การทดสอบการใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์ม ทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องจักรกลทางการเกษตร

Testing of Degummed Deacidified Palm Oil and Palm Methyl Ester as Diesel Fuel Substitute in Agricultural Machines

สวิทชาติ ญาณแก้ว

Sawitchat Yankaew

วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Engineering Thesis in Mechanical Engineering

Prince of Songkla University

2548

ว TP684. P3 ส51 2548 ฉ. 2

Bib Key 264998.1

11 ส.ค. 2548

ชื่อวิทยานิพนธ์	การทดสอบการใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์ม ทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องจักรกลทางการเกษตร
ผู้เขียน	นายสวิทชาติ ญาณแก้ว
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการที่ปรึกษา

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์กำพล ประทีปชัยกูร)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวุธ วิสุทธิ์เมธางกูร)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์สมาน เสนงาม)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์กำพล ประทีปชัยกูร)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวุธ วิสุทธิ์เมธางกูร)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์วิทยา จงเจริญ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมเกียรติ นาคกุล)

..... กรรมการ
(ดร. สุกฤทธิรา รัตนวิไล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุรพล อารีย์กุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การทดสอบการใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์ม ทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องจักรกลทางการเกษตร
ผู้เขียน	นายสวิทชาติ ญาณแก้ว
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	2547

บทคัดย่อ

เนื่องจากปริมาณความต้องการการใช้น้ำมันดีเซลทั่วโลกมีค่าสูงขึ้น รวมถึงปริมาณแหล่งสำรองของน้ำมันดิบก็มีอยู่อย่างจำกัด จึงส่งผลให้ราคาน้ำมันดีเซลมีแนวโน้มสูงขึ้น สำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นผู้นำเข้าน้ำมันดีเซล หน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐ และเอกชน มีความตื่นตัวในการหาหนทางรองรับ และแก้ไขปัญหาดังกล่าว มาตรการต่างๆ ได้นำมาใช้ เพื่อเป็นการประหยัดน้ำมันดีเซล นอกเหนือจากนี้เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนได้มีความสนใจ และพยายามที่จะนำน้ำมันพืชมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล ทั้งในรูปของการนำมาใช้โดยตรง และในรูปของเมทิลเอสเตอร์ หรือ ไบโอดีเซล การนำน้ำมันพืชมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลจะต้องมีการคำนึงถึงสิ่งต่างๆ หลายประการ อย่างเช่น ความผันแปรของราคาวัตถุดิบ และการส่งผลกระทบถึงสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม สิ่งที่ต้องคำนึงถึง เป็นประการแรกคือ ความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำมันพืชมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลโดยการพิจารณาถึง ผลกระทบที่มีต่อเครื่องยนต์

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของสมรรถนะ และการสึกหรอของเครื่องยนต์ เมื่อนำน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์ม มาใช้ในเครื่องยนต์ทางการเกษตร โดยเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ในการศึกษา ได้ทำการวิเคราะห์สมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงทั้งหมดที่นำมาใช้ เครื่องยนต์ที่ใช้เป็นเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว แบบ IDI สำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดมีการดัดแปลงเครื่องยนต์เล็กน้อย โดยมีการอุ่นร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนป้อนเข้าห้องเผาไหม้ ในการทดสอบเครื่องยนต์ ได้จำลองสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ที่ 75% ของภาระสูงสุด ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที เครื่องยนต์ที่เดินด้วยเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ จะถูกนำมาทดสอบสมรรถนะ และวิเคราะห์หาความสึกหรอของเครื่องยนต์ เมื่ออายุการใช้งานครบ 50 ชั่วโมง (ช่วงรันอิน) และเมื่ออายุการใช้งานของเครื่องยนต์ครบทุกๆ 500 ชั่วโมง 4 ประเด็น ที่มีการพิจารณาในการทดสอบสมรรถนะ คือ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพเชิงความร้อน อุณหภูมิก๊าซไอเสีย และ ปริมาณควันดำใน

ก๊าซไอเสีย ส่วนการสึกหรอของเครื่องยนต์นั้นพิจารณาจาก 3 วิธี คือ การชั่งน้ำหนักของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ การวิเคราะห์โลหะที่ผสมในน้ำมันหล่อลื่น และการวัดระยะห่างปากแหวน

สำหรับน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด ผลการศึกษาสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงแสดงให้เห็นว่า ค่าความร้อนสูงมีค่าต่ำกว่า น้ำมันดีเซลประมาณ 5% อุณหภูมิจุดวาบไฟสูงกว่าประมาณ 2.5 เท่า และที่สำคัญคือมีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลไม่น้อยกว่า 9 เท่า ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์แสดงให้เห็นว่า อัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 67.2 – 95.2% ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและ ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียมีค่าน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ ใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 9.9-12.4% และ 0-9.3% ตามลำดับ ส่วนผลการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ แสดงให้เห็นว่า การสึกหรอมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล นอกจากนี้เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดมีอายุการใช้งานประมาณ 1,200 ชั่วโมง ในขณะที่เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอายุการใช้งาน มากกว่า 6,000 ชั่วโมง

สำหรับเมทิลเอสเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา มีความบริสุทธิ์ในช่วงประมาณ 84.7 – 95.7 %wt ผลการศึกษาสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงแสดงให้เห็นว่า ค่าซีเทนนัมเบอร์มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำของข้อกำหนดน้ำมันดีเซล คือมากกว่า 47 ค่าความถ่วงจำเพาะ มีค่าใกล้เคียงกับ ข้อกำหนดของน้ำมันดีเซล ค่าความหนืดและอุณหภูมิจุดวาบไฟมีค่าสูงกว่าค่าสูงสุดของข้อกำหนดน้ำมันดีเซล ประมาณ 0.2 เท่า และ 1.3 เท่า ตามลำดับ ส่วนค่าความร้อนสูงมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ แสดงให้เห็นว่า อัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ประมาณ 16.7 – 20.1% ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียมีค่าน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 0.6-1.3% และ 0-7.7% ตามลำดับ ส่วนผลการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์แสดงให้เห็นว่า การสึกหรอมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์มีอายุการ ใช้งานประมาณ 3,000 ชั่วโมง

โดยสรุป ผลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและการสึกหรอของเครื่องยนต์สูงที่สุด รองลงมาคือเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ และต่ำสุดคือเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลตามลำดับ

Thesis Title	Testing of Degummed Deacidified Palm Oil and Palm Methyl Ester as Diesel Fuel Substitute in Agricultural Machines
Author	Mr.Sawitchat Yankaew
Major Program	Mechanical Engineer
AcademicYear	2004

Abstract

Due to the increase of the demand for diesel fuel around the world combined with the limit of the reserve of the oil, the price of diesel fuel tends to be higher continuously. For Thailand, diesel-import country, the government and companies alerted and tried to support and solve this situation. The issues for saving were declared and implemented. Furthermore, for sustainable development, there are the efforts to use the vegetable oils as diesel alternative fuel in various forms such as direct use even though methyl ester or biodiesel. To use vegetable oils as diesel alternative fuel, various considerations should be evaluated such as the cost and environmental effects. However, the primal consideration that must be evaluated is that the possibility to use vegetable oils in the diesel engine by investigating the various effects on the engine.

This research was conducted to study the effects on performance and wear of the agricultural diesel engine when degummed deacidified palm oil and palm methyl ester were used as fuel. The results were compared with the engine running diesel fuel as base. In this research, the fuel properties of degummed deacidified palm oil, palm methyl ester, and diesel were analyzed and compared. The IDI single cylinder Kubuta engines were used in performance and wear tests. For degummed deacidified palm oil, a little modification of the engine was done to preheat the oil to 120 $^{\circ}$C before inject to the combustion chamber. For long-term performance test, the engines were run at 75% of the maximum load and speed of 2,200 rpm. The engines were tested on the dynamo test bed at the running time of 50 hours for run-in period and, then, at the running time of every 500 hours. The 4 performances were measured including specific fuel consumption, thermal efficiency, exhaust gas temperature, and exhaust black smoke. For engine wear, 3 methods were used to analyze including weighing of the engine parts, analyzing the metal content of the lubricant oil, and measuring the cap of the ring.

For degummed deacidified palm oil, the fuel property study shows that the higher heating value is lower than diesel fuel by 5%. Flash point is higher than diesel fuel around 2.5 times. Importantly, the viscosity is higher than diesel fuel more than 9 times. The performance tests indicate that the specific fuel consumption is higher than diesel fuel in range of 62.7 – 95.2%. Thermal efficiency and exhaust black smoke are lower than diesel fuel in ranges of 9.9-12.4% and 0-9.3%, respectively. The wear tests indicate that the engine wear is higher than diesel fuel. In addition, the engine running with degummed deacidified palm oil has the run time around 1,200 hours before an overhaul is required while the run time of the engine running with diesel fuel is more than 6,000 hours.

For palm methyl ester, the purity of methyl ester used in this research is in range of 84.7-95.7 %wt. The fuel property study shows that the cetane number is higher than the lower limit of diesel fuel. That is, it is more than 47. The specific gravity is similar to diesel fuel. Viscosity and flash point are higher than the upper limits of diesel fuel by 0.2 and 1.3 times, respectively. The higher heating value is lower than diesel fuel. The performance tests indicate that the specific fuel consumption is higher than diesel fuel in range of 16.7-20.1%. Thermal efficiency and exhaust black smoke are lower than diesel fuel in ranges of 0.6-1.3% and 0-7.7%, respectively. The wear tests indicate that the engine wear is higher than diesel fuel and the engine has the run time around 3,000 hours.

In conclusion, the results of this research reveal that the agricultural diesel engine running with degummed deacidified palm oil has the highest specific fuel consumption and wear. The engine running with palm methyl ester has the specific fuel consumption and wear lower than the engine running with degummed deacidified palm oil; however, they are higher than the engine running with diesel fuel.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ กำพล ประทีปชัยกูร ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดการทำวิจัยและการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ สมาน เสนงาน และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรวุธ วิสุทธิ์เมธางกูร กรรมการที่ปรึกษาร่วมที่ได้ให้คำแนะนำต่างๆ ในการทำวิจัยและตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ วิทยา จงเจริญ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมเกียรติ นาคกุล กรรมการผู้แทนคณะวิศวกรรมศาสตร์ และ ดร. สุกฤทธิรา รัตนวิไล กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ มูลนิธิชัยพัฒนาในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย ขอขอบคุณ คุณครูช่างทุกท่านที่ช่วยจัดทำอุปกรณ์ และให้คำปรึกษาการทำงานวิจัย ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ให้คำปรึกษา และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือในการทดสอบสมบัติเชื้อเพลิง ขอขอบคุณ ด่านศุลกากร อำเภอสะเดา ที่ให้การสนับสนุนน้ำมันโอลีอิน สำหรับใช้ผลิตเมทิลเอสเตอร์ สำหรับใช้ในการทดลอง ขอขอบคุณ บริษัทสยามคูโบต้า ที่ช่วยให้คำปรึกษาและตรวจสอบสภาพเครื่องยนต์

ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ เพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ตลอดจนทุกท่านที่มิได้กล่าวมา ณ. ที่นี้ ที่มีส่วนช่วยในการทำวิจัย และให้คำแนะนำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี

สวิทชาติ ญาณแก้ว

ผลงานการเผยแพร่วิทยานิพนธ์นี้

สวิทชาติ ญาณแก้ว กำพล ประทีปชัยกูร สมาน เสนงาม วรวุธ วิสุทธิ์เมธางกูร และถนัด ฉิมพลี. 2546. "การทดสอบการใช้น้ำมันเมทิลเอสเตอร์ทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องจักรกลทางการเกษตร" การประชุมวิชาการ "วิศวฯ มอ.วิชาการ." ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ : 21-22 สิงหาคม 2546, หน้า Mech 9-1

สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
ผลงานการเผยแพร่วิทยานิพนธ์นี้	(8)
สารบาญ	(9)
รายการตาราง	(11)
รายการภาพประกอบ	(12)
ตัวย่อและสัญลักษณ์	(19)
บทที่	1
1. บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของหัวข้อในการทำวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
การตรวจเอกสาร	2
2. เครื่องยนต์ดีเซล น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และเมทิลเอสเตอร์	8
บทนำ	8
เครื่องยนต์ดีเซล	8
น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด	32
เมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์ม	33
3. วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการทดสอบ	49
บทนำ	49
วัสดุ และอุปกรณ์	49
วิธีการทดสอบ	51
4. ผลการทดลอง	55
บทนำ	55
ผลการทดสอบสมบัติของเชื้อเพลิง	55

สารบาญ(ต่อ)

	หน้า
ผลการทดสอบสมมรรถนะของเครื่องยนต์	59
ผลการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์	87
การเดินเครื่องยนต์	102
5. วิจารณ์และสรุปผล	107
บทนำ	107
สมบัติของเชื้อเพลิง	107
สมรรถนะของเครื่องยนต์	108
การสึกหรอของเครื่องยนต์	113
สรุปผล	115
บรรณานุกรม	117
ภาคผนวก	121
ก ผลการวิเคราะห์เมทิลเอสเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ	121
ข ผลการวัดระยะห่างของปากแหวน	134
ค รายละเอียดวิธีการทดสอบ	138
ประวัติผู้เขียน	151

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1.	เมทิลเอสเตอร์มาตรฐาน EUROPE และ USA	43
2.	แสดงรายละเอียดข้อกำหนดทางคุณภาพ ของน้ำมันเชลชีวภาพตามมาตรฐาน ASTM PS 121 เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลปิโตรเลียมตามมาตรฐาน ASTM D 975	44
3.	การเปรียบเทียบสมบัติของเมทิลเอสเตอร์ น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และน้ำมันดีเซล	56
4.	ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์ที่ผลิตใช้ในการทดสอบ	57
5.	เปรียบเทียบผลการทดสอบสมบัติเมทิลเอสเตอร์	58
6.	เปรียบเทียบสมบัติของเมทิลเอสเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ กับน้ำมันดีเซล มาตรฐาน ASTM D975	58

รายการภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
1.	อุปกรณ์ที่สำคัญของเครื่องยนต์	9
2.	วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์	9
3.	จังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ	11
4.	เสื้อสูบ (Cylinder block)	13
5.	กระบอกสูบ (Cylinder)	14
6.	ฝาสูบ (Cylinder Head)	14
7.	วาล์ว หรือลิ้น (Valve)	15
8.	สปริงวาล์ว (Valve Spring)	15
9.	ลักษณะของลูกสูบ	16
10.	ลักษณะของแหวนลูกสูบ	16
11.	ชนิดของแหวนลูกสูบ	16
12.	การทำงานของแหวนลูกสูบในจังหวะดูด	17
13.	การทำงานของแหวนลูกสูบในจังหวะอัด	18
14.	การทำงานของแหวนลูกสูบในจังหวะคาย	18
15.	ก้านสูบ (Connecting Rod)	19
16.	เพลาข้อเหวี่ยง (Crankshaft)	19
17.	เพลาลูกเบี้ยว (Camshaft)	20
18.	ลักษณะของห้องเผาไหม้แบบต่างๆ	21
19.	ห้องเผาไหม้ช่วยแบบแบบพรี- คอมบัสชั่นแชมเบอร์	21
20.	กลไกวาล์วหรือลิ้น	22
21.	แบบหม้อน้ำรังผึ้ง	23
22.	ท่อไอเสีย	24
23.	กรองอากาศแบบใช้กระดาษ	24
24.	กรองอากาศแบบใช้น้ำมัน	25
25.	ชิ้นส่วนที่สำคัญของระบบน้ำมันเชื้อเพลิง	26
26.	ส่วนประกอบของปั๊มแบบลูกสูบ	27
27.	ส่วนประกอบของชุดลิ้นส่ง	28
28.	ส่วนประกอบ ชุดลูกปั๊ม	28

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
29.	ชุดเฟืองฟันหวี	29
30.	ลูกเบี้ยวปั๊ม	30
31.	หัวฉีดแบบทำงานด้วยแรงดัน	30
32.	อุปกรณ์ควบคุมความเร็วแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	31
33.	น้ำมันปาล์มที่ได้จากผลปาล์มในขั้นตอนต่างๆ	32
34.	อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตเมทิลเอสเตอร์	35
35.	ถังปฏิกรณ์ขนาด 100 ลิตร	36
36.	ฮีทเตอร์สำหรับอุ่นน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดของเครื่องยนต์ ET 805	52
37.	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์หลังจากรันอิน50 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	61
38.	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์หลังจากรันอิน50 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	61
39.	อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์หลังจากรันอิน50 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	62
40.	ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์หลังจากรันอิน50 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	62
41.	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์หลังจากรันอิน50 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	63
42.	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์หลังจากรันอิน50 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	63
43.	อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์หลังจากรันอิน50 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	64
44.	ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์หลังจากรันอิน50 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	64
45.	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ 500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	67
46.	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ 500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	67

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
47.	อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	68
48.	ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	68
49.	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ 500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	69
50.	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ 500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	69
51.	อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	70
52.	ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	70
53.	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ 1,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	73
54.	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ 1,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	73
55.	อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 1,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	74
56.	ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 1,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	74
57.	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ 1,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	75
58.	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ 1,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	75
59.	อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 1,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	76
60.	ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 1,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	76

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
61.	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ 1,500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	78
62.	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ 1,500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	78
63.	อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 1,500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	79
64.	ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 1,500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	79
65.	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ 1,500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	80
66.	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ 1,500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	80
67.	อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 1,500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	81
68.	ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 1,500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	81
69.	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ 2,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	83
70.	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ 2,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	83
71.	อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 2,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	84
72.	ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 2,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	84
73.	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ 2,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	85
74.	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ 2,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	85

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
75.	อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 2,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	86
76.	ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 2,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	86
77.	น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นส่วนเครื่องยนต์หลังใช้งาน 500 ชั่วโมงแรก ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	88
78.	น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นส่วนเครื่องยนต์หลังใช้งาน 500 ชั่วโมงแรก ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบ เครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	89
79.	น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นส่วนเครื่องยนต์หลังใช้งาน 500 ชั่วโมงที่สอง ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบ/นาที	89
80.	น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นส่วนเครื่องยนต์หลังใช้งาน 500 ชั่วโมงที่สอง ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบ/นาที	90
81.	น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นส่วนเครื่องยนต์หลังใช้งาน 500 ชั่วโมงที่สาม ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบ/นาที	90
82.	น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นส่วนเครื่องยนต์หลังใช้งาน 500 ชั่วโมงที่สาม ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	91
83.	น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ที่หลังใช้งาน 500 ชั่วโมงที่สี่ ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	91
84.	น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นส่วนเครื่องยนต์หลังใช้งาน 500 ชั่วโมงที่สี่ ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	92
85.	ปริมาณเหล็กในน้ำมันหล่อลื่น ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	94
86.	ปริมาณตะกั่วในน้ำมันหล่อลื่น ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	95
87.	ปริมาณโครเมียมในน้ำมันหล่อลื่น ที่ภาระ 75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	95
88.	ปริมาณอลูมิเนียมในน้ำมันหล่อลื่น ที่ภาระ 75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	96

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
89.	ปริมาณทองแดงในน้ำมันหล่อลื่น ที่ภาระ 75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	96
90.	ปริมาณซิลิกอนในน้ำมันหล่อลื่น ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	97
91.	ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น ที่ภาระ75% ของ กำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	97
92.	ค่าความเป็นด่างของน้ำมันหล่อลื่น ที่ ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบ/นาที	98
93.	ค่าความเป็นกรดของน้ำมันหล่อลื่น ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	98
94.	การสึกหรอของปากแหวนอัดเบอร์ 1 ทุกช่วง 500 ชั่วโมง ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	100
95.	การสึกหรอของปากแหวนอัดเบอร์ 2 ทุกช่วง 500 ชั่วโมง ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	100
96.	การสึกหรอของปากแหวนอัดเบอร์ 3 ทุกช่วง 500 ชั่วโมง ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	101
97.	การสึกหรอของปากแหวนน้ำมัน ทุกช่วง 500 ชั่วโมง ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	101
98.	หัวลูกสูบมีรอยแตก	104
99.	บ่า และบู๊ชวาล์วสึกมาก	104
100.	เขม่าติดที่กระเดื่องกดวาล์ว	105
101.	แหวนลูกสูบติดตาย	105
102.	กราฟแสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ET802 ใช้น้ำมันดีเซล เครื่องยนต์ET803 ใช้เมทิลเอสเตอร์ ที่ภาระคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	109
103.	กราฟแสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ET802 ใช้น้ำมันดีเซล เครื่องยนต์ET803 ใช้เมทิลเอสเตอร์ ที่ภาระคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที	110

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

104. กราฟแสดงอุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ET802 ใช้น้ำมันดีเซลเครื่องยนต์ ET803 ใช้เมทิลเอสเตอร์ ที่ภาระคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที 111

105. กราฟแสดงควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ET802 ใช้น้ำมันดีเซล เครื่องยนต์ET803 ใช้เมทิลเอสเตอร์ ที่ภาระคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที 112

106. น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นส่วนเครื่องยนต์หลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง เครื่องยนต์ET802 ใช้น้ำมันดีเซล เครื่องยนต์ET803 ใช้เมทิลเอสเตอร์ และเครื่องยนต์ET805 ใช้น้ำมันปาล์ม ลดกัมลดกรด ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์2,200 รอบต่อนาที 114

107. น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นส่วนเครื่องยนต์หลังใช้งาน 2,000 ชั่วโมง เครื่องยนต์ET802 ใช้น้ำมันดีเซล เครื่องยนต์ET803 ใช้เมทิลเอสเตอร์ ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที 115

ตัวย่อและสัญลักษณ์

ET 802	=	เครื่องยนต์ดีเซล รุ่น ET80 เครื่องที่ 2
ET803	=	เครื่องยนต์ดีเซล รุ่น ET80 เครื่องที่ 3
ET 805	=	เครื่องยนต์ดีเซล รุ่น ET80 เครื่องที่ 5
LHV	=	Lower Heating Value
HHV	=	Higher Heating Value
ME	=	Methyl Ester
TG	=	Triglyceride
FA	=	Fatty Acid
DG	=	Diglyceride
MG	=	Monoglyceride

บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของหัวข้อที่ทำการวิจัย

เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเพิ่มขึ้นทุกปี แต่ยังไม่มีแหล่งผลิตน้ำมันดิบปิโตรเลียมที่มีศักยภาพเพียงพอสำหรับใช้ภายในประเทศ ประกอบกับสภาวะน้ำมันในตลาดโลกมีราคาสูงขึ้นทำให้ประเทศไทยได้รับผลกระทบเป็นอย่างมาก จากสถานการณ์น้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศไทยตั้งแต่ปลายปี 2543 เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบันราคาน้ำมันได้เพิ่มขึ้น ทำให้มีการตื่นตัวในเรื่องของพลังงานอีกทั้งในช่วงหลายๆ ที่ผ่านมา หน่วยงานต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นของรัฐหรือเอกชน รวมทั้งสถาบันการศึกษาจำนวนมากได้ให้ความสนใจ และทำงานวิจัยเพื่อนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล อีกทั้งการสนับสนุนให้ใส่ใจสิ่งแวดล้อม การลดปัญหามลภาวะ จึงมีการสนใจการนำไบโอดีเซลมาทำการศึกษาทดลองใช้กับเครื่องยนต์ ซึ่งประเทศไทยสามารถผลิตไบโอดีเซลได้เองจากผลผลิตทางการเกษตร ที่ผ่านมาจากผลงานวิจัยการทดสอบใช้น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอีน ทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตรเพื่อทดสอบสมรรถภาพ และการสึกหรอของเครื่องยนต์ทางการเกษตรในระยะยาว (ธีรวัฒน์ อภิชาโต, 2545) ปัญหาดังกล่าวเกิดจากความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอีนมีค่าสูงมาก ซึ่งสูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลถึง 20 เท่า และ 10 เท่า ตามลำดับ (Sapuan, et al., 1996;Knothe ; Dunn and Bagby, 1996) ด้วยเหตุของการทำให้เครื่องยนต์ชำรุด เพราะมีความหนืดสูง ในโครงการวิจัยนี้ จึงได้นำเชื้อเพลิง 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และ เมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์ม มาใช้ทดสอบกับเครื่องจักรกลทางการเกษตรเนื่องจากน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดมีการกำจัดกรด และยางเหนียวออกแล้ว และก่อนปล่อยเข้าในระบบฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ ได้ทำการอุ่นที่อุณหภูมิ 120°ซ ก่อน เพื่อลดความหนืด ส่วนเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มนั้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการทางเคมี มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุล ที่เรียกว่ากรรมวิธี transesterification ทำให้ได้เมทิลเอสเตอร์ซึ่งมีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาก เพื่อศึกษาถึงผลของการใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดนี้ กับเครื่องยนต์ทางการเกษตรในทุกๆ ด้านเป็นระยะเวลานาน เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นอย่างแท้จริง โดยเฉพาะผลของการใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดที่มีต่อการสึกหรอของเครื่องยนต์ ในการใช้งานในระยะยาวยังขาดข้อมูลสนับสนุนที่เพียงพอ ดังนั้นจึงเป็นการสมควรที่จะทำการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงข้อมูล และเป็นแนวทางในการนำไปใช้งานจริงได้อย่างถูกต้องต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

2.1 เพื่อศึกษาสมบัติ และผลกระทบที่มีต่อเครื่องยนต์ เมื่อนำน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องจักรกลทางการเกษตร และเปรียบเทียบกับเครื่องจักรกลทางการเกษตรที่ใช้น้ำมันดีเซล

2.2 เพื่อศึกษาสมบัติ และผลกระทบที่มีต่อเครื่องยนต์ เมื่อนำเมทิลเอสเตอร์ผลิตจากน้ำมันปาล์ม มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องจักรกลทางการเกษตร และเปรียบเทียบกับเครื่องจักรกลทางการเกษตรที่ใช้น้ำมันดีเซล

3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

3.1 ทราบถึงผลกระทบของการใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และเมทิลเอสเตอร์ ทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องจักรทางการเกษตร

3.2 เพื่อเป็นข้อมูลและแนวทางในการใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และเมทิลเอสเตอร์มาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องจักรกลทางการเกษตร ในประเทศไทยได้อย่างถูกต้องเหมาะสม

3.3 เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับภาคเอกชน และภาครัฐบาลอีกทั้งเกษตรและผู้เกี่ยวข้องนำไปใช้ประโยชน์อีกต่อไป

4. การตรวจเอกสาร

สำหรับการวิจัยในการนำเอาน้ำมันพืชดิบมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลนั้นได้มีการทำงานวิจัยกันอย่างกว้างขว้าง ทั้งในและต่างประเทศมาเป็นระยะเวลานานกว่า 30 ปีแล้ว ทำให้นักวิจัยไทยมีข้อมูลพื้นฐานที่ดีสำหรับการวิจัยในเรื่องนี้เพิ่มเติมต่อไป อย่างเช่น

Anon (1982) ทำการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้น้ำมันพืชใช้แล้วนำมากรอง และผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนน้ำมันพืช 95% น้ำมันดีเซล 5% ผลการทดสอบ ไม่พบปัญหาการสกปรกของหัวฉีดและการเกาะติดของเขม่าคาร์บอนในเครื่องยนต์ แต่พบว่าน้ำมันหล่อลื่นข้นขึ้น เนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปผสม สาเหตุที่น้ำมันหล่อลื่นข้นขึ้น เกิดมาจากกระบวนการรวมตัวกันเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ (Polymerization) ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะคู่หลายตัว (Polyunsaturated Fatty Acids) ในน้ำมันพืช ทำให้ต้องเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นเร็วขึ้น

Peter, Ran และ Ziemke (1982) ทำการผสมน้ำมันถั่วเหลืองลดกัม กับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนผสม 2:1 ใช้ทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลเป็นเวลามากกว่า 600 ชั่วโมง พบว่า สมรรถนะของเครื่องยนต์

ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เขาจึงสรุปว่าน้ำมันผสมในอัตราส่วนผสมดังกล่าวใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตรได้

Payor และคณะ (1983) ทำการทดสอบเครื่องยนต์ฟอร์ด ขนาด 2.59 ลิตร รุ่น 3 cylinder 2600 series โดยใช้น้ำมันถั่วเหลืองสามชนิด คือ น้ำมันถั่วเหลืองดิบ น้ำมันถั่วเหลืองผ่านการกำจัดยางเหนียวออก และ เอทิลเอสเตอร์ของน้ำมันถั่วเหลือง ผลปรากฏว่า การทดสอบระยะสั้นน้ำมันทั้งสามชนิดมีความเหมาะสมในการใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล แต่ในระยะยาวน้ำมันถั่วเหลืองดิบไม่สามารถใช้ได้ เนื่องจากหัวฉีดสกปรกมาก เป็นสาเหตุให้กำลังลดลง

จากงานวิจัยจากหลาย ๆ สถาบันและตัวอย่างที่กล่าวข้างต้นพบว่า การนำน้ำมันพืชดิบมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรง 100 เปอร์เซ็นต์ จะมีปัญหาที่ระบบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง การ เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ สตาร์ทติดยาก นักวิจัยส่วนใหญ่เชื่อว่า สาเหตุมาจากความหนืดของน้ำมันพืชสูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลมาก จึงได้ทำการแก้ไข และทดสอบใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลต่อไป

Pryde (1983) ได้สรุปข้อดี และข้อเสียของการใช้น้ำมันพืชทดแทนน้ำมันดีเซล ดังนี้

ข้อดีของน้ำมันพืช

ก. เป็นของเหลวตามธรรมชาติ เคลื่อนย้ายขนส่งได้สะดวก
ข. ค่าความร้อนประมาณ 80% ของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล
ค. หาได้ง่ายและใช้ได้ทันที
ง. น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว สามารถนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

ข้อเสียของน้ำมันพืช

ก. ความหนืดสูง
ข. ความสามารถในการระเหยกลายเป็นไอต่ำ
ค. มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวสูง

Freedman และคณะ (1984) ทำการทดลอง โดยใช้น้ำมันพืช 4 ประเภท คือ น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันจากเมล็ดฝ้าย น้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันถั่วเหลือง เป็นสารตั้งต้นภายใต้สภาพและเงื่อนไข คือ ทำปฏิกิริยากับเมทานอล ที่อัตราส่วนโมล 6:1 โดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และควบคุมอุณหภูมิที่ 60 °ซ ตลอดการทดลอง สามารถประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นเมทิลเอสเตอร์ได้ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ จากการสุ่มตัวอย่างที่เวลา 1 นาทีของการทดลองสำหรับน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันดอกทานตะวัน และหลังจากนั้น 1 ชั่วโมง อัตราเปอร์เซ็นต์เมทิล

เอสเตอร์ส่วนใหญ่จะมีพฤติกรรมในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน สำหรับน้ำมันพืชทั้ง 4 ชนิด คือ เปอร์เซ็นต์ความเป็นเมทิลเอสเตอร์ประมาณ 93 ถึง 98 เปอร์เซ็นต์

Ryan III และคณะ (1984) ได้ทำการทดสอบเครื่องยนต์แบบ Indirect Injection และเครื่องยนต์แบบ Direct Injection โดยใช้น้ำมันพืชหลาย ๆ ชนิดอุ่นร้อนที่อุณหภูมิ 140°ซ ผลปรากฏว่า เครื่องยนต์แบบ Indirect Injection ไม่มีปัญหาในการเดินเครื่องระยะยาว แต่เครื่องยนต์แบบ Direct Injection มีปัญหาเรื่องการสะสมของสารประกอบคาร์บอนพอสมควร แต่ดีกว่าการใช้โดยไม่ได้อุ่นร้อนเป็นอย่างมาก

Chiyuki และ Jun-ichi (1988) ทำการศึกษาน้ำมันพืชเรพซีด กับเครื่องยนต์ดีเซลยันมาร์ สูบเดียว มีห้องเผาไหม้ล่วงหน้า ทำการทดสอบในเชิงเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล โดยใช้น้ำมันเรพซีดในสภาพที่เป็นน้ำมันดิบ น้ำมันลดกัม และน้ำมันลดกรด ผลการทดสอบสรุปว่า น้ำมันเรพซีดในสภาพลดกรดแล้วสามารถใช้แทนน้ำมันดีเซลได้ ส่วนน้ำมันลดกัม และน้ำมันดิบใช้ไม่ได้ เนื่องจากมีการหลงเหลือจากการเผาไหม้อยู่ภายในห้องเผาไหม้เป็นจำนวนมาก

Cvengros และ Povazanec (1996) ได้ศึกษาการผลิตเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันเรพซีด โดยใช้โซดาไฟเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิต และได้สรุปว่า น้ำมันที่ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันไม่ควรมีความเป็นกรด (acidity number) สูงกว่า 2 mg KOH/g และปริมาณน้ำต้องไม่เกิน 0.1 wt%. การมีค่าความเป็นกรดเกินปริมาณที่สูงกว่า 2 mg KOH/g อาจแก้ไขได้ด้วยการเพิ่มโซดาไฟ แต่การเกิดปฏิกิริยาจะต่ำลง มีการสูญเสียเมทิลเอสเตอร์ในชั้นของกลีเซอรัลสูงขึ้น และเกิดเจลในชั้นของเมทิลเอสเตอร์ โดยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรด และโซดาไฟจะเกิดเป็นสบู่ และสบู่ซึ่งเป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ เมื่อมีในปริมาณที่สูงจะทำให้กลีเซอรัลละลายในชั้นเมทิลเอสเตอร์มากขึ้น ส่งผลให้การแยกกลีเซอรัลโดยแรงโน้มถ่วงโลกทำได้ยากขึ้นเป็นผลให้เกิดสมดุลเร็วขึ้น และหยุดยั้งการเกิดปฏิกริยา Cvengros และ Povazanec ได้ทำการขจัดสบู่ของเกลือโซเดียมโดยการใช้กรดฟอสฟอริก สลายสบู่ให้เป็นกรดไขมัน และโซเดียมฟอสเฟตก่อนที่จะทำให้เป็นกลางด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะได้น้ำและสบู่ของเกลือแอมโมเนียม แต่สบู่ของเกลือแอมโมเนียมสามารถเผาไหม้ได้ทำให้ไม่มีปริมาณเถ้าเหลืออยู่

Peterson และคณะ (1996) ได้ทำการทดสอบใช้เอสเตอร์ผลิตจากน้ำมันเรพซีด และน้ำมันถั่วเหลือง ที่ผ่านการใช้ทอดอาหารแล้ว ในรถบรรทุกขนาดเล็ก เครื่องยนต์ดีเซลวิ่งบนถนนตามระยะทางจริง ผลปรากฏว่า ในระยะทาง 1400 ไมล์แรก แรงม้าของเครื่องยนต์ที่ใช้เอสเตอร์มีค่าเทียบเท่ากับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล แต่ในช่วงหลังจนถึง 35,500 ไมล์ กำลังแรงม้าของเครื่องยนต์ที่ใช้เอสเตอร์มีการลดลง และน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล 2 เปอร์เซ็นต์

ในการทดลองชุดเดียวกัน Peterson ได้ทำการทดลองใช้เอสเตอร์ในเครื่องยนต์ดีเซล ในห้องทดลอง ช่วงระยะเวลา 200 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์ผลการสึกหรอจากการปนเปื้อนอยู่ในระบบน้ำมันหล่อลื่น ได้ผลดังนี้

- ปริมาณเหล็กที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นซึ่งบ่งบอกถึงการสึกหรอของกระบอกสูบ เพลาลูกเบี้ยว และเฟืองขับ พบว่าของเครื่องยนต์ที่ใช้เอสเตอร์มีค่ามากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเล็กน้อย แต่อยู่ในช่วงที่กำหนด

- ปริมาณอลูมิเนียมที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งบ่งบอกถึงการ สึกหรอของ ลูกสูบ และ แบริ่ง พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เอสเตอร์มีค่าไม่แตกต่างจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล

- การวิเคราะห์ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งาน 200 ชั่วโมงพบว่า ของเครื่องยนต์ที่ใช้เอสเตอร์อยู่ในช่วงมาตรฐานที่กำหนดและใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล

- แหวนลูกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้เอสเตอร์ สึกหรอต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ดีเซลมาก แต่ลูกสูบจะสึกหรอสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเล็กน้อย ส่วนการสึกหรอของลิ้นไอดีจะมีค่าเท่ากับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล แต่การ สึกหรอของลิ้นไอเสียจะต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเล็กน้อย

- ปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้เอสเตอร์ จะมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลประมาณ 10 – 15 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร

Ma และคณะ (1998) ได้ทดลองการผลิตเอสเตอร์จากไขมันวัวกับเมทานอล โดยใช้ปฏิกิริยาตัวเร่งเบส พบว่าในช่วง 1 นาทีแรกอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะค่อนข้างช้ามาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการกวนผสมแต่ที่ระยะเวลาตั้งแต่ 1ถึง 5 นาที ต่อมา ปฏิกิริยาจะเกิดรวดเร็วมาก และอัตราเปอร์เซ็นต์ความเป็นเมทิลเอสเตอร์ก็เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน หลังจากนั้นอัตราเร็วของปฏิกิริยาดังกล่าวจะค่อยๆ ลดลงจนค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นเมทิลเอสเตอร์สูงสุดที่เวลาประมาณ 15 นาที ส่วนปริมาณของไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ จะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและค่อยๆ ลดลงจนมีค่าคงที่ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการ จะมีปริมาณของโมโนกลีเซอไรด์มากกว่าไดกลีเซอไรด์มากกว่าไตรกลีเซอไรด์ตามลำดับ

Kelvin, Shane และ Paul (1999) ทำการศึกษาน้ำมันเรพซีด ในสภาพลดกัมลดกรดแล้วนำมากรองด้วยกรองที่ความละเอียดขนาด 5 ไมครอน นำไปผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 25:75 ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีห้องเผาไหม้ล่วงหน้า โดยเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลทำการทดสอบเป็นเวลา 170 ชั่วโมง ผลการทดสอบพบว่า กำลังของเครื่องยนต์และอัตราความสิ้น

เปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิงไม่แตกต่างกับการใช้น้ำมันดีเซลมากนัก และไม่มีความผิดปกติของปริมาณโลหะที่สึกหรอผสมในน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งาน

Altin และคณะ (2001) ได้สรุปว่า เมื่อใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล จะมีการสูญเสียกำลังงานเพียงเล็กน้อย แต่จะมีการปลดปล่อยอนุภาคของแข็ง (particulate matter) ที่สูงกว่า และหากใช้น้ำมันพืชดิบเป็นเชื้อเพลิงจะต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ ส่วนเมทิลเอสเตอร์ที่ผลิตจากน้ำมันพืชจะมีสมรรถนะของเครื่องยนต์และสมบัติของก๊าซไอเสียที่ปล่อยออกมาใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซล ดังนั้นจะได้รับการยอมรับในการใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้สูงกว่า

Crabbe และคณะ (2001) ได้แสดงความเห็นว่า น้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil) เป็นน้ำมันพืชที่สำคัญ 1 ใน 4 ของตลาดโลก และมีราคาถูกกว่าน้ำมันcanola น้ำมันเรพซีด และน้ำมันถั่วเหลือง ซึ่งเหมาะสมในการใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล โดย Crabbe และคณะ ได้ผลิตเมทิลเอสเตอร์ โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกริยา และสรุปว่า การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันที่เหมาะสมควรใช้สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมันเชิงโมเลกุลเท่ากับ 40:1 กรดซัลฟิวริก 5%(vol/wt%) ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชม.

Bari และคณะ (2002) ได้ทำการทดสอบเครื่องยนต์ ยี่ห้อยันม่าร์ รุ่น L60AE-DTM single cylinder 4 stroke air cooled diesel engine. โดยใช้น้ำมันพืชอุ่นร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าที่อุณหภูมิห้อง (30 – 32°ซ) ความหนืดของน้ำมันพืชมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 10 เท่า และมีของแข็งผสมอยู่ จึงใช้เดินเครื่องโดยตรงไม่ได้ หากต้องการให้ได้น้ำมันพืชไหลดีต้องอุ่นที่อุณหภูมิอย่างน้อย 60°ซ และ หากต้องการให้ความหนืดใกล้เคียงน้ำมันดีเซล ต้องอุ่นที่อุณหภูมิอย่างน้อย 92°ซ

ธีรวัฒน์ อภิชาโต (2545) ทำการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลสูบนอนสูบเดียว 4 จังหวะ ยี่ห้อคูโบต้า รุ่น ET 80 แบบ IDI 500 ซี.ซี. โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มโอเลอีน ผลปรากฏว่าเครื่องยนต์สามารถทำงานได้ แต่การสึกหรอของเครื่องยนต์ ได้แก่ แหวนลูกสูบ โดยเฉพาะแหวนอัด สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมาก ทำให้อายุการใช้งานของเครื่องยนต์ลดลงจากการใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 2 เท่า ในกรณีที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอีน และ10 เท่าในกรณีที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ

จากงานวิจัยข้างต้น พบว่า การนำน้ำมันพืชดิบ มาปรับปรุงคุณภาพ ในรูปแบบต่างๆ เช่น น้ำมันพืชลดกัม การผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนต่างๆ น้ำมันพืชลดกรด หรือแม้แต่การอุ่นร้อนเพื่อให้ความหนืดลดลง เพื่อนำมาใช้แทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลนั้น ได้ผลที่แตกต่างกันไป ปัจจุบันในต่างประเทศ ได้ทำการวิจัยกันอย่างหลากหลาย แต่ในประเทศไทยยังมีผลการวิจัยกันน้อยมาก อีกทั้งยังไม่มีผู้ใดออกมายืนยันหรือรับรองผลการนำน้ำมันพืชมาใช้แทนน้ำมันดีเซล จึงทำให้ยังเป็นที่สงสัยของบุคคลทั่วไป ประกอบกับประเทศไทย โดยเฉพาะภาคใต้ มีปาล์มน้ำมันเป็น

พืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ในงานวิจัยครั้งนี้ จึงได้นำน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด ทำการอุ่นร้อนที่อุณหภูมิ 120 °ซ ขณะใช้งาน และเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มมาทดสอบใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ และเป็นการตอบคำถาม หรือข้อสงสัยให้กับบุคคลทั่วไป

บทที่ 2

เครื่องยนต์ดีเซล น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และเมทิลเอสเตอร์

1. บทนำ

ในการทดสอบน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และเมทิลเอสเตอร์ในเครื่องยนต์ดีเซลนั้น องค์ประกอบหลักที่จำเป็นต้องรู้จัก ประกอบด้วยเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ทำการทดสอบน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และเมทิลเอสเตอร์ ในบทนี้จะกล่าวถึงการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล รายละเอียดของเครื่องยนต์ดีเซลที่จะใช้ทดสอบในด้านอุปกรณ์และระบบที่สำคัญ ส่วนน้ำมันลดกัมลดกรด และเมทิลเอสเตอร์จะเป็นในส่วนของการทำความเข้าใจในส่วนของขบวนการแปรรูป การเตรียมน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และเมทิลเอสเตอร์ ก่อนใช้ในการทดลองรวมทั้งองค์ประกอบทางเคมี เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

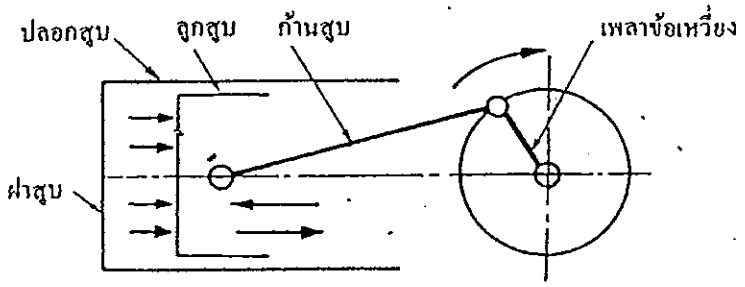
2. เครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์เป็นตัวต้นกำลังชนิดหนึ่ง มีทั้งขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ หลักการทำงานของเครื่องยนต์ คือการเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นงาน และกำลัง โดยทั่วไปพลังงานความร้อนจะได้จากการเผาไหม้ของอากาศกับเชื้อเพลิง เครื่องยนต์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ ดังนี้

ก. เครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอก (External Combustion Engine) เป็นเครื่องยนต์ที่เกิดการเผาไหม้ภายนอกกระบอกสูบ แล้วใช้แรงดันที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้นำไปใช้งานต่อไป เช่นเครื่องจักรไอน้ำ

ข. เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน (Internal Combustion Engine) เป็นเครื่องยนต์ที่เกิดการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ แล้วให้กำลังงานออกมา ได้แก่ เครื่องยนต์ก๊าซโซลีน และเครื่องยนต์ดีเซล

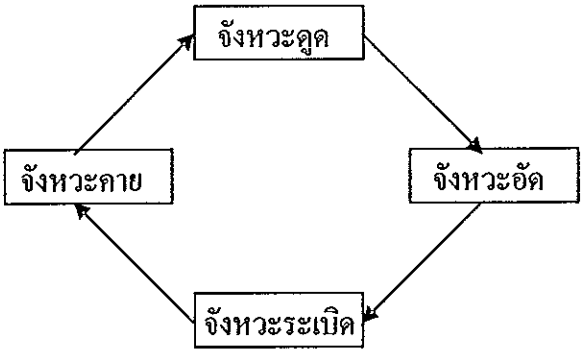
ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ซึ่งเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในนั้นจะต้องประกอบด้วยชิ้นส่วนที่สำคัญ เช่น ปลอกสูบ ลูกสูบ ฝาสูบ ก้านสูบ และเพลาข้อเหวี่ยง (รูปที่ 1)



รูปที่1 อุปกรณ์ที่สำคัญของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน จะทำงานตามวัฏจักร ในขณะที่เครื่องยนต์ทำงานนั้น ลูกสูบจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาในกระบอกสูบ และถ่ายทอดกำลังผ่านก้านสูบ ไปยังเพลาข้อเหวี่ยง ซึ่งการเคลื่อนกลับไปกลับมาของลูกสูบนี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง เมื่อลูกสูบไปหยุดที่ตำแหน่งบนสุด ซึ่งเรียกว่าตำแหน่งศูนย์ตายบน ปริมาตรของกระบอกสูบจะน้อยที่สุด และเมื่อลูกสูบไปหยุดที่ตำแหน่งล่างสุด ซึ่งเรียกว่าตำแหน่งศูนย์ตายล่าง ปริมาตรของกระบอกสูบจะมากที่สุด สำหรับระยะระหว่างตำแหน่งศูนย์ตายบน และตำแหน่งศูนย์ตายล่าง เรียกว่า ระยะชัก หรือช่วงชัก หรือจังหวะการเคลื่อนที่ของลูกสูบ (stroke)

ในปัจจุบันหากจะแบ่งเครื่องยนต์ตามจังหวะการทำงาน สามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือเครื่องยนต์ 2 จังหวะ และเครื่องยนต์ 4 จังหวะ แต่ไม่ว่าจะเป็นเครื่องยนต์ชนิด 2 จังหวะหรือ 4 จังหวะ ก็ต้องมีวัฏจักรหรือรอบของการทำงานครบจังหวะเหมือนกัน (รูปที่ 2)



รูปที่2 วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์ 2 จังหวะ ลูกสูบเลื่อนขึ้น 1 ครั้ง เพลาข้อเหวี่ยงหมุน 1 รอบ ได้จังหวะดูด อัด ระเบิด และคาย ได้จังหวะงาน 1 ครั้ง คือจังหวะระเบิด

ส่วนเครื่องยนต์ 4 จังหวะ ลูกสูบเลื่อนขึ้น 2 ครั้ง เพลาข้อเหวี่ยงหมุน 2 รอบ ได้จังหวะดูด อัด ระเบิด และคาย ได้จังหวะงาน 1 ครั้งเช่นเดียวกัน

2.1 คำจำกัดความของเครื่องยนต์

ก. ศูนย์ตายบน (Top Dead Center or T.D.C) หมายถึง จุดที่ลูกสูบสามารถเลื่อนขึ้นไปได้สูงสุดภายในกระบอกสูบ ถ้าหมุนเพลาข้อเหวี่ยงต่อไป ลูกสูบจะเลื่อนลง

ข. ศูนย์ตายล่าง (Bottom Dead Center or B.D.C) หมายถึง จุดที่ลูกสูบสามารถเลื่อนลงไปได้ต่ำสุดภายในกระบอกสูบ ถ้าหมุนเพลาข้อเหวี่ยงต่อไป ลูกสูบจะเลื่อนขึ้น

ค. ระยะชัก (Stroke) หมายถึงระยะระหว่างศูนย์ตายล่างกับศูนย์ตายบน หรือหมายถึงระยะที่ลูกสูบเลื่อนจากศูนย์ตายบนถึงศูนย์ตายล่าง หรือเรียกว่า ช่วงชัก

ง. ลิ้นไอดี (Inlet Valve) หรือวาล์วไอดี หมายถึงลิ้นที่ทำหน้าที่เปิดให้อากาศหรือไอดีเข้าภายในกระบอกสูบ

จ. ลิ้นไอเสีย (Exhaust Valve) หรือวาล์วไอเสีย หมายถึงลิ้นที่ทำหน้าที่เปิดให้ไอเสียออกจากกระบอกสูบ

ฉ. ช่องไอดี (Inlet port) หมายถึงช่องที่เจาะไว้ข้างกระบอกสูบ เพื่อให้ไอดีหรืออากาศเข้าสู่กระบอกสูบ

ช. ช่องไอเสีย (Exhaust) หมายถึงช่องที่เจาะไว้ข้างกระบอกสูบ เพื่อให้ไอเสียไหลออกจากกระบอกสูบในจังหวะคาย

ซ. ลิ้นส่งไอดี (Intake Valve) หมายถึงวาล์วสำหรับให้ไอดีหรืออากาศไหลเข้าไปในห้องเพลาข้อเหวี่ยง

ฌ. หัวฉีด (Nozzle) มีหน้าที่ฉีดน้ำมันให้เป็นฝอยละอองเข้าไปในห้องเผาไหม้

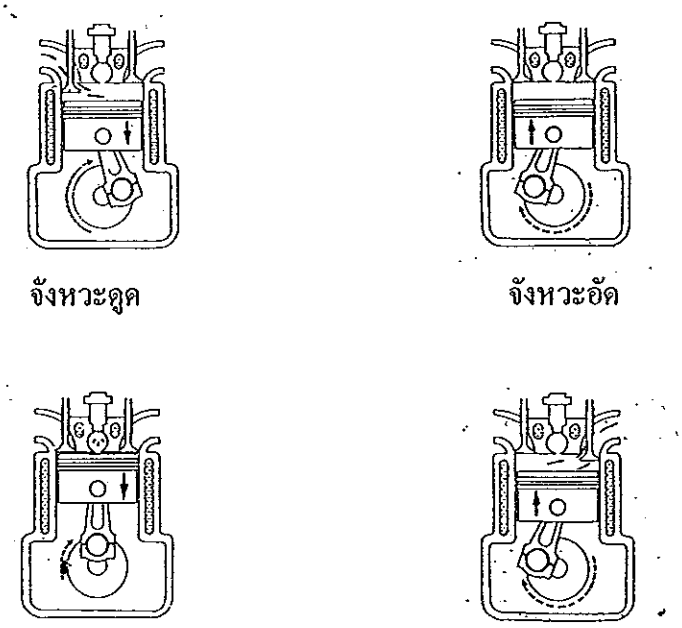
2.2 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ

ก. จังหวะอัด เริ่มต้นเมื่อลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ตายล่าง ช่องไอดีและไอเสียยังเปิดอยู่ ทำให้ไอดีเข้าไป ไล่ไอเสียออกจากกระบอกสูบ จนกระทั่งลูกสูบเคลื่อนขึ้นไปปิดช่องไอดีและไอเสีย ลูกสูบก็จะอัดสารผสมในกระบอกสูบ และเมื่อลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ตายบน การจุดระเบิดและการเผาไหม้ก็เริ่มขึ้น

ข. จังหวะกำลัง หรือจังหวะขยายตัว เริ่มต้นเมื่อลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ตายบน ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ระหว่างอากาศ และเชื้อเพลิง ซึ่งมีอุณหภูมิและความดันสูงจะดันลูกสูบลงและไปดันให้เพลาข้อเหวี่ยงหมุน เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ใกล้จะถึงจุดศูนย์ตายล่าง ลูกสูบจะไปเปิดช่องไอเสียก่อน ทำให้ไอเสียในกระบอกสูบไหลออกจากกระบอกสูบ แล้วช่องไอดีจึงจะถูกเปิดให้ไอดีเข้าไปไล่ไอเสียออก จนลูกสูบถึงตำแหน่งศูนย์ตายล่างก็จะเริ่มจังหวะอัดของวัฏจักรต่อไป

สรุปเมื่อเครื่องยนต์ทำงานครบรอบจังหวะการทำงาน ลูกสูบเลื่อนขึ้น 1 ครั้ง ลง 1 ครั้ง เพลาข้อเหวี่ยงหมุน 1 รอบ จะให้จังหวะกำลัง 1 จังหวะ

2.3 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ (รูปที่ 3)



จังหวะดูด จังหวะอัด

จังหวะระเบิด จังหวะคาย

รูปที่3 จังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

ก. จังหวะดูด (Intake Stroke) หรือจังหวะเอาไอดีเข้า เริ่มต้นเมื่อลูกสูบอยู่ทีตำแหน่งศูนย์ตายบนและสิ้นสุดเมื่อลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ตายล่าง ไอดีจะถูกนำเข้าไปในกระบอกสูบ โดยในระหว่างจะหวะดูดนี้วาล์วไอดีจะเปิด และวาล์วไอเสียจะปิด

ข. จังหวะอัด (Compression Stroke) สารผสมในกระบอกสูบถูกอัดให้ปริมาตรลดลง โดยลูกสูบเคลื่อนที่จากตำแหน่งศูนย์ตายล่างไปยังตำแหน่งศูนย์ตายบนในขณะที่ วาล์วไอดีและไอเสียปิดสนิท ขณะที่ลูกสูบเคลื่อนขึ้นก็จะอัดอากาศให้มีปริมาตรเล็กลง ทำให้เกิดความดัน และความร้อนสูง

ค. จังหวะระเบิดหรือจังหวะกำลัง (Power Stroke) ทำงานต่อเนื่องจากจังหวะอัด กล่าวคือ จังหวะอัดลูกสูบอัดอากาศให้เกิดความร้อนปริมาตรเล็กลง ในจังหวะระเบิดนี้ หัวฉีดก็จะฉีดน้ำมันให้เป็นฝอยละอองเข้ามาผสมกับอากาศร้อนจึงทำให้เกิดการระเบิด และเผาไหม้ของสารผสมอากาศกับเชื้อเพลิง ทำให้เกิดความดันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ของอากาศกับเชื้อเพลิงซึ่งมีอุณหภูมิ และความดันสูงจะดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลง และไปทำให้เพลาข้อเหวี่ยงหมุน ในจังหวะระเบิดนั้นวาล์วไอดีและวาล์วไอเสียจะปิด

ง. จังหวะคาย (Exhaust Stroke) เริ่มต้นเมื่อลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ตายล่าง และวาล์วไอเสียเปิด ส่วนวาล์วไอดียังคงปิดอยู่ ก๊าซที่ขยายตัวแล้วถูกดันออกจากกระบอกสูบ โดยลูกสูบเคลื่อนที่จากตำแหน่งศูนย์ตายล่าง ไปยังตำแหน่งศูนย์ตายบน ต่อจากนั้นก็จะเริ่มจังหวะดูดต่อไป

กำลังที่ใช้ในการดันลูกสูบนั้น ได้จากจังหวะระเบิด ส่วนกำลังที่นำไปใช้หมุนเพลาข้อเหวี่ยงเพื่อให้ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นลงในจังหวะต่อไปนั้น อาศัยกำลังที่สะสมไว้ที่ล้อช่วยแรง (Fly Wheel) ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ปลายเพลาข้อเหวี่ยง

สรุปเมื่อเครื่องยนต์ทำงานครบ 4 จังหวะ ลูกสูบเคลื่อนขึ้น 2 ครั้ง ลง 2 ครั้ง วาล์วไอดีเปิด 1 ครั้ง (ในจังหวะดูด) วาล์วไอเสียเปิด 1 ครั้ง (ในจังหวะคาย) เพลาข้อเหวี่ยงหมุน 2 รอบเพลาลูกเบี้ยวหมุน 1 รอบ ได้จังหวะกำลัง 1 จังหวะ

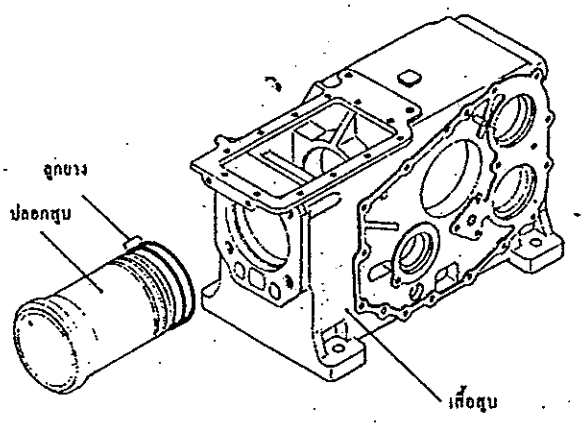
2.4 เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ

เพื่อให้เกิดความเข้าใจ ในส่วนของเครื่องยนต์ดีเซล และง่ายต่อการวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ จึงได้อธิบายรายละเอียดและหลักการทำงานเครื่องยนต์ เพื่อประกอบความเข้าใจดังต่อไปนี้

เครื่องยนต์จะทำงานได้นั้น จะต้องประกอบด้วยชิ้นส่วนและระบบที่สำคัญดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.4.1 เสื้อสูบ (Cylinder Block)

เป็นส่วนที่รองรับ และห่อหุ้มชิ้นส่วนต่างๆ เช่น ปลอกสูบ เพลาข้อเหวี่ยง ลูกสูบ และก้านสูบ เป็นต้น โดยทั่วไปทำด้วยเหล็กหล่อ หรือ อะลูมิเนียมอัลลอย ซึ่งมีคุณสมบัติน้ำหนักเบา ระบายความร้อนได้ดี และถ้าเป็นเครื่องยนต์แบบหล่อเย็นด้วยของเหลว หรือน้ำ ภายในเสื้อสูบ ก็จะมีช่องทางเดินของน้ำและรูน้ำมันเครื่อง ด้วย (รูปที่ 4)



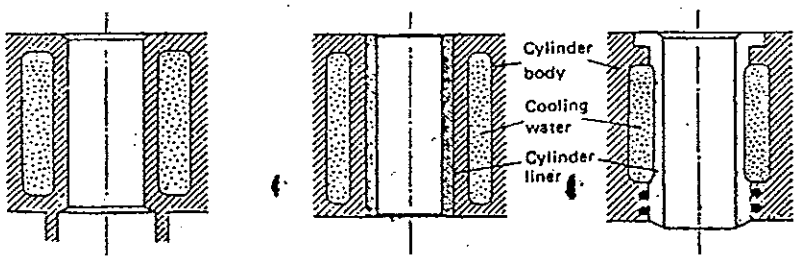
รูปที่4 เสื้อสูบ (Cylinder block)

2.4.2 กระบอกสูบ (Cylinder)

เป็นชิ้นส่วนสำคัญอยู่ภายในเสื้อสูบ ซึ่งลูกสูบจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาภายในกระบอกสูบนี้ และยังเป็นที่สำหรับอัดอากาศ ทำให้เกิดการเผาไหม้ และทำให้เกิดกำลังงานขึ้นภายใน กระบอกสูบมีทั้งแบบหล่อเป็นชิ้นเดียวกันกับเสื้อสูบและแบบที่ใช้ปลอก (Liner) สวมเข้าในเสื้อ ปัจจุบันกระบอกสูบแบ่งออกเป็น 2 ชนิด (รูปที่ 5)

ก. กระบอกสูบแบบแห้ง มี 2 ลักษณะคือ แบบแห้งถอดไม่ได้และแบบแห้งถอดเปลี่ยนได้ ส่วนมากมักใช้กับเครื่องยนต์ที่มีความร้อนในการทำงานไม่สูงมากนัก

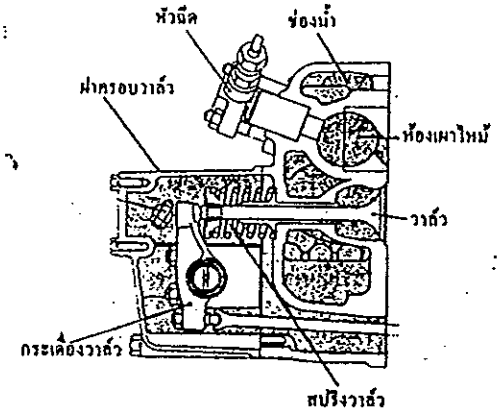
ข. กระบอกสูบแบบเปียก กระบอกสูบแบบนี้จะมีน้ำหล่อเย็นอยู่รอบ ๆ มักใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความร้อนในการทำงานสูง และต้องระบายความร้อนอย่างรวดเร็ว



รูปที่5 กระบอกสูบ (Cylinder)

2.4.3 ฝาสูบ (Cylinder Head)

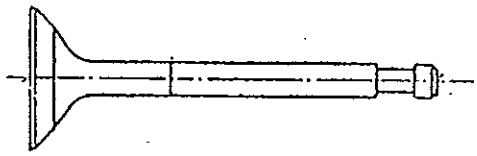
ฝาสูบ (รูปที่ 6) เป็นส่วนที่ปิดด้านบนหรือด้านนอกสุดของกระบอกสูบ เพื่อทำให้เกิดห้องเผาไหม้ โดยฝาสูบจะถูกยึดติดเข้ากับเสื้อสูบ ฝาสูบทำด้วยเหล็กหล่อหรืออลูมิเนียม และยังเป็นส่วนที่รองรับ และห่อหุ้มชิ้นส่วนต่างๆ อีกด้วย เช่น สปริงวาล์ว หัวฉีด กระเดื่องวาล์ว และฝาครอบวาล์ว เป็นต้น



รูปที่6 ฝาสูบ (Cylinder Head)

2.4.4 วาล์วหรือลิ้น (Valve)

วาล์วหรือลิ้นเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ปิดและเปิด ให้ไอดีและไอเสียเข้าและออกจากกระบอกสูบตามที่กำหนด วาล์วที่ปิดและเปิดให้ไอดีเข้าเรียกว่า วาล์วไอดี ส่วนวาล์วที่ปิดและเปิดให้ไอเสียออกเรียกว่า วาล์วไอเสีย วาล์วส่วนใหญ่จะทำด้วยเหล็กเหนียวเคลือบผิวแข็ง (รูปที่ 7)



รูปที่7 วาล์วหรือลิ้น (Valve)

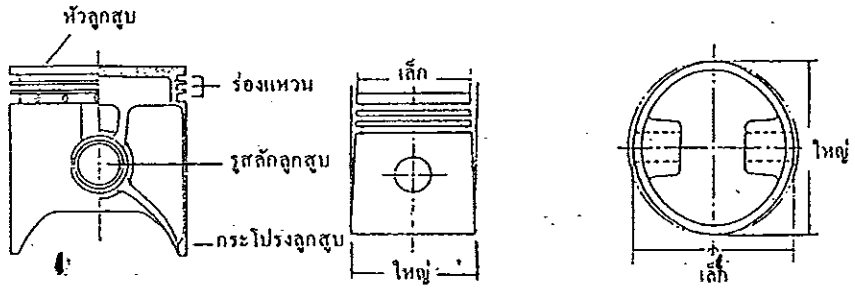
2.4.5 สปริงวาล์ว หรือสปริงลิ้น (Valve Spring)

สปริงวาล์ว (รูปที่ 8) ทำหน้าที่ดึงวาล์วให้ปิดกับบ่าลิ้นอยู่ตลอดเวลา เพื่อไม่ให้อากาศรั่ว วาล์วจะเปิดก็ต่อเมื่อมีกระเดื่องกดวาล์วมาทำให้สปริงยุบตัว และเมื่อกระเดื่องกดวาล์วไม่กด สปริงวาล์วก็จะดึงวาล์วปิดตามเดิม

รูปที่8 สปริงวาล์ว (Valve Spring)

2.4.6 ลูกสูบ (Piston)

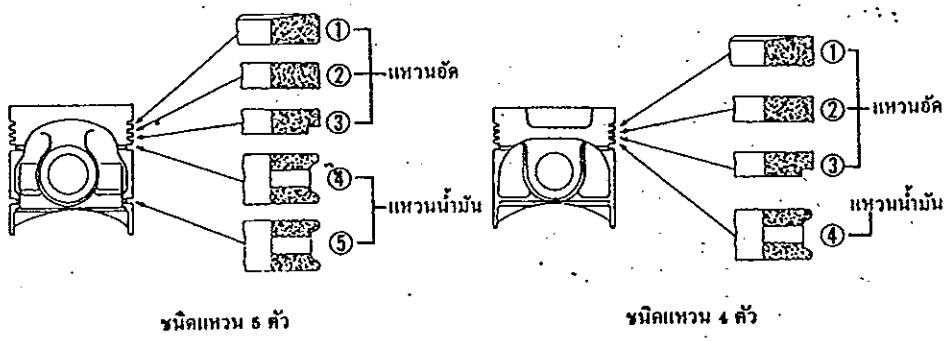
ลูกสูบเป็นชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่อยู่ภายในกระบอกสูบ เป็นตัวอัดอากาศ พร้อมทั้งเป็นตัวรับแรงดันที่เกิดจากการระเบิด ส่งทอดกำลังไปยังเพลาข้อเหวี่ยงโดยผ่านสลักลูกสูบและก้านสูบ ลักษณะของลูกสูบ จะมีร่องสำหรับใส่แหวนกับรูร้อยสลักลูกสูบ ส่วนทางด้านหัวสลักลูกสูบจะเล็กกว่าทางด้านกระโปรงลูกสูบ และจะมีลักษณะเป็นวงรีเพื่อให้การขยายของลูกสูบได้พอดีกับกระบอกสูบในขณะที่ใช้งาน ลูกสูบของเครื่องยนต์ขนาดเล็กมักทำด้วยอะลูมิเนียม ส่วนลูกสูบของเครื่องยนต์ขนาดใหญ่จะทำด้วยเหล็กหล่อ (รูปที่ 9)



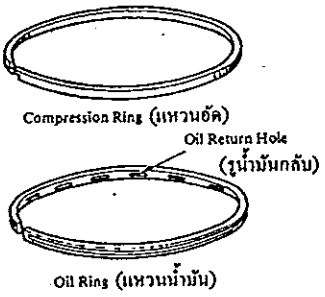
รูปที่9 ลักษณะของลูกสูบ

2.4.7 แหวนลูกสูบ (Piston Rings)

แหวนลูกสูบโดยทั่วไปจะมี 2 ชนิดคือ แหวนอัด และแหวนน้ำมัน (รูปที่ 11) เครื่องยนต์ดีเซลจะมีแหวนอัด 2-3 ชิ้น และมีแหวนน้ำมัน 1 ชิ้น (รูปที่ 10) โดยทั่วไปเครื่องยนต์ดีเซลจะมีแหวนมากกว่าเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน 1-2 ชิ้น เพราะอัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์ดีเซลสูงกว่า



รูปที่10 ลักษณะของแหวนลูกสูบ



รูปที่11 ชนิดของแหวนลูกสูบ

- แหวนอัด มีหน้าที่ป้องกันการรั่วของกำลังอัดภายในกระบอกสูบไม่ให้รั่วไหลได้ และป้องกันไม่ให้น้ำมันเครื่องรั่วไหลเข้าไปภายในห้องเผาไหม้ แหวนอัดส่วนใหญ่ทำด้วยเหล็กหล่อชนิดพิเศษ ผิวแข็งเป็นมัน ซึ่งแหวนอัดต้องมีคุณสมบัติทนต่อแรงเสียดสีและความร้อนที่เกิดขึ้น โดยปกติขอบแหวนอัดจะมีลักษณะแตกต่างกัน มีการปาดเป็นมุม และมีการลบมุมของขอบแหวนอีกด้วย

- แหวนน้ำมัน มีหน้าที่กวาดน้ำมันเครื่องที่หล่อลื่นผนัง ไม่ให้เข้าไปในห้องเผาไหม้ แหวนน้ำมันโดยปกติจะเป็นร่องและมีรู เพื่อให้น้ำมันไหลเข้าออก เพื่อหล่อลื่นลูกสูบกับผนังกระบอกสูบ

ก. หน้าที่ของแหวนลูกสูบ

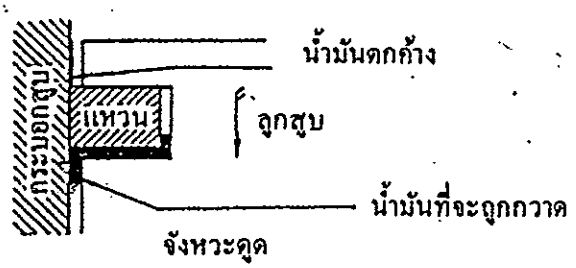
- แหวนลูกสูบจะสัมผัสกับผนังกระบอกสูบ ผิวหน้าของแหวนอัด และแหวนน้ำมัน จะป้องกันการรั่วของอากาศ

- ช่วยระบายความร้อนของลูกสูบ ที่เกิดจากการเผาไหม้ไปยังผิวของกระบอกสูบ เพื่อป้องกันไม่ให้ลูกสูบร้อนจัดเกินไป

- ช่วยให้น้ำมันหล่อลื่นผิวกระบอกสูบได้ดี และกวาดน้ำมันเครื่องลงสู่อ่างน้ำมันเครื่อง

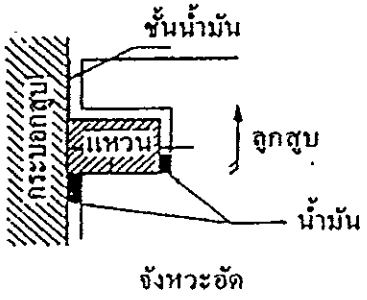
ข. การทำงานของแหวนลูกสูบ

- จังหวะดูด (รูปที่ 12) ลูกสูบเลื่อนลง ด้านบนของแหวนจะสัมผัสกับร่องแหวน ขอบแหวนอัดที่สัมผัสกับผิวกระบอกสูบจะกวาดน้ำมันในขณะที่แรงดันคงที่ และจะมีน้ำมันบางส่วนตกค้างเกาะตามผิวของกระบอกสูบเป็นแผ่นฟิล์ม เพื่อช่วยในการหล่อลื่นในจังหวะอัดต่อไป



รูปที่12 การทำงานของแหวนลูกสูบในจังหวะดูด

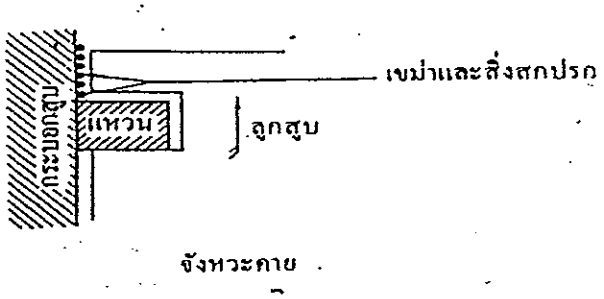
- จังหวะอัด (รูปที่ 13) ลูกสูบเลื่อนขึ้น ทำให้ด้านล่างของแหวนสัมผัสกับร่องแหวน ในขณะเดียวกันแรงดันก็เพิ่มขึ้น จึงทำให้แหวนกระชับกับผนังของกระบอกสูบมากขึ้น



รูปที่13 การทำงานของแหวนลูกสูบในจังหวะอัด

- จังหวะระเบิด เมื่อเกิดการจุดระเบิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ จะเกิดแรงดันขึ้น แหวนลูกสูบจึงต้องสร้างให้แข็งแรง สามารถป้องกันไม่ให้อากาศรั่วไหลได้

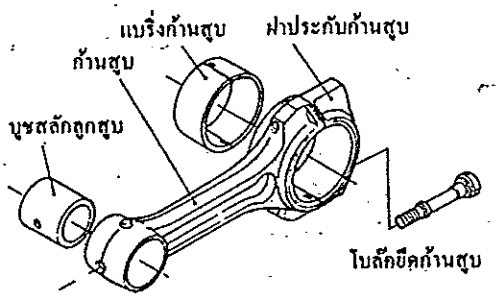
- จังหวะคาย เมื่อลูกสูบเลื่อนขึ้น แหวนลูกสูบจะกวาดไล่เขม่าและสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่บริเวณผิวของผนังกระบอกสูบออกไปด้วย โดยผ่านลิ้นไอเสียและท่อไอเสีย ซึ่งจะทำให้เขม่าไม่ลงในอ่างน้ำมันเครื่อง (รูปที่ 14)



รูปที่14 การทำงานของแหวนลูกสูบในจังหวะคาย

2.4.8 ก้านสูบ (Connecting Rod)

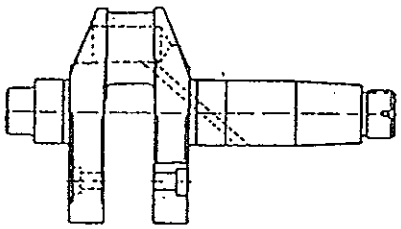
เป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างลูกสูบและเพลาข้อเหวี่ยงโดยจะต่อเข้ากับลูกสูบ ด้วยสลักลูกสูบ ก้านสูบมักทำด้วยเหล็กกล้า (รูปที่ 15)



รูปที่15 ก้านสูบ (Connecting Rod)

2.4.9 เพลาข้อเหวี่ยง (Crankshaft)

เพลาข้อเหวี่ยงเป็นตัวถ่ายกำลัง และเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของลูกสูบให้เป็นการหมุน เพลาข้อเหวี่ยงโดยทั่วไปทำด้วยเหล็กหล่อกล้า (รูปที่ 16)

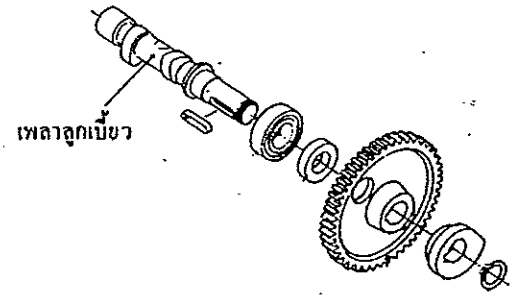


รูปที่16 เพลาข้อเหวี่ยง (Crankshaft)

2.4.10 เพลาลูกเบี้ยว (Camshaft)

เพลาลูกเบี้ยว มีหน้าที่ทำให้วาล์วปิดและเปิด ตามจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ เพลาลูกเบี้ยวหมุนได้โดยการรับแรงขับจากเพลาข้อเหวี่ยง ผ่านทางเฟือง เพลาลูกเบี้ยวทำด้วยเหล็กหล่อพิเศษ เพลาข้อเหวี่ยงหมุน 2 รอบ เพลาลูกเบี้ยวหมุน1 รอบ จะได้จังหวะการทำงานครบ 1 รอบการทำงาน (รูปที่ 17)

ฝ่ายหอสมุด
คุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร



รูปที่17 เพลาลูกเบี้ยว (Camshaft)

2.4.11 ล้อช่วยแรง (Fly Wheel)

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่สะสมพลังงานเพื่อช่วยให้รอบหมุนของเพลาข้อเหวี่ยงสม่ำเสมอ ล้อช่วยแรงจะถูกติดไว้ที่ปลายของเพลาข้อเหวี่ยง

2.4.12 เพลาสมดุล (Balancer)

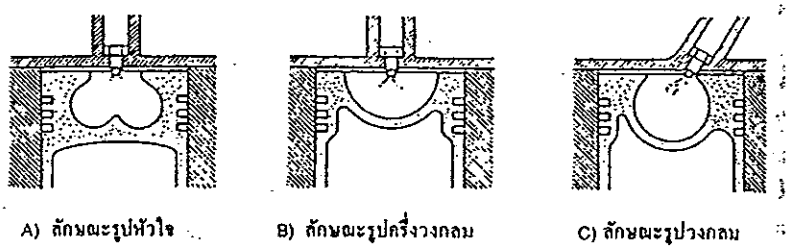
เพลาสมดุลของเครื่องยนต์จะเป็นตัวสะสมแรงเฉื่อยที่เกิดจากการเคลื่อนกลับไปกลับมาของลูกสูบอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะมีผลทำให้ลดการสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์และเสียงที่เกิดจากการสั่นสะเทือน

2.4.13 ระบบห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber)

ห้องเผาไหม้มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อการการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล ความต้องการในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลนั้นคือ การผสมคลุกเคล้ากันได้ดีระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิง กับอากาศ เพราะจะทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ เป็นผลให้ได้กำลังจากเครื่องยนต์อย่างเต็มที่ ห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์มี 2 ชนิด คือ

ก. ห้องเผาไหม้โดยตรง (Direct or Combustion Chamber)

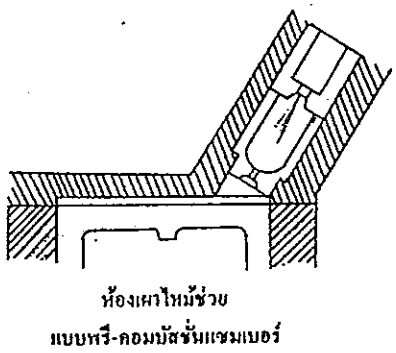
ห้องเผาไหม้แบบนี้ จะติดตั้งอยู่ในฝาสูบ บริเวณตรงกับหัวลูกสูบ เมื่อหัวฉีด ฉีดน้ำมันเข้ากระบอกสูบก็จะกระจายทั่วห้องเผาไหม้ซึ่งมีอยู่ห้องเดียว และเป็นห้องขนาดใหญ่ และมักใช้กับหัวฉีดแบบมีหลายรู ซึ่งทำให้การฉีดน้ำมันกระจายผสมคลุกเคล้ากับอากาศได้ดีพอ ซึ่งช่วยในการเผาไหม้ได้สมบูรณ์ ห้องเผาไหม้ตรงจะทำหัวลูกสูบให้เป็นรูปแบบต่าง ๆ ดังรูป



รูปที่18 ลักษณะของห้องเผาไหม้แบบต่างๆ

ข. ห้องเผาไหม้ช่วย (Auxiliary combustion Chamber System)

เป็นห้องเผาไหม้ที่มีการออกแบบให้มีห้องเผาไหม้มากกว่าหนึ่งห้อง โดยให้ห้องเผาไหม้ส่วนหนึ่ง ซึ่งเรียกว่าห้องเผาไหม้ช่วยอยู่ในฝาสูบ แล้วมีช่องทางเล็กๆ ต่อมาห้องเผาไหม้หลักอีกทีหนึ่ง ซึ่งจะอยู่บริเวณหัวลูกสูบ การฉีดน้ำมันของหัวฉีด จะฉีดเข้าห้องเผาไหม้ช่วย ช่องทางที่ต่อระหว่างห้องเผาไหม้ช่วย และห้องเผาไหม้หลัก จะช่วยทำให้อากาศเกิดการหมุนวนดีขึ้น (รูปที่ 19)



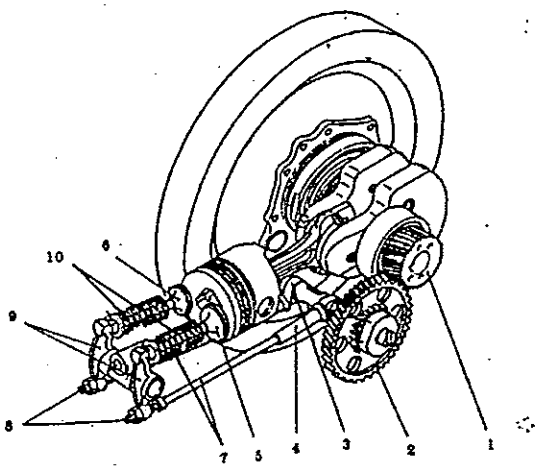
รูปที่19 ห้องเผาไหม้ช่วยแบบแบบพรี- คอมบัสชั่นแชมเบอร์

2.4.14 ระบบกลไกวาล์วหรือลิ้น (Valve Mechanism)

กลไกวาล์วหรือลิ้นมีหน้าที่ปิดเปิดวาล์วไอดีและวาล์วไอเสียให้ถูกต้องกับจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ เช่น จังหวะดูด วาล์วไอดีเปิด จังหวะอัด และจังหวะระเบิด วาล์วไอเสียและไอดีปิดสนิท จังหวะคายวาล์วไอเสียเปิด

การทำงานเริ่มจาก เฟืองเพลาลูกเบี้ยว จะถูกขับโดยเพลาข้อเหวี่ยง เมื่อเฟืองเพลาลูกเบี้ยวหมุน ลูกเบี้ยวที่อยู่บนเพลาลูกเบี้ยว ก็จะไปดันให้ลูกกระทุ้งลิ้น ก้านกระทุ้งลิ้น และกระเดื่องกดลิ้น กระเดื่องกดลิ้นก็จะไปกดให้วาล์ว ห รือลิ้นเปิดโดยชนะแรงดันของสปริงวาล์ว ซึ่งการปิดเปิดวาล์วนี้จะต้องเป็นไปตามจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ (รูปที่ 20)

ขณะที่เครื่องยนต์ทำงานวาล์วจะได้รับความร้อนอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น จึงต้องมีช่องว่างเล็กๆอยู่ ระหว่างกระเดื่องกดวาล์วและวาล์วเพื่อที่จะให้วาล์วปิดสนิท ถ้าช่องว่างมีมากเกินไปจะทำให้วาล์วเปิดน้อยและมีเสียงดัง ช่องว่างนี้สามารถปรับแต่งได้ด้วยน๊อต จัดปรับที่กระเดื่องกดวาล์ว วาล์วไอดีและวาล์วไอเสียทำมาจากเหล็กที่ทนความร้อนแข็งและทนต่อการ สึกหรอ สปริงวาล์ว ทำมาจากขดลวดสปริง



1. เฟืองเพลาข้อเหวี่ยง
2. เฟืองเพลาลูกเบี้ยว
3. ลูกเบี้ยว
4. ลูกกระทุ้งวาล์ว
5. วาล์วไอดี
6. วาล์วไอเสีย
7. ก้านกระทุ้งวาล์ว
8. น๊อตจัดปรับลิ้นตั้ง
9. กระเดื่องกดลิ้น
10. สปริงวาล์ว

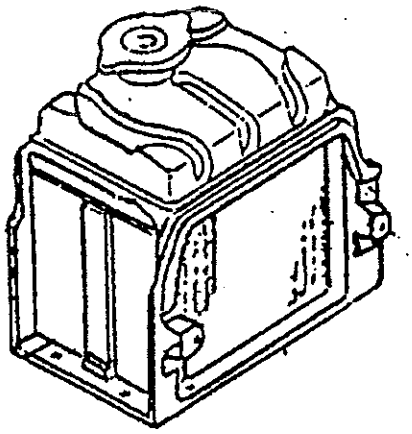
รูปที่20 กลไกวาล์วหรือลิ้น

2.4.15 ระบบหล่อเย็น (Cooling System)

ระบบหล่อเย็น ทำหน้าที่ 2 ประการ คือ ป้องกันไม่ให้เครื่องยนต์ร้อนเกินไป และควบคุมอุณหภูมิของเครื่องยนต์ไว้ที่ระดับซึ่งเหมาะสมที่สุด ระบบหล่อเย็นที่นิยมนำมาใช้กันมี 2 ระบบ คือ

ก. ระบบหล่อเย็นด้วยอากาศ ใช้อากาศไหลผ่านโดยรอบเครื่องยนต์ในการระบายความร้อน ชิ้นส่วนที่สำคัญของระบบนี้ คือ พัดลม

ข. การระบายความร้อนด้วยของเหลว จะใช้ของเหลว (น้ำหรือน้ำผสมน้ำยา) ไหลโดยรอบเครื่องยนต์เพื่อระบายความร้อน ระบบนี้ประกอบด้วยชิ้นส่วนที่สำคัญ คือ หม้อน้ำ ปั๊มน้ำ พัดลม และเทอร์โมสแตต (รูปที่ 21)



รูปที่21 แบบหม้อน้ำรังผึ้ง

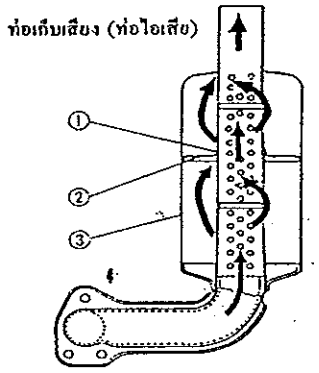
2.4.16 ระบบหล่อลื่น (Lubrication System)

ระบบหล่อลื่น ทำหน้าที่ในการลดความเสียดทานระหว่างชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ ระบายความร้อน ป้องกันการรั่วของก๊าซระหว่างแหวนลูกสูบและผนังกระบอกสูบ ทำความสะอาดชิ้นส่วนและลดเสียงที่เกิดขึ้นในขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน ระบบหล่อลื่นแบบที่ใช้กันทั่วไปประกอบด้วยชิ้นส่วนที่สำคัญ คือ ปั๊มน้ำมันเครื่อง เครื่องกรองน้ำมันเครื่อง วาล์วควบคุมความดัน และอ่างน้ำมันเครื่อง

2.4.17 ท่อเก็บเสียง (ท่อไอเสีย)

ท่อเก็บเสียงประกอบด้วย ท่อชั้นในเจาะรู แผ่นกั้น และตัวท่อ ท่อชั้นในและแผ่นกั้นนี้จะเป็นตัวช่วยลดเสียงดังของไอเสีย (รูปที่ 22)

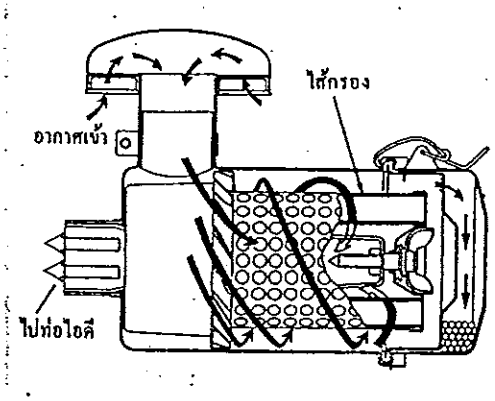
1. ท่อชั้นใน
2. แผ่นกั้น
3. ตัวท่อ



รูปที่22 ท่อไอเสีย

2.4.18 ระบบกรองอากาศ (Air Cleaner System)

ระบบกรองอากาศ มีหน้าที่ช่วยในการกรองอากาศให้สะอาดก่อนเข้าในกระบอกสูบในจังหวะดูด โดยทั่วไปมี 2 แบบ คือ

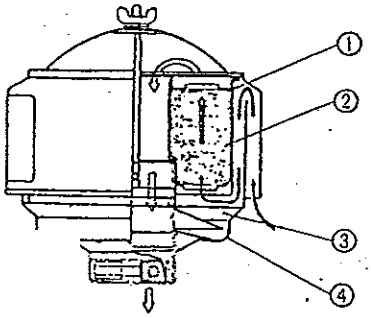


รูปที่23 กรองอากาศแบบใช้กระดาษ

ก. แบบใช้กระดาษ (Paper Element Type) หรือแบบแห้ง แบบนี้ใช้กระดาษเป็นไส้กรอง นิยมใช้กับรถยนต์ทั่วๆ ไป เพราะสะดวกในการใช้งาน แต่มีข้อเสียคือ การบำรุงรักษายาก เนื่องจากเมื่อสกปรกต้องใช้ลมเป่า หรือเปลี่ยนไส้กรองใหม่ ซึ่งมีราคาแพงจึงทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย (รูปที่ 23)

ข. แบบใช้น้ำมัน (Oil Bath Type) แบบนี้จะใช้น้ำมันเครื่อง เติมในถ้วยกรองอากาศ น้ำมันเครื่องนี้จะดักเอาฝุ่นละอองจากอากาศไว้ ส่วนไส้กรองอากาศจะทำเป็นใยตะแกรงเส้นลวด ช่วยในการกรองอากาศอีกครั้งหนึ่ง น้ำมันที่ใช้เป็นน้ำมันเครื่องที่ใช้กับเครื่องยนต์ (รูปที่ 24)

1. ไส้กรอง
2. ใยเส้นลวด
3. น้ำมันเครื่อง
4. ถ้วยกรอง

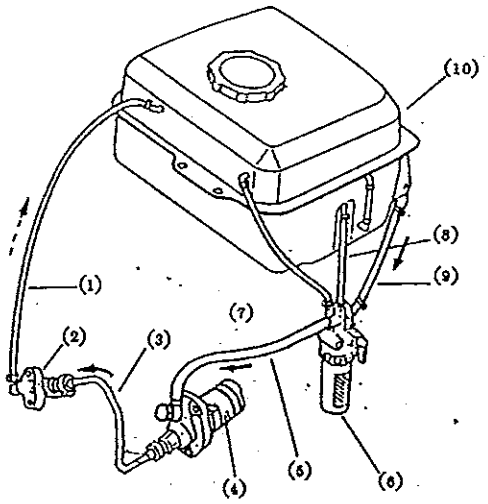


รูปที่24 กรองอากาศแบบใช้น้ำมัน

2.4.19 ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel System)

ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง ทำหน้าที่ในการฉีดเชื้อเพลิงที่สะอาด เข้าห้องเผาไหม้ด้วย ปริมาณ อัตรา และจังหวะเวลาที่กำหนด โดยจะต้องมีการเก็บ การส่งที่เพียงพอ และปลอดภัยในการใช้งาน ชิ้นส่วนที่สำคัญ คือ ถังน้ำมันเชื้อเพลิง ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง ไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง และหัวฉีด (รูปที่ 25)

1. สายน้ำมันกลับถัง
2. หัวฉีด
3. ท่อน้ำมันแรงดันสูง
4. ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง
5. ท่อน้ำมันจากกรองเข้าปั๊ม
6. ชุดกรองน้ำมันเชื้อเพลิง
7, 8. ท่อไล่ลมโดยอัตโนมัติ
9. ท่อน้ำมันจากถังลงกรอง
10. ถังน้ำมันเชื้อเพลิง



รูปที่25 ชิ้นส่วนที่สำคัญของระบบน้ำมันเชื้อเพลิง

ก. ถังน้ำมันเชื้อเพลิง มีไว้สำหรับบรรจุน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อสำรองไว้ใช้งานเป็นระยะเวลานานๆ

ข. ไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง มีหน้าที่กรองสิ่งสกปรกต่างๆ ที่ปะปนมากับน้ำมันเชื้อเพลิงให้สะอาด ก่อนไหลเข้าไปยังปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงและหัวฉีด

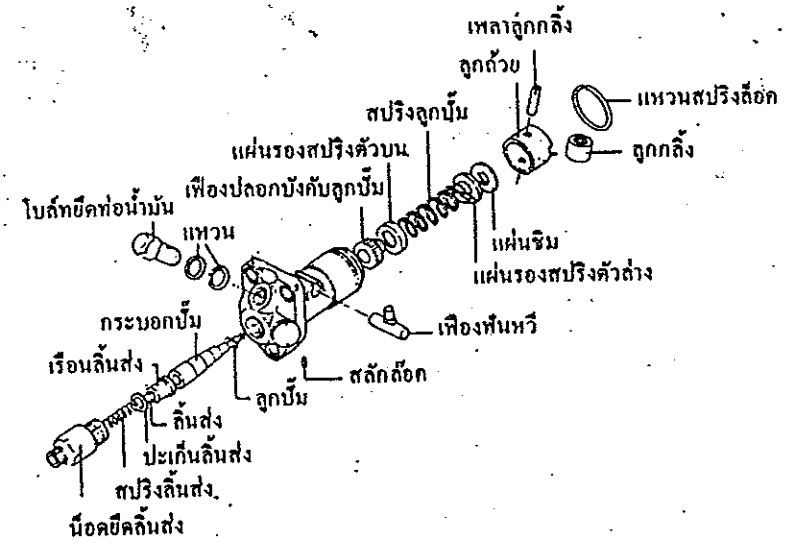
ค. ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง มีหน้าที่อัดน้ำมันเชื้อเพลิงให้มีแรงดันสูง เพื่อส่งไปยังหัวฉีด และมีหน้าที่แบ่งจ่ายน้ำมันให้มากน้อยตามการใช้งาน และกำหนดเวลาการจ่ายน้ำมันให้ถูกต้อง

ง. หัวฉีด ประกอบอยู่บนฝาสูบ ส่วนปลายจะยื่นเข้าไปในห้องเผาไหม้ มีหน้าที่รับแรงดันสูงจากปั๊ม แล้วฉีดน้ำมันให้เป็นฝอยละอองเข้าไปในห้องเผาไหม้

ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซล เริ่มต้นจากถังน้ำมันเชื้อเพลิง ไหลผ่านชุดกรองน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อกรองสิ่งสกปรกเช่น น้ำ ผง หรือ ฝุ่นละออง ที่ปนมากับน้ำมันออกก่อน ก่อนส่งเข้าปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงจะอัดน้ำมันให้เกิดแรงดันสูง จนสามารถยกเข็มหัวฉีด เพื่อฉีดน้ำมันเข้าไปยังห้องเผาไหม้ น้ำมันส่วนที่เหลือจากการฉีด จะหล่อลื่นเข็มหัวฉีดแล้วไหลไปตามท่อ กลับสู่ถังน้ำมันเชื้อเพลิง

2.4.20 ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Injection Pump)

ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง จะทำงานเมื่อได้รับแรงขับจากลูกเบี้ยว ที่ติดอยู่กับเพลาลูกเบี้ยว และทำการแบ่งจ่ายน้ำมันโดยอาศัยการบิดตัวของลูกปั๊ม ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงมีหลายชนิด แต่ในที่นี้จะอธิบายเฉพาะปั๊มอิสระหรือแบบลูกสูบ (ใช้ในเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้) ซึ่งมีหลักการทำงานและมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้ (รูปที่ 26)



รูปที่26 ส่วนประกอบของปั๊มแบบลูกสูบ

ก. น็อตยึดลิ้นส่ง ลักษณะมีเกลียวทั้ง 2 ข้าง มีหน้าที่บังคับชุดลิ้นส่งให้นั่งอยู่กับบ่าของกระบอกปั๊ม

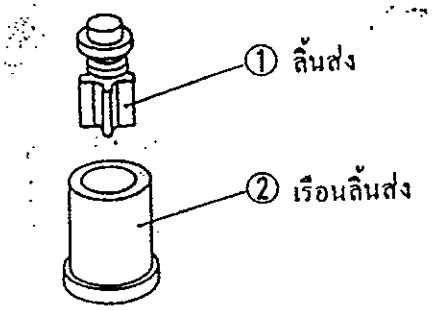
ข. สปริงลิ้นส่ง มีหน้าที่กดลิ้นส่งให้นั่งอยู่บนบ่าของลิ้นส่ง เพื่อไม่ให้น้ำมันไหลผ่านได้ เมื่อลูกปั๊มทำงานน้ำมันมีแรงดันสูง จึงจะเอาชนะแรงดันของสปริงทำให้น้ำมันไหลผ่านลิ้นส่งได้

ค. ชุดลิ้นส่ง ประกอบด้วยลิ้นส่งและตัวเรือนลิ้นส่ง มีหน้าที่ ป้องกันไม่ให้น้ำมันในท่อน้ำมันแรงดันสูง ไหลย้อนกลับเข้า ป้องกันไม่ให้น้ำมันฉีดมากเกินกำหนด และ ตัดการจ่ายน้ำมันทันทีเมื่อแรงดันน้ำมันในกระบอกปั๊มลดลง (รูปที่ 27)

ง. ชุดลูกปั๊ม ประกอบด้วยกระบอกปั๊ม และลูกปั๊ม (รูปที่ 28)

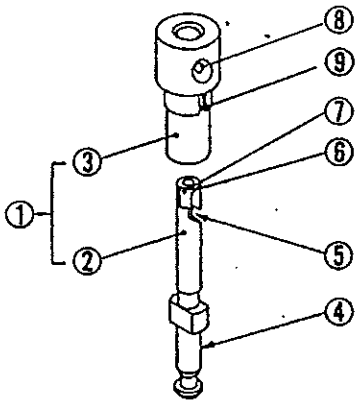
- กระบอกปั๊ม มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกทำด้วยเหล็กกล้าชุบแข็ง ด้านในกลวง ไว้สำหรับเป็นที่เคลื่อนที่ขึ้นลงของลูกปั๊ม

- ลูกปั๊ม มีลักษณะเป็นแท่งกลมยาว ทำด้วยเหล็กกล้าชุบแข็ง ทำหน้าที่เลื่อนขึ้นลงเพื่ออัดน้ำมันให้เกิดแรงดันสูงภายในกระบอกปั๊ม ด้านนอกของลูกปั๊มจะมีร่องบากเอียงและรูไว้สำหรับแบ่งปริมาณน้ำมันที่จ่ายไปหัวฉีด ส่วนด้านล่างมีหน้าแปลนไว้รับแรงหมุนจากเฟืองปลอกบังคับลูกปั๊ม เพื่อหมุนลูกปั๊มให้ร่องบากเอียงเปลี่ยนตำแหน่งเพื่อจ่ายน้ำมันมากน้อยตามที่ต้องการ



รูปที่27 ส่วนประกอบของชุดลิ้นส่ง

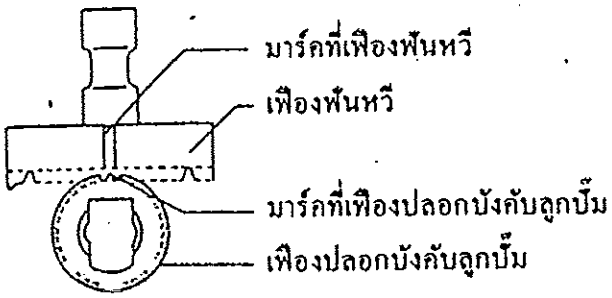
1. ชุดลูกปั๊ม
2. ลูกปั๊ม
3. กระบอกปั๊ม
4. แกนปั๊ม
5. ร่องเวียนควบคุมน้ำมัน
6. จุดตัดน้ำมันระยะแรก
7. ร่องบากดับเครื่อง
8. รูน้ำมันออก
9. ร่องล๊อกกระบอกปั๊ม



รูปที่28 ส่วนประกอบ ชุดลูกปั๊ม

จ. เรือนปั๊ม มีหน้าที่ห่อหุ้มชิ้นส่วนต่างๆ ของปั๊มทั้งหมด

ฉ. เฟืองฟันหวี มีลักษณะเป็นก้านเหล็ก มีฟันเฟืองขบอยู่กับเฟืองของปลอกบังคับลูกปั๊ม ส่วนอีกด้านหนึ่งจะต่อกับแขนกาวานา เมื่อแขนกาวานาเคลื่อน เฟืองฟันหวีก็จะเคลื่อนตาม เฟืองปลอกบังคับลูกปั๊มก็จะหมุน และจะทำให้ลูกปั๊มซึ่งสวมอยู่กับเฟืองปลอกบังคับลูกปั๊มหมุนตามไปด้วย (รูปที่ 29)



รูปที่29 ชุดเฟืองฟันหวี

ช. เฟืองปลอกบังคับลูกปั๊ม มีลักษณะเป็นปลอกกลมมีฟันเฟืองอยู่รอบๆ จะขบอยู่กับเฟืองของเฟืองฟันหวี

ซ. แผ่นรองสปริงตัวบน มีหน้าที่รองรับสปริงปั๊มด้านบน

ฌ. สปริงลูกปั๊ม มีหน้าที่ผลักให้ลูกปั๊มถอยกลับ เมื่อลูกเบี้ยวหมุนเลยไป

ญ. แผ่นรองสปริงตัวล่าง มีหน้าที่รองรับสปริงปั๊มด้านล่าง และมีร่องสำหรับล็อคกับด้านล่างของลูกปั๊ม เพื่อให้ลูกปั๊มเคลื่อนตัวไปพร้อมกับสปริง

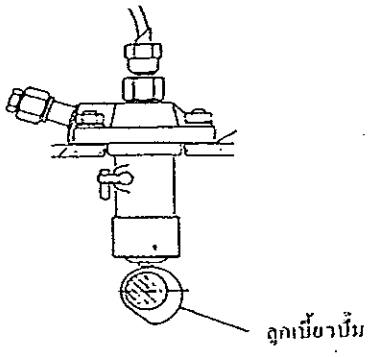
ฎ. แผ่นชิม มีไว้สำหรับปรับความแข็งของสปริง และปรับระยะชักของลูกปั๊ม

ฏ. ชุดลูกถ้วย ประกอบด้วย สลักลูกถ้วยและลูกกลิ้ง ชุดลูกถ้วยทำงานได้โดยลูกเบี้ยวปั๊มมาเตะให้เคลื่อนขึ้น และจะเคลื่อนลงด้วยแรงดันของสปริงปั๊ม

ฐ. สลักล็อค มีหน้าที่ล็อคชุดลูกถ้วยปั๊มไม่ให้หลุดออก และไม่ให้ชุดลูกถ้วยปั๊มหมุน

ฑ. ลวดสปริง มีหน้าที่ล็อคไม่ให้สลักล็อคหลุดออกมาจากเรือนปั๊ม

ฒ. ลูกเบี้ยวปั๊ม มีหน้าที่ผลักให้ลูกปั๊มเคลื่อนขึ้นอัดน้ำมันส่งไปยังหัวฉีด

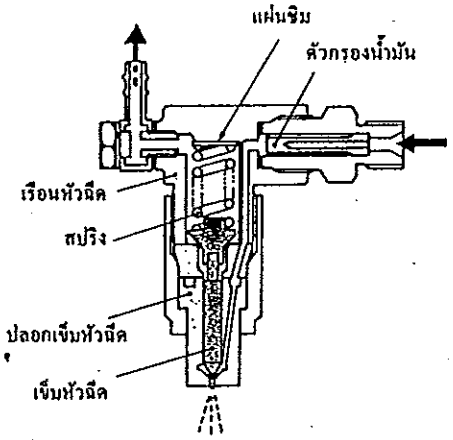


รูปที่30 ลูกเบี้ยวปั๊ม

2.4.21 หัวฉีด (Injection Nozzle)

หัวฉีดมีหน้าที่รับน้ำมันแรงดันสูงจากปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อฉีดเข้าในห้องเผาไหม้ในลักษณะที่เป็นฝอยละออง ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้

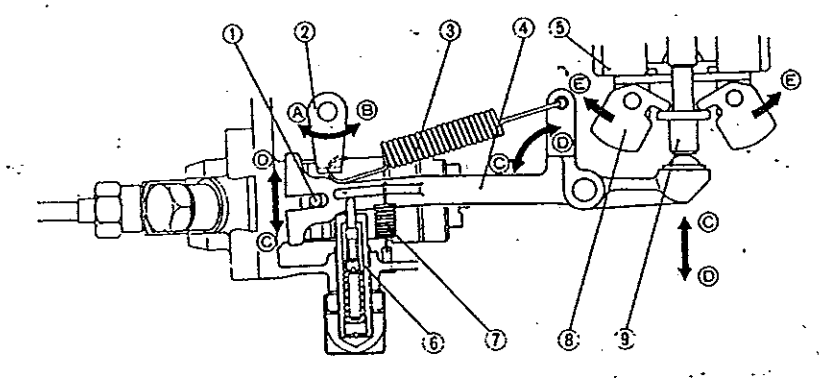
เมื่อเครื่องยนต์ทำงาน ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงจะส่งน้ำมันแรงดันสูงไปยังหัวฉีด ซึ่งจะไหลเข้าไปในท่อน้ำมันเข้า(ตามลูกศรรูปที่ 31) จนกว่าน้ำมันที่ปลายเข็มปิดอยู่จะมีแรงดันสูงพอที่จะเอาชนะแรงดันของสปริง ทำให้เข็มหัวฉีดถูกยกขึ้น ทำให้เข็มหัวฉีดเปิดรูน้ำมัน และฉีดน้ำมันออกไปยังห้องเผาไหม้ได้ เมื่อปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงหยุดจ่ายน้ำมัน แรงดันน้ำมันภายในท่อและภายในปลอกเข็มหัวฉีดลดลงอย่างทันทีทันใด จึงทำให้แรงดันของสปริงดันให้เข็มหัวฉีดเคลื่อนลงมาปิดรูน้ำมันอย่างรวดเร็ว หัวฉีดก็หยุดจ่ายน้ำมัน น้ำมันภายในปลอกเข็มหัวฉีดส่วนหนึ่งจะไหลผ่านช่องว่างระหว่างเข็มหัวฉีดกับปลอกเข็มหัวฉีด เพื่อช่วยการหล่อลื่น และระบายความร้อนของชุดหัวฉีดจากนั้นจะไหลออกมาที่ท่อน้ำมันไหลกลับ และไหลกลับถังน้ำมันเชื้อเพลิงต่อไป



รูปที่31 หัวฉีดแบบทำงานด้วยแรงดัน

2.4.22 ระบบควบคุมความเร็ว (Governing System)

ระบบควบคุมความเร็ว มีหน้าที่ควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้เหมาะสมกับการทำงาน(ภาระ) ของเครื่อง ซึ่งควบคุมได้ที่ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงและยังเป็นอุปกรณ์ควบคุมให้เครื่องยนต์มีความเร็วรอบคงที่ตลอดเวลา ในขณะที่คันเร่งอยู่กับที่ เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องยนต์หยุดการทำงานหรือดับ และเพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ที่นำมาติดตั้ง เช่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เสียหาย อุปกรณ์ควบคุมความเร็วหรือมักเรียกว่า "กาวานา" ในขณะที่เครื่องยนต์ต้องทำงานหนักขึ้น (ภาระ) ความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะลดลง กาวานาจะบังคับให้ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงจ่ายน้ำมันให้มากขึ้น ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ก็จะสูงขึ้นเป็นปกติ แต่เมื่อภาระลดลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะสูงขึ้น กาวานาก็จะบังคับให้ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงจ่ายน้ำมันน้อยลง ความเร็วรอบก็จะลดลงเป็นปกติ (รูปที่ 32)

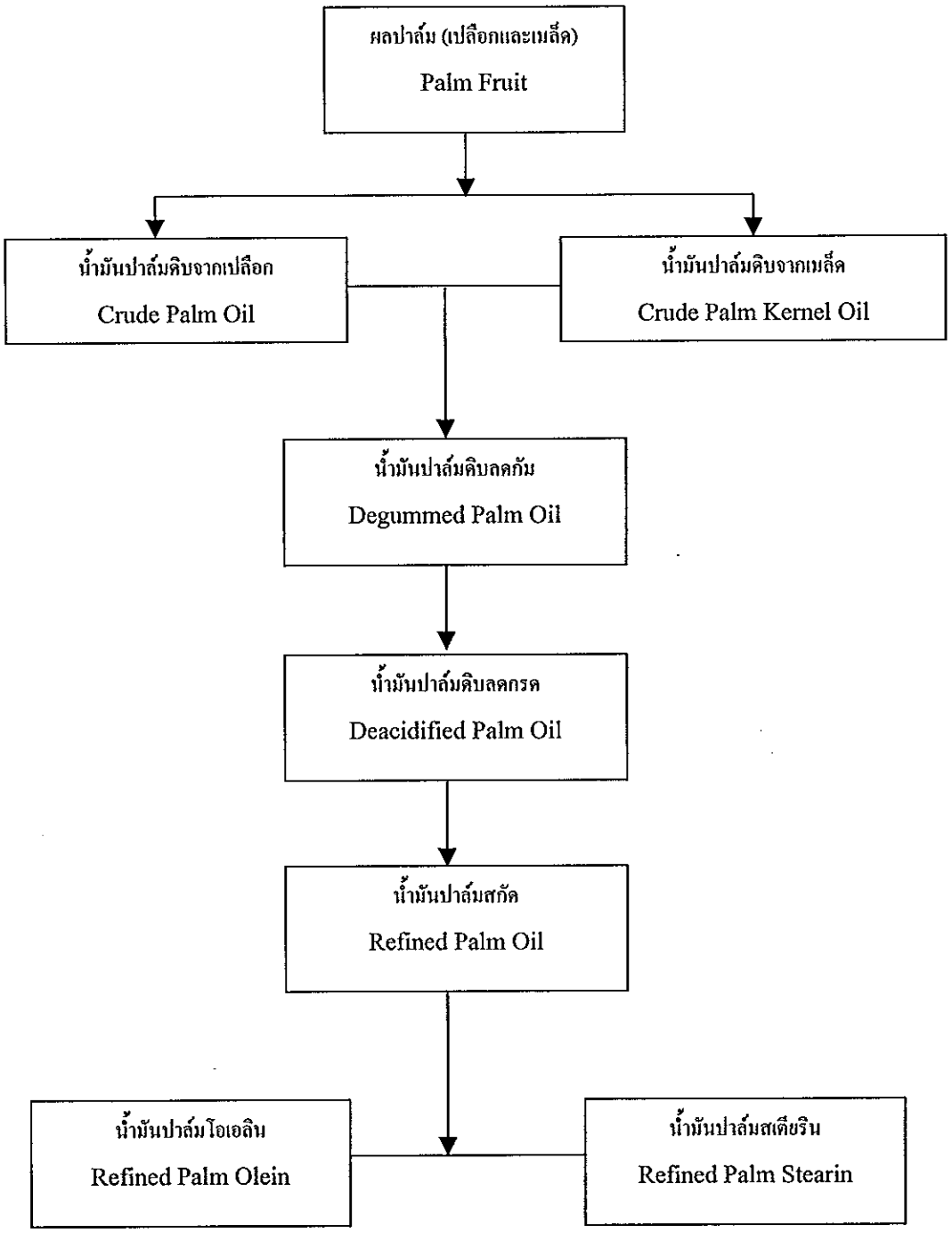


1. เฟืองฟันหวี 2. คันเร่ง 3. สปริงกาวานา 4. แขนกาวานา
5. เฟืองเพลาข้อเหวี่ยง 6. ตัวควบคุมการจ่ายน้ำมัน 7. สปริง 8. ลูกตุ้มถ่วงกาวานา
9. แกนกาวานา

รูปที่32 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

3. น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด

น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มซึ่งมีขั้นตอนต่างๆดังนี้



รูปที่33 น้ำมันปาล์มที่ได้จากผลปาล์มในขั้นตอนต่างๆ

ที่มา : ธีรวัฒน์ อภิชาโต (2545)

ก. Crude Palm Oil (CPO) และ Crude Palm Kernel Oil (CPKO)

- Crude Palm Oil (CPO) เป็นน้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากการสกัดหรือหีบเอาน้ำมันออกจากเปลือกผลปาล์ม คุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบจะวัดด้วย 3 ค่า คือกรดไขมันอิสระ ความชื้น และสิ่งสกปรกเจือปน มาตรฐานคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ประกอบด้วย กรดไขมันอิสระไม่เกิน 5% และความชื้นไม่เกิน 0.5% และสิ่งสกปรกไม่เกิน 0.5% (ชมรมเพื่อพัฒนามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)

- Crude Palm Kernel Oil (CPKO) เป็นน้ำมันดิบที่ได้จากเมล็ดในปาล์มมีสมบัติคล้ายน้ำมันมะพร้าว โดยทั่วไปจะมีราคารับซื้อสูงกว่าน้ำมันปาล์มดิบจากเปลือก เนื่องจากมีความสะอาดสูงกว่าและขั้นตอนที่จะต้องนำไปทำต่อน้อยกว่า

ข. Degummed Palm Oil เป็นน้ำมันปาล์มดิบที่เข้าสู่ขั้นตอนทำให้บริสุทธิ์ในขั้นต้น เป็นการกำจัดสิ่งสกปรกเจือปนออกไปด้วยกรดฟอสฟอริกโดยนำกรดฟอสฟอริกผสมน้ำ แล้วเติมลงในน้ำมันปาล์มดิบ กรดฟอสฟอริกจะไปจับกับสารเจือปนที่ไม่ต้องการตกลงสู่ก้นถังจากนั้นจึงทำการถ่ายออกทิ้งแล้วล้างน้ำมันปาล์มด้วยน้ำอีก 2 ครั้งเพื่อไล่กรดออกไป

ค. Deacidified Palm Oil เป็นน้ำมันปาล์มดีกัมนำมาทำการกำจัดกรดไขมันอิสระออกแล้วเรียกว่าขบวนการทำให้เป็นกลางโดยใช้สารละลายโซดาไฟจะทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระและกรดฟอสฟอริกที่หลงเหลืออยู่ ให้กลายเป็นไขสบู่ แล้วจึงทำการถ่ายออกทิ้งจากนั้นล้างน้ำมันปาล์มด้วยน้ำร้อนหลายๆครั้ง ก็จะได้น้ำมันปาล์มที่มีกรดไขมันอิสระตามต้องการ

ง. Refined Palm Oil หมายถึงน้ำมันปาล์มที่ผ่านการลดกัมลดกรดแล้วนำมาทำการไล่ความชื้น ฟอกสีและกำจัดกลิ่น น้ำมันปาล์มในขั้นตอนนี้จะมีส่วนประกอบของ Refined Palm Oil Olein และ Refined Palm Oil Stearin ในอัตราส่วนประมาณ 60/40

- Refined Palm Oil Stearin หรือไขสเตรียริน หมายถึงน้ำมันส่วนข้นที่แยกเอา Refined Palm Olein ออกไปแล้ว

- Refined Palm Oil Olein หรือน้ำมันปาล์มโอเลอิน หมายถึงน้ำมันส่วนใสที่แยกเอาน้ำมันส่วนข้นออกไปแล้ว เป็นน้ำมันที่ใช้ในการบริโภค เช่นใช้ในการทอด การผัด เป็นต้น

4. เมทิลเอสเตอร์เอสเตอร์จากน้ำมันปาล์ม

การผลิตเมทิลเอสเตอร์เป็นกระบวนการทางเคมี เรียกว่า กรรมวิธีทรานส์เอสเตอร์ริฟิเคชั่น (Transesterification) ซึ่งเป็นการนำน้ำมันพืชมาทำปฏิกิริยากับ แอลกอฮอล์ โดยใช้ กรด ด่าง หรือ เอนไซม์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ขั้นตอนทางเคมี คือ การเปลี่ยน trigryceride ซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในน้ำมันพืช ให้เป็นเอสเตอร์ กับ กลีเซอรอล หากใช้เมทานอล เป็นตัวทำปฏิกิริยาจะเรียกว่า

เมทิลเอสเตอร์ หากใช้เอทานอล ก็เรียกว่า เอทิลเอสเตอร์ สำหรับการทดสอบครั้งนี้ ได้ใช้น้ำมันปาล์มโอลีอีน ทำปฏิกิริยากับเมทานอล โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ในการทดสอบครั้งนี้ได้ทำการผลิตเมทิลเอสเตอร์ขึ้นเอง โดยได้ทำการทดลองผลิตหลายๆ ครั้ง ซึ่งแต่ละครั้งมีการเปลี่ยนพารามิเตอร์ เช่น อุณหภูมิ เวลา อัตราเร็วและเวลาในการกวน เป็นต้น เพื่อให้ได้เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธ์ของเมทิลเอสเตอร์มากที่สุด โดยมีวิธีการผลิตดังนี้

4.1 อุปกรณ์

ถังปฏิกรณ์ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาด 100 ลิตร พร้อมชุดอุปกรณ์สำหรับการผลิตเมทิลเอสเตอร์

ก. AC-DC Adapter Input AC 220 50/60 Hz Output DC 4.5V- 1.5V Model TS-05 ยี่ห้อ MOTO ใช้สำหรับแปลงสัญญาณไฟฟ้าจากกระแสสลับเป็นกระแสตรงก่อนเข้า Electric Fuel Pump

ข. Electric Fuel Pump ยี่ห้อ WE CHERNG รุ่น UC-V6B 220V ใช้สำหรับเติมสารละลายโซเดียมเมท๊อกไซด์เข้าถังปฏิกรณ์

ค. Thermocouple Control ยี่ห้อ SUPER 0 – 200 °ซ ใช้สำหรับควบคุมอุณหภูมิและอุ่นน้ำมันปาล์มโอเลอีนในถังปฏิกรณ์

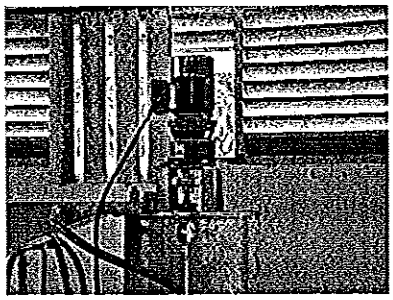
ง. Air Pump Aquarium ยี่ห้อ BIG BOY 7000 Double Outlet 2 Speed Control ใช้สำหรับล้างเมทิลเอสเตอร์ในถังล้าง

จ. Motor & Drives Model M400 อัตราทด 1: 10 Motor TYPE CY71B/4 1400 RPM 0.5 HP 220/380V 50Hz ใช้สำหรับกวนน้ำมันปาล์มโอเลอีนในถังปฏิกรณ์

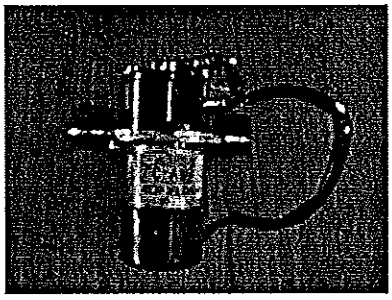
ฉ. Inverter ยี่ห้อ ABB DRIVS SAMIGS ช่วงความเร็วรอบ 0- 1500 RPM 3 เฟส 380-415V 0-120 Hz 10-13 A ใช้สำหรับปรับความเร็วรอบของมอเตอร์กวนน้ำมันปาล์มโอเลอีนในถังปฏิกรณ์

ช. Gear Pump 0.5 Hp 220V△ Y 380V 50 Amp 1400 RPM ยี่ห้อ POMPE

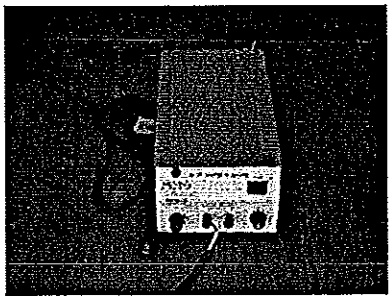
ซ. ถังน้ำมันขนาด 200 ลิตรใช้สำหรับล้างเมทิลเอสเตอร์



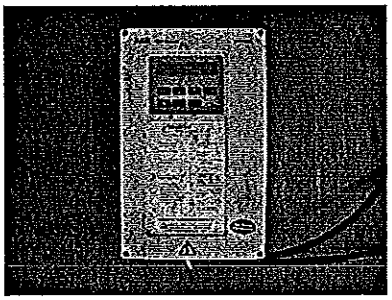
AC-DC Adapter



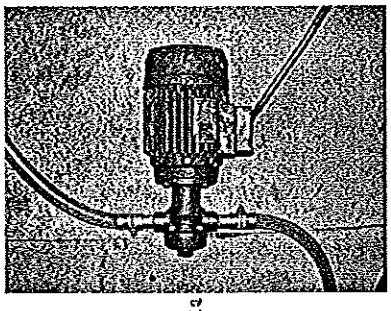
Electric Fuel Pump



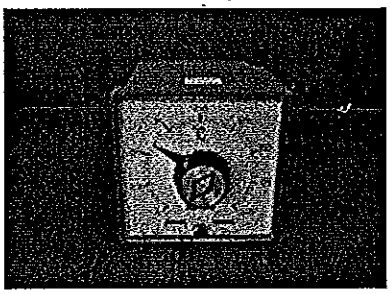
มอเตอร์ขับใบกวน



Inverter

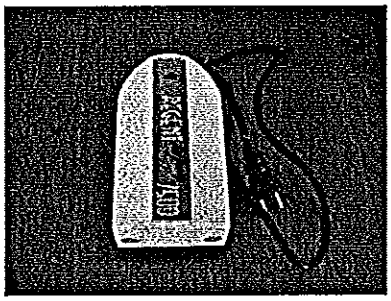


ปั๊ม



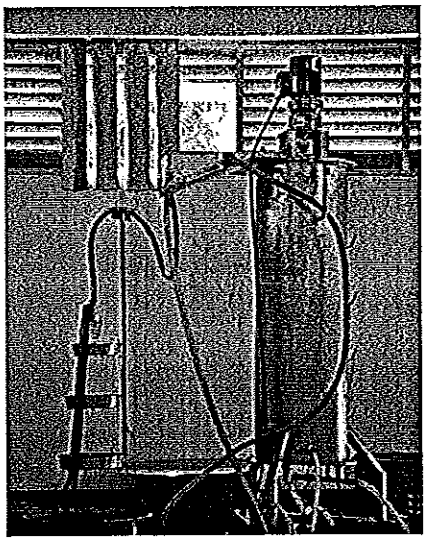
Thermocouple Control

ถังล้าง



ปั๊มลมตู้ปลา

รูปที่34 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตเมทิลเอสเตอร์



รูปที่35 ถังปฏิกรณ์ขนาด 100 ลิตร

4.2 การผลิตเมทิลเอสเตอร์

การผลิตเมทิลเอสเตอร์ จะกล่าวถึงตั้งแต่ขั้นตอนการไทเทรต การเตรียมสารตั้งต้น การทำปฏิกิริยา การแยกกลีเซอร์ ตลอดจนถึงการล้างสิ่งสกปรกออกจากเมทิลเอสเตอร์

4.2.1 การเตรียมน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยา

น้ำมันปาล์มโอเลอีนที่ใช้ในการผลิต จะต้องนำมาเตรียมให้มีความเหมาะสมก่อนนำเข้ากระบวนการผลิตเมทิลเอสเตอร์ โดยนำมาวัดปริมาณกรดไขมันอิสระที่ผสมอยู่

4.2.2 การไทเทรต

เนื่องจากในน้ำมันพืชแต่ละครั้งจะมีจำนวนกรดไขมันอิสระไม่เท่ากัน และการใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะก็มีผลสำคัญต่อการผลิต กรดไขมันอิสระเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ปริมาณตัวเร่งเหลือน้อยกว่าค่าเหมาะสม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ และ เพื่อหาค่าปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม

ก. สารเคมีที่ใช้

น้ำมันปาล์มโอเลอีน	9 ml.
Isopropanal	15 ml.
Phenopthalein in iPropanal	0.5 ml.
NaOH solution at 0.025 molar	

ข. ขั้นตอนการไทเทรต

1. เติมน้ำมันปาล์มโอเลอีนลงในขวดรูปกรวยปริมาณ 3 มล. 3 ตัวอย่าง
2. เติม Isopropanal ลงในน้ำมันปาล์มโอเลอีนทั้ง 3 ตัวอย่าง ๆ ละ 5 มล.
3. เขย่าให้เข้ากัน (สีของตัวอย่างจะใส)
4. เติม Phenopthalein in iPropanal ลงในน้ำมันปาล์มโอเลอีนทั้ง 3 ตัวอย่าง และเขย่าให้เข้ากัน
5. เตรียม NaOH solution at 0.025 molar ในบิวเรต ให้เต็มหลอด บันทึกขีดเริ่มต้น จากนั้นค่อยๆ ปล่อยสารหยดลงในตัวอย่างช้าๆ สลับกับการเขย่า เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของสี หากเขย่าแล้วสีของตัวอย่างเริ่มกลายเป็นสีชมพู และไม่เปลี่ยนกลับเป็นสีใสอีก ให้หยุดและดูปริมาณการใช้สาร NaOH solution at 0.025 molar ในบิวเรต บันทึกค่า
6. ปฏิบัติเช่นเดียวกันทั้ง 3 ตัวอย่าง
7. หาค่าเฉลี่ยของปริมาณการใช้ NaOH solution at 0.025 molar
8. นำค่าเฉลี่ยในข้อ 7 มาหารด้วย 3 (เนื่องจากใช้ตัวอย่างละ 3 มล.)
9. นำคำตอบที่ได้จากข้อ 8 มาคูณกับปริมาณน้ำมันปาล์มโอเลอีนที่ใช้ในการผลิตแต่ละครั้ง (ในการผลิตครั้งนี้ใช้น้ำมันโอเลอีนครั้งละ 100 ลิตร)

4.2.3 การเตรียมสารละลายโซเดียมเมทอกไซด์

ในการผลิตเมทิลเอสเตอร์ในครั้งนี้ ได้เลือกเมทิลแอลกอฮอล์หรือเมทานอล เป็นแอลกอฮอล์ในการทำปฏิกิริยาเพราะมีราคาถูก ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา ได้เลือกใช้โซดาไฟ หรือโซเดียมไฮดรอกด์ไซด์ เพราะมีราคาถูกและเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เกิดได้เร็ว ในการเตรียมสารละลายเริ่มต้นด้วยการเติมโซเดียมไฮดรอกด์ไซด์ลงในเมทานอลแล้วกวนให้ละลายเข้ากันโดยใช้เมทานอลจำนวน 25 ลิตร และปริมาณของโซเดียมไฮดรอกด์ไซด์จะแปรผันตามปริมาณกรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมันปาล์มโอเลอีน ซึ่งหาได้จากการไทเทรต บวกกับ 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์มโอลีอิน

4.2.4 การทำปฏิกิริยา

ในการผลิตได้ใช้ถังปฏิกรณ์ขนาด 100 ลิตร เริ่มต้นด้วยการนำน้ำมันปาล์มโอลีอีน 100 ลิตร มาอุ่นให้ได้อุณหภูมิ 60 °ซ พร้อมกับเปิดเครื่องกวนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เพื่อให้น้ำมันได้รับความร้อนทั่วถึง หลังจากนั้นให้เติมสารละลายโซเดียมเมทอกไซด์ลงในน้ำมันที่อุ่นไว้ ให้ความร้อนและทำการกวนจนครบ 1 ชั่วโมง 30 นาที ปิดเครื่องกวนและให้ความร้อนต่ออีก 45 นาที จากนั้นปิดฮีทเตอร์ และปล่อยทิ้งไว้ภายในถังปฏิกรณ์จะเกิดการแยกชั้นของเมทิลเอสเตอร์ และกลีเซอรอล โดยเมทิลเอสเตอร์ที่มีน้ำหนักเบากว่าจะอยู่ข้างบนและกลีเซอรอลซึ่งหนักกว่าจะอยู่ด้านล่าง

4.2.5 การแยกกลีเซอรอล

กลีเซอรอลจะถูกถ่ายออกทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ในขณะที่ยังร้อนอยู่ เนื่องจากหากทิ้งไว้จนเย็น กลีเซอรอลจะแข็งตัว ถ่ายกลีเซอรอล(สีน้ำตาลเข้ม) ลงในถัง และแยกเมทิลเอส เตอร์(สีเหลือง) ซึ่งไหลตามออกมาไว้อีกถัง โดยไม่ให้ผสมกัน ทิ้งไว้ข้ามคืน กลีเซอรอลเมื่ออุณหภูมิลดลงจะเริ่มแข็งตัว ส่วนเมทิลเอสเตอร์จะยังคงสภาพของเหลวอยู่ ในการเติมเมทิลเอสเตอร์ลงในถังล้าง จะต้องเติมอย่างช้าๆ และให้ปะทะกับน้ำผสมกรดซัลฟูริก เบาๆ เนื่องจากหาก เติมลงแรงเกินไป จะทำให้เมทิลเอสเตอร์รวมตัวกับน้ำ เกิดเป็นสารอิมัลชัน และรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้แยกออกจากกันได้ยาก

4.2.6 การล้างสิ่งสกปรก

การล้างเมทิลเอสเตอร์ มีจุดประสงค์เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อน เช่น สบู่ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโซดาไฟกับกรดไขมันอิสระหรือน้ำมันกลีเซอรอลที่ละลายอยู่ในชั้นเมทิลเอสเตอร์ โซดาไฟ เมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา และน้ำมันที่ทำปฏิกิริยาไม่หมด ให้ได้เมทิลเอสเตอร์ที่บริสุทธิ์ และมีค่า pH เป็นกลาง จึงจำเป็นต้องมีการล้างซ้ำกันหลาย ๆ ครั้ง โดยในครั้งแรก นำมาล้างด้วยน้ำผสมกรดซัลฟูริก วิธีการล้าง ทำได้โดยการเติมกรดซัลฟูริก ลงในน้ำ กวนให้เข้ากัน จากนั้นถ่ายเมทิลเอสเตอร์ลงไป ใช้ปั๊มลมทำให้เกิดฟองจากก้นถัง เมทิลเอสเตอร์ ที่ล้างแล้วจะลอยอยู่ชั้นบน ตรงกลางจะมีคราบสบู่ และด้านล่างจะเป็นน้ำ ในการล้างครั้งต่อไป ให้ล้างด้วยน้ำเปล่าด้วยวิธีเดียวกัน ทำการล้างหลาย ๆ ครั้งจนกว่าค่า pH ของเมทิลเอสเตอร์มีค่าเท่ากับ 7 สุดท้ายจะได้เมทิลเอสเตอร์ที่บริสุทธิ์และมีค่าเป็นกลาง

4.2.7 ผลกระทบของตัวแปรในกระบวนการผลิต

ตัวแปรสำคัญที่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์ จากกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชั่นมีดังนี้ (Ma and Hanna, 1999; Srivastava and Prasad, 2000; Ma, et al)

ก. เวลาในการทำปฏิกิริยา

เปอร์เซ็นต์ความเป็นเมทิลเอสเตอร์ เป็นสัดส่วนโดยตรงเพิ่มขึ้นอยู่กับตัวแปรเวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา (Freedman et al.,1984) จากการทดลอง โดยใช้น้ำมันพืช 4 ประเภท คือ น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันจากเมล็ดฝ้าย น้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันถั่วเหลือง เป็นสารตั้งต้นภายใต้สภาพและเงื่อนไข คือ ทำปฏิกิริยากับเมทานอล ที่อัตราส่วนโมล 6:1 โดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และควบคุมอุณหภูมิที่ 60 °ซ ตลอดการทดลอง สามารถประมาณค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นเมทิลเอสเตอร์ได้ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ จากการสุ่มตัวอย่างที่เวลา 1 นาทีของการทดลอง สำหรับน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันดอกทานตะวัน และหลังจากนั้น 1 ชั่วโมง อัตราเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเตอร์ส่วนใหญ่จะมีพฤติกรรมในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน สำหรับน้ำมันพืชทั้ง 4 ชนิด คือ เปอร์เซ็นต์ความเป็นเมทิลเอสเตอร์ประมาณ 93 ถึง 98 เปอร์เซ็นต์

ส่วนการค้นคว้าของ Ma et al. (1998) ได้ทดลองการผลิตเอสเตอร์จากไขมันวัวกับ เมทานอล โดยใช้ปฏิกิริยาตัวเร่งเบส พบว่าในช่วง 1 นาทีแรกอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะค่อนข้างช้ามาก ทั้งอาจเนื่องมาจากการกวนผสมแต่ที่ระยะเวลาตั้งแต่ 1ถึง 5 นาที ต่อมา ปฏิกิริยาจะเกิดรวดเร็วมาก และอัตราเปอร์เซ็นต์ความเป็นเมทิลเอสเตอร์ก็เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน หลังจากนั้นอัตราเร็วของปฏิกิริยาดังกล่าวจะค่อยๆ ลดลงจนค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นเมทิลเอสเตอร์สูงสุดที่เวลาประมาณ 15 นาที ส่วนปริมาณของไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ จะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและค่อยๆ ลดลงจนมีค่าคงที่ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการจะมีปริมาณของโมโนกลีเซอไรด์มากที่สุด รองลงมาคือไดกลีเซอไรด์ และน้อยที่สุดคือไตรกลีเซอไรด์

ข. อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

กระบวนการปฏิกิริยาทรานเอสเตอร์ริฟิเคชั่น สามารถเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของสารตั้งต้น ในกรณีของน้ำมันละหุ่ง ปฏิกิริยาจะดำเนินไปและให้ผลเป็นที่น่าพอใจเหมาะสมที่สุด ที่อุณหภูมิประมาณ 20 ถึง 35 °ซ ซึ่งใช้อัตราส่วนโมลของสารตั้งต้น 6:1 ถึง 12:1 และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.005 ถึง 0.35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันพืช(Smith, 1949) ส่วนสารตั้งต้นของเมทานอลกับน้ำมันถั่วเหลือง ใช้อัตรา

ส่วนโมล 6:1 ใช้ 1 เปอร์เซนต์ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดการทำปฏิกิริยา แตกต่างกัน 3 ระดับคือ 60 45 และ32 °ซ พบว่า เมื่อเวลาของการทำปฏิกิริยาครบ 1 ชั่วโมง เปอร์เซนต์ความเป็นเมทิลเอสเตอร์ ที่อุณหภูมิ 60และ 45 °ซ มีค่าเท่ากัน แต่ที่อุณหภูมิ 32 °ซ จะมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย จึงเห็นได้ว่า อุณหภูมิของปฏิกิริยามีผลกระทบต่อการเกิดปฏิกิริยาอย่างเห็นได้ชัด(Freedman et al.,1984)

โดยทั่วไปแล้วอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยา จะเป็นฟังก์ชั่นโดยตรงกับอุณหภูมิที่ใช้ จากงานวิจัยส่วนใหญ่พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยามากที่สุด คือ อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเดือดของเมทานอล ซึ่งอยู่ประมาณ 60 ถึง 70 °ซ ภายใต้ความดันบรรยากาศ มีสภาพและเงื่อนไขที่ไม่รุนแรงนัก แต่ต้องการสารตั้งต้นที่มีปริมาณน้ำและกรดไขมันที่ต่ำมาก (Huied ., 1996) เปอร์เซนต์ความเป็นเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน จะมีค่าสูงสุดเมื่อทำปฏิกิริยาที่ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 60 ถึง 80 °ซ ที่อัตราส่วนโดยโมลของสารตั้งต้นระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำมันเท่ากับ 6:1 (Dunn and Bagby, 1995; Chang, et al., 1996;)

ค. ความบริสุทธิ์ของสารตั้งต้น

คุณภาพของสารตั้งต้นและความบริสุทธิ์ของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่นของกรดไขมันด้วยตัวเร่งเบส มีดังนี้ (Peterson et al .1996)

- ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ควรมีความบริสุทธิ์ของเนื้อสาร มากกว่า 85 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ซึ่งโดยปรกติต้องมีน้ำผสมอยู่โดยหลีกเลี่ยงไม่ได้ประมาณ 14 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ และควรมีองค์ประกอบของเกลือคาร์บอเนตต่ำ เพราะอาจจะมีผลทำให้ผลผลิตเมทิลเอสเตอร์ขุ่นได้

- เอทานอลที่ใช้ควรมีความบริสุทธิ์สูง ไม่ควรมีน้ำผสมอยู่เลย ยอมให้มีได้ไม่เกิน 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก แต่อนุญาตให้มีน้ำมันเบนซินอยู่ได้เล็กน้อย เพราะไม่มีผลต่อปฏิกิริยา

- น้ำมันเรบซีด (rapeseed) ดิบควรจะต้องผ่านการกรองและมีลักษณะใส เพราะตะกอนที่มีอยู่ในน้ำมันจะมีผลต่อการแยกวัฏภาคของกลีเซอรอลออกจากผลิตภัณฑ์เอทิลเอสเตอร์ของน้ำมัน นอกจากนั้นแล้วยังสามารถเป็นตัวกลางทำให้เกิด ระบบอิมัลชั่นซึ่งมีเสถียรภาพสูงระหว่างการล้างด้วยน้ำอีกด้วย ทั้งนี้ต้องไม่มีปริมาณน้ำและกรดไขมันอิสระมากเกินไป เนื่องจากจะทำให้สิ้นเปลืองตัวเร่งปฏิกิริยามากขึ้น

ง. ความชื้นและกรดไขมัน

ความบริสุทธิ์ของวัตถุดิบ ซึ่งใช้เป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเตอร์ริฟิเคชั่น ด้วยตัวเร่งเบส ไตรกลีเซอไรด์ที่ใช้ต้องมีค่าเป็นกรดควรน้อยกว่า 1 และสารตั้งต้นต้องปราศจากน้ำ แต่ถ้าน้ำมันพืชมีค่าความเป็นกรดมากกว่า 1 หรือมีปริมาณน้ำผสมอยู่เล็กน้อยจะต้องเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อชดเชยกับการทำให้กรดไขมันอิสระเป็นกลาง และส่วนหนึ่งสูญเสียไปกับการละลาย หรือแตกตัวของปริมาณน้ำที่ปนเปื้อนด้วย(Wright et al, 1944)

นอกจากนั้นแล้วปริมาณน้ำทั้งที่เกิดขึ้นและมีอยู่ระหว่างการทำปฏิกิริยาจะทำให้เกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชั่น ได้ผลิตภัณฑ์สบู่ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ต้องสิ้นเปลืองตัวเร่งปฏิกิริยาเบสเพิ่มขึ้น และยังทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงอีกด้วย สบู่ที่เกิดขึ้นจะส่งผลต่อเนื่องทำให้ความหนืดของผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมันเพิ่มขึ้น และเกิดการก่อตัวเป็นโครงสร้างเจลซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญ ทำให้กระบวนการแยกของผลิตภัณฑ์ที่ได้ระหว่าง วัฏภาคของกลีเซอรอลและเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมันทำได้ยากยิ่งขึ้น

จ. อัตราส่วนโมลระหว่างแอลกอฮอล์กับไตรกลีเซอไรด์

อัตราส่วนโมลของสารตั้งต้นระหว่างแอลกอฮอล์กับไตรกลีเซอไรด์ ของปฏิกิริยา ทรานเอสเทอริฟิเคชั่น เป็นตัวแปรสำคัญที่สุดตัวหนึ่งซึ่งมีผลกระทบต่อผลได้ของแอลคิลเอสเตอร์ อย่างมาก โดยปกติอัตราส่วนสมดุลมวลสารสัมพันธ์ สำหรับปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชั่น โดยทางทฤษฎีแล้วต้องการแอลกอฮอล์ 3 โมลทำปฏิกิริยากับ 1 โมลไตรกลีเซอไรด์ เพื่อให้ได้ผลผลิตแอลคิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน 3 โมล และกลีเซอรอล 1 โมลแต่เนื่องจากปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นชุดของปฏิกิริยาตามลำดับที่ผันกลับได้ ดังนั้นจึงต้องใช้แอลกอฮอล์ที่มากเกินพอ เพื่อขับดันให้สมดุลของปฏิกิริยาเลื่อนไปทางผลิตภัณฑ์มากที่สุด นอกจากนั้นแล้วอัตราส่วนโมลยังจะมีผลสัมพันธ์กับชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้อีกด้วย

ฉ. ชนิดและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้สำหรับกระบวนการปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชั่น สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ เบส กรด และเอนไซม์ (Ma and Hanna, 1999)

โดยกระบวนการปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชั่น ซึ่งใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสจะมีอัตราเร่งของปฏิกิริยา เร็วกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดมาก (Freedman et al, 1984) โดย(Formo, 1954) รายงานว่าน่าจะเร็วกว่า 400 เท่าโดยประมาณ ภายใต้สภาพและเงื่อนไข

ของปฏิกิริยาเหมือนกันที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้แล้วตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดยังก่อให้เกิดปัญหาการ กัดกร่อน ต่อหน่วยปฏิบัติการและอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต มากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นมาก ดังนั้นการผลิตเชิงพานิชย์ในปัจจุบันและที่ผ่านมา จึงนิยมใช้กระบวนปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชั่นด้วยตัวเร่งเบส

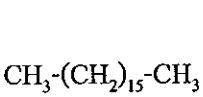
แต่อย่างไรก็ตามถ้าไขมันและน้ำมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์ ซึ่งเป็นแหล่งไตรกลีเซอไรด์ที่ใช้เป็นสารตั้งต้น มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่าข้อกำหนด โดยเฉพาะถ้ามีปริมาณน้ำสูงอยู่ด้วยละก็ควรใช้ปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชั่นด้วยตัวเร่งกรด ซึ่งจะมีความเหมาะสมมากกว่า(Freedman et al., 1984) โดยกรดที่ใช้อาจเป็น กรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริก หรือตัวใดตัวหนึ่งก็ได้

ช. ความรุนแรงในการผสม

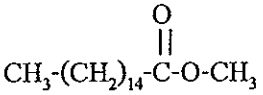
การศึกษาค้นคว้าและทำวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบ ของปัจจัยความรุนแรงในการผสมต่อปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชั่นมีค่อนข้างน้อย ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาที่ผ่านไปไม่นานนัก โดยเฉพาะในกรณีที่ใช้ไขมันสัตว์ ซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียสเป็นสารตั้งต้น ปฏิกิริยาเริ่มต้น ดำเนินไปในระบบสารตั้งต้น ของสารสองวัฏภาคที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน มีพฤติกรรมในลักษณะอัตราเร็วของปฏิกิริยาในช่วงเริ่มต้นค่อนข้างช้า อาจเนื่องจากปัจจัยที่ควบคุมปฏิกิริยา ของการแพร่ระหว่างสารตั้งต้นทั้งสองวัฏภาคไม่ดีเพียงพอ แต่หลังจากที่เกิดผลิตภัณฑ์ แอลคิลเอสเตอร์ของกรดไขมันขึ้นแล้ว จะเป็นตัวกระตุ้นและชักนำให้ระบบแพร่กระจายระหว่างกันกลายเป็นวัฏภาคเดี่ยว ทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในเวลาต่อมา ดังนั้นการกวนผสมรุนแรงจะมีผลต่อปฏิกิริยาเฉพาะในช่วงแรกเท่านั้น หลังจากที่ระบบเกิดเป็นวัฏภาคเดี่ยวในช่วงต่อมาแล้ว การกวนผสมจึงไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อปฏิกิริยา

4.2.8 การเปรียบเทียบโครงสร้างเชิงเคมีของน้ำมันดีเซลและเมทิลเอสเตอร์

น้ำมันดีเซลเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยคาร์บอน และไฮโดรเจน เป็นส่วนประกอบหลักเกือบ 100 % โดยมีออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และอื่นๆ ปนเปื้อนอยู่น้อยมาก แต่เมทิลเอสเตอร์ จะประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และ ออกซิเจน เป็นส่วนประกอบหลัก ดังนี้



ตัวอย่างไฮโดรคาร์บอน C17 อะตอมในน้ำมันดีเซล



ตัวอย่างไฮโดรคาร์บอน C17 อะตอมในเมทิลเอสเตอร์

ตารางที่1 เมทิลเอสเตอร์มาตรฐาน EUROPE และ USA

	EUROPE	**USA**
Standard /Specification	EN 14214	ASTM D-6751
Application	FAME	FAMAE
Cetane No.	>51	>47
Methanol (% mass)	<0.20	-
Ester content (% mass)	>96.5	-
Monoglyceride (% mass)	<0.8	-
Diglyceride (% mass)	<0.2	-
Triglyceride (% mass)	<0.2	-
Free glycerol (% mass)	<0.02	<0.02
Total glycerol (% mass)	<0.25	<0.24

ที่มา : Biodiesel fuel properties and standards, by Terry de Winne

ตารางที่2 แสดงรายละเอียดข้อกำหนดทางคุณภาพ ของเมทิลเอสเตอร์ตามมาตรฐาน ASTM PS 121 เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลปิโตรเลียมตามมาตรฐาน ASTM D 975

Standard Test	ASTM D 975	ASTM PS 121	Thai Regulation
Fuel	Diesel Fuel	Biodiesel	High Speed Deisel
Major Substance	Hydrocarbon C10-C21	FattyAcid Mathyl Ester C12-C22	
Higher Heating Value, MJ/kg			44.3
Kinematic Viscosity, cSt @ 40 °C	1.3-4.1	1.9-6.0	1.8-4.1
Specific gravity, kg/l @60 °C	0.85	0.88	0.81-0.87
Water Content, ppm by wt	161	0.05%max	0.05%max
Carbon, wt%	87	77	-
Hydrogen, wt%	13	12	-
Oxyen, wt%	0	11	-
Sulfur, wt%	0.05max	0	0.05max
Boiling Point Range, °C	188-343	182-338	-
Flash Point, °C	>52	100-170	>52
Cloud Point, °C	-15 to 5	-3 to 12	-
Pour Point, °C	-35 to 15	-15 to 6	10<
Cetane Number	>47	-	>47

ที่มา : เอกสารเผยแพร่จาก U.S. Department of Energy, Biodisel. May 2000.

เอกสารเผยแพร่จาก U.S. Department of Energy, Biofuelsnews. Summer 1999.

ก. **ดัชนีซีเทน (Cetane Index)**

ดัชนีซีเทนเป็นค่าแสดงคุณภาพในการจุดระเบิดของน้ำมันเชื้อเพลิง (Ignition quality) น้ำมันที่มี Ignition delay สั้นสุดจะมีคุณสมบัติการต้านทานการน็อคได้ดีที่สุด Ignition delay คือความล่าช้าในการติดไฟ โดยทั่วไปกำหนดให้ไม่เกิน 0.003 วินาที ยิ่งสั้นเท่าไหร่

ยิ่งดี เริ่มจากน้ำมันถูกฉีดเข้ากระบอกสูบ ใช้เวลาในการอุ่นเป็นไอ (Vapour) และรวมตัวกับอากาศเริ่มลุกไหม้ (Rapid combustion) น้ำมันที่มีค่าซีเทนสูงจะมีความล่าช้าในการติดไฟสั้น และหากมีค่าซีเทนต่ำจะมีความล่าช้าในการติดไฟนาน

กรณีที่น้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าซีเทนต่ำเกินไป จะทำให้มีการสะสมน้ำมันเชื้อเพลิงไว้มากๆ แล้วลุกไหม้ขึ้นพร้อมกันทีเดียว อันเป็นผลให้เกิด Detonation knock ขึ้น น้ำมันที่มีค่าซีเทน พอเหมาะจะช่วยให้เครื่องยนต์ติดง่ายเครื่องยนต์เดินเรียบมีควันและเขม่าน้อยและประหยัดเชื้อเพลิงด้วย ดัชนีซีเทนของน้ำมันดีเซลตามข้อกำหนดของกระทรวงพานิชย์ไม่ต่ำกว่า 47
การหาค่าดัชนีซีเทนทำตาม ASTM D 976

ข. **ความหนืด (Viscosity)**

ความหนืดของของเหลว คือ อัตราการต้านทานต่อการไหลภายในเนื้อของของเหลว น้ำมันที่มีความหนืดต่ำจะไหลได้ง่าย ส่วนน้ำมันที่มีความหนืดสูงจะไหลได้ช้า ดังนั้นความหนืดต้องมีค่าที่เหมาะสม ความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงมีอิทธิพลต่อรูปร่างของละอองน้ำมัน หากความหนืดสูงจะทำให้การฉีดเป็นฝอยละอองไม่ดี ละอองน้ำมันมีขนาดใหญ่น้ำมันพุ่งไปไกล นอกจากนี้น้ำมันจะพุ่งเป็นสายแทนที่จะเป็นละอองเล็กๆ ผลคือน้ำมันรวมกับอากาศไม่ดี ทำให้การสันดาปไม่สมบูรณ์ กำลังเครื่องยนต์และประสิทธิภาพตกในที่สุด และยิ่งเป็นเครื่องยนต์ขนาดเล็กแล้วน้ำมันอาจจะพุ่งไปกระทบกระบอกสูบ ชะล้างฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นลงสู่ก้นอ่างทำให้เครื่องยนต์สึกหรอมาก และน้ำมันเครื่องสกปรกเร็ว

น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีความหนืดต่ำ จะทำให้น้ำมันที่พ่นออกมาเป็นฝอยละเอียดมากจึงพุ่งไปไม่ไกลเท่าที่ควรการสันดาปจะไม่ดีนัก กำลังและประสิทธิภาพเครื่องยนต์ตกเช่นกัน น้ำมันเชื้อเพลิงที่ความหนืดต่ำจะมีการรั่วกลับในตัวปั๊มเชื้อเพลิงแรงดันสูงมาก ภายใต้สภาพการณ์เช่นนี้จำนวนน้ำมันที่ผ่านหัวฉีดออกไปจะน้อยกว่าที่ควรทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องตก นอกจากนี้การสึกหรอของชิ้นส่วนในระบบเชื้อเพลิงอาจจะมากขึ้นเนื่องจากความหนืดต่ำจะทำให้การหล่อลื่นที่ไม่ดี ความหนืดของน้ำมันดีเซลตามข้อกำหนดของกระทรวงพานิชย์อยู่ในช่วง 1.8 - 4.1 cSt ที่อุณหภูมิ 40 °ซ และ การหาค่าความหนืดทำตาม ASTM D 445

ค. **ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)/ (API Gravity)**

เป็นการระบุความหนักเบาของน้ำมันที่อุณหภูมิ 15.6°ซ ซึ่งใช้สเกล API โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้ Degree API Gravity @ 15.6°ซ = (141.5 / SP.Gr @ 15.6°ซ) – 131.5

เป็นที่น่าสังเกตว่าน้ำมันที่มี API gravity ยิ่งต่ำลง ความถ่วงจำเพาะจะยิ่งสูง(มีค่าใกล้ 1 เข้าไปทุกที) น้ำมันก็ยิ่งหนักขึ้น และในทางตรงข้าม ถ้าน้ำมันยิ่งเบาลง API gravity ก็ยิ่งสูงขึ้นและความถ่วงจำเพาะยิ่งต่ำลงด้วย นอกจากนี้ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันยังมีส่วนสัมพันธ์กับ

- ปริมาณไฮโดรเจนในน้ำมัน คือน้ำมันที่หนักขึ้น (API ต่ำลง) จะมีเปอร์เซนต์ของไฮโดรเจนในน้ำมันน้อยลง

- ค่าความร้อนของน้ำมันคือค่าความร้อนของน้ำมันต่อหน่วยน้ำหนักจะลดลงเมื่อน้ำมันหนักขึ้น (ความถ่วงจำเพาะสูงขึ้นหรือ API ต่ำลง)

ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันดีเซลตามข้อกำหนดของกระทรวงพานิชย์อยู่ในช่วง 0.81 ถึง 0.87ที่อุณหภูมิ 15.6/15.6°ซ การหาค่าความถ่วงจำเพาะทำตาม ASTM D 1298

ง. ค่าความร้อน (Heating Value /Calorific Value)

ค่าความร้อน คือความร้อนที่ได้จากการลุกไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงกับออกซิเจน ค่าความร้อนที่ได้มี 2 กรณี ในกรณีที่หนึ่ง เป็นความร้อนที่ได้หลังจากการลุกไหม้และมีการกลั่นตัวของไอน้ำเป็นหยดน้ำ เรียกว่าค่าความร้อนสูง (High Heating Value: HHV)ในกรณีที่สอง เป็นความร้อนที่ได้ในกรณีที่ไอน้ำไม่มีการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ เรียกว่าค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value: LHV) สำหรับหน่วยที่ใช้ทั่วไปมีอยู่ 2 หน่วย คือ

1. หน่วย บี.ที.ยู (British Thermal Unit)หมายถึงปริมาตรความร้อนที่ทำให้น้ำจำนวน 1 ปอนด์ มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1°F เรียกว่า 1 หน่วยความร้อน บี.ที.ยู

2. หน่วยแคลอรี (calorie) หมายถึงปริมาณความร้อน ที่ทำให้น้ำจำนวน 1 กรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1°ซ เรียกว่า 1 หน่วยความร้อนแคลอรี1 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม เท่ากับ 1.8 บีทียู/ปอนด์

เชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน จะต้องมีไฮโดรเจนเป็นส่วนประกอบเสมอและเมื่อเกิดการลุกไหม้จะต้องได้น้ำ (H_2O) เสมอน้ำที่ได้จากการเผาไหม้จะอยู่ในรูปไอน้ำ เมื่อยังร้อนอยู่ แต่เมื่อเย็นลงก็จะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ค่าความร้อนที่หาได้จากเครื่องมือในห้องปฏิบัติการจะเป็น ค่าความร้อนสูง หมายถึง ค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ รวมกับค่าความร้อนแฝงที่ได้จากการกลั่นตัวของไอน้ำ การหาค่าความร้อนทำตาม ASTM D240

จ. จุดวาบไฟ (Flash Point)

จุดวาบไฟของน้ำมันเชื้อเพลิง มีความสำคัญในด้านอันตรายจากอัคคีภัยในการขนส่งเก็บรักษา และใช้งานเท่านั้น แต่ไม่มีความสำคัญโดยตรงต่อการสันดาปและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังใช้จุดวาบไฟ สำหรับตรวจสอบหากมีน้ำมันชนิดเบากว่าเจือปน อุณหภูมิจุดวาบไฟของน้ำมันดีเซลตามข้อกำหนดของกระทรวงพานิชย์ ไม่ต่ำกว่า 52°ซ การหาอุณหภูมิจุดวาบไฟทำตาม ASTM D 93

ฉ. การกลั่น (Distillation)

การกลั่น คือ ความสามารถในการระเหยของน้ำมันเชื้อเพลิง คุณสมบัติข้อนี้มีความสำคัญต่อการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเครื่องยนต์รอบปานกลางและรอบสูง สำหรับความสามารถในการระเหยที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับรอบ ขนาด และการออกแบบของเครื่องยนต์ การใช้เชื้อเพลิงที่ระเหยยากนั้นจะทำให้น้ำมันฉีดเป็นฝอยไม่ดี ผลคือ กำลัง และประสิทธิภาพของเครื่องตก หากใช้เชื้อเพลิงที่ระเหยง่ายเกินไปจะทำให้กำลังและประสิทธิภาพตกเช่นกัน เนื่องจากอาจจะเกิด Vapour lock ในระบบเชื้อเพลิงหรือหยดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีดออกจากหัวฉีดไม่สามารถที่จะไปไกลเท่าที่ควร ช่วงการกลั่นของน้ำมันควรจะต่ำที่สุดโดย ไม่ทำให้คุณสมบัติด้านจุดวาบไฟ การลุกติดไฟ ค่าความร้อน ตลอดจนความข้นใสเสียไป หากอุณหภูมิที่น้ำมันกลั่นออกมา 10% สูงไปจะทำให้เครื่องยนต์ติดยาก หากอุณหภูมิที่น้ำมันกลั่นออกมา 10% และ80% ห่างกันเกินไป จะทำให้ช่วงเวลาการอุ่นเครื่องยนต์นานขึ้น ส่วนอุณหภูมิที่น้ำมันกลั่นตัวออกมา90% และจุดสุดท้ายของการกลั่นต่ำ จะช่วยลดการเกิดเถ้าคาร์บอน และความสกปรกของน้ำมันเครื่องยนต์ การหาอุณหภูมิการกลั่นทำตาม ASTM D 86

ช. น้ำและตะกอน (Water and Sediment)

น้ำและตะกอนเป็นอุปสรรคตัวหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับอายุการใช้งานของไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากทำให้เกิดไขและการอุดตันของกรองน้ำมันเชื้อเพลิง การหาน้ำและตะกอนทำตาม ASTM D 2709

ซ. กากถ่าน (Carbon Residue)

กากถ่าน คือ กากคาร์บอน หรือเขม่าที่เหลือตกค้างในน้ำมันเชื้อเพลิงจากการเผาไหม้ กากคาร์บอนเป็นตัวชี้ให้เห็นสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น ๆ ว่าถ้านำไปใช้กับ

เครื่องยนต์แล้วจะเกิดเขม่าจับตามชิ้นส่วนของเครื่องยนต์มากน้อยเพียงใด การหากากถ่านทำตาม ASTM D 4530

ฌ. เถ้า (Ash)

เถ้าเป็นสารที่ไม่ไหม้ไฟ ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของ ของแข็ง หรือสบู่โลหะที่ละลายได้ในน้ำมันเชื้อเพลิง เถ้าเป็นตัวที่เป็นอันตรายต่อการสึกหรอของเครื่องยนต์ การหาเถ้าทำตาม ASTM D 482

ญ. ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์

วัดโดยเทคนิค TLC (Thin Layer Chromatograph) โดยใช้ Stationary Phase: Chromarod- S III และ 1st mobile phase: n-hexane: diethyl ether: formic acid = 50:20:03, 2nd mobile phase: n-hexane:benzene=1:1 เพื่อหาความบริสุทธิ์ของความเป็นเมทิลเอสเตอร์

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

1. บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบรวมถึงวิธีการทดสอบซึ่งเป็นการทดสอบสมบัติของเชื้อเพลิง การทดสอบเครื่องยนต์ในห้องปฏิบัติการในส่วนของรายละเอียดของวิธีการทดสอบจะกล่าวไว้ในภาคผนวก ค

2. วัสดุ และอุปกรณ์

2.1 เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว แบบ Indirect Injection (IDI) ยี่ห้อคูโบต้า รุ่น ET80 ปริมาตรช่วงชัก 465 ซีซี จำนวน 3 เครื่อง กำหนดรหัสดังนี้

เครื่องยนต์ ET 802 สำหรับทดสอบน้ำมันดีเซล

เครื่องยนต์ ET 803 สำหรับทดสอบเมทิลเอสเตอร์

เครื่องยนต์ ET 805 สำหรับทดสอบน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด อุ่นที่อุณหภูมิ 120 °ซ

2.2 ไดนาโมมิเตอร์ ขนาด 12 แรงม้า ความเร็วรอบ 750-2500 รอบ/นาที กำลังเบรกของไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ (BHP) = WN/5000 แรงม้า โดยที่ W เป็นค่าที่อ่านจากตาชั่งและ N เป็นความเร็วรอบของไดนาโมมิเตอร์ ไดนาโมมิเตอร์เป็นของ ยี่ห้อ PLINT&PARTNERSซึ่งมีอุปกรณ์วัดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ไดนาโมมิเตอร์นี้ใช้ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ทุกเครื่องก่อนการใช้งานและทุกๆ ระยะเวลาการทำงานเครื่องยนต์ครบ 500 ชั่วโมง

2.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 7.5 กิโลวัตต์ 230โวลต์ 32.6 แอมป์ 50 เฮิทซ์ ความเร็วรอบ 1,500-1,800 รอบต่อนาที ประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 80% ยี่ห้อ MINDONG YANAN ELECTRIC MACHINE จำนวน 2 ชุด ใช้เป็นภาระของเครื่องยนต์

2.4 แผงภาระแบบหลอดไฟจำนวน 2 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วยจำนวนหลอดไฟฟ้าบนแผง 50 หลอด ใช้หลอดไฟขนาด 100 และ 200 วัตต์ แต่ละหลอดมีสวิทช์ควบคุมการปิด-เปิด ติดตั้งมิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า และมิเตอร์จับเวลาการทำงานเครื่องยนต์ แผงภาระต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใช้เป็นภาระของเครื่องยนต์ในการทดสอบใช้งาน

2.5 เครื่องชั่ง METTLER AE 200 พิกัด 205 กรัม ความละเอียด 0.0001 กรัม ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักอุปกรณ์ของเครื่องยนต์

2.6 ถังอุ่นน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด เป็นถังรูปทรงกระบอกขนาด 200 ลิตร ภายในถังมีท่อเหล็กขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ขดเป็นวงกลม ปลายท่อด้านล่างของถังสวมต่อกับท่อไอเสียของเครื่องยนต์ และปลายอีกด้านหนึ่ง ไว้สำหรับปล่อยไอเสียออกสู่บรรยากาศ ใช้สำหรับอุ่นน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดให้ไหลง่ายขึ้น

2.7 ฮีทเตอร์ ยี่ห้อ TOSHIBA รุ่น 230โวลต์ 32 แอมป์ 4200 วัตต์ ใช้สำหรับอุ่นน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 120 °ซ ใช้ในการทดสอบเครื่องยนต์

2.8 นาฬิกาจับเวลา ความละเอียด 1/100 ของนาที ใช้จับเวลาการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการทดสอบเครื่องยนต์บนแท่นไดนาโมมิเตอร์

2.9 เครื่องวัดความเร็วรอบ แบบใช้ลำแสง DT-240P ย่านการวัด100-5,000 รอบต่อนาที ยี่ห้อ DIGICON ใช้วัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ในการทดสอบบนแท่นไดนาโดมิเตอร์ และการทดสอบการใช้งาน

2.10 เครื่องวัดอุณหภูมิ K-type thermocouple: -200 °ซ to 1370°ซ ยี่ห้อ FLUKE ใช้วัดอุณหภูมิของไอเสียเครื่องยนต์ ในการทดสอบบนแท่นไดนาโมมิเตอร์

2.11 เครื่องวัดปริมาณควันดำ HBN-1500 ช่วงการวัด 0-100% ยี่ห้อ HESHBON MACHINERY ใช้วัดปริมาณควันดำ ในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ ในการทดสอบบนแท่นไดนาโมมิเตอร์

2.12 เครื่องวัดอุณหภูมิจุดวาบไฟ FLASHPOINT TESTER AF3 วัดอุณหภูมิได้สูงสุด 399°ซ ยี่ห้อ SUNYO ใช้หาค่าอุณหภูมิจุดวาบไฟของน้ำมัน

2.13 เครื่องวัดค่าความร้อน OSK 150 VACUUM FLASK ADIABATIC OXYGEN BOMB CALORIMETER ยี่ห้อ OGOWA SEIKI ใช้หาค่าความร้อนสูงของน้ำมัน

2.14 เครื่องชั่ง LIBROR EB-3200H พิกัด3,200 กรัม ความละเอียด 0.01 กรัม ใช้ชั่งน้ำหนักของสารเคมี

2.15 เครื่องวัดความหนืด Say bolt Viscosimeter ใช้หาค่าความหนืดของน้ำมัน

2.16 เครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ Hydrometer ใช้หาค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมัน

2.17 น้ำมันหล่อลื่น PTT SAE40 V-120

2.18 ขวดพลาสติกขนาด 100, 250, 500 และ1,000 ซีซี ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำมันเครื่องและน้ำมันตัวอย่าง

2.19 แปรงลวดทองเหลือง ใช้ทำความสะอาดอุปกรณ์เครื่องยนต์

2.20 ถังน้ำขนาด 200 ลิตร ใช้สำหรับบรรจุน้ำมัน

2.21 น้ำมันปาล์มโอเลอีน

2.22 น้ำมันดีเซล

2.23 น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด

3. วิธีการทดสอบ

ในการทดสอบครั้งนี้ใช้เชื้อเพลิง 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์ม เพื่อศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิง และทดสอบใช้กับเครื่องยนต์เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อเครื่องยนต์ และนำผลมาเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

3.1 การศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิง

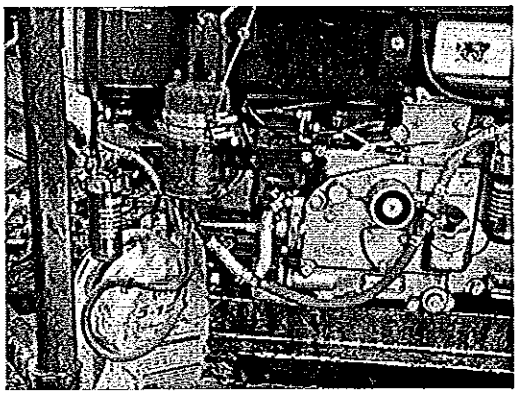
การทดสอบสมบัติของเชื้อเพลิงแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ

ก. การทดสอบในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทำการทดสอบสมบัติ 4 ค่า ดังต่อไปนี้ คือ ความถ่วงจำเพาะ อุณหภูมิจุดวาบไฟ ค่าความหนืด และค่าความร้อน

ข. ส่งตัวอย่างเชื้อเพลิงไปทดสอบยังสถาบันวิจัยและเทคโนโลยีปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย เพื่อเปรียบเทียบผล และเพื่อทดสอบสมบัติอื่นๆ ของเชื้อเพลิงเพิ่มเติมได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ อุณหภูมิจุดวาบไฟ ค่าความหนืด ค่าความร้อน ค่าซีเทน ปริมาณน้ำและตะกอน ปริมาณกากถ่าน ปริมาณเถ้า และ อุณหภูมิการกลั่นตัวที่ 90%

3.2 การทดสอบเครื่องยนต์

ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เป็นการนำเชื้อเพลิงมาทดสอบใช้กับเครื่องยนต์เพื่อศึกษา 2 ประเด็นหลัก คือ สมรรถนะและการสึกหรอ โดยใช้เครื่องยนต์ยี่ห้อคูโบต้า รุ่น ET80 เป็นเครื่องทดสอบ กำหนดรหัสดังนี้ เครื่องยนต์ ET802 เดินเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเพื่อเป็นเครื่องอ้างอิง เครื่องยนต์ ET803 เดินเครื่องยนต์โดยใช้เมทิลเอสเตอร์เป็นเชื้อเพลิง และเครื่องยนต์ ET 805 เดินเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดเป็นเชื้อเพลิง ในส่วนเครื่องยนต์ ET802 และ เครื่องยนต์ ET 803 ไม่มีการดัดแปลงเครื่องยนต์ แต่เครื่องยนต์ ET 805 ได้ทำการติดตั้งฮีทเตอร์ไว้สำหรับอุ่นน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดให้ร้อน และควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 120 °ซ ในขณะใช้งาน เดินเครื่องแบบคู่ขนาน ซึ่งมีลำดับขั้นตอนในการทดสอบดังนี้



รูปที่36 ฮีทเตอร์สำหรับอุ่นน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดของเครื่องยนต์ ET 805

3.2.1 การรันอินเครื่องยนต์ 50 ชั่วโมง

ก. เดินเครื่องยนต์รหัส ET 802 ET 803 และ ET 805 ด้วยน้ำมันดีเซล โดยไม่มีภาระเป็นเวลา 50 ชั่วโมง

ข. ถอดเครื่องยนต์ เพื่อนำชิ้นส่วน ได้แก่ ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Pump) ลิ้นส่งน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Valve) ลิ้นไอดี (Inlet Valve) ลิ้นไอเสีย (Exhaust Valve) แหวนลูกสูบ (Piston Rings) และแบริ่งก้านสูบ (Connecting Rod Bearing) มาทำความสะอาด ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.0001 กรัม เพื่อเก็บข้อมูลเริ่มต้น

ค. วัดระยะห่างของปากแหวนลูกสูบทั้ง 4 ตัว ประกอบด้วย แหวนอัดเบอร์1 แหวนอัดเบอร์2 แหวนอัดเบอร์3 และแหวนน้ำมัน เมื่อเสร็จแล้วประกอบเครื่องยนต์กลับเข้าที่เดิม

ง. ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ บนแท่นไดนาโมมิเตอร์ เพื่อวัดค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (Specific Fuel Consumption) ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (Exhaust Gas Temperature) และปริมาณควันดำของก๊าซไอเสีย (Black Smoke in Exhaust Gas)

3.2.2 การเดินเครื่องยนต์ในช่วง 500 ชั่วโมงแรก

ก. นำเครื่องยนต์รหัส ET 802 ET 803 และ ET 805 ประกอบบนแท่นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อขับเจนเนอเรเตอร์จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแผงภาระหลอดไฟฟ้า โดยใช้สายพาน B64 จำนวน 2 เส้น เป็นตัวส่งกำลัง

- เครื่องยนต์ ET 802 เดินเครื่องด้วยน้ำมันดีเซล และ ET 803 เดินเครื่องด้วยเมทิลเอสเตอร์ เครื่องยนต์ทั้ง 2 สามารถเดินเครื่องได้ทันที

- เครื่องยนต์ ET805 เดินเครื่องด้วยน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด ในช่วงเริ่มสตาร์ทต้องเดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันดีเซลก่อน เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อนำความร้อนจากท่อไอเสียไปอุ่นน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดในถังให้ไหลได้ง่ายขึ้น จากนั้นเปิดฮีทเตอร์ เพื่อเพิ่มและควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด ไว้ที่อุณหภูมิ 120°ซ ก่อนปล่อยเข้าระบบการฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ แล้วจึงเดินเครื่องด้วยน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดที่อุณหภูมิ 120°ซ ต่อไป

- เดินเครื่องยนต์ทั้ง 3 ด้วยความเร็วรอบ 2200 รอบต่อนาที ภาระเครื่องยนต์ที่ 75 % ของภาระสูงสุดที่เครื่องสามารถทำได้ เดินเครื่องแบบต่อเนื่อง

ข. เก็บตัวอย่างน้ำมันเครื่อง และเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องเมื่ออายุการทำงานของเครื่องยนต์ครบทุกๆ 100 ชั่วโมง

ค. เมื่ออายุการทำงานของเครื่องยนต์ครบ 500 ชั่วโมง ทำการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์เช่นเดียวกับข้อ ง. ในข้อ 3.2.1

ง. ทำการถอดเครื่องยนต์เช่นเดียวกับข้อ ข. ในข้อ 3.2.1เพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักหรือการสึกหรอ

จ. วัดระยะห่างของปากแหวนเช่นเดียวกับข้อ ค. ในข้อ 3.2.1

ฉ. ส่งตัวอย่างน้ำมันเครื่องเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโลหะที่สึกหรอผสมอยู่ ความหนืดความเป็นกรด และความเป็นด่าง ที่สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย

3.2.3 การเดินเครื่องยนต์ในช่วง 500 ชั่วโมงที่ 2 (ช่วง 500-1,000 ชั่วโมง)

- เดินเครื่องยนต์ ET 802 ET 803 และ ET 805 โดยปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 3.2.2

3.2.4 การเดินเครื่องยนต์ในช่วง 500 ชั่วโมงที่ 3 (ช่วง 1,000-1,500 ชั่วโมง)

- เดินเครื่องยนต์ ET 802 และ ET 803 โดยปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 3.2.2

3.2.5 การเดินเครื่องยนต์ในช่วง 500 ชั่วโมงที่ 4 (ช่วง 1,500-2,000 ชั่วโมง)

- เดินเครื่องยนต์ ET 802 และ ET 803 โดยปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 3.2.2

3.2.6 การเดินเครื่องยนต์ในช่วง 500 ชั่วโมงที่ 5 (ช่วง 2,000-2,500 ชั่วโมง)

- เดินเฉพาะเครื่องยนต์ ET 803 โดยปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 3.2.2

3.2.7 การเดินเครื่องยนต์ในช่วง 500 ชั่วโมงที่ 6 (ช่วง 2,500-3,000 ชั่วโมง)

- เดินเฉพาะเครื่องยนต์ ET 803 โดยปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 3.2.2

บทที่ 4

ผลการทดลอง

1. บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลที่ได้จากการทดลอง โดยเรียงลำดับตามขั้นตอนของวิธีการทดลอง คือ เริ่มจากผลการทดสอบสมบัติของเชื้อเพลิง ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ และผลการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์

2. ผลการทดสอบสมบัติของเชื้อเพลิง

จากตารางที่3 เมื่อนำสมบัติของน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และเมทิลเอสเตอร์ ที่ผลิตใช้ในการทดสอบ มาเปรียบเทียบกับสมบัติของน้ำมันดีเซล มีผลที่สำคัญดังนี้

2.1 ซีเทนนัมเบอร์

เมทิลเอสเตอร์มีค่าซีเทนนัมเบอร์สูงกว่าเป็น 1.3 เท่า ของข้อกำหนดขั้นต่ำของน้ำมันดีเซล

2.2 ความถ่วงจำเพาะ

เมทิลเอสเตอร์มีค่าความถ่วงจำเพาะ ใกล้เคียงกับค่าสูงสุดของข้อกำหนดน้ำมันดีเซล แต่น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดมีค่าสูงกว่าค่าสูงสุดของข้อกำหนดน้ำมันดีเซลประมาณ 7.4 %

2.3 ความหนืด

เมทิลเอสเตอร์ มีค่าความหนืด สูงกว่าเป็น 0.2 เท่า ของค่าสูงสุดของข้อกำหนดน้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดมีค่าสูงกว่าเป็น 9 เท่า ของค่าสูงสุดของข้อกำหนดน้ำมันดีเซล

2.4 อุณหภูมิจุดวาบไฟ

เมทิลเอสเตอร์มีค่าอุณหภูมิจุดวาบไฟสูงกว่าเป็น 1.3 เท่า ของข้อกำหนดน้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดมีค่าสูงกว่าเป็น 2.5 เท่า ของข้อกำหนดน้ำมันดีเซล

2.5 น้ำและตะกอน

น้ำและตะกอนของเมทิลเอสเตอร์มีค่าต่ำมาก

2.6 ปริมาณกากถ่าน

เมทิลเอสเตอร์มีค่าปริมาณกากถ่านสูงกว่าเป็น 1.5 เท่า ของข้อกำหนดน้ำมันดีเซล

2.7 ปริมาณเถ้า

เมทิลเอสเตอร์ มีค่าปริมาณเถ้าต่ำกว่าข้อกำหนดของน้ำมันดีเซล

2.8 อุณหภูมิการกลั่นตัวที่ 90%

เมทิลเอสเตอร์ มีค่าใกล้เคียงกับข้อกำหนดน้ำมันดีเซล

2.9 ค่าความร้อน

เมทิลเอสเตอร์มีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 10 % และน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 5 %

ตารางที่3 การเปรียบเทียบสมบัติของเมทิลเอสเตอร์ น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และน้ำมันดีเซล

สมบัติของน้ำมัน	ข้อกำหนดน้ำมันดีเซล#	ผลการทดสอบน้ำมันดีเซล	ผลการทดสอบเมทิลเอสเตอร์[b]	น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด*	วิธีการทดสอบ ASTM
ซีเทนนัมเบอร์	> 47	-	62.9	-	D - 613
ความถ่วงจำเพาะที่15.6 °ซ	> 0.81 < 0.87	0.84*	0.88	0.93	D - 1298
ความหนืดที่ 40 °C (cSt) 120 °C (cSt)	> 1.8 < 4.1	3.1*	5.22	> 45 7	D - 445
อุณหภูมิจุดวาบไฟ (°ซ)	> 52	69*	123.0	247	D - 93
น้ำและตะกอน(%)	< 0.05	-	traces	-	D - 2709
กากถ่าน(%)	< 0.05	< 0.001[b]	0.075	-	D - 4530
เถ้า((%	< 0.01	-	<0.001	-	D - 482
อุณหภูมิกลั่นตัวที่90%(°ซ)	< 357	-	360	-	D - 86
ค่าความร้อนสูง(MJ/kg)	-	44.3*	39.61	41.70	D - 240

: ตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2541)

* : ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

[b] : ผลการทดสอบของสถาบันวิจัยและเทคโนโลยีการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย

- : ไม่ได้ทำการทดสอบ

2.10 ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์ วัดโดยเทคนิค TLC (Thin Layer Chromatograph) ในการผลิตแต่ละครั้งมีการเปลี่ยนแปลงเวลา อุณหภูมิ ความเร็วรอบของใบกวนและปริมาณสารตั้งต้น เพื่อให้ได้ค่าความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์สูงสุด ซึ่งมีผลดังตารางที่4

ตารางที่4 ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์ที่ผลิตใช้ในการทดสอบ

ครั้งที่	ME	TG	FA	DG1	DG2	MG
1	89.311	6.707	0.307	1.609	0.562	1.504
2	93.356	4.931	0.725	-	0.202	0.783
3	92.322	4.888	0.339	0.822	0.247	1.382
4	87.102	8.465	0.957	1.474	0.544	1.459
5	84.784	5.929	6.879	1.128	0.403	0.877
6	95.710	2.545	0.261	0.606	0.211	0.668
7	83.830	13.044	0.209	1.164	0.396	1.357
8	87.178	9.576	0.713	1.164	0.247	1.121
9	98.686	-	-	-	-	1.314
10	99.192	0.548	0.152	0.018	-	-

ME หมายถึง เมทิลเอสเตอร์ (Methyl Ester)

TG หมายถึง ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride)

FA หมายถึง กรดไขมัน (Fatty Acid)

DG หมายถึง ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride)

MG หมายถึงโมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride)

หมายเหตุ DG มี 2 ชนิด แตกต่างกันที่โครงสร้างทางเคมี

การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ปริมาณสารตั้งต้น อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา เวลาการทำปฏิกิริยา และ ความเร็วรอบเครื่องกวน ในการผลิตเมทิลเอสเตอร์แต่ละครั้ง ได้อธิบายไว้ในภาคผนวกที่ ก

มาตรฐานยุโรป EN 14214 (ตารางที่ 1) กำหนดค่าความบริสุทธิ์ของเอสเตอร์ไว้ไม่ต่ำกว่า 96.5 % มีสัดส่วนของโมโนกลีเซอไรด์ไม่เกิน 0.8 % ไดกลีเซอไรด์ไม่เกิน 0.2 % และไตรกลีเซอไรด์ไม่เกิน 0.2 % แต่จากตารางที่4 พบว่า เมทิลเอสเตอร์ที่ผลิตเพื่อใช้ในการทดสอบครั้งนี้ ไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน การผลิตครั้งที่ 1 ถึง ครั้งที่ 8 มีค่าความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์ต่ำกว่า

96.5 % และทั้งหมดมีสัดส่วนของ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ เกินค่ามาตรฐาน

ตารางที่5 เปรียบเทียบผลการทดสอบสมบัติของเมทิลเอสเตอร์

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล	ผลการทดสอบจากสถาบันวิจัยและเทคโนโลยีการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย
ความถ่วงจำเพาะที่ 15.6 (°ซ)	0.88	0.88
ความหนืดที่อุณหภูมิ 40 (°ซ (cSt	5.28	5.22
อุณหภูมิจุดวาบไฟ(°ซ)	204	123
ค่าความร้อนสูง (MJ/kg)	39.87	39.61

ตารางที่6 เปรียบเทียบสมบัติของเมทิลเอสเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ กับน้ำมันดีเซล มาตรฐาน ASTM D975

คุณสมบัติ	ดีเซลมาตรฐาน (ASTM D975)	เอสเตอร์ มาตรฐาน (ASTM PS121)	เมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทดสอบ	
			ค่าที่ได้	ASTM
ซีเทนนัมเบอร์	40 - 55	48 - 60	62.9	D 613
ความถ่วงจำเพาะที่15.6 (°C)	0.85	0.88	0.88	D 1298
ความหนืดที่ 40 °C (cSt)	1.3 - 4.1	1.9 - 6.0	5.22	D 445
อุณหภูมิจุดวาบไฟ (°C)	60 - 80	100 - 170	123	D 93

ที่มา : เอกสารเผยแพร่จาก U.S. Department of Energy, Biodisel. May 2000.

จากตารางที่6 จะเห็นได้ว่าเมทิลเอสเตอร์ที่ผลิตใช้ในการทดสอบมีค่าสมบัติต่างๆ สูงกว่าค่าสมบัติของน้ำมันดีเซลตามมาตรฐาน ASTM D975 ซึ่งบางค่าก็เป็นผลดี เช่น ค่าซีเทนนัมเบอร์และ อุณหภูมิจุดวาบไฟ แต่ในทางกลับกัน ค่าความหนืดที่สูงกว่า จะมีผลในการแตกเป็นฝอยของละอองน้ำมัน แต่เมื่อเทียบกับไบโอดีเซลมาตรฐาน ASTM PS 121 สมบัติของเมทิลเอสเตอร์ที่ผลิตใช้ในการทดสอบ ยังอยู่ในช่วงมาตรฐานที่ยอมรับได้

3. ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ได้ทำการทดสอบเมื่อเครื่องยนต์ทำงานครบทุกๆ 500 ชั่วโมง ซึ่งได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

3.1 สมรรถนะของเครื่องยนต์หลังจากรันอิน 50 ชั่วโมง

3.1.1 ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที

ก. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (รูปที่37)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ ประมาณ 16.7-20.1%

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่าน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 67.2-95.2 %

ข. ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (รูปที่38)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 0.6-1.3 %

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 9.9-12.4 %

ค. อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (รูปที่39)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอุณหภูมิก๊าซไอเสียใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 4.5- 48.5 °ซ

ง. ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย (รูปที่40)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ 0-7.7 %

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด 0-9.3 %

3.1.2 ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที

ก. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (รูปที่41)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ ประมาณ 15.2-18.7 %

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่าน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 71.0-84.3%

ข. ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (รูปที่42)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 0.1- 1.0 %

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 7.0 -10.6 %

ค. อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (รูปที่43)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอุณหภูมิก๊าซไอเสียใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์

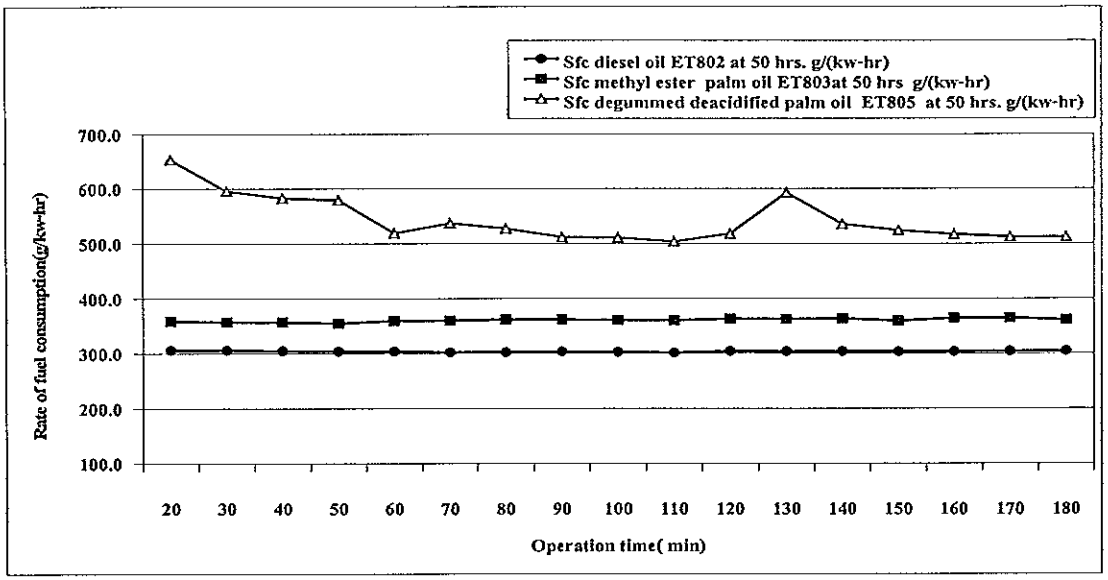
- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 4.5-74.0 °ซ

ง. ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย (รูปที่44)

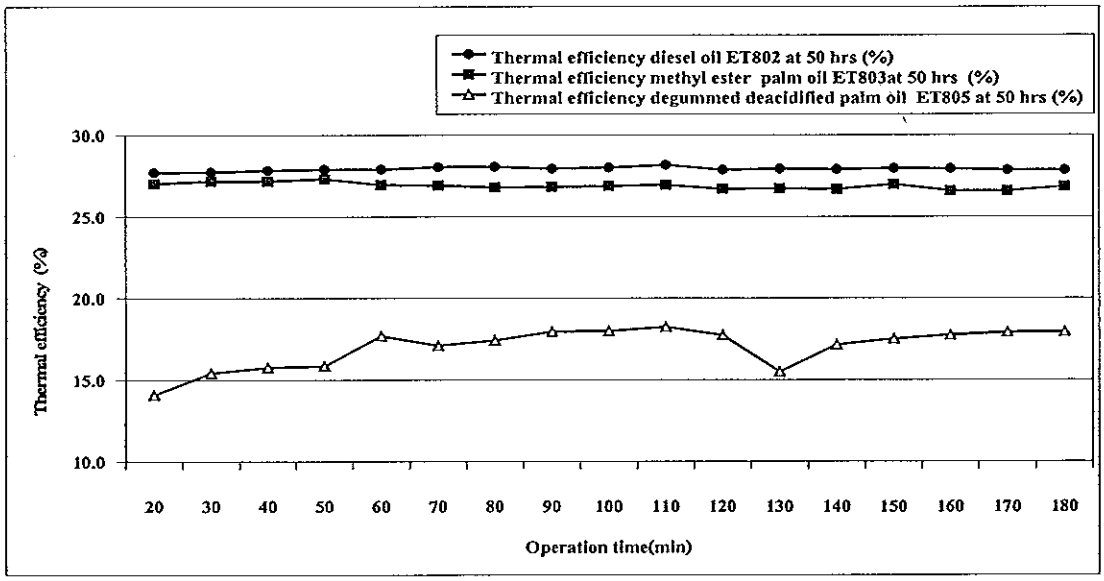
- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์1.0-5.3 %

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด 1.0-9.6 %

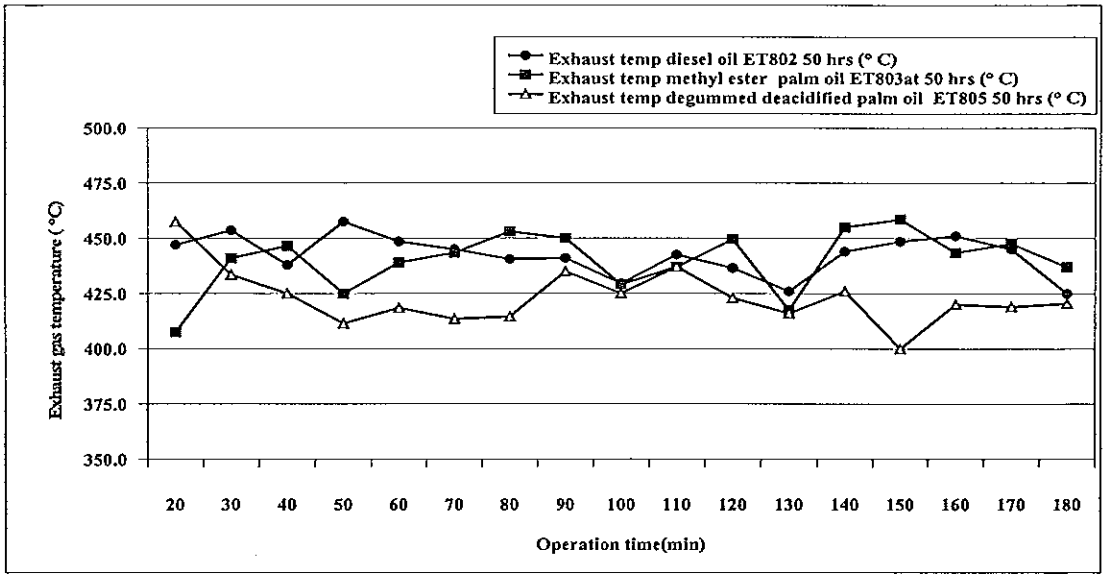
การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์หลังจากรันอิน 50 ชั่วโมง พบว่า ทั้งที่ภาระโหลดคงที่ และที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ผลที่ได้สอดคล้อง และชี้ไปในแนวทางเดียวกัน และที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลงยังชี้ให้เห็นอีกว่า หากภาระโหลดเพิ่มขึ้นปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียก็จะเพิ่มขึ้นด้วย



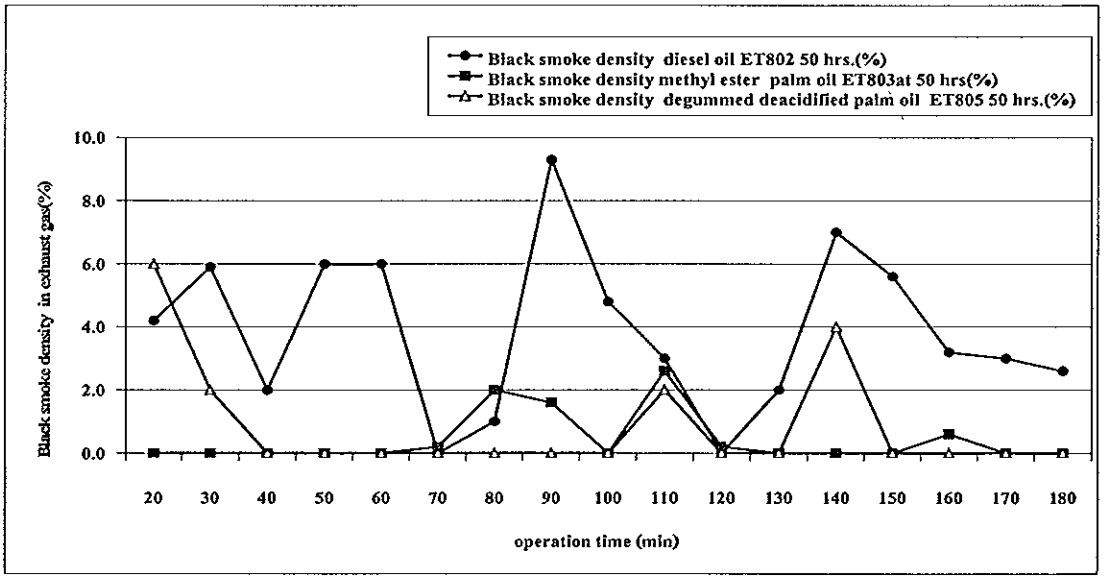
รูปที่37 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์หลังจากรันอิน50 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



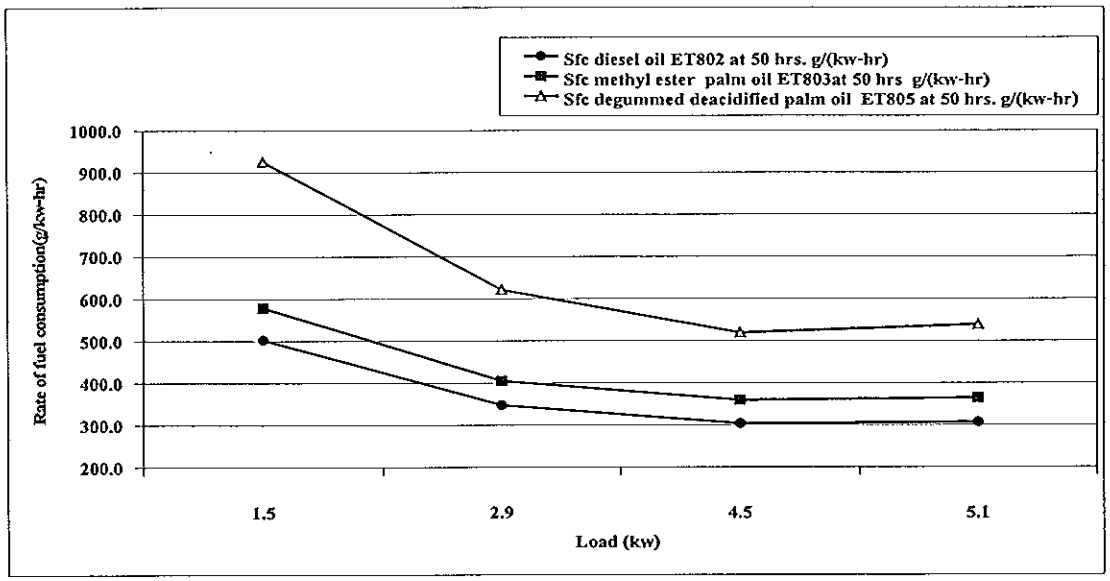
รูปที่38 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์หลังจากรันอิน50 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



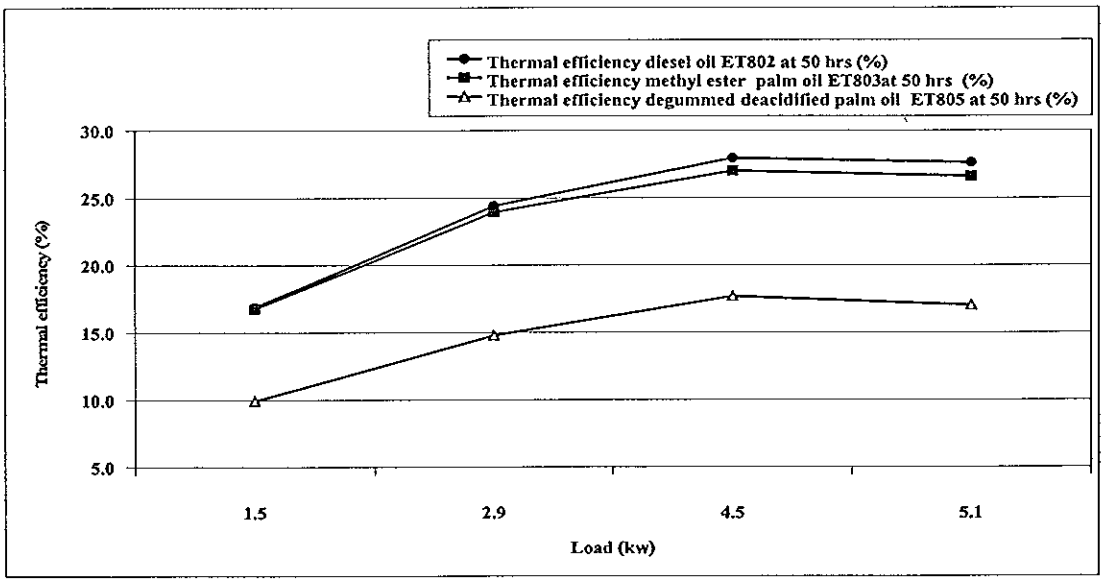
รูปที่39 อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์หลังจากรันอิน50 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



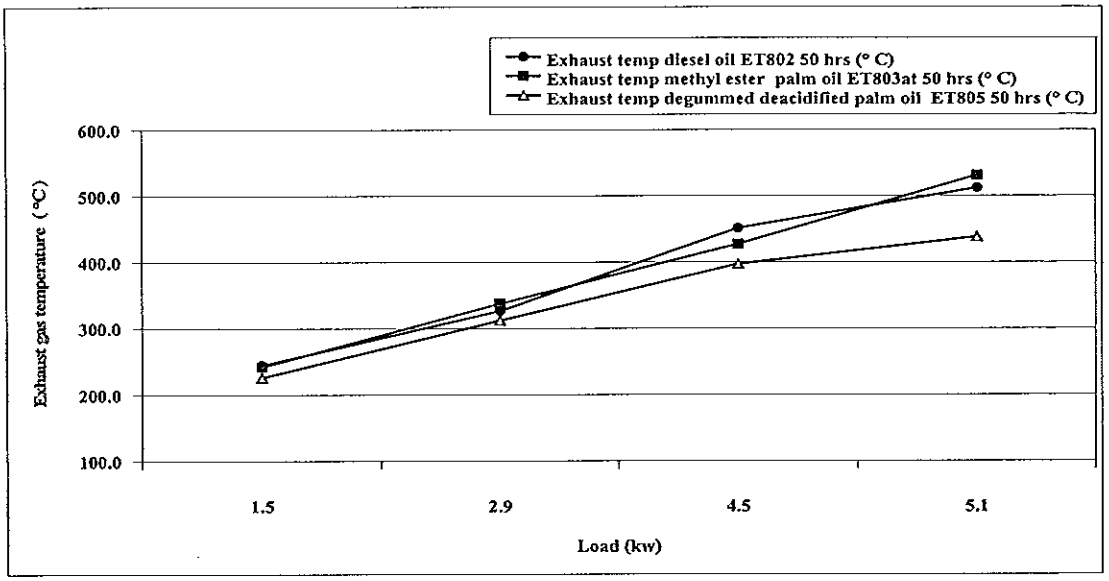
รูปที่40 ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์หลังจากรันอิน50 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



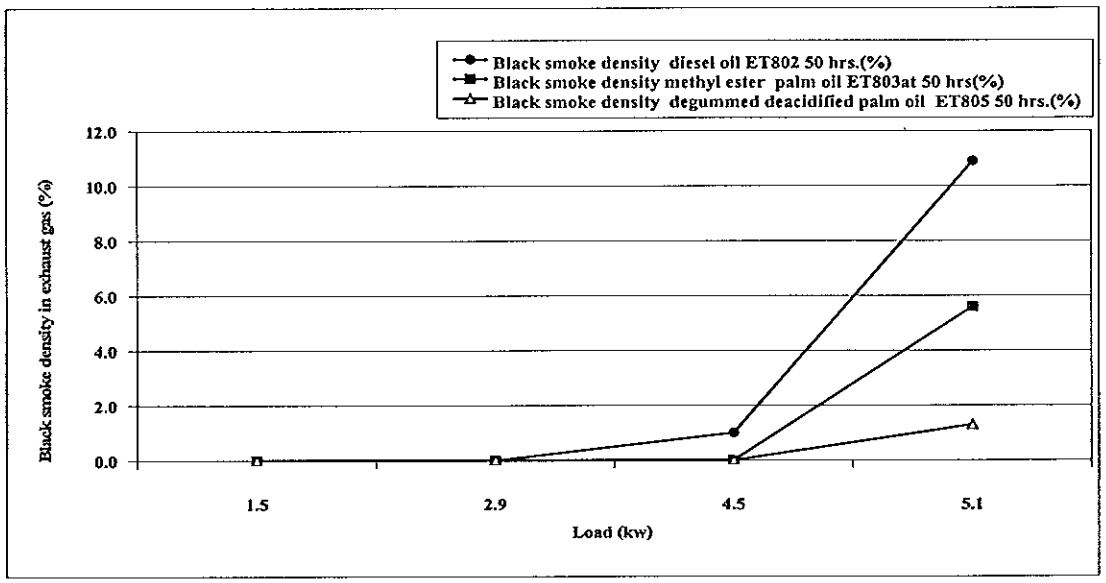
รูปที่41 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์หลังจากรันอิน50 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



รูปที่42 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์หลังจากรันอิน50 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



รูปที่43 อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์หลังจากรันอิน50 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



รูปที่44 ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์หลังจากรันอิน50 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที

3.2 สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ช่วงอายุการทำงานครบ 500 ชั่วโมง

3.2.1 ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที

ก. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (รูปที่45)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ ประมาณ 19.5-22.6 %

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่าน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 80.4-96.3 %

ข. ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (รูปที่46)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 1.2-1.9 %

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 11.3-13.6 %

ค. อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (รูปที่47)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงกว่ากับเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ 5.5-52 °ซ

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอุณหภูมิก๊าซไอเสียต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 13-91 °ซ

ง. ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย (รูปที่48)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด 10.9-21.5 %

3.2.2 ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที

ก. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (รูปที่49)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ ประมาณ 20.6-24.0 %

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่าน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 84.6-98.2 %

ข. ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (รูปที่50)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 1.3-1.6%

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 7.7-11.7 %

ค. อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (รูปที่51)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอุณหภูมิก๊าซไอเสียใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์

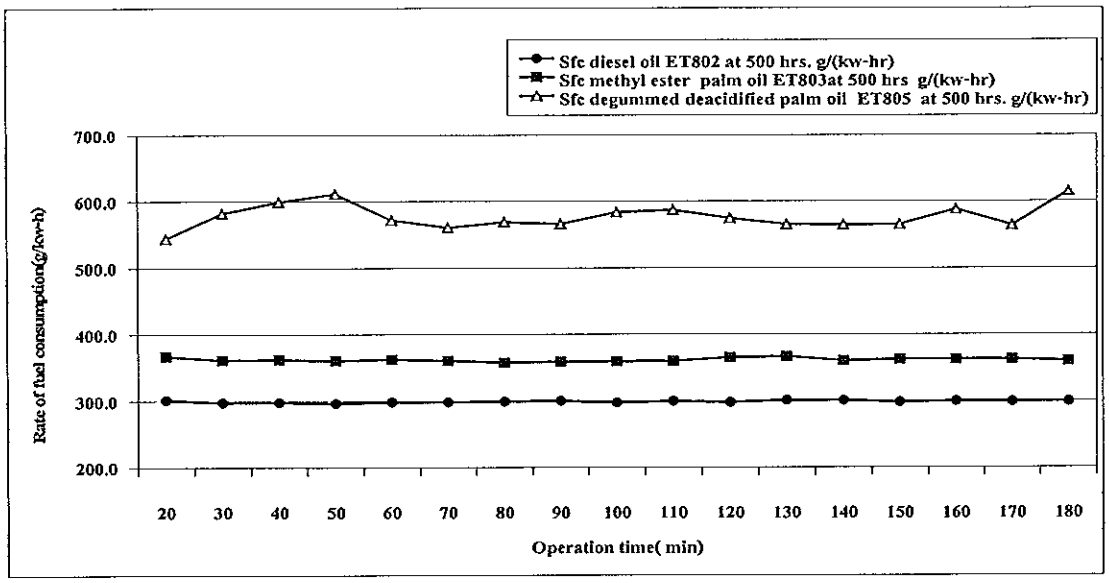
- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอุณหภูมิก๊าซไอเสียต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 32.0-125.5 °ซ

ง. ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย (รูปที่52)

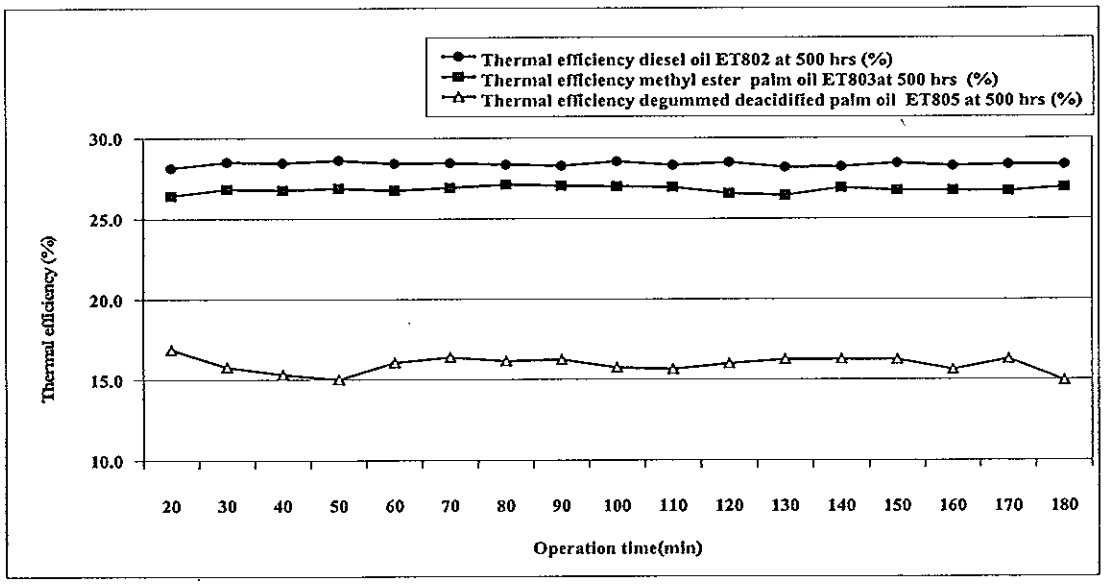
- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ 1.5 %

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด 2.1-17.0 %

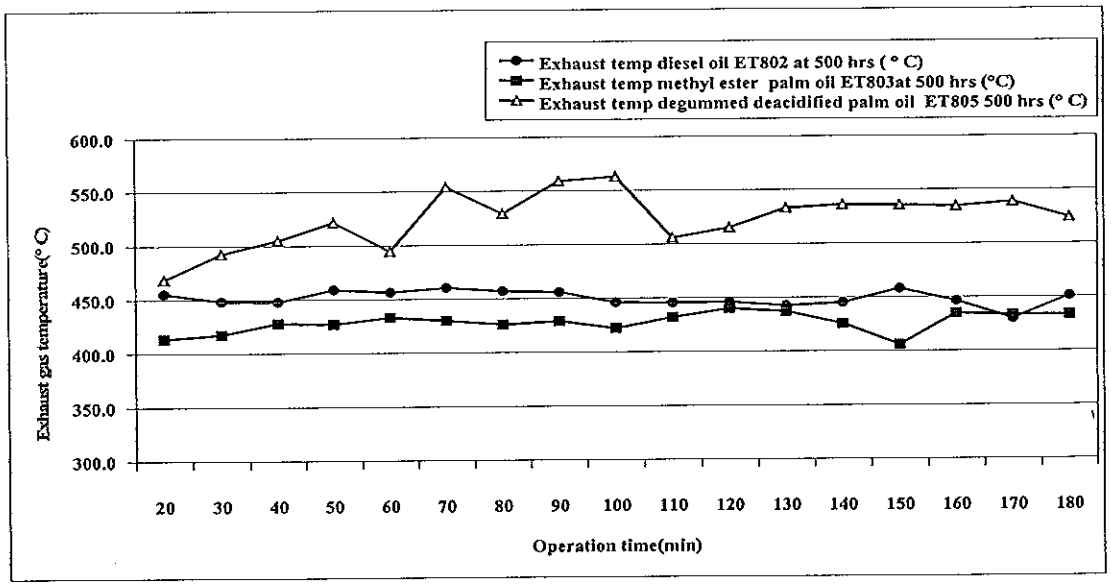
การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่อายุการทำงานครบ 500 ชั่วโมง พบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด มีกำลังอัดลดลง ไม่สามารถผลิตกำลังถึง 5.1 กิโลวัตต์ ตามที่ต้องการได้ อุณหภูมิก๊าซไอเสีย และปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียก็เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด ที่อายุการใช้งานหลังรันอิน 50 ชั่วโมง



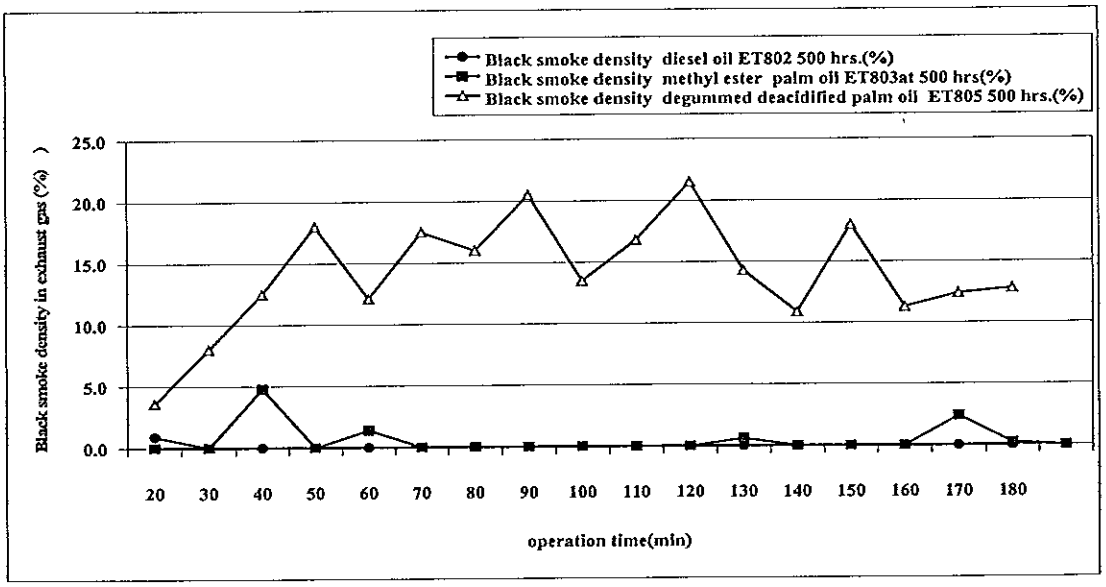
รูปที่45 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ 500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



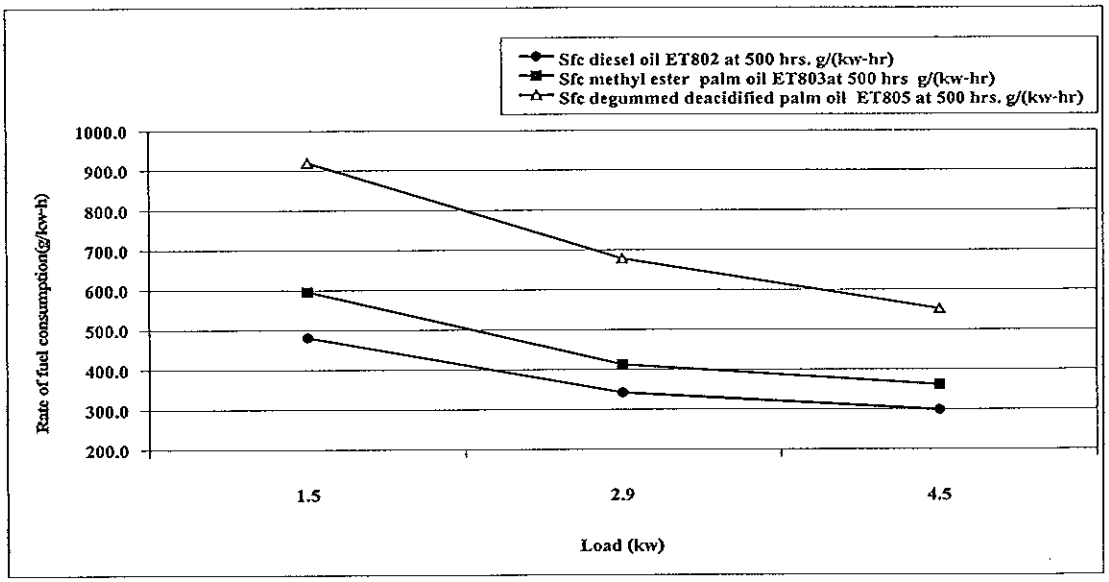
รูปที่46 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ 500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



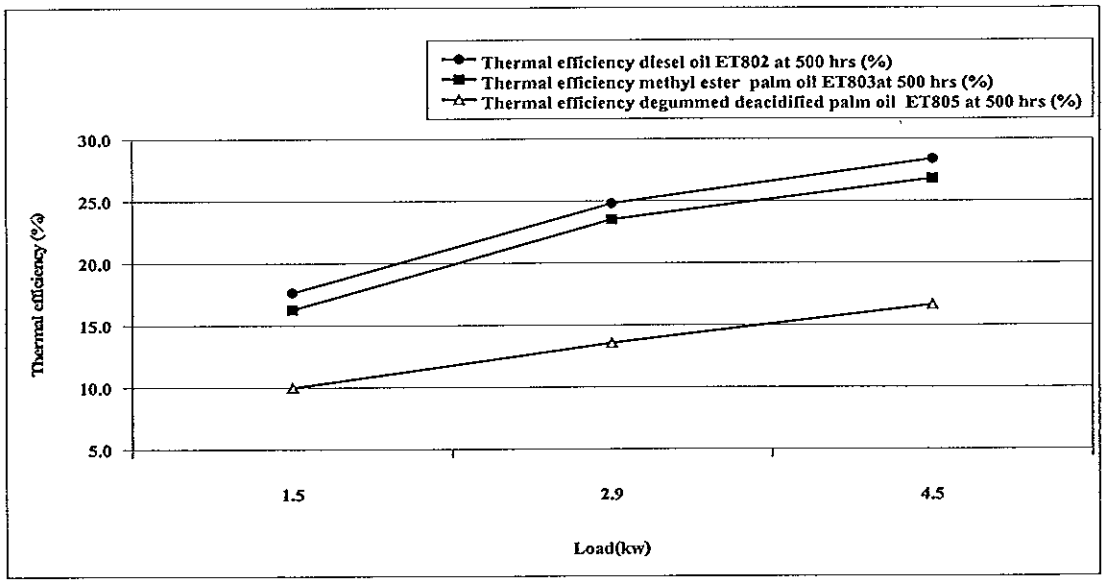
รูปที่47 อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



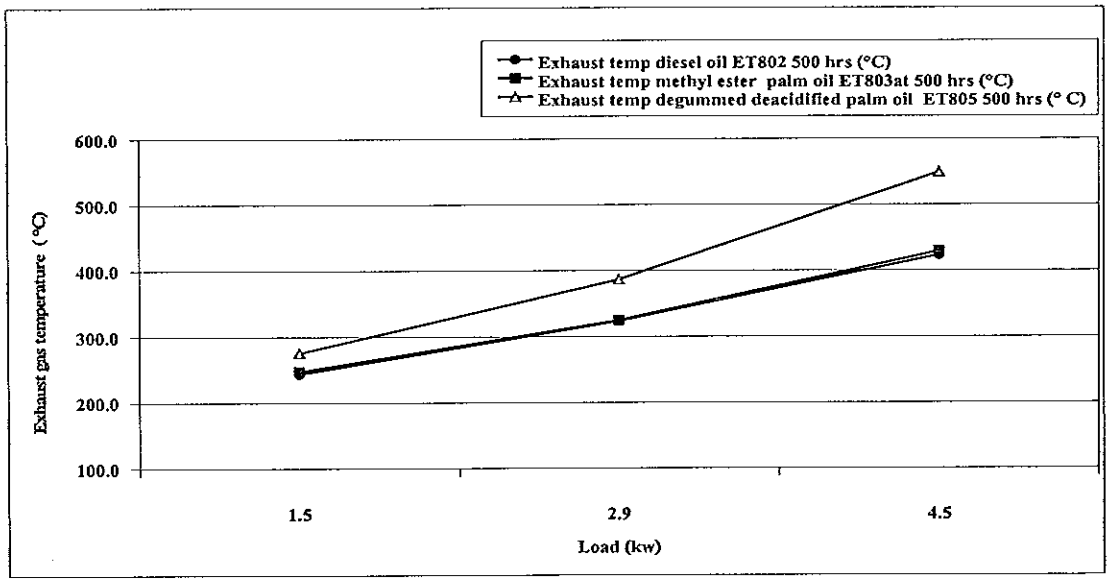
รูปที่48 ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



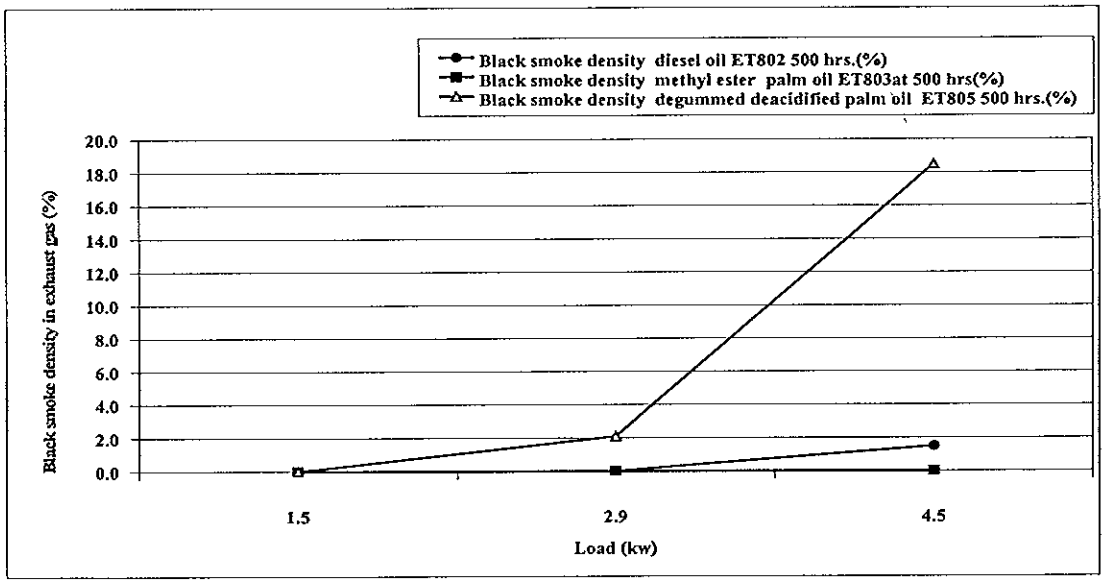
รูปที่49 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ 500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



รูปที่50 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ 500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



รูปที่51 อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



รูปที่52 ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที

3.3 สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ช่วงอายุการทำงานครบ 1,000 ชั่วโมง

3.3.1 ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที

ก. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (รูปที่53)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ ประมาณ 17.4-23.5 %

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่าน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 16.3-52.7 %

ข. ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (รูปที่54)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 0.7-2.1 %

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 1.9-13.2 %

ค. อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (รูปที่55)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 3.0-43.5 °ซ

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอุณหภูมิก๊าซไอเสียต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 8.5-68.5 °ซ

ง. ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย (รูปที่56)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด 0.7-13.0 %

3.3.2 ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที

ก. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (รูปที่57)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ ประมาณ 20.7-31.9 %

ข. ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (รูปที่58)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 0.9-3.7 %

ค. อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (รูปที่59)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 7.5-94.0 °ซ

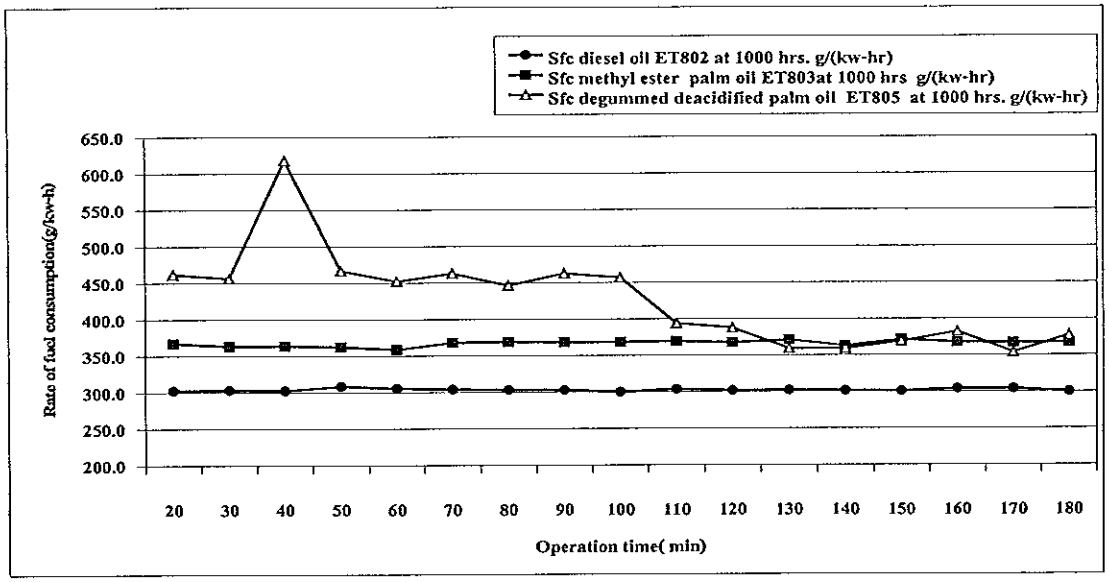
- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอุณหภูมิก๊าซไอเสียต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 20.5-46.0 °ซ

ง. ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย (รูปที่60)

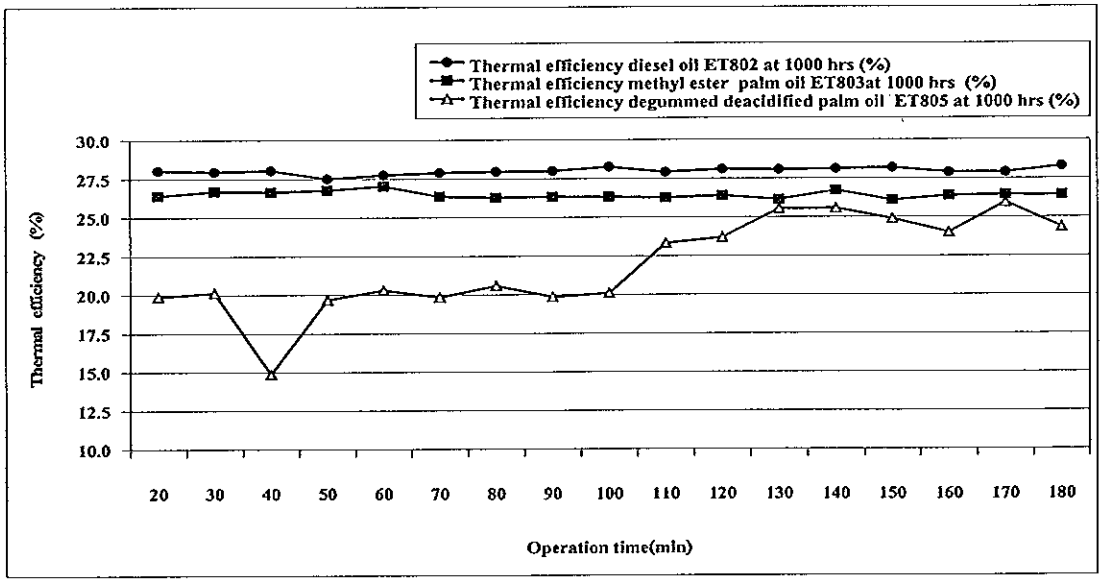
- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ 3.6-8.9 %

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด 2.8-9.2%

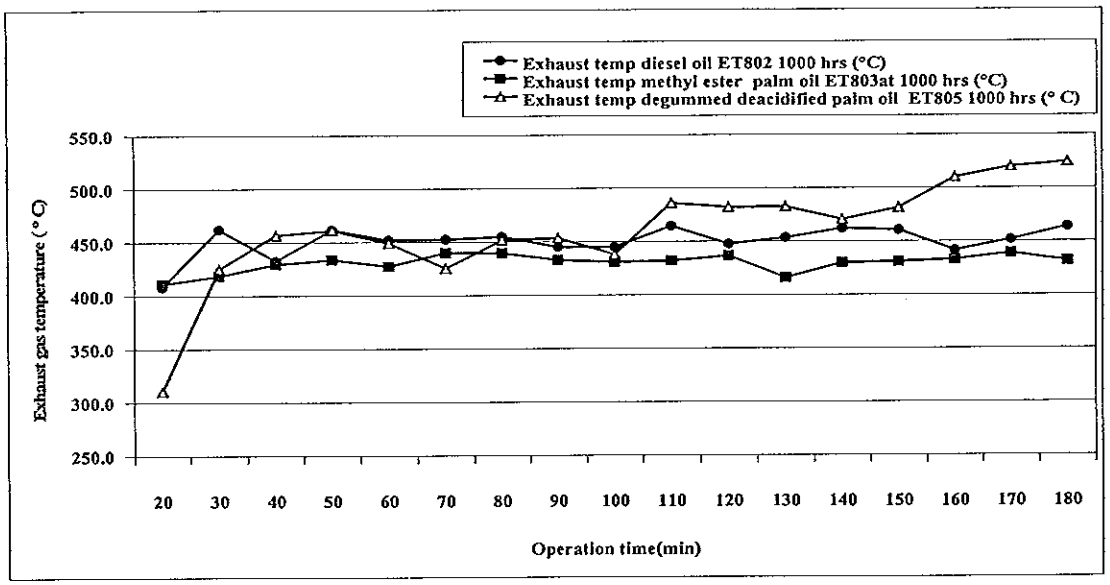
เนื่องจากในการทดสอบที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด เกิดการผิดพลาดในการทดสอบการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง จึงไม่ได้บันทึกผลการทดสอบการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และประสิทธิภาพเชิงความร้อน



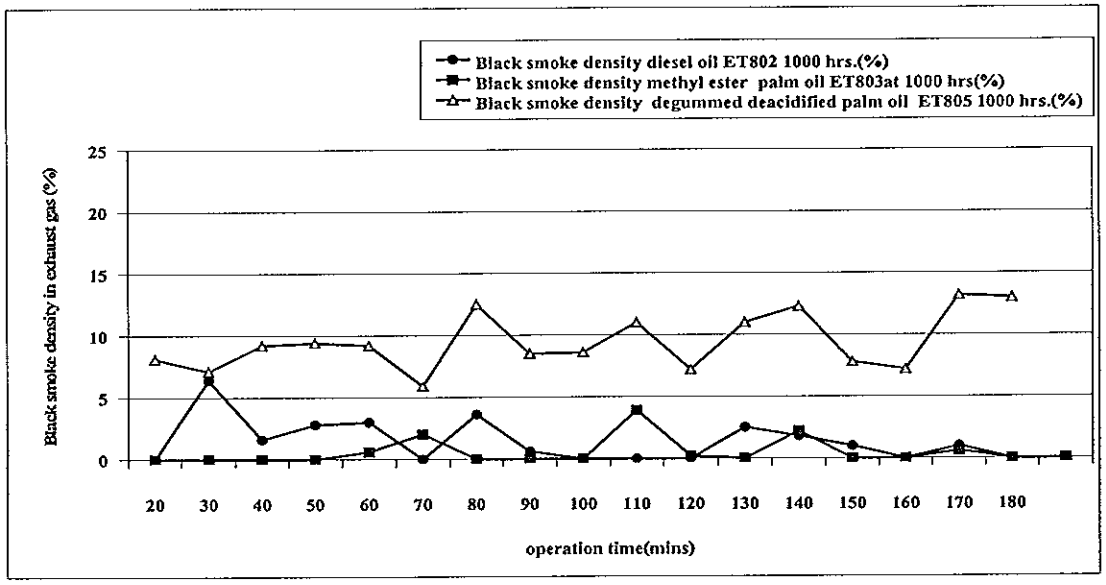
รูปที่53 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ 1,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



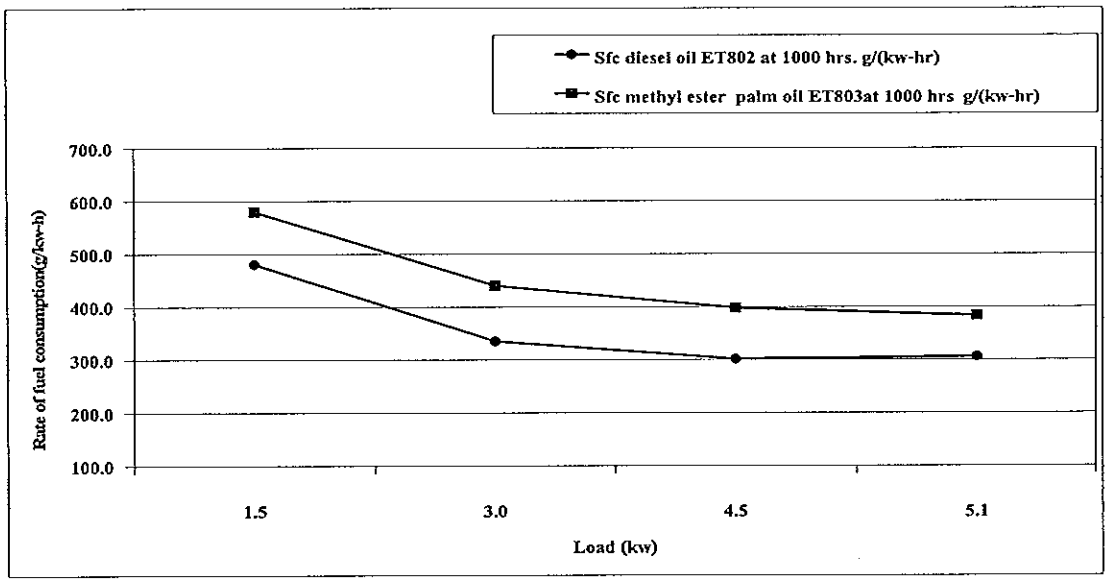
รูปที่54 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ 1,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



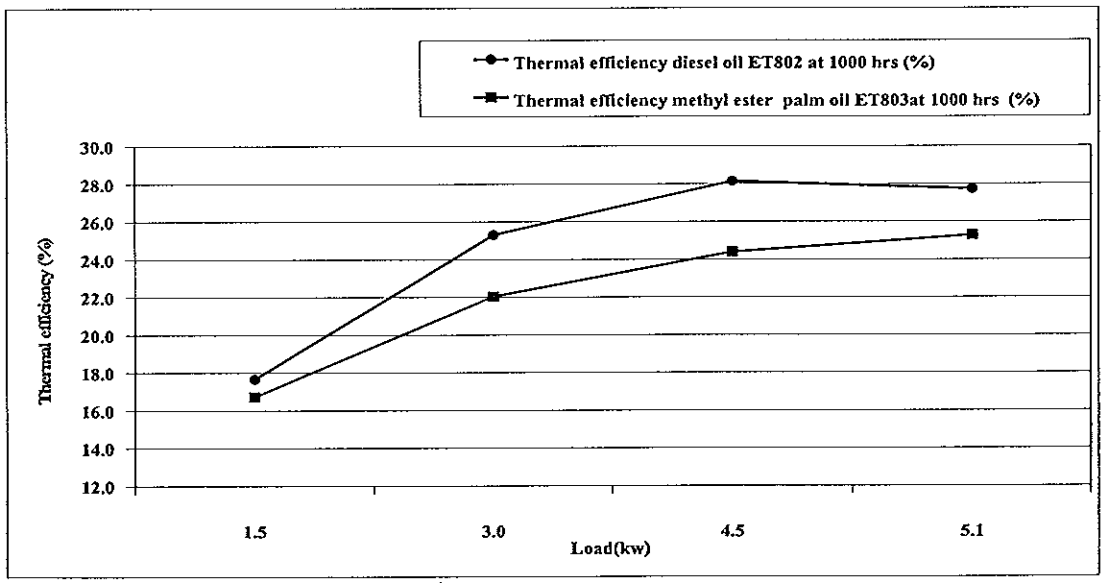
รูปที่55 อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 1,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



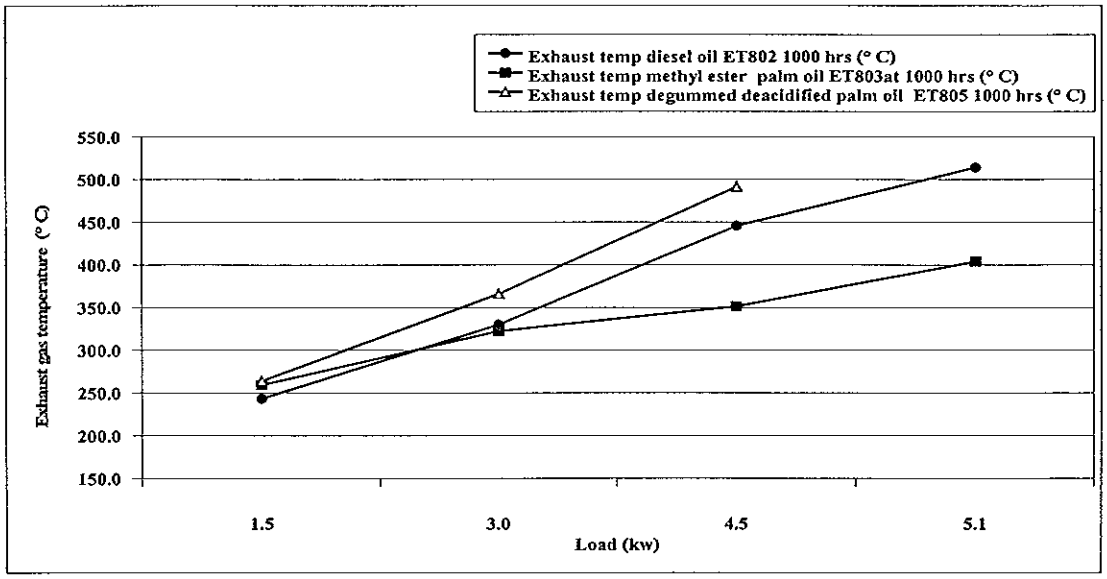
รูปที่56 ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 1,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



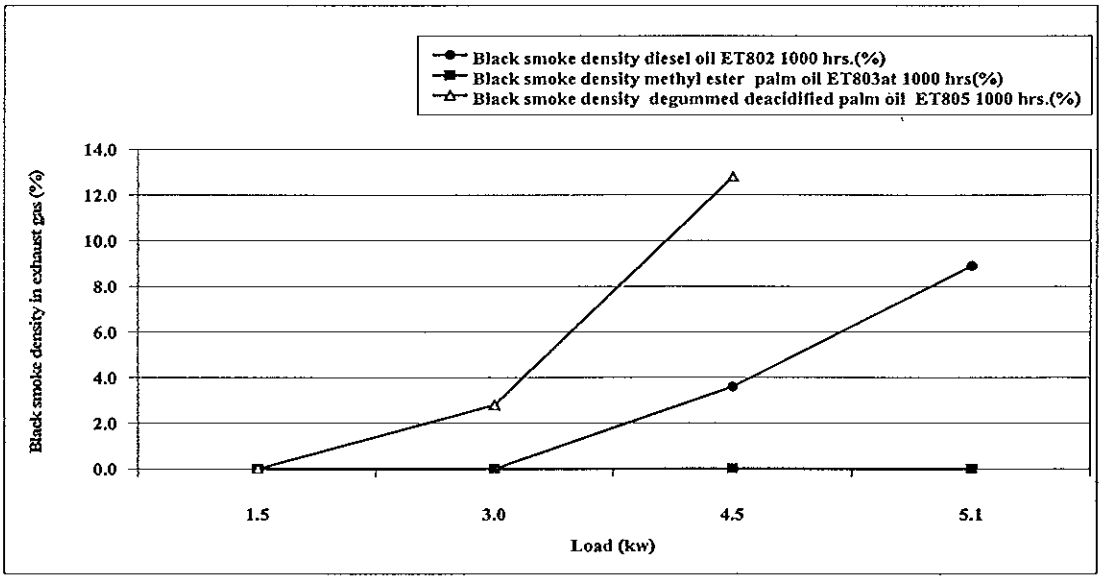
รูปที่57 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ 1,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



รูปที่58 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ 1,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



รูปที่59 อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 1,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



รูปที่60 ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 1,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที

3.4 สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ช่วงอายุการทำงานครบ 1,500 ชั่วโมง

3.4.1 ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที

ก. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (รูปที่61)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ ประมาณ 17.7-24.3 %

ข. ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (รูปที่62)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 0.8-2.3 %

ค. อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (รูปที่63)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอุณหภูมิก๊าซไอเสียใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์

ง. ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย (รูปที่64)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์

3.4.2 ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที

ก. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (รูปที่65)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ ประมาณ 13.2-19.6 %

ข. ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (รูปที่66)

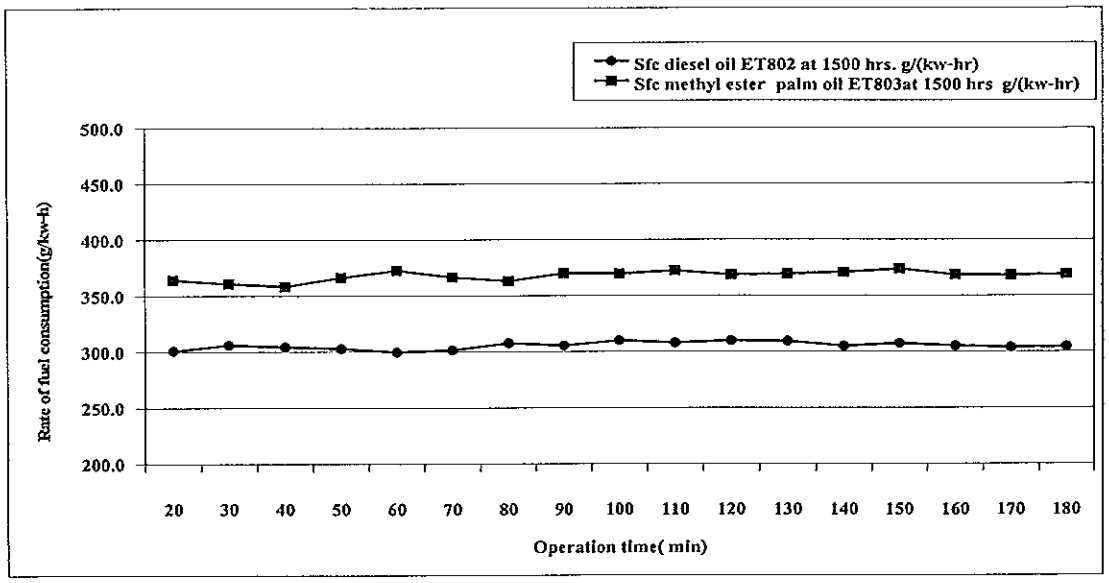
- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 0.2-1.2 %

ค. อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (รูปที่67)

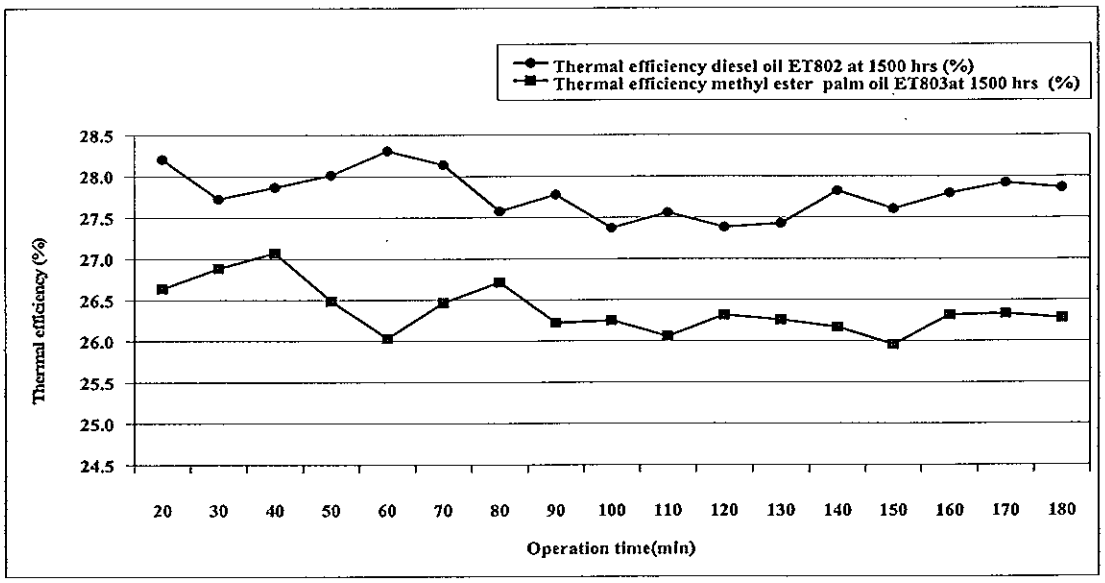
- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอุณหภูมิก๊าซไอเสียใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์

ง. ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย (รูปที่68)

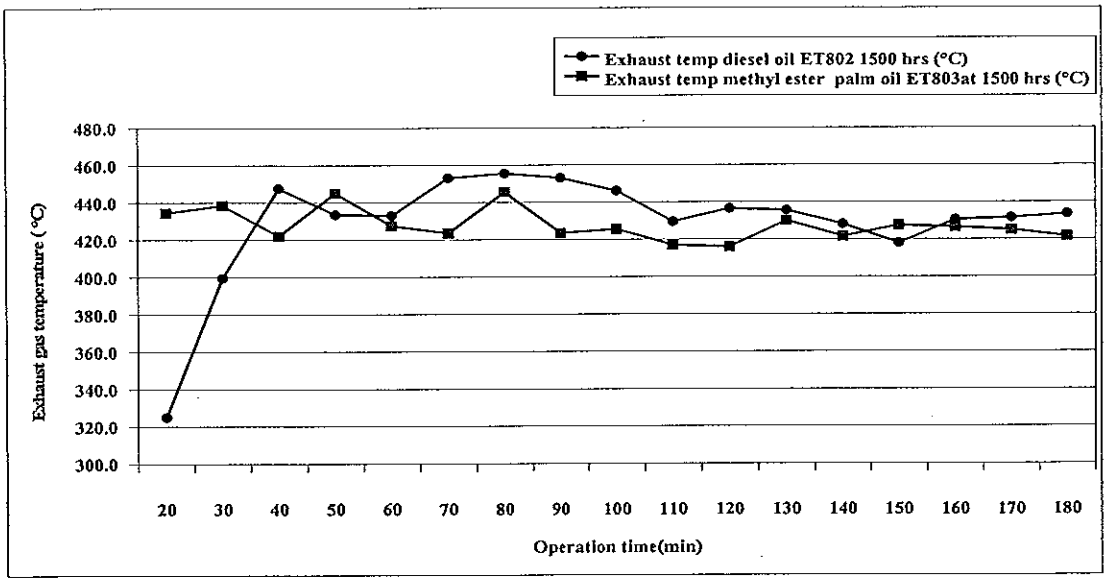
- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ 0.9-2.4 %



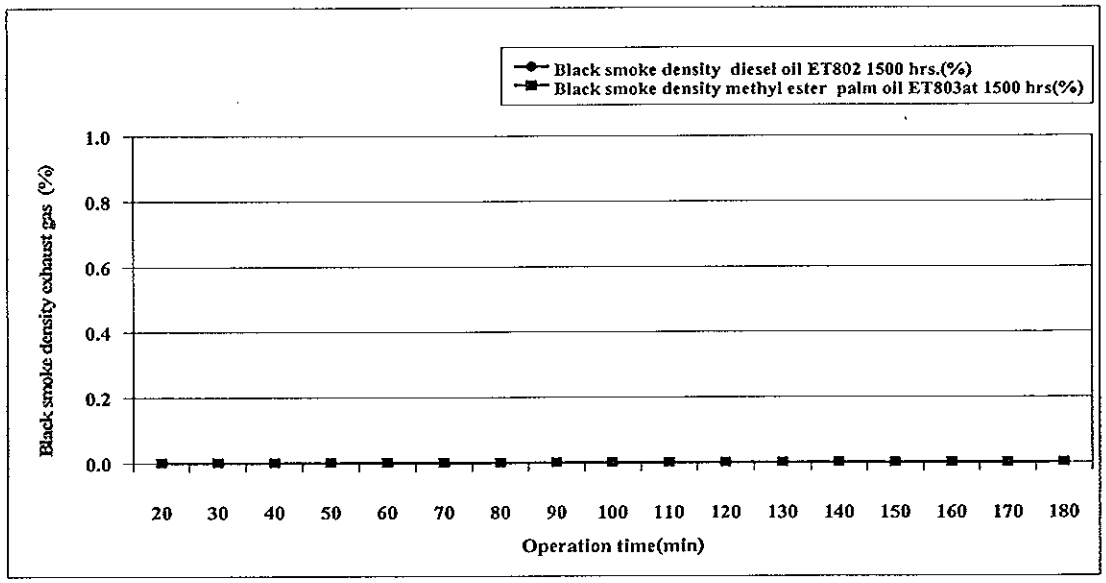
รูปที่61 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ 1,500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



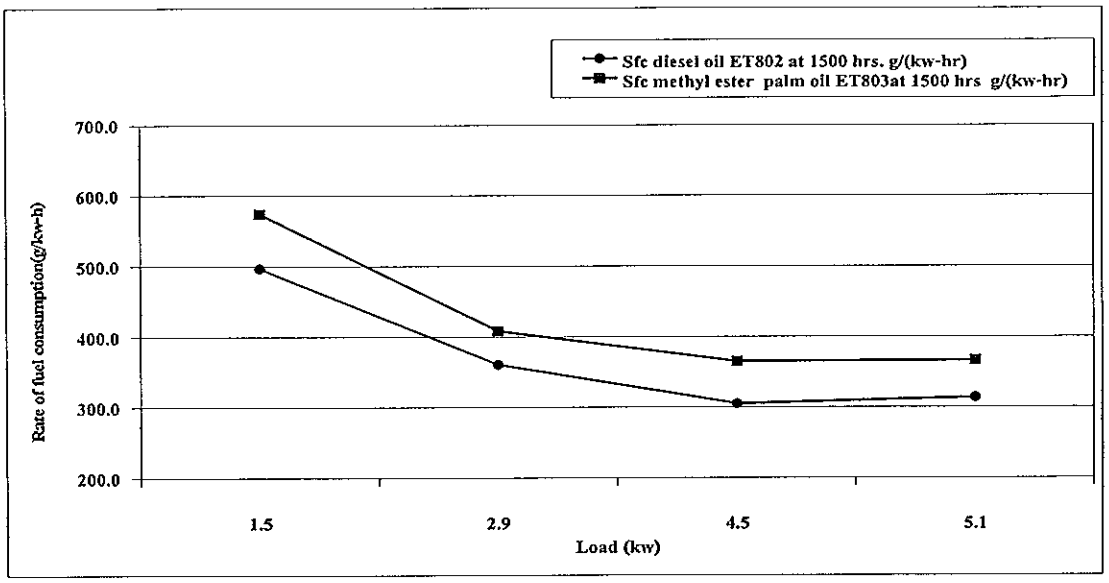
รูปที่62 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ 1,500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



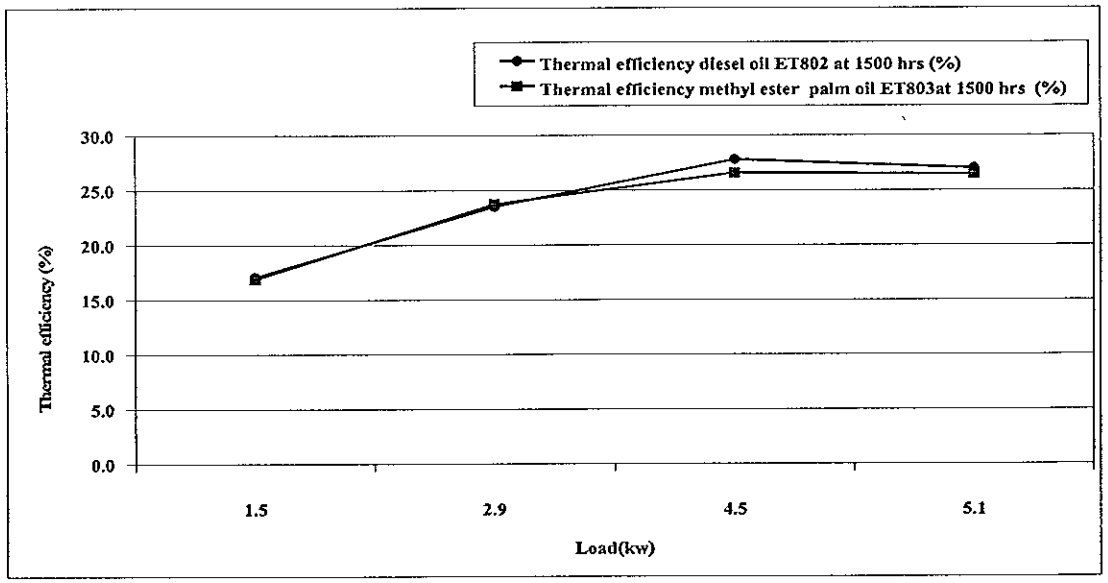
รูปที่63 อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 1,500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



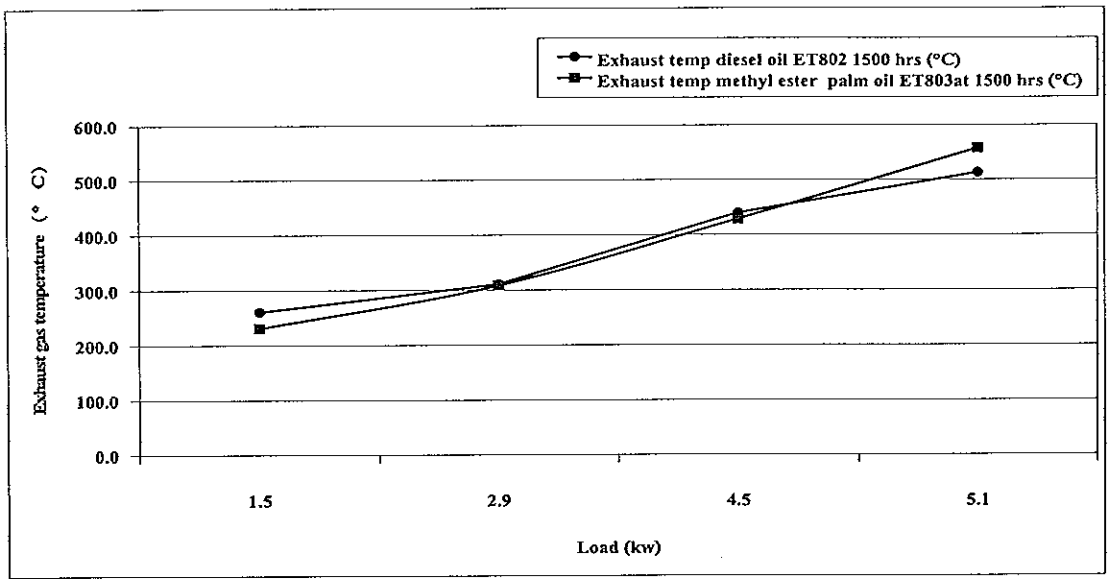
รูปที่64 ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 1,500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



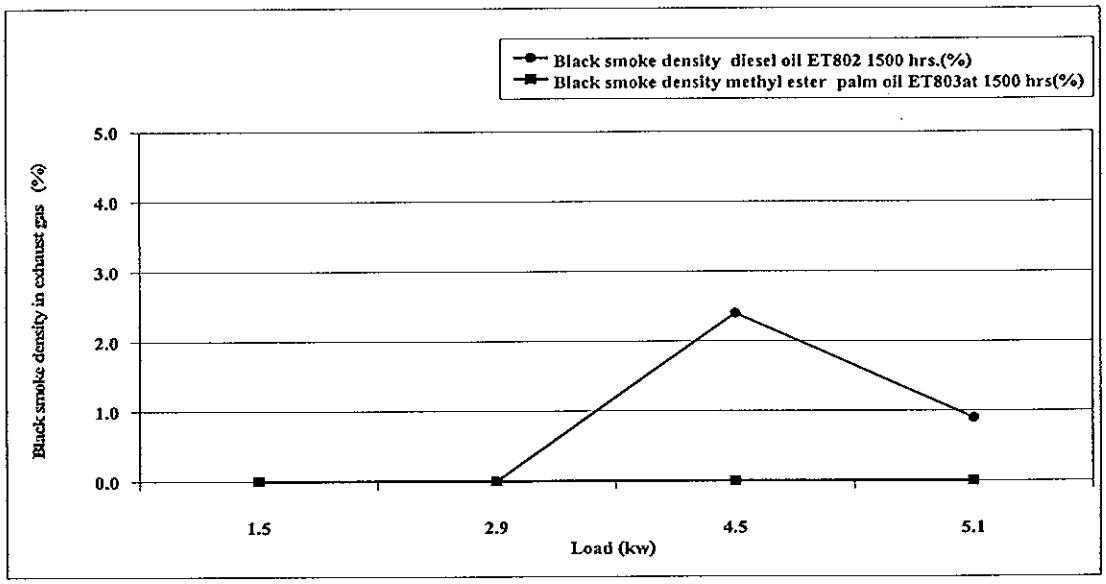
รูปที่65 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ 1,500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



รูปที่66 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ 1,500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



รูปที่67 อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 1,500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



รูปที่68 ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 1,500 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที

3.5 สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ช่วงอายุการทำงานครบ 2,000 ชั่วโมง

3.5.1 ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที

ก. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (รูปที่69)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ ประมาณ 19.8-25.8 %

ข. ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (รูปที่70)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 1.3-2.6 %

ค. อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (รูปที่71)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 20.5-84.0 °ซ

ง. ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย (รูปที่72)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์9.3 %

3.5.2 ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที

ก. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (รูปที่73)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ ประมาณ 13.9-35.7 %

ข. ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (รูปที่74)

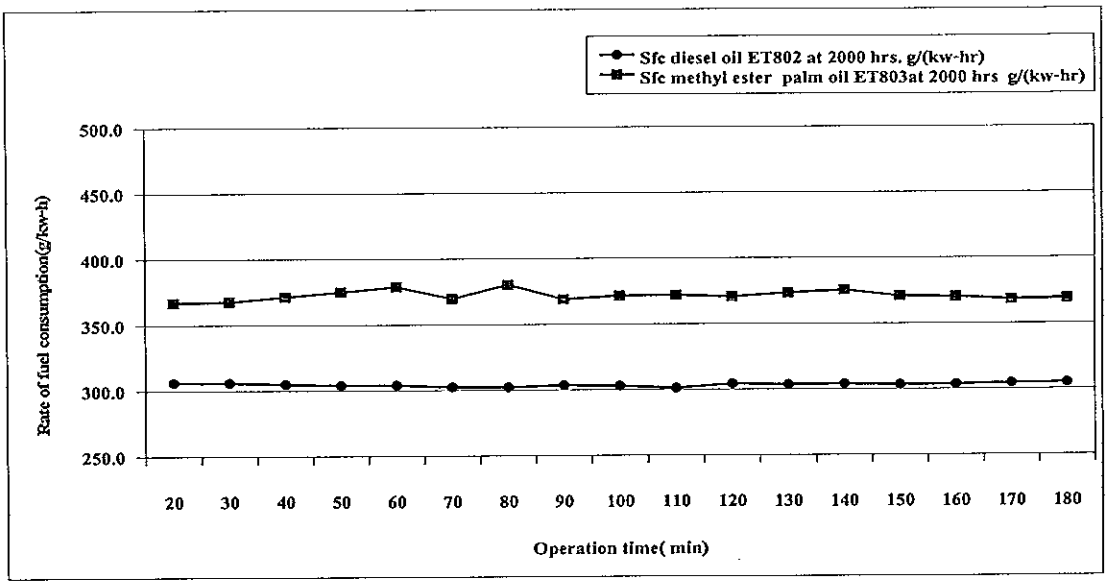
- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 0.3-4.3 %

ค. อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (รูปที่75)

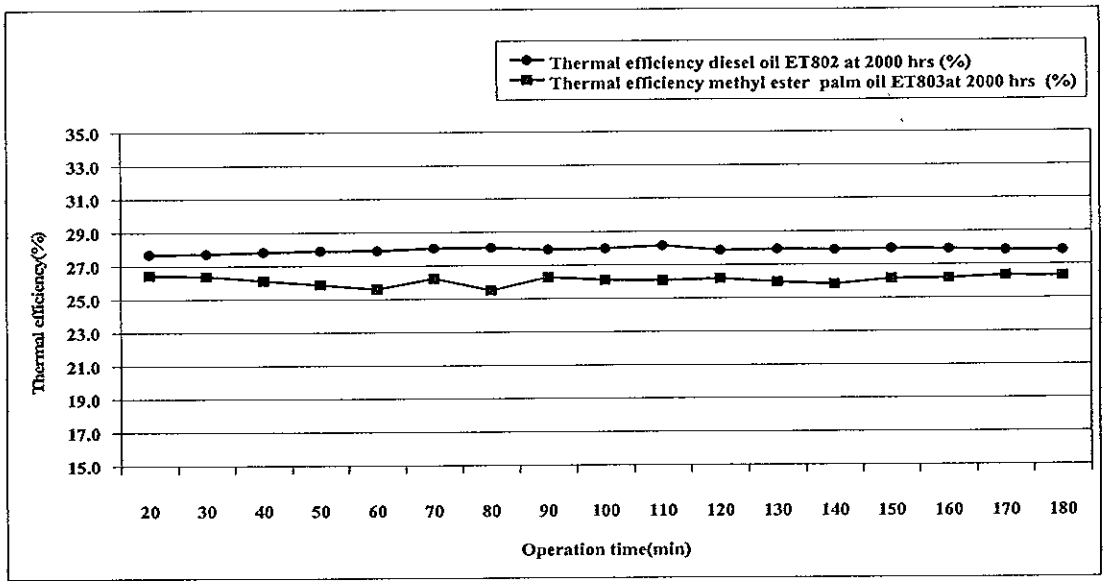
- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอุณหภูมิก๊าซไอเสียต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 5.0-46.0 °ซ

ง. ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย (รูปที่76)

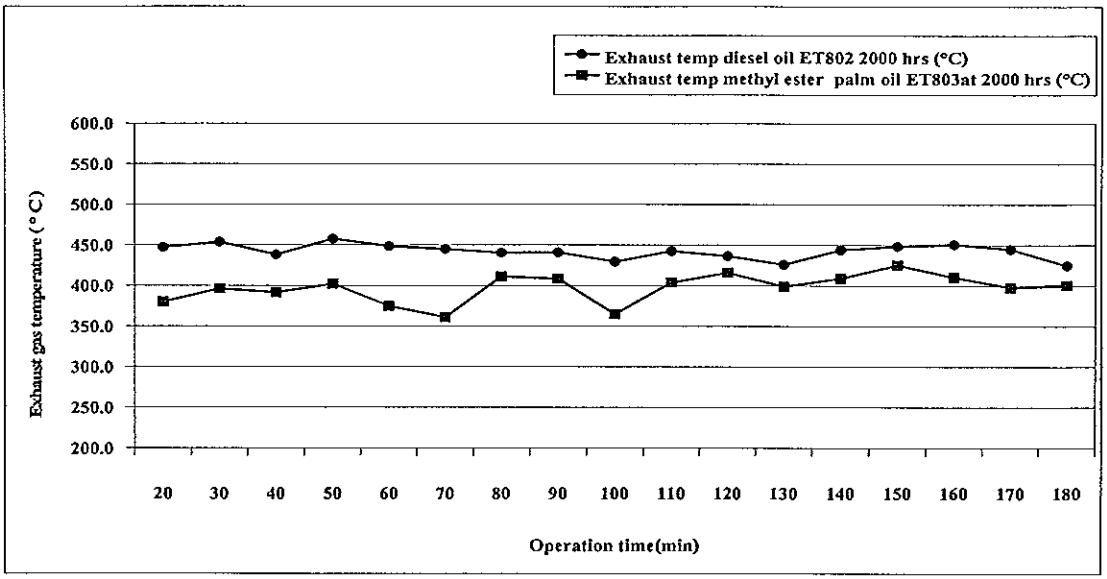
- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ 11.4-22.1 %



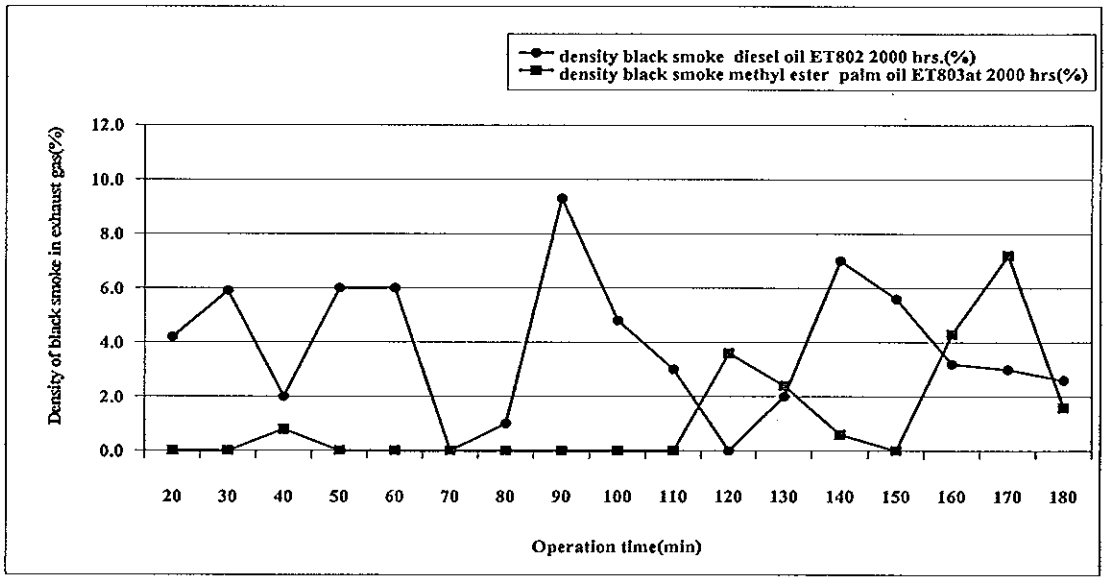
รูปที่69 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ 2,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



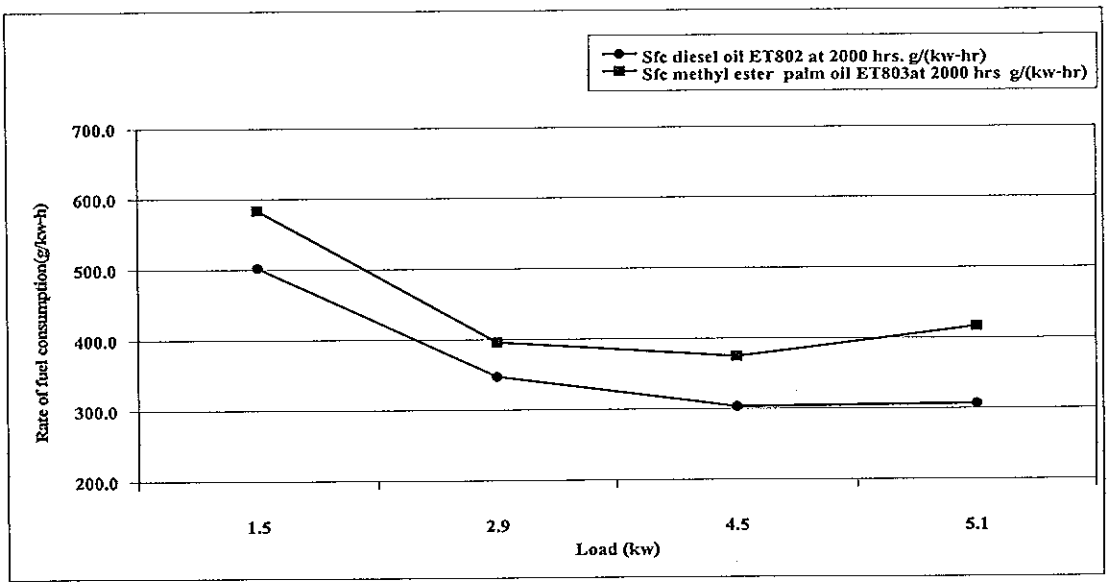
รูปที่70 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ 2,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



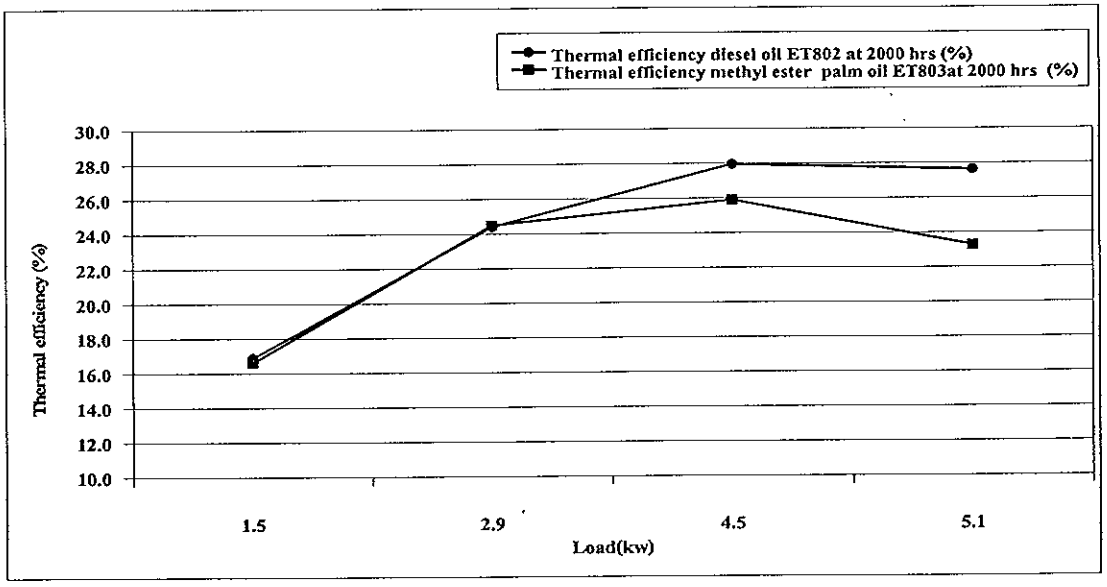
รูปที่71 อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 2,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



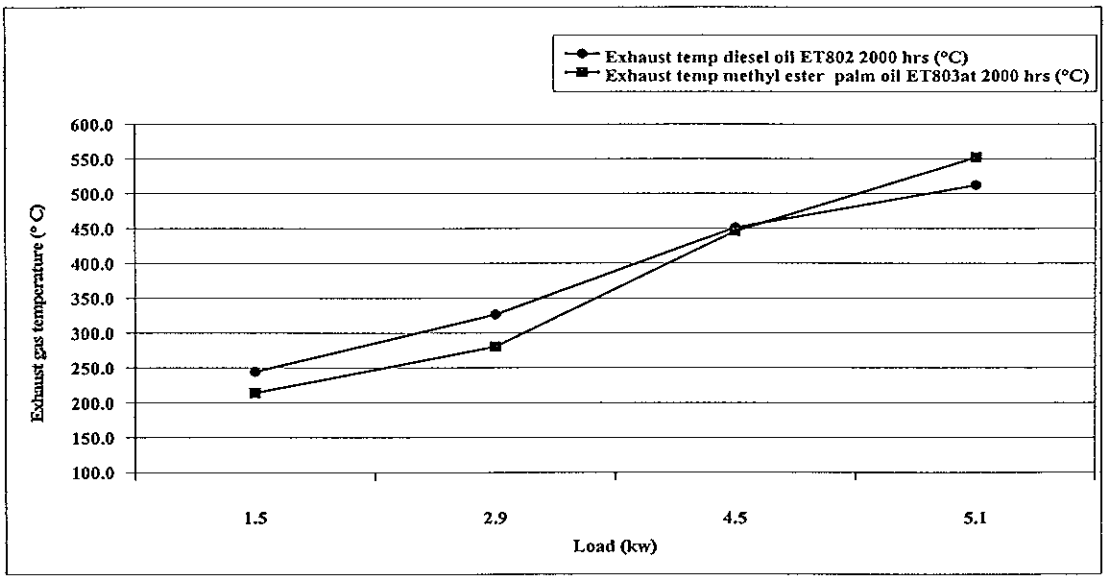
รูปที่72 ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 2,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



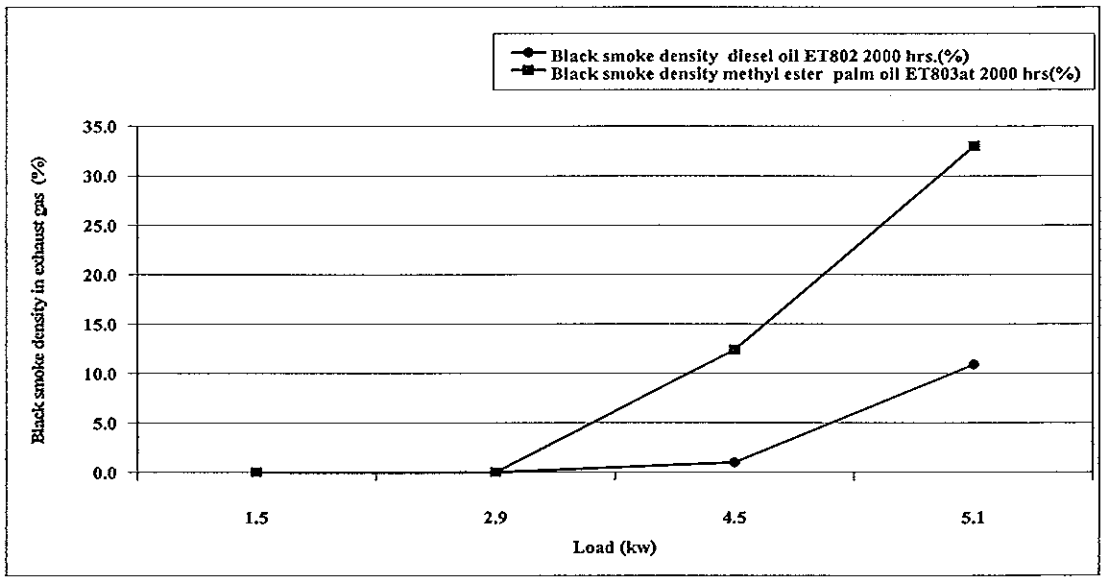
รูปที่73 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ 2,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



รูปที่74 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ 2,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



รูปที่75 อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 2,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



รูปที่76 ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ 2,000 ชั่วโมง ที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที

4. ผลการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์

ผลการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์แบ่งได้เป็น 3 วิธี คือ 1. วิธีการชั่งน้ำหนัก 2. วิเคราะห์โลหะผสมในน้ำมันหล่อลื่น และ 3. วิธีการวัดระยะห่างปากแหวน

4.1 ผลการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ โดยวิธีการชั่งน้ำหนัก

4.1.1 การสึกหรอของเครื่องยนต์ในกลุ่มของปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง ลิ้นส่งน้ำมันเชื้อเพลิง ลิ้นไอดี ลิ้นไอเสีย และแบริ่งก้านสูบ ของทุกช่วงอายุการทำงานของเครื่องยนต์ (รูปที่77) (รูปที่79) (รูปที่81) และ(รูปที่83) มีการสึกหรอน้อย และบางช่วง บางชิ้นส่วนแทบไม่สึกหรอเลย

4.1.2 การสึกหรอของเครื่องยนต์ในกลุ่มของแหวนลูกสูบมีการสึกหรอและแตกต่างกันอย่างชัดเจน (รูปที่78) (รูปที่80) (รูปที่82) และ(รูปที่84) โดยเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดมีการสึกหรอมากที่สุด รองลงมาคือเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีการสึกหรอน้อยที่สุด

ก. แหวนอัดเบอร์ 1

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีการสึกหรอของแหวนอัดเบอร์1 น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 0.6-2.6 เท่า
- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีการสึกหรอของแหวนอัดเบอร์1 น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 3.4-8.9 เท่า

ข. แหวนอัดเบอร์ 2

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีการสึกหรอของแหวนอัดเบอร์2 น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 1.0-7.8 เท่า
- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีการสึกหรอของแหวนอัดเบอร์2 น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 2.9-21.87 เท่า

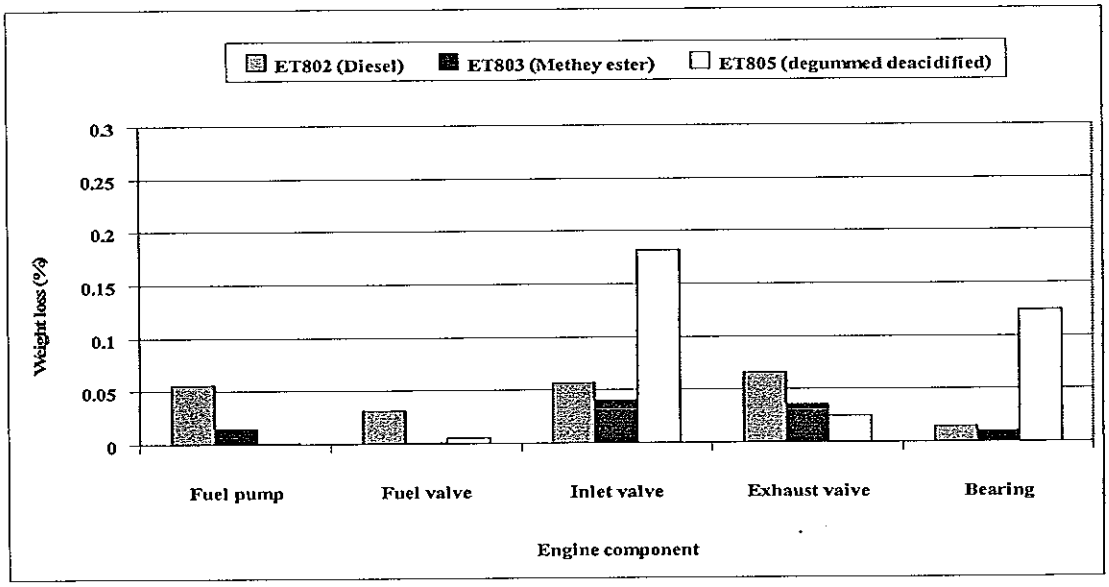
ค. แหวนอัดเบอร์ 3

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีการสึกหรอของแหวนอัดเบอร์3 น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 0.9-5.5 เท่า
- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีการสึกหรอของแหวนอัดเบอร์3 น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ3.6-26.7 เท่า

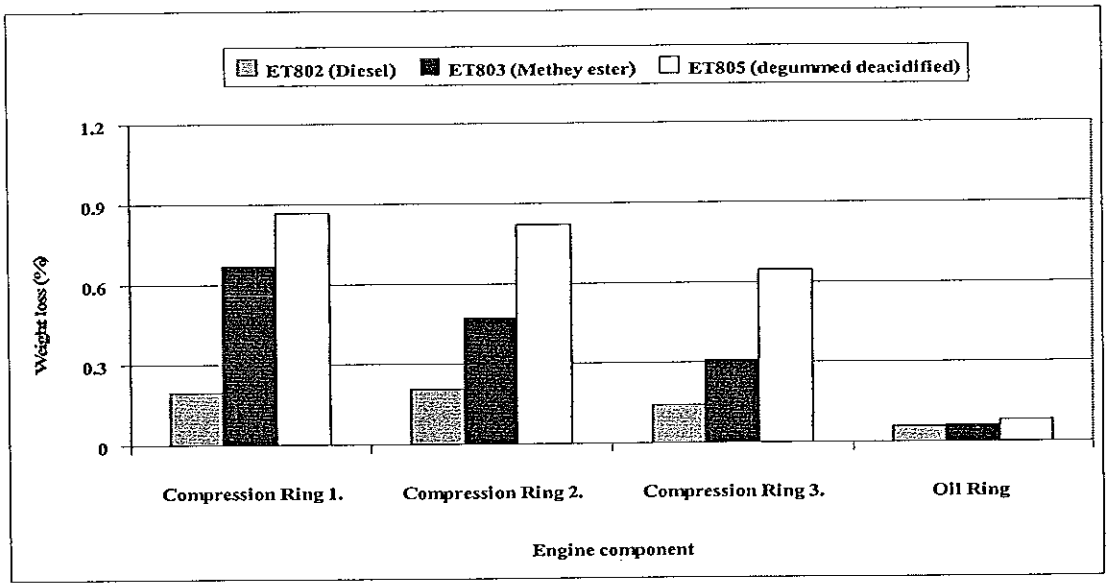
ง. แหวนน้ำมัน

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีการสึกหรอของแหวนน้ำมัน น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 0.1-7.4 เท่า

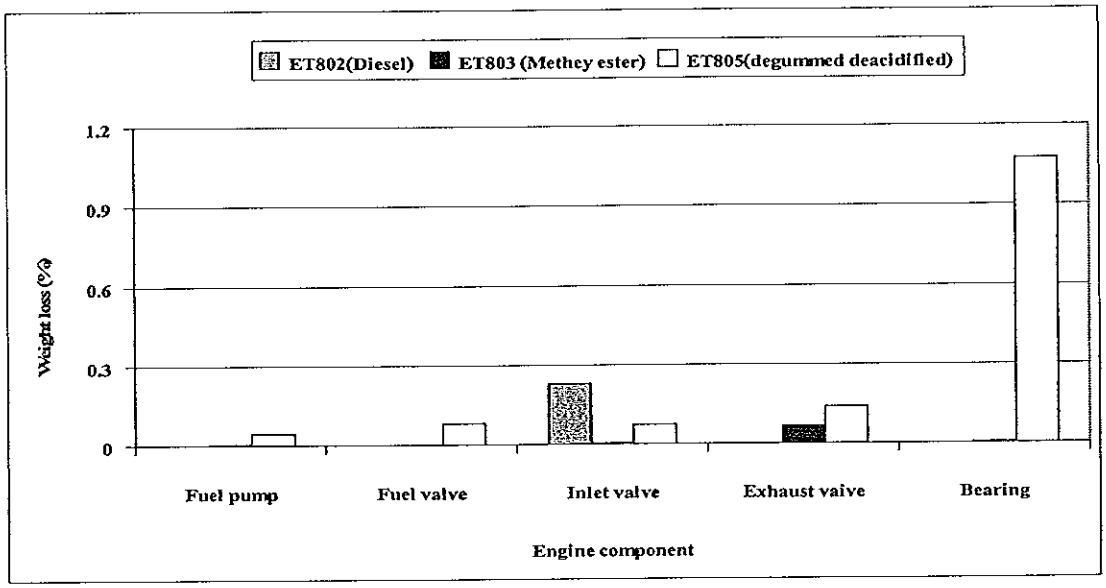
- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีการสึกหรอของแหวนน้ำมัน น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 0.3-41.7 เท่า



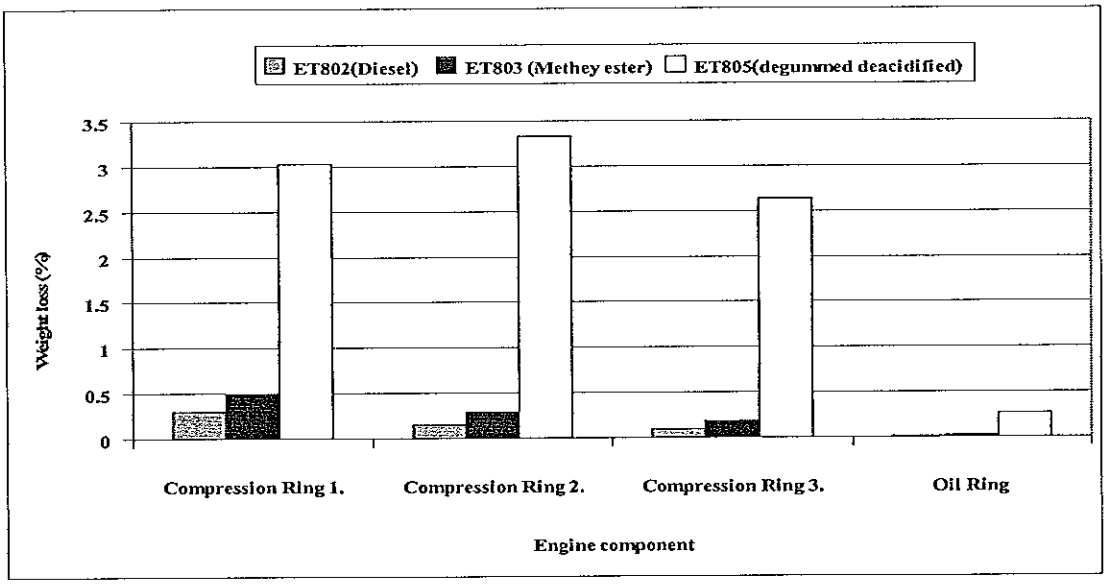
รูปที่77 น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นส่วนเครื่องยนต์หลังใช้งาน 500 ชั่วโมงแรก ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



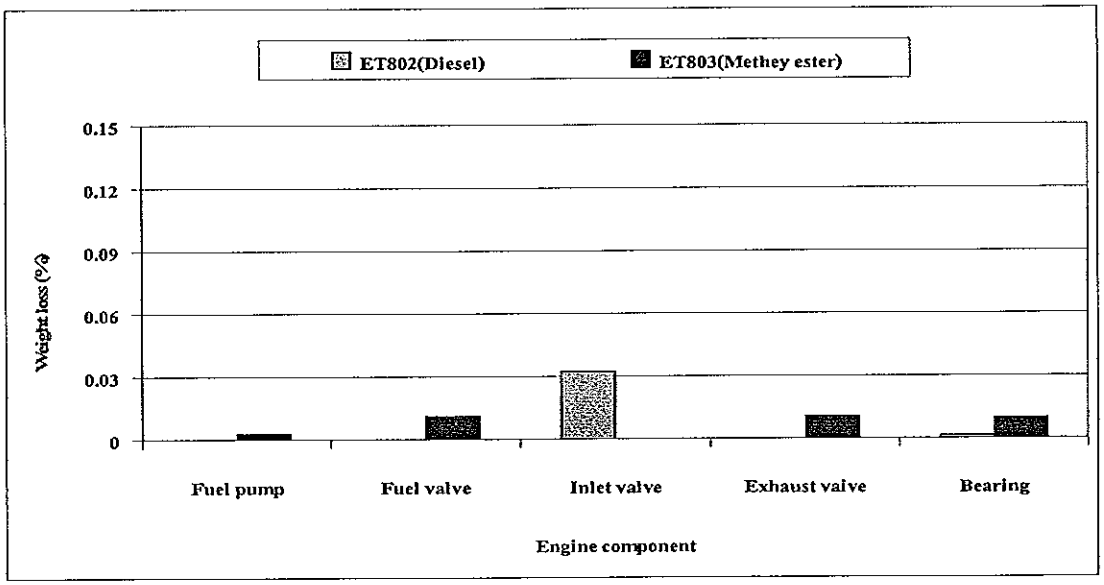
รูปที่78 น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นส่วนเครื่องยนต์หลังใช้งาน 500 ชั่วโมงแรก ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบ เครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



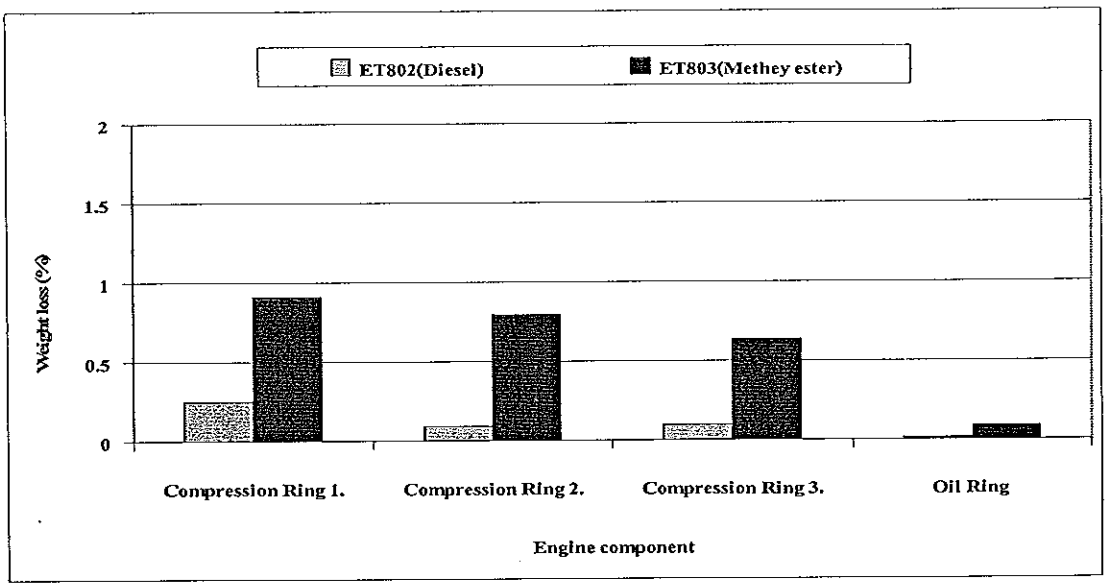
รูปที่79 น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นส่วนเครื่องยนต์หลังใช้งาน 500 ชั่วโมงที่สอง ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบ/นาที



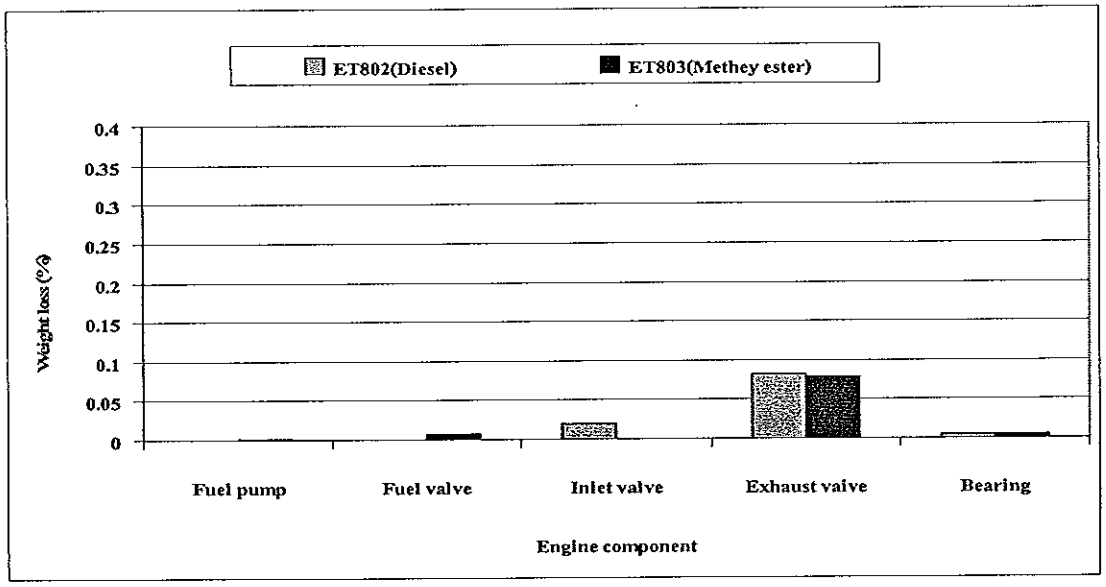
รูปที่80 น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นส่วนเครื่องยนต์หลังใช้งาน 500 ชั่วโมงที่สอง ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบ/นาที



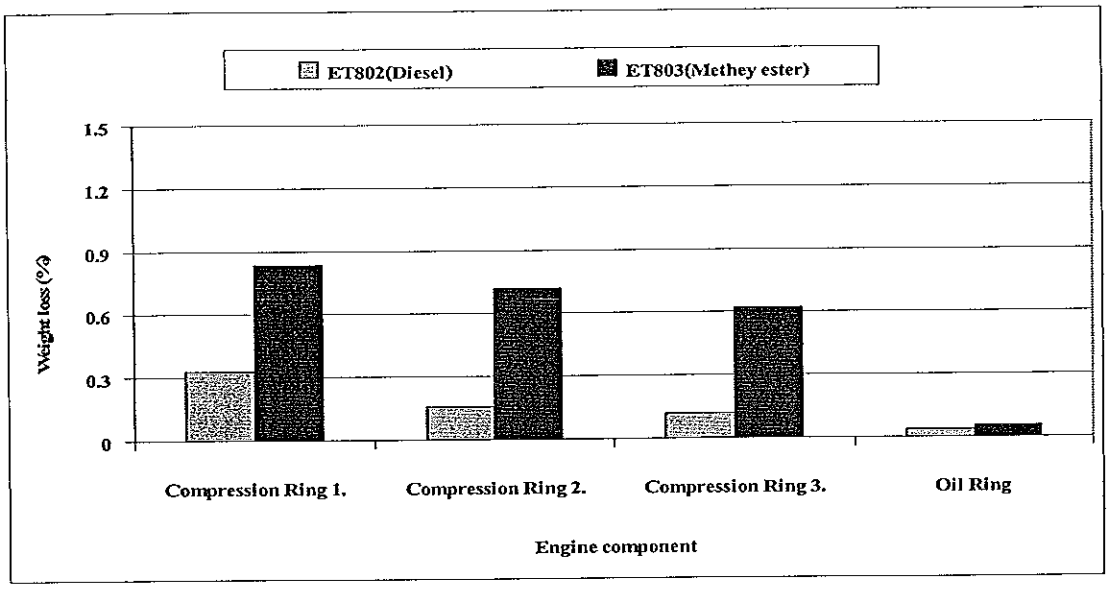
รูปที่81 น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นส่วนเครื่องยนต์หลังใช้งาน 500 ชั่วโมงที่สาม ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบ/นาที



รูปที่82 น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นส่วนเครื่องยนต์หลังใช้งาน 500 ชั่วโมงที่สาม ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



รูปที่83 น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ที่หลังใช้งาน 500 ชั่วโมงที่สี่ ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



รูปที่84 น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นส่วนเครื่องยนต์หลังใช้งาน 500 ชั่วโมงที่สี่ ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที

4.2 ผลการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์โดยวิธีการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น

4.2.1 ปริมาณโลหะที่ผสมในน้ำมันหล่อลื่นหลังการใช้งาน 100 ชั่วโมง ทุกช่วง 500 ชั่วโมง

ก. เหล็ก (รูปที่85)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณเหล็กในน้ำมันหล่อลื่นน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 0.4-10.6 เท่า

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณเหล็กในน้ำมันหล่อลื่นน้อยน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 1.2-3.9 เท่า

ข. ตะกั่ว (รูปที่86)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณ ตะกั่วในน้ำมันหล่อลื่นน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 0.3-1.3 เท่า

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณ ตะกั่วในน้ำมันหล่อลื่นน้อยน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 2.1-26.3 เท่า

ค. โครเมียม (รูปที่87)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณ โครเมียมในน้ำมันหล่อลื่นน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 0.5-8.9 เท่า

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณ โครเมียมในน้ำมันหล่อลื่นน้อยน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 3.3-11.9 เท่า

ง. อลูมิเนียม (รูปที่88)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณ อลูมิเนียมในน้ำมันหล่อลื่นน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 0.2-1.7 เท่า

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณ อลูมิเนียมในน้ำมันหล่อลื่นน้อยน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 0.5-1.8 เท่า

จ. ทองแดง (รูปที่89)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณ ทองแดงในน้ำมันหล่อลื่นน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 1.9-3.7 เท่า

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณ ทองแดงในน้ำมันหล่อลื่นน้อยน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 9.3-11.6 เท่า

ฉ. ซิลิกอน (รูปที่90)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณ ซิลิคอนในน้ำมันหล่อลื่นน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 8.7-95.6 เท่า

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณ ซิลิคอนในน้ำมันหล่อลื่นน้อยน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 35.3-45.3 เท่า

4.2.2 สมบัติของน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งาน 100 ชั่วโมง ทุกช่วง 500 ชั่วโมง

ก. ความหนืด (รูปที่91)

น้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีความหนืดใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ แต่ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด

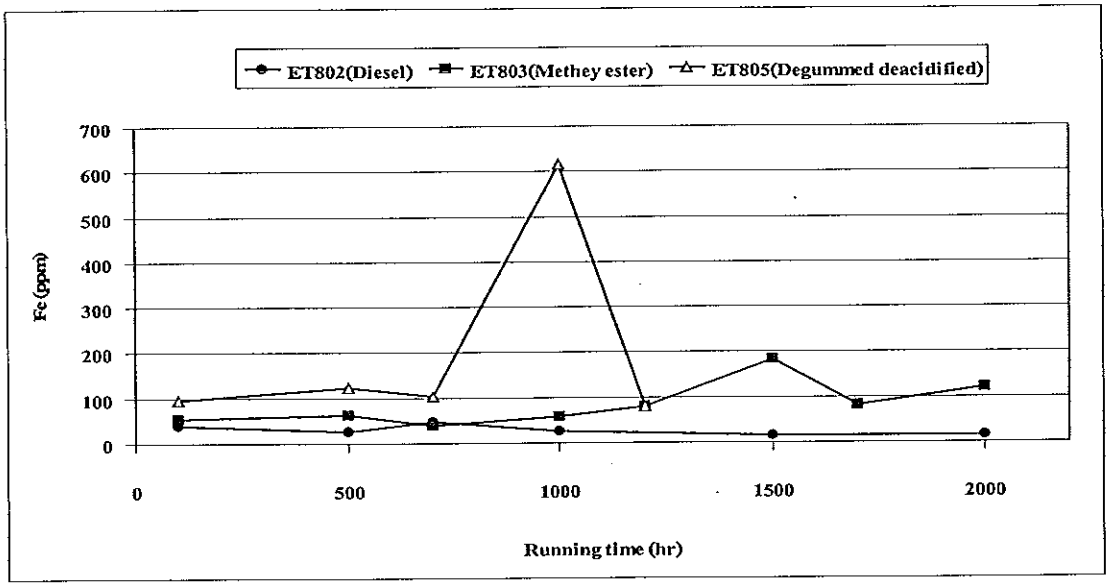
ข. ความเป็นด่าง (รูปที่92)

น้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีเป็นด่างใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ แต่ต่ำกว่าน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด

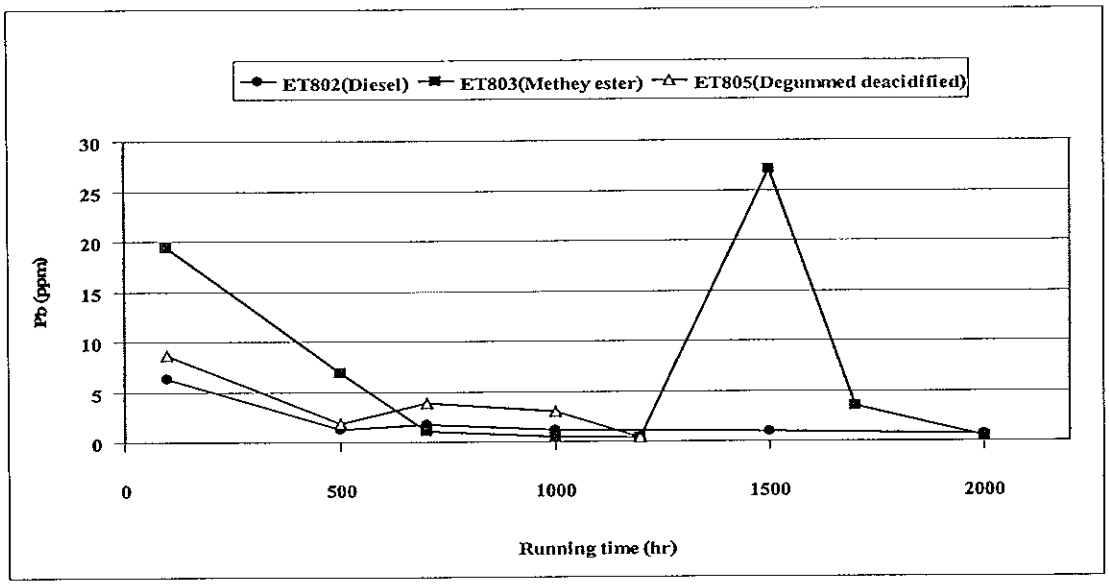
ค. ความเป็นกรด (รูปที่93)

น้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีความเป็นกรด ใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ และน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด

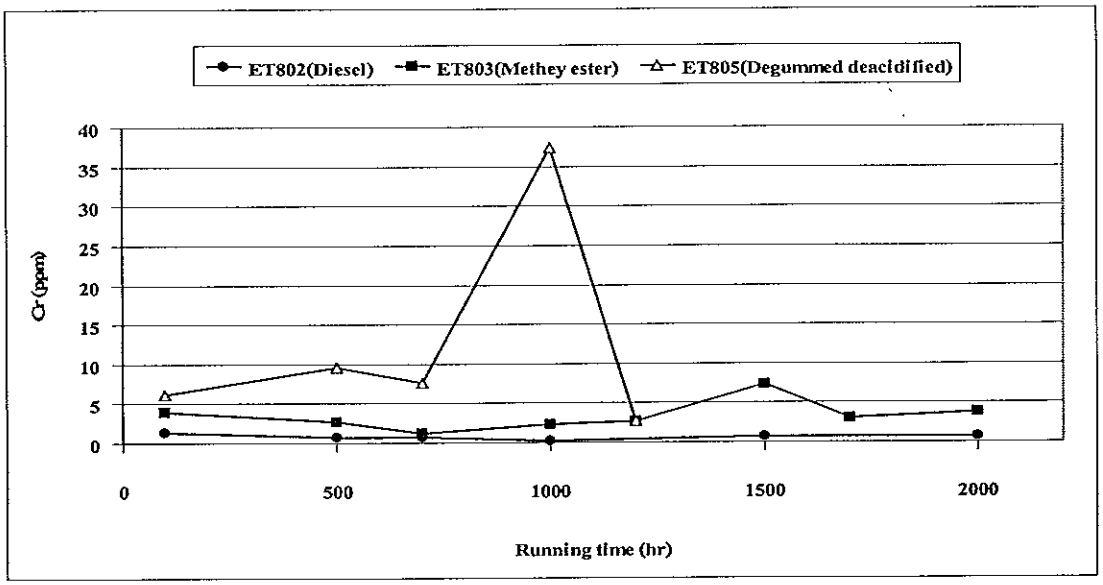
ปริมาณโลหะที่ผสมในน้ำมันหล่อลื่น ส่วนที่เจอมากที่สุดคือ เหล็ก รองลงมาคือ อลูมิเนียม และจากการทดสอบปริมาณโลหะที่ผสมในน้ำมันหล่อลื่น ก็เป็นการยืนยันผลการทดสอบการสึกหรอ โดยวิธีการชั่งน้ำหนัก เนื่องจากผลการทดสอบ แสดงให้เห็นในแนวทางเดียวกัน คือ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด มีปริมาณโลหะผสมในน้ำมันหล่อลื่นมากที่สุด นั้นหมายถึงว่ามีการสึกหรอมากที่สุดเช่นกัน รองลงมาคือเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ และสึกหรอน้อยที่สุด คือ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล



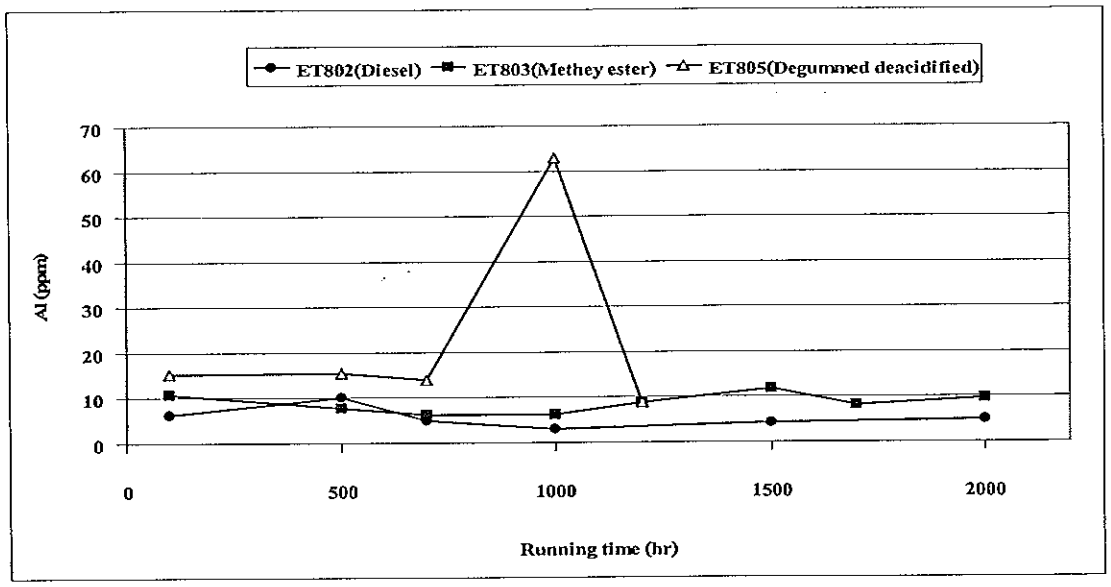
รูปที่85 ปริมาณเหล็กในน้ำมันหล่อลื่น ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



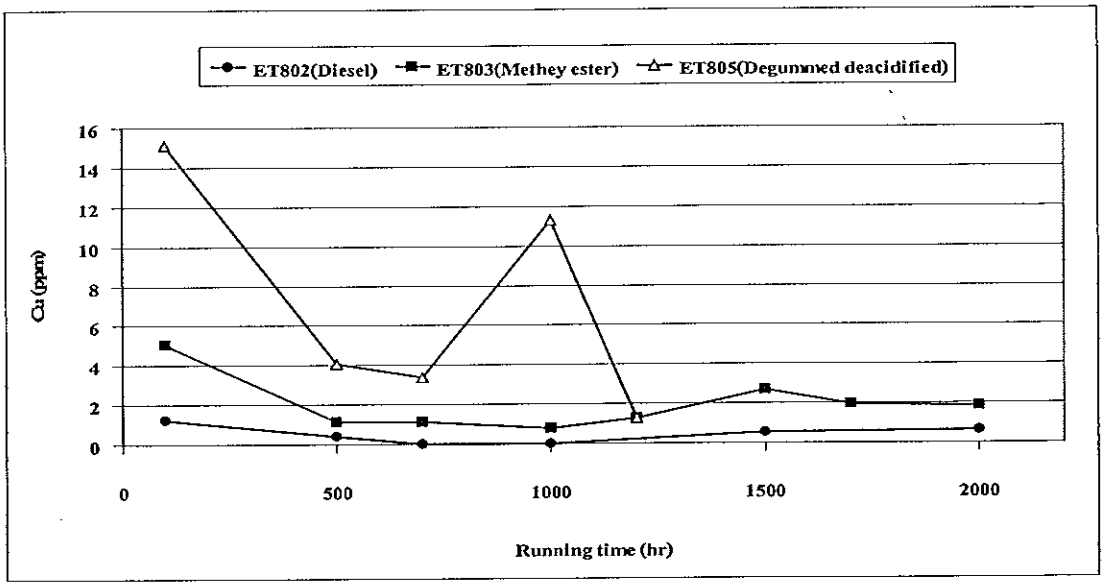
รูปที่86 ปริมาณตะกั่วในน้ำมันหล่อลื่น ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



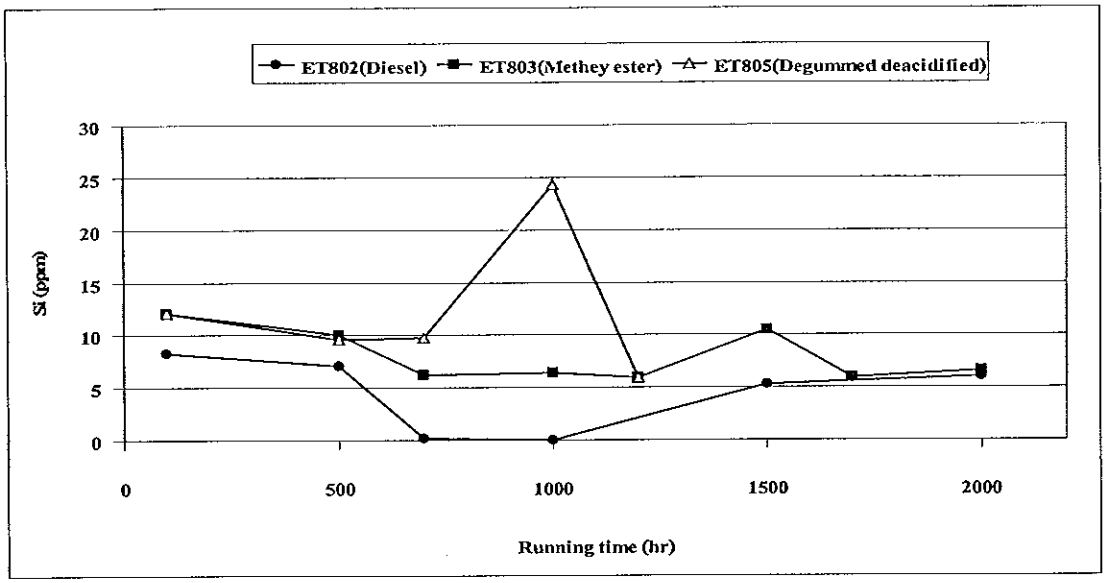
รูปที่87 ปริมาณโครเมียมในน้ำมันหล่อลื่น ที่ภาระ 75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



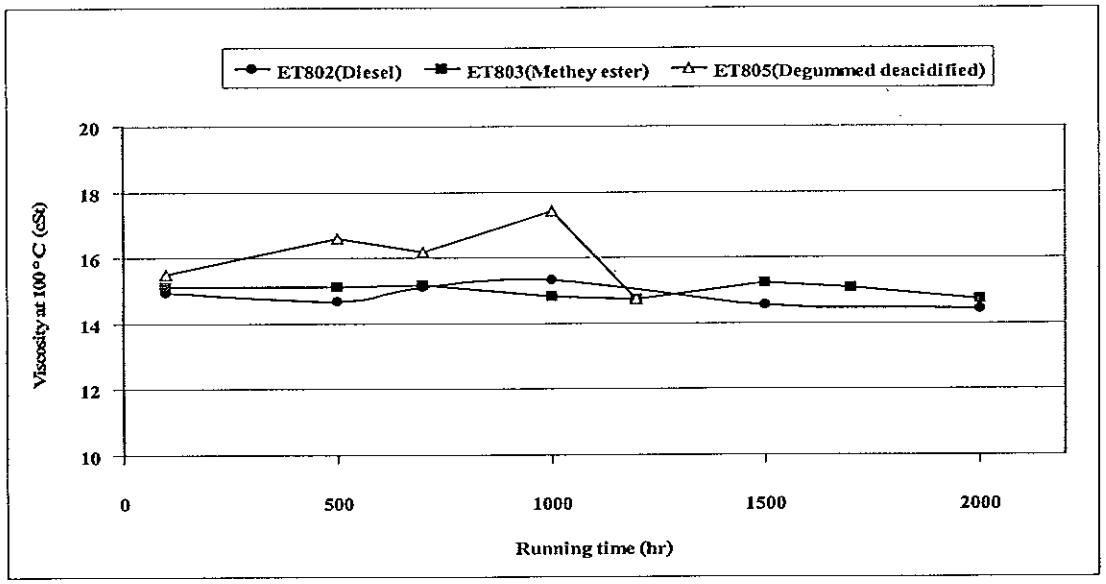
รูปที่88 ปริมาณอลูมิเนียมในน้ำมันหล่อลื่น ที่ภาระ 75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



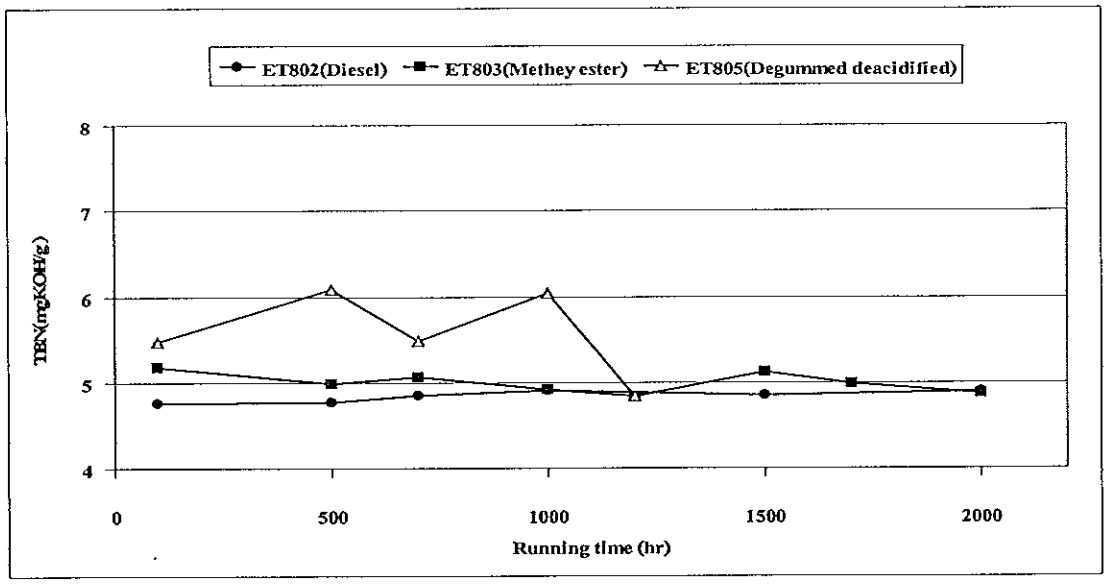
รูปที่89 ปริมาณทองแดงในน้ำมันหล่อลื่น ที่ภาระ 75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



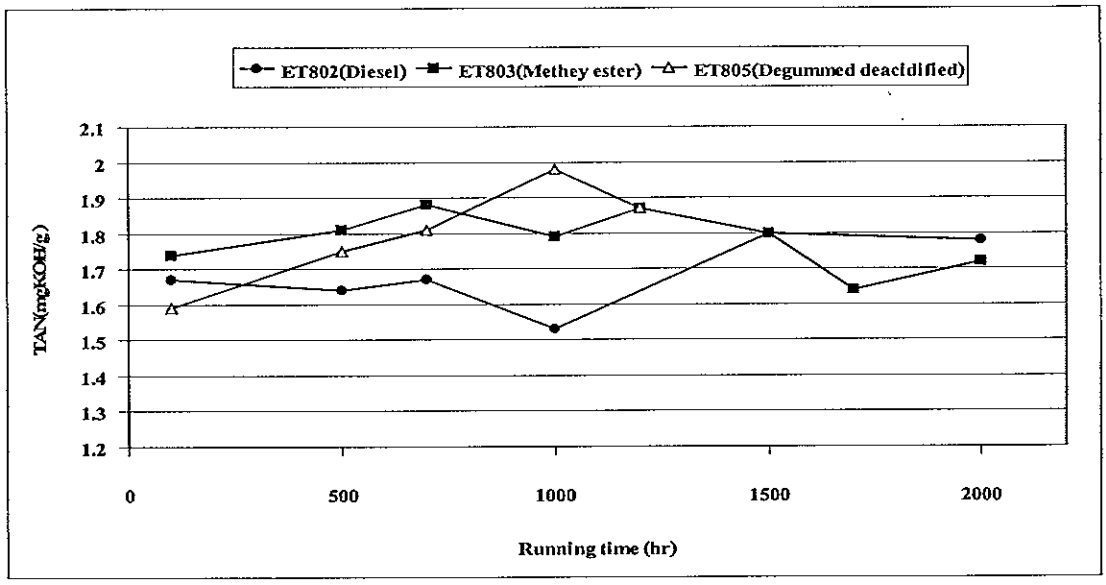
รูปที่90 ปริมาณซิลิกอนในน้ำมันหล่อลื่น ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



รูปที่91 ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น ที่ภาระ75% ของ กำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



รูปที่92 ค่าความเป็นด่างของน้ำมันหล่อลื่น ที่ ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบ/นาที



รูปที่93 ค่าความเป็นกรดของน้ำมันหล่อลื่น ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที

4.3 ผลการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์โดยวิธีการวัดระยะห่างของปากแหวน

มาตรฐานของเครื่องยนต์คูโบต้า รุ่น ET80 ที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ กำหนดไว้ว่า ระยะห่างของปากแหวนต้องไม่เกิน 1.2 ม.ม เนื่องจากหากระยะห่างของปากแหวนกว้างกว่าที่กำหนด จะส่งผลต่อกำลังอัดของเครื่องยนต์ กำลังอัดรั่ว เครื่องยนต์ทำกำลังสูงสุดได้ต่ำลง

จากการทดสอบ พบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด ที่อายุการใช้งานของเครื่องยนต์ประมาณ 1,200 ชั่วโมง ระยะห่างของปากแหวนอัดเบอร์ 2 และเบอร์ 3 มีระยะห่างเกินมาตรฐาน คือ 1.52 และ 1.31 ม.ม.

เครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ มีอายุการใช้งานประมาณ 3,000 ชั่วโมง เนื่องจากระยะห่างของปากแหวนอัดเบอร์ 2 และเบอร์ 3 มีระยะห่างเกินมาตรฐานคือ 1.575 และ 1.983 มม. ตามลำดับ และเมื่อถอดเครื่องยนต์ พบว่า แหวนอัดเบอร์1ติดตายไม่สามารถถอดออกจากลูกสูบได้

ก. การสึกหรอของระยะห่างปากแหวนอัดเบอร์ 1 (รูปที่94)

- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีการสึกหรอของปากแหวนอัดเบอร์1 น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 0.1 เท่า
- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีการสึกหรอของปากแหวนอัดเบอร์1 น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 1.7 เท่า

ข. การสึกหรอของระยะห่างปากแหวนอัดเบอร์ 2 (รูปที่95)

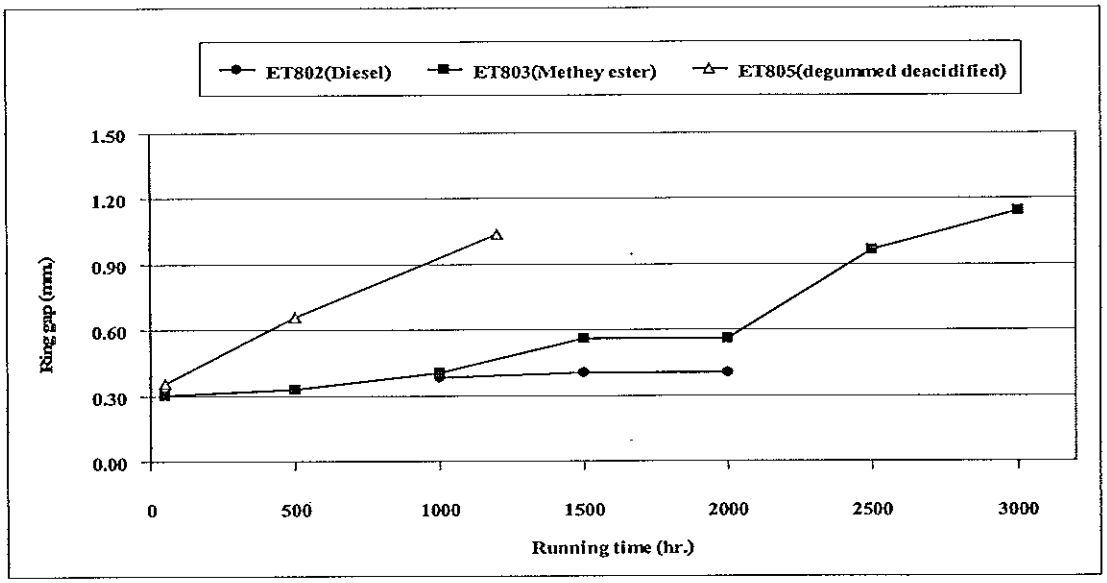
- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีการสึกหรอของปากแหวนอัดเบอร์2 น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 0.2 เท่า
- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีการสึกหรอของปากแหวนอัดเบอร์2 น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 2.1 เท่า

ค. การสึกหรอของระยะห่างปากแหวนอัดเบอร์ 3 (รูปที่96)

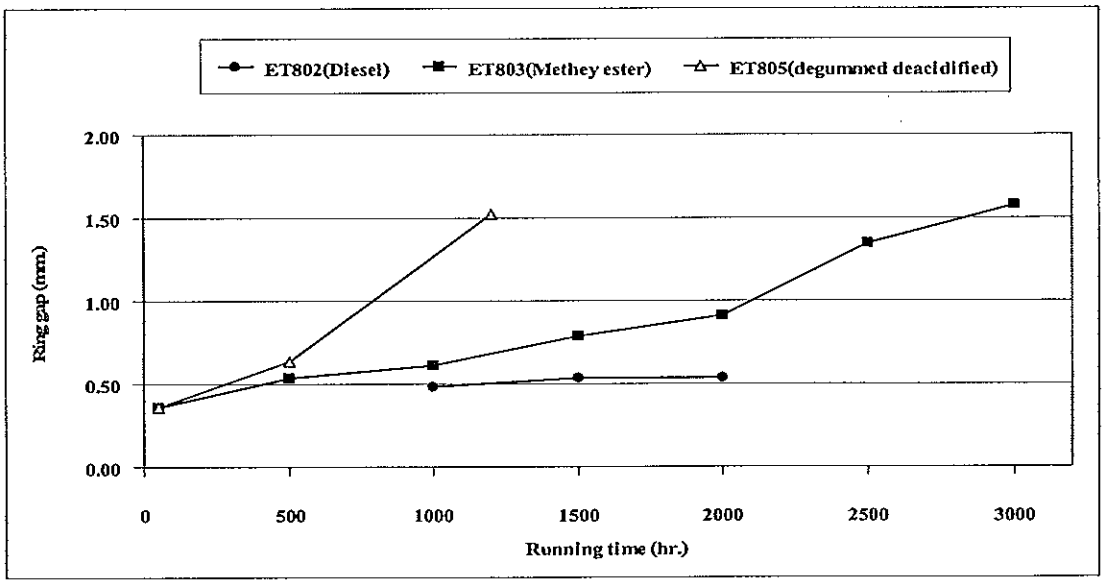
- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีการสึกหรอของปากแหวนอัดเบอร์3 น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 0.2 เท่า
- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีการสึกหรอของปากแหวนอัดเบอร์3 น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 1.7 เท่า

ง. การสึกหรอของระยะห่างปากแหวนน้ำมัน (รูปที่97)

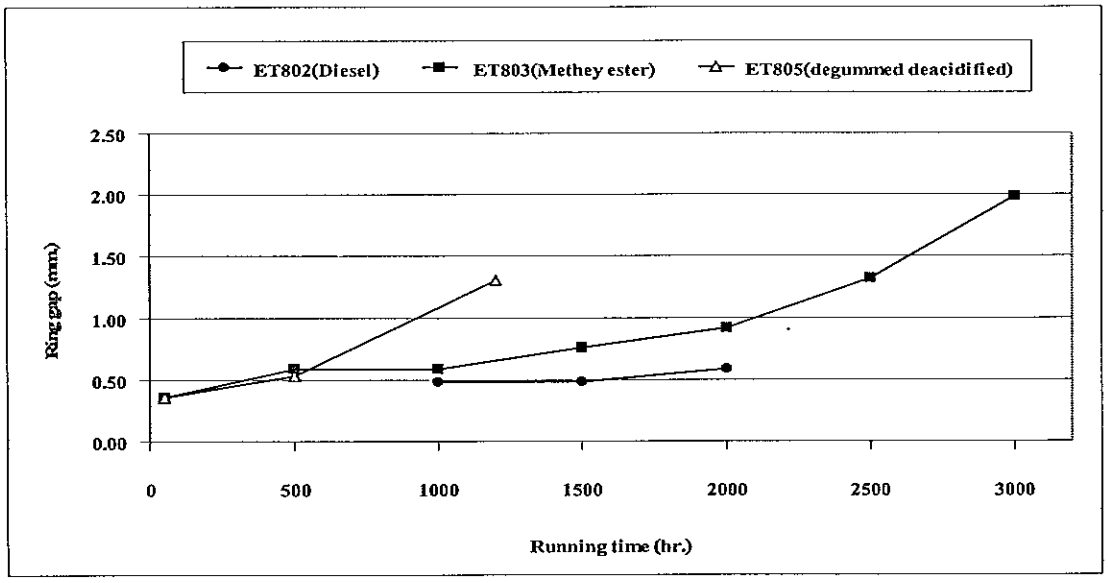
- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีการสึกหรอของปากแหวนน้ำมัน น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ประมาณ 0.1เท่า
- เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีการสึกหรอของปากแหวนน้ำมัน น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดประมาณ 0.9 เท่า



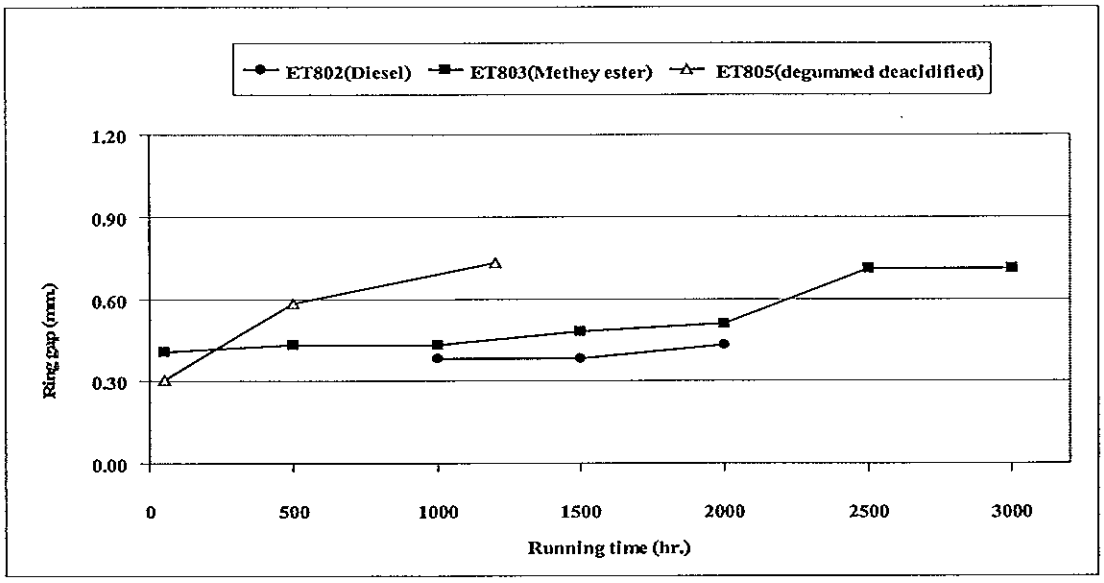
รูปที่94 การสึกหรอของปากแหวนอัดเบอร์ 1 ทุกช่วง 500 ชั่วโมง ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



รูปที่95 การสึกหรอของปากแหวนอัดเบอร์ 2 ทุกช่วง 500 ชั่วโมง ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



รูปที่96 การสึกหรอของปากแหวนอัดเบอร์ 3 ทุกช่วง 500 ชั่วโมง ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที



รูปที่97 การสึกหรอของปากแหวนน้ำมัน ทุกช่วง 500 ชั่วโมง ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที

5. การเดินเครื่องยนต์

ที่ภาระ 75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที

5.1 การเดินเครื่องยนต์ET 802 เดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันดีเซล

การเดินเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเครื่องยนต์เดินได้ปกติ

5.2 การเดินเครื่องยนต์ET803 เดินเครื่องยนต์ด้วยเมทิลเอสเตอร์

ก. การเดินเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ ในช่วง 500 ชั่วโมงแรก

ปัญหาที่พบ 1 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ไม่คงที่ ทำให้หลอดไฟขาดบ่อยมาก จึงทดลองแก้ไขโดยการเปลี่ยนไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง เปลี่ยนหัวฉีด แต่ไม่ดีขึ้น จึงได้ทดลองลดภาระลง โดยการปิดหลอดไฟลงบางส่วน พบว่า หากเดินเครื่องยนต์โดยไม่มีภาระโหลด ความเร็วรอบจะคงที่

เปิดหลอดไฟ 10 หลอด ความเร็วรอบไม่คงที่ อยู่ในช่วง 2,195-2,203 รอบต่อนาที

เปิดหลอดไฟ 12 หลอด ความเร็วรอบไม่คงที่ อยู่ในช่วง 2,190-2,202 รอบต่อนาที

เปิดหลอดไฟ 14 หลอด ความเร็วรอบไม่คงที่ อยู่ในช่วง2,189 ถึง 2,203 รอบต่อนาที

เปิดหลอดไฟ 16 หลอด ความเร็วรอบไม่คงที่ อยู่ในช่วง 2,000- 2,204 รอบต่อนาที

แก้ไข เดินเครื่องโดยเปิดหลอดไฟ 14 หลอด ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ประมาณ 2,189 ถึง 2,203 รอบต่อนาที แต่ต้องเปลี่ยนไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงบ่อยๆ

ปัญหาที่พบ 2 เมื่อเดินเครื่องได้ประมาณ 300 ชั่วโมง สายน้ำมันฉีกและแหวนรองคอปั๊มน้ำมันสึก ทำให้เมทิลเอสเตอร์ลงในอ่างน้ำมันเครื่อง

แก้ไข เปลี่ยนสายน้ำมันและแหวนรองคอปั๊มใหม่ สาเหตุอาจเนื่องจากในช่วงแรกมีการถอดสายน้ำมันและปั๊มบ่อย เนื่องจากต้องการหาสาเหตุที่ความเร็วรอบไม่คงที่

ปัญหาที่พบ 3 วาล์วไอเสียปิดไม่สนิท

แก้ไข เติมน้ำมันหล่อลื่นลงทางท่อไอดีประมาณ 20 มล. หมุนล้อช่วยแรง (Fly Wheel) พร้อมกับใช้ฆ้อนพลาสติกเคาะที่กระเดื่องกดวาล์ว

ข. การเดินเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ ในช่วง 500 – 1,000 ชั่วโมง

ปัญหาที่พบ 4 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์แกว่งไม่คงที่ เหมือนช่วง 500 ชั่วโมงแรก จึงต้องเปิดหลอดไฟ 15 หลอด

แก้ไข เพิ่มจำนวนการล้างเมทิลเอสเตอร์ จากช่วงแรกล้าง 1 ครั้งเป็นล้าง 2 ครั้ง และแยกเมทิลเอสเตอร์ออกจากกลีเซอรอลอย่างระมัดระวังมากขึ้น เมื่อนำมาใช้พบว่าเครื่องยนต์เดินเรียบ ความเร็วรอบคงที่ ปัญหาเรื่องการเปลี่ยนไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงก็หมดไป

ปัญหาที่พบ 5 เมทิลเอสเตอร์หมด จึงต้องหยุดเดินเครื่องประมาณ 3 วัน เมื่อเริ่มเดินเครื่องใหม่ พบว่า ไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงตันมีตะกอนสีส้ม และหัวฉีดติดมียางเหนียวติดที่หัวฉีด

แก้ไข หากจำเป็นต้องหยุดเครื่องนานๆ จะต้องเดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันดีเซลประมาณ 5 – 10 นาที

ในช่วง 500 – 1,000 ชั่วโมง พบว่า ระดับของน้ำมันเครื่องลดลง แต่ยังสูงกว่าขั้นต่ำสุดที่เครื่องยนต์กำหนด นั้นหมายถึงว่า เครื่องยนต์สึกหรอมากกว่าช่วง 500 ชั่วโมงแรก

ค. การเดินเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ ในช่วง 1,000 - 1,500 ชั่วโมง

เครื่องยนต์เดินปกติ มีปัญหาเดิมคือวาล์วไอเสียรั่ว แก้ปัญหาเหมือนที่ผ่านมา เครื่องยนต์มีการสึกหรอมากขึ้น สังเกตได้จาก ระดับน้ำมันเครื่องลดลงอยู่ระดับขีด4 (ปกติอยู่ระดับขีด 11) แต่ยังสามารถเดินเครื่องยนต์ได้โดยไม่ต้องเพิ่ม หัวฉีดเริ่มมีปัญหา เนื่องจากมีเมทิลเอสเตอร์ย้อนกลับเข้าถังน้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้น

ง. การเดินเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ ในช่วง 1,500 – 2,000 ชั่วโมง

เครื่องยนต์เดินปกติ แต่มีการสึกหรอมากขึ้น ต้องเติมน้ำมันเครื่องเพิ่ม 200มล. ทุกครั้ง หลังเปลี่ยนถ่ายน้ำมันแล้ว เนื่องจากน้ำมันเครื่องอยู่ต่ำกว่าระดับขีดต่ำสุด และได้ตั้งแรงดันของหัวฉีดใหม่เนื่องจากแรงดันของหัวฉีดลดลง

จ. การเดินเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์หลัง 2,000 ชั่วโมง

ปัญหาที่พบ 6 น้ำแห้ง เครื่องร้อนจัด เครื่องดับเอง เนื่องจากสายพานหย่อน

แก้ไข เปลี่ยนสายพานใหม่

ปัญหาที่พบ 7 หัวฉีดติด เนื่องจากเครื่องร้อนจัดและหยุดเครื่องหลายวัน

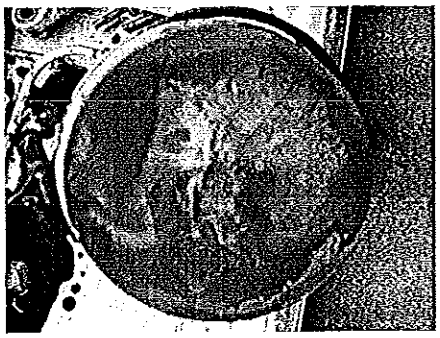
แก้ไข เปลี่ยนหัวฉีดใหม่

ปัญหาที่พบ 8 น้ำแห้งบ่อย เนื่องจากสปริงของฝาปิดหม้อน้ำเสียทำให้น้ำระเหยออกได้

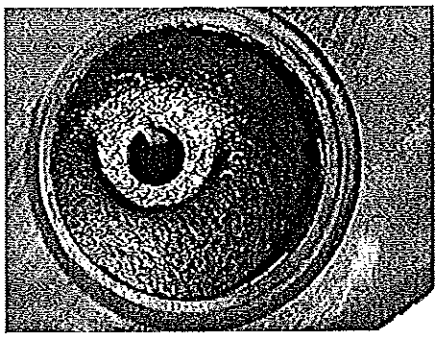
แก้ไข เปลี่ยนฝาปิดหม้อน้ำใหม่

เครื่องยนต์มีการสึกหรอมาก ต้องคอยตรวจระดับน้ำหล่อเย็น และน้ำมันเครื่องบ่อยขึ้น

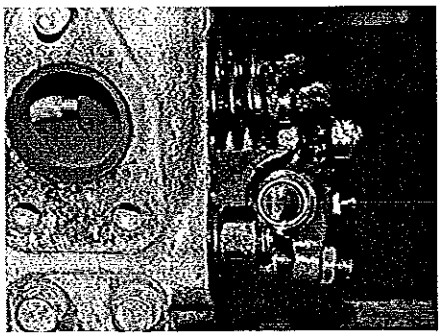
ฉ. เครื่องยนต์ ET803 หลังใช้งานครบ 3,000 ชั่วโมง



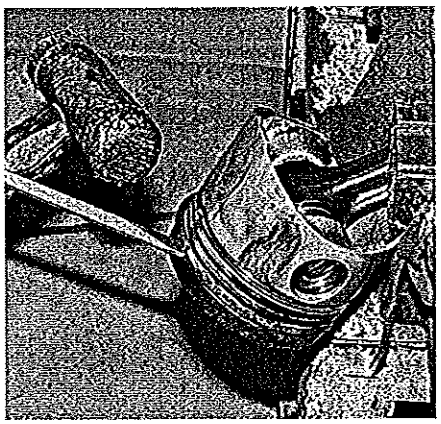
รูปที่98 หัวลูกสูบมีรอยแตก



รูปที่99 บ่า และบู๊ชวาล์วสึกมาก



รูปที่100 เขม่าติดที่กระเดื่องกดวาล์ว



รูปที่101 แหวนลูกสูบติดตาย

5.3 การเดินเครื่องยนต์ET805 เดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด

ก. การเดินเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด ในช่วง 500 ชั่วโมงแรก

ปัญหาที่พบ 1 หลังจากอุ่นเครื่องด้วยน้ำมันดีเซลแล้ว เมื่อเปลี่ยนมาใช้น้ำปาล์มลดกัมลดกรด ที่ 120 องศาเซลเซียส เครื่องจะดับ ไม่สามารถเดินเครื่องได้

แก้ไข จากการตรวจสอบ พบว่า ฮีทเตอร์รั่ว จึงทำการเชื่อม พร้อมกับทำความสะอาดท่อน้ำมันเชื้อเพลิง และช่วงเปลี่ยนมาใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด ที่120 องศาเซลเซียส จะต้องคลายน็อตยึดท่อน้ำมันของปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อไล่อากาศออกก่อน

ปัญหาที่พบ 2 ฮีทเตอร์สั่น และรั่วบ่อย

แก้ไข เปลี่ยนท่อน้ำมันเชื้อเพลิงจากท่อทองแดง มาใช้สายยางแทน และยึดฮีทเตอร์ให้แน่นขึ้น

ปัญหาที่พบ 3 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์แกว่ง ไม่คงที่

แก้ไข ต้องอุ่นให้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด ร้อนอย่างทั่วถึง และให้มีอุณหภูมิสม่ำเสมอ เพื่อให้ความหนาแน่นของน้ำมันคงที่

ปัญหาที่พบ 4 เมื่อเปลี่ยนมาใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดที่ 120 องศาเซลเซียส พลาสติกของชุดกรองน้ำมันเชื้อเพลิงละลาย

แก้ไข ติดตั้งวาล์วเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดไหลเข้าถังเก็บน้ำมันดีเซลพร้อมกับถอดสายน้ำมันไหลย้อนกลับจากหัวฉีดไม่ให้ย้อนกลับเข้าถังน้ำมันดีเซล

ข. การเดินเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด ในช่วง 500 – 1,000 ชั่วโมง

ปัญหาที่พบ5 วาล์วไอเสียรั่ว

แก้ไข เติมน้ำมันหล่อลื่นทางท่อไอดีประมาณ 20 ม.ล. หมุนล้อช่วยแรง (Fly Wheel) พร้อมกับใช้ฆ้อนพลาสติกเคาะที่กระเดื่องกดวาล์ว

บทที่ 5

วิจารณ์ และสรุปผล

1. บทนำ

บทนี้เป็นการนำผลการทดสอบ และข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาทำการวิเคราะห์วิจารณ์ ตลอดถึงการสรุปผลของงานวิจัยที่ได้ดำเนินการมาทั้งหมด ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยรวมถึงข้อเสนอ แนะ

2. สมบัติของเชื้อเพลิง

2.1 ค่าซีเทนนัมเบอร์

เป็นค่าสมบัติทางเชื้อเพลิงที่สำคัญมากค่าหนึ่ง เพราะเป็นค่าที่ใช้วัดคุณภาพด้านการลุกติดไฟของเชื้อเพลิง หากเชื้อเพลิงมีค่าซีเทนนัมเบอร์ต่ำ จะทำให้มีการสะสมเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ เมื่อเกิดการลุกไหม้จึงมีการเผาไหม้อย่างรุนแรง แต่ในทางกลับกัน หากเชื้อเพลิงมีค่าซีเทนนัมเบอร์สูงเกินไป จะทำให้เกิดการระเบิดเร็วขึ้น เกิดการกระแทกจังหวะทำงานของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์เดินไม่เรียบ และมีผลต่อชิ้นส่วนเครื่องยนต์ ดังนั้นค่าซีเทนนัมเบอร์ควรอยู่ในช่วงที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับการออกแบบห้องเผาไหม้ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และการปรับค่าแรงดันของหัวฉีดซึ่งทำให้ไม่เกิดการน็อก และเป็นการประหยัดการใช้เชื้อเพลิงอีกด้วย หากพิจารณาผลการทดสอบพบว่าเมทิลเอสเตอร์ มีค่าซีเทนนัมเบอร์สูงกว่าข้อกำหนดขั้นต่ำของน้ำมันดีเซล แต่อยู่ในช่วง มาตรฐาน ASTM PS121 กำหนดไว้ เป็นผลให้สมบัติในการจุดระเบิดและการเผาไหม้ดีกว่า ช่วงเวลารอการเริ่มติดไฟสั้นกว่าทำให้มีช่วงเวลาการเผาไหม้ยาวนานกว่า ทำให้เกิดการเผาไหม้หมดจดกว่า มีเขม่าและก๊าซไอเสียน้อยกว่า

2.2 ความหนืด

เป็นสมบัติของเชื้อเพลิงที่สำคัญ น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดและเมทิลเอส เตอร์มีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิดผลิตมาจากพืช และเชื้อเพลิงที่ผลิตจากพืชจะมีโครงสร้างทางเคมี และมีมวลโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าน้ำมันดีเซล (Srivastava, and Prasad, 2000) สำหรับน้ำมันปาล์มพบว่าในหนึ่งโมเลกุลจะมีอะตอมคาร์บอนอยู่มากกว่า 54 ตัว แต่น้ำมันดีเซลมี

อะตอมคาร์บอนเพียง 14-19 ตัวเท่านั้น (ไพจิตร จันทรวงศ์, 2530, ธำรง โชตะมังสะและสุจินต์ สนองคุณ, 2544) ความหนืดมีผลต่อการแตกตัว และลักษณะการเป็นฝอยของเชื้อเพลิง ซึ่งมีผลต่อการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ความหนืดสูงจะทำให้การฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้เป็นฝอยได้ไม่ดี ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะบริเวณที่สัมผัสกับโลหะ เช่น ปลายหัวฉีด ผิวลูกสูบ ฝาสูบ ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าใจกลางห้องเผาไหม้ (ทวิช จิตรสมบูรณ์, 2530) ในส่วนเมทิลเอสเตอร์นั้นมีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย แต่น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลไม่น้อยกว่า 9 เท่า จึงได้ลดความหนืดลง โดยอุ่นให้ร้อนที่ 120 องศาเซลเซียส ก่อนป้อนเข้าห้องเผาไหม้

2.3 อุณหภูมิจุดวาบไฟ

น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดและเมทิลเอสเตอร์ มีจุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งมีผลดีในด้านความปลอดภัย การขนส่ง และการเก็บรักษา แต่ในทางกลับกันหากจุดวาบไฟสูงมาก จะทำให้ลักษณะของการระเหยและการกระจายตัวกลายเป็นไอเกิดได้ช้า ซึ่งเป็นสาเหตุให้ช่วงเวลารอติดไฟของเชื้อเพลิงนานขึ้น ทำให้จุดระเบิดได้ไม่ดี

2.4 ค่าความร้อน

น้ำมันพืชส่วนใหญ่มีค่าความร้อน(Heating Value) ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 10-15% (ทวิช จิตรสมบูรณ์, 2530) จากผลการทดสอบ พบว่าน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดมีค่าความร้อน สูงกว่าเมทิลเอสเตอร์แต่ยังต่ำกว่าน้ำมันดีเซล สาเหตุดังกล่าวเนื่องมาจาก น้ำมันดีเซลมีสารไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วย ธาตุคาร์บอน และธาตุไฮโดรเจน ซึ่งเป็นธาตุที่ติดไฟ เป็นส่วนประกอบหลัก แต่น้ำมันพืชมีพันธะทางเคมีของออกซิเจน ซึ่งเป็นธาตุที่ไม่ติดไฟ ในโครงสร้างของโมเลกุล และมีองค์ประกอบคาร์บอนที่น้อยกว่า ซึ่งค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจะส่งผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของเชื้อเพลิง

3. สมรรถนะของเครื่องยนต์

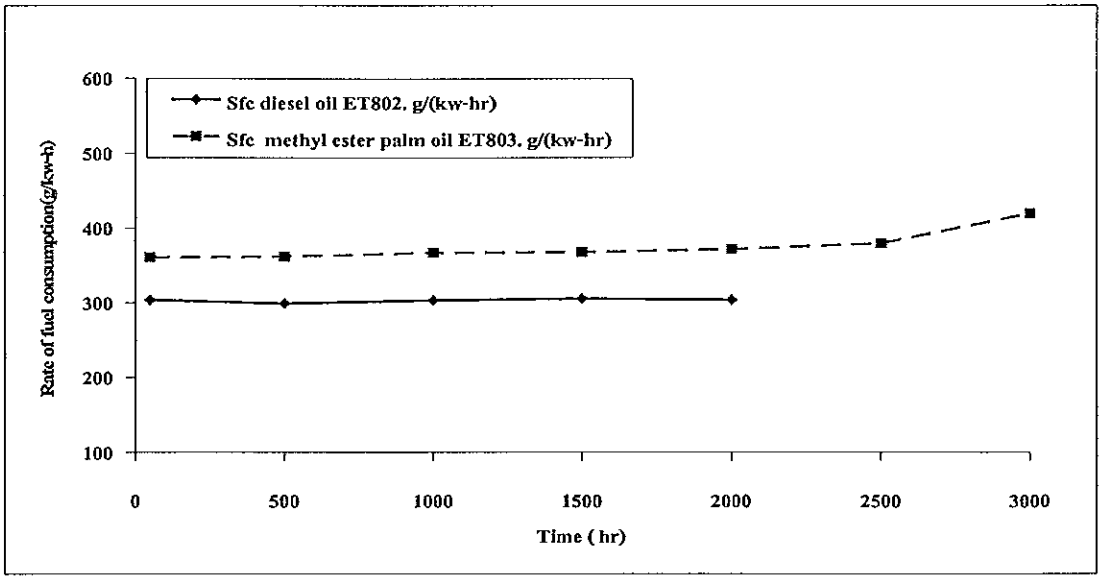
จากผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ทั้งการทดสอบที่ภาระโหลดคงที่ และที่ภาระโหลดเปลี่ยนแปลง ทั้ง 2 วิธี ชี้ให้เห็นในแนวทางเดียวกัน และเนื่องจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด มีอายุการใช้งานเพียง 1,200 ชั่วโมง จึงไม่ได้ทำกราฟมาเปรียบเทียบในที่นี้

3.1 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

จากผลการทดสอบ พบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลด มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงที่สุด รองลงมาคือเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ และต่ำที่สุดคือเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

จากการทดสอบเปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด กับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจาก น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดมีคุณภาพการเป็นเชื้อเพลิงด้อยกว่า มีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล หากต้องการให้ได้พลังงานความร้อนที่เท่ากัน เพื่อเปลี่ยนเป็นกำลังงานของเครื่องยนต์ออกมาเท่ากัน จะต้องใช้ปริมาณเชื้อเพลิงที่มากกว่าด้วย

ส่วนผลจากการทดสอบเปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ กับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงกว่า สาเหตุเนื่องมาจากเมทิลเอสเตอร์มีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล แต่เมื่ออายุการใช้งานของเครื่องยนต์มากขึ้น เครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์มีแนวโน้มของอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงขึ้น ในขณะที่เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลค่อนข้างคงที่ ทั้งนี้สาเหตุเนื่องมาจาก เครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์มีการสึกหรอมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล (รูปที102)



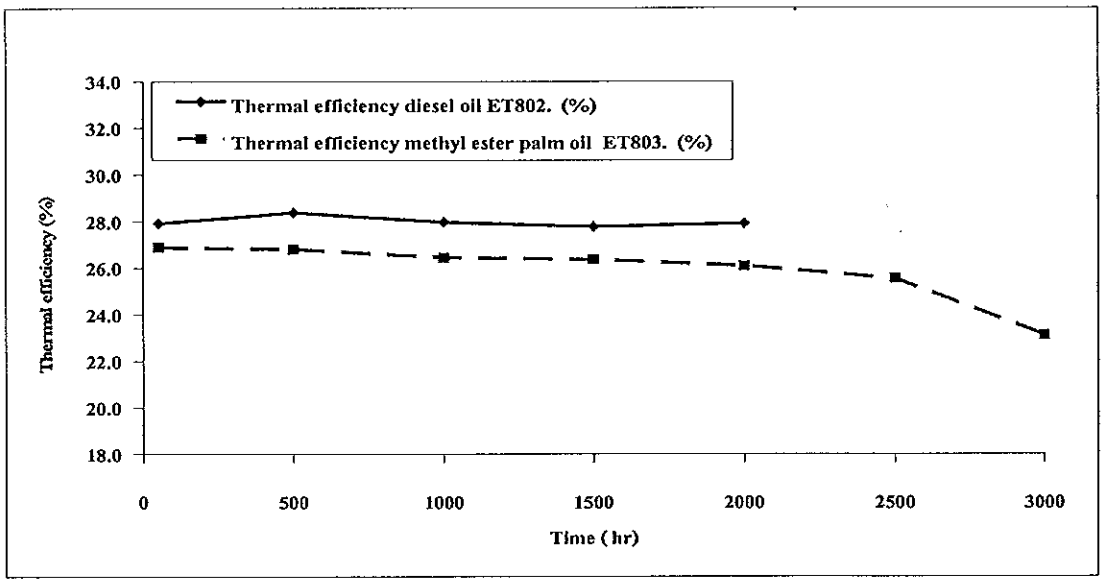
รูปที่102 กราฟแสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ET802 ใช้น้ำมันดีเซล เครื่องยนต์ET803 ใช้เมทิลเอสเตอร์ ที่ภาระคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที

3.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

จากการทดสอบ พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุด รองลงมา คือเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ และต่ำที่สุดคือเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด

จากการทดสอบเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด จะมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงที่สุด นั้นแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการสันดาปภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด ให้พลังงานความร้อนออกมาได้ต่ำสุด เพื่อให้เครื่องยนต์เปลี่ยนจากพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานกลต่อไป

ส่วนผลการเปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ กับเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่า และค่อนข้างคงที่ ในขณะที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ มีแนวโน้มลดลง เมื่อมีอายุการใช้งานมากขึ้น สาเหตุมาจากเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ มีการสึกหรอมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล (รูปที่103)

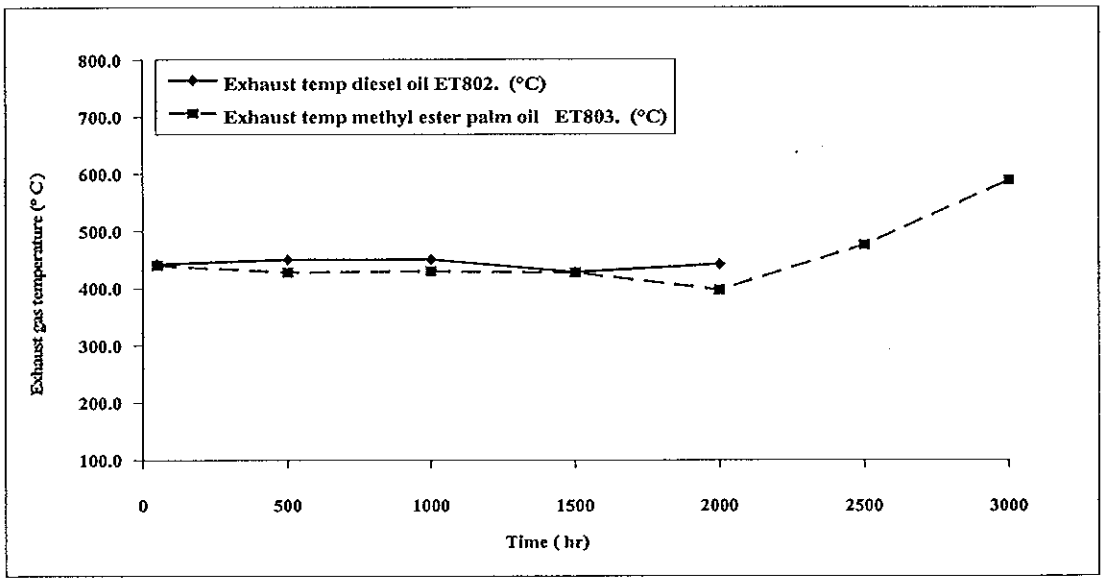


รูปที่103 กราฟแสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ET802 ใช้น้ำมันดีเซล เครื่องยนต์ET803 ใช้เมทิลเอสเตอร์ ที่ภาระคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที

3.3 อุณหภูมิก๊าซไอเสีย

จากผลการทดสอบ พบว่า อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล เนื่องจากน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดมีการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพด้อยกว่า มีการสูญเสียพลังงานออกไปกับก๊าซไอเสีย สาเหตุมาจากน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด มีสมบัติการระเหยตัวที่ช้ากว่าน้ำมันดีเซล

ส่วนผลการเปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ กับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน(รูปที่104) แต่เมื่อมีการใช้งานไปช่วงเวลาหนึ่ง อุณหภูมิก๊าซไอเสียเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์มีแนวโน้มสูงขึ้น สาเหตุมาจาก เครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์มีการสึกหรอมากกว่า และบ่าวาล์วรั่ว ส่งผลให้ต้องฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปมากขึ้น เพื่อให้ได้กำลังเท่าเดิม แต่บ่าวาล์วรั่วจึงทำให้มีการสูญเสียพลังงานออกไปกับก๊าซไอเสีย

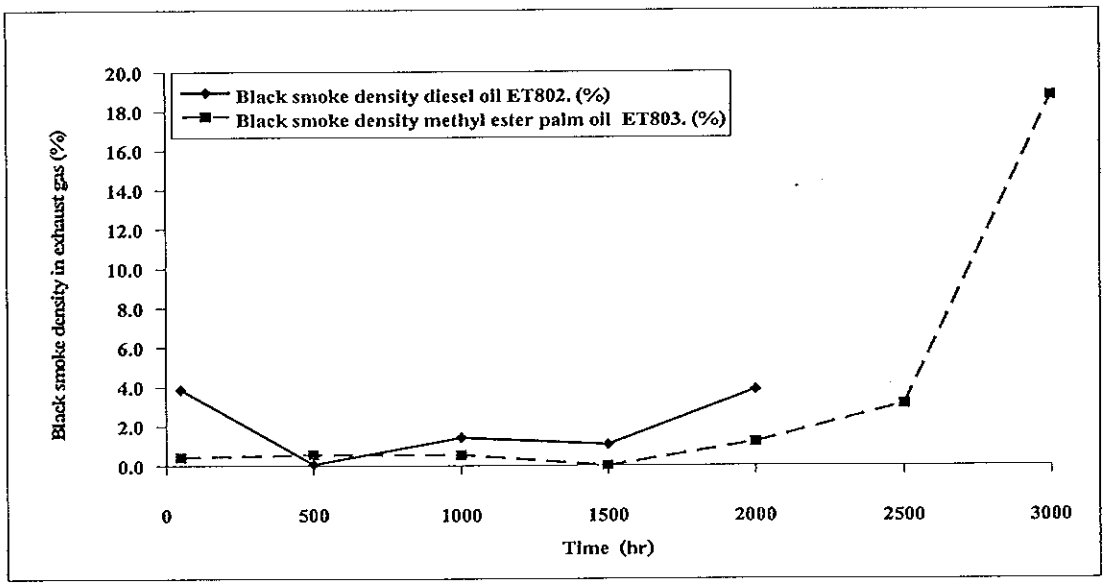


รูปที่104 กราฟแสดงอุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ET802 ใช้น้ำมันดีเซล เครื่องยนต์ET803 ใช้เมทิลเอสเตอร์ ที่ภาระคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อ นาที

3.4 ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย

ผลจากการทดสอบ พบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์และน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ มีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล เนื่องจาก มีค่าซีเทนนัมเบอร์ สูงกว่าน้ำมันดีเซล เป็นผลให้สมบัติในการจุดระเบิดและการเผาไหม้ดีกว่า ช่วงเวลารอการเริ่มติดไฟสั้นกว่าทำให้มีช่วงเวลาการเผาไหม้ยาวนานกว่า ทำให้เกิดการเผาไหม้หมดจดกว่า แต่เมื่อมีอายุการใช้งานนานขึ้น เครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ มีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียเพิ่มขึ้น สาเหตุมาจากเครื่องยนต์มีการสึกหรอมากกว่า



รูปที่105 กราฟแสดงควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ET802 ใช้น้ำมันดีเซล เครื่องยนต์ET803 ใช้เมทิลเอสเตอร์ ที่ภาระคงที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที

4. การสึกหรอของเครื่องยนต์

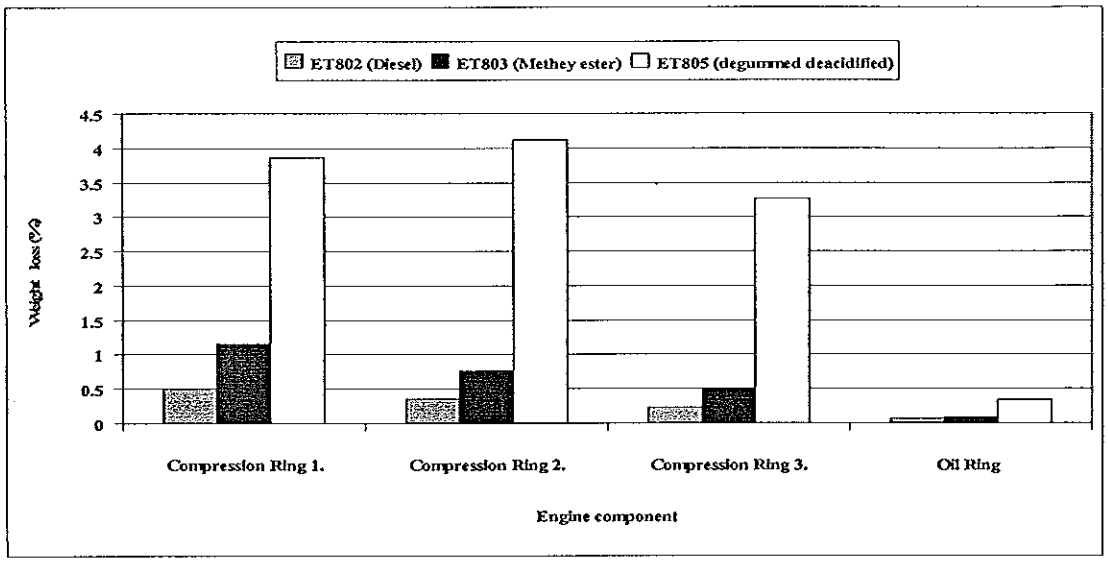
การทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์มี 3 วิธี ทุกวิธีแสดงผลให้เห็นว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดมีการสึกหรอมากที่สุด รองลงมาคือเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ และที่มีการสึกหรอน้อยที่สุดคือเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ทางบริษัทผู้ผลิตได้ตั้งมาตรฐานของระยะห่างปากแหวนไว้ไม่เกิน 1.2 มม. ซึ่งหากเกินจากค่าที่กำหนด เครื่องยนต์ยังสามารถใช้งานได้ แต่มีผลต่อกำลังอัดของเครื่องยนต์ ทำให้เครื่องยนต์ผลิตกำลังอัดสูงสุดได้ต่ำลง การทดสอบครั้งนี้ จึงได้ยึดค่าดังกล่าวเป็นเกณฑ์ในการกำหนดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ จากการทดสอบ พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด มีอายุการใช้งานเพียง 1,200 ชั่วโมง เครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์มีอายุการใช้งานประมาณ 3,000 ชั่วโมง และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอายุการใช้งานมากกว่า 6,000 ชั่วโมง จากการสึกหรอดังกล่าวไม่ได้เกิดจากน้ำมันหล่อลื่น เนื่องจากสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นหลังการใช้งานยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และมีค่าไม่ต่างกัน

จากผลการชั่งน้ำหนักของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ ชิ้นส่วนที่มีการสึกหรอมากที่สุด คือแหวนลูกสูบ แหวนลูกสูบมีหน้าที่ป้องกันการรั่วซึมของกำลังอัดภายในกระบอกสูบไม่ให้รั่วไหลได้ และช่วยระบายความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ ส่วนผลการวัดระยะห่างปากแหวนก็แสดงผลให้เห็นในทำนองเดียวกัน คือ แหวนลูกสูบมีการสึกหรอมากที่สุด โดยเฉพาะ แหวนอัดเบอร์ 1 และแหวนอัดเบอร์ 2 ซึ่งอยู่ใกล้ห้องเผาไหม้มาก จึงได้รับแรงเสียดสีและความร้อนที่เกิดขึ้นมากที่สุด ทำให้สึกหรอมากที่สุด

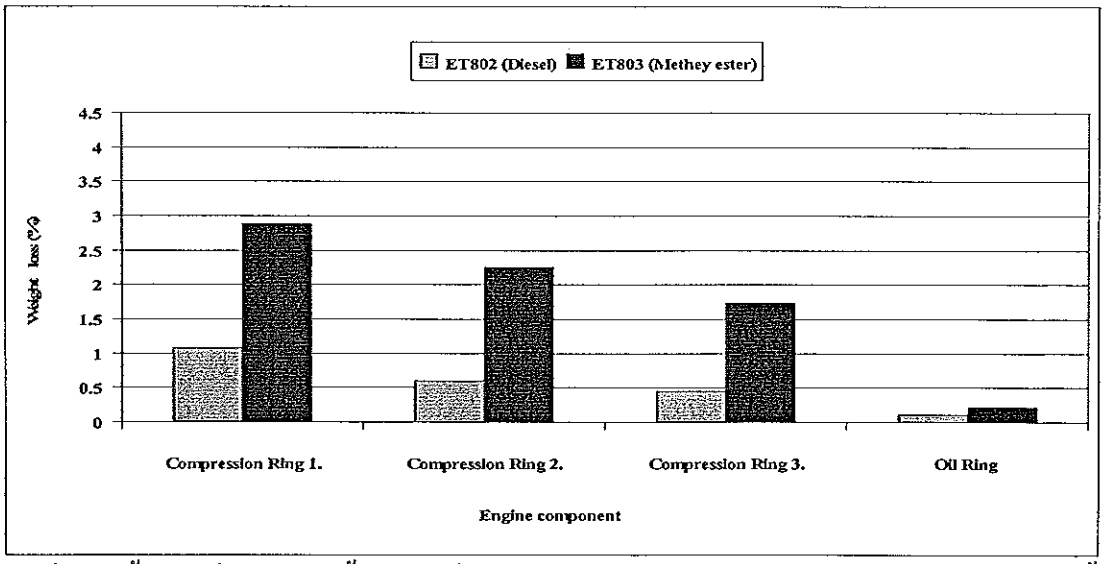
การสึกหรอของเครื่องยนต์ดังกล่าวข้างต้น เกิดจากสมบัติของเชื้อเพลิงโดยตรง จากงานวิจัยของธีรวัฒน์ อภิชาโต, 2540 ได้ทำการทดสอบเดินเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง ด้วยวิธีการเดียวกันกับงานวิจัยในครั้งนี้ ผลปรากฏว่า เครื่องยนต์สามารถเดินได้เพียงประมาณ 350 ชั่วโมง ซึ่งเกิดจากน้ำมันปาล์มดิบ มีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลมาก มีโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าน้ำมันดีเซล ส่งผลให้การระเหยตัวลุกไหม้ล่าช้ากว่าไม่สามารถเผาไหม้ได้หมดในเวลาอันควร เกิดการหลงเหลือยางเหนียว และกากถ่าน จากการเผาไหม้ขึ้นภายในการบอกสูบ ในขณะที่น้ำมันดีเซลเผาไหม้ได้ทั้งหมด ยางเหนียวและกากถ่านดังกล่าวจะแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างผนังลูกสูบ และแหวนลูกสูบ ในขณะที่ลูกสูบกำลังเคลื่อนที่ ทำให้จุดสัมผัสสูญเสียการหล่อลื่น ยิ่งทำให้เกิดการสึกหรอมากขึ้น ในการทดสอบครั้งนี้ ได้นำน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งผ่านขั้นตอนการลดกัมและลดกรดออกแล้ว ซึ่งเรียกว่าน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และทำการลดความหนืดลง โดยอุ่นร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนปล่อยเข้าห้องเผาไหม้ ผลปรากฏว่าเครื่องยนต์มีอายุการใช้งานได้นานขึ้น คือเครื่องยนต์สามารถใช้งานได้ 1,200 ชั่วโมง ซึ่งมากกว่าน้ำมันปาล์มดิบ เหตุผลเนื่องจาก น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ ยังมีกัมหรือยางเหนียวหลงเหลืออยู่ซึ่งไม่สามารถแยกออกได้หมด ทั้งนี้สังเกตได้จาก หัวฉีดอุดตัน และเกิดหลงเหลือยางเหนียว และกากถ่านจากการเผาไหม้ขึ้น

ภายในกระบอกสูบ ทำให้มีการสึกหรอเกิดขึ้น แต่ปริมาณของยางเหนียวที่มีน้อยกว่าน้ำมันปาล์มดิบ จึงส่งผลให้มีการสึกหรอน้อยกว่า



รูปที่106 น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นส่วนเครื่องยนต์หลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง เครื่องยนต์ET802 ใช้น้ำมันดีเซล เครื่องยนต์ET803 ใช้เมทิลเอสเตอร์ และเครื่องยนต์ET805 ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์2,200 รอบต่อนาที

จากการทดสอบพบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ มีการสึกหรอมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ทั้งที่ผลการทดสอบสมบัติของเชื้อเพลิงมีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าซีเทนนัมเบอร์ที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล แต่กลับมีการสึกหรอมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจาก เมทิลเอสเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ มีค่าความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์อยู่ในช่วง 84-95 % ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของยุโรป (มาตรฐาน EN 14214) ที่กำหนดไว้ คือต้องไม่ต่ำกว่า 96.5 % และจากการผลิตมี 2 ครั้งที่มีค่าความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์เกินมาตรฐาน แต่กลับมีสัดส่วนของ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ เกินค่ามาตรฐาน ซึ่งค่าความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์ และสัดส่วนของโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ จะมีผลต่อการเผาไหม้ และมีผลต่อการสึกหรอของเครื่องยนต์



รูปที่107 น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นส่วนเครื่องยนต์หลังใช้งาน 2,000 ชั่วโมง เครื่องยนต์ET802 ใช้น้ำมันดีเซล เครื่องยนต์ET803 ใช้เมทิลเอสเตอร์ ที่ภาระ75% ของกำลังสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที

5. สรุปผล

จากการทดสอบนำเชื้อเพลิง 2 ชนิด คือน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด และเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์ม มาทดลองใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ทางการเกษตร สามารถสรุปได้ดังนี้

การนำน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด มาใช้แทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลครั้งนี้ ถึงแม้จะมีการอุ่นร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เพื่อให้มีค่าความหนืดลดลงแล้วก็ตาม พบว่า มีข้อดีคือเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดมีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และมีกลิ่นที่ดีกว่า แต่มีข้อเสียมากกว่า คือสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดนั้นด้อยกว่าน้ำมันดีเซลมาก มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณเกือบ 2 เท่า มีความยุ่งยากในการใช้งาน ต้องมีการดัดแปลงเครื่องยนต์ เครื่องยนต์เดินสดุด ประกอบกับ น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดยังมีราคาแพงกว่าน้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ทีใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดมีอายุการใช้งานของเครื่องยนต์สั้นกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมาก มีการสึกหรอสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 5 เท่า ด้วยเหตุที่กล่าวข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรด ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง เพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซล

ส่วนการนำเมทิลเอสเตอร์มาทดสอบใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลครั้งนี้ เมทิลเอสเตอร์ที่ใช้ทดสอบมีค่าความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์อยู่ในช่วง 84-95% ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของยุโรป

(กำหนดไว้ที่ 96.5 %) และมีสัดส่วนของโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ เกินค่ามาตรฐาน สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยตรง และมีข้อดีที่ได้เปรียบน้ำมันดีเซล คือค่าซีเทนของเมทิลเอสเตอร์มีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล เป็นผลให้สมบัติในการจุดระเบิดและการเผาไหม้ดีกว่า ช่วงเวลารอการเริ่มติดไฟสั้นกว่า จึงทำให้มีช่วงเวลาการเผาไหม้ยาวนานกว่า ทำให้เกิดการเผาไหม้หมดจดกว่า แต่ค่าความร้อนของเมทิลเอสเตอร์มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล จึงทำให้มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงกว่าน้ำมันดีเซล ส่วนจุดวาบไฟของเมทิล เอสเตอร์มีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลมาก ทำให้ลักษณะของการระเหย และกระจายตัวกลายเป็นไอเกิดขึ้นในอัตราที่ต่ำและช้ากว่า แต่มีผลดีในด้านความปลอดภัย และการจัดเก็บ ส่วนการสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้เมทิลเอสเตอร์ มีการสึกหรอมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 2 เท่า การนำเมทิลเอส เตอร์มาใช้งานนั้น สามารถใช้งานได้สะดวกเหมือนน้ำมันดีเซล

บรรณานุกรม

ทะเบียนการค้า, กรม. 2545. กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ.2545 http://www.thairegistration.com/thai/law/ann1810_11.phtml.(Nov,4,2002)

คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, สำนักงาน. 2543ก. สถานการณ์พลังงานการดำเนินงานและแผนงานในปี 2544. กรุงเทพฯ

คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, สำนักงาน. 2543ข. รายงานสรุปมาตราการแก้ไขผลกระทบจากราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้น. กรุงเทพฯ

จอร์น บี. เฮย์วูด เขียน รศ. วีระศักดิ์ กรัยวิเชียรแปล. 2544. เครื่องยนต์เผาไหม้ภายในทฤษฎีและการคำนวน. วิทยพัฒน์

ธีรวัฒน์ อภิชาโต. 2545. การทดสอบการใช้น้ำมันปาล์มทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องจักรกลทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธำรง โชตะมังสะ และสุจินต์ สนองคุณ .ม.ป.ป. เชื้อเพลิง และวัสดุหล่อลื่น. เม็ดทรายพริ้งติ้ง

บริษัทสยามคูโบต้าจำกัด. ม.ป.ป. คู่มือการใช้และการบำรุงเครื่องยนต์คูโบต้า. ปทุมธานี

ไพจิตร จันทรศ์. 2530. คู่มือการใช้ประโยชน์และตรวจสอบคุณภาพของพืชน้ำมันและน้ำมันพืช 52 ชนิด. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว

Adams, C., Peters, J. F., Rand, M. C., Schroer, B. J. and Ziemke, M. C. 1983. Investigation of soybean oil as diesel fuel extender: Endurance tests. The Journal of The American Oil Chemists' Society. 60(1983), 154-1579.

Ali, Y., Hanna, M. A. and Cuppett S. L. 1995. Fuel Properties of Tallow and Soybean Oil Esters, Journal of American Oil Chemists Society. 72 (1995), 1557- 1564.

Anon. 1982. Filtered used frying fat powers diesel fleet. Journal of American Oil Chemists Society. 59(1982). 780A-781A.

Bagby, M. O. 1987. Vegetable Oil for Diesel Fuel : Opportunities for development, International Winter Meeting of the ASAE : 15-18 December 1987. Hyatt Regency Chicago.

Chiyuki, Togasshi and Jun-ichi, Kamide. 1998. Operation of a diesel Engine Using Unrefined Rapeseed Oil as Fuel., http://www.ss.jircas.affrc.go. jp/jarq/322/Togashi/togashi.html. (Feb,3,1999)

Engler, C. R., Johnson, L. A., Lepori, W. A. and Yarbough, C. M. 1983. Effects of Processing and Chemical Characteristics of Plant Oils on Preformance of An Indirect-Injetion Diesel Engine , Journal of American Oil Chemists Society. 60(1983), 1592-1596.

Feuge, R. O. and Gros, A. T. 1949. Modification of Vegetable Oils. Vll. Alkali Catalyst Interesterification of Peanut Oil with Ethanol, Journal of American Oil Chemists Society. 26(1949), 97-102.

Formo, M. W. 1954. Ester Reactions of Fatty Materials, Journal of American Oil Chemists Society. 31 (1954), 548-549.

Formo, M. W. 1979. Physical Properties of Fats and Fatty Acids. 4th ed. Bailey's Industrial oil and fat products, Vol. 1. John Wiley & Sons, New York, pp. 193.

Freedman, B., Pride, E. H. and Mounts, T. L. 1984. Variables Affecting The Yield of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils, Journal of American Oil Chemists Society. 61(1984), 1638-1643.

Freedman, B., Butterfield, R. O. and Pryde, E. H. 1986. Transesterification Kinetics of Soybean Oil, Journal of American Oil Chemists Society. 63(1986), 1375-1380.

Gauglitz, E. J. and Lehman L. W. 1963. The Preparation of Alkyl Esters from Highly Unsaturated Triglycerides, Journal of American Oil Chemists Society. 40(1963), 197-201.

Goering, C. E. 1984. Final Report for Project on Effect of Nonpetroleum Fuel on Durability of Direct-Injection Diesel Engines. Contract No. 59-2171-1-6-057-0. USDA, ARS, Peoria,IL.

Grossley, T. D., Heye, T. D. and Hudson, B. J. F. 1962. The Effect Of Heat on Pure Triglycerides, Journal of American Oil Chemists Society. 39(1962), 9-14.

Knothe, G., Dunn R. and Bagby, M. 1996. The Use of Vegetable Oils and Their Derivatives as Alternative Deisel Fuels, Oil Chemical Research, National Center for Agricultural Utilization Research ,Agriculture Research Service, U.S. Department of Agriculture .

Korbitz, W. 1999. Biodesel Production in Europe and North America, An Encouraging Prospect, Renewable Energy. 16(1999). 1078-1083.

Ma, F. 1998. Biodiesel Fuel of: The Transesterifiction Beef Tallow,PhD Dissertation, Biological System Engineering, University of Nebraska-Lincoln. (Unpublished)

Ma, F., Clements, L. D. and Hanna, M. A. 1998. Biodiesel Fuel from Animal Fat. Ancillary Studies on Transesterification of Beef Tallow, lnd. Eng Chem. Res.. 37(1998), 3768-3771.

Murayama, T. 1994. Evaluating Vegetable Oils a A Diesel Fuel, INFORM. 5(1994), 1138-1145.

Nicolas, B. C. A. and Michael, E. W. 1997. A Comparative Cost Analysis of Biodiesel, Compressed Natural Gas, Methanol, and Diesel for Transit Bus Systems, Resource and Energy Economics. 20(1997), 1-15.

Peter, J. F., Ran, M. C. and Ziemke, M. C. 1982. Investigation of a soybean as a diesel fuel extender. SAE Paper No.8236 IS.

Peterson, C. L., Reece, D. L., Thompson, J. L., Zhang, X., Hanmone, B. L. and Beck. S. 1996 Development of Rapeseed Biodiesel for Use in High-Speed Diesel Engines. No. 302. Contract No. 93BI09233. USDE, Department of Biological and Agricultural Engineering, University of Idaho.

Peterson, C. L., Moller, G., Haws, R., Zhang. X., Thompson, J. and Rerce, D. 1996. Etyhl Ester Process Scale-Up and Biodegradability of Biodesel. No. 303. Cooperative Agreement No. 93-COOP-1-8627. USDA, Department of Biological and Agricultural Engineering, University of Idaho.

Peterson, C. L., Auld, D. L. and Korus, R. A. 1983. Winter Rape Oil Fuel for Diesel Engines:recovery and Utilization, Journal of American Oil Chemists Society. 60 (1983), 1579-1587.

Pride, E. H. 1983. Vegetable oil as diesel fuel: Overview , Journal of American Oil Chemists Society. 60 (1983), 1557-1558.

Pryde, E. H. 1984. Vegetable Oils as Fuel Alternatices-Symposium Overview. , Journal of American Oil Chemists Society. 61(1984), 1609-1610

Pryor, R. W. et al. 1983. Soybean oil fuel in a samall diesel engine. Trans. ASAE. 26(1983), 333-342.

Pryor, R. W., Hanna, M. A., Schinstock, J. L. and Bashford, L. L. 1983. Soybean Oil Fuel For Diesel Engine, Trans. ASAE. 26(1983), 333-342.

Sapuan, S. M. et. al. 1996. The Use of Palm Oil as Diesel Fuel Substitute, Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers, vol. 210, pp. 47-53.

Saka, S. and Kusdiana, D. 2001. Biodiesel Fuel from Rapeseed Oil as Prepared in Supercritical Methanol, Fuel. 80(2001), 225-231.

Schwab, A. W., Bagby, M. O. and Freedman, B. 1987. Preparation and Properties of Diesel Fuels from Vegetable Oils, Fuel. 66(1987), 1372-1378.

Smith, M. K. 1949. Process of Producing Ester. U.S. Pat. 2 444-486.

Sonntag, N. O. V. 1979. Composition and Charracteristics of Individual fats and oils. 4th ed. Bailey's Industrial oil and fat products, Vol. 1. ed. Swern, D.: John Wiley & Sons, New York, pp. 343.

Srivastava, A. and Prasad, R. 2000. Triglycerides-Based Diesel Fuels, Renewable & Sustainable Enegy Reviews. 4(2000), 111-133.

U.S. Department of Energy, 1999. Biofuels News. 2 (Summer 1999). U.S.

Ziejewski, M., Kaufman, K. R. and Pratt G. L. 1983. Vegetable Oil as Diesel Fuel. Seminar II. Northern Regional Research Center : 19-20 October 1983. Peoria, IIIinois.

ภาคผนวก ก
ผลการวิเคราะห์เมทิลเอสเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ

PTT PUBLIC COMPANY LIMITED

PTT Research & Technology Institute

71 Moo 2, Pahon Yo Thin Rd. km 78, Wang Noi, Ayutthaya 13170 THAILAND Tel. (662)537-3000

FAX (662)537-3000 Ext. 3335

Engineering Research & Engine Test Department

TEST REPORT

Test Number : CFR-2002-22

Test Cell Number : TB109

Sample Description : Bio Diesel (A)

Customer : Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering

Customer Address : Prince of Songkla University P.O. Box 102 ,Hat yai ,Songkhla 90110

Sample Received Date : August 16, 2002

Tested Date : August 23, 2002

Test Item	Methods	Result
Octane Number, Research Method (RON)	ASTM D 2699	-
Octane Number, Motor Method (MON)	ASTM D 2700	-
Cetane Number (CN)	ASTM D 613	62.9

REMARK Test Result of Check Fuel High = 50.4

Tested by

(Tharapong Pengsagul)

Technician

Date August 23, 2002

Approved By Nirod Akarapanjavit

(Nirod Akarapanjavit)

Specialist

Date August 23, 2002

This test result is refered to only submitted sample.

(File Name: CFRTESTE.DOC) Revised as 6/9/2000

สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี
บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

ฝ่ายวิจัยเชื้อเพลิงและหล่อลื่น

71 ม. 2 ถ. พหลโยธิน ต. สนับทึบ อ. วังน้อย จ. อยุธยา (13170) โทรศัพท์ : (02) 537-3000 ต่อ 2413 โทรสาร : (02) 537-3000 ต่อ 2236

ใบรับรองผลการทดสอบ

เลขที่ใบรับรอง	:	FLA-F050/45	หน้า	:	1/2
เลขที่อ้างอิง	:	229-230/45	จำนวนตัวอย่าง	:	2
วันที่เก็บตัวอย่าง	:	-	วันที่รับตัวอย่าง	:	16/08/45
สภาพตัวอย่าง	:	ดี	วันที่วิเคราะห์	:	20-27/08/45
ผู้ขอรับบริการทดสอบ	:	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	ผู้ทำการวิเคราะห์	:	SUP, MJ

หมายเลขตัวอย่าง	ชื่อตัวอย่าง	รายการทดสอบ (หน่วย)	วิธีการทดสอบ	ผลการทดสอบ
FA-277/45	น้ำมันไบโอดีเซลในรูปของเมทริลเอสเทอร์	Specific gravity at 15.6/15.6 °C	ASTM D1298	0.8807
		Viscosity at 40 °C (cSt)	ASTM D445	5.223
		Flash point (°C)	ASTM D93	123.0
		Carbon residue (%wt.)	ASTM D4530	0.075
		Ash (%wt.)	ASTM D482	<0.001
		Water and sediment (%vol.)	ASTM D2709	traces
		Distillation*	ASTM D86	
		IBP (°C)		225
		10% recovered (°C)		330
		20% recovered (°C)		333
		30% recovered (°C)		336
		40% recovered (°C)		336
		50% recovered (°C)		337
		60% recovered (°C)		340
		70% recovered (°C)		342
		80% recovered (°C)		347
		90% recovered (°C)		360
		decomposed at 97% re. (°C)		376
		Gross heat of combustion (J/g)	ASTM D240	39609

หมายเหตุ : *กลั่นโดยวิธี manual

Chromatogram: sam~2221 Date: 1.01.1997 Time: 18:11

Author: ครั้งที่ 1 น้ำมันปาล์มโอเลอีน 100 กิตร เมทานอล 25% (v/v) โซเดียมไฮดรอกด์ไซด์ 536 กรัม

Notes: อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 60 °ซ ความเร็วรอบเครื่องกวน 300 รอบต่อนาที
เวลาการทำปฏิกิริยา 1ชั่วโมง 30 นาที ให้ความร้อน 45 นาที ล้าง 1 ครั้ง

Sample Identifier:

Injected on: 1.01.1997 Injected at: 18:01

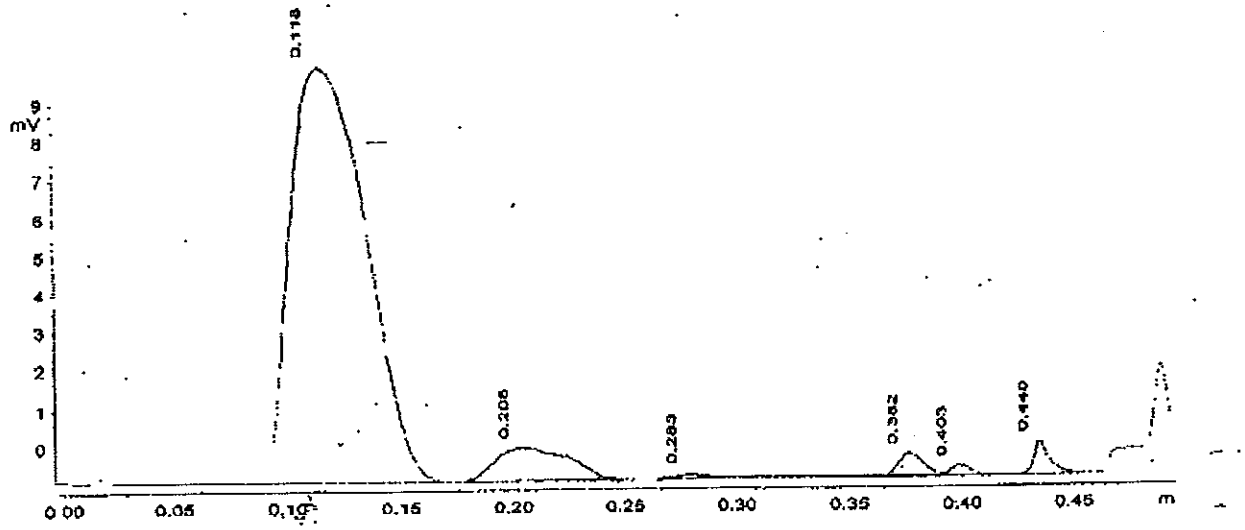
Data Processing Parameters

Slice Width (msec): 100 Noise: undefine

Threshold (mV): -8150 Skim Ratio: 5

Parameter Files

Data Handling File: SAM Calculation-File: SAM



Calculation Method : Percent

Peak-No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.118	0.088	0.172	13026	10.83	89.311
2	0.208	0.178	0.253	978	0.83	6.707
3	0.283	0.268	0.298	45	0.10	0.307
4	0.382	0.368	0.395	235	0.56	1.609
5	0.403	0.395	0.417	82	0.24	0.562
6	0.440	0.432	0.460	219	0.85	1.504
				14585	13.41	100.000

Chromatogram: Sam-0805 Date: 12.01.1997 Time:

Author: ครั้งที่ 2 น้ำมันปาล์มโอเลอีน 100 ซีซี เมทานอล 25% (v/v) โซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์ 536 กรัม

Notes: อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 60 °ซ ความเร็วรอบเครื่องกวน 300 รอบต่อนาที

เวลาการทำปฏิกิริยา 1ชั่วโมง 30 นาที ให้ความร้อน 45 นาที ล้าง 2 ครั้ง

Sample Identifier:

Injected on: 11.01.1997 Injected at: 22:32

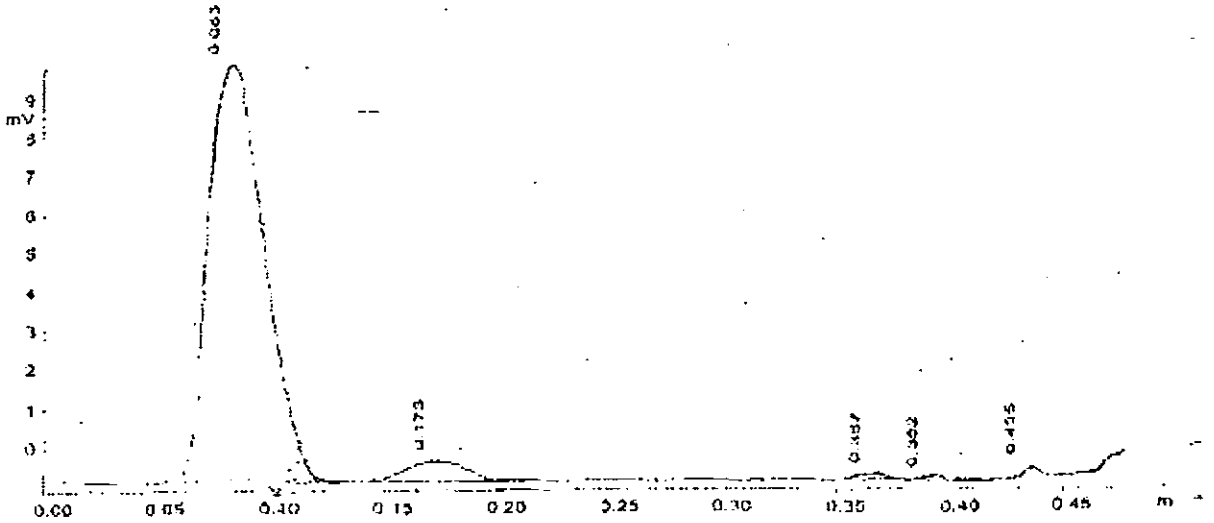
Data Processing Parameters

Slice Width (msec): 100 Noise: undefine

Threshold (mV): -8150 Skim Ratio: 5

Parameter Files

Data Handling File: SAM Calculation-File: SAM



Calculation Method : Percent

Peak-No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.083	0.060	0.122	9508	10.68	93.359
2	0.173	0.143	0.198	502	0.54	4.931
3	0.367	0.352	0.378	74	0.19	0.725
4	0.392	0.383	0.402	21	0.07	0.202
5	0.435	0.428	0.447	80	0.36	0.783
				10185	11.85	100.000

Chromatogram: sam-1763 Date: 22.05.1997 Time: 12:16

Author: ครั้งที่ 3 น้ำมันปาล์มโอเลอีน 100 กิตร เมทานอล 25% (v/v) โซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์ เร็ม

Notes: อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 60 °ซ ความเร็วรอบเครื่องกวน 300 รอบต่อนาที
เวลาการทำปฏิกิริยา 1ชั่วโมง 30 นาที ให้ความร้อน 45 นาที ล้าง 2 ครั้ง

Sample Identifier:

Injected on: 22.05.1997 Injected at: 9:22

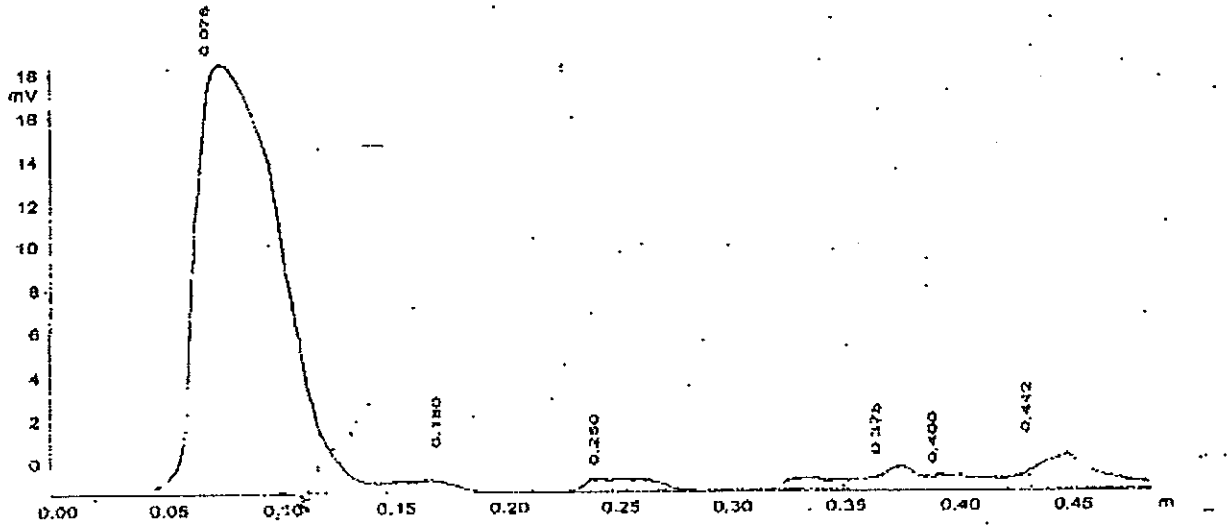
Data Processing Parameters

Slice Width (msec): 100 Noise: undefine

Threshold (mV): -8150 Skim Ratio: 5

Parameter Files

Data Handling File: SAM Calculation-File: SAM



Calculation Method : Percent

Peak-No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.078	0.053	0.137	24729	19.29	92.322
2	0.180	0.148	0.217	1309	1.05	4.888
3	0.250	0.238	0.267	91	0.20	0.339
4	0.375	0.362	0.388	220	0.62	0.822
5	0.400	0.390	0.410	66	0.22	0.247
6	0.442	0.433	0.452	370	1.30	1.382
				26785	22.77	100.000

Chromatogram: sam-1765 Date: 22.05.1997 Time: 12:16

Author ครั้งที่ 4 น้ำมันปาล์มโอเลอีน 100 กิตร เมทานอล 25% (v/v) โซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์ 536 กรัม

Notes: อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 60 °ซ ความเร็วรอบเครื่องกวน 150 รอบต่อนาที

เวลาการทำปฏิกิริยา 1ชั่วโมง 30 นาที ให้ความร้อน 1ชั่วโมง 30 นาที ล้าง 2 ครั้ง

Sample Identifier:

Injected on: 22.05.1997 Injected at: 9:23

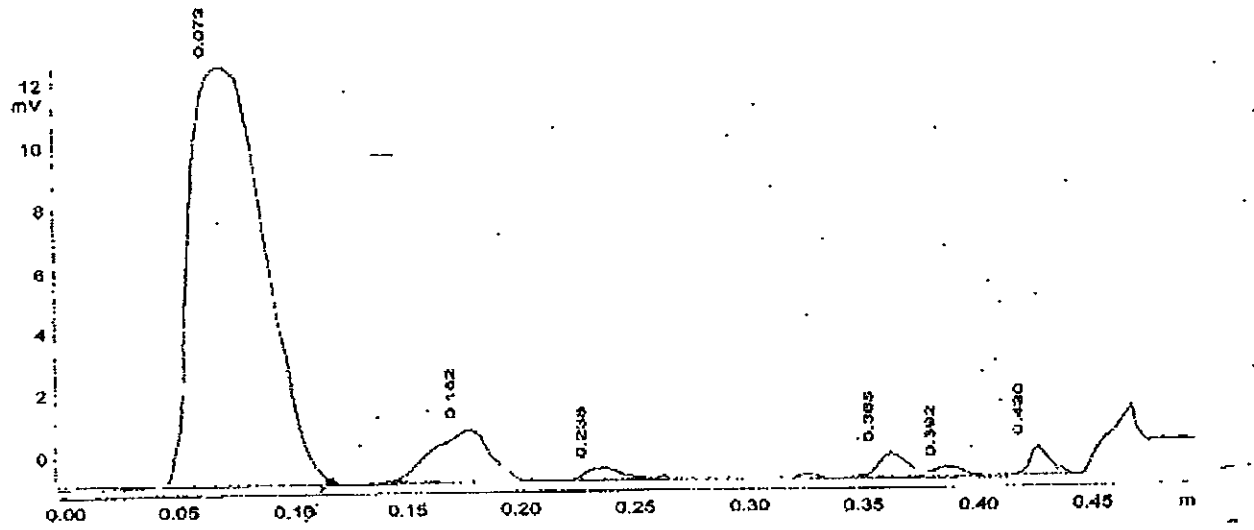
Data Processing Parameters

Slice Width (msec): 100 Noise: undefine

Threshold (mV): -8150 Skim Ratio: 5

Parameter Files

Data Handling File: SAM Calculation-File: SAM



Calculation Method : Percent

Peak-No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.073	0.045	0.127	15723	13.45	87.102
2	0.182	0.145	0.210	1528	1.68	8.465
3	0.238	0.227	0.260	173	0.36	0.957
4	0.365	0.353	0.378	266	0.72	1.474
5	0.392	0.378	0.403	98	0.27	0.544
6	0.430	0.420	0.445	263	0.92	1.459
				18052	17.40	100.000

Chromatogram: sam-1837 Date: 3.06.1997 Time: 4:30

Author: ครั้งที่ 5 น้ำมันปาล์มโอเลอีน 100 กิตร เมทานอล 25% (v/v) โซเดียมไฮดรอกค์ไซค์ 536 กรัม

Notes: อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 65 °ซ รอบเครื่องกวน 150 รอบต่อนาที
เวลาการทำปฏิกิริยา 1ชั่วโมง 30 นาที ให้ความร้อน 1ชั่วโมง 30 นาที
เพิ่มอุณหภูมิเป็น 75 °ซ อีก 20 นาที ล้าง 1 ครั้ง

Sample Identifier:

Injected on: 3.06.1997 Injected at: 2:19

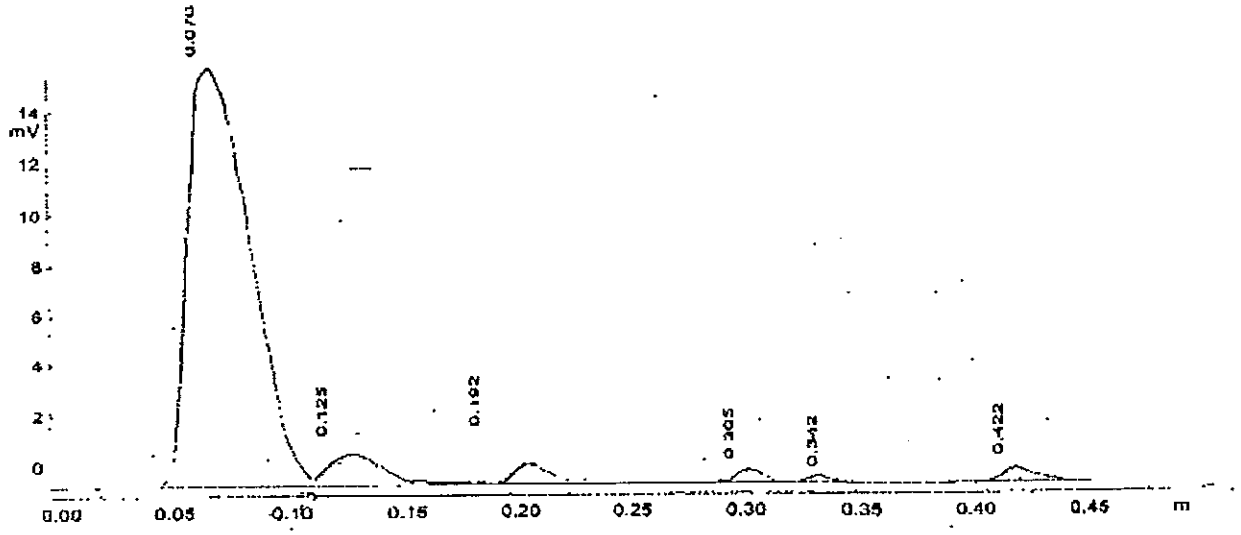
Data Processing Parameters

Slice Width (msec): 100 Noise: undefine

Threshold (mV): -8150 Skim Ratio: 5

Parameter Files

Data Handling File: SAM Calculation-File: SAM



Calculation Method : Percent

Peak-No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.070	0.047	0.113	16008	16.52	84.784
2	0.125	0.113	0.175	1119	1.51	5.929
3	0.192	0.182	0.233	1299	1.87	6.879
4	0.305	0.290	0.325	213	0.51	1.128
5	0.342	0.330	0.355	76	0.20	0.403
6	0.422	0.413	0.433	166	0.63	0.877
				18881	21.23	100.000

Chromatogram: sam-2072 Date: 19.07.1997 Time: 14:45

Author: ครั้งที่ 6 เมทิลเอสเตอร์ สั่งซื้อจาก ศูนย์การศึกษาพิกุลทอง จ.นราธิวาส

Notes:

Sample Identifier:

Injected on: 19.07.1997 Injected at: 14:31

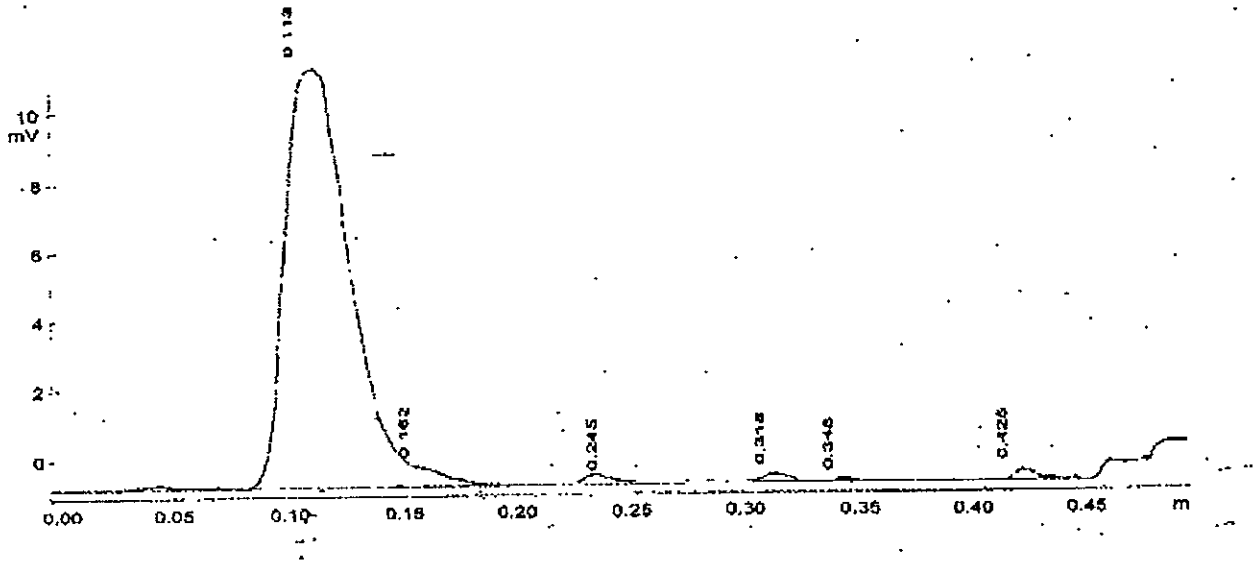
Data Processing Parameters

Slice Width (msec): 100 Noise: undefine

Threshold (mV): -8150 Skim Ratio: 5

Parameter Files

Data Handling File: SAM Calculation-File: SAM



Calculation Method : Percent

Peak-No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.113	0.088	0.152	11281	12.08	95.710
2	0.162	0.152	0.200	300	0.51	2.545
3	0.245	0.232	0.267	31	0.07	0.261
4	0.318	0.303	0.330	71	0.20	0.606
5	0.348	0.337	0.362	25	0.07	0.211
6	0.425	0.417	0.438	79	0.30	0.668
				11787	13.23	100.000

Chromatogram: sam-0299 Date: 13.08.2002 Time: 7:47

Author: ครั้งที่7 น้ำมันปาล์มโอเลอีน 100 มิตร เมทานอล 25% (v/v)โซเดียมไฮดรอกค์ไซด์ 536 กรัม

Notes: อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 60 °ซ ความเร็วรอบเครื่องกวน 300 รอบต่อนาที
เวลาการทำปฏิกิริยา เริ่วไมง 30 นาที ให้ความร้อน 30 นาที ล้าง 2 ครั้ง

Sample Identifier:

Injected on: 9.08.2002 Injected at: 22:25

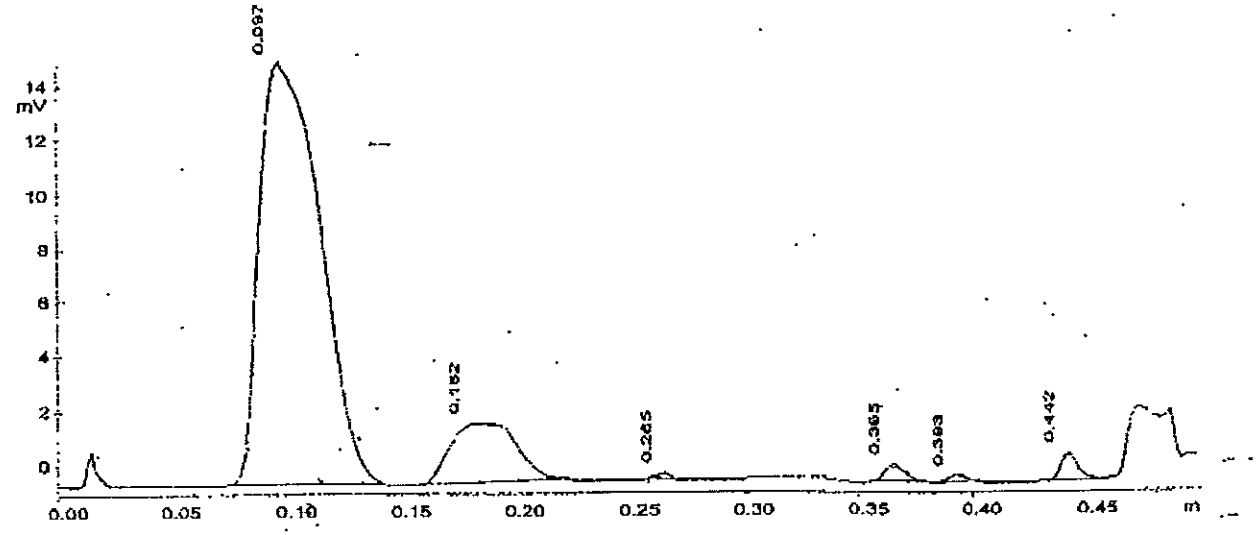
Data Processing Parameters

Slice Width (msec): 100 Noise: undefine

Threshold (mV): -8150 Skim Ratio: 5

Parameter Files

Data Handling File: SAM Calculation-File: SAM



Calculation Method : Percent

Peak-No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.097	0.075	0.142	14840	15.45	83.830
2	0.182	0.157	0.222	2309	2.16	13.044
3	0.265	0.258	0.270	37	0.22	0.209
4	0.365	0.355	0.377	206	0.63	1.164
5	0.393	0.383	0.403	70	0.23	0.396
6	0.442	0.433	0.453	240	1.01	1.357
				17703	19.70	100.000

Chromatogram: sam-0303 Date: 13.08.2002 Time:

Author ครั้งที่ 8 น้ำมันปาล์มโอเลอีน 100 ลิตร เมทานอล 25% (v/v)โซเดียมไฮดรอกไซด์ 536 กรัม

Notes: อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 60 °ซ ความเร็วรอบเครื่องกวน 300 รอบต่อนาที

เวลาการทำปฏิกิริยา 1ชั่วโมง 30 นาที ให้ความร้อน 45 นาที ล้าง 2 ครั้ง

Sample Identifier:

Injected on: 9.08.2002 Injected at: 22:29

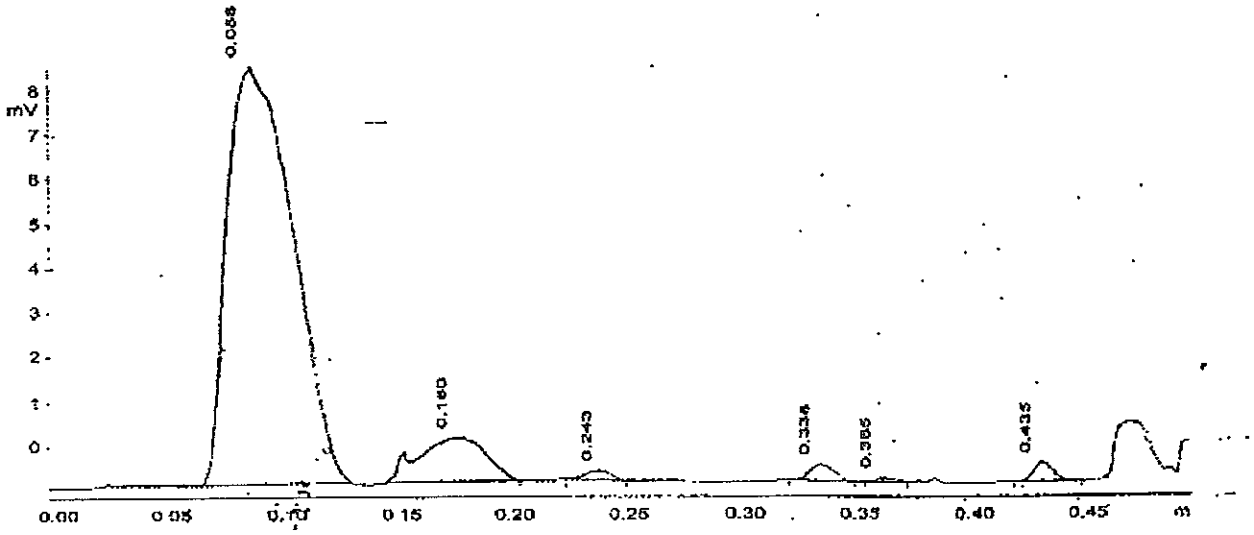
Data Processing Parameters

Slice Width (msec): 100 Noise: undefine

Threshold (mV): -8150 Skim Ratio: 5

Parameter Files

Data Handling File: SAM Calculation-File: SAM



Calculation Method : Percent

Peak-No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.088	0.067	0.132	9645	9.35	87.178
2	0.180	0.147	0.207	1059	0.97	9.576
3	0.243	0.227	0.253	79	0.21	0.713
4	0.338	0.323	0.352	129	0.34	1.164
5	0.365	0.357	0.375	27	0.09	0.247
6	0.435	0.422	0.452	124	0.40	1.121
				11063	11.35	100.000

Chromatogram: sam-2948 Date: 13.10.2003 Time: 16.

Author: ครั้งที่ 9 น้ำมันปาล์มโอเลอีน 100 ลิตร เมทานอล 25% (v/v) โซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์ 1,148 กรัม

Notes: อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 60 °ซ ความเร็วรอบเครื่องกวน 150 รอบต่อนาที เวลาการทำปฏิกิริยา 1ชั่วโมง 45 นาที ให้ความร้อน 30 นาที ล้าง 2 ครั้ง

Sample Identifier:

Injected on: 13.10.2003 Injected at: 16:44

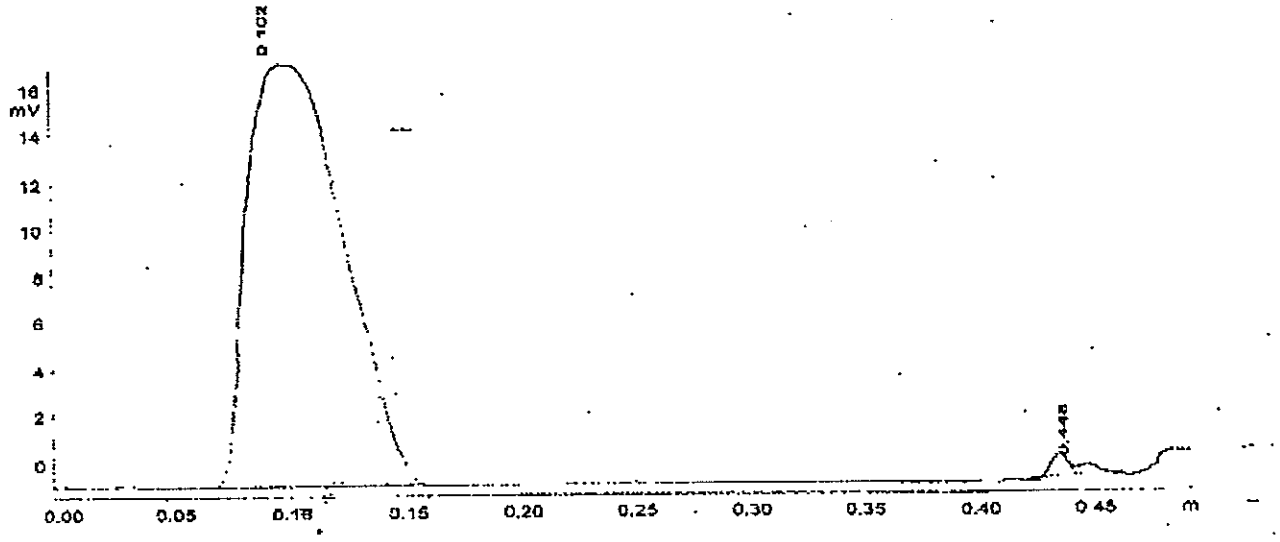
Data Processing Parameters

Slice Width (msec): 100 Noise: 500

Threshold (mV): 500 Skim Ratio: 3

Parameter Files

Data Handling File: SAM Calculation-File: SAM



Calculation Method : Percent

Peak-No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.102	0.072	0.162	27085	18.00	98.686
2	0.448	0.430	0.458	361	0.33	1.314
				27446	18.33	100.000

Chromatogram: SAM-3350 Date: 27.11.2026 Time: 15:11

Author: ครั้งที่ 10 น้ำมันปาล์มโอเลอีน 100 มิตร เมทานอล 25% (v/v) โซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์ 1.148 กรัม

Notes: อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 60 °ซ ความเร็วรอบเครื่องกวน 150 รอบต่อนาที
เวลาการทำปฏิกิริยา 1ชั่วโมง 45 นาที ให้ความร้อน 30 นาที ล้าง 2 ครั้ง

Sample Identifier:

Injected on: 27.11.2026 Injected at: 15:02

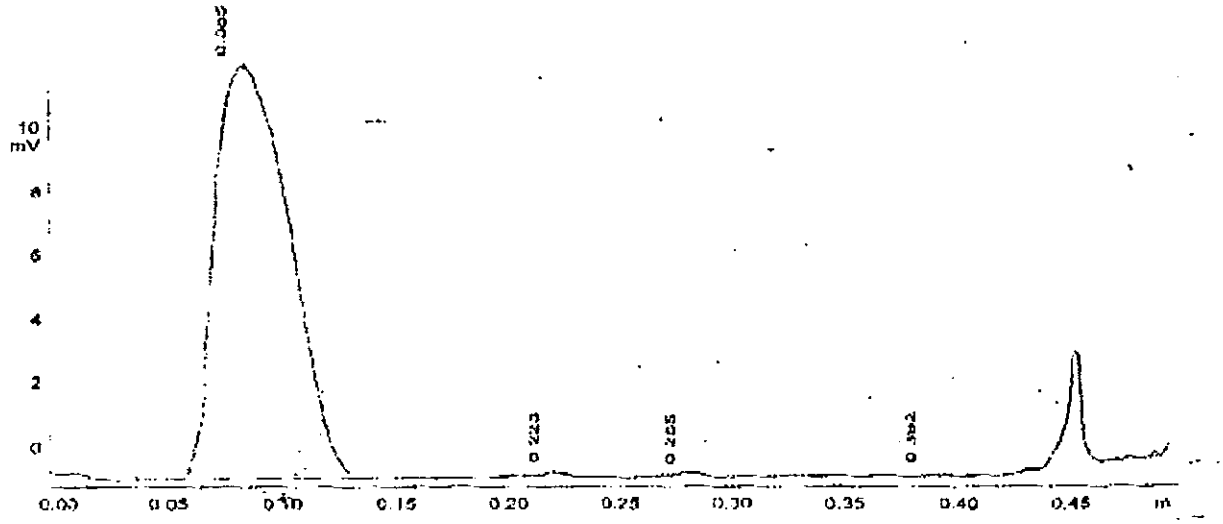
Data Processing Parameters

Slice Width (msec): 100 Noise: undefine

Threshold (mV): -3150 Skim Ratio: 5

Parameter Files

Data Handling File: SAM Calculation-File: SAM



Calculation Method : Percent

Peak-No	Ret.Time (min)	Pk.Start (min)	Pk.End (min)	Area	Height (mV)	Area%
1	0.085	0.060	0.117	15273	12.83	99.192
2	0.223	0.197	0.238	84	0.13	0.548
3	0.295	0.272	0.297	23	0.06	0.152
4	0.392	0.385	0.402	17	0.06	0.108
				15398	13.07	100.000

ภาคผนวก ข
ผลการวัดระยะห่างของปากแหวน

ตารางภาคผนวก ข1 ระยะห่างของปากแหวนที่อายุการใช้งานของเครื่องยนต์ 50 ชั่วโมง

แหวนลูกสูบ	ค่ามาตรฐาน (มิลลิเมตร)	สึกหรอไม่เกิน (มิลลิเมตร)	ET 802 ที่ 50 ชั่วโมง (มม.)	ET803 ที่ 50 ชั่วโมง (มม.)	ET805 ที่ 50 ชั่วโมง (มม.)
แหวนอัดตัวที่ 1	0.2 – 0.4	1.2	-	0.303	0.356
แหวนอัดตัวที่ 2	0.2 – 0.4	1.2	-	0.356	0.356
แหวนอัดตัวที่ 3	0.2 – 0.4	1.2	-	0.356	0.356
แหวนน้ำมัน	0.2 – 0.4	1.2	-	0.406	0.303

ตารางภาคผนวก ข2 ระยะห่างของปากแหวนที่อายุการใช้งานของเครื่องยนต์ 500 ชั่วโมง

แหวนลูกสูบ	ค่ามาตรฐาน (มิลลิเมตร)	สึกหรอไม่เกิน (มิลลิเมตร)	ET 802 ที่ 500 ชั่วโมง (มม.)	ET803 ที่ 500 ชั่วโมง (มม.)	ET805 ที่ 500 ชั่วโมง (มม.)
แหวนอัดตัวที่ 1	0.2 – 0.4	1.2	-	0.330	0.660
แหวนอัดตัวที่ 2	0.2 – 0.4	1.2	-	0.533	0.635
แหวนอัดตัวที่ 3	0.2 – 0.4	1.2	-	0.584	0.528
แหวนน้ำมัน	0.2 – 0.4	1.2	-	0.432	0.584

ตารางภาคผนวก ข3 ระยะห่างของปากแหวนที่อายุการใช้งานของเครื่องยนต์ 1,000 ชั่วโมง

แหวนลูกสูบ	ค่ามาตรฐาน (มิลลิเมตร)	สึกหรอไม่เกิน (มิลลิเมตร)	ET 802ที่1000 ชั่วโมง (มม.)	ET803 ที่1000 ชั่วโมง (มม.)	ET805 ที่ 1200 ชั่วโมง (มม.)
แหวนอัดตัวที่ 1	0.2 – 0.4	1.2	0.381	0.407	1.036
แหวนอัดตัวที่ 2	0.2 – 0.4	1.2	0.483	0.610	1.524
แหวนอัดตัวที่ 3	0.2 – 0.4	1.2	0.483	0.584	1.305
แหวนน้ำมัน	0.2 – 0.4	1.2	0.381	0.432	0.731

ตารางภาคผนวก ข4 ระยะห่างของปากแหวนที่อายุการใช้งานของเครื่องยนต์ 1,500 ชั่วโมง

แหวนลูกสูบ	ค่ามาตรฐาน (มิลลิเมตร)	สึกหรอไม่เกิน (มิลลิเมตร)	ET 802ที่1500 ชั่วโมง (มม.)	ET803 ที่1500 ชั่วโมง (มม.)
แหวนอัดตัวที่ 1	0.2 – 0.4	1.2	0.406	0.559
แหวนอัดตัวที่ 2	0.2 – 0.4	1.2	0.533	0.787
แหวนอัดตัวที่ 3	0.2 – 0.4	1.2	0.483	0.762
แหวนน้ำมัน	0.2 – 0.4	1.2	0.381	0.482

ตารางภาคผนวก ข5 ระยะห่างของปากแหวนที่อายุการใช้งานของเครื่องยนต์ 2,000 ชั่วโมง

แหวนลูกสูบ	ค่ามาตรฐาน (มิลลิเมตร)	สึกหรอไม่เกิน (มิลลิเมตร)	ET 802ที่2000 ชั่วโมง (มม.)	ET803ที่ 2000 ชั่วโมง (มม.)
แหวนอัดตัวที่ 1	0.2 – 0.4	1.2	0.406	0.559
แหวนอัดตัวที่ 2	0.2 – 0.4	1.2	0.533	0.914
แหวนอัดตัวที่ 3	0.2 – 0.4	1.2	0.584	0.914
แหวนน้ำมัน	0.2 – 0.4	1.2	0.432	0.508

ตารางภาคผนวก ข6 ระยะห่างของปากแหวนที่อายุการใช้งานของเครื่องยนต์ 2,500 ชั่วโมง

แหวนลูกสูบ	ค่ามาตรฐาน (มิลลิเมตร)	สึกหรอไม่เกิน (มิลลิเมตร)	ET 802ที่2500 ชั่วโมง (มม.)	ET803ที่ 2500 ชั่วโมง (มม.)
แหวนอัดตัวที่ 1	0.2 – 0.4	1.2	-	0.965
แหวนอัดตัวที่ 2	0.2 – 0.4	1.2	-	1.346
แหวนอัดตัวที่ 3	0.2 – 0.4	1.2	-	1.321
แหวนน้ำมัน	0.2 – 0.4	1.2	-	0.711

ตารางภาคผนวก ข7 ระยะห่างของปากแหวนที่อายุการใช้งานของเครื่องยนต์ 3,000 ชั่วโมง

แหวนลูกสูบ	ค่ามาตรฐาน (มิลลิเมตร)	สึกหรอไม่เกิน (มิลลิเมตร)	ET 802ที่3000 ชั่วโมง (มม.)	ET803ที่ 3000 ชั่วโมง (มม.)
แหวนอัดตัวที่ 1	0.2 – 0.4	1.2	-	1.143
แหวนอัดตัวที่ 2	0.2 – 0.4	1.2	-	1.575
แหวนอัดตัวที่ 3	0.2 – 0.4	1.2	-	1.983
แหวนน้ำมัน	0.2 – 0.4	1.2	-	0.711

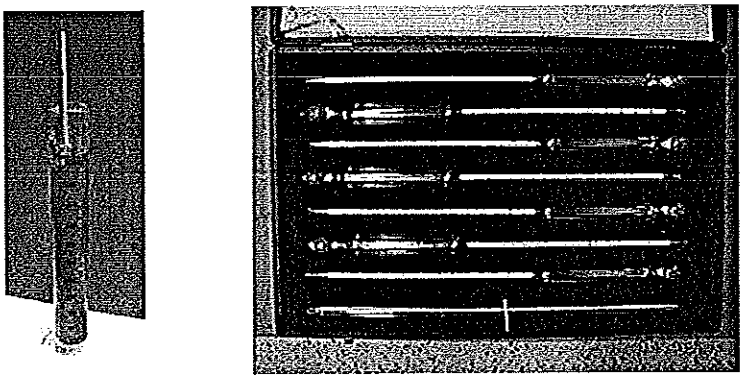
ภาคผนวก ค
รายละเอียดวิธีการทดลอง

1. การหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

1.1 ทฤษฎี ความถ่วงจำเพาะ คืออัตราความหนาแน่นของสาร ต่อความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ที่ปริมาตรเท่ากัน และที่อุณหภูมิเดียวกัน สถาบันปิโตรเลียมแห่งสหรัฐอเมริกา (American Petroleum Institute) ได้ตั้งมาตราความถ่วง API ขึ้นเพื่อใช้วัดคุณภาพของน้ำมัน โดยเทียบกับความถ่วงจำเพาะ ดังสมการ

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

หน่วยของความถ่วง API ละเอียดกว่าความถ่วงจำเพาะ จึงอ่านได้สะดวกกว่า และไม่ต้องอ่านตัวเลขหลังจุดทศนิยมหลายตำแหน่ง



รูปภาคผนวก ค1 ไฮโดรมิเตอร์

1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ก. ไฮโดรมิเตอร์

ข. เทอร์โมมิเตอร์

ค. กระบอกตวงขนาด 500 ซีซี

ง. ภาชนะสำหรับบรรจุน้ำมันตัวอย่างขนาด 1000 ซีซี

จ. แท่งแก้ว

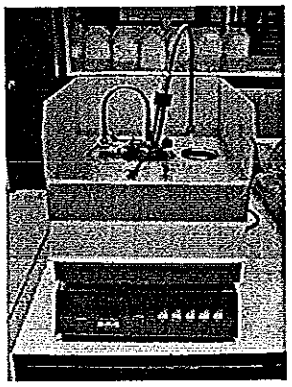
1.3 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองเริ่มต้นโดยการนำภาชนะที่บรรจุน้ำมันตัวอย่างแช่ลงในน้ำแข็ง ใช้แท่งแก้ว กวนเพื่อทำให้อุณหภูมิกระจายเท่ากันทุกจุด ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ รอจนกว่าอุณหภูมิของน้ำมันตัวอย่างต่ำกว่า15.6 °ซ เล็กน้อย จากนั้นเทน้ำมันตัวอย่างลงในกระบอกตวงขนาด 500 ซี

ซีให้ได้ 500 ซีซีพอดี ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิอีกครั้ง เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันตัวอย่างเท่ากับ 15.6 °ซ จึงหย่อนไฮโดรมิเตอร์ที่เหมาะสมลงไป และอ่านค่าที่ได้ ค่าที่ได้จะมีหน่วยเป็น API

2. จุดวาบไฟ (Flash point)

2.1 ทฤษฎี จุดวาบไฟ คือจุดที่น้ำมันมีอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถจะเกิดไอน้ำมันขึ้นได้ในช่วงขณะหนึ่ง ซึ่งไอน้ำมันนี้จะลุกวาบไฟขึ้นได้ เมื่อถูกประกายไฟหรือเปลวไฟ ลักษณะการลุกไหม้จะเป็นเปลวไฟที่ลุกขึ้นวูบหนึ่งแล้วก็ดับไป



รูปภาคผนวก ค2 เครื่องมือหาค่าจุดวาบไฟแบบPensky-Marten Closed Cup

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ก. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองหาค่าจุดวาบไฟมีหลายวิธี แต่สำหรับการทดลองครั้งนี้เครื่องมือที่ใช้คือ แบบ Pensky-Marten Closed Cup

ข. ถังก๊าซที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับติดหัวพ่นไฟ

2.3 วิธีการทดลอง

การทดลองเริ่มต้นด้วยการเติมน้ำมันตัวอย่างลงในถ้วยโลหะของเครื่องทดลอง จนถึงขีดที่กำหนด (ปริมาณ 70 ซีซี) นำถ้วยดังกล่าววางลงในช่องสำหรับให้ความร้อน ปิดฝาและสังเกตดูว่าฝาปิดถ้วยอยู่ในตำแหน่งล็อกถูกต้อง ต่อสายมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อกวนน้ำมัน ตั้งค่าอุณหภูมิจุดวาบไฟโดยประมาณ จุดไฟที่หัวพ่นก๊าซ ปล่อยให้เครื่องทดสอบทำงาน (เครื่องทดสอบจะเริ่มอุ่นน้ำมันในถ้วยโลหะให้ร้อนขึ้น เมื่ออุณหภูมิเข้าใกล้อุณหภูมิที่ตั้งไว้ ± 10 องศาเซลเซียส จะเริ่มจุ่มเปลวไฟลงในถ้วยโลหะ เมื่อเกิดจุดวาบไฟเครื่องจะส่งสัญญาณเสียงเตือนให้ทราบ) หากสังเกตจะเห็นเปลว

ไฟเกิดขึ้นช่วงขณะหนึ่ง หากไม่เกิดจุดวาบไฟในช่วงที่ตั้งอุณหภูมิไว้ในตอนแรก ให้เพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น และทดลองใหม่

3. ค่าความร้อน (Heating value)

3.1 ทฤษฎี บอมบ์แคลอริมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับทดสอบหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง โดยอาศัยหลักการทำงานด้วยกระบวนการปริมาตรคงที่ เมื่อเชื้อเพลิงเกิดการสันดาปแล้วจะให้พลังงานความร้อนออกมา ซึ่งจะกำหนดให้อยู่ในรูปของค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงต่อหน่วยน้ำหนัก เช่น บีทียู/ปอนด์ กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และ กิโลจูล/กิโลกรัม

ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิง คือปริมาณความร้อนที่ต้องถ่ายเทออกจากเชื้อเพลิง เนื่องจากการสันดาปที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในระบบ โดยปกติการสันดาปของเชื้อเพลิงจำพวกสารไฮโดรคาร์บอนเมื่อสันดาปในบรรยากาศของออกซิเจน ผลของการสันดาปจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (ซึ่งอยู่ในสถานะของไอน้ำ) ถ้าไอน้ำสามารถกลั่นตัวแล้วคายความร้อนแฝงออกมา ค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ได้จะเป็นค่าความร้อนสูงสุด แต่ถ้าไอน้ำไม่กลั่นตัว ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงจะเป็นค่าความร้อนต่ำ การหาค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงโดยใช้บอมบ์แคลอริมิเตอร์ โดยการนำเอาเชื้อเพลิงที่จะนำการทดสอบไปชั่งน้ำหนักให้ละเอียดมาเผาไหม้กับออกซิเจนบริสุทธิ์ ภายใต้ความดันภายในบอมบ์แคลอริมิเตอร์ ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้จะถ่ายเทให้กับน้ำหล่อเย็นรอบตัวบอมบ์แคลอริมิเตอร์ ซึ่งจะสามารถวัดอุณหภูมิของน้ำได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ และปริมาณความร้อนสามารถหาได้จากสมการ ค่าความร้อนที่ได้มีหน่วยเป็น Cal /g

$$HHV_{สาร} = ((W+w)\, C_P\, t - m_1\, HHV_{กระดาษ})/\, m_2$$

W = น้ำหนักของน้ำเท่ากับ 1,500 กรัม

w = น้ำหนักสมมูลของน้ำจากอุปกรณ์ภายในบอมบ์เท่ากับ 335.4 กรัม

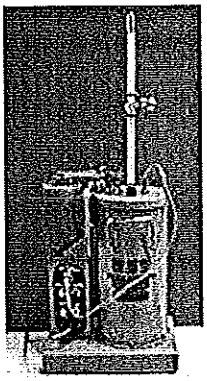
C_P = ความถ่วงจำเพาะของน้ำเท่ากับ 1 Cal/g °C

t = ความแตกต่างอุณหภูมิของน้ำเป็น °C

m_1 = น้ำหนักของกระดาษเป็น กรัม

m_2 = น้ำหนักสารเป็นกรัม

$HHV_{กระดาษ}$ = 3,600 Cal/g



รูปภาคผนวก ค3 บอมบ์แคลอริมิเตอร์

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ก. บอมบ์แคลอริมิเตอร์ 1 เครื่อง

ข. เทอร์โมมิเตอร์ชนิดองศาเซลเซียส

ค. ถังออกซิเจนบริสุทธิ์

ง. สายท่อสำหรับบรรจุออกซิเจนเข้าบอมบ์แคลอริมิเตอร์

จ. ตาชั่งละเอียด

3.3 วิธีการทดลอง

การทดลองเริ่มต้นโดยการเติมน้ำมันตัวอย่างลงในกระดาษที่รู้ค่าความร้อน และรู้ค่าน้ำหนักแล้ว นำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปใส่ในบอมบ์และใช้ลวดพันไว้ให้เรียบร้อย ปิดฝาบอมบ์ให้แน่น นำไปบรรจุออกซิเจนโดยเปิดลิ้นบรรจุออกซิเจนอย่างช้าๆ จนกระทั่งออกซิเจนมีความดันประมาณ 23 บาร์ ใส่บอมบ์ลงในถังแคลอริมิเตอร์ เติมน้ำลงไป สังเกตฟองอากาศที่รั่วออกมาจากฝาบอมบ์ ถ้ามีต้องรีบแก้ไข จากนั้นต่อสายไฟเข้าตัวบอมบ์แล้วปิดฝาถังแคลอริมิเตอร์ ใส่เทอร์โมมิเตอร์เข้าไป เดินเครื่องกวนน้ำจนกระทั่งสังเกตว่าอุณหภูมิคงที่ ให้อ่านอุณหภูมิและบันทึกค่าไว้ จากนั้นให้กดสวิตช์จุดระเบิดเพื่อจุดเชื้อเพลิงให้ลุกไหม้ สังเกตอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น หากอุณหภูมิไม่เพิ่มขึ้นเลย แสดงว่าเชื้อเพลิงไม่เกิดการลุกไหม้ ให้ถอดบอมบ์ออกมาทำความสะอาดและทดลองใหม่ แต่หากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นให้สังเกตจนกว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงสุด และบันทึกค่าไว้ เสร็จแล้วเปิดฝาถังแคลอริมิเตอร์ และนำบอมบ์ออกมา เปิดลิ้นลดความดันจนเท่ากับความดันบรรยากาศ จึงเปิดฝาบอมบ์ออก แล้วสังเกตดูภายในว่ามีสภาพเป็นอย่างไร ถ้าหากมีเชื้อเพลิงเหลือ

จากการสันดาป แสดงว่าการทดลองครั้งนี้ใช้ไม่ได้ ให้ทดลองใหม่ แต่หากเผาไหม้สมบูรณ์ ให้นำค่าน้ำหนัก ค่าความร้อนของกระดาษ น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง น้ำหนักน้ำ และอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น มาคำนวณหาค่าความร้อน

4. ค่าความหนืด (Viscosity)

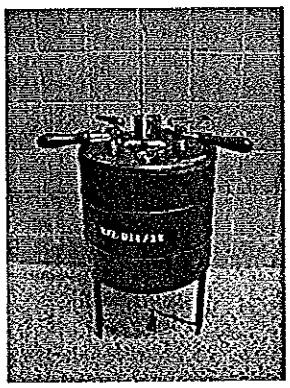
4.1 ทฤษฎี การหาค่าความหนืดของน้ำมันชนิดต่างๆ มีวิธีการหาค่าความหนืดได้หลายวิธี แต่สำหรับการทดลองครั้งนี้ใช้วิธี แบบเซย์โบลต์ยูนิเวอร์แซล

มาตรวัดความหนืดหรือความข้นใสแบบเซย์โบลต์ยูนิเวอร์แซล ใช้วัดความหนืดของน้ำมันโดยการจับเวลาจากการไหลเป็นวินาที ของน้ำมัน 60 ลูกบาศก์เซนติเมตร รูที่น้ำมันไหลผ่านมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0695 นิ้ว)1.77 มิลลิเมตร(ความยาว 0.4823 นิ้ว) 12.25 มิลลิเมตร) ค่าความหนืดที่ได้มีหน่วยเป็นวินาทีเซย์โบลต์ (Saybolt Universal Seconds, SUS) จากนั้นค่อยเปลี่ยนค่าความหนืดแบบเซย์โบลต์ยูนิเวอร์แซล เป็นค่าความหนืดแบบคิเนแมติก ซึ่งมีหน่วยเป็นเซนติสโตก (cSt) ใช้สัญลักษณ์แทนด้วยตัว ν และ t คือเวลาการไหลเป็นวินาที

$$\nu = 0.226t - \frac{195}{t} \qquad \text{(เมื่อค่า t อยู่ระหว่าง 32 – 100 วินาที)}$$

$$\nu = 0.220t - \frac{135}{t} \qquad \text{(เมื่อค่า t มากกว่า 100 วินาที)}$$

แต่ข้อเสียของเครื่องทดสอบแบบนี้ก็คือ ถ้าน้ำมันที่ทดสอบมีความสกปรกจะทำให้เกิดการอุดตันได้



รูปภาคผนวก ค4 เครื่องมือวัดความหนืดแบบเซย์โบลต์ยูนิเวอร์แซล

4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ก. เครื่องมือวัดความหนืดแบบเซย์โบลต์ยูนิเวอร์แซล

ข. ขวดแก้วก้นโปร่ง ขนาดความจุ 60ซีซี

ค. อุปกรณ์สำหรับดูดน้ำมัน

ง. ตาชั่งละเอียด

จ. นาฬิกาจับเวลา

ฉ. เทอร์โมมิเตอร์

4.3 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองเริ่มต้นด้วยการทำความสะอาดท่อน้ำมันในเครื่องทดสอบ จากนั้นให้เท น้ำมันตัวอย่างลงในภาชนะของเครื่องทดสอบ นำขวดแก้วก้นโปร่งสำหรับรองรับน้ำมันขนาด 60 ซีซี วางไว้ใต้จุกคอร์ก โดยกะว่าให้น้ำมันไหลออกมาจากรูสัมผัสกับด้านข้างของขวดแก้วเล็กน้อย เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันกระเซ็นหรือเป็นฟอง อุ่นน้ำมันในภาชนะให้ได้อุณหภูมิ 40 °ซ แล้วจึงดึงจุกคอร์กออกพร้อมกับเริ่มจับเวลา ปล่อยให้น้ำมันไหลผ่านรูลงในขวดแก้ว และหยุดจับเวลาเมื่อน้ำมันลงในขวดแก้วครบ 60 ซีซี (การอ่านค่าระดับที่ถูกต้องอ่านด้านล่างส่วนโค้งของน้ำมัน) เวลาที่ได้คือวินาทีเซย์โบลต์ นำเวลาที่ได้เปลี่ยนหน่วยเป็นเซนติสโตกส์ โดยการคำนวณหรือเทียบดูจากตาราง

5. การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐานJIS B 8018 (1989): Small size water cooled diesel engines In land use ซึ่งเป็นการทดสอบที่สภาวะภาระคงที่ และที่สภาวะภาระเปลี่ยนแปลง

เริ่มต้นด้วยการติดตั้งเครื่องยนต์บนแท่นไดนาโมมิเตอร์ ใช้ท่อพลาสติกใสต่อท่อน้ำมันจากกระบอกวัดอัตราการใช้น้ำมันเข้ากับท่อทางเข้าชุดกรองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ประกอบคลัปปิ้งระหว่างเครื่องยนต์และไดนาโมมิเตอร์ พร้อมกับติดสติกเกอร์สะท้อนแสง ไว้สำหรับวัดความเร็วรอบ ยึดสกรูที่ฐานเครื่องยนต์ให้แน่น ติดตั้งท่อไอเสียที่เจาะรูไว้สำหรับแหย่สายเทอร์โมคัปเปิล เพื่อวัดอุณหภูมิก๊าซไอเสีย

เริ่มการทดสอบโดยการเปิดสวิทช์ควบคุมไดนาโมมิเตอร์ สตาร์ทเครื่องยนต์และเดินเครื่องยนต์โดยไม่มีภาระ ที่ความเร็วรอบ 1,800 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเร่งความเร็ว

รอบของเครื่องยนต์ เพิ่มขึ้นเป็น 2,000 รอบต่อนาที เดินเครื่องต่อไปอีก 10 นาที เร่งความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มอีกเป็น 2,200 รอบต่อนาที พร้อมกับเซตตาชั่งให้เป็นศูนย์ จากนั้น
ค่อย ๆ เปิดสวิทช์จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดความร้อนเพื่อเพิ่มภาระหรือแรงบิดให้กับเครื่องยนต์

ในการทดสอบเครื่องยนต์ที่ภาระคงที่ จะตั้งแรงบิดเท่ากับ 13.6 ปอนด์ บันทึกค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้ ค่าเวลาการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงปริมาตร 50 ซีซี ความเร็วรอบเครื่องยนต์ อุณหภูมิก๊าซไอเสีย แรงบิดและปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียทุกๆ 10 นาที เป็นระยะเวลา 180 นาที

เมื่อทำการทดสอบที่ภาระคงที่ครบ 180 นาทีให้ลดภาระลง และเดินเครื่องยนต์ต่อไปโดยไม่มีภาระอีก 5 นาที ที่ความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที จากนั้นทำการทดสอบเครื่องยนต์ที่ภาระเปลี่ยนแปลง โดยทำการเปลี่ยนภาระทุกๆ 5 นาที เริ่มจาก 15.6, 13.6, 9.0 และ 4.5 ปอนด์ บันทึกค่าต่างๆ เหมือนกับการทดสอบเครื่องยนต์ที่ภาระคงที่ หลังจากทดสอบเสร็จ ให้ลดภาระลงเป็นศูนย์และค่อยๆ ลดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลง เดินเครื่องยนต์ต่อไปอีก 10 นาที จึงดับเครื่อง และปิดสวิทช์ควบคุมไดนาโมมิเตอร์

ค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบเครื่องยนต์บนไดนาโมมิเตอร์ ได้นำมาคำนวณหาค่าต่างๆ ดังนี้

5.1 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (specific fuel consumption หรือ sfc)

การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะถูกวัดเป็นอัตราการไหล ซึ่งเครื่องยนต์ขนาดใหญ่จะมีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก ดังนั้นเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการเปรียบเทียบกันได้ จึงได้กำหนดในรูปของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ ซึ่งเป็นอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังงาน และเป็นการวัดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในการใช้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตงานออกมา ค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะยิ่งต่ำยิ่งดี และโดยทั่วไปแล้วจะคำนวณในรูปของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก คือ เป็นอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังงานเบรกที่เครื่องยนต์ผลิตได้ มีหน่วยเป็น กรัม/ กิโลวัตต์-ชั่วโมง (คิดเป็นน้ำหนัก) หรือ ลิตร/กิโลวัตต์ -ชั่วโมง (คิดเป็นปริมาตร)

การหาอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง หาได้โดยการจับเวลาการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงปริมาตร 50 ซีซีของเครื่องยนต์บนแท่นไดนาโมมิเตอร์ นำค่าที่ได้มาคูณกับค่าความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีหน่วยเป็น ลิตรต่อชั่วโมง ส่วนกำลังงานเบรกของเครื่องยนต์หาได้จากค่าที่กำหนดมากับตัวไดนาโมมิเตอร์ คือ แรงที่อ่านได้จากตาชั่งคูณกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ หารด้วย 5,000 มีหน่วยเป็นแรงม้า แปลงหน่วยเป็นกิโลวัตต์โดยหารด้วย 0.746

5.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (thermal efficiency, (%))

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ หมายถึงกำลังงานเบรกที่เครื่องยนต์ผลิตได้ต่อพลังงานที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงที่ถูกใช้ไป

กำลังงานเบรกของเครื่องยนต์ได้จากข้อมูลข้างต้น ส่วนพลังงานที่มีอยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกใช้ไปหาได้จาก ปริมาณเชื้อเพลิง คูณกับค่าความร้อนต่ำ(LHV) มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์

5.3 อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (exhaust gas temperature, (°ซ))

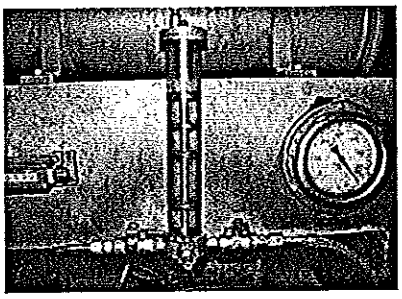
อุณหภูมิก๊าซไอเสียสามารถวัดได้โดยการสอดสายเทอร์โมคัปเปิล เข้าทางรูที่เจาะไว้ด้านข้างของท่อไอเสียซึ่งตรงกับช่องทางออกของไอเสียที่ผ่าสูบพอดี ในการวัดจะบันทึกค่าอุณหภูมิต่ำสุดและอุณหภูมิสูงสุด ในช่วงเวลา 30 วินาที

5.4 ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย (Black smoke in exhaust gas, (%))

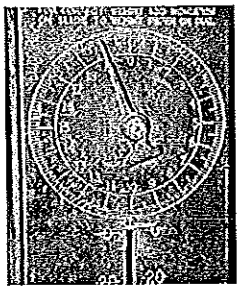
ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียเกิดจากน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ถูกฉีดเข้าไปผสมกับออกซิเจนในห้องเผาไหม้ เกิดการเผาไหม้ไม่หมด อนุภาคของเชื้อเพลิงที่หลงเหลือเหล่านี้จะได้รับความร้อนแล้วกลายสภาพเป็นเขม่าที่ก่อนถูกปล่อยออกมาทางทอไอเสีย

การวัดปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย สามารถวัดได้โดยการสอดโพรบของเครื่องวัดควันดำลงในท่อไอเสีย ดูดก๊าซไอเสียผ่านกระดาษกรอง นำกระดาษกรองที่มีเขม่าติดอยู่มาวัดหาค่าปริมาณควันดำ มีหน่วยเป็นเปอร์เซนต์

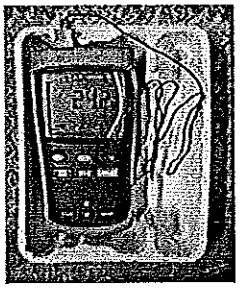
ไดนาโมมิเตอร์



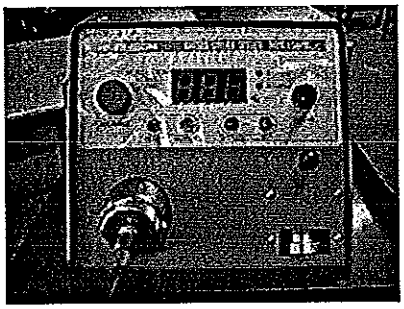
กระบอกวัดอัตราการใช้น้ำมัน



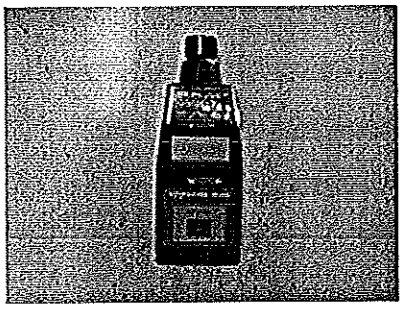
ตาชั่ง



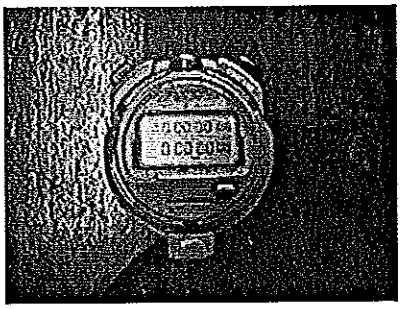
เทอร์โมคัปเปิล



เครื่องวัดควันดำ



เครื่องวัดความเร็วรอบ



นาฬิกาจับเวลา

รูปภาคผนวก ค4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะ

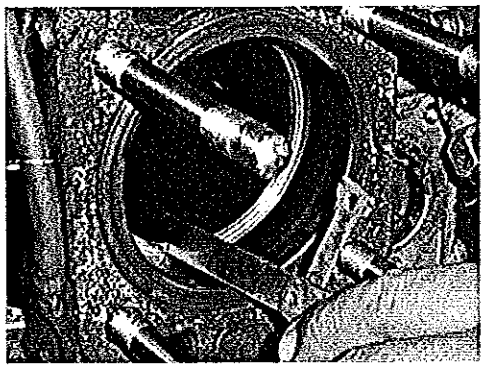
6. การถอดและ ประกอบเครื่องยนต์

การถอดเครื่องยนต์เพื่อชั่งน้ำหนักอุปกรณ์ เป็นการนำค่าน้ำหนักของเครื่องยนต์ในช่วงอายุการทำงานต่างๆ มาเปรียบเทียบดูน้ำหนักที่ลดลง หรือค่าการสึกหรออุปกรณ์นั้นเอง เครื่องยนต์ที่

ถอดได้แก่ ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง(fuel pump) ลิ้นส่งน้ำ มันเชื้อเพลิง(fuel valve) ลิ้นไอดี(inlet valve) ลิ้นไอเสีย (exhaust valve) แหวนลูกสูบ(piston rings) และแบริ่งก้านสูบ(connecting rod bearing) นำมาทำความสะอาด และชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด 0.0001 กรัม

7. การวัดระยะห่างปากแหวน

เมื่อทำการชั่งน้ำหนักอุปกรณ์ของเครื่องยนต์เรียบร้อยแล้ว ก่อนประกอบกลับเข้าที่เดิมให้นำแหวนทั้ง 4 ตัวประกอบด้วย แหวนอัดเบอร์1 แหวนอัดเบอร์2 แหวนอัดเบอร์3 และแหวนน้ำมัน มาทำการวัดระยะห่างของปากแหวน เริ่มต้นด้วยการใส่แหวนอัดเบอร์ 1 เข้าไปในกระบอกสูบ จากนั้นใช้ด้านบนของลูกสูบดันให้แหวนอัดเข้าไปด้านใน ห่างจากปากกระบอกสูบอย่างน้อย 10 ม.ม. เพื่อให้แหวนอัดตั้งฉากกับผิวกระบอกสูบ และอยู่ในตำแหน่งของช่วงระยะการเคลื่อนที่ของลูกสูบ ใช้ฟีลเลอร์เกจวัดระยะห่างของปากแหวน บันทึกค่าที่ได้ เปลี่ยนแหวนและปฏิบัติเหมือนกันทั้ง 4 ตัว



รูปภาคผนวก ค5 การวัดระยะห่างปากแหวน

8. การเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น

เมื่ออายุการใช้งานของเครื่องยนต์ครบทุกๆ 100 ชั่วโมง ให้ดับเครื่องยนต์ จากนั้นใช้ประแจขันปลั๊กถ่ายน้ำมันเครื่องพร้อมไส้กรองน้ำมันเครื่องออกในขณะที่เครื่องยนต์ยังร้อนอยู่ ถ่ายน้ำมันเครื่องลงในภาชนะที่สะอาด กวนน้ำมันเครื่องประมาณ 2 นาที จากนั้นให้เทลงในขวดเก็บตัวอย่างปริมาตร 500 ซีซี ปิดฝาให้แน่น จัดเก็บ เพื่อเตรียมส่งไปวิเคราะห์

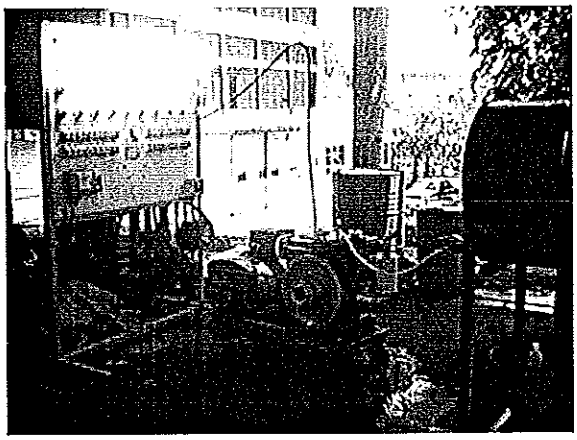
9. การทดสอบเครื่องยนต์ในสภาพการใช้งานจริง

การทดสอบเครื่องยนต์ในสภาพการใช้งานจริง ได้จำลองสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ โดยเดินเครื่องยนต์ที่ค่าสูงสุดที่เครื่องยนต์สามารถทำได้ ตามข้อกำหนดของเครื่องยนต์ คือ75 %ของภาระสูงสุดที่เครื่องทำได้ เท่ากับ 5.88 กิโลวัตต์ ความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที ดังนั้นภาระที่ใช้บนแผงหลอดไฟฟ้าคำนวณได้จาก 75 %ของกำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ คูณด้วย 80% ของประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะได้เท่ากับ 3.53 กิโลวัตต์ แต่ในทางปฏิบัติใช้หลอดไฟฟ้าขนาด 200 วัตต์ จำนวน16 หลอด เท่ากับ 3.2 กิโลวัตต์ ซึ่งน้อยกว่าค่าที่คำนวณได้ เพื่อทดแทนการสูญเสียกำลังงานที่เกิดขึ้น เช่น จากสายพานส่งกำลัง การสูญเสียกำลังงานภายในวงจรไฟฟ้า อื่นๆ

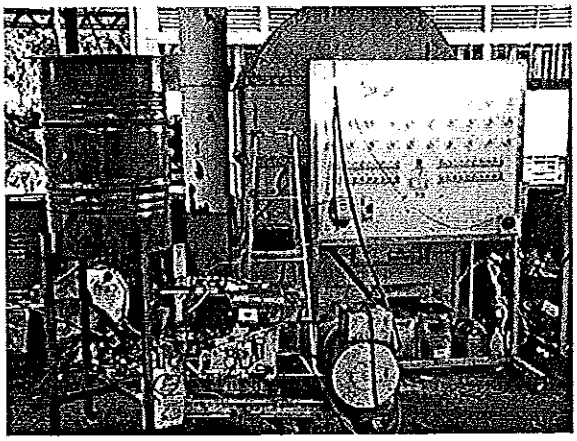
การเดินเครื่องยนต์บนแท่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้จ่ายไฟฟ้าให้แผงหลอดไฟ ได้ติดตั้งมิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ และมิเตอร์วัดชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์ เนื่องจากเป็นการเดินเครื่องแบบต่อเนื่อง

การเดินเครื่องยนต์ ET 802 และเครื่องยนต์ ET 803 เริ่มต้นด้วยการบันทึกเลขชั่วโมงเริ่มต้นการทำงานและเลขกำลังไฟฟ้าก่อนการเดินเครื่อง จากนั้นให้สตาร์ทเครื่อง และเดินเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่ำ ไม่มีภาระ ประมาณ 10 นาทีเพื่อเป็นการอุ่นเครื่อง จากนั้นเร่งความเร็วรอบเพิ่มขึ้นไปที่ 2,200 รอบต่อนาที พร้อมกับค่อยๆ เปิดไฟฟ้าทีละหลอด จนครบ 16 หลอด ตรวจสอบความเร็วรอบอีกครั้ง และเดินเครื่องทิ้งไว้

ในส่วนของการเดินเครื่องยนต์ ET 805 เริ่มต้นด้วยการบันทึกเลขชั่วโมงเริ่มต้น และเลขกำลังไฟฟ้าเช่นเดียวกับ เครื่องยนต์ ET802 และ เครื่องยนต์ ET803 สตาร์ทเครื่องและอุ่นเครื่องด้วยน้ำมันดีเซลเป็นระยะเวลา 10 นาที จากนั้นเร่งความเร็วรอบเพิ่มขึ้นไปที่ 2,200 รอบต่อนาที เปิดใช้ไฟฟ้าจำนวน 16 หลอด เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อนำความร้อนจากท่อไอเสียไปอุ่นน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดในถังให้ไหลได้ง่ายขึ้น จากนั้นเปิดฮีทเตอร์ เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้น้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดได้อุณหภูมิ 120°ซ ก่อนปล่อยเข้าระบบการฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ แล้วจึงเดินเครื่องด้วยน้ำมันปาล์มลดกัมลดกรดที่อุณหภูมิ 120°ซ ต่อไป เดินเครื่องยนต์จนครบ 100 ชั่วโมง แล้วจึงหยุดเครื่อง เพื่อทำการเก็บตัวอย่าง และเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง



รูปภาคผนวก ค6 การเดินเครื่องยนต์ ET 803



รูปภาคผนวก ค7 การเดินเครื่องยนต์ ET 805

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายสวิทชาติ ญาณแก้ว

วัน เดือน ปีเกิด 21 มีนาคม 2517

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	มหาวิทยาลัยศรีปทุม	2538

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

พ.ศ. 2539 – 2535 เป็นหัวหน้างาน โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ชื่อบริษัท ยูนิวานิช น้ำมันปาล์มจำกัด มหาชน จ.กระบี่