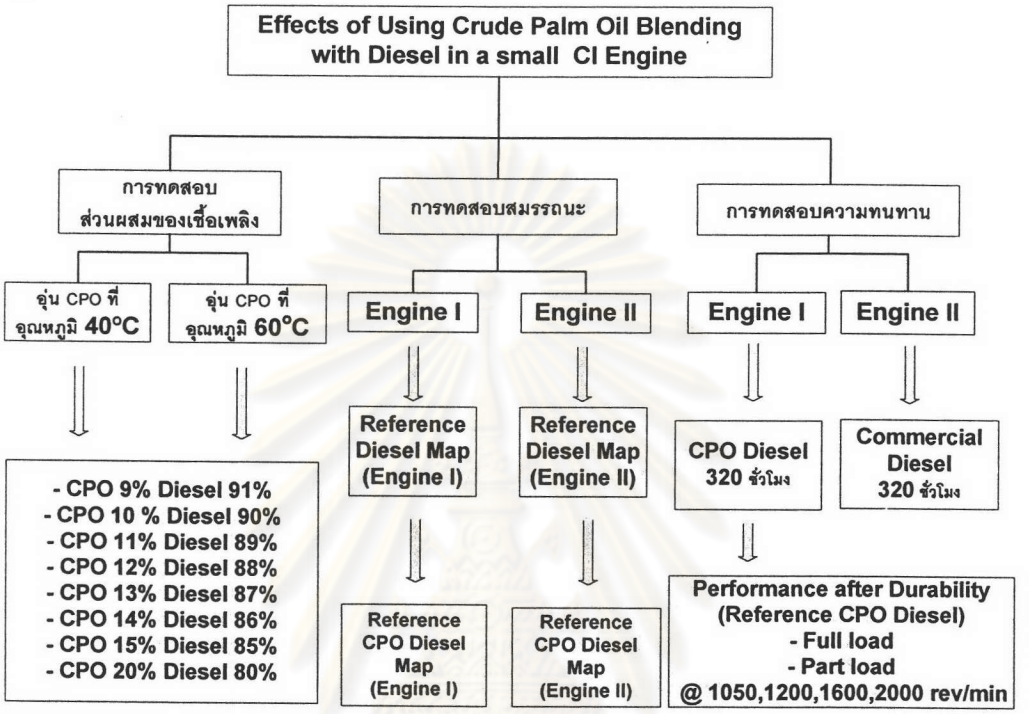
บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนการทำวิจัยออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน ตามแผนภาพในรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 แสดงแผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนแรกเป็นการทดสอบอุณหภูมิในการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบก่อนการผสมกับน้ำมันดีเซลที่สัดส่วนการผสมต่างๆ ที่อุณหภูมิการอุ่น CPO 40°C และ 60 °C เพื่อศึกษาปริมาณไขและตะกอนที่เกิดขึ้น

ขั้นตอนที่สองเป็นการทดสอบสมรรถนะ เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงกับน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง

ขั้นตอนที่สามเป็นการทดสอบความทนทานโดยนำเครื่องยนต์สองเครื่องมาใช้งานตามภาระที่กำหนด เครื่องหนึ่งใช้น้ำมันดีเซล อีกเครื่องใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล ภายในระยะเวลา 320 ชั่วโมง โดยจะมีการสุ่มน้ำมันหล่อลื่นเพื่อนำไปประกอบการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

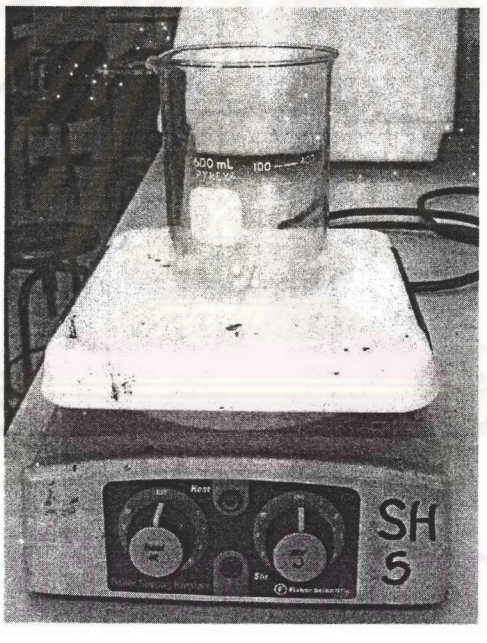
3.1 การทดสอบส่วนผสมของเชื้อเพลิง

ขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาสัดส่วนและวิธีการผสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบกับน้ำมันดีเซล เพื่อให้ได้ส่วนผสมที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันและไม่เกิดการแยกชั้นขณะเก็บรักษา โดยจัดการทดสอบเพื่อศึกษาปริมาณไขและตะกอนที่เกิดขึ้นในส่วนผสมน้ำมันปาล์มดิบต่อน้ำมันดีเซลที่ 9 : 91,10 : 90,11 : 89,12 : 88,13 : 87,14 : 86,15 : 85 และ 20 : 80 เมื่อทำการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิของน้ำมันปาล์มดิบก่อนการผสมเท่ากับ 40°C และ 60°C ตามลำดับ

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบส่วนผสม

3.1.1.1 เครื่องกวน

เครื่องกวนที่ใช้ในการอุ่นและผสมน้ำมันปาล์มเป็นแบบ Magnatic Stirrer แบบมี Heater ในตัว ยี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น F-3075 ดังรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 แสดงเครื่องกวนที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.1.2 เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

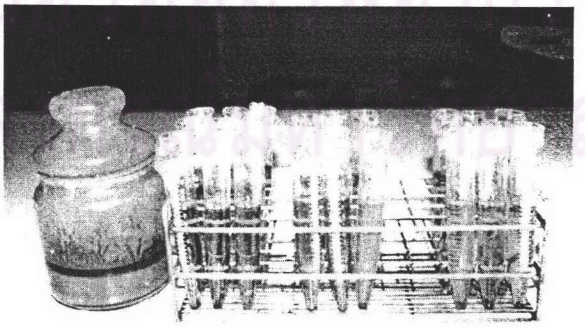
เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเพื่อแยกสารแขวนลอยในสารตัวอย่างเพื่อให้ตกตะกอนได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องยี่ห้อ Sigma รุ่น 201 ดังรูปที่ 3-3

รูปที่ 3-3 แสดงเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.2 วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินการเริ่มจากการตวงน้ำมันปาล์มดิบตามส่วนผสมที่ต้องการ นำไปอุ่นให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ (ที่อุณหภูมิ 40°C และ 60°C) แล้วนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อให้ได้ตามส่วนผสมที่ต้องการ น้ำมันผสมจะถูกกวนให้เป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยเครื่องกวน จากนั้นจึงนำน้ำมันที่ผสมเสร็จใส่หลอดแก้วทดลองทิ้งไว้นิ่งๆเพื่อศึกษาปริมาณตะกอน และการเกิดไข เทียบกับส่วนผสมอื่นๆ

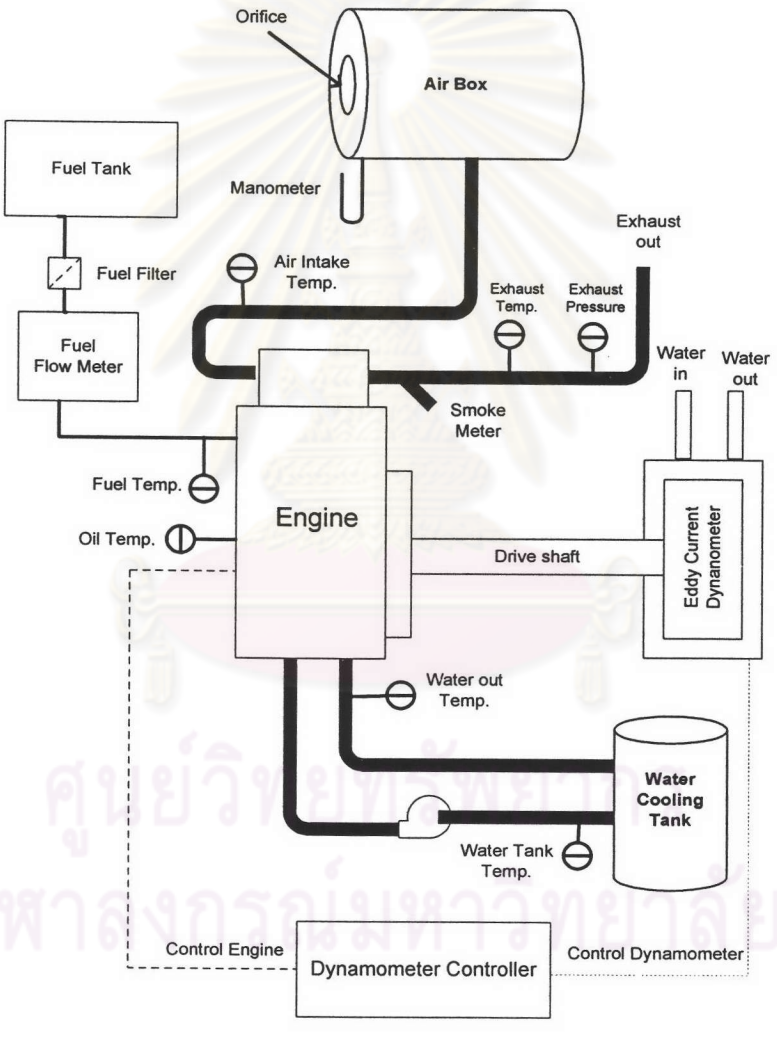
นอกจากนี้ ยังได้นำน้ำมันดีเซลผสมปาล์มดิบที่ส่วนผสม 9:91 , 10:90 และ 11:89 ซึ่งทำการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิน้ำมันปาล์มดิบก่อนการผสม 40 °C , 50°C และ 60°C ไปผ่านกระบวนการเหวี่ยงหนีศูนย์ (Centrifuse) ที่ความเร็ว 1500 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที เพื่อเร่งให้ของแข็งแขวนลอยตกตะกอน และก่อนนำมาทำการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-4 แสดงน้ำมันดีเซลผสมปาล์มดิบที่ส่วนผสมต่างๆ หลังผ่านกระบวนการเหวี่ยงหนีศูนย์

3.2 การทดสอบสมรรถนะ (Performance Map)

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ เป็นการศึกษาเบื้องต้นถึงสมรรถนะและอุณหภูมิการทำงานที่ได้จากเครื่องยนต์รุ่นเดียวกันเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงและน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง การทดสอบได้ดำเนินการทั้งที่สภาวะภาระสูงสุด (Full Load) และที่สภาวะภาระบางส่วน (Part Load) ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงในรูปแผนภูมิสมรรถนะ (Performance Map) ซึ่งแผนผังแสดงการติดตั้งเครื่องยนต์และเครื่องมือในการทดสอบแสดงไว้ในรูปที่ 3-5



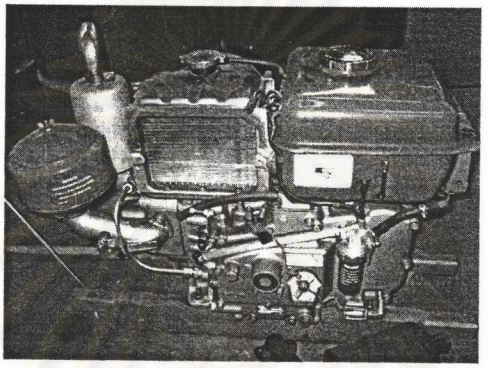
รูปที่ 3-5 แสดงแผนผังในการการติดตั้งเครื่องยนต์และอุปกรณ์ในการทดสอบสมรรถนะ

3.2.1 อุปกรณ์และการติดตั้งสำหรับการทดสอบสมรรถนะ

การทดสอบสมรรถนะ ทำการทดสอบบนแท่นทดสอบเครื่องยนต์ ร่วมกับไดนาโมมิเตอร์ในการทดสอบ โดยอุปกรณ์ การดัดแปลงในการติดตั้ง แสดงดังหัวข้อต่อไปนี้

3.2.1.1 เครื่องยนต์

เครื่องยนต์ที่ทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมยี่ห้อ KUBOTA รุ่น ET-115 แสดงในรูปที่ 3-6 จำนวนสองเครื่อง รายละเอียดของข้อมูลทางเทคนิคแสดงในตารางที่ 3-1



รูปที่ 3-6 แสดงเครื่องยนต์ดีเซลห้องเผาไหม้ล่วงหน้าแบบหมุนวน

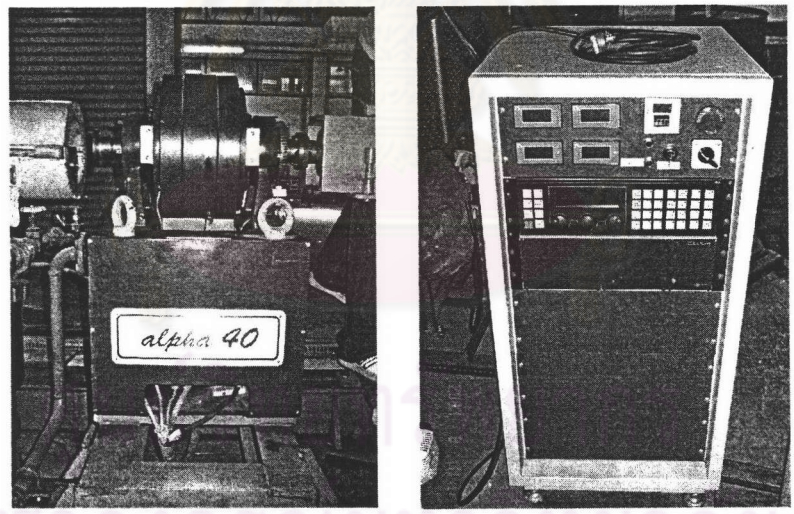
ตารางที่ 3-1 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องยนต์	Kubota
รุ่น	ET115
ชนิด	Single cylinder (ลูกสูบเคลื่อนที่ในแนวนอน)
ระบบห้องเผาไหม้	Swirl chamber
ขนาดกระบอกสูบ	94 mm. (bore)
ช่วงชัก	90 mm. (stroke)
ปริมาตรกระบอกสูบ	624 cc.
แรงม้าสูงสุด	11.5 hp / 2400 rpm
แรงบิดสูงสุด	3.7 kg-m / 1700 rpm
อัตราส่วนกำลังอัด	21 : 1
ระบบหล่อลื่น	ฉีดส่งโดยปั๊มแบบ rotary
ระบบระบายความร้อน	หม้อน้ำแบบหม้อน้ำรังผึ้ง ระบายความร้อนแบบ Natural Convection

ก่อนทำการทดสอบได้ทำการถอดและนำชิ้นใหม่ คือ ลูกสูบ ชุดแหวน ปลอกสูบ หัวฉีด ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง แบริ่งก้านสูบ สลักลูกสูบ วาล์วไอดี วาล์วไอเสีย มาเปลี่ยนชิ้นส่วนเดิม เพื่อใช้เป็นบรรทัดฐานในการเปรียบเทียบผลกระทบต่อชิ้นส่วนเหล่านี้อันเนื่องมาจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ต่างชนิดในการศึกษาครั้งนี้

3.2.1.2 ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer)

ไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นไดนาโมมิเตอร์ชนิดกระแสไหลวน (Eddy Current) ยี่ห้อ AVL รุ่น Alpha 40 กำลังสูงสุด 40 กิโลวัตต์ แรงบิดสูงสุด 75 นิวตัน – เมตร ความแม่นยำในการวัดแรงบิด ±0.2% ของค่าเต็มสเกล อัตราเร็วสูงสุด 17,000 รอบต่อนาที ควบคุมการทำงานโดยชุดควบคุมของ AVL รุ่น BME 300 ดังแสดงในรูปที่ 3-7 เครื่องยนต์ที่ทำการทดสอบจะถูกนำมาต่อเข้ากับไดนาโมมิเตอร์โดยใช้เพลาในการเชื่อมต่อร่วมกับ Universal Joint 2 ชุด ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ วัดได้จาก เซ็นเซอร์วัดความเร็วที่ไดนาโมมิเตอร์ ความแม่นยำในการวัดอัตราเร็วแบบดิจิตอลคือ ±1 รอบต่อนาที ต่อ ±1 ความเร็วรอบ

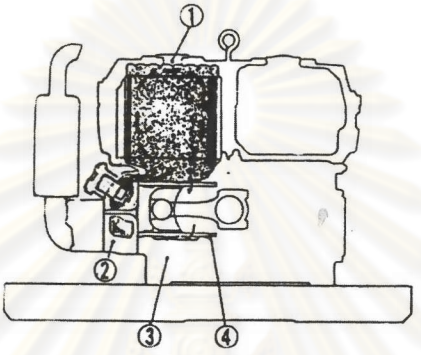


(ก) (ข)

รูปที่ 3-7 แสดงชุดไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ
ภาพ (ก) แสดงไดนาโมมิเตอร์ ยี่ห้อ AVL รุ่น Alpha 40
ภาพ (ข) แสดงชุดควบคุม ยี่ห้อ AVL รุ่น BME 300

3.2.1.3 ระบบน้ำหล่อเย็น

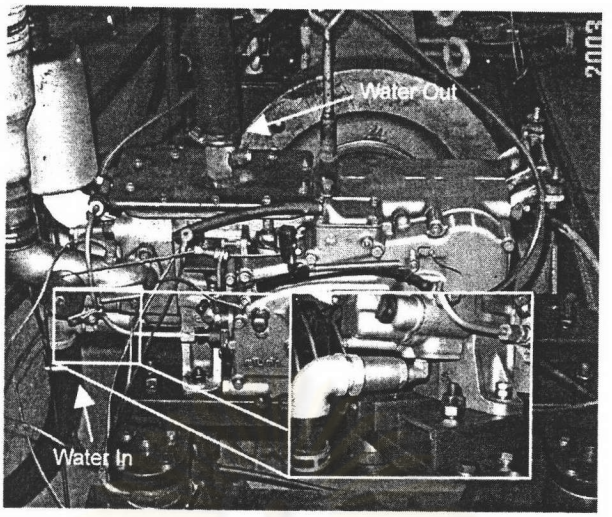
ระบบน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์เดิมเป็นแบบ Natural Convection รูปแบบการถ่ายเทความร้อนแสดงดังรูปที่ 3-8 ด้านบนของเครื่องยนต์จะเป็นช่องเปิดของโพรงน้ำซึ่งติดกับหม้อน้ำแบบรังผึ้ง เมื่อเครื่องยนต์ทำงานและมีอุณหภูมิสูงขึ้นความร้อนจากเครื่องยนต์จะถ่ายเทสู่น้ำหล่อเย็น เมื่อน้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะเคลื่อนตัวสูงขึ้นไปยังรังผึ้งหม้อน้ำซึ่งอยู่ด้านบน จากนั้นความร้อนก็จะถูกถ่ายเทออกจากน้ำหล่อเย็นผ่านทางหม้อน้ำ เมื่อน้ำเย็นลงจะเคลื่อนตัวต่ำลงไปในเครื่องยนต์เพื่อรับความร้อนจากกระบอกสูบเช่นนี้ต่อเนื่องไป



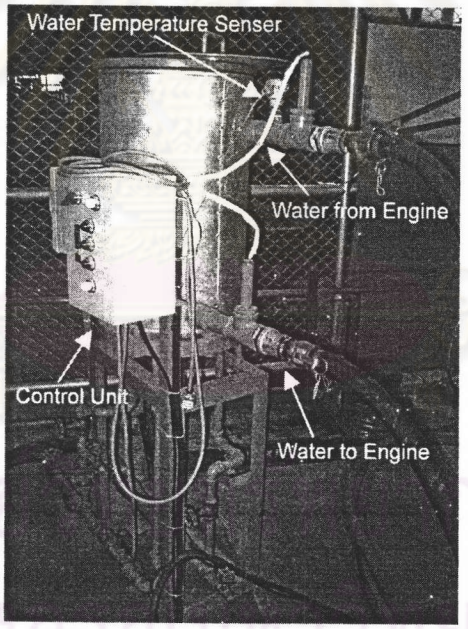
รูปที่ 3-8 แสดงระบบการถ่ายเทความร้อนแบบ Natural Convection ในเครื่องยนต์
(1. หม้อน้ำ 2.ฝาสูบ 3.เสื้อสูบ 4.กระบอกสูบ)

เห็นได้ว่าการถ่ายเทความร้อนจากเครื่องยนต์มีค่าไม่แน่นอน ซึ่งค่าการถ่ายเทความร้อนเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ได้ เพื่อเป็นการควบคุมการถ่ายเทความร้อนจากเครื่องยนต์ให้มีค่าคงที่ตลอดการทำการทดสอบ จึงได้ทำการดัดแปลงระบบระบายน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ใหม่ดังนี้

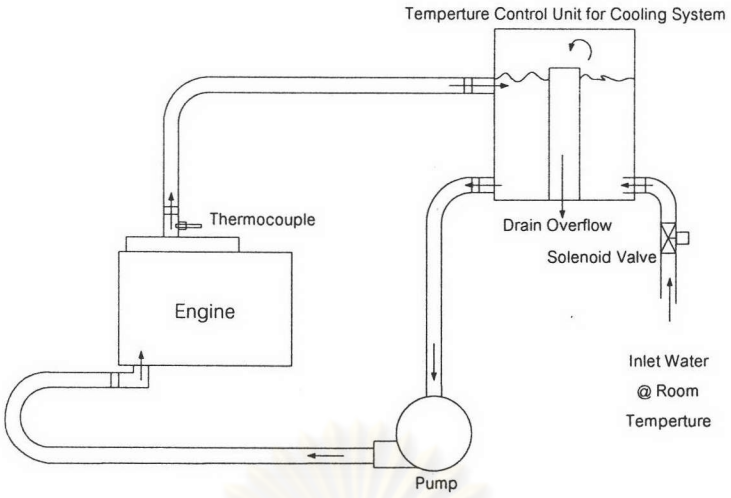
- ดัดแปลงช่องวาล์วถ่ายน้ำทิ้งที่ส่วนล่างสุดของฝาสูบโดยเปลี่ยนเป็นช่องน้ำเข้า และทำการถอดหม้อน้ำของเดิมออก สร้างฝาปิดครอบช่องน้ำเดิมทำเป็นท่อน้ำออกจากเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 3-9
- ติดตั้งปั๊มน้ำซึ่งใช้ต้นกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้า ทำงานที่ความเร็วรอบคงที่
- ติดตั้งชุดควบคุมอุณหภูมิความร้อนของน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3-10 โดยตำแหน่งการติดตั้งแสดงดังรูปที่ 3-11



รูปที่ 3-9 แสดงรูปแบบการดัดแปลงระบบน้ำหล่อเย็นที่ตำแหน่งทางน้ำเข้าและทางน้ำออก



รูปที่ 3-10 แสดงชุดควบคุมอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นและตำแหน่งเครื่องมือวัดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น



รูปที่ 3-11 แสดงระบบน้ำหล่อเย็นหลังการดัดแปลง

จากระบบน้ำหล่อเย็นนี้สามารถควบคุมอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ให้มีค่าคงที่ได้ โดยจะมีค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ประมาณ $\pm 1\ ^{\circ}C$

3.2.1.4 อุปกรณ์วัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในการทดสอบสมรรถนะ

การวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงกระทำโดยใช้อุปกรณ์ ในการวัดการไหลชนิด Volumetric Gravitation Flow Meter ชนิดหลอดแก้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. ใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับระดับของเหลวชนิด optical ยี่ห้อ SUNX รุ่น FD F-4 ร่วมกับแอมพลิฟายเออร์ โดยติดเซนเซอร์ 2 ตัวให้ห่างกันในระดับที่ได้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร สัญญาณจากเซนเซอร์จะต่อไปยังนาฬิกาจับเวลาแบบดิจิตอล ดังแสดงในรูปที่ 3-12 ขณะทำการวัด ระดับน้ำมันจะเคลื่อนที่ลงมาถึงเซนเซอร์ตัวบน นาฬิกาจับเวลาจะเริ่มทำการจับเวลา เมื่อระดับน้ำมันลดลงมาถึงเซนเซอร์ตัวล่าง นาฬิกาจะหยุดจับเวลา ช่วงเวลาที่วัดได้จะนำมาใช้ในการคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตร ดังสมการที่ (3-1)

$$\dot{V} = \frac{V}{t} \qquad (3\text{-}1)$$

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

V คือ ปริมาตรที่ใช้วัด (ml) สำหรับการทดสอบนี้ใช้ 10 ml

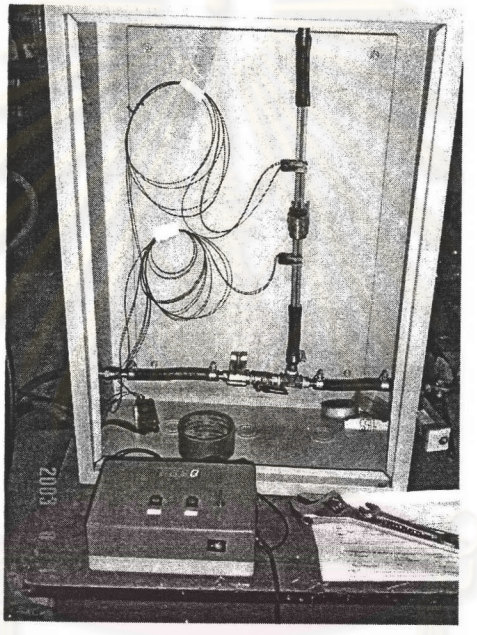
t คือ ช่วงเวลาที่นาฬิกาจับเวลาวัดได้ (s)

สำหรับอัตราสิ้นเปลืองโดยมวลของน้ำมันเชื้อเพลิงหาได้จากสมการที่ (3-2)

$$\dot{m}_f = \frac{\rho_f V}{t} \qquad (3\text{-}2)$$

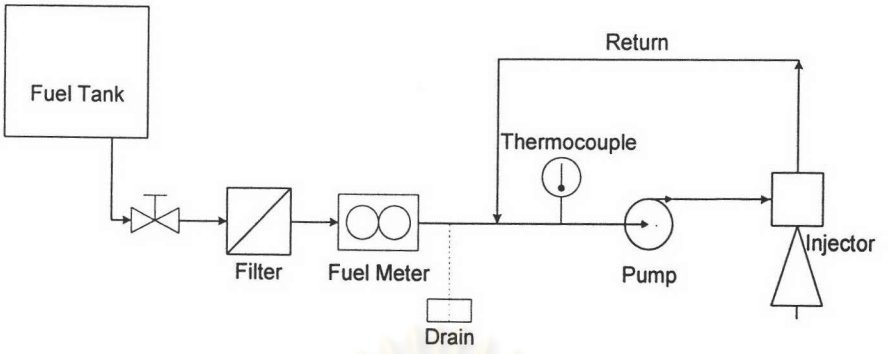
โดยที่ $\dot{m}_f$ คือ อัตราการไหลโดยมวลของเชื้อเพลิง (kg/s)

ρ_f คือ ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (kg/m^3)



รูปที่ 3-12 เครื่องมือวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ได้ทำการติดตั้งบริเวณหลังไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง และเนื่องจากระบบเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบจะมีเชื้อเพลิงที่เหลือจากการฉีดถูกส่งจากหัวฉีดไหลกลับไปยังถังน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งปริมาณเชื้อเพลิงในส่วนนี้จะทำให้ค่าที่วัดได้ไม่ถูกต้อง จึงทำการติดตั้งเชื้อเพลิงที่ถูกส่งกลับมารวมกับเชื้อเพลิงที่จะเข้าสู่ปั๊มบริเวณหลังเครื่องมือวัด ดังแผนภาพในรูปที่ 3-13



รูปที่ 3-13 ระบบเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.1.5 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ

การวัดอัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์ ทำการวัดด้วย orifice ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณทางเข้าถังพักอากาศ ถังพักอากาศจะช่วยลดการกระเพื่อมของอากาศที่ไหลผ่าน orifice เนื่องจากจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ จากนั้นวัดค่าความดันตกคร่อม Orifice plate เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ ดังรายละเอียดการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ข Orifice plate ที่ใช้เป็น Orifice plate มาตรฐาน BS1042 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.996 นิ้ว และมีค่า Drag Coefficient เท่ากับ 0.6

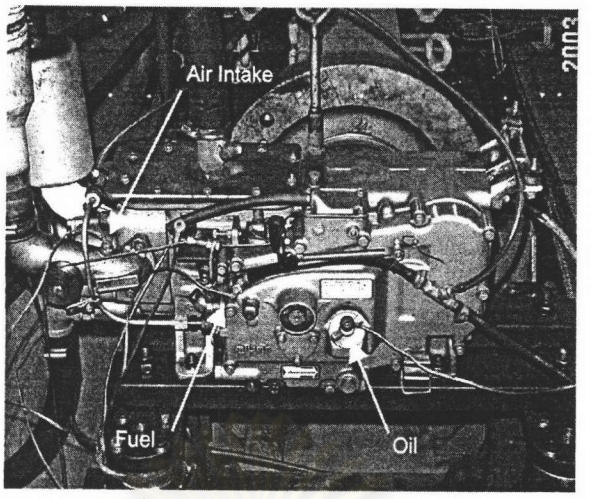
3.2.1.6 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

การวัดอุณหภูมิ ใช้ เทอร์โมคัปเปิล ชนิด type K (Chromel-Alumel, CA) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.65 มม. ใช้งานร่วมกับตัวอ่านค่ายี่ห้อ DIGICON รุ่น IS-7 ซึ่งการแสดงผลเป็นระบบ zero blanking ความแม่นยำ $\pm$0.5 % ของค่าเต็มสเกล +1 หลัก

ตัวแปรอุณหภูมิการทำงานที่ทำการวัดมีดังนี้

1 **อุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิง** ตำแหน่งการติดตั้งอยู่ในท่อส่งน้ำมันเชื้อเพลิง ตำแหน่ง 10 ซ.ม.ก่อนเชื้อเพลิงไหลเข้าปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง หลังจุดรวมน้ำมันไหลกลับจากหัวฉีด ดังแสดงในรูปที่ 3-14

2 **อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้** ตำแหน่งการติดตั้งบริเวณท่อไอดีของเครื่องยนต์ห่างจากฝาสูบประมาณ 8 ซ.ม. ดังแสดงในรูปที่ 3-14

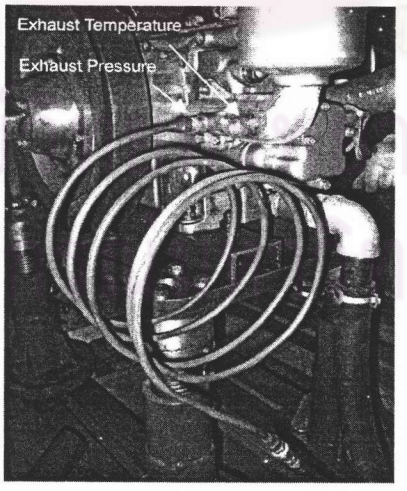


รูปที่ 3-14 แสดงตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิง อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ และอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

3 **อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น** ติดตั้งผ่านช่องเสียบก้านวัดปริมาณน้ำมันหล่อลื่นลงไปในก้นอ่างน้ำมันหล่อลื่น ดังแสดงในรูปที่ 3-14 โดยให้ปลายจุดวัดสัมผัสกับน้ำมันหล่อลื่นในอ่างน้ำมันหล่อลื่น

4 **อุณหภูมิไอเสีย** ติดตั้งบริเวณท่อไอเสียในตำแหน่งที่ออกจากเครื่องยนต์ห่างจากฝาสูบ 10 ซ.ม. ก่อนเข้าหม้อพักท่อไอเสีย ดังแสดงในรูปที่ 3-15

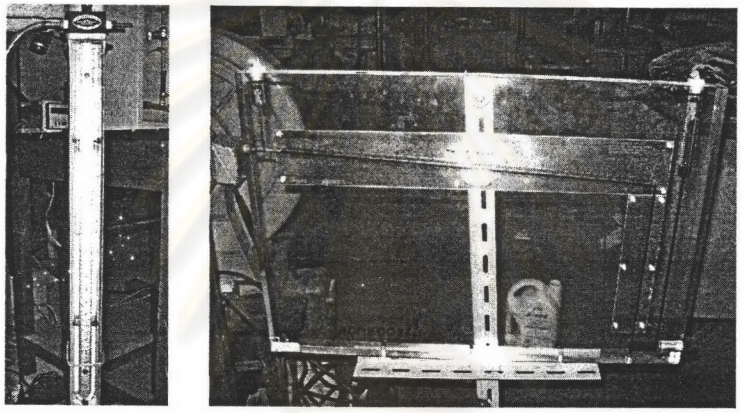
5 **อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น** ติดตั้งบริเวณท่อน้ำก่อนเข้าชุดควบคุมอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 3-10



รูปที่ 3-15 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุณหภูมิไอเสีย และความดันไอเสีย

3.2.1.7 อุปกรณ์วัดความดัน

การวัดความดันใช้มานอมิเตอร์ จำนวน 2 ชุด ดังแสดงในรูป 3-16 มานอมิเตอร์ชุดแรกใช้วัดความดันไอเสีย เป็นมานอมิเตอร์แบบ U – Tube ยี่ห้อ Meriam ใช้น้ำเป็นของเหลวทำงาน ค่าความดันที่อ่านได้จะอยู่ในหน่วยของนิ้วน้ำ ความละเอียด 0.1 นิ้ว โดยความดันไอเสียจะทำการวัดโดยเจาะรูบนท่อไอเสียบริเวณใกล้กับตำแหน่งการวัดอุณหภูมิไอเสีย และทำการต่อขดท่อทองแดงออกจากท่อไอเสียก่อนทำการวัดเพื่อเป็นการลดอุณหภูมิไอเสียก่อนต่อท่อเข้ามานอมิเตอร์ มานอมิเตอร์อีกชุดใช้การวัดความดันที่หลัง orifice plate เป็นมานอมิเตอร์แบบ Incline ยี่ห้อ Dwyer รุ่น 424 ใช้ Red gage oil ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.826 ความละเอียด 0.2 ซ.ม. เป็นของเหลวทำงาน



รูปที่ 3-16 ภาพซ้าย แสดงมานอมิเตอร์แบบ U-Tube สำหรับวัดความดันไอเสีย
ภาพขวา แสดงมานอมิเตอร์แบบ Incline สำหรับวัดความดันอากาศหลังแผ่นออริฟิซ

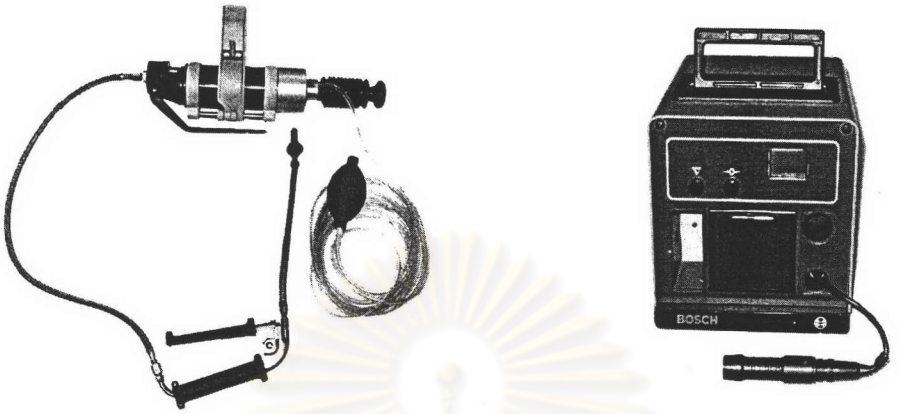
3.2.1.8 อุปกรณ์วัดค่าควันดำ (Smoke Meter)

เครื่องมือวัดค่าควันดำเป็นแบบกระดาษกรอง ยี่ห้อ BOSCH ดังแสดงในรูปที่ 3-17 ประกอบด้วย

1. **ปั๊มดูดไอเสีย** รุ่น ETD 020.00 เป็นเครื่องมือเก็บตัวอย่างค่าควันดำจากท่อ ไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล ภายในตัวปั๊มจะประกอบด้วย

- กระบอกปั๊ม ภายในมีลูกสูบที่มีปลายช่องสำหรับใส่กระดาษกรอง
- สปริงคันชักต่อจากลูกสูบ (ตัวสปริงถูกหุ้มด้วยปลอกยาง)
- ลูกยางบีบ มีท่อต่อลมเข้ากับตัวล็อคสปริง ที่หัวกระบอกปั๊ม

- หัวดูดไอเสีย (Exhaust – Sample Pickup) ประกอบด้วยอุปกรณ์ยึดติดกับท่อไอเสีย และท่อลมสำหรับแก๊สไอเสียผ่านเข้ากระบอกสูบ

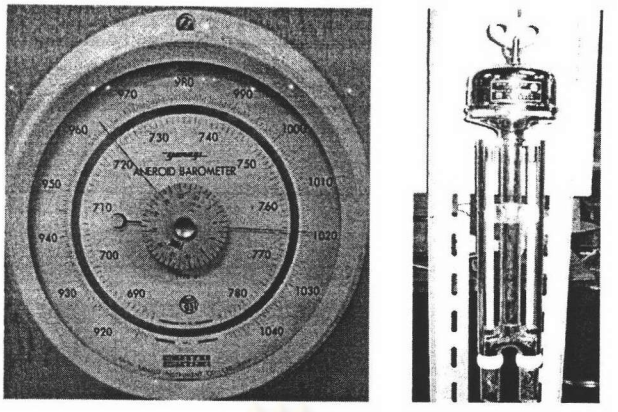


รูปที่ 3-17 ชุดเครื่องมือวัดค่าควันดำ ภาพซ้าย แสดงภาพปั๊มดูดไอเสีย รุ่น ETD 020.00 ภาพขวา แสดงภาพ เครื่องอ่านค่าควันดำ รุ่น ETD 020.50

2. **เครื่องอ่านค่าควันดำ** รุ่น ETD 020.50 เป็นเครื่องอ่านค่าความเข้มของเขม่าดำบนกระดาษกรอง แสดงค่าด้วยตัวเลขดิจิตอลเรืองแสง มีสเกลอยู่ระหว่าง 0 – 10 ความละเอียด 0.1 เมื่อตัวเลขแสดงค่า 0 มีความหมายว่าผิววัตถุที่ทดสอบนั้นขาวบริสุทธิ์ ถ้าตัวเลขแสดงค่า 10 หมายความว่าผิววัตถุที่ทดสอบนั้น ดำสนิท หรือมีความดำ 100 % ในหัวอ่านค่าควันดำ ภายในจะประกอบด้วย Photo Element รูปวงแหวนตรงกลางมีหลอดไฟ และมีสายสัญญาณส่งเข้าเครื่องอ่านค่า หลักการทำงานคือเมื่อกดสวิทช์อ่านค่า หลอดไฟจะติด แสงที่พุ่งออกไปเมื่อกระทบกับผิววัตถุ (กระดาษกรอง) จะมีการสะท้อนกลับ Photo Element จะรับแสงสะท้อนนั้นแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าผ่านตามสายไฟฟ้าไปยังตัวอ่านค่าควันดำและแสดงค่าออกมาเป็นตัวเลขเรืองแสง ในกรณีที่กระดาษกรองขาวบริสุทธิ์ แสงจะสะท้อนกลับมาหมด Photo Element จะส่งสัญญาณเป็นกระแสไฟเต็มที่ ตัวเลขจะแสดงค่า 0 ถ้ากระดาษกรองดำสนิทจะดูดกลืนแสงไว้ทั้งหมด ไม่มีการสะท้อนกลับ จึงไม่มีสัญญาณไฟส่งไปยังเครื่องวัด ตัวเลขจะแสดงค่า 10

3.2.1.9 **อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ** (Ambient Condition)

ระหว่างการทดสอบสมรรถนะได้ทำการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งของบรรยากาศ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งแบบปรอทตามลำดับ ส่วนความดันบรรยากาศ วัดโดยใช้บารอมิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3-18



รูปที่ 3-18 แสดงภาพบารอมิเตอร์(ซ้าย) และเทอร์โมมิเตอร์(ขวา)

3.2.2 วิธีการทดสอบสมรรถนะ

แบ่งออกเป็น 3 กิจกรรม คือ

ก. การ Run in

หลังจากเปลี่ยนชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ใหม่ ได้ทำการ run in เครื่องยนต์โดยใช้วัฏจักรภาระตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ ประกอบด้วย 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 15 ชั่วโมง

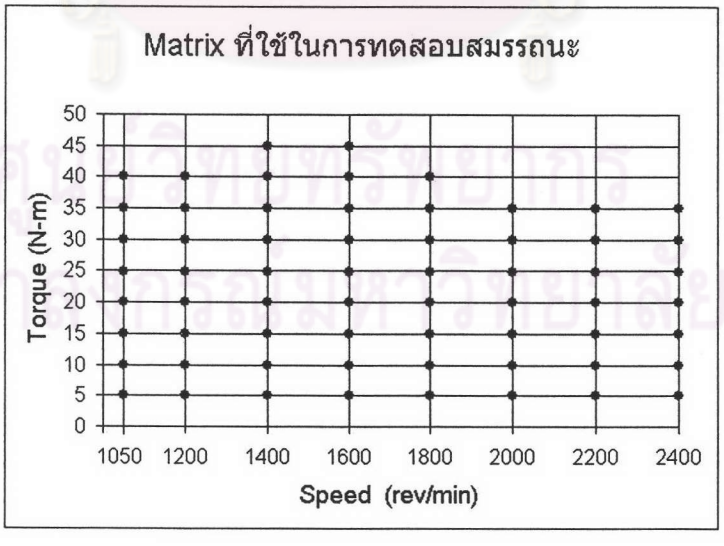
ภายหลังเสร็จสิ้นการ Run in ได้ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องใหม่ก่อนเริ่มทำการทดสอบ การทดสอบสมรรถนะเริ่มจากการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิง จากนั้นจะทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง และทำการเปลี่ยนน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง โดยทำการเดินเครื่องยนต์ ช่วงระยะเวลาหนึ่งเพื่อเป็นการไล่น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลมาตรฐานที่ทดสอบก่อนหน้านี้ จากนั้นเปลี่ยนนำเครื่องยนต์เครื่องที่สองขึ้นบนแท่นทดสอบ และดำเนินการทดสอบเช่นเดียวกับเครื่องยนต์เครื่องที่หนึ่ง

ข. การทดสอบที่ภาระสูงสุด (Full-Load Performance Test)

ก่อนทำการทดสอบที่สภาวะภาระสูงสุด จะทำการ warm up เครื่องยนต์จนระบบน้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิทำงาน คือไม่ต่ำกว่า 90 °C จากนั้นเริ่มทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าแรงบิดกับความเร็วรอบ ที่สภาวะภาระสูงสุด (Full Load) เริ่มจากเพิ่มคันเร่งให้เครื่องยนต์หมุนเปล่าโดยไม่มีภาระจนความเร็วรอบอยู่ที่ 2,550 รอบต่อนาที จัดให้เป็นตำแหน่งที่คันเร่งเปิดสุด (ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต) จากนั้นเริ่มใส่ภาระให้กับเครื่องยนต์จนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดลงมาที่ 2,400 รอบต่อนาที รอให้เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว แล้วจึงบันทึกผลค่าแรงบิด , อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง , ค่าอุณหภูมิและความดันต่างๆ และค่าควันดำ จากนั้นเพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์จนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดมาที่ 2,200 รอบต่อนาที รอให้เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัวแล้วจึงบันทึกค่า และกระทำเช่นเดียวกันที่ความเร็ว 2,000 1,800 1,600 1,400 1,200 และความเร็ว 1,050 รอบต่อนาที รวมทั้งหมด 8 จุดทดสอบ (ความเร็วรอบเดินเบาของเครื่องยนต์ อยู่ที่ 1,000 รอบต่อนาที ซึ่งการทดสอบที่ความเร็วรอบเดินเบา พบว่าเครื่องยนต์อาจทำงานไม่เสถียร จึงกำหนดเพิ่ม ให้ความเร็วรอบต่ำสุดเป็น 1,050 รอบต่อนาที) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบที่สภาวะภาระสูงสุด (Full Load)

ค. Engine Performance Test

จากความสัมพันธ์ที่ได้ระหว่างภาระสูงสุดและความเร็วรอบที่ได้จากการทดสอบภาระสูงสุดจะถูกนำมากำหนดจุดในการทดสอบ (Matrix) ที่ความเร็วและที่แรงบิดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3-19



รูปที่ 3-19 แสดง matrix ที่ใช้ในการทดสอบ

จากนั้นทำการทดสอบสมรรถนะ ณ จุดทำงานตามจุดทดสอบบน Matrix ที่กำหนดในรูปที่ 3-19 (อาจกล่าวได้ว่าเป็นการทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระบางส่วน (Part – Load) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่) โดยเริ่มจากความเร็วรอบต่ำ โดยปรับชุดควบคุมไดนาโมมิเตอร์ให้ทำงานที่สภาวะความเร็วรอบคงที่ ที่สภาวะความเร็วรอบคงที่ไดนาโมมิเตอร์จะควบคุมให้ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่อยู่ตลอดเวลาด้วยการเพิ่มหรือลดภาระ โดยถ้าเพิ่มคันเร่งมากจนความเร็วรอบรอบเกินที่กำหนดไว้ ไดนาโมมิเตอร์จะทำการเพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์ให้ความเร็วรอบรอบเครื่องยนต์มาอยู่ในค่าที่กำหนด แรงบิดจากเครื่องยนต์ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันถ้าทำการลดคันเร่งไดนาโมมิเตอร์จะลดภาระที่ให้กับเครื่องยนต์แรงบิดจากเครื่องยนต์ก็จะมีค่าลดลง

การทดสอบจะทำตามจุดทดสอบที่กำหนดในรูปที่ 3-19 เริ่มที่ ความเร็ว 1050 รอบต่อนาที ที่ค่าแรงบิด 5 นิวตัน-เมตร เมื่อปรับเครื่องยนต์จนตรงตามจุดทำงานที่ต้องการแล้ว รอให้เครื่องยนต์อยู่ที่สภาวะคงตัว จึงเริ่มทำการวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง พร้อมกับบันทึกค่าอุณหภูมิ และความดันต่างๆและ ค่าควันดำ จากนั้นจะเปลี่ยนจุดทดสอบโดยเพิ่มคันเร่งเพื่อให้ได้ค่าแรงบิดมากขึ้น (เพิ่มทีละ 5 N-m จนถึงค่าแรงบิดสูงสุด) จากนั้นจึงเปลี่ยนความเร็วรอบ (1,200 รอบต่อนาทีและเพิ่มขึ้นจนถึง 2,400 รอบต่อนาที) แล้วกระทำเช่นเดียวกันจนครบตามจุดทดสอบที่ได้กำหนด นำค่าแรงบิดและอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงไปคำนวณปรับค่าที่สภาวะอากาศมาตรฐาน แล้วนำค่าที่ปรับแล้วมาแสดงในรูปแผนภูมิสมรรถนะ (Performance Map) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด ความเร็วรอบ และอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

3.3 การทดสอบความทนทาน (Durability Test)

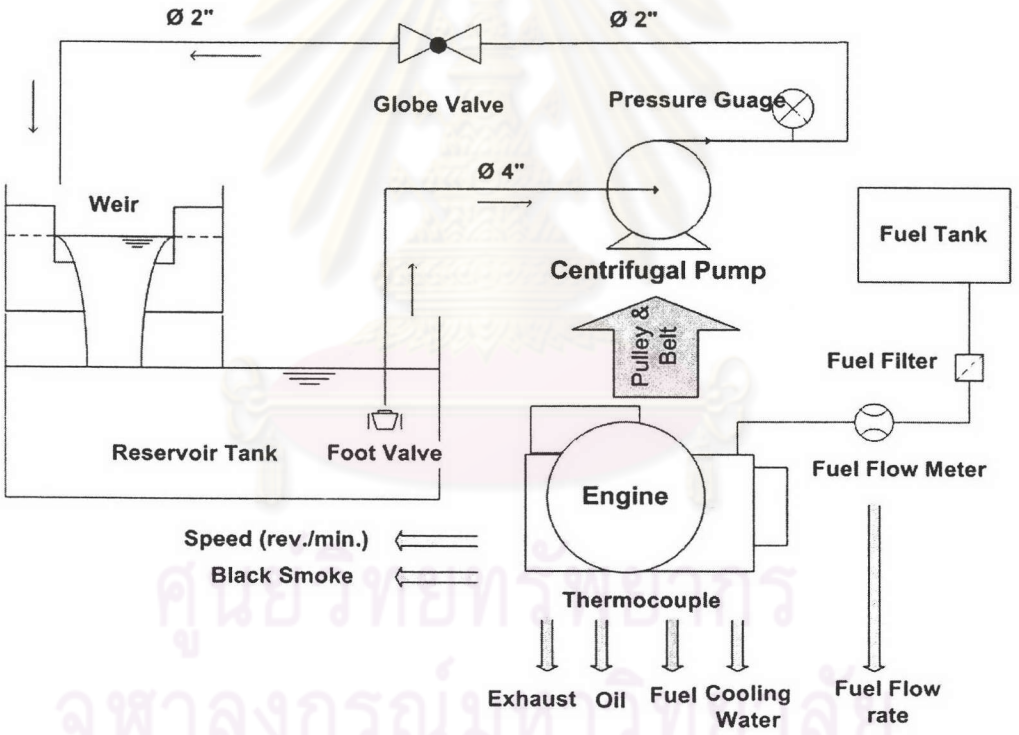
การทดสอบความทนทาน เป็นการทดสอบเพื่อหาผลกระทบที่ขึ้นเกิดกับเครื่องยนต์เมื่อนำเครื่องยนต์ไปใช้งานจริงภายใต้ภาระจำลองในระยะเวลาที่กำหนด ในการทดสอบความทนทานนี้ใช้ปั๊มน้ำเป็นอุปกรณ์สร้างภาระให้กับเครื่องยนต์ตลอดการทดสอบความทนทาน การทดสอบจะทำพร้อมกันทั้งสองเครื่องยนต์ภายใต้วัฏจักรภาระเดียวกัน เครื่องยนต์ที่หนึ่งใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลเป็นเชื้อเพลิง เครื่องยนต์ที่สอง ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

ก่อนการทดสอบความทนทานได้ทำการเปลี่ยนชิ้นส่วนใหม่ทดแทนชิ้นส่วนเดิมของเครื่องยนต์ทั้งสองเครื่องอีกครั้ง คือ ลูกสูบ แหวนสูบ สลักลูกสูบ แบริ่งก้านสูบ วาล์ไอดี วาล์วไอเสีย ชุดหัวฉีด ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง และทำการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วน พร้อมกับถ่ายภาพสภาพฝาสูบ บ่าวาล์ว ผนังกระบอกสูบ เพื่อใช้อ้างอิงในการเปรียบเทียบภายหลังผ่านการทดสอบความทนทาน นอกจากนี้ยังทำการทดสอบความดันที่ใช้ในการฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีดใหม่ทั้งสองเครื่องยนต์ก่อนการทดสอบอีกด้วย

ระหว่างการทดสอบความทนทานจะทำการบันทึกข้อมูลสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ อาทิ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น อุณหภูมิน้ำมันเครื่อง อุณหภูมิไอเสีย อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าควันดำ และบันทึกข้อมูลภาระเครื่องยนต์จากชุดปั๊มน้ำ ประกอบด้วย ความดันทางด้านส่งของระบบสูบน้ำ และอัตราการไหลของน้ำ พร้อมทำการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการทดสอบของทั้งสองเครื่องยนต์ ณ ช่วงระยะชั่วโมงการทำงานที่กำหนดเดียวกันเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติและตรวจหาโลหะตกค้างในน้ำมันหล่อลื่น

3.3.1 อุปกรณ์และการติดตั้งสำหรับการทดสอบความทนทาน

การทดสอบความทนทานนี้จะใช้ชุดปั๊มน้ำเป็นอุปกรณ์สร้างภาระจำลองให้กับเครื่องยนต์ตลอดช่วงเวลาการทดสอบ แผนผังแสดงการติดตั้งเครื่องยนต์ และชุดปั๊มน้ำแสดงในรูปที่ 3-20 โดยแต่ละอุปกรณ์ของชุดทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 3-20 แสดงแผนผังการติดตั้งเครื่องยนต์กับชุดปั๊มน้ำ

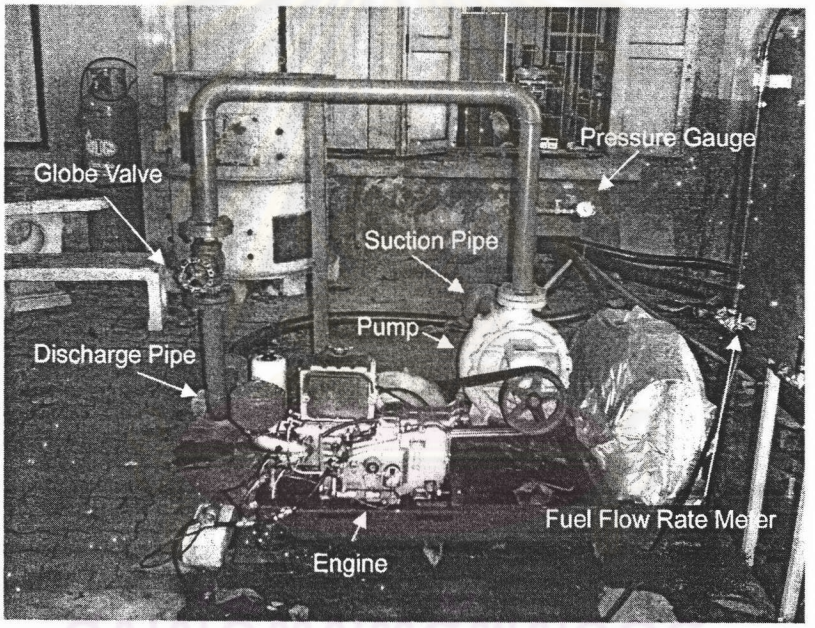
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.1.0 **เครื่องยนต์**

ใช้เครื่องยนต์เดียวกับเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะ

3.3.1.1 **ระบบปั๊มน้ำ**

ปั๊มน้ำที่ใช้เป็นแบบปั๊มหอยโข่ง ยี่ห้อ KAWAMOTO รุ่น GEM-80X655-4M11 ขนาดท่อทางดูด 80 มิลลิเมตร ขนาดท่อทางส่ง 65 มิลลิเมตร ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที อัตราการไหล 0.8 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หัวน้ำสูง 36 เมตร กำลัง 11 กิโลวัตต์ เชื่อมต่อกับเครื่องยนต์ด้วยสายพาน และ พู่เลย์ โดยพู่เลย์ที่เครื่องยนต์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว พู่เลย์ที่ปั๊มมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 3-21 โดยขณะที่เครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบสูงสุดที่ 2,400 รอบต่อนาที ปั๊มน้ำจะทำงานที่ความเร็วรอบ 1,600 รอบต่อนาที



รูปที่ 3-21 แสดงเครื่องยนต์ติดตั้งร่วมกับระบบปั๊มน้ำในการทดสอบความทนทาน

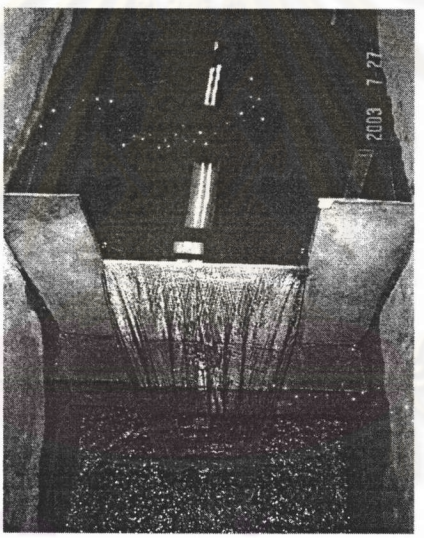
ระบบท่อส่งน้ำประกอบด้วย ท่อทางดูดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ปลายท่อติดตั้ง Foot Valve จุ่มในถังพักน้ำ (Reservoir) ความยาวของท่อทางดูดจะมีความยาว 13 เมตร เท่ากันทั้งสองชุดทดสอบ จนถึงตำแหน่งหน้าปั๊มจะลดขนาดท่อเหลือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ก่อนเข้าปั๊ม ระบบท่อทางส่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว มีการติดตั้งเกจวัดความดัน และวาล์ว

ปรับอัตราการไหลติดตั้งอยู่ตามรูปที่ 3-21 ระบบท่อทางส่งจะมีความยาว 20 เมตร เท่ากันทั้งสองชุดทดลองเช่นกัน

3.3.1.2 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำ

ฝายถูกนำมาใช้ในการวัดอัตราการไหลของน้ำตลอดการทดสอบนี้ ฝายเป็นเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้วัดอัตราการไหลของน้ำในร่องน้ำเปิด จากลักษณะของน้ำที่ไหลผ่านสันฝาย ทำให้สามารถวัดอัตราการไหลได้จากระดับความสูงของน้ำที่อยู่เหนือสันฝาย โดยตำแหน่งที่วัดระดับความสูง จะต้องอยู่ห่างไปทางด้านต้นน้ำอย่างน้อย 4 เท่า ของระดับความสูงของน้ำเหนือฝาย

ฝายที่ใช้เป็นฝายสี่เหลี่ยม มีขนาดความกว้าง 40 เซนติเมตร ความกว้างร่องน้ำเท่ากับ 75 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3-22 ลักษณะของสันฝายเป็นแบบสันคม ขอบฝายทางด้านต้นน้ำทำมุมเป็นมุมฉาก ส่วนขอบทางด้านปลายน้ำเป็นมุมป้าน



รูปที่ 3-22 แสดงฝายวัดอัตราการไหลของน้ำ ขนาดความกว้าง 40 เซนติเมตร

อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3-3)

$$Q = C_w L H^{3/2} \qquad (3\text{-}3)$$

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

และ $$C_d = 0.605 + \frac{1}{305H} + 0.08\frac{H}{P} \qquad (3\text{-}4)$$

โดยที่ L คือ ความกว้างของสันฝาย , เมตร

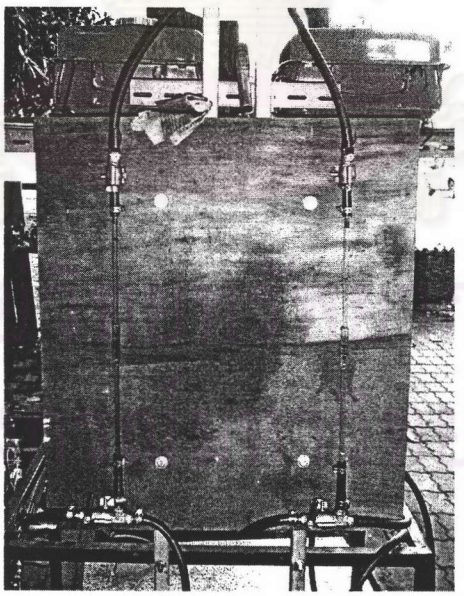
H คือ ความสูงของระดับน้ำเหนือสันฝาย , เมตร

P คือ ความสูงของสันฝายจากพื้น , เมตร

เนื่องจากฝายที่ใช้เป็นฝายที่มีขนาดเล็กกว่าความกว้างของลำน้ำ เมื่อน้ำไหลผ่านฝายจะเกิดคอคอดตามแนวขวางขึ้น ดังนั้นความกว้างของลำน้ำที่ไหลผ่านก็จะแคบกว่ารอยบาก L ของฝาย ดังนั้นในการหาอัตราการไหลของการไหลลักษณะนี้จะต้องแทนค่า L ในสมการ (3-3) ด้วย $(L\text{-}0.1nH)$ เมื่อ n เป็นจำนวนของด้านที่เกิดการคอดตัว ปกติแล้วจะมีค่าเท่ากับสอง แต่บางครั้งมีค่าเท่ากับ 1 สำหรับในการงานวิจัยนี้มีค่า เท่ากับ 2

3.3.1.3 อุปกรณ์วัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงการทดสอบความทนทาน

การวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ใช้อุปกรณ์การวัดการไหลชนิด Volumetric Gravitation Flow Meter โดยทำการดัดแปลงหลอดบิวเรต ขนาดปริมาตร 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใช้งานร่วมกับนาฬิกาจับเวลา ดังรูปที่ 3-23



รูปที่ 3-23 แสดงอุปกรณ์การวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในการทดสอบความทนทาน

ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง อยู่บริเวณหลังชุดกรองน้ำมันเชื้อเพลิง โดยน้ำมันที่ถูกส่งกลับจากหัวฉีดจะนำมาต่อรวมกับน้ำมันที่จะต่อเข้าปั๊ม หลังเครื่องมือวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

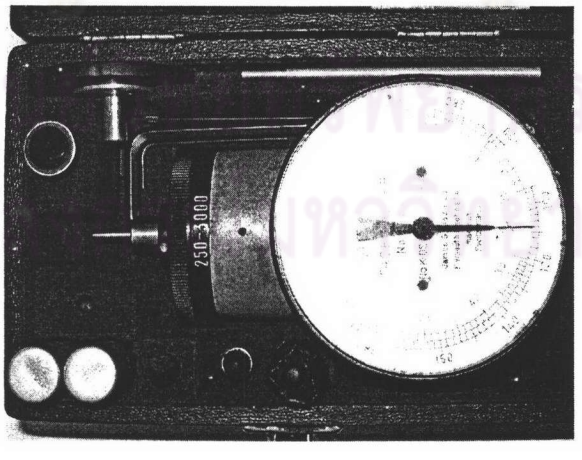
3.3.1.4 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

การวัดอุณหภูมิใช้ เทอร์โมคัปเปิล ชนิด type K (Chromel-Alumel, CA) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.65 มิลลิเมตร ใช้งานร่วมกับตัวอ่านค่ายี่ห้อ DIGICON รุ่น IS-7 จำนวน 2 ชุด โดยตัวแปรอุณหภูมิการทำงาน ที่ทำการวัดมีดังนี้

- อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ติดตั้งในหม้อน้ำบริเวณระหว่างหม้อน้ำกับโพรงน้ำในเสื้อสูบของเครื่องยนต์
- อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น ติดตั้งผ่านช่องเสียบก้านวัดปริมาณระดับน้ำมันหล่อลื่น
- อุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิง วัดที่ท่อน้ำมันเชื้อเพลิง ตำแหน่งก่อนเข้าปั๊มเชื้อเพลิง 10 เซนติเมตร หลังตำแหน่งน้ำมันไหลกลับจากหัวฉีด
- อุณหภูมิไอเสีย ติดตั้งบริเวณท่อไอเสียตำแหน่งก่อนหม้อพักท่อไอเสีย โดยใช้เทอร์โมคับเปิ้ล รุ่น JBS-3310 แบบหัวสกรูขันยึดติดกับผิว ชนิดของไส้เป็น type K (Chromel – Alumel,CA) เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.65 มิลลิเมตร ขนาดสกรู W1/4

3.3.1.5 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ

การวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ใช้อุปกรณ์การวัดแบบสัมผัสใช้เครื่องมือวัดความเร็วรอบแบบสัมผัส ยี่ห้อ BIDDLE รุ่น 35 – 101 ความละเอียดในช่วงการวัดที่ความเร็วรอบ 250-3,000 รอบต่อนาที อยู่ที่ 20 รอบต่อนาทีดังแสดงในรูปที่ 3-24



รูปที่ 3-24 แสดงเครื่องมือวัดความเร็วรอบ

3.3.2 วิธีการทดสอบความทนทาน

ก่อนการทดสอบได้ทำการกำหนดวัฏจักรจำลองการทำงานที่ใช้ในการทดสอบ โดยวัฏจักรที่ออกแบบนี้ดัดแปลงจาก EMA Test ตามสภาพเท่าที่ชุดอุปกรณ์ที่มีจะสามารถทำการปรับซ้ำการทำงานได้ง่ายโดยกำหนดให้เครื่องยนต์ทำงานที่ภาระสูงสุดสลับกับการทำงานที่ภาระบางส่วนเพื่อเป็นการลดภาระในการทำงานของเครื่องยนต์และเพื่อให้กลไกการทำงานของปั๊มมีการเปลี่ยนตำแหน่งสลับไปมาอยู่เสมอ วัฏจักรจำลองที่กำหนดขึ้นแสดงในตารางที่ 3-2

ตาราง 3-2 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 3-2 ใน 1 วัฏจักร ใช้เวลารวม 5 ชั่วโมง โดยในหนึ่งวันทำการทดสอบ 3 วัฏจักรรวมเป็นเวลาในการทดสอบ 15 ชั่วโมงต่อวัน โดยเวลาที่เหลือ 9 ชั่วโมงจะเป็นการหยุดเพื่อตรวจสภาพและพักเครื่องยนต์

นอกจากนี้ก่อนการทดสอบยังได้ทำการ Run in เครื่องยนต์ทั้งสองเครื่องด้วยน้ำมันดีเซลตามวัฏจักรที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำบนแท่นทดสอบความทนทานซึ่งประกอบด้วย

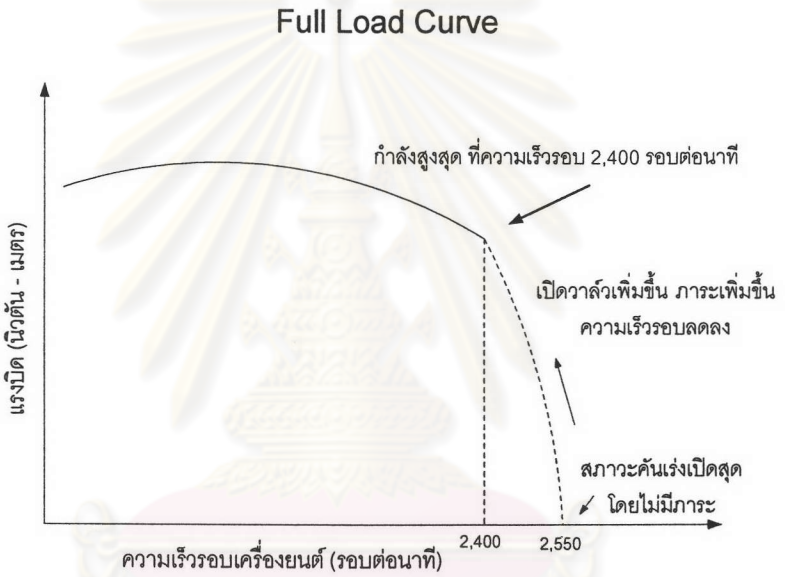
1.ไม่มีภาระ (No load) ความเร็วรอบ 2,400 รอบต่อนาที ระยะเวลา 30 นาที
2.ภาระ 50% ของ rated power ความเร็วรอบ 2,400 รอบต่อนาที ระยะเวลา 30 นาที
3.ภาระ 100% ของ rated power ความเร็วรอบ 2,400 รอบต่อนาที ระยะเวลา 20 ชั่วโมง

หลังการ Run in ได้ทำการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นและทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นใหม่ จากนั้นเปลี่ยนเชื้อเพลิงให้เครื่องยนต์ที่หนึ่งใช้น้ำมันเชื้อเพลิงปาล์มดิบผสมดีเซล ส่วนเครื่องยนต์ที่สองใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล

ก่อนเริ่มทดสอบในแต่ละวันจะทำการตรวจสภาพเครื่องยนต์ เช็คระดับน้ำหล่อเย็น ระดับน้ำมันหล่อลื่น ระดับความตึงสายพาน จากนั้นทำการสตาร์ทเครื่องยนต์ และอุ่นเครื่องยนต์โดยทำการเปิดวาล์วน้ำที่ระบบปั๊มครึ่งรอบ แล้วทำการเร่งเครื่องยนต์ให้ได้ความเร็วรอบ 1,800 รอบ

ต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นจึงเริ่มทำการทดสอบตามวัฏจักรการทดสอบความทนทานโดยเริ่มจากสภาวะการทำงานที่ 1

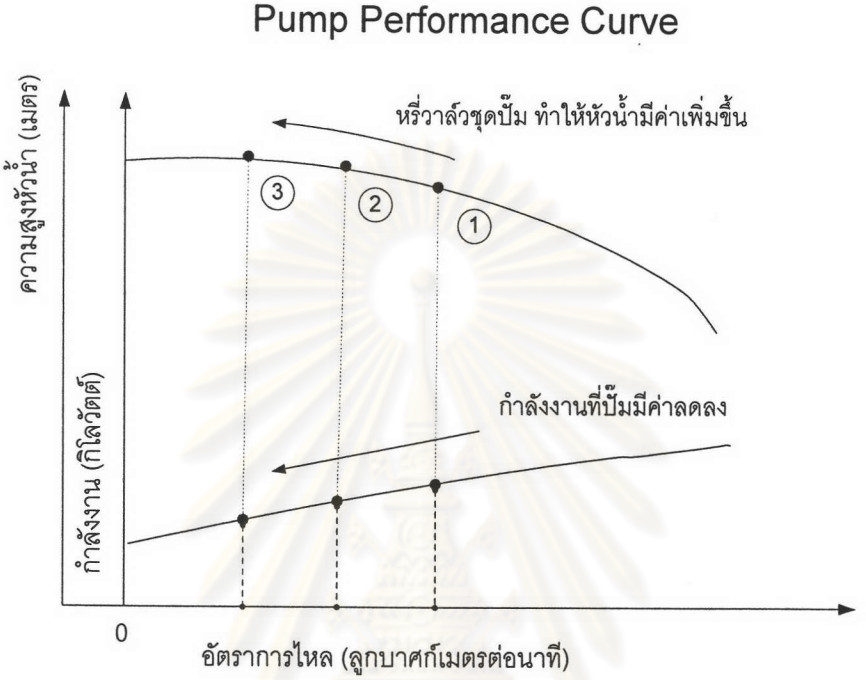
สภาวะการทำงานที่ 1 เริ่มจากเร่งเครื่องยนต์จนถึงตำแหน่งสูงสุด (ตำแหน่งที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์มีความเร็วรอบประมาณ 2,550 รอบต่อนาที โดยเครื่องยนต์ไม่มีภาระ) ความเร็วรอบเครื่องยนต์จะเกิน 2,400 รอบต่อนาที จากนั้นเปิดวาล์วที่ชุดปั๊มน้ำ (ขณะที่เปิดวาล์วความเร็วรอบจะลดลงเรื่อยๆ) จนเครื่องยนต์มีความเร็วรอบ 2,400 รอบต่อนาที (ปั๊มน้ำจะมีความเร็วรอบ 1,600 รอบต่อนาที) ดังรูปที่ 3-25 ซึ่งเครื่องยนต์จะทำงานตรงกับสภาวะทำงานที่ 1 จากนั้นทำการบันทึกข้อมูล อัตราการไหลของเชื้อเพลิง อุณหภูมิที่จุดต่างๆ ความดันด้านจ่ายของปั๊มน้ำ และบันทึกซ้ำทุกหนึ่งชั่งโมง จนครบ 3 ชั่วโมง



รูปที่ 3-25 แสดงสภาวะการทำงานที่ 1 บนกราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์

สภาวะการทำงานที่ 2 เริ่มจากการหรี่วาล์วที่ชุดปั๊มน้ำ ลงประมาณครึ่งรอบ จากการหรี่วาล์วจะทำให้รอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น จากนั้นปรับลดคันเร่งเครื่องยนต์ลง จนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดลงมาที่ 2,400 รอบต่อนาที จากการหรี่วาล์วทำให้หัวน้ำของปั๊มน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งจาก Pump Curve การเพิ่มของหัวน้ำทำให้กำลังที่ปั๊มลดลง ที่ความเร็วรอบการทำงานเท่าเดิม (1,600 รอบต่อนาที) ดังรูปที่ 3-26 ซึ่ง ณ สภาวะการทำงานนี้กำลังจากปั๊มน้ำจะลดลงประมาณ 10% โดยตรวจสอบจากอัตราการไหลของน้ำเทียบกับกราฟสมรรถนะของปั๊มน้ำ จากนั้นทำการ

บันทึกข้อมูลต่างๆ เช่นเดียวกับสภาวะการทำงานที่ 1 และทำการบันทึกซ้ำทุก 30 นาที จนครบ 1 ชั่วโมงการทำงาน



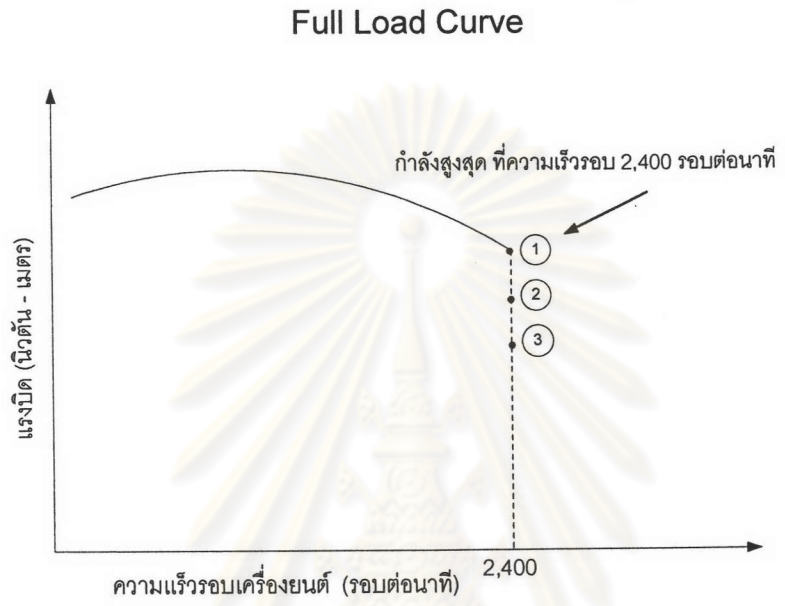
รูปที่ 3-26 แสดงสภาวะการทำงาน บนกราฟสมรรถนะของปั๊มน้ำ

สภาวะการทำงานที่ 3 เริ่มจากการหรี่วาล์วที่ชุดปั๊มน้ำ ลงอีกประมาณครึ่งรอบ และทำการปรับลดคันเร่งเครื่องยนต์ลง จนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดลงมาที่ 2,400 รอบต่อนาที ซึ่ง ณ สภาวะการทำงานนี้กำลังจากปั๊มน้ำจะลดลงอีกประมาณ 10% โดยตรวจสอบจากอัตราการไหลของน้ำบนกราฟสมรรถนะของปั๊มน้ำ ดังรูปที่ 3-26 จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลต่างๆ เช่นเดียวกับสภาวะการทำงานก่อนๆ และทำการบันทึกซ้ำทุก 30 นาที จนครบ 1 ชั่วโมงการทำงาน

เมื่อสิ้นสุดสภาวะการทำงานที่ 3 จะกลับไปเริ่มต้นในสภาวะที่ 1 สภาวะที่ 2 และสภาวะที่ 3 ใหม่ จนครบ 3 วัฏจักรการทดสอบ เวลารวม 15 ชั่วโมง ต่อวัน ซึ่งเครื่องยนต์ จะทำงานสภาวะการทำงานทั้งสามจุดที่ความเร็วรอบ 2,400 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 3-27

การวัดค่าควันดำ จะทำการวัดเฉพาะสภาวะการทำงานที่ 1 เริ่มจากชั่วโมงการทำงานที่ 1 และทำการวัดทุก 10 ชั่งโมงการทำงานจนสิ้นสุดการทดสอบ

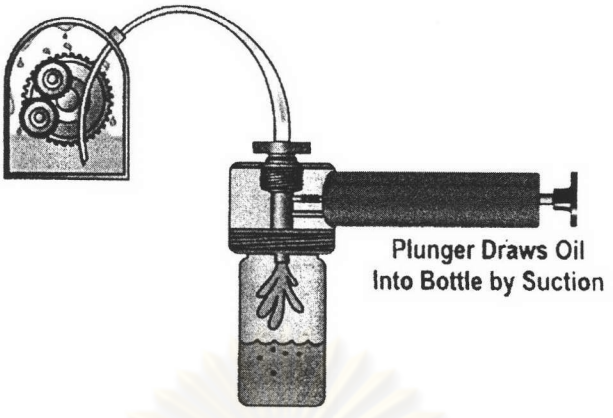
หลังการทดสอบความทนทานครบ 320 ชั่วโมง นำเครื่องยนต์ที่หนึ่งซึ่งใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลขึ้นแท่นทดสอบเพื่อทดสอบสมรรถนะหลังผ่านการใช้งานโดยใช้เชื้อเพลิงปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงในการทดสอบ ทำการวัดค่าแรงบิด อุณหภูมิการใช้งาน และค่าควันดำด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการทดสอบสมรรถนะ Full load Performance และ Engine Performance Test ตามลำดับ



รูปที่ 3-27 แสดงวัฏจักรสภาวะการทำงาน บนกราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์

3.4 การสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น

การสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น จะทำการสุ่มตัวอย่างโดยการดูดจากอ่างน้ำมันหล่อลื่นผ่านทางช่องเสียบก้านวัดระดับน้ำมันหล่อลื่น ด้วยอุปกรณ์เฉพาะทาง ดังแสดงในรูปที่ 3-28 การสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นจะทำในขณะที่เครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบเดินเบา (1,000 รอบต่อนาที) ที่อุณหภูมิการทำงานปกติของเครื่องยนต์



รูปที่ 3-28 แสดงอุปกรณ์และภาชนะที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น

โดยในแต่ละครั้งจะทำการดูดตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นปริมาณ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร หลังจากการสุ่มน้ำมันจะทำการเติมน้ำมันใหม่กลับคืนในปริมาตรที่เท่ากับการสุ่ม ช่วงเวลาในการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นแสดงในตารางที่ 3-3

การเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นจะทำการเปลี่ยนถ่าย 3 ครั้ง ที่หลังจากผ่านการ Run in เป็นเวลา 20 ชั่วโมง หลังผ่านการใช้งาน 100 ชั่วโมง (ชั่วโมงการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น 100 ชั่วโมง) และ หลังจากการผ่านใช้งาน 210 ชั่วโมง (อายุน้ำมัน หล่อลื่น 110 ชั่วโมง)

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นน้ำมันหล่อลื่นที่มาจากการผลิตครั้งเดียวกัน เพื่อควบคุมตัวแปรที่เกิดขึ้นจากการผลิตน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งบางคุณสมบัติจากการวิเคราะห์เป็นค่าที่เปรียบเทียบกับค่าของน้ำมันหล่อลื่นใหม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-3 แสดงระยะเวลาในการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 การวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่น

อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่นในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการวัดจากก้านวัดระดับน้ำมันหล่อลื่น (Dip –Stick Method หรือ Level-Top-Up Method) [24] เป็นการวัดระดับของน้ำมันหล่อลื่นด้วยก้านวัดระดับน้ำมัน ขณะที่เครื่องยนต์หยุดทำงานเป็นเวลานาน เพื่อให้น้ำมันที่อยู่บนผนังห้องเผาไหม้และส่วนต่างๆ ไหลกลับมารวมที่อ่างน้ำมันหล่อลื่น และอุณหภูมิในการวัดต้องอยู่ที่อุณหภูมิบรรยากาศปกติ เมื่อเครื่องยนต์ผ่านการใช้งานระดับน้ำมันหล่อลื่นลดลงจากตำแหน่งที่อ้างอิงที่กำหนดไว้ จึงทำการเติมน้ำมันหล่อลื่นให้ระดับน้ำมันอยู่ตรงกับระดับอ้างอิงที่กำหนดไว้ ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่เติมเข้าไปคือปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่สูญเสียไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย