ผศ.อนุตร จำลองกุล ▶ คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

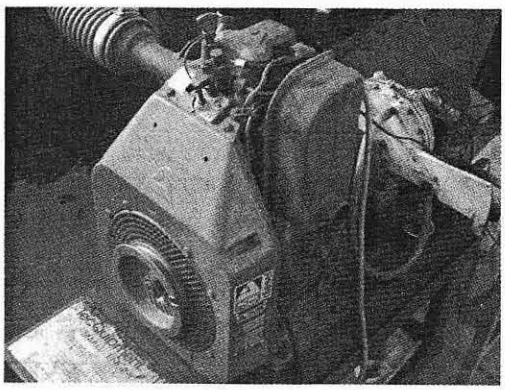
การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลเล็ก ที่ใช้น้ำมันมะพร้าวดีเซล

การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลเล็กโดยใช้น้ำมันมะพร้าวดีเซล มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาหาสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลเล็กและหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งใช้น้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันมะพร้าวในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ กัน

ผลจากการทดสอบพบว่า การใช้น้ำมันมะพร้าวดีเซลในอัตราส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าวที่สูงขึ้นจะทำให้การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพลดลง เนื่องจากค่าความหนืดที่สูงขึ้น และน้ำมันมะพร้าวมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซลนั่นเองและอัตราส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าวดีเซลที่เหมาะสม คือ 20: 80 โดยปริมาตร มีอุณหภูมิจุดวาบไฟและจุดติดไฟเท่ากับ 93 และ 101 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเท่ากับ 43,688.78 กิโลจูล/กิโลกรัม ค่าความข้นใสที่อุณหภูมิ 99 องศาเซลเซียส เท่ากับ 2.71 เซ็นติสโตก และค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.8433 จากการทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2,000 รอบต่อนาที จะได้ค่าแรงบิดเท่ากับ 10.8 นิวตัน-เมตร กำลังม้าเบรกเท่ากับ 2.26 กิโลวัตต์ และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 3,243 กรัม/กิโลวัตต์–ชั่วโมง จากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่าการใช้น้ำมันมะพร้าวดีเซลที่อัตราส่วนผสมดังกล่าว จะเสียค่าใช้จ่าย 94.11 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งแพงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 1.94 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง แต่การใช้น้ำมันมะพร้าวดีเซลที่อัตราส่วนผสมดังกล่าว จะประหยัดกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 0.60 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง เมื่อราคาน้ำมันดีเซลสูงถึงลิตรละ 28 บาท (น้ำมันดีเซลราคาลิตรละ 25.49 บาท และน้ำมันมะพร้าวราคาลิตรละ 20 บาท)

บทนำ

ปัญหาทางด้านพลังงานในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาเกี่ยวกับน้ำมันเชื้อเพลิงนับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญยิ่งของประเทศ เนื่องจากประเทศไทยผลิตน้ำมันดิบได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับ



ปริมาณที่ต้องการใช้ทั้งหมดภายในประเทศ ทำให้เราต้องขาดดุลทางการค้าเป็นอย่างมากเพื่อการสั่งซื้อน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศเข้ามาใช้ ประกอบกับวิกฤติการณ์ทางด้านน้ำมันในปัจจุบันนับวันจะรุนแรงมากขึ้น ในขณะเดียวกันอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงภายในประเทศนับวันจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ และราคาน้ำมันเชื้อเพลิงก็มีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นไปอีก

จากปัญหาดังกล่าวทำให้มีการศึกษาวิจัย เพื่อแสวงหาเชื้อเพลิงจากแหล่งทรัพยากรอื่น ๆ มาใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งนับวันจะมีราคาสูงขึ้นและหมดไปในที่สุด ปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยโดยการเน้นการนำเอาทรัพยากรเหลือใช้และมีราคาถูกมาใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิง อาทิ การนำเอาแอลกอฮอล์จากผลิตผลทางการเกษตรมาผสมในน้ำมันเชื้อเพลิงเบนซินหรือดีเซล, การนำเอาน้ำมันพืชมาใช้ผสมกับน้ำมันดีเซล หรือการใช้น้ำมันพืชเพียงอย่างเดียวเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล น้ำมันพืชดังกล่าวได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันละหุ่ง น้ำมันสบู่ดำ น้ำมันมะพร้าว เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การนำเอาน้ำมันพืชมาใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทดีเซล ให้มีความเหมาะสมและเกิดประโยชน์อย่างสูงสุดต่อไป

งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นศึกษาถึงการนำเอาน้ำมันมะพร้าวมาผสมกับน้ำมันดีเซล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลเล็กสูบเดียว และทำการทดสอบหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันดีเซลและน้ำมันมะพร้าวดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ กัน ตลอดจนศึกษาถึงสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลเล็กสูบเดียว เพื่อจะได้

อนุตร จำลองกุล. "การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลเล็กที่ใช้น้ำมันมะพร้าวดีเซล" INDUSTRIAL TECHNOLOGY REVIEW 12, 153 (ก.ค. 2549) 117-124

ข้อมูลทางด้านวิชาการเกี่ยวกับการนำเอาน้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันมะพร้าว มาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว ว่าจะมีความเหมาะสมเพียงใด

การทดสอบครั้งนี้ได้ทำการทดสอบที่ อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี

วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยที่ใช้คือ การทดสอบและรวบรวมข้อมูลในห้องปฏิบัติการ และนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าต่าง ๆ ที่ต้องการโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1.1 น้ำมันมะพร้าวดิบ และน้ำมันดีเซล

1.2 กระบอกตวง

1.3 เครื่องชั่งดิจิตอล

1.4 ชุดทดสอบหาจุดวาบไฟและจุดติดไฟแบบ Cleveland Open Cup ยี่ห้อ Koehler รุ่น K13800

1.5 ชุดทดสอบหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Bomb Calorimeter) ยี่ห้อ Sanyo

1.6 ชุดทดสอบหาความข้นใสแบบ Universal Saybolt Viscometer

1.7 TD 114 Instrumentation Unit

1.8 TD 115 Hydraulic Dynamometer

1.9 TD 111 เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ สูบเดียว 230 cc ขนาด 3.5 kW ยี่ห้อ Robin รุ่น Fuji- DY23 D

1.10 นาฬิกาจับเวลา

1.11 ชุดประแจ 1 ชุด

2. ขั้นตอนการทดสอบ

2.1 หาคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

1. จุดวาบไฟและจุดติดไฟ
2. ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง
3. ความข้นใสแบบเซย์โบลต์
4. ความถ่วงจำเพาะ

2.2 ทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์

1. สตาร์ทเครื่องยนต์และเร่งเครื่องยนต์ให้สุด แล้วบันทึกรอบสูงสุดของเครื่องยนต์

2. ปรับวาล์วบังคับน้ำให้ไหลเข้า Dynamometer จนกระทั่งอยู่ในตำแหน่งเปิดสุดแล้วทำการบันทึกรอบของเครื่องยนต์

3. จากข้อ 1 และ 2 จะได้ช่วงของความเร็วรอบที่จะทดสอบ

4. ปรับค่าอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าสู่ Dynamometer ให้มีค่าลดลงจนรอบของเครื่องยนต์คงที่ที่ค่าใดค่าหนึ่งแล้วบันทึกค่าแรงบิด อุณหภูมิของไอเสีย เวลาที่ใช้ในการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง และค่าความกดดันของอากาศที่ไหลเข้าสู่ท่อไอดี

5. ถ้าอุณหภูมิของน้ำที่ไหลออกจาก Dynamometer มีค่าสูงกว่า 80°C ให้เพิ่มปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่ Dynamometer ให้มากขึ้น

6. ทำการทดสอบซ้ำแบบเดิม แต่เปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิงจนครบทุกส่วนผสม

7. คำนวณหาค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- กำลังของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ
- อัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่าง ๆ
- อัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง
- อัตราการไหลของอากาศที่ความเร็วรอบต่าง ๆ
- อัตราส่วนระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศ

ผลการวิจัย

จากการทดสอบหาคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง ได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. จุดวาบไฟและจุดติดไฟ
2. ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง
3. ค่าความข้นใสของน้ำมันเชื้อเพลิง
4. ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเชื้อเพลิง

ผลการวิเคราะห์หาคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง ได้แสดงในตารางที่ 1 – 9

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบหาค่าจุดวาบไฟและจุดติดไฟ

ชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง	อุณหภูมิจุดวาบไฟ (°C)	อุณหภูมิจุดติดไฟ (°C)
ดีเซล 100 %	87	96
ดีเซล 90 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 10 %	91	100
ดีเซล 80 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 20 %	93	101
ดีเซล 70 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 30 %	98	109
ดีเซล 60 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 40 %	103	110
ดีเซล 50 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 50 %	106	119

จากตารางที่ 1 อุณหภูมิจุดวาบไฟและจุดติดไฟของน้ำมันดีเซล 100 % มีค่าเท่ากับ 87°C และ 96°C ตามลำดับ ซึ่งค่ามาตรฐานมีค่าเท่ากับ 75°C และ 85°C ตามลำดับ สาเหตุที่ทำให้ค่าจากการทดสอบมีค่าต่างจากค่ามาตรฐานเนื่องจาก การปนเปื้อนของสิ่ง

ต่าง ๆ ในน้ำมัน อันเนื่องมาจากภาชนะบรรจุไม่สะอาดเท่าที่ควร และน้ำมันดีเซลที่ใช้ถูกเก็บเป็นระยะเวลานานหลายวัน ผลจากการทดสอบพบว่าน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันมะพร้าวในทุก ๆ อัตราส่วนมีค่าจุดวาบไฟและจุดติดไฟเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณการเพิ่มของน้ำมันมะพร้าว นั่นคือน้ำมันมะพร้าวทำให้อุณหภูมิจุดวาบไฟและจุดติดไฟของน้ำมันดีเซลผสมเปลี่ยนไป

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบหาค่าความร้อน

ชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง	ค่าความร้อน, kJ/kg
น้ำมันดีเซล 100 %	45,751.78
น้ำมันมะพร้าว 100 %	40,739.98
ดีเซล 90 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 10 %	44,456.53
ดีเซล 80 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 20 %	43,688.78
ดีเซล 70 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 30 %	43,593.24
ดีเซล 60 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 40 %	43,484.17
ดีเซล 50 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 50 %	41,657.72

จากตารางที่ 2 ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลผสมน้ำมันมะพร้าว มีค่าลดลงตามอัตราส่วนผสมที่มากขึ้น นั่นคือน้ำมันมะพร้าวจะทำให้ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซลผสมมีค่าลดลงตามปริมาณส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าวที่มากขึ้น

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบหาค่าความข้นใส ที่อุณหภูมิ 37.7˚C

ชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง	ค่าความข้นใส, cst
น้ำมันดีเซล 100 %	3.94
ดีเซล 90 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 10 %	4.47
ดีเซล 80 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 20 %	5.72
ดีเซล 70 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 30 %	7.89
ดีเซล 60 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 40 %	9.19
ดีเซล 50 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 50 %	10.94

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดสอบหาค่าความข้นใส ที่อุณหภูมิ 54.4˚C

ชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง	ค่าความข้นใส, cst
น้ำมันดีเซล 100 %	3.17
ดีเซล 90 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 10 %	4.27
ดีเซล 80 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 20 %	3.98
ดีเซล 70 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 30 %	5.41
ดีเซล 60 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 40 %	5.89
ดีเซล 50 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 50 %	7.24

ตารางที่ 5 แสดงผลการทดสอบหาค่าความข้นใส ที่อุณหภูมิ 99.0˚C

ชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง	ค่าความข้นใส, cst
น้ำมันดีเซล 100 %	1.19
ดีเซล 90 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 10 %	1.87
ดีเซล 80 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 20 %	2.71
ดีเซล 70 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 30 %	2.30
ดีเซล 60 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 40 %	2.90
ดีเซล 50 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 50 %	2.73

จากตารางที่ 3–5 เป็นการทดสอบหาความข้นใสที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันคือ 37.7, 54.5 และ 99.0˚C ผลจากการทดสอบพบว่าที่อัตราส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าวมากขึ้น จะทำให้ความข้นใสหรือความหนืดของน้ำมันดีเซลผสมมีค่ามากขึ้นมากอัตราส่วนผสมที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 6 แสดงผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่น

ชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง	ความหนาแน่น, kg/m^3	ความถ่วงจำเพาะ
น้ำมันดีเซล 100 %	823.50	0.8262
ดีเซล 90 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 10 %	828.50	0.8312
ดีเซล 80 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 20 %	840.50	0.8433
ดีเซล 70 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 30 %	844.16	0.8470
ดีเซล 60 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 40 %	856.33	0.8592
ดีเซล 50 % ผสมน้ำมันมะพร้าว 50 %	862.44	0.8654

จากตารางที่ 6 ค่าความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะของน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันมะพร้าว จะมีค่าสูงขึ้นตามอัตราส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าวที่เพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 7 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซล 100% (ทดสอบไม่มีภาระ)

Engine Speed (rpm)	Torque (N-m)	Brake Power (kW)	Time for 8 ml (sec)	Fuel Flow Rate, mf (kg/h)	Fuel Consumption (g/kW-h)	Air Pressure (mm H_2O)	Air Flow Rate, ma (kg/h)	Air/Fuel Ratio	Exhaust Temp. (˚C)
2,000	-	-	2.77	8.59	-	15	16.5	1.92	105
2,500	-	-	4.05	5.87	-	21	22	3.74	120
3,000	-	-	4.15	5.73	-	23	24.5	4.27	150
3,500	-	-	4.26	5.58	-	31.5	36.5	6.54	200

ตารางที่ 8 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเล็กที่ใช้น้ำมันมะพร้าวดีเซล อัตราส่วน 10 : 90 (ทดสอบไม่มีภาระ)

Engine Speed (rpm)	Torque (N-m)	Brake Power (kW)	Time for 8 ml (sec)	Fuel Flow Rate, mf (kg/h)	Fuel Consumption (g/kW-h)	Air Pressure (mm H_2O)	Air Flow Rate, ma (kg/h)	Air/Fuel Ratio	Exhaust Temp. (˚C)
2,000	-	-	2.75	8.70	-	16	17.5	2.01	100
2,500	-	-	4.36	5.49	-	21	22	4.00	130
3,000	-	-	3.71	7.55	-	24	25.5	3.37	150
3,500	-	-	3.67	6.52	-	32	33.5	3.13	200

ตารางที่ 9 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเล็กที่ใช้น้ำมันมะพร้าวดีเซล อัตราส่วน 20 : 80 (ทดสอบไม่มีภาระ)

Engine Speed (rpm)	Torque (N-m)	Brake Power (kW)	Time for 8 ml (sec)	Fuel Flow Rate, mf (kg/h)	Fuel Consumption (g/kW-h)	Air Pressure (mm H_2O)	Air Flow Rate, ma (kg/h)	Air/Fuel Ratio	Exhaust Temp. (°C)
2,000	-	-	3.52	6.89	-	15	16.5	2.39	100
2,500	-	-	5.04	4.81	-	21	22	4.57	120
3,000	-	-	4.60	5.27	-	23	24.5	4.64	150
3,500	-	-	4.37	5.55	-	32	33.5	6.03	190

ตารางที่10 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเล็กที่ใช้น้ำมันมะพร้าวดีเซล อัตราส่วน 30 : 70 (ทดสอบไม่มีภาระ)

Engine Speed (rpm)	Torque (N-m)	Brake Power (kW)	Time for 8 ml (sec)	Fuel Flow Rate, mf (kg/h)	Fuel Consumption (g/kW-h)	Air Pressure (mm H_2O)	Air Flow Rate, ma (kg/h)	Air / Fuel Ratio	Exhaust Temp. (°C)
2,000	-	-	2.66	9.17	-	15	16.5	1.79	100
2,500	-	-	3.25	7.50	-	20	21.5	2.89	120
3,000	-	-	3.24	7.52	-	24	25.5	3.51	150
3,500	-	-	3.22	7.57	-	31	32.5	4.29	200

ตารางที่ 11 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเล็กที่ใช้น้ำมันมะพร้าวดีเซล อัตราส่วน 40 : 60 (ทดสอบไม่มีภาระ)

Engine Speed (rpm)	Torque (N-m)	Brake Power (kW)	Time for 8 ml (sec)	Fuel Flow Rate, mf (kg/h)	Fuel Consumption (g/kW-h)	Air Pressure (mm H_2O)	Air Flow Rate, ma (kg/h)	Air/Fuel Ratio	Exhaust Temp. (°C)
2,000	-	-	2.85	8.68	-	15	16.5	1.90	100
2,500	-	-	3.96	6.24	-	16	17.5	2.80	130
3,000	-	-	3.56	6.95	-	24	25.5	3.66	150
3,500	-	-	3.46	7.15	-	32	33.5	4.68	200

ตารางที่ 12 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเล็กที่ใช้น้ำมันมะพร้าวดีเซล อัตราส่วน 50 : 50 (ทดสอบไม่มีภาระ)

Engine Speed (rpm)	Torque (N-m)	Brake Power (kW)	Time for 8 ml (sec)	Fuel Flow Rate, mf (kg/h)	Fuel Consumption (g/kW-h)	Air Pressure (mm H_2O)	Air Flow Rate, ma (kg/h)	Air / Fuel Ratio	Exhaust Temp. (°C)
2,000	-	-	2.74	9.09	-	16	17.5	1.92	100
2,500	-	-	3.91	6.37	-	22	23.5	3.68	130
3,000	-	-	3.83	6.50	-	25	27.5	4.23	150
3,500	-	-	4.14	6.02	-	31	32.5	5.39	200

ตารางที่ 13 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซล 100 % (ทดสอบมีภาระ)

Engine Speed (rpm)	Torque (N- m)	Brake Power (kW)	Time for 8 ml (sec)	Fuel Flow Rate, mf (kg/h)	Fuel Consumption (g/kW-h)	Air Pressure (mm H_2O)	Air Flow Rate, ma (kg/h)	Air/Fuel Ratio	Exhaust Temp. (°C)
2,000	11	2.30	3.47	6.85	2,978	18.5	20	2.91	330
2,500	10.5	2.74	4.09	5.81	2,120	20	21.5	3.70	350
3,000	11	3.45	4.09	5.81	1,684	24	25.5	4.38	370
3,500	10.5	3.84	4.17	5.70	1,484	31.5	36.5	6.40	380

ตารางที่ 14 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเล็กที่ใช้น้ำมันมะพร้าวดีเซล อัตราส่วน 10 : 90 (ทดสอบมีภาระ)

Engine Speed (rpm)	Torque (N-m)	Brake Power (kW)	Time for 8 ml (sec)	Fuel Flow Rate, mf (kg/h)	Fuel Consumption (g/kW-h)	Air Pressure (mm H_2O)	Air Flow Rate, ma (kg/h)	Air / Fuel Ratio	Exhaust Temp. (°C)
2,000	10.5	2.19	2.16	11.08	5,059	14	15.5	1.39	300
2,500	10	2.61	2.53	9.47	3,928	21	22	2.32	310
3,000	10.2	3.20	2.59	9.35	2,921	24	25.5	2.72	350
3,500	10	3.66	2.34	10.23	2,795	31	32.5	3.17	400

ตารางที่ 15 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเล็กที่ใช้น้ำมันมะพร้าวดีเซล อัตราส่วน 20 : 80 (ทดสอบมีภาระ)

Engine Speed (rpm)	Torque (N-m)	Brake Power (kW)	Time for 8 ml (sec)	Fuel Flow Rate, mf (kg/h)	Fuel Consumption (g/kW-h)	Air Pressure (mm H_2O)	Air Flow Rate, ma (kg/h)	Air / Fuel Ratio	Exhaust Temp. (°C)
2,000	10.8	2.26	3.31	7.33	3,243	15	16.5	2.25	310
2,500	10	2.61	3.88	6.25	2,394	22	23.5	3.76	300
3,000	10	3.14	3.72	6.52	2,076	24	25.5	3.91	350
3,500	10	3.66	3.57	6.80	1,857	32	35.5	5.22	410

ตารางที่ 16 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเล็กที่ใช้น้ำมันมะพร้าวดีเซล อัตราส่วน 30 : 70 (ทดสอบมีภาระ)

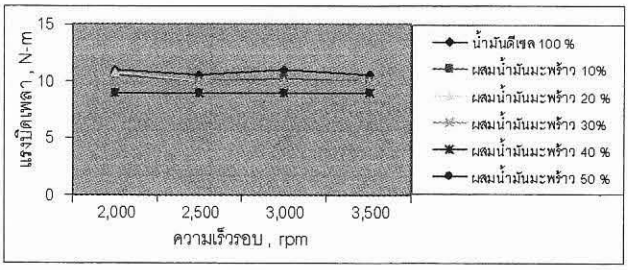
Engine Speed (rpm)	Torque (N-m)	Brake Power (kW)	Time for 8 ml (sec)	Fuel Flow Rate, mf (kg/h)	Fuel Consumption (g/kW-h)	Air Pressure (mm H_2O)	Air Flow Rate, ma (kg/h)	Air/Fuel Ratio	Exhaust Temp. (°C)
2,000	9.8	2.05	2.33	10.46	5,102	15	16.5	1.57	300
2,500	9.8	2.56	2.83	8.61	3,363	20	21.5	2.49	300
3,000	9.8	3.07	2.86	8.56	2,775	25	27.5	3.22	350
3,500	9.8	3.59	3.72	6.55	1,824	32	33.5	5.11	400

ตารางที่ 17 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเล็กที่ใช้น้ำมันมะพร้าวดีเซล อัตราส่วน 40 : 60 (ทดสอบมีภาระ)

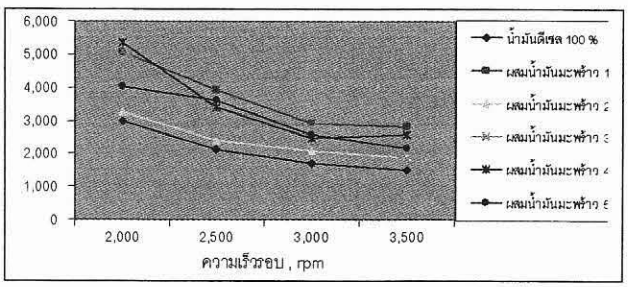
Engine Speed (rpm)	Torque (N-m)	Brake Power (kW)	Time for 8 ml (sec)	Fuel Flow Rate, mf (kg/h)	Fuel Consumption (g/kW-h)	Air Pressure (mm H_2O)	Air Flow Rate, ma (kg/h)	Air/Fuel Ratio	Exhaust Temp. (°C)
2,000	9	1.88	2.47	10.01	5,324	16	17.5	1.74	300
2,500	9	2.35	3.10	7.98	3,395	19	20.5	2.56	300
3,000	9	2.82	3.58	6.91	2,450	24	25.5	3.69	350
3,500	9	3.29	2.93	8.44	2,565	31	32.5	3.85	400

ตารางที่ 18 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเล็กที่ใช้น้ำมันมะพร้าวดีเซล อัตราส่วน 50 : 50 (ทดสอบมีภาระ)

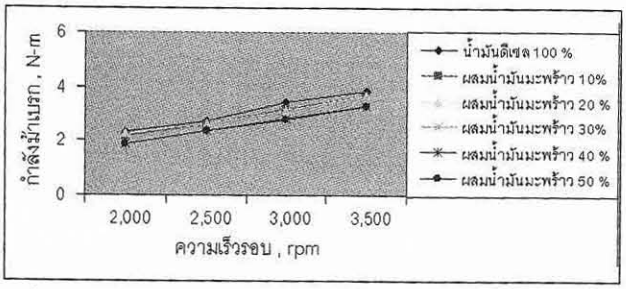
Engine Speed (rpm)	Torque (N-m)	Brake Power (kW)	Time for 8 ml (sec)	Fuel Flow Rate, mf (kg/h)	Fuel Consumption (g/kW-h)	Air Pressure (mm H_2O)	Air Flow Rate, ma (kg/h)	Air/Fuel Ratio	Exhaust Temp. (°C)
2,000	8.9	1.86	3.32	7.50	4,032	16	17.5	2.33	300
2,500	9	2.35	2.95	8.44	3,591	20	21.5	2.54	310
3,000	8.9	2.79	3.48	7.16	2,566	25	27.5	3.84	350
3,500	9	3.29	3.51	7.10	2,158	32	33.5	4.17	400



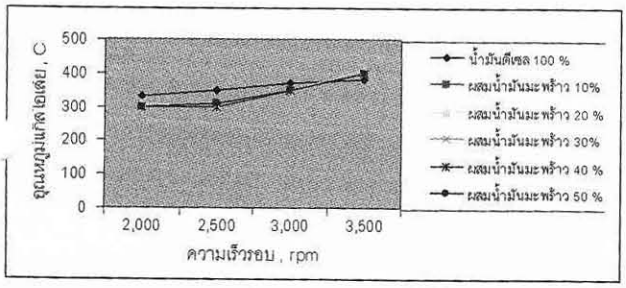
รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิดเพลา ที่อัตราส่วนผสมน้ำมันเชื้อเพลิงต่าง ๆ (ทดสอบมีภาระ)



รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ที่อัตราส่วนผสมน้ำมันเชื้อเพลิงต่าง ๆ (ทดสอบมีภาระ)



รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังม้าเบรกที่อัตราส่วนผสมน้ำมันเชื้อเพลิงต่าง ๆ (ทดสอบมีภาระ)



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอุณหภูมิแก๊สไอเสียที่อัตราส่วนผสมน้ำมันเชื้อเพลิงต่าง ๆ (ทดสอบมีภาระ)

วิจารณ์/อภิปรายผล

จากการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ได้ผลดังตารางที่ 7-18 ในการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเล็กเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าแรงบิดเพลา กำลังงานที่ใช้ในการขับเพลา และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง โดยทำการทดสอบเครื่องยนต์ขณะมีภาระและไม่มีภาระ จากการทดสอบกรณีใช้น้ำมันดีเซล 100 % ที่ความเร็วรอบ 2,000 มีภาระพบว่าจะให้แรงบิดเพลาและกำลังงานที่ใช้ในการขับเพลาสูงกว่าการใช้น้ำมันมะพร้าวผสมที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ คือให้ค่าแรงบิดเพลา 11 N-m และกำลังงานที่ใช้ในการขับเพลา 2.30 kW ตามลำดับ เนื่องจากว่าน้ำมันดีเซล 100 % มีค่าความร้อนสูงกว่าน้ำมันมะพร้าวนั่นเอง

สรุปผลการวิจัย

เมื่อนำเอาน้ำมันดีเซลมาผสมกับน้ำมันมะพร้าวที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ พบว่าที่อัตราส่วนผสม 20 : 80 จะมีความเหมาะสมที่สุด เช่นที่ความเร็วรอบ 2,000 จะให้ค่าแรงบิดเพลา 10.8 N-m และกำลังงานที่ใช้ในการขับเพลา 2.26 kW

เมื่อพิจารณาถึงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ความเร็วรอบ 2,000 กรณีใช้น้ำมันดีเซล 100% มีค่าเท่ากับ 2,978 g/kW-h คิดเป็นราคาน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 92.17 บาท/kW-h และกรณีใช้น้ำมันมะพร้าวดีเซลที่อัตราส่วนผสม 20 : 80 มีค่าเท่ากับ 3,243 g/kW-h คิดเป็นราคาน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 94.11 บาท/kW-h นั่นคือการใช้น้ำมันมะพร้าวดีเซลที่อัตราส่วนผสม 20 : 80 จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูงกว่า 1.94 บาท/kW-h แต่ถ้าในอนาคตราคาน้ำมันดีเซลสูงถึง 28 บาท/ลิตร จึงจะทำให้การใช้น้ำมันมะพร้าวดีเซลที่อัตราส่วนผสมดังกล่าว ประหยัดกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 0.60 บาท/kW-h (น้ำมันดีเซลราคาลิตรละ 25.49 บาท และน้ำมันมะพร้าวราคาลิตรละ 20 บาท)

จากการทดสอบ เห็นได้ว่าการนำน้ำมันมะพร้าวมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลมีความเหมาะสมและมีความเป็นไปได้ แต่จะมีข้อจำกัดเกี่ยวกับคุณสมบัติทางด้านความข้นใสถ้าได้มีการศึกษาถึงการนำเอาสารเติมแต่ง มาผสมในน้ำมันมะพร้าวเพื่อทำให้น้ำมันมะพร้าวดีเซลมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการเผาไหม้ ก็จะทำให้น้ำมันมะพร้าวดีเซลมีความเหมาะสมที่จะเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลต่อไป

บรรณานุกรม

- นอ.ดร.สมัย ใจอินทร์ รน. และคณะ. 2544. รายงานพิเศษ. นิตยสารโลกพลังงาน. กรุงเทพ ฯ.
- วีระ สุคันธรัต. 2544. เอกสารการใช้น้ำมันปาล์มในเครื่องยนต์ดีเซล. กรุงเทพ ฯ.
- วีระ สุคันธรัต. 2544. เอกสารสมาคมปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์มแห่งประเทศไทย. กรุงเทพ ฯ.
- อำพน เสนาณรงค์. 2544. พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวกับการพัฒนาน้ำมันดีเซลจากน้ำมันปาล์ม. วารสารนนทรี ปีที่ 48.
- Fact Sheet: Biodiesel Fuel. 2002. [Online]. Available: http://www.hawaii.gov/dbedt/ert/activitybook/fs-biodiesel.html
- Biodiesel.org – Interest. 2002. [Online]. Available:http://www.biodiesel.org/markets/gen/default.asp
- Biofuels–Biofuels and the Environment. 2002. [Online]. Available:http://www.ott.doe.gov/Biofuels/environment.html
- Veggie Van, Biodiesel, and Vegetable Oil Fuel. 2002. [Online]. Available:http://www.Veggievan.org/biodiesel/green.html

ภาคผนวก

● ภาคผนวก ก รายละเอียดการทดสอบหาสมรรถนะเครื่องยนต์

ชุดทดสอบหาสมรรถนะเครื่องยนต์เล็กยี่ห้อ Tecquipment เป็นชุดทดสอบที่ใช้น้ำเป็นภาระในการต้านทานการหมุนของเครื่องยนต์ เพื่อที่จะหาค่า แรงบิด และกำลังงานของเครื่องยนต์ และชุดทดสอบนี้ยังสามารถหาค่าอื่น ๆ ได้อีกด้วย อาทิ ค่าความสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ อุณหภูมิของไอเสีย อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศ การไหลของอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และรอบการหมุนของเครื่องยนต์ โดยมีส่วนประกอบดังรูปผนวกที่ 1 – 4

การหาสมรรถนะของเครื่องยนต์

1. **กำลังงานของเครื่องยนต์** (Brake Power, P_B)

$$P_B = \frac{2\pi TN}{60,000}, kW \quad \text{..... (1)}$$

เมื่อ N = ความเร็วรอบของเครื่องยนต์, rpm

T = แรงบิดของเครื่องยนต์, N-m

2. **อัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง** (Mass Flow of Fuel, mf)

$$mf = \frac{Sgf \times 8 \times 10^{-3} \times 3,600}{t}, kg/h \quad \text{..... (2)}$$

เมื่อ Sgf = ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเชื้อเพลิง

t = เวลาที่ได้จากการวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ความจุ 18 ml, s

3. **อัตราการสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิง** (Specific Fuel Consumption, SFC)

$$SFC = \frac{mf \times 10^3}{P_B}, g/kW-h \quad \text{..... (3)}$$

เมื่อ P_B = กำลังงานของเครื่องยนต์, kW

4. **อัตราการไหลของอากาศ** (Mass Flow of Air, ma)

อัตราการไหลของอากาศได้จากการอ่านค่าจากมาโนมิเตอร์ แล้วนำไปหาค่า ma จากกราฟในภาคผนวก ง

5. **อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิง** (Air/Fuel Ratio, R)

$$R = \frac{ma}{mf}, kg/h \quad \text{..... (4)}$$

● ภาคผนวก ข คุณสมบัติของเชื้อเพลิง

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงหมายถึง ปริมาณความร้อนที่ต้องถ่ายเทออกจากเชื้อเพลิงอันเนื่องมาจากการสันดาปที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในระบบ โดยปกติการสันดาปของเชื้อเพลิงจำพวกสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เมื่อสันดาปในบรรยากาศของออกซิเจนผลของการสันดาปจะได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งอยู่ในสถานะของไอน้ำ ถ้าไอน้ำสามารถกลั่นตัวแล้วคายความร้อนแฝงออกมา ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ได้จะเป็นค่าความร้อนสูงสุด แต่ถ้าไอน้ำไม่กลั่นตัว ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจะเป็นค่าความร้อนต่ำ การหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงสามารถหาได้โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า บอมบ์แคลอริมิเตอร์ โดยการนำเอาเชื้อเพลิงที่จะทำการทดสอบไปชั่งน้ำหนักแล้วนำมาเผาไหม้กับออกซิเจนบริสุทธิ์ภายใต้ความกดดัน ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้จะถ่ายเทให้กับน้ำหล่อเย็นที่อยู่รอบ ๆ ตัวบอมบ์แคลอริมิเตอร์ ซึ่งจะสามารถวัดค่าอุณหภูมิของน้ำได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ และปริมาณความร้อนสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 5

$$Q = mc\Delta T \quad \text{..... (5)}$$

เมื่อ Q = ปริมาณความร้อน

m = มวลของน้ำในบอมบ์แคลอริมิเตอร์

c = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ

ΔT = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

ปริมาณความร้อนที่คำนวณได้จากสมการที่ 5 ยังไม่ใช่ค่าที่ถูกต้อง เนื่องจากว่าอุปกรณ์บอมบ์แคลอริมิเตอร์ยังสามารถดูดเอาความร้อนบางส่วนเก็บไว้ในตัวมันเอง และความร้อนบางส่วนยังสูญเสียไปกับบรรยากาศรอบข้าง, ไอน้ำบางส่วนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้และยังกลั่นตัวไม่หมด ซึ่งไอน้ำดังกล่าวจะดูดความร้อนเอาไว้ นอกจากนั้นยังมีความร้อนบางส่วนที่มาจากขดลวดขณะจุดเชื้อเพลิง และการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในบรรยากาศของออกซิเจน ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิสูงมากและจะรวมตัวเป็นกรดไนตริกและกรดซัลฟูริก

จากผลดังกล่าว เพื่อให้ได้ค่าความร้อนที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดจะต้องทำการแก้ไขข้อผิดพลาดดังกล่าวดังต่อไปนี้

1. ต้องตรวจสอบค่าน้ำสมบูรณ์ (Water Equivalent) ของเครื่องทดสอบ

2. ให้อุณหภูมิของน้ำต่ำกว่าบรรยากาศโดยรอบประมาณครึ่งหนึ่งของอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากการเผาไหม้

3. ต้องหยดน้ำลงในบอมบ์แคลอริมิเตอร์ เพื่อให้ไอน้ำสามารถกลั่นตัวเป็นหยดน้ำได้

4. หาปริมาณความร้อนจากการเผาไหม้ของขดลวด แล้วนำไปหักออก

5. ใช้ปริมาณเชื้อเพลิงทดสอบน้อย ๆ เพื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้นเพียง 2–3°C ทำให้ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นลดลง

ดังนั้นต้องหาค่าน้ำสมบูรณ์ของบอมบ์แคลอริมิเตอร์ ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของเครื่องโดยทำ

การทดสอบอ้างอิงจากค่าความร้อนของ Benzoic มาตรฐาน เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่จะนำมาทดสอบหาค่าความร้อน ค่าน้ำสมบูรณ์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6

$$W = \frac{Gb.Q + \sum R}{\Delta T} \quad \text{..... (6)}$$

เมื่อ W = ค่าน้ำสมบูรณ์ของเครื่องทดสอบ, J/°C

Gb = น้ำหนักของ Benzoic Acid, g

Q = ค่าความร้อนมาตรฐานของ Benzoic Acid = 26,452.50 J/g

$\sum R$ = ค่าความร้อนที่หักออกจากการเผาไหม้ Firing Wire และความร้อนจากกรดซัลฟูริกและกรดไนตริก, J

= (12.6 × ความยาวของ Firing Wire ที่เผาไหม้, cm) + (5.987 × ml ของ NaOH ที่ใช้)

ΔT = อุณหภูมิสุดท้าย (tf) – อุณหภูมิเริ่มต้น (ti), °C

การหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงตัวอย่างจะเหมือนกับการหาค่าความร้อนของ Benzoic Acid เพียงแต่เปลี่ยนจาก Benzoic Acid เป็นตัวอย่างเท่านั้น โดยคำนวณได้จากสมการที่ 7

$$Cv = \frac{W\Delta T - \sum R}{G} \quad \text{..... (7)}$$

เมื่อ Cv = ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงตัวอย่าง, J/g

W = ค่าน้ำสมบูรณ์ของเครื่อง, J/°C

G = น้ำหนักของเชื้อเพลิงตัวอย่าง

ความหนืด

ความหนืดเป็นคุณสมบัติประจำอันหนึ่งของของเหลวทุกชนิด การวัดค่าความหนืดคือการวัดความต้านทานการไหลของของไหล ความหนืดจะลดลงเมื่ออุณหภูมิของของเหลวเพิ่มขึ้น ความหนืดมี 2 ลักษณะ คือ ความหนืดสมบูรณ์ (Absolute Viscosity) และความหนืดไคเนเมติก (Kinematic Viscosity)

ความหนืดสัมบูรณ์ คือความต้านทานที่มีอยู่ในของเหลวในขณะที่ชั้นบาง ๆ ของของเหลวจะถูกตัดให้แยกออกจากกัน หาได้จาก อัตราส่วนของแรงต่อหน่วยพื้นที่กับอัตราการเฉือน มีหน่วยเป็น Centipoises

ความหนืดไคเนเมติก คืออัตราส่วนของความหนืดสัมบูรณ์กับความหนาแน่นของของเหลวที่อุณหภูมิขณะทำการวัด มีหน่วยเป็น Stoke หรือ Centistokes เราสามารถหาความหนืดไคเนเมติกได้จากมาตรความหนืด เป็นการวัดอัตราการไหลของน้ำมันที่ไหลผ่านภาชนะ มีด้วยกัน 3 แบบคือ Engler, Red Wood และ Saybolt

แบบ Saybolt ยังแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ Universal ใช้วัดความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันหล่อลื่นชนิดบางและเบา อีกชนิดหนึ่งคือ Ferol ใช้สำหรับน้ำมันหนักหรือชนิดหนา การทดสอบหาความหนืดแบบ Universal Saybolt ใช้วัดความหนืดโดยการจับเวลาของการไหลเป็นวินาทีของน้ำมันจำนวน 60 cc ที่อุณหภูมิ 21 - 90°C

ดัชนีความหนืด

ดัชนีความหนืดหรือดัชนีความข้นใส จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ ดังนั้นน้ำมันจะใสลงเมื่ออุณหภูมิต่ำลง จึงมีการวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นค่าดัชนีความข้นใส ถ้าน้ำมันหล่อลื่นมีความข้นใสเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมาก แสดงว่าน้ำมันหล่อลื่นมีค่าดัชนีความข้นใสสูง แต่ถ้าความข้นใสของน้ำมันหล่อลื่นเปลี่ยนแปลงมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงน้อย แสดงว่าน้ำมันหล่อลื่นมีค่าดัชนีความข้นใสต่ำ

จุดวาบไฟ

จุดวาบไฟคือจุดที่อุณหภูมิต่ำสุดของน้ำมันที่จะเกิดไอน้ำมันขึ้น มีจำนวนหนึ่งชั่วขณะซึ่งไอน้ำมันนี้จะลุกวาบไฟขึ้นได้ เมื่อถูกประกายไฟหรือเปลวไฟ ลักษณะการลุกไหม้จะเป็นเปลวไฟที่ลุกขึ้นวูบหนึ่งแล้วก็ดับลง

จุดติดไฟ

จุดติดไฟคือจุดที่อุณหภูมิต่ำสุดของน้ำมันที่จะเกิดไอน้ำมันขึ้น และทำให้เกิดเปลวไฟลุกขึ้นอย่างต่อเนื่องอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 5 วินาที โดยทั่วไปจุดติดไฟจะสูงกว่าจุดวาบไฟประมาณ 5 - 35°C

จุดไหล

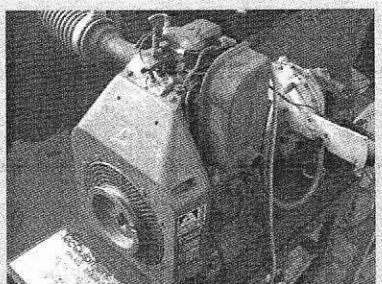
จุดไหลคืออุณหภูมิต่ำสุดของน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งยังสามารถปั๊มให้ไหลผ่านได้ในระบบหัวฉีด โดยไม่ก่อให้เกิดการอุดตันเนื่องจากการกลายเป็นไข โดยปกติอุณหภูมิที่จุดไหลของน้ำมันดีเซลจะสูงกว่าอุณหภูมิที่กลายเป็นไขประมาณ 2.8°C

ความถ่วงจำเพาะเอพีไอ

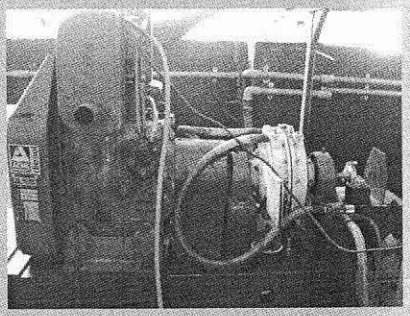
ความถ่วงจำเพาะเอพีไอ คือการกำหนดวิธีการวัดความถ่วงจำเพาะของของเหลวตามจุดมุ่งหมายของสถาบันการปิโตรเลียมสหรัฐอเมริกา (American Petroleum Institute, API) ความถ่วงจำเพาะจะเป็นตัวบ่งบอกถึงความหนืดของน้ำมัน คุณลักษณะการกลั่น และความร้อนที่มีในเชื้อเพลิงนั้น ๆ อีกทั้งยังบอกให้ทราบถึงเกรดของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยประมาณ

ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเชื้อเพลิงคือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของน้ำมันกับน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน โดยทั่วไปกำหนดให้น้ำมันเชื้อเพลิงมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 60/60°F นั่นคือทั้งน้ำมันและน้ำจะหนักเท่ากันที่อุณหภูมิ 60°F

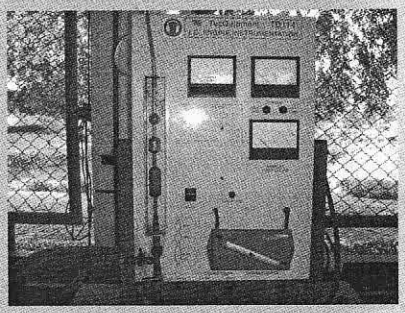
● ภาคผนวก ค รูปแสดงอุปกรณ์และการทดสอบ



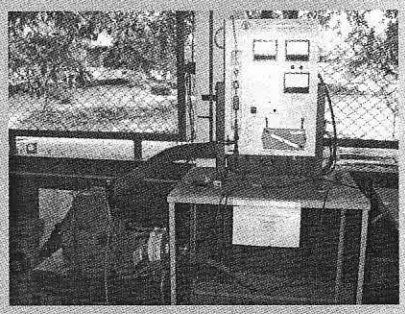
รูปผนวกที่ 1 แสดงลักษณะของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ



รูปผนวกที่ 2 แสดงลักษณะการประกอบเครื่องยนต์เข้ากับ Dynamometer

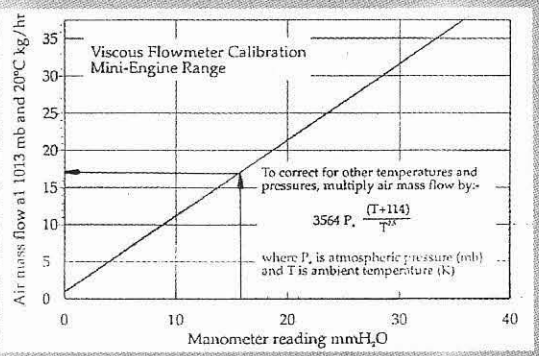


รูปผนวกที่ 3 แสดงลักษณะของแผงเครื่องมือวัดค่าต่าง ๆ ที่อ่านค่าได้จาก Dynamometer



รูปผนวกที่ 4 แสดงขณะทำการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์

● ภาคผนวก ง กราฟความสัมพันธ์อัตราการไหลของอากาศเทียบกับความดันของอากาศ



รูปผนวกที่ 5 แสดงกราฟสำหรับหาค่าอัตราการไหลของอากาศ