# บทที่ 4

# ผลการทดสอบ

## 4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึง ผลการทดสอบสมบัติที่สำคัญของน้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันปาล์มดิบ เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล จากนั้นกล่าวถึงผลการทดสอบเครื่องยนต์ในห้องปฏิบัติการ โดยเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินและน้ำมันปาล์มดิบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ในด้านสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ อีกทั้งผลการทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินและเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบเพื่อเปรียบเทียบยืนยันในด้านการสึกหรอของเครื่องยนต์ สุดท้ายเป็นผลการนำเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินไปใช้ในสภาพการใช้งานจริง

## 4.2 ผลการทดสอบสมบัติที่สำคัญของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล (ตารางที่ 4.1)

**4.2.1 เลขซีเทน** น้ำมันปาล์มโอเลอิน มีค่าสูงกว่าข้อกำหนดขั้นต่ำของน้ำมันดีเซล

**4.2.2 ความถ่วงจำเพาะ** น้ำมันปาล์มโอเลอิน มีค่าสูงกว่าข้อกำหนดของน้ำมันประมาณ 13%

**4.2.3 ความหนืด** น้ำมันปาล์มโอเลอิน มีค่าสูงกว่าค่าสูงสุดของน้ำมันดีเซลประมาณ 10 เท่า

**4.2.4 อุณหภูมิจุดวาบไฟ** น้ำมันปาล์มโอเลอินและน้ำมันปาล์มดิบ มีค่าสูงกว่าข้อกำหนดน้ำมันดีเซล ประมาณ 6 เท่า

**4.2.5 น้ำ และตะกอน** น้ำมันปาล์มโอเลอิน มีค่าน้อยมากจนวัดไม่ได้

**4.2.6 ปริมาณกากถ่าน** น้ำมันปาล์มโอเลอินและน้ำมันปาล์มดิบ มีค่าสูงกว่าข้อกำหนดน้ำมันดีเซล ประมาณ 4 และ 8 เท่าตามลำดับ

**4.2.7 ปริมาณเถ้า** น้ำมันปาล์มโอเลอิน มีค่าน้อยกว่าข้อกำหนดน้ำมันดีเซล แต่น้ำมันปาล์มดิบ มีค่าสูงกว่าข้อกำหนดน้ำมันดีเซล ประมาณ 2 เท่า

**4.2.8 อุณหภูมิการกลั่นตัวที่ 90%** น้ำมันปาล์มโอเลอินและน้ำมันปาล์มดิบมีค่าต่ำกว่าข้อกำหนดน้ำมันดีเซล ประมาณ 11%

**4.2.9 ค่าความร้อน** น้ำมันปาล์มโอเลอินและน้ำมันปาล์มดิบ มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 11% และ 9% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 สมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล, น้ำมันปาล์มโอเลอินและน้ำมันปาล์มดิบ

| สมบัติของน้ำมัน | ข้อกำหนดน้ำมันดีเซล[#] | ผลการทดสอบน้ำมันดีเซล | ผลการทดสอบน้ำมันปาล์มโอเลอิน | ผลการทดสอบน้ำมันปาล์มดิบ | วิธีทดสอบ |
|---|---|---|---|---|---|
| ซีเทนนัมเบอร์ | > 47 | * | 50[2] | * | ASTM D-613 |
| ความถ่วงจำเพาะที่ 15.6 °C | > 0.81<br>> 0.87 | 0.84[1] | 0.92[2] | * | ASTM D-1298 |
| ความหนืดที่ 40 °C (cSt) | > 1.8<br>< 4.1 | 3.1[1] | 40.9[2] | * | ASTM D-445 |
| อุณหภูมิจุดวาบไฟ (°C) | > 52 | 69[1] | > 300[2] | >300[2] | ASTM D-93 |
| น้ำและตะกอน (%) | < 0.05 | * | Traces[2] | * | ASTM D-2709 |
| กากถ่าน (%) | <0.05 | <0.001[2] | 0.217[2] | 0.424[2] | ASTM D-4530 |
| เถ้า (%) | <0.01 | * | 0.001[2] | 0.018[2] | ASTM D-482 |
| อุณหภูมิกลั่นตัวที่ 90%(°C) | <357 | * | 319[2] | 320[2] | ASTM D-86 |
| ค่าความร้อนสูง (MJ /kg) | - | 44.3[1] | 39.3[2] | 40.4[1] | ASTM D-240 |

[#]: กรมทะเบียนการค้า, 2545

[1]: ผลการทดสอบของห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[2]: ผลการทดสอบของสถาบันวิจัยและเทคโนโลยีการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย

*: ไม่ได้ทำการทดสอบ

ผลการทดสอบสมบัติของน้ำมันปาล์มโอเลอิน ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและจากการทดสอบของสถาบันวิจัยและเทคโนโลยี การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย มีค่าใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบสมบัติน้ำมันปาล์มโอเลอิน

| รายการทดสอบ | ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล | สถาบันวิจัยและเทคโนโลยีการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย |
|---|---|---|
| ความถ่วงจำเพาะที่ 15.6 $^{o}$C | 0.92 | 0.92 |
| ความหนืดที่ 40 $^{o}$C (cSt) | 40.8 | 40.9 |
| ค่าความร้อนสูง (MJ/kg) | 39.0 | 39.3 |
| อุณหภูมิจุดวาบไฟ ($^{o}$C) | >300 | >300 |

## 4.3 ผลการทดสอบเครื่องยนต์ในห้องปฏิบัติการ

### 4.3.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

**4.3.1.1 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์รหัส ET802 ใช้น้ำมันดีเซล, รหัส ET801 ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน และรหัส ET805 ใช้น้ำมันปาล์มดิบ ที่เริ่มต้น**

ก. สมรรถนะที่ภาระคงที่ 4.4 กิโลวัตต์ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที

(1) อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (รูปที่ 4.1(ก))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 14.2-19% และน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบอยู่ในช่วง 17.4-22.4%

(2) ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (รูปที่ 4.1(ข))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 0.5-1.4% และสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบอยู่ในช่วง 1.7-2.8%

(3) อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (รูปที่ 4.1(ค))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีอุณหภูมิก๊าซไอเสีย ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 5.5-53$^0$C และต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบอยู่ในช่วง 77-112$^0$C

(4) ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย (รูปที่ 4.1(ง))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย ใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน แต่มีแนวโน้มสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ

ข. สมรรถนะที่ภาระเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที

(1) อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (รูปที่ 4.2(ก))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 16-17% และน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบอยู่ในช่วง 11.2-18.2%

(2) ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (รูปที่ 4.2(ข))

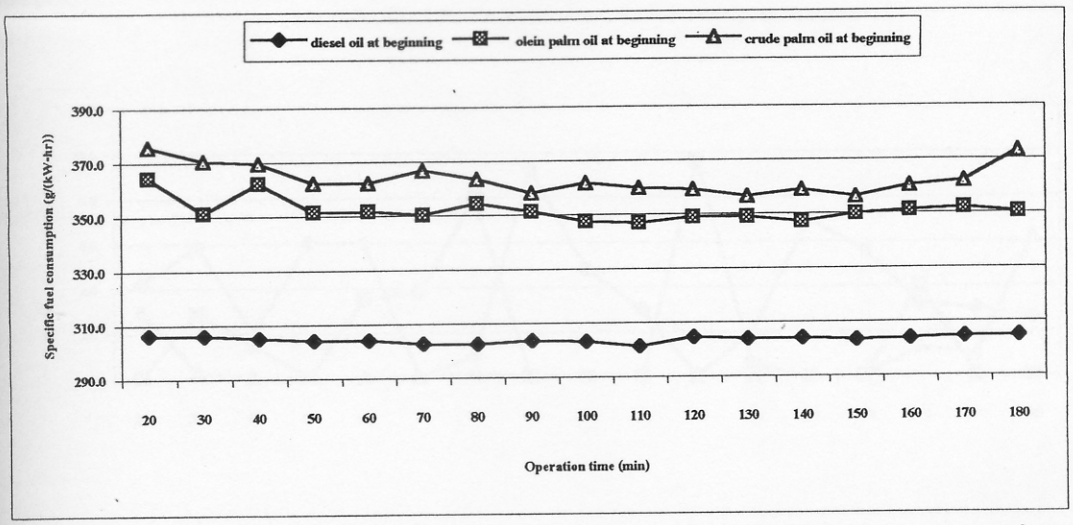
เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 0.6-0.8% และสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบอยู่ในช่วง 0.2-1.9%

(3) อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (รูปที่ 4.2(ค))

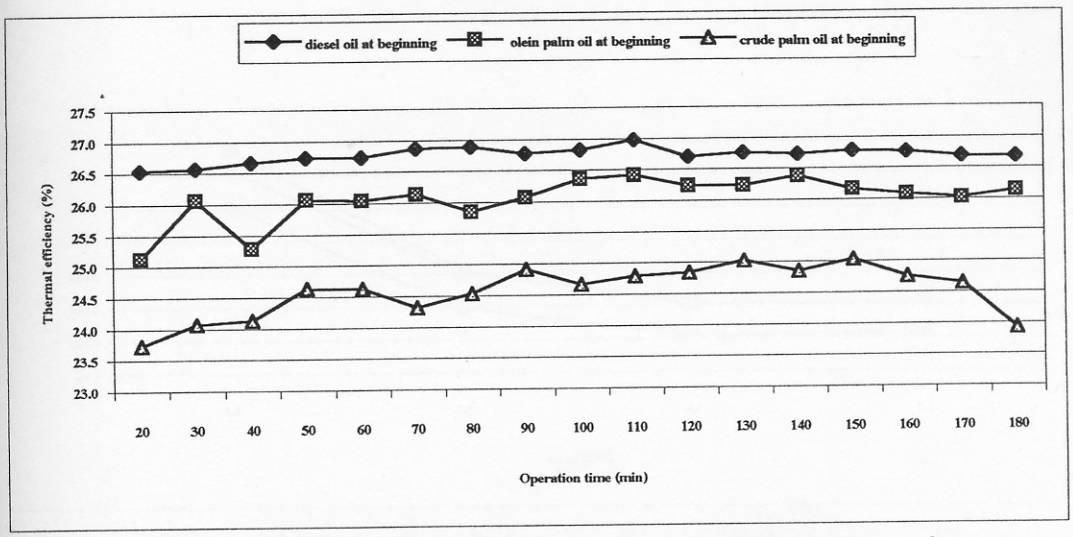
เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีอุณหภูมิก๊าซไอเสีย ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 5.5-47.5$^0$C และต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบอยู่ในช่วง 15-78$^0$C

(4) ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย (รูปที่ 4.2(ง))

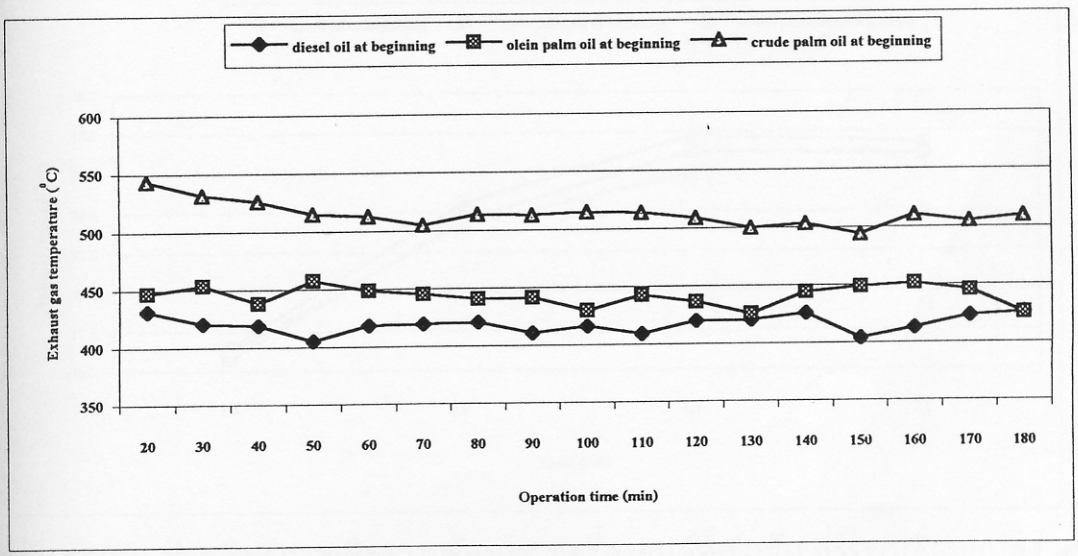
เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีค่าปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเล็กน้อย ในขณะที่เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ มีค่าปริมาณควันดำต่ำมาก



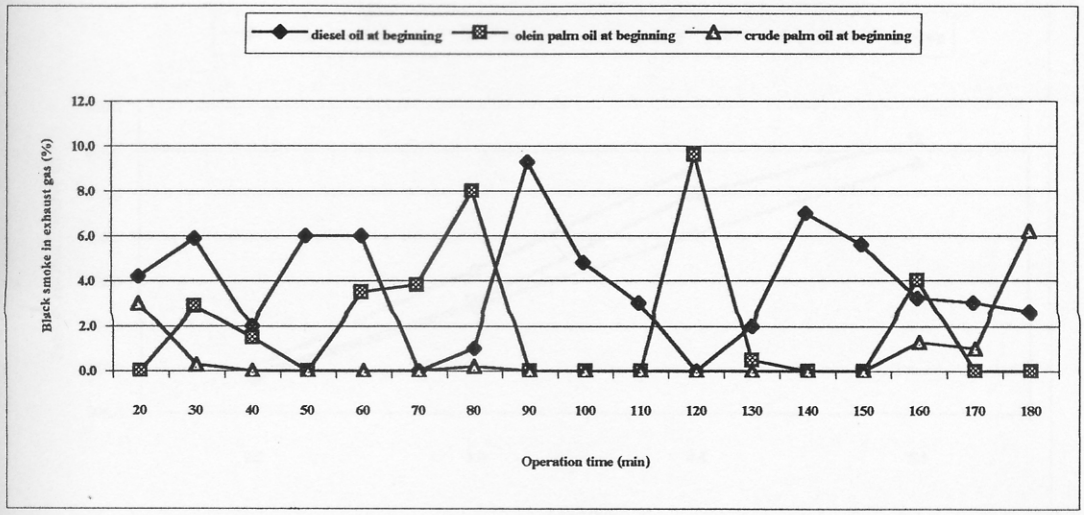

รูปที่ 4.1(ก) อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่เริ่มต้น ภาระคงที่



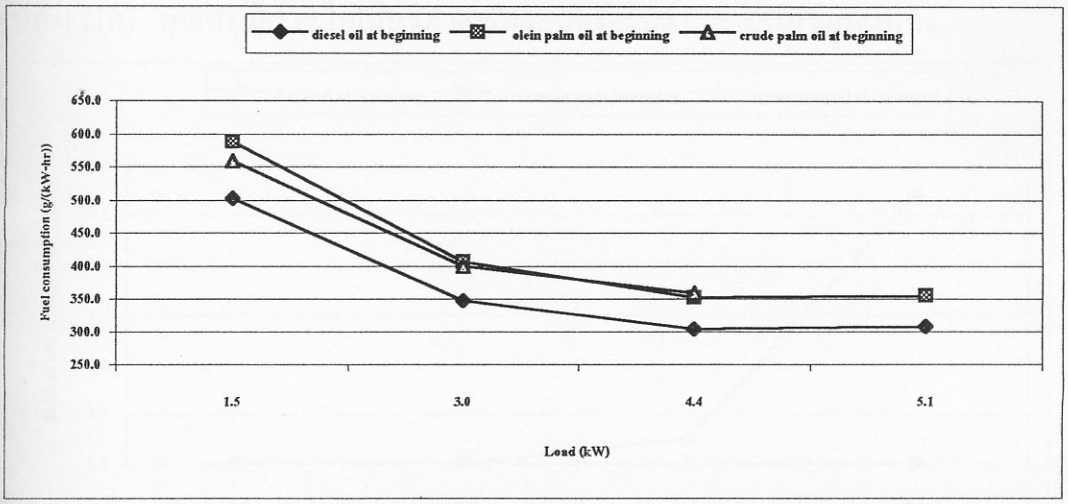

รูปที่ 4.1(ข) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่เริ่มต้น ภาระคงที่



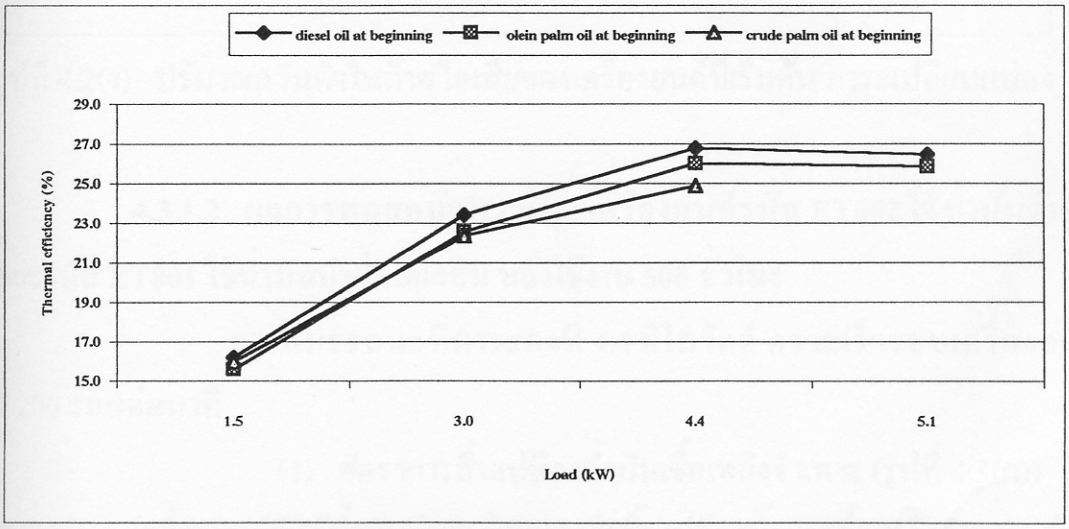

รูปที่ 4.1(ค) อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่เริ่มต้น ภาระคงที่



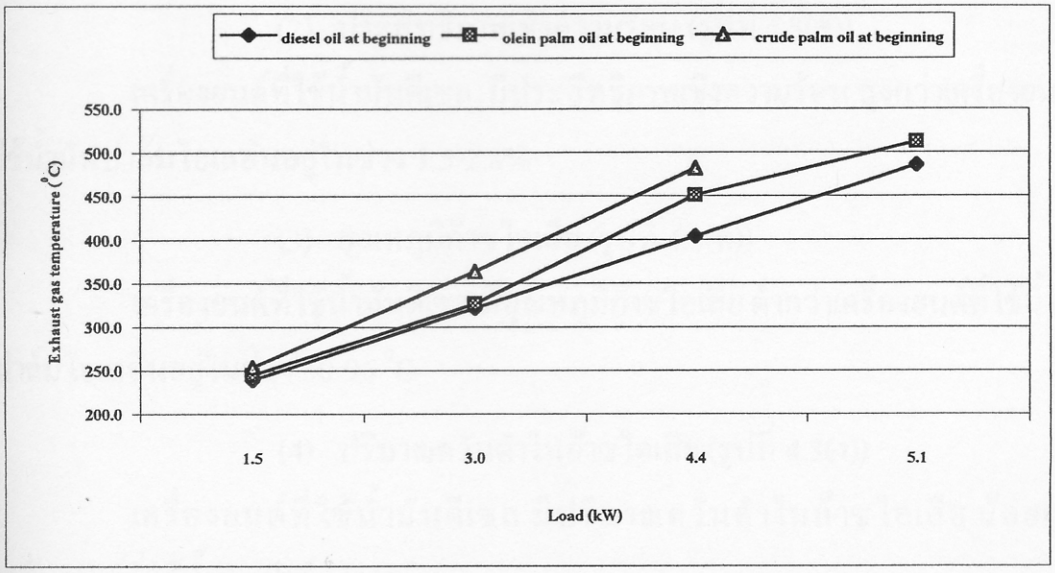

รูปที่ 4.1(ง) ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่เริ่มต้น ภาระคงที่



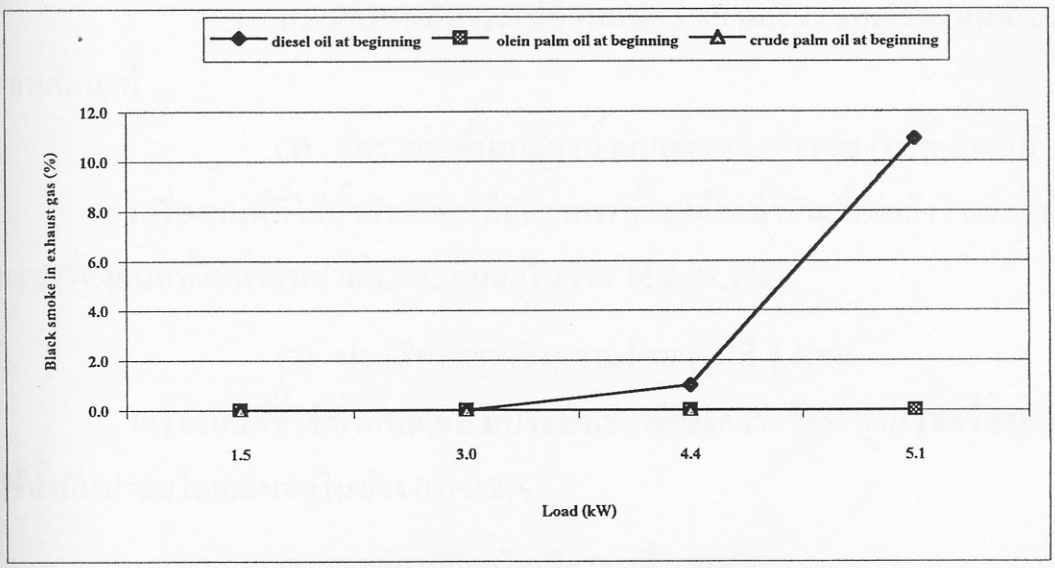

รูปที่ 4.2(ก) อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเครื่องยนต์ที่เริ่มต้น ภาระเปลี่ยนแปลง




รูปที่ 4.2(ข) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่เริ่มต้น ภาระเปลี่ยนแปลง




รูปที่ 4.2(ค) อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่เริ่มต้น ภาระเปลี่ยนแปลง




รูปที่ 4.2(ง) ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ที่เริ่มต้น ภาระเปลี่ยนแปลง

**4.3.1.2 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์รหัส ET802 ใช้น้ำมันดีเซล และรหัส ET801 ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน หลังใช้งาน 500 ชั่วโมง**

ก. สมรรถนะที่ภาระคงที่ 4.4 กิโลวัตต์ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที

(1) อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (รูปที่ 4.3(ก))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 19.3-25.8%

(2) ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (รูปที่ 4.3(ข))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 1.5-2.8%

(3) อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (รูปที่ 4.3(ค))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีอุณหภูมิก๊าซไอเสีย ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 30-96 $^{0}$C

(4) ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย (รูปที่ 4.3(ง))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน

ข. สมรรถนะที่ภาระเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที

(1) อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (รูปที่ 4.4(ก))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 16.8-22.9%

(2) ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (รูปที่ 4.4(ข))

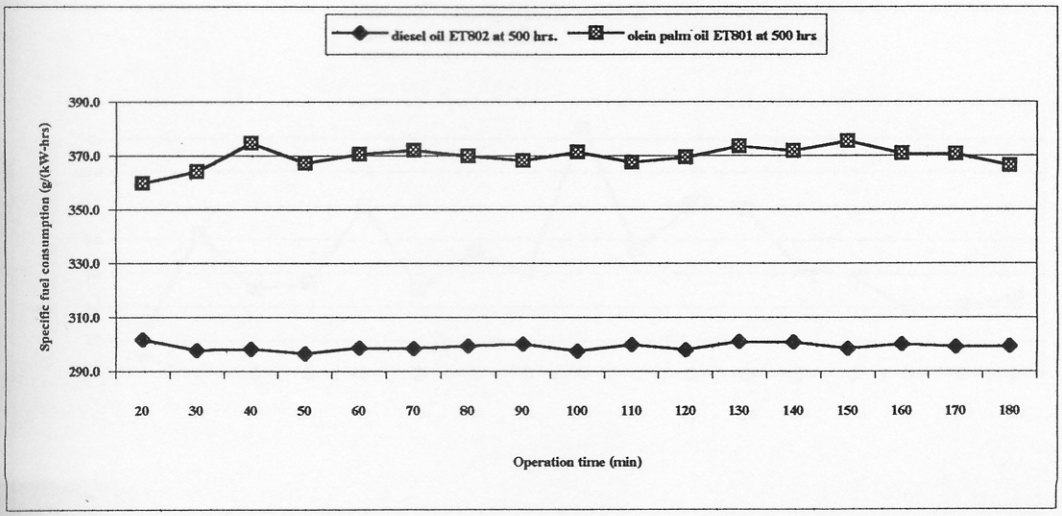
เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 0.6-2.2%

(3) อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (รูปที่ 4.4(ค))

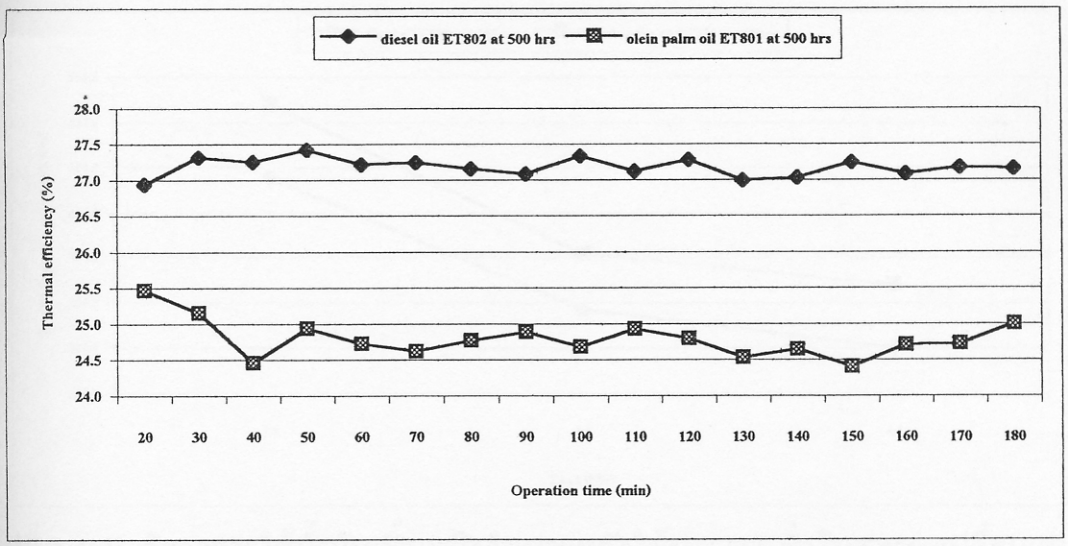
เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอุณหภูมิก๊าซไอเสีย ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 20.5-43.5$^{0}$C

(4) ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย (รูปที่ 4.4(ง))

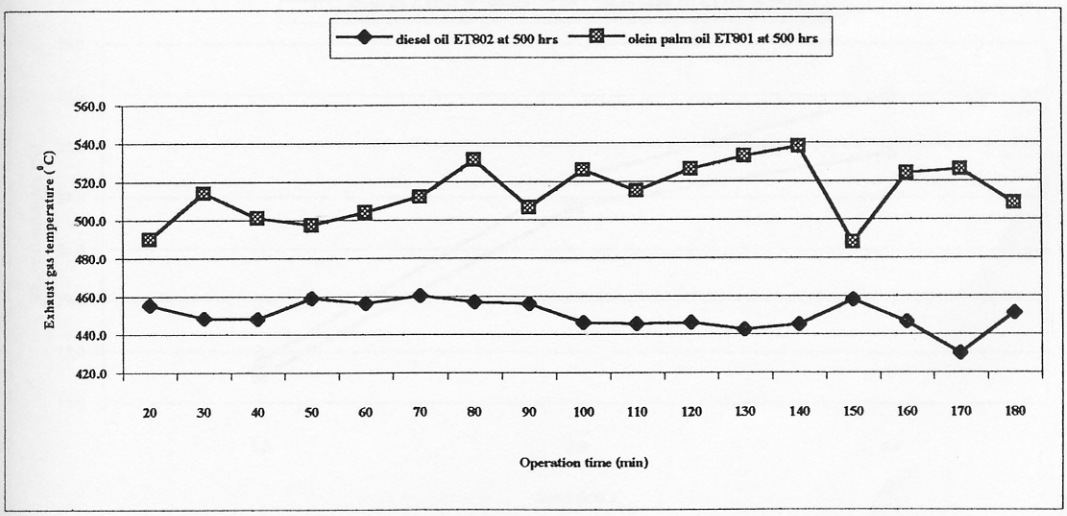
เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินที่ภาระสูง



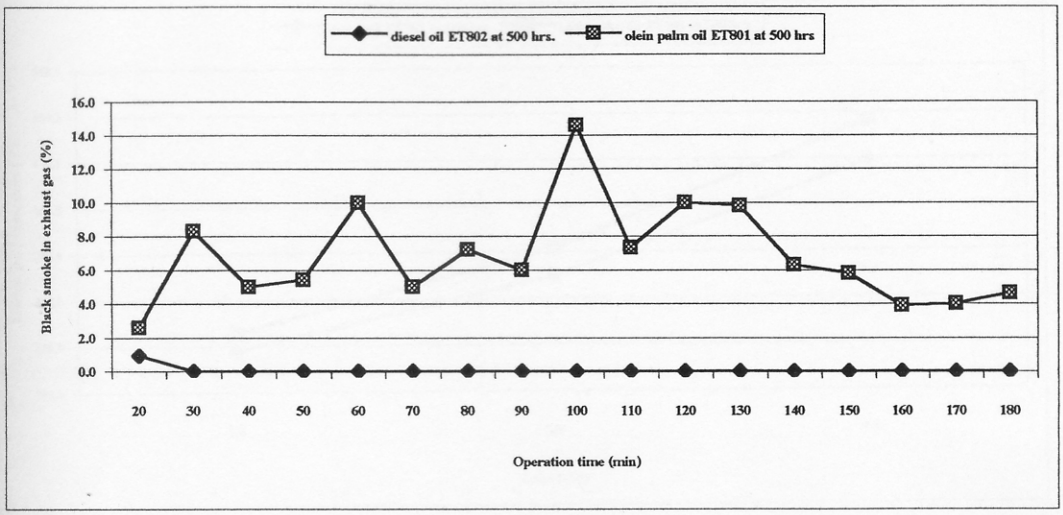

รูปที่ 4.3(ก) อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะหลังใช้งาน 500 ชั่วโมง ภาระคงที่



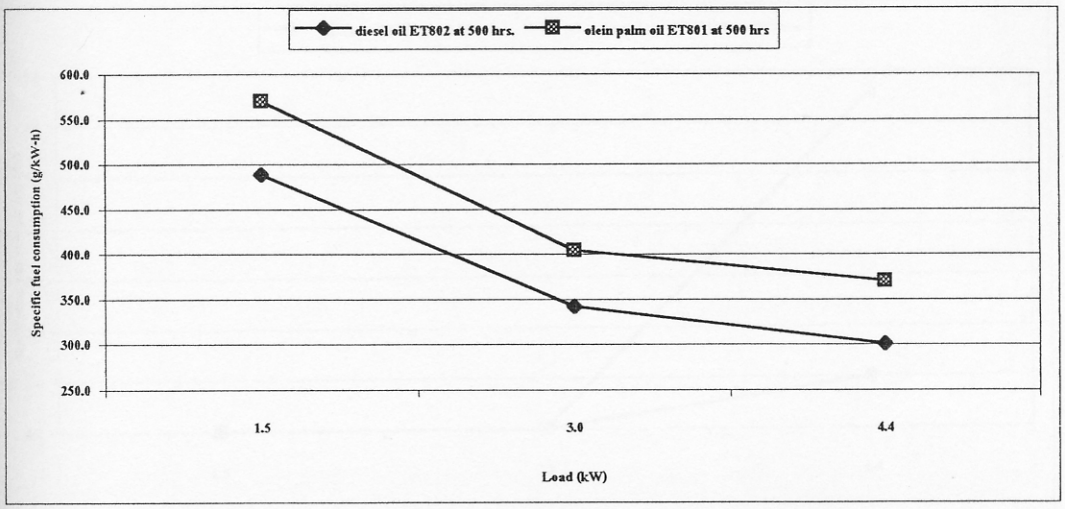

รูปที่ 4.3(ข) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนหลังใช้งาน 500 ชั่วโมง ภาระคงที่



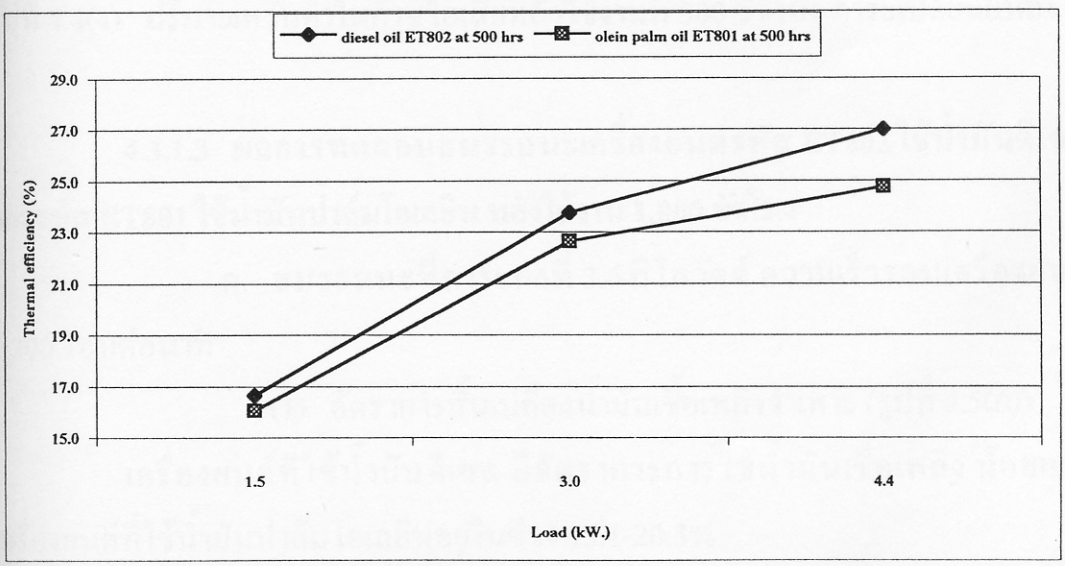

รูปที่ 4.3(ค) อุณหภูมิก๊าซไอเสียหลังใช้งาน 500 ชั่วโมง ภาระคงที่



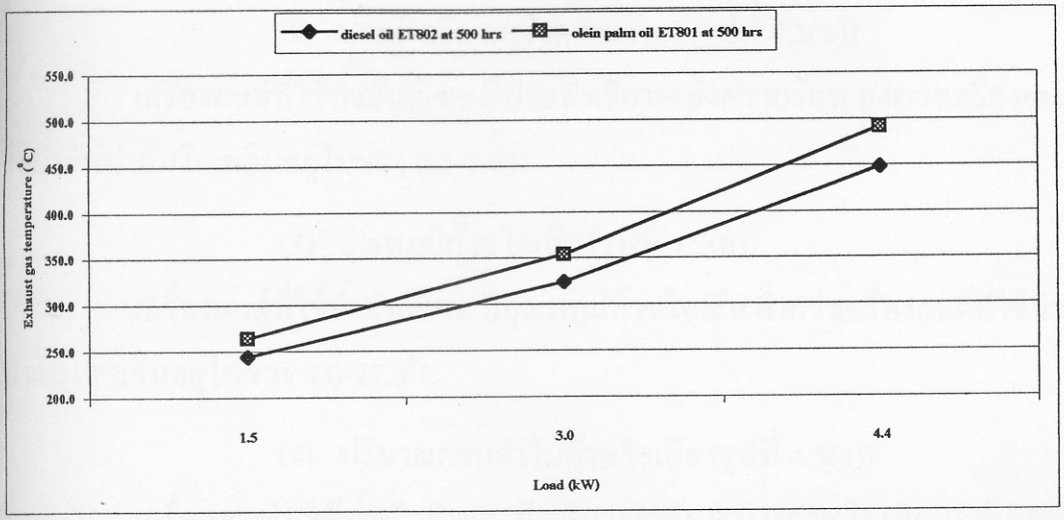

รูปที่ 4.3(ง) ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียหลังใช้งาน 500 ชั่วโมง ภาระคงที่



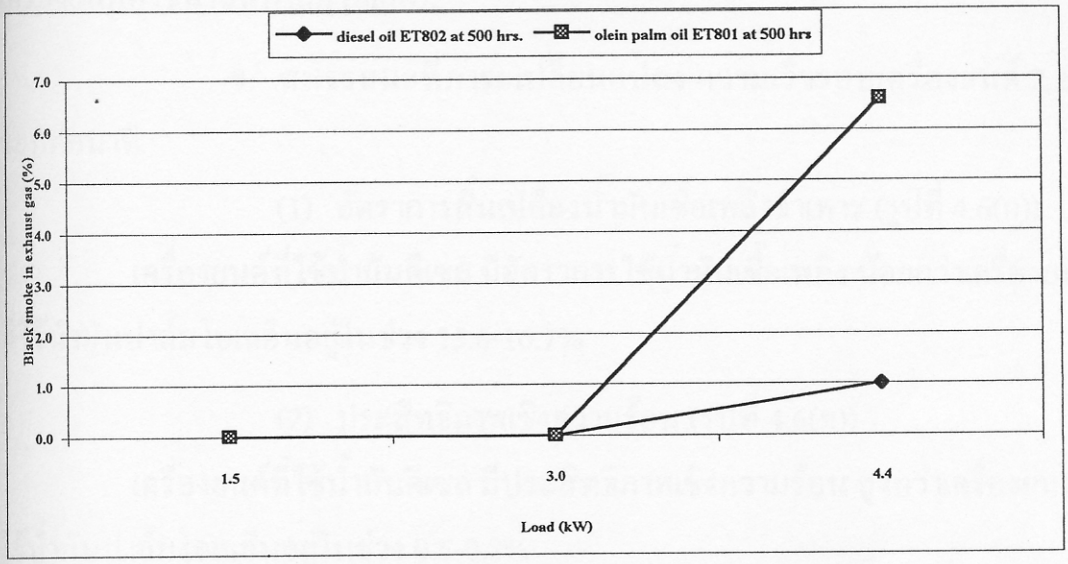

รูปที่ 4.4(ก) อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะหลังใช้งาน 500 ชั่วโมง ภาระเปลี่ยนแปลง




รูปที่ 4.4(ข) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนหลังใช้งาน 500 ชั่วโมง ภาระเปลี่ยนแปลง




รูปที่ 4.4(ค) อุณหภูมิก๊าซไอเสียหลังใช้งาน 500 ชั่วโมง ภาระเปลี่ยนแปลง




รูปที่ 4.4(ง) ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียหลังใช้งานที่ 500 ชั่วโมง ภาระเปลี่ยนแปลง

**4.3.1.3 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์รหัส ET802 ใช้น้ำมันดีเซล และรหัส ET801 ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน หลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง**

ก. สมรรถนะที่ภาระคงที่ 3.6 กิโลวัตต์ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที

(1) อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (รูปที่ 4.5(ก))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีอัตราการการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 15.1-20.3%

(2) ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (รูปที่ 4.5(ข))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 0.5-1.6%

(3) อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (รูปที่ 4.5(ค))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีอุณหภูมิก๊าซไอเสีย ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 4.0-27.5$^{0}$C

(4) ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย (รูปที่ 4.5(ง))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย ใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน

ข. สมรรถนะที่ภาระเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที

(1) อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (รูปที่ 4.6(ก))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 15.6-16.7%

(2) ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (รูปที่ 4.6(ข))

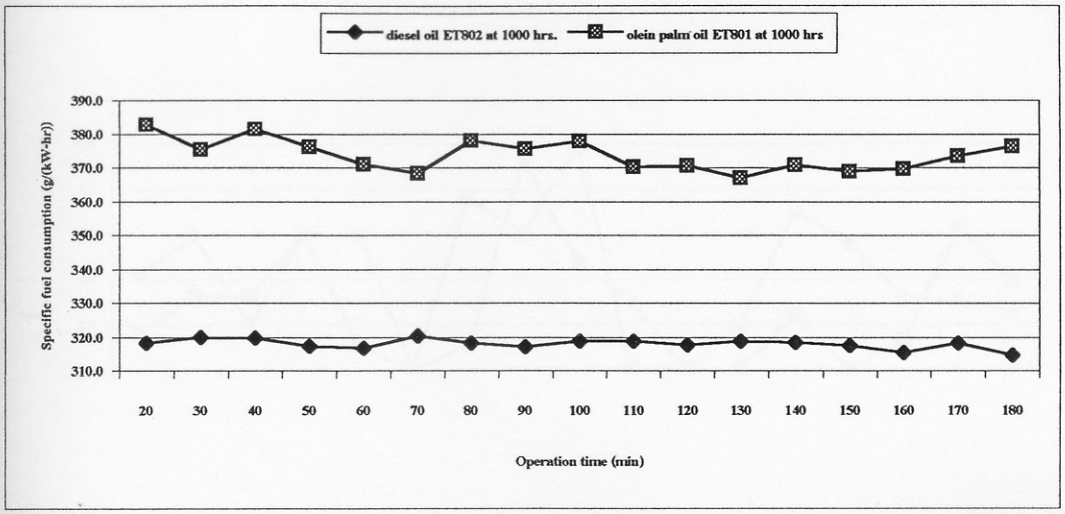
เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 0.5-0.8%

(3) อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (รูปที่ 4.6(ค))

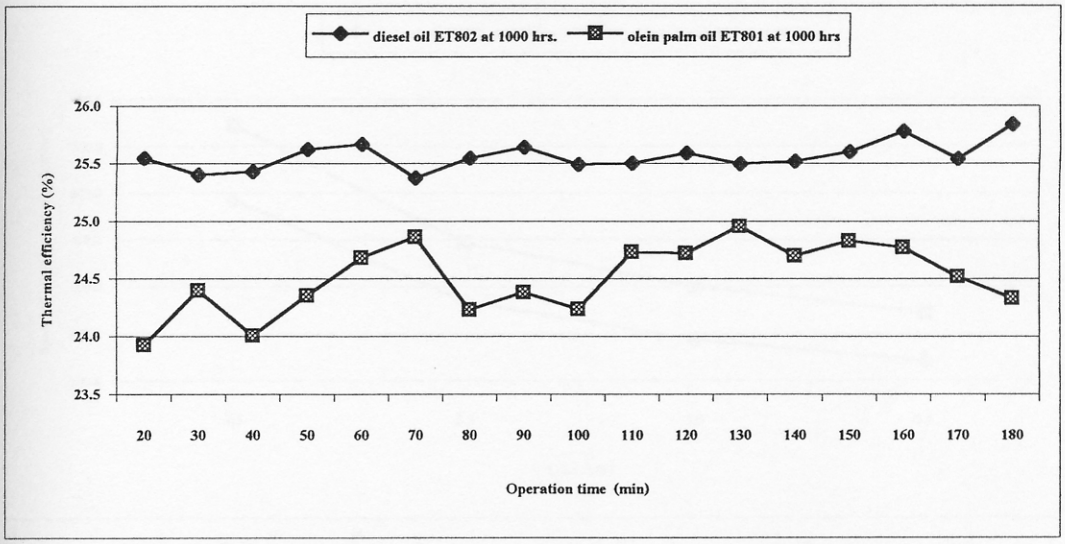
เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีอุณหภูมิก๊าซไอเสีย สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 1.0-16.5$^{0}$C

(4) ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย (รูปที่ 4.6(ง))

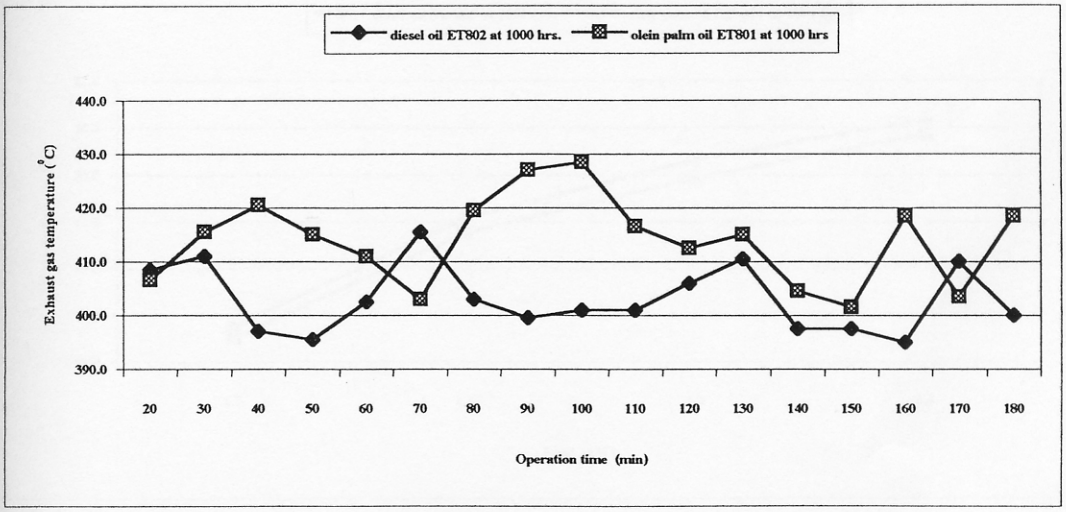
เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีปริมาณควันดำในก๊าซไอเสีย ใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน



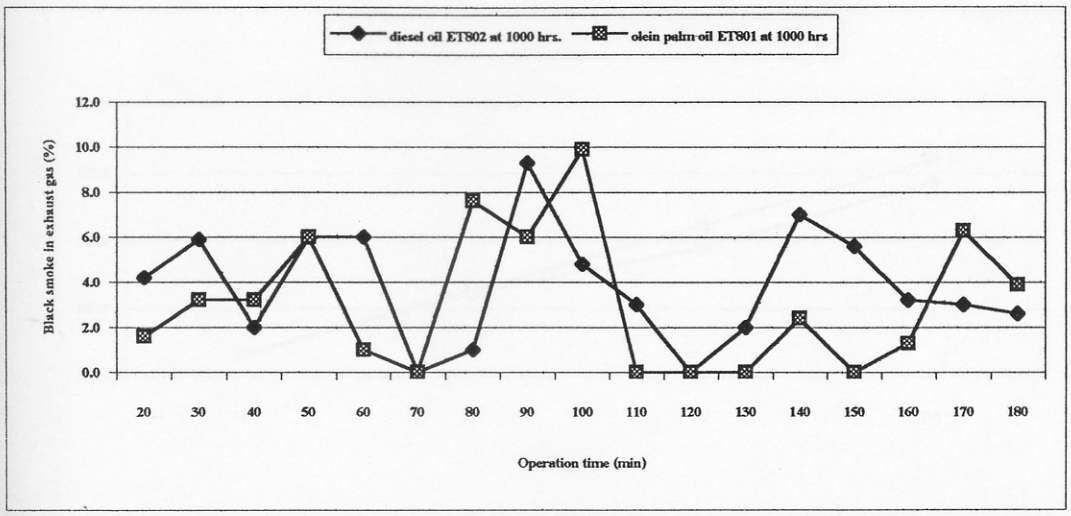

รูปที่ 4.5(ก) อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง ภาระคงที่



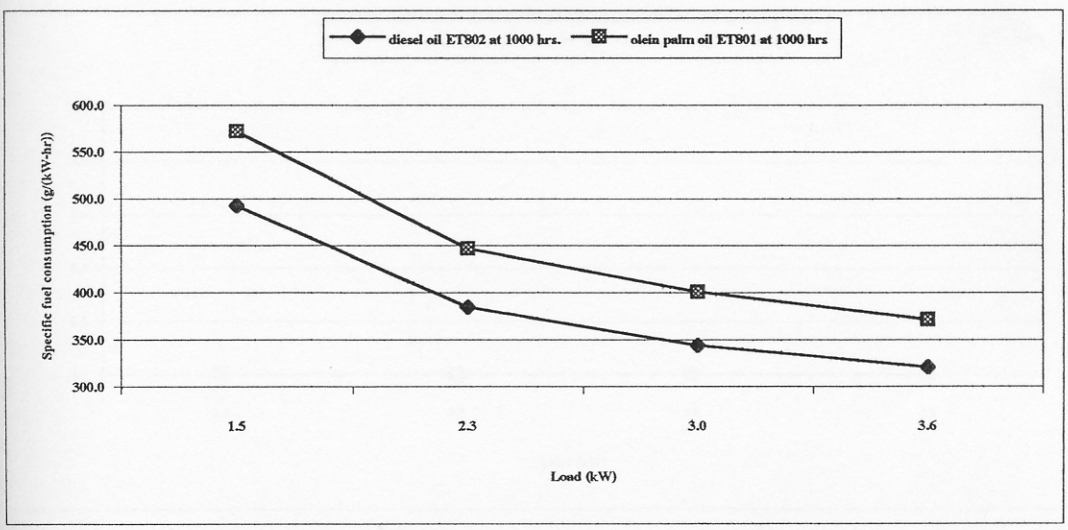

รูปที่ 4.5(ข) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง ภาระคงที่



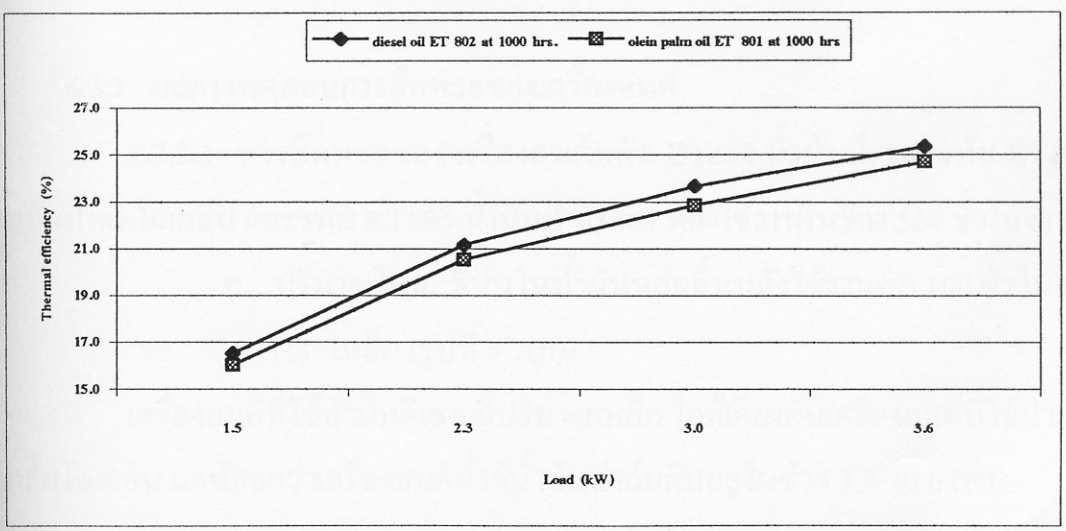

รูปที่ 4.5(ค) อุณหภูมิก๊าซไอเสียหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง ภาระคงที่



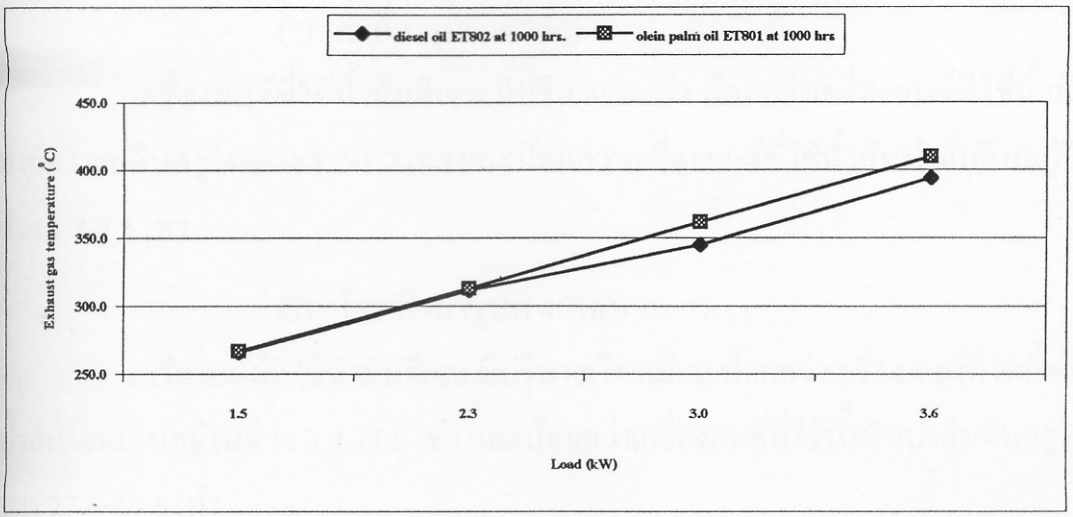

รูปที่ 4.5(ง) ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง ภาระคงที่



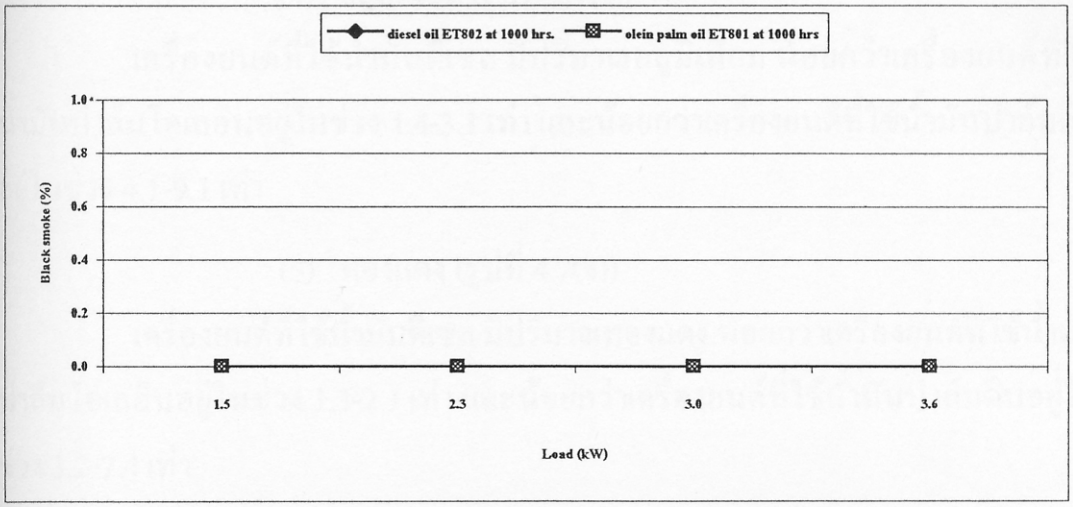

รูปที่4.6(ก) อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง ภาระเปลี่ยนแปลง




รูปที่4.6(ข) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง ภาระเปลี่ยนแปลง




รูปที่ 4.6(ค) อุณหภูมิก๊าซไอเสียหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง ภาระเปลี่ยนแปลง




รูปที่ 4.6(ง) ปริมาณควันดำในก๊าซไอเสียหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมง ภาระเปลี่ยนแปลง

### 4.3.2 ผลการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์

**4.3.2.1 การสึกหรอของเครื่องยนต์รหัส ET802 น้ำมันดีเซล, รหัส ET801 น้ำมันปาล์มโอเลอิน และรหัส ET805 น้ำมันปาล์มดิบ หลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงแรก**

ก. ปริมาณโลหะที่ปนในน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งานทุก 100 ชั่วโมง

(1) เหล็ก (รูปที่ 4.7(ก))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีปริมาณเหล็ก ใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน แต่น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบอยู่ในช่วง 3.3-10.6 เท่า

(2) ตะกั่ว (รูปที่ 4.7(ข))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีปริมาณตะกั่ว น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 1.2-1.7 เท่า และน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบอยู่ในช่วง 1.2-2.5 เท่า

(3) โครเมียม (รูปที่ 4.7(ค))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีปริมาณโครเมียม น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 3.9-11.8 เท่า และน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบอยู่ในช่วง 27.6-44.6 เท่า

(4) อลูมิเนียม (รูปที่ 4.7(ง))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีปริมาณอลูมิเนียม น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 1.4-3.1 เท่า และน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบอยู่ในช่วง 4.1-9.1 เท่า

(5) ทองแดง (รูปที่ 4.7(จ))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีปริมาณทองแดง น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 1.3-2.1 เท่า และน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบอยู่ในช่วง 3.2-7.4 เท่า

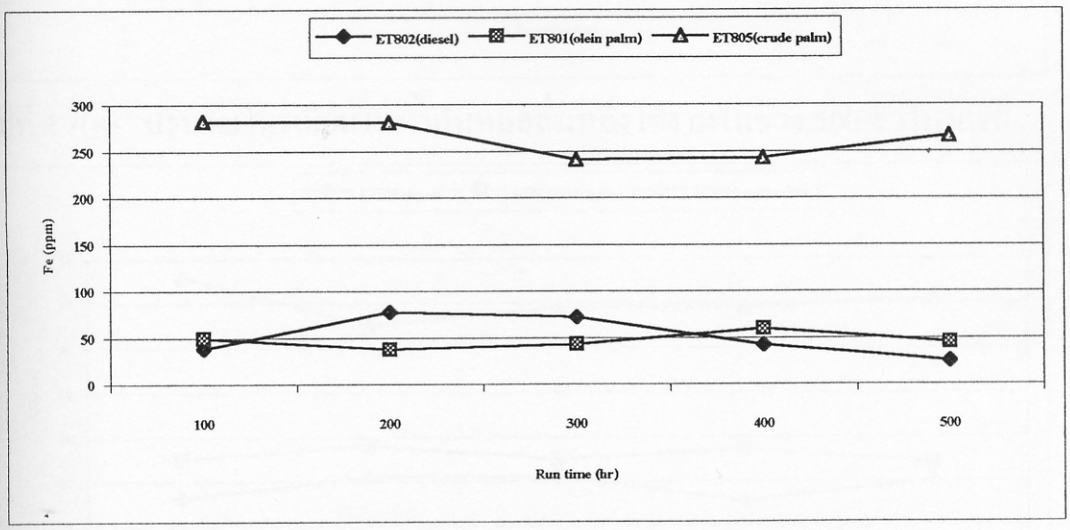
(6) ซิลิกอน (รูปที่ 4.7(ฉ))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีปริมาณซิลิกอน น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 1.3-2.7 เท่า และน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบอยู่ในช่วง 7.3-11.6 เท่า

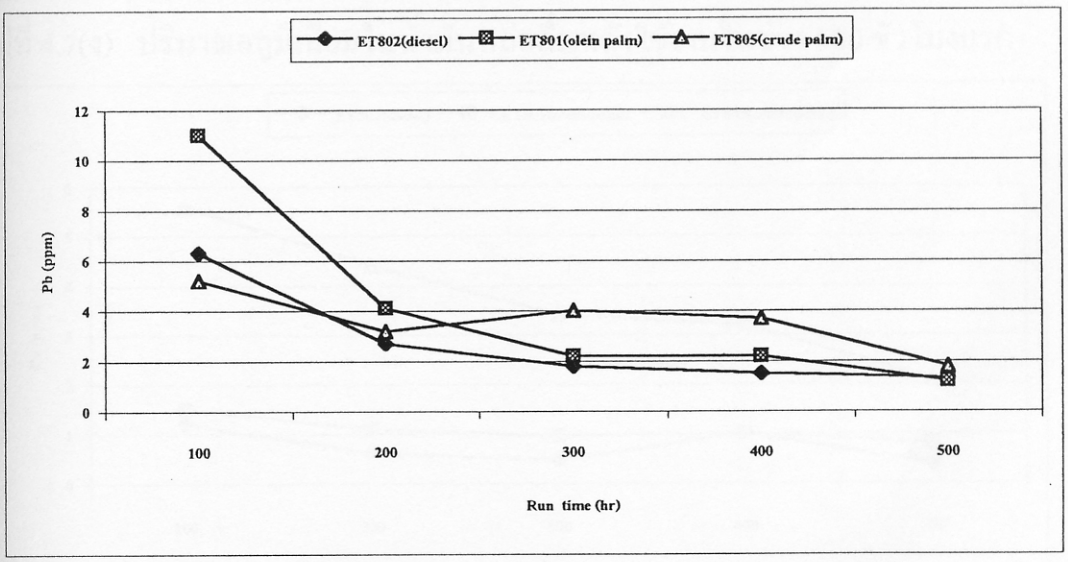
ข. การสึกหรอของชิ้นส่วนอุปกรณ์ของเครื่องยนต์

การสึกหรอของชิ้นส่วนอุปกรณ์ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์ม เปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล พบว่าการสึกหรอของกลุ่มอุปกรณ์ ได้แก่ ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง, ลิ้นส่งน้ำมันเชื้อเพลิง, ลิ้นไอดี, ลิ้นไอเสีย และแบริงก้านสูบ(รูปที่ 4.8(ก)) ไม่มีความแตกต่างอย่างเป็นรูปแบบที่ชัดเจน แต่การสึกหรอของแหวนลูกสูบ (รูปที่ 4.8(ข)) จะมีความแตกต่างกันเป็นรูปแบบอย่างเห็นได้ชัด แหวนลูกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน

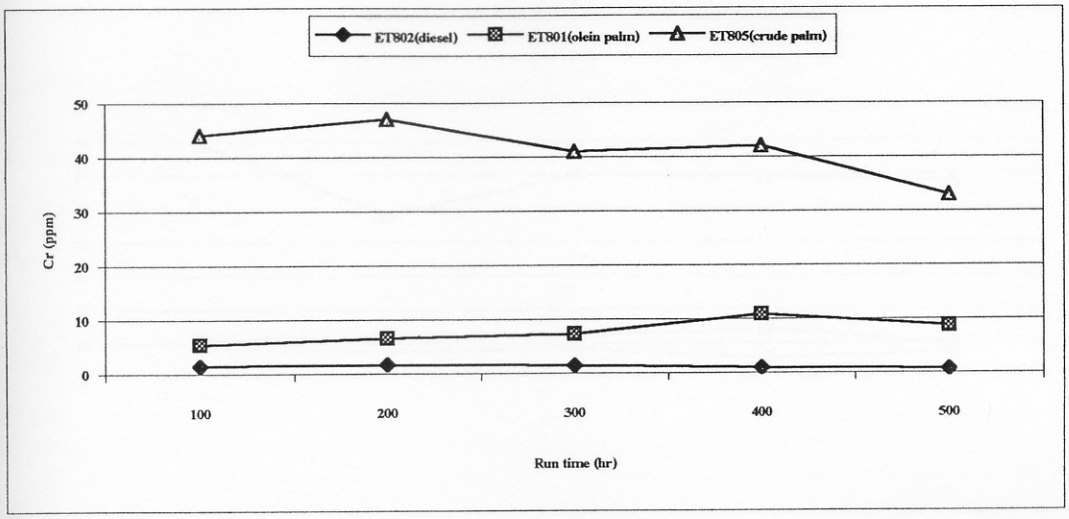
ปาล์มดิบจะมีการสึกหรอที่สูงสุด ถัดมาเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน ส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล จะมีการสึกหรอต่ำสุด การสึกหรอของแหวนอัดแต่ละตัวของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ มีค่ามากกว่าของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ประมาณ 6 และ 29 เท่า ตามลำดับ ส่วนการสึกหรอของแหวนน้ำมันของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ มีค่ามากกว่าของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ประมาณ 2 และ 5 เท่า ตามลำดับเช่นกัน



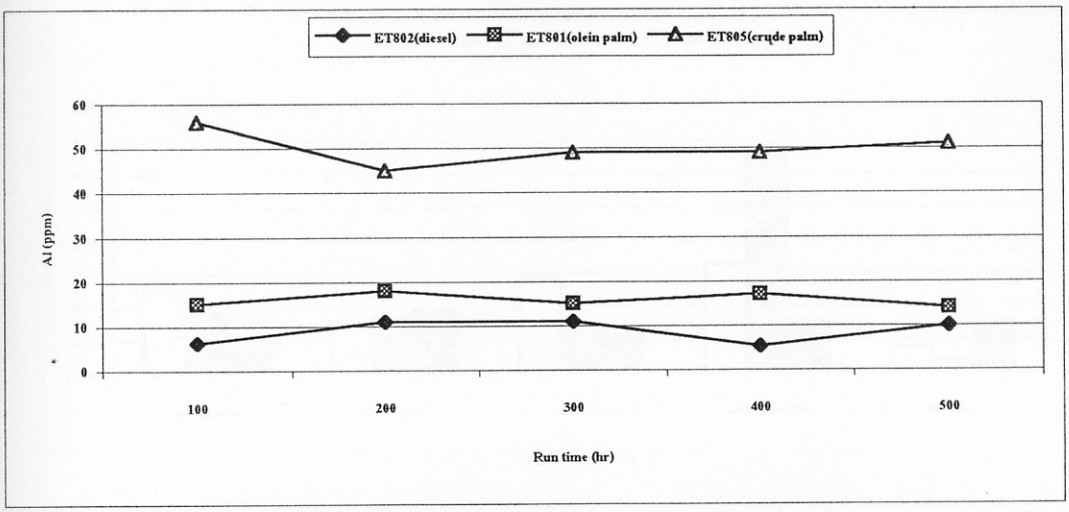

รูปที่ 4.7(ก) ปริมาณเหล็กในน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงแรก



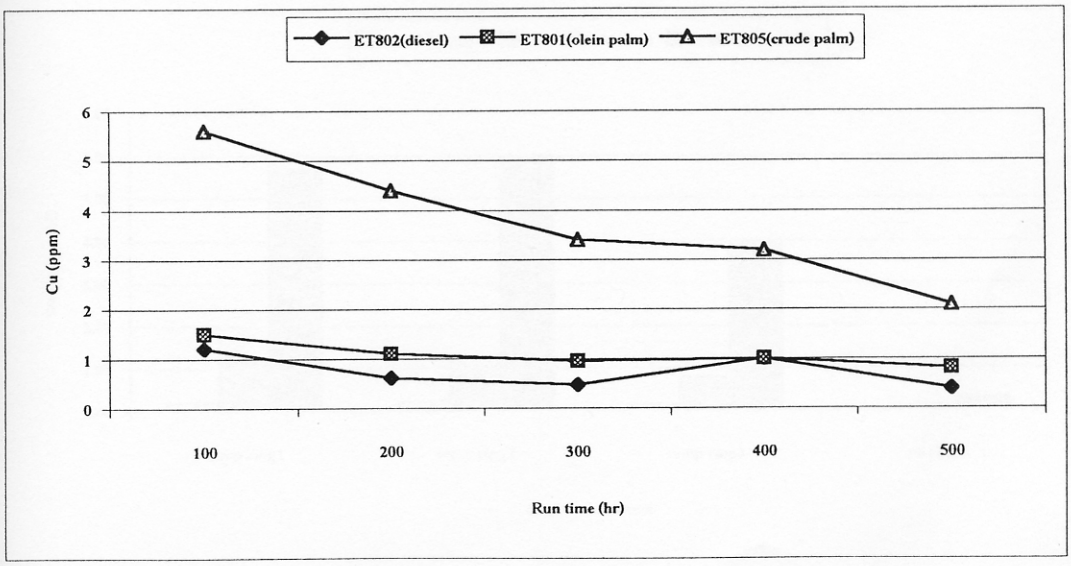

รูปที่ 4.7(ข) ปริมาณตะกั่วในน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงแรก



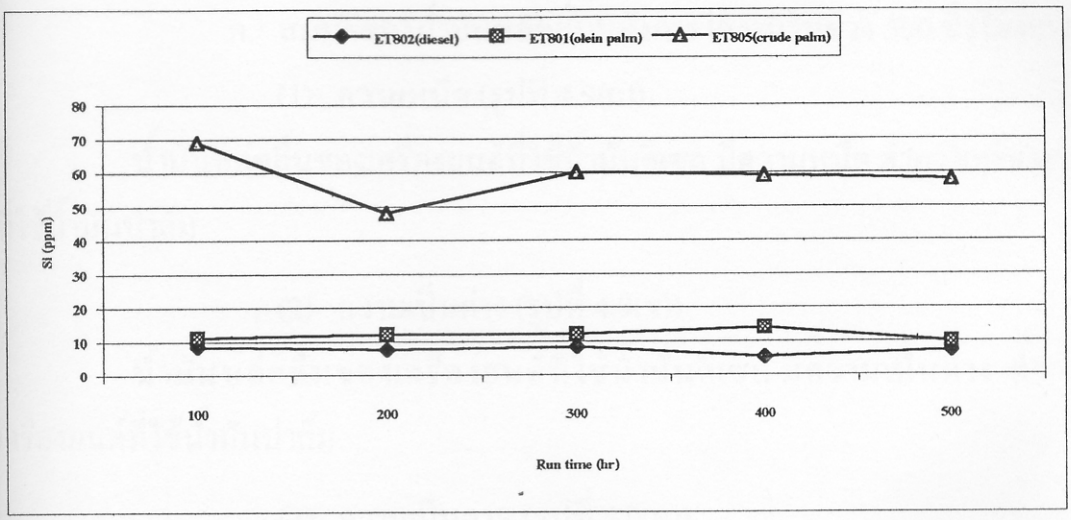

รูปที่ 4.7(ค) ปริมาณโครเมียมในน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงแรก



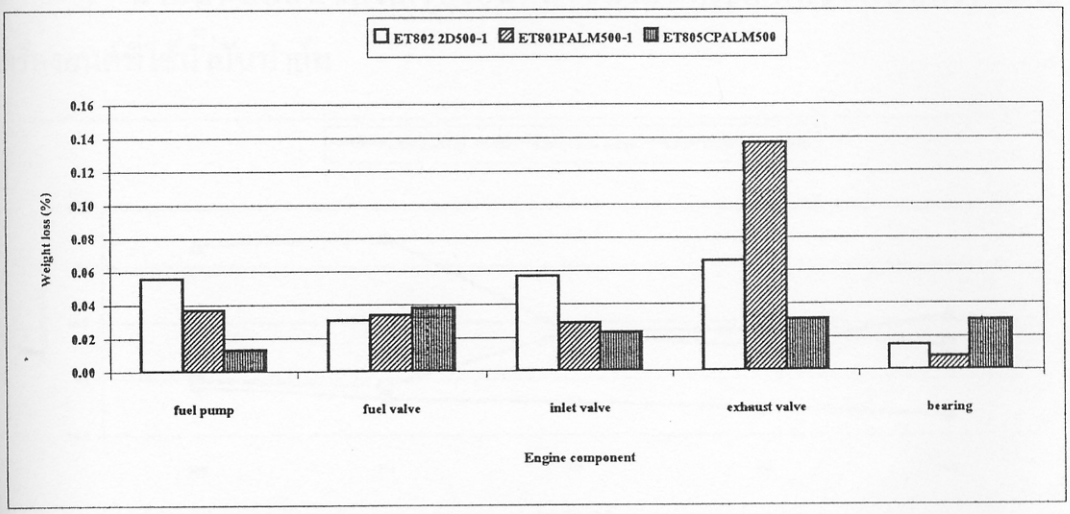

รูปที่ 4.7(ง) ปริมาณอลูมิเนียมในน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงแรก



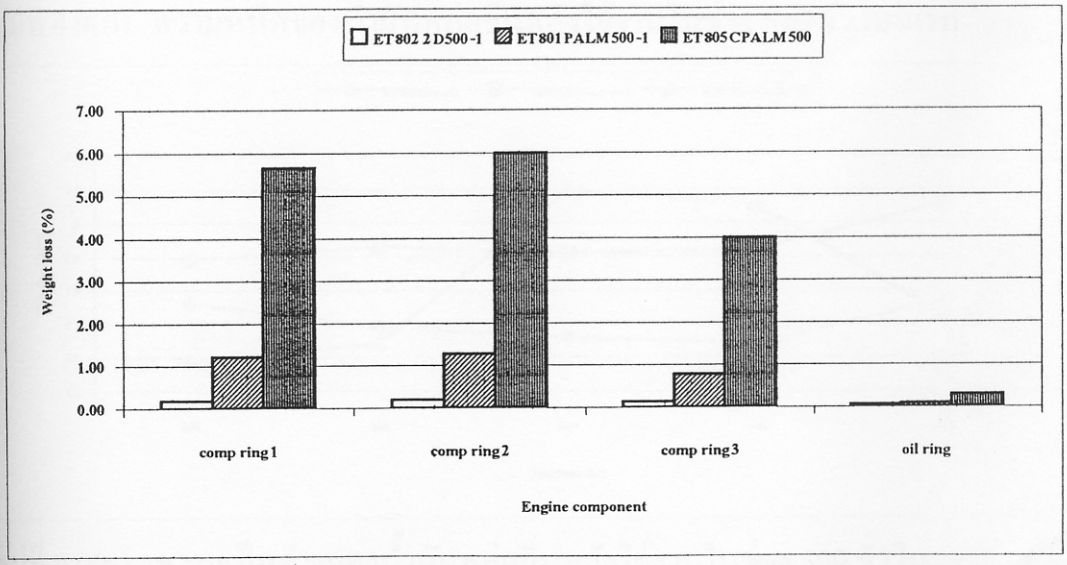

รูปที่ 4.7(จ) ปริมาณทองแดงในน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงแรก




รูปที่ 4.7(ฉ) ปริมาณซิลิกอนในน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงแรก




รูปที่ 4.8(ก) น้ำหนักอุปกรณ์ที่ลดลงหลังใช้งานในช่วงเวลา 500 ชั่วโมงแรก




รูปที่ 4.8(ข) น้ำหนักแหวนที่ลดลงหลังใช้งานในช่วงเวลา 500 ชั่วโมงแรก

ค. สมบัติของน้ำมันหล่อลื่นหลังการใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงแรก

(1) ความหนืด (รูปที่ 4.9(ก))

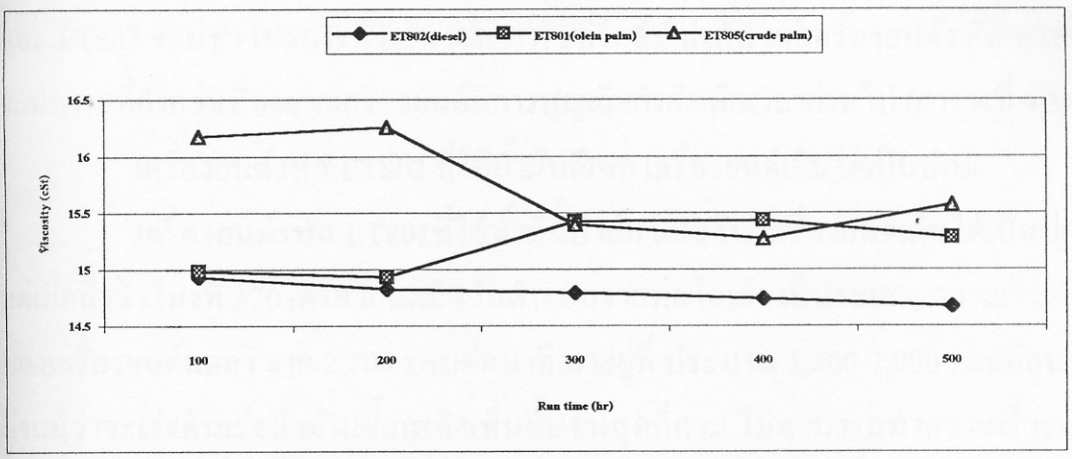
น้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีความหนืด ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์ม

(2) ความเป็นด่าง (รูปที่ 4.9(ข))

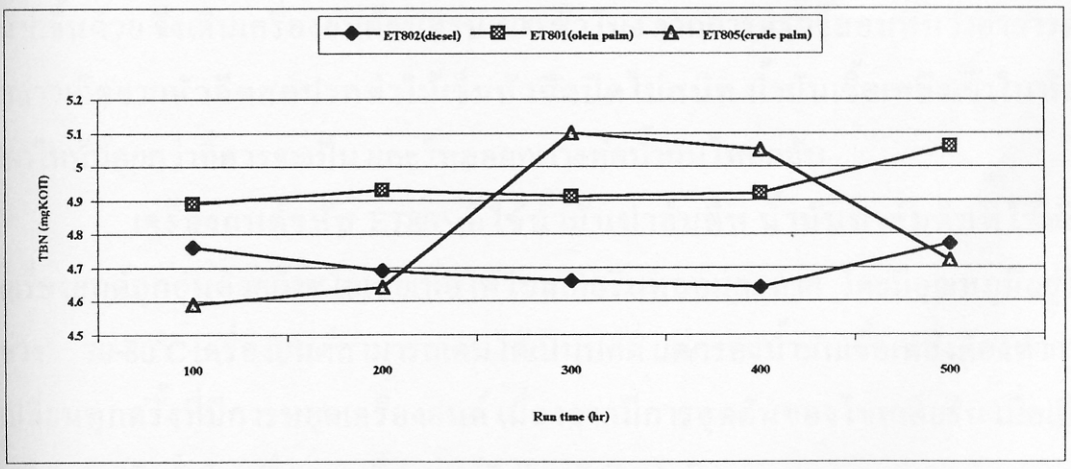
น้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีความเป็นด่าง ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์ม

(3) ความเป็นกรด (รูปที่ 4.9(ค))

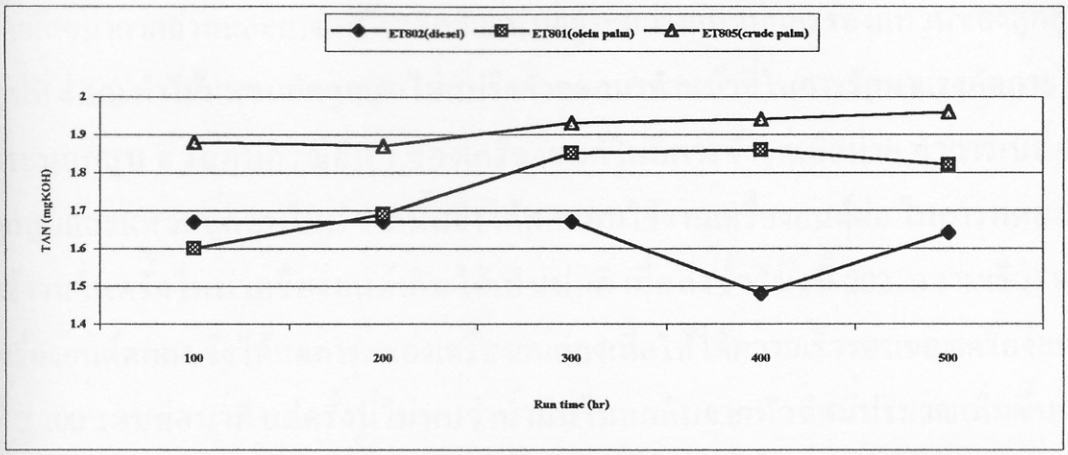
น้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีความเป็นกรด ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์ม




รูปที่ 4.9(ก) ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงแรก




รูปที่ 4.9(ข) ความเป็นด่างของน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงแรก




รูปที่ 4.9(ค) ความเป็นกรดของน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงแรก

**รายละเอียดเพิ่มเติม**

การทดสอบใช้งานเครื่องยนต์ในช่วง 500 ชั่วโมงแรก เครื่องยนต์รหัส ET801 และ ET802 จะมีชั่วโมงการทำงาน และภาระที่ใกล้เคียงกัน แต่เครื่องยนต์รหัส ET805 จะมีภาระที่ต่ำกว่าเนื่องจากเครื่องยนต์มีการสูญเสียกำลังเมื่อเวลาผ่านไป (ตารางที่ 4.3)

เครื่องยนต์รหัส ET802 ที่ใช้น้ำมันดีเซล เครื่องยนต์เดินได้เป็นปกติ

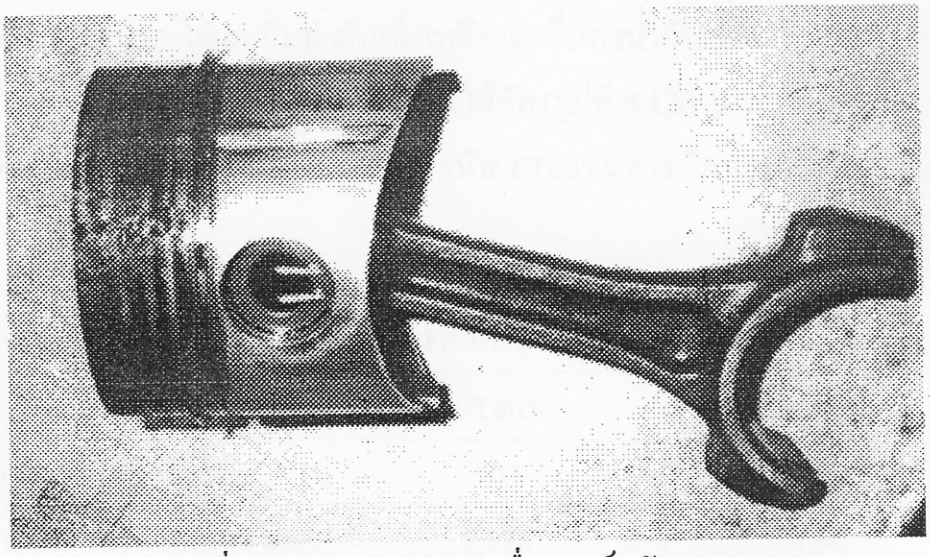
เครื่องยนต์รหัส ET801ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน เครื่องยนต์เดินได้เป็นปกติ แต่เมื่อถึงชั่วโมงที่ 370 เครื่องยนต์มีควันดำออกจากท่อไอเสีย เป็นระยะๆ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดลง จาก 2,200 รอบต่อนาที มาอยู่ที่ ประมาณ 1,800-1,900 รอบต่อนาที ถึงแม้ว่าจะเร่งคันเร่งน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นจนสุดก็ตาม ไม่สามารถทำความเร็วรอบเครื่องยนต์ไปที่ 2,200 รอบต่อนาทีได้และพบว่าปริมาณน้ำมันไหลกลับจากหัวฉีดเพิ่มมากขึ้นด้วย จึงเดินเครื่องยนต์จนครบ 500 ชั่วโมง จากการตรวจสอบพบว่าอาการดังกล่าวเกิดจากหัวฉีดสกปรกทำให้เข็มหัวฉีดปิดไม่สนิท น้ำมันเชื้อเพลิงเข้าในห้องเผาไหม้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น และไหลออกทางท่อน้ำมันไหลกลับ

เครื่องยนต์รหัส ET805 ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มดิบที่ใช้เดินเครื่องยนต์ถูกอุ่นด้วยก๊าซไอเสียเพื่อให้ไขสเตียรินหลอมละลาย โดยมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 70-80$^{0}$C เครื่องยนต์สามารถเดินได้เป็นปกติ แต่กรองน้ำมันเชื้อเพลิงต้องทำการเปลี่ยนทุกครั้งที่มีการหยุดเครื่องยนต์ เนื่องจากมีการอุดตันของไขสเตียริน เมื่อเดินเครื่องยนต์ถึงชั่วโมงที่ 290 เครื่องยนต์มีเสียงดังผิดปกติและหยุดลง จากการตรวจสอบพบว่า แหวนอัดลูกสูบ 1, 2 และ3 ติดอยู่ภายในร่องแหวนลูกสูบไม่สามารถให้ตัวได้

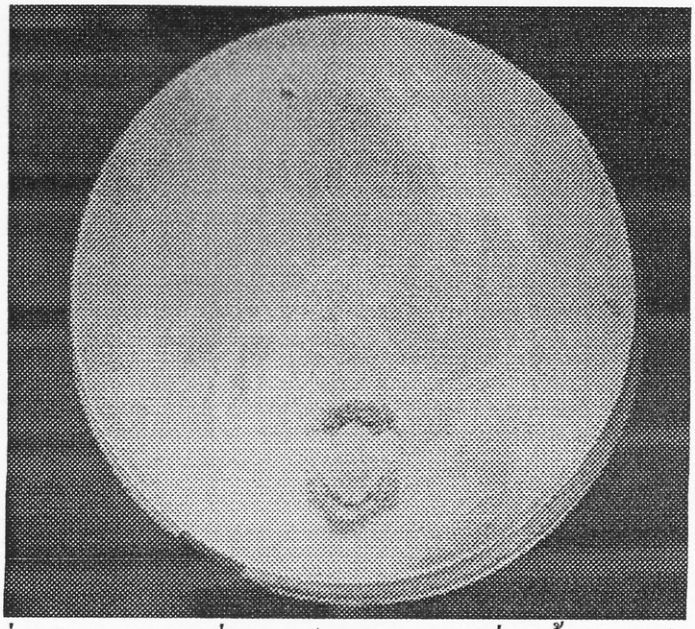
โดยมีเขม่ากากถ่านและยางเหนียวอัดตัวแน่นอยู่ระหว่างแหวนและร่องแหวนของลูกสูบ (รูปที่ 4.10) ทำให้แหวนอัดลูกสูบไม่สปริงตัวออกมาทำหน้าที่ในการรักษาแรงอัดภายในกระบอกสูบ ส่วนอุปกรณ์อื่นๆ ของเครื่องยนต์ไม่มีการชำรุดเสียหาย ทำการเปลี่ยนลูกสูบและแหวนลูกสูบใหม่ จากนั้นจึงได้ทดสอบใช้งานเครื่องยนต์ต่อ ในการทดสอบใช้งานในครั้งใหม่ เครื่องยนต์เดินได้เป็นปกติ เมื่อถึงชั่วโมงที่ 202 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ตกลง จึงได้ลดภาระของเครื่องยนต์ลงเพื่อให้ได้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 2,200 รอบต่อนาที แต่ครั้งนี้ไม่พบว่าน้ำมันไหลกลับจากหัวฉีดมีปริมาณเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด กำลังของเครื่องยนต์ลดลงตามเวลาการใช้งานที่เพิ่มขึ้น จนถึงชั่วโมงที่ 503 เครื่องยนต์ดับลง จากการถอดเครื่องยนต์พบว่าแหวนลูกสูบมีการสึกหรอสูงมาก (รูปที่ 4.8(ข)) และพบว่าลูกสูบด้านบนมีรอยสึกหรอเป็นหลุม บริเวณดังกล่าวตรงกับช่องทางออกของห้องเผาไหม้ล่วงหน้า ลักษณะของการสึกหรอคล้ายกับมีเศษวัสดุแข็งวิ่งเข้าชน (รูปที่ 4.11)

ตารางที่ 4.3 เวลาและพลังงานของเครื่องยนต์ในช่วง 500 ชั่วโมงแรก

| รายละเอียด | ET802 (น้ำมันดีเซล) | ET801 (ปาล์มโอเลอิน) | ET805 (ปาล์มดิบ) |
|---|---|---|---|
| เวลาในการเดิน(ชั่วโมง) | 500 | 503 | 503 |
| พลังงานที่ได้(กิโลวัตต์-ชั่วโมง) | 1549 | 1647 | 1178 |



รูปที่ 4.10 แหวนลูกสูบเครื่องยนต์รหัส ET805



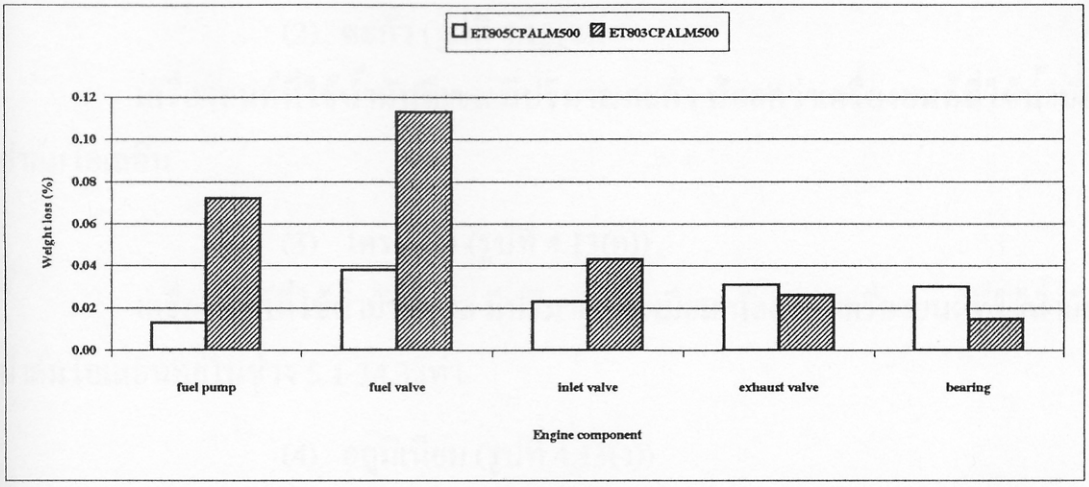
รูปที่ 4.11 ลูกสูบเครื่องยนต์รหัส ET805 ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ

ง. การสึกหรอของชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องยนต์รหัส ET803 ใช้น้ำมันปาล์มดิบหลังจากใช้งาน 500 ชั่วโมง

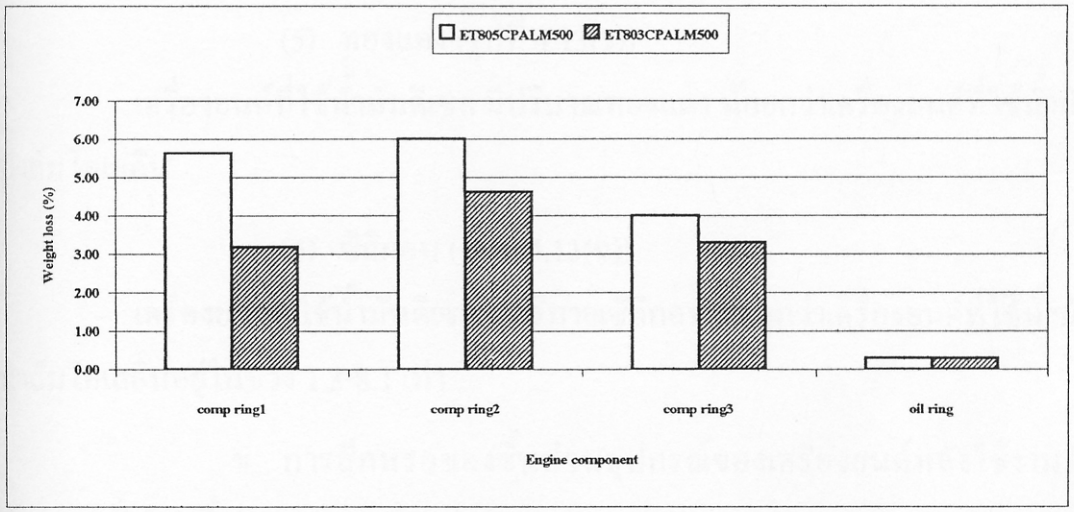
จากการทดสอบใช้งานเครื่องยนต์รหัส ET803 ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และเดินเครื่องยนต์แบบไม่ต่อเนื่อง โดยเดินเครื่องยนต์วันละ 10 ชั่วโมง ใช้น้ำมันดีเซลในตอนเริ่มต้นและก่อนหยุดเครื่องยนต์ช่วงประมาณละครึ่งชั่วโมง เปรียบเทียบการสึกหรอกับเครื่องยนต์รหัส ET805 ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ เดินเครื่องยนต์อย่างต่อเนื่อง ชั่วโมงการใช้งานของเครื่องยนต์ที่เดินด้วยน้ำมันปาล์มดิบใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4.4) พบว่าการสึกหรอของชิ้นส่วนอุปกรณ์ของเครื่องยนต์ทั้งสองเครื่อง ผลที่ได้ไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่อุปกรณ์ในกลุ่มแรก ได้แก่ ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงและลิ้นส่งน้ำมันเชื้อเพลิง ของเครื่องยนต์รหัส ET805 มีการสึกหรอน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 4.12(ก)) ส่วนอุปกรณ์ในกลุ่มที่สอง คือ แหวนลูกสูบ พบว่าเครื่องยนต์รหัส ET805 มีการสึกหรอที่สูงกว่าเล็กน้อย (รูปที่ 4.12(ข)

ตารางที่ 4.4 เวลาและพลังงานจากการใช้งานเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันปาล์มดิบ

| รายละเอียด | ET805 | ET803 |
|---|---|---|
| เวลาในการเดิน (ชั่วโมง) | 503 | 547 |
| พลังงานที่ได้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) | 1,178 | 1,903 |




รูปที่ 4.12(ก) น้ำหนักอุปกรณ์ที่ลดลงหลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงของเครื่องยนต์รหัส ET805 และ ET803




รูปที่ 4.12(ข) น้ำหนักแหวนที่ลดลงหลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงของเครื่องยนต์รหัส ET805 และ ET803

**4.3.2.2 การสึกหรอของเครื่องยนต์รหัส ET802 ใช้น้ำมันดีเซลและรหัส ET801 ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน หลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงที่สอง**

ก. ปริมาณโลหะที่ปนในน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งานทุก 100 ชั่วโมง

(1) เหล็ก (รูปที่ 4.13(ก))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีปริมาณเหล็ก น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน

(2) ตะกั่ว (รูปที่ 4.13(ข))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีปริมาณตะกั่ว น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน

(3) โครเมียม (รูปที่ 4.13(ค))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีปริมาณโครเมียม น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 5.1-34.3 เท่า

(4) อลูมิเนียม (รูปที่ 4.13(ง))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีปริมาณอลูมิเนียม น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน

(5) ทองแดง (รูปที่ 4.13(จ))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีปริมาณทองแดง น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน

(6) ซิลิกอน (รูปที่ 4.13(ฉ))

เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีปริมาณซิลิกอน น้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินอยู่ในช่วง 1.3-8.1 เท่า

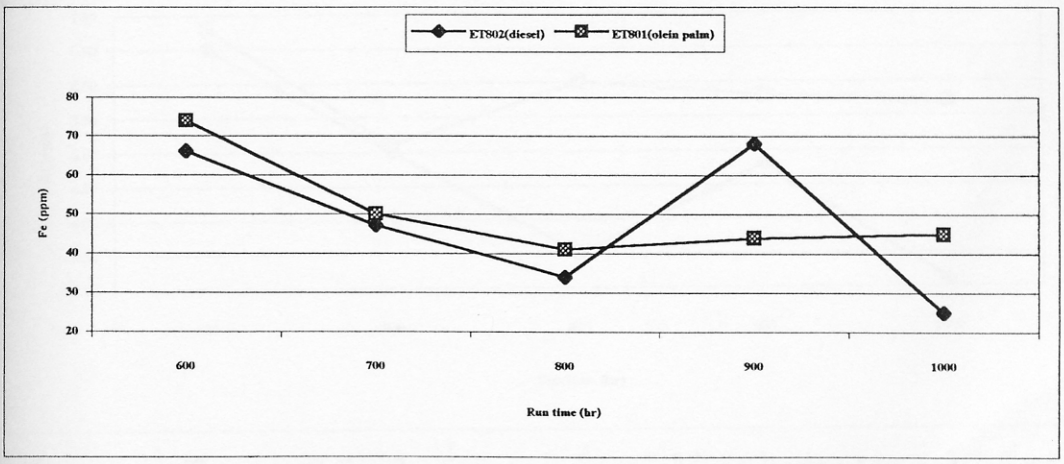
ข. การสึกหรอของชิ้นส่วนอุปกรณ์ของเครื่องยนต์หลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงที่สอง

การสึกหรอของชิ้นส่วนอุปกรณ์ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลที่อายุใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงที่สอง พบว่าสอดคล้องกับที่อายุใช้งาน 500 ชั่วโมงแรก แต่การสึกหรอของกลุ่มอุปกรณ์ ได้แก่ ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง, ลิ้นส่งน้ำมันเชื้อเพลิง, ลิ้นไอดี, ลิ้นไอเสีย และแบริงก้านสูบ (รูปที่ 4.14(ก)) จะมีการสึกหรอที่ลดลงมากในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินและเกือบจะไม่มีอุปกรณ์ใดสึกหรอเลยในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ยกเว้นลิ้นไอดี และยังพบว่าลิ้นไอดีของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีการสึกหรอมากกว่าลิ้นไอดีของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน ส่วนลิ้นไอเสียจะมีผลตรงกันข้าม ส่วนการสึกหรอของแหวนลูกสูบ (รูปที่ 4.14(ข)) มีความแตกต่างอย่างเป็นรูปแบบอย่างเห็นได้ชัด

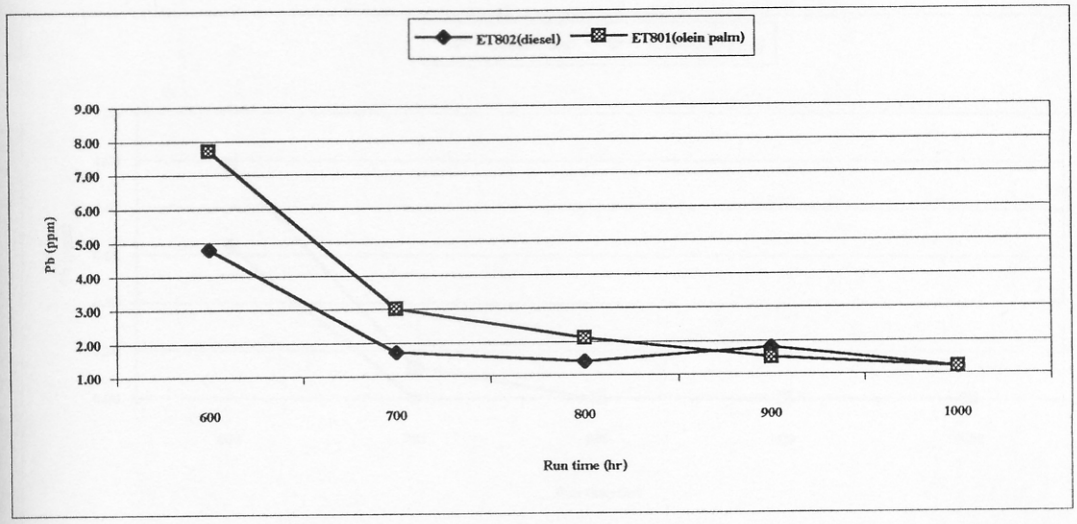
แหวนลูกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน มีการสึกหรอสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล สอดคล้องกับการทดสอบใน 500 ชั่วโมงแรก โดยที่การสึกหรอของแหวนอัดตัวที่ 1 และแหวนอัดตัวที่ 2, 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน มีค่ามากกว่าของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 3 และ 6 เท่า ตามลำดับ ส่วนการสึกหรอของแหวนน้ำมัน เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีการสึกหรอน้อยมาก ทำให้เมื่อเปรียบเทียบกับ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน มีการสึกหรอสูงมากประมาณ 11 เท่า

ค. การสึกหรอของชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องยนต์ หลังใช้งานในช่วง 1,000 ชั่วโมง

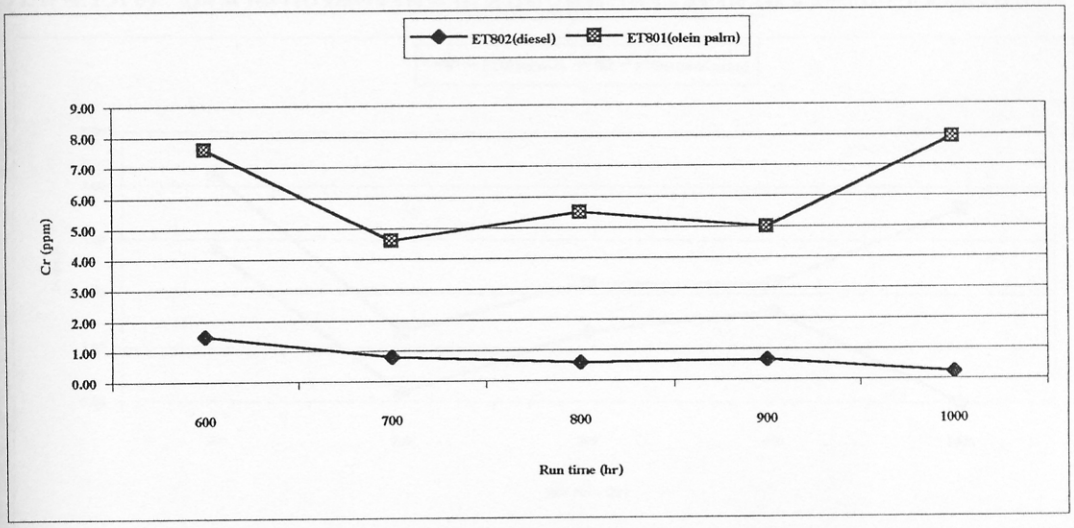
การสึกหรอของชิ้นส่วนอุปกรณ์ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน เปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหลังใช้งานในช่วง 1,000 ชั่วโมง เป็นผลรวมของการสึกหรอที่ได้จากการทดสอบเครื่องยนต์ในช่วง 500 ชั่วโมงแรกและ 500 ชั่วโมงที่สอง พบว่าอุปกรณ์ในกลุ่มแรก ได้แก่ ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง, ลิ้นส่งน้ำมันเชื้อเพลิง, ลิ้นไอดี, ลิ้นไอเสีย และแบริ่งก้านสูบ (รูปที่ 4.15(ก)) ไม่มีความแตกต่างของการสึกหรออย่างเป็นรูปแบบ ยกเว้นลิ้นไอดี และลิ้นไอเสีย แต่อุปกรณ์ในกลุ่มที่สอง คือ แหวนลูกสูบ (รูป 4.15(ข)) มีความแตกต่างอย่างเป็นรูปแบบอย่างชัดเจนทั้ง 4 ตัว โดยแหวนลูกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน มีการสึกหรอสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล การสึกหรอของแหวนอัดตัวที่ 1 และแหวนอัดตัวที่ 2, 3 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน มีค่ามากกว่าของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 4 และ 6 เท่า ตามลำดับ ส่วนการสึกหรอของแหวนน้ำมัน เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินสูงกว่า ประมาณ 3 เท่า



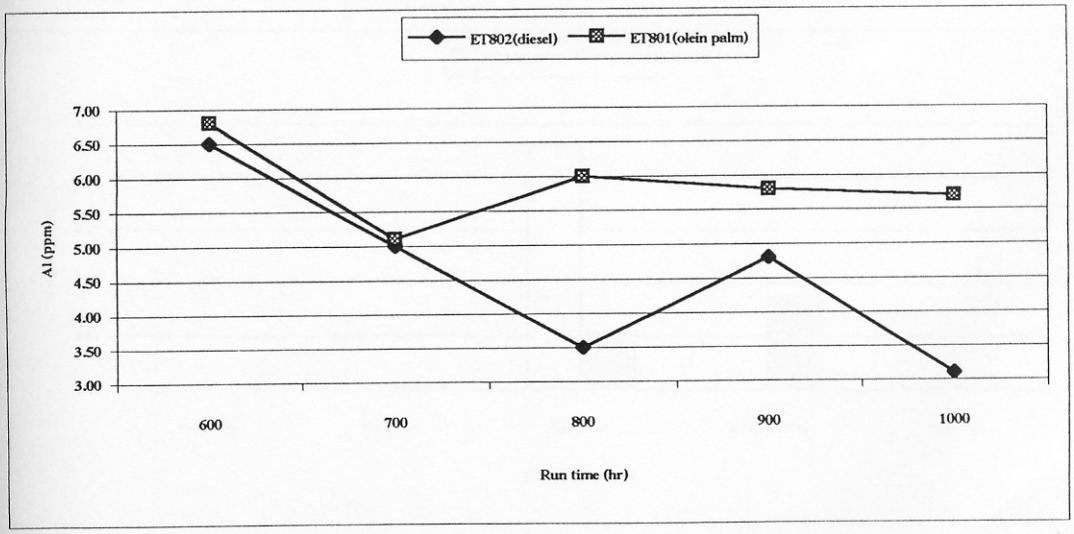

รูปที่ 4.13(ก) ปริมาณเหล็กในน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงที่สอง



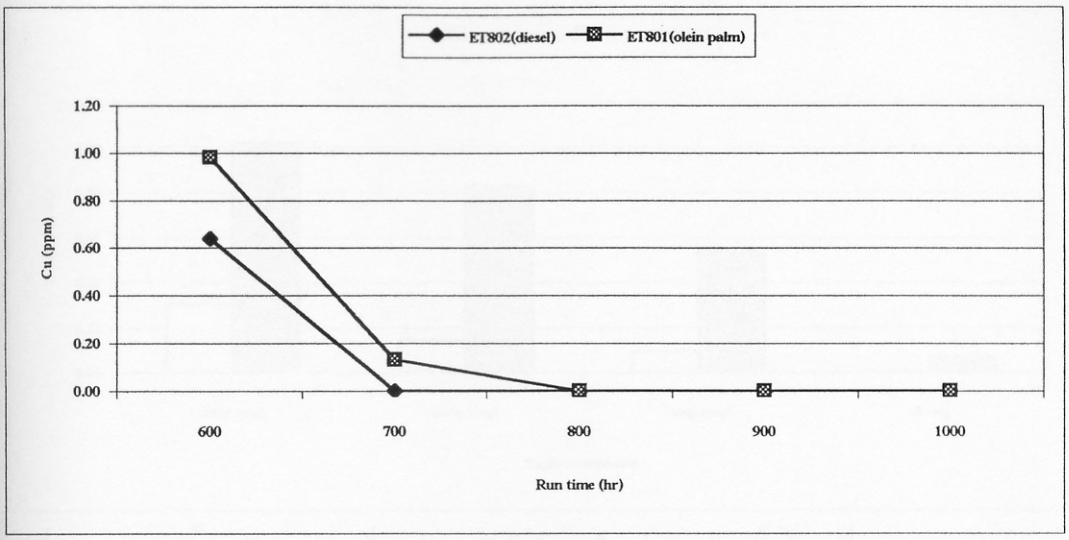

รูปที่ 4.13(ข) ปริมาณตะกั่วในน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงที่สอง



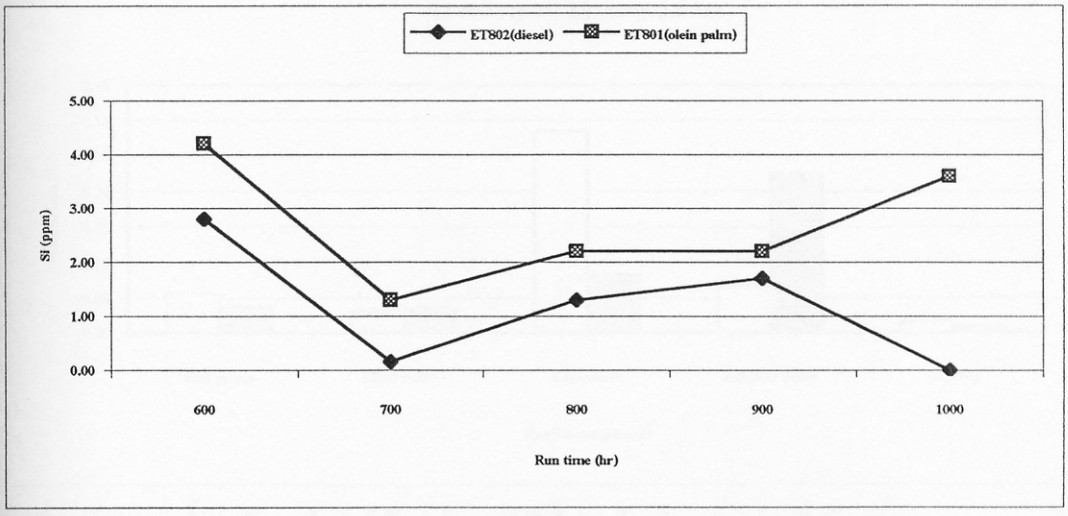

รูปที่ 4.13(ค) ปริมาณโครเมียมในน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงที่สอง



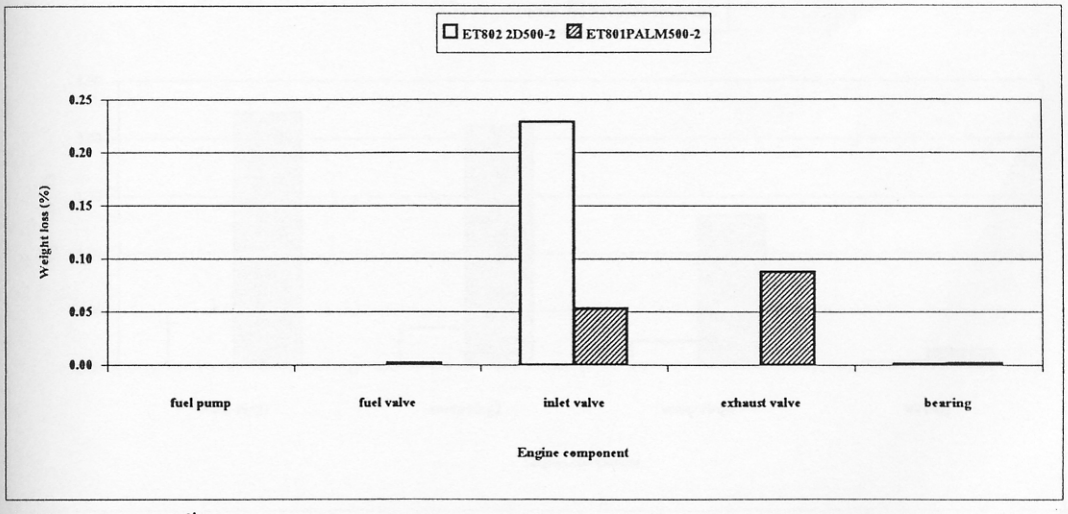

รูปที่ 4.13(ง) ปริมาณอลูมิเนียมในน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงที่สอง



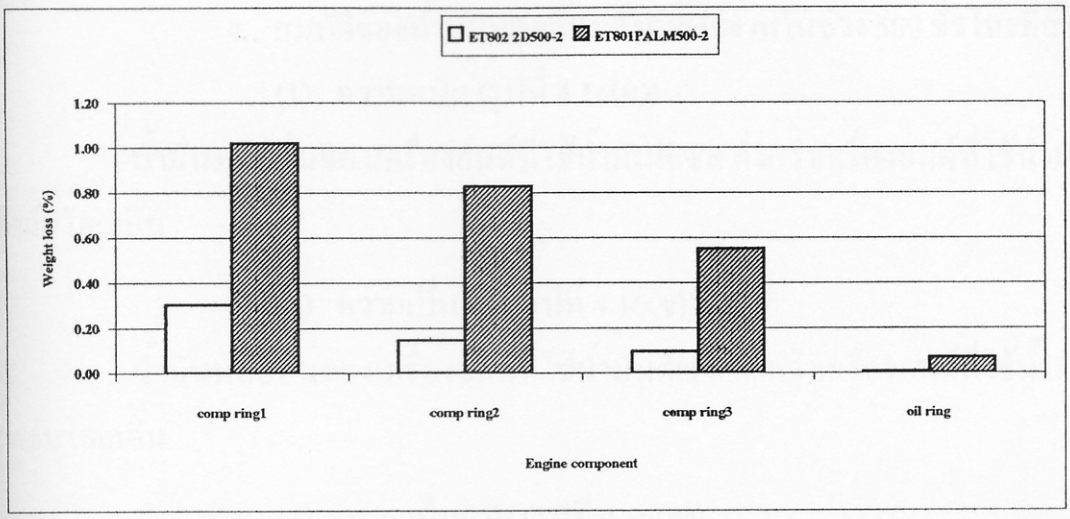

รูปที่ 4.13(จ) ปริมาณทองแดงในน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงที่สอง



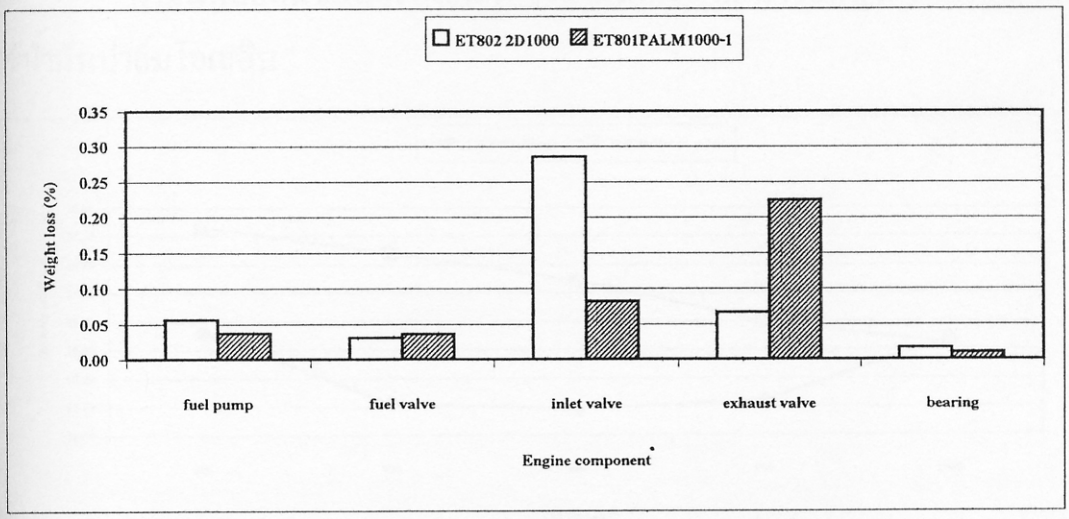

รูปที่ 4.13(ฉ) ปริมาณซิลิกอนในน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงที่สอง



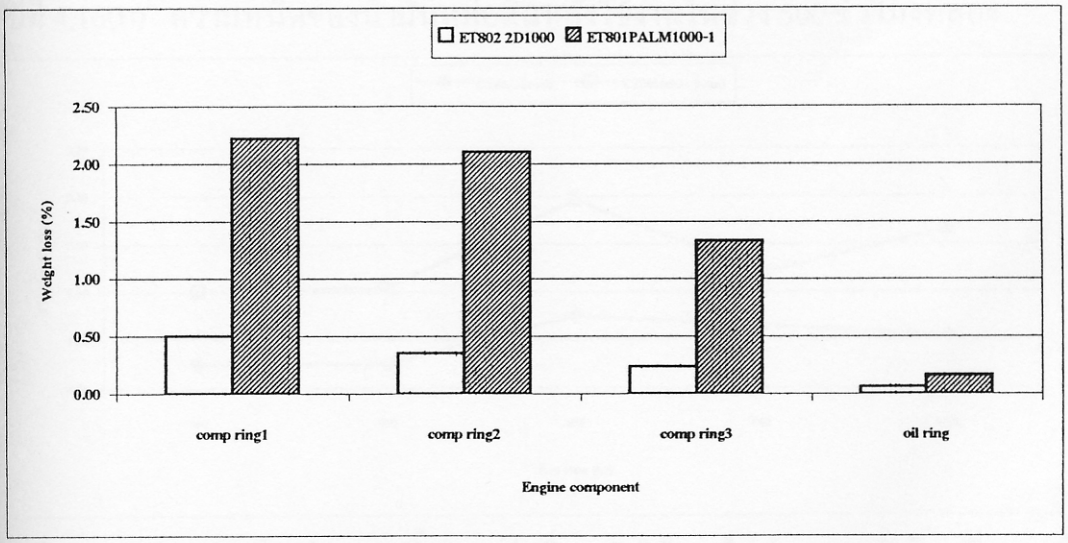

รูปที่ 4.14(ก) น้ำหนักอุปกรณ์ที่ลดลงหลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงที่สอง




รูปที่ 4.14(ข) น้ำหนักแหวนที่ลดลงหลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงที่สอง




รูปที่ 4.15(ก) น้ำหนักอุปกรณ์ที่ลดลงหลังใช้งานในช่วง 1,000 ชั่วโมง




รูปที่ 4.15(ข) น้ำหนักแหวนที่ลดลงหลังใช้งานในช่วง 1,000 ชั่วโมง

ง. สมบัติของน้ำมันหล่อลื่นหลังการใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงที่สอง

(1) ความหนืด (รูปที่ 4.16(ก))

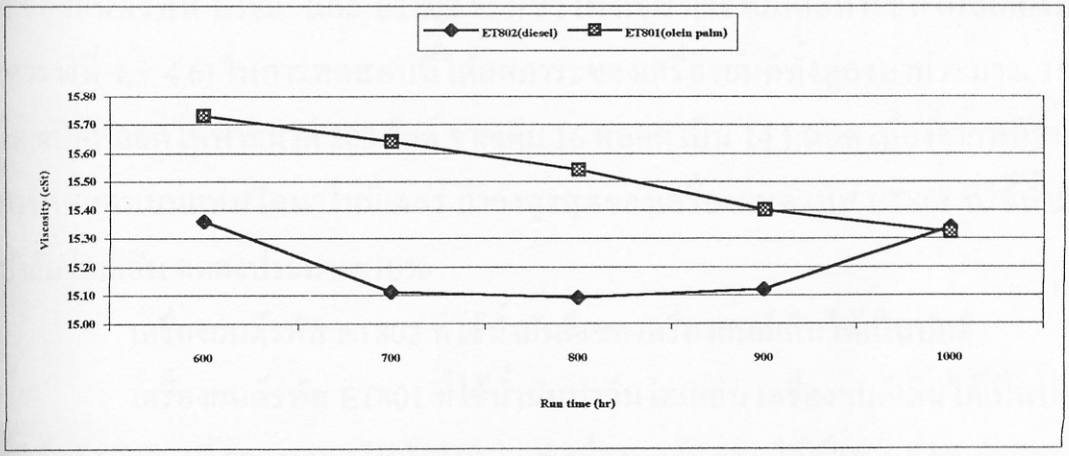
น้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน

(2) ความเป็นด่าง (รูปที่ 4.16(ข))

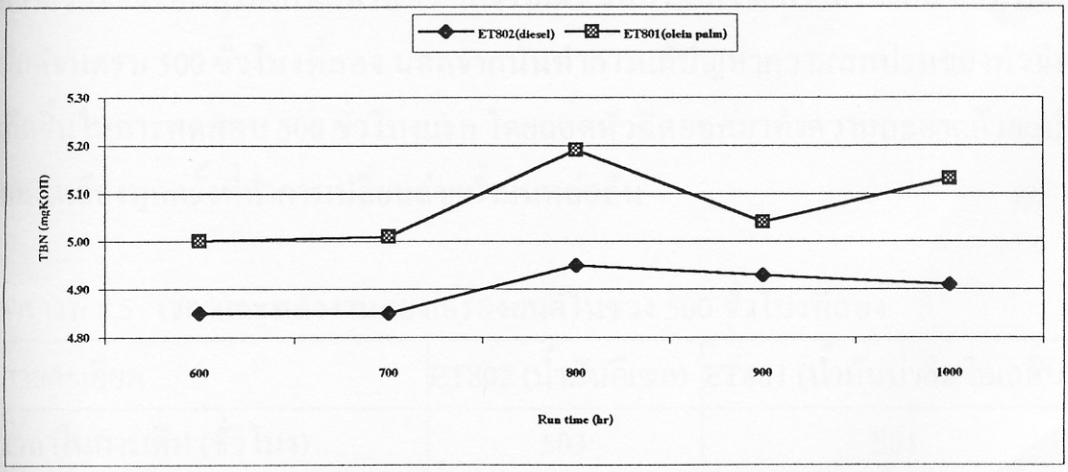
น้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน

(3) ความเป็นกรด (รูปที่ 4.16(ค))

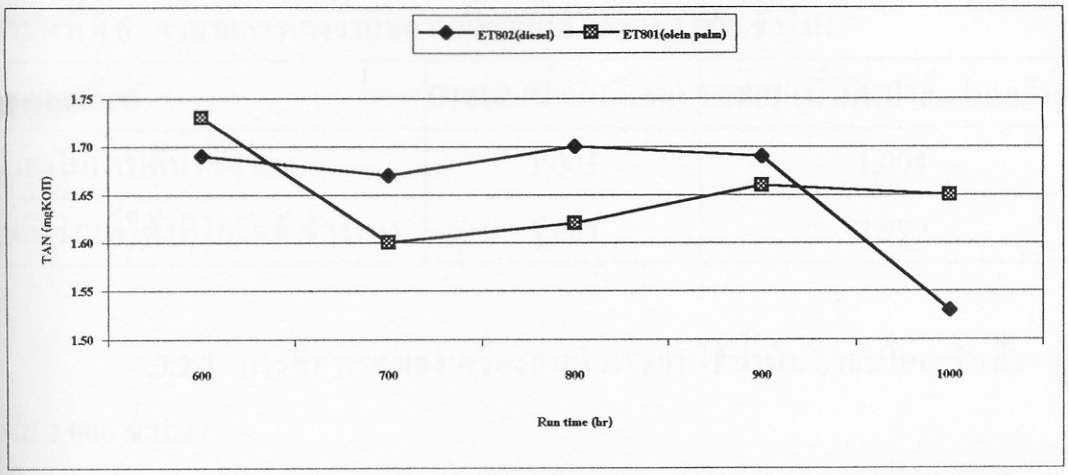
น้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีแนวโน้มสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน




รูปที่ 4.16(ก) ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงที่สอง




รูปที่ 4.16(ข) ความเป็นด่างของน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงที่สอง




รูปที่ 4.16(ค) ความเป็นกรดของน้ำมันหล่อลื่นหลังใช้งานในช่วง 500 ชั่วโมงที่สอง

**รายละเอียดเพิ่มเติม**

การทดสอบใช้งานเครื่องยนต์ในช่วง 500 ชั่วโมงที่สอง และผลรวมทั้งหมดเครื่องยนต์รหัส ET801 และ ET802 จะมีชั่วโมงการทำงานและภาระที่ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4.5, 4.6) ในการทดสอบนี้ได้ลดภาระของเครื่องยนต์ทั้งคู่ลงมาประมาณ 10% โดยเปิดหลอดไฟฟ้าขนาด 200 วัตต์ จากเดิม 16 หลอด เป็น 14 หลอด เนื่องจากพบว่าในการทดสอบบนแท่นไดนาโมมิเตอร์ กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์รหัส ET801 ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน ลดลงประมาณ 10%

เครื่องยนต์รหัส ET802 ที่ใช้น้ำมันดีเซล เครื่องยนต์เดินได้เป็นปกติ

เครื่องยนต์รหัส ET801 ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน เครื่องยนต์เดินได้เป็นปกติ แต่เมื่อถึงชั่วโมงที่ 878 หลอดไฟฟ้าดับลง แต่เครื่องยนต์ยังเดินได้เป็นปกติ พบว่าเกิดจากความขัดข้องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หลังจากดำเนินการแก้ไขแล้ว เครื่องยนต์เดินได้เป็นปกติจนครบ 500 ชั่วโมงที่สอง นอกจากนั้นทำการแก้ปัญหาความสกปรกของหัวฉีดที่เกิดขึ้นในการทดสอบ 500 ชั่วโมงแรก โดยถอดหัวฉีดออกมาทำความสะอาดด้วยแปรงทองเหลืองทุกครั้งที่ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น

ตารางที่ 4.5 เวลาและพลังงานของเครื่องยนต์ในช่วง 500 ชั่วโมงที่สอง

| รายละเอียด | ET802 (น้ำมันดีเซล) | ET801 (น้ำมันปาล์มโอเลอิน) |
|---|---|---|
| เวลาในการเดิน (ชั่วโมง) | 503 | 501 |
| พลังงานที่ได้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) | 1,455 | 1,352 |

ตารางที่ 4.6 เวลาและพลังงานของเครื่องยนต์ในช่วง 1,000 ชั่วโมง

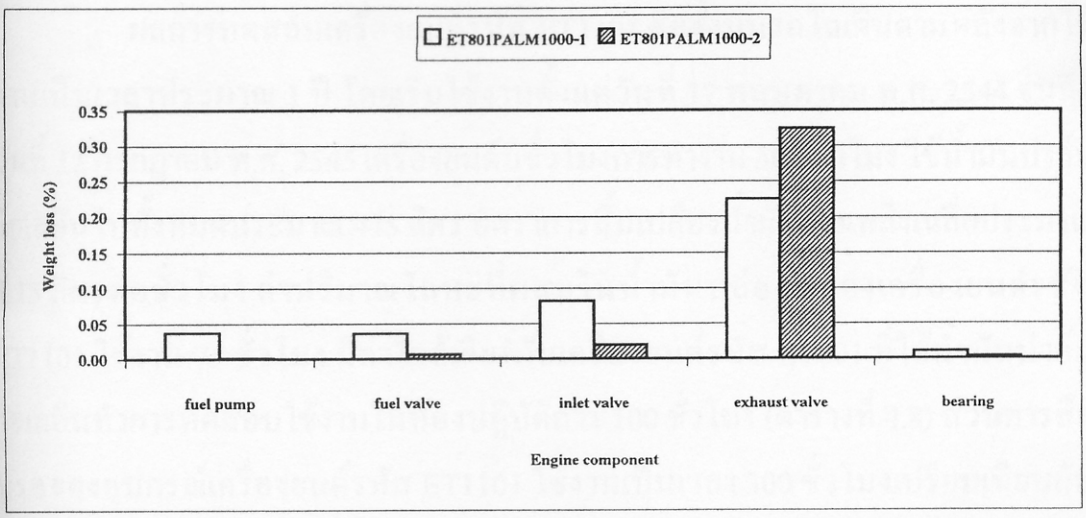
| รายละเอียด | ET802 (น้ำมันดีเซล) | ET801 (น้ำมันปาล์มโอเลอิน) |
|---|---|---|
| เวลาในการเดิน (ชั่วโมง) | 1,003 | 1,004 |
| พลังงานที่ได้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) | 3,004 | 2,999 |

**4.3.2.3 การสึกหรอของเครื่องยนต์ ET801 ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินที่อายุใช้งาน 2,000 ชั่วโมง**

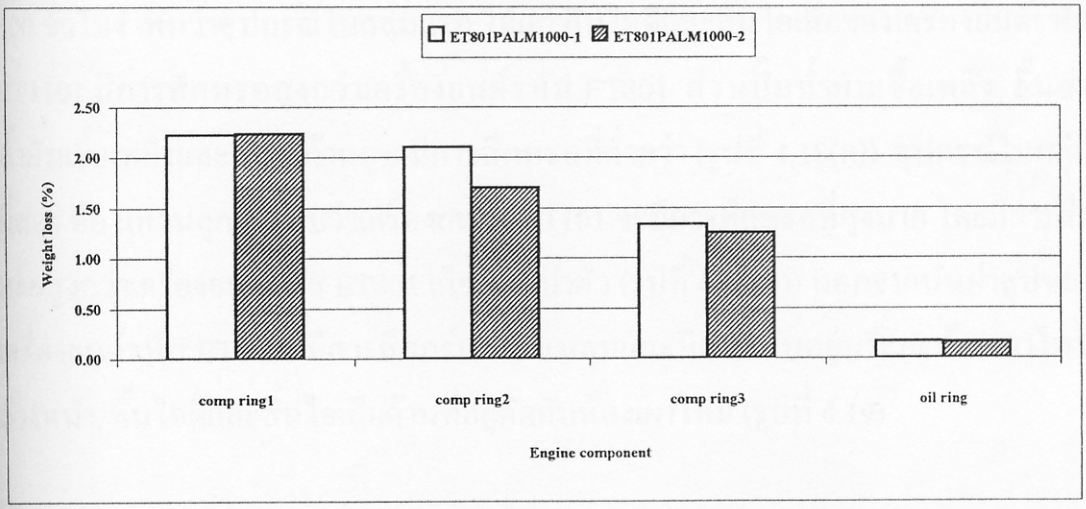
การทดสอบใช้งานเครื่องยนต์รหัส ET801 ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นเวลา 1,000 ชั่วโมงที่สอง เพื่อเปรียบเทียบผลของการสึกหรอของอุปกรณ์เครื่องยนต์กับ 1,000 ชั่วโมงแรก โดยใช้เวลาการเดินเครื่องและภาระที่ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4.7) พบว่าอุปกรณ์กลุ่มแรก ได้แก่ ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง, ลิ้นส่งน้ำมัน, ลิ้นไอดี และแบริงก้านสูบ (รูปที่ 4.17(ก)) มีการสึกหรอลดลง แต่ลิ้นไอเสียมีการสึกหรอเพิ่มขึ้น ส่วนอุปกรณ์กลุ่มที่สอง คือ แหวนลูกสูบ (รูปที่ 4.17(ข)) มีการสึกหรอที่ใกล้เคียงกันทั้งสองช่วงโดยที่ในช่วงหลังจะมีค่าที่น้อยกว่าเล็กน้อย นอกจากนั้นยังพบว่าในการทดสอบใช้งานในช่วง 1,000 ชั่วโมงที่สอง มีเขม่ากากถ่านและยางเหนียว เกาะบริเวณด้านบนของฝาสูบและในฝาครอบลิ้นเป็นจำนวนมาก เนื่องจากปลอกนำลิ้นไอเสียบนฝาสูบ มีการสึกหรอจนทำให้ก้านลิ้นไอเสียหลวมคลอนกับปลอกนำลิ้นไอเสีย ช่องว่างดังกล่าว จึงเป็นช่องทางที่เขม่ากากถ่านจากภายในกระบอกสูบแทรกขึ้นไปได้

ตารางที่ 4.7 เวลาและพลังงานของเครื่องยนต์ที่ 1,000 ชั่วโมงแรกและ1,000 ชั่วโมงที่สอง

| รายละเอียด | เครื่องยนต์รหัส ET801 ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน | |
|---|---|---|
| | 1,000 ชั่วโมงแรก | 1,000 ชั่วโมงที่สอง |
| เวลาในการใช้งาน (ชั่วโมง) | 1,004 | 1,003 |
| พลังงานที่ได้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) | 2,999 | 2,828 |




รูปที่4.17(ก)น้ำหนักอุปกรณ์ที่ลดลงหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมงแรกและ1,000 ชั่วโมงที่สอง




รูปที่ 4.17(ข) น้ำหนักแหวนที่ลดลงหลังใช้งาน 1,000 ชั่วโมงแรกและ1,000 ชั่วโมงที่สอง

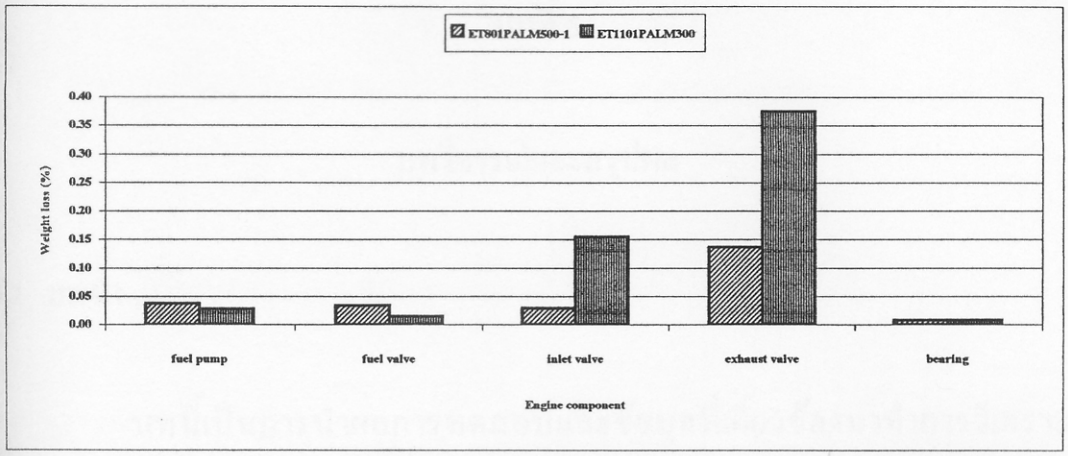
## 4.4 ผลการทดสอบเครื่องยนต์ในสภาพการใช้งานจริง

ผลการทดสอบเครื่องยนต์รหัส ET1101 และ ET1102 ในสภาพการใช้งานจริง ไม่พบว่ามีปัญหาในการใช้งานของเครื่องยนต์แต่อย่างใด แต่ภาระที่เครื่องยนต์ได้รับส่วนใหญ่ค่อนข้างต่ำมากโดยเฉพาะเครื่องยนต์รหัส ET1102 ติดตั้งบนรถอีแต๋น ส่งผลให้เครื่องยนต์ใช้งานด้วยความเร็วรอบที่ต่ำเกินกว่าที่อุปกรณ์บันทึกเวลาการทำงานของเครื่องยนต์จะบันทึกได้ จึงได้ติดตามผลเฉพาะปัญหาการใช้งาน จากการทดสอบใช้งานเป็นเวลาประมาณ 1 ปี เวลาการทำงานที่บันทึก ได้เพียง 60 ชั่วโมง

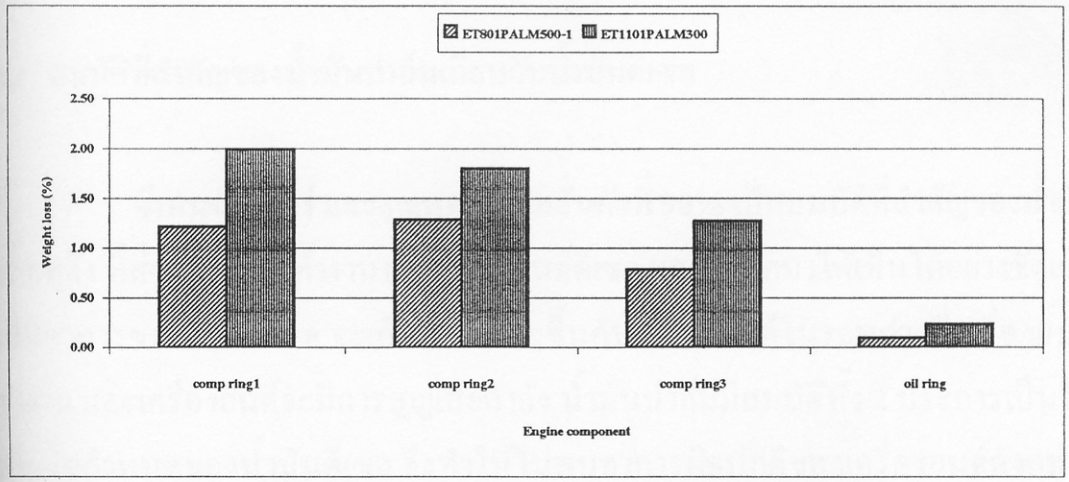
ผลการทดสอบเครื่องยนต์รหัส ET1101 ติดตั้งบนรถไถเดินตามหลังจากใช้งานเป็นเวลาประมาณ 1 ปี โดยเริ่มใช้งานตั้งแต่วันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2544 จนถึงวันที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2545 เครื่องยนต์มีชั่วโมงการทำงาน 300 ชั่วโมง ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินไปทั้งหมดประมาณ 445 ลิตร อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ยประมาณ 1.15 ลิตรต่อชั่วโมง ค่าปริมาณโลหะที่ผสมในน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์รหัส ET1101 ใช้งาน 75 ชั่วโมง มีค่าใกล้เคียงกับเครื่องยนต์รหัส ET801 ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินทำการทดสอบใช้งานในห้องปฏิบัติการ 100 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.8) ส่วนการสึกหรอของอุปกรณ์เครื่องยนต์รหัส ET1101 ใช้งานเป็นเวลา 300 ชั่วโมงเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์รหัส ET801 ที่ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินทำการทดสอบใช้งานในห้องปฏิบัติการ 500 ชั่วโมง พบว่าอุปกรณ์ในกลุ่มแรก ได้แก่ ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียของเครื่องยนต์รหัส ET1101 มีการสึกหรอสูงกว่าเครื่องยนต์รหัส ET801 ส่วนปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง, ลิ้นส่งน้ำมันเชื้อเพลิงและแบริงก้านสูบ มีการสึกหรอที่ต่ำกว่า (รูปที่ 4.18(ก)) อุปกรณ์ในกลุ่มที่สอง คือ แหวนลูกสูบ พบว่าเครื่องยนต์ ET1101 จะมีการสึกหรอที่สูงมาก โดยมีการสึกหรอสูงกว่าเครื่องยนต์รหัส ET801 เกือบ 2 เท่าตัว (รูปที่ 4.18(ข)) นอกจากนั้นฝาสูบของเครื่องยนต์รหัส ET1101 มีการสึกกร่อนเป็นหลุมและมีสนิมจับอยู่บริเวณห้องเผาไหม้ล่วงหน้า, ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียด้านที่อยู่ติดกับห้องเผาไหม้ (รูปที่ 4.19)

ตารางที่ 4.8 ปริมาณโลหะที่ปนในน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ที่ใช้งาน 100 และ 75 ชั่วโมง

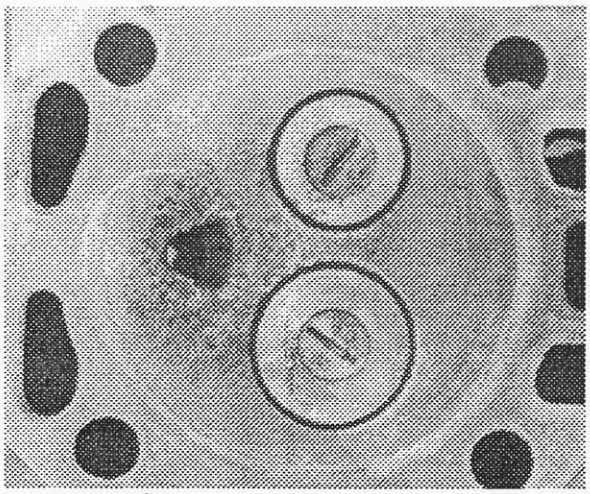
| รายการ | โลหะที่ปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น g/Kg | | | | | | TBN mg KOH/g | TAN mg KOH/g | ความหนืด cSt. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fe | Pb | Cr | Al | Cu | Si | | | |
| ET801 | 49 | 11 | 5.4 | 15 | 1.5 | 11 | 4.89 | 1.60 | 14.98 |
| ET1101 | 34 | 26 | 3.8 | 7.9 | 4.0 | 13 | 4.47 | 1.83 | 15.46 |




รูปที่ 4.18(ก) น้ำหนักอุปกรณ์ที่ลดลงหลังใช้งาน 500 และ300 ชั่วโมงของ ET801 และ ET1101




รูปที่ 4.18(ข) น้ำหนักแหวนที่ลดลงหลังใช้งาน 500 และ300 ชั่วโมงของ ET801 และ ET1101



รูปที่ 4.19 ฝาสูบเครื่องยนต์รหัส ET1101 หลังใช้งาน 300 ชั่วโมง