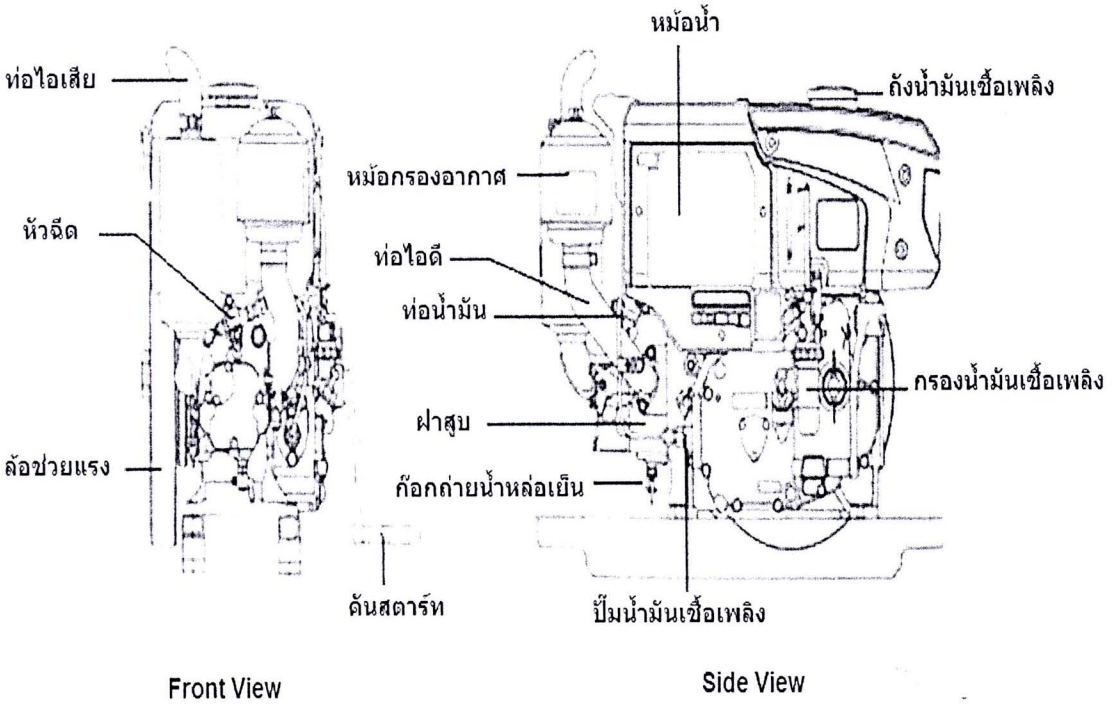
บทที่ 5

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

5.1.1 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

เครื่องยนต์ที่ถูกดัดแปลงให้เป็นเครื่องยนต์ทดสอบเป็นเครื่องยนต์ CI ชนิด IDI ยี่ห้อ Kubota รุ่น RT-120 ดังแสดงในรูปที่ 5-1 โดยแสดงข้อมูลทางเทคนิคในตารางที่ 5-1



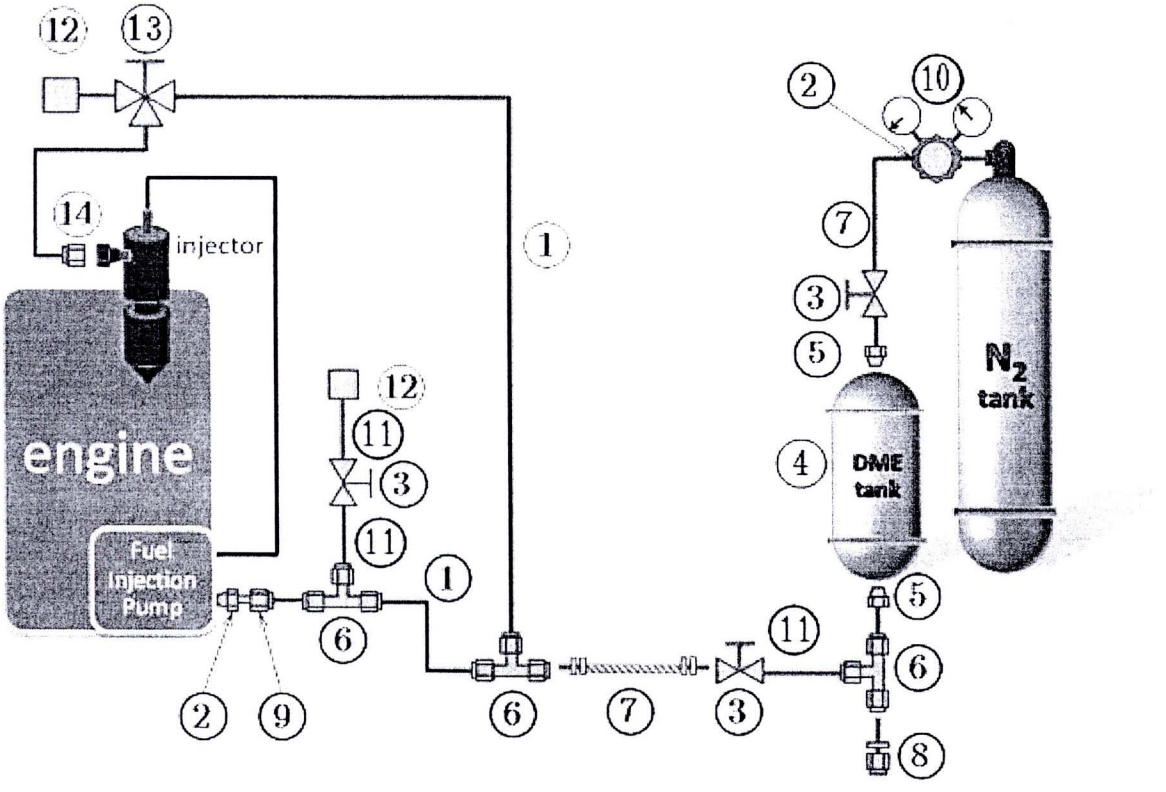
รูปที่ 5-1 เครื่องยนต์ทดสอบ

ตารางที่ 5-1 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ทดสอบ [47]

เครื่องยนต์	Kubota
รุ่น	RT120
ชนิด	Single cylinder (ลูกสูบเคลื่อนที่ในแนวนอน)
ระบบห้องเผาไหม้	Swirl chamber (IDI)
ϕ กระบอกสูบ (bore)	94 mm.
ช่วงชัก (stroke)	90 mm.
ปริมาตรกระบอกสูบ	624 cc.
แรงม้าสูงสุด	12 hp / 2400 rpm
แรงบิดสูงสุด	4.0 kg-m / 1600 rpm
อัตราส่วนกำลังอัด	21 : 1
หัวฉีด	ประเภท: เข็มบานปลาย ความดัน: 140 kg/cm^2 [ค่ามาตรฐาน OEM]
ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง	ประเภท: อิสระ หรือลูกสูบ ความดัน: 600 kg/cm^2
ระบบหล่อลื่น	ฉีดส่งโดยปั๊มแบบ rotary SAE 40 API CC ความจุ 2.8 ลิตร
ระบบระบายความร้อน	หม้อน้ำแบบหม้อน้ำรังผึ้ง ระบายความร้อน แบบ Natural Convection ความจุ 2.2 ลิตร

5.1.2 **อุปกรณ์ชุดทนความดันสูง** (High Pressure Set)

เนื่องจากระบบที่ทำการทดลองจำเป็นต้องใช้แก๊สไนโตรเจนขับดันเชื้อเพลิง DME เพื่อให้ DME มีสภาวะเป็นของเหลวตลอดกระบวนการทดสอบภายในท่อส่งเชื้อเพลิง จึงทำให้ท่อส่งเชื้อเพลิงของระบบ (Fuel Line) ต้องรับแรงดันมากกว่า 3 MPa การใช้อุปกรณ์มาตรฐาน เช่น ท่อยาง จะทำให้ไม่สามารถทนแรงดันได้ ดังนั้นต้องปรับปรุงระบบอุปกรณ์ส่งเชื้อเพลิง เป็นท่อทนความดันสูงซึ่งสามารถทนความดันได้มากกว่า 15 MPa โดยอุปกรณ์ชุดทนความดันสูงที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นอุปกรณ์ยี่ห้อ Swagelok ดังรูปที่ 5-2 แสดงแผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ชุดทนความดันสูง โดยมีรายละเอียดอุปกรณ์ดังตารางที่ 5-2 และได้แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ชุดทนความดันสูงอย่างละเอียดไว้ในภาคผนวก ฉ



รูปที่ 5-2 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ชุดทนความดันสูงยี่ห้อ Swagelok

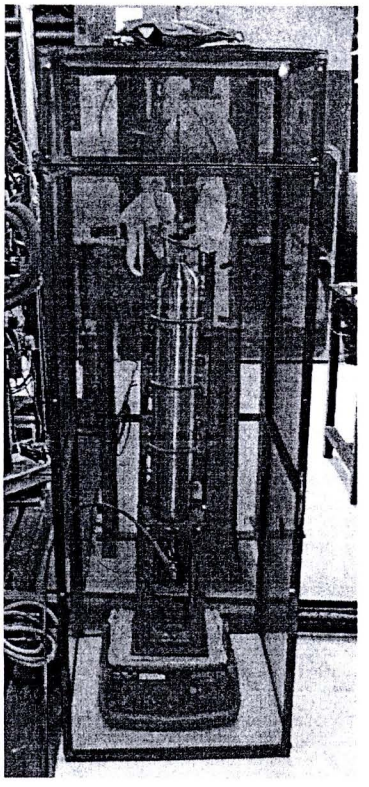
ตารางที่ 5-2 รายละเอียดอุปกรณ์ชุดทนความดันสูงยี่ห้อ Swagelok

หมายเลข	อุปกรณ์
1	Flexible Teflon Hose Tube Adapter (24")
2	Male Connector
3	Ball Valve
4	Sample Cylinder
5	Tube Adapter
6	Union Tee Tube
7	Flexible Teflon Hose Tube Adapter (120")
8	Reducer
9	Male Connector Parallel Threads
10	Regulator
11	Tube Seamless
12	Cap Tube
13	3-Way Ball Valve
14	Male Connector Parallel

จากแผนผังท่อ DME จะวิ่งเข้าปั๊มและผ่านไปยังหัวฉีด โดยมีท่อนำ DME ย้อนกลับไปยังปั๊มอีกครั้ง โดยท่อที่ใช้เป็นท่อส่งเชื้อเพลิง ต้องเป็นท่อที่สามารถทนความดันได้มากกว่า 3 MPa ซึ่งไม่สามารถใช้อุปกรณ์มาตรฐานที่ติดมากับเครื่องยนต์ได้

5.1.3 อุปกรณ์วัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

การวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง จะนำถังน้ำมันเชื้อเพลิงวางไว้บนตาชั่ง ซึ่งตาชั่งสามารถรับน้ำหนักได้ 60 กิโลกรัม มีความละเอียด 2 กรัม ดังรูปที่ 5-3 และใช้นาฬิกาจับเวลาเพื่อจับเวลาน้ำหนักเชื้อเพลิงที่เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 5-3 อุปกรณ์การวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

ตารางที่ 5-3 ข้อมูลทางเทคนิคของตาชั่งที่ใช้วัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

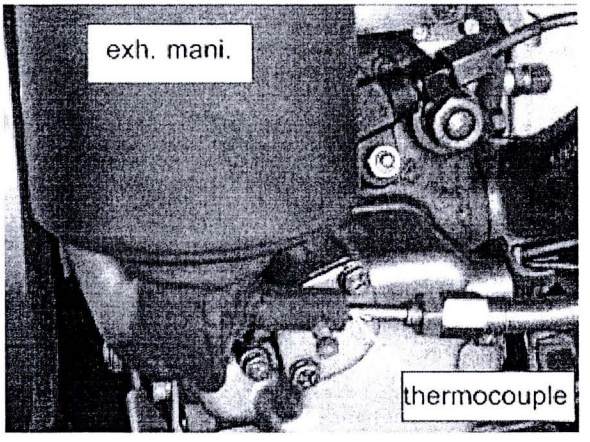
Model	JADEVER JWA - 60K
Capacity	60 kg.
Resolution	2 g
Internal Resolution	1/600000
Pan size	320 x 240 mm
Sensitivity Drift	20 ppm / °C (5-35 °C)
Operating Temperature	-5 °C-40 °C
Display	LCD with backlight, 7 digits
Power	110, 120, 220, 240VAC±10%, rechargeable battery for 60 hours
Dimension	390L x 345W x 120H (mm)
Option Module	1. Bi – direction RS232 Module Box 2. Relay Module Box

5.1.4 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

การวัดอุณหภูมิจะใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิด type K (Chromel-Alumel, CA) โดยต่อเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับตัวอ่านค่าเพื่ออ่านค่าและเก็บข้อมูล

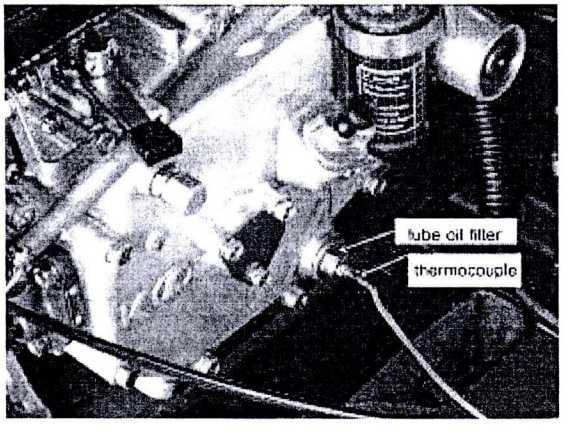
ตัวแปรอุณหภูมิการทำงานที่ทำการวัดมีดังนี้

ก. อุณหภูมิไอเสีย โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด Type K (Chromel-Alumel, CA) การวัดอุณหภูมิไอเสียได้ทำการติดตั้งเทอร์โมคับเปิลไว้ที่ท่อไอเสียหลังจากออกจากห้องเผาไหม้ประมาณ 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 5-4



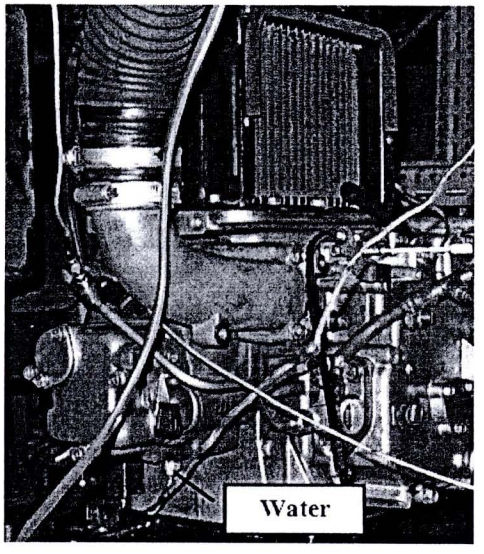
รูปที่ 5-4 ตำแหน่งเทอร์โมคับเปิลที่ท่อไอเสีย

ข. อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น จะติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลชนิด Type K (Chromel-Alumel, CA) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.65 มม.ไว้ภายในตัวกรองน้ำมันหล่อลื่น โดยตัวกรองน้ำมันหล่อลื่นแช่อยู่ในอ่างน้ำมันหล่อลื่นตลอดเวลาเช่นเดียวกับเทอร์โมคับเปิล แสดงดังรูปที่ 5-5



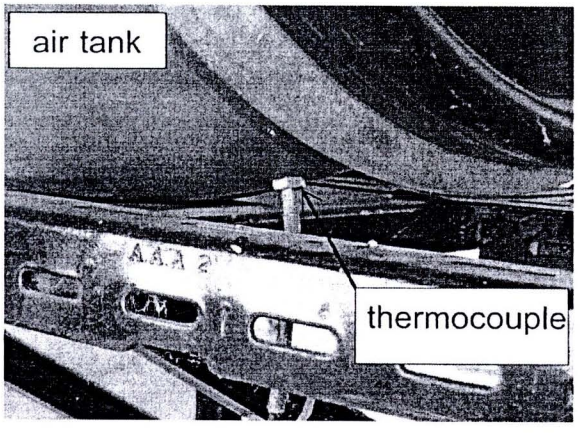
รูปที่ 5-5 การติดตั้งตำแหน่งของเทอร์โมคับเปิลที่ตัวกรองน้ำมันหล่อลื่น

ค. อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น โดยทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลไว้ที่ปลั๊กถ่ายน้ำหล่อเย็นที่อยู่ด้านล่างของฝาสูบ แสดงดังรูปที่ 5-6



รูปที่ 5-6 การติดตั้งตำแหน่งของเทอร์โมคับเปิลที่ด้านล่างของฝาสูบ

ง. อุณหภูมิอากาศที่ไหลเข้าท่อไอดีก่อนเข้าห้องเผาไหม้ ทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลไว้ภายในถังพักอากาศ ช่วงระหว่าง Orifice Plate กับกรองอากาศ ดังรูปที่ 5-7

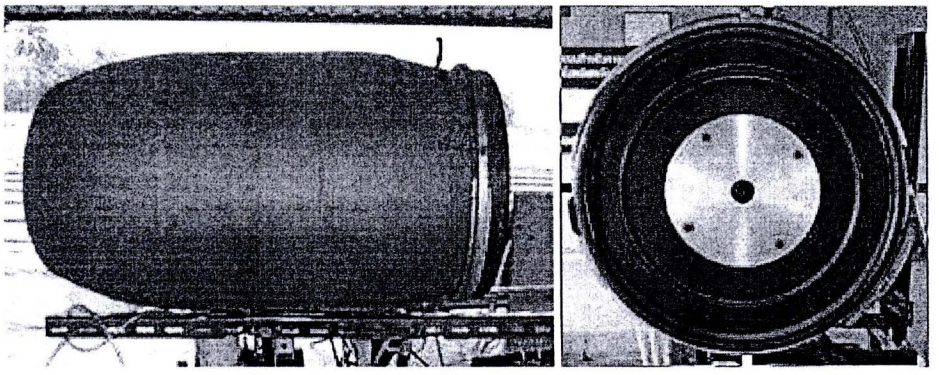


รูปที่ 5-7 จุดที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลในถังพักอากาศ

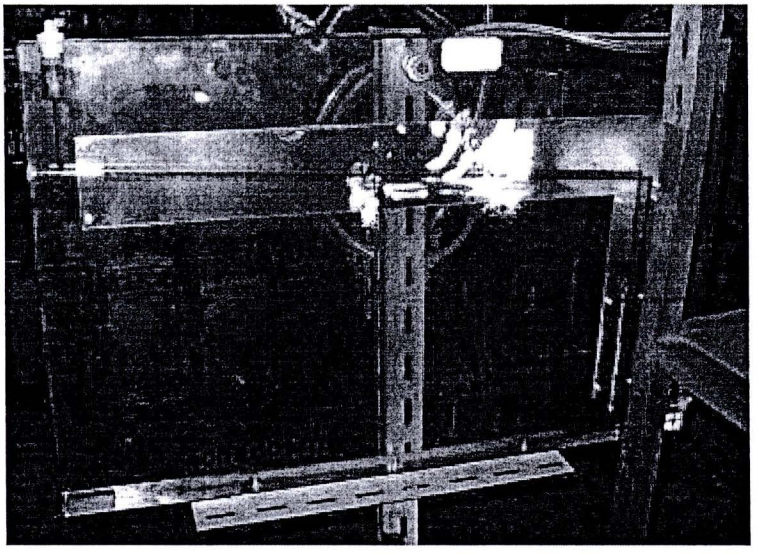
5.1.5 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ

การวัดอัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์ จะวัดด้วย Orifice ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณทางเข้าถังพักอากาศ ดังรูปที่ 5-8 โดยถังพักอากาศจะช่วยลดการกระเพื่อมของอากาศที่ไหลผ่าน Orifice อันเนื่องมาจากจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ และวัดค่าความดันตกคร่อม

Orifice Plate เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ โดยใช้ Inclined Manometer ดังรูปที่ 5-9 โดยรายละเอียดการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ข



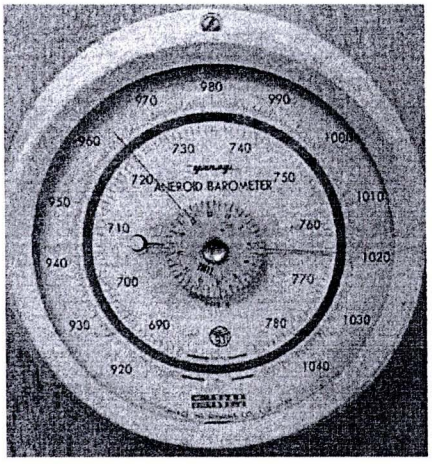
รูปที่ 5-8 ถังพักอากาศและการติดตั้ง Orifice Plate



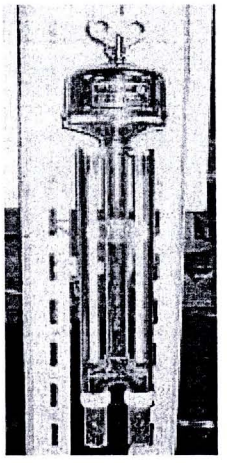
รูปที่ 5-9 Inclined Manometer

5.1.6 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ (Ambient Conditions)

ระหว่างการทดสอบสมรรถนะได้ทำการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งของบรรยากาศ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งแบบปรอท ส่วนความดันบรรยากาศ วัดโดยใช้บารอมิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 5-10 และรูปที่ 5-11



รูปที่ 5-10 บารอมิเตอร์



รูปที่ 5-11 เทอร์โมมิเตอร์

5.1.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบวัดความดันในห้องเผาไหม้

5.1.7.1 ไดนาโมมิเตอร์

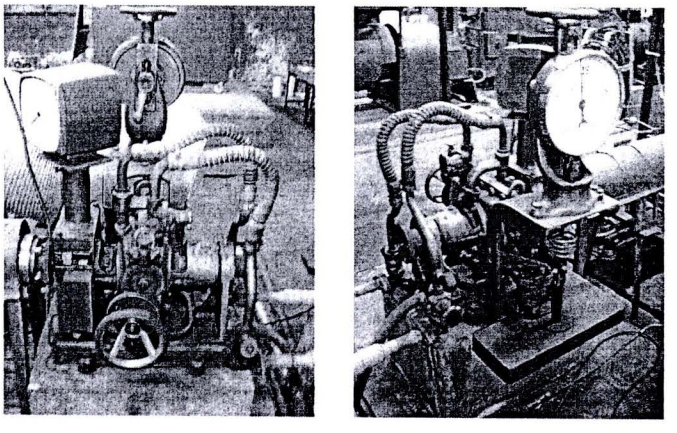
ไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นแบบไฮโดรลิค (Hydraulic Dynamometer) ใช้น้ำในการเบรกการหมุนของเพลา (Water Brake) รูปที่ 5-12 แสดงภาพไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ ข้อมูลเกี่ยวกับไดนาโมมิเตอร์แสดงดังรายการต่อไปนี้

Froude Dynamometer ประกอบด้วยเพลาซึ่งที่ปลายด้านหนึ่งมีหน้าแปลนสำหรับยึดต่อกับหน้าแปลนเพลาที่ต่อมาจากเพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ ภายในไดนาโมมิเตอร์มีส่วนที่หมุนไปพร้อมกับเพลาเรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) ดังแสดงในรูปที่ 5-13 โดยที่โรเตอร์เป็นใบพัด (Vanes) มีหลุมลักษณะคล้ายถ้วยหลายใบเรียงตัวตามแนวรัศมีรอบใบพัดทั้งสองด้าน (ดูรูปประกอบ) ทั้งเพลาและโรเตอร์อยู่ในตัวเรือน (Casing) ที่ตัวเรือนด้านในจะมีใบพัดเหมือนกับที่ โรเตอร์คือมีหลุมคล้ายถ้วยเรียงตัวตามแนวรัศมีของใบพัด อยู่ในลักษณะประกบเข้ากับใบพัดของโรเตอร์ ตัวเรือนนี้มีแบริ่งรองรับอยู่บนแท่นของไดนาโมมิเตอร์ ดังนั้นตัวเรือนจึงสามารถหมุนแกว่งได้อย่างอิสระจากเพลาที่หมุนภายในตัวเรือน

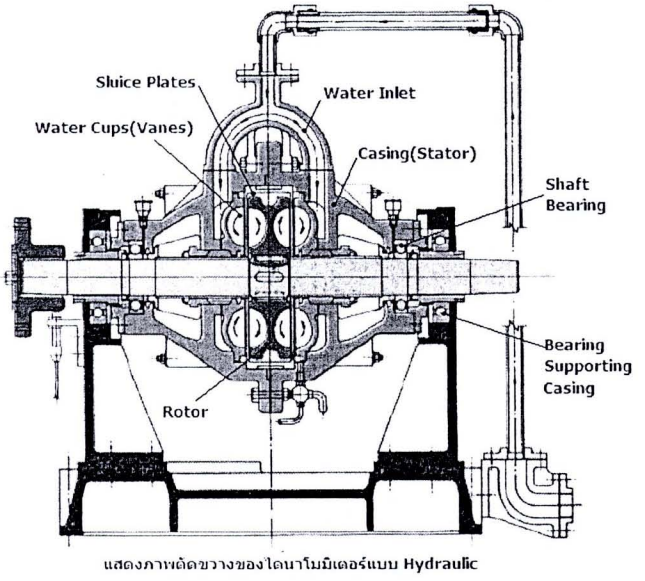
ตารางที่ 5-4 ข้อมูลทางเทคนิคของไดนาโมมิเตอร์

ประเภทของไดนาโมมิเตอร์	Hydraulic Dynamometer
ผู้ผลิต	Redman Heenan International Company, England
รุ่น	Froude Hydraulic Dynamometer(DPX2)
Resolution	0.1 kg
ความยาวแขนสมดุล(LB)	0.3525 m
กำลังสูงสุดที่สามารถรับได้	150/7500 CV/rpm, (1 CV ≅ 0.986 hp)

เมื่อโรเตอร์หมุน น้ำที่อยู่ในถ้วยจะถูกเหวี่ยงออกจากโรเตอร์ น้ำที่ถูกเหวี่ยงออกนี้จะพุ่งไปสู่ถ้วยที่อยู่ฝั่งตัวเรือน ถ้วยในใบพัดฝั่งตัวเรือนนี้เองก็จะสะท้อนน้ำที่พุ่งเข้ามาให้พุ่งกลับสู่ถ้วยฝั่งโรเตอร์ จึงเป็นการต้านหรือพยายามเบรกการหมุนของโรเตอร์และเพลา งานที่เครื่องยนต์กระทำต่อน้ำจะทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น น้ำที่อุณหภูมิสูงกว่าจะลอยอยู่ด้านบนภายในตัวเรือนและไหลออกไปทางท่อน้ำที่อยู่ด้านบน และน้ำเย็นจะไหลเข้ามาแทนที่โดยการทำงานของปั๊มน้ำ ดังนั้นสามารถปรับภาระที่กระทำต่อเครื่องยนต์ได้ด้วยการปรับปริมาณน้ำที่อยู่ในตัวเรือน โดยการหมุนปรับที่วาล์วน้ำขาออกจากตัวเรือน กล่าวคือการหรี่วาล์วน้ำขาออกเป็นการเพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์ (ส่วนที่ขาเข้านั้นต้องเปิดสุดไว้เสมอ) นอกจากนี้การปรับภาระยังสามารถปรับได้จากการปรับขนาดประตูน้ำ (Sluice Plates) ระหว่างใบพัดฝั่งโรเตอร์และใบพัดฝั่งตัวเรือน ซึ่งมีพวงมาลัยสำหรับควบคุมประตูน้ำที่ด้านข้างตัวเรือน (การเปิดประตูน้ำกว้างมากขึ้นเป็นการเพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์)



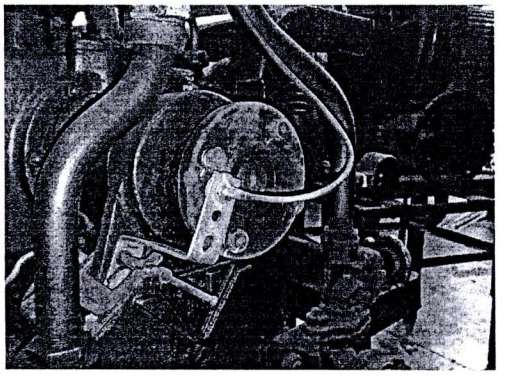
รูปที่ 5-12 ไดนาโมมิเตอร์



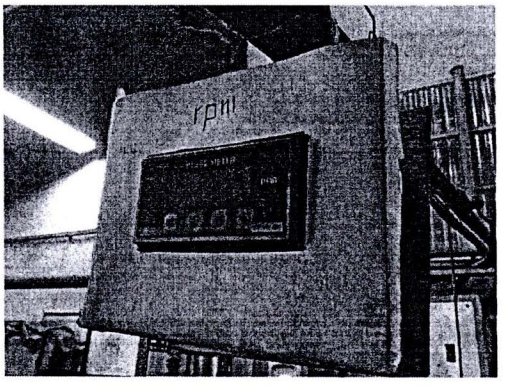
รูปที่ 5-13 ภาพตัดขวางภายในของไดนาโมมิเตอร์แบบไฮโดรลิค

เมื่อเครื่องยนต์ทำงานโรเตอร์ซึ่งยึดติดอยู่กับเพลาจะพยายามหมุนพาให้ตัวเรือน (ซึ่งเป็นอิสระจากเพลา) หมุนตามไปด้วยโดยมีน้ำเป็นตัวกลาง ทำให้ตัวเรือนแกว่งไปในทิศเดียวกับทิศการหมุนของเพลา สามารถวัดแรงบิดที่เพลาพยายามกระทำนี้ได้ด้วยการหมุนพวงมาลัยปรับตำแหน่งตัวเรือนให้กลับมาอยู่ในภาวะสมดุล สังเกตจุดสมดุลได้จากหมุด (Pointer) ที่ตัวเรือนและที่แท่นไดนาโมมิเตอร์ต้องตรงกันพอดี การปรับสมดุลของตัวเรือนนี้ทำให้เราอ่านค่าน้ำหนักหรือแรงที่สปริงซึ่งติดกับแขนสมดุล (Balance Arm) ของตัวเรือนได้รับ จากการนำค่าน้ำหนักที่อ่านได้จากหน้าปัดของไดนาโมมิเตอร์คูณกับระยะแขนสมดุลของไดนาโมมิเตอร์ จะได้ค่าแรงบิดที่ต้านการหมุนของเพลา ซึ่งเท่ากับแรงบิดที่ได้รับจากเพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์นั่นเอง

5.1.7.2 การวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์



รูปที่ 5-14 Proximity



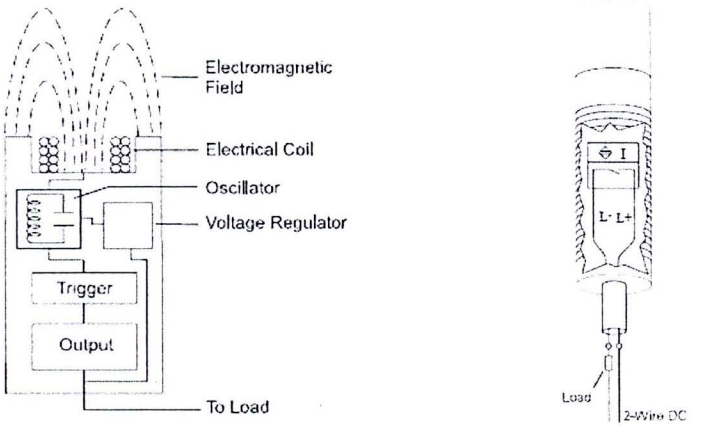
รูปที่ 5-15 Pulse Meter

อุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร็วรอบในการทดลองนี้ คือ Proximity ชนิด Inductive วัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และใช้พัลส์มิเตอร์ (Pulse Meter) แสดงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ โดยยึดตัว Proximity ไว้ที่ฐานของไดนาโมมิเตอร์ และวัดความเร็วรอบจากการหมุนของหน้าแปลน (Flange) เพลาไดนาโมมิเตอร์ฝั่งตรงข้ามกับเครื่องยนต์ ดังรูปที่ 5-14 และรูปที่ 5-15 และข้อมูลทางเทคนิคของ Proximity ที่ใช้ในการวัดความเร็วรอบได้แสดงไว้ในตารางที่ 5-5

สำหรับหลักการทำงานของชุดอุปกรณ์วัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ อธิบายได้ว่า Proximity เป็นเซ็นเซอร์สำหรับวัดความเร็วรอบแบบไม่สัมผัส โดย Proximity แบบ Inductive นั้น อาศัยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field) ในการตรวจจับวัตถุเป้าหมายที่เป็นโลหะ (Metal Target) ที่ผ่านเข้ามาในระยะอิทธิพล (Sensing Distance) ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปล่อยออกจากตัว Proximity จึงไม่มีการสัมผัสกับวัตถุเป้าหมายนั้น ซึ่งภายในตัวเรือนของ Proximity ประกอบด้วย ขดลวดพันรอบแกนแม่เหล็ก (Coil), ออสซิลเลเตอร์ (Oscillator), วงจรตรวจจับ(Trigger Circuit) และวงจรเอาท์พุท (Output Circuit) ดังรูปที่ 5-16

ตารางที่ 5-5 ข้อมูลทางเทคนิคของ Proximity ที่ใช้วัดความเร็วรอบเครื่องยนต์

ยี่ห้อ, รุ่น	OMRON, E2E-X2D1-N
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	8 mm (M8)
Type	Shielded
Sensing Distance	2 mm ±10%
Operating Voltage	12 to 24 VDC
Leakage Current	0.8 mA max.
Response Frequency	1.5 kHz (1,500 pulse/sec)
Operation	Load ON
Indicator	Operation set indicator (green LED)
Ambient Temperature	-25°C to 70°C
Vibration Resistance	10 to 55 Hz
Weight	Approx. 45 g



รูปที่ 5-16 ส่วนประกอบภายในตัวเรือนของ Proximity แบบ Inductive

โดยออสซิลเลเตอร์ใน Proximity อาศัยแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานภายนอกมาสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและแผ่ออกทางผิวหน้าของเซ็นเซอร์ (Sensor Face) ผ่านขดลวด เมื่อมีวัตถุที่เป็นโลหะเคลื่อนที่ผ่านเข้ามาในระยะอิทธิพลของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า วัตถุที่เป็นโลหะดังกล่าวจะดูดซับพลังงานจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือเกิดการเหนี่ยวนำ (Inductive) ได้กระแสไฟฟ้าไหลวน (Eddy Currents) ภายในตัวของวัตถุที่เป็นโลหะดังกล่าว ทำให้ค่าแอมปลิจูดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าลดลง ยิ่งวัตถุที่เป็นโลหะดังกล่าวเข้าใกล้มากก็จะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลวนมากขึ้น เป็นการสูญเสียพลังงานของออสซิลเลเตอร์มากขึ้น เมื่อค่าของแอมปลิจูดลดลงถึงค่าที่กำหนด วงจรตรวจจับและวงจรเอาท์พุทจะตรวจจับค่าแอมปลิจูดและส่งสัญญาณการเปลี่ยนแปลงค่าแอมปลิจูดด้วยการเปิดหรือปิด (On or Off) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าเซ็นเซอร์เป็นแบบ Normal Close (NC) หรือแบบ Normal Open (NO) เมื่อวัตถุที่เป็นโลหะเคลื่อนที่ห่างออกไปจากผิวหน้าเซ็นเซอร์ ขนาดของแอมปลิจูดของออสซิลเลเตอร์จะกลับมาเพิ่มขึ้น วงจรตรวจจับและวงจรเอาท์พุทจะตรวจจับขนาดของแอมปลิจูดที่เพิ่มขึ้น และส่งสัญญาณด้วยการเปิดหรือปิด (On or off) วงจรเมื่อค่าแอมปลิจูดกลับมาที่ภาวะปกติ โดยวงจรเอาท์พุทจะทำการส่งสัญญาณพัลส์ที่เกิดขึ้นทุกครั้งไปยังพัลส์มิเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่ในการนับจำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้นใน 1 วินาทีและแสดงออกมาเป็นความเร็วรอบในหน่วยรอบต่อนาที โดยผ่านการคำนวณดังสมการ 5-1

$$rpm = \frac{(pulse/\sec) \times 60\sec}{(tooth \quad no./rev.)} \qquad (5\text{-}1)$$

ตารางที่ 5-6 ข้อมูลทางเทคนิคของพัลส์มิเตอร์ที่ใช้ในการแสดงผลความเร็วรอบเครื่องยนต์

ยี่ห้อ, รุ่น	DIGICON, PM-05
Power Supply	100-240 VAC 50/60 Hz
Power for External Sensor	12 VDC±10%, 80 mA
Measuring Accuracy (23±5°C)	F.S. ±0.05% rdg ±1 Digit.
Measuring Range	0.0005 kHz to 50 kHz
Input Signal	Max. 50 kHz(ON/OFF pulse) (ON voltage : 4.5-24V, OFF voltage : 0-1.0V)
Max. Indication	5 digit (19999 to 99999)
Display Accuracy (Update Output Cycle)	0.05/0.5/1/2/4/8 sec

5.1.7.3 Piezoelectric Pressure Transducer

สำหรับการวัดและเก็บค่าความดันในห้องเผาไหม้และความดันเชื้อเพลิงที่ทางเข้าหัวฉีดใช้ Piezoelectric Pressure Transducer ซึ่งโดยทั่วไปแล้วโครงสร้างจะประกอบด้วยผลึกควอทซ์ ซึ่งจะจ่ายประจุไฟฟ้าออกมาเมื่อมีแรงมากระทำบนผลึก โดยประจุที่จ่ายออกมาจะมีค่าแปรตามแรงที่กระทำ

ในการวัดความดันในห้องเผาไหม้จะใช้ Pressure Transducer ยี่ห้อ AVL รุ่น GU12P ดังรูปที่ 5-17 ติดตั้งที่บนฝาสูบของเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 5-19 ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 5-7

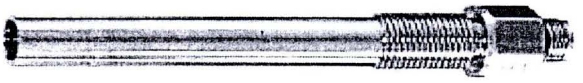
ตารางที่ 5-7 ข้อมูลทางเทคนิคของ Pressure Transducer ยี่ห้อ AVL รุ่น GU12P

ช่วงการวัดตั้งแต่	0-20 MPa
Overload	25 MPa
Sensitivity	150 pC/MPa
Linearity	< ±0.3% FSO
Acceleration Sensitivity	< 0.001 bar/g
Shock Resistance	> 2000 g
ช่วงอุณหภูมิใช้งานได้ถึง	400°C
Insulation Resistance ที่ 20°C	> 1013 Ω
ค่า Capacitance	7 pF
Thermal Sensitivity Shift	
ช่วง 20-400°C	< ±2%
ช่วง 200-300°C	< ±0.5%

ในการวัดความดันที่ท่อจ่ายเชื้อเพลิงจะใช้ Pressure Transducer ยี่ห้อ KISTLER รุ่น 607C1 ดังรูปที่ 5-18 โดยติดตั้ง Pressure Transducer บนท่อจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงช่วงระหว่างปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงกับหัวฉีด ดังแสดงในรูปที่ 5-19 ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 5-8

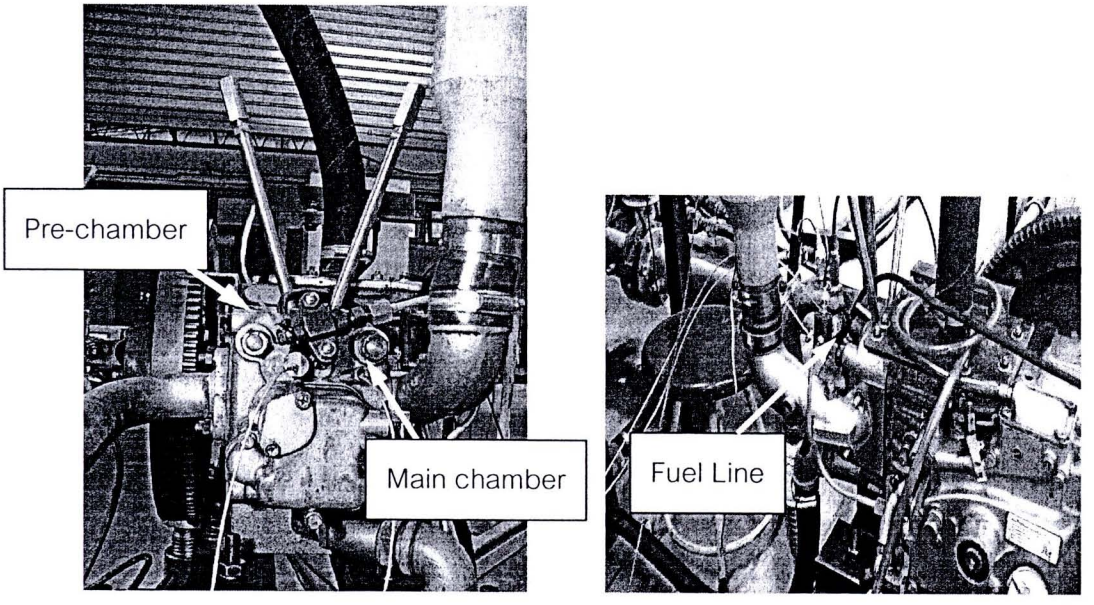
ตารางที่ 5-8 ข้อมูลทางเทคนิคของ Pressure Transducer ยี่ห้อ Kistler รุ่น 607C2

ช่วงการใช้งาน	0-482,633 kPa
ความดันที่วัดได้สูงสุด	698,476 kPa
ค่า Sensitivity	-0.0174 pC/kPa
อุณหภูมิใช้อยู่ในช่วง	-196 - 260°C
ทนอุณหภูมิ Intermittent Gas Temperature	1650°C
ค่า Temperature Coefficient of Sensitivity	0.02%/°C



รูปที่ 5-17 Pressure Transducer สำหรับวัดความดันในห้องเผาไหม้

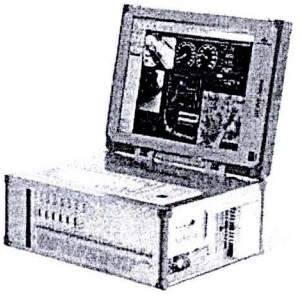
รูปที่ 5-18 Pressure Transducer สำหรับวัดความดันเชื้อเพลิงที่ทางเข้าหัวฉีด



รูปที่ 5-19 ตำแหน่งการติดตั้ง Pressure Transducer สำหรับวัดความดันในห้องเผาไหม้และความดันเชื้อเพลิงที่ทางเข้าหัวฉีด

5.1.7.4 การเก็บข้อมูลความดัน

เครื่อง DEWETRON เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลความดันในห้องเผาไหม้และความดันเชื้อเพลิงที่ทางเข้าหัวฉีด โดยวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Combustion Analyzer Version 6 ทำให้สามารถเก็บข้อมูลความดันแบบ Real-time ในการวิจัยนี้ใช้เครื่อง DEWETRON รุ่น 5000-CA-SE ดังรูปที่ 5-20 และมีข้อมูลทางเทคนิคดังตารางที่ 5-9



รูปที่ 5-20 เครื่อง DEWETRON รุ่น 5000-CA-SE [48]

ตารางที่ 5-9 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่อง DEWETRON รุ่น 5000-CA-SE [48]

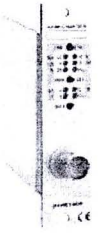
General Specification	
Resolution	-0.1 degree with crank angle encoder at up to 8000 rpm on 1 channel -0.2 degree resolution with 4 channel up to 6000 rpm
Result display	Online mathematics and statistics Fast online displays (pressure diagram,P/V diagram,...)
Function	Powerful knocking recognition capability
Fast stream to disk mode Z1 MS/s)	
Input specification	
Max. channels	32
Internal amplifier slot	16
Sampling rate	Up to 1 MS/s total
Resolution	12 bit
Input ±10 V ±50 V (isolated) Charge	 Standard DAQP-V modules DAQP-CHARGE-X modules
Crank or CA input	Isolated

ตารางที่ 5-9 (ต่อ) ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่อง DEWETRON รุ่น 5000-CA-SE [48]

Computer system	
Display	17" TFT / resolution 1280 ×1024 pixels
Processor	Intel 2.8 GHz
Memory / Hard disk	1 GB / 250 GB high speed
DVD drive	DVD -/+ RW
Interface	USB, RS232, LPT, Ethernet
Operating system	Windows XP Professional
System specification	
Dimension	460 ×351 × 200 mm
Weight	Approximate 17 kg
Operating temperature	-10 to 50 °C
Storage temperature	-10 to 70 °C
Humidity	10 to 80 % non cond., 5 to 95 % relative humidity
Vibration	MIL-STD 810F 514.5, procedure
Shock	MIL-STD 810F 516.5, procedure
Power supply	90 to 260 VAC

5.1.7.5 **Charge Amplifier**

ทำหน้าที่แปลงสัญญาณประจุไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจาก Piezoelectric Pressure Transducer ให้เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (Analog) เพื่อนำไปแสดงผลหรือประมวลผลให้อยู่ในรูปแบบที่ต้องการต่อไป โดยใช้ Amplifier รุ่น DAQP-CHARGE-A 2 ตัว เพื่อแปลงสัญญาณจาก Fuel Line และ Main Chamber ดังแสดงในรูปที่ 5-21 โดยมีข้อมูลทางเทคนิคดังตารางที่ 5-10



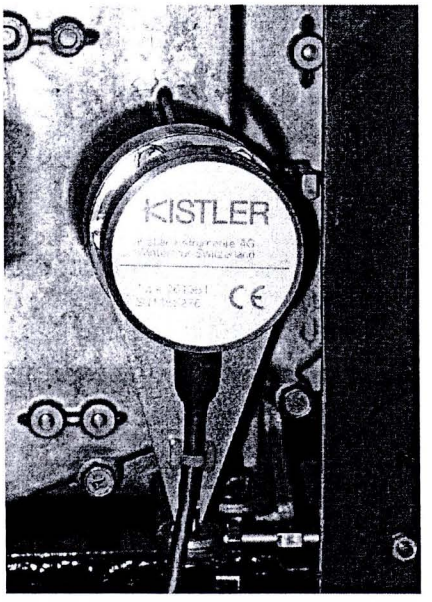
รูปที่ 5-21 Amplifier รุ่น SAQP-CHARGE-A

ตารางที่ 5-10 ข้อมูลทางเทคนิคของ Amplifier รุ่น DAQP-CHARGE-A

Supported Sensors	ICP2 and Charge sensors
Sensor type selection	Push button or software
Input Ranges ICP2 input Charge input	 0, 20, 40, 60 db 0.1, 1, 10, 100, 1000 mv/pC
Gain Accuracy	1 % F.S.
Input range finetuning	Programmable
Range selection	Push button (fixed) or software (all)
Integration	Single (velocity), double (displacement)
LED indicators Range and filter ICP LED OVL LED A, V and D LED	 5 LEDS Active with connected ICP2 sensor, inactive for charge input Overload control (output voltage > 5V) Indicator for acceleration velocity and displacement output
Constant current source	3.8 to 5.6 mA, >26 V
Filters (highpass)	0.1 Hz, 1 Hz, 10 Hz (+ 2dB @ f0
Filters (lowpass)	100 Hz, 1, 3, 10, 50 kHz (+2dB @ f0
Filter selection	Push button or software
Filter characteristics	Butterworth 80dB / decade (24dB/octave)
Bandwidth, -3dB	0.1 Hz to 50 kHz (+2dB@ f0
Typ. SNR @ max bandwidth Gain 0.1 and 1 Gain 10 Gain 100 Gain 1000 Gain 1000	 90 dB 87 dB 73 dB 54 dB 60 dB @ 10 kHz
Output voltage	+5V (+ V peak voltage)
Output noise	< 8 mV (all ranges with 50 kHz filter)
RS-485 interface	Yes
Power supply voltage	+9 VDC (+10 %)
Power consumption	0.6 W to 1.2 W (depending on sensor)

5.1.7.6 Crank Angle Encoder

Crank Angle Encoder เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดมุมข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ เพื่อส่งข้อมูลให้ DEWE-Book ทราบถึงมุมข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์และความเร็วรอบเครื่องยนต์ โดย Crank Angle Encoder ที่ใช้เป็นยี่ห้อ Kistler รุ่น 2613B มีลักษณะดังรูปที่ 5-22 โดยแสดงรายละเอียดไว้ดังตารางที่ 5-11



รูปที่ 5-22 Crank Angle Encoder ยี่ห้อ Kistler รุ่น 2613B

ตารางที่ 5-11 ข้อมูลทางเทคนิคของ Crank Angle Encoder ยี่ห้อ Kistler รุ่น 2613B

หลักการทำงาน	แบบ Infrared Transmissive Lightgate
Crank Angle Encoder Disc	แบบมี 360 Angle Marks, พร้อมกับมี 1 Trigger Mark
Dynamic Angle Shift	< ± 0.02 องศาข้อเหวี่ยง ที่ 10.0 rpm
ช่วงความเร็ว	1-20000 rpm
ความสั่นสะเทือนที่ยอมรับได้สูงสุด	150 g
อุณหภูมิแวดล้อมที่ยอมได้	-30°C ถึง +60°C
ความเสียดทานที่สูญเสีย	< 1 Watt ที่ 1000 rpm

5.2 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนการทำวิจัยออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน

5.2.1 การทดสอบโดยใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลและปาล์มไบโอดีเซล (Baseline Diesel and Palm Biodiesel Testing)

ทำการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ในการเกษตรชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลและปาล์มไบโอดีเซลที่สภาวะคงตัวที่อัตราเร็วรอบคงที่ค่าต่างๆแล้วบันทึกข้อมูลตัวแปรการทำงาน อาทิ ความดันในห้องเผาไหม้ แรงบิด อัตราเร็วรอบเครื่องยนต์ ความดันท่อส่งเชื้อเพลิง อัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลความดันในกระบอกสูบและการปล่อยความร้อนเนื่องจากการเผาไหม้ โดยใช้ข้อมูลจากตัวแปรการทำงานที่ได้ทำการบันทึกไว้ดังกล่าว ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดสอบและการวิเคราะห์ข้อมูลความดันในกระบอกสูบและการปล่อยความร้อนเนื่องจากการเผาไหม้ จัดเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้เปรียบเทียบกับผลการทดสอบสมรรถนะและการวิเคราะห์การปลดปล่อยความร้อนของเชื้อเพลิง DME ผสมปาล์มไบโอดีเซล ต่อไป

5.2.2 การทดสอบโดยใช้เชื้อเพลิง DME ผสม ปาล์มไบโอดีเซล

ทำการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ในการเกษตร ชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้า เมื่อใช้เชื้อเพลิง DME ผสมปาล์มไบโอดีเซล (โดยสัดส่วน 40% DME) ที่สภาวะคงตัว ที่อัตราเร็วรอบคงที่ค่าต่างๆ เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน แล้วบันทึกข้อมูลตัวแปรการทำงาน อาทิ ความดันกระบอกสูบ แรงบิด อัตราเร็วรอบเครื่องยนต์ ความดันท่อส่งเชื้อเพลิง อัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลความดันในกระบอกสูบและการปล่อยความร้อนเนื่องจากการเผาไหม้ โดยใช้ข้อมูลจากตัวแปรการทำงานที่ได้ทำการบันทึกไว้ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมรรถนะและการวิเคราะห์ข้อมูลความดันในกระบอกสูบและการปล่อยความร้อนเนื่องจากการเผาไหม้ จะนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจากหัวข้อ 5.2.1

5.2.3 การศึกษาอิทธิพลของการปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงต่อสมรรถนะและการปลดปล่อยความร้อนเนื่องจากการเผาไหม้

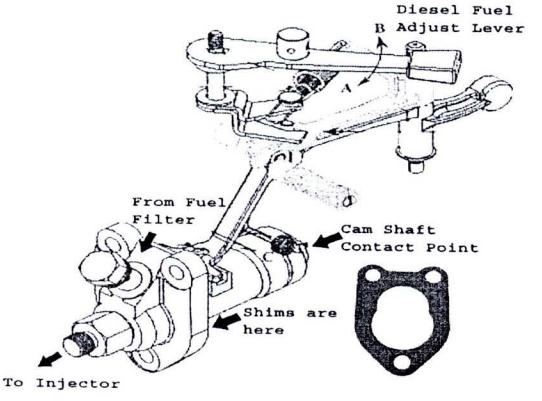
ทำการปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการปรับแต่งเพลาลูกเบี้ยว เพื่อศึกษาอิทธิพลของการปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ เมื่อใช้เชื้อเพลิง DME ผสมปาล์มไบโอดีเซล ที่สัดส่วน 40%DME โดยพิจารณาจากผลทดสอบสมรรถนะและการวิเคราะห์ข้อมูลความดันในกระบอกสูบและการปล่อยความร้อนเนื่องจากการเผาไหม้ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมรรถนะ

และการวิเคราะห์ข้อมูลความดันในกระบอกสูบและการปล่อยความร้อนเนื่องจากการเผาไหม้ จะนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจากหัวข้อ 5.2.2 และหัวข้อ 5.2.3 ต่อไป

5.2.4 การปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิง

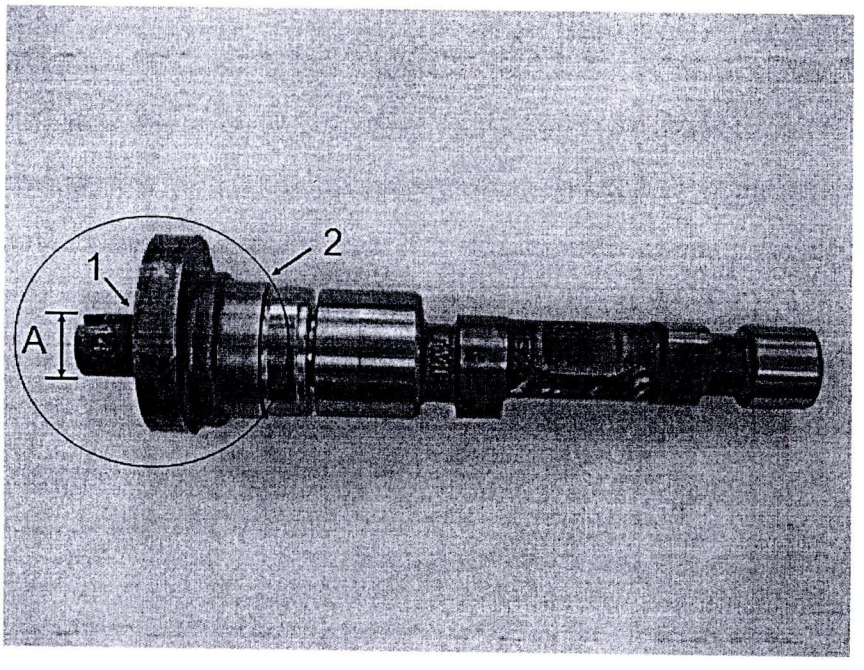
โดยปกติแล้วนั้นการเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิงตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตจะกระทำโดยการเพิ่มหรือลดชิมรองเรือนปั๊มเชื้อเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 5-23 ซึ่งด้านท้ายของปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นลูกกลิ้งที่ทำหน้าที่ดันลูกสูบอัดน้ำมันภายในตัวเรือนปั๊ม (Plunger) โดยลูกกลิ้งจะเป็นจุดสัมผัสกับเพลาลูกเบี้ยว (Camshaft) ซึ่งจะควบคุมจังหวะหรือองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงโดยตรง (ผ่านการส่งถ่ายการเคลื่อนที่มาจากการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง) ดังนั้นหากทำให้ตัวเรือนปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงอยู่ชิดกับ Camshaft มากขึ้น (ทำได้โดยลดจำนวนแผ่นชิมที่รองเรือนปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง) ก็จะทำให้ Camshaft สัมผัสลูกกลิ้งได้เร็วขึ้น นั่นคือ ทำให้องศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงล่วงหน้ามากขึ้นหรือตำแหน่งการฉีดเชื้อเพลิงเกิดขึ้นที่องศาเพลาข้อเหวี่ยงก่อนตำแหน่ง TDC มากขึ้น (Advancing) และหากทำให้ตัวเรือนปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงถอยห่างออกจาก Camshaft (ทำได้โดยเพิ่มจำนวนแผ่นชิมที่รองเรือนปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง) จะทำให้ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งของปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงกับ Camshaft มากขึ้น ส่งผลให้ลูกเบี้ยวสัมผัสลูกกลิ้งปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงช้าลง นั่นคือ ทำให้องศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงล่าช้าหรือตำแหน่งการฉีดเกิดขึ้นที่องศาเพลาข้อเหวี่ยงใกล้กับตำแหน่ง TDC มากขึ้น (Retarding)

ดังนั้นการเปลี่ยนค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงให้ล่วงหน้าหรือล่าช้ากว่าตำแหน่งปกติที่ตั้งมาจากผู้ผลิต (Original Engine Manufacturing, OEM Setting) สามารถทำได้โดยการลดหรือเพิ่มจำนวนแผ่นชิมที่รองเรือนปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง ตามลำดับ ซึ่งชิมหนึ่งแผ่นสามารถปรับองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงได้ประมาณ 1.2 องศาเพลาข้อเหวี่ยง



รูปที่ 5-23 องค์ประกอบของปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงและตำแหน่งติดตั้งของชิมรองเรือนปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง [47]

ซึ่งการเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิงตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำนั้นจะทำให้สโตรคการปั๊มเชื้อเพลิงเปลี่ยนไป ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการปรับเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิงโดยการปรับแต่งที่เพลาลูกเบี้ยว ซึ่งกระทำโดยการที่นำเพลาลูกเบี้ยวสองตัวมาจัดการตัดแต่งแล้วประกอบกลับเข้าไปใหม่ ซึ่งเริ่มจากเพลาลูกเบี้ยวตัวแรกจะนำขึ้นเครื่องกลึงแล้วทำการกลึงเอาส่วนของลูกเบี้ยวที่มีหน้าที่กดลูกกลิ้งที่ปั๊มเชื้อเพลิงออกไป (กลึงจากส่วน 1 ไปถึงส่วน 2) โดยกลึงให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับส่วน A เพื่อให้เหลือแต่เพียงแกนกลาง หลังจากนั้นเพลาลูกเบี้ยวตัวที่สองจะทำการตัดเอาเฉพาะส่วนลูกเบี้ยวที่ทำหน้าที่กดลูกกลิ้งที่ปั๊มเชื้อเพลิง และทำการเจาะรูให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันส่วน A แล้วจึงนำสองส่วนนี้มาประกอบกัน โดยทำการบิดให้ได้องศาการฉีดเชื้อเพลิงตามต้องการและทำการเชื่อมอาร์กอนให้ทั้งสองชิ้นงานยึดติดกัน ดังแสดงในรูปที่ 5-24 ดังนั้นจะทำให้มีการเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิงโดยที่สโตรคการปั๊มเชื้อเพลิงยังมีค่าเท่าเดิม ซึ่งเป็นการเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิงที่ตรงกับความเป็นจริงมากกว่า โดยการเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิงนั้นจะกระทำโดยเปลี่ยนทีละ 2 องศาเพลาข้อเหวี่ยง โดยองศาการฉีดเชื้อเพลิงที่ทดสอบและการปรับเพิ่มองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้า โดยการเปลี่ยนเพลาลูกเบี้ยวนั้นจะแสดงดังตารางที่ 5-12



รูปที่ 5-24 การปรับแต่งเพลาลูกเบี้ยวเพื่อเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิง [40]

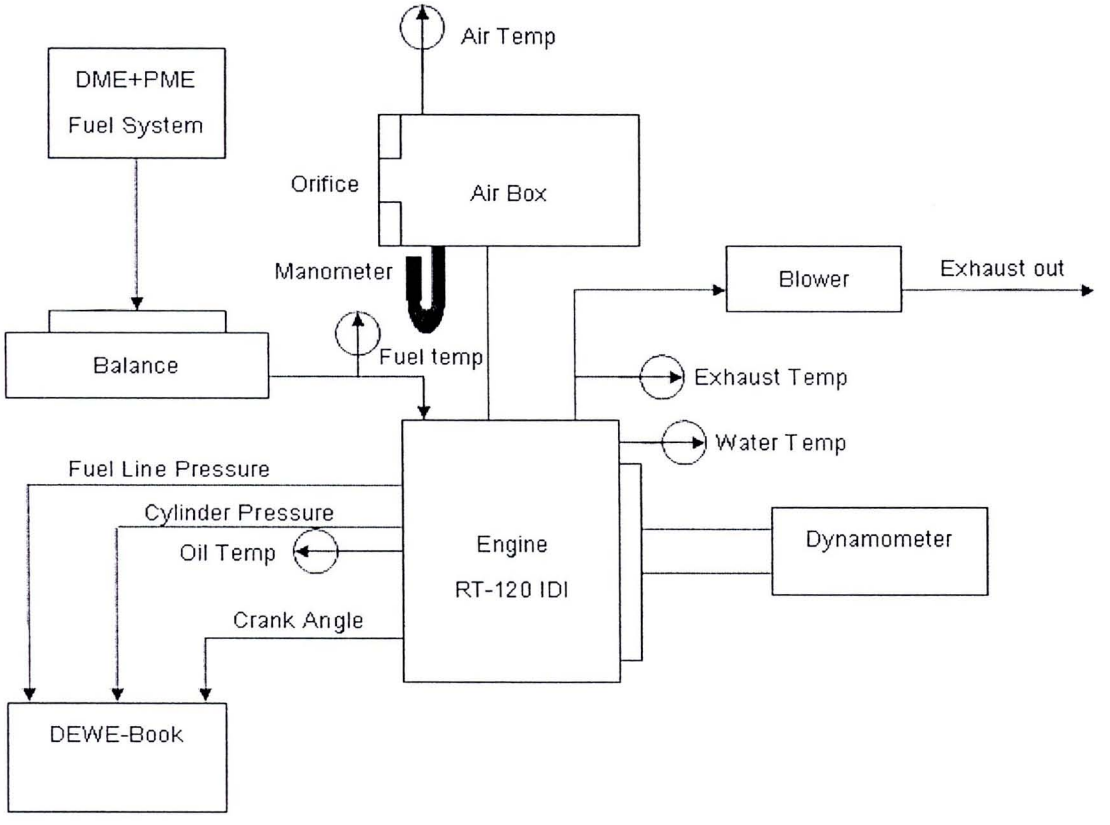
ตารางที่ 5-12 องศาการฉีดเชื้อเพลิงที่ทดสอบและสัญลักษณ์ที่ใช้

องศาการฉีดเชื้อเพลิง	องศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้า/ล่าช้ากว่ามาตรฐาน	สัญลักษณ์ที่ใช้
ล่าช้า	ล่าช้า 2 องศาเพลงข้อเหวี่ยง (-18 CA, 18BTDC)	RTD2
ล่วงหน้า	ล่วงหน้า 4 องศาเพลงข้อเหวี่ยง (-24 CA, 24BTDC)	ADV4
ล่วงหน้า	ล่วงหน้า 2 องศาเพลงข้อเหวี่ยง (-22 CA, 22BTDC)	ADV2
มาตรฐาน	มาตรฐาน(-20 CA, 20BTDC)	STD

หมายเหตุ การทดสอบที่องศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน (STD) ในที่นี้ หมายถึง การทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ติดตั้งมาจากผู้ผลิต แต่ถ้าพบว่าจุดเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงที่องศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐานเมื่อใช้เชื้อเพลิง DME-PME นั้นแตกต่างจากสเป็คที่บริษัทผู้ผลิตระบุไว้นั้น นั่นเป็นเพราะคุณสมบัติของเชื้อเพลิงผสมแตกต่างกันไปจากเชื้อเพลิงดีเซล ดังนั้น สัญลักษณ์ STD ที่ใช้ จึงหมายถึงองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐานของเชื้อเพลิงนั้นๆ ซึ่งในเชื้อเพลิงแต่ละชนิดอาจมีจุดเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงแตกต่างกันออกไป

5.2.5 แผนผังการจัดวางอุปกรณ์สำหรับทดสอบสมรรถนะและความดันในห้องเผาไหม้

การทดสอบเพื่อวัดความดันในห้องเผาไหม้ เป็นการศึกษาการเผาไหม้และการปลดปล่อยความร้อนเนื่องจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง DME ผสมปาล์มไบโอดีเซล (ในสัดส่วน 40%DME) ทั้งที่องศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐานและที่องศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ เปรียบเทียบกับผลการปลดปล่อยความร้อนเนื่องจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซลที่องศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน ซึ่งแสดงแผนผังการทดสอบสมรรถนะและความดันในห้องเผาไหม้ไว้ในรูปที่ 5-25



รูปที่ 5-25 แผนผังการทดสอบสมรรถนะและความดันในห้องเผาไหม้

5.2.6 การทดสอบสมรรถนะ

ขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

5.2.6.1 การ Run in

หลังจากเปลี่ยนชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ใหม่ ได้ทำการ Run in เครื่องยนต์โดยการเดินเครื่องยนต์ตามวัฏจักรภาระที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ ซึ่งวัฏจักรดังกล่าวประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ไม่มีภาระ (No load) ความเร็วรอบ 2,400 rpm ระยะเวลา 30 นาที
2. มีภาระ 50% ของ rated power ความเร็วรอบ 2,400 rpm ระยะเวลา 30 นาที
3. มีภาระ 100% ของ rated power ความเร็วรอบ 2,400 rpm ระยะเวลา 20 ชม.

ภายหลังเสร็จสิ้นการ Run in ได้ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องใหม่ก่อนเริ่มทำการทดสอบ การทดสอบสมรรถนะเริ่มจากการใช้น้ำมันดีเซลกระทำการทดสอบเครื่องยนต์เพื่อเก็บผลสมรรถนะที่สภาวะภาระสูงสุดและสภาวะภาระบางส่วน จากนั้นจะทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง และทำการเปลี่ยนน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล โดยทำการเดินเครื่องยนต์ ช่วงระยะเวลาหนึ่งเพื่อเป็นการไล่น้ำมันดีเซลที่ทดสอบก่อนหน้านี้แล้วทำการทดสอบเก็บผลสมรรถนะที่สภาวะภาระสูงสุดและที่สภาวะภาระบางส่วน จากนั้นกระทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องอีกครั้งและกระทำการติดตั้งระบบถังเชื้อเพลิงและชุดอุปกรณ์ทนความดันสูงที่ออกแบบมาเฉพาะ แล้วทำการเตรียมเชื้อเพลิง DME ผสมปาล์มไบโอดีเซล ที่สัดส่วน 40%DME หลังจากการเตรียมเชื้อเพลิงผสมจึงทำการเริ่มต้นทำการทดสอบสมรรถนะเช่นเดียวกันกับการใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล เพื่อศึกษาอิทธิพลของการปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงค่าต่างๆ ที่มีต่อสมรรถนะเมื่อใช้เชื้อเพลิง DME ผสมปาล์มไบโอดีเซล ที่สัดส่วน 40%DME

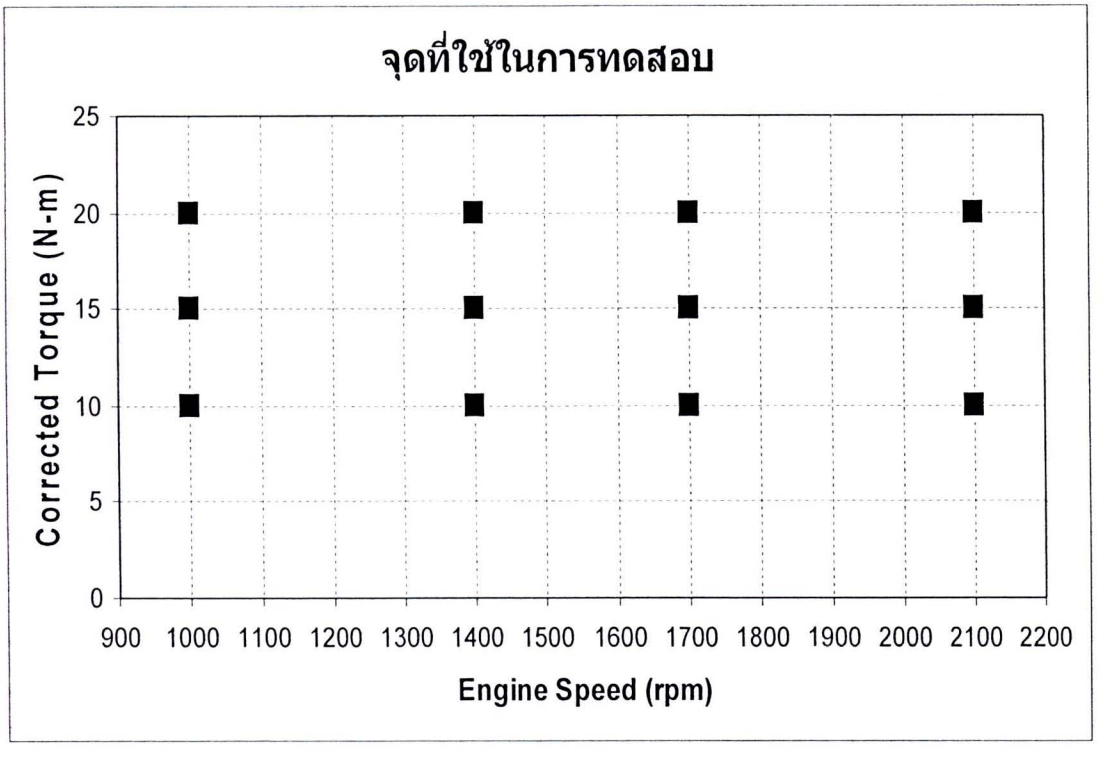
5.2.6.2 การทดสอบที่ภาระสูงสุด (Full-Load Performance Test)

ก่อนทำการทดสอบที่สภาวะภาระสูงสุด จะทำการ warm up เครื่องยนต์จนระบบน้ำหล่อเย็นได้อุณหภูมิทำงาน คือไม่ต่ำกว่า 70 °C จากนั้นเริ่มทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าแรงบิดกับความเร็วรอบ ที่สภาวะภาระสูงสุด (Full Load) เริ่มจากปรับคันเร่งให้เครื่องยนต์หมุนเปล่าโดยไม่มีภาระจนความเร็วรอบอยู่ที่ 2,550 rpm จัดให้เป็นตำแหน่งที่คันเร่งเปิดสุด (ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต) จากนั้นเริ่มใส่ภาระให้กับเครื่องยนต์โดยการปรับโหลดเพิ่มขึ้น รอบของเครื่องยนต์จะลดลงเรื่อยๆ ตามภาระที่เพิ่มให้กับเครื่องยนต์ จนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดลงมาที่ 2100 rpm รอให้เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว ที่จุดนี้คือสภาวะสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 2100 rpm แล้วจึงเริ่มบันทึกข้อมูลจากการวัดค่าต่างๆ ซึ่ง ข้อมูลที่ทำการวัด ได้แก่

ความเร็วรอบของเครื่องยนต์, อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น, อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น, อุณหภูมิไอเสีย, อุณหภูมิไอดี, อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ, อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และค่าควันดำ จากนั้นเพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์จนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดมาที่ 1700 rpm รอให้เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัวแล้วจึงบันทึกค่า และกระทำเช่นเดียวกันที่ความเร็ว 1400 rpm และ 1000 rpm รวมทั้งหมด 4 จุดทดสอบ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบที่สภาวะภาระสูงสุด (Full Load)

5.2.6.3 **การทดสอบที่ภาระบางส่วน** (Part Load Performance Test)

จากความสัมพันธ์ที่ได้ระหว่างภาระสูงสุดและความเร็วรอบที่ได้จากการทดสอบภาระสูงสุดจะถูกนำมากำหนดจุดในการทดสอบที่ความเร็วและที่แรงบิดเบรกต่างๆ สำหรับการทดสอบ Engine performance test การเลือกจุดทำงานได้ดัดแปลงวัฏจักรการทดสอบตามมาตรฐาน ESC Test Cycle (ดูภาคผนวก ค) กล่าวคือทำการทดสอบที่ความเร็วรอบเช่นเดียวกับ ESC Test Cycle คือ 1000,1400, 1700 และ 2100 rpm และทำการทดสอบกำหนดภาระที่ทดสอบสามระดับ ได้แก่ 10 Nm, 15 Nm และ 20 Nm ซึ่งจุดทำงานที่เลือกในการทดสอบนี้มีทั้งหมด 12 จุด ดังแสดงในรูปที่ 5-26



รูปที่ 5-26 เมตริกซ์แสดงจุดที่ใช้ในการทดสอบ

5.2.7 วิธีการทดสอบเพื่อวิเคราะห์การเผาไหม้

5.2.7.1 การวัดความดันในห้องเผาไหม้และความดันเชื้อเพลิงที่ทางเข้าหัวฉีด

สำหรับการทดสอบได้กระทำในห้องปฏิบัติการที่สภาวะคงตัว ที่ภาระและความเร็วรอบคงที่ ทีละจุดทำงานเช่นเดียวกันกับการทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระบางส่วนดังแสดงในรูปที่ 5-26 จากนั้นทำการวัดความดันในห้องเผาไหม้ล่วงหน้า ความดันเชื้อเพลิงที่ทางเข้าหัวฉีด และองศาเพลาข้อเหวี่ยง โดยบันทึกข้อมูลทุกๆ 0.4 องศาเพลาข้อเหวี่ยง จำนวน 120 วัฏจักรต่อจุดทดสอบ

5.2.7.2 การวิเคราะห์สภาวะการเผาไหม้จากอัตราการปล่อยความร้อน

การบ่งชี้สภาวะการเผาไหม้กระทำโดยพิจารณาข้อมูลความดันในห้องเผาไหม้และความดันเชื้อเพลิงที่ทางเข้าหัวฉีดที่ได้จากการวัดในหัวข้อ 5.2.7.1 จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อคำนวณหาอัตราการฉีดเชื้อเพลิงได้โดยใช้สมการ (3-11) อัตราการปล่อยความร้อนสามารถคำนวณโดยใช้สมการ (3-7) ปริมาณการปล่อยความร้อนสุทธิ สามารถหาได้จากสมการ (3-9) และสัดส่วนมวลเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ (3-10) ซึ่งผลที่ได้ทั้งหมดจะถูกนำไปวิเคราะห์ต่อไป เช่น มุมข้อเหวี่ยงที่เริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิง มุมข้อเหวี่ยงที่เริ่มต้นการเผาไหม้ มุมข้อเหวี่ยงที่สิ้นสุดการเผาไหม้ ช่วงล่าช้าของการเผาไหม้ (Ignition delay) และอัตราการเผาไหม้ โดยกำหนดเงื่อนไขจากนิยามต่อไปนี้

1) มุมข้อเหวี่ยงที่เริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิง (Start of Injection, SOI) พิจารณาจากมุมข้อเหวี่ยงที่ความดันในท่อจ่ายเชื้อเพลิงเข้าหัวฉีดมีค่าสูงกว่า Injector opening pressure

2) การบ่งชี้มุมข้อเหวี่ยงที่เริ่มต้นการเผาไหม้ (Start of Combustion, SOC) พิจารณาจากมุมข้อเหวี่ยงที่ค่าอัตราการปล่อยความร้อนเพิ่มขึ้นมากกว่าศูนย์ครั้งแรก

3) การบ่งชี้มุมข้อเหวี่ยงที่สิ้นสุดการเผาไหม้ (End of Combustion. EOC) พิจารณาจากมุมข้อเหวี่ยงที่อัตราการปล่อยความร้อนลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์ครั้งแรก

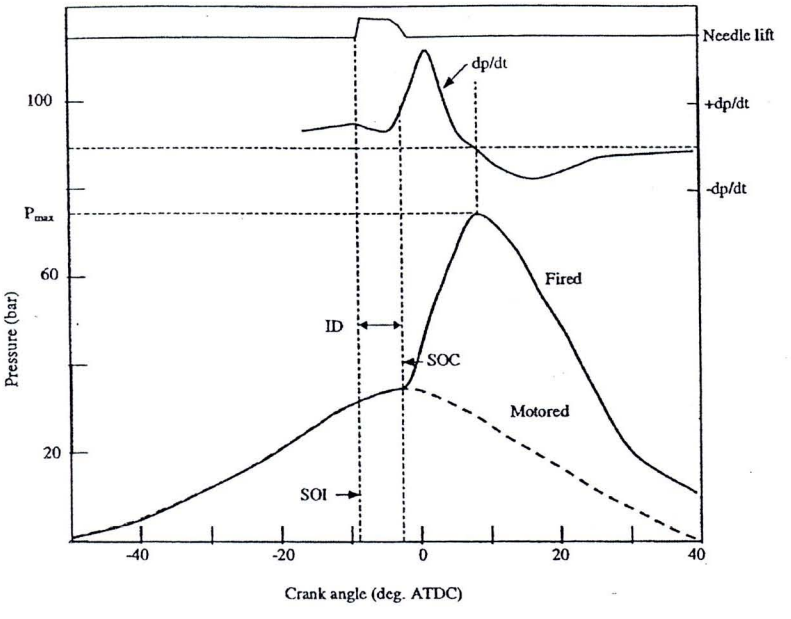
4) ช่วงล่าช้าของการเผาไหม้ (Ignition delay) บ่งชี้จากช่วงมุมข้อเหวี่ยงระหว่างจุดเริ่มฉีดเชื้อเพลิงถึงจุดเริ่มต้นการเผาไหม้

5) อัตราการเผาไหม้ บ่งชี้จากอัตราการปล่อยความร้อน

5.2.7.3 การพิจารณาเลือกจุดฉีดเชื้อเพลิงและจุดเริ่มต้นการเผาไหม้

สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันในห้องเผาไหม้หรือ dp/dCA นั้นสามารถนำมาพิจารณาหาจุดเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงและจุดเริ่มต้นการเผาไหม้ได้ดังแสดงในรูปที่ 5-27 ในการพิจารณาหาจุดเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงนั้นจะพิจารณาจากความดันในห้องเผาไหม้ ซึ่งพิจารณาจากอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันในห้องเผาไหม้ โดยพิจารณาจากจุดสูงสุดแรกของอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันในห้องเผาไหม้ เนื่องจากในจังหวะการอัดตัวของลูกสูบนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันในห้องเผาไหม้จะสูงขึ้นเรื่อยๆ แต่เมื่อมีการฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องเผาไหม้นั้น เชื้อเพลิงจะต้องการพลังงานส่วนหนึ่งในการแตกตัวเป็นละอองเพื่อผสมกับอากาศ ดังนั้นทำให้ห้องเผาไหม้ล่วงหน้าสูญเสียความร้อนไปส่วนหนึ่งทำให้ความดันในห้องไหม้ตกลงเล็กน้อย และเมื่อมีการเผาไหม้เริ่มต้นขึ้นก็จะทำให้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้นอีกครั้ง

สำหรับการพิจารณาจุดเริ่มต้นการเผาไหม้จะพิจารณาจากอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันในห้องไหม้ เมื่อมีการฉีดเชื้อเพลิงเกิดขึ้นอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันในห้องไหม้นั้นจะลดลงและเมื่อมีการเผาไหม้เกิดขึ้นจะทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงความดันในห้องไหม้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจุดแรกที่มีการเพิ่มขึ้นของค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันในห้องเผาไหม้จะถูกพิจารณาเป็นจุดเริ่มต้นการเผาไหม้



รูปที่ 5-27 อัตราการเปลี่ยนแปลงความดัน, จุดเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิง, จุดเริ่มต้นการเผาไหม้และความดันในห้องเผาไหม้ [49]