การทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลยานพาหนะที่ใช้น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรด

Testing of Automobile Diesel Engines using Diesel Fuel Blended with Degummed Deacidified Palm Oil

ทวีศักดิ์ ขัตติยวรรณ

Taweesak Kattiyawan

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering
Prince of Songkla University
2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลยานพาหนะที่ใช้น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรด

ผู้เขียน ทวีศักดิ์ ขัตติยวรรณ

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

……

(รองศาสตราจารย์ กำพล ประทีปชัยกูร)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

……

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระยุทธ หลีวิจิตร)

คณะกรรมการสอบ

……ประธานกรรมการ

(ดร.กิตตินันท์ มลิวรรณ)

……กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ กำพล ประทีปชัยกูร)

……กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระยุทธ หลีวิจิตร)

……กรรมการ

(ดร.ฐานันดร์ศักดิ์ เทพญา)

……กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แววศักดิ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

……

(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลยานพาหนะที่ใช้น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรด

ผู้เขียน นายทวีศักดิ์ ขัตติยวรรณ

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของสมรรถนะ การสึกหรอและมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เมื่อนำน้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร(น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรด:น้ำมันดีเซล) มาใช้ในเครื่องยนต์สำหรับยานพาหนะโดยเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ในการศึกษาได้ทำการวิเคราะห์สรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ที่ใช้เป็นเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะ แบบ Indirect Injection (IDI) ยี่ห้อ โตโยต้า รุ่น 2L-T ปริมาตรกระบอกสูบ 2,466 ซีซี ขนาด 86 แรงม้า สำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซลทั้ง 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ มีการดัดแปลงเครื่องยนต์โดยการอุ่นร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก่อนป้อนเข้าห้องเผาไหม้ ในการทดสอบเครื่องยนต์ ได้จำลองสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ที่ 75 เปอร์เซ็นต์ ของภาระสูงสุด ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3,000 รอบต่อนาที เครื่องยนต์ที่เดินด้วยเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ จะถูกนำมาทดสอบสมรรถนะและมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้เมื่ออายุการใช้งานครบทุกๆ 200 ชั่วโมง และวิเคราะห์หาความสึกหรอของเครื่องยนต์เมื่ออายุการใช้งานครบ 1000 ชั่วโมง ในการทดสอบสมรรถนะ คือ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน อุณหภูมิก๊าซไอเสีย มลพิษของก๊าซไอเสีย ได้แก่ ออกซิเจน (O_2) คาร์บอนมอนออกไซด์(CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_X) ส่วนการสึกหรอของเครื่องยนต์นั้นพิจารณาจาก 3 วิธีนั้นคือ การชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ การวัดระยะห่างปากแหวน และการวิเคราะห์โลหะที่ผสมในน้ำมันหล่อลื่น

จากผลการวิจัยเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซลทั้ง 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียที่ภาระงานสูงสุดต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลแต่คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซลทั้ง 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ นั้นด้อยกว่าน้ำมันดีเซลมาก มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่าน้ำมันดีเซลประกอบกับน้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดยังมีราคาแพงกว่าน้ำมันดีเซลและ

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซลทั้ง 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ มีอายุการใช้งานของเครื่องยนต์สั้นกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลไม่มากนักเพราะผลการสึกหรอจากการนำชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ไปชั่งน้ำหนักโดยตรง และวัดระยะห่างปากแหวนพบว่าชิ้นส่วนเกือบทั้งหมดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซลทั้ง 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ที่สัมผัสกับน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่นโดยตรง ไม่มีการสึกหรอมากกว่าชิ้นส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ยกเว้นชิ้นส่วนแหวนลูกสูบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรด 40 เปอร์เซ็นต์ จะมีการสึกหรอของแหวนลูกสูบมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล อันเนื่องมาจากคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่อยู่ในมาตรฐานซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการสึกหรอของแหวนลูกสูบเครื่องยนต์มากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

Thesis Title	Testing of Automobile Diesel Engines using Diesel Fuel Blended with Degummed Deacidified Palm Oil
Author	Mr.Taweesak Kattiyawan
Major Program	Mechanical Engineering
Academic Year	2011

ABSTRACT

This research aims to study the performance, the wearing and the pollution of the automobile diesel engines using the diesel fuel blended with degummed-deacidified palm oil. It is two formulas of blended palm oil fuel used in this study. The blended palm oil fuels contain 20 and 40 percent by volume of the degummed-deacidified palm oil in the diesel fuel for each formula. The engine used in this study is the 4 cylinders 4 stroke TOYOTA 2L-T with combustion chamber of Indirect Injection (IDI). The total volume of combustion is 2,466 CC. with the highest power 86 HP. In the experimental, the engine is running at the 75 percent of its full operation with the speed of 3,000 rpm. Before the testing, both formulas of the blended palm oil fuels were heated to 60 degree Celsius. The performance and the pollutants from exhaust fume of engines run by various types of fuels are tested when reaching the operation of 200 hours. At the 1,000 hours of operation, the engine wearing is tested. The performance of the engine is relevant to the specific proportion of fuel consumption, thermal efficiency, exhaust fume temperature and the pollutants. It is note that the pollutant of exhaust fume is described by the oxygen, the carbon monoxide, the carbon dioxide. Regarding of engine wearing, it can be analyzed by measuring the weight of the engine parts and the gap of the ring directly. The analyzing of the metallic elements in the lubricant is useful for the study of disintegration of the engine.

From this study, the exhaust fume from the engine that using of both fuel formulas, the 20 and 40 percent by volume of the degummed-deacidified palm oil mixed with the diesel fuel, have less amount of black smoke than the using of commercial graded diesel fuel. In the contrast, the fuel quality of those blended palm oil formulas is lower than regular diesel fuel. More over, the using of those formulas shows higher of the specific fuel consumption and costs more than the diesel fuel. Meanwhile the results of the engine disintegration are likely the same

for all fuels. Only the wear of piston ring that used the 40 percent by volume of the degummed-deacidified palm oil mixed with the diesel fuel is highest than others because this fuel formula has the lowest quality that does not meet the standard.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ทั้งสองท่านคือ รองศาสตราจารย์ กำพล ประทีปชัยกูร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระยุทธ หลีวิจิตร ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อเสนอแนะที่มีประโยชน์ในการทำวิจัยรวมถึงการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.กิตตินันท์ มลิวรรณ, ดร. ฐานันดร์ศักดิ์ เทพญา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แววศักดิ์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ มูลนิธิชัยพัฒนาสนับสนุนการทำวิจัย

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย-สงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ให้ความอนุเคราะห์สำหรับสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณนเรศ จินดาเพ็ชร์ ที่ช่วยให้คำปรึกษาในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในการประสานงานและแนะนำวิธีการใช้เครื่องมือ

ขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ตลอดจนทุกท่านที่มิได้กล่าวมาไว้ ณ ที่นี้ที่มีส่วนช่วยในการทำวิจัยและให้คำแนะนำ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงสำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ทวีศักดิ์ ขัตติยวรรณ

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(12)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(18)
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 การตรวจเอกสาร	3
บทที่ 2 เครื่องยนต์ดีเซล น้ำมันดีเซล มลพิษจากการเผาไหม้	
2.1 บทนำ	11
2.2 เครื่องยนต์ดีเซล	12
2.3 น้ำมันดีเซล	61
2.4 มลพิษจากการเผาไหม้	66
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	
3.1 บทนำ	68
3.2 วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์	68
3.3 น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรด	70
3.4 เชื้อเพลิงทดสอบ	72
3.5 การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิง	73
3.6 การทดสอบเครื่องยนต์	73

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 บทนำ	79
4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันผสม	79
4.3 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์และไอเสีย	80
4.4 ผลการสึกหรอของเครื่องยนต์	97
บทที่ 5 สรุปผล	
สรุปผล	111
เอกสารอ้างอิง	112
ภาคผนวก	
ก ผลการทดสอบเครื่องยนต์บนแท่นไดนาโมมิเตอร์	116
ข ผลการวิเคราะห์น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรด	136
ประวัติผู้เขียน	143

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มดิบลดกัม-ลดกรด และน้ำมันดีเซล	80
4.2 แสดงน้ำหนักของชิ้นส่วนต่างๆ ของปั๊มแรงดันสูงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง	97
4.3 แสดงน้ำหนักของชิ้นส่วนต่างๆ ของปั๊มแรงดันสูงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง	98
4.4 แสดงน้ำหนักของชิ้นส่วนต่างๆ ของปั๊มแรงดันสูงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง	99
4.5 แสดงน้ำหนักของแบริ่งก้านสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง	100
4.6 แสดงน้ำหนักของแบริ่งก้านสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง	100
4.7 แสดงน้ำหนักของแบริ่งก้านสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งาน 1000 ชั่วโมง	101
4.8 แสดงน้ำหนักของแบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง	101
4.9 แสดงน้ำหนักของแบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง	102
4.10 แสดงน้ำหนักของแบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง	102
4.11 แสดงน้ำหนักของลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง	103

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.12 แสดงน้ำหนักของของลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์ม ลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงที่ก่อนใช้งาน และหลังใช้งาน 1000 ชั่วโมง	104
4.13 แสดงน้ำหนักของของลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์ม ลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงที่ก่อนใช้งาน และหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง	104
4.14 แสดงระยะห่างปากแหวนลูกสูบที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งานของเครื่องยนต์ ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงครบ 1,000 ชั่วโมง	105
4.15 แสดงระยะห่างปากแหวนลูกสูบที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งานของเครื่องยนต์ ที่ใช้น้ำมันปาล์มลด-ลดกรดผสมน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงครบ 1,000 ชั่วโมง	106
4.16 แสดงระยะห่างปากแหวนลูกสูบที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งานของเครื่องยนต์ ที่ใช้น้ำมัน ปาล์มลด-ลดกรดผสมน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงครบ 1,000 ชั่วโมง	107

รายการภาพประกอบ

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพตัดเครื่องยนต์ดีเซลและวงจรน้ำมันดีเซล ใช้ปั๊มดีเซลแบบเรียงสูบ	12
2.2 การจุดระเบิด	13
2.3 จังหวะดูด	13
2.4 จังหวะอัดลูกสบเคลื่อนที่ขึ้น	14
2.5 จังหวะอัดลูกสูบเคลื่อนที่ลง	14
2.6 อากาศผสมน้ำมันดีเซลเริ่มติดไฟ	14
2.7 เริ่มจังหวะคาย ลูกสูบเริ่มขึ้น	15
2.8 จังหวะคาย ลูกสูบขึ้นขับไล่ไอเสีย	15
2.9 กราฟความดันในห้องเผาไหม้เครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ ครบ 1 วัฏจักร	16
2.10 กราฟการเผาไหม้น้ำมันดีเซล	17
2.11 กราฟความดันกับปริมาตร	17
2.12 กราฟเปรียบเทียบการเผาไหม้ปกติและเผาไหม้น็อก	17
2.13 ส่วนประกอบการฉีดน้ำมันของระบบน้ำมันดีเซล	18
2.14 การฉีดน้ำมันดีเซลเข้าห้องเผาไหม้เย็น	19
2.15 การเผาไหม้ในห้องเผาไหม้แบบเปิด	19
2.16 ห้องเผาไหม้แบบ 2 ชั้นอย่างง่าย	21
2.17 ห้องเผาไหม้แบบ 2 ชั้น	21
2.18 หัวเผาในห้องเผาไหม้เล็ก	21
2.19 ภาพตัดห้องเผาไหม้เครื่องยนต์ดีเซลแบบเปิดและแบบพาวน	22
2.20 ส่วนประกอบการหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีเซลรถยนต์	23
2.21 ความฝืดเชิงของไหล	24
2.22 ความฝืดกึ่งของไหล	24
2.23 ความดันน้ำมันในแบริ่ง	24
2.24 ปั๊มน้ำมันเครื่องแบบเฟืองฟันใน	25
2.25 ปั๊มน้ำมันเครื่องแบบโรเตอร์	25
2.26 ลิ้นระบายความดันน้ำมันเครื่อง	25
2.27 ไส้กรองแบบพับซิกแซก	26

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.28 ลิ้นลัดวงจรในหม้อกรองน้ำมันเครื่อง	26
2.29 น้ำมันเครื่องไหลเวียนในหม้อกรองและตัวระบายความร้อน	26
2.30 วงจรกรองทั้งหมด	27
2.31 วงจรกรองบางส่วน	27
2.32 ความดันน้ำมันเครื่องตก	27
2.33 ตัวระบายความร้อนน้ำมันเครื่อง	28
2.34 ลิ้นลัดวงจรตัวระบายความร้อนน้ำมันเครื่อง	28
2.35 การสูญเสียพลังงานจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซล	29
2.36 การไหลเวียนของน้ำระบายความร้อนด้วยปั๊มน้ำ	30
2.37 ภาพปั๊มน้ำตำแหน่งส่งน้ำ	31
2.38 ส่วนประกอบคลัตช์พัดลมแบบไฮโดรไดนามิกส์	31
2.39 กลไกคลัตช์พัดลมแบบไฮโดรไดนามิกส์	31
2.40 ตำแหน่งเครื่องยนต์เย็นลิ้นเทอร์โมสตัตปิด	32
2.41 ระยะยกแกนเลื่อนของเทอร์สตัต	32
2.42 ตำแหน่งเครื่องยนต์ร้อนลิ้นเทอร์โมสตัตเปิด	32
2.43 ส่วนประกอบหัวฉีดและลักษณะการฉีดน้ำมันของนมหนูหัวฉีดแบบเดือยและแบบรู	33
2.44 ตัวหัวฉีดพร้อมนมหนูแบบเดือย	34
2.45 ส่วนประกอบนมหนูแบบเดือย	35
2.46 ลักษณะลำละอองน้ำมัน	35
2.47 ท่อไอดีและท่อน้ำมันปั๊มดีเซลแบบจานจ่าย	36
2.48 ถังน้ำมันดีเซล	37
2.49 ฝาถังน้ำมันดีเซล	37
2.50 ท่อน้ำมันความดันต่ำ	37
2.51 หม้อดักน้ำ	38
2.52 ลูกลอยหม้อดักน้ำ	38
2.53 ไส้กรองแบบเปลี่ยนไส้ได้	39
2.54 วงจรน้ำมันปั๊มดีเซลแบบลิ้นระบายอยู่ที่ตัวปั๊มดีเซล	40

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.55 ลิ้นระบายที่หัวต่อท่อน้ำมันไหลกลับ 40
2.56 วงจรน้ำมันปั๊มดีเซลแบบจานจ่าย (ND) ปั๊มป้อนน้ำมันและลูกสูบตัวเร่งฉีดน้ำมัน 41
2.57 ปั๊มป้อนน้ำมัน 42
2.58 ลิ้นควบคุมความดันต่ำ 42
2.59 ความดันน้ำมันปั๊มป้อนเป็นสัดส่วนกับความเร็วรอบ 42
2.60 ภาพตัดให้เห็นส่วนประกอบภายในปั๊มที่ส่งกำลังขับให้ลูกปั๊มขึ้นลง 43
2.61 ส่วนประกอบขับเคลื่อนลูกปั๊มให้ขึ้นลงและหมุนจ่ายน้ำมัน 43
2.62 ลูกปั๊มหมุนรอบตัว 44
2.63 รูบรรจุและรูจ่ายน้ำมัน 44
2.64 ตำแหน่งบรรจุน้ำมัน 44
2.65 ตำแหน่งอัดฉีดน้ำมัน 45
2.66 ตำแหน่งตัดน้ำมันเครื่องยนต์ 45
2.67 ตำแหน่งสมดุลความดันน้ำมัน 45
2.68 กราฟมุมเร่งฉีดน้ำมัน 46
2.69 ฉีดน้ำมันช้าลง 46
2.70 ฉีดน้ำมันเร็วขึ้นด้วยมุมเร่งฉีด 46
2.71 กราฟควบคุมความเร็วรอบเครื่อง 47
2.72 รถขึ้นเนินได้ด้วยความเร็วคงที่ 47
2.73 รถลงเนินชัน ยังลงได้ด้วยความเร็วคงที่ 47
2.74 เครื่องยนต์ติดเทอร์โบชาร์จ 48
2.75 กราฟสมรรถนะเครื่องยนต์ 48
2.76 ตำแหน่งตัวควบคุมลิ้นระบายไอเสียทำงาน 49
2.77 ลิ้นระบายความดันไอดีเกินเปิด 49
2.78 หล่อลื่นบูชของเพลาใบกังหัน 49
2.79 ฝาสูบเครื่องยนต์ดีเซล 50
2.80 ปะเก็นฝาสูบเครื่องยนต์ดีเซล 50

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.81 ลิ้นและอุปกรณ์ประกอบ	51
2.82 เครื่องหมายประกอบสายพานเพลาราวลิ้น	51
2.83 ลิ้นเครื่องยนต์ดีเซล	52
2.84 ตัวหมุนลิ้นเครื่องยนต์	52
2.85 เสื้อสูบและเพลาข้อเหวี่ยง	53
2.86 แบบฉีดน้ำมันเครื่องหล่อลื่นใต้หัวสูบ	54
2.87 แบบน้ำมันเครื่องไหลผ่านโพรงใต้หัวลูกสูบ	55
2.88 แหวนอัด 3 วง แหวนน้ำมัน 2 วง	56
2.89 อากาศอัดและไอเสียรั่วเข้าห้องเพลาข้อเหวี่ยง	56
2.90 การทำงานของแหวนอัดในช่องแหวน	57
2.91 เพลาข้อเหวี่ยงเครื่องยนต์ 4 สูบ	58
2.92 แบริ่งเนื้อ 2 ชิ้น	58
2.93 แบริ่ง 3 ชั้น พร้อมกันรุน	58
2.94 รอกสายพานและตัวสมดุลแรงสั่น	59
2.95 ล้อช่วยแรงติดกับเพลาข้อเหวี่ยง	60
3.1 แสดงน้ำมันปาล์มที่ได้จากผลปาล์มในขั้นตอนต่างๆ	70
3.2 แสดงการจำลองการใช้งานจริง	75
3.3 แสดงการทดสอบบนแท่นไดนาโมมิเตอร์	76
3.4 แสดงตำแหน่งการวัดค่าต่างๆ	78
4.1 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง	80
4.2 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์ม ลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมัน 20 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง	81
4.3 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์ม ลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมัน 40 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง	82
4.4 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิง	83
4.5 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์ม ดิบลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิง	83

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิง	84
4.7 แสดงอุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง	85
4.8 แสดงอุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง	85
4.9 แสดงอุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง	86
4.10 แสดงปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง	87
4.11 แสดงปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลด-กัมลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง	87
4.12 แสดงปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลด-กัมลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง	88
4.13 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซออกซิเจนในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง	89
4.14 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซออกซิเจนในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง	89
4.15 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซออกซิเจนในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง	90
4.16 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง	91
4.17 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง	91
4.18 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลด-กัมลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง	92
4.19 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง	93

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.20	แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง	93
4.21	แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง	94
4.22	แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง	95
4.23	แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง	95
4.24	แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง	96

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

P100	น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรด
P40	น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 40:60
P20	น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 20:80
2L1	เครื่องยนต์ โตโยต้ารุ่น 2L ที่ใช้น้ำมันที่ดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบ
2L2	เครื่องยนต์ โตโยต้ารุ่น 2L ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 20:80 เป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบ
2L4	เครื่องยนต์ โตโยต้ารุ่น 2L ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 40:60 เป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบ
bsfc	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ
ρ_{fuel}	ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง
$\dot{Q}$	อัตราการไหลของเชื้อเพลิง
Hp	กำลังเครื่องยนต์
V	ปริมาตรเชื้อเพลิง
T	เวลา
N	ความเร็วรอบ
Q_C	อัตราการใช้พลังงานของเชื้อเพลิง
LHV	ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง (Heating Value of Fuel, kJ/kg)
CO	ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์
CO_2	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
NO_X	ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์
$\mathbf{O_2}$	ก๊าซออกซิเจน

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ที่น้ำมันร่อยหรอลงทุกวันและมีโอกาสที่จะหมดไป ดังนั้นพลังงานในรูปแบบต่างๆ จึงได้รับความสนใจเพื่อที่จะพัฒนามาใช้ทดแทนน้ำมัน ซึ่งก็เรียกว่า พลังงานทดแทน หรือ พลังงานทางเลือก

พลังงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. พลังงานคืนรูปหรือพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) พลังงานแบบนี้ถือได้ว่าเป็นพลังงานที่หลังจากที่เราใช้มันไปแล้วเราสามารถรีไซเคิลพลังงานนี้กลับมาใช้ได้อีกครั้งหนึ่ง เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานชีวภาพ เป็นต้น

2. พลังงานสิ้นเปลือง (Non-renewable Energy) พลังงานแบบนี้เป็นแบบใช้ครั้งเดียว พอใช้ แล้วก็หมดไปไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ส่วนใหญ่จะเป็นพวกทรัพยากรธรรมชาติ เช่น ถ่านหิน น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น

ประเทศไทยได้มีการตื่นตัวในเรื่องพลังงาน มีการหาแหล่งพลังงานทดแทนน้ำมันกันอย่างมากมาย อาทิเช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล (Biomass) ไบโอแก๊ส (Biogas) เป็นต้น แต่พลังงานทดแทนที่เป็นที่รู้จักมากที่สุดในขณะนี้ คือ “ไบโอดีเซล”

สำหรับไบโอดีเซลในประเทศไทยได้รับความสนใจกับหน่วยงานต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นของรัฐหรือเอกชนรวมทั้งสถาบันการศึกษาและนักวิจัยร่วมกันคิดค้นเพื่อนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล อีกทั้งการสนับสนุนให้ใส่ใจสิ่งแวดล้อม การลดปัญหามลภาวะ จึงมีการสนใจนำไบโอดีเซลมาทำการศึกษาทดลองใช้กับเครื่องยนต์ ซึ่งประเทศไทยสามารถผลิตไบโอดีเซลได้เองจากผลผลิตทางการเกษตร ที่ผ่านมาจากผลงานวิจัยการทดสอบใช้น้ำมันปาล์มและน้ำมันปาล์มโอลีนนทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตรเพื่อทดสอบสมรรถภาพและการสึกหรอของเครื่องยนต์ทางการเกษตรในระยะยาวของ (ธีรวัฒน์,2002) ปัญหาที่พบ คือ สมรรถนะของเครื่องยนต์ยังต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และชิ้นส่วนของเครื่องยนต์สึกหรอมากเพราะเกิดจากความหนืดของน้ำมันสูง ด้วยสาเหตุที่ทำให้เครื่องยนต์ชำรุดนี้ (สวิทชาติ,2005) จึงได้นำเชื้อเพลิง 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรด และเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มมาใช้ทดสอบกับเครื่องจักรกลทางการเกษตรเนื่องจากน้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดมีการกำจัดกรด

และยางเหนียวออกแล้ว และก่อนจ่ายเข้าในระบบฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ ได้ทำการอุ่นที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนเพื่อลดความหนืด ผลการทดสอบได้พบว่าการใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดสามารถใช้เดินเครื่องยนต์ได้ อย่างไรก็ดียังพบว่าการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องยนต์จะสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงซึ่งเป็นเหตุให้อายุการใช้งานของเครื่องยนต์สั้นกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง แต่ค่าปริมาณควันดำของก๊าซไอเสียเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันลดกัม-ลดกรดกลับมีปริมาณควันดำของก๊าซไอเสียน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง จึงตั้งสมมุติฐานว่าการใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมกับน้ำมันดีเซลจะสามารถใช้งานกับเครื่องยนต์เพื่อยานพาหนะได้โดยมีอัตราการสึกหรอของเครื่องยนต์ไม่สูงเกินไปและเป็นที่ยอมรับ อีกทั้งการวิจัยด้วยน้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมกับน้ำมันดีเซลยังไม่เคยมีการศึกษาและรายงานเอาไว้ ซึ่งข้อมูลที่ได้ดังกล่าวเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อทิศทางการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศไทย

ดังนั้นจึงเสนอให้มีการทดสอบเพื่อศึกษาผลการใช้งานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมกับดีเซลขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณลักษณะสมรรถนะเครื่องยนต์และการสึกหรอของเครื่องยนต์ การปลดปล่อยไอเสียเมื่อเดินเครื่องยนต์ดีเซลสำหรับยานพาหนะแบบ Indirect Injection (IDI) ระยะยาวด้วยน้ำมันดีเซลและน้ำมันผสมของน้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดในน้ำมันดีเซลที่สัดส่วน 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทราบถึงผลการเปรียบเทียบคุณลักษณะสมรรถนะเครื่องยนต์และการสึกหรอของเครื่องยนต์ การปลดปล่อยไอเสียของการใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลสำหรับยานพาหนะเพื่อทดแทนน้ำมันดีเซล

1.3.2 เพื่อเป็นข้อมูลและแนวทางในการใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรด มาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ที่ใช้เป็นยานพาหนะในประเทศไทยได้อย่างถูกต้องหมาะสม

1.3.3 เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับภาครัฐบาลภาคเอกชนและผู้เกี่ยวข้องนำไปใช้ประโยชน์อีกต่อไป

1.4 การตรวจเอกสาร

Peters, Ran และ Ziemke (1982) ทำการทดสอบการใช้น้ำมันถั่วเหลืองผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนผสม 2:1 ใช้ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตร โดยไม่มีการปรับปรุงใดๆ กับเครื่องยนต์ใช้เวลาทดสอบมากกว่า 600 ชั่วโมง

Anon (1982) ทำการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลโดยใช้น้ำมัน แล้วผ่านการกรองและผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนพืชใช้แล้ว 95 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันดีเซล 5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ผลการทดสอบไม่พบปัญหาการอุดตันที่หัวฉีด และการเกาะติดของเขม่าคาร์บอนในเครื่องยนต์ แต่พบว่าน้ำมันหล่อลื่นมีความหนืดมากขึ้น เนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปผสม สาเหตุที่น้ำมันหล่อลื่นมีความหนืดมากขึ้นเนื่องมาจากกระบวนการรวมตัวกันเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะคู่หลายตัวในน้ำมันพืชทำให้ต้องเปลี่ยนน้ำมันหล่อรื่นเร็วขึ้น พบว่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

Adams และคณะ (1983) ทำการทดสอบน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการลดกัม ผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนผสมกับน้ำมันเหลืองต่อน้ำน้ำมันดีเซล 1:2 และ 1:1 โดยปริมาตรทดสอบกับเครื่องยนต์ John Dccrc 6 สูบ ปริมาตรความจุ 6,600 ซีซี. ห้องเผาไหม้แบบ direct injection และมีเทอร์โบชาร์จเจอร์ โดยทำการทดสอบเป็นเวลา 600 ชั่วโมง พบว่าที่อัตราส่วนของนั้นมันถั่วเหลืองต่อน้ำมันดีเซล 1:1 น้ำมันหล่อลื่นมีความหนืดเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มที่จะจับตัวกันเป็นวุ้น ส่วนที่อัตราส่วนผสมที่ใช้น้ำมันถั่วเหลืองต่อน้ำมันดีเซลที่ 1:2 จากผลการทดสอบไม่พบปัญหาใดๆ

Payour และคณะ (1983) ทำการทดสอบเครื่องยนต์ฟอร์ด ขนาด 2.59 ลิตร รุ่น 3 cylinder 2600 series โดยใช้น้ำมันถั่วเหลืองสามชนิด คือ น้ำมันถั่วเหลืองดิบ น้ำมันถั่วเหลืองผ่านการกำจัดยางเหนียวออก และเอทิลเอสเตอร์ของน้ำมันถั่วเหลือง ผลปรากฏว่า การทดสอบระยะสั้นน้ำมันทั้งสามชนิดมีความเหมาะสมในการใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล แต่ในระยะยาวน้ำมันถั่วเหลืองดิบไม่สามารถใช้ได้ เนื่องจากหัวฉีดอุดตันมาก เป็นสาเหตุให้กำลังลดลง

Pryde (1983) ได้สรุปข้อดีและข้อเสียของการใช้น้ำมันพืชทดแทนน้ำมันดีเซล ดังนี้

ข้อดีของน้ำมันพืช

ก. เป็นของเหลวตามธรรมชาติ เคลื่อนย้ายขนส่งได้สะดวก

ข. ค่าความร้อนประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล

ค. หาได้ง่ายและใช้ได้ทันที

ง. น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว สามารถนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

ข้อเสียของน้ำมันพืช

ก. ความหนืดสูง

ข. ความสามารถในการระเหยกลายเป็นไอต่ำ

ค. มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาของสายโซ่ไฮโดคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวสูง

Freedmsn และคณะ (1984) ทำการทดลองโดยใช้น้ำมันพืช 4 ประเภท คือ น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันจากเมล็ดฝ้าย น้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันถั่วเหลืองเป็นสารตั้งต้นภายใต้สภาพและเงื่อนไข คือ ทำปฏิกิริยากับเมทานอล ที่อัตราส่วนโมล 6:1 โดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส ตลอดการทดลองสามารถประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นเมทิลเอสเตอร์ได้ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ สำหรับน้ำมันพืชทั้ง 4 ชนิด คือ เปอร์เซ็นต์ความเป็นเมทิลเอสเตอร์ประมาณ 93 ถึง 98 เปอร์เซ็นต์

Ryan III และคณะ (1984) ได้ทำการทดสอบเครื่องยนต์แบบ indirect injection และเครื่องยนต์แบบ Direct Injection โดยใช้น้ำมันพืชหลายๆ ชนิดอุ่นร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ผลปรากฏว่าเครื่องยนต์แบบ indirect injection ไม่มีปัญหาเรื่องการสะสมของสารประกอบคาร์บอน

German และคณะ (1985) ทำการทดสอบการใช้น้ำเมล็ดทานตะวันผสมกับน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วนน้ำมันเมล็ดทายตะวันต่อน้ำมันดีเซล 25:75 และอัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร ทดสอบกับรถแทรกเตอร์ที่ใช้ในฟาร์มมลรัฐ North Dakota ใช้เวลาในการทดสอบมากกว่า 3 ปี เวลาที่เครื่องยนต์ทำงานทั้งหมดรวม 7,616.9 ชั่วโมง ใช้น้ำมันไปทั้งหมด 145,891.8 ลิตร ผลการทดสอบปรากฏว่าอัตราส่วนของน้ำมันที่ 50:50 เครื่องยนต์มีเขม่ามากที่สุด รองลงมาที่ 25:75 ไม่พบปัญหาแหวนลูกสูบติดตายส่วนการสึกหรอของแบริ่งอยู่ในเกณฑ์ปกติอย่างมาก

Chiyuki และ Jun-ichi (1988) ทำการศึกษาน้ำมันพืชเรพซีดกับเครื่องยนต์ดีเซลยันมาร์สูบเดียว มีห้องเผาไหม้ล่วงหน้า ทำการทดสอบในเชิงเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล โดยใช้น้ำเรพซีดในสภาพที่เป็นน้ำมันดิบ น้ำมันลดกัม และน้ำมันลดกรด ผลการทดสอบสรุปว่า น้ำมันเรพซีดในสภาพลดกรดแล้วสามารถใช้แทนน้ำมันดีเซลได้ ส่วนน้ำมันลดกัม และน้ำมันดิบใช้ไม่ได้ เนื่องจากมีการหลงเหลือจากการเผาไหม้อยู่ภายในห้องเผาไหม้เป็นจำนวนมาก

Scvhlick, Hannaและคณะ Schinstock (1988) ทำการทดสอบโดยใช้น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันเมล็ดทานตะวัน นำมาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 25:75 โดยปริมาตร ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลฟอร์ด 3 สูบขนาดความจุ 2,590 ซีซี. ห้องเผาไหม้แบบ direct injection ผลการทดสอบเครื่องยนต์สามารถผ่านการทดสอบที่ 200 ชั่วโมง โดยให้กำลังได้คงที่แต่มีคราบเขม่าคาร์บอน เกาะติดในห้องเผาไหม้เป็นจำนวนมาก

Cvengros และ Povazanec (1996) ได้ศึกษาการผลิตเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันเรพซีล โดยใช้โซดาไฟเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิต และได้สรุปว่า น้ำมันที่ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ไม่ควรมีความเป็นกรด (acidity number) สูงกว่า 2 mg KOH/g และปริมาณน้ำต้องไม่เกิน 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การมีค่าความเป็นกรดเกินปริมาณที่สูงกว่า 2 mg KOH/g อาจแก้ไขได้ด้วย การเพิ่มโซดาไฟแต่การเกิดปฏิกิริยาจะต่ำลง มีการสูญเสียเมทิลเอสเตอร์ในชั้นของกลีเซอรอลสูงขึ้น และเจลในชั้นของเมทิลเอสเตอร์ โดยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรด และโซดาไฟจะเกิดเป็นฟองสบู่และ สบู่ซึ่งเป็นสารอิมัลฟายเออร์เมื่อมีในปริมาณที่สูงจะทำให้กลีเซอรอลละลายในชั้นเมทิลเอสเตอร์มากขึ้น ส่งผลให้การแยกกลีเซอรอลโดยแรงโน้มถ่วงโลกทำได้ยากขึ้นเป็นผลให้เกิดสมดุลเร็วขึ้นและหยุดยั้ง การเกิดปฏิกิริยา Cvengros และ Povazanee ได้ทำการขจัดสบู่ของเกลือโซเดียมโดยการใช้กรด ฟอสฟอริกสลายสบู่ให้เป็นกรดไขมัน

Peterson และคณะ (1996) ได้ทำการทดสอบใช้เอสเตอร์ผลิตจากน้ำมันเรพซีด และ น้ำมันถั่วเหลือง ที่ผ่านการใช้ทอดอาหารแล้ว ในรถบรรทุกขนาดเล็ก เครื่องยนต์ดีเซลวิ่งบนถนน ตามระยะทางจริง ผลปรากฏว่าในระยะทาง 1,400 ไมล์แรก แรงม้าของเครื่องยนต์ที่ใช้เอสเตอร์มีค่า เทียบเท่ากับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลแต่ในช่วงหลังจนถึง 35,500 ไมล์ กำลังแรงม้าของเครื่องยนต์ที่ใช้ เอสเตอร์มีการลดลง และน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล 2 เปอร์เซ็นต์

ในการทดลองชุดเดียวกัน Peterson ได้ทำการทดลองในเครื่องยนต์ดีเซลในห้อง ทดลอง ช่วงระยะเวลา 200 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์ผลการสึกหรอจากการปนเปื้อนอยู่ในระบบน้ำมันหล่อลื่น ได้ผลดังนี้

- ปริมาณเหล็กที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นซึ่งบ่งบอกถึงการสึกหรอของกระบอกสูบ เพลาลูกเบี้ยวและเฟืองขับพบว่าของเครื่องยนต์ที่ใช้เอสเตอร์มีค่ามากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ดีเซลเล็กน้อย แต่อยู่ในช่วงที่กำหนด
- ปริมาณอลูมิเนียมที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นซึ่งบ่งบอกถึงการสึกหรอของ ลูกสูบและแบริ่ง พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เอสเตอร์มีค่าไม่แตกต่างจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล
- การวิเคราะห์ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งาน 200 ชั่วโมง พบว่า ของ เครื่องยนต์ที่ใช้เอสเตอร์อยู่ในช่วงมาตรฐานที่กำหนดและใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ดีเซล
- แหวนลูกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้เอสเตอร์ สึกหรอต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน เชื้อเพลิง ดีเซลมากแต่ลูกสูบจะสึกหรอสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเล็กน้อย ส่วนการสึกหรอ ของลิ้นไอดีจะมีค่าเท่ากับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล แต่การสึกหรอของลิ้นไอเสียจะต่ำกว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเล็กน้อย

- ปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้เอสเตอร์จะมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร

Ma และคณะ (1998) ได้ทดลองการผลิตเอสเตอร์จากไขมันวัวกับเมทานอลโดยใช้ปฏิกิริยาตัวเร่งเบส พบว่าในช่วง 1 นาทีแรกอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะค่อนข้างช้ามาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการกวนผสมแต่ที่ระยะเวลาตั้งแต่ 1 ถึง 5 นาที ต่อมาปฏิกิริยาจะเกิดรวดเร็วมากและอัตราเปอร์เซ็นต์ความเป็นเมทิลเอสเตอร์ก็เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน หลังจากนั้นอัตราเร็วของปฏิกิริยาดังกล่าวจะค่อยๆ ลดลงจนค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นเมทิลเอสเตอร์สูงสุดที่เวลาประมาณ 15 นาที ส่วนปริมาณของไดกลีไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ จะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและค่อยๆ ลดลงจนมีค่าคงที่เมื่อสิ้นสุดกระบวนการจะมีปริมาณของโมโนกลีเซอไรด์มากกว่าไตรกลีเซอไรด์ตามลำดับ

Kelvin, Shane และ Paul (1999) ทำการศึกษาน้ำมันเรพซีด ในสภาพลดกัมลดกรดแล้วนำมากรองด้วยกรองที่ความละเอียดขนาด 5 ไมครอน นำไปผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 25:75 ทำการมดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีห้องเผาไหม้ล่วงหน้า โดยเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล ทำการทดสอบเป็นเวลา 170 ชั่วโมง ผลการทดสอบพบว่า กำลังของเครื่องยนต์และอัตราความสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิงไม่แตกต่างกับการใช้น้ำมันดีเซลมากนัก และไม่มีความผิดปกติของปริมาณโลหะที่สึกหรอผสมในน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งาน

Dorado และคณะ (2000) ทำการทดลองโดยการใช้น้ำใช้แล้วผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันใช้แล้ว 10 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันดีเซล 90 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณ ทดสอบกับเครื่อง Diter diesel engine เป็นเวลา 500 ชั่วโมง ผลปรากฏว่ามีการสูญเสียกำลังไปประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ การสิ้นเปลืองน้ำเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ส่วนก๊าซไอเสียปกติในด้านการสึกหรอของชิ้นส่วนพบว่าปกติ

Altin และคณะ (2001) ได้สรุปว่า เมื่อใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลจะมีการสูญเสียกำลังงานเพียงเล็กน้อยแต่จะมีการปลดปล่อยอนุภาคของแข็ง (particulate matter) ที่สูงกว่าและหากใช้น้ำมันพืชดิบเป็นเชื้อเพลิงจะต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ ส่วนเมทิลเอสเตอร์ที่ผลิตจากน้ำมันพืชจะมีสมรรถนะของเครื่องยนต์และสมบัติของก๊าซไอเสียที่ปล่อยออกมาใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซล ดังนั้นจะได้รับการยอมรับในการใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้สูงกว่า

Crabbe และคณะ (2001) ได้แสดงความเห็นว่า น้ำมันปาล์มดิบ (cude palm oil) เป็นน้ำมันพืชที่สำคัญ 1 ใน 4 ของตลาดโลกและมีราคาถูกกว่าน้ำมัน canola น้ำมันเรซีดและน้ำมันถั่วเหลืองซึ่งเหมาะสมในการใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล โดย Crabbe และคณะ ได้ผลิตเมทิลเอสเตอร์โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันที่เหมาะสมควรใช้สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมันเชิงโมเลกุลเท่ากับ 40:1 กรดซัลฟิวริก 5 เปอร์เซ็นต์ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง

สถาบันวิจัยและเทคโนโลยีบริษัท ปตท. จำกัด (2001) ทำการทดสอบการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมกับน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วน 15:85 โดยปริมาตร ทดสอบกับเครื่องดีเซลคูโบต้ารุ่น ET 95 มีห้องเผาไหม้แบบ indirect injection ปริมาตรห้องเผาไหม้ 522 ซีซี. ให้กำลังสูงสุดแบบต่อเนื่อง 8.5 แรงม้าที่ 2,400 รอบต่อนาที ทดสอบเป็นเวลา 1,000 ชั่วโมง ผลการทดสอบปรากฏว่าในส่วนของกำลังไฟฟ้า อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ อุณหภูมิไอเสียและค่าควันดำมีความใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาก แต่มีข้อเสนอแนะไว้ดังนี้

ก. น้ำมันที่ผสมเข้าด้วยกันแล้วควรจะนำไปใช้งานทันที

ข. ภาชนะที่ใช้บรรจุน้ำมันปาล์มดิบ หรือน้ำมันดีเซลผสมปาล์มดิบ ควรจะปิดให้สนิท ทุกครั้งเนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบมีคุณสมบัติที่สามารถดูดความชื้นภายในอากาศได้เป็นอย่างดี ทำให้ค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ซึ่งถ้าความเป็นกรดสูงมากๆ จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อการสึกหรอของแหวนลูกสูบ

ค. เนื่องจากคุณสมบัติความเป็นกรดของน้ำมันปาล์มดิบ พบว่าการใช้งานน้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มดิบ จะทำให้วัสดุประเภทท่อยาง และยางโอริงในส่วนที่สัมผัสกับน้ำมันเชื้อเพลิงบวมมากกว่าปกติ แต่จากการทดสอบ พบว่าหากผู้ใช้งานเปลี่ยนตามข้อแนะนำของผู้ผลิตเครื่องยนต์แล้วจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาในการใช้งาน

ง. ปริมาณกากตะกอนคาร์บอนที่สูงกว่าปกติในน้ำมันดีเซล ผสมน้ำมันปาล์มดิบจะส่งผลให้ปริมาณเขม่าในห้องเผาไหม้สูงขึ้นแต่เมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่งปริมาณเขม่าจะค่อนข้างคงที่

จ. ปัญหาไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงอุดตัน แก้ไขได้โดยคัดเลือกน้ำมันปาล์มดิบที่มีความข้นไม่มากนักและกรองก่อนที่จะนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลทุกครั้ง

จากการวิจัยดังกล่าวข้างต้นพบว่าการนำมันพืช ซึ่งอาจจะผลิตจากผลปาล์ม เมล็ดทานตะวัน ถั่วเหลืองหรือน้ำมันพืชใช้แล้ว แล้วแต่ภูมิภาคของโลกว่าภูมิภาคใดเหมาะสมกับพืชชนิดใดนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ ตั้งแต่ 5 เปอร์เซ็นต์ - 75 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรมีผลการวิจัยที่แตกต่างกันออกไป ไม่ว่าจะเป็นในด้านการสึกหรอ ด้านสมรรถนะ มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ ในงานวิจัยได้ใช้น้ำมันพืชที่ใช้แล้วผ่านการกรองนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 20 เปอร์เซ็นต์ 50 เปอร์เซ็นต์ และ 70 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำมันพืชใช้แล้วต่อน้ำมันดีเซลโดยปริมาตราเพื่อการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นในด้านสมรรถนะ การสึกหรอ และมลภาวะจาการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้เครื่องยนต์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเขาจึงสรุปว่าน้ำมันผสมในอัตราส่วนผสมดังกล่าวใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตรได้

Bari และคณะ (2002) ได้ทำการทดสอบเครื่องยนต์ยี่ห้อยันม่าร์ รุ่น L60 AE-DTM single cylinder 4 stroke air cooled engine โดยใช้น้ำมันพืชอุ่นร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าที่อุณหภูมิห้อง (30-32 องศาเซลเซียส) ความหนืดของน้ำมันพืชมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 10 เท่า และมีของแข็งผสมอยู่จึงใช้เดินเครื่องโดยตรงไม่ได้หากต้องการให้ได้น้ำมันพืชไหลดีต้องต้องอุ่นที่อุณหภูมิอย่างน้อย 92 องศาเซลเซียส

ธีรวัฒน์ อภิชาโต (2002) ทำการทดสอบการใช้น้ำมันปาล์มทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องจักรกลทางการเกษตร ผลการศึกษาเปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอีนกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลในด้านสมรรถนะ พบว่า อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มมีค่าสูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับค่าความร้อนของน้ำมันปาล์มที่มีค่าต่ำกว่า และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มจะมีค่าต่ำไม่มากนัก ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มมีค่าสูงกว่า ในส่วนปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียมีปริมาณน้อยและแตกต่างกันไม่มากนัก ผลการศึกษาเปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลในด้านการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ ซึ่งได้ทำการศึกษาทั้งวิธีโดยตรง คือ การชั่งน้ำหนักอุปกรณ์ก่อนและหลังใช้งานและวิธีโดยอ้อม โดยดูค่าผลวิเคราะห์ปริมาณโลหะที่ปนในน้ำมันหล่อลื่นหลังจากการใช้งานทุก 100 ชั่วโมง ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ที่ทำการศึกษาได้แก่ ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง, ลิ้นส่งน้ำมันเชื้อเพลิง, ลิ้นไอดี, ลิ้นไอเสีย, แหวนลูกสูบและแบริ่งก้านสูบ พบว่าแหวนลูกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโดยเฉพาะแหวนอัดมีการสึกหรอมากที่สุด ผลที่ได้สอดคล้องกันทั้งวิธีโดยตรงและวิธีโดยอ้อม การสึกหรอของแหวนอัดของเครื่องยนต์ทำให้เครื่องยนต์หมดกำลังเนื่องจากแรงอัดภายในกระบอกสูบรั่วออกทางปากแหวน ทำให้เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอีนเดินได้ 2,000 ชั่วโมง และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบเดินได้เพียง 500 ชั่วโมง

Burnette และคณะ (2003) ทำการทดลองโดยใช้น้ำมันพืชใช้แล้วจากอุตสาหกรรมโดยผ่านการลดความหนืด ลดกรด และทำการกรองแล้วนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล D-118 มีห้องเผาไหม้แบบ direct injection ความจุ 4,942 ซีซี. ทำการทดสอบบนแท่นไดนาโมมิเตอร์โดยทำการวัดแรงบิด, ความเร็วรอบ, แรงม้าเบรก, อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น จากผลการทดสอบ Engine output เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีกำลังมากกว่าน้ำมันใช้แล้วเพียงเล็กน้อยส่วนในการทดสอบแรงบิดก็เช่นกัน เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลให้แรงบิดมากกว่าแต่ไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้ำมันพืชใช้แล้วมีความสิ้นเปลืองมากกว่า

Merve และคณะ (2004) ทำการทดลองโดยการใช้น้ำมันพืชใช้แล้วมาผลิตเป็นไบโอดีเซล แล้วทำการทดสอบกับรถยนต์ดีเซลในสถานการณ์ทำงานจริงทั้งในเมืองและนอกเมืองเพื่อ

ต้องการทราบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชใช้แล้วกับน้ำมันดีเซลโดยนำไปใช้กับรถ Renault Mcgac 4 จังหวะ 4 สูบมีกำลัง 75 กิโลวัตต์ ทำการทดสอบในฤดูหนาวถึง 7,500 กิโลเมตร ผลปรากฏว่าในด้านของแรงบิดและแรงม้าเบรกเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันพืชใช้แล้วผลิตเป็นไบโอดีเซล มีค่าน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล 35 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิไอเสียเครื่องที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล มีค่าน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล เครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลนั้นที่ฝาสูบ หัวฉีด หัวลูกสูบ กระบอกสูบ มีความสะอาดมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

เทอดศักดิ์ และคณิต (2004) ทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซล ชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของรถบรรทุกขนาดเล็ก พบว่า ส่วนผสมที่เหมาะสมคือ น้ำมันปาล์มดิบ อุ่นที่ 60 องศาเซลเซียส ผสมด้วยดีเซล 90 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ที่ภาระสูงสุด ค่าแรงบิดสูงสุดที่แต่ละความเร็วรอบจากการใช้น้ำมันดิบผสมดีเซล มีค่าใกล้เคียงดีเซล ค่าแรงบิดที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล ที่ความเร็วรอบต่ำถึงรอบปานกลางมีค่าสูงกว่าดีเซลเล็กน้อย การใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกสูงกว่าดีเซลตลอดช่วงการทำงาน

นิโรจน์ อัครปัญญาวิทย์ (2005) ใช้น้ำมัน B2 และ B5 ทำการทดสอบรถยนต์โตโยต้า D4D และอิซูซุ D.MAX ผลในด้านสมรรถนะและมลพิษของน้ำมันB2 มีความใกล้เคียงกับดีเซลมาก แต่ B5 สามารถลดควันดำได้ต่ำกว่าดีเซล และเมื่อใช้น้ำมัน B2 และ B100 ทำให้ค่ามลพิษ HC, CO ลดลงแต่ NO เพิ่มขึ้น

สวิทชาติ ญาณแก้ว (2005) ทำการทดสอบการใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดและน้ำมันไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลกับเครื่องยนต์โบต้า รุ่น ET 80 ผลปรากฏว่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันพืชลดกัม-ลดกรดมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากที่สุดและการสึกหรอของเครื่องยนต์สูงสุด รองลงมาเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีการสึกหรอและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำสุด

กำพล และ ธีระยุทธ (2008) เดินเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตร 4 เครื่อง ด้วยดีเซล น้ำมันปาล์มลดยางเหนียวลดกรดผสมในน้ำมันดีเซลที่ 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ เป็นระยะเวลา 1,500 ชม. เพื่อทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ที่ผ่านการเดินเครื่องยนต์ 0, 500, 1,000 และ 1,500 ชม. ผลการทดสอบ ด้วยน้ำมันปาล์มลดยางเหนียวลดกรดผสมในน้ำมันดีเซลที่ 20 เปอร์เซ็นต์, 30 เปอร์เซ็นต์, และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร เปรียบเทียบดีเซล ได้ผลดังนี้ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกว่าโดยเฉลี่ยประมาณ 3.9 เปอร์เซ็นต์, 6.6 เปอร์เซ็นต์, และ 10.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าโดยเฉลี่ยประมาณ 0.8 เปอร์เซ็นต์, 1.4 เปอร์เซ็นต์, และ 3.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและ

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเดินเครื่องเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการเดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันปาล์มลดยางเหนียวลดกรดเพียงอย่างเดียว การเดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันปาล์มลดยางเหนียวลดกรดผสมดีเซลจะทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ดีขึ้น

Haldara et al. (2009) ทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์การเกษตร ด้วยน้ำมันพืชลดยางเหนียว 3 ชนิด ได้แก่ Karanja Putranjiva และสบู่ดำ ผสมในดีเซลที่ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พบว่า การผสมน้ำมันพืชลดยางเหนียวทั้ง 3 ชนิด ในดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ให้ผลการทดสอบน่าพอใจมาก สมรรถนะเครื่องยนต์ดี และปริมาณไอเสียลดลง โดยการลดยางเหนียวเป็นกระบวนการทางเคมีที่คุ้มค่าในการผลิต ช่วยลดยางเหนียว และปรับปรุงคุณสมบัติด้านความหนืด และค่าซีเทนให้ดีขึ้น

Leevijit and Prateepchaikul (2011) ทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลของรถกระบะ ระบบอัดอากาศ เทอร์โบชาร์จเจอร์ ห้องเผาไหม้ Indirect injection ที่ภาระเปลี่ยนแปลงโหลด และที่ภาระเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ พบว่า การผสมน้ำมันปาล์มดิบหีบรวมลดยางเหนียวลดกรดในดีเซลสูงถึง 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรได้รับผลเป็นที่น่าพอใจ เมื่อเทียบกับดีเซลดังนี้ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่า 4.3-7.6 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่า 3.0–5.2 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิไอเสียต่ำกว่า 2.7-3.4 เปอร์เซ็นต์

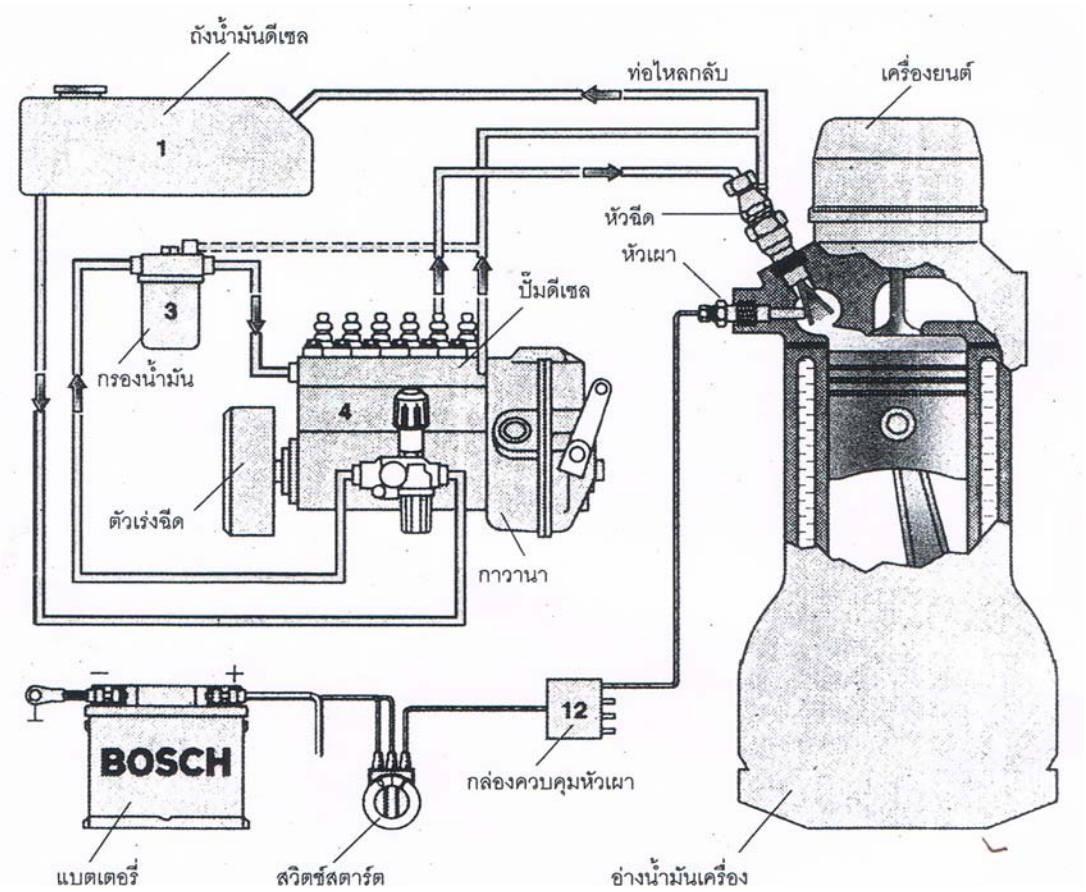
บทที่ 2
เครื่องยนต์ดีเซล น้ำมันดีเซล มลพิษจากการเผาไหม้

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลที่นำมาทดสอบ ในด้านอุปกรณ์และระบบที่สำคัญ และกล่าวถึงน้ำมันดีเซล ในด้านต่างๆ เช่น คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง การเลือกใช้น้ำมันดีเซล และอันตรายที่เกิดจากน้ำมันดีเซล ในส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์

2.2 เครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายใน (สันดาปภายนอก คือ เครื่องจักรไอน้ำ) ที่ดูดอากาศเปล่า ๆ เข้าไปอัดในห้องเผาไหม้ ด้วยอัตราอัดสูงประมาณ 15:1 ถึง 22:1 อากาศที่ถูกอัดจึงร้อนสูงมาก ประมาณ 600 องศาเซลเซียส. ขึ้นไป เมื่อฉีดน้ำมันดีเซลให้เป็นละอองเข้าไปในอากาศที่ถูกอัดนั้นน้ำมันดีเซลจะลุกติดไฟได้เอง โดยไม่ต้องใช้ประกายไฟจุดระเบิดเหมือนเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ดังนั้นเครื่องยนต์ดีเซลจึงต้องมีส่วนประกอบแข็งแรง และมีเสียงดังมากกว่าเครื่องยนต์แก๊สโซลีน เครื่องยนต์ดีเซล ตั้งชื่อให้เกียรติแก่เจ้าของผลงาน คือ ดร. รูดอล์ฟดีเซล (Dr. Rudolf Diesel) วิศวกรยานยนต์เยอรมัน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2440 คือ ประมาณ 100 ปีแล้ว ยังใช้กันจนถึงปัจจุบัน

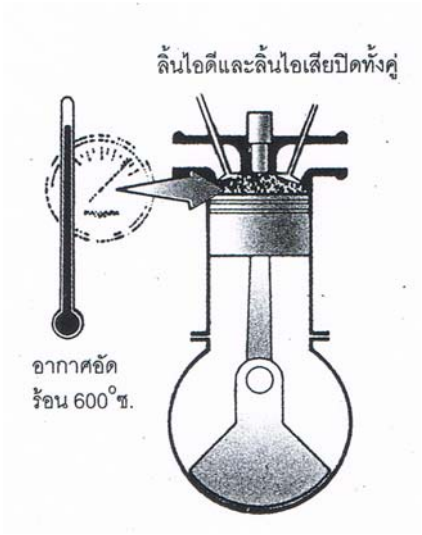


รูปที่ 2.1 ภาพตัดเครื่องยนต์ดีเซลและวงจรน้ำมันดีเซล ใช้ปั๊มดีเซลแบบเรียงสูบ

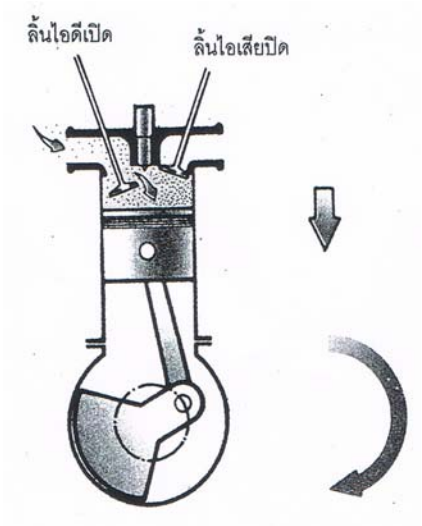
2.2.1 วัฏจักรทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในรถยนต์ทั่วไป ล้วนเป็นเครื่องยนต์ 4 จังหวะ เครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ มีแต่เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมหรือในเรือทะเล

จักรของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ เหมือนกับวัฏจักรของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ คือ จังหวะดูด-อัด งาน-คาย โดยเริ่มตั้งแต่ลูกสูบอยู่ศูนย์ตายบน ดังนี้



รูปที่ 2.2 การจุดระเบิด



รูปที่ 2.3 จังหวะดูด

2.2.1.1 การจุดระเบิด

เครื่องยนต์แก๊สโซลีน จุดระเบิดด้วยไฟแรงสูงกระโดดที่เขี้ยวหัวเทียน แต่เครื่องยนต์ดีเซลจุดระเบิดด้วยความร้อนจากการอัดอากาศในจังหวะอัดที่สูงไม่น้อยกว่า 600 ซ. คือ จุดระเบิดได้เอง

เครื่องยนตีดเซลโดยทั่วไป อัตราอัดจึงสูง 15:1 ถึง 22:1 แต่อัตราอัดของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน สูงเพียง 6:1 ถึง 12:1

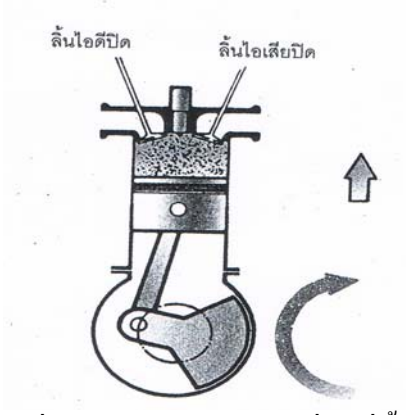
2.2.1.2 จังหวะดูด

1) จังหวะดูดกำหนดให้เป็นจังหวะที่ 1 ลิ้นไอดีเปิดตั้งแต่ลูกสูบอยู่ก่อนศูนย์ตายบนเล็กน้อยเพลาข้อเหวี่ยงหมุนพาลูกสูบลงสู่ศูนย์ตายล่าง

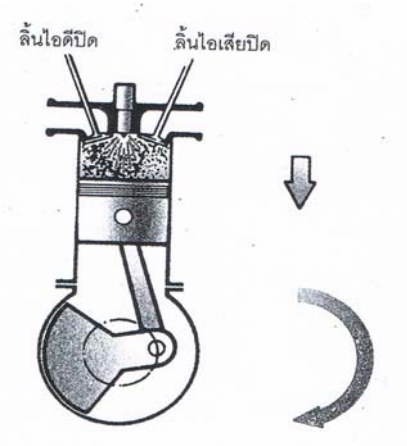
2) เครื่องยนต์ดีเซลดูดอากาศเปล่า ๆ ที่ผ่านไส้กรองอากาศแล้วเข้าไปในกระบอกสูบ เรียกว่า ไอดี

3) ขณะลูกสูบเคลื่อนที่ลงปริมาตรในกระบอกสูบเพิ่มขึ้น เกิดสุญญากาศทันที

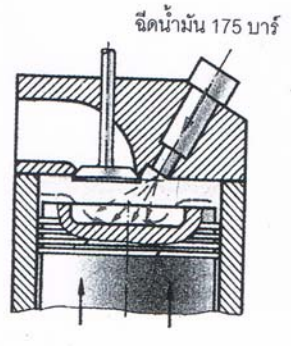
4) เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงเลยศูนย์ตายล่างเล็กน้อย ไอดีจะปิด กระบอกสูบได้รับการบรรจุด้วยอากาศจนเต็ม



รูปที่ 2.4 จังหวะอัดลูกสบเคลื่อนที่ขึ้น



รูปที่ 2.5 จังหวะอัดลูกสูบเคลื่อนที่ลง



รูปที่ 2.6 อากาศผสมน้ำมันดีเซลเริ่มติดไฟ

2.2.1.3 จังหวะอัด

1) จังหวะอัดกำหนดให้เป็นจังหวะที่ 2 ลูกสูบเคลื่อนที่จากศูนย์ตายล่างขึ้นสู่ศูนย์ตายบน ลิ้นทั้งคู่ปิด สนิทไอดีภายในกระบอกสูบถูกอัด ให้มีปริมาณเล็กลง ประมาณ 15:1 ถึง 22:1 เรียกว่า อัตราอัด (compression Ratio) 15:1 ถึง 22:1

2) พอดีที่ถูกอัดให้มีปริมาณเล็กลง จะมีความดันสูง 30-40 บาร์

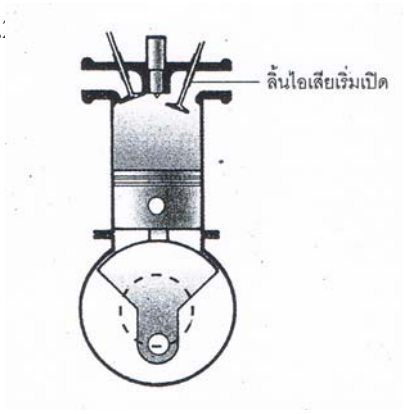
3) อุณหภูมิสูง พอดีที่ถูกอัดเกิดการเสียดสีระหว่างอณูอากาศ ไอดีจึงร้อนขึ้นเป็น 600-700 องศาเซลเซียส.

2.2.1.4 จังหวะงาน

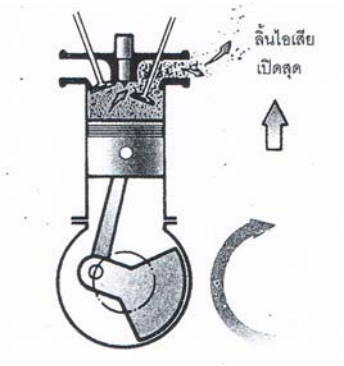
จังหวะงาน กำหนดให้เป็นจังหวะที่ 3 ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ประมาณ 2,000-2,500 องศาเซลเซียส. ทำให้แก๊สขยายตัวดันลูกสูบลงล่าง ด้วยความดันประมาณ 50-75 บาร์

การเผาไหม้เกิดหลังการเริ่มฉีดน้ำมันเข้าไปผสมกับอากาศประมาณ 0.001 วินาที ไม่เกิน 0.002 วินาที จึงจะเกิดการเผาไหม้ขึ้น ช่วงเวลานี้เป็นคุณสมบัติน้ำมันดีเซลอย่างหนึ่งเรียกว่า เวลาถ่วงจุดระเบิด (Ignition Lag) นับจากเริ่มฉีดไปจนถึงเริ่มฉีดไฟ เพื่อให้น้ำมันดีเซลเป็นไอผสมกับอากาศให้สมบูรณ์เสียก่อนจึงเผาไหม้ แต่ต้องไม่ช้ามาก เพราะจะทำให้ติดเครื่องยาก

2.



รูปที่ 2.7 เริ่มจังหวะคาย ลูกสูบเริ่มขึ้น



รูปที่ 2.8 จังหวะคาย ลูกสูบขึ้นขับไล่ไอเสีย

จังหวะคาย

1) จังหวะคาย กำหนดให้เป็นจังหวะที่ 4 เป็นจังหวะที่ต้องขับไล่ไอดีที่เผาไหม้แล้ว เรียกว่า ไอเสีย ออกไปจากกระบอกสูบทางลิ้นไอเสีย

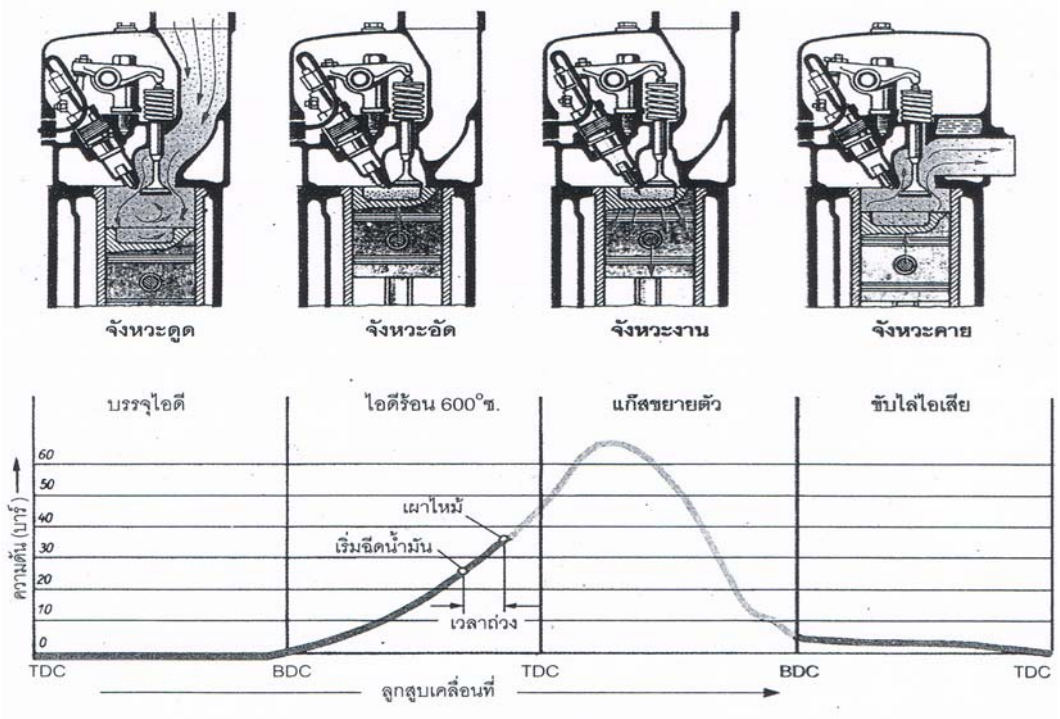
2) ลิ้นไอเสียเปิดก่อนลูกสูบจะถึงศูนย์ตายล่างเล็กน้อยเพื่อให้ไอเสียออกไป แต่ลิ้นไอดียังปิดอยู่

ขณะมีภาระหนักเครื่องยนต์ดีเซลคายไอเสียเมื่ออุณหภูมิไอเสียประมาณ 600 องศาเซลเซียสส่วนเครื่องยนต์ส่วนเครื่องยนต์แก๊สโซลีนคายไอเสียประมาณ 900 องศาเซลเซียส จากความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้เท่ากัน 2,000-2,500 องศาเซลเซียส จึงเห็นได้ว่า เครื่องยนต์ดีเซลใช้ความร้อนจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง เป็นประโยชน์ได้มากกว่าเครื่องยนต์แก๊สโซลีน จึงประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงกว่าเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

2.2.2 กระบวนการเผาไหม้และกราฟความดันในห้องเผาไหม้

2.2.2.1 กระบวนการเผาไหม้ (combustion process)

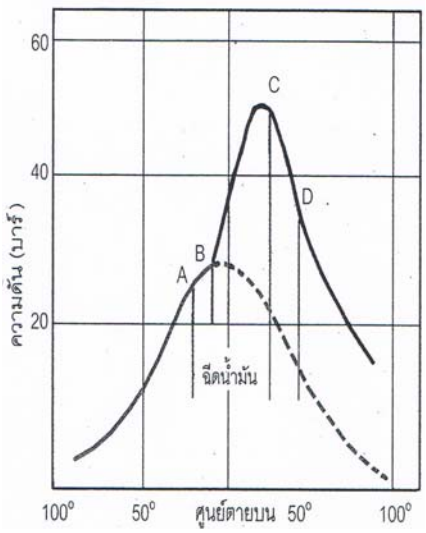
การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้น คือ น้ำมันดีเซลรวมตัวกับออกซิเจนทำให้เกิดความร้อนสูง อุณหภูมิและความดันสูงขึ้น ธาตุสำคัญที่ติดไฟ คือ คาร์บอนและไฮโดรเจน ธาตุ 2 นี้ จะแยกตัวผสมกับออกซิเจน ไฮโดรเจนผสมกับออกซิเจนกลายเป็นน้ำ (H_2O) ส่วนคาร์บอน ผสมกับออกซิเจนกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ถ้าภายในห้องเผาไหม้มีออกซิเจนอยู่ไม่เพียงพอ คาร์บอนส่วนหนึ่งที่เข้าผสมกับออกซิเจนจะกลายเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่เป็นแก๊สพิษ



รูปที่ 2.9 กราฟความดันในห้องเผาไหม้เครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ ครบ 1 วัฏจักร

2.2.2.2 กราฟความดันในห้องเผาไหม้ (Pressure Volume Diagram)

กราฟความดันเป็นไดอะแกรมจากเครื่องยนต์ที่ติดเกจวัดความดันในห้องเผาไหม้ เพื่อวัดความดันในห้องเผาไหม้ที่ผันแปรไปกับปริมาตรห้องเผาไหม้ ตามอัตราส่วนที่ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นลงแต่ละจังหวะ จังหวะดูดเกิดสุญญากาศในห้องเผาไหม้ เส้นกราฟจึงต่ำกว่าเส้น 0 แต่จังหวะอื่นเส้นกราฟอยู่เหนือเส้น 0 เพราะเป็นความดัน กระบวนการเผาไหม้ แบ่งเป็น 4 ช่วง ตามแกนแนวนอนต่อไปนี้



รูปที่ 2.10 กราฟการเผาไหม้น้ำมันดีเซล

2.2.2.2.1. กราฟการเผาไหม้น้ำมันดีเซล

กราฟการเผาไหม้ คือ ไดอะแกรมการเผาไหม้น้ำมันดีเซลในห้องเผาไหม้เครื่องยนต์ดีเซลมีลำดับ ดังนี้

A เริ่มฉีดน้ำมันเข้าในห้องเผาไหม้

B น้ำมันเริ่มเผาไหม้

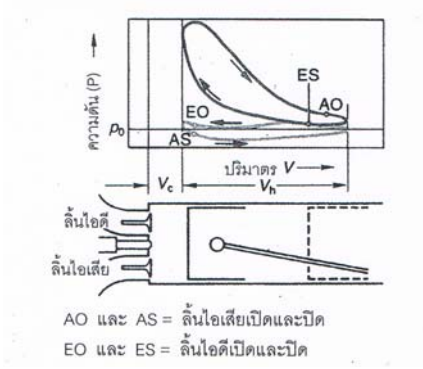
C หยุดฉีดน้ำมันเข้าห้องเผาไหม้

D สิ้นสุดการเผาไหม้

A-B = เวลาถ่วงจุดระเบิด

B-C = ช่วงเผาไหม้รวดเร็ว

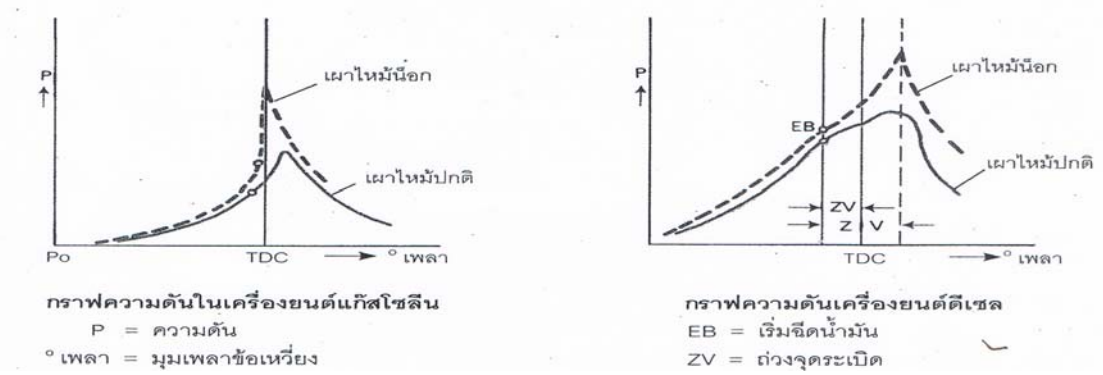
C-D = ช่วงเผาไหม้ต่อเนื่อง



รูปที่ 2.11 กราฟความดันกับปริมาตร

2.2.2.2.2. กราฟความดันกับปริมาตร (pv = pressure volume Diagram)

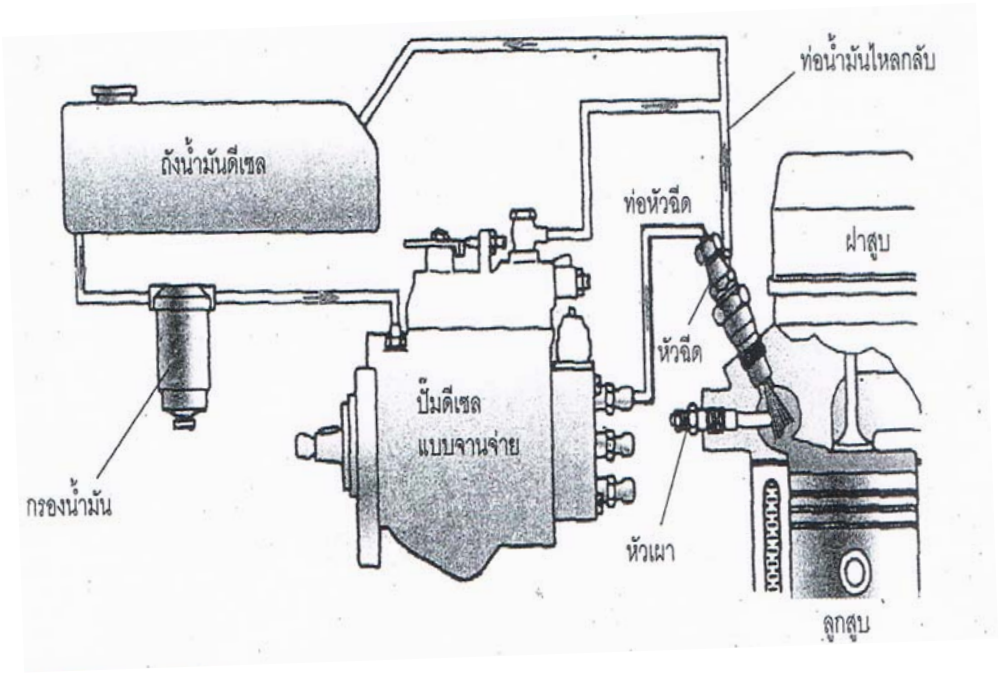
กราฟความดันกับปริมาตรรูปที่ 2.11 เป็นกราฟการทำงานของเครื่องยนต์ครบ 1 วัฏจักร (2 รอบเพลาข้อเหวี่ยง) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในห้องเผาไหม้กับปริมาตรห้องเผาไหม้ที่เปลี่ยนแปลง โดยเริ่มดูดอากาศเข้าที่ Po คือ อัด, งาน, คาย บรรจุที่ Po เช่นเดิม



รูปที่ 2.12 กราฟเปรียบเทียบการเผาไหม้ปกติและเผาไหม้น็อก

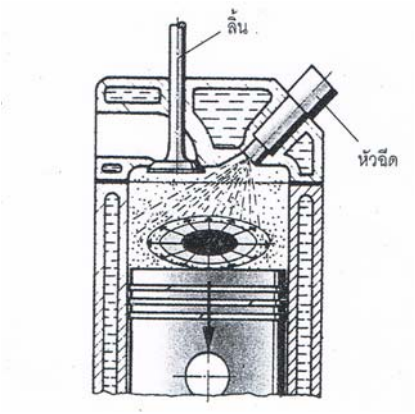
2.2.3 ลักษณะการฉีดน้ำมันดีเซล

การฉีดน้ำมันดีเซลของระบบฉีดน้ำมันดีเซล เป็นหัวใจสำคัญของระบบน้ำมันดีเซลจะ ต้องทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงและเที่ยงตรง เพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานได้ปลอดภัยและมีสมรรถนะดี ซึ่งมีหน้าที่สำคัญดังต่อไปนี้

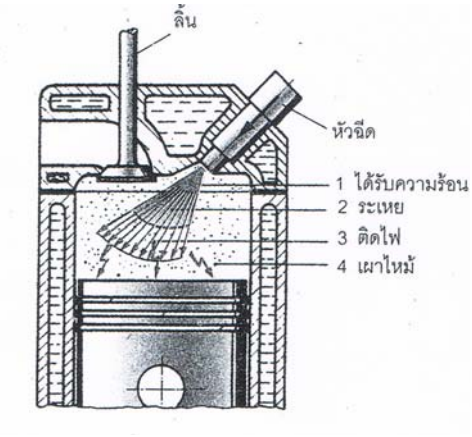


รูปที่ 2.13 ส่วนประกอบการฉีดน้ำมันของระบบน้ำมันดีเซล

2.2.4 กราฟความดันจากการฉีดน้ำมันดีเซล 3 ตำแหน่ง



รูปที่ 2.14 การฉีดน้ำมันดีเซลเข้าห้องเผาไหม้เย็น



รูปที่ 2.15 การเผาไหม้ในห้องเผาไหม้แบบเปิด

2.2.4.1 กราฟความดันจากการฉีดน้ำมันดีเซล 3 ตำแหน่ง

- ให้ความดันในห้องเผาไหม้เท่ากับ PK เมื่อฉีดน้ำมันดีเซลเข้าไปผสมอากาศอัดในห้องเผาไหม้ตามกำหนดจะได้ประสิทธิภาพจากการเผาไหม้สูงสุด เกิดความดัน Pz_1 ดังส่วนบนของรูปที่ 2.14

- ถ้าฉีดน้ำมันดีเซลก่อนกำหนดมาก การเผาไหม้จะเกิดล่าช้า เพราะอุณหภูมิของอากาศไม่สูงพอทำให้เครื่องยนต์น็อก เดินไม่เรียบ เกิดเสียงดัง ไอเสียมีควัน ความดันสูงมากถึง Pz_3

- ถ้าฉีดน้ำมันดีเซลล่าช้า เริ่มเผาไหม้เมื่อลูกสูบผ่านศูนย์ตายบนไปแล้ว เครื่องยนต์จะร้อนจัดความดันสูงสุดเพียง Pz_3 สิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลมาก และกำลังเครื่องยนต์ตก

2.2.4.2 การฉีดน้ำมันดีเซลเข้าห้อง เผาไหม้ เย็น

การติดเครื่องยนต์สภาพเย็น อากาศที่ถูกอัดยังไม่ร้อนพอ เมื่อหัวฉีดๆ น้ำมันดีเซลเข้าไปผสมอากาศอัด น้ำมันดีเซลคลุกเคล้ากับอากาศอัดยาก น้ำมันดีเซลจะสะสมอยู่บนหัวลูกสูบจากรอบก่อน เมื่อเกิดการเผาไหม้ จึงเผาไหม้รุนแรงกลายเป็นเครื่องยนต์ทำงานหนัก มีผลกระทบต่อลูกสูบและแบริ่งเครื่องยนต์

2.2.4.3 การเผาไหม้ในห้องเผาไหม้แบบเปิด

การฉีดน้ำมันดีเซลเข้าไปในห้องเผาไหม้ จะต้องเป็นละอองตามความเหมาะสมกับชนิดของห้องเผาไหม้เครื่องยนต์จึงจะติดง่าย การเผาไหม้สมบูรณ์ห้องเผาไหม้บางแบบต้องการละอองหยาบ เช่น ห้องเผาไหม้ที่มีห้องเผาไหม้ช่วย บางแบบต้องการละอองละเอียด เช่น ห้องเผาไหม้แบบเปิด เมื่อฉีดน้ำมันเข้าไปในห้องเผาไหม้แบบเปิดจะเกิดการเผาไหม้ดังรูปที่ 2.15

2.2.5 กราฟผลกระทบจากช่วงหน่วงติดไฟของน้ำมันดีเซล

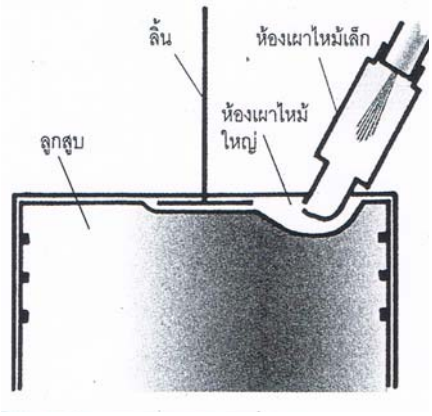
2.2.5.1 การเริ่มฉีดน้ำมันดีเซลโดยทั่วไป จะฉีดก่อนศูนย์ตายบน 10-20° เพื่อให้น้ำมันดีเซลมีเวลาคลุกเคล้ากับอากาศอัด ในช่วงหน่วงติดไฟของน้ำมันดีเซล

2.2.5.2 ช่วงหน่วงติดไฟของน้ำมันดีเซล เป็นคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลอย่างหนึ่งต้องไม่เกิน 0.001-0.0015 วินาที ถ้านานเกินไปจะเกิดสะสมน้ำมันดีเซลแล้วเผาไหม้พร้อมกันเกิดการน็อก

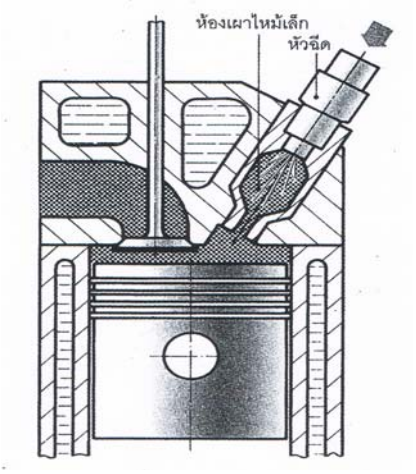
2.2.5.3 การสิ้นสุดการฉีดน้ำมันดีเซล จะอยู่หลังศูนย์-ตายบน คือ เริ่มฉีดตั้งแต่ก่อนศูนย์ตายบนไปสิ้นสุดการฉีดหลังศูนย์นี้ตายบน

2.2.6 ห้องเผาไหม้เครื่องยนต์ดีเซล

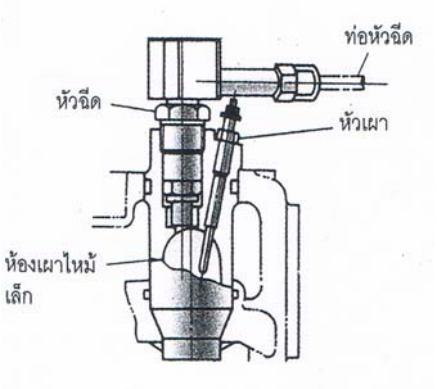
วิธีการผสมไอดีภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล ต้องดูดอากาศเปล่า ๆ เข้าไป แล้วอัดให้มีความดันสูงและเพิ่มอุณหภูมิด้วยน้ำมันดีเซลที่ฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ จะเป็นละอองผสมกับอากาศที่ถูกอัดและถูกบังคับให้เกิดการหมุนวน ละอองน้ำมันจะระเหยเป็นไอแตกตัวทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในห้องเผาไหม้ตามเวลาถ่วงจุดระเบิดประมาณ 1 ใน 100 ถึง 1 ใน 1,000 วินาที แล้วแต่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ ถ้าคิดตามเวลาขั้นตอนแล้ว ลำดับการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลมีมาก จึงมีปัญหาการขับไล่ไอเสียและการผสมไอดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อเครื่องยนต์มีความเร็วรอบสูง การผสมไอดีด้วยเวลาอันรวดเร็ว จะกระทำได้ไม่ดีนัก การเผาไหม้และพลังของเครื่องยนต์จะลดลง การสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลสูงด้วย เพื่อแก้ปัญหาเช่นนี้ จึงต้องมีห้องเผาไหม้ เพื่อช่วยในการผสมอากาศกับน้ำมันดีเซลอย่างมีประสิทธิภาพและการเพิ่มปริมาณของอากาศเข้าห้องเผาไหม้ให้เกินความต้องการได้ เช่น ใช้เครื่องซูเปอร์ชาร์จ เป็นต้น



รูปที่ 2.17 ห้องเผาไหม้แบบ 2 ชั้นอย่างง่าย



รูปที่ 2.17 ห้องเผาไหม้แบบ 2 ชั้น



รูปที่ 2.18 หัวเผาในห้องเผาไหม้เล็ก

2.2.7 ห้องเผาไหม้แบบ 2 ชั้นและแบบพาวน

ห้องเผาไหม้แบบ 2 ชั้น (Pre-Combustion Chamber)

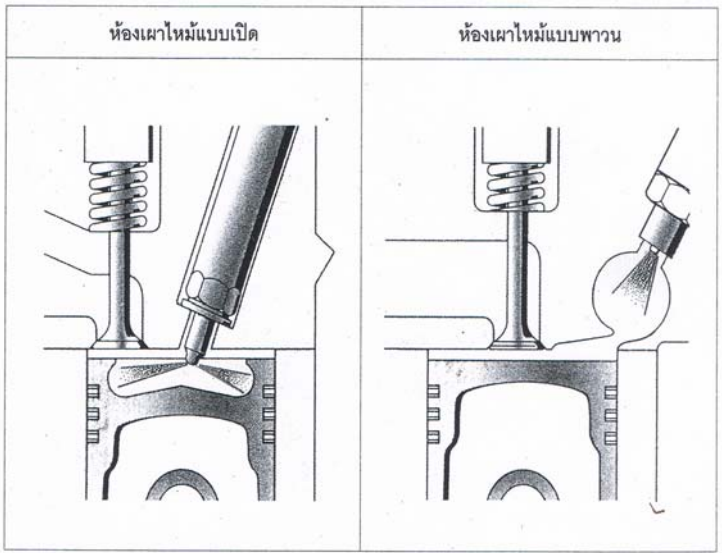
ลักษณะห้องเผาไหม้แบบ 2 ชั้น

ที่ฝาสูบเหนือลูกสูบมีห้องเผาไหม้เล็กเป็นห้องเผาไหม้ช่วย มีรูเล็ก ๆ ทะลุถึงห้องเผาไหม้ใหญ่ มีปริมาตรประมาณ 25-40 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรอัดเหนือหัวลูกสูบ เมื่อพิจารณาผิวห้องเผาไหม้แล้ว พื้นที่นำความร้อนออกจากอากาศไอดีที่ถูกอัดมีมาก ทำให้สตาร์ตติดเครื่องยากต้องใช้หัวเผา ใช้นมหนูหัวฉีดแบบเดือย ความดันฉีดน้ำมันดีเซลประมาณ 100-120 บาร์ ฉีดเข้าห้องเผาไหม้เล็กละอองน้ำมันดีเซลบางส่วนเริ่มติดไฟเอง เกิดความดันสูงพ่นออกจากห้องเผาไหม้เล็กสู่ห้องเผาไหม้ใหญ่ พร้อมกับน้ำมันดีเซลบางส่วนที่ยังไม่เผาไหม้ แล้วเผาไหม้ต่อที่ห้องเผาไหม้ใหญ่ การเผาไหม้จึงเกิดขึ้นต่อเนื่อง ไม่รุนแรงเครื่องยนต์ เดินเรียบ

2.2.8 ลักษณะการเผาไหม้แบบพาวน (Swirl Chamber)

ลักษณะห้องเผาไหม้แบบพาวน

ที่ฝาสูบมีห้องพาวน (Swirl) เปิดปากกว้างต่อกับห้องเผาไหม้ใหญ่ มีปริมาตรประมาณ 50-900 เปอร์เซ็น ของปริมาตรอัดเหนือหัวลูกสูบ พื้นที่ผิวห้องเผาไหม้ทั้งหมดกว้างมาก จำเป็นต้องใช้หัวเผาอุ่นไอดึงให้ติดเครื่องยนต์ง่ายขึ้น ใช้นมหนูหัวฉีดแบบเดือย ฉีดเข้าห้องพาวนด้วยความดันฉีด 100-120 บาร์ อากาศไอดีที่ถูกอัดจะหมุนเวียนในห้องพาวนอย่างรุนแรง ทำให้เกิดการคลูกเคล้าระหว่างอากาศกับละอองน้ำมันดีเซลที่ฉีดเข้าไป การเผาไหม้เป็นไปอย่างทั่วถึง เผาไหม้ต่อเนื่องจากห้องพาวนออกสู่ห้องเผาไหม้ใหญ่ เหมือนกับห้องเผาไหม้แบบ 2 ชั้นดังกล่าว มาแล้ว

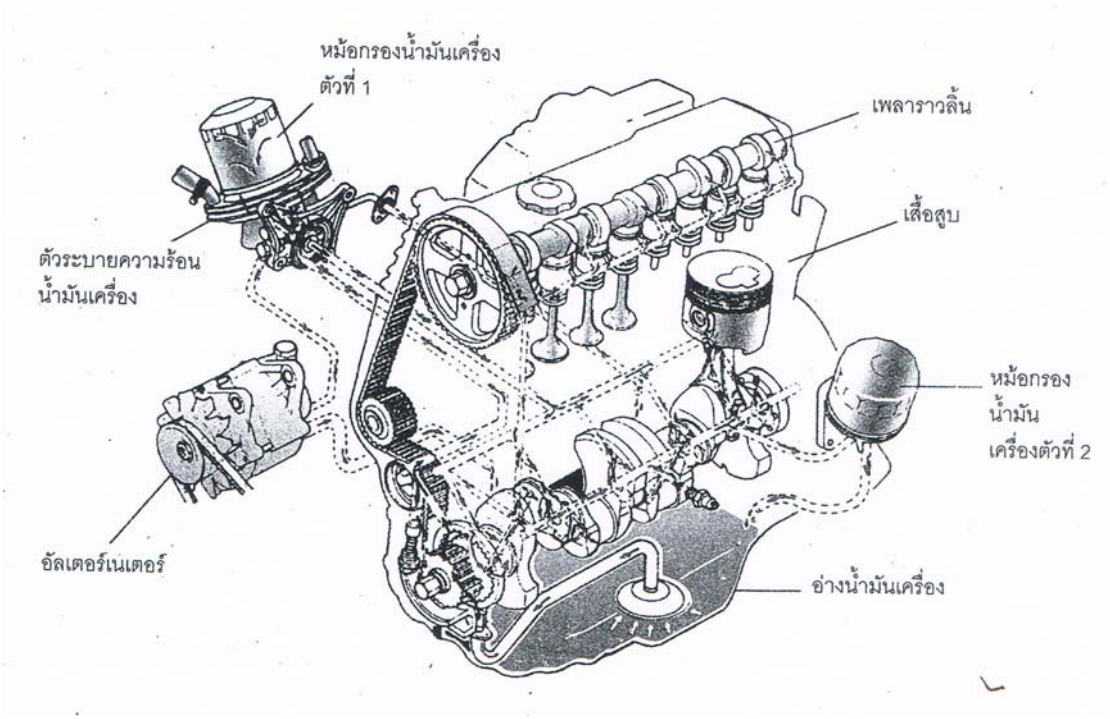


รูปที่ 2.19 ภาพตัดห้องเผาไหม้เครื่องยนต์ดีเซลแบบเปิดและแบบพาวน

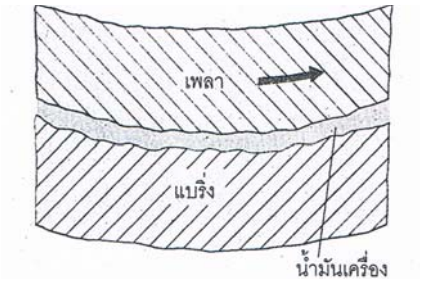
2.2.9 ระบบหล่อลื่นและระบายความร้อน

ภายในเครื่องยนต์ประกอบด้วยชิ้นส่วนที่มีการหมุนอยู่มากมาย ขณะเครื่องยนต์ทำงาน ชิ้นส่วนต่าง ๆ จะเกิดความร้อนจากความฝืดของชิ้นส่วนโลหะ ที่มีการสัมผัสโดยตรงกับชิ้นส่วนโลหะอื่น ๆ ความร้อนจากมีเคลื่อนไหว และความมฝืดทั้งหมดย่อมทำให้เครื่องยนต์สึกหรอ ชำรุดและเสียหายได้ก่อนเวลาอันควร จึงจำเป็นต้องมีน้ำมันเครื่องเคลือบผิวชิ้นส่วนโลหะที่เคลื่อนไหว ลดการสึกหรอและลดความร้อน ทำให้ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ทำงานได้ปลอดภัยและคงทน โดยมีปั๊มน้ำมันเครื่องดูดส่งน้ำมันเครื่องไปหล่อลื่นชิ้นส่วนที่หมุนสัมผัสกัน

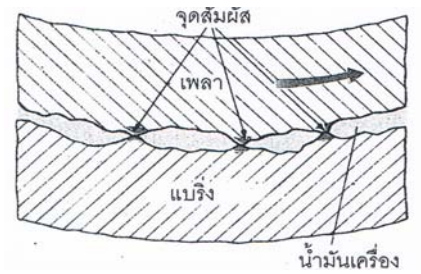
หม้อกรองน้ำมันเครื่องอยู่กึ่งกลางระหว่างวงจรน้ำมันเครื่อง เพื่อกักกันเศษโลหะที่เกิดจากการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ อันเนื่องมาจากความฝืดรวมทั้งเขม่า สิ่งสกปรกอื่นๆ ที่ติดมากับน้ำมันเครื่อง ถ้าไส้กรองน้ำมันเครื่องที่เป็นตัวขจัดสิ่งสกปรกจากน้ำมันเครื่องเกิดอุดตัน ลิ้นระบายที่อยู่ภายในหม้อกรองน้ำมันเครื่องจะเปิดลัดวงจร ป้องกันไม่ให้การไหลของน้ำมันไปติดขัดในขณะที่น้ำมันเครื่องพยายามจะไหลผ่านไส้ของน้ำมันเครื่องที่อุดตันนั้น



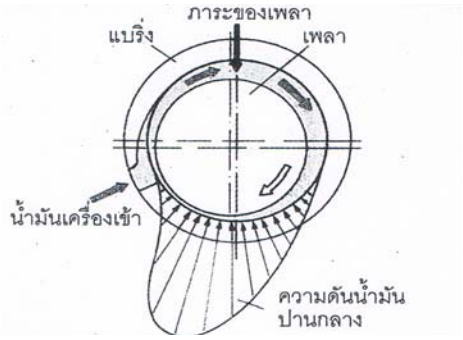
รูปที่ 2.20 ส่วนประกอบการหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีเซลรถยนต์



รูปที่ 2.21 ความฝืดเชิงของไหล



รูปที่ 2.22 ความฝืดกึ่งของไหล



รูปที่ 2.23 ความดันน้ำมันในแบริ่ง

2.2.10 หน้าที่และส่วนประกอบระบบหล่อลื่นเครื่องยนต์

2.2.10.1 หน้าที่ของระบบหล่อลื่น

- ให้การหล่อลื่นชิ้นส่วนที่สัมผัสกัน
- ป้องกันสนิมและการกัดกร่อนชิ้นส่วน
- ทำความสะอาดชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์
- ระบายความร้อนขึ้นส่วนภายในเครื่องยนต์
- อุดรอยรั่วระหว่างแหวนลูกสูบ

2.2.10.2 ความฝืดเชิงของไหล (Fluid Friction)

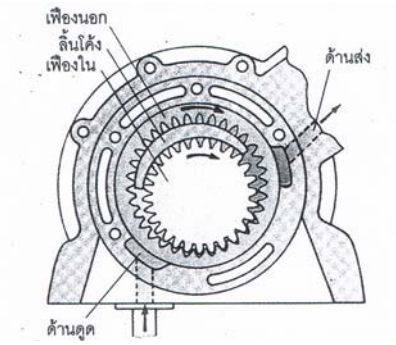
ความฝืดระหว่างน้ำมันเครื่องกับหน้าสัมผัสของวัตถุทั้งคู่ ผิววัตถุทั้งคู่ไม่มีโอการสัมผัสกันเลย เพราะมีชั้นน้ำมันเครื่องเคลือบอยู่อย่างเต็มหน้า คือ ฉาบผิววัตถุทั้งคู่ไว้ความฝืดที่เกิดขึ้นแปรสภาพเป็นความร้อนให้กับแบริ่ง การสึกหรอและความร้อนจึงเกิดขึ้นได้น้อยน้ำมันเครื่องที่ไปหล่อลื่นต้องสูบอัดเข้าไปให้มีความดันน้ำมันเครื่องหน้าแบริ่งหากผิดทั้งคู่สัมผัสกันบ้าง เช่น เวลาเริ่มหมุนหรือได้รับแรงกระแทก เรียกว่า ความฝืดกึ่งของไหล ดังรูปที่ 2.22

2.2.10.3 การหล่อลื่นเพลาข้อเหวี่ยง

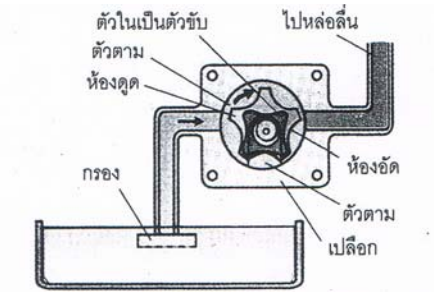
ผิวแบริ่งเป็นโลหะอ่อน ต้องได้รับการหล่อลื่นพร้อมกับชะสิ่งสกปรกและระบายความร้อนออกจากแบริ่ง ความสามารถในการหล่อลื่นเพลาและแบริ่งขึ้นอยู่กับรายการต่อไปนี้

- ระยะห่างหล่อลื่น (Clearance) ต้องมีเพียงพอให้น้ำมันเครื่องเข้าไปอยู่ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลา และมีพื้นที่ผิวสัมผัสกว้างพอพยุงเพลาให้ลอยบนชั้นหล่อลื่นของน้ำมันเครื่องได้

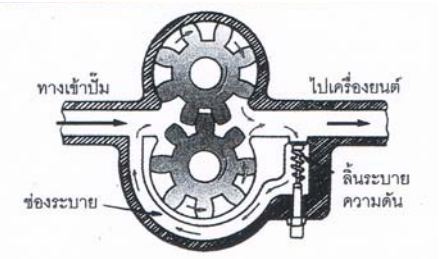
- บริเวณที่น้ำมันเครื่องเข้าไปหล่อลื่น ต้องเป็นบริเวณที่มีความดันของน้ำมันต่ำ ร่องน้ำมันบนผิวแบริ่งที่จะส่งน้ำมันไปเลี้ยงแบริ่งอยู่ในบริเวณที่มีความดันต่ำ



รูปที่ 2.24 ปั๊มน้ำมันเครื่องแบบเฟือง ฟันใน



รูปที่ 2.25 ปั๊มน้ำมันเครื่องแบบโรเตอร์



รูปที่ 2.26 ลิ้นระบายความดัน น้ำมันเครื่อง

2.2.11 ประเภทปั๊มน้ำมันเครื่อง

2.2.11.1 ปั๊มน้ำมันเครื่องแบบเฟือง

ปั๊มน้ำมันเครื่องแบบเดิม เป็นเฟืองฟันนอกคู่ปัจจุบันเป็นแบบเฟืองฟันใน (lnternaI Gear pu มีp)น้ำมันเครื่องที่ถูกดูดเข้าไปตามซอกฟันเฟืองรอบเสื้อปั๊มส่งออกทางด้านส่งน้ำมันเครื่อง จะกลับสู่ทางด้านดูดไม่ได้ เพราะฟันเฟืองขบกันต่อเนื่อง ปั๊มน้ำมันเครื่องจึงทำหน้าที่ทั้งดีดและส่งน้ำมันเครื่องโดยไม่มีลิ้น ปั๊มดูดน้ำมันเครื่องได้เอง จึงติดตั้งไว้ใกล้พื้นอ่างน้ำมันเครื่องหรือต่อท่อดูดสั้น ๆ เพื่อลดความสูงช่วงดูด

2.2.11.2 ปั๊มน้ำมันเครื่องแบบโรเตอร์ (Rotor)

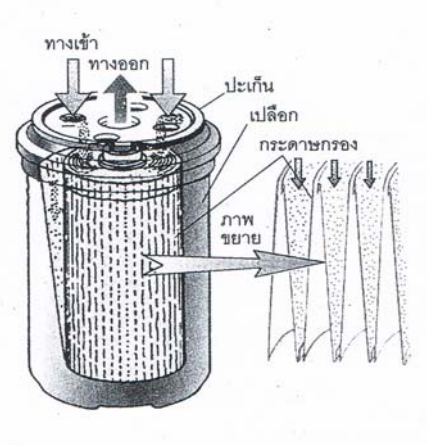
น้ำมันเครื่องแบบโรเตอร์ เป็นปั๊มน้ำมันเครื่องแบบเฟืองชนิดหนึ่ง ตัวขับที่เป็นตัวกลางมี 4 ฟันหมุนอยู่เยื้องศูนย์กลางปั๊ม ตัวตามเป็นโรเตอร์ 5 ฟันหมุนตามตัวขับอยู่ภายในเสื้อปั๊ม น้ำมันเครื่องเข้า-ออกทางด้านข้างโรเตอร์ ข้อดี คือ เสียงดังน้อยกว่าปั๊มน้ำมันเครื่องแบบ เฟือง

2.2.11.3 ปั๊มน้ำมันเครื่องแบบใบสลัด (Vane Pump)

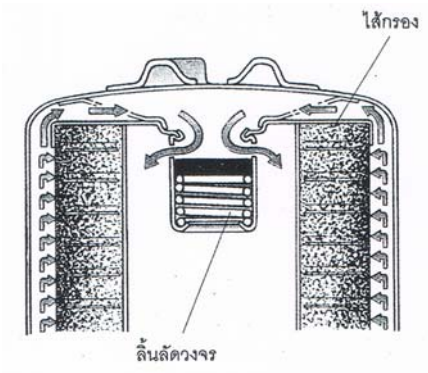
ตัวโรเตอร์หมุนอยู่เยื้องศูนย์กับตัวปั๊ม ขณะโรเตอร์หมุนใบสลัดจะดูด-อัด ส่งน้ำมันเครื่องออกได้อย่าง ต่อเนื่อง

2.2.11.4 ลิ้นระบายความดันน้ำมันเครื่อง

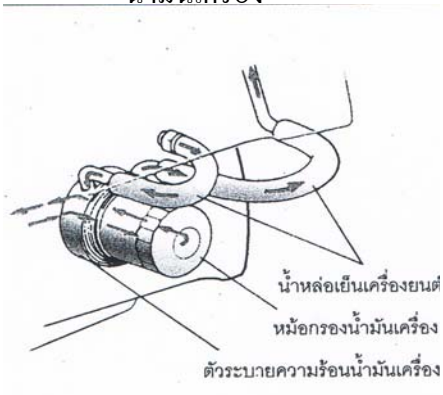
ลิ้นระบายความดันติดอยู่กับเสื้อปั๊มน้ำมันเครื่อง ระบายน้ำมันเครื่องส่วนเกินให้ไหลคืนกลับอ่างน้ำมันเครื่อง ระหว่างที่ความดันน้ำมันเครื่องสูงกว่ากำหนด เพราะเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบสูง ปั๊มน้ำมันเครื่องดูด-ส่งน้ำมันเครื่องได้มากเกินจำเป็น



รูปที่ 2.27 ไส้กรองแบบพับซิกแซก



รูปที่ 2.28 ลิ้นลัดวงจรในหม้อกรองน้ำมันเครื่อง



รูปที่ 2.29 น้ำมันเครื่องไหลเวียนในหม้อกรองและตัวระบายความร้อน

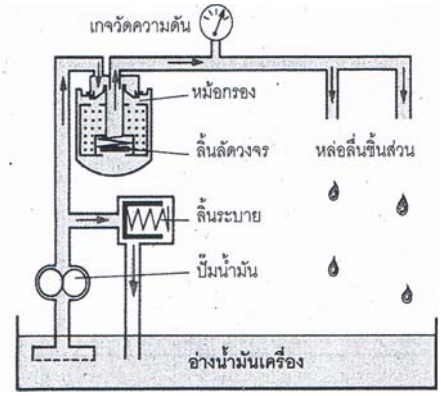
2.2.12 กรองและตัวระบายความร้อนน้ำมันเครื่อง

2.2.12.1 หม้อกรองน้ำมันเครื่อง

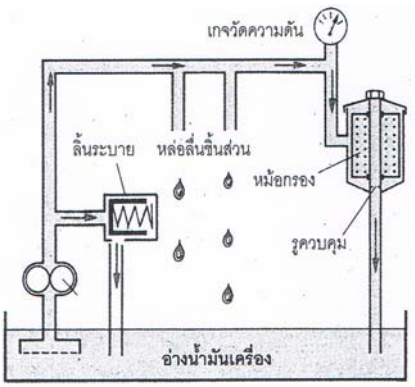
น้ำมันเครื่องที่ใช้ในเครื่องยนต์จะมีสารปนเปื้อน เช่น เขม่า เศษหิ้นส่วนของโลหะ สิ่งสกปรกอื่น ๆ ถ้าหากว่าชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวของเครื่องยนต์หล่อลื่นด้วยน้ำมันที่สกปรก จะทำให้ชิ้นส่วนสึกหรอเร็ว หรือทำให้เครื่องยนต์ติดตายได้ จึงป้องกันด้วยหม้อกรองน้ำมันเครื่อง ไส้กรองน้ำมันเครื่องเป็นกระดาษพิเศษพับซิกแซกชั้นเดียว เพื่อเพิ่มพื้นที่กรองน้ำมันเครื่อง

2.2.12.2 ลิ้นลัดวงจรในหม้อกรองน้ำมันเครื่อง

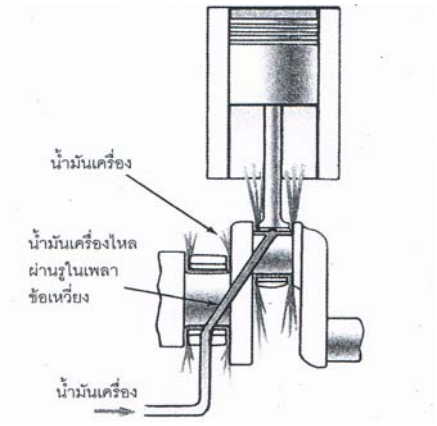
หม้อกรองน้ำมันเครื่องมีลิ้นลัดวงจรประกอบอยู่ภายในหม้อกรอง เมื่อน้ำมันเครื่องเริ่มอุดตันด้วยสิ่งสกปรก และความดันของน้ำมันเครื่องระหว่างทางเข้าและทางออกของหม้อกรองน้ำมันเครื่องแตกต่างกันประมาณ 1 บาร์ ลิ้นลัดวงจรจะเปิดออก เพื่อปล่อยน้ำมันเครื่องระบายลัดทางไส้กรอง (ไม่ผ่านไส้กรอง) เพื่อส่งไปยังชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวได้โดยตรง ป้องกันชิ้นส่วนเครื่องยนต์ขาดการหล่อลื่น ที่จะเป็นสาเหตุให้เกิดความร้อนมากจนเครื่องยนต์ติดตาย



รูปที่ 2.30 วงจรกรองทั้งหมด



รูปที่ 2.31 วงจรกรองบางส่วน



รูปที่ 2.32 ความดันน้ำมันเครื่องตก

2.2.13 วงจรกรองและตัวระบายความร้อนน้ำมันเครื่อง

2.2.13.1 วงจรกรองทั้งหมด (Full Flow)

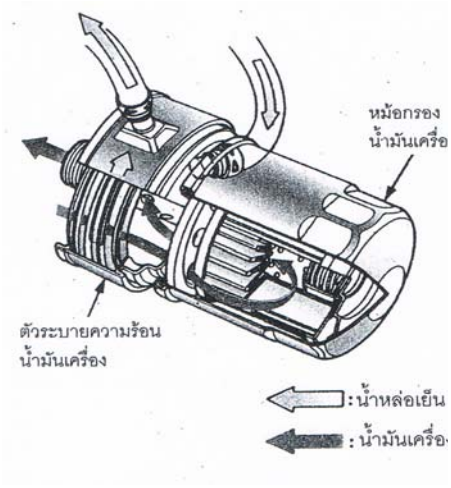
น้ำมันเครื่องที่ผ่านปั๊มจะผ่านหม้อกรองน้ำมันเครื่องทั้งหมด ก่อนที่จะเข้าไปหล่อลื่นเครื่องยนต์เป็นการป้องกันสิ่งแปลกปลอมไม่ให้ไปเป็นอันตรายต่อชิ้นส่วนเครื่องยนต์ หากไส้กรองสกปรกจนติดตันลิ้นลัดวงจรจะเปิดให้น้ำมันเครื่องบินทางไปหล่อลื่นเครื่องยนต์ทันที กรณีที่ความดันน้ำมันเครื่องขึ้นสูงเกินกำหนด ลิ้นระบายจะเปิดให้น้ำมันเครื่องไหลกลับอ่างน้ำมัน เครื่อง

2.2.13.2 วงจรกรองบางส่วน (Shunt)

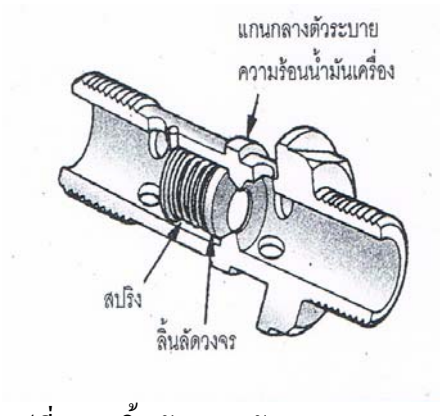
น้ำมันเครื่อง 5-10 เปอร์เซ็นต์ จะผ่านหม้อกรองแล้วกลับ คืนอ่างน้ำมันเครื่องโดยไม่มีความดัน น้ำมันเครื่อง) ส่วนหนึ่งที่ยังไม่ได้กรอง ไหลไปหล่อลื่นชิ้นส่วนเครื่องยนต์โดยตรง เพื่อไม่ให้น้ำมันเครื่องทั้งหมดไหลผ่านไส้กรอง จึงใช้ไส้กรองอย่างละเอียด สิ่งสกปรกที่ไปกับน้ำมันเครื่องจะกักกันไว้ในหม้อกรองได้ง่ายเพราะอัตราการไหลของน้ำมันเครื่องน้อยอยู่

2.2.13.3 ผลกระทบความดันน้ำมันเครื่องตก

เครื่องยนต์ที่ใช้งานเกิน 100,000 กิโลเมตร. ย่อมสึกหรอและหลวมคลอน น้ำมันเคกึ่งไหล่ออกรอบๆ ข้างแบริ่งได้มาก เป็นสาเหตุให้ความดันน้ำมันเครื่องตก น้ำมันเครื่องอาจไหลไปหล่อลื่นส่วนประกอบต่าง ๆ ได้ไม่เพียงพอ และฉีดไปหล่อลื่นกระบอกสูบไม่ถึง ดังรูปซ้ายมือ เป็นสาเหตุให้เครื่องยนต์ร้อนจัดหากร้อนมาก ๆ จนแบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงละลาย ความดันน้ำมันจะยิ่งตกมาก ยิ่งอันตรายมาก



รูปที่ 2.33 ตัวระบายความร้อน



รูปที่ 2.34 ลิ้นลัดวงจรตัวระบายความร้อนน้ำมันเครื่อง

2.2.14 ตัวระบายความร้อนน้ำมันเครื่อง

เนื่องจากการพัฒนาเครื่องยนต์ให้มีความเร็วรอบสูงขึ้น อุณหภูมิของเครื่องสูงขึ้นไปด้วย เมื่อเครื่องร้อนมากเกินกว่าอุณหภูมิการทำงาน ทำให้เกิดการสึกหรอและประสิทธิภาพตก จึงต้องมีตัวระบายความร้อนน้ำมันเครื่อง เพื่อให้คุณสมบัติน้ำมันเครื่องไม่ เปลี่ยน ไป

หลังจากการติดเครื่องสภาพเย็น น้ำระบายความร้อนจะร้อนเร็วกว่าน้ำมันเครื่อง จึงช่วยอุ่นน้ำมันเครื่องให้ร้อนเร็วขึ้น เพื่อลดเวลาการอุ่นเครื่องก่อนใช้งานได้อีก

2.2.15 ลิ้นลัดวงจรตัวระบายความร้อนน้ำมันเครื่อง

ตัวระบายความร้อนน้ำมันเครื่อง มีไว้เพื่อป้องกันการขาดน้ำมันเครื่องไปหล่อลื่นเครื่องยนต์ เนื่องจากความหนืดของน้ำมันเครื่องสูงเมื่ออุณหภูมิเมื่อมีความดันน้ำมันเครื่องแตกต่างกันระหว่างด้านทางเข้าและด้านทางออกของตัวระบายความร้อนน้ำมันเครื่องที่ 1.5. บาร์หรือมากกว่าจะทำให้ลิ้นลัดวงจรเปิด ปล่อยให้น้ำนั้นเครื่องจากปั๊มน้ำมันเครื่องไหลผ่านตัวระบายความร้อนน้ำมัน

2.2.16 ลักษณะและส่วนประกอบระบบระบายความร้อนเครื่องยนต์

2.2.16.1 การสูญเสียความร้อนที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกล

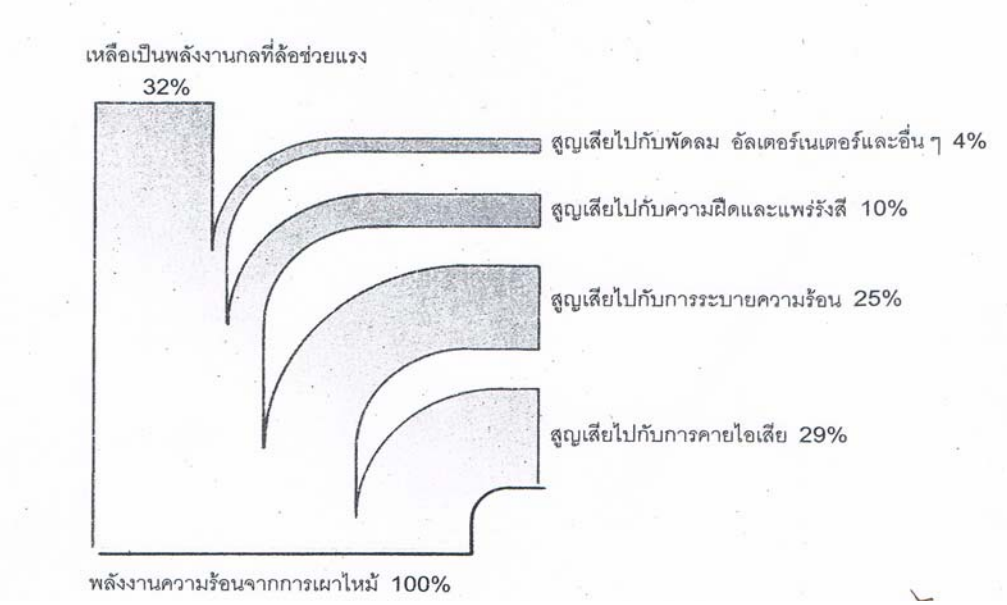
การระบายความร้อนเป็นการนำพาความร้อนส่วนเกินจากการเผาไหม้ออกจากเครื่องยนต์ เพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานได้ปลอดภัยและต่อเนื่อง การสูญเสียพลังงานจากการเผาไหม้เพื่อรักษาส่วนประกอบเครื่องยนต์และน้ำมันเครื่องไม่ให้ร้อนจัด เพราะได้รับอุณหภูมิสูง จากผลการวิจัยปรากฏว่าที่ 120 องศาเซลเซียส. เครื่องยนต์ทำงานให้ประสิทธิภาพสูง และมีข้อดีดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิสูงระดับ 120 องศาเซลเซียส. ไอน้ำจากการเผาไหม้ระเหยออกไปกับไอเสียจนหมด ไม่กลายเป็นกรดกัดกร่อน น้ำมันเครื่องไม่มีไอน้ำเข้าไปปน อายุการใช้งานสูงขึ้นทั้งส่วนประกอบเครื่องยนต์และน้ำมันเครื่อง

- ลดจำนวนน้ำระบายความร้อนได้ เพราะไม่ต้องการให้มีการระบายความร้อนมาก ขนาดปั๊มน้ำและหม้อน้ำจึงลดลง

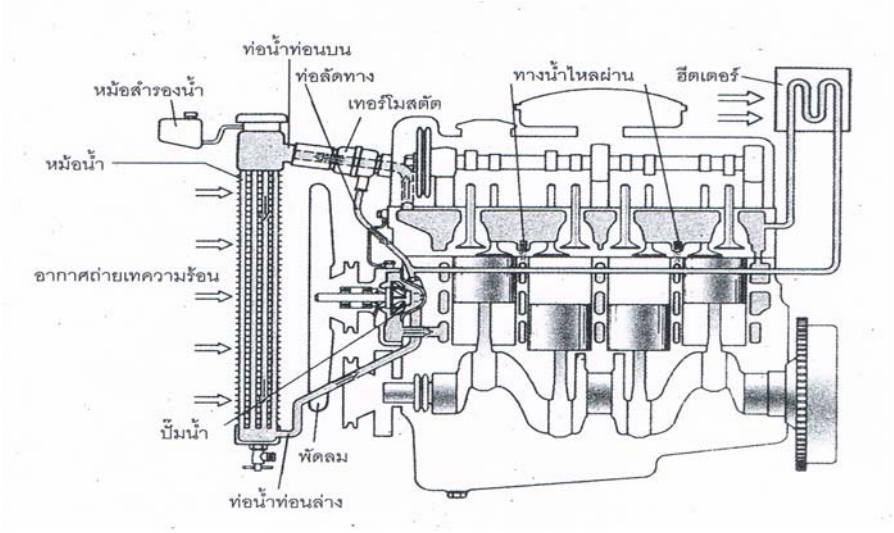
- ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ให้กลายเป็นพลังงานกลมากกว่า จึงประหยัดน้ำมันดีเซล

- ความหนืดน้ำมันเครื่องลดลง เป็นการลดความฝืดภายในเครื่องยนต์ พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เหลือใช้งานจึงสูงขึ้น



รูปที่ 2.35 การสูญเสียพลังงานจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์ เหลือที่ใช้งานได้ที่ล้อช่วยแรงเพียง 32 เปอร์เซ็นต์

2.2.16.2 การไหลเวียนของน้ำระบายความร้อนเครื่องยนต์

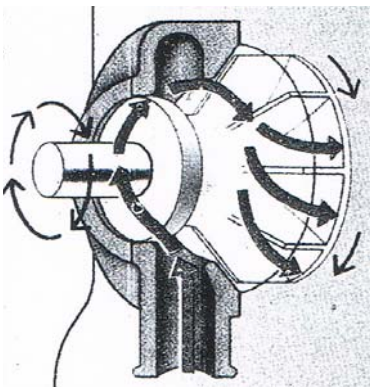


รูปที่ 2.36 การไหลเวียนของน้ำระบายความร้อนด้วยปั๊มน้ำ

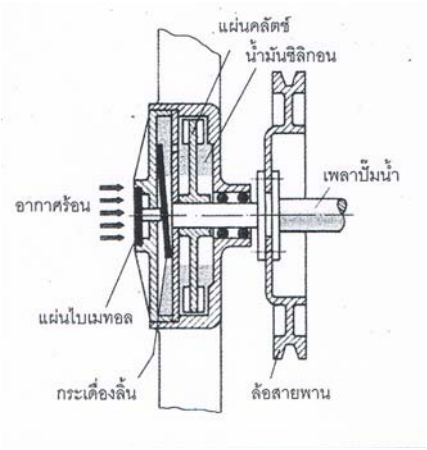
ระบบระบายความร้อนเครื่องยนต์ ประกอบด้วย หม้อน้ำ ปั๊มน้ำ พัดลม หม้อน้ำ เทอร์โมสตัต (วาล์วน้ำ) ขณะเครื่องยนต์ยังเย็นอยู่ เทอร์โมสตัตจะปิด น้ำไหลเวียนผ่านเทอร์โมสตัตไม่ได้ แต่ไหลผ่านทางท่อลัดวงจแล้วไหลกลับมาสู่เสื้อสูบ เพื่อให้อุณหภมิน้ำหล่อเย็นเครื่องยนต์สูงขึ้นโดยเร็ว ซึ่งเป็นผลให้เครื่องยนต์เดินเรียบในสภาวะดังกลาว น้ำหล่อเย็นจะไม่ไหลผ่านหม้อน้ำ เมื่ออุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสูงถึงค่าที่กำหนดไว้ (ประมาณ 880 องศาเซลเซียส.) เทอร์โมสตัตจะเริ่มเปิดและค่อย ๆ เพิ่มเป็นปริมาณน้ำหล่อเย็นให้ไหลผ่านหม้อน้ำ

เมื่อเทอร์โมสตัตเปิดเต็มที่ (ประมาณ 95 องศาเซลเซียส.) และอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสูงถึงค่าที่กำหนดไว้ น้ำหล่อเย็นทั้งหมดจะไหลผ่านหม้อน้ำเพื่อหล่อเย็นเครื่องยนต์อย่างเต็มที่

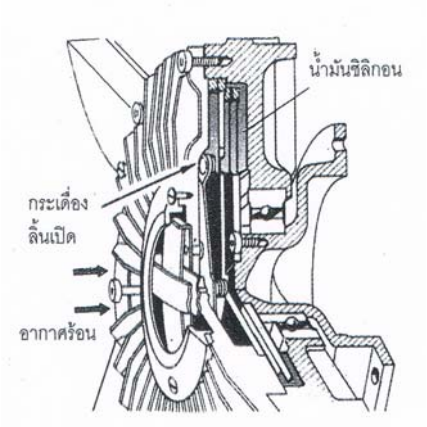
อุณหภูมิของเครื่องยนต์ที่ต่ำกว่าอุณนภูมิที่ใช้งานปกติ จะทำให้น้ำมันเครื่องมีความหนืดสูง ไหลไปหล่อเลี้ยงชิ้นส่วนต่าง ๆ ไม่ทัน ชิ้นส่วนจะเสียดสีกัน ถ้าอุณหภูมิของน้ำประมาณ 80 องศาเซลเซียส. ผิวด้านในของผนังกระบอกสูบควรจะสูงประมาณ 140 องศาเซลเซียส. อุณหภูมิขนาดนี้จะป้องกันการสึกหรอของแหวนลูกสูบตัวบนสุดกับผนังกระบอกสูบที่ศูนย์ตายบน และที่อุณหภูมินี้การเผาไหม้ส่วนที่เป็นกรดจะอยู่ในสภาพเป็นไออยู่ จะไม่มีการกัดกร่อนเกิดขึ้น หากอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ต่ำกว่า 140 องศาเซลเซียส. การสึกหรอของแหวนลูกสูบกับกระบอกสูบจะสูง และเช่นเดียวกันอุณหภูมิต่ำย่อมทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เกิดการควบแน่นของไอน้ำ กลายเป็นหยดเกาะตามผนังสูบแล้วรั่วปนกับน้ำมันเครื่อง ทำให้น้ำมันเครื่องเจือจางและกลายเป็นโคลนกัดกร่อนโลหะ



รูปที่ 2.37 ภาพปั๊มน้ำตำแหน่งส่งน้ำ



รูปที่ 2.38 ส่วนประกอบคลัตช์พัดลมแบบไฮโดรไดนามิกส์



รูปที่ 2.39 กลไกคลัตช์พัดลมแบบไฮโดรไดนามิกส์

2.2.17 ปั๊มน้ำและคลัตช์พัดลม

2.2.17.1 ปั๊มน้ำ (Water pump)

น้ำเป็นแบบหอยู่โข่ง ติดตั้งอยู่ระหว่างเสื้อสูบและหม้อน้ำ เมื่อใบพัดน้ำหมุน น้ำหล่อเย็นจึงดันผ่านเข้าไปในเสื้อสูบ ผ่านผิวกระบอกสูบ พาเอาความร้อนจากเครื่องยนต์ไปสู่หม้อน้ำด้านบน ทำให้อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นต่ำลงและไหลลงด้านล่างหม้อน้ำปั๊มน้ำจะอัดเข้าไปในเสื้อสูบ เพื่อนำเอาน้ำร้อนออกหมุนเวียนต่อเนื่องที่เครื่องทำงาน

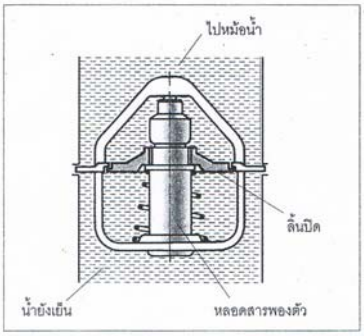
2.2.17.2 คลัตช์พัดลมแบบไฮโดรไดนามิก (Viscous coupling)

ล้อสายพานติดแน่นบนเพลาเดียวกับแผ่นคลัตช์ แผ่นคลัตช์หมุนอยู่ในห้องน้ำมันซิลิกอน อาศัยความหนืดน้ำมันส่งกำลัง ระยะเบียดแผ่นคลัตช์กับเสื้อคลัตช์ประมาณข้างละ 0.1 มิลลิเมตร.

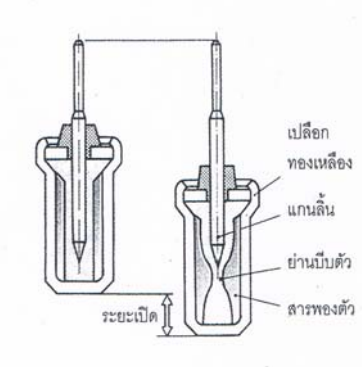
อากาศที่ผ่านหม้อน้ำไปทำหน้าที่เป็นตัวส่งสัญญาณความร้อนให้กับแผ่นไบเมทอล ซึ่งควบคุมการปิดเปิดรูลิ้น (ลิ้นกระเดื่อง) ตามอุณหภูมิอากาศที่ผ่านหม้อน้ำ น้ำมันซิลิกอนไหลจากห้องกระเดื่องลิ้นไปยังห้องแผ่นคลัตช์ ความเร็วรอบพัดลมจึงขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำมันซิลิกอนที่ไหลไปยังห้องแผ่นคลัตช์

ขณะคลัตชม่ส่งกำลัง แทบจะไม่มีน้ำมันซิลิกอนตกค้างอยู่ในห้องแผ่นคลัตช์ ความเร็วรอบต่ำสุดที่คลัตช์ทำงานประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ของความเร็วรอบเพลาปั๊มน้ำ เพื่อให้พอมีอากาศระบายความร้อนกับท่อร่วมไอเสีย ปั๊มดูดน้ำมัน ปั๊มฉีดน้ำมันดีเซลและ อัลเตอร์เนเตอร์ เป็นต้น

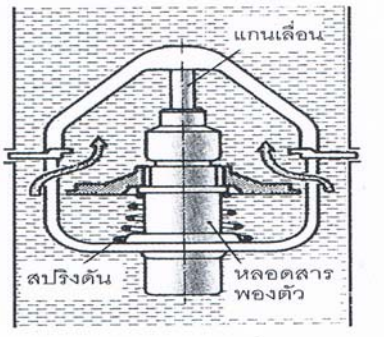
นอกจากประภทที่กล่าวมาแล้ว ยังใช้คลัตชไฮดรอลิกระหว่างเพลาขับกับพัดลมมีเทอร์โมสตัตพิเศษควบคุมด้วยอากาศร้อนที่ผ่านหม้อน้ำ เป็นตัวกำหนดปริมาณน้ำมันเครื่องจากเครื่องยนต์เข้าไปยังคลัตช์น้ำมัน ความเร็วรอบพัดลมกับปริมาณอากาศจึงมีความสัมพันธ์กันโดยตรง หากอุณหภูมิลดลงเทอร์โมสตัตจะปล่อยน้ำมันเครื่องออกจากคลัตช์พัดลมขาดแรงขับทันที



รูปที่ 2.40 ตำแหน่งเครื่องยนต์เย็น ลิ้นเทอร์โมสตัตปิด



รูปที่ 2.41 ระยะยกแกนเลื่อนของเทอร์สตัต



รูปที่ 2.42 ตำแหน่งเครื่องยนต์ร้อน ลิ้นเทอร์โมสตัตเปิด

2.2.18 เทอร์โมสตัต

เทอร์โมสตัต (Thermostat) เป็นอุปกรณ์ควบคุมการหมุนเวียนของน้ำหล่อเย็นผ่านหม้อน้ำเทอร์โมสตัตติดตั้งอยู่ระหว่างฝาสูบและท่อทางน้ำออกไปยังหม้อน้ำ ขณะที่เครื่องยนต์ยังเย็นอยู่นั้น เทอร์โมสตัตจะปิดทางน้ำไม่ให้น้ำไปยังหม้อน้ำ น้ำจะหมุนเวียนผ่านทางท่อลัดทางให้น้ำหมุนเวียนอยู่ภายในเครื่องยนต์ เทอร์โมสตัตจะเปิดทางน้ำให้หมุนเวียนผ่านหม้อน้ำและปิดท่อลัดทางเมื่ออุณหภูมิเครื่องยนต์ สูงได้ตามค่ากำหนด ดังนั้น การมีเทอร์โมสตัต จะช่วยให้เครื่องยนต์ร้อนถึงอุณหภูมิทำงานเร็วขึ้น ลดการสึกหรอและเครื่องยนต์ทำงานได้ประสิทธิภาพมากขึ้น เทอร์โมสตัตเริ่มทำงานที่อุณหภูมิระหว่าง 88-91 องศาเซลเซียส.

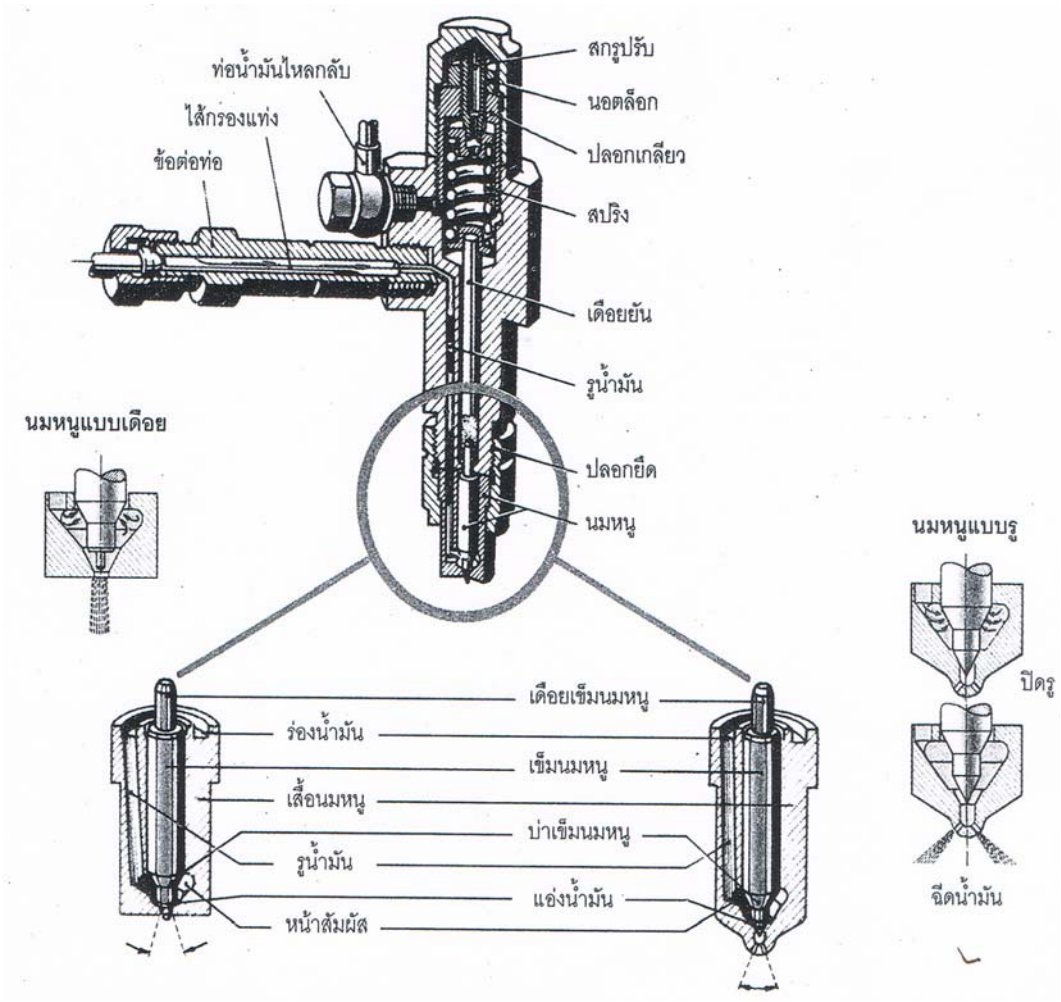
ขณะที่เครื่องยนต์ร้อนขึ้น ลิ้นเทอร์โมสตัตจะเปิดออกโดยสารพองตัวบีบเรียวปลายแกนลิ้นเทอร์โมสตัตให้แกนลิ้นเทอร์โมสตัตยกตัวขึ้นเปิดลิ้นเทอร์โมสตัต น้ำหล่อเย็นซึ่งอยู่ในผนังเสื้อสูบจะไหลไปยังหม้อน้ำ เพื่อระบายความร้อนออกจากน้ำโดยพัดลมระบายความร้อนและลมที่ปะทะจากการที่รถเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

ลิ้นเทอร์โมสตัตจะปิดด้วยแรงสปริง โดยดันให้แกนเทอร์โมสตัตกลับที่เดิมเมื่อสารพองตัวเย็นสารพองตัวหดตัวตามเดิม

2.2.19 การศึกษาและปฏิบัติงานหัวฉีดน้ำมันดีเซล

หัวฉีดเป็นชิ้นส่วนสุดท้าย หรือเรียกว่า ชิ้นส่วนปลายทางของระบบน้ำมันดีเซล เป็นชิ้นส่วนพิ่มความสำคัญต่อการทำงานของเครื่องยนต์โดยตรง หากบำรุงรักษาดี อายุการใช้งานจะนานถึง 100,000-150,000 กิโลเมตร. ถ้าหัวฉีดขัดข้อง ฉีดน้ำมันเป็นหยด ฉีดน้ำมันไม่เป็นละอองละเอียดตามกำหนดจะทำให้เครื่องยนต์กำลังตก ควันไอเสียดำและเครื่องยนต์ร้อนจัด เป็นต้น

ส่วนล่างนมหนูหัวฉีด สัมผัสกับแก๊สเผาไหม้ที่ร้อน 2,500 องศาเซลเซียส. ถ้าเครื่องยนต์ทำงานที่ 3,000 รอบต่อนาที หัวฉีดต้องฉีดน้ำมัน 1,500 ครั้งต่อนาที และถ้าน้ำมันที่ส่งเข้าหัวฉีดไม่สะอาดพอ ย่อมเป็นผลกระทบต่อการสึกหรอของนมหนูหัวฉีดทั้งนั้น

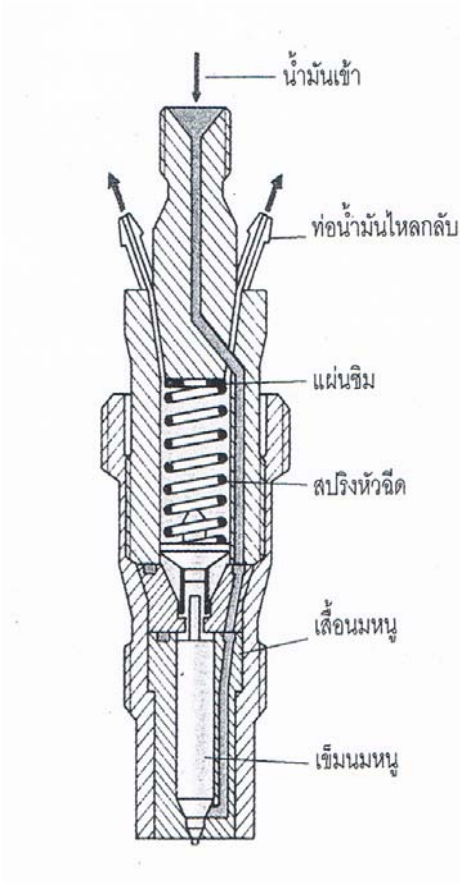


รูปที่ 2.43 ส่วนประกอบหัวฉีดและลักษณะการฉีดน้ำมันของนมหนูหัวฉีดแบบเดือยและแบบรู

2.2.20 คุณลักษณะหัวฉีดและนมหนูหัวฉีด

2.2.20.1 หน้าที่หัวฉีดน้ำมัน

- ฉีดน้ำมันที่มีความดันสูงเข้าไปในห้องเผาไหม้
- ฉีดน้ำมันเข้าไปในห้องเผาไหม้ให้เป็นละออง ละเอียดและกระจายตัวออกเหมาะสม



รูปที่ 2.44 ตัวหัวฉีดพร้อมนมหนูแบบเดือย

2.2.20.2 ตัวหัวฉีดและการทำงาน

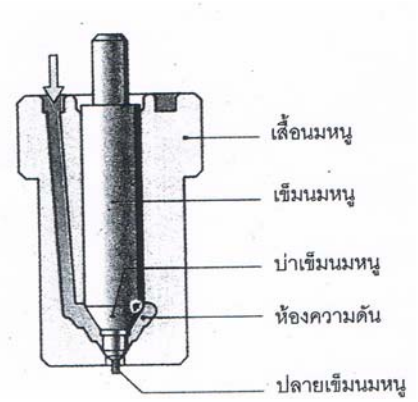
ตัวหัวฉีดทำหน้าที่ยึดขุดนมหนูให้ติดแน่นในฝาสูบ ต่อท่อหัวฉีดให้ฉีดน้ำมันเข้าห้องเผาไหม้ได้ ตัวหัวฉีดยึดติดกับฝาสูบด้วยเกลียวของหัวฉีดหรือด้วยหน้าแปลนกด หลักการทำงานของหัวฉีดมีดังต่อไปนี้

เข็มนมหนูจะเปิดให้น้ำมันดีเซลฉีดออกด้วยความดันน้ำมัน เมื่อบ่าเข็มนมหนูถูกความดันน้ำมันผลักดันเอาชนะแรงสปริง หัวฉีดเข็มนมหนูจะลอยตัวสูงขึ้นพ้นบ่าเสื้อนมหนูในช่วงพริบตานั้น น้ำมันดีเซลจะฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ กลายเป็นละอองน้ำมันดีเซลทันที

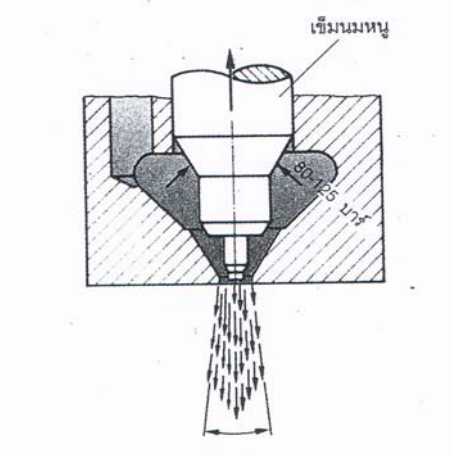
ความดันฉีดน้ำมัน ขึ้นอยู่กับการปรับความแข็งของสปริงหัวฉีด น้ำมันความดันสูงผ่านท่อหัวฉีดเข้าหัวฉีดไหลตามรูน้ำมันผ่านเลื้อนมหนูไปยังแอ่งหน้าเข็มนมหนู เพื่อยกเข็มนมหนูปล่อยให้น้ำมันฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้

รอบๆ ลำตัวเข็มนมหนูจะมีน้ำมันดีเซลไหลซึมเป็นการหล่อลื่นเข็มนมหนู มิฉะนั้นเข็มนมหนูอาจติดตายเมื่อใช้งาน น้ำมันดีเซลดังกล่าวจะไหลผ่านเดือยยันไปยังท่อน้ำมันไหลกลับเข้าถึงน้ำมันตามเดิม

หากการส่งน้ำมันของปั๊มดีเซลสิ้นสุดลง ความดันในท่อหัวฉีดลดลงทันที สปริงหัวฉีดจะดันเข็มนมหนูให้อยู่บนบ่าตามเดิม เข็มนมหนูปิดจนกว่าจะถึงจังหวะต่อไป



รูปที่ 2.45 ส่วนประกอบนมหนูแบบเดือย



รูปที่ 2.46 ลักษณะลำละอองน้ำมัน

2.2.21 นมหนูแบบเดือย (Pintle Nozzle)

2.2.21.1 คุณลักษณะนมหนูแบบเดือย

นมหนูแบบเดือย ประกอบด้วย เสื้อนมหนู และเข็มนมหนู เช่นเดียวกับนมหนูแบบรู นมหนูแบบเดือยจะมีปลายเข็มนมหนูโผล่ออกทางด้านล่างของเสื้อนมหนูเล็กน้อยปลายเข็มนมหนูเป็นทรงกระบอกหรือปากกรวยสำหรับบังคับรูปแบบของลำละอองน้ำมันดีเซลที่ฉีดเป็นละอองเข้าห้องเผาไหม้ ให้สอดคล้องกับการออกแบบห้องเผาไหม้ เช่น ห้องเผาไหม้ทรงยาวหรือทรงกว้าง

2.2.21.2 คุณสมบัตินมหนูแบบเดือย

- ฉีดละอองน้ำมันหยาบ เหมาะสำหรับห้องเผาไหม้แบบมีห้องช่วย
- ไม่เกิดอันตรายจากสิ่งสกปรกที่จะปิดรูตัน เพราะปลายเข็มนมหนูยื่นออกภายนอก
- ความดันฉีดน้ำมัน 80-125 บาร์
- ช่วยให้เครื่องยนต์เดินเรียบ

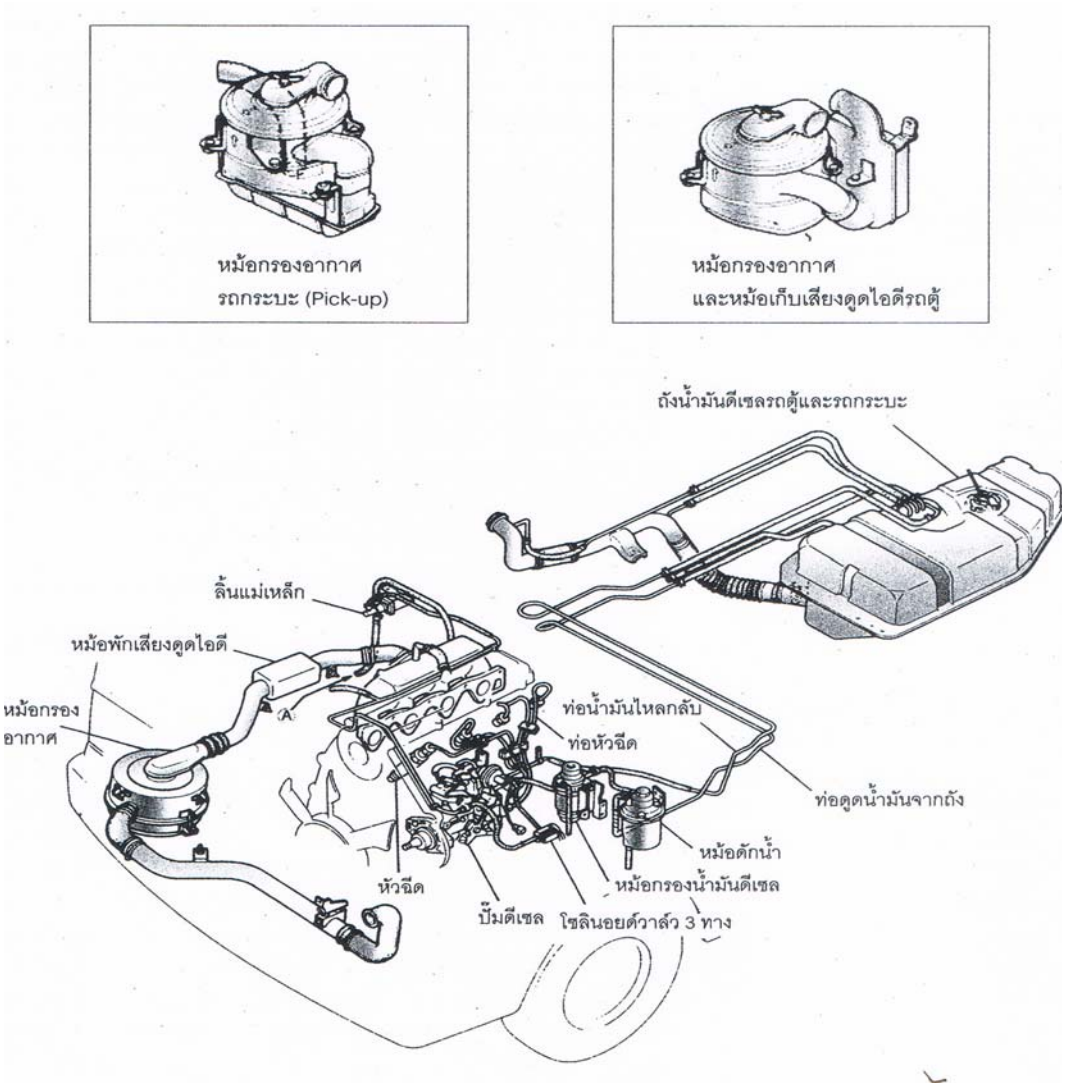
2.1.22 ท่อหัวฉีด

ท่อหัวฉีด คือ ท่อจากปั๊มดีเซลไปยังหัวฉีด เป็นท่อเหล็กหนาไร้ตะเข็บ ขนาดรูในขึ้นกับขนาดปั๊มดีเซล (1.5-2.5 มิลลิเมตร.) หัวท้ายท่อบานเป็นบ่าเรียวป้องกันน้ำมันดีเขาความดันสูงรั่วซึม ความยาวทุกท่อต้องเท่ากัน ดัดงอได้ด้วยรัศมีไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร. มิฉะนั้นจะมีความต้านทานต่อการน้ำมันดีเซล ขันเน่นด้วยแรง 28-30 นิวตันเมตร เพื่อป้องกันท่อหัวฉีดสั่นเพราะจะทำให้น้ำมันดีเซลในท่อเป็นฟอง มีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องยนต์ ต้องให้เหล็กรัดท่อให้แน่นเสมอ

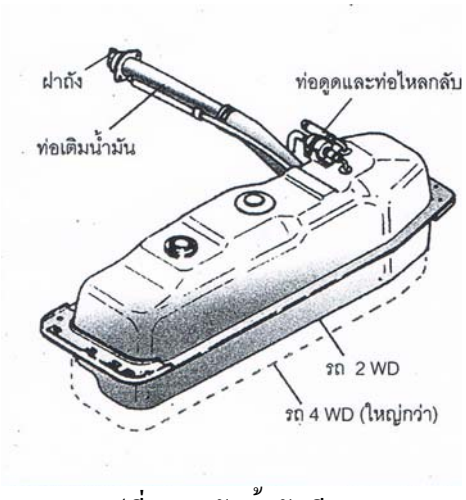
2.2.23 ท่อไอดีและท่อน้ำมันปั๊มดีเซลแบบจานจ่าย

ท่อไอดีและท่อไอเสียต่างก็มีหม้อพักหรือหม้อเก็บเสียง (Silencer) เพื่อลดเสียงดังจากการดูดไอดีผ่านช่องแคบที่ลิ้นไอดี และเสียงดังจากการคายไอเสียที่มีความดันสูงสู่บรรยากาศ

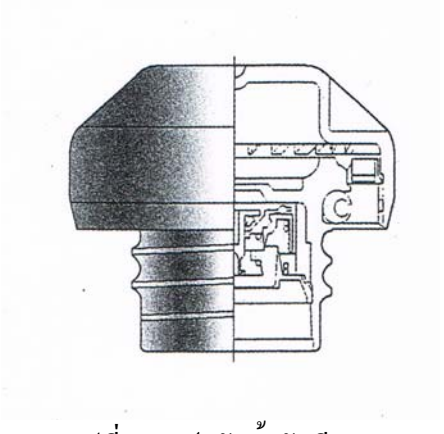
ท่อน้ำมันจำแนกเป็นท่อดูดน้ำมันจากถัง (Main pipe) เพื่อดูดส่งน้ำมันและท่อน้ำมันไหลกลับ (Returnpipe) เพื่อให้น้ำมันกับฟองอากาศไหลกลับถึงน้ำมัน ป้องกันการสะสมฟองอากาศในวงจรน้ำมัน



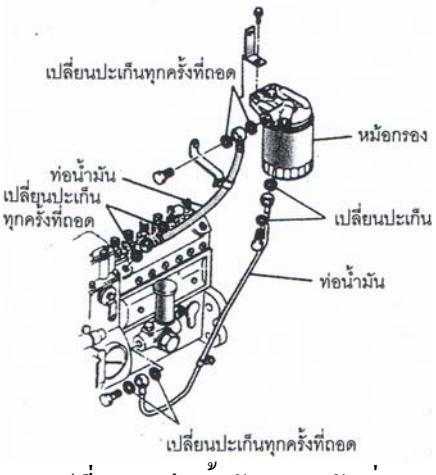
รูปที่ 2.47 ท่อไอดีและท่อน้ำมันปั๊มดีเซลแบบจานจ่าย



รูปที่ 2.48 ถังน้ำมันดีเซล



รูปที่ 2.49 ฝาถังน้ำมันดีเซล



รูปที่ 2.50 ท่อน้ำมันความดันต่ำ

2.2.24 ถังน้ำมันและท่อน้ำมันดีเซล

2.2.24.1 ถังน้ำมันดีเซล (Fuel Tank)

ตัวถังน้ำมันทำด้วยแผ่นเหล็กบาง ๆ เคลือบ ผิวกันสนิม มีฉากกั้นภายในป้องกันเกิดคลื่นน้ำมัน

หัวท่อดูดน้ำมันอยู่ใกล้ก้นถังประมาณ 2-3 เซนติเมตร. มีกรองเบื้องต้นแยกนำออกจากน้ำมันดีเซล เพราะก้นถังสะสมสิ่งสกปรกและน้ำที่มี ถ.พ. มากกว่าน้ำมันดีเซล ส่วนปลายท่อน้ำมันไหลกลับอยู่สูง 6-8 เซนติเมตร.

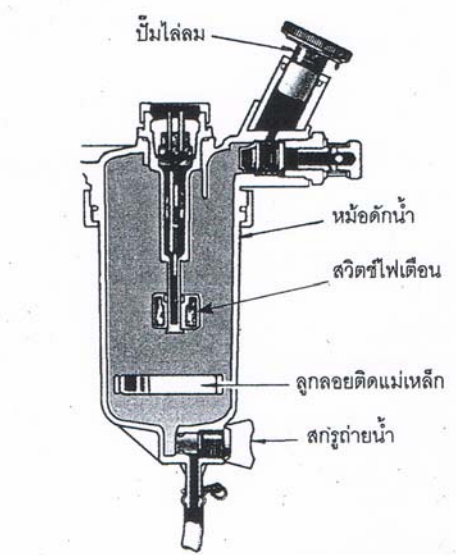
2.2.24.2 ฝาถังน้ำมันดีเซล

ฝาถังน้ำมันป้องกันสิ่งแปลกปลอมเข้าไปปะปนน้ำมันดีเซล มีรูระบายอากาศ เพื่อให้อากาศเข้าออกสมดุลกับปริมาณน้ำมันที่ลดลงตามที่ดูดไปใช้งาน หรือถังน้ำมันได้รับความร้อน อากาศจะขยายตัวดันตัวเองออกได้หากรูระบายอากาศปิดตัน ถังน้ำมันอาจยุบเข้าหากันเพราะแรงสุญญากาศที่เกิดขึ้นจากการดูดน้ำมันไปใช้ หากเป็นไม่มากเมื่อเปิดฝาถังอากาศจะพุ่งเข้าไปในถัง

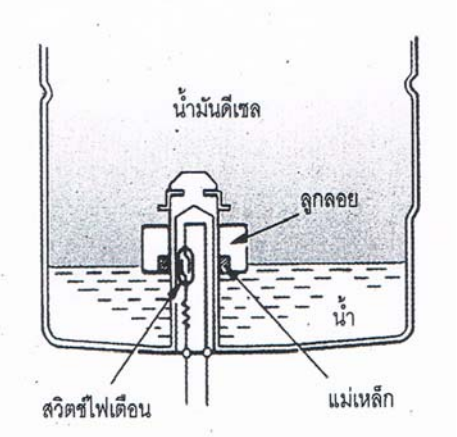
2.2.24.3 ท่อน้ำมันความดันต่ำ

ท่อเหล็กต้องปลอดภัยต่อการสั่นสะเทือนของตัวรถยนต์กับตัวเครื่องยนต์ โดยใช้ท่อที่ป้องกันการกัดกร่อนทั้งภายนอกและภายใน วางให้เอียงขึ้นและสั้นที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อระบายฟองอากาศในท่อและต้องวางท่อไม่ให้ใกล้ส่วนที่ร้อนท่อจากปั๊มดูดส่งน้ำมันเข้าหม้อกรองไปยังตัวปั๊มดีเซลเป็นพลาสติกให้ยืดหยุ่นได้ ปั๊มดีเซลขนาดเล็กใช้ท่อขนาด 8 × 1 หรือ 10 × 1 มิลลิเมตร. (เส้นผ่าศูนย์กลางนอก × ความหนา) ปั๊มขนาดใหญ่ให้ท่อ 15 × 1 มิลลิเมตร

2.2.25 หม้อดักน้ำและหม้อกรองน้ำมันดีเซล



รูปที่ 2.51 หม้อดักน้ำ



รูปที่ 2.52 ลูกลอยหม้อดักน้ำ

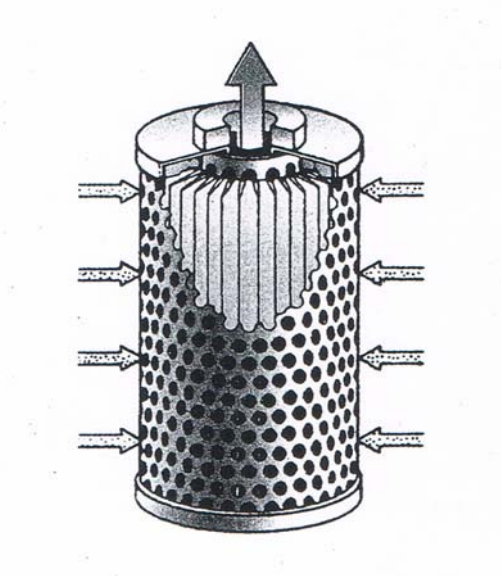
2.2.25.1 หม้อดักน้ำ (water sedi มี entor)

หม้อดักน้ำ อยู่ระหว่างถังน้ำมันกับหม้อกรองน้ำมัน ดังรูปที่ 57 มีปั๊มไล่ลมอยู่ที่ฝาหม้อดักน้ำ เพื่อใช้สำหรับไล่ลมในวงจรน้ำมันดีเซล

ภายในหม้อดักน้ำ มีลูกลอยติดแม่เหล็กและสวิตช์ไฟเตือนระดับน้ำ (Reed swkch) ถ้ามีน้ำอยู่ในหม้อดักน้ำสูงเกินพิกัด ลูกลอยติดแม่เหล็กจะเหนี่ยวนำสวิตช์ไฟเตือนให้ต่อวงจรหลอดไฟเตือนติด

การใช้หม้อดักน้ำนี้ จะช่วยยืดอายุการใช้งานของหม้อกรองน้ำมัน ปั๊มดีเซลและนมหนูหัวฉีดได้มาก

การถ่ายน้ำจากหม้อดักน้ำ ให้คลายสกรูถ่ายน้ำใต้หม้อดักน้ำออกประมาณ 3 รอบ ดูดอัดน้ำมันดีเซลด้วยปั๊มไล่ลมเหนือหม้อดักน้ำประมาณ 10 ครั้ง เพื่อไล่น้ำออก ปล่อยน้ำให้ไหลออกจากหม้อดักน้ำจนไม่มีปนออกมากับน้ำมันดีเซล จึงหมุนสกรูถ่ายน้ำปิดตามเคย ขยับปั๊มมืออีกหลายๆ ครั้ง เพื่อดูดน้ำมันดีเซลบรรจุให้เต็มหม้อดักน้ำ ลองเครื่องเพื่อตรวจการรั่วซึมของน้ำมันดีเซล



รูปที่ 2.53 ไส้กรองแบบเปลี่ยนไส้ได้

2.2.26 หม้อกรองน้ำมันดีเซล

หม้อกรองน้ำมันดีเซลมีหน้าที่กักกันสิ่งสกปรกน้ำและฟองอากาศที่ปะปนอยู่กับน้ำมันไม่ให้เลยเข้าไปถึงชุดลูกปั๊มและชุดนมหนูหัวฉีด เพื่อให้เครื่องยนต์ใช้งานได้ด้วยความปลอดภัย และมีอายุการใช้งานนาน หม้อกรองน้ำมันดีเซลจำแนกเป็น 2 ชนิดดังนี้

2.2.26.1 หม้อกรองน้ำมันแบบเปลี่ยนได้ (Bag Type)

เป็นแบบที่ใช้กันมาแต่เดิม เสื้อหม้อกรองทำด้วยแก้วหรือโลหะ ไส้กรองอยู่ตรงกลางปิดหัวท้ายด้วยฝาบนกับฝาล่าง โดยมีปะเก็นวงแหวนยางหรือกระดาษ การบริการหม้อกรองน้ำมันแบบนี้ต้องระวังสิ่งสกปรกเข้าไปในหม้อกรอง เลือกใช้ขนาดหม้อกรองและลำดับการประกอบให้ถูกต้อง ซึ่งกรณีเช่นนี้ ถ้าใช้หม้อกรองน้ำมันแบบผนึกจะลดปัญหาไปได้มาก

2.2.26.2 หม้อกรองน้ำมันแบบผนึก

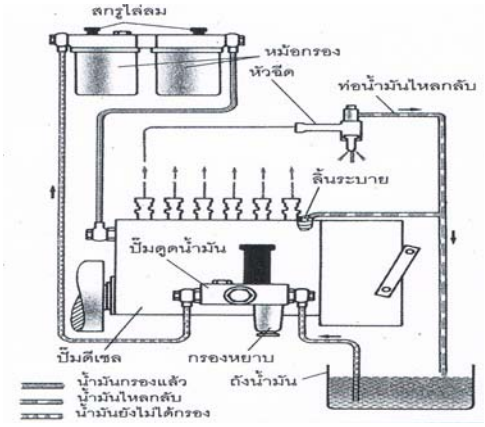
หม้อกรองน้ำมันแบบผนึก (Box-Type) ไส้กรองและเปลือกหม้อกรองทำเป็นชุดเดียวกัน แยกออกจากกันตรงกลางมีรูเกลียว มี I5 × 1.5 มิลลิเมตร. สำหรับเป็นเกลียวยึดหม้อกรอง และเป็นรูน้ำมันออกจากหม้อกรองรอบ ๆ รูน้ำมันออกมีรูน้ำมันเข้า 4 รู หน้าหม้อกรองมีปะเก็นวงแหวนยางฝังไว้ในร่อง หม้อกรองแบบนี้ เมื่อครบอายุการใช้งานต้องเปลี่ยนทั้งอัน ไม่ล้างให้อีก

2.2.27 ลิ้นระบายน้ำมันดีเซล

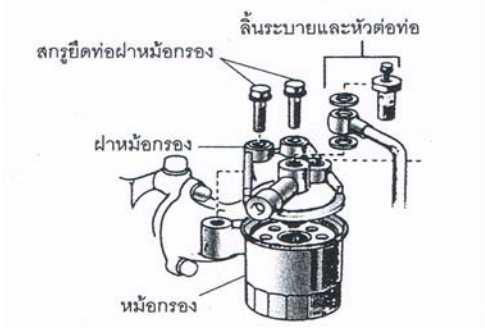
2.2.27.1 ลิ้นระบายน้ำมัน

ลิ้นระบายน้ำมันลิ้นระบาย (By-pass valve) อยู่ที่ข้างปั๊มน้ำมันหรืออยู่ที่ฝาหม้อกรอง ต่อกับท่อน้ำมันไหลกับถัง (Returnpipe) ปกติทำงานตลอดเวลาที่ใช้งานเครื่องยนต์ เพราะปั๊มดูดน้ำมันต้องดูดน้ำมันส่งเข้าระบบน้ำมันจนเหลือใช้จึงจะพอใช้ทุกสภาพการใช้งานเครื่องยนต์ ลิ้นระบายมีหน้าที่ คือ

- รักษาความดันน้ำมันดีเซลในวงจรน้ำมันดีเซลไว้ประมาณ 1.0-1.5 บาร์ เพื่อให้น้ำมันมีความดันสูงพอที่จะอัดน้ำมันบรรจุเข้าในชุดลูกปั๊ม อย่างเพียงพอ



รูปที่ 2.54 วงจรน้ำมันปั๊มดีเซลแบบลิ้นระบายอยู่ที่ตัวปั๊มดีเซล



รูปที่ 2.55 ลิ้นระบายที่หัวต่อท่อน้ำมันไหลกลับ

- ระบายน้ำมันส่วนเกินออกจากวงจรน้ำมันกลับคืนสู่ถังน้ำมัน พร้อมฟองอากาศที่อยู่เหนือไส้กรอง (ผ่านไส้กรองไม่ได้) เป็นการระบายออกอัตโนมัติไม่สะสมฟองอากาศและระบายความร้อนระบบน้ำมันดีเซล

2.2.27.2 ข้อขัดข้องของลิ้นระบาย

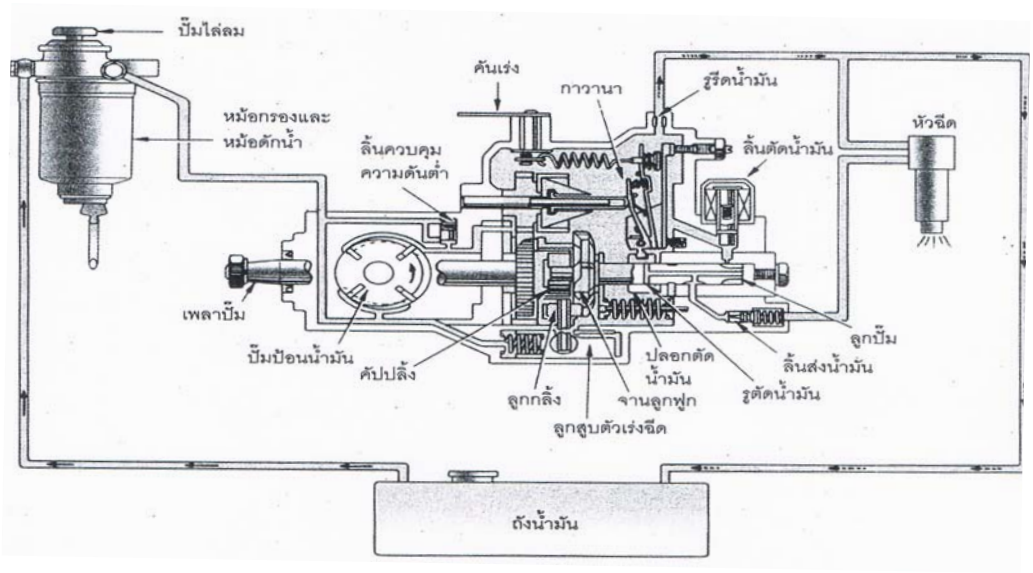
ข้อขัดข้องของลิ้นระบาย ไม่ถึงกับบนปื้นอันตรายต่อเครื่องยนต์ แต่มีผลกระทบต่อสมรรถนะเครื่องยนต์ เพราะปั๊มดีเซลไม่สามารถส่งน้ำมันให้หัวฉีดได้ ตามสมรรถนะการใช้งานเครื่องยนต์ ข้อขัดข้องของลิ้นระบายมี 2 กรณี คือ

- สปริงลิ้นแข็งเกินไป หรือลิ้นติดตาย ระบายฟองอากาศหรือระบายน้ำมันออกไม่ได้ อากาศจะสะสมในหม้อกรองน้ำมัน ต้านไม่ให้น้ำมันเข้าหม้อกรองน้ำมัน ในที่สุดน้ำมันผ่านหม้อกรองไม่ได้ ทำให้เครื่องยนต์ดับเอง

- กรณีสปริงลิ้นอ่อนหรือหัก น้ำมันจะเข้าบรรจุในกระบอกปั๊มไม่พอ เพราะความดันน้ำมันในวงจรน้ำมันสูงไม่พอ มีผลกระทบต่อสมรรถนะเครื่องยนต์

2.2.28 ระบบปั๊มดีเซลแบบจานจ่าย

ปั๊มดีเซลแบบจานจ่าย (Distn1butor-Type lnjection pump) หรือเรียกว่า แบบวีอี (VE) ซึ่งปันคำย่อจากต้นแบบ BOSCH ภาษาเยอรมัน Verteiler Einspritrz Pumpe ต่อมามีหลายบริษัทผลิตภายใต้ลิขสิทธิ์ของ BOSCH เช่น (axle ของญี่ปุ่น) ที่ใช้กันแพร่หลายในประเทศไทย

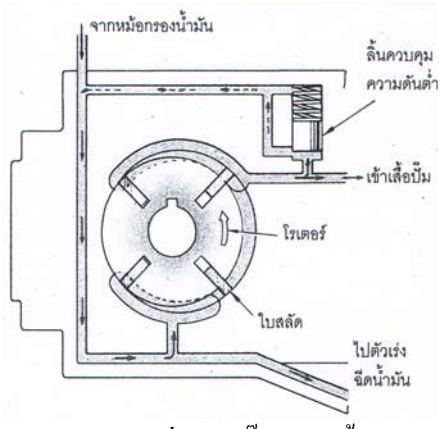


รูปที่ 2.56 วงจรน้ำมันปั๊มดีเซลแบบจานจ่าย (ND) ปั๊มป้อนน้ำมันและลูกสูบตัวเร่งฉีดน้ำมัน

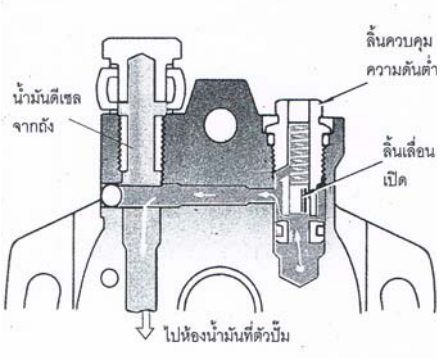
การทำงานของส่วนประกอบวงจรน้ำมันดีเซล (Fuel Circuit)

- ปั๊มป้อนน้ำมัน (Feed Pump) หรือเรียกว่า ปั๊มความดันต่ำ แบบใบสลัด (Vane Type) ดูดน้ำมันจากถังผ่านหม้อกรองน้ำมันและกรองดักน้ำ ส่งเข้าด้านในเรือนปั๊ม
- ลิ้นควบคุมความดัน (Regulahng valve) ควบคุมความดันน้ำมันภายในเรือนปั๊มให้สูงคงที่ เพื่อบรรจุในกระบอกปั๊ม
- น้ำมันส่วนเกินที่เหลือใช้ (Excess Fuel) ไหลกลับไปยังถัง โดยผ่านรูรีดน้ำมัน (orific) และผ่านท่อน้ำมันไหลกลับ ซึ่งลักษณะนี้เป็นการหล่อเย็นชิ้นส่วนของปั๊มไปด้วยในตัว
- ต่ำแหน่งการฉีดน้ำมัน (lnjection timing) ควบคุมโดยลูกสูบตัวเร่งฉีด ซึ่งทำงานด้วยความดันของน้ำมันดีเซลในปั๊มเอง
- ลิ้นตัดน้ำมัน (Fuel cut-olsoleniod) ตัดทางน้ำมันที่ไหลเข้าไปยังห้องหัวลูกปั้ม เมื่อปิดสวิตช์สตาร์ตเครื่องยนต์จะดับทันที

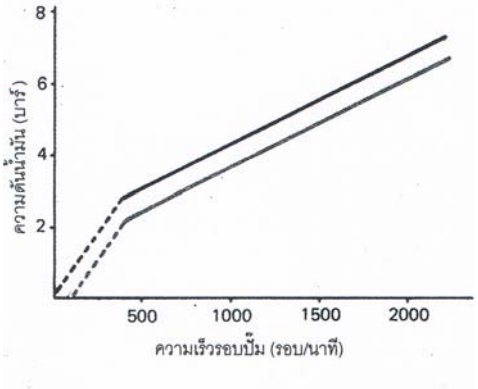
- ลิ้นส่งน้ำมัน (Delivery valve) ทำหน้าที่ 2 อย่าง คือ ดูดน้ำมันในท่อหัวฉีดให้กลับเล็กน้อยให้หยุดฉีดน้ำมัน และป้องกันมิให้น้ำมันไหลย้อนกลับเข้าลูกปั๊ม รักษาความดันน้ำมันในท่อหัวฉีดไว้



รูปที่ 2.57 ปั๊มป้อนน้ำมัน



รูปที่ 2.58 ลิ้นควบคุมความดันต่ำ



รูปที่ 2.59 ความดันน้ำมันปั๊มป้อนเป็นสัดส่วนกับความเร็วรอบ

2.2.28.1 ปั๊มป้อนน้ำมัน (Feed Pump)

ปั๊มป้อนน้ำมันเป็นปั๊มแบบใบสลัด (Vane) มีใบสลัด 4 แผ่น ตัวโรเตอร์ยึดติดกับเพลาปั๊ม หมุนไปกับเพลาปั๊มในลักษณะหนีศูนย์กับเสื้อปั๊มป้อนน้ำมัน จากการเคลื่อนตัวของโรเตอร์ด้วยความเร็วใบสลัดจะเหวี่ยงตัวออกกว้างไปตามเสื้อปั๊ม จึงเกิดแรงดูดและแรงส่งน้ำมันถ้าปั๊มหมุนไปต่ำแหน่งเพิ่มปริมาตรปั๊มจะดูดน้ำมันเข้าทางด้านล่าง และส่งออกทางด้านบน

2.2.28.2 ลิ้นควบคุมความดันต่ำ (Pressure Regulating Valve)

ลิ้นควบคุมความดันต่ำทำหน้าที่ควบคุมและปรับความตันน้ำมันให้สัมพันธ์กับความเร็วของปั๊มดีเซล ดังที่แสดงไว้ในกราฟรูปที่ 2.58 เมื่อปั๊มหมุนเร็วขึ้น ความดันน้ำมันสูงตามไปด้วย ดันลิ้นให้ลอยขึ้น ความดันของน้ำมันจึงควบคุมให้สัมพันธ์กับรอบหมุนของปั๊มโดยตรง

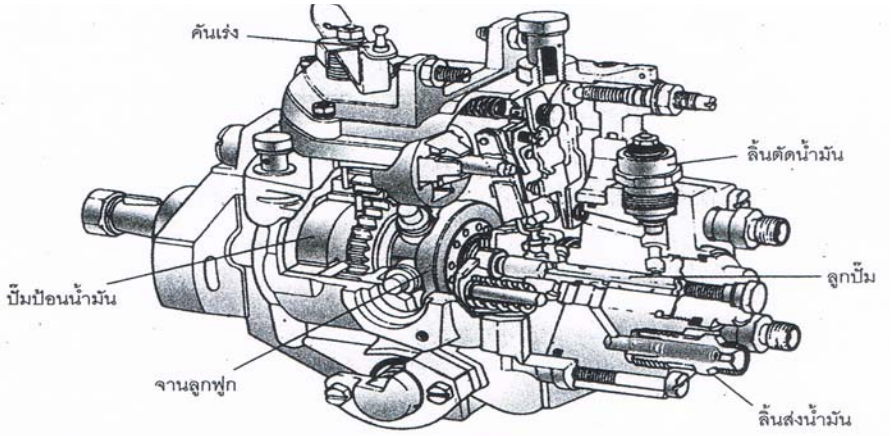
2.2.28.3 กราฟความดันน้ำมันปั๊ม ป้อน

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับความดันน้ำมันจากปั๊มส่งน้ำมันได้สูงสุดประมาณ 7 บาร์ ซึ่งเป็นอัตราที่สูงกว่าเครื่องยนต์ต้องการ น้ำมันส่วนเกินไหลผ่านลิ้นกลับถัง น้ำมันดีเซลที่เข้าในเรือนปั๊มทำหน้าที่หล่อลื่นและระบายความร้อน

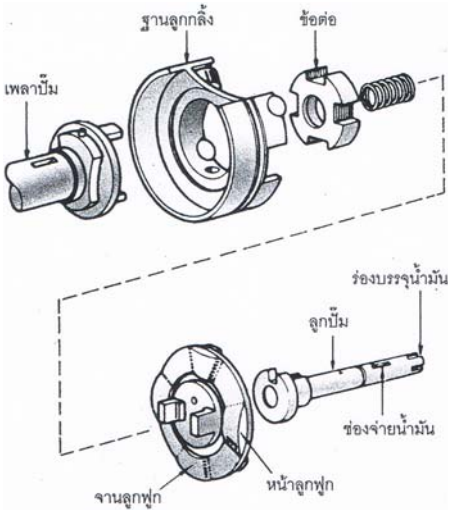
2.2.28.4 การส่งน้ำมันในวงจรน้ำมันความดันสูง

- การขึ้นลงของลูกปั๊ม

หัวเพลาปั๊มด้านในปั๊มเป็นร่องสำหรับส่งกำลังขับจานลูกลูกให้หมุน ดังรูปที่ 7.7 จานลูกฟูกถูกสปริงลูกปั๊มกดให้สัมผัสกับลูกกลิ้ง ซึ่งวางอยู่ศูนย์เดียวกัน จานลูกลูกที่หมุนไปกับเวลาจึงขึ้นลงได้ ฐานลูกปั๊มมีเดือยข้อต่อกับแผ่นลูกสูบ ขณะที่จานลูกสู่กหมุนไป จึงพาลูกปั๊มหมุนและขึ้นลงตามลูกสูบ เพราะฐานลูกกลิ้งเป็นตัวอยู่กับที่



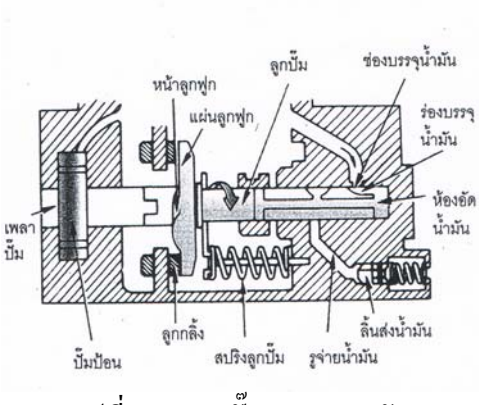
รูปที่ 2.60 ภาพตัดให้เห็นส่วนประกอบภายในปั๊มที่ส่งกำลังขับให้ลูกปั๊มขึ้นลง



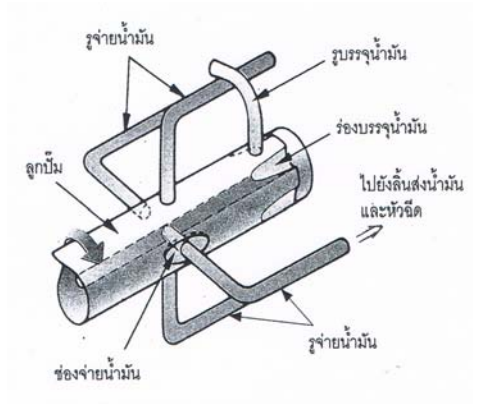
รูปที่ 2.61 ส่วนประกอบขับเคลื่อนลูกปั๊มให้ขึ้นลงและหมุนจ่ายน้ำมัน

- การจ่ายน้ำมัน

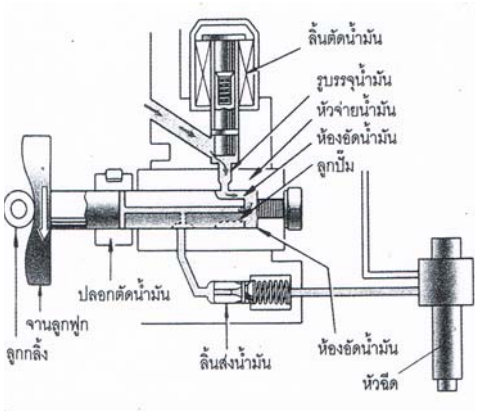
ปั๊มแบบจานจ่ายมีลูกปั๊มเพียงตัวเดียวหมุนรอบตัวไปกับเพลาปั๊มด้วยความเร็วเท่ากันในเวลาเดียวกัน เคลื่อนที่ขึ้นลงด้วยลูกกลิ้งที่ใต้จานลูกฟูกที่มีช่วงชักคงที่ เท่ากับความสูงลูกเท่าจำนวนลูกสูบเท่ากับจำนวนสูบเครื่องยนต์ ตัวลูกปั๊มมีร่องบรรจุน้ำมันและช่องจ่ายน้ำมันลูกปั๊มหมุนรอบตัว แต่รูกระบอกปั๊มอยู่คงที่น้ำมันเข้าห้องอัดน้ำมันทางรูบรรจุน้ำมัน ผ่านร่องบรรจุน้ำมัน น้ำมันความดันสูงออกทางจ่ายน้ำมัน ผ่านลิ้นส่งน้ำมันไปผ่านท่อหัวฉีดไปยังหัวฉีด เพื่อฉีดเข้าห้องเผาไหม้เครื่องยนต์ต่อไป



รูปที่ 2.62 ลูกปั๊มหมุนรอบตัว



รูปที่ 2.63 รูบรรจุและรูจ่ายน้ำมัน



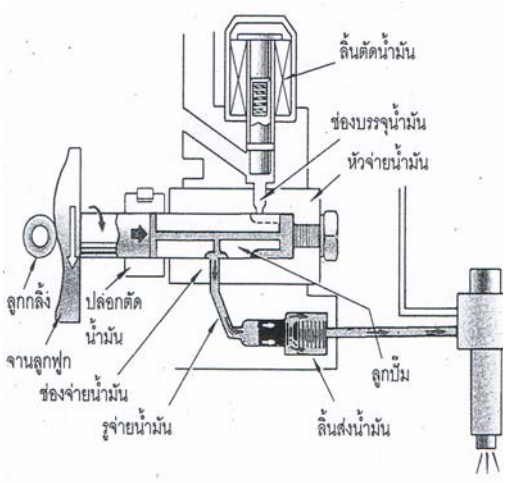
รูปที่ 2.64 ตำแหน่งบรรจุน้ำมัน

2.2.28.5 ขั้นตอนการจ่ายน้ำมันและการฉีดน้ำมัน

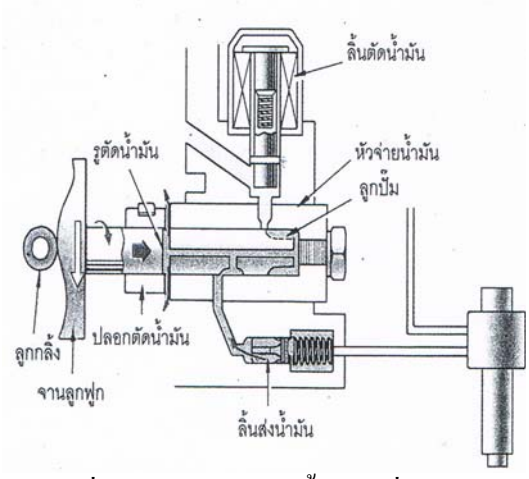
- เพลาปั๊มขับปั้มป้อนน้ำมันจานลูกสู่กและ ลูกปั๊ม
- สปริงลูกปั๊มดันลูกปั๊มและจานลูกฟูกให้ติดกับลูกกลิ้ง
- จานลูกฟูกมี 4 ลูกฟูก (4 สูบ) เมื่อจานลูกฟูกหมุนไปหน้าลูกลูกจะปีนไปบนลูกกลิ้ง ลูกปั๊มก็หมุนไปพร้อมกับการเคลื่อนที่ไปกลับ ดังนั้นลูกปั๊มหมุนครบหนึ่งรอบ ลูกปั๊มจะเคลื่อนที่ไปกลับ 4 ครั้ง
- การจ่ายน้ำมันของลูกปั๊ม 4 สูบ จะเกิดขึ้นทุก 1/4 รอบ โดยมีการเคลื่อนที่ไปกลับของลูกปั๊ม 1 ครั้ง
- ลูกปั๊มมีร่องบรรจุน้ำมัน 4 ร่องและรูจ่ายน้ำมัน 4 รู
- น้ำมันเข้าบรรจุในห้องอัดน้ำมันเมื่อรองบรรจุน้ำมันร่องใดร่องหนึ่งตรงกับรูบรรจุน้ำมัน
- เมื่อช่องจ่ายน้ำมันของลูกปั๊มตรงกับรูจ่ายน้ำมัน น้ำมันจะถูกส่งไปยังลิ้นส่งน้ำมันและหัวฉีดได้

2.2.28.6 ตำแหน่งบรรจุน้ำมัน

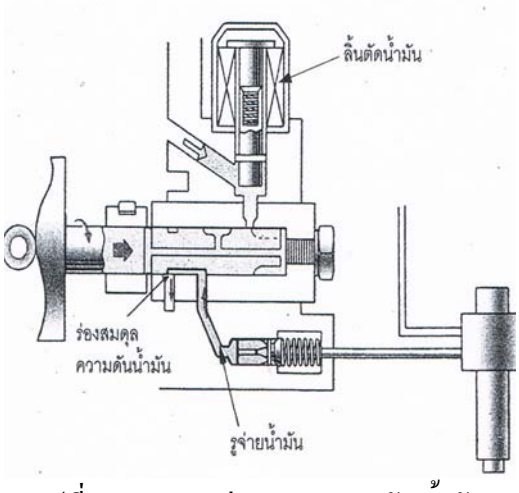
น้ำมันอัดเข้าห้องน้ำมันเป็นจังหวะที่รูบรรจุน้ำมันตรงกับร่องบรรจุน้ำมันและในขณะที่ลูกปั๊มเคลื่อนที่ลง น้ำมันที่เรือนปั๊มที่มีความดันไหลบรรจุเข้าห้องอัดน้ำมันน้ำมันจึงเข้าเต็มในรูกลางและรูจ่ายน้ำมันของลูกปั๊ม



รูปที่ 2.65 ตำแหน่งอัดฉีดน้ำมัน



รูปที่ 2.66 ตำแหน่งตัดน้ำมันเครื่องยนต์



รูปที่ 2.67 ตำแหน่งสมดุลความดันน้ำมัน

2.2.28.7 ตำแหน่งอัดฉีดน้ำมัน

ตำแหน่งอัดฉีดน้ำมัน ลูกปั๊มเคลื่อนที่ขึ้น (ไปทางขวา) พร้อมทั้งหมุนไปด้วย พอลูกปั๊มขึ้นปิดช่องบรรจุน้ำมันลูกปั๊มจะอัดน้ำมันในน้องอัดน้ำมันต่อเนื่องกัน ช่องจ่ายน้ำมันกับรูจ่ายน้ำมันจะตรงกับข่องจ่ายน้ำมัน น้ำมันความดันสูงจึงดันออกทางลิ้นส่งน้ำมันไปยังหัวฉีด ฉีดน้ำมันเข้าห้องเผาไหม้

2.2.28.8 ตำแหน่งตัดน้ำมัน

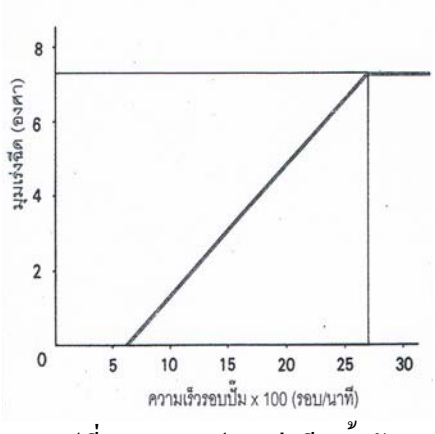
ตำแหน่งตัดน้ำมันหรือเรียกงว่าตำแหน่งดับเครื่องยนต์ เมื่อลูกปั๊มเคลื่อนที่ที่อัดน้ำมันจนเกือบ สุด รูตัดน้ำมันวของลูกปั๊มที่อยู่แนวขวางลูกปั๊มจะผ่านเลยขอบปลอกตัดน้ำมัน (Spill Ring) น้ำมันความดันสูงจึงระบายออกทางรูตัดน้ำมันของลูกปั้ม คือผ่านรูกลางลูกปั๊มนั่นเอง หัวฉีดหยุดฉีดน้ำมันทันที

2.2.28.9 ตำแหน่งสมดุลความดันน้ำมัน

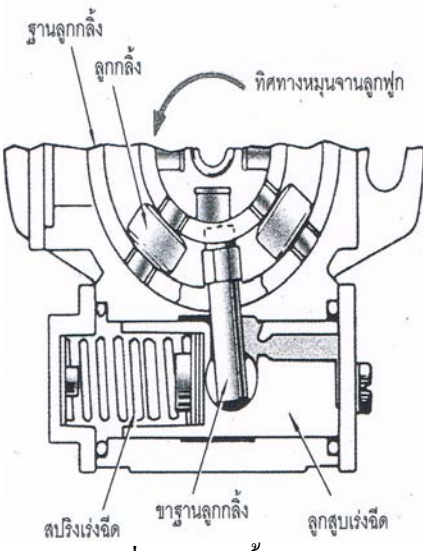
ตำแหน่งสมดุลความดันนำมันของลิ้นจ่ายน้ำมัน น้ำมันใต้ลิ้นส่งน้ำมันที่มีความดันเหลือตกค้างหลังสิ้นสุดการจ่ายน้ำมัน ไหลกลับเข้าเรือนปั๊มทางรูจ่ายน้ำมัน ผ่านร่องสมดุลความดันน้ำมัน เพื่อป้องกันความดันน้ำมันใต้ลิ้นส่งน้ำมันต้านการปิดลิ้นจ่ายน้ำมันลิ้นจ่ายน้ำมันจะได้ปิดสนิท

2.2.28.10 ลิ้นตัดน้ำมัน

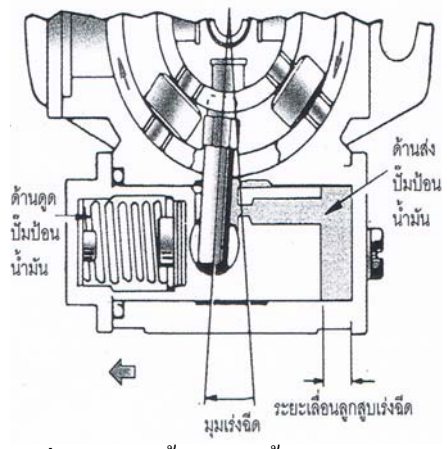
ลิ้นตัดน้ำมัน (Fuel-cut Solenoid) เป็นลิ้นปิดทางเดินน้ำมันเข้าปั๊ม ควบคุมด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อเปิดสวิตช์กุญแจโซลิ้นอยู่ด์จะดึงลิ้นตัดน้ำมัน ซึ่งเป็นแกนแม่เหล็ก เปิดทางเดินน้ำมันเข้าห้องอัดน้ำมันทางรูบรรจุ ไม่ให้น้ำมันเข้าห้องอัดน้ำมันดังรูปที่ 2.66



รูปที่ 2.68 กราฟมุมเร่งฉีดน้ำมัน



รูปที่ 2.69 ฉีดน้ำมันช้าลง



รูปที่ 2.70 ฉีดน้ำมันเร็วขึ้นด้วยมุมเร่งฉีด

2.2.28.11 ตำแหน่งป้องกันเครื่องยนต์ทำงานกลับทิศทาง

ตำแหน่งป้องกันการหมุนกลับทางกรณีที่เครื่องยนต์ดับขณะขึ้นเนินสูงไม่ไหวรถอยกลับเอง โดยที่ยังไม่ได้ปลดเกียร์เครื่องยนต์จะถูกรถขับให้หมุนกลับทางปั๊มจะไม่ส่งน้ำมันไปยังหัวฉีด เพราะลูกปั๊มตมุนกลับทาง จังหวะการบรรจุน้ำมันเข้าต้องอัดน้ำมัน จะไม่สัมพันธ์กับการเคลื่อนตัวของลูกปั๊ม ลูกปั๊มอัดน้ำมันให้มีความชั้นสูงไม่ได้ เครื่องยนต์จึงทำงานกลับทางหรือสวนทิศทางปกติไม่ได้

2.2.28.12 หน้าที่ตัวเร่งฉีดน้ำมันดีเซลอัตโนมัติ (Automatic Timer)

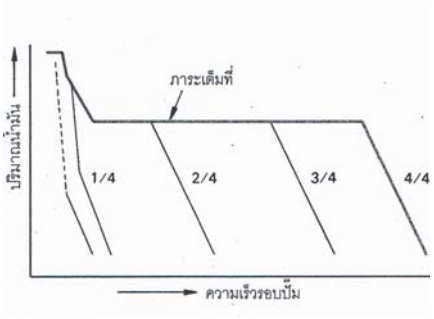
การเร่งฉีดน้ำมันดีเซลมีลักษณะเช่นเดียว กันการเร่งไฟจุดระเบิดของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน นั่นคือ จะต้องมีการฉีดน้ำมันดีเซลล่วงหน้า เมื่อความเร็วสูงขึ้น เพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานได้สมรรถนะสูงสุด ปั๊มดีเซลแบบจานจ่ายจึงมีตัวเร่งฉีดน้ำมันดีเซลเช่นเดียวกับปั๊มดีเซลแบบเรียงสูบ โดยใช้ความดันของน้ำมันดีเซลลเป็นตัวควบคุมการทำงานระยะ เวลาการฉีดน้ำมันดีเซลล่วงหน้าหรือการฉีดน้ำมันดีเซล จะเป็นสัดส่วนกับการเพิ่ม หรือลดความเร็วของเครื่องยนต์

2.2.28.13 การทำงานตัวเร่งฉีดน้ำมันดีเซล

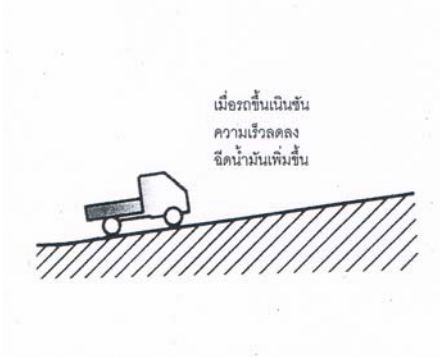
อาศัยความดันน้ำมันจากปั๊มป้อน คือ ความเร็วรอบปั๊มยิ่งสูง ความดันน้ำมันจากปั๊มป้อนยิ่งสูงในเวลาเดียวกัน เครื่องยนต์ต้องการให้น้ำมันฉีดล่วงหน้าก่อนลูกสูบถึงศูนย์ตายบนเร็วขึ้นเพื่อให้เครื่องยนต์ได้สมรรถนะสูงสุด จึงใช้ความดันน้ำมันจากปั๊มป้อนน้ำมันผลักดันลูกสูบเร่งฉีดน้ำมันให้ต้านกับแรงดันสปริงเร่งฉีด ดังรูปที่ 2.68 เพื่อให้เกิดแรงขับขาฐานลูกกลิ้ง พาลูกกลิ้งทั้งชุดเคลื่อนที่ย้อนทิศทางหมุนจานลูกลูกหรือของลูกปั๊มนั่นเอง จานลูกลูกจึงเตะลูกกลิ้งเร็วขึ้น ทำให้น้ำมันฉีดล่วงหน้าสัมพันธ์

กับความเร็วรอบเครื่องยนต์ หรือเรียกว่า สัมพันธ์กับความเร็วจานลูกสูบของปั๊มหากความเร็วรอบเครื่องยนต์ลดลง ความดันน้ำมันจากปั๊มป้อนลดลงสปริงชนะแรงสปริงดันจานลูกฟูกเคลื่อนที่ไปตามทิศทางหมุนจานลูกฟูก น้ำมันฉีดล่วงหน้าชาลงสัมพันธ์กับแรงสปริง

2.2.29 ประเภทกาวานาและส่วนประกอบที่สำคัญ



รูปที่ 2.71 กราฟควบคุมความเร็วรอบเครื่อง



รูปที่ 2.72 รถขึ้นเนินได้ด้วยความเร็วคงที่

รูปที่ 2.73 รถลงเนินชัน ยังลงได้ด้วยความเร็วคงที่

พื้นฐานของกาวานา

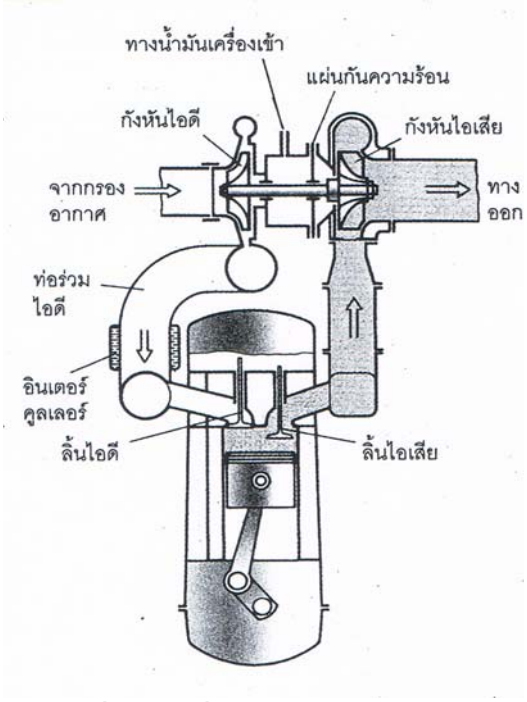
กาวานหรือกัฟเวอร์เนอร์ (Governor) ออกแบบเพื่อควบคุมความเร็วรอบและกำลังของเครื่องยนต์ให้เป็นไปอย่างอัตโนมีต โดยปรับปริมาณน้ำมันที่ฉีดเข้าไปในกระบอกสูบให้เป็นไปตามภาระและตำแหน่งการเหยียบคันเร่งขณะนั้น หากพิจารณาจากกราฟรูปที่ 79

ถ้าเหยียบคันเร่งไว้ในตำแหน่งคงที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะลดลง ขณะที่เครื่องยนต์มีภาระมากขึ้น เช่น กรณีรถขึ้นเนินชันเพื่อป้องกันมิให้เกิดลักษณะดังกล่าว การวานาจะทำหน้าที่ปรับปริมาณน้ำมันให้เพิ่มขึ้นในขณะที่ความเร็วเครื่องยนต์เริ่มตกลง ทั้งนี้เพื่อทำให้ความเร็วรถยนต์เป็นไปตามที่ต้องการ คือ ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ เช่น 2,000 รอบต่อนาที

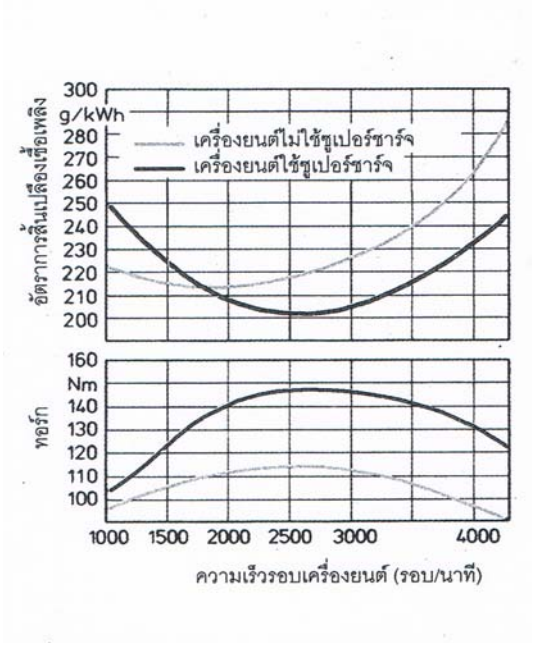
ในทางตรงข้าม ถ้าความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้น เมื่อภาระลดลง เช่น กรณีลงจากเนินฉัน กาวานาจะปรับลดการฉีดน้ำมันน้อยลง เพื่อที่จะรักษาความเร็วของรถยนต์ในขณะนั้นให้คงที่ คือ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ยังคงที่ 2,000 รอบต่อนาที

นอกจากนี้ กาวานายังคงรักษาความเร็วรอบเดินเบาให้คงที่ ไม่ให้เดินเบาดับและควบคุมมิให้ความเร็วรอบสูงสุดของเครื่องยนต์สูงเกินพิกัด อันอาจทำให้เกิดอันตรายได้

2.2.30 การทำงานและการตรวจซ่อมเทอร์โบชาร์จ



รูปที่ 2.74 เครื่องยนต์ติดเทอร์โบชาร์จ



รูปที่ 2.75 กราฟสมรรถนะเครื่องยนต์

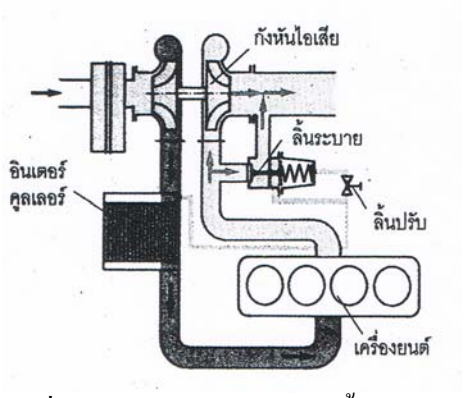
คุณลักษณะเทอร์โบชาร์ (Turbocharger)

เทอร์โบชาร์จใช้ประโยชน์จากพลังงานไอเสียของเครื่องยนต์ เป็นพลังงานในการอัดอากาศจำนวนมากป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ เพื่อเพิ่มกำลังให้กับเครื่องยนต์อย่างประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง และลดเสียงดังของเครื่องยนต์ ไอเสียของเครื่องยนต์ที่ปล่อยออกจากกระบอกสูบจะเข้าท่อร่วมไอเสีย แล้วดันผ่านห้องใบกังหันไอดี หมุนไปด้วย เพราะใช้แกนเพลาเดียวกัน ดังนั้น จึงสามารถอัดอากาศเข้าสู่กระบอกสูบได้

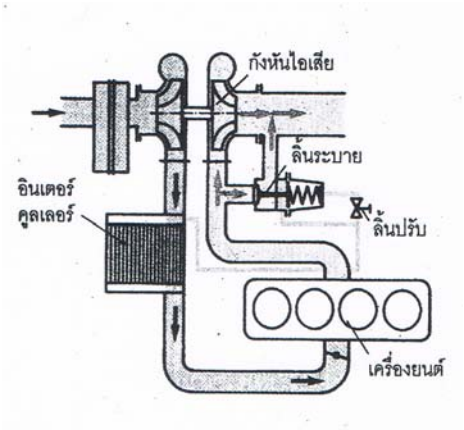
เมื่อใบกังหันไอดีหมุนอัดอากาศเข้าสู่ท่อร่วมไอดี ตัวจ่ายน้ำมันเพิ่ม ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ปั๊มน้ำมันดีเซลจะช่วยให้ปั๊มจ่ายน้ำมันเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้น จึงเป็นการเพิ่มกำลังให้กับเครื่องยนต์

ตัวเทอร์โบชาร์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ด้านกังหันไอเสีย ได้รับแรงขับหมุนจากไอเสียที่ไหลรีดเข้าสู่ห้องเสื้อใบกังหันไอเสียและพ่นปะทะกับใบกังหัน ใบกังหันไอเสียจะหมุนด้วยความเร็วสูง 10,000 รอบ/นาที เพื่อที่ขับกังหันไอดีหมุนตามไปด้วย ในชุดเทอร์โบชาร์จมีกลไกของลิ้นระบายไอเสียที่เกิน เพื่อควบคุมความดันอากาศที่จะเป่าให้กับกังหันไอเสีย ที่ท่อของท่อรวมไอดีมีลิ้นระบายความดันเกินติดตั้งไว้ด้วย

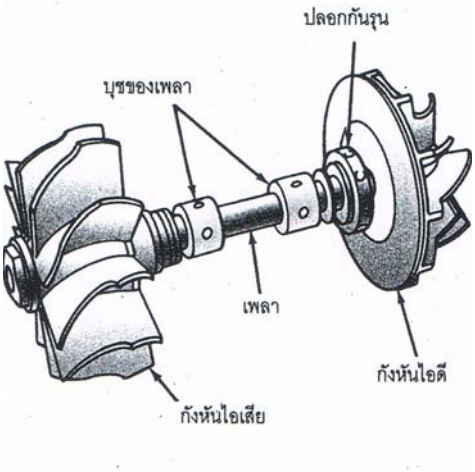
เพื่อเพิ่มปริมาตรอากาศ (น้ำหนัก) ไอดีจะลดอุณหภูมิอากาศอัดด้วยอินเตอร์คูลเลอร์ (Inter cooler) เป็นการเพิ่มความหนาแน่นของอากาศ



รูปที่ 2.76 ตำแหน่งตัวควบคุมลิ้นระบายไอเสียทำงาน



รูปที่ 2.77 ลิ้นระบายความดันไอดีเกินเปิด



รูปที่ 2.78 หล่อลื่นบูชของเพลาใบกังหัน

2.2.31 ตัวควบคุมลิ้นระบายไอเสีย

อากาศความดันสูงภายในห้องไอเสียจะส่งไปท่อของตัวควบคุมลิ้นระบายไอเสีย เมื่อความดันอากาศจะสูงกว่าระดับที่กำหนดไว้ ความดันอากาศจะส่งยังลิ้นระบาย และสามารถดันเอาชนะแรงสปริงซึ่งสามารถเปิดระบายไอเสียส่วนที่เกินออกไปได้ ดังนั้นความเร็วของใบกังหันไอเสียและใบกังหันไอดีจึงลดลง เป็นการควบคุมมิให้ความดันอากาศเกินกว่าที่กำหนด

2.2.32 ลิ้นระบายความดันไอดีเกิน

ลิ้นระบายความดันไอดีเกิน จะทำงานเมื่อความดันอากาศที่ส่งท่อเข้าไอดีสูงกว่าที่กำหนดไว้มาก หรือเมื่อกลไกปิดเปิดของลิ้นระบายไอเสียไม่ทำงาน (รูปที่ 2.77) ลิ้นระบายความดันไอดีจะเปิดเพื่อระบายอากาศไอดีส่วนเกินสู่อากาศภายนอกจึงเป็นการป้องกันมิให้ความดันที่เกินเข้าสู่เครื่องยนต์

เสียงของอากาศที่ระบายออกจากลิ้นระบายความดันไอดีเกิน สามารถได้ยินเสียงได้เมื่อลิ้นทำงานเป็นการเตือนเหตุให้ตรวจและซ่อมชุดเทอร์โบชาร์จ

การหล่อลื่นเทอร์โบชาร์จ

2.2.33 การหล่อลื่นเทอร์โบชาร์ต

น้ำมันเครื่องจะหล่อลื่นที่บุชของเพลา (Floating Bearing) ใบกังหันและส่งต่อเสื้อบุชโดยผ่านทางท่อส่งน้ำมัน น้ำมันเครื่องจะไหลเข้าห้องเสื้อบุชเพื่อหล่อลื่นบุช และไหลกลับลงสู่ด้านล่างผ่านทางท่อน้ำมันที่ต่อกับเสื้อสูบ แล้วไหลลงสู่อ่างน้ำมัน ปลูกกันรุน (Thrust Collar) ติดตั้งไว้ที่ปลายทั้ง 2 ข้าง ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมระยะรุนให้อยู่ในพิกัด ต้องได้รับการหล่อลื่นเช่นกัน

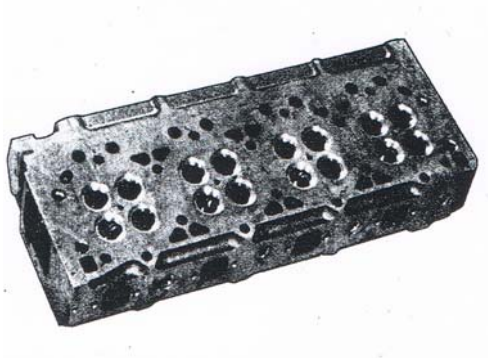
2.2.34 ฝาสูบและลิ้นเครื่องยนต์

การถอดซ่อมฝาสูบและระบบลิ้นเครื่องยนต์ดีเซลคล้ายกับการเปิดฝาสูบและตรวจซ่อมลิ้นเครื่องยนต์แก๊สโซลีน เพียงแต่เป็นหน่วยแรกสำหรับการถอดประกอบเครื่องยนต์ดีเซลทั้งเครื่องต่อเนื่องไปจนถึงการประกอบเครื่องยนต์ในหน่วยต่อไป

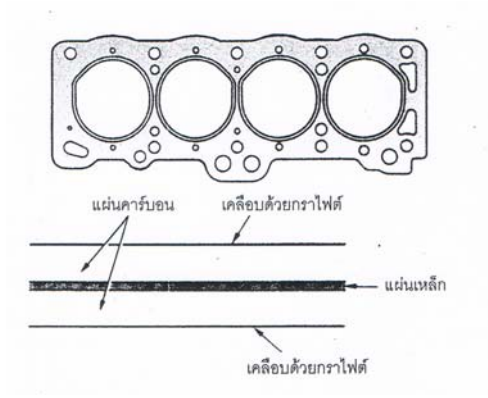
เครื่องยนต์ปัจจุบัน พัฒนาชิ้นส่วนและระบบทำงานที่ลดการสึกหรอได้มาก หากบำรุงรักษาและใช้งานให้ได้ แทบไม่ต้องเสียเวลาและไม่ต้องเสียเงินค่าซ่อมเลยเป็นเวลาหลายปี หากต้องซ่อมให้ถูกต้องตามคู่มือซ่อมเครื่องยนต์นั้น

2.2.35 ส่วนประกอบฝาสูบและลิ้นเครื่องยนต์ดีเซล

เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ที่มีกำลังอัดสูง และทำงานแรงกว่าเครื่องยนต์แก๊สโซลีนชิ้นส่วนเครื่องยนต์ดีเซลจึงมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากกว่าเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ส่วนประกอบฝาสูบและลิ้นเครื่องยนต์ดีเซลมีดังนี้



รูปที่ 2.79 ฝาสูบเครื่องยนต์ดีเซล



รูปที่ 2.80 ปะเก็นฝาสูบเครื่องยนต์ดีเซล

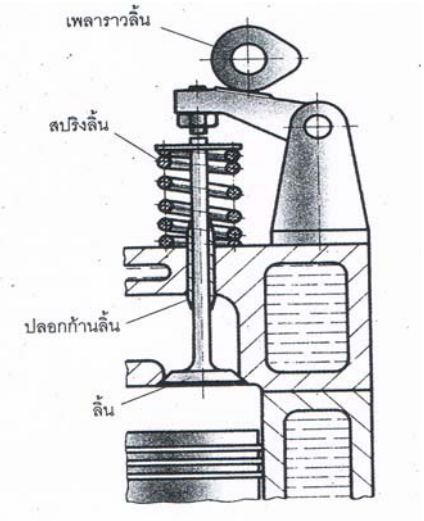
2.2.35.1 ฝาสูบ (cylinder Head)

ฝาสูบเครื่องยนต์ดีเซลทำด้วยเหล็กหล่อโดยทั่วไปจะโปร่ง มีของน้ำหล่อเย็น ของลิ้น ช่องทางเดินของไอดีและไอเสีย ฝาสูบจะต้องปิดกระบอกสูบจึงต้องเรียบ ไม่โก่ง ปิดได้แนบสนิท ไอเสียหรือกำลังอัดไม่รั่ว ยึดติดกับเสื้อสูบด้วยสกรูฝาสูบและปะเก็นคั่นป้องกันการรั่วไหล ฝาสูบด้านในเป็นส่วนหนึ่งของห้องเผาไหม้จึงต้องรับอุณหภูมิสูง ภายในช่องน้ำระบายความร้อนอาจมีตะกรันจับอยู่ จึงมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของฝาสูบ ฝาสูบจะเสียความแข็งแรงทำให้เกิดความเค้นในฝาสูบจนถึงกับฝาสูบร้าว การป้องกันฝาสูบเสียหายจึงควรจะได้รับการดูแลเอาใจใส่

2.2.35.2 ปะเก็นฝาสูบ (Gasket)

ปะเก็นฝาสูบประกอบอยู่ระหว่างเสื้อสูบกับฝาสูบ เพื่อป้องกันแก๊สเผาไหม้น้ำหล่อเย็นและน้ำมันเครื่องรั่วออก ปะเก็นฝาสูบต้องมีความสามารถทนต่อความร้อนความดันในเครื่องยนต์ โดยปกติเป็นแผ่นเหล็กอ่อนห่อหุ้มด้วยคาร์บอนเคลือบไว้ด้วยกราไฟต์ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันรั่วของปะเก็น หน้าที่ของปะเก็นฝาสูบมี ดังนี้

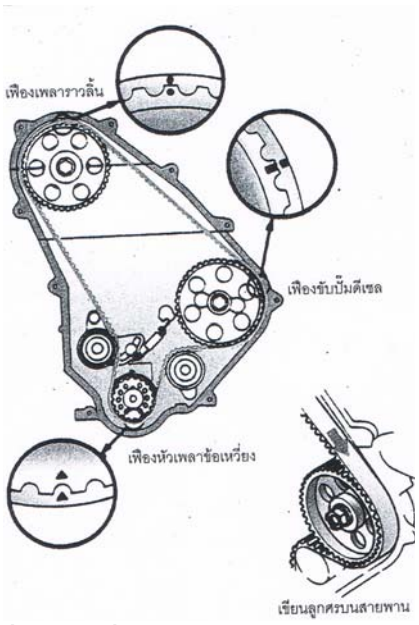
1. ป้องกันแก๊สและน้ำหล่อเย็น และน้ำมันเครื่องรั่ว
2. ทนความร้อนสูง และน้ำความร้อนได้ดี
3. ทนความดันสูงและยืดหยุ่นได้
4. ทนการกัดกร่อน



รูปที่ 2.81 ลิ้นและอุปกรณ์ประกอบ

2.2.35.3 เพลาราวลิ้น (Camshaft)

เพลาราวลิ้นหรือเรียกว่าเวลาลูกเบี้ยวทำหน้าที่เปิดลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียของเครื่องยนต์มีเฟืองขับโตเป็น 2 เท่า ของเฟืองหัวเพลาข้อเหวี่ยงเมื่อเพลาข้อเหวี่ยงหมุน 1 รอบ เพลาราวลิ้นจะหมุนเพียงครึ่งรอบ นั่นคือ เพลาข้อเหวี่ยงหมุนครบ 2 รอบใน 1 วัฏจักร ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียของแต่ละสูบจะเปิดเพียงลิ้นละครั้ง



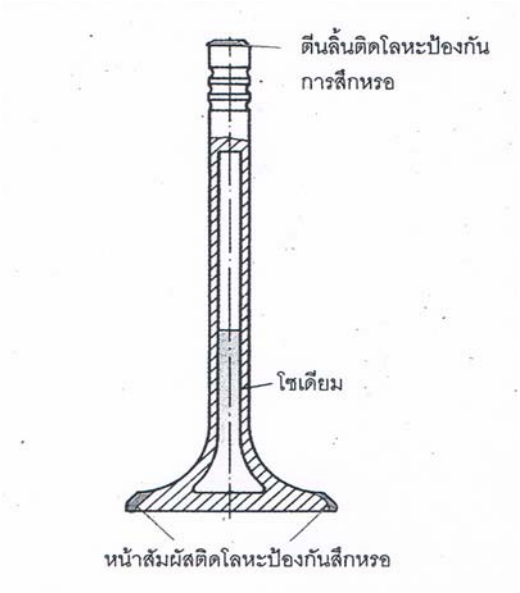
รูปที่ 2.82 เครื่องหมายประกอบสายพานเพลาราวลิ้น

2.2.35.4 ปลอกก้านลิ้น (Valve Guide)

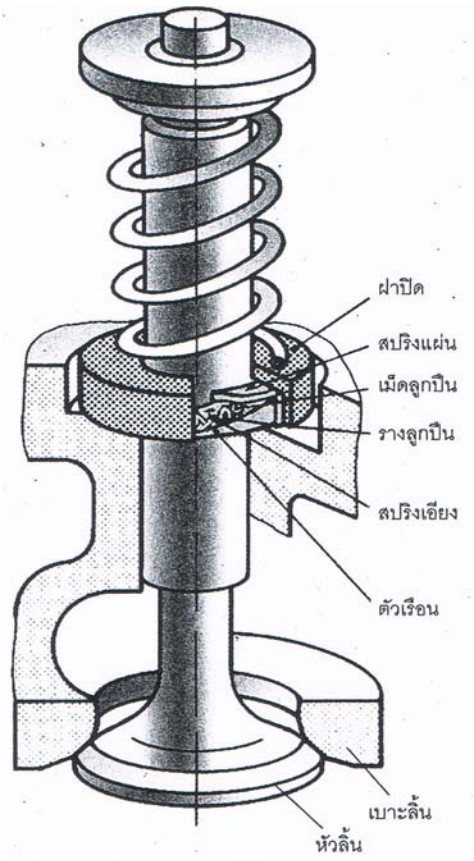
ปลอกก้านลิ้นทำหน้าที่บังคับให้ลิ้นเคลื่อนที่ในแนวตรง อัดแน่นในฝาสูบ บนปลอกก้านลิ้นมีซีลปลอกก้านลิ้น ป้องกันน้ำมันเครื่องเข้าไปในห้องเผาไหม้ ผ่านช่องว่างก้านลิ้นกับปลอกก้านลิ้น

2.2.35.5 สปริงลิ้น (Valve Spring)

สปริงลิ้นทำหน้าที่ปิดลิ้น (ลิ้นเปิดได้ด้วยลูกเบี้ยวแต่ปิดด้วยสปริงลิ้น) เครื่องยนต์สมรรถนะสูงนิยมใช้สปริงลิ้นคู่ที่มีขนาดเส้นลวดต่างกัน เพื่อสมดุลการสั่นที่ความเร็วรอบสูงและป้องกันลิ้นตกลงในห้องเผาไหม้ หากสปริงตัวใดตัวหนึ่งหัก เพราะจะเป็นอันตรายต่อเครื่องยนต์ อย่างยิ่งปลอกก้านลิ้น



รูปที่ 2.83 ลิ้นเครื่องยนต์ดีเซล



รูปที่ 2.84 ตัวหมุนลิ้นเครื่องยนต์

2.2.35.6 สายพานเพลาราวลิ้น (Timing Belt)

สายพานเพลาราวลิ้น หรือเรียกว่า สายไทมิ่ง ทำจากวัสดุสายพาน ที่มีความแข็งแรงทนทานกว่าตัววี ท้องสายพานเป็นฟันเฟืองส่งกำลังต่างๆ ทำหน้าที่รับกำลังจากเฟืองเพลาข้อเหวี่ยงส่งไปขับปั้มน้ำมันเครื่อง เฟืองขับปั้มดีเซลและเฟืองเพลาราวลิ้นให้ทำเครื่องหมายลูกศรบนด้านนอกของสายพาน เพื่อแสดงทิศทางการหมุนของสายพานก่อนถอดออก และเพื่อเป็นเครื่องสังเกตในการประกอบกลับคืน ถ้าหากสายพานใช้ต่อไปได้

2.2.35.7 ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสีย

ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียลิ้นรับภาระทั้งทางกลและทางความร้อน เก็ดการกัดกร่ปันอันเนื่องมาจากการเผาไหม้ ขณะรับภาระเต็มที่อุณหภูมิที่หัวลิ้นไอเสยสูงถึง 780 องศาเซลเซียส. และลิ้นไอดีสูง 500 องศาเซลเซียส. วัสดุที่ใช้ทำลิ้นไอเสียจึงใช้เหล็กผสมคุณภาพสูง ที่ทนต่อความร้อนได้สูง และทนความดันไอเสียที่ร้อนจัด เพื่อให้ลิ้นมีอายุการใช้งานได้น้าน ที่ตีนลิ้นและที่หน้าสัมผัสลิ้นติดโลหะเสริมผสม CrNi ป้องกันการสึกหรอ

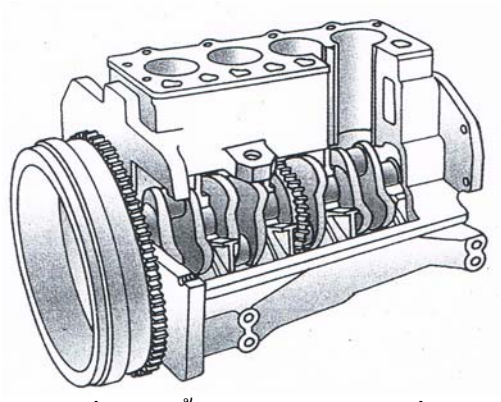
สำหรับลิ้นไอเสียออกแบบให้ก้านลิ้นเป็นโพรงบรรจุโซเดียมไว้ข้างใน สามารถลดอุณหภูมิของลิ้นให้อยู่ระดับ 80 องศาเซลเซียส. โดยบรรจุโซเดียม (soduim) ไว้ประมาณ 2 ใน 3 โซเดียมจะกลาย เป็นของเหลวขณะที่อุณหภูมิทำงานประมาณ 67 องศาเซลเซียส. ส่งถ่ายความร้อนจากหัวลิ้นไปยังก้านลิ้นและส่งถ่ายต่อไปยังปลอกก้านลิ้น นอกจากนั้นน้ำหนักลิ้นลดลง ลดแรงกระแทกบ่าลิ้นที่ฝาสูบ เป็นการลดการสึกหรออีกทางหนึ่ง

2.2.36 ตัวหมุนลิ้นเครื่องยนต์ (Valve Rotator)

เพื่อเลื่อนตำแหน่งหน้าสัมผัสลิ้นไม่ให้เขม่าไอเสียจับพร้อมกับกระจายการถ่ายเทความร้อนให้สม่ำเสมอ จึงมีความจำเป็นสำหรับเครื่องยนต์ประสิทธิภาพสูงสปริงตัวหมุนลิ้นกดลูกปืนให้กลิ้งไปตามรางโค้งในขณะลิ้นเปิด สปริงลิ้นจะหมุนลิ้นไปตามทิศทางนั้นด้วย

2.2.37 เสื้อสูบและปลอกสูบเครื่องยนต์ดีเซล

2.2.37.1 เสื้อสูบ (Cylinder Block)



รูปที่ 2.85 เสื้อสูบและเพลาข้อเหวี่ยง

เสื้อสูบเป็นชิ้นส่วนที่ใหญ่และมีความสำคัญที่สุดของเครื่องยนต์ ทำหน้าที่เป็นชิ้นส่วนหลักที่ใช้ในการจับยึดชิ้นส่วนอื่นๆ ของเครื่องยนต์ทั้งหมด

วัสดุที่ใช้ทำเสื้อสูบส่วนใหญ่ทำจากเหล็กหล่อสีเทา ภายในเสื้อสูบเป็นโพรงสำหรับให้น้ำหล่อเย็น หมุนเวียนถ่ายเทความร้อนออกจากกระบอกสูบ คือ ให้น้ำหล่อเย็นไหลเวียนผ่านฝาสูบไปยังหม้อน้ำ

2.2.37.2 ปลอกสูบ (Cylinder Liner)

กระบอกสูบ (Cylinder Bore) ของเครื่องยนต์ดีเซลมักเป็นปลอกสูบสวมอัดเข้ากับเสื้อสูบ เพื่อสะดวกต่อการซ่อม ในกรณีที่กระบอกสูบสึก หลวมหรือชำรุด เนื่องจากสาเหตุใดก็ตาม ทำให้ต้องยกเครื่อง คว้านกระบอกสูบและเปลี่ยนขนาดลูกสูบให้โตขึ้น เสื้อสูบมีขนาดใหญ่ไม่สะดวกต่อการยกเอาไปคว้าน การใช้วิธีเปลี่ยนปลอกสูบจะทำได้ง่ายและสะดวก กรณีชำรุดเพียงสูบใดสูบหนึ่งก็สามารถเปลี่ยนเฉพาะสูบนั้น ซึ่งจะประหยัดค่าใช้จ่าย ปลอกสูบที่ใช้ส่วนมาก ได้แก่ ปลอกสูบแบบแห้ง (DV Liner Type) เป็นปลอกสูบที่อัดลงในกระบอกสูบอีกชั้นหนึ่ง จึงมิได้สัมผัสกับน้ำหล่อเย็น ปลอกสูบชนิดนี้ถอดเปลี่ยนได้ยาก การถ่ายเทความร้อนไม่ดี เพราะมิได้สัมผัสกับน้ำหล่อเย็น แต่ไม่มีปัญหาและอันตรายจากการรั่วของน้ำหล่อเย็นเข้าไปในห้องเผาไหม้หรือห้องข้อเหวี่ยง ส่วนปลอกสูบอีกชนิดหนึ่ง ก็คือ ปลอกสูบแบบเปียก (Wet Liner Type) เป็นปลอกสูบที่มีผิวรอบนอกสัมผัสกับน้ำหล่อเย็น การอุดปลอกสูบแบบนี้ต้องใช้ความระมัดระวัง เมื่อเปลี่ยนปลอกสูบใหญ่ต้องเปลี่ยนยางซีล (O-Ring) ใหม่ด้วย เพื่อป้องกันปัญหาการเกิดน้ำรั่วไหลเข้าในห้องเผาไหม้ ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จะตกต่ำถ้าปลอกสูบสึกหรอเป็นรอย กำลังอัดตก ทำให้เครื่องยนต์ดีเซลสตาร์ตติดยาก

2.2.38 ลูกสูบและแหวนลูกสูบเครื่องยนต์ดีเซล

2.2.38.1 ประเภทลูกสูบ

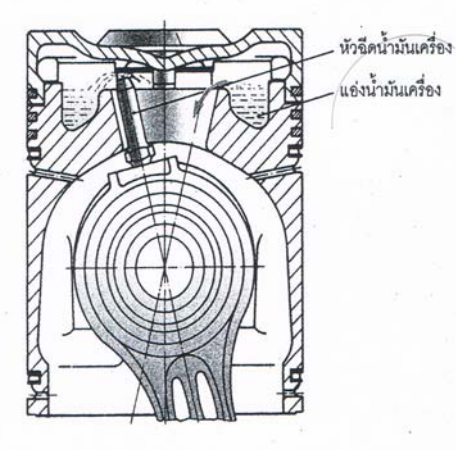
ลูกสูบเครื่องยนต์ดีเซลต้องเป็นลูกสูบที่แข็งแรงกว่าลูกสูบเครื่องยนต์แก๊สโซลีน เพราะอัตราส่วนการอัด (Compression Ratio) และความรุนแรงของการเผาไหม้เชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ ลูกสูบเครื่องยนต์ดีเซลทำด้วยเหล็กหล่อและอะลูมิเนียมผสม

- ลูกสูบเหล็กหล่อ

ลูกสูบเหล็กหล่อเป็นลูกสูบที่มีน้ำหนักมากทำให้สูญเสียกำลังเครื่องยนต์เพื่อเอาชนะแรงเฉื่อย ข้อเสียอีกข้อหนึ่ง คือ มีคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนต่ำ ลูกสูบแบบนี้จึงมิใช่น้อยมีใช้กับเครื่องยนต์แทรกเตอร์เครื่องยนต์รอบต่ำ

- ลูกสูบอะลูมิเนียมผสม

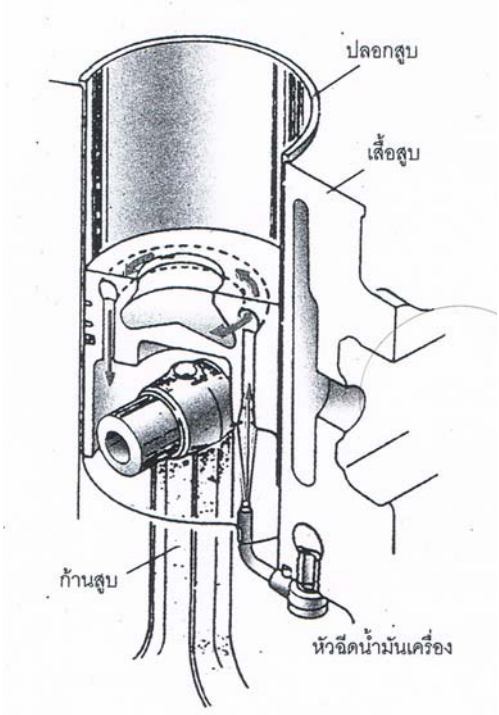
ลูกสูบอะลูมิเนียมผสมเป็นลูกสูบที่มีน้ำหนักเบา ถ่ายเทความร้อนได้เป็นอย่างดี แรงเฉื่อยเกิดน้อยแต่ลูกสูบแบบนี้ยังมีข้อเสียตรงที่ขยายตัวมากเมื่อได้รับความร้อน จึงมีวิธีแก้ลูกสูบอะลูมิเนียมขยายตัว โดยเพิ่มระยะห่างหล่อลื่นระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบให้มากขึ้นกว่าลูกสูบเหล็กหล่อ ถึงอย่างไรก็ดี ยังมีข้อเสียที่ตามมา คือ จะเกิดเสียงดังเมื่อเริ่มติดเครื่อง ปัจจุบันนี้แก้โดยทำร่องที่ลูกสูบ เพื่อลดการขยายตัวติดแน่น



รูปที่ 2.86 แบบฉีดน้ำมันเครื่องหล่อลื่นใต้หัวสูบ

2.2.38.2 การระบายความร้อนลูกสูบ

การที่จะปล่อยให้ลูกสูบระบายความร้อนเอง โดยวิธีการถ่ายเทความร้อนของลูกสูบนั้นไม่เพียงพอโดยเฉพาะเครื่องยนต์ที่ทำงานหนัก เป็นเหตุให้ลูกสูบขยายตัวสูงและติดในกระบอกสูบ เคยได้มีการออกแบบใช้น้ำระบายความร้อนลูกสูบ แต่ก็มีความยุ่งยากในการป้องกันน้ำรั่วลงห้องเพลาข้อเหวี่ยง ด้วยเหตุนี้จึงหันมาใช้น้ำมันเครื่องเป็นตัวระบายความร้อน ดัง 3 แบบ ต่อไปนี้

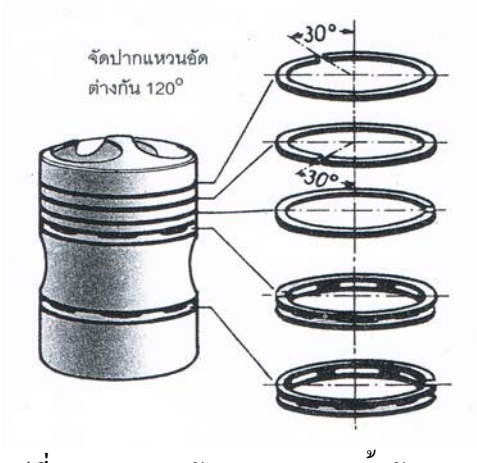


รูปที่ 2.87 แบบน้ำมันเครื่องไหลผ่านโพรงใต้หัวลูกสูบ

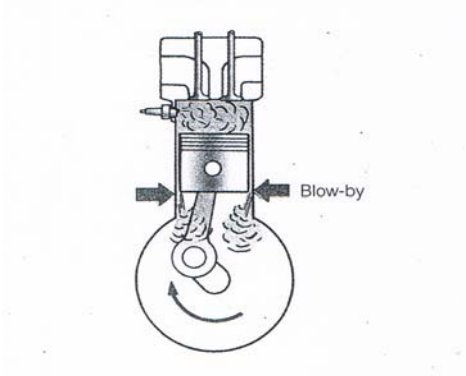
- แบบฉีดน้ำมันเครื่องหล่อเย็นใต้หัวสูบ น้ำมันเครื่องจะฉีดไปให้หัวลูกสูบ ไหลขึ้นไปตามรูกลางของก้านสูบ ส่วนหนึ่งสำหรับหล่อลื่นสลักลูกสูบ อีกส่วนหนึ่งจะผ่านหัวฉีดน้ำมันเครื่องกระจายออกหล่อลื่นใต้หัวสูบ ซึ่งออกแบบเป็นคู่เหมือนเสื้อสูบ ระบายความร้อนด้วยอากาศที่มีครีบระบายความร้อน

- แบบน้ำมันเครื่องไหลกลับทางรูปลอกสูบแบบน้ำมันเครื่องไหลกลับทางรูปลอกสูบหรือเรียกว่า แบบระบายความร้อนด้วยน้ำมันเครื่องไหลเป็นช่วง น้ำมันเครื่องจะไหลไปเก็บไว้ที่ช่องเล็ก ๆ ใต้หัวลูกสูบ และติดอยู่เมื่อลูกสูบเลื่อนลงในตำแหน่งศูนย์ตายล่าง รูที่ลงตัวลูกสูบจะตรงกับร่องที่ปลอกสูบน้ำมันเครื่องที่ใต้หัวลูกสูบ จะระบายลงอ่างน้ำมันเครื่องตามเดิม น้ำมันเครื่องจะทำหน้าที่กันไม่ให้ผิวโลหะทั้งสองสัมผัสกัน และหล่อลื่นระหว่าง กันได้โดยตรงแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น จึงเป็นแรงเสียดทานเนื่องมาจากน้ำมันเครื่องซึ่งน้อยกว่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นเมื่อโลหะสัมผัสกันสภาพแห้ง กำลังงานที่เสียไปก็ลดน้อยลง การทำให้เกิดชั้นบาง ๆ ของน้ำมันเครื่องต้องไม่ทำให้โลหะสัมผัสกันชิดเกินไป

- แบบน้ำมันเครื่องไหลผ่านโพรงใต้หัวลูกสูบ หัวฉีดน้ำมันเครื่อง ฉีดน้ำมันเครื่องจากเสื้อสูบให้ขึ้นไปใต้ถูกสูบ น้ำมันเครื่องส่วนหนึ่งหล่อลื่นผิวกระบอกสูบ อีกส่วนหนึ่งขึ้นไประบายความร้อนที่ใต้หัวลูกสูบ และไหลกลับตกลงอ่างน้ำมันเครื่อง ในแบบนี้จะไม่มีที่เก็บน้ำมันเครื่องใต้หัวลูกสูบ โดยให้ไหลผ่านด้วยความเร็ว เพื่อลดน้ำหนักของลูกสูบซึ่งจะมีผลต่อแรงเฉื่อยของลูกสูบด้วย ซึ่งเป็นแบบที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรถยนต์ขนาดใหญ่ เช่น เครื่องยนต์รถโดยสารขนาดใหญ่รถ 10 ล้อ หรือรถแทรกเตอร์



รูปที่ 2.88 แหวนอัด 3 วง แหวนน้ำมัน 2 วง



รูปที่ 2.89 อากาศอัดและไอเสียรั่วเข้าห้องเพลาข้อเหวี่ยง

2.2.39 หน้าที่และการชุบผิวแหวนลูกสูบ

2.2.39.1 หน้าที่แหวนลูกสูบ (Piston)

แหวนลูกสูบสวมไฟไว้กับลูกสูบเพื่อป้องกันรั่วเข้าไปในห้องข้อเหวี่ยง และป้องกันน้ำมันเครื่องจากห้องข้อเหวี่ยงผ่านขึ้นไปห้องเผาไหม้ นอกจากนั้นยังช่วยถ่ายเทความร้อนออกจากลูกสูบส่งไปยังระบบหล่อลื่น และทำหน้าที่กวาดน้ำมันเครื่องตามผนังกระบอกสูบลงอ่างน้ำมันเครื่อง

2.2.39.2 ปากแหวนลูกสูบ (Ring Gap)

เมื่อประกอบลูกสูบเข้าในกระบอกสูบ ปากแหวนลูกสูบต้องมีระยะว่างไม่สัมผัสกัน เมื่อได้รับความร้อนขึ้น จะเกิดการขยายตัว ซึ่งสามารถขยายตัวออกตามเส้นรอบวง ไม่สามารถขยายตัวออกตามขนาดความโตของกระบอกสูบ จะขยายออกที่ปากแหวนลูกสูบ ถ้าหากว่าระยะห่างที่ปากแหวนไม่เพียงพอ ทำให้ปากแหวนชนกัน ฉะนั้นปากแหวนจะต้องมีระยะห่างพอเพียงสำหรับการขยายตัว แต่ไม่ห่างมากเกินไปจนเกิดผลเสีย ทำให้กำลังอัดตกเกิดการรั่วไหลของอากาศอัด และไอเสียรั่วเข้าห้องเพลาข้อเหวี่ยง

2.2.39.3 แหวนลูกสูบชุบผิวลดการสึกหรอ

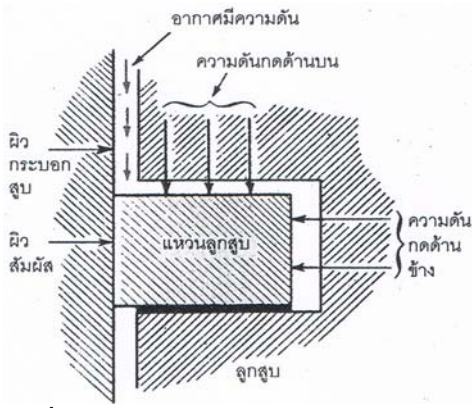
แหวนอัดได้รับอิทธพลจากความร้อนมาก แต่ได้รับการหล่อลื่นน้อยจำเป็นต้องชุบผิวลดการลึกหรอด้วยการชุบโครเมียม (Chrome Platlng) ส่วนแหวนน้ำมันต้องกวาดน้ำมันเครื่องไม่ให้เลยไปเข้าห้องเผาไหม้บุผิวด้วยไนไตรดิง (Nitriding)

2.2.40 การทำงานของแหวนลูกสูบ

2.2.40.1 การทำงานของแหวนอัด

หลังการประกอบลูกสูบและแหวนอัดลง ในกระบอกสูบ แหวนอัดจะถางออกสัมผัสกับผนังในกระบอกสูบ ตลอดเวลา

การสัมผัสในช่วงนี้ จะยังไม่สามารถป้องกันการรั่วของอากาศเต็มที่ จนกว่าจะมีความดันเกิดขึ้นในกระบอกสูบ ความดันจากการอัดไอดีหรือความดันไอเสียจากการเผาไหม้ จะดันส่วนบนของแหวนอัดให้แหวนอัดกดลงสัมผัสกับส่วนล่างของร่องแหวน ทำให้เกิดช่องว่างที่ส่วนบนของแหวนอัด ความดันจากการอัดไอดีหรือความดันจากไอเสียจะเข้าแทนที่ดันด้านในของแหวนอัด เพื่อเสริมแรงดันให้แหวนถ่างออกแนบกับผนังกระบอกสูบดีขึ้น



รูปที่ 2.90 การทำงานของแหวนอัดในช่องแหวน

เมื่อภายในกระบอกสูบไม่มีความดัน แหวนลูกสูบจะเป็นอิสระอยู่ภายในร่องแหวน การสัมผัสของแหวนอัดกับผนังกระบอกสูบจะมีเพียงเล็กน้อยเพื่อลดความฝืดและการสึกหรอ

2.2.40.2 การทำงานของแหวนน้ำมัน

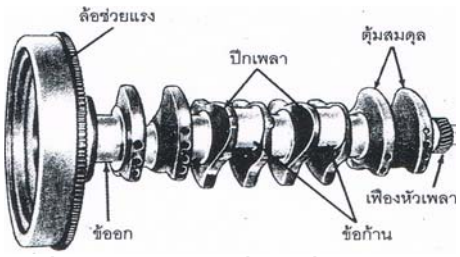
แหวนน้ำมัน ทำหน้าที่จำกัดปริมาณน้ำมันเครื่องให้เพียงพอสำหรับการหล่อลื่นที่ผนังกระบอกสูบและลูกสูบ ถ้ามากเกินไปน้ำมันเครื่องจะรวมตัว และแทรกผ่านแหวนน้ำมันเข้าไปยังห้องเผาไหม้ ทำให้เกิดเขม่าจากการเผาไหม้น้ำมันเครื่อง และเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

หน้าสัมผัสของแหวนน้ำมันที่กระทำต่อผิวกระบอกสูบจะออกแบบให้มีหน้าสัมผัสแคบ ๆ โดยทั่วไปจะออกแบบไว้เป็น 2 แบบ คือ หน้าสัมผัสเดี่ยวและหน้าสัมผัสคู่

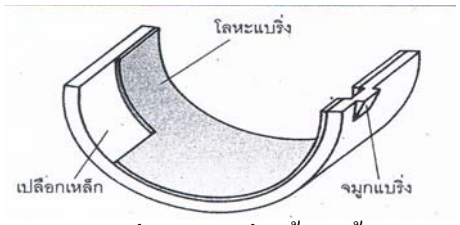
แบบหน้าสัมผัสเดียวกวาดน้ำมันเครื่องลงล่างแหวนเป็นแบบเดี่ยว ส่วนมากให้กับร่องแหวนตัวล่างสุด (ใกล้ขอบกระโปรงลูกสูบด้านล่าง) โดยการออกแบบให้ความโตของลูกสูบด้านใต้แหวนน้ำมันตัวล่างสุดเล็กกว่าความโตส่วนบนของลูกสูบเล็กน้อยเพื่อให้แหวนน้ำมันกวาดน้ำมันเครื่องออกจากผนังกระบอกสูบไหลลงสู่ขอบกระโปรงล่างของลูกสูบ ลงสู่ห้องเพลาข้อ เหวี่ยง

แบบหน้าสัมผัสคู่ สามารถกวาดน้ำมันเครื่องออกจากผนังกระบอกสูบได้ดีกว่าแบบหน้าสัมผัสเดี่ยวเพราะเท่ากับปาด 2 ครั้ง

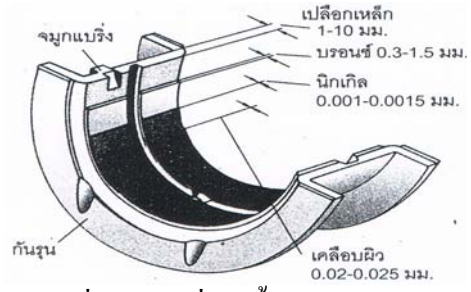
2.2.41เพลาข้อเหวี่ยงและอุปกรณ์ร่วมเพลาข้อเหวี่ยง



รูปที่ 2.91 เพลาข้อเหวี่ยงเครื่องยนต์ 4 สูบ



รูปที่ 2.92 แบริ่งเนื้อ 2 ชิ้น

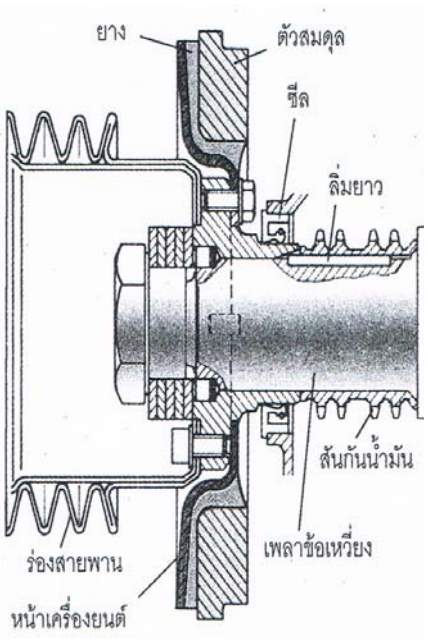


รูปที่ 2.93 แบริ่ง 3 ชั้น พร้อมกันรุน

2.2.41.1 เพลาข้อเหวี่ยง

เพลาข้อเหวี่ยง (Crankshah) จัดเป็นชิ้นส่วนประเภทเคลื่อนที่ แรงที่กระทำต่อเพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ดีเซลเป็นแรงหนักมาก เพลาข้อเหวี่ยงจึงต้องแข็งแรง ภายในเพลาข้อเหวี่ยงเจาะรูทะลุจากข้อออกผ่านแขนข้อเหวี่ยงไปออกที่ข้อก้านทุกตัว เพื่อใช้เป็นทางเดินของน้ำมันเครื่อง วัสดุที่ใช้ทำเพลาข้อเหวี่ยงส่วนมากจะทำด้วยเหล็กผสมโครเมียมและนิกเกิล เพลาข้อเหวี่ยงผลิตโดยวิธีตีอัดขึ้นรูป (Forging) เผาให้ร้อนตีให้เป็นรูปแล้วจึงนำไปกลึง เจียระไนตกแต่ง จากนั้นจะต้องนำไปหาความสมดุลซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้าย

เพลาข้อเหวี่ยงที่ไม่มีรัศมีลดความเค้น (Fillet) หรือส่วนโค้งเล็กเกินไปที่หัวมุมเพลา จะเกิดความเค้นสูง ถ้าพิจารณาถึงพื้นที่หน้าตัดจะเห็นได้ว่าเพลาข้อเหวี่ยงซึ่งไม่มีส่วนโค้งจะรับภาระมากกว่าเพลาข้อเหวี่ยงที่มีส่วนโค้ง ส่วนโค้งนี้จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดความเค้นสูง ที่จุดดังกล่าวและทำให้เพลาข้อเหวี่ยงมีความแข็งแรงมากขึ้น ดังนั้นการเจียระไนเพลาข้อเหวี่ยงที่ไม่ดีพอจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เพลาข้อเหวี่ยงหักได้



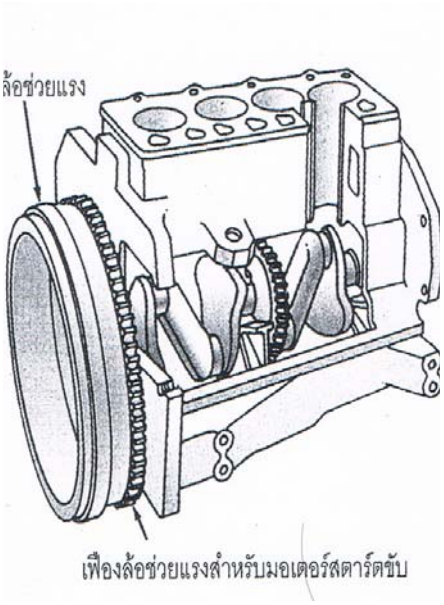
รูปที่ 2.94 รอกสายพานและตัวสมดุลแรงสั่น

2.2.41.2 แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยง

แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยง (Crankshaft Bearing) และแบริ่งก้านสูบ (Connecting Rod Bearing) ทำจากอะลูมิเนียมผสมเป็นโลหะเนื้ออ่อน ซึ่งเป็นรอยได้ง่าย จึงมีเศษโลหะเข้าขังในเนื้อโลหะแบริ่งได้ ผิวหน้าสัมผัสของแบริ่งจะต้องสะอาดและปราศจากเศษโลหะ ตลอดจนการเก็บรักษา ต้องเก็บแยกไว้ต่างหาก ไม่รวมกับวัสดุอื่น ๆ แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงสามารถเลือกขนาดความหนาของแบริ่งและค่าระยะห่างระหว่างเพลาข้อเหวี่ยงกับเสื้อสูบให้เหมาะสม ที่เรียกว่า อันเดอร์ไซซ์ ได้ (Undersize = U/s) เพื่อช่วยลดการสั่นสะเทือนและเสียงที่จะเกิดขึ้น

2.2.41.3 รอกสายพานหน้าเครื่องยนต์

รอกสายพานหน้าเครื่องยนต์ (crankshaft pulley) เป็นส่วนประกอบที่สวมหัวเพลาข้อเหวี่ยง รอกสายพานสวมผ่านฝาครอบหน้า แกนของรอกสายพานสัมผัสพอดีกับซีลที่ฝาครอบ รอกสายพานทำหน้าที่ขับปั๊มน้ำ ระบายความร้อนและอัลเตอร์เนเตอร์ รอกสายพานจึงต้องมีร่องสายพาน อาจจะใช้ร่องเดียว ร่องคู่ หรือมากกว่า 2 ร่อง ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องยนต์ ขอบของรอกสายพานหากเครื่องหมายแสดงตำแหน่งการฉีดน้ำมันไว้ด้วย เรียกว่า เครื่องหมายตั้งปั๊ม (Timing mark)



รูปที่ 2.95 ล้อช่วยแรงติดกับเพลาข้อเหวี่ยง

2.2.41.4 ตัวหลายแรงสันเพลาข้อเหวี่ยง

ตัวหลายแรงสั่นเพลาข้อเหวี่ยง (vibratlon Damper) เป็นตัวช่วยลดอาการสั่นของเพลาข้อเหวี่ยง ประกอบร่วมกับรอกสายพานหน้าเครื่องยนต์ ส่วนใหญ่เป็นแบบยางอัดโดยใช้หลักของการยืดหยุ่น เปลี่ยนรูปมวลของยาง ดูดเก็บอาการสั่นของเพลาข้อเหวี่ยงเอาไว้ อีกแบบหนึ่งเป็นแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืด ประกอบด้วยเสื้อวงแหวนเหล็กมีฝาปิดภายในวงแหวนที่ลอยตัวอยู่ด้วยชั้นบางๆ ของน้ำมันหรือซิลิโคนตัวสลายแรงสั่นยึดติดกับขุมของรอกสายพาน ขณะที่ตัวเสื้อตัวสลายแรงสั่นเกิดอัตราเร่งหรืออัตราหน่วง แรงเฉื่อยเป็นเหตุให้วงแหวนภายในเกิดการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ ซึ่งเป็นผลให้เกิดการตัดเฉือน เปลี่ยนแปลงชั้นบาง ๆ ของซิลิโคนทำให้เกิดการหน่วง ลดคาการสั่นของเพลาข้อเหวี่ยง

2.2.42 ล้อช่วยแรงเครื่องยนต์ดีเซล

ล้อช่วยแรง (Fly wheel) มีหน้าที่สะลมแรงเฉื่อย (lnertia) ในการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยงให้การหมุนของเครื่องยนต์หมุนได้ครบ 4 จังหวะ (cycle) เพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานได้ราบเรียบทุกความเร็ว

ขนาดความโตของล้อช่วยแรงขึ้นอยู่กับขนาดจำนวนรอบและจำนวนสูบของเครื่องยนต์ ถ้าเป็นเครื่องยนต์รอบช้าล้อช่วยแรงจะต้องใหญ่เพื่อพอที่จะสะสมแรงไว้จ่ายออกได้ชั่วเวลานั้น และถ้าเป็นเครื่องยนต์สูบเดียวหรือหลายสูบขนาดล้อช่วยแรงก็จะเล็กใหญ่ตามส่วน

เฟืองล้อช่วยแรงเป็นเฟืองวงแหวน (Ring Gear) อัดติดไว้กับขอบล้อช่วยแรง ดังนั้นเมื่อฟันเฟืองบิ่นหักหรือสึกหรอสามารถถอดออกมาเปลี่ยนได้ ด้านหลังของล้อชวยแรงเจียระไนผิวหน้าเรียบ สำหรับประกอบกับชุดคลัตช์ ด้วยเหตุนี้จึงมักถือว่าล้อช่วยแรงเป็นส่วนหนึ่งของคลัตช์

2.3 น้ำมันดีเซล

น้ำมันดีเซล (Diesel Fuel) เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ แต่จะมีช่วงจุดเดือดและความข้นใสสูงกว่าน้ำมันเบนซิน เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ที่มีมูลฐานการทำงานแตกต่างกันจากเครื่องยนต์เบนซิน การจุดระเบิดของเครื่องยนต์ดีเซลใช้ความร้อนที่เกิดจากการอัดอากาศจำนวนมากภายในกระบอกสูบ แล้วฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปเพื่อทำการเผาไหม้ ไม่ใช่เป็นการจุดระเบิดจากหัวเทียนเหมือนในเครื่องยนต์เบนซิน เครื่องยนต์ดีเซลในสมัยแรกๆ นั้นมีขนาดใหญ่โตมาก เพราะต้องการให้ทนกับความร้อนและแรงอัดสูงๆ ได้ เครื่องยนต์ดีเซลสมัยก่อนนำไปใช้เป็นเครื่องต้นกำลัง เช่น ใช้เป็นต้นกำลังในการผลิตกระแสไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรมและใช้ในเรือขนาดใหญ่ ต่อมาได้มีการพัฒนาสร้างเครื่องยนต์ให้มีขนาดเล็กลงแต่มีประสิทธิภาพสูง เช่น ใช้เป็นเครื่องต้นกำลังของเครื่องมือและอุปกรณ์หลายชนิดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เช่น รถไฟ รถบรรทุก รถแทรกเตอร์ เรือประมง เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันดีเซลให้เหมาะสมกับเครื่องยนต์ที่ใช้กับงานนั้นๆ

2.3.1 ชนิดของน้ำมันดีเซล ดังได้กล่าวมาแล้วว่าเครื่องยนต์ดีเซลสามารถนำไปใช้งานได้หลายด้าน จึงมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันดีเซลแต่ละชนิดให้เหมาะสมกับการใช้งานจริงๆ สำหรับในบางประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ก็ได้แบ่งชนิดของน้ำมันดีเซลไว้หลายชนิด และก็มีหลายสถาบันที่ทำงานเกี่ยวข้องกับด้านเชื้อเพลิงหรืองานด้านอุตสาหกรรมได้กำหนดชนิดของน้ำมันดีเซลไว้หลายชนิด เช่น ASTM USBM

สำหรับน้ำมันดีเซลที่ใช้อยู่ในประเทศไทยมีอยู่ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

- น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องรอบเร็ว (automotive diesel oil)
- น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องรอบช้า (industrial diesel oil)

น้ำมันดีเซลที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีหลายบริษัท เช่น ปตท. เอสโซ่ เชลล์ ฯลฯ ตัวอย่างน้ำมันที่เป็นของ ปตท. ได้แก่ high speed diesel, diesel fuel 49, special diesel fuel oil น้ำมันที่เป็นของเอสโซ่ ได้แก่ เอสโซ่ดีเซลหรือเอสโซ่เอดีโอ (Esso diesel หรือ Esso automotive diesel oil; ADO หรือที่เรียกว่าดีเซล สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบเร็ว ซึ่งส่วนมากใช้กับยานยนต์ เรือขนาดเล็ก เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กและอุปกรณ์ก่อสร้างหรือจะใช้เผาไหม้ให้ความร้อนในงานอุตสาหกรรมหรือใช้ต้มน้ำร้อนในโรงแรมก็ได้ น้ำมันดีเซลมีสีเหลืองอ่อนในตัวเองโดยธรรมชาติ แสตนดีเซลหรือ IDO (Stan diesel หรือ Esso industrial diesel oil; IDO) บางครั้งเรียกว่า น้ำมันขี้โล้ สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบช้าและปานกลางซึ่งนิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมและเรือขนาดใหญ่

2.3.2 คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล คุณสมบัติที่สำคัญที่ควรคำนึงถึงของน้ำมันดีเซลมีดังนี้ คือ

2.3.2.1 การติดไฟ (ignition quality) คุณสมบัติในการติดไฟของน้ำมันดีเซลจะแสดงถึงความสามารถในการติดเครื่องยนต์ได้เร็วเมื่อเครื่องยนต์มีอุณหภูมิต่ำ การป้องกันการน็อกในเครื่องยนต์ระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในกระบอกสูบ การเผาไหม้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ การเผาไหม้สูง คุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้ อาจแสดงออกมาเป็นค่าดัชนีซีเทนหรือค่าจากซีเทนนัมเบอร์ (cetane number)

2.3.2.2 ความสะอาด (cleanliness) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญ น้ำมันดีเซลจะต้องมีความสะอาดทั้งก่อนและหลังการเผาไหม้ เช่น จะต้องมีตะกอน น้ำ กากถ่าน หรือเขม่าน้อยที่สุด เพื่อให้เหมาะสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลเนื่องจากระบบเครื่องยนต์ดีเซลจะต้องใช้ปั๊มและหัวฉีด

2.3.2.3 การกระจายเป็นฝอย (fluidiy-atomization) คุณสมบัติอันนี้อยู่ที่ความหนืดหรือความข้นใสของน้ำมันดีเซล ความหนืดที่พอเหมาะจะทำให้การกระจายเป็นฝอยได้ดี ในขณะที่หัวฉีดได้ฉีดน้ำมันในช่วงเริ่มการเผาไหม้ และความหนืดของน้ำมันดีเซลมีผลต่อระบบปั๊มของน้ำมันเชื้อเพลิงด้วย เพราะน้ำมันจะทำหน้าที่หล่อลื่นลูกสูบปั๊ม (plunger) ไปในตัวด้วย

2.3.2.4 การระเหยตัว (volatility) ความสามารถในการระเหยตัวของน้ำมันจะมีผลต่อจุดเดือด (boiling point) จุดวาบไฟ (flash point) และจุดติดไฟ (fire point) ของน้ำมันดีเซล ด้วยช่วงจุดเดือดของน้ำมันดีเซลทั่วไปมีค่าประมาณ 280-725 องศาฟาเรนไฮต์ (138-385 องศาเซลเซียส)

2.3.2.5 ตัวเลขซีเทน (cetane number) จะแสดงค่าออกมาเป็นตัวเลขหรือที่เรียกว่าซีเทนนัมเบอร์ ซีเทนนัมเบอร์หรือดัชนีซีเทน คือ ค่าที่ใช้วัดคุณภาพของน้ำมันดีเซลในด้านของคุณสมบัติในการติดไฟ ค่าซีเทนนัมเบอร์ควรให้สูงพอกับความรวดเร็วรอบของเครื่องยนต์ ซึ่งจะทำให้การติดเครื่องยนต์ง่าย ไม่เกิดการน็อกในเครื่องยนต์และเป็นการประหยัดการใช้เชื้อเพลิงด้วย

น้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลนั้น ต้องใช้เวลาเล็กน้อยในการระเหยและผสมกับอากาศในห้องเผาไหม้ก่อนเกิดการลุกไหม้ด้วยตัวเอง ช่วงเวลานี้เรียกว่า ignition delay ทำให้ในช่วงนี้มีการสะสมของน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ เมื่อเกิดการลุกไหม้จึงมีการเผาไหม้อย่างรุนแรง ทำให้การเผาไหม้ไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงต้องหาวิธีลดช่วง ignition delay ให้เหลือน้อยที่สุด ซึ่งการกระทำได้โดยการเลือกความดันของหัวฉีดและการออกแบบห้องเผาไหม้ที่เหมาะสม ให้สิ่งสำคัญ คือ คุณภาพของน้ำมันดีเซล

2.3.2.6 คาร์บอนหรือกากถ่านในน้ำมันดีเซล มาตรฐานของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วจะมีข้อจำกัดทางด้านกากถ่าน จึงอาจใช้วิธีการทดสอบแบบของคอนรัดสัน (Conrad son carbon residue test) หรือแบบของแรมส์บอตตอม (rams bottom carbon residue test) โดยปกติจะคิดว่าถ้า

ในน้ำมันมีกากคาร์บอนสูง เป็นสิ่งไม่ดี แต่เท่าที่พบยังไม่มีหลักฐานที่จะแสดงความเกี่ยวพันระหว่างกากคาร์บอนของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและสิ่งสกปรกที่หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแต่อย่างใด แท้จริงแล้วชนิดของคาร์บอนที่เกิดขึ้นจะมีความสำคัญเท่าๆ กับปริมาณของคาร์บอนที่เกิดขึ้น

2.3.2.7 จุดวาบไฟ คือ อุณหภูมิที่น้ำมันได้รับความร้อนจนกลายเป็นไอ และเมื่อไอนี้ถูกเปลวไฟจะลุกวาบไฟ คือ การหาจุดวาบไฟหาได้จากเครื่องมือ COC (pensky – martens closed cup apparatus) จุดวาบไฟของน้ำมันดีเซล คือ อุณหภูมิที่น้ำมันดีเซลจะต้องถูกทำให้ร้อนเพื่อให้เกิดส่วนผสมของไอน้ำกับอากาศที่จะจุดติดไฟเหนือผิวหน้าของน้ำมันเมื่อมีเปลวไฟเป็นตัวล่อ ในทางปฏิบัติจุดวาบไฟมีความสำคัญในด้านอันตรายจากอัคคีภัยในการเก็บรักษาและใช้งานเท่านั้นไม่มีความสำคัญโดยตรงต่อการเผาไหม้และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

2.3.2.8 จุดเริ่มไหล คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันยังเป็นของเหลวพอที่จะไหลได้เมื่อได้รับความเย็น วิธีการหาจุดเริ่มไหลของน้ำมัน ทำได้โดยนำน้ำมันใส่หลอดแก้วแล้วแช่เย็นไม่ไหลเมื่อถือหลอดตามแนวนอนนาน 5 นาที จุดเริ่มไหล คือ อุณหภูมิ 5 องศาฟาเรนไฮต์ เหนืออุณหภูมินี้ถ้าเป็นองศาเซลเซียสใช้เวลา 3 นาที จุดเริ่มไหลคืออุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส เหนืออุณหภูมินี้สำคัญคือ สำหรับในการใช้น้ำมันในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำมาก เช่น ห้องเย็น หรือโรงน้ำแข็ง หรือในฤดูหนาวจะต้องใช้น้ำมันที่มีจุดเริ่มไหลต่ำกว่าอุณหภูมินั้น ที่อุณหภูมิต่ำ องค์ประกอบที่เป็นพาราฟินของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วอาจจะแยกตัวออกเป็นไข ทำให้อุดตันทางเดินและหม้อกรองของน้ำมันดีเซล ทำให้เครื่องยนต์ทำงานผิดปกติ ซึ่งอุณหภูมิที่จุดนี้มีค่าเท่าใดขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำมันดิบที่นำมากลั่นเป็นน้ำมันดีเซล และอุณหภูมิช่วงการกลั่นของน้ำมันนั้น

2.3.2.9 เถ้า คือ สารอนินทรีย์ (inorganic matter) ที่เหลืออยู่หลังจากการเผาไหม้ผลิตภัณฑ์น้ำมันวิธีหาเถ้าของน้ำมัน ทำได้โดยเผาตัวอย่างน้ำมันในถ้วยทดลองด้วยเปลวไฟจนหมดแล้วเอาไปเผาต่อในเตาหลอม (muffle furnace) ด้วยอุณหภูมิสูง

ความสำคัญ น้ำมันที่ได้รับการกลั่นอย่างดีแทบจะไม่มีเถ้าอยู่เลย เว้นแต่จะมีการเติม สารเพิ่มคุณภาพที่มีส่วนผสมของโลหะลงไป หรือมีสิ่งสกปรกอื่นๆ ปนอยู่ เช่น ฝุ่น สนิม ฯลฯ น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเถ้ามากอาจทำให้เกิดการสึกหรอในส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ เช่น น้ำมันดีเซลหมุนเร็วของ ปตท. และเอสโซ่ได้กำหนดปริมาณเถ้าไม่เกิน 0.01 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก หรือน้ำมันดีเซลหมุนช้าของ ปตท. และของเอสโซ่ได้กำหนดปริมาณเถ้าไม่เกิน 0.02 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

เถ้าในน้ำมันดีเซลอาจจะอยู่ในรูปของแข็งหรือ metallic soap ที่ละลายได้ในน้ำมันในระบบหัวฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลมีความละเอียดมาก ดังนั้น สารที่สามารถขูดขีด

โลหะได้จึงเป็นอันตรายมาก ยิ่งไปกว่านั้นสารเหล่านี้ยังทำให้เกิดการสึกหรอในเครื่องยนต์ เพราะทำให้เกิดตะกอนและสิ่งสกปรกมากขึ้น

2.3.2.10 ความถ่วงจำเพาะ คือ อัตราความหนาแน่นของสารต่อความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ที่มีปริมาตรเท่ากันและที่อุณหภูมิเดียวกัน สถาบันปิโตรเลียมแห่งสหรัฐอเมริกา (American petroleum institute) ได้ตั้งมาตราความถ่วง API ขึ้นเพื่อใช้วัดคุณภาพของน้ำมัน โดยเทียบกับความถ่วงจำเพาะ ดังในสมการ

$$\text{API} = \frac{141.5 - 131.5}{\text{ความถ่วงจำเพาะ } 60/60\ ^{\circ}\text{F}}$$

หน่วยของความถ่วง API ละเอียดกว่าความถ่วงจำเพาะ จึงอ่านได้สะดวกกว่าและไม่ต้องอ่านตัวเลขหลังจุดทศนิยมหลายตำแหน่ง วิธีทดลองทำได้ โดยหย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงในกระบอกแก้วที่บรรจุน้ำมันตัวอย่าง พร้อมกับวัดอุณหภูมิด้วยจากนั้น เปิดตารางเทียบที่อุณหภูมิ 60 องศาฟาเรนไฮต์ ซึ่งเป็นอุณหภูมิมาตรฐานของ API

ความสำคัญของการหาความถ่วงจำเพาะของน้ำมัน คือ

1. ใช้ในการคำนวณหาปริมาณและน้ำหนัก
2. ช่วยแสดงชนิดของน้ำมันพื้นฐาน
3. ถ้าความถ่วงผิดไปจากเดิม แสดงว่าอาจมีการปนกันระหว่างน้ำมันต่างชนิดกันตัวอย่างความถ่วงจำเพาะของน้ำมัน เช่น น้ำมันดีเซลหมุนเร็วของ ปตท. กำหนดไว้ว่าค่าความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 60 องศาฟาเรนไฮต์ จะต้องมีค่าอย่างต่ำ 0.82 แต่ไม่เกิน 0.90

2.3.2.11 สีของน้ำมันดีเซล โดยธรรมชาติ น้ำมันดีเซลมีสีชาอ่อน แต่บางครั้งสีอาจเปลี่ยนไปบ้าง เนื่องจากในกระบวนการกลั่นน้ำมันอาจจะใช้น้ำมันดิบจากแหล่งต่างๆ กัน ซึ่งอาจให้น้ำมันดีเซลมีสีอ่อนหรือเข้มไปบ้าง แต่คุณสมบัติการเผาไหม้ยังคงเดิม สีของน้ำมันดีเซลไม่ได้เป็นสิ่งสำคัญสำหรับพิจารณาคุณภาพของน้ำมัน แต่ได้กำหนดไว้ให้อยู่ในมาตรฐานของ ASTM ไม่เกิน 3 ซึ่งเป็นสีคล้ายสีชา และสีนี้อาจเปลี่ยนแปลงได้ คือ สีจะเข้มขึ้นถ้าเก็บไว้นานๆ แต่ก็ไม่ทำให้คุณสมบัติของน้ำมันทางด้านการเผาไหม้เปลี่ยนแปลงไป ในกรณีที่สีของน้ำมันดีเซลเปลี่ยนแปลงไปมาก เช่น เป็นสีเขียว หรือสีดำคล้ำ ควรตั้งข้อสังเกตว่าอาจมีการปลอมปนของน้ำมันก๊าด (สีน้ำเงิน) หรือน้ำมันเตาหรือน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว (สีดำ)

2.3.2.12 ปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซล ปริมาณกำมะถันที่สูงเป็นสิ่งไม่พึงปรารถนา ไม่ว่าจะเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดใด การกัดกร่อนของกำมะถันนั้นมี 2 ลักษณะ คือ ลักษณะที่ 1 เกิดจากการกัดกร่อนของสารประกอบที่เกิดจากการเผาไหม้ของกำมะถัน เมื่อร่วมกับน้ำ

จะเป็นสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดทำให้สามารถกัดกร่อนชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ได้ อย่างไรก็ตาม สำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้กำลังสูง อันตรายจากการกัดกร่อนจะน้อยกว่า เนื่องจากอุณหภูมิการทำงานของเครื่องยนต์สูงตรงข้ามกับเครื่องยนต์ที่ใช้กำลังงานที่อุณหภูมิต่ำ อาจเกิดการหยุดและติดเครื่องบ่อยครั้ง หรือเครื่องยนต์ที่มีความเร็วรอบต่ำ ไอน้ำมีโอกาสกลั่นตัวเป็นหยดน้ำในเครื่องยนต์ได้มาก และลักษณะที่ 2 เกิดจากการกระทำของกำมะถัน (active sulphur) ในน้ำมันเชื้อเพลิงโดยตรง คือ น้ำมันจะกัดกร่อนชิ้นส่วนของระบบหัวฉีดเครื่องยนต์ดีเซล เป็นต้น

ดังนั้นการวัดกำมะถันน้ำมันจึงมีวิธีวัด 2 วิธี คือ ประการแรกวัดตามวิธีของ ASTM D129 หรือ IP242 เพื่อหาปริมาณกำมะถันที่มีอยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นการวัดว่าเชื้อเพลิงนั้นหลังจากเผาไหม้แล้วจะมีการกัดกร่อนเพียงใด ประการที่สอง เป็นการวัดการกัดกร่อนของชิ้นทองแดงตามวิธีของ ASTM D130 หรือ IP154 เพื่อดูการกัดกร่อนของน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ที่จะมีผลต่อระบบหัวฉีดและปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง

2.3.2.13 การเลือกชนิดของน้ำมันดีเซลที่เหมาะสม น้ำมันดีเซลหรือที่ท้องตลาดเรียก น้ำมันดีเซล สำหรับน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว และเรียกน้ำมันขี้โล้ สำหรับน้ำมันดีเซลหมุนช้าการเลือกน้ำมันดีเซลไม่มีปัญหาเหมือนการเลือกน้ำมันเบนซิน เพราะน้ำมันดีเซลหมุนเร็วเท่านั้นที่มีจำหน่ายตามสถานีบริการน้ำมัน ส่วนน้ำมันขี้โล้หรือน้ำมันดีเซลหมุนช้าบริษัทจำหน่ายน้ำมันมักขายโดยตรงแก่โรงงานอุตสาหกรรม สิ่งที่ควรระวัง คือ เนื่องจากในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นรถยนต์นั่ง (รถเก๋ง) หรือรถบรรทุกทั้งหลายมีการใช้เครื่องยนต์ทั้งสองแบบ คือ เครื่องยนต์เบนซินและเครื่องยนต์ดีเซล ดังนั้น ช่องเติมน้ำมันของรถยนต์ควรมีป้ายบอกให้ชัดเจนว่าใช้น้ำมันชนิดไหน หากใช้น้ำมันผิดชนิดกันจะทำให้เกิดปัญหาอย่างมากแก่เครื่องยนต์

ในกิจการเดินเรือจะได้ยินชื่อน้ำมัน มารีนก๊าซออยส์ (marine gas oil; MGO) ซึ่งหมายถึง น้ำมันดีเซล และอีกชื่อ คือ มารีนดีเซลออยล์ (marine diesel oil; MDO) ซึ่งหมายถึง น้ำมันขี้โล้

สำหรับต่างประเทศมีการแบ่งน้ำมันดีเซลเป็น 2 ชนิด คือ ประเภท 1D และ (ASTM No.1D, 2D) ประเภท 1D มีองค์ประกอบที่ระเหยไวอยู่มากกว่า เหมาะกับประเทศเขตหนาว หรือตามข้อระบุของเครื่องจักรบางชนิด ส่วนประเภท 2D มีองค์ประกอบที่ทำให้ระเหยช้ากว่า ซึ่งจะมีคุณสมบัติตรงกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่มีจำหน่ายในบ้านเรา

2.3.2.14 อันตรายจากน้ำมันดีเซล มีลักษณะคล้ายคลึงกับอันตรายจากน้ำมันเบนซิน เพียงแต่น้ำมันดีเซลไม่มีสารประกอบของตะกั่ว แต่ในน้ำมันดีเซลก็ยังมีสารที่ทำให้เกิดมะเร็งผิวหนังได้ หากสัมผัสโดยตรงมากๆ สารดังกล่าว คือ PCA (polycyclic aromatic hydrocarbon) จึงควร

ล้างมือให้สะอาดทุกครั้งหลังจากสัมผัสกับน้ำมันดีเซล ถึงแม้ว่าน้ำมันดีเซลจะมีจุดวาบไฟสูง (75 องศาเซลเซียส) กว่าน้ำมันเบนซิน แต่ก็เป็นเชื้อเพลิงที่ติดไฟได้ง่าย จึงจำเป็นต้องตั้งไว้ในแหล่งที่ห่างจากความร้อน ประกายไฟ หรือสารเคมีประเภท strong oxidants

2.4 มลพิษจากการเผาไหม้

บรรยากาศบนผิวโลกโดยทั่วไป เราเรียกว่า อากาศ ซึ่งเกิดขึ้นจากส่วนผสมของก๊าซส่วนใหญ่มี 2 ชนิด คือ : ออกซิเจน (O_2) ประมาณ 21% โดยปริมาตรและไนโตรเจน (N_2) ประมาณ 78% โดยปริมาตรในบรรยากาศและที่เหลืออีก 1% เป็นกาซชนิดอื่น ซึ่งจะประกอบด้วย ก๊าซอาร์กอน (Ar) 0.94 % ที่เหลือ 0.06% เป็นคาร์บอนไดออกไซด์การเพิ่มขึ้นของอาร์กอนและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนาอย่างหนึ่งในหลายอย่าง ที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ดังตัวอย่าง เช่น คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) สารที่ไม่พึงปรารถนาเหล่านี้เราเรียกว่า “อากาศเป็นพิษ” อากาศเป็นพิษมิได้เกิดจากรถยนต์เพียงอย่างเดียว การกระทำอย่างอื่นก็เป็นสาเหตุอีกด้วย เช่น โรงงานอุตสาหกรรม, เครื่องทำความร้อนสำหรับตึกหรืออาคาร หรือจำพวกเตาเผาขยะ และรวมไปถึงเครื่องยนต์ เช่น เครื่องบินและเรือ

2.4.1 คาร์บอนมอนน๊อกไซด์ (CO)

CO เกิดจาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นสาเหตุเนื่องจากการไม่มีออกซิเจนเพียงพอในระหว่างการเผาไหม้

2.4.2 ไฮโดรคาร์บอน (HC)

HC คือ ก๊าซที่ยังไม่ได้เผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งแทรกผ่านรถยนต์ออกมาโดยได้จากแหล่งต่างๆ เมื่อไอของน้ำมันเชื้อเพลิงถูกทำให้ร้อนจนมีอุณหภูมิสูงขึ้น จะรวมตัวกับออกซิเจนอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าหากมีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และไอของน้ำมันที่ยังไม่เผาไหม้ ซึ่งเล็ดลอดออกจากห้องเผาไหม้สู่บรรยากาศนั้น จะเป็นก๊าซ HC เช่นเดียวกับก๊าซ CO ถ้าหากน้ำมันเชื้อเพลิงได้เผาอย่างสมบูรณ์ในห้องเผาไหม้ ก็จะไม่มีก๊าซ HC กระจายออกมากับไอเสีย แต่ตามความจริงแล้ว HC มักจะเกิดขึ้นได้ในกรณีอัตราส่วน อากาศ-น้ำมัน ไม่ถูกต้องปริมาณของก๊าซ HC ในไอเสียจะเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนผสม อากาศ-น้ำมันหนาขึ้น ซึ่งสาเหตุเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ในระหว่างที่ออกซิเจนไม่เพียงพอ แต่ถ้าหากส่วนผสมบางเกินไป ก็ยังคงจะมีผลรวมก๊าซ HC เพิ่มมากขึ้นอีกแทนที่จะต่ำลง ที่เป็นดังนี้เนื่องมาจากการขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิง ทำให้การกระจายของเปลวไฟเป็นไปอย่างเชื่องช้า จากสาเหตุนี้ น้ำมันเชื้อเพลิงจะกลายเป็นไอเสียจากห้องเผาไหม้ ก่อนที่มันจะเผาไหม้ได้หมดและเกิดการไม่เอื้ออำนวยต่อการเผาไหม้

2.4.3 ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x)

NO_x เกิดจากไนโตรเจนและออกซิเจนในอากาศของส่วนผสมน้ำมันกับอากาศ ซึ่งจะผสมกัน หากอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้นถึง 1800 องศาเซลเซียส (3300 องศาฟาเรนไฮด์) โดยทั่วไปแล้วจะมีความแตกต่างระหว่างการผสมกันของโมเลกุล ซึ่งเกิดจากไนโตรเจน (N_2) และออกซิเจน (O_2) เช่น NO, N_2 N_2 O N_2 O_3 ฯลฯ ทั้งหมดนี้เรียกว่า ออกไซด์ของไนโตรเจนและเพื่อความสะดวกรวดเร็วจะเขียน NO_x แทน

2.4.4 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)

เกิดจากน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของกำมะถัน (sulfer) เมื่อมีการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนก็จะกลายเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)

บทที่ 3
วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบทั้งด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ การสึกหรอ มลพิษของไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง ตลอดจนคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ รวมไปถึงวิธีการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันที่นำมาเป็นเชื้อเพลิง

3.2 วัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะ แบบ Indirect Injection (IDI) ยี่ห้อ TOYOTA รุ่น 2L-T ปริมาตรกระบอกสูบ 2,466 ซีซี ขนาด 86 แรงม้า จำนวน 3 เครื่อง กำหนดรหัส ดังนี้

เครื่องยนต์ที่ 1 (2L1) ใช้น้ำมันดีเซล

เครื่องยนต์ที่ 2 (2L2) ใช้น้ำมันผสม P20 เปอร์เซ็นต์ (น้ำมันปาล์มดิบลดกัม-ลดกรด 20 เปอร์เซ็นต์: น้ำมันดีเซล 80 เปอร์เซ็นต์) โดยปริมาตร

เครื่องยนต์ที่ 3 (2L4) ใช้น้ำมันผสม P40 เปอร์เซ็นต์ (น้ำมันปาล์มดิบลดกัม-ลดกรด 40 เปอร์เซ็นต์: น้ำมันดีเซล 60 เปอร์เซ็นต์) โดยปริมาตร

3.3.2 ไดมาโมมิเตอร์ รุ่น Essom Engine Dynamometer Model MT 504 E

3.3.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขนาด 3 เฟส 50 กิโลวัตต์ 230 โวลต์ 50 แอมแปร์ 50 เฮทร์ ความเร็วรอบ 2,500-3,000 รอบต่อนาที ประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 80 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 2 ชุด ใช้เป็นภาระของเครื่องยนต์

3.3.4 เครื่องชั่ง ยี่ห้อ AND พิกัด 300 กรัม ความละเอียด 0.0001 กรัม ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนของเครื่องยนต์เพื่อหาความสึกหรอ

3.3.5 เครื่องวัดความเร็วรอบแบบใช้แสง ยี่ห้อ DIGICON ย่านการวัด 5-100,000 รอบต่อนาที ใช้สำหรับวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ในขณะทดสอบบนแท่นไดนาโมมิเตอร์ และการทดสอบการใช้งานของเครื่องยนต์

3.3.6 เครื่องวัดปริมาณควันดำ ยี่ห้อ BOSCH ย่านการวัดความละเอียด 0.1 ppm

3.3.7 ฮีทเตอร์ ยี่ห้อ TOSHIBA รุ่น 230 โวลต์ 32 แอมป์ 1500 วัตต์ ใช้สำหรับอุ่นน้ำมันปาล์ดดิบลดกัม-ลดกรดที่ผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ และควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 60 องศาเซลเซียส ใช้ในการทดสอบเครื่องยนต์

3.3.8 นาฬิกาจับเวลา ความละเอียด 1/100 ของนาที ใช้จับเวลาระยะเวลาการชักตัวอย่างของก๊าซไอเสีย

3.3.9 เครื่องวัดองค์ประกอบไอเสีย TESTO 350 XL ใช้วัดองค์ประกอบของไอเสียในขณะทดสอบบนแท่นไดนาโมมิเตอร์โดยมีช่วงวัด CO 0-10,00 ppm, HC 100-4000 ppm, NO_X 0-500 ppm, SO_2 0-500 ppm

3.3.10 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบตัวเลข ชนิด K-Type thermocouple ย่านการวัด -200 – 1,370 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ FLUKE ใช้วัดอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ ขณะทดสอบบนแท่นไดนาโมมิเตอร์

3.3.11 น้ำมันดีเซล

3.3.12 น้ำมันปาล์มดิบลดกัม-ลดกรด

3.3.13 ขวดพลาสติกขนาด 500 ซีซี ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำมันเครื่องและน้ำมันตัวอย่าง

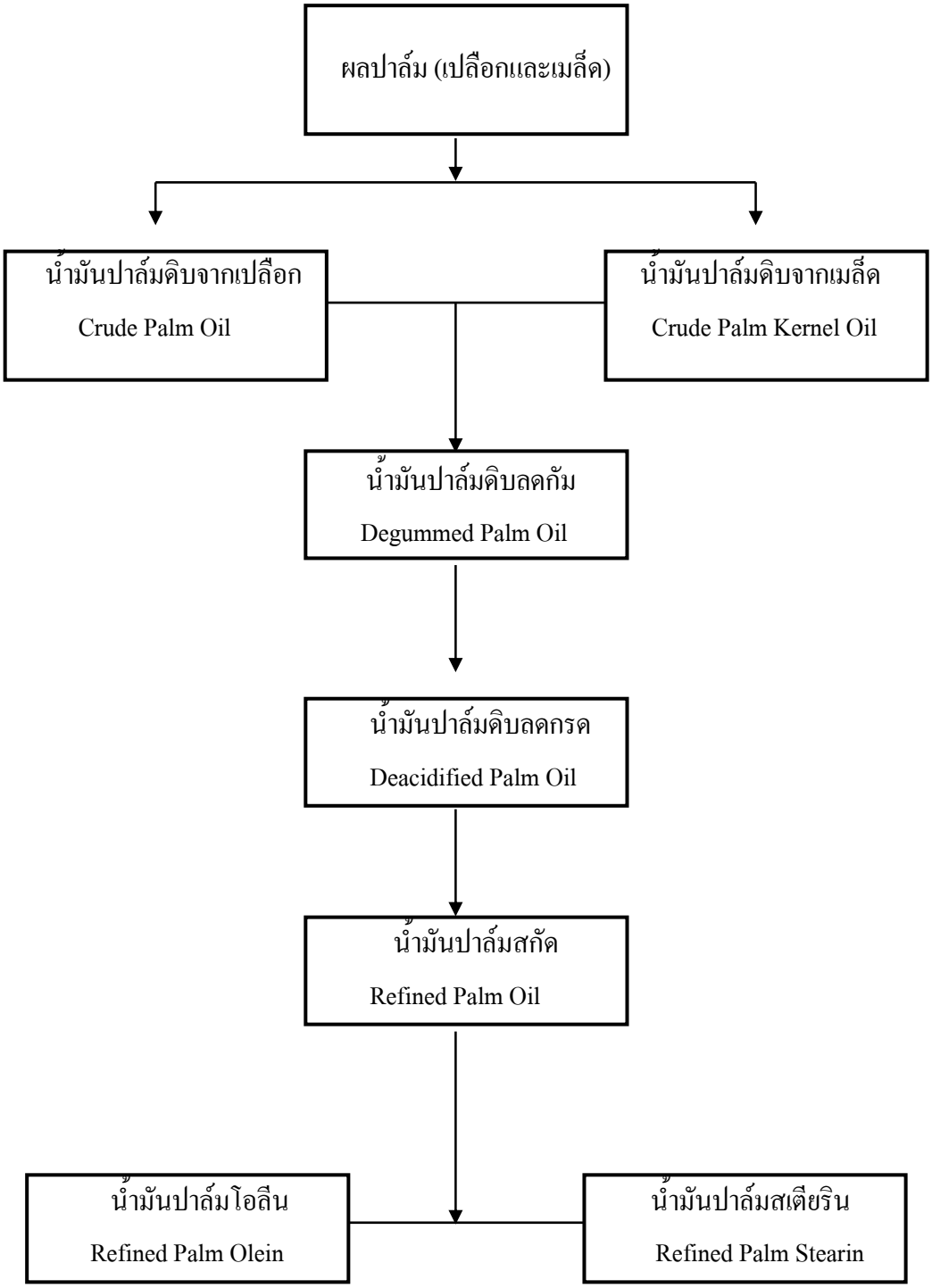
3.3.14 แปรงลวดทองเหลือง ใช้ทำความสะอาดอุปกรณ์เครื่องยนต์

3.3.15 ถังน้ำขนาด 200 ลิตร ใช้สำหรับบรรจุน้ำมัน

3.3.16 น้ำมันหล่อลื่น TOYOTA SAE30W40

3.3 น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรด

น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มซึ่งมีขั้นตอนต่างๆดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงน้ำมันปาล์มที่ได้จากผลปาล์มในขั้นตอนต่างๆ (ธีรวัฒน์, 2002)

3.3.1 Crude Palm Oil (CPO) และ Crude Palm Kernel Oil (CPKO)

- Crude Palm Oil (CPO) เป็นน้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากการสกัดหรือหีบเอาน้ำมันจากเปลือกผลปาล์ม คุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบขึ้นกับองค์ประกอบ 3 ตัว คือ กรดไขมันอิสระ ความชื้น และสิ่งสกปรกเจือปน มาตรฐานคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ ประกอบด้วย กรดไขมันอิสระไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นไม่เกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์ และสิ่งสกปรกไม่เกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์

- Crude Palm Kernel Oil (CPKO) เป็นน้ำมันดิบที่ได้จากเมล็ดในปาล์มมีสมบัติคล้ายน้ำมันมะพร้าว โดยทั่วไปจะมีราคารับซื้อสูงกว่าน้ำมันปาล์มดิบจากเปลือก เนื่องจากมีความ สะอาดสูงกว่าและขั้นตอนที่จะต้องนำไปทำต่อน้อยกว่า

3.3.2 Degummed Palm Oil การลดกัมหรือลดยางเหนียว คือ น้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากพืชมีสารประกอบอินทรีย์และธาตุฟอสฟอรัส ซึ่งมีลักษณะเป็นยางเหนียวรวมอยู่ด้วย ทำให้น้ำมันเสื่อมคุณภาพ หรือเมื่อยางเหนียวถูกความร้อนจะทำให้ติดภาชนะ เช่น ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ในห้องเผาไหม้ ทำให้อายุการใช้งานของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ลดลงได้ การกำจัดยางเหนียวนี้จะให้กรดฟอสฟอริกผสมกับน้ำ ซึ่งกรดฟอสฟอริกจะไปทำปฏิกิริยาให้ยางเหนียวจับตัวกับน้ำ และตกตะกอนออกมา นอกจากนี้กรดยังช่วยดึงโลหะหนักที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้น้ำมันเหม็นหืนตกตะกอนออก มาด้วย (กิตติศักดิ์, 2549)

วิธีการผลิตน้ำมันปาล์มดิบลดกัมหรือลดยางเหนียว

- นำน้ำมันปาล์มดิบมาให้ความร้อนพร้อมกวนจนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

- เตรียมสารละลายระหว่างกรดฟอสฟอริก 2.25 เปอร์เซ็นต์ กับ น้ำ 0.25 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของจำนวนน้ำมันปาล์มดิบทั้งหมด กวนให้เข้ากัน แล้วใส่ลงในน้ำมันปาล์มดิบกวนต่อไปประมาณ 30 นาที จากนั้นหยุดให้ความร้อนและหยุดกวน ปล่อยให้ยางเหนียวแยกชั้น

- ยางเหนียวที่หนักกว่าน้ำมันจะตกลงก้นถัง จากนั้นทำการแยกเอายางเหนียวออก จากน้ำมัน

3.3.3 Deacidified Palm Oil การลดกรด คือ การนำน้ำมันปาล์มที่ผ่านการลดกัมนำ มาทำการกำจัดกรดไขมันอิสระ การหาค่ากรดไขมันอิสระหาได้โดยการไทเทรตจะทำทุกครั้งก่อนที่จะนำน้ำมันปาล์มลดกัมไปลดกรดเนื่องจากในน้ำมันพืชแต่ละครั้งจะมีค่ากรดไขมันอิสระไม่เท่ากันเมื่อกำจัดกรดไขมันอิสระออกแล้ว ขั้นตอนต่อไปเรียกว่า ขบวนการทำให้เป็นกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระ และกรดฟอสฟอริกที่หลงเหลืออยู่ให้กลายเป็นไขสบู่ แล้วจึงทำการถ่ายออกทิ้ง จากนั้นล้างน้ำมันปาล์มด้วยน้ำร้อนหลายๆ ครั้งเพื่อ

กำจัดสิ่งปนเปื้อน เช่น สบู่ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารโซเดียมไฮดรอกไซด์กับกรดไขมันอิสระโดยจะต้องล้างหลาย ๆ ครั้ง กรดไขมันอิสระที่ได้จากการไทเทรตควรน้อยกว่า 1 มิลลิลิตร

วิธีการผลิตน้ำมันปาล์มดิบลดกรด

- นำน้ำมันปาล์มที่ผ่านการลดยางเหนียวแล้วไปไทเทรตด้วยสาร Isopropanal, Phenopthalein, NaOH 0.1 molar เพื่อหาค่ากรดไขมันอิสระ (ค่ากรดไขมันอิสระที่ได้จากการไทเทรตนั้นคือ ค่าจำนวนน้ำหนักของสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide: NaOH) ที่ใช้ต่อน้ำมันปาล์มดิบ 1 ลิตร)
- นำจำนวนโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หาได้จากการไทเทรตมาผสมกับน้ำสะอาดโดยใช้น้ำ 10% ของน้ำมันปาล์มดิบทั้งหมด กวนให้เข้ากัน
- ให้ควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันปาล์มดิบที่ 60 องศาเซลเซียส แล้วนำสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผสมกับน้ำลงไปกวนให้เข้ากันประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นให้หยุดกวนรอแยกชั้น ไขสบู่จะรวมตัวอยู่ข้างล่างจากนั้นให้แยกไขสบู่ออกจากน้ำมัน
- นำน้ำมันที่แยกจากไขสบู่มาล้างกับน้ำสะอาดประมาณ 4 ครั้ง
- จากนั้นนำน้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดที่ได้ นำไปให้ความร้อนอีกครั้งเพื่อให้น้ำที่ตกค้างอยู่ตอนล้างระเหยออกไปจนหมดแล้วนำไปใช้งานได้

3.3.4 Refined Palm Oil หมายถึงน้ำมันปาล์มที่ผ่านการลดกัม-ลดกรดแล้วนำมาทำการไล่ความชื้น ฟอกสีและกำจัดกลิ่น น้ำมันปาล์มในขั้นตอนนี้จะมีส่วนประกอบของ Refined Palm Oil Olein และ Refined Palm Oil Stearin ในอัตราส่วนประมาณ 60/40

- Refined Palm Oil Stearin หรือไขสเตรียริน
- Refined Palm Oil Olein หรือน้ำมันปาล์มโอเลอิน ซึ่งเป็นน้ำมันที่ใช้ในการบริโภค เช่น ใช้ในการทอด การผัด เป็นต้น

3.4 เชื้อเพลิงทดสอบ

ในการทดสอบครั้งนี้ใช้เชื้อเพลิงทั้งหมด 3 ชนิด คือ

3.4.1 น้ำมันดีเซล

3.4.2 ใช้น้ำมันผสม P20 เปอร์เซ็นต์ (น้ำมันปาล์มดิบลดกัม-ลดกรด 20 เปอร์เซ็นต์: น้ำมันดีเซล 80 เปอร์เซ็นต์) โดยปริมาตร

3.4.3 ใช้น้ำมันผสม P40 เปอร์เซ็นต์ (น้ำมันปาล์มดิบลดกัม-ลดกรด 40 เปอร์เซ็นต์: น้ำมันดีเซล 60 เปอร์เซ็นต์) โดยปริมาตร ทำการศึกษาสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงและทดสอบใช้กับเครื่องยนต์ เพื่อศึกษาผลกระทบในด้านสมรรถนะ การสึกหรอ มลภาวะ เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

3.5 การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิง

การทดสอบสมบัติของเชื้อเพลิงได้ส่งตัวอย่างเชื้อเพลิงไปทดสอบที่ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เพื่อทดสอบคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง 4 ค่า ดังนี้ คือ ความหนาแน่น ค่าความหนืด อุณหภูมิจุดวาบไฟ และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

3.6 การทดสอบเครื่องยนต์

ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยการนำน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งน้ำมันดีเซลและน้ำมันผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ มาทดสอบใช้กับเครื่องยนต์เพื่อศึกษา 3 ประเด็นหลัก คือ การสึกหรอ สมรรถนะ และมลพิษไอเสีย โดยใช้เครื่องยนต์ ยี่ห้อโตโยต้า รุ่น 2LT เป็นเครื่องทดสอบ กำหนดรหัส ดังนี้ เครื่องยนต์ 2L1 เดินเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเพื่อเป็นเครื่องอ้างอิง ส่วนเครื่องยนต์ 2L2 เดินเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันผสม P20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิง และเครื่องยนต์ 2L4 เดินโดยใช้น้ำมันผสม P40 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิง ในส่วนของเครื่องยนต์ 2L1 ไม่มีการดัดแปลงเครื่องยนต์ แต่เครื่องยนต์ 2L2 และ 2L4 ได้ทำการติดตั้งฮีทเตอร์ไว้สำหรับอุ่นน้ำมันผสมให้ร้อนและควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 60 องศาเซลเซียส ในขณะใช้งานส่วนลำดับการทดสอบมีดังต่อไปนี้

3.6.1 การรันอินเครื่องยนต์ 50 ชั่วโมง ทำการรันอินเครื่องยนต์เพื่อตรวจสอบหาข้อบกพร่องของเครื่องยนต์ก่อนทำการทดสอบ

3.6.1.1 ทำการวัดชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ ได้แก่ แหวนอัด แหวนน้ำมันลิ้นไอดี ลิ้นไอเสีย ลูกสูบ ชุดหัวฉีด ชุดปั๊มแรงดันสูง แบริ่งก้านสูบ แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยง และแบริ่งกันรุน มาทำความสะอาดแล้วชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง ที่มีความละเอียด 0.0001 กรัม เพื่อเก็บเป็นข้อมูลเริ่มต้น

3.6.1.2 เดินเครื่องยนต์ทั้ง 3 เครื่อง ด้วยน้ำมันดีเซล ในช่วงรอบเดินเบาประมาณ 2,000 รอบต่อนาที โดยไม่มีภาระจำนวน 50 ชั่วโมง

3.6.1.3 ทำการวัดระยะปากแหวน ประกอบด้วย แหวนอัดเบอร์ 1, แหวนอัดเบอร์ 2, และแหวนน้ำมัน หลังจากนั้นประกอบเครื่องยนต์

3.6.1.4 ทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์บนแท่นไดนาโมมิเตอร์ เพื่อวัดค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption), ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency), ปริมาณควันดำของก๊าซไอเสีย (Black smoke in exhaust gas), องค์ประกอบไอเสีย และอุณหภูมิก๊าซไอเสีย

3.6.2 การเดินเครื่องยนต์ในช่วง 200 ชั่วโมงแรก

3.6.2.1 นำเครื่องยนต์ทั้ง 3 เครื่องประกอบเข้าแท่นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จ่ายกระแสไฟฟ้า ให้กับอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยใช้

สายพาน เป็นตัวถ่ายทอดกำลังระหว่างเครื่องยนต์กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยเดินเครื่องยนต์ทั้ง 3 เครื่องด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที ผลิตกระแสไฟฟ้า 20 กิโลวัตต์ ภาระเครื่องยนต์ 75 เปอร์เซ็นต์ ของภาระสูงสุดที่เครื่องยนต์สามารถทำได้โดยเดินแบบต่อเนื่อง

3.6.2.2 เมื่อเดินเครื่องยนต์ครบ 200 ชั่วโมงแล้ว ทำการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์บนแท่นไดนาโมมิเตอร์ หลังจากนั้นนำไปประกอบกลับบนแท่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และทำการเดินเครื่องจนครบทุกๆ 200 ชั่วโมง จนกระทั้งครบ 1,000 ชั่วโมง

3.6.3 การทำความสะอาดชิ้นส่วนและอุปกรณ์

ในการนำชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ ไปทำการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนของเครื่องยนต์จะต้องมีความสะอาด เริ่มจากนำชิ้นส่วนทั้งหมดแช่ลงในน้ำมันดีเซลประมาณ 3 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นส่วนที่มีการสัมผัสกับน้ำมันเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ ได้แก่ แหวนอัด แหวนน้ำมัน ลิ้นไอดี ลิ้นไอเสีย ลูกสูบ ชุดหัวฉีด แบริ่งก้านสูบ แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยง และแบริ่งกันรุน ซึ่งชิ้นส่วนเหล่านี้จะมีคราบเขม่าติดแน่นบนผิวของชิ้นส่วนและอุปกรณ์นั้นๆ ทำการขูดทำความสะอาดอุปกรณ์ ดังกล่าวด้วยวัสดุที่มีความแข็งน้อยกว่า แล้วใช้แปรงทองเหลืองทำความสะอาดซ้ำอีกครั้งจนถึงผิวของโลหะ จากนั้นล้างด้วยน้ำมันดีเซลอีกครั้ง เป่าลมให้แห้ง ส่วนอุปกรณ์ชิ้นอื่นๆ ได้แก่ ชุดหัวฉีด และชุดปั๊มแรงดันสูง ทำความสะอาดด้วยน้ำมันดีเซลแล้วลมเป่าให้แห้ง จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก

3.6.4 การทดสอบเครื่องยนต์บนแท่นไดนาโมมิเตอร์

ทำการติดตั้งเครื่องยนต์บนแท่นไดนาโมมิเตอร์ ต่อท่อน้ำมันเข้ากับกรองน้ำมันเชื้อเพลิงประกอบท่อไอเสียที่มีเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิวัดก๊าซไอเสีย ตรวจสอบความเรียบร้อยแล้วจึงเปิดสวิทช์ ควบคุมการทำงานของไดนาโมมิเตอร์ ทำการเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ แล้วเดินเบาเครื่องแบบไม่มีภาระที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเริ่มทำการทดสอบตามมาตรฐาน JIS B8018 (1989) โดยวิธีการทดสอบแบบความเร็วรอบคงที่ ซึ่งเครื่องยนต์จะถูกเดินทดสอบที่ความเร็วรอบ 2,400 รอบต่อนาที โดยมีการปรับเปลี่ยนภาระโหลดของเครื่องยนต์ที่ค่าต่าง ๆ เพิ่มขึ้นช่วงละ 20 Nm จนถึงค่าภาระโหลดสูงสุดที่เครื่องยนต์สามารถทำได้ หลังจากทำการทดลองเสร็จสิ้นแล้วทำการปลดภาระเครื่องยนต์ ออกทั้งหมดแล้วให้เครื่องเดินเบาเป็นเวลา 10 นาที จึงดับเครื่องยนต์ปิดสวิทช์ควบคุมการทำงานไดนาโมมิเตอร์ (รูปที่ 3.2)

3.6.5 การทดสอบเดินเครื่องในสภาพการใช้งานจริง

ในการทดสอบดังกล่าวได้เลือกค่าความสามารถสูงสุดที่เครื่องยนต์ สามารถทำได้โดยการเดินเครื่องยนต์ด้วยภาระสูงสุด และความเร็วสูงสุด ตามข้อกำหนดของเครื่องยนต์ คือ 75 เปอร์เซ็นต์ ของภาระสูงสุดที่เครื่องยนต์สามารถทำได้มีค่าเท่ากับ โดยทำการใส่ภาระให้กับเครื่องยนต์โดยใช้เครื่องกำเนิดเพื่อขับเจนเนอเรเตอร์ขนาด 3 เพส 50 กิโลวัตต์เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้า

ให้ระบบไฟฟ้าของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์โดยจะควบคุมการผลิตไฟฟ้าที่ 20 กิโลวัตต์ ที่ 3,000 รอบต่อนาที (รูปที่ 3.3)

รูปที่ 3.2 แสดงการจำลองการใช้งานจริง

รูปที่ 3.3 แสดงการทดสอบบนแท่นไดนาโมมิเตอร์

3.6.6 การบันทึกค่าที่ได้จากการทดสอบบนแท่นไดนาโมมิเตอร์

3.6.6.1 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ (Brake specific fuel consumption: bsfc) การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะถูกวัดเป็นอัตราการไหล ซึ่งเครื่องยนต์ขนาดใหญ่จะมีการ สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก ดังนั้นเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการเปรียบเทียบกันได้ จึงได้กำหนดในรูป ของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ ซึ่งเป็นอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังงาน

และเป็นการวัดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในการใช้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตงานออกมา ค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะยิ่งต่ำก็จะยิ่งดี และโดยทั่วไปแล้วจะคำนวณในรูปของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ คือ เป็นอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังงานเบรกที่เครื่องยนต์ผลิตได้ มีหน่วยเป็น กรัม/ กิโลวัตต์-ชั่วโมง (คิดเป็นน้ำหนัก) หรือ ลิตร/กิโลวัตต์ -ชั่วโมง (คิดเป็นปริมาตร)

- อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ (Brake specific fuel consumption: bsfc) คำนวณหาได้จากสมการที่ (1)

$$bsfc = \frac{\rho_{fuel} \times \dot{Q}}{hp} \quad (1)$$

bsfc = อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ (kg/kW.hr)

ρ_{fuel} = ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (Fuel density, kg/l)

$\dot{Q}$ = อัตราการไหลของเชื้อเพลิง (Flow rate of fuel, l/hr)

Hp = กำลังเครื่องยนต์ (Engine power, kW)

- อัตราการไหลของเชื้อเพลิง (Flow rate of fuel) สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (2)

$$\dot{Q} = \frac{V}{T} \quad (2)$$

$\dot{Q}$ = อัตราการไหลของเชื้อเพลิง (Flow rate of fuel, l/hr)

V = ปริมาตรเชื้อเพลิง (Volume, l)

T = เวลา (Time, hr)

- กำลังเครื่องยนต์ (Engine Power) สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (3)

$$hp = \frac{2\pi Tn}{60} \quad (3)$$

hp = กำลังเครื่องยนต์ (Engine power, kW)

T = แรงบิด (Torque, N.m)

N = ความเร็วรอบ (Engine speed, rpm)

3.6.6.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency: η_{th})

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ หมายถึง กำลังงานเบรกที่เครื่องยนต์ผลิตได้ต่อพลังงานที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงที่ถูกใช้ไป

กำลังงานเบรกของเครื่องยนต์ได้จากข้อมูลข้างต้น ส่วนพลังงานที่มีอยู่ในน้ำมัน เชื้อเพลิงที่ถูกใช้ไปหาได้จาก ปริมาณเชื้อเพลิง คูณกับค่าความร้อนต่ำ (LHV) มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์

- ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency: η_{th})สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่(4)

$$\eta_{th} = \frac{hp}{Q_C} \qquad (4)$$

η_{th} = ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (thermal efficiency, %)

hp = กำลังเครื่องยนต์ (Engine power, kW)

Q_C = อัตราการใช้พลังงานของเชื้อเพลิง (Energy rate of fuel, kW)

- พลังงานของเชื้อเพลิง (Energy rate of fuel) สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (5)

$$Q_C = \dot{Q} \times \rho_{fuel} \times LHV \qquad (5)$$

$\dot{Q}$ = อัตราการไหลของเชื้อเพลิง (Flow rate of Fuel, l/hr)

ρ_{fuel} = ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (Fuel density, kg/l)

LHV = ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง (Heating value of fuel, kJ/kg)

3.6.6.3 อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (Exhaust gas temperature, ^{o}C)

อุณหภูมิก๊าซไอเสียสามารถวัดได้โดยการสอดสายเทอร์โมคัปเปิล เข้าทางรูที่เจาะไว้ ด้านข้างของท่อไอเสียซึ่งตรงกับช่องทางออกของไอเสียที่ฝาสูบพอดี ในการวัดจะบันทึกค่าอุณหภูมิ ต่ำสุดและอุณหภูมิสูงสุด ในช่วงเวลา 30 วินาที

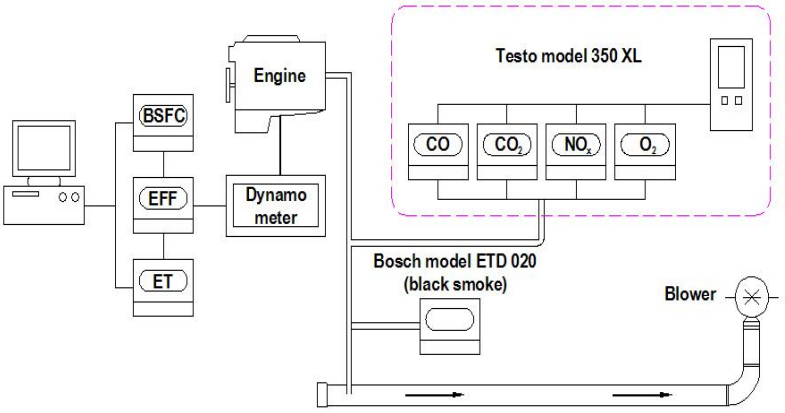
3.6.6.4 ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย (Black smoke in exhaust gas, %)

ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียเกิดจากน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ถูกฉีดเข้าไปผสมกับออกซิเจนในห้องเผาไหม้เกิดการเผาไหม้ไม่หมด อนุภาคของเชื้อเพลิงที่หลงเหลือเหล่านี้จะได้รับความร้อนแล้วกลายสภาพเป็นเขม่าก่อนที่ถูกปล่อยออกมาทางท่อไอเสีย การวัดปริมาณควันดำในก๊าซ

ไอเสีย สามารถวัดได้โดยการสอดโพรบของเครื่องวัด ควันดำลงในท่อไอเสีย ดูดก๊าซไอเสียผ่านกระดาษกรอง นำกระดาษกรองที่มีเขม่าติดอยู่มาวัดหาค่าปริมาณควันดำ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

3.6.6.5 ปริมาณก๊าซไอเสีย CO, NO_x, CO_2, O_2

เป็นการวัดปริมาณก๊าซไอเสีย CO, NO_x, CO_2, O_2 ที่ปลดปล่อยออกมาจากไอเสีย



รูปที่ 3.4 แสดงตำแหน่งการวัดค่าต่างๆ

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึง ผลการทดสอบคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล และจะกล่าวถึงผลการทดสอบเครื่องยนต์ในด้านสมรรถนะที่ความเร็วรอบคงที่ และภาระเปลี่ยนแปลง การสึกหรอของเครื่องยนต์ทั้งวิธีการชั่งน้ำหนักโดยตรงและวิธี การวัดปากแหวนในกระบอกสูบ และองค์กอบไอเสียรวมทั้งวิจารณ์ผลการทดลองที่เกิดขึ้น

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันผสม (น้ำมันปาล์มดิบลดกัม-ลดกรด: น้ำมันดีเซล)ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.1 เมื่อนำสมบัติของน้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกับสมบัติของน้ำมันดีเซล มีผลที่สำคัญดังนี้

4.2.1 ความหนาแน่นที่ 15.6 องศาเซลเซียส

น้ำมันปาล์มดิบลดกัม-ลดกรด P20 มีค่าหนาแน่นมีค่าใกล้เคียงสูงสุดกับข้อกำหนดน้ำมันดีเซลแต่น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรด P40 มีค่าสูงสุดของข้อกำหนดน้ำมันดีเซลประมาณ 0.6 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

4.2.2 ความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส

น้ำมันปาล์มดิบลดกัม-ลดกรด P20 มีค่าความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าค่า สูงสุดของข้อกำหนดน้ำมันดีเซลประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ และน้ำมันปาล์มดิบลดกัม-ลดกรด P40 มีค่าความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส สูงกว่าเป็น 2 เท่าของค่าสูงสุดของข้อกำหนดน้ำมันดีเซล

4.2.3 อุณหภูมิจุดวาบไฟ น้ำมันปาล์มดิบลดกัม-ลดกรด P20 และน้ำมันปาล์มดิบลดกัม-ลดกรด P40 มีค่าสูงกว่าค่าสูงสุดของข้อกำหนดน้ำมันดีเซลประมาณ

4.2.4 ค่าความร้อน น้ำมันปาล์มดิบลดกัม-ลดกรด P20 มีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 2.2 กิโลจูนต่อกิโลกรัม และน้ำมันปาล์มดิบลดกัม-ลดกรด P40 มีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 3.5 กิโลจูนต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มดิบลดกัม-ลดกรด และน้ำมันดีเซล

สมบัติของน้ำมัน	วิธีการทดสอบ ASTM	ข้อกำหนดน้ำมันดีเซล#		ดีเซล*	P20*	P40*
ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15.6 °C (Density at 15.6 °C, kg/m^3)	D - 1298	ไม่ต่ำกว่า	0.81	0.84	0.858	.0876
		ไม่สูงกว่า	0.87			
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C (cSt) (Viscosity at 40 °C, cSt)	D - 445	ไม่ต่ำกว่า	1.8	3.1	5.28	8.93
		ไม่สูงกว่า	4.1			
จุดวาบไฟ (°C) (Flash Point , °C)	D - 93	ไม่ต่ำกว่า	52	69	>69	>69
ค่าความร้อนสูง (MJ/kg) (Higher Heating Value, MJ/kg)	D - 240	-	-	44.3	41.1	40.8

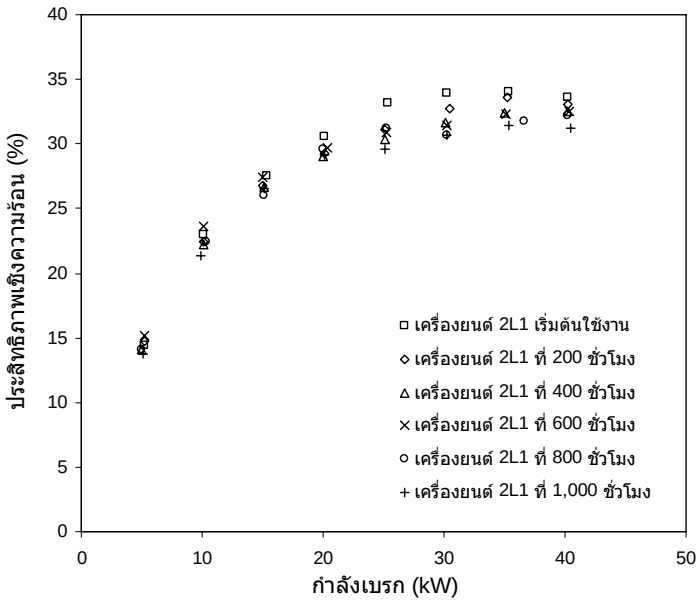
: ตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2541)

* : ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี

- : ไม่ได้ทำการทดสอบ

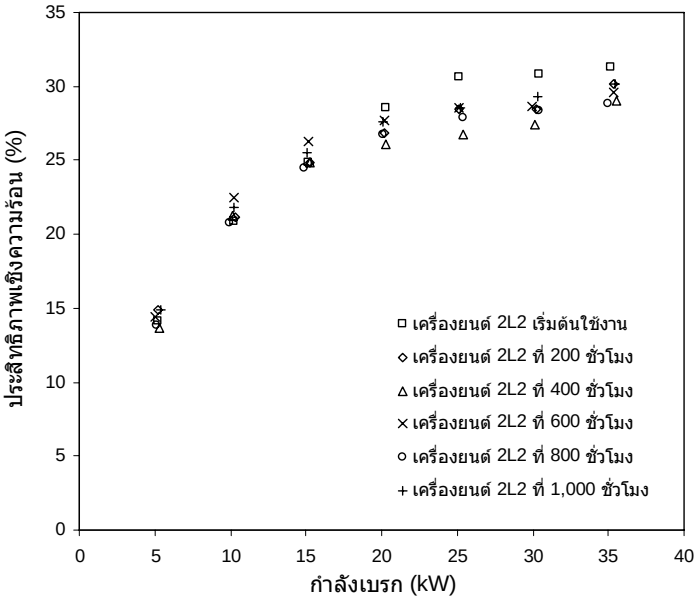
4.3 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์และไอเสีย

4.3.1 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน



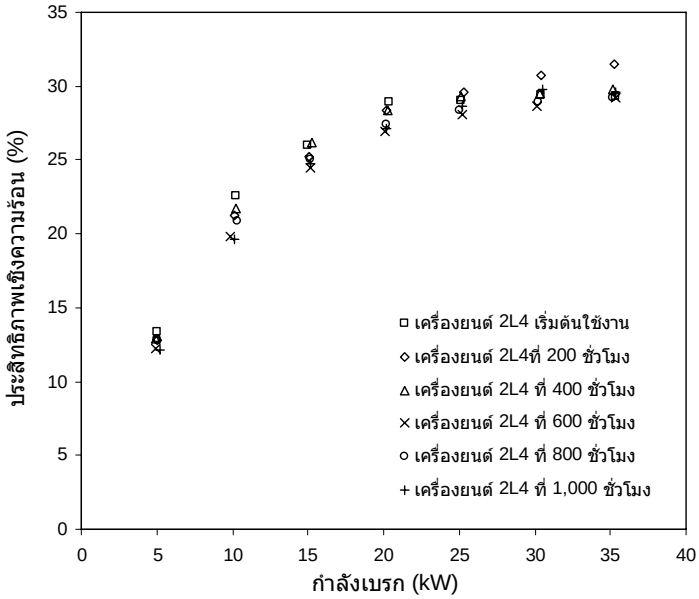
รูปที่ 4.1 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

จากรูป 4.1 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่เริ่มต้นใช้ พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเมื่อเปรียบเทียบที่ภาระงานสูงสุดจากเริ่มใช้งานจนถึง 1,000 ชั่วโมงมีค่าความแตกต่างของประสิทธิภาพลดลง 7.56 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมัน 20 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง

จากรูป 4.2 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่เริ่มต้นใช้ พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมัน 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเมื่อเปรียบเทียบที่ภาระงานสูงสุดจากเริ่มใช้งานจนถึง 1,000 ชั่วโมงมีค่าความแตกต่างของประสิทธิภาพลดลง 3.85 เปอร์เซ็นต์



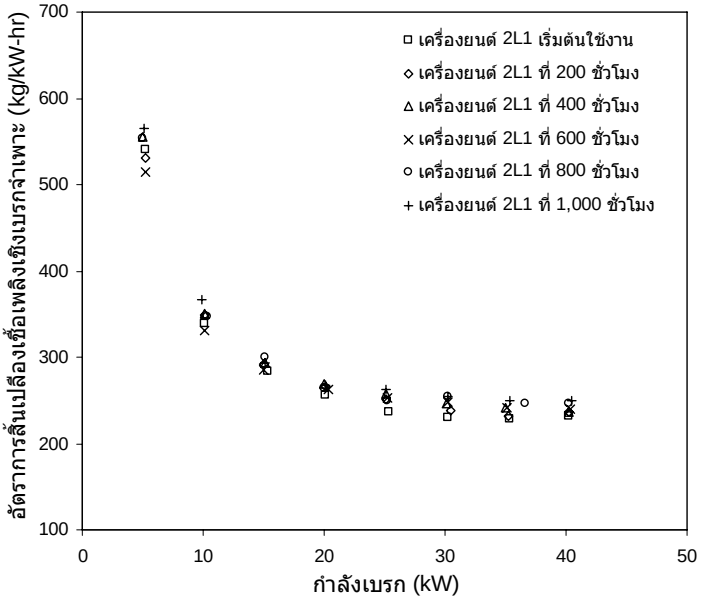
รูปที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมัน 40 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง

จากรูป 4.3 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่เริ่มต้นใช้ พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมัน 40 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิงเป็นเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเมื่อเปรียบเทียบที่ภาระงานสูงสุดจากเริ่มใช้งานจนถึง 1,000 ชั่วโมง มีค่าความแตกต่างของประสิทธิภาพลดลง 7.64 เปอร์เซ็นต์

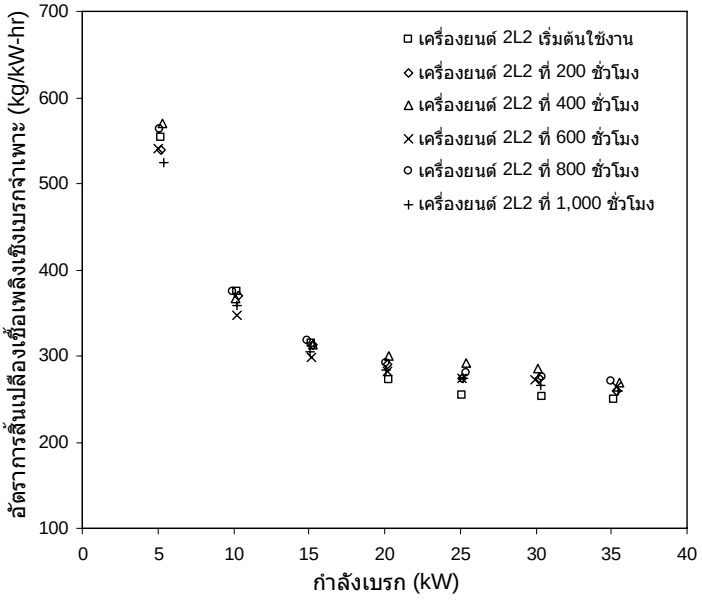
จากการทดลองพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซลทั้ง 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซลทั้ง 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากน้ำมันดีเซลเมื่อเกิดการสันดาปแล้วสามารถเปลี่ยนพลังงานกลได้มากที่สุด ไม่เกิดความร้อนสะสม ส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันผสมนั้นพลังงานจากการสันดาปแล้วมาแปลงเป็นพลังงานกลได้น้อยกว่า

4.3.2 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ

จากรูป 4.4 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะที่เริ่มใช้งานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะที่ภาระงานสูงสุดจากที่เริ่มใช้งาน ถึง 1,000 ชั่วโมงมีค่าความแตกต่างการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงประมาณ 6.07 เปอร์เซ็นต์

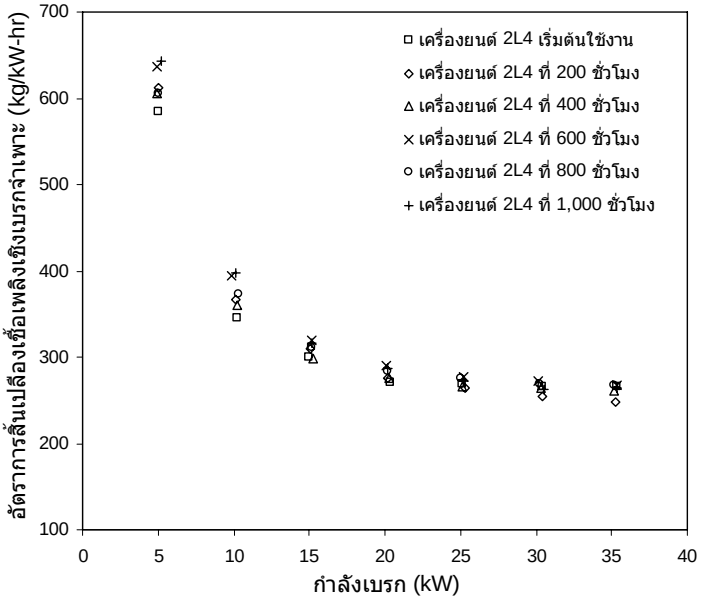


รูปที่ 4.4 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.5 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิง

จากรูป 4.5 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะที่เริ่มใช้งานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันลดกัมลด-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะที่โหลดสูงสุดจากที่เริ่มใช้งาน ถึง 1,000 ชั่วโมงมีค่าความแตกต่างการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงประมาณ 5.6 เปอร์เซ็นต์



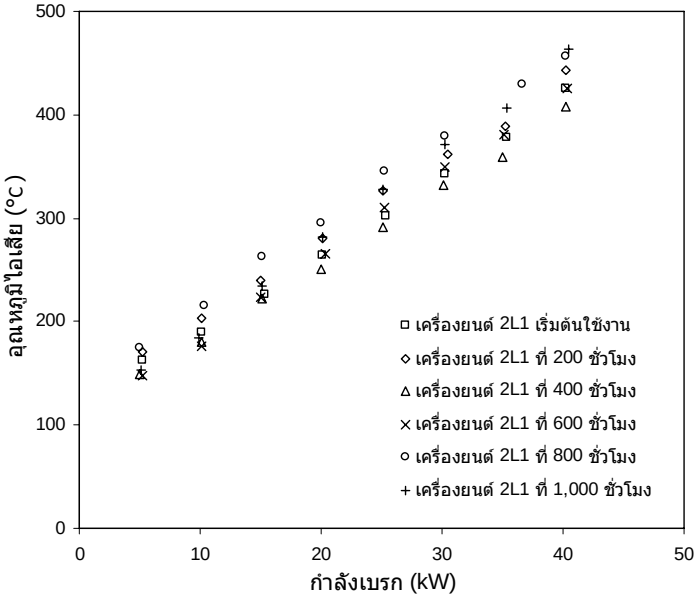
รูปที่ 4.6 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิง

จากรูป 4.6 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะที่เริ่มใช้งานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะที่โหลดสูงสุดจากที่เริ่มใช้งาน ถึง 1,000 ชั่วโมงมีค่าความแตกต่างการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงประมาณ 6.7 เปอร์เซ็นต์

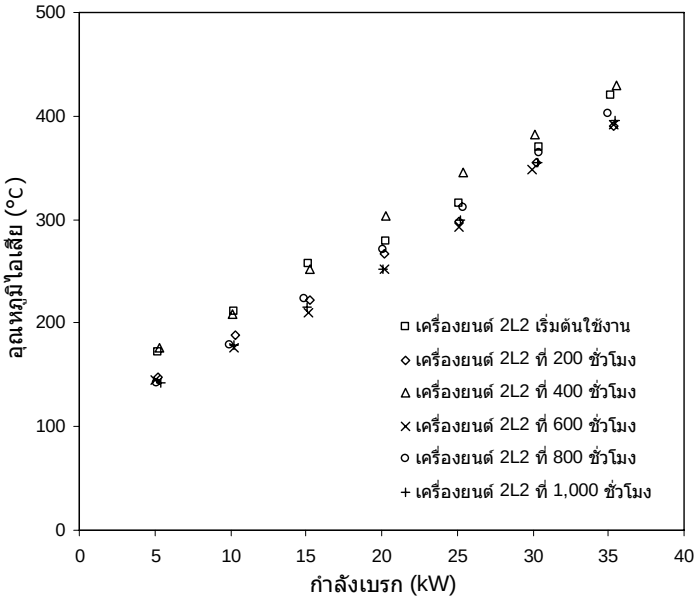
จากการทดลองพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซลทั้ง 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการสิ้นเปลืองน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซลทั้ง 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลมาจากค่าความร้อนของน้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซลทั้ง 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ มีค่าน้อยกว่าเครื่องยนต์ดีเซล

4.3.3 อุณหภูมิก๊าซไอเสีย

จากรูป 4.7 แสดงอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่เริ่มต้นใช้งานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง มีอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ภาระงานสูงสุดจากที่เริ่มใช้งาน ถึง 1,000 ชั่วโมงมีแตกต่างของอุณหภูมิก๊าซไอเสียประมาณ 13.7 เปอร์เซ็นต์

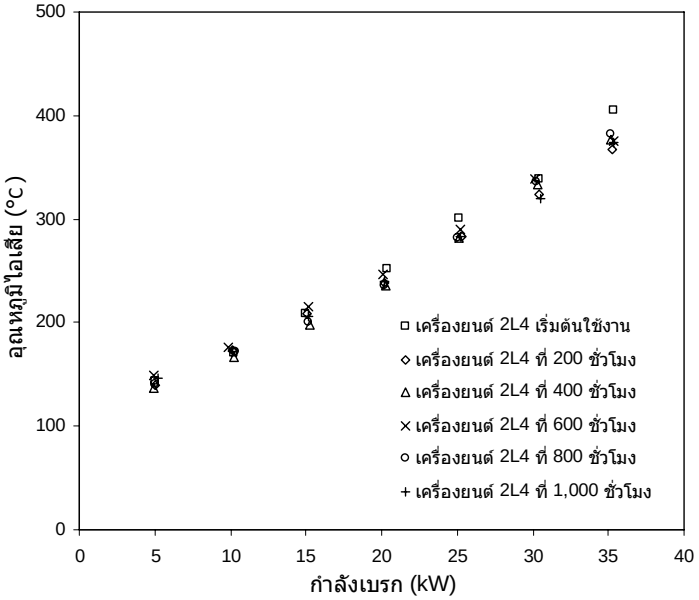


รูปที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.8 แสดงอุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง

จากรูป 4.8 แสดงอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่เริ่มต้นใช้งานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ภาระงานสูงสุดจากที่เริ่มใช้งาน ถึง 1,000 ชั่วโมงมีแตกต่างของอุณหภูมิก๊าซไอเสียประมาณ 8.86 เปอร์เซ็นต์



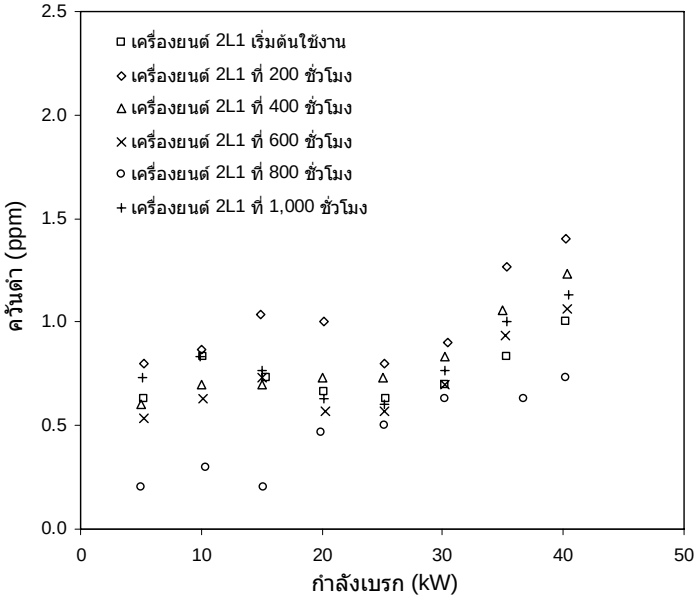
รูปที่ 4.9 แสดงอุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง

จากรูป 4.9 แสดงอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่เริ่มต้นใช้งานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิง มีอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ภาระงานสูงสุดจากที่เริ่มใช้งาน ถึง 1,000 ชั่วโมงมีแตกต่างของอุณหภูมิก๊าซไอเสียประมาณ 8.30 เปอร์เซ็นต์

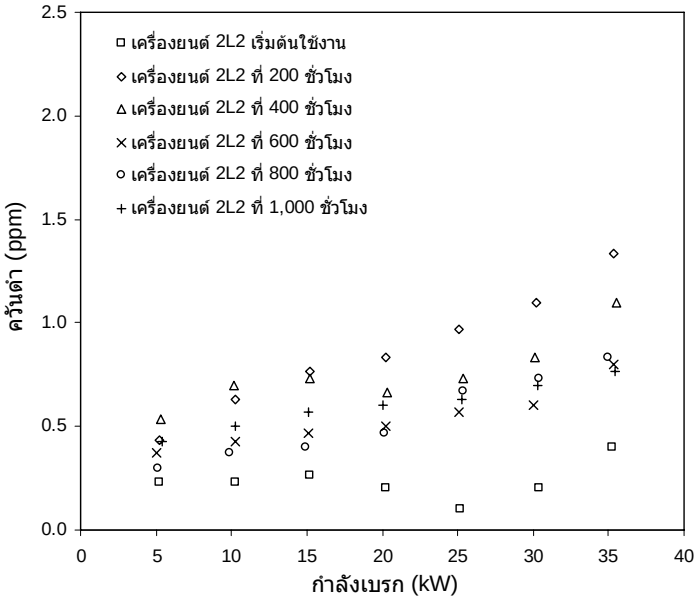
จากการทดลองพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซลทั้ง 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ มีอุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซลทั้ง 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลมาจากค่าความร้อนที่ได้จากการสันดาปของน้ำมันดีเซลสูงกว่าน้ำมันผสม

4.3.4 ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย

จากรูป 4.10 แสดงปริมาณควันดำที่เริ่มต้นใช้งาน เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงมีปริมาณควันดำมีค่าความแตกต่างควันดำที่เพิ่มขึ้นที่ภาระงานสูงสุดจากเริ่มต้นจนถึง 1,000 ชั่วโมงประมาณ 1 เท่า

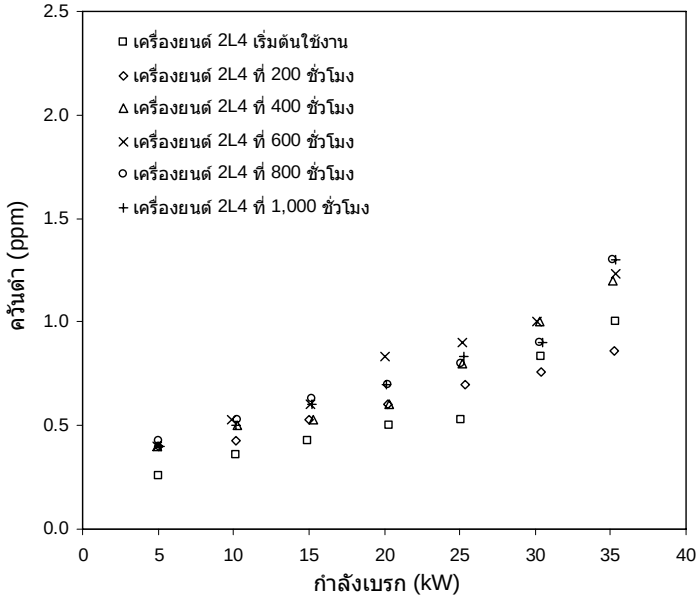


รูปที่ 4.10 แสดงปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.11 แสดงปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลด-กัมลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง

จากรูป 4.11 แสดงปริมาณควันดำที่เริ่มต้นใช้งาน เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงมีปริมาณควันดำมีค่าความแตกต่างควันดำที่เพิ่มขึ้นที่ภาระงานสูงสุดจากเริ่มต้นจนถึง 1,000 ชั่วโมงประมาณ 3.2 เท่า

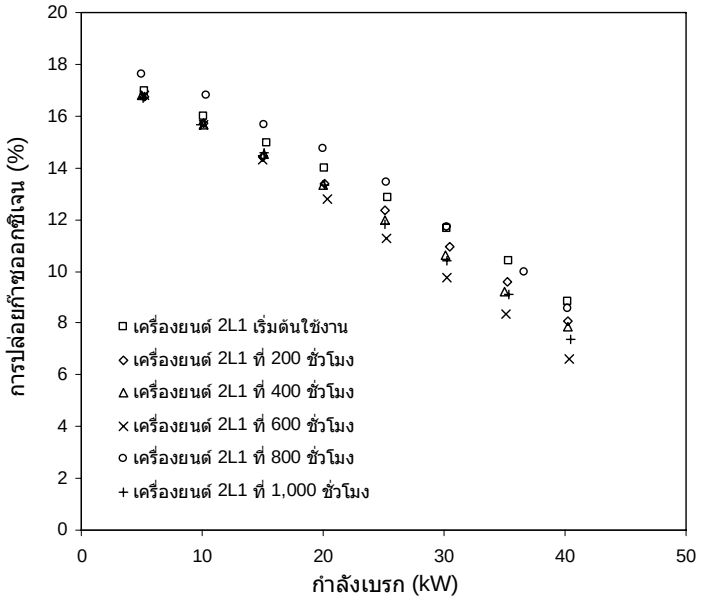


รูปที่ 4.12 แสดงปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลด-กัมลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง

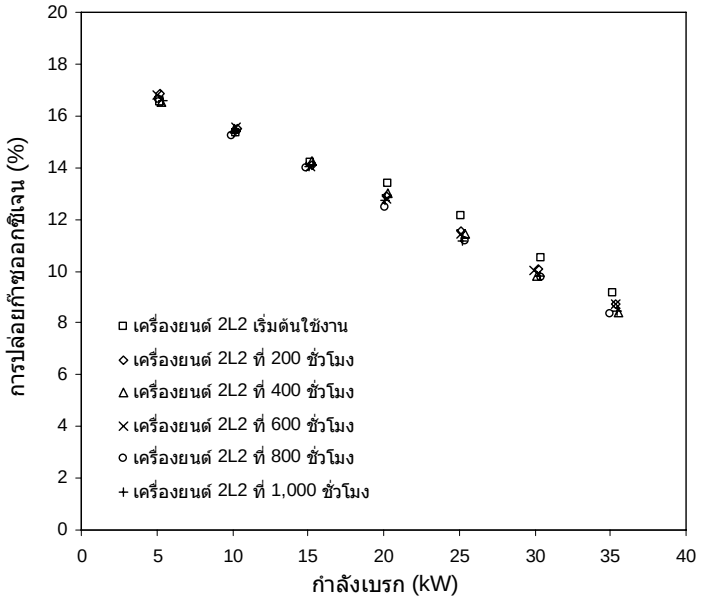
จากรูป 4.12 แสดงปริมาณควันดำที่เริ่มต้นใช้งาน เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงมีปริมาณควันดำมีค่าความแตกต่างควันดำที่เพิ่มขึ้นที่ภาระงานสูงสุดจากเริ่มต้นจนถึง 1,000 ชั่วโมงประมาณ 1.5 เท่า

4.3.5 ปริมาณการปล่อยก๊าซออกซิเจน (O_2) ในไอเสีย

จากรูป 4.13 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซออกซิเจนในไอเสียที่เริ่มต้นใช้งานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล เป็นเชื้อเพลิง มีปริมาณการปล่อยก๊าซออกซิเจนในไอเสียมีค่าความแตกต่างที่เพิ่มขึ้นที่ภาระงานสูงสุดจากเริ่มต้นจนถึง 1,000 ชั่วโมงประมาณ 29.26 เปอร์เซ็นต์

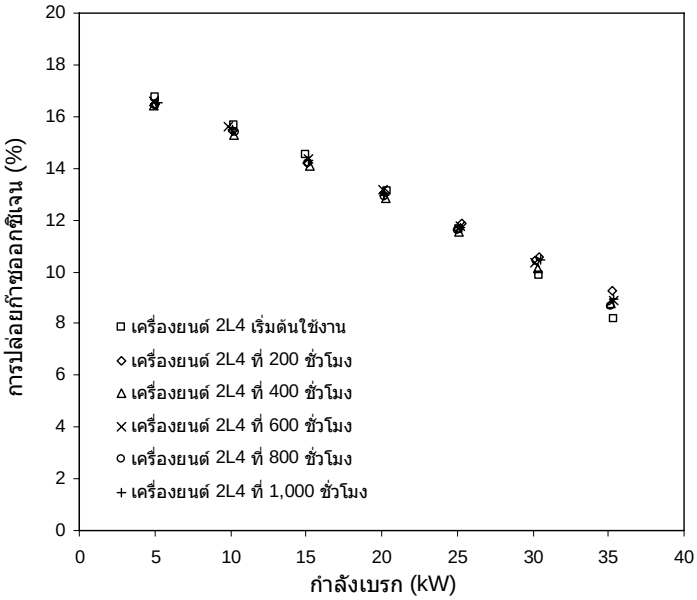


รูปที่ 4.13 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซออกซิเจนในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.14 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซออกซิเจนในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง

จากรูป 4.14 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซออกซิเจนในไอเสียที่เริ่มต้นใช้งานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงมีปริมาณการปล่อยก๊าซออกซิเจนในไอเสียมีค่าความแตกต่างที่เพิ่มขึ้นที่ภาระงานสูงสุดจากเริ่มต้นจนถึง 1,000 ชั่วโมงประมาณ 9.56 เปอร์เซ็นต์

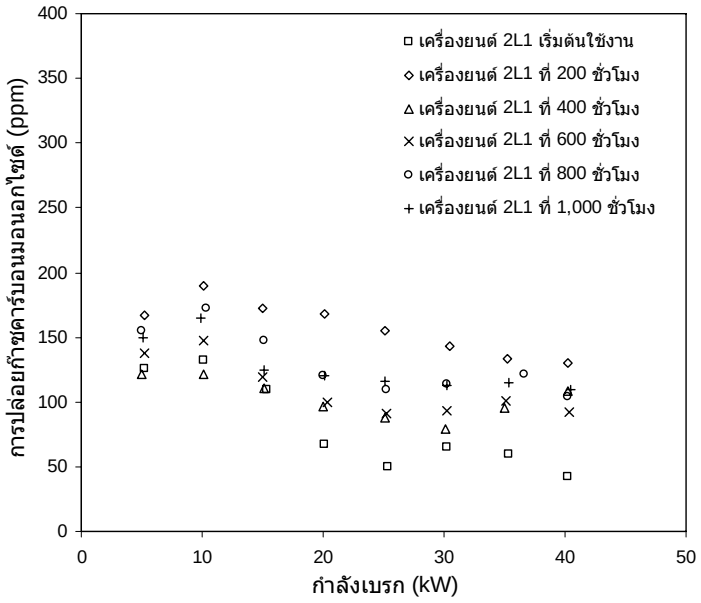


รูปที่ 4.15 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซออกซิเจนในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง

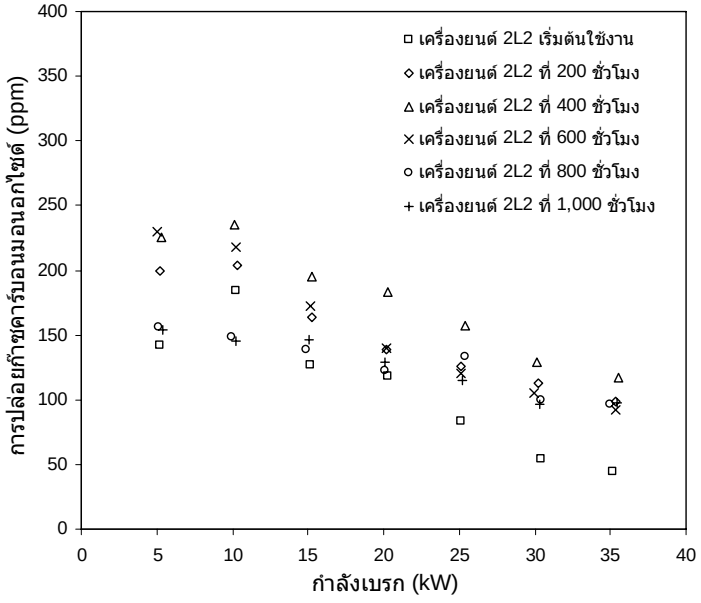
จากรูป 4.16 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซออกซิเจนในไอเสียที่เริ่มต้นใช้งานเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงมีปริมาณการปล่อยก๊าซออกซิเจนในไอเสียมีค่าความแตกต่างที่เพิ่มขึ้นที่ภาระงานสูงสุดจากเริ่มต้นจนถึง 1,000 ชั่วโมงประมาณ 13.60 เปอร์เซ็นต์

4.3.6 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ (CO) ในไอเสีย

จากรูป 4.16 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่เริ่มงาน เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงมีปริมาณ การปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ในไอเสียที่ภาระงานสูงสุดเพิ่มขึ้นจากที่เริ่มใช้งานจนใช้งานถึง 1,000 ชั่วโมงมีความแตกต่างประมาณ 3 เท่า

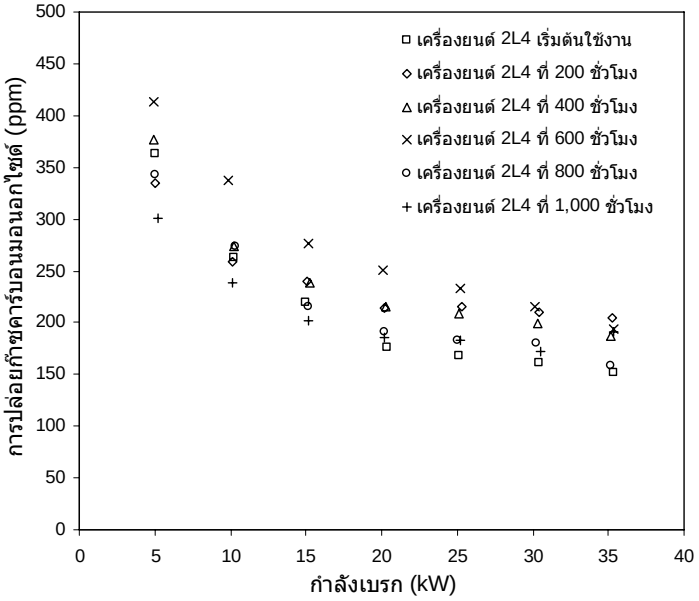


รูปที่ 4.16 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.17 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง

จากรูป 4.17 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสม ในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงที่เริ่มงาน ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ในไอเสียที่ภาระงานสูงสุดเพิ่มขึ้นจากที่เริ่มใช้งานจนใช้งานถึง 1,000 ชั่วโมงมีความแตกต่างประมาณ 2.6 เท่า



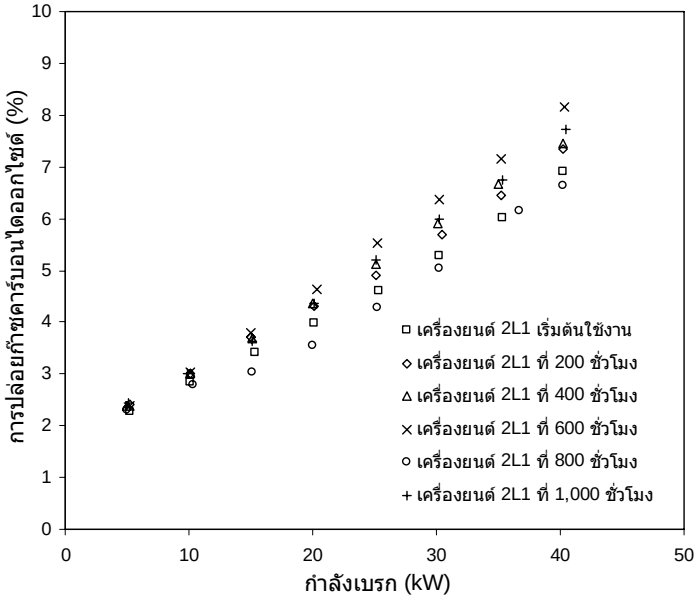
รูปที่ 4.18 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลด-กัมลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง

จากรูป 4.18 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลด-กัมลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงที่เริ่มงาน มีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ในไอเสียที่ภาระงานสูงสุดเพิ่มขึ้นจากที่เริ่มใช้งานจนใช้งานถึง 1,000 ชั่วโมงมีความแตกต่างประมาณ 1.36 เท่า

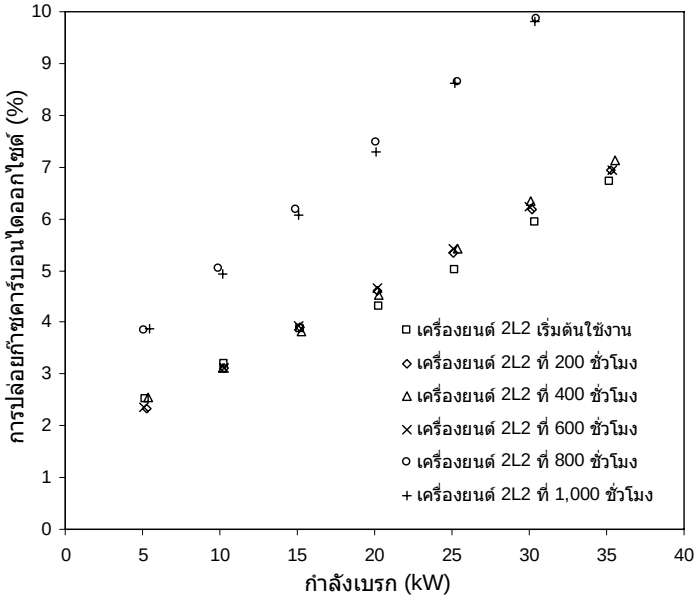
จากการทดลองพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซลทั้ง 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความแตกต่างของปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ในไอเสียที่ภาระงานสูงสุด สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซลทั้ง 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ การเกิดก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ในไอเสียนั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการคลุกเคล้าระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศมีการคลุกเคล้ากันได้ดี การเผาไหม้ที่ได้จะสมบรูณ์ส่งผลให้ค่าก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ในไอเสียมีค่าน้อย

4.3.7 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในไอเสีย

จากรูป 4.19 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่เริ่มงาน มีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียที่ภาระงานสูงสุดเพิ่มขึ้นจากที่เริ่มใช้งานจนใช้งานถึง 1,000 ชั่วโมง มีความแตกต่างประมาณ 22.7 เปอร์เซ็นต์

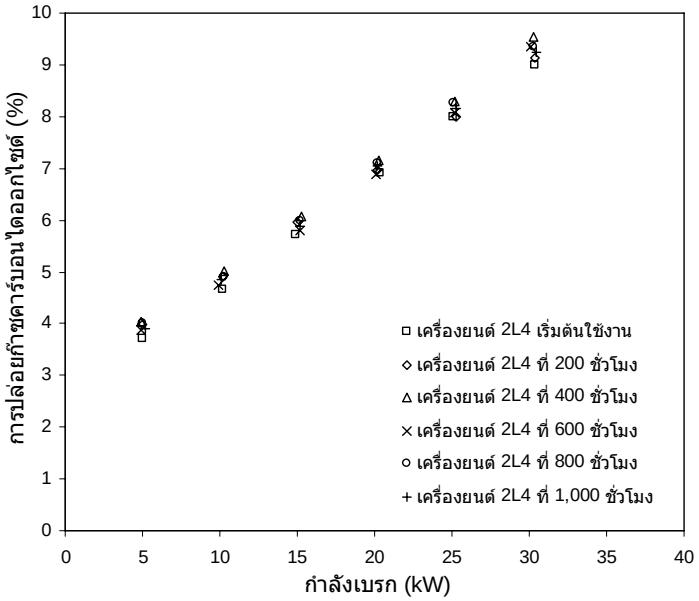


รูปที่ 4.19 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.20 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง

จากรูป 4.20 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงที่เริ่มงานมีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียที่ภาระงานสูงสุดเพิ่มขึ้นจากที่เริ่มใช้งานจนใช้งานถึง 1,000 ชั่วโมงมีความแตกต่างประมาณ 55.5 เปอร์เซ็นต์

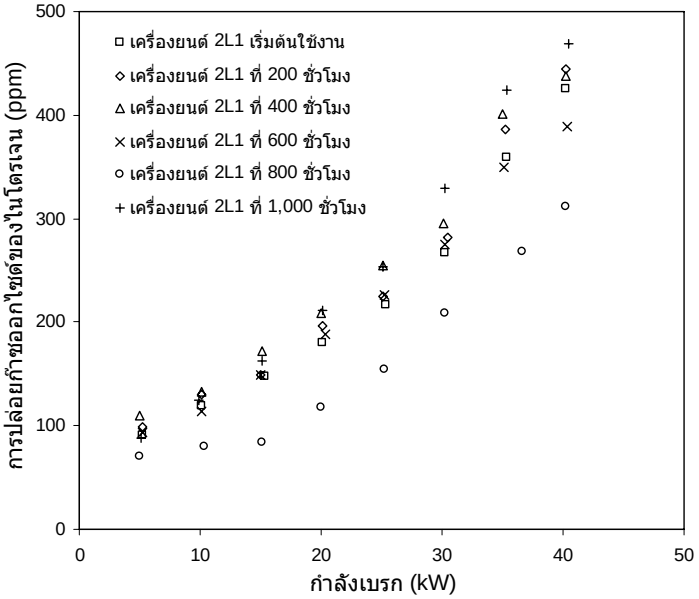


รูปที่ 4.21 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง

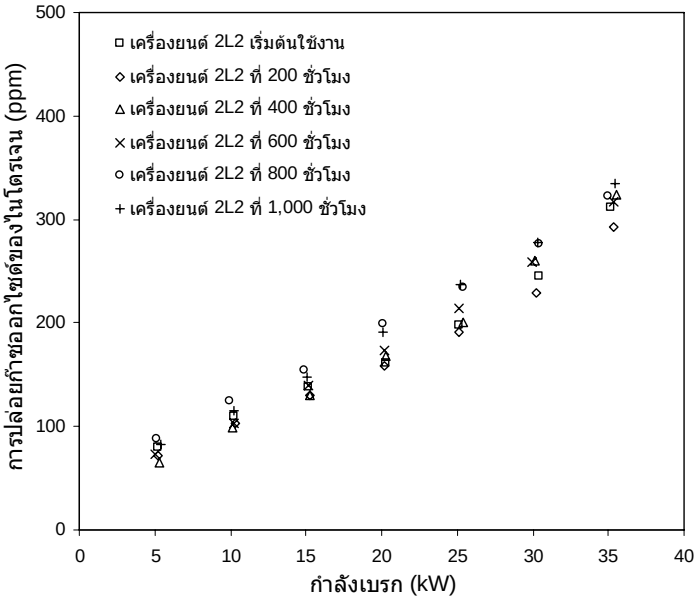
จากรูป 4.21 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้ปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงที่เริ่มงาน มีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียที่ภาระงานสูงสุดเพิ่ม ขึ้นจากที่เริ่มใช้งานจนใช้งานถึง 1,000 ชั่วโมงมีความแตกต่างประมาณ 5.6 เปอร์เซ็นต์

4.3.1.8 ปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_X) ในก๊าซไอเสีย

จากรูป 4.22 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่เริ่มงาน มีปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในไอเสียที่ภาระงานสูงสุดเพิ่มขึ้นจากที่เริ่มใช้งานจนใช้งานถึง 1,000 ชั่วโมง มีความแตกต่างประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์

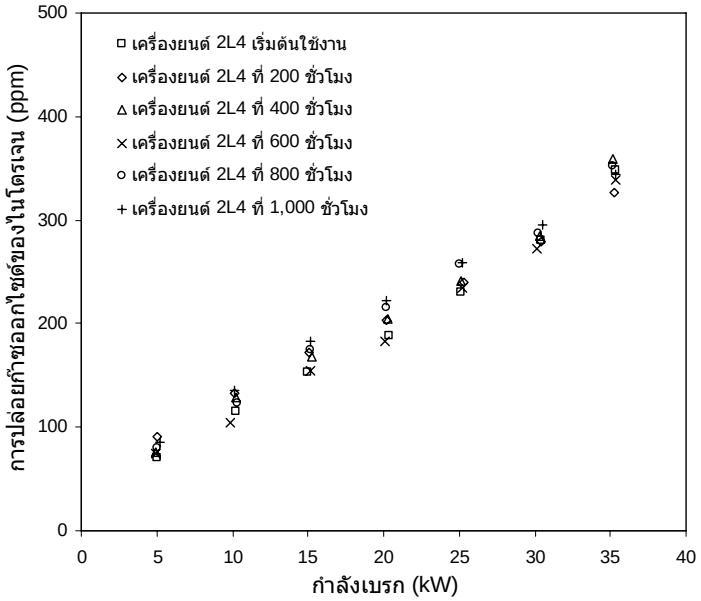


รูปที่ 4.22 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.23 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง

จากรูป 4.23 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงที่เริ่มงานมีปริมาณ การปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในไอเสียที่ภาระงานสูงสุดเพิ่มขึ้นจากที่เริ่มใช้งานจนใช้งานถึง 1,000 ชั่วโมงมีความแตกต่างประมาณ 14.4 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.24 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์เป็นเชื้อเพลิง

จากรูป 4.24 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงที่เริ่มงานมีปริมาณ การปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในไอเสียที่ภาระงานสูงสุดเพิ่มขึ้นจากที่เริ่มใช้งานจนใช้งานถึง 1,000 ชั่วโมงมีความแตกต่างประมาณ 9.79 เปอร์เซ็นต์

4.4 ผลการสึกหรอของเครื่องยนต์

ผลการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ ได้มาจากการนำเครื่องยนต์ไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอาคารซึ่งได้ติดตั้งมิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้และมีมิเตอร์วัดชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์ โดยจะเป็นการเดินเครื่องแบบต่อเนื่อง ทั้งวันเฉลี่ยวันละ 10 ชั่วโมง ที่ความเร็ว 3000 รอบต่อนาที ในการทดสอบการสึกหรอแบ่งได้เป็น 3 วิธี คือ

- วิธีการชั่งน้ำหนักโดยตรง
- วิธีการวัดระยะปากแหวน
- วิธีวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น

4.4.1 ผลการสึกหรอของเครื่องยนต์โดยวิธีการชั่งน้ำหนัก

4.4.1.1 การสึกหรอของเครื่องยนต์ในชิ้นส่วนที่มีการสัมผัสกับน้ำมันเชื้อเพลิงและชิ้นส่วนที่มีการสัมผัสกับน้ำมันหล่อลื่นโดยตรง

4.4.1.1.1 ปั๊มแรงดันสูง (ตารางที่ 4.2, 4.3, และ4.4) พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงและเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ มีการสึกหรอของชิ้นส่วนปั๊มแรงดันสูงตั้งแต่เริ่มใช้งานจนถึง 1,000 ชั่วโมง มีการสึกหรอของชิ้นส่วนปั๊มแรงดันสูงไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.2 แสดงน้ำหนักของชิ้นส่วนต่างๆ ของปั๊มแรงดันสูงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง

รายการ	น้ำหนัก (กรัม)		ผลต่าง (กรัม)	ผลต่าง (%)
	เครื่องยนต์ 2L1 (เริ่มต้น)	เครื่องยนต์ 2L1 (1,000 ชม.)		
- ลูกปั๊ม	51.3331	51.3318	0.0013	0.003
- เสื้อลูกปั๊ม	40.1768	40.1768	0.0000	0.000
- ลิ้นส่ง A	2.0376	2.0321	0.0055	0.270
- เสื้อลิ้นส่ง A	3.6950	3.6910	0.0040	0.108
- ลิ้นส่ง B	2.0293	2.0292	0.0001	0.005
- เสื้อลิ้นส่ง B	3.7084	3.7081	0.0003	0.008
- ลิ้นส่ง C	2.0253	2.0250	0.0003	0.015
- เสื้อลิ้นส่ง C	3.7161	3.7159	0.0002	0.005

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

รายการ	น้ำหนัก (กรัม)		ผลต่าง (กรัม)	ผลต่าง (%)
	เครื่องยนต์ 2L1 (เริ่มต้น)	เครื่องยนต์ 2L1 (1,000 ชม.)		
- ลิ้นส่ง D	2.0415	2.0375	0.0040	0.196
- เสื้อลิ้นส่ง D	3.6912	3.6911	0.0001	0.003

ตารางที่ 4.3 แสดงน้ำหนักของชิ้นส่วนต่างๆ ของปั๊มแรงดันสูงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์ม ลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง

รายการ	น้ำหนัก (กรัม)		ผลต่าง (กรัม)	ผลต่าง (%)
	เครื่องยนต์ 2L2 (เริ่มต้น)	เครื่องยนต์ 2L2 (1,000 ชม.)		
- ลูกปั้ม	51.6610	51.6297	0.0313	0.061
- เสื้อลูกปั้ม	40.1384	40.1377	0.0007	0.002
- ลิ้นส่ง A	2.0243	2.0242	0.0001	0.005
- เสื้อลิ้นส่ง A	3.6630	3.6628	0.0002	0.005
- ลิ้นส่ง B	2.0427	2.0418	0.0009	0.044
- เสื้อลิ้นส่ง B	3.6772	3.6565	0.0207	0.563
- ลิ้นส่ง C	2.0407	2.0401	0.0006	0.029
- เสื้อลิ้นส่ง C	3.6872	3.6871	0.0001	0.003
- ลิ้นส่ง D	2.0518	2.0427	0.0091	0.444
- เสื้อลิ้นส่ง D	3.7195	3.6772	0.0423	1.137

ตารางที่ 4.4 แสดงน้ำหนักของชิ้นส่วนต่างๆ ของปั๊มแรงดันสูงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์ม ลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง

รายการ	น้ำหนัก (กรัม)		ผลต่าง (กรัม)	ผลต่าง (%)
	เครื่องยนต์ 2L4 (เริ่มต้น)	เครื่องยนต์ 2L4 (1,000 ชม.)		
- ลูกปั้ม	51.6297	51.5541	0.0756	0.146
- เสื้อลูกปั้ม	40.1387	40.1238	0.0149	0.037
- ลิ้นส่ง A	2.0714	2.0631	0.0083	0.401
- เสื้อลิ้นส่ง A	4.1047	4.1023	0.0024	0.058
- ลิ้นส่ง B	2.0424	2.0246	0.0178	0.872
- เสื้อลิ้นส่ง B	4.1422	4.1162	0.0260	0.628
- ลิ้นส่ง C	2.0619	2.0453	0.0166	0.805
- เสื้อลิ้นส่ง C	4.1141	4.1060	0.0081	0.197
- ลิ้นส่ง D	2.0532	2.0447	0.0085	0.414
- เสื้อลิ้นส่ง D	4.0689	4.0596	0.0093	0.229

4.4.1.1.2 แบริ่งก้านสูบ (ตารางที่ 4.5, 4.6, และ 4.7) พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงและเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ มีการสึกหรอของแบริ่งก้านสูบตั้งแต่เริ่มใช้งานจนถึง 1,000 ชั่วโมง มีการสึกหรอของชิ้นส่วนปั๊มแรงดันสูงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.5 แสดงน้ำหนักของแบริ่งก้านสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง

รายการ	น้ำหนัก (กรัม)		ผลต่าง (กรัม)	ผลต่าง (%)
	เครื่องยนต์2L1 (เริ่มต้น)	เครื่องยนต์ 2L1 (1,000 ชม.)		
- แบริ่งก้านสูบตัวที่ 1	45.9275	45.9165	0.0110	0.024
- แบริ่งก้านสูบตัวที่ 2	45.9563	45.6390	0.3173	0.690
- แบริ่งก้านสูบตัวที่ 3	45.9787	45.8089	0.1698	0.369
- แบริ่งก้านสูบตัวที่ 4	45.9268	45.6067	0.3201	0.697

ตารางที่ 4.6 แสดงน้ำหนักของแบริ่งก้านสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง

รายการ	น้ำหนัก (กรัม)		ผลต่าง (กรัม)	ผลต่าง (%)
	เครื่องยนต์ 2L2 (เริ่มต้น)	เครื่องยนต์ 2L2 (1,000 ชม.)		
- แบริ่งก้านสูบตัวที่ 1	57.4482	57.4362	0.0120	0.021
- แบริ่งก้านสูบตัวที่ 2	57.5075	57.3061	0.2014	0.350
- แบริ่งก้านสูบตัวที่ 3	57.5513	57.3409	0.2104	0.366
- แบริ่งก้านสูบตัวที่ 4	57.4282	57.2204	0.2078	0.362

ตารางที่ 4.7 แสดงน้ำหนักของแบริ่งก้านสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง

รายการ	น้ำหนัก (กรัม)		ผลต่าง (กรัม)	ผลต่าง (%)
	เครื่องยนต์ 2L4 (เริ่มต้น)	เครื่องยนต์ 2L4 (1,000 ชม.)		
- แบริ่งก้านสูบตัวที่ 1	57.7548	57.7512	0.0036	0.006
- แบริ่งก้านสูบตัวที่ 2	57.8409	57.8375	0.0034	0.006
- แบริ่งก้านสูบตัวที่ 3	57.7754	57.7722	0.0032	0.006
- แบริ่งก้านสูบตัวที่ 4	57.5849	57.5783	0.0066	0.011

4.4.1.1.3 แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยง (ตารางที่ 4.8, 4.9, และ 4.10) พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงและเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ มีการสึกหรอของแบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงตั้งแต่เริ่มใช้งานจนถึง 1,000 ชั่วโมง มีการสึกหรอของชิ้นส่วนปั๊มแรงดันสูงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.8 แสดงน้ำหนักของแบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง

รายการ	น้ำหนัก (กรัม)		ผลต่าง (กรัม)	ผลต่าง (%)
	เครื่องยนต์ 2L1 (เริ่มต้น)	เครื่องยนต์ 2L1 (1,000 ชม.)		
- แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงตัวที่ 1	75.5002	75.4950	0.0052	0.007
- แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงตัวที่ 2	75.2062	75.1983	0.0079	0.011
- แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงตัวที่ 3	75.7544	75.7472	0.0072	0.010
- แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงตัวที่ 4	75.1949	75.1859	0.0090	0.012
- แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงตัวที่ 5	75.4186	75.4073	0.0113	0.015
- แหวนกันรุน	45.8437	45.8211	0.0226	0.049

ตารางที่ 4.9 แสดงน้ำหนักของแบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง

รายการ	น้ำหนัก (กรัม)		ผลต่าง (กรัม)	ผลต่าง (%)
	เครื่องยนต์ 2L2 (เริ่มต้น)	เครื่องยนต์ 2L2 (1,000 ชม.)		
- แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงตัวที่ 1	83.1443	82.9090	0.2353	0.283
- แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงตัวที่ 2	83.3392	83.3283	0.0109	0.013
- แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงตัวที่ 3	84.1689	84.1314	0.0375	0.045
- แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงตัวที่ 4	83.9234	83.6328	0.2906	0.346
- แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงตัวที่ 5	83.6745	83.6469	0.0276	0.033
- แหวนกันรุน	45.8363	45.7363	0.1000	0.218

ตารางที่ 4.10 แสดงน้ำหนักของแบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง

รายการ	น้ำหนัก (กรัม)		ผลต่าง (กรัม)	ผลต่าง (%)
	เครื่องยนต์ 2L4 (เริ่มต้น)	เครื่องยนต์ 2L4 (1,000 ชม.)		
- แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงตัวที่ 1	83.471	83.4658	0.0052	0.006
- แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงตัวที่ 2	83.2245	83.2203	0.0042	0.005
- แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงตัวที่ 3	82.1785	82.1739	0.0046	0.006
- แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงตัวที่ 4	82.1851	82.1800	0.0051	0.006
- แบริ่งเพลาข้อเหวี่ยงตัวที่ 5	82.7974	82.7909	0.0065	0.008
- แหวนกันรุน	45.8147	45.8054	0.0093	0.020

4.4.1.1.4. ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสีย (ตารางที่ 4.11, 4.12, และ 4.13) พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน ดีเซลเป็นเชื้อเพลิงและเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ และ40 เปอร์เซ็นต์ มีการสึกหรอของลิ้นไอดีและไอเสียตั้งแต่เริ่มใช้งานจนถึง 1,000 ชั่วโมง มีการสึกหรอของชิ้นส่วนปั้มแรงดันสูงไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.11 แสดงน้ำหนักของลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง

รายการ	น้ำหนัก (กรัม)		ผลต่าง (กรัม)	ผลต่าง (%)
	เครื่องยนต์ 2L1 (เริ่มต้น)	เครื่องยนต์ 2L1 (1,000 ชม.)		
- ลิ้นไอดีสูบที่ 1	98.5997	98.5995	0.0002	0.0002
- ลิ้นไอเสียสูบที่ 1	86.6686	86.6518	0.0168	0.0194
- ลิ้นไอดีสูบที่ 2	100.4808	100.4662	0.0146	0.0145
- ลิ้นไอเสียสูบที่ 2	87.7304	87.7251	0.0053	0.0060
- ลิ้นไอดีสูบที่ 3	100.9204	100.9013	0.0191	0.0189
- ลิ้นไอเสียสูบที่ 3	86.7749	86.7094	0.0655	0.0755
- ลิ้นไอดีสูบที่ 4	100.7690	100.7600	0.0090	0.0089
- ลิ้นไอเสียสูบที่ 4	86.7992	86.7337	0.0655	0.0755

ตารางที่ 4.12 แสดงน้ำหนักของของลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งาน 1000 ชั่วโมง

รายการ	น้ำหนัก (กรัม)		ผลต่าง	ผลต่าง
	เครื่องยนต์ 2L2 (เริ่มต้น)	เครื่องยนต์ 2L2 (1,000 ชม.)	(กรัม)	(%)
- ลิ้นไอดีสูบที่ 1	100.3450	100.2929	0.0521	0.0519
- ลิ้นไอเสียสูบที่ 1	86.8620	86.8166	0.0454	0.0523
- ลิ้นไอดีสูบที่ 2	98.9077	98.6044	0.3033	0.3066
- ลิ้นไอเสียสูบที่ 2	86.9587	86.3460	0.6127	0.7046
- ลิ้นไอดีสูบที่ 3	99.9560	98.9542	1.0018	1.0022
- ลิ้นไอเสียสูบที่ 3	87.2658	87.0469	0.2189	0.2508
- ลิ้นไอดีสูบที่ 4	99.5839	99.5463	0.0376	0.0378
- ลิ้นไอเสียสูบที่ 4	87.0810	87.0707	0.0103	0.0118

ตารางที่ 4.13 แสดงน้ำหนักของของลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง

รายการ	น้ำหนัก (กรัม)		ผลต่าง	ผลต่าง
	เครื่องยนต์ 2L4 (เริ่มต้น)	เครื่องยนต์ 2L4 (1,000 กรัม)	(กรัม)	(%)
- ลิ้นไอดีสูบที่ 1	100.1046	100.0000	0.1046	0.1045
- ลิ้นไอเสียสูบที่ 1	87.2461	87.2159	0.0302	0.0346
- ลิ้นไอดีสูบที่ 2	100.1361	100.1252	0.0109	0.0109
- ลิ้นไอเสียสูบที่ 2	87.2697	87.2357	0.0340	0.0390
- ลิ้นไอดีสูบที่ 3	98.7719	98.7137	0.0582	0.0589
- ลิ้นไอเสียสูบที่ 3	87.5985	87.5188	0.0797	0.0910
- ลิ้นไอดีสูบที่ 4	100.1581	100.1037	0.0544	0.0543
- ลิ้นไอเสียสูบที่ 4	87.0073	87.0000	0.0073	0.0084

4.4.2 ผลการสึกหรอของปากแหวนโดยวิธีวัดระยะห่างของปากแหวน

โดยมาตรฐานของเครื่องยนต์ โตโยต้า 2LT ที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้นั้น กำหนดระยะห่างปากแหวนของเครื่องดังนี้คือ แหวนอัดตัวที่ 1 ไม่เกิน 1.30 มิลลิเมตร, แหวนอัดตัวที่ 2 ไม่เกิน 1.07 มิลลิเมตร, และแหวนน้ำมัน ไม่เกิน 1.12 มิลลิเมตร ซึ่งตัวระยะปากแหวนจะเป็นตัวบอกถึงกำลังอัดของเครื่องยนต์

ตารางที่ 4.14 แสดงระยะห่างปากแหวนลูกสูบที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงครบ 1,000 ชั่วโมง

รายการ	ระยะห่างปากแหวนลูกสูบ (มม.)		ผลต่าง (มม.)	ค่ามาตรฐาน (มม.)
	เริ่มต้น	ครบ 1,000 ชม.		
- แหวนอัดสูบที่ 1 ตัวที่ 1	0.432	0.483	0.051	ไม่เกิน 1.30
- แหวนอัดสูบที่ 1 ตัวที่ 2	0.457	0.610	0.153	ไม่เกิน 1.07
- แหวนน้ำมันสูบที่ 1	0.279	0.305	0.026	ไม่เกิน 1.12
- แหวนอัดสูบที่ 2 ตัวที่ 1	0.432	0.483	0.051	ไม่เกิน 1.30
- แหวนอัดสูบที่ 2 ตัวที่ 2	0.559	0.610	0.051	ไม่เกิน 1.07
- แหวนน้ำมันสูบที่ 2	0.279	0.330	0.051	ไม่เกิน 1.12
- แหวนอัดสูบที่ 3 ตัวที่ 1	0.457	0.508	0.051	ไม่เกิน 1.30
- แหวนอัดสูบที่ 3 ตัวที่ 2	0.533	0.610	0.077	ไม่เกิน 1.07
- แหวนน้ำมันสูบที่ 3	0.279	0.330	0.051	ไม่เกิน 1.12
- แหวนอัดสูบที่ 4 ตัวที่ 1	0.457	0.533	0.076	ไม่เกิน 1.30
- แหวนอัดสูบที่ 4 ตัวที่ 2	0.533	0.610	0.077	ไม่เกิน 1.07
- แหวนน้ำมันสูบที่ 4	0.279	0.356	0.077	ไม่เกิน 1.12

ตารางที่ 4.15 แสดงระยะห่างปากแหวนลูกสูบ ที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลด-ลดกรดผสมน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงครบ 1,000 ชั่วโมง

รายการ	ระยะห่างปากแหวนลูกสูบ (มม.)		ผลต่าง (มม.)	ค่ามาตรฐาน (มม.)
	เริ่มต้น	ครบ 1,000 ชม.		
- แหวนอัดสูบที่ 1 ตัวที่ 1	0.533	0.584	0.051	ไม่เกิน 1.30
- แหวนอัดสูบที่ 1 ตัวที่ 2	0.559	0.610	0.051	ไม่เกิน 1.07
- แหวนน้ำมันสูบที่ 1	0.356	0.432	0.076	ไม่เกิน 1.12
- แหวนอัดสูบที่ 2 ตัวที่ 1	0.533	0.610	0.077	ไม่เกิน 1.30
- แหวนอัดสูบที่ 2 ตัวที่ 2	0.584	0.610	0.026	ไม่เกิน 1.07
- แหวนน้ำมันสูบที่ 2	0.356	0.432	0.076	ไม่เกิน 1.12
- แหวนอัดสูบที่ 3 ตัวที่ 1	0.533	0.584	0.051	ไม่เกิน 1.30
- แหวนอัดสูบที่ 3 ตัวที่ 2	0.584	0.610	0.026	ไม่เกิน 1.07
- แหวนน้ำมันสูบที่ 3	0.356	0.406	0.050	ไม่เกิน 1.12
- แหวนอัดสูบที่ 4 ตัวที่ 1	0.533	0.610	0.077	ไม่เกิน 1.30
- แหวนอัดสูบที่ 4 ตัวที่ 2	0.584	0.610	0.026	ไม่เกิน 1.07
- แหวนน้ำมันสูบที่ 4	0.356	0.483	0.127	ไม่เกิน 1.12

ตารางที่ 4.16 แสดงระยะห่างปากแหวนลูกสูบ ที่ก่อนใช้งานและหลังใช้งานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลด-ลดกรดผสมน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นเชื้อเพลิงครบ 1,000 ชั่วโมง

รายการ	ระยะห่างปากแหวนลูกสูบ (มม.)		ผลต่าง (มม.)	ค่ามาตรฐาน (มม.)
	เริ่มต้น	ครบ 1,000 hr		
- แหวนอัดสูบที่ 1 ตัวที่ 1	0.432	0.483	0.051	ไม่เกิน 1.30
- แหวนอัดสูบที่ 1 ตัวที่ 2	0.483	0.559	0.076	ไม่เกิน 1.07
- แหวนน้ำมันสูบที่ 1	0.279	0.330	0.051	ไม่เกิน 1.12
- แหวนอัดสูบที่ 2 ตัวที่ 1	0.406	0.483	0.077	ไม่เกิน 1.30
- แหวนอัดสูบที่ 2 ตัวที่ 2	0.483	0.559	0.076	ไม่เกิน 1.07
- แหวนน้ำมันสูบที่ 2	0.279	0.356	0.077	ไม่เกิน 1.12
- แหวนอัดสูบที่ 3 ตัวที่ 1	0.432	0.533	0.101	ไม่เกิน 1.30
- แหวนอัดสูบที่ 3 ตัวที่ 2	0.508	0.559	0.051	ไม่เกิน 1.07
- แหวนน้ำมันสูบที่ 3	0.279	0.356	0.077	ไม่เกิน 1.12
- แหวนอัดสูบที่ 4 ตัวที่ 1	0.432	0.483	0.051	ไม่เกิน 1.30
- แหวนอัดสูบที่ 4 ตัวที่ 2	0.508	0.559	0.051	ไม่เกิน 1.07
- แหวนน้ำมันสูบที่ 4	0.279	0.356	0.077	ไม่เกิน 1.12

จากตารางที่ 4.14, 4.15, และ 4.16 จะเห็นว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซลจะค่าความสึกหรอของปากแหวนมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล โดยเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่าความสึกหรอของแหวนลูกสูบมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามการสึกหรอของชิ้นส่วนดังกล่าวก็ยังที่จะใช้งานได้ปกติ เพราะยังไม่เกินมาตรฐานที่โตโยต้ากำหนดมาตรฐานไว้

4.4.3 ผลของทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์โดยวิธีวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น

4.4.3.1 ปริมาณโลหะที่ผสมในน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งาน 50 ชั่วโมง

4.4.3.1.1 อลูมิเนียม

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณอลูมิเนียมในน้ำมัน หล่อลื่นเมื่อครบ 1,000 ชั่วโมง น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 3 เท่า

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะมีค่าอลูมิเนียมในมันหล่อลื่นมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 1.6 เท่า

4.4.3.1.2 ซิลิกอน

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันมีปริมาณซิลิกอนในน้ำมันหล่อลื่นเมื่อครบ 1,000 ชั่วโมง มากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 1.65 เท่า

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะมีค่าซิลิกอนในน้ำมันหล่อลื่นมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 1.4 เท่า

4.4.3.1.3 เหล็ก

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันมีปริมาณเหล็กในน้ำมันหล่อลื่นเมื่อครบ 1,000 ชั่วโมง น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 1.37 เท่า

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะมีค่าเหล็กในน้ำมันหล่อลื่นมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 1.8 เท่า

4.4.3.1.4 โครเมียม

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันมีปริมาณโครเมียมในน้ำมันหล่อลื่นเมื่อครบ 1,000 ชั่วโมง น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 1.35 เท่า

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะมีค่าโครเมียมในน้ำมันหล่อลื่นมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 2.2 เท่า

4.4.3.1.5 ทองแดง

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันมีปริมาณทองแดงในน้ำมันหล่อลื่นเมื่อครบ 1,000 ชั่วโมง น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 1.5 เท่า

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะมีค่าทองแดงในน้ำมันหล่อลื่นมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 1.25 เท่า

4.4.3.1.6 ดีบุก

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันมีปริมาณดีบุกในน้ำมันหล่อลื่นเมื่อครบ 1,000 ชั่วโมง น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 1.6 เท่า

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะมีค่าดีบุกในน้ำมันหล่อลื่นมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 0.8 เท่า

4.4.3.2 ปริมาณโลหะที่ผสมในน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง

4.4.3.2.1 อลูมิเนียม

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณอลูมิเนียมในน้ำมันหล่อลื่นเมื่อครบ 1,000 ชั่วโมง มากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 1.85 เท่า

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะมีค่าอลูมิเนียมในมันหล่อลื่นมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 1.7 เท่า

4.4.3.2.2 ซิลิกอน

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันมีปริมาณซิลิกอนในน้ำมันหล่อลื่นเมื่อครบ 1,000 ชั่วโมง น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 1.7 เท่า

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะมีค่าซิลิกอนในน้ำมันหล่อลื่นน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 1.7 เท่า

4.4.3.2.3 เหล็ก

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันมีปริมาณเหล็กในน้ำมันหล่อลื่นเมื่อครบ 1,000 ชั่วโมง มากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 1.45 เท่า

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะมีค่าเหล็กในน้ำมันหล่อลื่นมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 1.55 เท่า

4.4.3.2.4 โครเมียม

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันมีปริมาณโครเมียมในน้ำมันหล่อลื่นเมื่อครบ 1,000 ชั่วโมง มากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 2 เท่า

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะมีค่าโครเมียมในน้ำมันหล่อลื่นมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 1.7 เท่า

4.4.3.2.5 ทองแดง

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันมีปริมาณทองแดงในน้ำมันหล่อลื่นเมื่อครบ 1,000 ชั่วโมง น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 7 เท่า

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะมีค่าทองแดงในน้ำมันหล่อลื่นน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 2.55 เท่า

4.4.3.2.6 ดีบุก

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันมีปริมาณดีบุกในน้ำมันหล่อลื่นเมื่อครบ 1,000 ชั่วโมง น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 1.5 เท่า

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจะมีค่าดีบุกในน้ำมันหล่อลื่นเท่ากับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 5
สรุปผล

จากการนำเชื้อเพลิง 3 ชนิด คือ น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ (น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรด 20 เปอร์เซ็นต์ : น้ำมันดีเซล 80เปอร์เซ็นต์)และน้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40 เปอร์เซ็นต์ (น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรด 40 เปอร์เซ็นต์ : น้ำมันดีเซล 60 เปอร์เซ็นต์) มาทดลองใช้ในเครื่องยนต์เพื่อยานพาหนะ พบว่าสามารถใช้กับเครื่องยนต์เพื่อยานพาหนะได้ แต่การนำน้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดมาผสมน้ำมันดีเซลนั้นถึงแม้จะมีการอุ่นร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพื่อให้มีค่าความหนืดลดลงแล้วก็ตาม พบว่ามีข้อดี คือ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซลทั้ง 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียที่ภาระงานสูงสุดต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลแต่คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซลทั้ง 20 เปอร์เซ็นต์ และ40เปอร์เซ็นต์ นั้นด้อยกว่าน้ำมันดีเซลมาก มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่าน้ำมันดีเซลประกอบกับน้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดยังมีราคาแพงกว่าน้ำมันดีเซลและเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซลทั้ง 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ มีอายุการใช้งานของเครื่องยนต์สั้นกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลไม่มากนักเพราะผลการสึกหรอจากการนำสิ้นส่วนของเครื่องยนต์ไปชั่งน้ำหนักโดยตรงและวัดระยะห่างปากแหวนพบว่าชิ้นส่วนเกือบทั้งหมดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซลทั้ง 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ ที่สัมผัสกับน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่นโดยตรง ไม่มีการสึกหรอมากกว่าชิ้นส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ยกเว้นชิ้นส่วนแหวนลูกสูบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรด 40 เปอร์เซ็นต์ จะมีการสึกหรอของแหวนลูกสูบมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล อันเนื่องมาจากคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่อยู่ในมาตรฐานซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการสึกหรอของแหวนลูกสูบครื่องยนต์มากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

หากมีการนำน้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล ไปใช้กับเครื่องยนต์เพื่อยานพาหนะควรจะอุ่นร้อนน้ำมันให้มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในขณะใช้งานและควรจะต้องมีการดูแลในชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ เช่น กรองน้ำมันเชื้อเพลิง ควรตรวจเช็คตามระยะทุกๆ 500 ชั่วโมงและการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นสามารถเปลี่ยนถ่ายตามปกติได้ (50 ชั่วโมงหรือ 5,000 กิโลเมตร)

เอกสารอ้างอิง

การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. 2553. แหล่งที่มา http://www.pttplc.com/en/news-energy-fact-oil-price-bangkok.aspx, เข้าดูเมื่อวันที่ 01/06/2553.

กิตติศักดิ์ ทวีสินโสภา. 2549. การผลิตเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม โดยใช้กระบวนการผลิตแบบ Esterification และ Tranesterification. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จีรศักดิ์ เพียรเจริญ. 2550. การทดสอบการใช้น้ำมันพืชที่ใช้แล้วผสมน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

กำพล ประทีปชัยกูร และ ธีระยุทธ หลีวิจิตร. 2551. การใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดผสมกับดีเซลในเครื่องยนต์การเกษตร: ส่วน I-สมรรถนะเครื่องยนต์, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 6, 634-640.

เทอดศักดิ์ ชัยสุริยะพันธ์ และคณิต วัฒนวิเชียร. 2547. การใช้น้ำมันปาล์มดีเซลในเครื่องยนต์ CI ชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของรถบรรทุกขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิโอะ ปูซู. 2552. การออกแบบและสร้างชุดควบแน่นเมทานอลสำหรับระบบผลิตไบโอดีเซลชุมชน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธีรวัฒน์ อภิชาโต. 2545. การทดสอบการใช้ปาล์มทดแทนน้ำมันดีเซลไรเครื่องจักรกลทางการเกษตร วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สวิทชาติ ญาณแก้ว. 2548. การทดสอบการใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์ม ทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องจักรกลการเกษตร วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน. 2549. เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซล (ไบโอดีเซลชุมชน). ราชกิจจานุเบกษา. เล่มที่ 123. ตอนพิเศษ 79 ง.

ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน. 2550. เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน (ไบโอดีเซลชุมชน). ราชกิจจานุเบกษา. เล่มที่ 124. ฉบับที่ 3. ตอนพิเศษ 62 ง.

ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน. 2553. เรื่อง กำหนดลักษณะคุณภาพน้ำมันดีเซล. ราชกิจจานุเบกษา. เล่มที่ 127. ตอนพิเศษ 7 ง.

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2553. วารสารนโยบายพลังงาน. ฉบับที่ 87. มกราคม-มีนาคม. หน้า 26.

Almeida, S.C.A., Belchior, C.R., Nascimento, M.V.G., Vieira, L.S.R. and Fleury, G. 2002. Performance of a diesel generator fuelled with palm oil, Fuel. 81, 2097-2102.

Alptekin, E. and Canakci, M. 2008. Determination of the density and the viscosities of biodiesel-diesel fuel blends, Renewable Energy. 33, 2623-2630.

Alptekin, E. and Canakci, M. 2009. Characterization of key fuel properties of methyl ester-diesel fuel blends, Fuel. 88, 75–80.

Balat, M. and Balat, H. 2007. A critical review of bio-diesel as a vehicular fuel, Energy Conversion and Management. 49, 2727-2741.

Bekal, S. and Babu, T.P.A. 2008. Bio-fuel variants for use in CI engine at design and off-design regimes: An experimental analysis, Fuel. 87, 3550-3561.

Benjumea, P., Agudelo, J. and Agudelo, 2008. A. Basic properties of palm oil biodiesel-diesel blends, Fuel. 87, 2069-2075

Chen, H., Wang, J., Shuai, S. and Chen, W. 2008. Study of oxygenated biomass fuel blends on a diesel engine, Fuel. 87, 3462-3468.

Chotwichien, A., Luengnaruemitchai, A. and Jai-In, S. 2009. Utilization of palm oil alkyl esters as an additive in ethanol-diesel, Fuel. 88, 1618-1624.

Demirbas, A. 2000. A direct route to the calculation of heating values of Liquid fuels by using their density and viscosity measurements, Energy Conversion and Management. 41, 1609-1614.

Ejim, C. E., Fleck, B. A. and Amirfazli, A. 2007. Analytical study for atomization of biodiesels and their blends in a typical injector: Surface tension and viscosity effects, Fuel. 86, 1534-1544.

Jansri, S. 2007. Kinetics of methyl ester production from crude palm oil by using acid-alkali catalyst. Thesis. Master of Mechanical Engineering. Prince of Songkla University.

Jansri, S., Prateepchaikul, G. and Ratanawilai, B. 2007. Acid-Catalyzed Esterification: A technique for Reducing Hight Free Fatty Acid in Mixed Crude Palm Oil, Kasetsart Journal Natural Science. 41, 555-560

Haldar, S.K., Ghosh, B.B. and Nag, A. 2009. Studies on the comparison of performance and emission characteristics of a diesel engine using three degummed non-edible vegetable oils, Biomass and Bioenergy. 33, 1013-1018.

Kalam, M.A. and Masjuki, H.H. 2004. Emission and deposit characteristics of a small diesel engine when operated on preheated crude palm oil, Biomass and Bioenergy. 27, 289-297.

Ladommatos, N. and Goacher, J. 1995. Equations for predicting the cetane number of diesel fuels from their physical properties, Fuel. 74, 1083-1093.

Leevijit, T. 2006. Design and Performance Test of A continuous Reactor for Palm Methyl Ester Production. Thesis. Doctor OF Philosophy. Energy Technology. King Mongkut's University of Technology Thonburi.

Leevijit, T., Tongurai, C., Prateepchaikul, G. and Wisutmethangoon, W. 2008. Performance test of a 6-stage continuous reactor for palm methyl ester production, Bioresource Technology. 99, 214-221.

Leevijit, T. and Prateepchaikul, G. 2011. Comparative performance and emissions of IDI-turbo automobile diesel engine operated using degummed, deacidified mixed crude palm oil–diesel blends, Fuel. 90, 1487–1491.

Lepera, M.E. 1982. Fuel quality vs engine types, Hydrocarbon Processing. 61, 139-142.

Murugesan, A., Umarani, C., Subramanian, R. and Nedunchezhian, N. 2009. Bio-diesel as an alternative fuel for diesel engines-A review, Renewable & Sustainable Energy Reviews. 13, 653-662.

Rakopoulos, C.D., Rakapoulos, D.C. Hountalas, D.T., Giakoumis, E.G. and Andritsakis, E.C. 2008. Performance and emissions of bus engine using blends of diesel fuel with bio-diesel of sunflower or cottonseeds oils derived from Greek feedstock, Fuel. 87, 147-157.

Ramadhas, A. S., Jayaraj, S. and Muraleedharan, C. 2004. Use of vegetable oils as I.C. engine fuels-A review, Renewwable Energy. 29, 727-742.

Ren, Y., Huang, Z., Miao, H., Di, Y., Jiang, D., Zeng, K., Liu, B. and Wang, X. 2008. Combustion and emissions of a diesel engine fuelled with diesel-oxygenate blends, Fuel. 87, 2691-2697.

Sumathi, S., Chai, S.P. and Mohamed, A.R. 2008. Utilization of oil palm as a source of renewable energy in Malaysia, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 12, 2404-2421.

Xue, J., Grift, T. E. and Hansena, A. C. 2011. Effect of biodiesel on engine performances and emissions, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 15, 1098–1116.

ภาคผนวก ก
ผลการทดสอบเครื่องยนต์บนแท่นไดนาโมมิเตอร์

ตารางภาคผนวก ก1 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงก่อนใช้งาน

Fuel Flow Rate (lph)	Torque (Nm)	Speed (rpm)	Eff (%)	Room Temp (^{o}C)	Exhaust Temp (^{o}C)	Water Inlet Temp (^{o}C)	Water Outlet Temp (^{o}C)	Humidity	Horse Power (kW)	BSFC (g/kW.hr)
3.35	20.73	2400.00	14.44	31.70	162.40	33.80	75.80	50.60	5.21	540.22
4.10	40.36	2400.00	22.97	32.90	190.30	35.50	81.50	47.60	10.14	339.59
5.19	60.90	2408.00	27.51	33.80	226.40	37.60	83.10	42.60	15.35	283.94
6.14	80.18	2402.00	30.53	35.20	264.40	39.20	84.70	40.50	20.16	255.78
7.11	100.75	2401.00	33.12	36.20	302.00	40.40	86.80	38.30	25.33	235.81
8.28	120.06	2404.00	33.92	37.10	343.20	42.00	87.20	36.40	30.22	230.16
9.63	140.00	2408.00	34.05	38.50	377.90	44.10	83.10	32.10	35.30	229.18
11.14	160.22	2400.00	33.60	39.50	425.90	42.00	86.10	34.70	40.26	232.43

ตารางภาคผนวก ก2 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง 200 ชั่วโมง

Fuel Flow Rate (lph)	Torque (Nm)	Speed (rpm)	Eff (%)	Room Temp (^{o}C)	Exhaust Temp (^{o}C)	Water Inlet Temp (^{o}C)	Water Outlet Temp (^{o}C)	Humidity	Horse Power (kW)	BSFC (g/kW.hr)
3.29	20.71	2402.00	14.70	32.40	171.30	35.70	82.90	41.80	5.21	530.61
4.18	40.05	2402.00	22.40	33.10	203.30	37.40	85.00	38.90	10.07	348.60
5.20	59.50	2400.00	26.73	33.80	239.50	38.10	84.70	37.70	14.95	292.15
6.38	80.04	2400.00	29.29	34.80	280.40	39.50	82.50	36.60	20.11	266.46
7.52	100.06	2401.00	31.09	36.40	325.90	41.30	86.80	33.60	25.15	251.13
8.63	120.79	2406.00	32.77	36.40	361.80	42.70	84.50	29.90	30.43	238.24
9.75	140.34	2401.00	33.64	36.90	389.30	43.90	85.90	29.10	35.28	232.15
11.30	159.95	2402.00	33.09	38.50	443.10	46.50	88.80	27.70	40.23	235.97

ตารางภาคผนวก ก3 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง 400 ชั่วโมง

Fuel Flow Rate (lph)	Torque (Nm)	Speed (rpm)	Eff (%)	Room Temp (^{o}C)	Exhaust Temp (^{o}C)	Water Inlet Temp (^{o}C)	Water Outlet Temp (^{o}C)	Humidity	Horse Power (kW)	BSFC (g/kW.hr)
3.34	20.11	2400.00	14.07	33.80	149.00	33.60	66.20	39.20	5.05	555.21
4.20	40.08	2400.00	22.27	36.40	180.20	37.60	71.30	37.00	10.07	350.30
5.26	60.00	2402.00	26.68	38.80	221.60	39.50	77.40	34.30	15.09	292.82
6.39	79.59	2400.00	29.09	40.40	250.10	40.00	76.70	33.00	20.00	268.39
7.68	99.67	2403.00	30.34	41.80	292.00	40.90	78.80	32.40	25.08	257.26
8.86	120.02	2400.00	31.65	43.90	331.90	41.80	78.10	30.20	30.16	246.78
10.04	139.35	2400.00	32.42	45.80	358.60	43.70	76.20	29.10	35.02	240.85
11.38	160.22	2401.00	32.52	48.10	407.20	46.20	79.30	27.00	40.28	237.34

ตารางภาคผนวก ก4 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง 600 ชั่วโมง

Fuel Flow Rate (lph)	Torque (Nm)	Speed (rpm)	Eff (%)	Room Temp (^{o}C)	Exhaust Temp (^{o}C)	Water Inlet Temp (^{o}C)	Water Outlet Temp (^{o}C)	Humidity	Horse Power (kW)	BSFC (g/kW.hr)
3.21	20.87	2400.00	15.17	31.50	147.80	30.30	73.70	41.20	5.24	514.17
3.99	40.27	2400.00	23.60	33.40	176.80	32.70	82.20	39.10	10.12	331.22
5.10	59.75	2400.00	27.39	36.00	223.80	35.00	81.30	36.00	15.01	285.33
6.35	80.78	2400.00	29.71	38.30	265.80	36.90	76.90	33.80	20.30	262.78
7.58	100.20	2401.00	30.88	40.00	310.50	38.80	85.20	32.40	25.19	252.78
8.94	120.28	2400.00	31.42	42.30	349.10	41.10	82.50	30.50	30.22	248.47
10.11	139.85	2402.00	32.34	44.60	381.10	42.70	81.80	28.60	35.17	241.46
11.52	160.68	2400.00	32.57	46.20	425.20	44.10	84.00	28.00	40.38	239.67

ตารางภาคผนวก ก5 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง 800 ชั่วโมง

Fuel Flow Rate (lph)	Torque (Nm)	Speed (rpm)	Eff (%)	Room Temp (^{o}C)	Exhaust Temp (^{o}C)	Water Inlet Temp (^{o}C)	Water Outlet Temp (^{o}C)	Humidity	Horse Power (kW)	BSFC (g/kW.hr)
3.29	19.87	2400.00	14.11	31.20	174.90	32.90	78.80	47.20	4.99	553.50
4.27	40.99	2405.00	22.48	34.30	216.10	37.40	83.80	40.30	10.32	347.51
5.40	60.00	2407.00	26.01	35.00	262.50	37.80	87.50	39.30	15.12	299.98
6.27	79.51	2401.00	29.64	36.00	295.50	38.50	86.10	37.20	19.99	263.50
7.51	100.13	2406.00	31.23	37.10	345.50	40.20	88.40	34.60	25.22	250.10
9.14	119.79	2409.00	30.71	38.50	379.20	42.70	85.20	32.40	30.21	254.11
10.72	145.94	2400.00	31.80	40.60	429.90	43.90	85.90	28.80	36.67	245.55
11.40	160.17	2401.00	32.22	38.50	457.20	42.70	85.90	36.30	40.26	246.00

ตารางภาคผนวก ก6 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง 1000 ชั่วโมง

Fuel Flow Rate (lph)	Torque (Nm)	Speed (rpm)	Eff (%)	Room Temp (^{o}C)	Exhaust Temp (^{o}C)	Water Inlet Temp (^{o}C)	Water Outlet Temp (^{o}C)	Humidity	Horse Power (kW)	BSFC (g/kW.hr)
3.45	20.34	2405.00	13.80	30.10	153.50	31.70	77.20	37.00	5.12	565.83
4.32	39.29	2410.00	21.32	30.10	184.80	32.70	83.40	36.20	9.91	366.03
5.28	60.00	2402.00	26.56	30.50	234.00	34.50	88.10	33.90	15.09	293.93
6.41	80.03	2400.00	29.13	32.20	281.60	38.50	88.10	30.70	20.11	267.75
7.88	100.01	2400.00	29.62	33.40	328.50	41.10	86.80	30.60	25.13	263.39
9.14	120.14	2401.00	30.71	34.50	370.90	41.60	85.00	31.30	30.20	254.21
10.46	140.48	2401.00	31.39	34.80	406.50	43.00	86.80	30.10	35.31	248.80
12.03	160.79	2401.00	31.22	35.20	462.90	44.40	86.10	28.90	40.42	250.00

ตารางภาคผนวก ก7 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20% เป็นเชื้อเพลิงเริ่มใช้งาน

Fuel Flow Rate (lph)	Torque (Nm)	Speed (rpm)	Eff (%)	Room Temp (^{o}C)	Exhaust Temp (^{o}C)	Water Inlet Temp (^{o}C)	Water Outlet Temp (^{o}C)	Humidity	Horse Power (kW)	BSFC (g/kW.hr)
3.5	20.8	2400.0	14.1	33.8	171.5	35.7	82.7	48.3	5.2	554.5
4.6	40.8	2401.0	20.9	34.3	210.9	36.9	82.2	46.4	10.3	374.0
5.7	60.4	2402.0	24.8	35.5	256.9	38.1	88.6	42.6	15.2	314.6
6.6	80.5	2405.0	28.6	35.7	279.5	37.8	85.9	43.3	20.3	272.8
7.6	100.1	2400.0	30.6	36.7	315.1	39.2	84.0	42.0	25.2	254.8
9.2	120.7	2405.0	30.8	37.1	369.5	40.2	85.0	40.7	30.4	253.5
10.5	140.0	2401.0	31.3	38.1	420.4	41.6	88.6	37.7	35.2	249.6

ตารางภาคผนวก ก8 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20% ที่ 200 ชั่วโมง

Fuel Flow Rate (lph)	Torque (Nm)	Speed (rpm)	Eff (%)	Room Temp (^{o}C)	Exhaust Temp (^{o}C)	Water Inlet Temp (^{o}C)	Water Outlet Temp (^{o}C)	Humidity	Horse Power (kW)	BSFC (g/kW.hr)
3.37	20.87	2400.00	14.90	33.10	147.60	35.00	75.10	43.50	5.24	539.79
4.53	40.96	2400.00	21.11	35.20	187.70	36.90	80.60	40.10	10.29	369.71
5.68	60.55	2400.00	24.87	37.10	221.90	38.30	80.90	37.70	15.22	313.59
7.00	80.38	2403.00	26.84	39.50	267.20	40.20	78.30	35.40	20.22	290.76
8.20	99.78	2400.00	28.43	41.10	298.60	40.40	84.70	33.50	25.07	274.72
9.84	120.00	2403.00	28.50	43.20	354.40	41.30	85.00	32.20	30.19	273.77
10.88	140.55	2400.00	30.16	46.00	390.60	45.10	82.70	30.40	35.32	258.77

ตารางภาคผนวก ก9 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20% ที่ 400 ชั่วโมง

Fuel Flow Rate (lph)	Torque (Nm)	Speed (rpm)	Eff (%)	Room Temp (^{o}C)	Exhaust Temp (^{o}C)	Water Inlet Temp (^{o}C)	Water Outlet Temp (^{o}C)	Humidity	Horse Power (kW)	BSFC (g/kW.hr)
3.61	21.09	2411.00	13.70	32.00	175.60	33.40	64.40	45.30	5.32	569.59
4.45	40.37	2408.00	21.26	32.20	208.00	34.30	72.50	43.30	10.18	367.26
5.68	60.56	2402.00	24.89	32.70	252.70	35.20	80.90	40.90	15.23	313.27
7.24	80.80	2401.00	26.08	32.40	303.90	36.20	88.60	39.20	20.31	299.41
8.83	100.69	2409.00	26.74	32.90	345.60	38.10	85.40	36.70	25.40	292.06
10.22	119.77	2401.00	27.38	31.00	382.50	31.00	66.70	39.50	30.11	285.13
11.37	141.47	2400.00	29.05	32.90	430.00	37.10	82.90	34.60	35.55	268.67

ตารางภาคผนวก ก10 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20% ที่ 600 ชั่วโมง

Fuel Flow Rate (lph)	Torque (Nm)	Speed (rpm)	Eff (%)	Room Temp (^{o}C)	Exhaust Temp (^{o}C)	Water Inlet Temp (^{o}C)	Water Outlet Temp (^{o}C)	Humidity	Horse Power (kW)	BSFC (g/kW.hr)
3.25	20.08	2401.00	14.45	40.20	145.20	34.10	57.40	38.10	5.05	540.83
4.23	40.82	2400.00	22.52	40.60	176.30	36.40	70.00	39.20	10.26	346.41
5.36	60.16	2402.00	26.24	42.00	209.50	37.60	76.70	39.80	15.13	297.59
6.78	80.38	2401.00	27.69	44.60	252.20	39.00	77.60	38.80	20.21	281.85
8.17	99.97	2400.00	28.58	47.20	292.50	40.40	71.60	37.40	25.12	273.20
9.74	119.29	2401.00	28.61	50.00	348.50	41.80	77.40	35.30	29.99	272.83
11.09	140.50	2402.00	29.60	53.40	391.10	43.20	77.90	32.20	35.33	263.64

ตารางภาคผนวก ก11 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20% ที่ 800 ชั่วโมง

Fuel Flow Rate (lph)	Torque (Nm)	Speed (rpm)	Eff (%)	Room Temp (^{o}C)	Exhaust Temp (^{o}C)	Water Inlet Temp (^{o}C)	Water Outlet Temp (^{o}C)	Humidity	Horse Power (kW)	BSFC (g/kW.hr)
3.43	20.31	2403.00	13.84	33.10	142.80	32.20	66.20	58.70	5.11	563.85
4.43	39.45	2399.00	20.78	36.00	179.00	35.50	73.70	50.10	9.91	375.54
5.64	59.21	2400.00	24.50	38.80	223.50	38.10	71.80	46.00	14.88	318.42
6.98	80.06	2400.00	26.79	42.00	270.60	40.00	77.20	41.30	20.12	291.45
8.45	100.96	2400.00	27.88	43.20	311.40	41.60	75.80	39.00	25.37	279.79
9.97	120.96	2403.00	28.36	45.30	364.50	43.00	76.20	37.50	30.43	275.19
11.28	139.14	2402.00	28.83	47.90	401.80	44.60	77.60	34.80	34.99	270.78

ตารางภาคผนวก ก12 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 20% ที่ 1000 ชั่วโมง

Fuel Flow Rate (lph)	Torque (Nm)	Speed (rpm)	Eff (%)	Room Temp (^{o}C)	Exhaust Temp (^{o}C)	Water Inlet Temp (^{o}C)	Water Outlet Temp (^{o}C)	Humidity	Horse Power (kW)	BSFC (g/kW.hr)
3.39	21.57	2401.00	14.87	36.90	141.90	34.50	59.70	40.60	5.42	525.16
4.35	40.65	2399.00	21.82	39.20	178.30	37.80	68.60	37.80	10.21	357.87
5.49	60.09	2400.00	25.55	41.80	215.90	39.00	71.10	35.40	15.10	305.42
6.76	79.85	2400.00	27.56	44.10	252.00	40.90	74.10	33.20	20.06	283.00
8.22	100.39	2400.00	28.53	46.50	300.00	42.30	73.00	31.20	25.23	273.72
9.60	120.54	2404.00	29.35	50.00	354.70	44.80	74.80	31.00	30.34	265.79
10.93	140.90	2401.00	30.12	53.20	395.00	46.90	76.20	28.80	35.42	259.21

ตารางภาคผนวก ก13 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40% เริ่มใช้งาน

Fuel Flow Rate (lph)	Torque (Nm)	Speed (rpm)	Eff (%)	Room Temp (^{o}C)	Exhaust Temp (^{o}C)	Water Inlet Temp (^{o}C)	Water Outlet Temp (^{o}C)	Humidity	Horse Power (kW)	BSFC (g/kW.hr)
3.49	19.92	2404.00	13.36	35.50	143.80	34.80	65.80	48.30	5.01	584.70
4.20	40.58	2400.00	22.56	38.50	170.80	37.80	71.30	45.70	10.20	345.99
5.34	59.46	2400.00	25.97	42.30	209.00	40.60	72.30	43.00	14.94	300.22
6.54	80.90	2402.00	28.90	46.20	252.00	42.30	74.80	39.70	20.35	270.02
8.05	99.90	2402.00	28.99	49.50	300.60	43.70	76.00	39.30	25.12	269.15
9.62	120.73	2404.00	29.36	49.70	339.00	44.10	76.00	33.80	30.39	265.92
11.21	140.63	2400.00	29.28	52.70	405.60	46.50	77.40	31.50	35.34	266.47

ตารางภาคผนวก ก14 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40% ที่ 200 ชั่วโมง

Fuel Flow Rate (lph)	Torque (Nm)	Speed (rpm)	Eff (%)	Room Temp (^{o}C)	Exhaust Temp (^{o}C)	Water Inlet Temp (^{o}C)	Water Outlet Temp (^{o}C)	Humidity	Horse Power (kW)	BSFC (g/kW.hr)
3.64	19.90	2400.00	12.76	32.70	140.00	33.60	59.00	49.20	5.00	611.46
4.45	40.50	2400.00	21.25	35.70	173.90	37.80	68.10	44.40	10.18	367.30
5.54	59.86	2400.00	25.23	39.00	209.00	40.90	70.00	40.30	15.04	309.38
6.62	80.27	2404.00	28.35	41.60	238.80	42.00	72.30	38.30	20.20	275.23
7.94	100.71	2401.00	29.63	44.40	283.70	43.40	73.40	36.20	25.32	263.44
9.20	120.80	2404.00	30.73	47.20	324.50	45.10	73.70	33.40	30.41	254.17
10.40	140.32	2402.00	31.53	50.20	367.00	46.50	76.00	31.80	35.29	247.56

ตารางภาคผนวก ก15 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40% ที่ 400 ชั่วโมง

Fuel Flow Rate (lph)	Torque (Nm)	Speed (rpm)	Eff (%)	Room Temp (^{o}C)	Exhaust Temp (^{o}C)	Water Inlet Temp (^{o}C)	Water Outlet Temp (^{o}C)	Humidity	Horse Power (kW)	BSFC (g/kW.hr)
3.55	19.57	2400.00	12.87	33.60	137.10	35.50	59.00	53.50	4.92	606.40
4.40	40.82	2400.00	21.68	35.50	166.50	38.10	64.60	47.90	10.26	360.33
5.42	60.77	2400.00	26.17	37.60	198.00	39.70	70.20	45.10	15.27	298.15
6.65	80.71	2400.00	28.33	39.50	236.10	41.10	74.60	42.90	20.28	275.43
7.96	100.04	2400.00	29.34	40.00	282.00	43.20	76.20	42.40	25.14	265.99
9.55	120.35	2405.00	29.47	42.30	334.00	44.40	77.60	40.50	30.30	264.71
10.94	139.75	2400.00	29.83	44.80	376.10	47.20	79.00	39.60	35.12	261.69

ตารางภาคผนวก ก16 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40% ที่ 600 ชั่วโมง

Fuel Flow Rate (lph)	Torque (Nm)	Speed (rpm)	Eff (%)	Room Temp (^{o}C)	Exhaust Temp (^{o}C)	Water Inlet Temp (^{o}C)	Water Outlet Temp (^{o}C)	Humidity	Horse Power (kW)	BSFC (g/kW.hr)
3.75	19.69	2400.00	12.28	34.50	148.80	35.70	60.40	45.60	4.95	636.66
4.64	39.32	2400.00	19.79	36.00	175.60	37.80	64.80	44.80	9.88	394.48
5.75	60.26	2401.00	24.50	37.80	215.40	40.00	70.40	43.00	15.15	318.84
6.94	79.90	2401.00	26.90	39.70	247.00	41.30	73.90	42.50	20.09	290.24
8.34	100.33	2400.00	28.08	40.90	289.70	42.70	74.60	40.50	25.21	277.88
9.76	119.82	2401.00	28.69	42.00	339.00	44.10	76.90	40.00	30.12	272.18
11.22	140.49	2400.00	29.24	42.30	375.00	46.00	77.20	38.70	35.30	266.97

ตารางภาคผนวก ก17 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40% ที่ 800 ชั่วโมง

Fuel Flow Rate (lph)	Torque (Nm)	Speed (rpm)	Eff (%)	Room Temp (^{o}C)	Exhaust Temp (^{o}C)	Water Inlet Temp (^{o}C)	Water Outlet Temp (^{o}C)	Humidity	Horse Power (kW)	BSFC (g/kW.hr)
3.63	20.04	2400.00	12.88	32.90	141.10	34.80	60.40	51.20	5.04	605.52
4.58	40.90	2403.00	20.89	35.20	172.50	38.30	66.20	47.10	10.29	373.87
5.63	60.47	2399.00	25.06	37.10	201.10	39.70	71.10	42.90	15.19	311.37
6.84	80.41	2400.00	27.43	39.20	235.20	40.90	70.90	40.10	20.21	284.36
8.21	99.70	2400.00	28.34	41.80	281.60	42.70	73.40	40.50	25.05	275.28
9.72	120.42	2400.00	28.94	45.50	336.00	44.10	76.00	38.40	30.26	269.83
11.17	139.82	2400.00	29.24	48.80	382.20	46.50	80.00	35.70	35.13	267.06

ตารางภาคผนวก ก18 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรดผสมในน้ำมันดีเซล 40% ที่ 1000 ชั่วโมง

Fuel Flow Rate (lph)	Torque (Nm)	Speed (rpm)	Eff (%)	Room Temp (^{o}C)	Exhaust Temp (^{o}C)	Water Inlet Temp (^{o}C)	Water Outlet Temp (^{o}C)	Humidity	Horse Power (kW)	BSFC (g/kW.hr)
3.96	20.55	2402.00	12.13	33.80	146.60	35.00	66.00	40.60	5.17	643.64
4.80	40.30	2402.00	19.64	35.20	172.20	37.60	72.70	39.90	10.14	397.83
5.70	60.37	2400.00	24.72	37.40	206.40	39.70	76.50	37.00	15.17	315.63
6.90	80.20	2400.00	27.13	39.20	239.50	41.10	76.70	35.80	20.15	287.60
8.19	100.40	2400.00	28.63	40.60	282.70	43.40	76.70	35.40	25.23	272.69
9.52	120.80	2409.00	29.74	42.70	319.30	44.80	76.90	34.10	30.47	262.46
11.11	140.49	2403.00	29.56	44.60	374.50	46.20	77.90	33.70	35.35	264.03

ภาคผนวก ข
ผลการวิเคราะห์น้ำมันปาล์มลดกัม-ลดกรด

PTT PUBLIC COMPANY LIMITED
QUALITY CONTROL DIVISION, TERMINAL OPERATIONS, OIL BUSINESS
555 ARDNARONG RD., KLONGTOEY, BANGKOK 10260, THAILAND.
TEL. +66 (0) 2239-7148 FAX. +66 (0) 2239-7149 WWW.PTTPLC.COM

Certificate of Analysis

Product : 2L1-50

Cert. No.	T-10/29206		
Sample Lab No.	: LP-10/28620	Delivery Date	: 03 Nov 2010
Customer/Supplier	: External Customer (Testing Service)	Date of Test	: 03 Nov 2010
Sample Location	: Diesel Engine	Date of Sampling	: 26 Oct 2010
Sample Condition	: Normal		
Product Source	: คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์		

TEST ITEM	TEST METHOD	LIMIT	RESULT
1. Kinematic Viscosity @ 100 °C,mm²/s	ASTM D 445 -09	Report	11.32
2. Total Base Number,mgKOH/g	ASTM D 4739 -96	Report	1.52
3. Total Acid Number,mgKOH/g	ASTM D 664 -95	Report	1.74
4. Aluminium Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02[C2]	Report	3.7
5. Silicon Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02[C2]	Report	40
6. Iron Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02[C2]	Report	33
7. Lead Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02[C2]	Report	0.80
8. Chromium Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02[C2]	Report	0.73
9. Copper Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02[C2]	Report	4.0
10. Nickel Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02[C2]	Report	0.83
11. Tin Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02[C2]	Report	6.4

Remark :

Approved by : Witthaya Yungkone
Position Title : Lube Product Quality Control Section Manager
Date of Issue : 10 Nov 2010

(This certificate relates only to the sample tested. Reproduction of it or any of its constituent part is not permitted without the consent of Quality Control Division manager)

PTT PUBLIC COMPANY LIMITED
QUALITY CONTROL DIVISION, TERMINAL OPERATIONS, OIL BUSINESS
555 ARDNARONG RD., KLONGTOEY, BANGKOK 10260, THAILAND.
TEL. +66 (0) 2239-7148 FAX. +66 (0) 2239-7149 WWW.PTTPLC.COM

Certificate of Analysis

Product : 2L1-1000

Cert. No.	T-10/29207		
Sample Lab No.	: LP-10/28621	Delivery Date	: 03 Nov 2010
Customer/Supplier	: External Customer (Testing Service)	Date of Test	: 03 Nov 2010

Sample Location	: Diesel Engine	Date of Sampling	: 26 Oct 2010
Sample Condition	: Normal		
Product Source	: คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์		

TEST ITEM	TEST METHOD	LIMIT	RESULT
1. Kinematic Viscosity @ 100 °C,mm²/s	ASTM D 445 -09	Report	10.41
2. Total Base Number,mgKOH/g	ASTM D 4739 -96	Report	1.93
3. Total Acid Number,mgKOH/g	ASTM D 664 -95	Report	2.16
4. Aluminium Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02[C2]	Report	1.8
5. Silicon Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02[C2]	Report	4.5
6. Iron Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02[C2]	Report	7.3
7. Lead Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02[C2]	Report	0.077
8. Chromium Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02[C2]	Report	0.21
9. Copper Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02[C2]	Report	0.32
10. Nickel Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02[C2]	Report	0.51
11. Tin Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02[C2]	Report	0.39

Remark :

Approved by : Witthaya Yungtone
Position Title : Lube Product Quality Control Section Manager
Date of Issue : 10 Nov 2010

(This certificate relates only to the sample tested. Reproduction of it or any of its constituent part is not permitted without the consent of Quality Control Division manager)

PTT PUBLIC COMPANY LIMITED
QUALITY CONTROL DIVISION, TERMINAL OPERATIONS, OIL BUSINESS
555 ARDNARONG RD., KLONGTOEY, BANGKOK 10260, THAILAND.
TEL. +66 (0) 2239-7148 FAX. +66 (0) 2239-7149 WWW.PTTPLC.COM

Certificate of Analysis

Product : 2L2-50

Cert. No.	T-10/29208		
Sample Lab No.	: LP-10/28622	Delivery Date	: 03 Nov 2010
Customer/Supplier	: External Customer (Testing Service)	Date of Test	: 03 Nov 2010

Sample Location	: Diesel Engine	Date of Sampling	: 26 Oct 2010
Sample Condition	: Normal		
Product Source	: คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์		

	TEST ITEM	TEST METHOD	LIMIT	RESULT
1.	Kinematic Viscosity @ 100 °C,mm²/s	ASTM D 445 -09	Report	11.07
2.	Total Base Number,mgKOH/g	ASTM D 4739 -96	Report	2.11
3.	Total Acid Number,mgKOH/g	ASTM D 664 -95	Report	2.08
4.	Aluminium Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02^{C2}	Report	11
5.	Silicon Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02^{C2}	Report	24
6.	Iron Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02^{C2}	Report	45
7.	Lead Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02^{C2}	Report	4.7
8.	Chromium Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02^{C2}	Report	0.99
9.	Copper Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02^{C2}	Report	5.8
10.	Nickel Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02^{C2}	Report	0.91
11.	Tin Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02^{C2}	Report	10

Remark :

Approved by : Witthaya Yungkiine
Position Title : Lube Product Quality Control Section Manager
Date of Issue : 10 Nov 2010

(This certificate relates only to the sample tested. Reproduction of it or any of its constituent part is not permitted without the consent of Quality Control Division manager)

PTT PUBLIC COMPANY LIMITED
QUALITY CONTROL DIVISION, TERMINAL OPERATIONS, OIL BUSINESS
555 ARDNARONG RD., KLONGTOEY, BANGKOK 10260, THAILAND.
TEL. +66 (0) 2239-7148 FAX. +66 (0) 2239-7149 WWW.PTTPLC.COM

Certificate of Analysis

Product : 2L2-1000

Cert. No.	T-10/29209		
Sample Lab No.	: LP-10/28623	Delivery Date	: 03 Nov 2010
Customer/Supplier	: External Customer (Testing Service)	Date of Test	: 03 Nov 2010
Sample Location	: Diesel Engine	Date of Sampling	: 26 Oct 2010
Sample Condition	: Normal		
Product Source	: คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์		

TEST ITEM	TEST METHOD	LIMIT	RESULT
1. Kinematic Viscosity @ 100 °C,mm²/s	ASTM D 445 -09	Report	14.62
2. Total Base Number,mgKOH/g	ASTM D 4739 -96	Report	5.83
3. Total Acid Number,mgKOH/g	ASTM D 664 -95	Report	2.10
4. Aluminium Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02[C2]	Report	0.97
5. Silicon Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02[C2]	Report	7.5
6. Iron Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02[C2]	Report	5.1
7. Lead Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02[C2]	Report	nil
8. Chromium Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02[C2]	Report	0.10
9. Copper Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02[C2]	Report	2.2
10. Nickel Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02[C2]	Report	0.52
11. Tin Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02[C2]	Report	0.57

Remark :

Approved by : Witthaya Yungkane
Position Title : Lube Product Quality Control Section Manager
Date of Issue : 10 Nov 2010

(This certificate relates only to the sample tested. Reproduction of it or any of its constituent part is not permitted without the consent of Quality Control Division manager)

PTT PUBLIC COMPANY LIMITED
QUALITY CONTROL DIVISION, TERMINAL OPERATIONS, OIL BUSINESS
555 ARONARONG RD., KLONGTOEY, BANGKOK 10260, THAILAND.
TEL. +66 (0) 2239-7148 FAX. +66 (0) 2239-7149 WWW.PTTPLC.COM

Certificate of Analysis

Product : 2L4-50

Cert. No.	T-10/29210		
Sample Lab No.	: LP-10/28624	Delivery Date	: 03 Nov 2010
Customer/Supplier	: External Customer (Testing Service)	Date of Test	: 03 Nov 2010
Sample Location	: Diesel Engine	Date of Sampling	: 26 Oct 2010
Sample Condition	: Normal		
Product Source	: คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์		

	TEST ITEM	TEST METHOD	LIMIT	RESULT
1.	Kinematic Viscosity @ 100 °C,mm²/s	ASTM D 445 -09	Report	11.38
2.	Total Base Number,mgKOH/g	ASTM D 4739 -96	Report	5.85
3.	Total Acid Number,mgKOH/g	ASTM D 664 -95	Report	3.06
4.	Aluminium Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02^{C2}	Report	2.3
5.	Silicon Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02^{C2}	Report	29
6.	Iron Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02^{C2}	Report	18
7.	Lead Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02^{C2}	Report	0.36
8.	Chromium Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02^{C2}	Report	0.33
9.	Copper Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02^{C2}	Report	3.2
10.	Nickel Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02^{C2}	Report	0.44
11.	Tin Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02^{C2}	Report	0.83

Remark :

Approved by : Witthaya Yunghone
Position Title : Lube Product Quality Control Section Manager
Date of Issue : 10 Nov 2010

(This certificate relates only to the sample tested. Reproduction of it or any of its constituent part is not permitted without the consent of Quality Control Division manager)

PTT PUBLIC COMPANY LIMITED
QUALITY CONTROL DIVISION, TERMINAL OPERATIONS, OIL BUSINESS
555 ARDNARONG RD., KLONGTOEY, BANGKOK 10260, THAILAND
TEL. +66 (0) 2239-7148 FAX. +66 (0) 2239-7149 WWW.PTTPLC.COM

Certificate of Analysis

Product : 2L4-1000

Cert. No.	T-10/29211		
Sample Lab No.	: LP-10/28625	Delivery Date	: 03 Nov 2010
Customer/Supplier	: External Customer (Testing Service)	Date of Test	: 03 Nov 2010
Sample Location	: Diesel Engine	Date of Sampling	: 26 Oct 2010
Sample Condition	: Normal		
Product Source	: คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์		

TEST ITEM	TEST METHOD	LIMIT	RESULT
1. Kinematic Viscosity @ 100 °C,mm²/s	ASTM D 445 -09	Report	11.42
2. Total Base Number,mgKOH/g	ASTM D 4739 -96	Report	1.81
3. Total Acid Number,mgKOH/g	ASTM D 664 -95	Report	3.38
4. Aluminium Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02^{C2}	Report	1.1
5. Silicon Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02^{C2}	Report	7.4
6. Iron Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02^{C2}	Report	4.8
7. Lead Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02^{C2}	Report	0.044
8. Chromium Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02^{C2}	Report	0.13
9. Copper Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02^{C2}	Report	0.80
10. Nickel Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02^{C2}	Report	0.26
11. Tin Content,mg/kg	ASTM D 5185 -02^{C2}	Report	0.34

Remark :

Approved by : Witthaya Yungkane
Position Title : Lube Product Quality Control Section Manager
Date of Issue : 10 Nov 2010

(This certificate relates only to the sample tested. Reproduction of it or any of its constituent part is not permitted without the consent of Quality Control Division manager)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายทวีศักดิ์ ขัตติยวรรณ

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5110120015

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ครุศาสตรอุตสาหกรรมบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	2549

ทุนงานวิจัย

มูลนิธิชัยพัฒนา

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ทวีศักดิ์ ขัตติยวรรณ, กำพล ประทีปชัยกูร, ธีระยุทธ หลีวิจิตร, 2552. “การทดสอบน้ำมันปาล์มลดยางเหนียว-ลดกรดผสมน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซล สำหรับยานพาหนะระยะยาว: ความก้าวหน้าที่ 400 ชั่วโมง”. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, หน้า 27-28, เชียงใหม่, ประเทศไทย, 4-7 พฤศจิกายน 2552