของปริมาตรรวมของห้องเผาไหม้ทั้งหมดดังนั้นเมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าไปภายในการเผาไหม้ก็จะเกิดขึ้น แต่เนื่องจากอากาศอัดในห้องเผาไหม้แบบนี้มีจำนวนน้อย การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจึงไม่สมบูรณ์เพราะน้ำมันเชื้อเพลิงเพียงบางส่วนเท่านั้นที่เกิดการเผาไหม้ ดังนั้นความดันอันเกิดจากการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้แบบนี้ จึงดันหรือพ่นน้ำมันเชื้อเพลิงที่ยังไม่เกิดการเผาไหม้ออกมาสู่ห้องเผาไหม้หลัก(main combustion chamber) จากนั้นการผสมกันระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศและการเผาไหม้ขั้นสุดท้ายภายในห้องเผาไหม้หลักก็จะเกิดขึ้น

เครื่องยนต์ที่มีห้องไหม้แบบนี้สามารถใช้กับน้ำมันเชื้อเพลิงแบบต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวางแต่การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงค่อนข้างสูงกว่าแบบอื่น นอกจากนั้นการขับไล่ไอเสียออกจากห้องเผาไหม้พิเศษทำได้ยากจะทำให้ไอเสียจำนวนหนึ่งตกค้างอยู่ภายใน เครื่องยนต์ที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบนี้ติดเครื่องยาก เนื่องจากพื้นที่ห้องเผาไหม้ทั้งหมดมีขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบสร้างให้มีอัตราส่วนการอัดสูงโดยปกติจะสูงประมาณตั้งแต่ 18 ถึง 22 ต่อ 1 นอกจากนั้นยังต้องใช้หัวเผาเพื่อช่วยในการสตาร์ตติดเครื่องในขณะอากาศเย็น หัวฉีดที่นิยมใช้เป็นแบบเข็มที่มีความดันประมาณ 1,100 ถึง 1,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (7,584 ถึง 12,411 กิโลปาสกาล)

เครื่องยนต์ที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบนี้ได้แก่ เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้งานซึ่งต้องเปลี่ยนแปลงความเร็วอยู่เสมอและมีรอบจัด เช่น เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ในรถยนต์

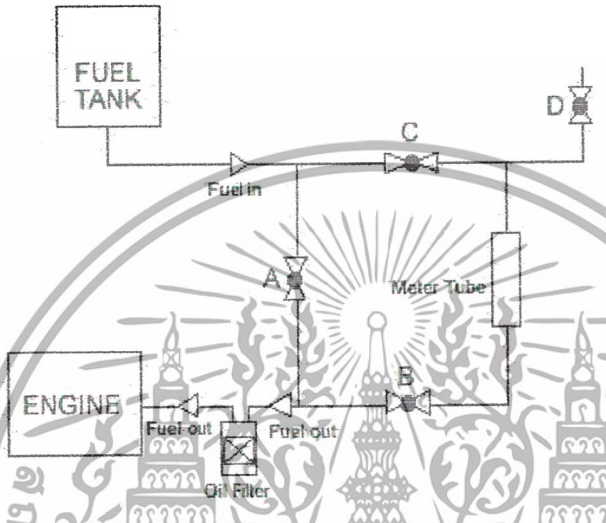
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

45993

บทที่ 3
การออกแบบและอุปกรณ์

3.1 การออกแบบ

3.1.1 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง



รูปที่ 3-1 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล

วิธีการใช้งาน

เมื่อเครื่องทำงานปกติโดยไม่ต้องการวัดอัตราการไหล

- เปิดวาล์ว A
- ปิดวาล์ว B และ D

เมื่อต้องการวัดอัตราการไหลของน้ำมัน ทำตามขั้นตอนดังนี้

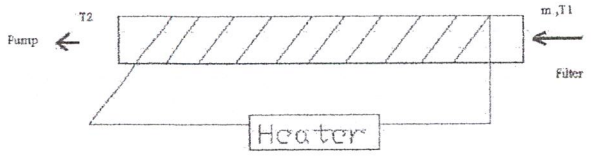
- เปิดวาล์ว D แล้วเปิดวาล์ว B
- ปล่อยให้ระดับของน้ำมันในหลอดวัดปริมาตรเพิ่มขึ้นจนเต็มแล้วจึงปิดวาล์ว A
- จับเวลาที่ระดับน้ำมันลดลงในหลอดแก้ววัดปริมาตรระหว่างช่วงใดช่วงหนึ่ง
- นำเวลาที่ได้มาคำนวณหาอัตราการไหล

  Q = volume(cc) / time(s)

3.1.2 อุปกรณ์อุ่นน้ำมัน(Oil Heater)

หลักการ ทำการอุ่นน้ำมันที่อยู่ในท่อระหว่างกรองน้ำมันและปั๊มโดยให้ความร้อนโดย Heater ซึ่งเป็นขดลวดนำความร้อนพันรอบ ๆ ท่อน้ำมันและให้ความร้อนด้วยไฟฟ้าดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-2 Oil Heater

การคำนวณ หาปริมาณความร้อนที่ใช้

$Q = mC_p(T_2-T_1)$

m = อัตราการไหลของน้ำมัน(ใช้ค่าที่สูงที่สุดจากการทดลอง = $7.125*10^{-4}$ kg/s)

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมัน (เฉลี่ยประมาณ 1.8 kj/kg.K)

T_1 = อุณหภูมิน้ำมันที่ออกมาจากกรอง(ประมาณ 300 K)

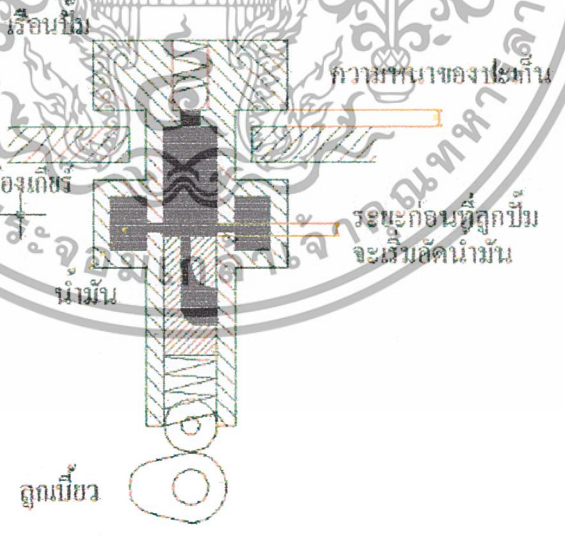
T_2 = อุณหภูมิก่อนเข้าปั๊ม(กำหนดให้ ไม่ต่ำกว่า 330 K)

หลังจากแทนค่าแล้วได้ Q = 38.5 Watt

ดังนั้นเลือกซื้อ Heater ขนาด 42 Watt

3.1.3 ปรับองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

ในการทดลองนี้ได้ปรับองศาการเริ่มฉีดน้ำมันให้เร็วขึ้น โดยการเปลี่ยนแผ่นปะเก็นที่รองปั๊มให้บางลง จากเดิมที่ติดมากับเครื่องยนต์จากโรงงาน ปะเก็นหนา 0.7 mm. เป็น 0.4 mm



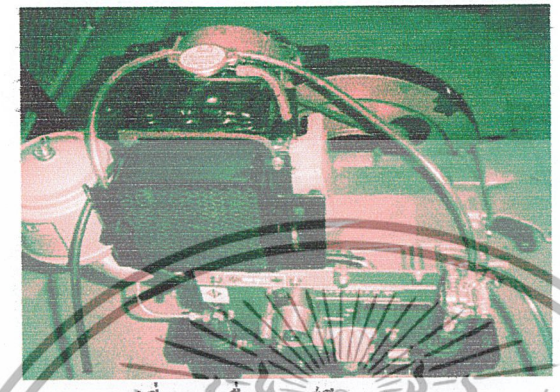
รูปที่ 3-3 ภาพประกอบการปรับองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.1 เครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซล (Yanmar - TF 85 LM) 4 จังหวะ 1 กระบอกสูบนอน ระบายความร้อนด้วยน้ำโดยมีข้อมูลของเครื่องยนต์ ดังนี้



รูปที่ 3-4 เครื่องยนต์ดีเซล Yanmar

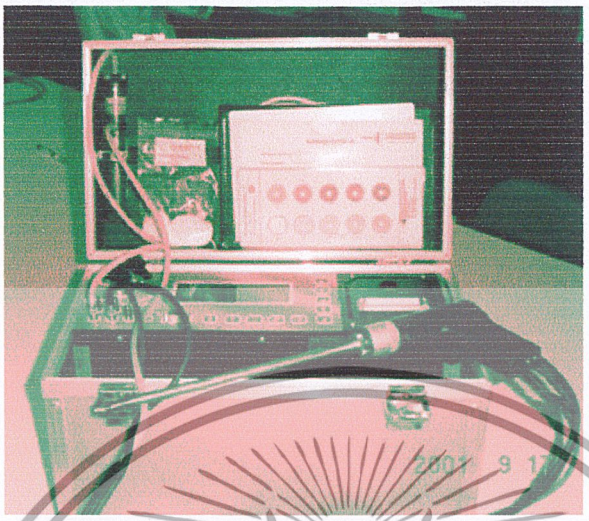
ระบบเผาไหม้	มีห้องเผาไหม้ช่วย
จำนวนลูกสูบ	1
ความโตกระบอกสูบ x ช่วงชัก	85 x 87 มม.
ความจุ	0.493 ลิตร
กำลังม้าสูงสุด (แรงม้า)	8.5 / 2200 รอบต่อนาที
อัตราส่วนการอัด	22.4
ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง	195 กรัม / แรงม้า-ชั่วโมง
ทิศทางการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง	ทวนเข็มนาฬิกาด้านล้อช่วยแรง
น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้	น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว
ระยะเวลาการฉีดน้ำมัน	ก่อนศูนย์ตายบน 13 องศา
ความจุของน้ำมันเชื้อเพลิง	10.5 ลิตร
ระบบระบายความร้อน	หม้อน้ำรังผึ้ง

ตารางที่ 3-1 ข้อมูลของเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 เครื่องวัดไอเสีย (Visitor01-L/LR)

สามารถวัดค่า CO , CO_2 , O_2 , อุณหภูมิไอเสีย , อุณหภูมิอากาศแล้วพิมพ์ออกมาเป็นตัวเลขได้

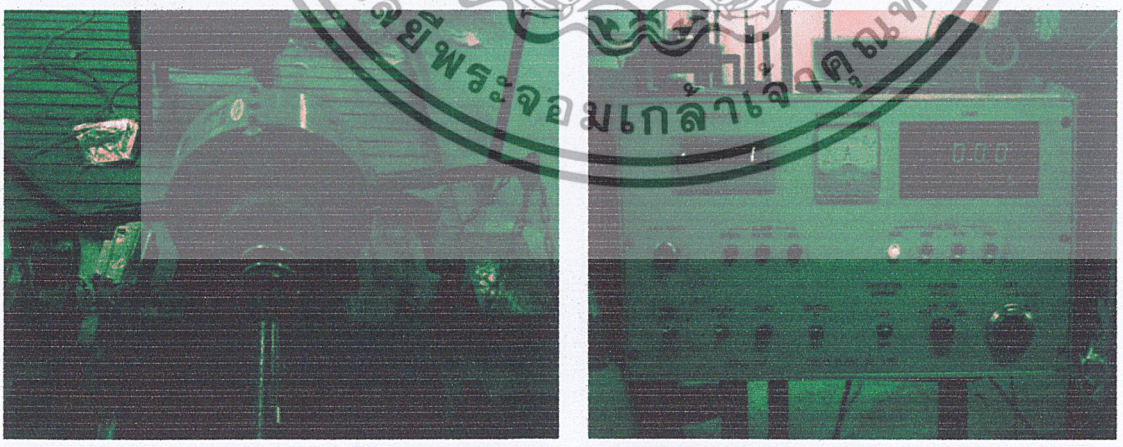


รูปที่ 3-5 เครื่องวัดไอเสีย

3.2.3 น้ำมันที่ใช้ในการทดสอบ

- น้ำมันดีเซลหมุนเร็วทั่วไปของ ป.ต.ท.
- น้ำมันพืชผสมดีเซล
- น้ำมัน Biodiesel หรือ เอสเตอร์ของน้ำมันพืช

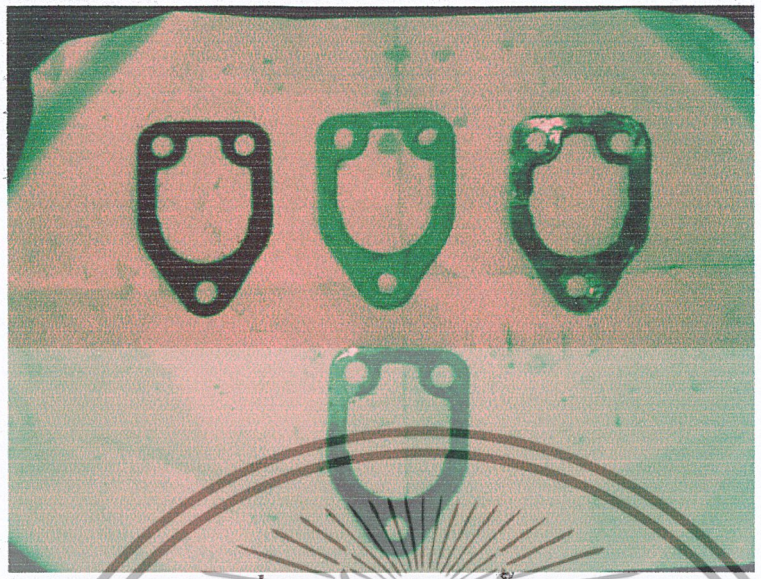
3.2.4 ไดนาโมมิเตอร์แบบ Eddy Current



รูปที่ 3-6 ไดนาโมมิเตอร์

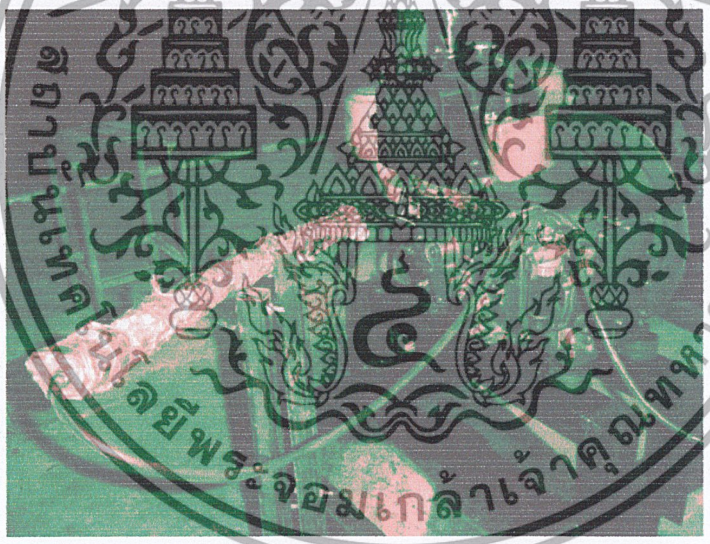
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 แผ่น Gasket รองปั๊ม



รูปที่ 3-7 แผ่น Gasket รองปั๊ม

3.2.6 อุปกรณ์อุ่นน้ำมัน (Heater)



รูปที่ 3-8 Heater

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดลอง

4.1 ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบ ทำดังนี้

1. เตรียมน้ำมันใส่ถังและต่อสายยางส่งน้ำมันให้เรียบร้อย พร้อมทั้ง เปลี่ยนตัวกรองน้ำมันตามชนิดของน้ำมันที่ใช้ทดสอบ
2. ไล่อากาศในระบบจ่ายน้ำมันให้หมดโดยเปิดวาล์วไล่ลมที่ตัวกรองน้ำมันค้างไว้ประมาณ 15 วินาที
3. สตาร์ทเครื่องยนต์เดินเบาก่อนประมาณ 15 นาที เพื่ออุ่นเครื่องยนต์และเพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องยนต์ได้ใช้น้ำมันเก่า ที่ยังค้างอยู่จนหมดแล้ว
4. เริ่มทำการทดลองโดยหาค่าต่างๆดังนี้
   - เปิดคันเร่งเครื่องยนต์เต็มที่
   - วัด Emission Gas(CO,CO_2,,O_2 Gas Temperature,เขม่า)
   - วัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน
   - เพิ่มแรงเบรกจนเครื่องยนต์มีความเร็วรอบลดลงมาครั้งละประมาณ 200 รอบ /นาทีแล้ววัดแรงบิดของเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน และไอเสีย จนถึงความเร็วรอบประมาณ 600 รอบ/นาที
5. เมื่อได้ค่าต่างๆแล้วให้ดับเครื่องยนต์
6. เปลี่ยนชนิดของน้ำมันแล้วจึงทำการทดลองตามข้อ 1-5 จนครบกับ น้ำมันทุกชนิด
7. ทำการปรับแต่งเครื่องยนต์โดย ปรับองศาการฉีดน้ำมันก่อน TDC ให้มากขึ้น โดยการเปลี่ยนแผ่น Gasket ที่รองปั๊มให้บางลงจากเดิมขนาด 0.7 mm. เป็น 0.4 mm แล้วทำการทดลองเหมือน ข้อ 1 ถึง 6 อีกครั้ง
8. ทำการปรับแต่งเครื่องยนต์โดยติดตั้ง Heater เพิ่มเข้าไปแล้วทำการทดสอบเครื่องยนต์ตามข้อ 1 ถึง 6 อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบ

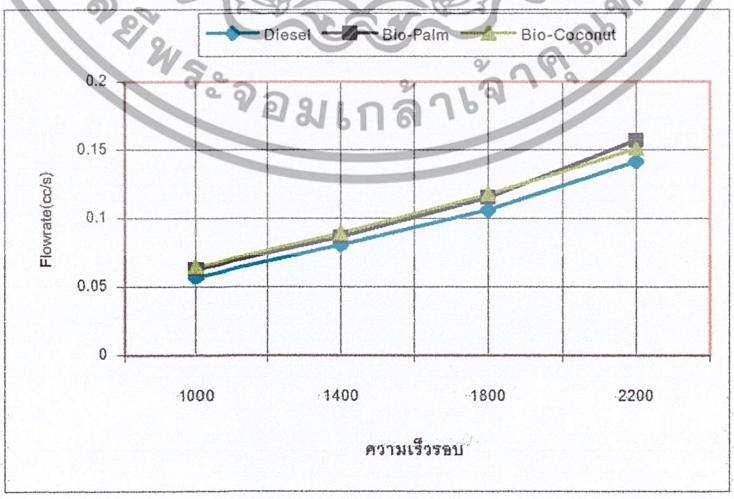
4.2.1 ผลการทดสอบกับเครื่องที่ไม่ได้ใส่ Load

ผลการทดสอบกับเครื่องที่ไม่ได้ใส่ Load กับเครื่องได้ผลดังนี้

RPM	ชนิดน้ำมัน	O_2 (%)	CO_2 (%)	CO (ppm)	Tgas (c)	Tair (c)	Flow rate(cc/s)
1000	diesel	18.4	1.9	96	96	31.45	0.0571
	bio palm	18.5	1.86	214.7	96.56	30.5	0.0626
	bio coco	18.6	1.8	122.6	98.06	33.6	0.0644
1400	diesel	18.7	2	111.5	111.2	31.45	0.0809
	bio palm	17.9	2.33	181.3	112.7	30.26	0.0864
	bio coco	18.4	1.93	130.3	112	33.5	0.0889
1800	diesel	17.8	2.45	183.5	129.6	31.55	0.106
	bio palm	17.6	2.56	211.7	131.2	30.03	0.1152
	bio coco	17.8	2.33	166.3	130	33.6	0.1174
2000	diesel	18.1	2.25	125	148.3	31.45	0.1416
	bio palm	17.2	2.7	211.3	159.5	29.7	0.1569
	bio coco	17.4	2.53	194.3	157.7	33.63	0.151

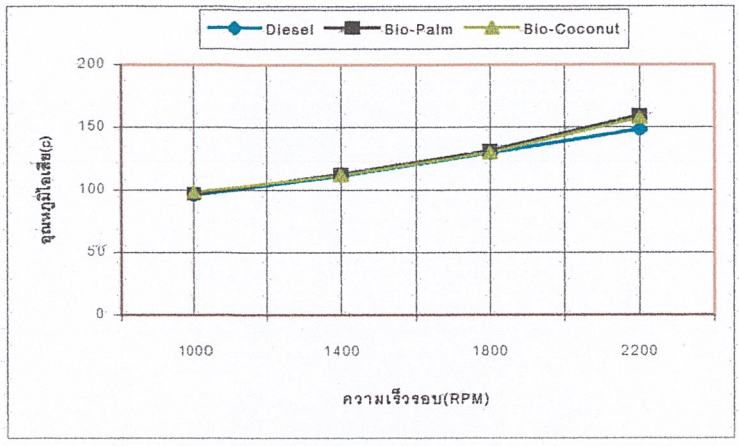
ตารางที่ 4-1 ผลการทดสอบก๊าซไอเสียของน้ำมันแต่ละชนิด

จากการทดสอบ ได้ผลดังตารางที่ 4 เมื่อนำมาเขียนกราฟจะ ได้ดังต่อไปนี้

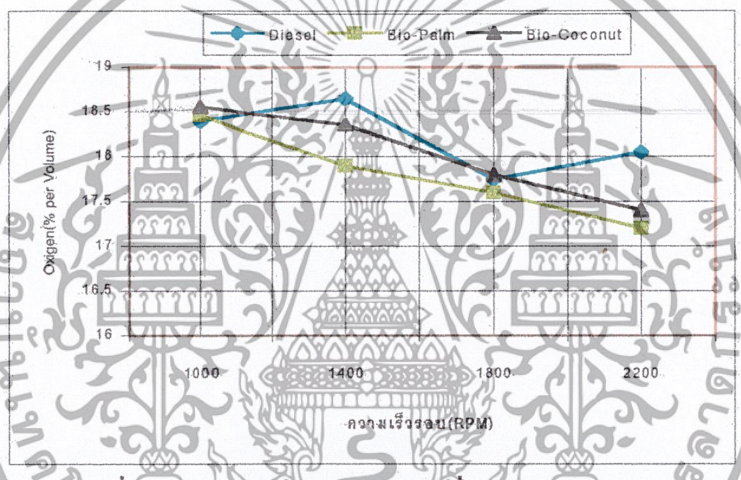


รูปที่ 4-1 อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่างๆ

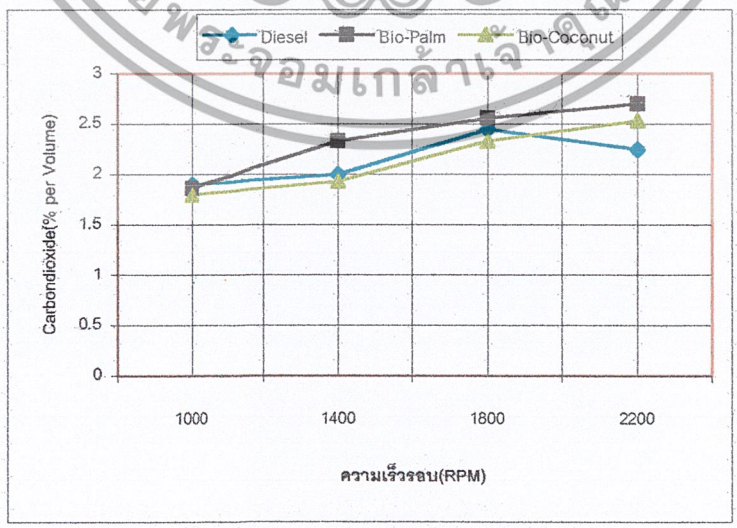
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-2 อุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ

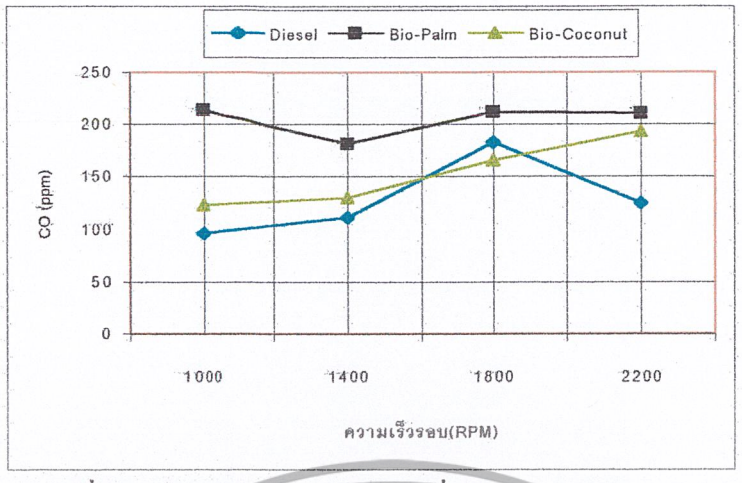


รูปที่ 4-3 ปริมาณก๊าซ O_2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ



รูปที่ 4-4 ปริมาณก๊าซ CO_2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

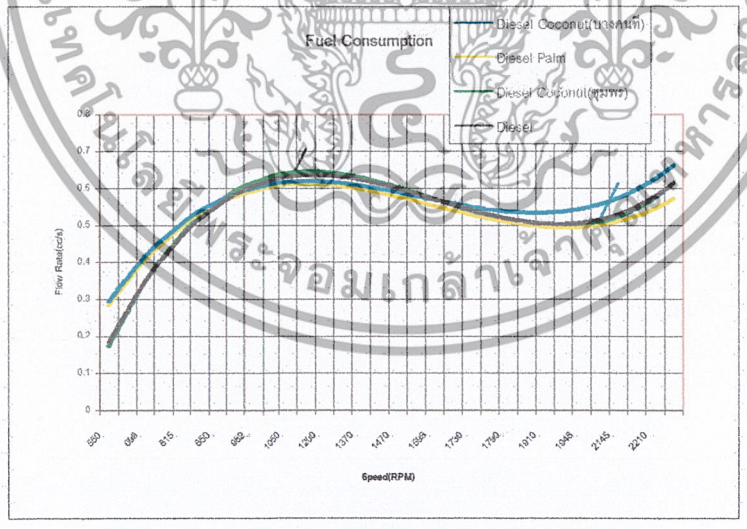


รูปที่ 4-5 ปริมาณก๊าซ CO ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ

ผลการทดสอบกับเครื่องที่ใส่ Load แบ่งเป็น 3 การทดสอบดังนี้คือ

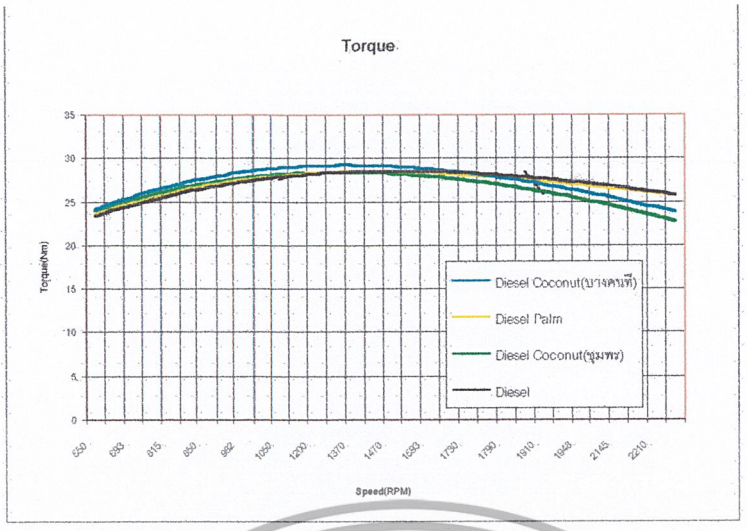
- การทดสอบเปรียบเทียบน้ำมันดีเซลกับน้ำมันผสม
- การทดสอบเปรียบเทียบน้ำมันดีเซลกับเมทิลเอสเตอร์ของปาล์มเสตอรีน
- การทดสอบเปรียบเทียบการปรับแต่งเครื่องยนต์ที่เกิดกับน้ำมันแต่ละชนิด

4.2.2 การทดสอบเปรียบเทียบน้ำมันดีเซลกับน้ำมันผสม

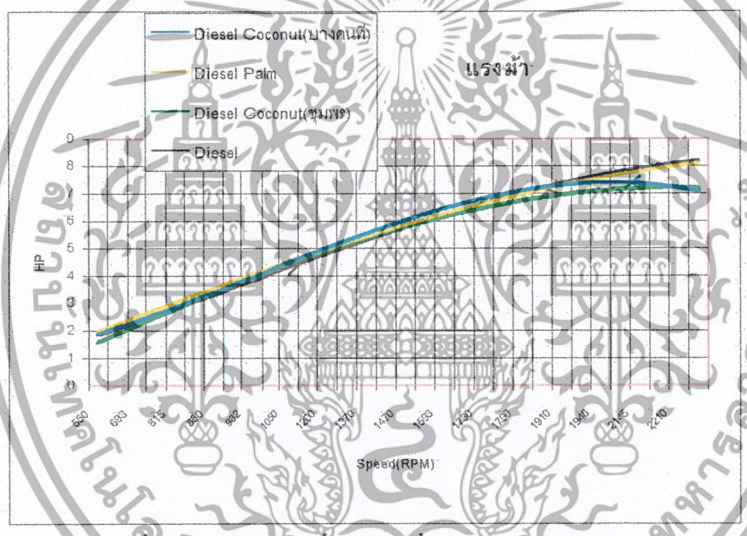


รูปที่ 4-6 อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่างๆ

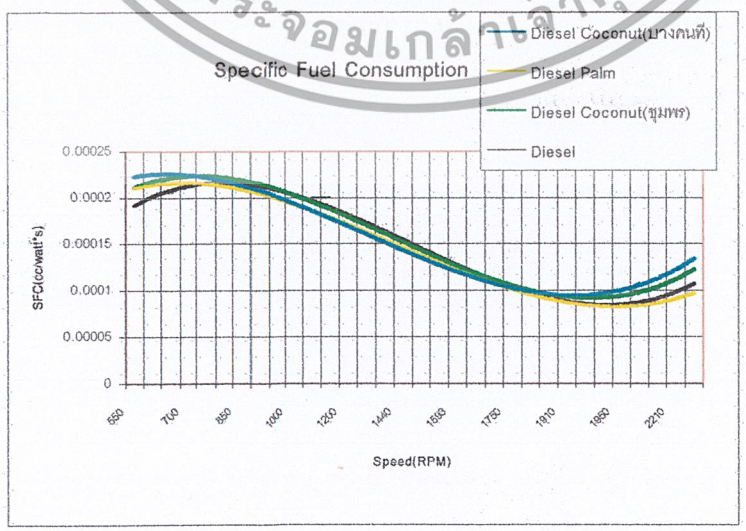
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-7 แรงบิดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

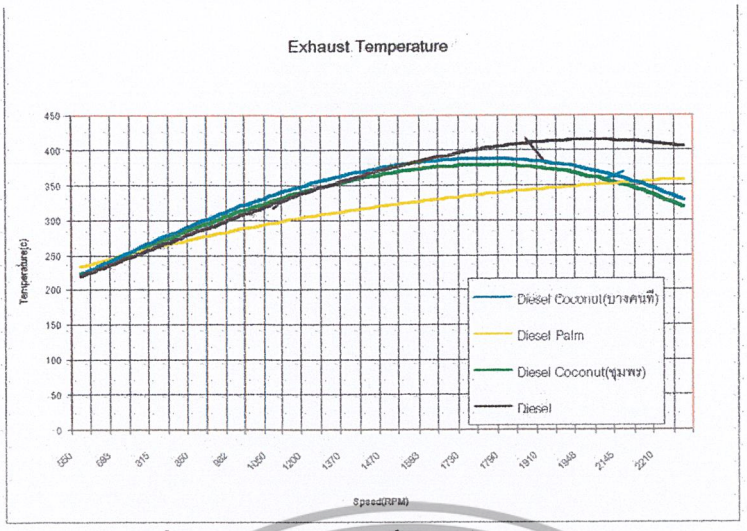


รูปที่ 4-8 กำลังของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ

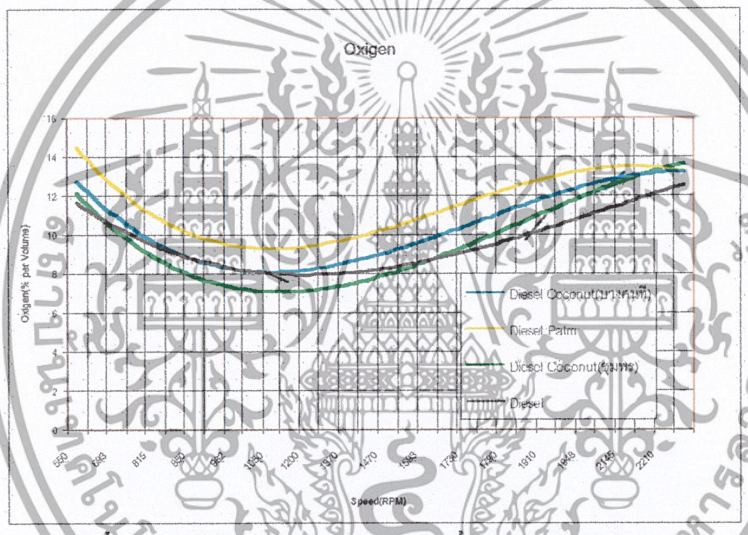


รูปที่ 4-9 Specific Fuel Consumption ที่ความเร็วรอบต่างๆ

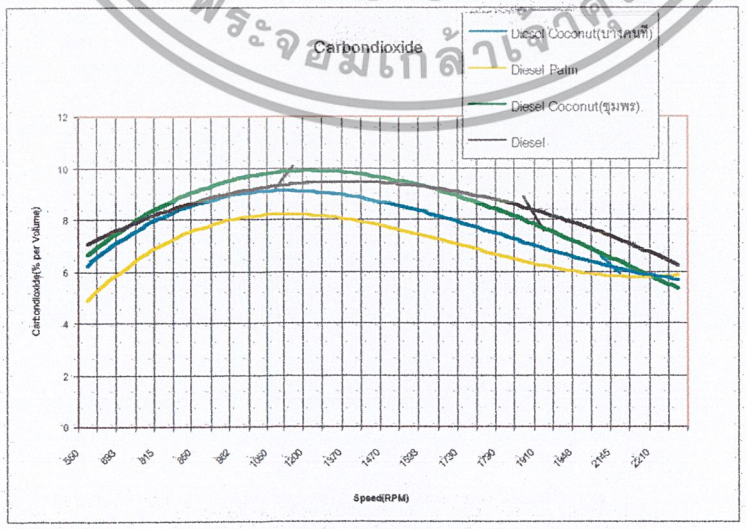
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-10 อุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ

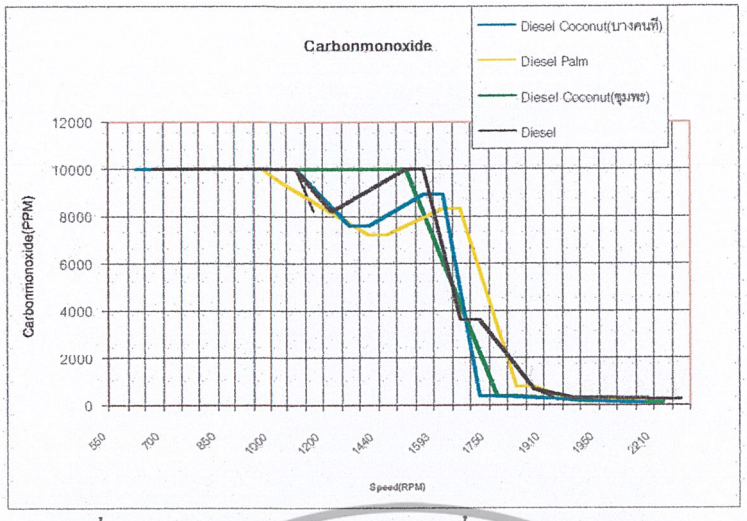


รูปที่ 4-11 ปริมาณก๊าซ O_2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ



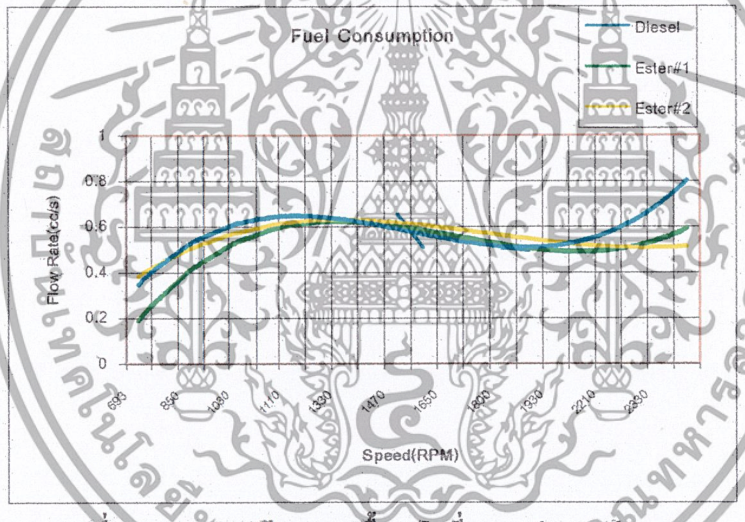
รูปที่ 4-12 ปริมาณก๊าซ CO_2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

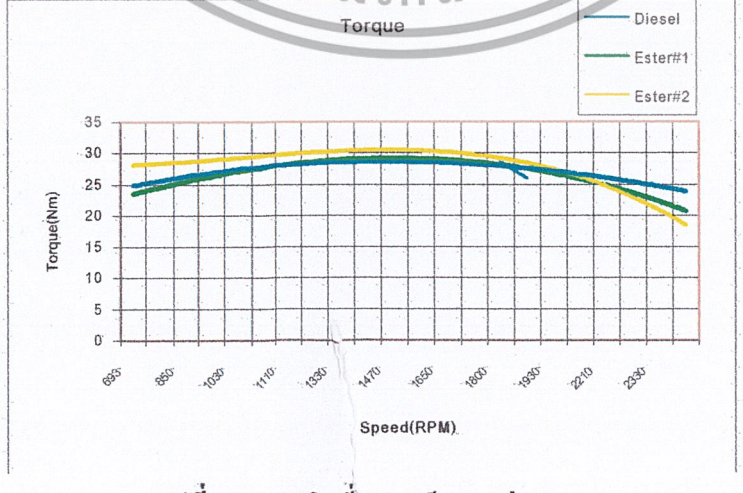


รูปที่ 4-13 ปริมาณก๊าซ CO ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ

4.2.3 การทดสอบเปรียบเทียบน้ำมันดีเซลกับเมทิลเอสเตอร์ของปาล์มเสตอรีน

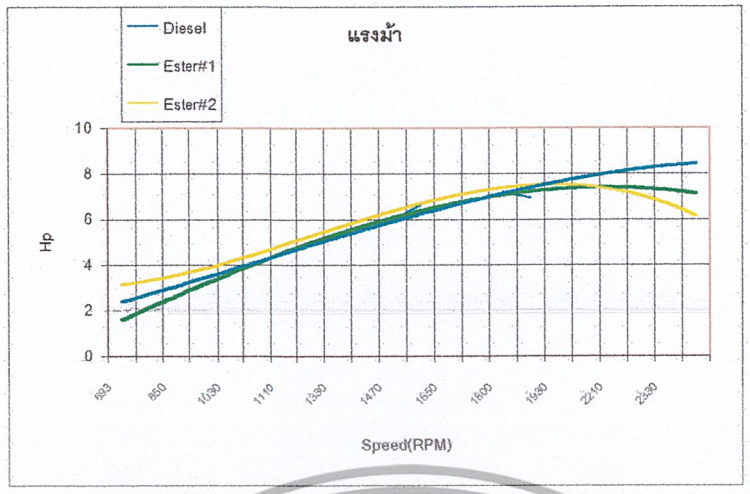


รูปที่ 4-14 อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่างๆ

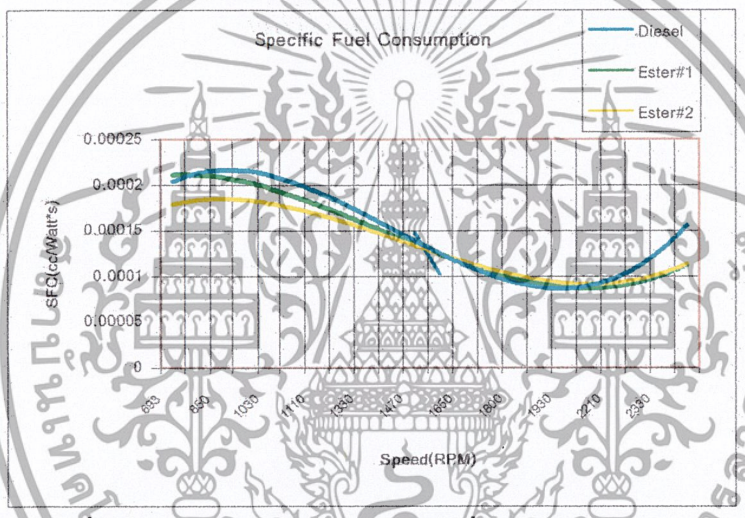


รูปที่ 4-15 แรงบิดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

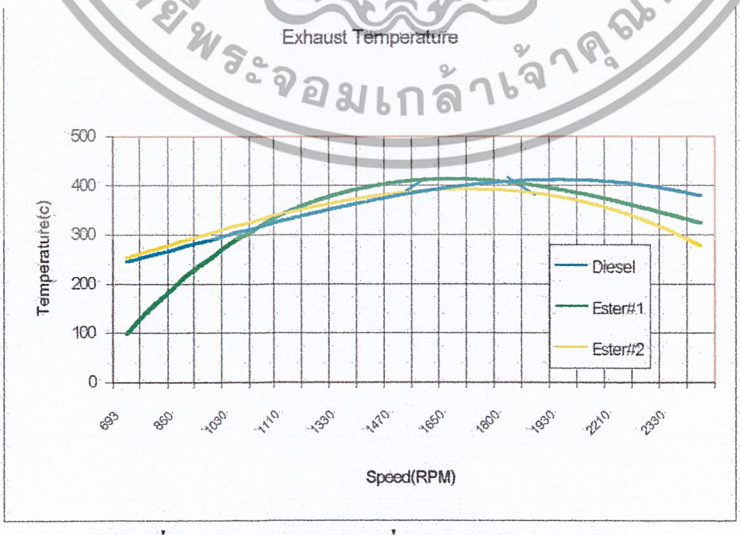
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-16 กำลังของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ

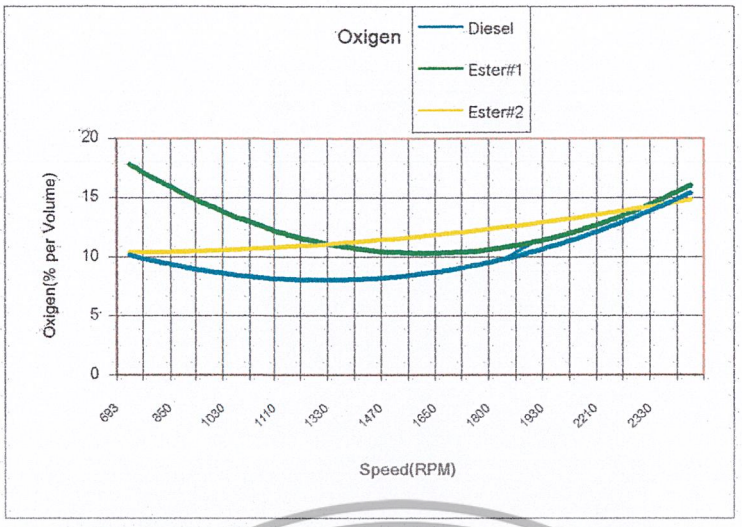


รูปที่ 4-17 Specific Fuel Consumption ที่ความเร็วรอบต่างๆ

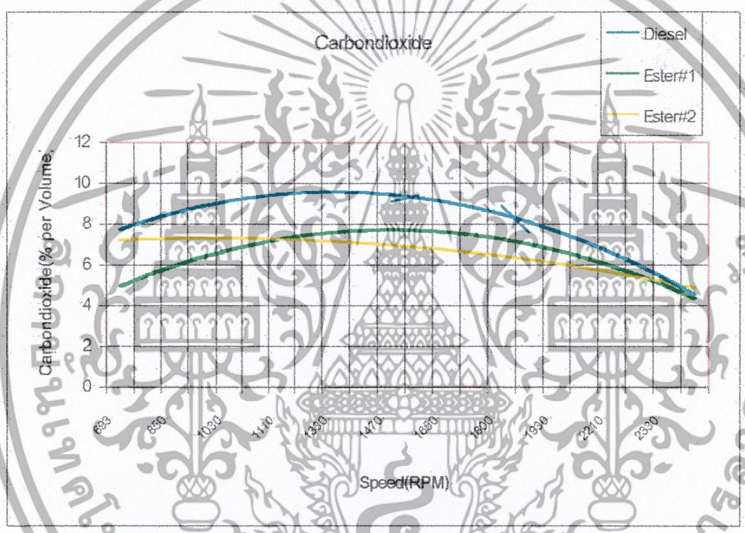


รูปที่ 4-18 อุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ

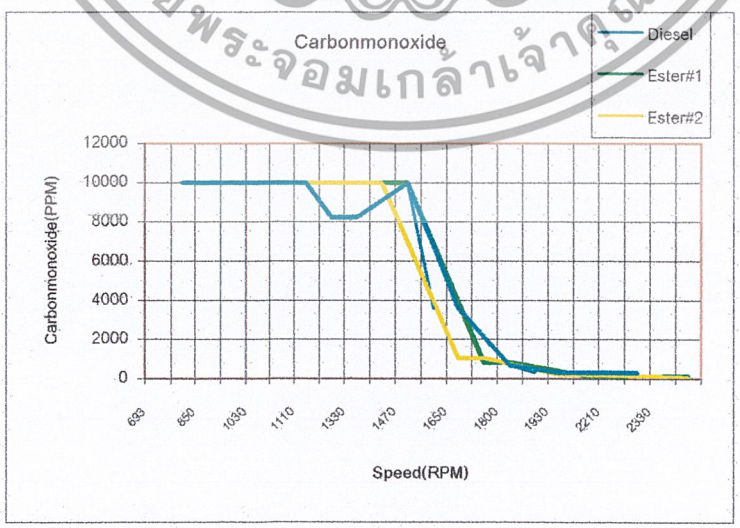
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-19 ปริมาณก๊าซ O_2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ



รูปที่ 4-20 ปริมาณก๊าซ CO_2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ

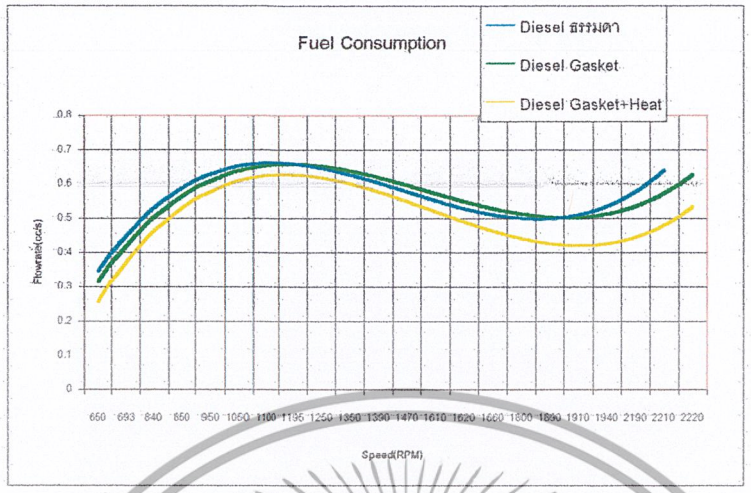


รูปที่ 4-21 ปริมาณก๊าซ CO ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ

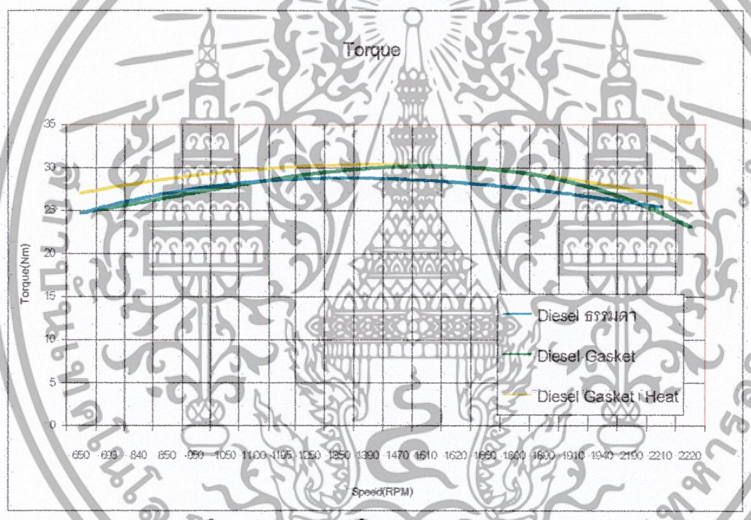
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การทดสอบเปรียบเทียบการปรับแต่งเครื่องยนต์ที่เกิดกับน้ำมันแต่ละชนิด

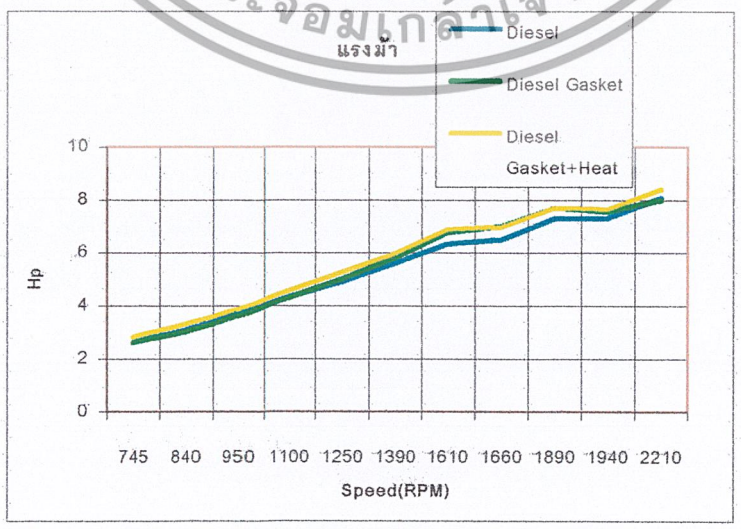
- น้ำมันดีเซล



รูปที่ 4-22 อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่างๆ

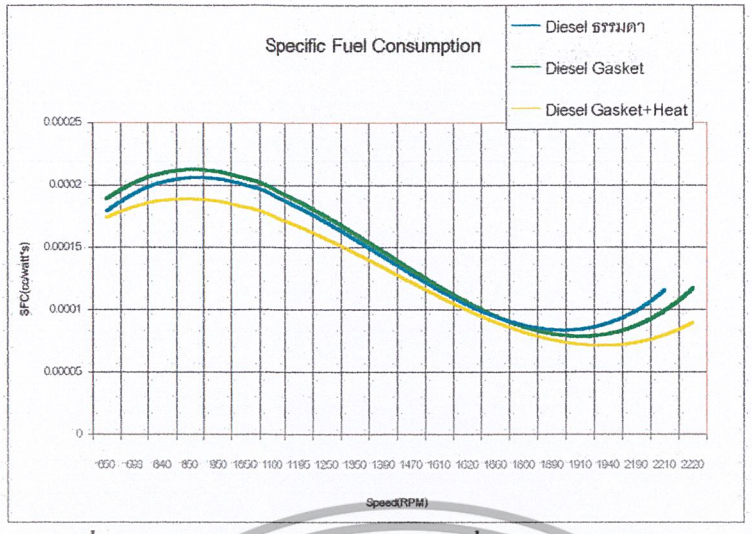


รูปที่ 4-23 แรงบิดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

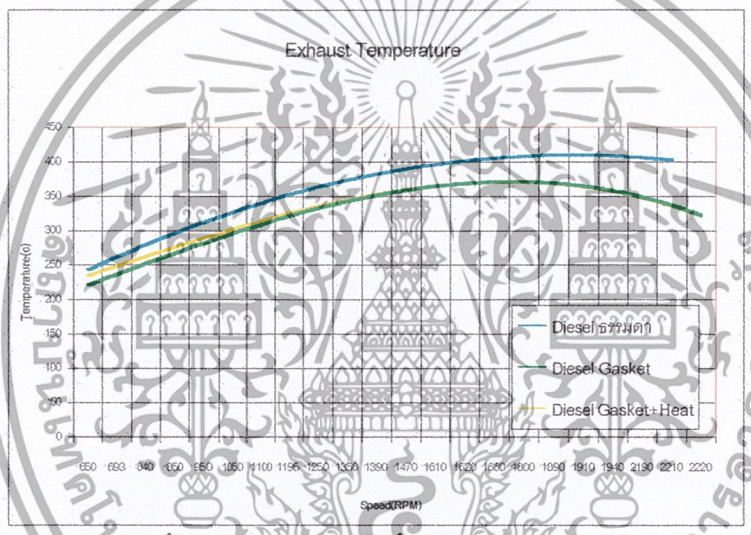


รูปที่ 4-24 กำลังของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ

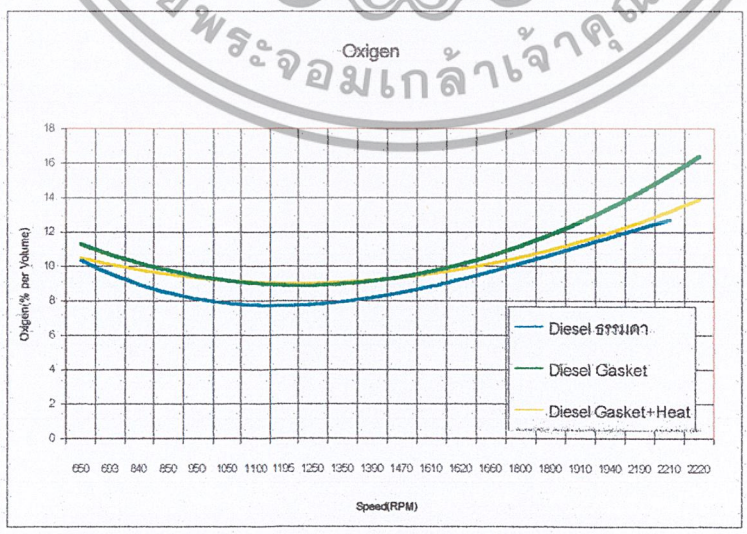
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-25 Specific Fuel Consumption ที่ความเร็วรอบต่างๆ

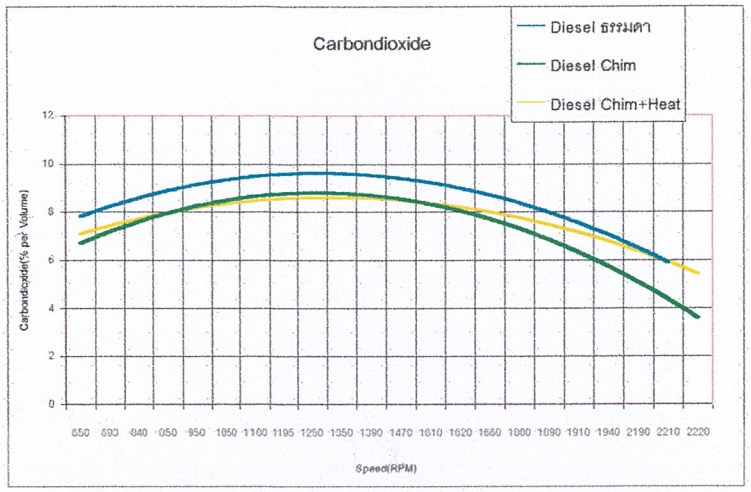


รูปที่ 4-26 อุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ

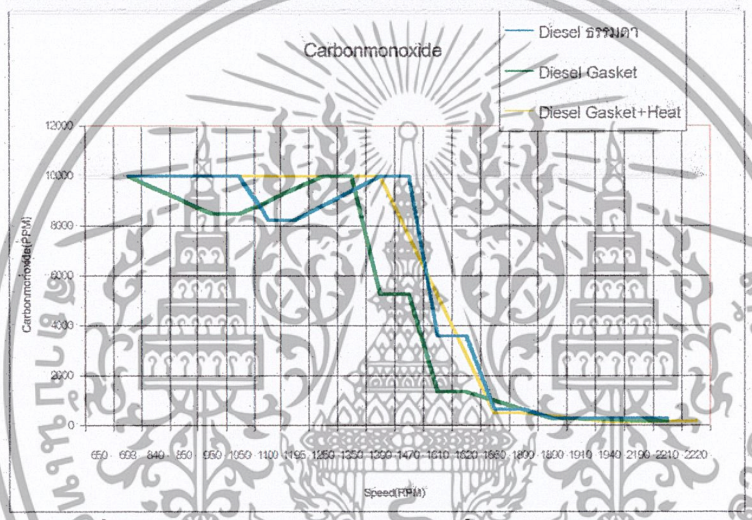


รูปที่ 4-27 ปริมาณก๊าซ O_2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

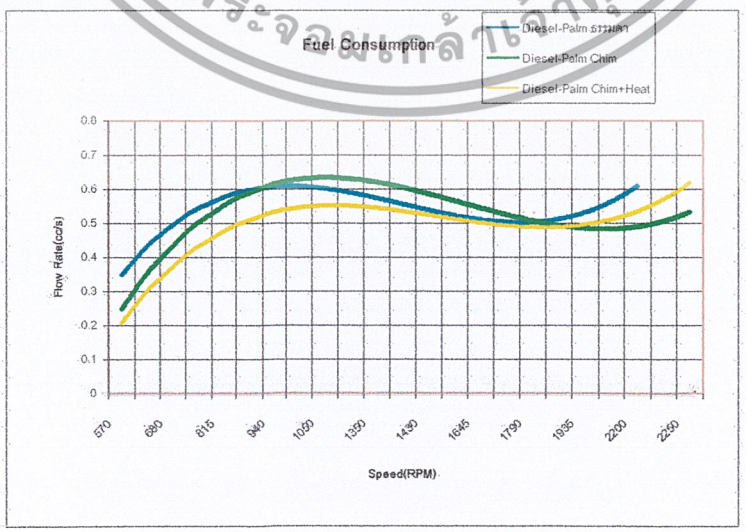


รูปที่ 4-28 ปริมาณก๊าซ CO_2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ



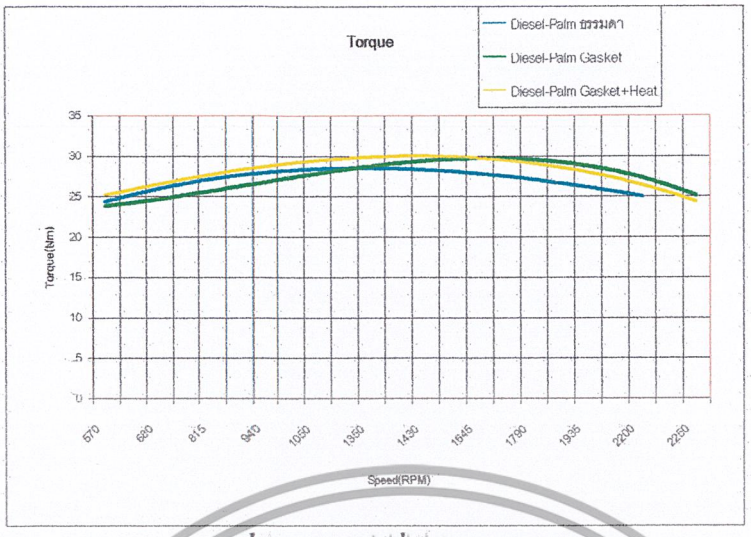
รูปที่ 4-29 ปริมาณก๊าซ CO ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ

- น้ำมันดีเซล-ปาล์ม

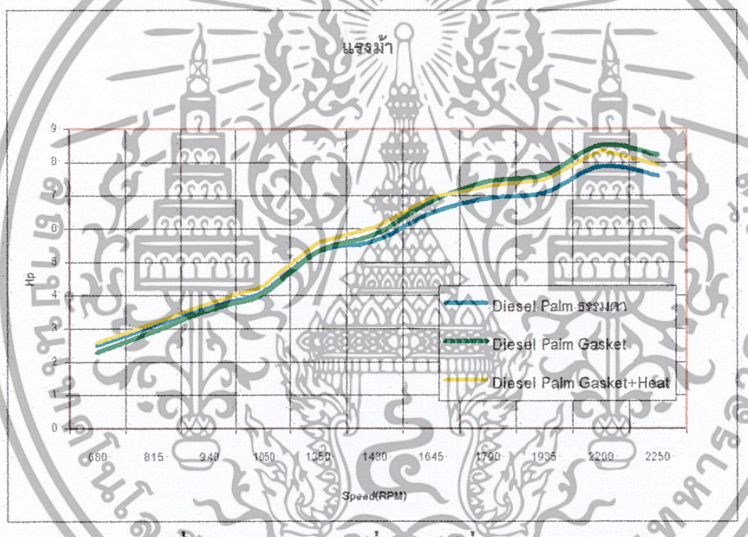


รูปที่ 4-30 อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่างๆ

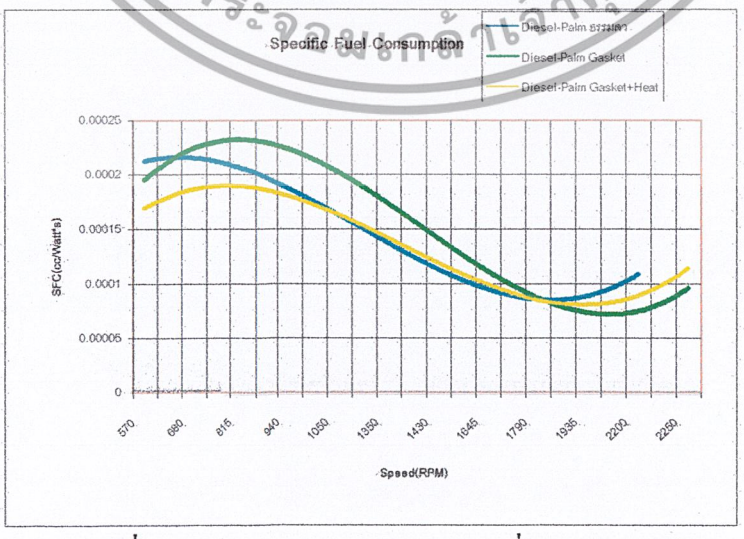
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-31 แรงบิดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

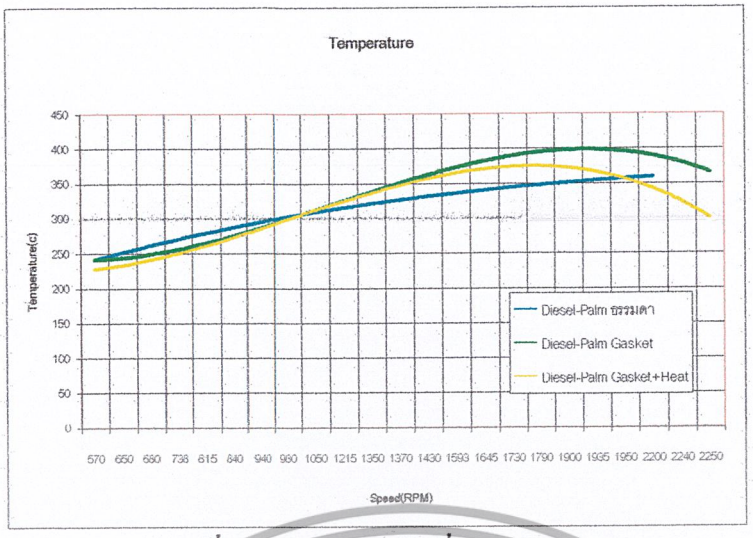


รูปที่ 4-32 กำลังของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ

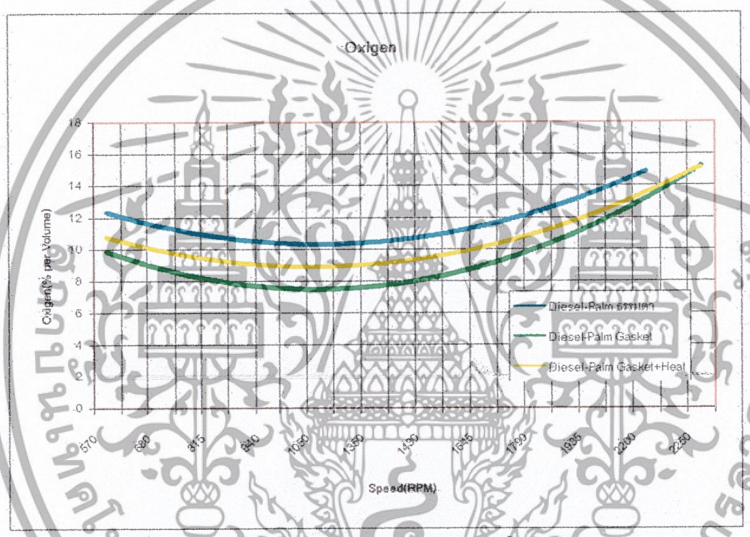


รูปที่ 4-33 Specific Fuel Consumption ที่ความเร็วรอบต่างๆ

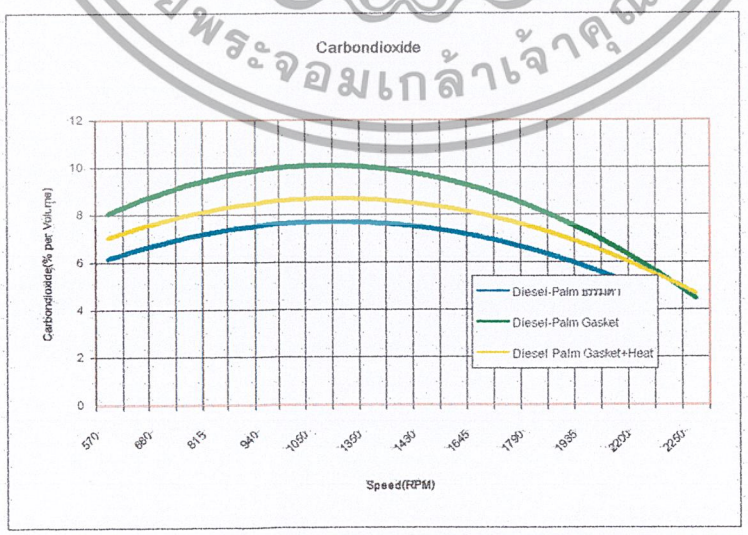
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-34 อุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ

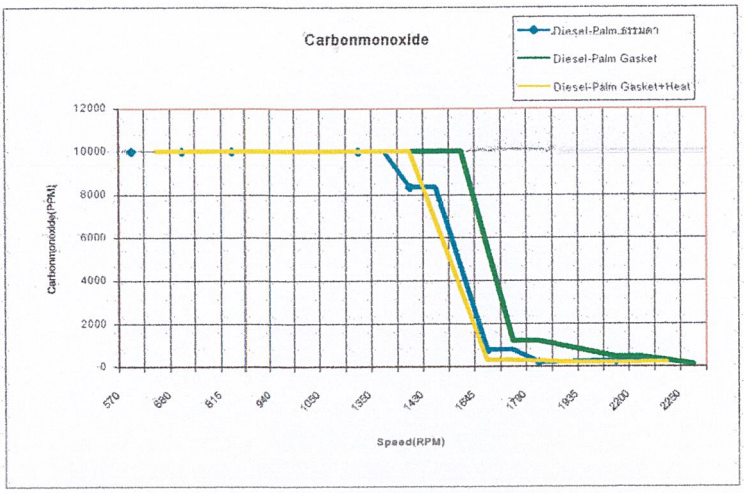


รูปที่ 4-35 ปริมาณก๊าซ O_2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ



รูปที่ 4-36 ปริมาณก๊าซ CO_2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ

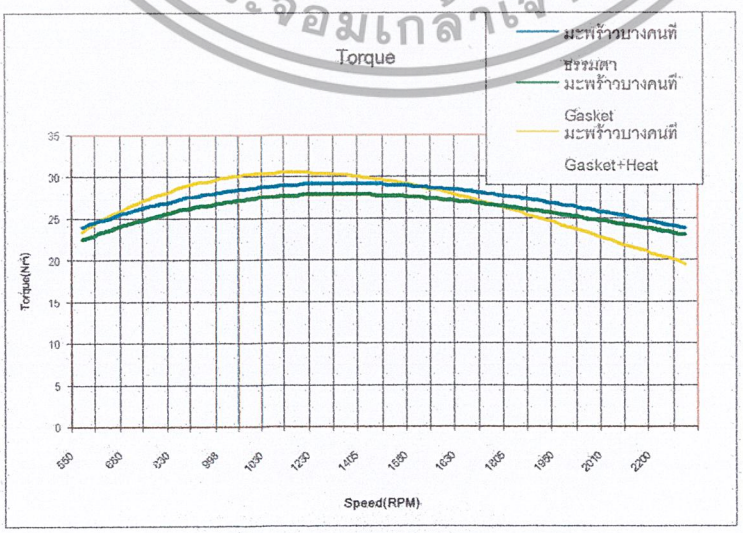
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-37 ปริมาณก๊าซ CO ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ

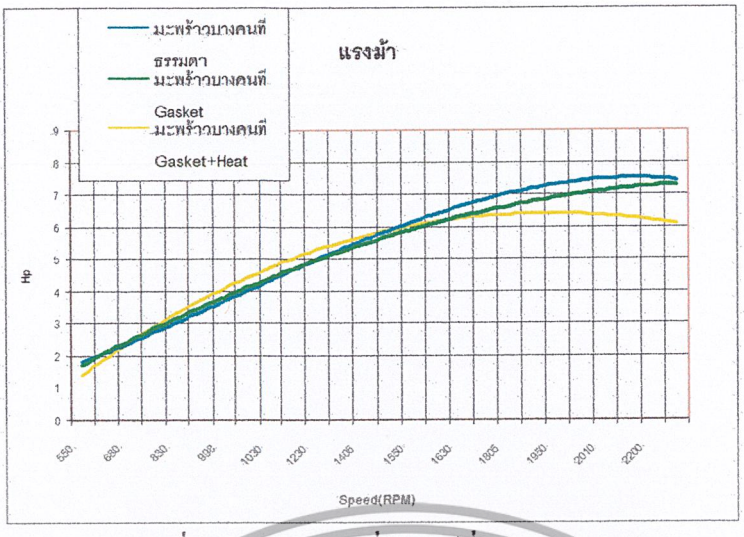
- น้ำมันดีเซล-มะพร้าว(บางคนที)

รูปที่ 4-38 อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่างๆ

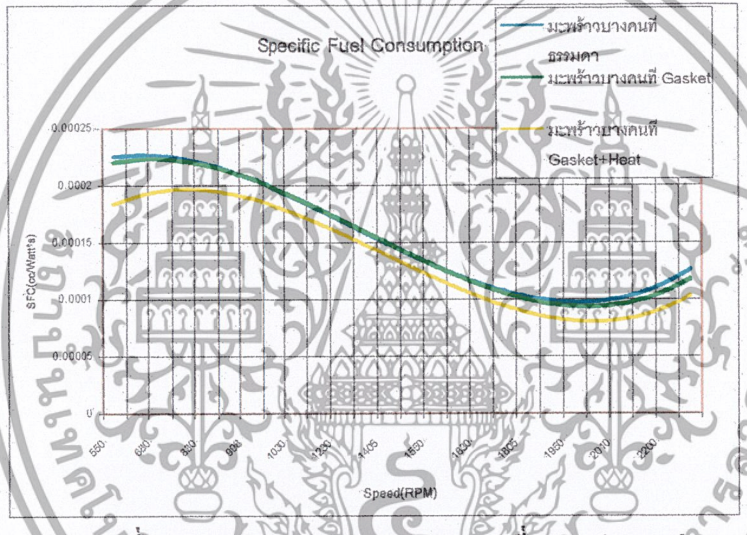


รูปที่ 4-39 แรงบิดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

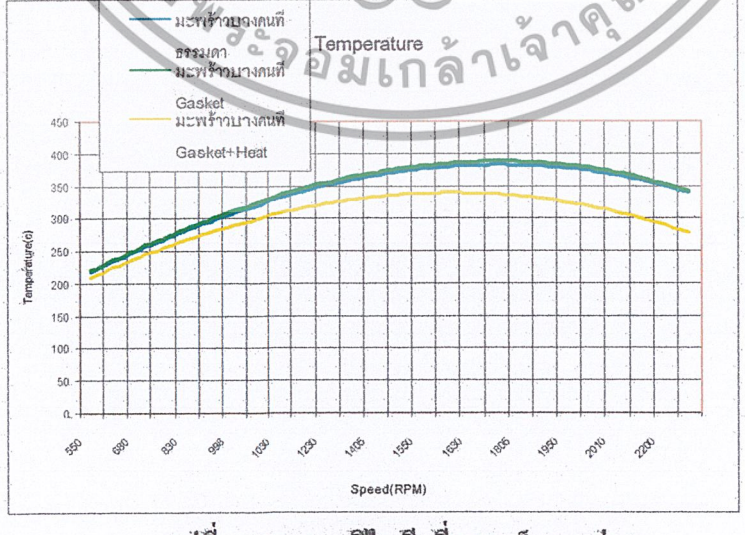
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-40 กำลังของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ

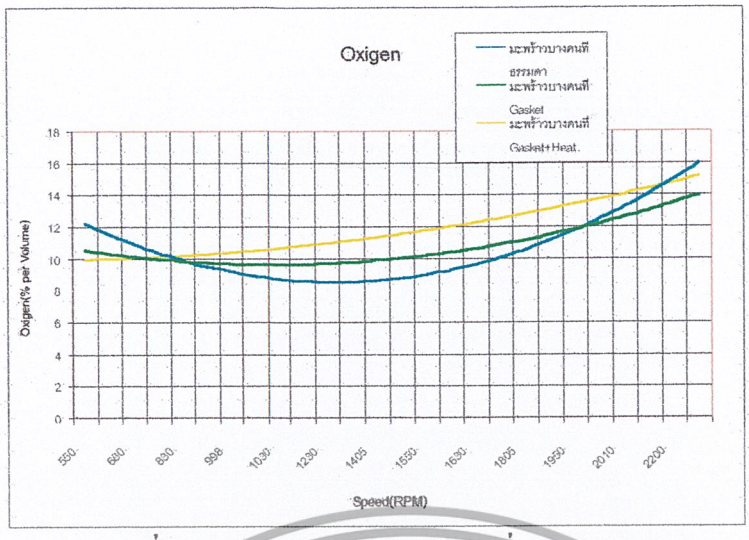


รูปที่ 4-41 Specific Fuel Consumption ที่ความเร็วรอบต่างๆ

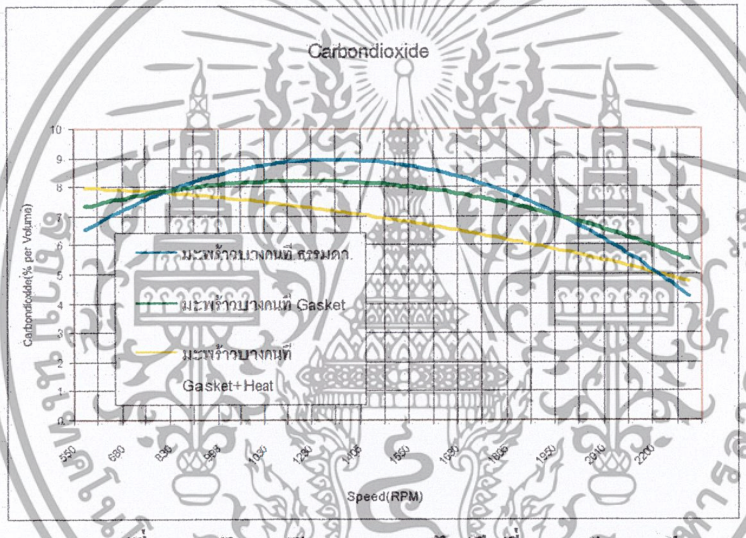


รูปที่ 4-42 อุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ

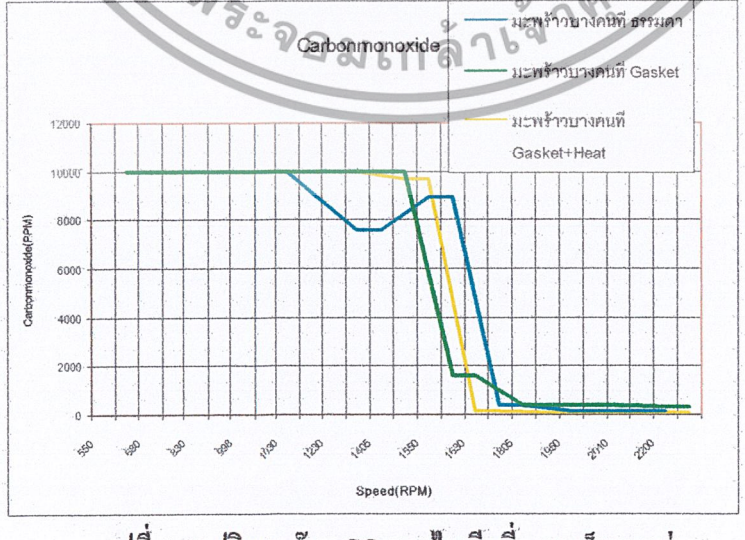
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-43 ปริมาณก๊าซ O_2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ



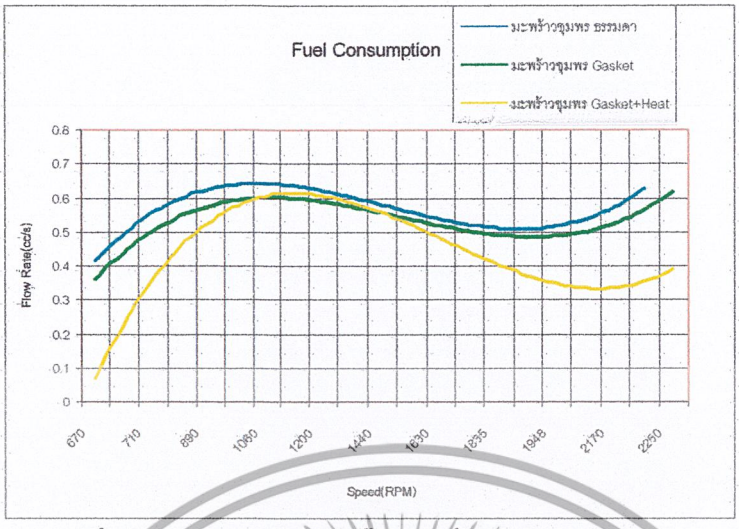
รูปที่ 4-44 ปริมาณก๊าซ CO_2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ



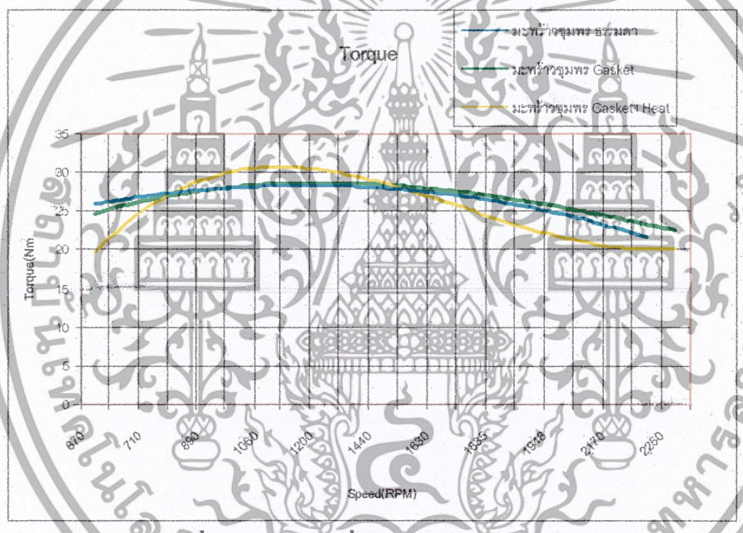
รูปที่ 4-45 ปริมาณก๊าซ CO ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

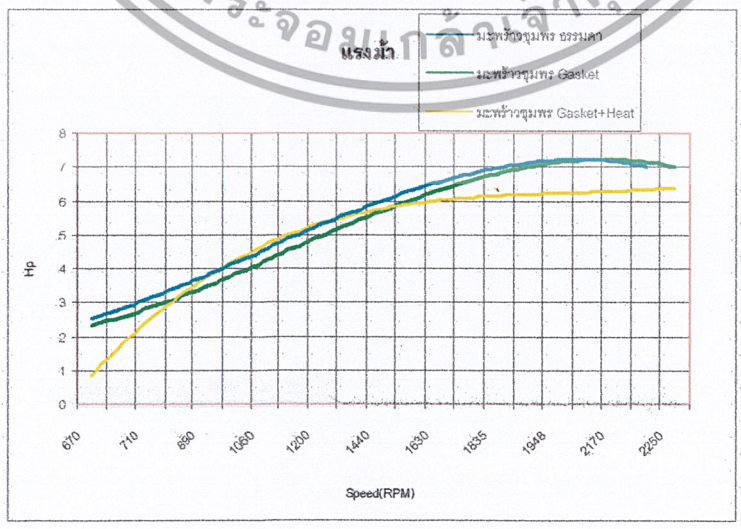
- น้ำมันดีเซล-มะพร้าว(ชุมพร)



รูปที่ 4-46 อัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่างๆ

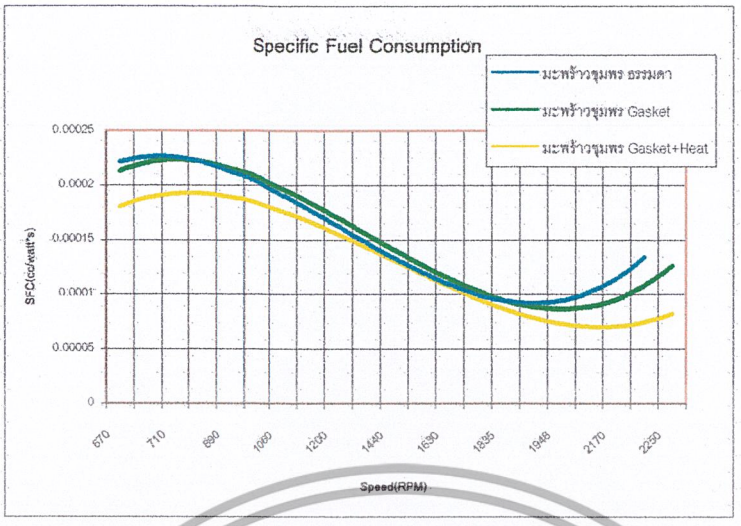


รูปที่ 4-47 แรงบิดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

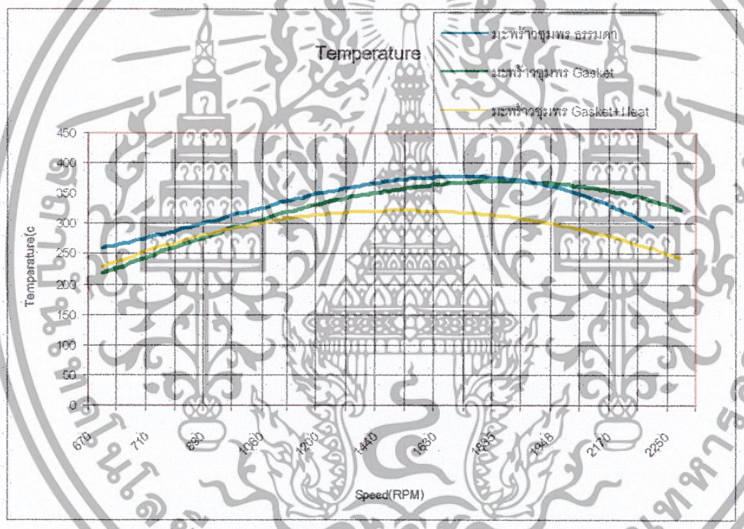


รูปที่ 4-48 กำลังของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ

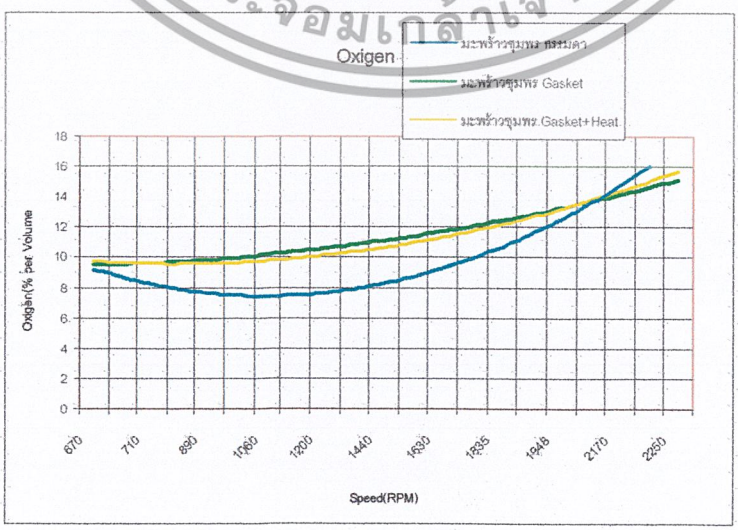
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-49 Specific Fuel Consumption ที่ความเร็วรอบต่างๆ

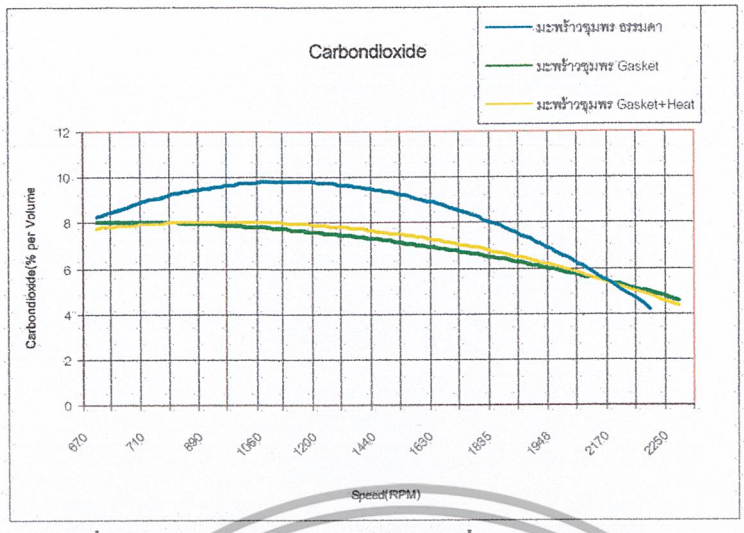


รูปที่ 4-50 อุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ

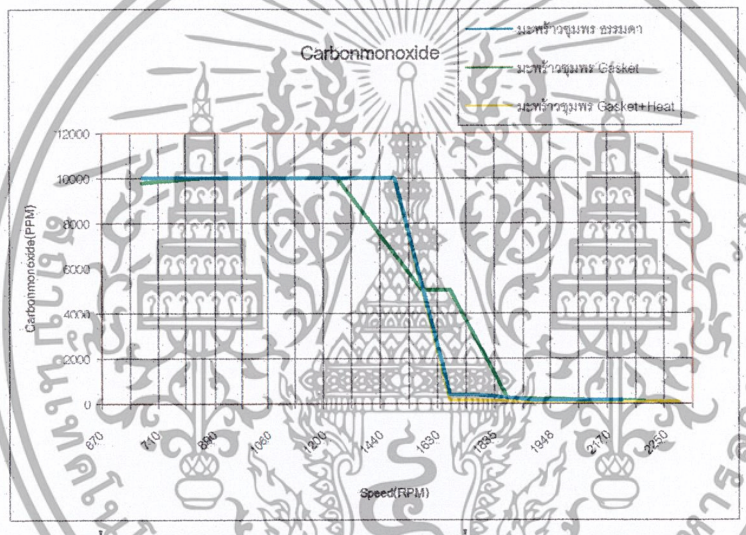


รูปที่ 4-51 ปริมาณก๊าซ O_2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-52 ปริมาณก๊าซ CO_2 ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ



รูปที่ 4-53 ปริมาณก๊าซ CO ของไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 การทดลองเมื่อเครื่องยนต์ไม่มีภาระ

จากผลการทดสอบน้ำมันแต่ละชนิด เราสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. ปริมาณก๊าซออกซิเจน(O_2) มีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นกับน้ำมันทั้ง 3 ชนิดตามรูปที่ 4-3 แต่น้ำมันดีเซลจะมีแนวโน้มการลดลงที่น้อยกว่า ซึ่งหมายความว่าที่ความเร็วรอบสูง น้ำมันดีเซลจะเผาไหม้ได้ดีกว่า

2. จากรูปที่ 4-4 และ 4-5 จะเห็นได้ว่าปริมาณก๊าซ CO_2 และ CO จะเพิ่มขึ้นแต่น้ำมันดีเซลจะมีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นที่น้อยกว่า เป็นเพราะ O_2 ที่ลดลงของน้ำมันผสมทั้งสองชนิดลดลงมาก ประกอบกับสูตรโมเลกุลของน้ำมันพืชนั้นมีออกซิเจนเป็นตัวประกอบอยู่ ด้วย(ดังรูปที่ 2-6) ทำให้ออกซิเจนนั้นมารวมตัวกับคาร์บอนในตอนจุดระเบิด ทำให้เกิดเป็นก๊าซ CO_2 และ CO มากกว่าน้ำมันดีเซล และจากสูตรโมเลกุลของน้ำมันพืช เมื่อสันดาปแล้วสามารถเกิด CO ได้ ทำให้ CO ในน้ำมันผสมสูงกว่าของดีเซล

3. จากรูปที่ 4-2 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของไอเสียจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น โดยน้ำมันทั้ง 3 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นการฉีดน้ำมันก็มากขึ้นและความเร็วของน้ำมันที่ออกจากหัวฉีดก็มากขึ้นด้วยทำให้การเป็นฝอยของน้ำมันมากขึ้นส่งผลให้การเผาไหม้ดีขึ้น เกิดความร้อนมากขึ้นทำให้อุณหภูมิไอเสียสูงขึ้นด้วย

4. จากรูปที่ 4-2 จะเห็นว่าอุณหภูมิไอเสียของน้ำมันผสมทั้ง ปาล์มและมะพร้าว มีค่าใกล้กัน หมายความว่าน้ำมันทั้ง 2 มีมวลโมเลกุลใกล้เคียงกัน แต่อาจจะแตกต่างกันตรงที่สูตรและพันธะในโมเลกุลนั้น

5. จากรูปที่ 4-1 จะเห็นว่าน้ำมันดีเซลจะมีอัตราการกินน้ำมันน้อยกว่าน้ำมันผสมทั้งสองชนิด เป็นเพราะว่าค่าความร้อนของน้ำมันผสมทั้งสองชนิดนั้นมีน้อยกว่าน้ำมันดีเซล ดังนั้น ถ้าความหนาแน่นเท่ากันจะต้องใช้น้ำมันผสมในปริมาตรที่มากกว่า แต่ในความจริงปริมาตรของน้ำมันผสมจะมากกว่าดีเซลอยู่แล้ว ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ที่จะใช้น้ำมันผสมในปริมาตรเท่ากับดีเซล ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของค่าความถ่วงจำเพาะ(S_g) ของน้ำมันทั้งสองคือ

- ถ้า S_g น้ำมันผสมสูงกว่าไม่มาก จะต้องใช้ปริมาตรน้ำมันผสมมากกว่า
- ถ้า S_g น้ำมันผสมสูงกว่ามาก จะใช้ปริมาตรน้ำมันผสมเท่ากันหรือน้อยกว่าปริมาตรดีเซล

แต่จากการทดสอง ผลที่ได้เป็นไปตามข้อแรก แสดงว่า S_g ของน้ำ

มันผสมสูงกว่าของดีเซลไม่มาก

6. อย่างไรก็ตาม จากตารางที่ 1 การใช้น้ำมันผสมหรือ Bio-diesel อาจมีผลระยะยาว ทั้งด้านคราบไขน้ำมัน และความหนืด สิ่งเหล่านี้อาจทำให้เครื่องยนต์เสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การทดลองเมื่อเครื่องยนต์มีภาระด้วย

5.2.1 วิเคราะห์ภาวะของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

1. อัตราการกินน้ำมัน

จากรูปที่ 4-22 พิจารณาเมื่อยังไม่ได้ปรับแต่งเครื่องยนต์ จะเห็นว่าที่ความเร็วรอบประมาณ 700 rpm อัตราการกินน้ำมันต่ำมากและจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นและถึงจุดสูงสุดที่ความเร็วรอบประมาณ 1200 rpm หลังจากนั้นจึงค่อย ๆ ลดลงจนถึงจุดต่ำสุดที่ความเร็วรอบประมาณ 1900 rpm หลังจากนั้นจึงเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย

อธิบายได้ว่า ที่ช่วงความเร็วรอบระหว่าง 700 rpm ถึง 1200 rpm แม้ governor พยายามจะควบคุมการจ่ายน้ำมันให้เหมาะสมกับภาระของเครื่องยนต์ซึ่งสูงมาก แต่เนื่องจากเครื่องยนต์มีความเร็วรอบต่ำเกินไป governor จึงไม่สามารถปล่อยน้ำมันในปริมาณที่มากได้ อัตราการกินน้ำมันจึงขึ้นอยู่กับความเร็วรอบ และเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นอัตราการกินน้ำมันก็จะมากขึ้น ในขณะเดียวกันกับที่ภาระของเครื่องยนต์ก็ลดลงด้วยและเมื่อถึงความเร็วรอบประมาณ 1200 rpm ซึ่งภาระของเครื่องยนต์ลดลงและความเร็วของเครื่องยนต์สูงพอที่ governor จะควบคุมการจ่ายน้ำมันให้เหมาะสมกับภาระของเครื่องยนต์ได้ อัตราการกินน้ำมันจึงเริ่มสัมพันธ์กับปริมาณภาระของเครื่องยนต์ โดยจะเห็นได้ว่าอัตราการกินน้ำมันลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณภาระของเครื่องยนต์ที่ลดลงเรื่อย ๆ เช่นกัน ในขณะที่ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจนถึงความเร็วรอบประมาณ 1900 rpm และช่วงความเร็วรอบประมาณ 1900 rpm ถึง 2200 rpm การจ่ายน้ำมันขึ้นอยู่กับทั้งภาระและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ถึงแม้ภาระที่ใส่ให้กับเครื่องยนต์จะลดลงแต่เนื่องจากช่วงนี้อุณหภูมิของเครื่องยนต์สูงมากทำให้มีความเสียดทานในกระบอกสูบเพิ่มขึ้นซึ่งทำให้ภาระโดยรวมของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อความเร็วมากกว่า 2200 rpm ซึ่งภาระที่ใส่ให้กับเครื่องยนต์มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับภาระที่เกิดจากความเสียดทานทำให้ภาระโดยรวมลดลงมาก governor จึงจ่ายน้ำมันปริมาณลดลง ทำให้อุณหภูมิและความเสียดทานลดลงมาก ส่งผลให้ภาระของเครื่องยนต์ยิ่งลดลงมาก และเมื่อภาระที่ใส่ให้เครื่องยนต์เป็นศูนย์อัตราการกินน้ำมันก็มีค่าน้อยที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับผลที่ได้จากการทดลองเมื่อยังไม่ได้ใส่ภาระที่ความเร็วรอบสูงสุด

2. ไอเสีย

จากรูปที่ 4-27 และ 4-28 พิจารณาเมื่อยังไม่ได้ปรับแต่งเครื่องยนต์ จะเห็นว่าช่วงความเร็วรอบ 700 rpm ถึง 1200 rpm ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้มีแนวโน้มค่อย ๆ ลดลงจนถึงจุดต่ำสุดที่ความเร็วรอบประมาณ 1200 rpm หลังจากนั้นจึงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยยิ่งความเร็วรอบสูงปริมาณออกซิเจนยิ่งเหลือมากและมากกว่าช่วงความเร็วรอบต่ำด้วย ซึ่งจะผกผันกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และจากรูปที่ 29 จะเห็นว่าที่ความเร็วรอบต่ำปริมาณคาร์บอนมอนออกไซด์มีแนวโน้มสูงมากและเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ปริมาณคาร์บอนมอนออกไซด์ก็มีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ อย่างรวดเร็ว จนถึงความเร็วรอบประมาณ 1600 rpm ซึ่งมีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ต่ำมากหลังจากนั้นก๊าซปริมาณคาร์บอนมอนออกไซด์ก็ลดลงอีกแต่อัตราการลดลงไม่มากเหมือนช่วงแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการปฏิกิริยาการเผาไหม้

$2C + 2O_2 = 2CO_2$

$4H + O_2 = 2H_2O$

เมื่อมี O_2 ไม่พอจะเกิด CO ดังสมการ

$2C + O_2 = 2CO$

อธิบายได้ว่าที่ความเร็วรอบประมาณ 700 rpm ถึง 1600 rpm ในช่วงเริ่มต้น เนื่องจากเครื่องยนต์มีความเร็วรอบต่ำ และความเร็วของเชื้อเพลิงที่ออกจากหัวฉีดแปรผันโดยตรงกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เมื่อเครื่องยนต์มีความเร็วรอบต่ำความเร็วของเชื้อเพลิงที่ออกจากหัวฉีดก็ต่ำทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงเกิดเป็นฝอยได้ไม่ดีนัก นอกจากนี้ความปั่นป่วนในห้องเผาไหม้ก็ไม่มาก ทำให้การผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนเกิดขึ้นได้น้อยและช้า ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ โดยแนวโน้มการเผาไหม้จะดีขึ้นเมื่อความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการผสมกันระหว่างน้ำมันกับออกซิเจนเกิดได้ไม่ดี จึงเกิดภาวะเสมือนกับว่ามีอากาศไม่เพียงพอ ทำให้ผลของปฏิกิริยาเกิดก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ และยังมีเชื้อเพลิงบางส่วนที่ไม่ได้เผาไหม้อยู่ในรูปของไฮโดรคาร์บอนปะปนออกมากับไอเสียด้วย ซึ่งสังเกตได้โดยไอเสียจะมีเขม่าสีดำปะปนออกมาด้วย ยิ่งที่ความเร็วรอบต่ำปริมาณควันดำยิ่งมากและค่อย ๆ ลดลงเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น และช่วงความเร็วรอบตั้งแต่ 1200 rpm จนถึงความเร็วรอบสูงสุด จะเห็นว่ามีปริมาณก๊าซออกซิเจนเหลือจากการเผาไหม้มากขึ้นเรื่อย ๆ และที่ความเร็วรอบสูงกว่า 1600 rpm มีออกซิเจนมากกว่าช่วงความเร็วต่ำอีกด้วย ซึ่งตรงข้ามกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงเรื่อย ๆ ในขณะที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ก็ลดลงเรื่อย ๆ และมีน้อยมากเมื่อความเร็วรอบสูงกว่า 1600 rpm และจากการสังเกตของผู้ทดลองพบว่ามีควันดำน้อยมากจนเกือบไม่มีเลย แสดงว่าช่วงความเร็วรอบมากกว่า 1600 rpm นี้มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยเหตุที่ออกซิเจนเหลือมากกว่าช่วงความเร็วรอบต่ำ เนื่องจาก มีออกซิเจนที่ไปทำปฏิกิริยาแล้วเกิดเป็นคาร์บอนมอนออกไซด์น้อยมาก

3. อุณหภูมิ

จากรูปที่ 4-18 จะเห็นว่าอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบจนถึงความเร็วรอบประมาณ 1600 rpm อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลง อธิบายได้ว่าช่วงก่อนถึงความเร็ว 1200 rpm อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามการเผาไหม้ที่ดีขึ้นเรื่อย ๆ ช่วง 1200 rpm ถึง 1600 rpm อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเผาไหม้ที่ดีขึ้นและอัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงสูงขึ้น(ส่วนผสมบาง) เมื่อความเร็วรอบสูงกว่า 1600 rpm อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลดลงแม้ว่าจะเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์เนื่องจากปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ลดลงและอุณหภูมิจะลดลงตามปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่ลดลงจนถึงความเร็วรอบสูงสุด

4. แรงบิด

จากรูปที่ 4-23 พิจารณาเมื่อยังไม่ได้ปรับแต่งเครื่องยนต์ จะเห็นว่าแรงบิดสูงสุดเกิดขึ้นที่ความเร็วรอบประมาณ 1300 rpm เมื่อดูจากรูปที่ 4-28 จะเห็นว่าที่ความเร็วรอบนี้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดแสดงว่ามีการเผาไหม้เชื้อเพลิงมากที่สุด ประกอบกับที่ความเร็วรอบนี้อุณหภูมิยังไม่สูงแรงเสียดทานจึงยังไม่มากนัก ทำให้ได้แรงบิดสูงสุด

5. แรงม้า

จากรูปที่ 4-16 พิจารณาแรงม้าที่ได้จากน้ำมันเมทิลเอสเตอร์จะเห็นว่าเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นแรงม้าของเครื่องยนต์ก็จะสูงขึ้นด้วยและถึงจุดสูงสุดที่ความเร็วรอบประมาณ 2200 rpm หลังจากนั้นแรงม้าก็จะลดลง อธิบายได้ว่า

จาก $P = T\omega$

เมื่อ P = Power

T = Torque

ω = ความเร็วเชิงมุม

ที่ความเร็วรอบต่ำ แรงม้าจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบและแรงบิด เนื่องมาจากการเผาไหม้ที่ดีขึ้นเรื่อย ๆ และที่ความเร็วรอบ ประมาณ 1900 rpm อัตราการเพิ่มขึ้นเริ่มลดลงเนื่องมาจากแรงบิดที่ลดลงเพราะอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นด้วยทำให้แรงเสียดทานของแหวนลูกสูบมากขึ้น โดยแรงม้าสูงสุดอยู่ที่ความเร็วรอบประมาณ 2200 rpm และเมื่อความเร็วรอบสูงกว่า 2200 rpm อัตราการเพิ่มขึ้นของแรงเสียดทานสูงกว่าการเพิ่มขึ้นของแรงม้าของเครื่องยนต์ กำลังที่ได้จึงลดลง

6. SFC

จากรูปที่ 4-25 พิจารณาเมื่อยังไม่ได้ปรับแต่งเครื่องยนต์จะเห็นว่าค่า SFC(อัตราการกินน้ำมันต่อกำลังของเครื่องยนต์)ต่ำสุดที่ความเร็วรอบประมาณ 1900 rpm เนื่องจากที่ความเร็วรอบนี้เครื่องยนต์ให้กำลังสูง(ถึงแม้จะไม่สูงสุด)ขณะเดียวกันอัตราการกินน้ำมันก็น้อยด้วย(ถึงแม้จะไม่น้อยที่สุด)แสดงว่า ณ จุดนี้เครื่องยนต์ใช้เชื้อเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

5.2.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง

5.2.2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงระหว่างน้ำมันดีเซลธรรมดาและน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันพืช (จากรูปที่ 4-6 ถึงรูปที่ 4-13)

เมื่อพิจารณาอัตราการกินพบว่านทั้งน้ำมันดีเซลธรรมดาและน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันพืชทั้งสามชนิดมีอัตราการกินน้ำมันใกล้เคียงกัน โดยน้ำมันดีเซลปาล์มมีอัตราการสิ้นเปลืองน้อยที่สุด น้ำมันดีเซลมะพร้าวบางคนที่มีอัตราการสิ้นเปลืองมากกว่าดีเซลเล็กน้อย ส่วนน้ำมันดีเซลมะพร้าวชุมพรมีอัตราการกินน้ำมันเกือบเท่ากันกับน้ำมันดีเซลธรรมดา เมื่อพิจารณาการเผาไหม้จากปริมาณก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์พบว่าน้ำมันดีเซลปาล์มมีการเผาไหม้น้อยกว่าน้ำมันชนิดอื่น ๆ โดยน้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลมะพร้าวชุมพรมีการเผาไหม้ใกล้เคียงกัน ส่วนน้ำมันดีเซลมะพร้าวบางคนทีมีการเผาไหม้ดีปานกลาง เมื่อพิจารณาก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์พบว่า ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลปาล์มมีค่าลดลงช้ากว่าน้ำมันชนิดอื่น ๆ แสดงกว่าการเผาไหม้น้ำมันดีเซลปาล์มมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวโน้มไม่สมบูรณ์มากกว่าน้ำมันชนิดอื่น เมื่อพิจารณาอุณหภูมิไอเสียพบว่าอุณหภูมิที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลปาล์มมีค่าต่ำกว่าน้ำมันผสมชนิดอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น แต่เมื่อพิจารณาที่แรงบิดกลับพบว่าแรงบิดที่ได้จากน้ำมันปาล์มไม่ได้ต่ำตามการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นน้อยกว่าเลย อธิบายได้ว่าเนื่องจากค่าความร้อนของน้ำมันดีเซลปาล์มไม่ได้ต่ำกว่าดีเซลธรรมดามากนักแต่ผลจากการที่อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ต่ำกว่าน้ำมันชนิดอื่นมาก ทำให้ความเสียดทานที่เกิดขึ้นกับลูกสูบน้อยกว่ามากเช่นกัน ดังนั้นพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้จึงถูกใช้ไปได้อย่างเต็มที่ ทำให้แรงบิดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ส่วนน้ำมันดีเซลมะพร้าวให้แรงบิดสูงกว่าน้ำมันดีเซลเมื่อความเร็วรอบต่ำกว่า 1500 rpm เนื่องจากมีการเผาไหม้มากกว่าน้ำมันดีเซลและปริมาณเชื้อเพลิงมากกว่าด้วยหลังจากนั้นแรงบิดลดลงอย่างมากและต่ำกว่าน้ำมันดีเซลธรรมดาเนื่องจาก ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ใกล้เคียงกันกับดีเซลธรรมดาแต่มีการเผาไหม้น้อยกว่าซึ่งมีสาเหตุมาจากความหนืดที่มากกว่าในขณะที่อากาศปั่นป่วนเท่า ๆ กันทำให้การผสมกันระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงไม่ดีส่งผลให้ปริมาณเชื้อเพลิงที่เผาไหม้หมดมีน้อยกว่าแรงบิดจึงลดลง

เมื่อพิจารณาแรงม้าของเครื่องยนต์พบว่าแรงม้าที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซลปาล์มและน้ำมันดีเซลธรรมดาเป็นเชื้อเพลิงมีค่าใกล้เคียงกันซึ่งสอดคล้องกับแรงบิด โดยแรงม้าสูงสุดอยู่ที่ความเร็วรอบประมาณ 2200 rpm แสดงว่าน้ำมันดีเซลปาล์มมีข้อดีคือประหยัดน้ำมันมากกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อดูที่กราฟเปรียบเทียบ SFC ส่วนน้ำมันดีเซลมะพร้าวทั้งสองชนิดคือจากบางคนทีและชุมพรนั้นที่ความเร็วต่ำกว่า 1800 rpm ให้แรงม้าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลแต่ที่ความเร็วรอบมากกว่า 1800 rpm แรงม้าเพิ่มขึ้นไม่มากนัก โดยแรงม้าสูงสุดต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 1 แรงม้าและให้แรงม้าสูงสุดที่ความเร็วรอบประมาณ 2000 rpm และ SFC ที่ความเร็วรอบต่ำกว่า 1800 rpm ก็มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อยส่วนที่ความเร็วรอบสูงกว่า 1800 rpm SFC สูงกว่าดีเซล ดังนั้นถ้าไม่พิจารณาผลกระทบระยาวซึ่งในการทดลองนี้ไม่ได้ทำการทดสอบ จะได้ว่าน้ำมันดีเซลมะพร้าวเหมาะที่จะนำมาใช้แทนน้ำมันดีเซลเมื่อเครื่องยนต์ใช้งานที่ความเร็วรอบต่ำกว่า 1800 rpm เนื่องจากราคาของน้ำมันชนิดนี้ถูกกว่าน้ำมันดีเซล

5.2.2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงระหว่างน้ำมันดีเซลธรรมดาและน้ำมันเมทิลเอสเตอร์ (จากรูปที่ 4-14 ถึงรูปที่ 4-21)

เมื่อพิจารณาที่อัตราการกินน้ำมันจะเห็นว่าเมื่อใช้เมทิลเอสเตอร์ชนิดที่ 1 อัตราการสิ้นเปลืองต่ำกว่าน้ำมันเมธิลเอสเตอร์ชนิดที่ 2 และน้ำมันดีเซล ส่วนน้ำมันเมทิลเอสเตอร์ชนิดที่สองมีอัตราการสิ้นเปลืองใกล้เคียงกับเมื่อใช้ดีเซลธรรมดา เมื่อพิจารณาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์พบว่าน้ำมันเมธิลเอสเตอร์ชนิดที่ 2 มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้มากกว่าชนิดที่ 1 เล็กน้อย ส่วนน้ำมันดีเซลให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าเอสเตอร์ทั้งสองอย่างเห็นได้ชัด ส่วนก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ที่ความเร็วรอบเดียวกันที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมันเมทิลเอสเตอร์ต่ำกว่าที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซล เมื่อพิจารณาอุณหภูมิไอเสียพบว่า ไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมันทั้งสามชนิดมีอุณหภูมิใกล้เคียงกันยกเว้นที่ความเร็วรอบสูง ๆ น้ำมันดีเซลธรรมดาให้อุณหภูมิไอเสียสูงกว่าเล็กน้อย อธิบายได้ว่าจากการที่น้ำมันเมธิลเอสเตอร์ชนิดที่ 1 มีอัตราการเผาไหม้น้อยกว่าน้ำมันดีเซลเนื่องจากที่ความเร็วรอบต่ำอุณหภูมิของไอเสียที่ออกมาสูงพอ ๆ กับที่ได้จากน้ำมันดีเซลทั้ง ๆ ที่เผาไหม้น้อยกว่า แสดงว่าการเผาไหม้ให้พลังงานกสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าน้ำมันดีเซลที่ความเร็วรอบเดียวกันซึ่งสอดคล้องกับปริมาณคาร์บอนมอนออกไซด์ที่มีน้อยกว่าและเผาไหม้ดีขึ้นเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น แต่ทว่าที่รอบสูงอุณหภูมิต่ำกว่าดีเซลเล็กน้อยเนื่องจากปริมาณเชื้อเพลิงที่เผาไหม้น้อยกว่าดีเซล ส่วนน้ำมันเอสเตอร์ชนิดที่สองจะเห็นว่าอัตราการกินน้ำมันใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่การเผาไหม้จริง ๆ เกิดขึ้นไม่มากนักซึ่งจะเห็นได้จากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำกว่าดีเซล แต่เมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบต่ำกว่า 1800 rpm จะเห็นว่าอุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกับที่เกิดจากน้ำมันดีเซลทั้ง ๆ ที่เผาไหม้น้อยกว่าแสดงว่าน้ำมันเอสเตอร์ชนิดนี้มีค่าความร้อนสูงกว่าดีเซล

เมื่อพิจารณาแรงบิดพบว่าน้ำมันเมธิลเอสเตอร์ชนิดที่ 1 ให้แรงบิดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลทั้ง ๆ ที่อัตราการกินน้ำมันน้อยกว่าแสดงว่าน้ำมันเมธิลเอสเตอร์ชนิดที่ 1 มีค่าความร้อนสุงกว่าดีเซล ส่วนน้ำมันเมธิลเอสเตอร์ชนิดที่ 2 มีอัตราการกินน้ำมันใกล้เคียงกับดีเซลแต่ที่ความเร็วรอบต่ำกว่า 1800 rpm ให้แรงบิดสูงกว่าอย่างเห็นได้ชัดทั้ง ๆ ที่การเผาไหม่เกิดขึ้นใกล้เคียงกับน้ำมันเมธิลเอสเตอร์ชนิดที่ 1 แสดงว่าน้ำมันเมธิลเอสเตอร์ชนิดที่ 2 นี้ให้ค่าความร้อนสูงกว่าทั้งน้ำมันเมธิลเอสเตอร์ชนิดที่ 1 และดีเซลธรรมดาแต่ที่ความเร็วรอบสูงกว่า 1800 แรงบิดกลับลดลงอย่างรวดเร็วมาอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับอาจเป็นเพราะน้ำมันที่ทำการทดสอบนั้นพึ่งจะนำออกมาจากห้องทดลองทันทีหลังการผลิตโดยไม่มีการทิ้งไว้ให้อยู่ตัวก่อนซึ่งความหนืดของน้ำมันน้อยมากทำให้เมื่อเครื่องทำงานที่ความเร็วรอบสูงน้ำมันถูกฉีดเป็นฝอยละอองขนาดเล็กมากทำให้เกิดการระเหยตัวเร็วเกินไป ฝอยละอองแม้จะมีความละเอียดดีแต่พุ่งตัวไปได้ไม่ไกลก็จะทำให้อัตราการการเผาไหม้ลดลงแต่เนื่องจากค่าความร้อนของน้ำมันที่สูงทำให้แรงบิดไม่ลดลงมากนัก

เมื่อพิจารณาแรงม้าของเครื่องยนต์จะเห็นว่าน้ำมันเมธิลเอสเตอร์ชนิดที่ 1 และดีเซลธรรมดาให้ค่าแรงม้าใกล้เคียงกันซึ่งสอดคล้องกับแรงบิด ส่วนน้ำมันเมธิลเอสเตอร์ชนิดที่ 2 จะให้แรงม้าสูงกว่าในช่วงที่ความเร็วรอบต่ำกว่า 1800 rpm และเมื่อความเร็วรอบสูงกว่า 1800 rpm จะให้แรงม้าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลซึ่งสัมพันธ์กับแรงบิดที่ได้ อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าที่ความเร็วรอบต่ำถึงปานกลาง น้ำมันเมธิลเอสเตอร์ให้ค่า SFC ต่ำกว่าดีเซลส่วนที่ความเร็วรอบสูงค่า SFC สำหรับน้ำมันทั้งสามชนิดใกล้เคียงกัน

5.2.3 วิเคราะห์ผลของการปรับแต่งเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันพืชแต่ละชนิดเป็นเชื้อเพลิง

5.2.3.1 ดีเซลธรรมดา (จากรูปที่ 4-22 ถึงรูปที่ 4-29)

1. เมื่อปรับองศาการฉีดน้ำมันให้เริ่มฉีดเร็วกว่าปกติ(เทียบกับเมื่อยังไม่ได้ปรับแต่งเครื่องยนต์)

- เมื่อพิจารณาอัตราการกินน้ำมันและ SFC พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับเมื่อยังไม่ปรับแต่งเครื่อง

- เมื่อพิจารณาก๊าซไอเสียพบว่าในไอเสียมีออกซิเจนมากขึ้นและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์น้อยลงเมื่อเทียบกับยังไม่ปรับแต่งเครื่องแสดงว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงน้อยลง นอกจากนั้นปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ที่ความเร็วรอบเดียวกันก็น้อยกว่าด้วย

- เมื่อพิจารณาอุณหภูมิไอเสียพบว่าน้อยกว่าก่อนปรับแต่งเครื่องเนื่องจากการเผาไหม้ที่น้อยลงทำให้เกิดความเสียดทานน้อยลงและเมื่อพิจารณาแรงบิดพบว่าที่ความเร็วรอบต่ำมีค่าใกล้เคียงก่อนปรับองศาการฉีดแต่ที่ความเร็ว 1300 rpm ถึง 2200 rpm มีแรงบิดสูงขึ้นเนื่องจากแรงเสียดทานที่ลดลงมากและเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วสูงขึ้น แรงบิดลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการเผาไหม้เกิดขึ้นน้อยกว่าเมื่อยังไม่ได้ปรับองศาการฉีด

- เมื่อพิจารณาแรงม้าพบว่าช่วงความเร็วต่ำถึง 1500 rpm กำลังของเครื่องยนต์น้อยกว่าเมื่อยังไม่ได้ปรับแต่ง แต่ช่วงความเร็ว 1500 rpm ถึง 2200 rpm ให้กำลังสูงกว่าเนื่องจากแรงบิดที่สูงกว่าที่ความเร็วมากกว่า 2200 rpm กำลังของเครื่องยนต์ต่ำกว่าเนื่องจากแรงบิดที่ลดลงมาก โดยกำลังสูงสุดเกิดขึ้นที่ประมาณ 2200 rpm ซึ่งต่ำกว่าเมื่อยังไม่ได้ปรับแต่งเครื่องเล็กน้อย

- ข้อดีของการเริ่มฉีดเร็วขึ้นของน้ำมันดีเซลธรรมดาคือ มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนออกไซด์ลดลง แรงบิดและกำลังสูงกว่าในช่วงความเร็วรอบใช้งาน ความเสียดทานภายในห้องเผาไหม้ลดลงทำให้การสึกหรอลดลง

- ข้อเสียของการเริ่มฉีดเร็วขึ้นของน้ำมันดีเซลธรรมดาคือ ที่ภาระมาก ๆ เครื่องยนต์มีกำลังน้อยกว่าและกำลังสูงสุดต่ำกว่าเมื่อยังไม่ปรับแต่ง

2. เมื่อปรับองศาการฉีดน้ำมันให้เริ่มฉีดเร็วกว่าปกติและมีการอุ่นน้ำมันก่อนด้วย (เปรียบเทียบกับการปรับองศาการฉีดเพียงอย่างเดียว)

- อัตราการกินน้ำมันและ SFC ลดลง

- ออกซิเจนและ คาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณใกล้เคียงกับเมื่อยังไม่มีการอุ่นน้ำมัน ยกเว้นที่ความเร็วรอบสูงกว่า 1600 rpm

- คาร์บอนมอนออกไซด์เพิ่มขึ้น

- อุณหภูมิไอเสียใกล้เคียงกัน

- แรงบิดสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับเมื่อยังไม่ได้ปรับแต่งเครื่องและสูงกว่าการปรับองศาการฉีดเพียงอย่างเดียวเกือบทุกความเร็วรอบ

- กำลังของเครื่องยนต์สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องมาจากแรงบิดที่เพิ่มขึ้น

- ผลจากการปรับแต่งทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพดีขึ้นทั้งอัตราการกินน้ำมันที่ลดลงและกำลังที่เพิ่มขึ้น

5.2.3.2 ดีเซลปาล์มจาก ปตท. (จากรูปที่ 4-30 ถึงรูปที่ 4-37)

1. เมื่อปรับองศาการฉีดน้ำมันให้เริ่มฉีดเร็วกว่าปกติ(เทียบกับเมื่อยังไม่ได้ปรับแต่งเครื่องยนต์)

- ช่วงความเร็วต่ำอัตราการกินน้ำมันน้อยกว่า,ช่วงความเร็วปานกลางอัตราการกินน้ำมันมากกว่าช่วงความเร็วสูงอัตราการกินน้ำมันน้อยกว่าโดยรวมแล้วประหยัดกว่า

- ช่วงความเร็วน้อยกว่า 1900 rpm SFC มากกว่า,ช่วงความเร็วมากกว่า 1900 rpm SFC น้อยกว่า SFC ต่ำสุดในขณะที่ให้กำลังสูงสุด จึงคุ้มค่ากว่า

- ก๊าซออกซิเจนในไอเสียมีน้อยกว่า,ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีมากกว่า,ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์มีมากกว่า อีกทั้งอุณหภูมิไอเสียสูงกว่า,แสดงว่าอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงสูงขึ้น

- ก่อน 1400 rpm แรงบิดต่ำกว่า ,หลัง 1400 rpm แรงบิดสูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่ความเร็วรอบต่ำกว่า 1400 rpm แรงม้าใกล้เคียงกัน แต่ที่ความเร็วรอบสูงกว่า 1400 rpm แรงม้าสูงกว่าเมื่อยังไม่ปรับแต่ง

- ที่ความเร็วรอบน้อยกว่า 1400 rpm การปรับองศาการฉีดน้ำมันไม่ค่อยมีผลมากนักเนื่องจากฝอยน้ำมันมีเวลามากพอที่จะรวมตัวกับอากาศใกล้เคียงกันกับเมื่อยังไม่ได้ปรับแต่งเนื่องจากความเร็วของน้ำมันที่ออกจากหัวฉีดต่ำและการไหลวนของอากาศน้อยกว่าที่ความเร็วรอบสูง แต่เมื่อความเร็วสูงขึ้นการปรับองศาการฉีดน้ำมันให้เร็วขึ้นทำให้น้ำมันมีเวลานานกว่าในการผสมกับอากาศที่ปั่นป่วนกว่าทำให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงเกิดได้ดีขึ้น

2. เมื่อปรับองศาการฉีดน้ำมันให้เริ่มฉีดเร็วกว่าปกติและมีการอุ่นน้ำมันก่อนด้วย(เปรียบเทียบกับการปรับองศาการฉีดเพียงอย่างเดียว)

- อัตราการกินน้ำมันและ SFC ลดลงแต่จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วมากกว่า 1900 rpm แต่น้อยกว่าเมื่อยังไม่ได้ปรับแต่งเครื่อง

- ก๊าซออกซิเจนเหลือมากขึ้นแต่น้อยกว่าเมื่อยังไม่ปรับองศาการฉีด,ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหลือน้อยลงแต่ยังมากกว่าเมื่อยังไม่ปรับองศาการฉีด,ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ลดลง แสดงว่าอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงน้อยลงตามอัตราการกินน้ำมันที่ลดลง

- แรงบิดสูงขึ้นเล็กน้อยทั้ง ๆ ที่ใช้เชื้อเพลิงน้อยลงแสดงว่าเชื้อเพลิงให้กำลังงานความร้อนสูงขึ้นซึ่งสังเกตุได้จากอุณหภูมิไอเสียที่สูงใกล้ กับเมื่อยังไม่มี heater ซึ่งใช้เชื้อเพลิงมากกว่ามาก

- กำลังเพิ่มขึ้นในช่วงความเร็วต่ำแต่ลดลงในช่วงความเร็วสูงแรงม้าสูงสุดมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย

- การที่ประสิทธิภาพลดลงในช่วงความเร็วรอบสูงอธิบายได้ว่า ที่ความเร็วรอบสูงการฉีดน้ำมันที่มีความหนืดต่ำมาก ๆ เนื่องจากการอุ่นน้ำมันด้วยความร้อนที่มากเกินไปทำให้การกระจายเป็นฝอยน้ำมันมีมากเกินไปอีกทั้งเริ่มฉีดเร็วกว่าปกติด้วยดังนั้นการจุดระเบิดจึงเกิดขึ้นเร็วกว่าจุดที่เหมาะสมส่งผลให้กำลังเครื่องลดลง

5.2.3.3 ดีเซลมะพร้าวจากอำเภอบางคนที (จากรูปที่ 4-38 ถึงรูปที่ 4-45)

1. เมื่อปรับองศาการฉีดน้ำมัน ให้เริ่มฉีดเร็วกว่าปกติ(เทียบกับเมื่อยังไม่ได้ปรับแต่งเครื่องยนต์)

- อัตราการกินน้ำมันต่ำลงเล็กน้อย, SFC ใกล้เคียงกัน โดยต่ำสุดที่ 2000 rpm

- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงเล็กน้อย,คาร์บอนมอนออกไซด์น้อยลง,อุณหภูมิใกล้เคียงกันแสดงว่าใช้เชื้อเพลิงน้อยกว่าแต่เผาไหม้สมบูรณ์กว่า

- แรงบิดต่ำกว่าเนื่องจากอัตราการใช้เชื้อเพลิงน้อยกว่า

- แรงม้าใกล้เคียงกันแต่ที่ความเร็วรอบสูง ๆ จะมีแรงม้าต่ำกว่าเล็กน้อย เนื่องจากแรงบิดที่น้อยกว่าและความเสียดทานจากความร้อนที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียงกัน เป็นผลมาจากการที่น้ำมันมะพร้าวผสมมีความหนืดสูง

2 เมื่อปรับองศาการฉีดน้ำมันให้เริ่มฉีดเร็วกว่าปกติและมีการอุ่นน้ำมันก่อนด้วย(เปรียบเทียบกับการปรับองศาการฉีดเพียงอย่างเดียว)

- อัตราการกินน้ำมันต่ำลงอย่างเห็นได้ชัดโดยเฉพาะที่ความเร็วรอบสูง ๆ เช่นเดียวกับ SFC ยกเว้นที่ความเร็วรอบสูง ๆ ซึ่ง SFC ก็ไม่ได้ต่ำกว่ากันมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ก๊าซออกซิเจนในไอเสียมีมากขึ้น ขณะที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงอย่างมากที่ความเร็วรอบสูง ๆ และก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อดูที่ความเร็วรอบสูงจะเห็นว่าค่าอุณหภูมิต่ำกว่าเดิมมาก แสดงว่าการเผาไหม้เกิดขึ้นน้อยลงตามอัตราการกินน้ำมันและเผาไหม้ดีในช่วงแรก แต่เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นอัตราการเผาไหม้กลับไม่มากนัก ซึ่งอาจเป็นเพราะให้ความร้อนในการอุ่นน้ำมันมากเกินค่าที่เหมาะสมสำหรับน้ำมันมะพร้าวผสมชนิดนี้ ทำให้ที่ความเร็วรอบสูง ๆ การเป็นละอองฝอยมีมากเกินไป ส่งผลให้ละอองน้ำมันพุ่งตัวไปได้ไม่ไกล การจุดระเบิดเกิดขึ้นเร็วเกินไปทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องยนต์ลดต่ำลงได้

- ที่ความเร็วรอบต่ำกว่า 1800 rpm พบว่าแรงบิดสูงขึ้นโดยสูงสุดที่ความเร็วรอบประมาณ 1000 rpm แต่ที่ความเร็วรอบมากกว่า 1800 rpm แรงบิดกลับลดลงต่ำกว่าเมื่อยังไม่ติด Heater ซึ่งสอดคล้องกับการเผาไหม้เกิดได้ไม่ดีนักในช่วงความเร็วรอบสูง ๆ

- เมื่อพิจารณาแรงม้าของเครื่องยนต์จะเห็นว่าที่ความเร็วรอบสูง ๆ แรงม้าต่ำกว่าปกติมากซึ่งเป็นผลต่อเนื่องมาจากแรงบิดที่ลดลงอย่างมากที่ความเร็วรอบสูง ๆ

-สรุปได้น้ำมันดีเซลมะพร้าวชนิดนี้ถ้าจะมีการอุ่นควรให้ความร้อนน้อยกว่านี้ซึ่งค่าที่เหมาะสมเป็นเท่าใดนั้นต้องทดลองกันต่อไป

5.2.3.4 ดีเซลมะพร้าวจากจังหวัดชุมพร (จากรูปที่ 4-46 ถึงรูปที่ 4-53)

1. เมื่อปรับองศาการฉีดน้ำมันให้เริ่มฉีดเร็วกว่าปกติ(เทียบกับเมื่อยังไม่ได้ปรับแต่งเครื่องยนต์)

- อัตราการกินน้ำมันต่ำกว่าเล็กน้อย ขณะที่ SFC มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงความเร็วรอบต่ำกว่า 1900 rpm เมื่อความเร็วรอบสูงกว่า 1900 rpm SFC มีค่าต่ำกว่าเดิมอย่างเห็นได้ชัดและมีค่าต่ำสุดที่ประมาณ 2000 rpm

- ปริมาณก๊าซออกซิเจนในไอเสียเหลือมากกว่า,ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นน้อยกว่าแต่ที่ความเร็วรอบมากกว่า 2000 rpm ปริมาณก๊าซทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกับเมื่อยังไม่ได้ปรับแต่เครื่องยนต์ นอกจากนี้ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ก็ใกล้เคียงกันด้วย เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิจะเห็นว่าต่ำกว่าก่อนปรับเครื่องยนต์เล็กน้อย แสดงว่าการเผาไหม้เกิดขึ้นน้อยกว่าก่อนปรับองศาการฉีดน้ำมันเล็กน้อยแต่ที่ความเร็วรอบสูงการเผาไหม้เกิดขึ้นเกือบเท่าเดิมซึ่งเป็นผลมาจากการแตกเป็นละอองฝอยของเชื้อเพลิงมีมากขึ้น

- เมื่อพิจารณาที่แรงบิดจะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก

- เมื่อพิจารณาแรงม้าของเครื่องยนต์จะเห็นว่าแรงม้าต่ำลงเล็กน้อยแต่ค่าแรงม้าสูงสุดยังใกล้เคียงกัน

- การปรับองศาการฉีดให้เร็วขึ้นสำหรับน้ำมันมะพร้าวผสมชนิดนี้แทบจะไม่เกิดผลที่ดีขึ้นกว่าก่อนปรับเลย

2. เมื่อปรับองศาการฉีดน้ำมันให้เริ่มฉีดเร็วกว่าปกติและมีการอุ่นน้ำมันก่อนด้วย(เปรียบเทียบกับการปรับองศาการฉีดเพียงอย่างเดียว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อัตราการกินน้ำมันต่ำกว่าเดิมมากยกเว้นที่ความเร็วรอบประมาณ 1200 rpm จะซึ่งเป็นช่วงที่เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงมากที่สุด และค่า SFC ก็ต่ำกว่าเดิมอย่าเห็นได้ชัดและต่ำสุดที่ ความเร็วรอบประมาณ 2200 rpm ซึ่งเป็นความเร็วรอบที่ให้กำลังสูงสุด

- ก๊าซออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้เกือบจะไม่ต่างจากเดิมเลย เช่นเดียวกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนออกไซด์ที่เกิดขึ้น แสดงว่าผลจาการอุ่นน้ำมันทำให้การเผาไหม้เกิดได้ดีขึ้นแต่เนื่องจากปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้น้อยค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจึงน้อยด้วยทำให้อุณภูมิไอเสียต่ำกว่าปกติมาก ยกเว้นที่ความเร็วรอบประมาณ 1200 rpm ซึ่งปริมาณเชื้อเพลิงใกล้เคียงกันจะเห็นว่าอุณหภูมิสูงกว่า

- เมื่อพิจารณาแรงบิดพบว่าเฉพาะที่ความเร็วรอบประมาณ 1200 rpm เท่านั้นที่แรงบิดสูงกว่าก่อนการปรับแต่งเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่ำกว่าหรือสูงกว่านี้ค่า แรงบิดจะลดลงอย่างมาก สัมพันธ์กับอัตราการกินน้ำมันซึ่งต่ำมาก

- เมื่อพิจารณาแรงม้าของเครื่องยนต์พบว่าค่าแรงม้าที่ได้สูงพอสมควรแต่ก็ยังต่ำกว่าก่อนติดตั้ง Heater ยกเว้นที่ความเร็วรอบประมาณ 1200 แรงม้าสูงกว่าเมื่อยังไม่ติดตั้ง Heater โดยแรงม้าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 2200 rpm

- น้ำมันดีเซลมะพร้าวผสมชนิดนี้ถ้าจะปรับองศาการฉีดควรอุ่นน้ำมันด้วยความร้อนน้อยกว่านี้หรือถ้าจะอุ่นด้วยความร้อนเท่านี้ก็ไม่ต้องปรับองศาการฉีดน้ำมันเพราะว่าเมื่อปรับองศาการฉีดน้ำมันแล้วอาจทำให้เกิดการจุดระเบิดเร็วเกินไป

หมายเหตุ 1. เป็นที่น่าสังเกตว่าน้ำมันดีเซลที่ผสมกับน้ำมันมะพร้าวทั้งสองชนิดเมื่อปรับองศาการฉีดแล้วประสิทธิภาพของเครื่องยนต์มีแนวโน้มต่ำลงกว่าเดิม

2. เมื่อปรับองศาการฉีดน้ำมันแล้วติดตั้ง Heater เครื่องยนต์จะให้แรงบิดสูงสุดที่รอบต่ำลงเนื่องจากที่รอบต่ำอัตราการ ใช้เชื้อเพลิงมีมากและน้ำมันที่อุ่นแล้วเกิดการเผาไหม้ได้ดีกว่าเดิมเนื่องจากความล่าช้าในการจุดระเบิดลดลง โดยดีเซลปาล์มที่อุ่นแล้วให้แรงบิดสูงสุดที่ความเร็วรอบประมาณ 1400 rpm ส่วนน้ำมันดีเซลมะพร้าวให้แรงบิดสูงสุดที่ความเร็วรอบประมาณ 1100 rpm

3. สังเกตุได้ว่าการอุ่นน้ำมันทำให้แรงบิดสูงสุดของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองสรุปได้ว่า

1. เมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันพืชทั้งสามชนิด จะได้ว่าน้ำมันดีเซลปาล์มจาก ปตท. ให้ผลการทดสอบกับเครื่องยนต์ที่ดีกว่าชนิดอื่นเนื่องจากการประหยัดเชื้อเพลิงมากกว่าและกำลังใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลส่วนน้ำมันดีเซลมะพร้าวทั้งจากบางคนทีและชุมพรเหมาะที่จะใช้งานที่ความเร็วรอบต่ำกว่า 1800 rpm เนื่องจากให้กำลังใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลแต่ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อยกว่าเมื่อพิจารณาไอเสียสำหรับน้ำมันทั้งสามชนิดเท่าที่สามารถวัดได้โดยรวมแล้วมลพิษใกล้เคียงกัน
2. เมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันดีเซลกับน้ำมันเมธิลเอสเตอร์ จะได้ว่าน้ำมันเมทิลเอสเตอร์ที่ทำการทดสอบนี้ให้ค่าความร้อนการเผาไหม้ที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลแต่การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ทดสอบเกิดขึ้นไม่ดีเท่าที่ควรทำให้ค่าความร้อนที่สูงนั้นไม่ได้ถูกใช้อย่างเต็มที่ดังนั้นถ้าจะใช้น้ำมันชนิดนี้กับเครื่องยนต์จริงควรมีการปรับแต่งเพื่อให้การเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองนี้จะเห็นว่าเมื่อเมธิลเอสเตอร์เป็นเชื้อเพลิงจะประหยัดมากกว่าดีเซลและให้กำลังใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลหรือสูงกว่าในบางสภาวะ
3. เมื่อวิเคราะห์ผลจากการปรับแต่งเครื่องยนต์โดยรวมแล้วพบว่าการปรับแต่งเครื่องยนต์โดยการเพิ่มองศาการฉีดน้ำมัน BTDC ให้มากขึ้น และการอุ่นน้ำมันก่อนเข้าปั๊มทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ใช้กับน้ำมันพืชผสมดีขึ้นโดย
   - 3.1 แรงบิดเมื่อปรับองศาการฉีดน้ำมันอย่างเดียวสูงขึ้นประมาณ 7.4-11% และเมื่อติดตั้ง Heater แรงบิดเพิ่มขึ้นประมาณ 11-18% โดยเมื่อติดอุปกรณ์อุ่นน้ำมันแรงบิดสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ความเร็วรอบต่ำลง
   - 3.2 การปรับองศาการฉีดน้ำมันและการติดตั้ง Heater ทำให้ประหยัดน้ำมันขึ้นเล็กน้อยแต่ไม่เหมาะสำหรับใช้กับน้ำมันดีเซลมะพร้าว
   - 3.3 เฉพาะก๊าซที่วัดได้ในการทดลองนี้พบว่า มลพิษจากการเผาไหม้ลดลงที่ความเร็วรอบเดียวกัน

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากข้อสรุปในการทดลองนี้ถ้าจะนำไปใช้ในทางปฏิบัติควรทำการทดสอบดูผลกระทบระยะยาวก่อน
2. การปรับแต่งเครื่องยนต์โดยการอุ่นน้ำมันในทางปติบัติทำได้โดยการใช้ไอเสียที่ออกมาจากเครื่องยนต์เองแต่ความร้อนที่ได้จะขึ้นอยู่กับภาระของเครื่องยนต์ซึ่งจากการทดลองจะเห็นว่าเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาระของเครื่องยนต์มีมากซึ่งความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่ำถ้ามีการอุ่นน้ำมันก่อนจะทำให้กำลังของเครื่องยนต์สูงขึ้น

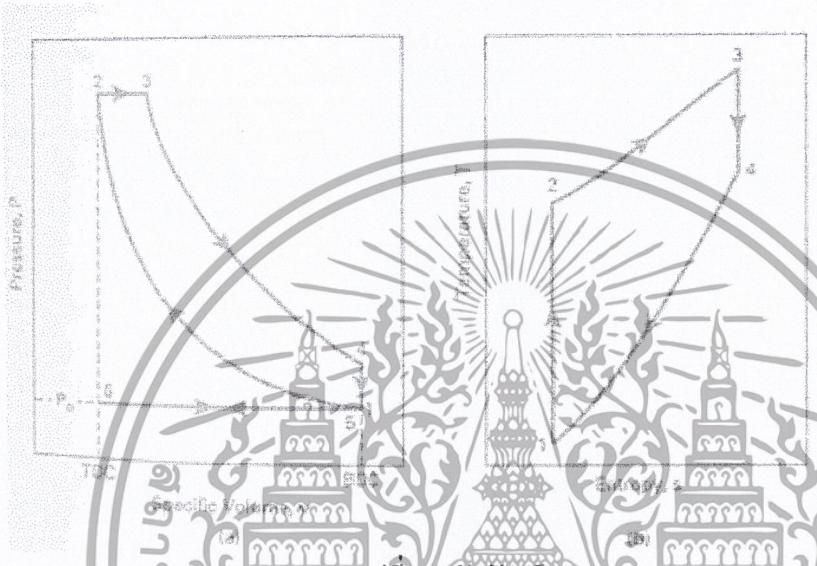
3. การปรับองศาการฉีดน้ำมันกับการอุ่นน้ำมันควรจะทดลองปรับองศาหลาย ๆ ภาวะโดยอาจจะคงตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งไว้แล้วเปลี่ยนอีกตัวแปรหนึ่ง เช่นกำหนดให้องศาการฉีดคงที่แล้วเปลี่ยนความร้อนที่ใช้อุ่นน่ำมันหรือคงค่าความร้อนที่ใช้อุ่นน้ำมันไว้แล้วเปลี่ยนองศาการฉีดไปเรื่อย ๆ เพื่อให้เกิดการเผาไหม้มีประสิทธิภาพมากที่สุดทุก ๆ ความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

ภาคผนวก

7.1 วัฏจักรดีเซล



รูปที่ 7-1 วัฏจักรดีเซล

พิจารณาในรูป จะประกอบด้วยแอเดียแบติก 2 กระบวนการ และมีกระบวนการปริมาตรคงที่ 1 กระบวนการ และความดันคงที่อีก 1 กระบวนการ วัฏจักรนี้รู้จักกันอย่างแพร่หลายและใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล

ในการหาประสิทธิภาพความร้อนของวัฏจักรดีเซล ในกรณีนี้สมมติว่าในกระบอกสูบมีอากาศอยู่เต็ม และหลังจากนั้นก็จะถูกอัดตัวในกระบวนการแอเดียแบติก เชื้อเพลิงจะถูกส่งเข้ามาเกิดการเผาไหม้ทำให้ ลูกสูบเลื่อนลง ขณะนั้นความดันจะคงที่ตลอดเวลาและหลังจากนั้นก็จะขยายตัวออกไปในลักษณะแอเดียแบ-ติก และเมื่อถึงจุดศูนย์ตายล่าง (ลูกสูบเลื่อนต่ำสุด) ความร้อนก็จะถูกส่งถ่ายเทออกในลักษณะปริมาตรคงที่เพราะฉะนั้นจะได้ตามรูป

จากตำแหน่งที่ 1 ไป 2 เป็นการอัดตัวแบบแอเดียแบติก

จากตำแหน่งที่ 2 ไป 3 ความร้อนที่ได้รับ (Q_A) ถูกส่งเข้าไปแบบความดันคงที่

จากตำแหน่งที่ 3 ไป 4 แก๊สขยายตัวออกไปแบบแอเดียแบติก

จากตำแหน่งที่ 4 ไป 1 ความร้อนระบายออก (Q_R) แบบปริมาตรคงที่

ถ้ากำหนดให้ ปริมาตรที่จุด 1 มีค่าเท่ากับ V_1

ปริมาตรที่จุด 2 มีค่าเท่ากับ V_2

ปริมาตรที่จุด 3 มีค่าเท่ากับ V_3

ปริมาตรที่จุด 4 มีค่าเท่ากับ V_4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้อัตราส่วนของปริมาตรดังต่อไปนี้

อัตราส่วนการอัด (r_c) = V_1/V_2

อัตราส่วนการตัด (r_o) = V_3/V_2

หมายเหตุ จุดซึ่งน้ำมันเชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าไปในกระบอกสูบจนกระทั่งหยุดการฉีด จุดที่หยุดการฉีดนี้ เรียกว่า จุดตัด (cut off) และปริมาตรที่จุดนี้ คือ ปริมาตรการตัด (cut off volume) คือ V_3 จะเห็นว่า V_3 มีค่ามากกว่า V_2 เพราะปริมาตร V_3 คือปริมาตรที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลงไปแล้ว

ถ้าพิจารณาจากอากาศที่ทำงานในการเผาไหม้ 1 กิโลกรัม ภายในกระบอกสูบ จะได้สมการต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

$$Q_A = C_p(T_3 - T_2) \quad [1]$$

$$Q_R = C_v(T_4 - T_1) \quad [2]$$

$$W = Q_A - Q_R$$

$$W = C_p(T_3 - T_2) - C_v(T_4 - T_1) \quad [3]$$

จากสมการ $\eta = (Q_A - Q_R)/Q_A$ [4]

แทนค่า Q_A และ Q_R จะได้

$$\eta = [C_p(T_3 - T_2) - C_v(T_4 - T_1)]/C_p(T_3 - T_2)$$

$$= C_p(T_3 - T_2)/C_p(T_3 - T_2) - C_v(T_4 - T_1)/C_p(T_3 - T_2)$$

$$\eta = 1 - C_v(T_4 - T_1)/C_p(T_3 - T_2) \quad [5]$$

เพราะว่า $C_p/C_v = k$ (สำหรับอากาศ $k = 1.4$)

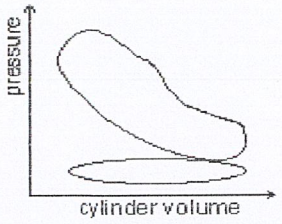
ดังนั้นประสิทธิภาพความร้อนของวัฏจักรดีเซล จะได้สมการดังนี้

$$\eta = 1 - [1/k][(T_4 - T_1)/(T_3 - T_2)] \quad [6]$$

7.2 การควบคุมจังหวะเปิด-ปิดวาล์วไอดี

ประสิทธิภาพความร้อนจะสัมพันธ์กับกราฟ ความดัน-ปริมาตร (ดังรูป 3)ซึ่งจะประกอบด้วย positive loop เป็น loop ที่ให้กำลังงาน อยู่ทางด้านบน และ negative loop แสดงถึงกำลังงานที่ต้องสูญเสียไป การเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนสามารถทำได้โดยเพิ่มพื้นที่ของ positive loop ซึ่งต้องพิจารณาองค์ประกอบหลายอย่าง อีกวิธีนึงก็คือการลด negative loop ซึ่งก็มีหลายวิธี การควบคุมจังหวะเปิด ปิดวาล์วไอดีก็เป็นวิธีที่สามารถลด negative loop ได้ การควบคุมวาล์วไอดี ทำได้โดยปรับแต่งลูกเบี้ยวที่ใช้กดวาล์ว

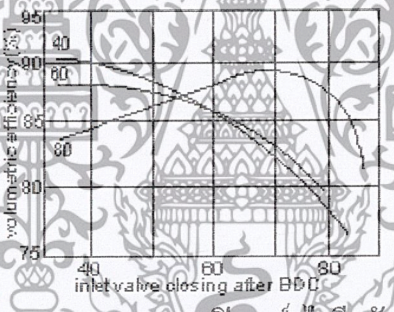
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-2 กราฟความดัน-ปริมาตรของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ

-การเปิดวาล์วไอดีก่อนจุดศูนย์ตายบนที่เหมาะสม จะช่วยให้ไอดีเข้าสู้ห้องเผาไหม้ได้เร็ว และช่วยในการไล่ไอเสีย ยิ่งวาล์วไอดีเปิดเร็วขึ้นก็จะยิ่งมีช่วง overlap มากขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิด Exhaust Gas Recirculation เป็นการทำให้ไอเสียไหลเข้าไปในท่อไอดีในจังหวะดาย และถูกดูดเข้ามาในห้องเผาไหม้พร้อมกับไอดี ทำให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ลดลง เป็นการลด Nox ได้

-การปิดวาล์วไอดีหลังจุดศูนย์ตายล่างในจังหวะต่างกันจะมีผลต่ออัตาส่วนการอัดและปริมาณอากาศที่ไหลเข้า ยิ่งช้าจะทำให้อัตราส่วนการอัดและกำลังที่ใช้ในการอัดลดลง แต่ถ้าน้อยเกินไปจะทำให้เครื่องยนต์ไม่สามารถจุดระเบิดได้

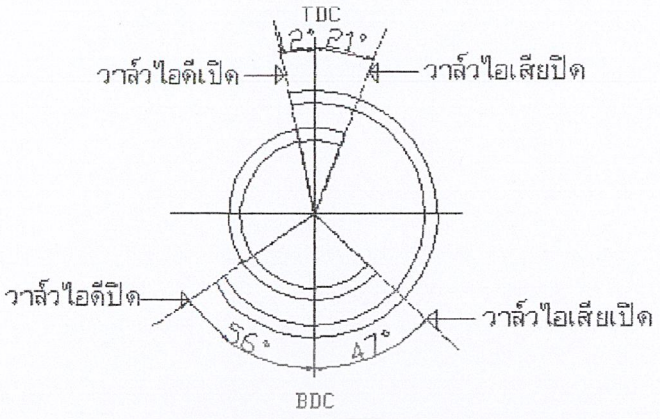


รูปที่ 7-3 ผลขององศาการปิดวาล์วไอดีหลัง BDC

-การตั้งระยะกดของการเปิดวาล์ว(valve lift) ควรมีระยะมากที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อให้ไอดีไหลเข้ามาในห้องเผาไหม้ได้สะดวก แต่จะมีข้อจำกัดคือถ้ากดลงมากเกินไปอาจจะชนกับลูกสูบได้

-เวลาการปิดปิดวาล์วของเครื่องยนต์ จากรูปที่ 7-4 แสดงให้เห็นถึงการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง โดยสอดคล้องกับวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ จะเห็นว่าวาล์วไอดีจะเริ่มเปิดก่อนศูนย์ตายบน และไปสิ้นสุดเมื่อข้อเหวี่ยงผ่านศูนย์ตายล่างไปแล้ว ลิ้นไอดีจึงปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-4 เวลาเปิดปิดวาล์ว

การควบคุมจังหวะของวาล์วสามารถทำได้โดยปรับชุบขับเคลื่อนเพลาลูกเบี้ยว ซึ่งอาจจะขับด้วยเฟือง โซ่ หรือสายพาน การควบคุมจังหวะกดจะทำโดยปรับเครื่องหมายไทม์มิ่ง ให้เยื้องไปจากเดิม ก็จะเป็นการเปลี่ยนเวลาการกดวาล์ว ดังรูป 7-5

รูปที่ 7-5 การเปลี่ยนแปลงจังหวะกดด้วยเฟืองไทม์มิ่ง

7.3 การออกแบบลูกเบี้ยว

ลักษณะของลูกเบี้ยวจะขึ้นอยู่กับแบบของห้องเผาไหม้ ความเร็วของเครื่องและจังหวะการทำงานของเครื่อง การปรับแต่งเพลาลูกเบี้ยวใหม่นี้ เพื่อให้วาล์วสามารถเปิดได้นานขึ้น อากาศก็จะไหลเข้าได้มากและสะดวกขึ้น ลูกเบี้ยวมีอยู่หลายแบบ เช่น แบบผิวโค้งมน ผิวลาดตรง โค้งเว้า ยอดแหลม ในการวิเคราะห์นั้น จะใช้หลักของวิชา Mechanics of Machinary เข้ามาโดยใช้วิธี graphics

7.4 การปรับองศาการฉีดน้ำมัน

ใช้วิธีเดียวกับการเปิด-ปิดวาล์ว จะทำให้สามารถฉีดน้ำมันก่อนหรือหลังได้ หลักการเดียวกับรูปที่ 7-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.5 การควบคุมมลพิษ

7.5.1 ระบบไอเสีย

ไอเสียที่ออกมาจากเครื่องยนต์ จะสามารถลดได้โดยผ่านอุปกรณ์กำจัดก๊าซพิษ(Catalytic Converter) อุปกรณ์นี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนก๊าซพิษเป็นก๊าซที่ไม่มีพิษ โดยใช้สารประกอบที่อยู่ในอุปกรณ์ สารประกอบจะทำให้ HC รวบตัวกับออกซิเจนแล้วเกิดเป็นน้ำ และทำให้ CO กลายเป็น CO_2 และสำหรับ NO_X นั้น สารประกอบจะแยกไนโตรเจนออกจากออกซิเจน กลายเป็น ก๊าซไนโตรเจน และก๊าซออกซิเจน

7.5.2 การเหลื่อมกันของการเปิด-ปิดวาล์ว

การเหลื่อมกันของการเปิดและปิดวาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย คล้ายกับระบบ EGR แต่วิธีการต่างกัน เมื่อการเหลื่อมกันของวาล์วเพิ่มขึ้น จะทำให้มีก๊าซไอเสียเหลือค้างในกระบอกสูบมากขึ้น ก๊าซไอเสียนี้จะผสมกับไอดีที่เข้ามาใหม่ ทำให้อุณหภูมิสูงสุดต่ำลงและลดการเกิด NO_X แต่อาจมีผลกระทบต่อการเดินเบา (เดินเบาไม่เรียบ) ดังนั้นจึงมักตั้งรอบเดินเบาให้สูงกว่าปกติ

7.6 การคำนวณ

สิ่งที่ต้องคำนวณและสมการที่ใช้คำนวณ

1.ประสิทธิภาพการดูด

η_v = V ที่เข้าเครื่องยนต์ /V ช่วงชักของเครื่องยนต์ [7]

2. ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

SFC = ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ / กำลังงานของเครื่องยนต์ [8]

3. air-fuel Ratio

$A/F = ma / mf = \rho aVa / \rho fVf$ [9]

4. กำลัง(Power)

$P = 2\pi TN$ [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.Specific Emission

$$(SE)_{NOX} = \dot{m}_{NOX} / \dot{W}_b \quad [11]$$

$$(SE)_{CO} = \dot{m}_{CO} / \dot{W}_b \quad [12]$$

$$(SE)_{HC} = \dot{m}_{HC} / \dot{W}_b \quad [13]$$

โดยที่

T = แรงบิดที่วัดได้จาก Dynaometer

V = ปริมาตร

N = ความเร็วรอบของเครื่องยนต์

$\dot{m}$ = Flow rate of emissions in gm/hr

η_v = ประสิทธิภาพการดูด

7.7 สมการการสันดาป

เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน มีสูตรทางเคมีคือ CxHy สมการสันดาปแบบ Stoichiometric ของเชื้อเพลิง ไฮโดรคาร์บอน คือ

$$CxHy + [a+(b/4)][O2 + 3.76N2] = aCO2 + (b/2)H2O + 3.76[a+b/4]N2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Hugh E. Whitted, III "Vegetable oils Fuels for Diesel Engine", Fuels Research, Incorporated, East Bend, 1981

[2] Krisnangkura, K. A simple method for estimation of cetane index of Vegetable oil methyl Esters. J. Am. Oil Chem.soc. 63: 552-553 (1986).

[3] Willard W.Pulkrabek, Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine.

[4] ธีรยุทธ สุวรรณประทีป, หลักการทำงานและการซ่อมบำรุงเครื่องรถยนต์.,2541

[5] ปราโมท อ่อนประไพ "เทคโนโลยีเครื่องยนต์ดีเซล" บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น, ปี พ.ศ. 2538

[6] ประณต กุลประสูตร, ทฤษฎีเครื่องยนต์เล็ก (ก๊าซโซลีน ก๊าซเหลว และดีเซล): โรงเรียนดอนบอสโก, 2542. 308 หน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้