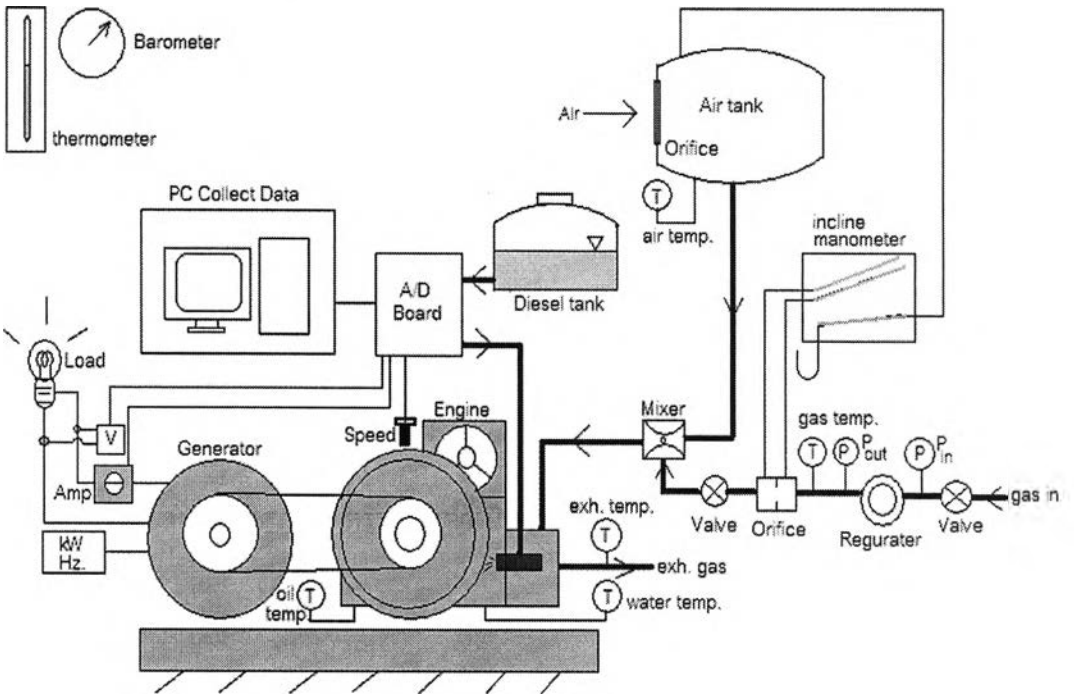
บทที่ 5

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย

5.1 อุปกรณ์และการติดตั้งสำหรับการดำเนินงานวิจัย

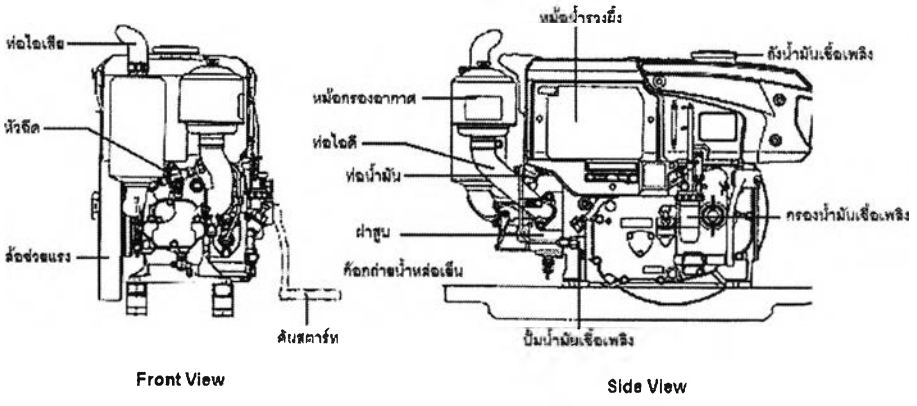


รูปที่ 5-1 แสดงแผนภูมิอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มตามระบบต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้คือ

5.1.1 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยเป็นเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม KUBOTA รุ่น RT-120 แสดงในรูปที่ 5-2 และรายละเอียดของข้อมูลทางเทคนิคแสดงในตารางที่ 5-1



รูปที่ 5-2 แสดงเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย (คูโบต้า RT120)

ตารางที่ 5-1 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องยนต์	Kubota
รุ่น	RT120
ชนิด	Single cylinder (ลูกสูบเคลื่อนที่ในแนวนอน)
ระบบห้องเผาไหม้	Swirl chamber (IDI)
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
หัวฉีด	ประเภท: เข็มบานปลายหรือเดือยยาว ความดัน: 140 kg/cm^2
ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง	ประเภท: อิสระหรือลูกสูบ, ความดัน: 600 kg/cm^2
ระบบหล่อลื่น	ระบบวิด-สาดและปั๊มแบบ rotary
ระบบระบายความร้อน	หม้อน้ำแบบหม้อน้ำรังผึ้ง ระบายความร้อนแบบ Natural Convection ความจุ 2.2 ลิตร
หม้อกรองอากาศ	แบบเปียก

ก่อนทำการทดสอบได้ทำการถอดเปลี่ยนชิ้นส่วนภายในต่างๆ ของเครื่องยนต์ซึ่งได้แก่ ลูกสูบ, ชุดแหวน, กระบอกสูบสูบ, หัวฉีด, ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง, แบริ่งก้านสูบ, สลักลูกสูบ, วาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย เพื่อให้เป็นบรรทัดฐานในการเปรียบเทียบผลกระทบต่อชิ้นส่วนเหล่านี้อันเนื่องมาจากการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ

5.1.2 อุปกรณ์สร้างภาระให้กับเครื่องยนต์

5.1.2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยนี้เป็นแบบกระแสสลับ (A.C. Synchronous Generators) ยี่ห้อ KODAI ชนิด stationary armature (สร้างกระแสไฟฟ้าโดยให้สนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวดทองแดง) ดังมีรายละเอียดทางเทคนิคดังตารางที่ 5-2

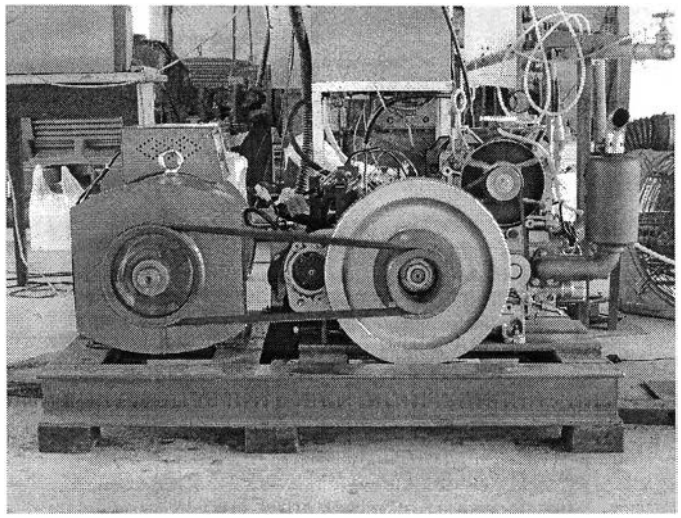
ตารางที่ 5-2 แสดงรายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

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
INS.CL.	B
RAT.	S1
Phase	1

5.1.2.2 Pulley และสายพาน

จากรูป 5-3 ทำการติดตั้ง pulley ที่ล้อช่วยแรงของเครื่องยนต์และติดตั้ง pulley อีกตัวหนึ่งที่ปลายเพลาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แล้วใช้สายพานเป็นตัวส่งถ่ายกำลังระหว่าง pulley ทั้งสอง และเนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ ที่ 1500 รอบต่อนาที แต่การทดสอบสมรรถนะและทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์นั้นต้องทดสอบทั้งหมด 6

ความเร็วรอบด้วยกัน ได้แก่ ที่ 1000, 1200, 1500, 1800, 2000 และที่ 2400 รอบต่อนาที ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนอัตราทดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้เหมาะสมกับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความเร็วรอบคงที่ 1500 รอบต่อนาที โดยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ pulley ตามสัดส่วนของความเร็วรอบจากเครื่องยนต์ไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 5-3



รูปที่ 5-3 แสดงการติดตั้งเครื่องยนต์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

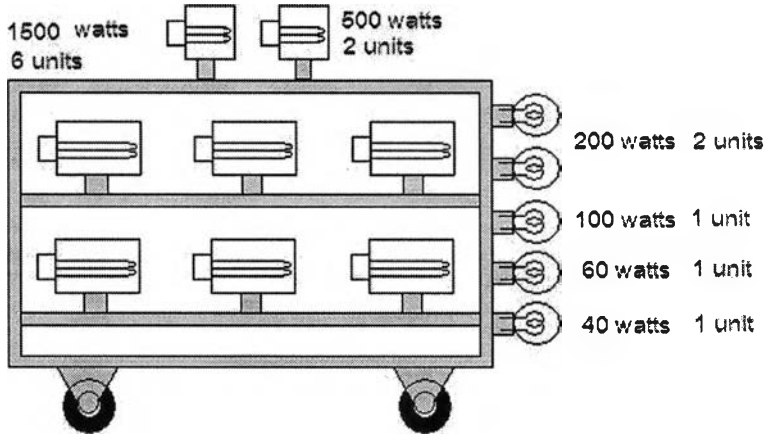
ตารางที่ 5-3 แสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ pulleys ตามอัตราทดรอบที่ความเร็วรอบต่างๆ (D_E คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของ Pulley เครื่องยนต์และ D_G คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของ pulley เครื่องกำเนิดไฟฟ้า)

ความเร็วรอบ (rev/min)		Pulley Diameter (mm.)	
Engine	Generator	D_E	D_G
1000	1500	152.4	101.6
1200	1500	127	101.6
1500	1500	101.6	101.6
1800	1500	127	152.4
2000	1500	152.4	203.2
2400	1500	127	203.2

5.1.2.3 **แผงหลอดไฟ** (Lamps load)

ในงานวิจัยนี้จะใช้หลอดไฟฟ้าซึ่งจัดเรียงเป็นแผง (ดังแผนภูมิในรูป 5-4) เป็นภาระให้กับเครื่องยนต์ 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

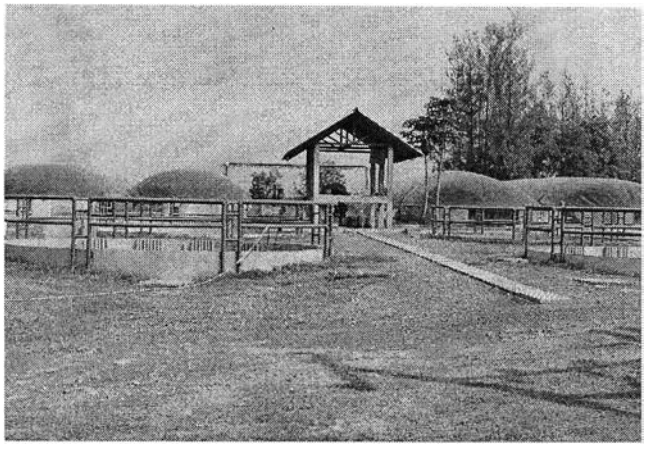


รูปที่ 5-4 แสดงแผงหลอดไฟที่ใช้เป็นภาระของเครื่องยนต์

5.1.3 **อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบก๊าซชีวภาพ**

5.1.3.1 **บ่อหมักก๊าซชีวภาพ**

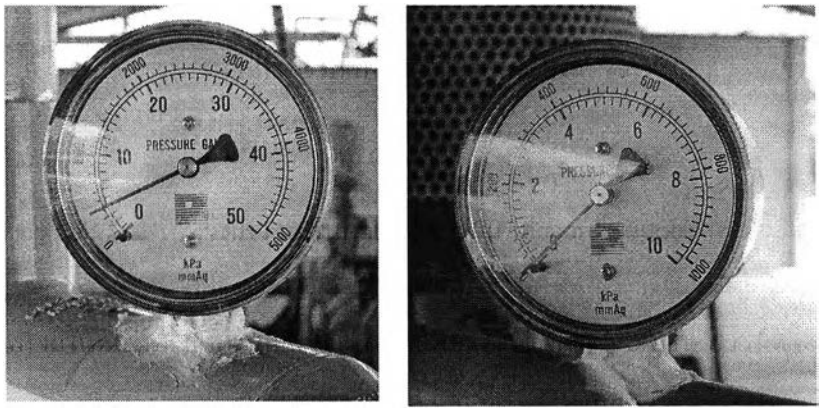
ตลอดช่วงการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์และการทดสอบความทนทานได้ทำการทดสอบ ณ ฟาร์มเลี้ยงสุกร เอส.พี.เอ็ม.ฟาร์ม ซึ่งมีจำนวนสุกร 20,000 ตัว มีบ่อหมักก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรจำนวน 4 บ่อ ขนาด 1,000 ลบ.เมตรต่อบ่อ โดยบ่อหมักก๊าซชีวภาพดังกล่าวเป็นแบบ Channel Digester–UASB (ภาคผนวก ง) แสดงดังรูปที่ 5-5



รูปที่ 5-5 แสดงบ่อหมักก๊าซชีวภาพภายในฟาร์มเลี้ยงสุกรซึ่งเป็นสถานที่ใช้ทำการทดสอบเครื่องยนต์

5.1.3.2 **เกจวัดความดันก๊าซชีวภาพ** (Pressure gauge)

เกจวัดความดันเป็นแบบวัดความดันสถิตย์ โดยติดตั้งเพื่อวัดความดันก๊าซชีวภาพภายในท่อในตำแหน่งก่อนเข้าเรกกูเลเตอร์ (แสดงดังรูป 5-6 ก) ความสามารถในการวัดความดันได้สูงสุด 50 kPa ความละเอียด 1 kPa และที่ตำแหน่งที่ออกจากเรกกูเลเตอร์(แสดงดังรูป 5-6 ข) ความสามารถในการวัดความดันสูงสุด 10 kPa ความละเอียด 0.5 kPa เพื่อแสดงค่าความดันสถิตย์ภายในท่อเริ่มต้นของก๊าซชีวภาพก่อนการทดสอบ

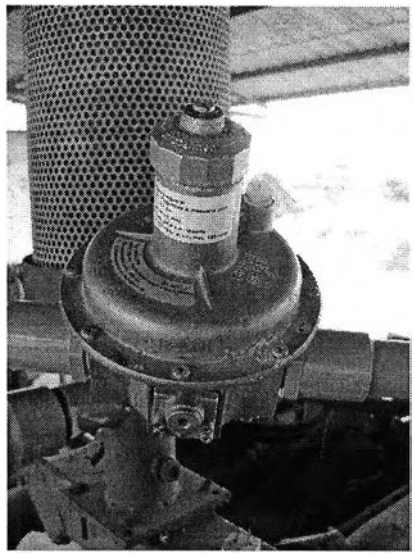


ก) ข)

รูปที่ 5-6 แสดงเกจวัดความดัน ก) วัดความดันก่อนเข้าเรกกูเลเตอร์
ข) วัดความดันออกจากเรกกูเลเตอร์

5.1.3.3 **เรกกูเลเตอร์** (Regulator)

เนื่องจากความดันของก๊าซชีวภาพที่ฟาร์มสูงกว่าที่ออกแบบไว้และต้องการควบคุมความดันของก๊าซชีวภาพให้สม่ำเสมอตลอดการทดสอบ โดยเรกกูเลเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังรูปที่ 5-7 และ รายละเอียดของเรกกูเลเตอร์แสดงในตารางที่ 5-4



รูปที่ 5-7 แสดงเรกกูเลเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

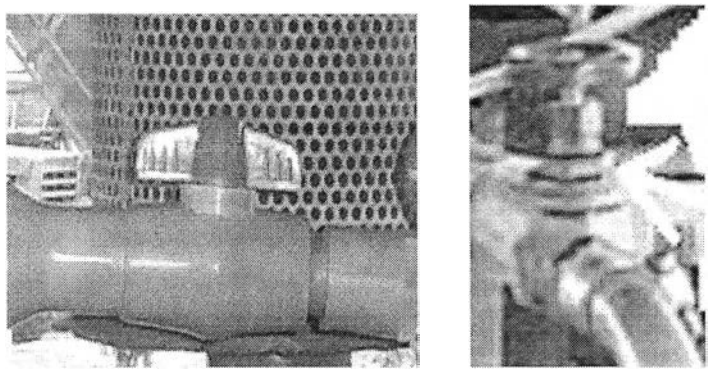
ตารางที่ 5-4 แสดงรายละเอียดของเรกกูเลเตอร์

ผู้ผลิต	Dungs, Type FRNG510
อ้างอิงมาตรฐาน	DIN 3350
P_{in}	150-200 mbar
P_{out}	0-150 mbar
P_{max}	500 mbar

5.1.3.4 **วาล์วปรับอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ**

สำหรับการทดสอบนี้จะได้ติดตั้งวาล์วไว้ 2 ตำแหน่งคือ ก่อนเข้าเรกกูเลเตอร์ เพื่อเป็นวาล์วเปิด-ปิดก๊าซชีวภาพจากท่อหลัก (แสดงดังรูปที่ 5-8 ก) และเพื่อควบคุมปริมาณก๊าซชีวภาพที่ไหลเข้าสู่เรกกูเลเตอร์ และนอกจากนี้ยังมีวาล์วอีกหนึ่งตัวซึ่งติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งออกจาก orifice และก่อนเข้ามิกเซอร์ (แสดงดังรูปที่ 5-8 ข) เพื่อใช้เป็นวาล์วหลักในการปรับปริมาณ

ก๊าซชีวภาพที่จะไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ซึ่งเป็นวาล์วชนิด gate valve สามารถปรับช่องเปิด-ปิดของวาล์วด้วยการหมุน ช่วยให้สามารถปรับปริมาณการไหลของก๊าซชีวภาพได้ละเอียด

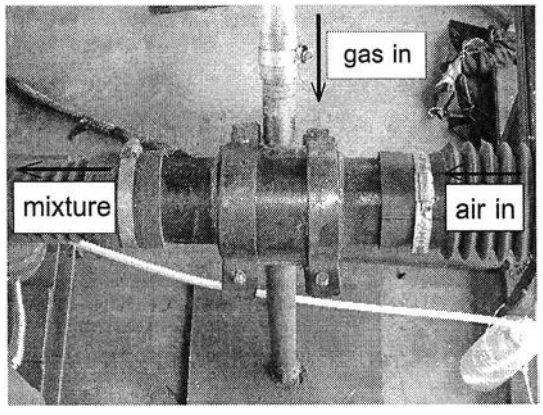


ก)　　ข)

รูปที่ 5-8 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งวาล์วก่อนเข้ามิกเซอร์

5.1.3.5 **อุปกรณ์ผสมก๊าซชีวภาพกับอากาศหรือมิกเซอร์** (Mixer)

มิกเซอร์แสดงดังรูปที่ 5-9เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมสารผสมระหว่างก๊าซชีวภาพกับอากาศได้เป็นสารผสม (mixture) โดยอาศัยความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นบริเวณคอคอดของเวนจูริภายในมิกเซอร์ โดยก๊าซชีวภาพสามารถไหลผ่านรู orifice รอบคอคอดและไปผสมกับอากาศที่ไหลผ่านคอคอดนั้น หลังจากนั้นสารผสมจะไหลผ่านท่อไอดีเข้าสู่ห้องเผาไหม้และถูกเผาไหม้ด้วยการจุดระเบิดนำร่องของน้ำมันดีเซล การออกแบบมิกเซอร์ที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้แสดงไว้ในบทที่ 3

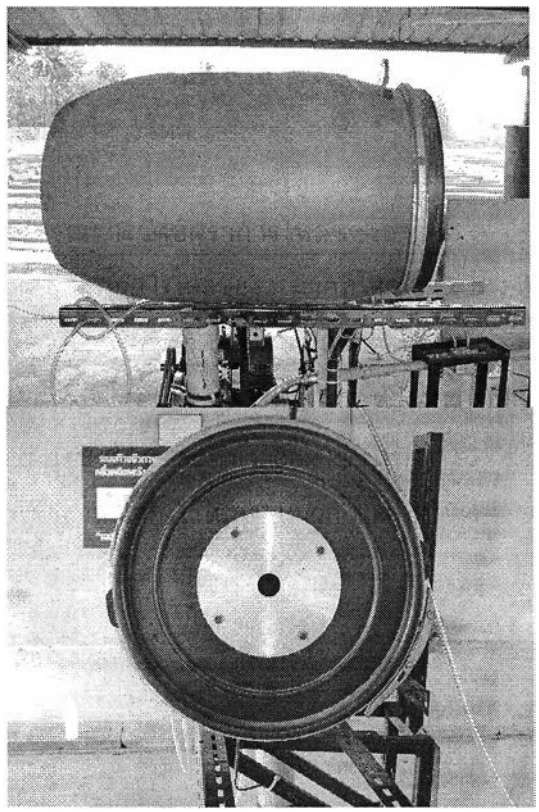


รูปที่ 5-9 แสดงมิกเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

5.1.4 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล

5.1.4.1 อุปกรณ์การวัดอัตราการไหลของอากาศ

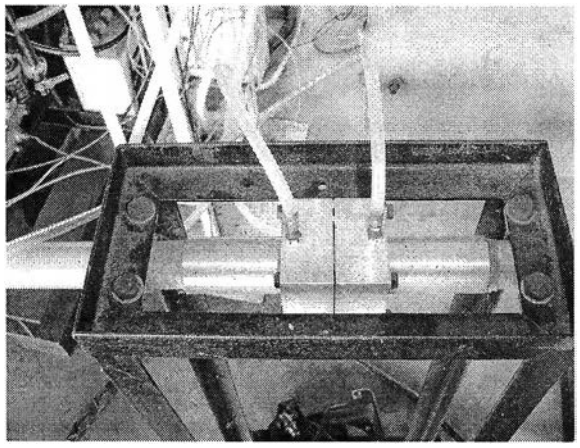
การวัดอัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์จะวัดด้วย orifice ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณทางเข้าถังพักอากาศ (air box) โดยถังพักอากาศนี้จะช่วยลดคลื่นกระเพื่อมของอากาศที่ไหลผ่าน orifice เนื่องจากจังหวะดูดระหว่างการทำงานของเครื่องยนต์ และวัดค่าความดันตกคร่อม orifice plate โดยใช้ incline manometer เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ ดังรายละเอียดการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ข แสดงในรูปที่ 5-10



รูปที่ 5-10 แสดงถังพักอากาศและการติดตั้ง orifice plate

5.1.4.2 อุปกรณ์การวัดอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ

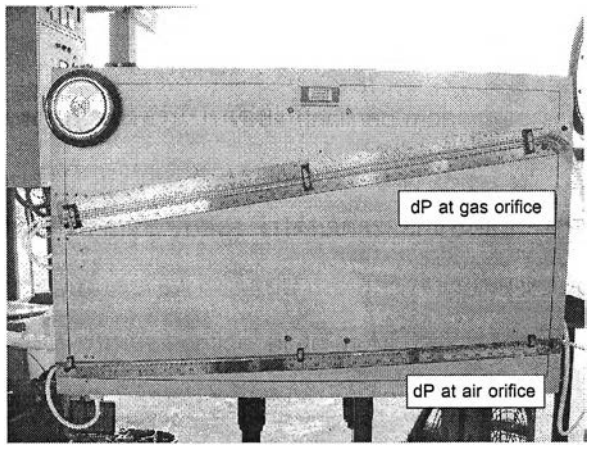
อาศัยหลักการเดียวกับการวัดอัตราการไหลของอากาศ โดยวัดความดันตกคร่อม orifice plate ซึ่งติดตั้งไว้ภายในท่อก๊าซชีวภาพ แสดงดังรูปที่ 5-11 โดยใช้ inclined manometer ซึ่งสามารถวัดความดันได้ละเอียดกว่า manometer ปกติ (สำหรับการออกแบบ orifice และหลักการวัดอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพแสดงไว้ในบทที่ 3)



รูปที่ 5-11 แสดงภาพ orifice ที่ใช้วัดอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ

5.1.4.3 **มานอมิเตอร์แบบเอียง** (Inclined manometer)

การวัดความดันตกคร่อม orifice plate เป็นความดันที่ต่ำมากดังจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์วัดที่มีความละเอียดสูง จึงได้ทำการออกแบบและประดิษฐ์มานอมิเตอร์แบบเอียงขึ้นมาเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้โดยเฉพาะ โดยมานอมิเตอร์แบบเอียงจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกเป็นการวัดความดันตกคร่อมของ orifice plate ที่ Air box ซึ่งวัดอัตราการไหลของอากาศมีช่วงการวัดที่ 0-50 มิลลิเมตรน้ำ มีความละเอียด 0.1 มิลลิเมตรน้ำ และส่วนของการวัดความดันตกคร่อมของ orifice plate ที่ท่อก๊าซชีวภาพซึ่งมีช่วงการวัดที่ 0-100 มิลลิเมตรน้ำ มีความละเอียด 0.2 มิลลิเมตรน้ำ แสดงในรูปที่ 5-12

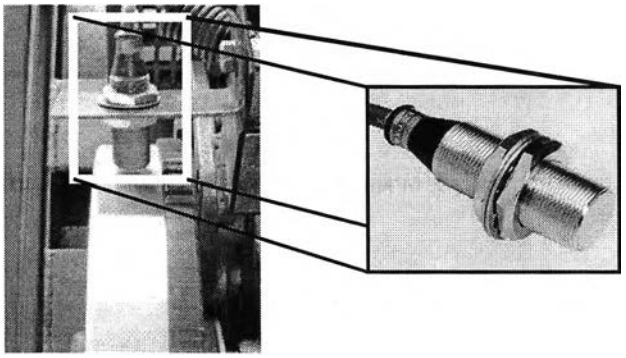


รูปที่ 5-12 แสดงภาพ incline manometer เพื่อวัดความดันตกคร่อม orifice plate ภายในท่อก๊าซชีวภาพและที่ orifice plate ของ Air box

5.1.5 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบและอุณหภูมิต่าง ๆ

5.1.5.1 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ

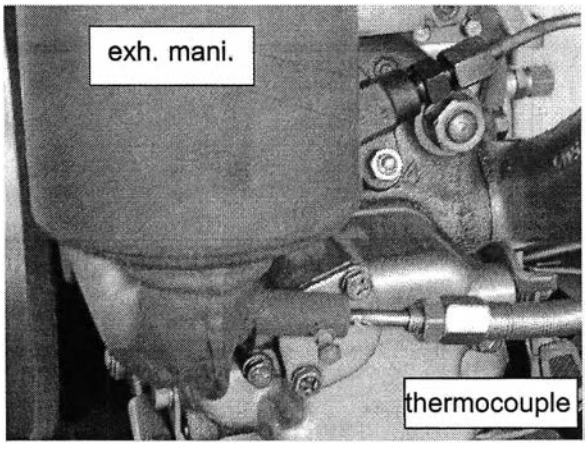
การวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ใช้อุปกรณ์การวัดแบบ Aluminum Detecting Proximity Sensor ยี่ห้อ Omron รุ่น E2EY ดังแสดงในรูปที่ 5-13 ซึ่งติดตั้งที่ตำแหน่งล้อช่วยแรง โดยสัญญาณที่ได้จากตัวตรวจจับวัดความเร็วรอบ จะส่งไปยังตู้แปลงและบันทึกสัญญาณ (Data Logger) ก่อนส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลและเก็บข้อมูล



รูปที่ 5-13 แสดงอุปกรณ์วัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์

5.1.5.2 การวัดอุณหภูมิไอเสีย

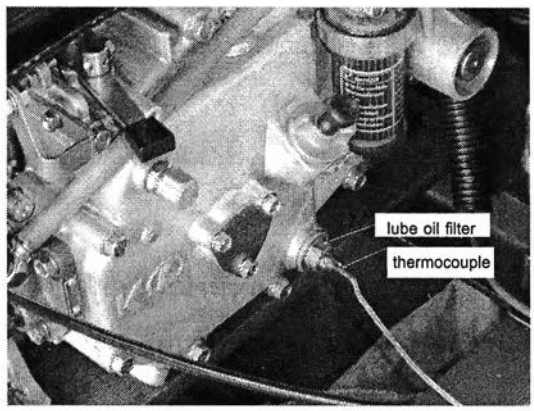
การวัดอุณหภูมิไอเสียโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด Type K (Chromel-Alumel, CA) การวัดอุณหภูมิไอเสียได้ทำการติดตั้งเทอร์โมคับเปิลไว้ที่ท่อไอเสียหลังจากออกจากห้องเผาไหม้ประมาณ 10 เซนติเมตร ดังรูป 5-14



รูปที่ 5-14 แสดงตำแหน่งเทอร์โมคับเปิลที่ท่อไอเสีย

5.1.5.3 การวัดอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

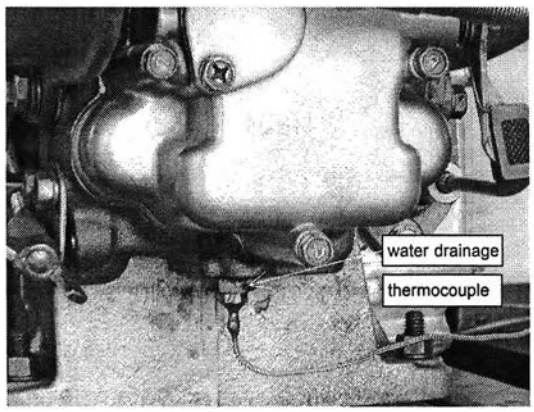
การวัดอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นจะติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลชนิด Type K (Chromel-Alumel, CA) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.65 มม.ไว้ภายในตัวกรองน้ำมันหล่อลื่น โดยตัวกรองน้ำมันหล่อลื่นแช่อยู่ในอ่างน้ำมันหล่อลื่นตลอดเวลาเช่นเดียวกับเทอร์โมคับเปิล แสดงดังรูปที่ 5-15



รูปที่ 5-15 แสดงการติดตั้งตำแหน่งของเทอร์โมคับเปิลที่ตัวกรองน้ำมันหล่อลื่น

5.1.5.4 การวัดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

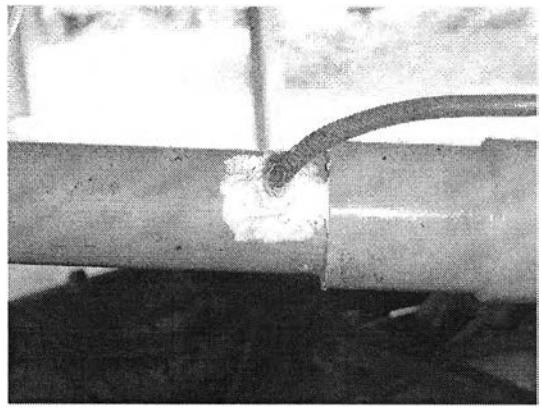
การวัดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นซึ่งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลชนิด Type K (Chromel-Alumel, CA) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.65 มม.ไว้ที่วาล์วถ่ายน้ำหล่อเย็นที่อยู่ด้านล่างของฝาสูบ แสดงดังรูปที่ 5-16



รูปที่ 5-16 แสดงตำแหน่งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลที่วาล์วถ่ายน้ำหล่อเย็นด้านล่างของฝาสูบ

5.1.5.5 การวัดอุณหภูมิก๊าซชีวภาพ

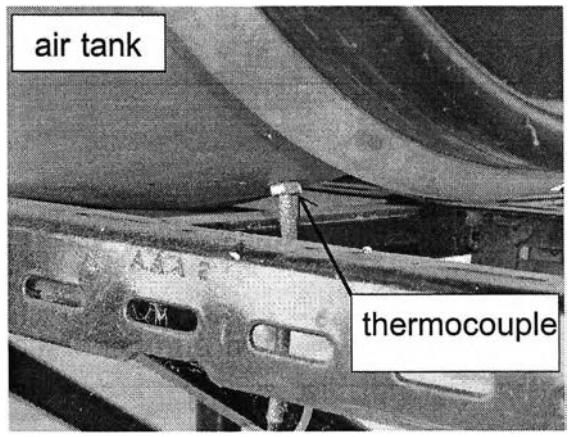
การวัดอุณหภูมิก๊าซชีวภาพจะใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด Type K (Chromel-Alumel, CA) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.65 มม. ซึ่งติดตั้งไว้ที่ท่อก๊าซตำแหน่งระหว่าง Pressure Regulator และ orifice ดังรูปที่ 5-17 เพื่อทราบถึงสภาวะของก๊าซชีวภาพเบื้องต้น



รูปที่ 5-17 แสดงตำแหน่งติดตั้งเทอร์โมคับเปิลที่ท่อก๊าซชีวภาพ

5.1.5.6 การวัดอุณหภูมิอากาศ

การวัดอุณหภูมิใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด type K (Chromel-Alumel, CA) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.65 มม. การวัดอุณหภูมิอากาศได้ทำการติดตั้งหัววัดไว้ภายในถังพักอากาศ ช่วงระหว่าง orifice plate กับกรองอากาศ ดังรูปที่ 5-18

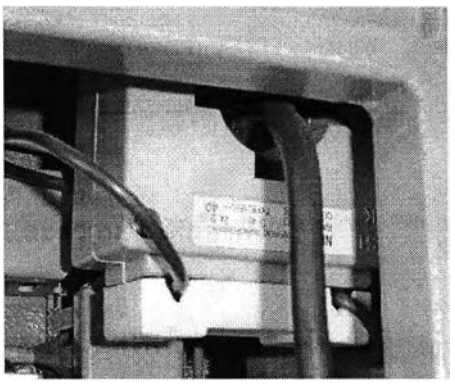


รูปที่ 5-18 แสดงจุดที่ติดตั้งหัววัดเทอร์โมมิเตอร์ในถังพักอากาศ

5.1.6 อุปกรณ์วัดกระแสและความต่างศักย์ไฟฟ้า

5.1.6.1 อุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (Current Transformer)

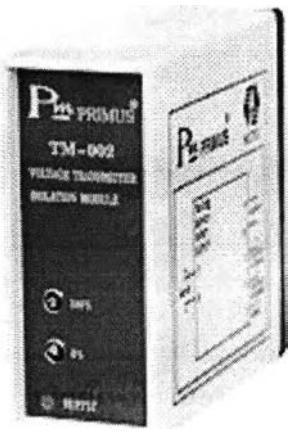
ยี่ห้อ Nitech Class 3 มีหน้าที่รับกระแสไฟฟ้า (กระแสสลับ) จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้วแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้ ในช่วง 0-50 Aac ไปเป็น 0-5 Adc แสดงดังรูปที่ 5-19



รูปที่ 5-19 แสดงอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ Nitech

5.1.6.2 อุปกรณ์วัดความต่างศักย์ไฟฟ้า (Voltage Transmitter)

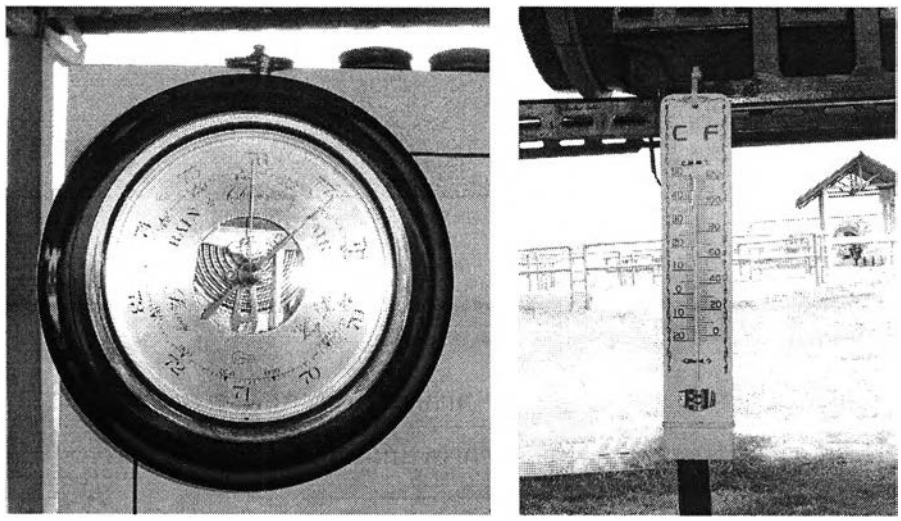
ยี่ห้อ Primus มีหน้าที่แปลงความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสสลับจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในช่วง 0-250 Vac ไปเป็น 0-5 Vdc แสดงดังรูปที่ 5-20



รูปที่ 5-20 แสดงอุปกรณ์แปลงความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสสลับ Primus

5.1.7 **อุปกรณ์การวัดสภาวะบรรยากาศ**

ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิบรรยากาศ และใช้บารอมิเตอร์วัดความดันบรรยากาศ หน่วย มม.น้ำ ดังรูป 5-21



รูปที่ 5-21 แสดงบารอมิเตอร์และเทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้ในการวัดความดันและอุณหภูมิบรรยากาศขณะทำการทดสอบ

5.1.8 **ระบบน้ำมันดีเซล**

5.1.8.1 **การวัดอัตราการบริโภคน้ำมันดีเซล**

กระทำโดยใช้อุปกรณ์ในการวัดการไหลชนิด Volumetric Gravitation Flow Meter ชนิดหลอดแก้ว มีเซนเซอร์ตรวจจับระดับของเหลว ชนิด Optical ยี่ห้อ Omron รุ่น E3X-DA11 ร่วมกับแอมพลิฟายเออร์ โดยใช้เซนเซอร์สองตัวติดห่างกันให้ได้ปริมาตร 47 ลูกบาศก์เซ็นติเมตรสัญญาณจากเซนเซอร์จะต่อไปยังนาฬิกาจับเวลาแบบดิจิตอล ดังแสดงในรูปที่ 5-22

ขณะทำการวัด ระดับน้ำมันดีเซลเคลื่อนที่ลงมาถึงเซนเซอร์ตัวบน (a) รูปที่ 5-23 นาฬิกาจับเวลาจะเริ่มทำงาน เมื่อระดับน้ำมันลดลงมาถึงเซนเซอร์ตัวล่าง (b) นาฬิกาจะหยุด หลังจากระดับน้ำมันดีเซลผ่านเซนเซอร์ตัวล่างไปแล้ว 0.1 วินาทีโซลินอยด์วาล์วจะเปิดน้ำมันดีเซลจากถังก็จะไหลกลับเข้าไปในหลอดวัดอีกโดยอัตโนมัติ ระดับน้ำมันดีเซลจะเคลื่อนที่ขึ้นมาในหลอดผ่านเซนเซอร์ตัวล่าง (b) ขึ้นไปถึงเซนเซอร์ตัวบน (a) แล้ว หลังจากระดับน้ำมันดีเซลผ่านเซนเซอร์ตัวบน (a) ไปแล้ว 0.1 วินาทีโซลินอยด์วาล์วปิด เป็นเช่นนี้ไปตลอดการทดสอบ ช่วงเวลาที่

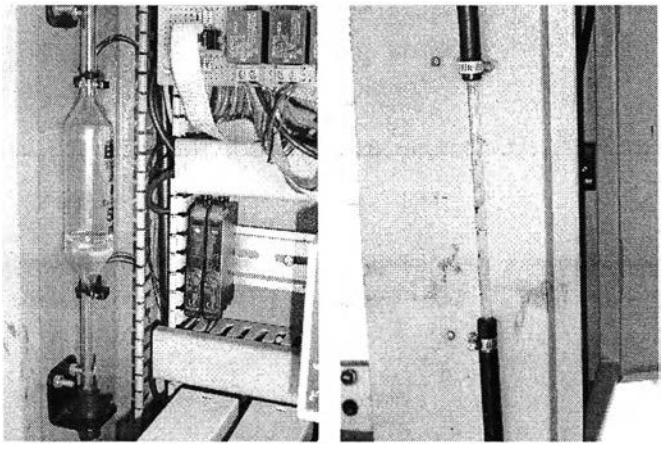
วัดได้จะถูกจัดเก็บในโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยอัตโนมัติและถูกโปรแกรมนำมาใช้ในการคำนวณอัตราการไหลโดยปริมาตร ดังสมการ (5-1)

$$\dot{V} = \frac{V}{t} \qquad (5\text{-}1)$$

โดยที่ $\dot{V}$ คือ อัตราการไหลโดยปริมาตร (cc./min.)

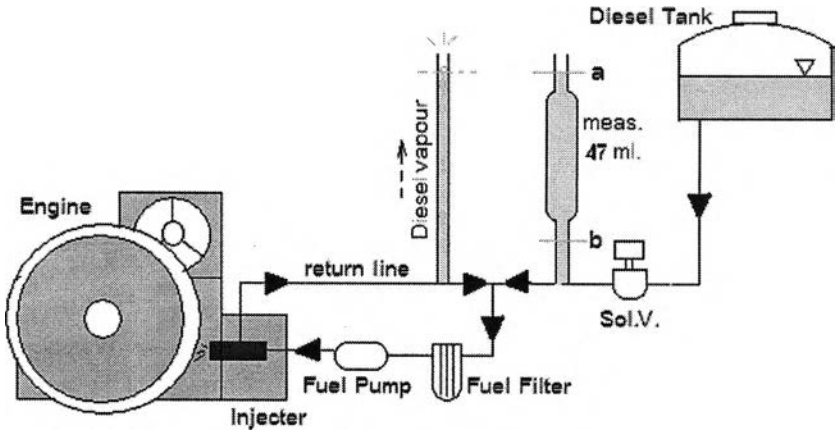
V คือ ปริมาตรที่ใช้วัดสำหรับการทดสอบนี้ใช้ (cc.)

t คือ ช่วงเวลาที่นาฬิกาจับเวลาได้ (s)



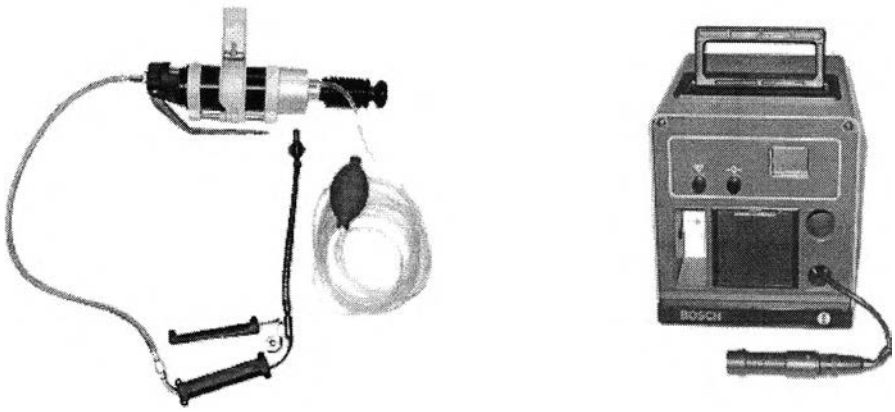
รูปที่ 5-22 แสดงอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำมันดีเซล

คอมพิวเตอร์จะทำการคำนวณอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง โดยจะแสดงค่าที่คำนวณได้ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์และบันทึกค่าไว้ในฐานข้อมูลของโปรแกรม ในการวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลนี้มีการต่อท่อทางเดินของน้ำมัน ดังแผนผังในรูปที่ 5-23 ทั้งนี้เพื่อกำจัดความผิดพลาดจากการวัดที่อาจเกิดขึ้นจากน้ำมันดีเซลที่ไหลกลับจากหัวฉีด (return line) และจากไอระเหยของน้ำมันดีเซลในระบบทางเดินน้ำมัน



รูปที่ 5-23 แสดงแผนผังการต่อระบบน้ำมันดีเซล

5.1.9 เครื่องวัดควันดำ



รูปที่ 5-24 แสดงชุดเครื่องมือวัดค่าควันดำ ภาพซ้ายแสดงภาพปั๊มดูดไอเสียรุ่น ETD 020.00 ภาพขวา แสดงภาพ เครื่องอ่านค่าควันดำ รุ่น ETD 020.50

เครื่องอ่านค่าควันดำ รุ่น ETD 020.50 เป็นเครื่องอ่านค่าความเข้มของเขม่าดำบนกระดาษกรอง แสดงดังรูปที่ 5-24 แสดงค่าด้วยตัวเลขดิจิตอลเรืองแสง มีสเกลอยู่ระหว่าง 0-10 ความละเอียด 0.1 เมื่อตัวเลขแสดงค่า 0 มีความหมายว่าผิววัตถุที่ทดสอบนั้นขาวบริสุทธิ์ ถ้าตัวเลขแสดงค่า 10 หมายความว่าผิววัตถุที่ทดสอบนั้นดำสนิท หรือมีค่าความดำ 100% ในหัวอ่านค่าควันดำ ภายในจะประกอบด้วย Photo Element รูปวงแหวนตรงกลางมีหลอดไฟ และมีสัญญาณส่งเข้าเครื่องอ่านค่า หลักการทำงานคือเมื่อกดสวิทช์อ่านค่า หลอดไฟจะติด แสงที่พุ่งออกไปเมื่อกระทบกับผิววัตถุ (กระดาษกรอง) จะมีการสะท้อนกลับ Photo Element จะรับแสง

สะท้อนนั้นแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าผ่านตามสายไฟฟ้าไปยังตัวอ่านค่าควันดำและแสดงค่าออกมาเป็นตัวเลขเรืองแสง ในกรณีที่กระดาษกรองขาวบริสุทธิ์ แสงจะสะท้อนกลับมาหมด Photo Element จะส่งสัญญาณเป็นกระแสไฟเต็มที่ ตัวเลขจะแสดงค่า 0 ถ้ากระดาษกรองดำสนิทจะดูดกลืนแสงไว้ทั้งหมด ไม่มีการสะท้อนกลับ จึงไม่มีสัญญาณไฟส่งไปยังเครื่องวัด ตัวเลขจะแสดงค่า 10

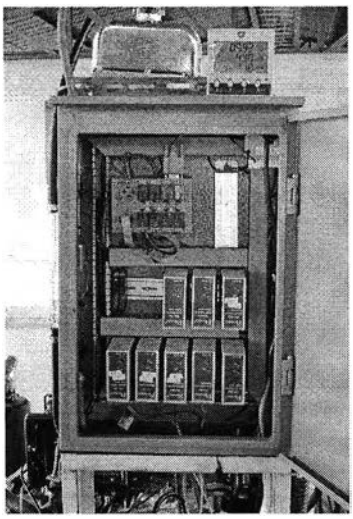
5.1.10 อุปกรณ์วัดปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ระบายจากหม้อน้ำรังผึ้ง

ในระหว่างการทดสอบความทนทานพบปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์มีอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสูงเมื่อเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพทำงานต่อเนื่องกล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสูงกว่าประมาณ 106 องศาเซลเซียส น้ำหล่อเย็นในหม้อน้ำจะไหลออกทางช่องระบายน้ำ (over flow) มากกว่าค่าที่กำหนด (ปกติเครื่องยนต์เมื่อเริ่มต้นทำงานจะมีน้ำหล่อเย็นไหลออกจากช่องระบายน้ำและหยุดไหลเมื่อได้สภาวะที่เหมาะสม ซึ่งปริมาณของน้ำที่ไหลออกมานั้นไม่เกิน 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร) ทำให้ความร้อนของเครื่องยนต์สูงขึ้นและส่งผลเสียหายต่อชิ้นส่วนภายใน เพื่อเป็นการสังเกตปริมาณน้ำดังกล่าวจึงใช้ขวดพลาสติกใสและทำเครื่องหมายแสดงระดับน้ำที่ปริมาตร 200, 250 และ 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 5-25

รูปที่ 5-25 แสดงขวดบอกปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ไหลทางช่องระบายน้ำจากหม้อน้ำ

5.1.11 อุปกรณ์รับและแปลงสัญญาณ

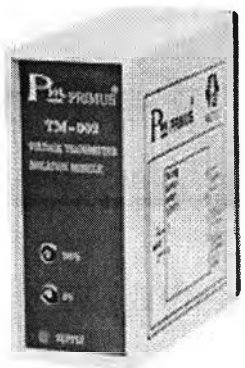
อุปกรณ์รับและแปลงสัญญาณ มีหน้าที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ, ความเร็วรอบ, ความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสสลับและกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ แล้วแปลงสัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณดิจิตอลและส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงผลและเก็บข้อมูลที่ได้แสดงดังรูปที่ 5-26 โดยตู้แปลงสัญญาณมีส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้



รูปที่ 5-26 แสดงตู้รับและแปลงสัญญาณ

5.1.11.1 **อุปกรณ์แปลงสัญญาณเป็นสัญญาณอนาลอก** (Transmitter)

ยี่ห้อ Primus มีหน้าที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์การวัดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 5-27 แล้วแปลงเป็นสัญญาณอนาลอก มีทั้งหมดจำนวน 8 ตัว ประกอบด้วย



รูปที่ 5-27 แสดงอุปกรณ์แปลงสัญญาณเป็นสัญญาณอนาลอก Primus

รุ่น TM-001 Current Transmitter มีหน้าที่รับสัญญาณกระแสไฟฟ้ากระแสสลับจากอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ ในช่วง 0-5 Aac แล้วแปลงเป็นสัญญาณอนาลอก 0-5 Vdc

รุ่น TM-002 Voltage Transmitter มีหน้าที่รับสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสสลับจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วง 0-250 Vac แล้วแปลงเป็นสัญญาณอนาลอก 0-5 Vdc

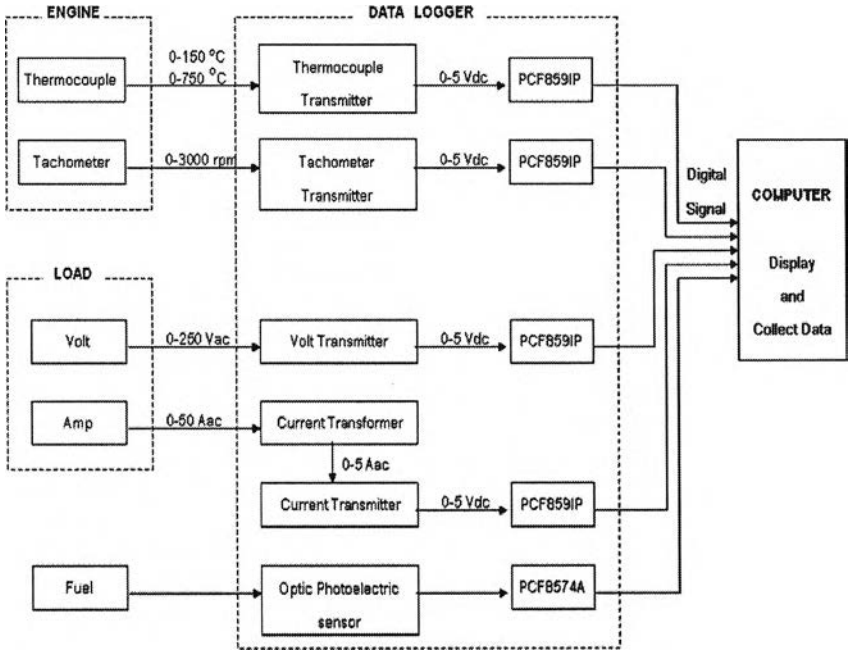
รุ่น TM-004 Thermocouple Transmitter มีหน้าที่รับสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล แล้วแปลงเป็นสัญญาณอนาลอก 0-5 Vdc จำนวน 5 ตัว

รุ่น TM-005 Tachometer Transmitter มีหน้าที่รับสัญญาณจากตัวตรวจจับวัดความเร็วรอบในช่วง 0-3000 รอบต่อนาที แล้วแปลงเป็นสัญญาณอนาลอก 0-5 Vdc

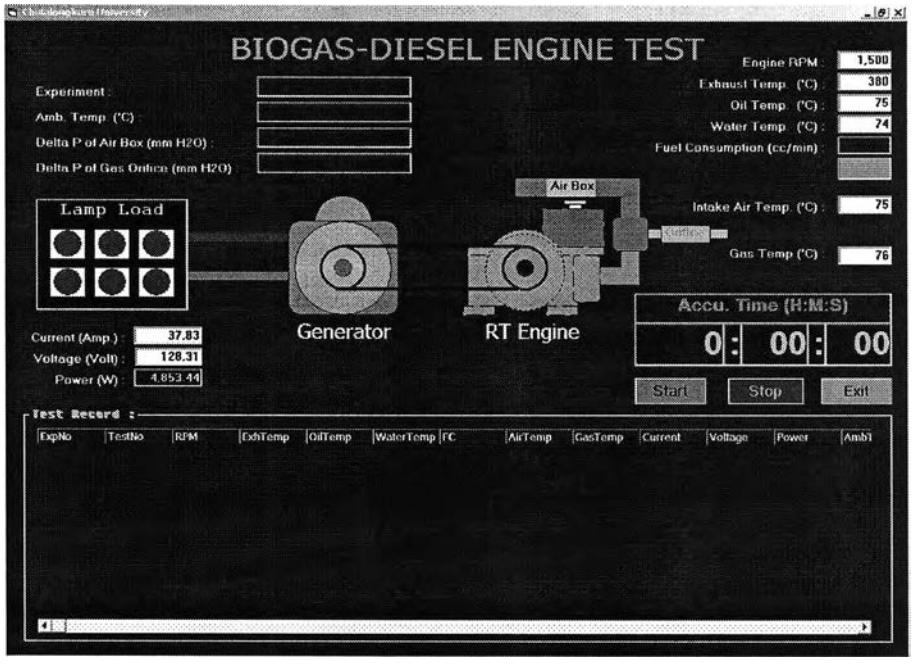
5.1.11.2 **อุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (ไอซี)**

ยี่ห้อ Philips เบอร์ PCF8591P มีหน้าที่รับสัญญาณ อนาลอก จากอุปกรณ์แปลงสัญญาณPrimus แล้วแปลงเป็นสัญญาณ ดิจิตอล เพื่อส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์

จากที่ได้กล่าวมาในข้างต้น เป็นอุปกรณ์หลักที่อยู่ในตู้รับและแปลงสัญญาณ โดยจะแสดงหลักการทำงานเป็นแผนผังการทำงาน (Flow Chart) แดงดังรูปที่ 5-28 จากนั้นสัญญาณที่ออกจากตู้แปลงสัญญาณจะส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลและเก็บข้อมูล โดยใช้โปรแกรม Biogas-Diesel Engine Test ซึ่งเขียนโดยโปรแกรม Visual Basic แสดงดังรูปที่ 5-29



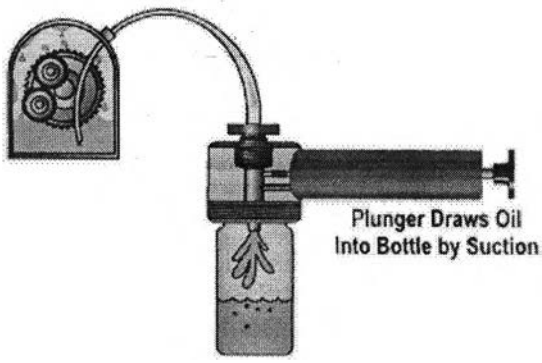
รูปที่ 5-28 แสดงแผนผัง (Flow Chart) การทำงานของระบบการวัด อ่าน และบันทึกค่า



รูปที่ 5-29 แสดงโปรแกรม Biogas-Diesel Engine Test

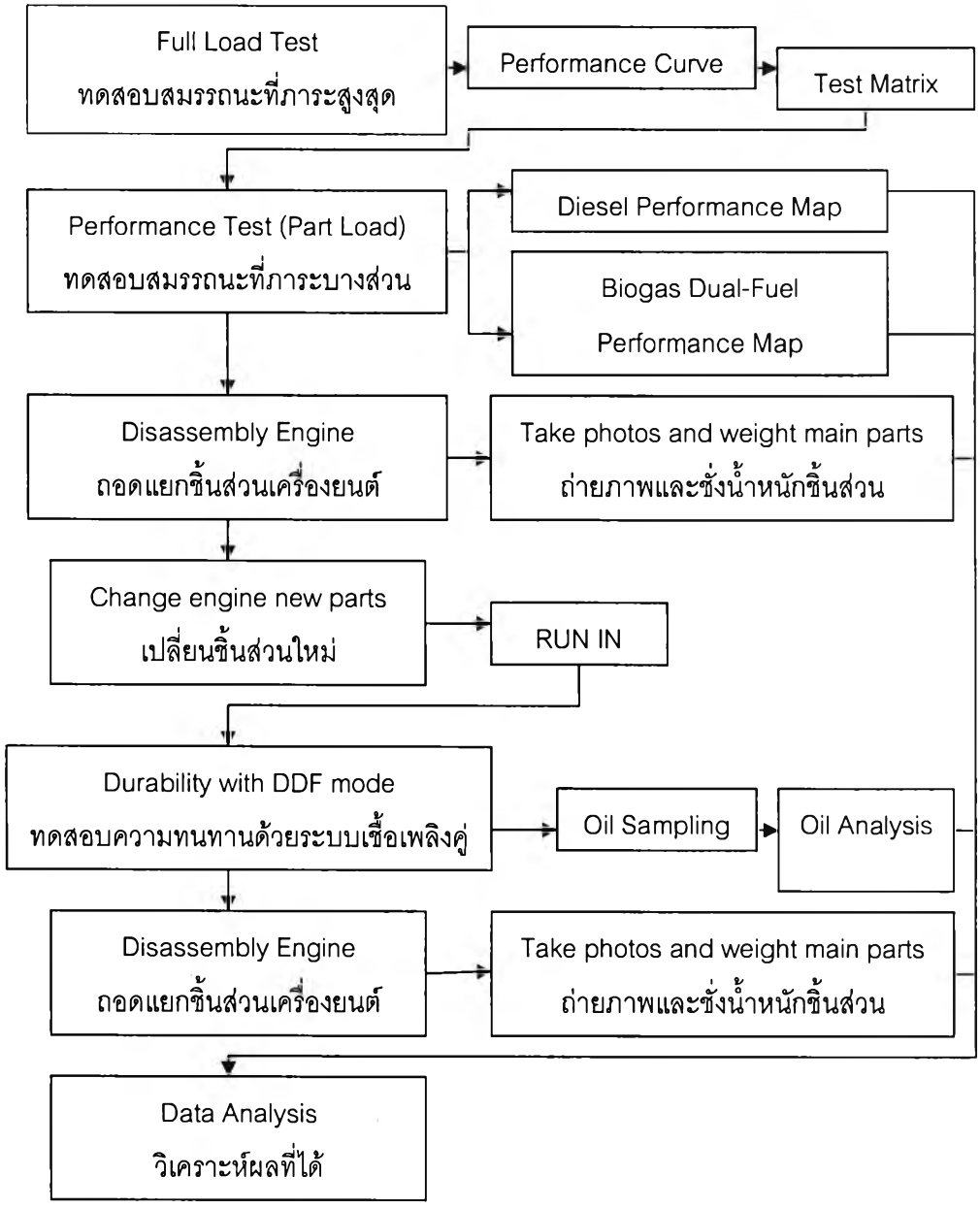
5.1.12 อุปกรณ์การสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น

การสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น จะทำการสุ่มตัวอย่างโดยการดูดจากอ่างน้ำมันหล่อลื่นผ่านช่องเสียบก้านวัดระดับน้ำมันหล่อลื่น ด้วยอุปกรณ์เฉพาะทางดังรูปที่ 5-30



รูปที่ 5-30 แสดงอุปกรณ์และภาชนะที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น [12]

5.2 ขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 5-31 แสดงแผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

5.2.1 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การทำวิจัยเริ่มจากทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ภาระสูงสุด(Full Load Test) โดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง การทดสอบนี้จะได้เส้นกราฟของสมรรถนะสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้ในแต่ละรอบ (Full Load Performance Curve) จากเส้นกราฟสมรรถนะสูงสุดนี้ก็นำไปกำหนดจุดทดสอบต่างๆ ที่สนใจ และอยู่ในช่วงความสามารถสูงสุดที่เครื่องยนต์สามารถทำ

ได้ (Matrix Test) จากจุดทดสอบที่กำหนดนี้ก็จะเริ่มทดสอบเครื่องยนต์ไปทีละความเร็วรอบ คือ การทดสอบสมรรถนะที่ภาระบางส่วน (Part Load Performance Test) กระทั่งครบทุกภาระในความเร็วรอบนั้น แล้วจึงทดสอบที่ความเร็วรอบต่อไป โดยแต่ละจุดที่ทำการทดสอบจะเริ่มจากการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลก่อน เมื่อบันทึกค่าต่างๆ แล้วก็จะเปลี่ยนไปทดสอบโดยใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพแบบระบบเชื้อเพลิงคู่ (ในจุดทำงานเดียวกัน) เมื่อบันทึกค่าต่างๆ แล้วจึงเปลี่ยนไปทดสอบจุดทำงานต่อไปทำเช่นนี้กระทั่งครบทุกจุดทดสอบ หลังจากการทดสอบสมรรถนะที่ภาระบางส่วน จะได้แผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ (Performance Map) โดยจะนำมาพล็อตในสองรูปแบบแยกพิจารณาตามชนิดเชื้อเพลิง ได้แก่ แผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล และแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพแบบระบบเชื้อเพลิงคู่ หลังจากทดสอบสมรรถนะแล้ว ได้ทำการถอดแยกชิ้นส่วนเครื่องยนต์ หลังจากล้างทำความสะอาดแล้วได้เปลี่ยนชิ้นส่วนใหม่เข้าไปแทนชิ้นส่วนเก่า แล้วทำการ RUN IN เครื่องยนต์ครบตามชั่วโมงที่ผู้ผลิตเครื่องยนต์แนะนำแล้วได้เปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นใหม่ จึงเริ่มทำการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ ตามวัฏจักรและระยะเวลาที่กำหนด ในระหว่างที่ทดสอบความทนทานมีการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นเพื่อไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการตามคาบเวลาที่กำหนด เมื่อทดสอบความทนทานครบตามชั่วโมงที่กำหนดแล้วได้ทำการถอดแยกชิ้นส่วนเครื่องยนต์อีกครั้ง เพื่อถ่ายภาพชิ้นส่วนที่สำคัญ ล้างทำความสะอาดและชั่งน้ำหนัก สุดท้ายได้นำข้อมูลและผลการทดสอบทั้งหมดมาวิเคราะห์ผล ซึ่งที่กล่าวมาแสดงเป็นแผนผังดังรูปที่ 5-31

5.2.2 **รายละเอียดการทดสอบแต่ละขั้นตอน**

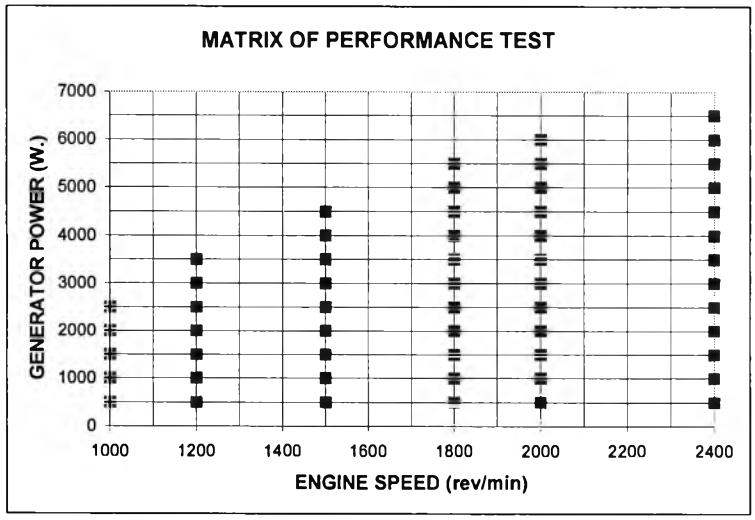
5.2.2.1 **การทดสอบสมรรถนะที่ภาระสูงสุด** (Full Load Test)

เป็นการทดสอบเครื่องยนต์เพื่อศึกษาสมรรถนะที่เครื่องยนต์สามารถทำได้สูงสุดในแต่ละความเร็วรอบรวมไปถึงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและอุณหภูมิการทำงานที่วัดได้จากเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ การทดสอบได้ดำเนินการทั้งที่สภาวะภาระสูงสุด (Full Load) และที่สภาวะภาระบางส่วน (Part Load) ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงในรูปแผนภูมิสมรรถนะ (Performance Map) แผนผังแสดงการติดตั้งเครื่องยนต์และเครื่องมือในการทดสอบแสดงไว้ในรูปที่ 5-1

การทดสอบหาสมรรถนะสูงสุดของเครื่องยนต์ เริ่มจากสตาร์ทเครื่องยนต์ (โดยใช้น้ำมันดีเซลปกติ) ให้เครื่องยนต์ทำงานที่รอบต่ำ ไม่มีภาระ(no load) กระทั่งได้อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นตามที่ผู้ผลิตแนะนำ (ประมาณ 80° C) แล้วเร่งคันเร่งสุด รอบเครื่องยนต์จะสูงขึ้นกระทั่งเกิน 2400 รอบต่อนาที (ประมาณ 2450 รอบต่อนาที) จึงค่อยๆ เพิ่มภาระให้เครื่องยนต์ด้วยการเปิดหลอดไฟทีละดวง รอบเครื่องยนต์จะลดลงมาเรื่อยๆ ตามจำนวนหลอดไฟที่เปิดมากขึ้นกระทั่งได้รอบเครื่องยนต์ที่ 2400 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นรอบสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง รอจนเครื่องยนต์เข้าสู่สภาวะคงตัว จึงเริ่มให้โปรแกรมรับ-ส่งข้อมูลจากตำแหน่งต่างๆ ที่ส่งเข้ามาที่ตู้แผงวงจร อิเล็กทรอนิกส์ (A/D Board) แล้วบันทึกไว้ในฐานข้อมูล (Data Logger) ของโปรแกรมที่ได้ออกแบบสำหรับการทดสอบโดยเฉพาะ ข้อมูลที่ทำการวัด ได้แก่ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (รอบต่อนาที),ค่ากระแสไฟฟ้า(แอมแปร์), ความต่างศักย์ (โวลต์), ค่ากำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์), อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (องศาเซลเซียส), อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น (องศาเซลเซียส), อุณหภูมิไอเสีย (องศาเซลเซียส), อุณหภูมิไอดี (องศาเซลเซียส),อุณหภูมิก๊าซชีวภาพ (องศาเซลเซียส), อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ (มิลลิบาร์) เมื่อเก็บข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จึงทำการเปิดหลอดไฟเพิ่มอีกกระทั่งได้รอบเครื่องยนต์ที่ 2000 รอบต่อนาที ทำแบบเดียวกันกับที่ 2400 รอบต่อนาที ทำเช่นนี้ไปจนครบทุกรอบที่สนใจ ได้แก่ 2400, 2000, 1800, 1500, 1200, 1000 รอบต่อนาที (เนื่องจากขนาดของ pulley มีจำกัดทำให้ไม่สามารถสร้างอัตราทดได้ในทุกๆ ความเร็วรอบ) นำค่าที่ได้จากการทดสอบไปพล็อตได้เส้นกราฟสมรรถนะสูงสุด

5.2.2.2 **การทดสอบสมรรถนะที่ภาระบางส่วน** (Performance Test at Part Load)

จากเส้นกราฟสมรรถนะสูงสุดที่ได้จากการทดสอบสมรรถนะที่ภาระสูงสุดนำมากำหนดจุดทดสอบทั้งหมด (Matrix test) สำหรับการทดสอบสมรรถนะที่ภาระบางส่วน ซึ่งได้จุดทดสอบทั้งหมด 57 จุด ดังรูปที่ 5-32



รูปที่ 5-32 แสดงจุดทดสอบทั้งหมด (Matrix test) ของการทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระบางส่วน

การทดสอบหาสมรรถนะที่สภาวะภาระบางส่วนของเครื่องยนต์ เริ่มจากสตาร์ทเครื่องยนต์ (โดยใช้น้ำมันดีเซลปกติ) ให้เครื่องยนต์ทำงานที่รอบต่ำ ไม่มีภาระ(no load) กระทั่งได้อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นตามที่ผู้ผลิตแนะนำ (ประมาณ 80°C) แล้วค่อยๆ เร่งคันเร่งกระทั่งได้รอบเครื่องยนต์ที่ 1000 รอบต่อนาที แล้วจึงเปิดหลอดไฟทีละดวง ภาระจะเพิ่มขึ้นแต่รอบเครื่องยนต์จะตกลงปรับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ด้วยการด้วยปรับตำแหน่งคันเร่ง กระทั่งได้ค่าภาระและรอบตามที่กำหนดในจุดทดสอบข้างต้น คือภาระ 500 วัตต์ที่ 1000 รอบต่อนาที (เริ่มจากรอบต่ำสุด ภาระต่ำสุด)เมื่อเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัวจะเริ่มบันทึกข้อมูลจากการวัดค่าต่างๆ และบันทึกไว้ในฐานข้อมูลโปรแกรมคอมพิวเตอร์หลังจากนั้นจึงหยุดบันทึกข้อมูลจากการวัดค่าต่างๆ ที่จุดทำงานนี้ซึ่งเป็นการทำงานในแบบเครื่องยนต์ดีเซลต่อมาจึงค่อยๆ เปิดวาล์วก๊าซชีวภาพทำให้รอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นเกิน 1000 รอบต่อนาที จึงปรับลดคันเร่งน้ำมันดีเซลลงให้รอบเครื่องยนต์ลดลงมาอยู่ที่ 1000 รอบต่อนาทีเช่นเดิม แล้วค่อยๆ หมุนเปิดวาล์วก๊าซเพิ่มอีกเล็กน้อย ความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะสูงกว่า 1000 รอบต่อนาทีเล็กน้อย จึงลดน้ำมันดีเซลอีกครั้ง ปรับโดยละเอียดเช่นนี้เพื่อให้ได้จุดทำงานที่กำหนดจนกระทั่งไม่สามารถเพิ่มก๊าซชีวภาพได้อีก (เนื่องจากเครื่องยนต์จะเกิดความผิดปกติคือ มีคามเร็วรอบไม่คงที่เดินไม่เรียบหรือมีเสียงดังผิดปกติ) โดยตำแหน่งนั้นถือว่าเป็นตำแหน่งที่สามารถใช้ก๊าซชีวภาพได้มากที่สุด เมื่อเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัวทำการบันทึกค่าต่างๆ จากการวัดในโปรแกรมคอมพิวเตอร์กระทั่งเลยช่วงที่เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัวไปแล้ว จึงหยุดบันทึกข้อมูลจากการวัดค่าต่างๆที่จุดทำงานนี้ ซึ่งเป็นการทำงานในระบบเชื้อเพลิงคู่ แล้วเปลี่ยนไปทดสอบจุดทำงานต่อไปด้วยการค่อยๆ เพิ่มภาระขึ้น

ด้วยการเปิดหลอดไฟเพิ่ม ปิดวาล์วก๊าซชีวภาพ เพิ่มปริมาณน้ำมันดีเซล กระทั่งเครื่องยนต์ทำงานด้วยน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว แล้วทำการปรับจุดทำงานต่อไปด้วยการปรับที่ภาระและคันเร่งน้ำมันดีเซล ทำเช่นนี้ไปจนครบทุกจุดทำงานที่กำหนดโดยแต่ละจุดทำงานจะวัดและเก็บข้อมูลเมื่อเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ โดยลำดับการทดสอบจะเริ่มจากรอบต่ำสุดก่อนและเริ่มจากภาระต่ำไปหาภาระสูงจนครบทุกภาระในรอบนั้น จึงเปลี่ยนไปทดสอบในรอบที่สูงขึ้นถัดไป ทุกครั้งที่เปลี่ยนรอบเครื่องยนต์ต้องดับเครื่องยนต์เพื่อทำการเปลี่ยนชุด pulley ที่ตำแหน่งล้อช่วยแรงและเพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เพื่อให้ได้อัตราทดจากรอบเครื่องยนต์ไปสู่ความเร็วรอบคงที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 1500 รอบต่อนาที เมื่อทดสอบครบทุกจุดทำงานแล้วจึงเสร็จสิ้นการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

5.2.2.3 การ RUN IN

เครื่องจักรจะมีช่วง RUN IN เพื่อพร้อมสำหรับการทำงานของชิ้นส่วนต่างๆ เครื่องยนต์ก็เช่นเดียวกัน ก่อนการทดสอบขั้นต่อไป ได้ทำการ RUN IN เครื่องยนต์เป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมงติดต่อกัน ตามวัฏจักรที่ผู้ผลิตแนะนำ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังตารางที่ 5-5

ตารางที่ 5-5 แสดงวัฏจักรของการ RUN IN

NO.	ระยะเวลา	ภาระ (% of rated power)	ความเร็วรอบ(rev/min)
1	30 min.	0 (No Load)	2,400
2	30 min.	50	2,400
3	20 Hr	100	2,400

ภายหลังเสร็จสิ้นการ RUN IN ได้ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องใหม่ก่อนเริ่มทำการทดสอบความทนทานและสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นใหม่ไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

5.2.2.4 **การทดสอบความทนทาน** (Durability Test)

การทดสอบความทนทานเป็นการทดสอบเพื่อหาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์เมื่อเครื่องยนต์ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพในระยะเวลานาน โดยใช้ทำงานจริงภายใต้สภาวะภาระจำลองในระยะเวลาที่กำหนด ในการทดสอบความทนทานนี้ใช้หลอดไฟและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์สร้างภาระให้กับเครื่องยนต์ตลอดการทดสอบความทนทาน กล่าวคือ ให้เครื่องยนต์ทำงานเพื่อปั่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ผลิตกระแสไฟฟ้าจ่ายให้กับหลอดไฟและสามารถควบคุมภาระที่จ่ายให้เครื่องยนต์ตามจำนวนหลอดไฟที่พอดีกับภาระที่กำหนด ดังนั้นชุดทดสอบที่ใช้ในการทดสอบความทนทานเป็นชุดเดียวกับการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ และทั้งสองกรณีได้ติดตั้งเครื่องยนต์พร้อมแท่นทดสอบดังรูปที่ 5-3

โดยก่อนการทดสอบความทนทานได้ทำการถอดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ แล้วทำการชั่งน้ำหนักแต่ละชิ้นส่วนไว้ พร้อมทั้งได้ถ่ายภาพโดยละเอียด เพื่อเก็บไว้เปรียบเทียบกับชิ้นส่วนที่ผ่านการทดสอบความทนทานต่อไป

สำหรับการทดสอบความทนทานนี้ เป็นวัฏจักรสำหรับการทดสอบเครื่องยนต์ซึ่งดัดแปลงมาจาก EMA test cycle โดยกำหนดให้เครื่องยนต์ทำงานที่ภาระสูงสุดสลับกับการทำงานที่ภาระบางส่วนเพื่อเป็นการลดภาระในการทำงานของเครื่องยนต์ โดยวัฏจักรจำลองที่กำหนดขึ้นแสดงในตาราง 5-6

ตารางที่ 5-6 แสดงหนึ่งวัฏจักรของการทดสอบความทนทาน

สภาวะการทำงาน	ระยะเวลา (Hr)	ภาระเครื่องยนต์ (kW)	ภาระที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (kW)	ความเร็วรอบ (rev/min)
1	2.30	6.7	5.4	2,400
2	1	6.1	4.8	2,400
3	1	5.4	4.3	2,400

จากตารางที่ 5-6 ใน 1 วัฏจักรจะใช้ระยะเวลาการทดสอบ 4 ชั่วโมง 30 นาที จึงกำหนดการทดสอบความทนทานเป็นจำนวน 3 วัฏจักรหรือ 13 ชั่วโมง 30 นาทีต่อวัน เวลาที่เหลือใช้สำหรับการหยุดเครื่องยนต์เพื่อตรวจสภาพและพักเครื่องยนต์ ก่อนเริ่มทำการทดสอบแต่

ละวันต้องตรวจสภาพเครื่องยนต์ได้แก่ ตรวจระดับน้ำหล่อเย็น, ระดับน้ำมันหล่อลื่น, ความตึงสายพาน (อัตราทด pulley สำหรับการทำงานที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที) จากนั้นทำการสตาร์ทเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันดีเซล อุ่นเครื่องยนต์โดยการใส่ภาระเพียงเล็กน้อย แล้วเร่งคันเร่งไปที่รอบ 2400 รอบต่อนาที จนอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นประมาณ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงเริ่มทดสอบตามวัฏจักร โดยเริ่มจากสภาวะการทำงานที่ 1

สภาวะการทำงานที่ 1 (ภาระทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 5.4 กิโลวัตต์ที่ 2400 รอบต่อนาที)

เริ่มจากดึงคันเร่งสุด (เครื่องยนต์จะมีความเร็วรอบประมาณ 2450 รอบต่อนาที โดยไม่มีภาระ) จากนั้นจึงเปิดหลอดไฟเพื่อเพิ่มภาระ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะลดลงตามจำนวนหลอดไฟที่เปิด กระทั่งได้ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาทีและภาระทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ประมาณ 5.4 กิโลวัตต์ (ที่มอนิเตอร์) แล้วจึงเริ่มปล่อยก๊าซชีวภาพผ่านทางมิกเซอร์เข้าเครื่องยนต์ ส่งผลให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น (สูงกว่า 2400 รอบต่อนาที) ปรับคันเร่งลงเพื่อลดน้ำมันดีเซลและความเร็วรอบจนอยู่ที่ 2400 รอบต่อนาที ทำการปรับเช่นนี้จนกระทั่งไม่สามารถเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพได้ (การปรับปริมาณก๊าซชีวภาพและน้ำมันดีเซลต้องปรับโดยละเอียดซึ่งเครื่องยนต์ต้องทำงานปกติไม่มีเสียงผิดปกติและไม่เกิดการน็อก) ได้สภาวะการทำงานที่เหมาะสมระหว่างดีเซลและก๊าซชีวภาพสำหรับการทำงานของเครื่องยนต์ระบบเชื้อเพลิงคู่ที่สภาวะการทำงานที่ 1 หลังจากนั้นจึงเริ่มบันทึกค่าต่างๆ ลงในคอมพิวเตอร์ โดยบันทึกข้อมูลทุก 30 วินาที และทำการบันทึกต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาทีตามที่กำหนด

สภาวะการทำงานที่ 2 (ภาระทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 4.8 กิโลวัตต์ที่ 2400 รอบต่อนาที)

หลังจากจบสภาวะการทำงานที่ 1 เริ่มจากปิดหลอดไฟทีละดวง สังเกตภาระที่มอนิเตอร์จะลดลง ความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้น ค่อยๆ ปิดวาล์วก๊าซชีวภาพจนกระทั่งวาล์วปิดสนิทความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะลดลง หลังจากนั้นทำการเปิดหลอดไฟเพื่อเพิ่มภาระ พร้อมกับดึงคันเร่งเพื่อเพิ่มน้ำมันดีเซลและความเร็วรอบของเครื่องยนต์จนกระทั่งได้ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาทีที่ภาระทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 4.8 กิโลวัตต์ แล้วจึงเริ่มปล่อยก๊าซชีวภาพผ่านทางมิกเซอร์เข้าเครื่องยนต์ ทำการปรับปริมาณก๊าซชีวภาพและน้ำมันดีเซลโดยละเอียดจนกระทั่งไม่สามารถเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพ (เครื่องยนต์ทำงานปกติไม่มีเสียงผิดปกติและไม่เกิดการน็อก) ได้สภาวะการทำงานที่เหมาะสมระหว่างดีเซลและก๊าซชีวภาพที่สภาวะการทำงานที่ 2 หลังจากนั้นจึงเริ่มบันทึกค่าต่างๆ ลงในคอมพิวเตอร์ โดยบันทึกข้อมูลทุก 30 วินาที และทำการบันทึกต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงตามที่กำหนด

สภาวะการทำงานที่ 3 (ภาระทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 4.3 กิโลวัตต์ 2400 รอบต่อนาที)

หลังจากจบสภาวะการทำงานที่ 2 เริ่มจากปิดหลอดไฟทีละดวง สังเกตภาระที่มอนิเตอร์จะลดลง และทำการปรับปริมาณก๊าซชีวภาพและน้ำมันดีเซลเช่นเดียวกับการปรับที่สภาวะการทำงานที่ 2 กระทั่งได้สภาวะการทำงานที่เหมาะสมระหว่างดีเซลและก๊าซชีวภาพที่สภาวะการทำงานที่ 3 (ความเร็วรอบ 24000 รอบต่อนาทีที่ภาระทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 4.3 กิโลวัตต์) หลังจากนั้นจึงเริ่มบันทึกค่าต่างๆ ลงในคอมพิวเตอร์ โดยบันทึกข้อมูลทุก 30 วินาที และทำการบันทึกต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงตามที่กำหนด

เมื่อสิ้นสุดสภาวะการทำงานที่ 3 เป็น 1 วัฏจักรจะกลับไปเริ่มต้นในสภาวะที่ 1 สภาวะที่ 2 และสภาวะที่ 3 จนครบทั้ง 3 วัฏจักร เป็นระยะเวลารวม 13 ชั่วโมง 30 นาทีต่อวัน โดยได้ทำการทดสอบทั้งสิ้น 18 วัฏจักรหรือ 242 ชั่วโมง หลังการทดสอบความทนทานครบ 242 ชั่วโมงได้ทำการถอดแยกชิ้นส่วนเครื่องยนต์อีกครั้งเพื่อถ่ายภาพชิ้นส่วนต่างๆ ล้างทำความสะอาดแล้วชั่งน้ำหนักเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนการทดสอบความทนทานที่ได้ถ่ายภาพและชั่งน้ำหนักไว้ก่อนแล้ว

ระหว่างการทดสอบความทนทานจะทำการบันทึกข้อมูลสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์คือ ภาระการทดสอบ, อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง, อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น, อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นและอุณหภูมิไอเสีย พร้อมทั้งสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการทดสอบตามชั่วโมงการทำงานที่กำหนด เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติและโลหะตกค้างในน้ำมันหล่อลื่นในห้องปฏิบัติการต่อไป

5.2.2.5 **การสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น**

การสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น จะทำการสุ่มตัวอย่างโดยการดูดจากอ่างน้ำมันหล่อลื่นผ่านช่องเสียบก้านวัดระดับน้ำมันหล่อลื่น ด้วยอุปกรณ์เฉพาะทางดังรูปที่ 5-30 การสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นจะทำในขณะที่เครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบเดินเบา ที่อุณหภูมิการทำงานปกติของเครื่องยนต์

โดยจะทำการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นปริมาณ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร และหลังจากการสุ่มน้ำมันหล่อลื่นจะเติมน้ำมันหล่อลื่นใหม่กลับเข้าไปในปริมาตรเดียวกัน ช่วงเวลาในการสุ่มตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 5.7 โดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นจะทำการเปลี่ยนถ่าย 4 ครั้ง คือหลังจากผ่านการ RUN IN เป็นระยะเวลา 20 ชั่วโมง, หลังผ่านการทดสอบความทนทาน 80 ชั่วโมง, หลังผ่านการทดสอบความทนทาน 180 ชั่วโมง และหลังผ่านการทดสอบ

ความทนทาน 300 ชั่วโมง น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นน้ำมันหล่อลื่นที่มาจากการผลิตครั้งเดียวกัน เพื่อควบคุมตัวแปรจากการผลิต

ตารางที่ 5-7 แสดงรายละเอียดวัฏจักรการทดสอบความทนทานและการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น

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	80	80	7	
เปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใหม่ ทำความสะอาดไส้กรองน้ำมันหล่อลื่น				
8	105	25	8	
9	130	50	9	
10	155	75	10	
11	180	100	11	
เปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใหม่ ทำความสะอาดไส้กรองน้ำมันหล่อลื่น				
12	205	25	12	
13	230	50	13	
14	255	75	14	
15	280	100	15	
16	290	110	16	เกินอายุการใช้งานน้ำมันหล่อลื่น
17	300	120	17	เกินอายุการใช้งานน้ำมันหล่อลื่น