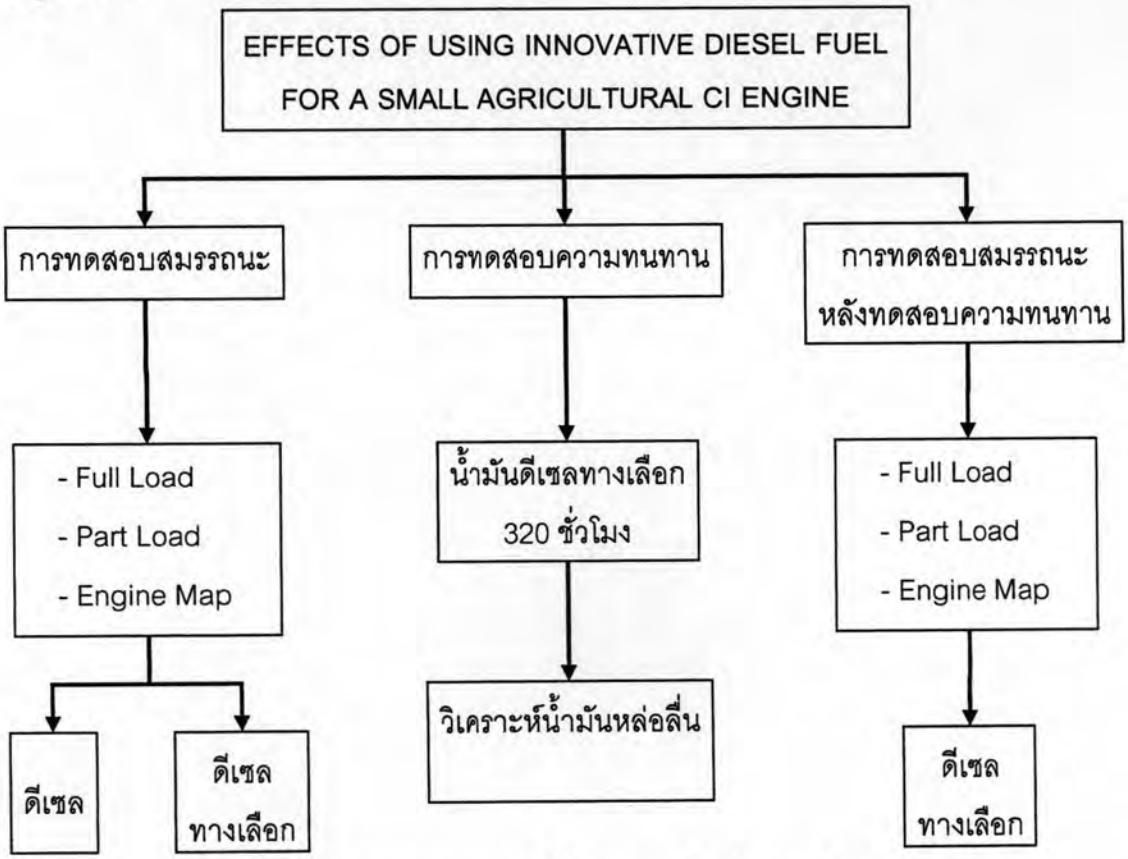
บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัยสำหรับการทดสอบเครื่องยนต์

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนการทำวิจัยออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน ตามแผนภาพในรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 แสดงแผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนแรก เป็นการทดสอบสมรรถนะ เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล กับน้ำมันดีเซลทางเลือก

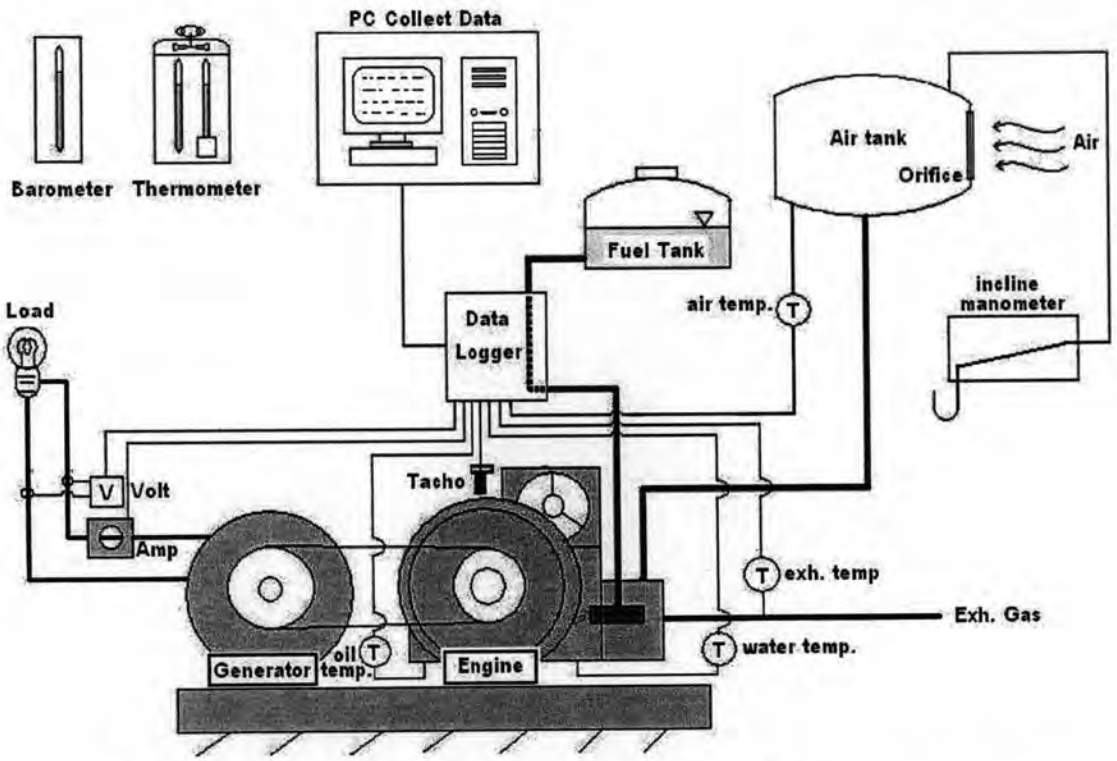
ขั้นตอนที่สอง เป็นการทดสอบความทนทานโดยนำเครื่องยนต์มาใช้งานอย่างต่อเนื่องตามวัฏจักรภาระที่กำหนด ภายในระยะเวลา 320 ชั่วโมง โดยจะมีการสุ่มน้ำมันหล่อลื่นเพื่อนำไปประกอบการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ ตลอดช่วงการทดสอบความทนทาน

ขั้นตอนที่สาม เป็นการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ภายหลังผ่านการทดสอบความทนทาน โดยใช้น้ำมันดีเซลทางเลือกเป็นเชื้อเพลิง เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน

ในบทนี้จะกล่าวถึง ขั้นตอนทั้งสาม โดยละเอียด ดังนี้

4.1 การทดสอบสมรรถนะ

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ เป็นการศึกษาเบื้องต้นถึงสมรรถนะและอุณหภูมิการทำงานที่ได้จากเครื่องยนต์เครื่องเดียวกันเมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันเตาผสมเคโรซีน การทดสอบได้ดำเนินการทั้งที่สภาวะภาระสูงสุด (Full Load) และที่สภาวะภาระบางส่วน (Part Load) ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงในรูปแผนภูมิสมรรถนะ (Performance Map) ซึ่งแผนผังแสดงการติดตั้งเครื่องยนต์และเครื่องมือในการทดสอบแสดงไว้ในรูปที่ 4-2



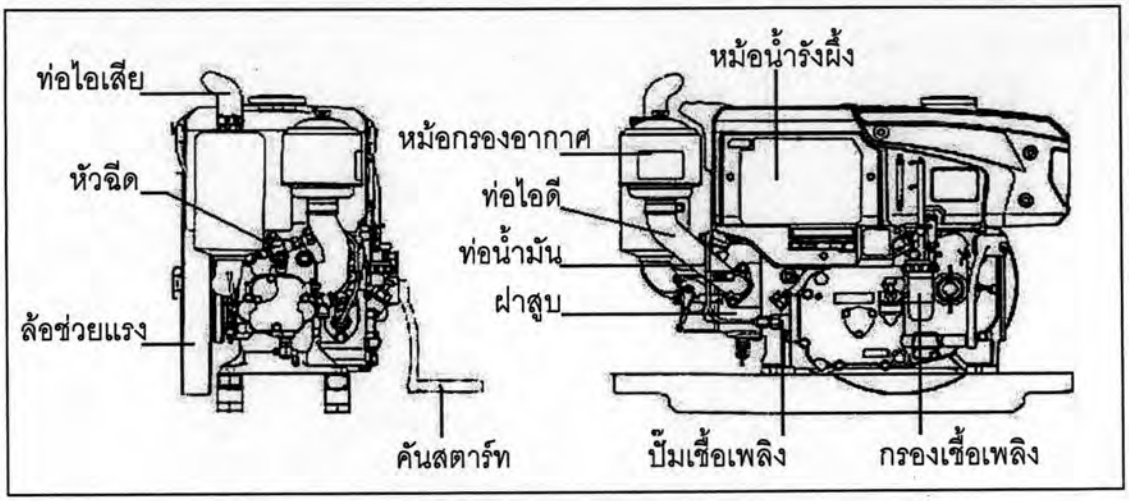
รูปที่ 4-2 แสดงแผนผังในการการติดตั้งเครื่องยนต์และอุปกรณ์ในการทดสอบสมรรถนะ

4.1.1 อุปกรณ์และการติดตั้งสำหรับการทดสอบสมรรถนะ

การทดสอบสมรรถนะได้ทำการทดสอบบนแท่นทดสอบเครื่องยนต์ โดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและหลอดไฟ เป็นอุปกรณ์สร้างภาระให้กับเครื่องยนต์ กล่าวคือ ให้เครื่องยนต์ทำงานขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจ่ายให้กับหลอดไฟ โดยสามารถควบคุมภาระที่จ่ายให้เครื่องยนต์ตามจำนวนหลอดไฟที่พอดีกับภาระที่กำหนด โดยอุปกรณ์ และการดัดแปลงในการติดตั้ง แสดงดังหัวข้อต่อไปนี้

4.1.1.1 เครื่องยนต์

เครื่องยนต์ที่ทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมยี่ห้อ KUBOTA รุ่น RT-120 ดังรูปที่ 4-3 รายละเอียดของข้อมูลทางเทคนิคแสดงในตารางที่ 4-1



รูปที่ 4-3 แสดงเครื่องยนต์ดีเซลห้องเผาไหม้ล่วงหน้าแบบหมุนวน

ตารางที่ 4-1 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องยนต์	Kubota
รุ่น	RT120
ชนิด	Single cylinder (ลูกสูบเคลื่อนที่ในแนวนอน)
ระบบห้องเผาไหม้	Swirl chamber
ขนาดกระบอกสูบ	94 mm. (bore)
ช่วงชัก	90 mm. (stroke)
ปริมาตรกระบอกสูบ	624 cc.
แรงม้าสูงสุด	12 hp / 2400 rpm
แรงบิดสูงสุด	4.0 kg-m / 1600 rpm
อัตราส่วนกำลังอัด	21 : 1
ระบบหล่อลื่น	ฉีดส่งโดยปั๊มแบบ โรตารี
ระบบระบายความร้อน	หม้อน้ำแบบหม้อน้ำรังผึ้ง ระบายความร้อนแบบ Natural Convection

ก่อนทำการทดสอบได้ทำการถอดและนำชิ้นส่วนใหม่ คือ ลูกสูบ ชุดแหวน ปลอกสูบ หัวฉีด ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง แบริ่งก้านสูบ สลักลูกสูบ ชุดฝาสูบ มาเปลี่ยนชิ้นส่วนเดิม เพื่อใช้เป็นบรรทัดฐานในการเปรียบเทียบผลกระทบต่อชิ้นส่วนเหล่านี้อันเนื่องมาจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ต่างชนิดในการศึกษาครั้งนี้

4.1.1.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

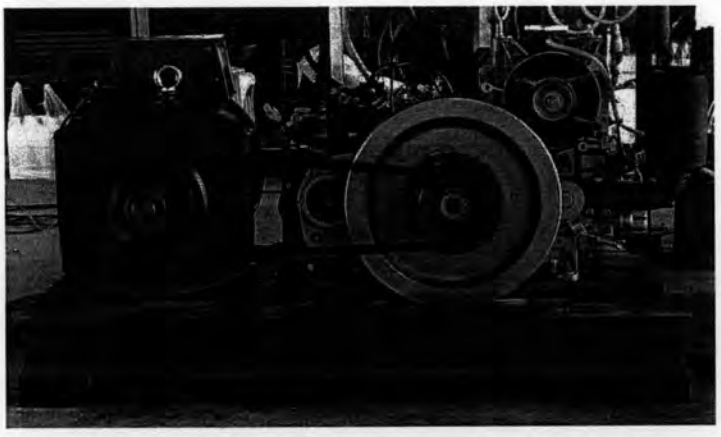
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยนี้เป็นแบบกระแสสลับ (A.C. Synchronous Generators) ยี่ห้อ KODAI ชนิด สร้างกระแสไฟฟ้าโดยให้สนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวดทองแดง(stationary armature) ดังมีรายละเอียดทางเทคนิคดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 แสดงรายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

กำลัง (kW)	10
แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Volt)	230/115
กระแสไฟฟ้า (A.)	43.5/87
ความถี่ (Hz)	50
ความเร็วรอบ (rev/min)	1500
$\cos\varphi$	1.0
Voltage (V.)	80
I_{excite} (A.)	4.1 ; excite current
Insulation Class	B
RAT.	S1
Phase	1

4.1.1.3 มู่เล่ และสายพาน

จากรูป 4-4 ทำการติดตั้ง มู่เล่ ที่ล้อช่วยแรงของเครื่องยนต์และติดตั้ง มู่เล่ อีกตัวหนึ่งที่ปลายเพลาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แล้วใช้สายพานชนิด V เป็นตัวส่งถ่ายกำลังระหว่าง มู่เล่ ทั้งสอง และเนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ ที่ 1,500 รอบต่อนาที แต่การทดสอบสมรรถนะและทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์นั้นต้องทดสอบทั้งหมด 6 ความเร็วรอบด้วยกัน ได้แก่ ที่ 1,000 1,200 1,500 1,800 2,000 และที่ 2,400 รอบต่อนาที ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนอัตราทดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ให้เหมาะสมกับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ความเร็วรอบคงที่ 1,500 รอบต่อนาที โดยการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ มู่เล่ ตามสัดส่วนของความเร็วรอบจากเครื่องยนต์ไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แสดงในตารางที่ 4-3



รูปที่ 4-4 แสดงการติดตั้งเครื่องยนต์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตารางที่ 4-3 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ มู่เล่ ตามอัตราทดรอบที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ค่าต่างๆ

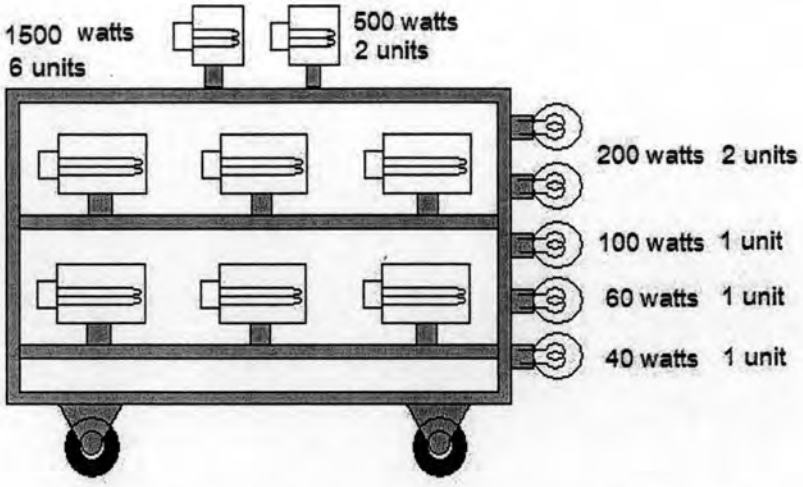
speed (rev/min)		Pulley Diameter (in.)	
Engine	Generator	D_E	D_G
1000	1500	6	4
1200	1500	5	4
1500	1500	4	4
1800	1500	5	6
2000	1500	6	8
2400	1500	5	8

(D_Eคือเส้นผ่านศูนย์กลางของมู่เล่เครื่องยนต์ ,D_Gคือเส้นผ่านศูนย์กลางของมู่เล่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า)

4.1.1.4 แผงหลอดไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้จะใช้หลอดไฟฟ้าซึ่งจัดเรียงเป็นแผง เป็นภาระให้กับเครื่องยนต์ ดังรูปที่ 4-5 ซึ่งเป็นหลอดไฟฟ้าชนิดความถี่ 50 Hz. ความต่างศักย์ 220 โวลท์ รวมทั้งสิ้นจำนวน 12 หลอด รายละเอียดของหลอดไฟฟ้ามีดังนี้

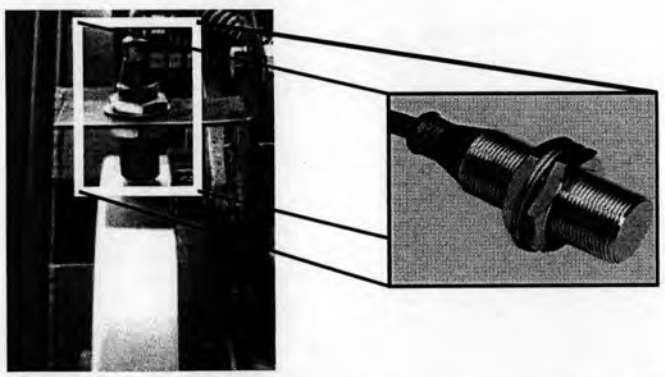
หลอดไฟฟ้าแบบฮาโลเจนขนาด 1500 วัตต์ (50 Hz) จำนวน 6 หลอด
หลอดไฟฟ้าแบบฮาโลเจนขนาด 500 วัตต์ (50 Hz) จำนวน 2 หลอด
หลอดไฟฟ้าแบบไส้ ขนาด 200 วัตต์ จำนวน 2 หลอด
หลอดไฟฟ้าแบบไส้ ขนาด 100 วัตต์ จำนวน 1 หลอด
หลอดไฟฟ้าแบบไส้ ขนาด 40 วัตต์ จำนวน 1 หลอด



รูปที่ 4-5 แสดงแผงหลอดไฟที่ใช้เป็นภาระของเครื่องยนต์

4.1.1.5 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ

การวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ใช้อุปกรณ์การวัดแบบ Aluminum Detecting Proximity Sensor ยี่ห้อ Omron รุ่น E2EY ดังแสดงในรูปที่ 4-6 ซึ่งติดตั้งที่ตำแหน่งล้อช่วยแรง โดยสัญญาณที่ได้จากตัวตรวจจับวัดความเร็วรอบ จะส่งไปยังตู้แปลงสัญญาณ (Data Logger) และส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลและเก็บข้อมูล



รูปที่ 4-6 แสดงตัวตรวจจับวัดความเร็วรอบ และตำแหน่งการติดตั้ง

4.1.1.6 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

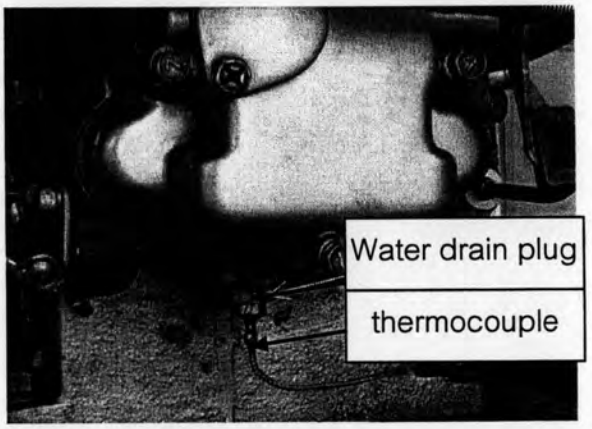
การวัดอุณหภูมิ ใช้ เทอร์โมคัปเปิล ชนิด type K (Chromel-Alumel, CA) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.65 มม. โดยสัญญาณที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิล จะส่งไปยังตู้แปลงสัญญาณ (Data Logger) และส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลและเก็บข้อมูล

ตัวแปรอุณหภูมิการทำงานที่ทำการวัดมีดังนี้

ก. อุณหภูมิอากาศที่ไหลเข้าท่อไอดีก่อนเข้าห้องเผาไหม้ ทำการติดตั้งไว้ภายในถังพักอากาศ ช่วงระหว่าง orifice plate กับกรองอากาศ ดังรูป 4-7

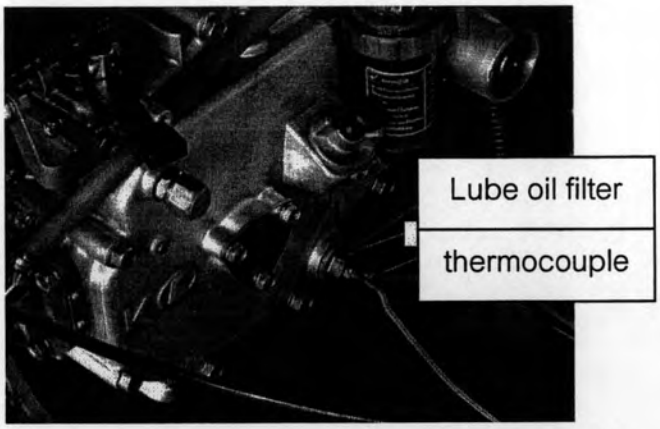
รูปที่ 4-7 แสดงจุดที่ติดตั้งหัววัดเทอร์โมคัปเปิลในถังพักอากาศ

ข. อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ทำการติดตั้งไว้ที่ปลั๊กถ่ายน้ำหล่อเย็นที่อยู่ด้านล่างของฝาสูบ ดังรูป 4-8



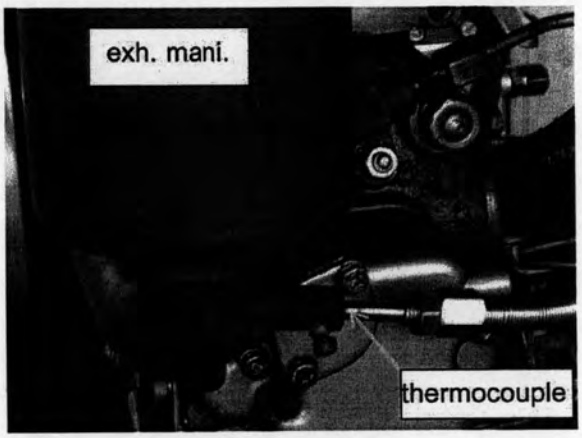
รูปที่ 4-8 แสดงการติดตั้งหัววัดเทอร์โมคัปเปิลที่ปลั๊กถ่ายน้ำหล่อเย็นบริเวณด้านล่างของฝาสูบ

ค. อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ทำการติดตั้งหัววัดเทอร์โมคัปเปิลไว้ภายในตัวกรองน้ำมันหล่อลื่น โดยหัววัดแช่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่นตลอดเวลา และไม่สัมผัสกับผิวของเสื้อสูบที่เป็นอ่างน้ำมันหล่อลื่น ดังรูปที่ 4-9



รูปที่ 4-9 แสดงการติดตั้งหัววัดของเทอร์โมคัปเปิลที่กรองน้ำมันหล่อลื่น

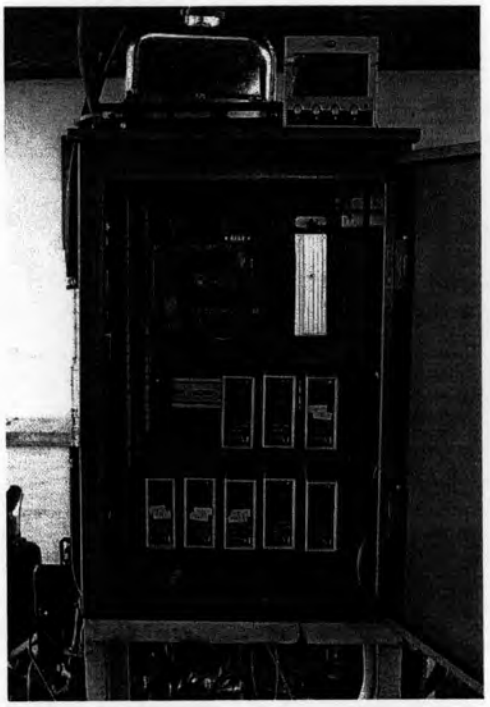
ง. อุณหภูมิไอเสีย ทำการติดตั้งหัววัดไว้ที่ท่อไอเสียหลังจากออกจากห้องเผาไหม้ประมาณ 10 เซนติเมตร ดังรูป 4-10



รูปที่ 4-10 แสดงหัววัดของเทอร์โมคัปเปิลที่ท่อไอเสีย

4.1.1.7 **ตู้แปลงสัญญาณ** (Data Logger)

ตู้แปลงสัญญาณ มีหน้าที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ความเร็วรอบ ความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสสลับ และกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ แล้วแปลงสัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณดิจิตอล และส่งต่อไปยัง คอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงผลและเก็บข้อมูลที่ได้ ดังรูปที่ 4-11 โดยตู้แปลงสัญญาณมีส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้



รูปที่ 4-11 แสดงตู้แปลงสัญญาณ (Data Logger)

ก. อุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (Current Transformer) ยี่ห้อ Nitech Class 3 ดังรูปที่ 4.12 มีหน้าที่รับกระแสไฟฟ้ากระแสสลับจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แล้วแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้ ในช่วง 0-50Aac ไปเป็น 0-5Aac สำหรับอุปกรณ์แปลงสัญญาณ Current Transmitter

รูปที่ 4-12 แสดงอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ Nitech

ข. อุปกรณ์แปลงสัญญาณเป็นสัญญาณอนาลอก (Transmitter) ยี่ห้อ Primus ดังรูปที่ 4-13 มีหน้าที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์การวัดต่างๆ แล้วแปลงเป็นสัญญาณอนาลอก จำนวน 8 ตัว ประกอบด้วย

รูปที่ 4-13 แสดงอุปกรณ์แปลงสัญญาณเป็นสัญญาณอนาลอก Primus

- Current Transmitter รุ่น TM-001 จำนวน 1 ตัว มีหน้าที่รับสัญญาณกระแสไฟฟ้ากระแสสลับจากอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ ในช่วง 0-5 Aac แล้วแปลงเป็นสัญญาณอนาลอก 0-5 Vdc
- Voltage Transmitter รุ่น TM-002 จำนวน 1 ตัว มีหน้าที่รับสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสสลับจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วง 0-250 Vac แล้วแปลงเป็นสัญญาณอนาลอก 0-5 Vdc
- Thermocouple Transmitter รุ่น TM-004 จำนวน 5 ตัว มีหน้าที่รับสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล แล้วแปลงเป็นสัญญาณอนาลอก 0-5 Vdc จำนวน 5 ตัว
- Tachometer Transmitter รุ่น TM-005 จำนวน 1 ตัว มีหน้าที่รับสัญญาณจากตัวตรวจจับวัดความเร็วรอบในช่วง 0-3000 รอบต่อนาที แล้วแปลงเป็นสัญญาณอนาลอก 0-5 Vdc

ค. ไอซี ยี่ห้อ Philips เบอร์ PCF8591P มีหน้าที่รับสัญญาณ อนาลอก จากอุปกรณ์แปลงสัญญาณPrimus แล้วแปลงเป็นสัญญาณ ดิจิตอล เพื่อส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์

ง. อุปกรณ์วัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 4-14 มีหน้าที่ตรวจวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ด้วยการจับเวลาของการใช้เชื้อเพลิงที่ปริมาตรคงที่ เพื่อส่งข้อมูลไปทำการประเมินผลที่คอมพิวเตอร์ ประกอบด้วย หลอดแก้วปริมาตร 50 มิลลิลิตร และเซนเซอร์ตรวจจับระดับของเหลวชนิด Optical ยี่ห้อ Omron รุ่น E3X-DA11 ร่วมกับแอมพลิฟายเออร์ โดยค่าที่ได้ส่งต่อไปยัง คอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงผลและเก็บข้อมูล

รูปที่ 4-14 แสดงอุปกรณ์วัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

ซึ่งหลักการทำงาน คือ จากรูปที่ 4-15 เมื่อระดับน้ำมันเคลื่อนที่ลดลงมาถึงเซนเซอร์ตัวบน (a) นาฬิกาจับเวลาจะเริ่มทำงาน เมื่อระดับน้ำมันลดลงมาถึงเซนเซอร์ตัวล่าง (b) นาฬิกาจะหยุด แล้ววงจรอิเลคทรอนิกส์จะสั่งให้โซลินอยด์วาล์วเปิดหลังจากระดับน้ำมันผ่านเซนเซอร์ตัวล่างไปแล้ว 0.1 วินาที น้ำมันจากถังก็จะไหลกลับเข้าไปในหลอดวัดอีกโดยอัตโนมัติ ซึ่งโซลินอยด์วาล์วดังกล่าวจะปิดกั้นการไหลของเชื้อเพลิงขณะทำการวัดไม่ให้ไหลเข้าระบบ โดยช่วงเวลาที่วัดได้นำมาใช้ในการคำนวณอัตราการไหลเชิงปริมาตรดังสมการที่ 4.1

$$\dot{V} = \frac{V}{t} \tag{4.1}$$

โดยที่ $\dot{V}$ คือ อัตราการไหลโดยปริมาตร (ml/s)

V คือ ปริมาตรที่ใช้วัด (ml)

t คือ ช่วงเวลาที่นาฬิกาจับเวลาได้ (s)

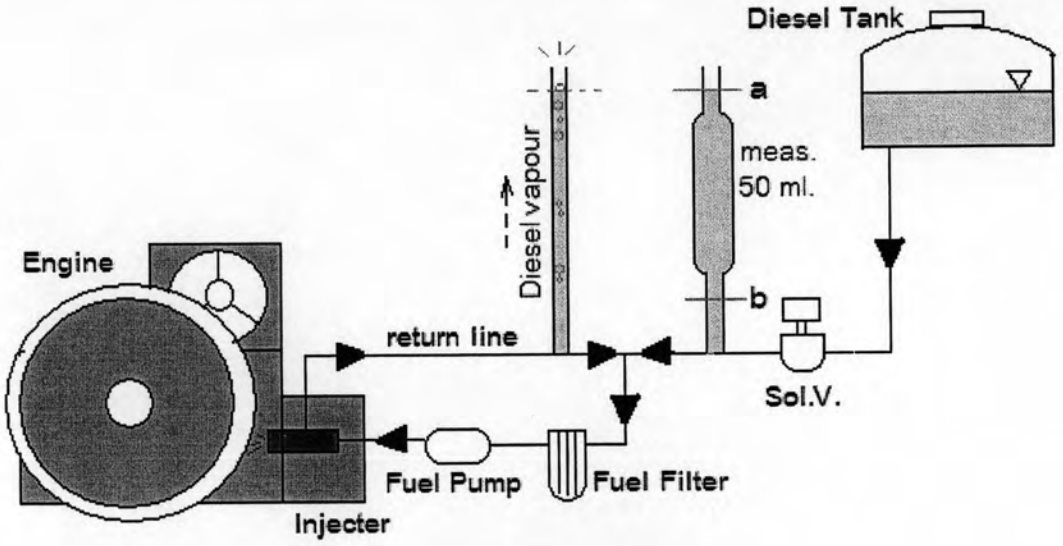
โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและบันทึกค่าไว้ในฐานข้อมูลของโปรแกรม พร้อมแสดงค่าที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ ในการวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงนี้มีการต่อเส้นทางเดินของน้ำมัน ดังแผนผังรูปที่ 4-15 ทั้งนี้เพื่อกำจัดความผิดพลาดจากการวัดที่อาจเกิดขึ้นจากน้ำมันที่ไหลกลับจากหัวฉีด (return line) และเพื่อกำจัดความผิดพลาดจากการวัดที่อาจเกิดจากไอน้ำมันในระบบทางเดินน้ำมันด้วย ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจึงทำการติดตั้งบริเวณหลังไส้กรองน้ำมัน

อัตราสิ้นเปลืองเชิงมวลของน้ำมันดีเซลคำนวณได้จากสมการที่ 4.2

$$m_f = \frac{\rho_f V}{t} \tag{4.2}$$

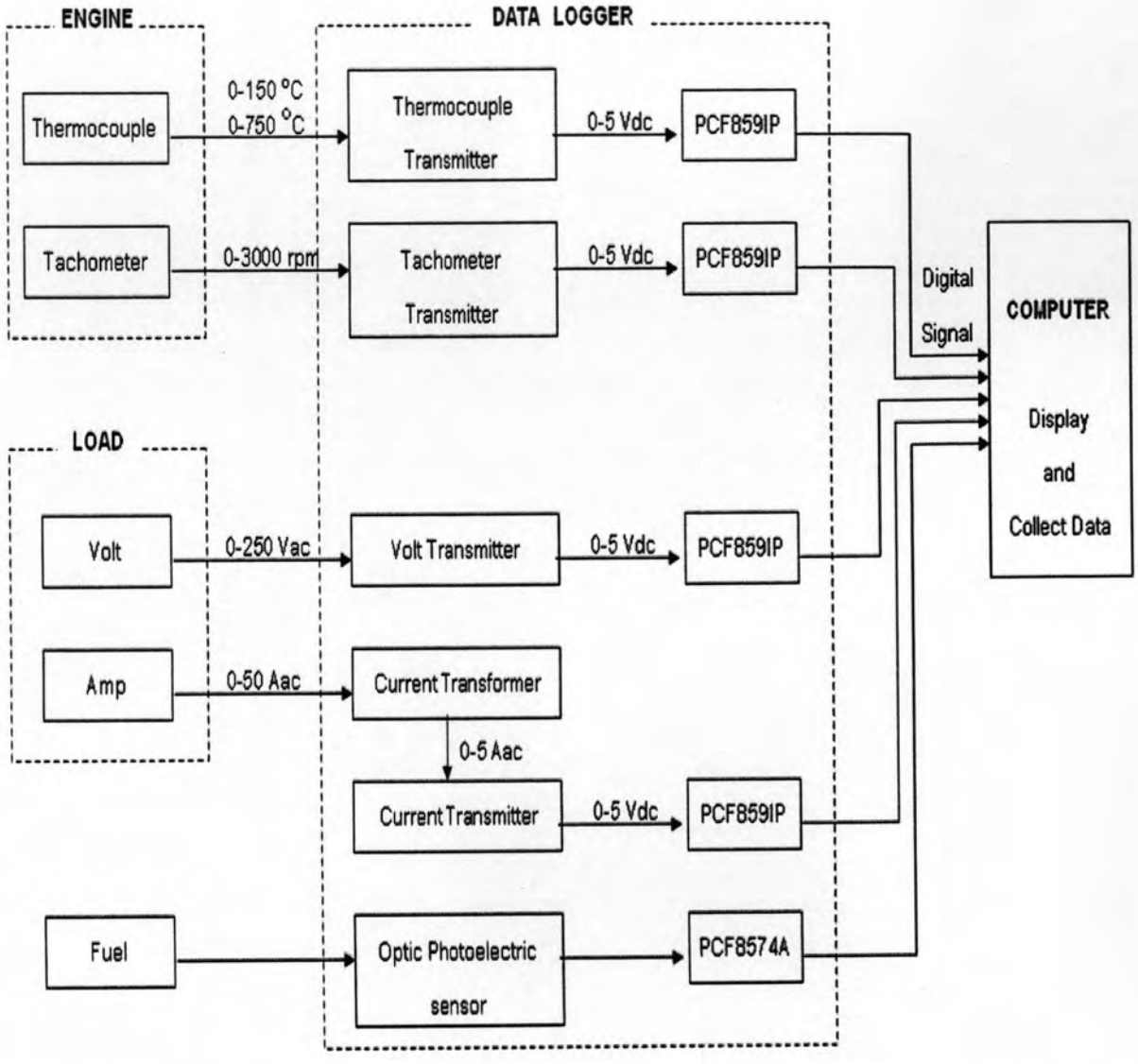
โดยที่ m_f คือ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันดีเซล (kg/s)

ρ_f คือ ความหนาแน่นของน้ำมันดีเซล (kg/m^3)



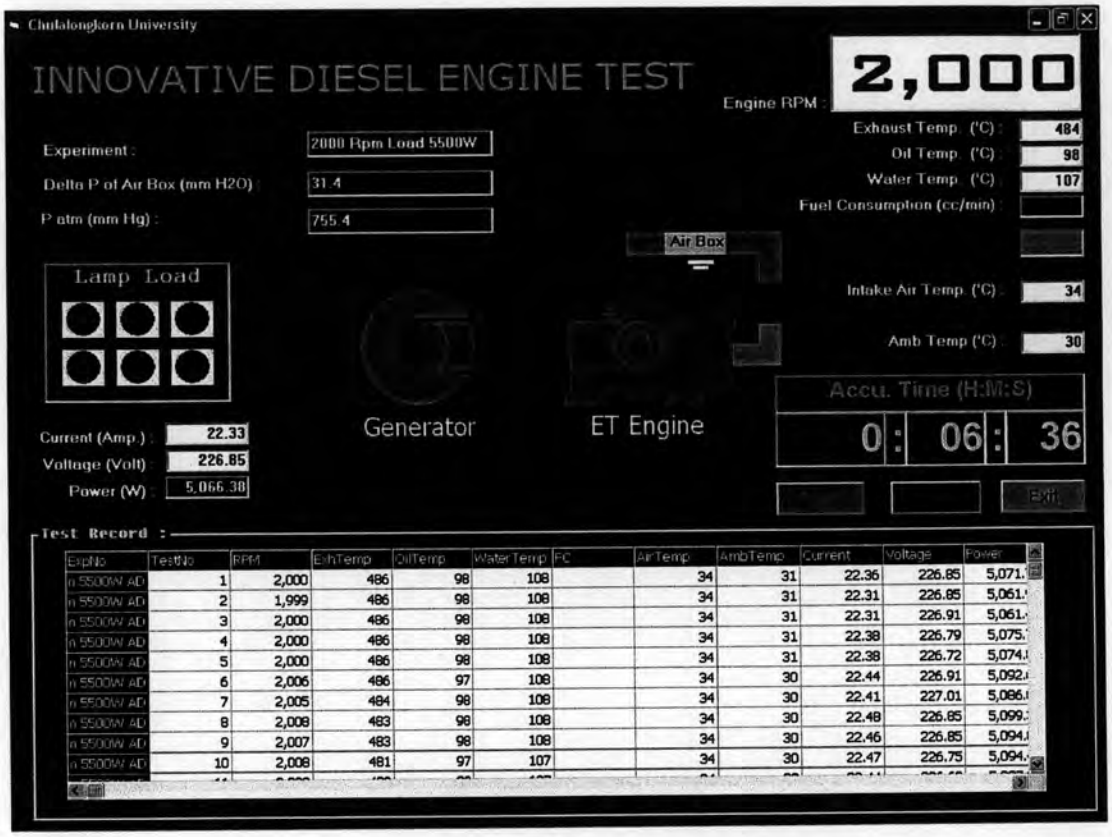
รูปที่ 4-15 แสดงแผนผังการต่อระบบน้ำมันดีเซลและอุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

จากที่ได้กล่าวมาในข้างต้น เป็นอุปกรณ์หลักที่อยู่ในตู้แปลงสัญญาณ(Data Logger) โดยจะแสดงหลักการทำงานเป็นแผนผังการทำงาน (Flow Chart) ดังรูปที่ 4-16 จากนั้นสัญญาณที่ออกจากตู้แปลงสัญญาณจะส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลและเก็บข้อมูล โดยใช้โปรแกรม Alternative Diesel Engine Test ซึ่งเขียนด้วยภาษา Visual Basic ดังรูปที่ 4-17



รูปที่ 4-16 แสดงแผนผัง (Flow Chart) การทำงานของระบบการวัด อ่าน และบันทึกข้อมูลการวัด

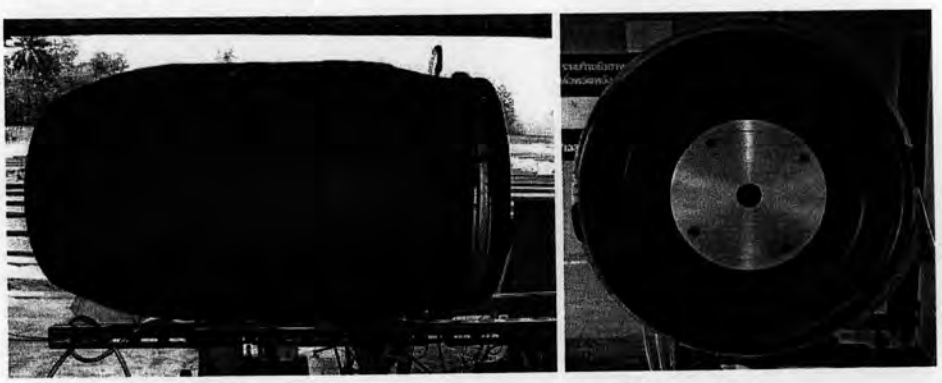
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



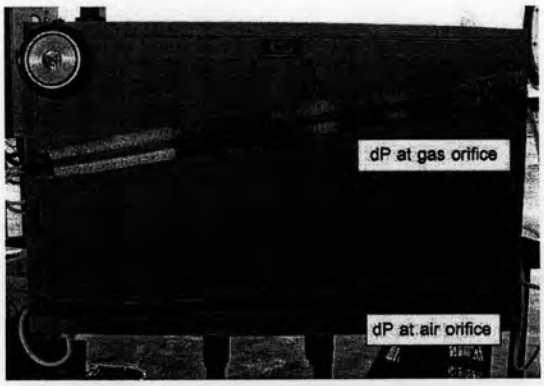
รูปที่ 4-17 แสดงหน้าจอแสดงผลจากการวัดโดยโปรแกรม Innovative Diesel Engine Test

4.1.1.8 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ

การวัดอัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์ ทำการวัดด้วย orifice ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณทางเข้าถังพักอากาศ ดังรูปที่ 4-18 โดยถังพักอากาศจะช่วยลดการกระเพื่อมของอากาศที่ไหลผ่าน orifice เนื่องจากจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ และวัดค่าความดันตกคร่อม Orifice plate เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ โดยใช้ inclined manometer ดังรูปที่ 4-19 โดยรายละเอียดการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ข



รูปที่ 4-18 แสดงถังพักอากาศและการติดตั้ง orifice plate



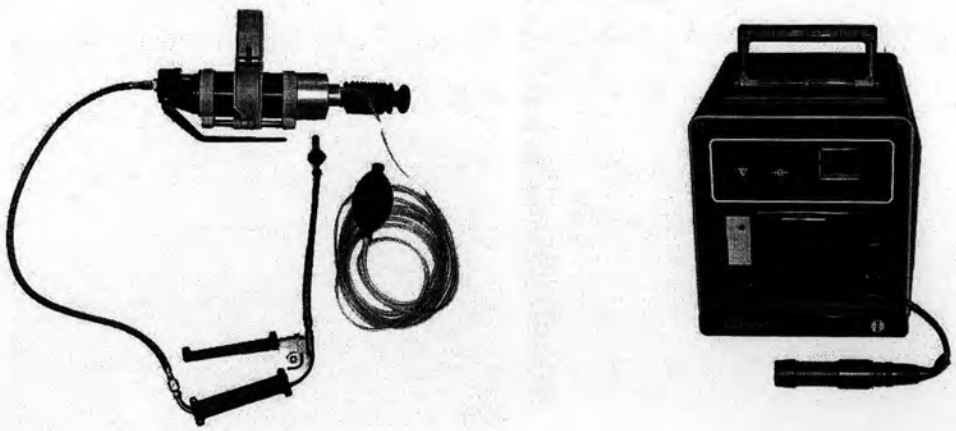
รูปที่ 4-19 แสดง inclined manometer

4.1.1.9 **อุปกรณ์วัดค่าควันดำ** (Smoke Meter)

เครื่องมือวัดค่าควันดำเป็นแบบกระดาษกรอง ยี่ห้อ BOSCH ดังแสดงในรูปที่ 4-20 ประกอบด้วย

ก. **ปั๊มดูดไอเสีย** รุ่น ETD 020.00 เป็นเครื่องมือเก็บตัวอย่างค่าควันดำจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล ภายในตัวปั๊มจะประกอบด้วย

- กระบอกปั๊ม ภายในมีลูกสูบที่มีปลายช่องสำหรับใส่กระดาษกรอง
- สปริงคันชักต่อจากลูกสูบ (ตัวสปริงถูกหุ้มด้วยปลอกยาง)
- ลูกยางบีบ มีท่อต่อลมเข้ากับตัวล็อคสปริง ที่หัวกระบอกปั๊ม
- หัวดูดไอเสีย (Exhaust – Sample Pickup) ประกอบด้วยอุปกรณ์ยึดติดกับท่อไอเสีย และท่อลมสำหรับแก๊สไอเสียผ่านเข้ากระบอกสูบ



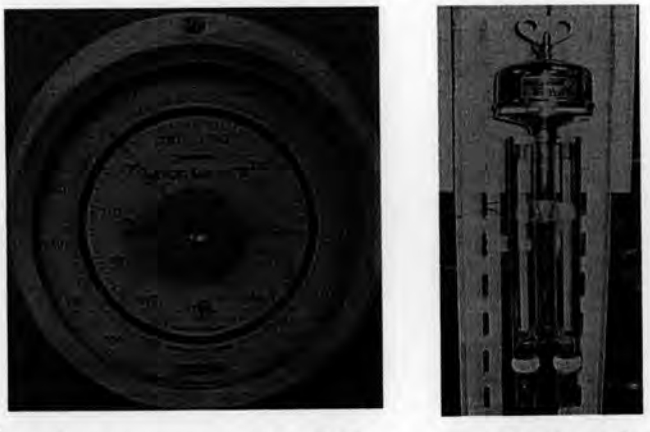
รูปที่ 4-20 ชุดเครื่องมือวัดค่าควันดำ ภาพซ้าย แสดงภาพปั๊มดูดไอเสีย รุ่น ETD 020.00 ภาพขวา แสดงภาพ เครื่องอ่านค่าควันดำ รุ่น ETD 020.50

ข. เครื่องอ่านค่าควันดำ รุ่น ETD 020.50 เป็นเครื่องอ่านค่าความเข้มของเขม่าดำบนกระดาษกรอง แสดงค่าด้วยตัวเลขดิจิตอลเรืองแสง มีสเกลอยู่ระหว่าง 0 – 10 ความละเอียด 0.1 เมื่อตัวเลขแสดงค่า 0 มีความหมายว่าผิววัตถุที่ทดสอบนั้นขาวบริสุทธิ์ ถ้าตัวเลขแสดงค่า 10 หมายความว่าผิววัตถุที่ทดสอบนั้น ดำสนิท หรือมีความดำ ร้อยละ100 ในหัวอ่านค่าควันดำ ภายในจะประกอบด้วย Photo Element รูปวงแหวนตรงกลางมีหลอดไฟ และมีสายสัญญาณส่งเข้าเครื่องอ่านค่า หลักการทำงานคือเมื่อกดสวิทช์อ่านค่า หลอดไฟจะติด แสงที่พุ่งออกไปเมื่อกระทบกับผิววัตถุ (กระดาษกรอง) จะมีการสะท้อนกลับ Photo Element จะรับแสงสะท้อนนั้นแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าผ่านตามสายไฟฟ้าไปยังตัวอ่านค่าควันดำและแสดงค่าออกมาเป็นตัวเลขเรืองแสง ในกรณีที่กระดาษกรองขาวบริสุทธิ์ แสงจะสะท้อนกลับมาหมด Photo Element จะส่งสัญญาณเป็นกระแสไฟเต็มที่ ตัวเลขจะแสดงค่า 0 ถ้ากระดาษกรองดำสนิทจะดูดกลืนแสงไว้ทั้งหมด ไม่มีการสะท้อนกลับ จึงไม่มีสัญญาณไฟฟ้าส่งไปยังเครื่องวัด ตัวเลขจะแสดงค่า 10

ในการวัดค่าจากกระดาษกรองจะทำการวัด 5 ตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่ง บน, กลาง, ล่าง, ซ้าย และขวา ของกระดาษ จากนั้นจะหาค่าเฉลี่ยจาก 5 จุดที่วัดค่า อีกทั้งในการวัดค่าแต่ละจุดทดสอบ จะทำการวัดค่าควันดำถึง 3 ครั้งและหาค่าเฉลี่ยต่อหนึ่งจุดทดสอบ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

4.1.1.10 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ (Ambient Condition)

ระหว่างการทดสอบสมรรถนะได้ทำการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งของบรรยากาศ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งแบบปรอทตามลำดับ ส่วนความดันบรรยากาศ วัดโดยใช้บารอมิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4-21



รูปที่ 4-21 แสดงภาพบารอมิเตอร์(ซ้าย) และเทอร์โมมิเตอร์(ขวา)

4.1.2 **วิธีการทดสอบสมรรถนะ**

ขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

ก. การ Run in

หลังจากเปลี่ยนชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ใหม่ ได้ทำการ run in เครื่องยนต์โดยการเดินเครื่องยนต์ตามวัฏจักรภาระที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ ซึ่งวัฏจักรดังกล่าวประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ไม่มีภาระ (No load) ความเร็วรอบ 2,400 rev/min ระยะเวลา 30 นาที
2. ภาระ 50% ของ rated power ความเร็วรอบ 2,400 rev/min ระยะเวลา 30 นาที
3. ภาระ 100% ของ rated power ความเร็วรอบ 2,400 rev/min ระยะเวลา 20 ชั่วโมง

ภายหลังเสร็จสิ้นการ Run in ได้ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องใหม่ก่อนเริ่มทำการทดสอบ การทดสอบสมรรถนะเริ่มจากการใช้น้ำมันดีเซล จากนั้นจะทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง และทำการเปลี่ยนน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นน้ำมันดีเซลทางเลือก โดยทำการเดินเครื่องยนต์ ช่วงระยะเวลาหนึ่งเพื่อเป็นการไล่น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลที่ทดสอบก่อนหน้านี้

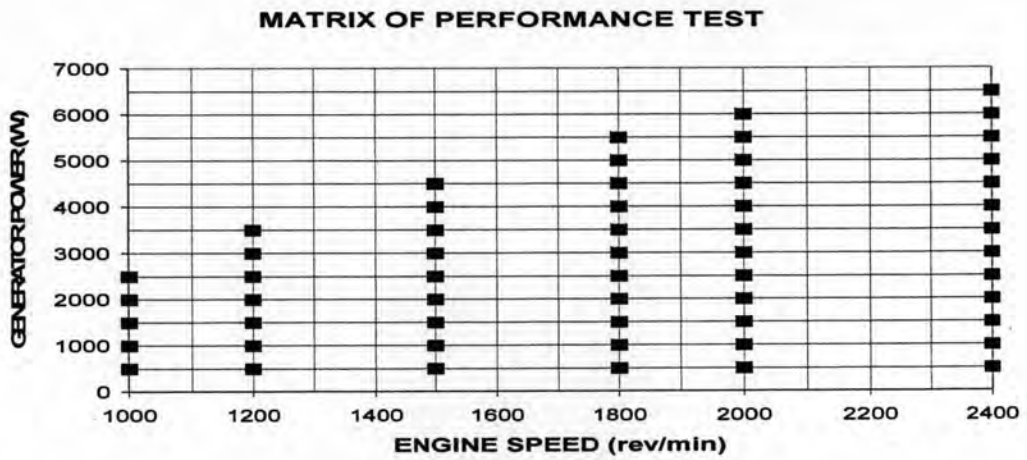
ข. การทดสอบที่ภาระสูงสุด (Full-Load Performance Test)

ก่อนทำการทดสอบที่สภาวะภาระสูงสุด จะทำการ warm up เครื่องยนต์จนระบบน้ำหล่อเย็นได้อุณหภูมิทำงาน คือไม่ต่ำกว่า 80 °C จากนั้นเริ่มทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าแรงบิดกับความเร็วรอบ ที่สภาวะภาระสูงสุด (Full Load) เริ่มจากปรับคันเร่งให้เครื่องยนต์หมุนเปล่าโดยไม่มีภาระจนความเร็วรอบอยู่ที่ 2,550 รอบต่อนาที จัดให้เป็นตำแหน่งที่คันเร่งเปิดสุด (ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต) จากนั้นเริ่มใส่ภาระให้กับเครื่องยนต์โดยการเปิดหลอดไฟทีละดวง รอบของเครื่องยนต์จะลดลงเรื่อยๆ ตามภาระที่เพิ่มให้กับเครื่องยนต์ จนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดลงมาที่ 2,400 รอบต่อนาที รอให้เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว ที่จุดนี้คือสภาวะสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ความเร็ว 2,400 รอบต่อนาที แล้วจึงเริ่มบันทึกข้อมูลจากการวัดค่าต่างๆ ที่ส่งเข้ามาที่ตู้แผงวงจร อิเล็กทรอนิกส์ (A/D Board) แล้วเก็บไว้ในฐานข้อมูล (Data Logger) ของโปรแกรมที่ได้ออกแบบสำหรับการทดสอบโดยเฉพาะ ข้อมูลที่ทำการวัด ได้แก่ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (รอบต่อนาที),ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์),ความต่างศักย์ (โวลท์),ค่ากำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์),อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (องศาเซลเซียส),อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น (องศาเซลเซียส),อุณหภูมิไอเสีย (องศาเซลเซียส),อุณหภูมิไอดี (องศาเซลเซียส), อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ (มิลลิบาร์), อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และค่าควันดำ จากนั้นเพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์จนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดมาที่ 2,000 รอบต่อนาที รอให้เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัวแล้วจึง

บันทึกค่า และกระทำเช่นเดียวกันที่ความเร็ว 1,800 1,500 1,200 และความเร็ว 1,000 รอบต่อนาที รวมทั้งหมด 6 จุดทดสอบ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความเร็วรอบที่สภาวะภาระสูงสุด (Full Load)

ค. Engine Performance Test

จากความสัมพันธ์ที่ได้ระหว่างภาระสูงสุดและความเร็วรอบที่ได้จากการทดสอบภาระสูงสุดจะถูกนำมากำหนดจุดในการทดสอบ (Matrix) ที่ความเร็วและที่กำลังไฟฟ้าต่างๆสำหรับการทดสอบ engine performance test ดังแสดงในรูปที่ 4-22



รูปที่ 4-22 แสดง matrix ที่ใช้ในการทดสอบเครื่องยนต์

จากนั้นทำการทดสอบสมรรถนะ ณ จุดทำงานตามจุดทดสอบบน Matrix ที่กำหนดในรูปที่ 4-22 ซึ่งเป็นการทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระบางส่วน (Part – Load) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ โดยลำดับการทดสอบจะเริ่มจากความเร็วรอบต่ำสุดก่อน และเริ่มจากภาระต่ำไปหาภาระสูงจนครบทุกภาระในความเร็วรอบนั้น จึงเปลี่ยนไปทดสอบในความเร็วรอบที่สูงขึ้นถัดไป ทุกครั้งที่เปลี่ยนความเร็วรอบเครื่องยนต์ต้องดับเครื่องยนต์เพื่อทำการเปลี่ยนชุดมู่เล่ ที่ตำแหน่งล้อช่วยแรงและเพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อให้ได้อัตราทดจากรอบเครื่องยนต์ไปสู่ความเร็วรอบคงที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่ 1,500 รอบต่อนาที

ก่อนทำการทดสอบ จะต้อง warm up เครื่องยนต์จนระบบน้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิทำงานคือไม่ต่ำกว่า 80 °C จากนั้นจึงเริ่มการทดสอบ จากจุดแรก กล่าวคือเริ่มทดสอบจาก จุดที่มีความเร็วรอบ 1,000 รอบต่อนาที และภาระ 500 วัตต์ เมื่อปรับเครื่องยนต์จนตรงตามจุดทำงานที่ต้องการแล้ว รอให้เครื่องยนต์อยู่ที่สภาวะคงตัว จึงเริ่มบันทึกข้อมูลจากการวัดค่าต่างๆ เช่นเดียวกับการทดสอบที่สภาวะสูงสุด จากนั้นจะเปลี่ยนไปทดสอบจุดทำงานต่อไปด้วยการค่อยๆ เพิ่มภาระขึ้นด้วยการเปิดหลอดไฟเพิ่มตามจำนวนวัตต์ที่ต้องการ เมื่อครบทุกจุดแล้ว จึงเปลี่ยน

ความเร็วรอบ แล้วกระทำเช่นเดียวกันจนครบตามจุดทดสอบที่ได้กำหนด นำค่าแรงบิดและอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงไปคำนวณปรับค่าที่สภาวะอากาศมาตรฐาน แล้วนำค่าที่ปรับแล้วมาแสดงในรูปแผนภูมิสมรรถนะ (Performance Map) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด ความเร็วรอบ และอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ โดยพิจารณาเป็นสองแผนภูมิ ได้แก่ แผนภูมิสมรรถนะจากน้ำมันดีเซล และแผนภูมิสมรรถนะจากน้ำมันดีเซลทางเลือก เพื่อจะได้เปรียบเทียบถึงความแตกต่างระหว่างสองเชื้อเพลิง

4.2 **การทดสอบความทนทาน** (Durability Test)

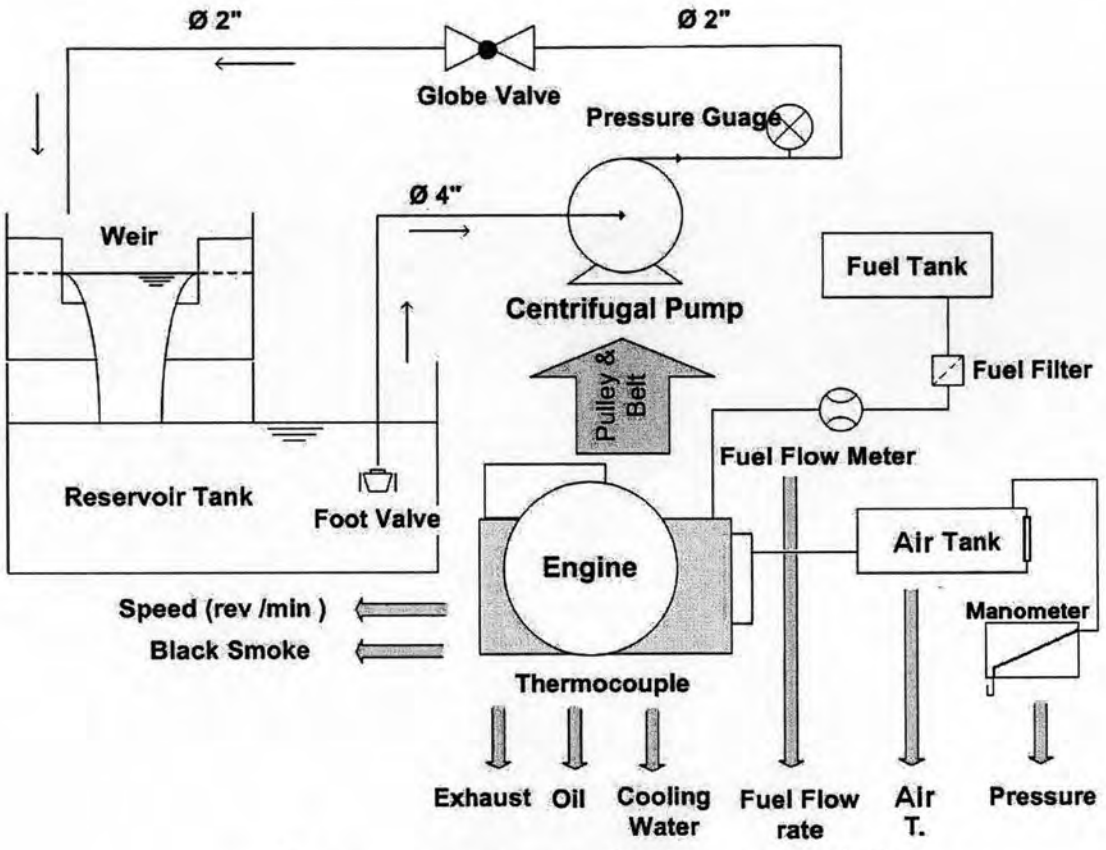
การทดสอบความทนทาน เป็นการทดสอบเพื่อหาผลกระทบที่ขึ้นเกิดกับเครื่องยนต์ เมื่อนำเครื่องยนต์ไปใช้งานจริงภายใต้ภาระจำลองในระยะเวลาที่กำหนด ในการทดสอบความทนทานนี้ใช้ปั๊มน้ำเป็นอุปกรณ์สร้างภาระให้กับเครื่องยนต์ตลอดการทดสอบความทนทาน

ก่อนการทดสอบความทนทานได้ทำการเปลี่ยนชิ้นส่วนใหม่ทดแทนชิ้นส่วนเดิมของเครื่องยนต์ ได้แก่ ลูกสูบ แหวนสูบ สลักลูกสูบ แบริ่งก้านสูบ วาล์วไอดี วาล์วไอเสีย ชุดหัวฉีดปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง และทำการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วน พร้อมกับถ่ายภาพสภาพฝาสูบ บ่าวาล์ว ผนังกระบอกสูบ เพื่อใช้อ้างอิงในการเปรียบเทียบภายหลังผ่านการทดสอบความทนทาน นอกจากนี้ยังทำการทดสอบความดันที่ใช้ในการฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีดใหม่ก่อนการทดสอบอีกด้วย

ระหว่างการทดสอบความทนทานจะทำการบันทึกข้อมูลสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ ได้แก่ อุณหภูมิไอเสีย อุณหภูมิน้ำมันเครื่อง อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น อุณหภูมิอากาศในถังพักอากาศ อัตราการไหลของอากาศขาเข้าเครื่องยนต์ อุณหภูมิและความดันอากาศภายนอก อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าควันดำ และบันทึกข้อมูลภาระเครื่องยนต์จากชุดปั๊มน้ำประกอบด้วย ความดันทางด้านส่งของระบบสูบน้ำ ความดันทางด้านดูดของระบบสูบน้ำ และอัตราการไหลของน้ำ พร้อมทำการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการทดสอบของเครื่องยนต์ เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติและตรวจหาโลหะตกค้างในน้ำมันหล่อลื่น

4.2.1 **อุปกรณ์และการติดตั้งสำหรับการทดสอบความทนทาน**

การทดสอบความทนทานเป็นการทดสอบเพื่อหาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ เมื่อเครื่องยนต์ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลทางเลือก ในการทำงานจริงภายใต้สภาวะภาระจำลองในระยะเวลาที่กำหนด ในการทดสอบความทนทานนี้จะใช้ชุดปั๊มน้ำเป็นอุปกรณ์สร้างภาระจำลองให้กับเครื่องยนต์ตลอดช่วงเวลาการทดสอบ แผนผังแสดงการติดตั้งเครื่องยนต์ และชุดปั๊มน้ำแสดงในรูปที่ 4-23 โดยแต่ละอุปกรณ์ของชุดทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



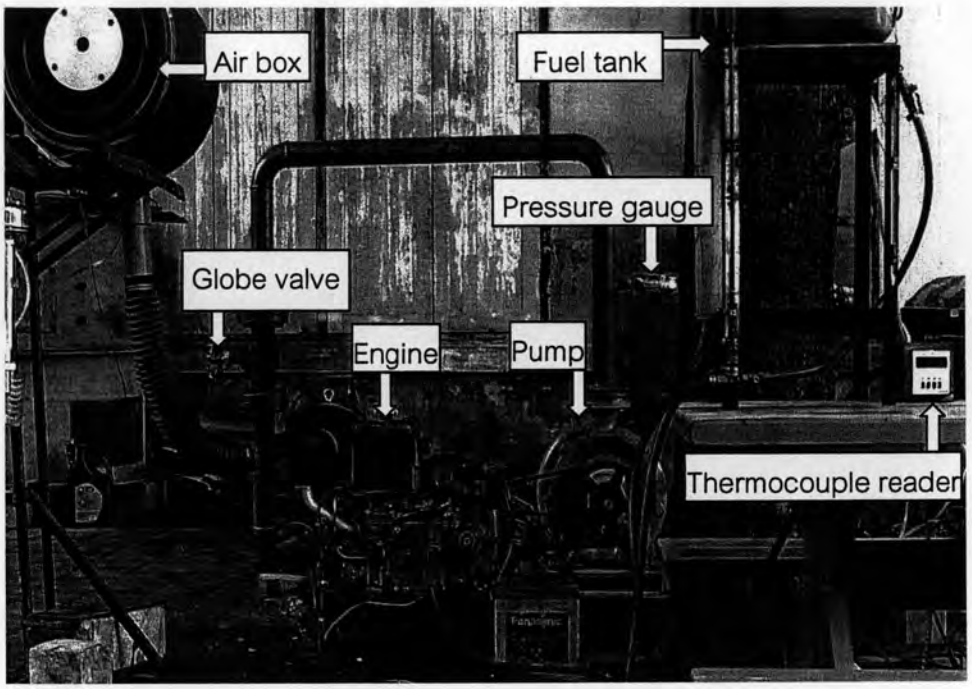
รูปที่ 4-23 แสดงแผนผังการติดตั้งเครื่องยนต์กับชุดปั๊มน้ำ

4.2.1.1 **เครื่องยนต์**

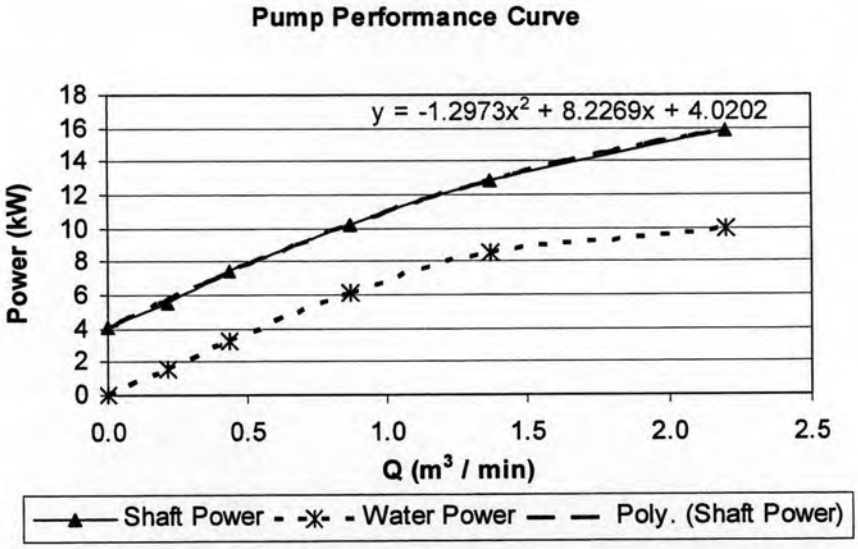
ใช้เครื่องยนต์เดียวกับเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะ

4.2.1.2 **ระบบปั๊มน้ำ**

ปั๊มน้ำที่ใช้เป็นแบบปั๊มหอยโข่ง ยี่ห้อ KAWAMOTO รุ่น GEM-80X655-4M11 ขนาดท่อทางดูด 80 มิลลิเมตร ขนาดท่อทางส่ง 65 มิลลิเมตร ความเร็ว 1,600 รอบต่อนาที อัตราการไหล 0.8 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หัวน้ำสูง 36 เมตร กำลัง 11 กิโลวัตต์ เชื่อมต่อกับเครื่องยนต์ด้วย สายพาน และ มู่เล่ โดยมู่เล่ที่เครื่องยนต์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว มู่เล่ที่ปั๊มมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 4-24 โดยขณะที่เครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบสูงสุดที่ 2,400 รอบต่อนาที ปั๊มน้ำจะทำงานที่ความเร็วรอบ 1,600 รอบต่อนาที โดยประสิทธิภาพของปั๊มที่ความเร็ว 1,600 รอบต่อนาทีแสดงดังรูปที่ 4-25



รูปที่ 4-24 แสดงเครื่องยนต์ติดตั้งร่วมกับระบบปั๊มน้ำในการทดสอบความทนทาน



รูปที่ 4-25 แสดงประสิทธิภาพของปั๊มน้ำที่ภาระต่างๆ ความเร็วรอบคงที่ 1600 รอบต่อนาที

ระบบท่อส่งน้ำประกอบด้วย ท่อทางดูดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ปลายท่อติดตั้ง Foot Valve จุ่มในถังพักน้ำ (Reservoir) ความยาวของท่อทางดูดจะมีความยาว 13 เมตร จนถึงตำแหน่งหน้าปั๊มจะลดขนาดท่อเหลือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ก่อนเข้าปั๊ม ระบบท่อทางส่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว มีการติดตั้งเกจวัดความดัน และวาล์วปรับอัตราการไหลติดตั้งอยู่ตามรูปที่ 4-24 ระบบท่อทางส่งจะมีความยาว 20 เมตร

4.2.1.3 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำ

ฝายถูกนำมาใช้ในการวัดอัตราการไหลของน้ำตลอดการทดสอบนี้ ฝายเป็นเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้วัดอัตราการไหลของน้ำในร่องน้ำเปิด จากลักษณะของน้ำที่ไหลผ่านสันฝาย ทำให้สามารถวัดอัตราการไหลได้จากระดับความสูงของน้ำที่อยู่เหนือสันฝาย โดยตำแหน่งที่วัดระดับความสูง จะต้องอยู่ห่างไปทางด้านต้นน้ำอย่างน้อย 4 เท่า ของระดับความสูงของน้ำเหนือฝาย

ฝายที่ใช้เป็นฝายสี่เหลี่ยม มีขนาดความกว้าง 45.5 เซนติเมตร ความกว้างร่องน้ำเท่ากับ 75 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4-26 ลักษณะของสันฝายเป็นแบบสันคม ขอบฝายทางด้านต้นน้ำทำมุมเป็นมุมฉาก ส่วนขอบทางด้านปลายน้ำเป็นมุมป้าน

รูปที่ 4-26 แสดงฝายวัดอัตราการไหลของน้ำ ขนาดความกว้าง 45.5 เซนติเมตร

อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4-3)

$$Q = C_w L H^{3/2} \tag{4-3}$$

เมื่อ C_w = สัมประสิทธิ์ของฝายมีค่าเท่ากับ $C_d . \frac{2}{3}\sqrt{2g}$

และ
$$C_d = 0.605 + \frac{1}{305H} + 0.08\frac{H}{P} \tag{4-4}$$

โดยที่ L คือ ความกว้างของสันฝาย , เมตร (=0.455 เมตร)

H คือ ความสูงของระดับน้ำเหนือสันฝาย , เมตร

P คือ ความสูงของสันฝายจากพื้น , เมตร

เนื่องจากฝายที่ใช้เป็นฝายที่มีขนาดเล็กกว่าความกว้างของลำน้ำ เมื่อน้ำไหลผ่านฝายจะเกิดคอคอดตามแนวขวางขึ้น ดังนั้นความกว้างของลำน้ำที่ไหลผ่านก็จะแคบกว่ารอยบาก *L* ของฝาย ดังนั้นในการหาอัตราการไหลของการไหลลักษณะนี้จะต้องแทนค่า *L* ในสมการ (4-3) ด้วย *(L-0.1nH)* เมื่อ *n* เป็นจำนวนของด้านที่เกิดการคอดตัว ปกติแล้วจะมีค่าเท่ากับสอง แต่บางครั้งมีค่าเท่ากับ 1 สำหรับในการงานวิจัยนี้มีค่า เท่ากับ 2

จากรูปที่ 4-25 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล กับ กำลังที่เพลาดังสมการที่ (4-5)

$$y = -1.2973x^2 + 8.2269x + 4.0202 \qquad (4\text{-}5)$$

โดยที่ y คือ อัตราการไหลของน้ำ , ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

x คือ กำลังที่เพลา , กิโลวัตต์

เมื่อนำค่าอัตราการไหลที่ได้จากสมการ (4-3) แทนค่าลงในสมการ (4-5) จะได้กำลังที่เพลาออกมา ทำให้เราทราบกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ ณ จุดที่ทำการทดสอบ

4.2.1.4 อุปกรณ์วัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงการทดสอบความทนทาน

การวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ใช้อุปกรณ์การวัดการไหลชนิด Volumetric Gravitation Flow Meter โดยทำการดัดแปลงหลอดบิวเรต ขนาดปริมาตร 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใช้งานร่วมกับนาฬิกาจับเวลา ดังรูปที่ 4-27

รูปที่ 4-27 แสดงอุปกรณ์การวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในการทดสอบความทนทาน

ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง อยู่บริเวณหลังชุดกรองน้ำมันเชื้อเพลิง โดยน้ำมันที่ถูกส่งกลับจากหัวฉีดจะนำมาต่อรวมกับน้ำมันที่จะต่อเข้าปั๊ม หลังเครื่องมือวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

4.2.1.5 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

การวัดอุณหภูมิใช้ เทอร์โมคัปเปิล ชนิด type K (Chromel-Alumel, CA) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.65 มิลลิเมตร ชุดเดียวกับที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะ โดยใช้งานร่วมกับตัวอ่านค่ายี่ห้อ DIGICON รุ่น IS-7 โดยตัวแปรอุณหภูมิการทำงาน ที่ทำการวัดมีดังนี้

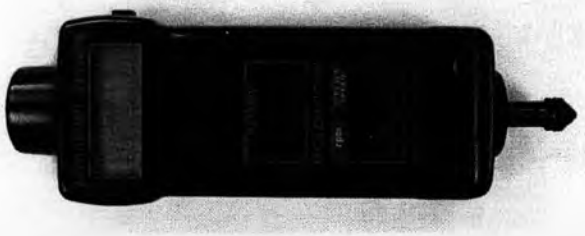
- อุณหภูมิอากาศที่ไหลเข้าท่อไอดีก่อนเข้าห้องเผาไหม้
- อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น
- อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น
- อุณหภูมิไอเสีย

4.2.1.6 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ (Ambient Condition)

ระหว่างการทดสอบสมรรถนะได้ทำการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งของบรรยากาศ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งแบบปรอทตามลำดับ ส่วนความดันบรรยากาศ วัดโดยใช้บารอมิเตอร์ เช่นเดียวกับการทดสอบสมรรถนะ

4.2.1.7 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบเครื่องยนต์

การวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ใช้อุปกรณ์วัดความเร็วรอบแบบสัมผัส ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DT-250TP ย่านการวัดอยู่ที่ความเร็วรอบ 0.5-19,999 รอบต่อนาที ความละเอียดอยู่ที่ 0.1 รอบต่อนาที เมื่อย่านการวัดน้อยกว่า 1,000 รอบต่อนาที และ ความละเอียด อยู่ที่ 1.0 รอบต่อนาทีเมื่อย่านการวัดมากกว่า 1,000 รอบต่อนาที ความเที่ยงตรงอยู่ที่ ร้อยละ0.05 ดังแสดงในรูปที่ 4-28



รูปที่ 4-28 แสดงเครื่องมือวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์

4.2.2 วิธีการทดสอบความทนทาน

ก่อนการทดสอบได้ทำการกำหนดวัฏจักรจำลองการทำงานที่ใช้ในการทดสอบ โดยวัฏจักรที่ออกแบบนี้ดัดแปลงจาก EMA Test โดยกำหนดให้เครื่องยนต์ทำงานที่ภาระสูงสุดสลับกับการทำงานที่ภาระบางส่วน เพื่อเป็นการลดภาระในการทำงานของเครื่องยนต์และเพื่อให้กลไกการทำงานของปั๊มมีการเปลี่ยนตำแหน่งสลับไปมาอยู่เสมอ วัฏจักรจำลองที่กำหนดขึ้นแสดงในตารางที่ 4-4

ตาราง 4-4 แสดงวัฏจักรที่ใช้ในการทดสอบ

สภาวะการทำงาน	ภาระ	ความเร็ว(รอบต่อนาที)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)
1.	ภาระสูงสุด	2,400	3
2.	90 % ของภาระสูงสุด	2,400	1
3.	80 % ของภาระสูงสุด	2,400	1

จากตารางที่ 4-4 ใน 1 วัฏจักร ใช้เวลาทดสอบรวม 5 ชั่วโมง โดยในหนึ่งวันทำการทดสอบ 3 วัฏจักรรวมเป็นเวลาในการทดสอบ 15 ชั่วโมงต่อวัน โดยเวลาที่เหลือ 9 ชั่วโมงจะเป็นช่วงการหยุดเพื่อตรวจสภาพและพักเครื่องยนต์

นอกจากนี้ก่อนการทดสอบยังได้ทำการ Run in เครื่องยนต์ ตามวัฏจักรที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำบนแท่นทดสอบความทนทานซึ่งประกอบด้วย

1.ไม่มีภาระ (No load) ความเร็วรอบ 2,400 รอบต่อนาที ระยะเวลา 30 นาที

2.ภาระ 50% ของ rated power ความเร็วรอบ 2,400 รอบต่อนาที ระยะเวลา 30 นาที

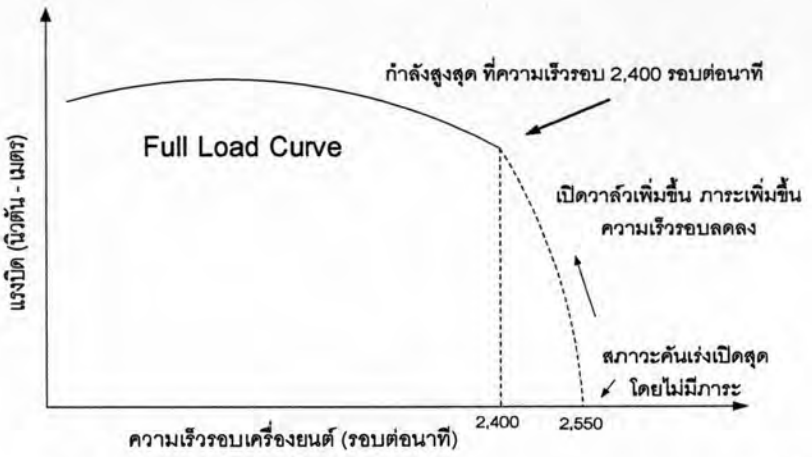
3.ภาระ 100% ของ rated power ความเร็วรอบ 2,400 รอบต่อนาที ระยะเวลา 20 ชั่วโมง

ก่อนและหลังการ Run in ได้ทำการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นและทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นใหม่ และทำความสะอาดไส้กรองน้ำมันหล่อลื่น

ก่อนเริ่มทดสอบในแต่ละวันจะทำการตรวจสภาพเครื่องยนต์ เช็คระดับน้ำหล่อเย็น ระดับน้ำมันหล่อลื่น ระดับความตึงสายพาน จากนั้นทำการสตาร์ทเครื่องยนต์ และอุ่นเครื่องยนต์โดยทำการเปิดวาล์วน้ำที่ระบบปั๊มน้ำครึ่งรอบ แล้วทำการเร่งเครื่องยนต์ให้ได้ความเร็วรอบ 1,800 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที จนได้อุณหภูมิการทำงานของเครื่องยนต์ จากนั้นจึงเริ่มทำการทดสอบตามวัฏจักรการทดสอบความทนทานโดยเริ่มจากสภาวะการทำงานที่ 1

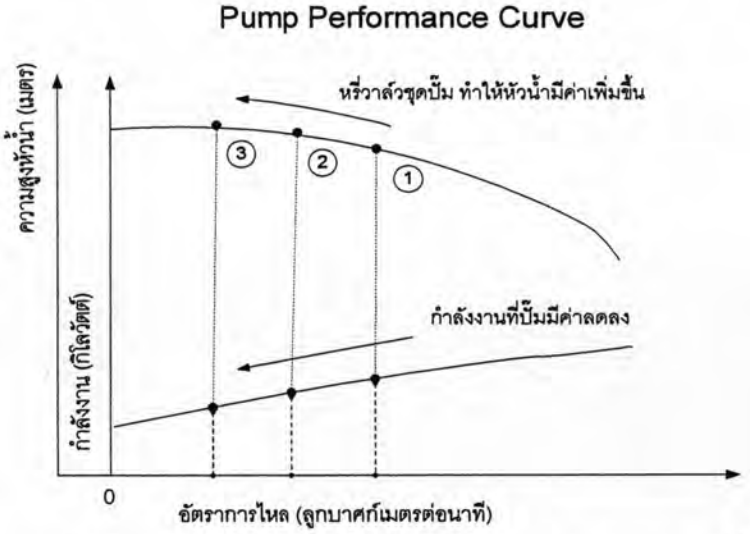
สภาวะการทำงานที่ 1 เริ่มจากเร่งเครื่องยนต์จนถึงตำแหน่งสูงสุด คือ ตำแหน่งที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์มีความเร็วรอบประมาณ 2,550 รอบต่อนาที โดยเครื่องยนต์ไม่มีภาระ จากนั้นเปิดวาล์วน้ำที่ระบบปั๊มน้ำ เป็นการเพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์ จนเครื่องยนต์มีความเร็วรอบ 2,400

รอบต่อนาที ทำให้ปั๊มน้ำมีความเร็วรอบ 1,600 รอบต่อนาที ดังรูปที่ 4-29 ซึ่งเครื่องยนต์จะทำงานตรงกับสภาวะทำงานที่ 1 จากนั้นทำการบันทึกข้อมูล อัตราการไหลของเชื้อเพลิง อุณหภูมิที่จุดต่างๆ ความดันบรรยากาศ อัตราการไหลของอากาศจากการวัดความดันตกคร่อมorificeในถังพักอากาศ ความดันด้านจ่ายของปั๊มน้ำ ความดันด้านดูดของปั๊มน้ำ ความสูงของระดับน้ำเหนือสันฝายและบันทึกซ้ำทุกหนึ่งชั่งโมง จนครบ 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4-29 แสดงสภาวะการทำงานที่ 1 บนกราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์

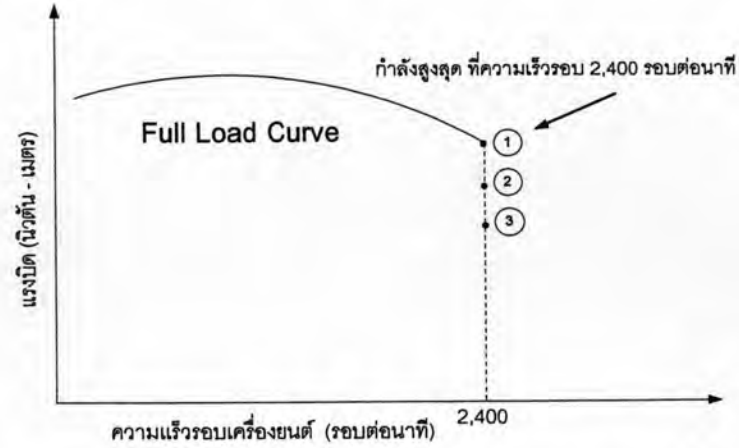
สภาวะการทำงานที่ 2 เริ่มจากการหรี่วาล์วน้ำที่ระบบปั๊มน้ำ ลงประมาณครึ่งรอบ จากการหรี่วาล์วน้ำเป็นการลดภาระของเครื่องยนต์จะทำให้รอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น จากนั้นปรับลดคันเร่งเครื่องยนต์ลง จนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดลงมาที่ 2,400 รอบต่อนาที จากการหรี่วาล์วน้ำทำให้หัวน้ำของปั๊มน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งจาก Pump Curve และเมื่อลดความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะทำให้อัตราการไหลลดลง กำลังที่ใช้ขับปั๊มลดลง ที่ความเร็วรอบการทำงานเท่าเดิม (1,600 รอบต่อนาที) ดังรูปที่ 4-30 ซึ่ง ณ สภาวะการทำงานนี้กำลังจากปั๊มน้ำจะลดลงประมาณ ร้อยละ 10 โดยขณะทดสอบจะทำการตรวจสอบค่าสภาวะการทำงานที่จุดทำงานดังกล่าวจากการวัดอัตราการไหลของน้ำ โดยการวัดปริมาณการไหลผ่านฝายน้ำ และนำค่าไปเปรียบเทียบกับกราฟสมรรถนะของปั๊มน้ำ จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลต่างๆ เช่นเดียวกับสภาวะการทำงานที่ 1 และทำการบันทึกซ้ำทุก 15 นาที จนครบ 1 ชั่วโมงการทำงาน



รูปที่ 4-30 แสดงสภาวะการทำงาน บนกราฟสมรรถนะของปั๊มน้ำ

สภาวะการทำงานที่ 3 เริ่มจากการหรี่วาล์วน้ำที่ชุดปั๊มน้ำ ลงอีกประมาณครึ่งรอบ และทำการปรับลดคันเร่งเครื่องยนต์ลง จนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดลงมาที่ 2,400 รอบต่อนาที ซึ่ง ณ สภาวะการทำงานนี้กำลังที่ใช้ในการขับปั๊มน้ำจะลดลงอีกประมาณ ร้อยละ10 โดยขณะปรับแต่งจะทำการตรวจสอบจากอัตราการไหลของน้ำและข้อมูลจากกราฟสมรรถนะของปั๊มน้ำ เช่นเดียวกับสภาวะการทำงานที่ 2 ดังรูปที่ 4-30 จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลต่างๆ เช่นเดียวกับสภาวะการทำงานก่อนๆ และทำการบันทึกซ้ำทุก 15 นาที จนครบ 1 ชั่วโมงการทำงาน

เมื่อสิ้นสุดสภาวะการทำงานที่ 3 จะกลับไปเริ่มต้นในสภาวะที่ 1 สภาวะที่ 2 และสภาวะที่ 3 ใหม่ จนครบ 3 วัฏจักรการทดสอบ เวลารวม 15 ชั่วโมง ต่อวัน ซึ่งเครื่องยนต์จะทำงานสภาวะการทำงานทั้งสามจุดที่ความเร็วรอบ 2,400 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4-31



รูปที่ 4-31 แสดงวัฏจักรสภาวะการทำงาน บนกราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์

ระหว่างการทดสอบความทนทานจะทำการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นทุกระยะชั่วโมงการทำงานที่กำหนด พร้อมจัดให้มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นตามระยะเวลาที่ผู้ผลิตกำหนด จนสิ้นสุดการทดสอบ พร้อมจัดให้มีการวัดค่าควันดำ โดยจะทำการวัดเฉพาะสภาวะการทำงานที่ 1 เริ่มจากชั่วโมงการทำงานที่ 1 และทำการวัดทุก 10 ชั่งโมงการทำงานจนสิ้นสุดการทดสอบความทนทาน

หลังการทดสอบความทนทานครบ 320 ชั่วโมงทำงาน นำเครื่องยนต์มาทดสอบสมรรถนะหลังผ่านการใช้งาน โดยใช้น้ำมันเตาผสมเคโรซีนเป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบสมรรถนะ ทำการวัดค่าแรงบิด อุณหภูมิการใช้งาน และค่าควันดำด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการทดสอบสมรรถนะ Full load Performance และ Engine Performance Test ตามลำดับ

4.3 การเตรียมเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกสำหรับการทดสอบความทนทาน

ในการเตรียมเชื้อเพลิงสำหรับการทดสอบความทนทานจะทำการเตรียมน้ำมันดีเซลทางเลือก จากการประมาณค่าการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดังตารางที่ 4-5 โดยพบว่าใน 1 วัฏจักรการทดสอบ (5 ชั่วโมง) ใช้น้ำมันดีเซลทางเลือกประมาณ15 ลิตร นั่นคือใน 1 วัน (3 วัฏจักร) จะใช้น้ำมันดีเซลทางเลือกประมาณ 45 ลิตร จึงทำการผสมน้ำมันดีเซลทางเลือกครั้งละ 50 ลิตรเพื่อให้ได้ปริมาณเพียงพอต่อการใช้งานใน 1 วัน

ตารางที่ 4-5 การเตรียมเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกสำหรับการทดสอบความทนทาน

ครั้งที่ผสมน้ำมัน (Batch)	ชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์	ครั้งที่ผสมน้ำมัน (Batch)	ชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์
1	1-17	11	170-187
2	17-34	12	187-204
3	34-51	13	204-221
4	51-68	14	221-238
5	68-85	15	238-255
6	85-102	16	255-272
7	102-119	17	272-289
8	119-136	18	289-306
9	136-153	19	306-320
10	153-170		

4.4 การสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นน้ำมันหล่อลื่นที่ถูกควบคุมคุณภาพโดยนำมาจากการผลิตครั้งเดียวกัน เพื่อควบคุมตัวแปรที่เกิดขึ้นจากการผลิตน้ำมันหล่อลื่น พร้อมทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นใหม่เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการเปรียบเทียบ

การสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น จะทำการสุ่มตัวอย่างโดยการดูดจากอ่างน้ำมันหล่อลื่นผ่านทางช่องเสียบก้านวัดระดับน้ำมันหล่อลื่น ด้วยอุปกรณ์เฉพาะทาง ดังแสดงในรูปที่ 4-32 การสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นจะทำในขณะที่เครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบเดินเบา (1,000 รอบต่อนาที) ที่อุณหภูมิการทำงานปกติของเครื่องยนต์

รูปที่ 4-32 แสดงอุปกรณ์และภาชนะที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น

โดยในแต่ละครั้งจะทำการดูดตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นปริมาณ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร หลังจากการสุ่มน้ำมันจะทำการเติมน้ำมันใหม่กลับคืนในปริมาตรที่เท่ากับการสุ่ม ช่วงเวลาในการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นแสดงในตารางที่ 4-6

การเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นจะทำการเปลี่ยนถ่าย 4 ครั้ง ที่หลังจากผ่านการ Run in เป็นเวลา 20 ชั่วโมง หลังผ่านการใช้งาน 100 ชั่วโมง (ชั่วโมงการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น 100 ชั่วโมง) หลังจากการผ่านใช้งาน 210 ชั่วโมง (อายุน้ำมัน หล่อลื่น 110 ชั่วโมง)และ หลังจากการผ่านใช้งาน 320 ชั่วโมง (อายุน้ำมัน หล่อลื่น 110 ชั่วโมง)

ตารางที่ 4-6 แสดงระยะเวลาในการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น

ลำดับที่	ชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์ (ชั่วโมง)	ชั่วโมงการทำงานของน้ำมันหล่อลื่น (ชั่วโมง)	ครั้งที่สุ่มตัวอย่าง	หมายเหตุ
1.	-20	0	1.	ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นใหม่
2.	0	20	2.	
เปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใหม่ ทำความสะอาดไส้กรองน้ำมันหล่อลื่น				
3.	0	0	3.	
4.	10	10	4.	
5.	25	25	5.	
6.	50	50	6.	
7.	75	75	7.	
8.	100	100	8.	
เปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใหม่ ทำความสะอาดไส้กรองน้ำมันหล่อลื่น				
9.	100	0	9.	
10.	110	10	10.	
11.	125	25	11.	
12.	150	50	12.	
13.	175	75	13.	
14.	200	100	14.	
15.	210	110	15.	เกินอายุการใช้งานน้ำมันหล่อลื่น*
เปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใหม่ ทำความสะอาดไส้กรองน้ำมันหล่อลื่น				
16.	210	0	16.	
17.	220	10	17.	
18.	235	25	18.	
19.	260	50	19.	
20.	285	75	20.	
21.	310	100	21.	
22.	320	110	22.	เกินอายุการใช้งานน้ำมันหล่อลื่น*

* ตามข้อแนะนำของผู้ผลิต แนะนำให้ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นทุก 100 ชั่วโมงทำงานของเครื่องยนต์

4.5 การวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่น

อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่นในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการวัดจากก้านวัดระดับน้ำมันหล่อลื่น (Dip –Stick Method หรือ Level-Top-Up Method) [14] เป็นการวัดระดับของน้ำมันหล่อลื่นด้วยก้านวัดระดับน้ำมัน ขณะที่เครื่องยนต์หยุดทำงานเป็นเวลานาน เพื่อให้น้ำมันที่อยู่บนผนังห้องเผาไหม้และส่วนต่างๆ ไหลกลับมารวมที่อ่างน้ำมันหล่อลื่น และอุณหภูมิในการวัดต้องอยู่ที่อุณหภูมิบรรยากาศปกติ เมื่อเครื่องยนต์ผ่านการใช้งานระดับน้ำมันหล่อลื่นลดลงจากตำแหน่งที่อ้างอิงที่กำหนดไว้ จึงทำการเติมน้ำมันหล่อลื่นให้ระดับน้ำมันกลับมาอยู่ตรงกับระดับอ้างอิงที่กำหนดไว้ ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่เติมเข้าไปคือปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่สูญเสียไป