บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การศึกษาวิจัยนี้ประกอบไปด้วย การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะการเผาไหม้ ของเชื้อเพลิงผสมดีเซล-ไบโอดีเซล การศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสเปรย์ของเชื้อเพลิงผสมดีเซล-ไบโอดีเซล โดยศึกษาจากภาพถ่ายลักษณะของการฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีดดีเซล ไบโอดีเซลที่ใช้ทดลอง คือ ไบโอดีเซลจาก ปาล์ม ยางพารา สบู่ดำ มะพร้าว ซึ่งมีรายละเอียดของอุปกรณ์และวิธีการทดลอง ดังนี้

3.1 อุปกรณ์การทดลองสำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะการเผาไหม้

3.1.1 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดสอบนี้ ใช้เครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งมีข้อมูลดังนี้

รูปที่ 3.1 เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ

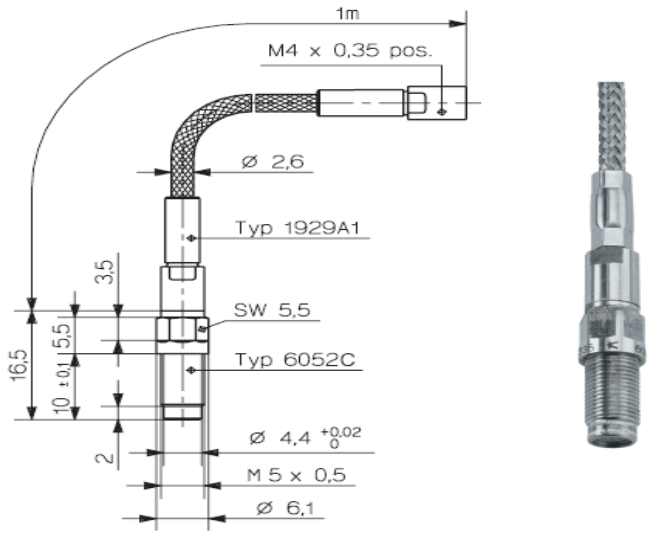
Model	4JA1 (ISUZU FASTER Z 2500 DI Engine)
Bore x Stroke	93 x 92 mm^2
NO. of cylinder	4
Piston displacement	2499 cc, 625 cc/ piston
Compression ratio	18.4:1
Combustion chamber	direct injection
Start of injection	15 ^oCA BTDC
End of injection	15 ^oCA ATDC

3.1.2 เทอร์โมคัพเปิ้ล (Thermocouples)

เป็นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ มีช่วงตั้งแต่ -100 ถึง 1350 ^oC Type K

รูปที่ 3.2 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

3.1.3 เพรสเชอร์ทรานดิวเซอร์ (Pressure transducer)



รูปที่ 3.3 เพรสเชอร์ทรานดิวเซอร์

รูปที่ 3.4 การติดตั้งเพรสเซอร์ทรานดิวเซอร์ที่ห้องเผาไหม้

Technical Data

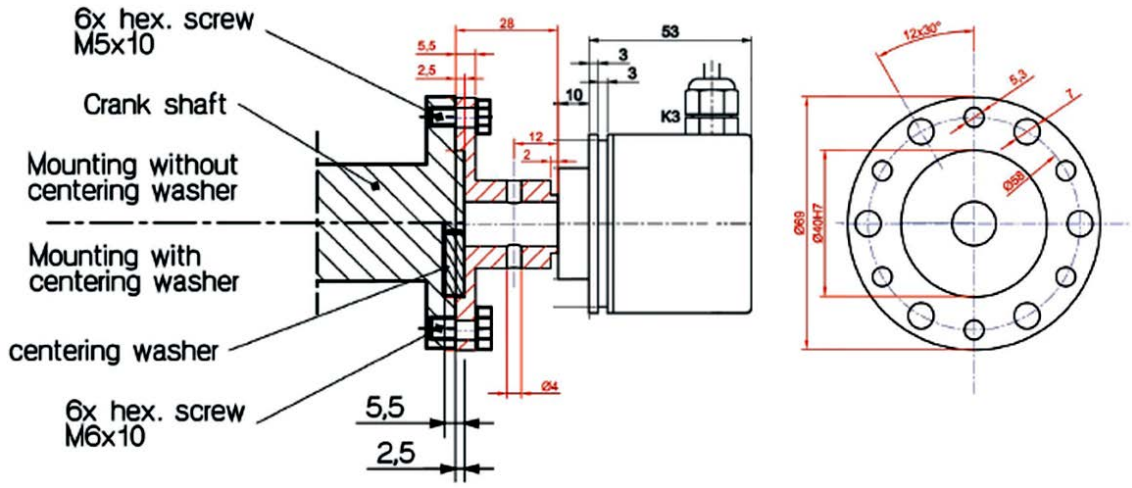
Type 6052C

Measuring range	0 - 250 bar
Calibrated partial ranges	0 -50, 0 -100, 0 -150 bar
Overload	300 bars
Sensitivity	≈–20 pC/bar
Natural frequency (measuring element)	≈160 kHz
Linearity, all ranges (at 23 ^{o}C)	≤±0.4 %/FSO
Acceleration sensitivity	
Axial	< 0.0002 bar/*g*
Radial	< 0.0005 bar/*g*
Operating temperature range	–20 -350 ^{O}C
Sensitivity change	
200 ^{O}C ±50 ^{O}C	≤±0.5%
23 -350 ^{O}C	≤±2 %
Thermal shock error (at 1500 1/min, p_{mi} = 9 bar)	
ΔP (short time drift)	≤±0.5 bar
ΔP_{mi}	≤±2%
ΔP_{max}	≤±1.5%
Insulation resistance at 23 ^{O}C	≥1013 Ω
Shock resistance	2 000 *g*

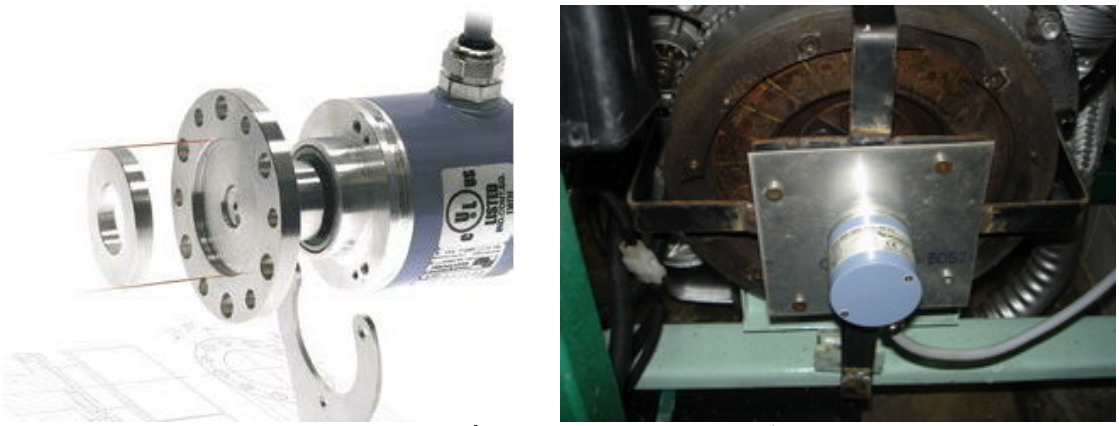
Tightening torque	1.5 N/m
Capacitance, without cable	5 pF
Weight with cable	30 g
Connector, ceramic insulator	M4 x 0.35

3.1.4 Encoder

Encoder จะทำหน้าที่ตรวจวัดองศาของการหมุนของเพลาเครื่องยนต์ โดยจะวัดค่าทุกๆ 0.2 องศา ของเพลาข้อเหวี่ยง



รูปที่ 3.5 แผนภาพของ Encoder



รูปที่ 3.6 Encoder และการติดตั้ง

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลทางเทคนิคของ DEWE-CA-Angle-Sensor 0.2

Pulses per revolution	1800
Loading on shaft-end	Max. 400 N radial, max. 400 N axial
Starting torque	Approx. 1 N.cm at ambient temperature
Bearings type	2 precision ball bearings
Operating speed	8,000 rpm
Connection	Shielded cable or connector
Weight	Approx. 250 g
Light source	IR - LED
Operating temperature	-20°C to +80°C
Quadrature phasing	90° ± 7.5%
Pulse on/off ratio	50% ± 7%
Electrical data	
Design according to	DIN VDEO160
Power supply	4.75 – 5.5 VDC
Current consumption	max, 70 mA
Channels	
Output	push-pull
Load	max, 40 mA
Signal level	at 20 mA
	H > 2.5 VDC
	L < 0.5 VDC
Pulse frequency	max. 200 kHz
Circuit protection	no
Early-warning output	conducting
(Only G24, I24, G05, I05)	when defective
Cable length	max, 10 m

3.1.5 Data Acquisition (DAQ) Card

DAQ Card เป็นอุปกรณ์เก็บข้อมูล เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์และมีหน้าที่แปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล ซึ่งจะทำให้ติดต่อและควบคุมผ่านทางคอมพิวเตอร์ได้ ชุดเก็บข้อมูลจากเครื่องยนต์ โดยเครื่องขยายสัญญาณจากเซนเซอร์ เป็นตัวขยายสัญญาณจากเซนเซอร์ความดัน และอุณหภูมิที่ติดตั้งที่กระบอกสูบ เพื่อวัดอุณหภูมิ และความดันที่เกิดขึ้น ประกอบด้วย Dynamic signal amplifier

รูปที่ 3.7 Data Acquisition (DAQ) card และ Dynamic signal amplifier

Input sensitivity:	8 ranges from 100 pC to 1000000 pC
Charge drift:	< 0.03 pC/sec
Bandwidth, filter:	100 kHz, 9 selectable low pass filters (10 Hz to 100 kHz)

Thermocouple isolation amplifier

รูปที่ 3.8 Thermocouple isolation amplifier

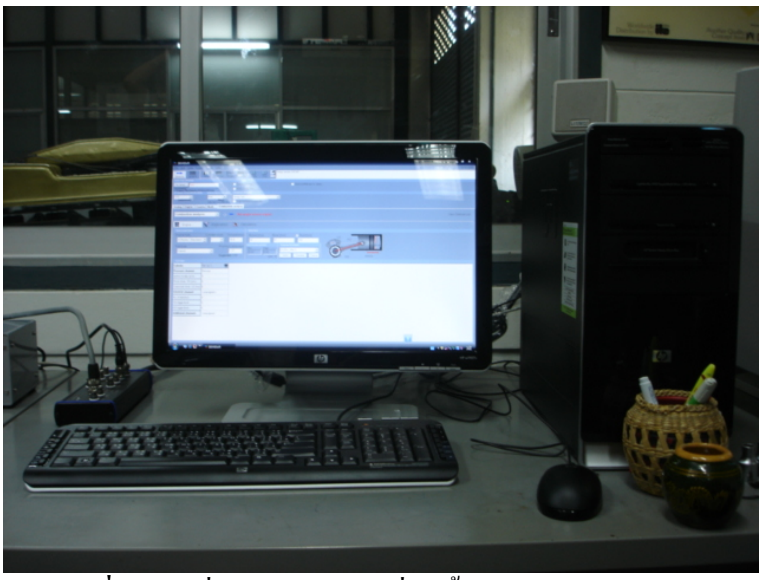
Thermocouple types: K

Temperature ranges: Depending on module, for details see below (-100 to 1350 K)

3.1.6 เครื่องรับสัญญาณจากเครื่องขยายสัญญาณ

รูปที่ 3.9 เครื่องรับสัญญาณจากเครื่องขยายสัญญาณ

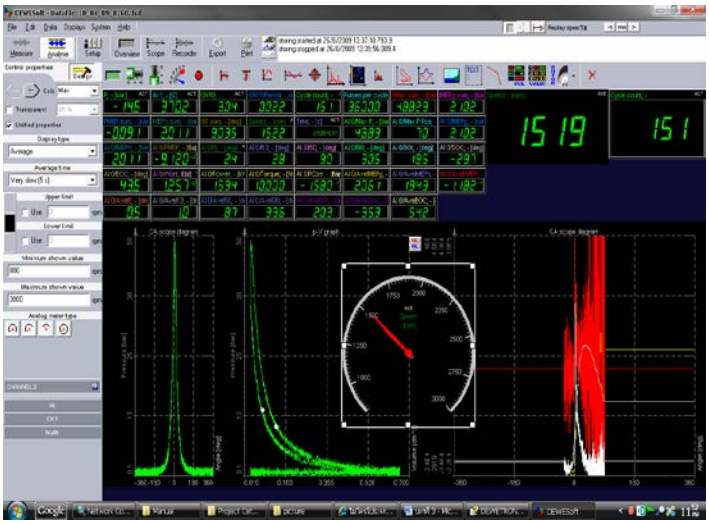
3.1.7 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งโปรแกรม Dewesoft



รูปที่ 3.10 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งโปรแกรม Dewesoft

3.1.8 โปรแกรม DEWE Soft

เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์การเผาไหม้ในเครื่องยนต์รวมทั้งทำการบันทึกข้อมูลที่เซ็นเซอร์ตรวจจับได้ที่สภาวะการทำงานต่างๆ แสดงผลออกมาในรูปของกราฟ เช่น กราฟ P-CA, Heat release, PV เป็นต้น รวมทั้งข้อมูลที่เป็นตัวเลข เช่น ความเร็วรอบ (rpm), SOC, EOC เป็นต้น นอกเหนือจากข้อมูลที่แสดงออกมาเมื่อขณะทำการติดเครื่องยนต์แล้วข้อสามารถดึงข้อมูลออกมาในรูปของ ไฟล์ ต่างๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ได้ ซึ่งโปรแกรมที่ใช้เป็นโปรแกรม DEWE Soft เวอร์ชั่นที่ 6.6.1



รูปที่ 3.11 แสดงหน้าโปรแกรม DEWE soft

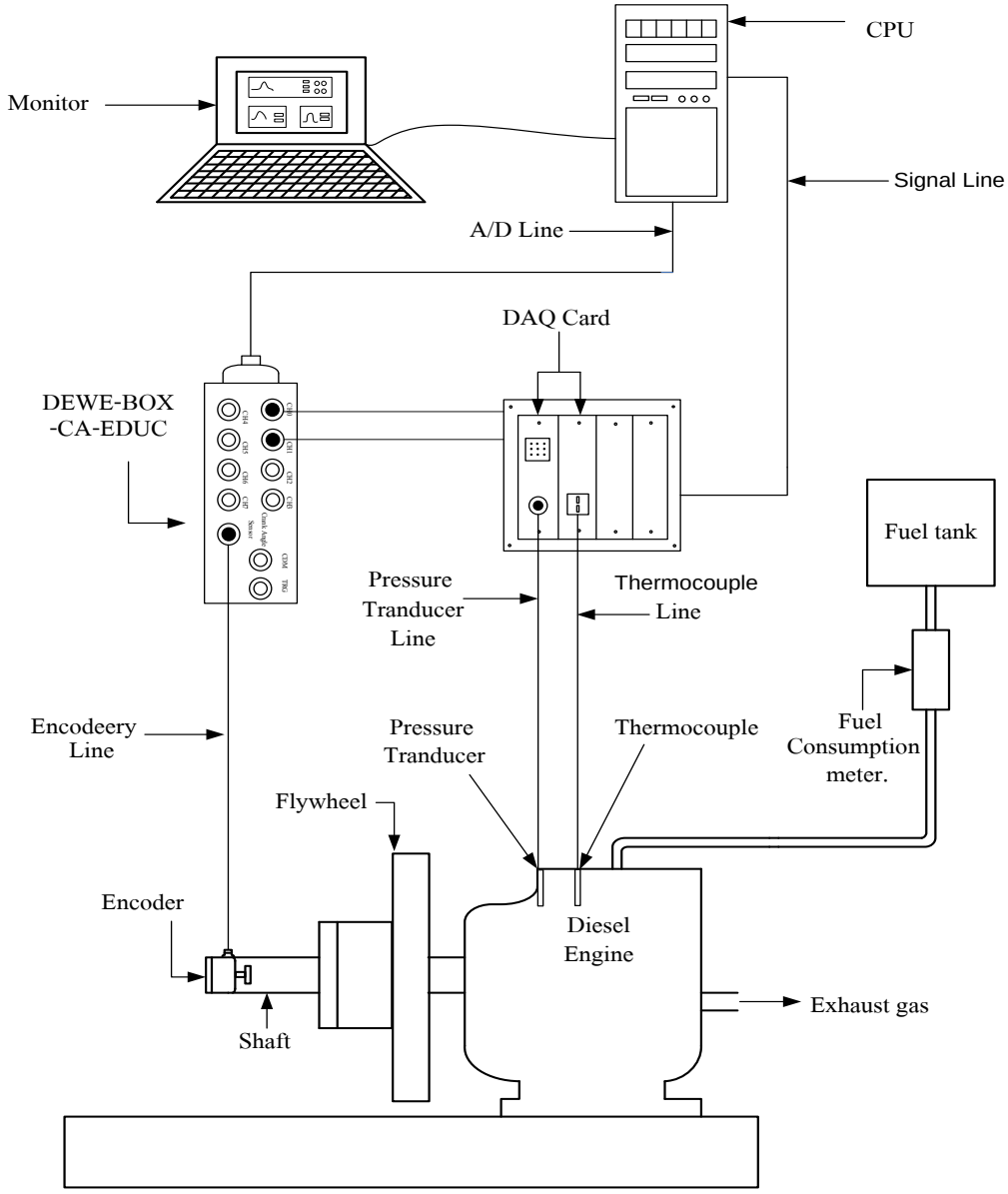
3.1.9 แผนภาพชุดทดลอง

ในชุดทดลองจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ

-เครื่องยนต์ทดสอบ

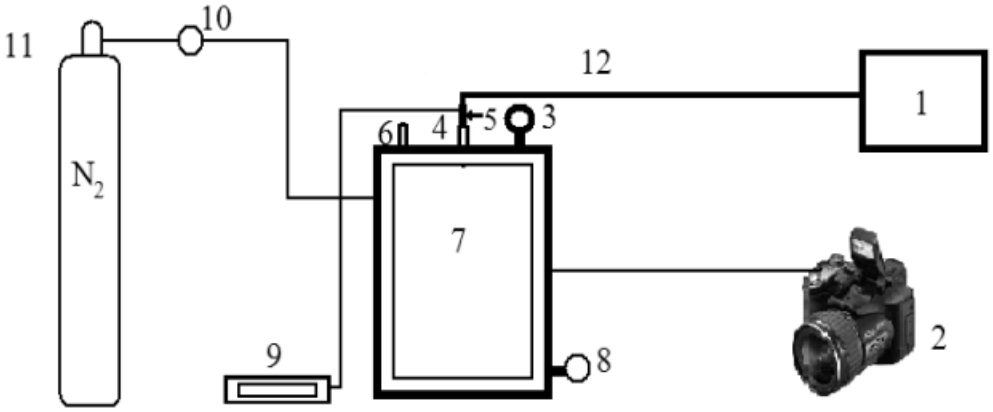
-ชุดตรวจวัดสัญญาณ ได้แก่ Thermocouple, Pressure Transducer, Encoder

-ตัวประมวลผลและแสดงค่า ได้แก่ DAQ Card, Program, Monitor



รูปที่ 3.12 แสดงการติดตั้งชุดทดลองที่ทำการทดสอบ

3.2 อุปกรณ์ในการทดลองสำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสเปรย์ของเชื้อเพลิง



1. Injection tester	7. Tested chamber
2. Casio EX-F1	8. Thermometer
3. Pressure gage	9. Temperature indicator
4. DN4PD57 injector	10. Regulator
5. Thermocouple	11. Nitrogen tank
6. Safety valve	12. Fuel line

รูปที่ 3.13 แผนผังแสดงการทดลองการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสเปรย์ของเชื้อเพลิง

ภาพที่ 3.13 แสดงการจัดวางห้องเผาไหม้จำลองที่มีความดันภายใน 15 bar ซึ่งแรงดันของห้องเผาไหม้ได้จากการอัดก๊าซไนโตรเจนเข้าไปในห้องเผาไหม้จำลองโดยห้องเผาไหม้จำลองจะมีอุณหภูมิห้อง (27 $^{\circ}$C) เข้ากับเครื่องทดสอบหัวฉีดที่มีแรงดันการฉีด 180 bar

3.2.1 เครื่องทดสอบหัวฉีด

เป็นเครื่องทดสอบหัวฉีดเชื้อเพลิงชนิดใช้มือโยก ใช้ในการตรวจเช็คแรงดันของหัวฉีด ซึ่งเราจะใช้เป็นตัวสร้างแรงดันของเชื้อเพลิงที่ส่งไปยังหัวฉีด หลักการทำงานของเครื่องทดสอบหัวฉีดเชื้อเพลิงคือ เมื่อเราโยกที่คันโยกทำให้น้ำมันเชื้องเพลิงมีความดันสูงขึ้นเรื่อยๆ พอถึงจุดๆหนึ่งที่แรงดันของน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าสูงกว่าแรงของสปริงในหัวฉีด จะทำให้เข็มหัวฉีดยกแล้วฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงออกมา ซึ่งที่นี้จะใช้แรงดันในการฉีด 180 bar

รูปที่ 3.14 เครื่องทดสอบหัวฉีดดีเซลแบบมือโยก

3.2.2 หัวฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซล

หัวฉีดที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นหัวฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลแบบธรรมดา มีหลักการทำงานคือ น้ำมันเชื้องเพลิงจะถูกฉีดออกจากหัวฉีดก็ต่อเมื่อ แรงดันของน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าสูงกว่าแรงของสปริงในหัวฉีดจนสามารถเอาชนะแรงสปริงทำให้เข็มหัวฉีดยกขึ้นเพื่อฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงออกมา ซึ่ง ในการทดลองนี้จะใช้หัวฉีดของเครื่องยนต์ดีเซลของรถยนต์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือ

หัวฉีดรุ่น **DN4PD57** ยี่ห้อรถ **TOYOTA** มีเส้นผ่านศูนย์กลางเข็มหัวฉีดด้านออก 0.65 mm และด้านน้ำมันเข้ามีขนาด 3.75 mm

รูปที่ 3.15 หัวฉีดของ TOYOTA DN4PD57

3.2.3 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

ใช้เพื่อวัดและควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิงให้มีอุณหภูมิคงที่ในการทดลองแต่ละค่าอุณหภูมิ

รูปที่ 3.16 เทอร์โมมิเตอร์

3.2.4 ฉนวนความร้อน

ใช้ในการรักษาอุณหภูมิของน้ำมันเชื้งเพลิงในทุกส่วนให้คงที่ ตั้งแต่ถังเก็บน้ำมันไปจนถึงหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

รูปที่ 3.17 ฉนวนกันความร้อน

3.2.5 เกจวัดความดัน

ใช้ในการวัดความดันของห้องเผาไหม้จำลอง จะใช้เกจที่มีความสามารถวัดความดันได้ 25 bar เนื่องจากต้องเผื่อความดันที่เกินขึ้นมาจากการอัดไนโตรเจน โดยความดันที่อัดจริงเข้าไปในห้องเผาไหม้จำลองคือ 8 bar

รูปที่ 3.18 เกจวัดความดัน

3.2.6 ก๊าซไนโตรเจน

ในการทดลองนี้ จะใช้ก๊าซไนโตรเจนในการเพิ่มความดันให้แก่ห้องเผาไหม้จำลอง เพื่อป้องกันการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงที่อาจเกิดขึ้น เป็นถังไนโตรเจนที่มีการอัดไนโตรเจนไว้ 2200 bar เมื่อนำมาใช้งานจึงต้องใช้เรกคูเรเตอร์มาช่วยลดความดันเพื่อง่ายต่อการควบคุมความดันในการอัดเข้าไปในห้องเผาไหม้จำลอง

รูปที่ 3.19 ก๊าซไนโตรเจน

3.2.7 Safety Valve

เพื่อเป็นการป้องกันความดันที่สูงเกินไปของห้องเผาไหม้จำลอง ที่อาจก่อให้เกิดอันตรายในการทดลอง ดังนั้นจึงได้มีการติดตั้ง Safety Valve ขนาด 10 bar ในห้องเผาไหม้ด้วย

รูปที่ 3.20 Safety Valve

3.2.8 อุปกรณ์ส่องสว่าง

ใช้หลอดไฟขนาด 1500 W ในการส่องสว่างเพื่อทำการบันทึกภาพ เนื่องจากขณะบันทึกภาพแสงสว่างจะไม่เพียงพอ ทำให้คุณภาพของภาพที่ถ่ายออกมาไม่ดีจึงต้องมีอุปกรณ์ส่องสว่างมาช่วยเพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพและความชัดเจนมากที่สุด

รูปที่ 3.21 หลอดไฟขนาด 1500 W

3.2.9 ห้องเผาไหม้จำลอง

ห้องเผาไหม้จำลองที่จะใช้ในการทดลองนี้มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เป็น 13 x 18 x 30 cm. โดยจะใช้เหล็กแผ่นกว้าง 5 ” เชื่อมประกอบเป็นกล่องสี่เหลี่ยม แล้วนำแผ่น Ayclilic หนา 20 mm. มาทำเป็นผนังสองด้านไว้สำหรับถ่ายภาพ โดยการรองด้วยปะเก็นยางอย่างหนาแล้วทาด้วยกาวแดง จากนั้นทำการขันยึดด้วย นอตเบอร์ 14 สำหรับผนังส่วนที่เป็นเหล็กก็จะทำการเจาะรูและทำเกลียวไว้สำหรับติดตั้ง หัวฉีด, Safety-valve, Thermometer, Pressure Gage, วาล์วเติมไนโตรเจน, รูสำหรับถ่ายน้ำมันทิ้ง

รูปที่ 3.22 ห้องเผาไหม้จำลอง

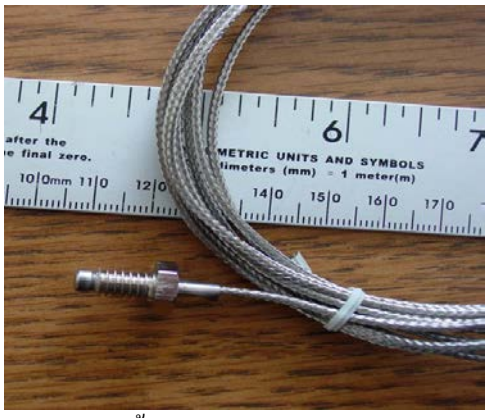
3.2.10 อุปกรณ์บันทึกภาพ

การทดลองนี้จะใช้กล้องวีดีโอในการบันทึกภาพที่มีความเร็วในการจับภาพ 1200 ภาพต่อวินาที แล้วคัดแยกภาพออกมาทีละภาพ เพื่อนำภาพที่ได้นั้นมาศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะการฉีดของน้ำมันไบโอดีเซล แต่ละชนิด ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้กล้องวีดีโอในการบันทึกภาพรุ่น CASIO FX-1 ที่มีความเร็วในการจับภาพ 1200 ภาพต่อวินาที

รูปที่ 3.23 กล้องบันทึกการทดลองรุ่น Casio EX-F1 high-speed video camera (1,200 fps).

3.2.11 เทอร์โมคัพเปิ้ล (Thermocouples)

เทอร์โมคัพเปิ้ล (Thermocouples) type k แบบหัวสกรูว์ ขันยึดติดกับพื้นผิว ยาว 5 mm. ขนาด เส้นผ่านจุดศูนย์กลาง 0.65 mm. ใช้งานอุณหภูมิ สูงสุด 400°Cใช้ติดตั้งไว้ที่สายน้ำมันตรงทางเข้าของหัวฉีดเพื่อที่จะวัดอุณหภูมิของน้ำมันขาเข้า



รูปที่ 3.24 เทอร์โมคัพเปิ้ล (Thermocouples) type k แบบหัวสกรูว์

3.2.12 เครื่องอ่านค่าอุณหภูมิ (Temperature Indicator)

ใช้วัดอุณหภูมิของน้ำมันตรงทางเข้าของหัวฉีดโดยต่อเข้ากับเทอร์โมคัพเปิ้ล โดยตัวเครื่องมีวงจรแสดงตัวเลขแบบ LED 7 Segment (สีแดง) ขนาดใหญ่ (8x14 mm.) input เทอร์โมคัพเปิ้ล CA (K), IC (J), PR (R) ความเที่ยงตรง 0.5% ของค่าเต็มสเกล +1 หลัก ความละเอียดในการวัด 1หลัก ใช้ไฟ 110/220 V วงจรภายในได้รับการออกแบบให้ใช้ Integrated circuit ซึ่งจะให้ค่า Input impedance สูงมากทำให้วัดค่าอุณหภูมิได้เที่ยงตรง ขนาดรูปร่างภายนอก (หน้าปัด) (48x96 mm.) ทำจากอลูมิเนียม น้ำหนักประมาณ 620g

รูปที่ 3.25 เครื่องอ่านค่าอุณหภูมิ (Temperature Indicator)

3.3 น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ

3.3.1 เตรียมน้ำมันและผลิตน้ำมัน

การทดลองนี้ใช้น้ำมันไบโอดีเซลทั้งสิ้น 4 ชนิด โดยนำวัตถุดิบที่ได้มาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล โดยผลิตปริมาณ 10 ลิตร เพื่อใช้ในการทดลอง มีการจัดเตรียมน้ำมันดิบดังนี้

1) การเตรียมน้ำมันไบโอดีเซล

- น้ำมันจากปาล์ม
- น้ำมันจากเมล็ดยางพารา
- น้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ
- น้ำมันมะพร้าว
- น้ำมันดีเซล

3.3.2 การผลิตน้ำมัน

เนื่องจากน้ำมันที่ได้จากการเตรียมมานั้นยังคงมีกากตะกอน และมีสิ่งเจือปนต่างๆปะปนอยู่ อีกทั้งยังคงมีความชื้นอยู่มากซึ่งไม่เหมาะที่จะนำมาทดลอง ดังนั้นจึงต้องนำน้ำมันดิบที่ได้มาทำให้บริสุทธิ์ก่อนที่จะทำการผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1) กรองน้ำมัน โดยใช้กระดาษกรอง กรองเอากากและสิ่งเจือปนในน้ำมันดิบออกให้หมด

2) กำจัดความชื้น ความชื้นที่ปนอยู่ในน้ำมันดิบซึ่งจะอยู่ในรูปของน้ำสามารถกำจัดความชื้นได้โดยนำน้ำมันดิบที่ผ่านการกรองแล้วมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 5 นาที เพื่อไล่ความชื้นออกจากน้ำมัน

3) ทำการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันดิบที่ได้จากขั้นตอนข้างต้น

รูปที่ 3.26 ไบโอดีเซลจากเมล็ดยางพารา

รูปที่ 3.27 ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

รูปที่ 3.28 ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

รูปที่ 3.29 ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

คุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิง	ดีเซล	ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ	ไบโอดีเซลจากเมล็ดยางพารา	ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว
ความหนาแน่น (kg/m^3)	8600	879.2	8874	876.9	877.7
ความหนืดจลน์ (m^2/s)	3.8	4.463	4.456	4.821	3.301
จุดวาบไฟ (^oC)	55	177	187	151	119
ค่าความร้อนกรอส (kJ/kg)	44,800	39,924	39,630	39,677	38,120

หมายเหตุ: ทดสอบโดบกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

3.4 วิธีการทดลองสำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะการเผาไหม้

ในการทดลองจะให้เครื่องยนต์ทำงานที่สภาวะที่ไม่มีภาระ และทำการทดลองที่ความเร็วรอบที่ 1000, 1250, 1500, 2000, 2250 และ 2500 แล้วได้นำน้ำมัน ได้แก่ น้ำมันจากเมล็ดยางพารา น้ำมันสบู่ดำ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะพร้าว โดยผสมกับดีเซลในอัตราส่วน 10 %, 25% และ100 % พร้อมทั้งเก็บข้อมูลความดัน อัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิง อุณหภูมิและองศาเพลาข้อเหวี่ยง

1) ทำการทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิง 5 ชนิด โดยทำการเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงให้พร้อมในการทดลองคือ

- น้ำมันไบโอดีเซลจากเม็ดยางพารา
- น้ำมันไบโอดีเซลจากปาล์ม
- น้ำมันไบโอดีเซลจากมะพร้าว
- น้ำมันไบโอดีเซลจากสบู่ดำ
- น้ำมันดีเซล

2) ตรวจสอบเครื่องยนต์ให้มีความพร้อมที่จะทำการทดลอง รวมทั้งวัดค่าต่างๆของเครื่องยนต์ ชนิดนี้ที่จำเป็นจะต้องใช้ในการป้อนข้อมูลลงโปรแกรม คือ อัตราส่วนการอัด ขนาดของกระบอกสูบ ระยะชัก ความยาวก้านสูบ อัตราส่วนความร้อนจำเพาะของน้ำมันเชื้อเพลิง (ได้จากการเปิดตารางค่าคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่จะที่ทดสอบ)

3) เปิดโปรแกรม DEWE Soft เชื่อมต่อสาย Thermocouple, Pressure tranducer เข้ากับ (DAQ) Card แล้วตรวจสอบดูที่หน้าโปรแกรมว่า เซ็นเซอร์ทุกตัวทำงานปกติหรือไม่ ใส่ข้อมูลค่าต่างๆของเครื่องยนต์ที่ได้จากการวัดในข้อ 2 ลงไป

4) เชื่อมต่อ DAQ Card ของ Thermocouple (DAQN–THERM Module) และ DAQ Card ของ Pressure transducer (DAQP–CHARGE-B Module) และ Encoder sensor เข้ากับช่องสัญญาณ (DEWE BOX) และต่อไปยังคอมพิวเตอร์ที่ช่อง USB Port

5) ทำการถอดสายส่งน้ำมันของหัวฉีดในกระบอกสูบที่ติดเซ็นเซอร์ไว้แล้วรองน้ำมันเอาไว้

6) จากนั้น Start เครื่องยนต์ทิ้งไว้ประมาณครึ่งชั่วโมง ทำการบันทึกข้อมูลความดัน ที่ 900 rpm

7) ใส่น้ำมันเชื้อเพลิงที่จะทดสอบ

8) สตาร์ทเครื่องยนต์รอประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นทดลองตัวอย่างละประมาณ 100 Cycle แล้วค่อยทำการบันทึกผล

9) ทำการทดลองที่ 7 และ 8 จนครบทั้ง 5 ชนิด

10) นำข้อมูลมา พล็อตกราฟ

- การปลดปล่อยความร้อนสุทธิกับมุมองศาเพลาข้อเหวี่ยง (TI-CA)
- อัตราการปลดปล่อยความร้อนกับปริมาตรกระบอกสูบ (TQ-V)
- ความดันกับมุมองศาเพลาข้อเหวี่ยง (P-CA)

11) วิเคราะห์ผลการทดลอง

3.5 วิธีการทดลองสำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสเปรย์ของเชื้อเพลิง

1) เตรียมน้ำมันไบโอดีเซลทั้ง 4 ชนิด และน้ำมันดีเซล

2) นำน้ำมันแต่ละชนิดไปเพิ่มอุณหภูมิให้ได้อุณหภูมิ 40°C โดยใช้ ฮีตเตอร์ (Heater) จากนั้นใส่น้ำมันในถังเก็บที่เครื่องทดสอบหัวฉีดแล้วทำการทดลองฉีดน้ำมัน 3-5 ครั้ง เพื่อไล่น้ำมันที่ตกค้างในหัวฉีดออกให้หมด

3) เริ่มทำการบันทึกภาพโดยใช้กล้องวีดีโอ

4) ทำการฉีดน้ำมันในขณะกำลังบันทึกภาพ

5) นำภาพวีดีโอที่บันทึกได้มาทำการ Capture เป็นภาพนิ่งในแต่ละเฟรมเพื่อนำไปวิเคราะห์

6) ทำการทดลองข้อที่ 1-4 ซ้ำอีกครั้งโดยเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันเป็น 50°C, 60°C และ 70°C ตามลำดับ และเพิ่มความดันเป็น 0 bar, 5 bar และ 10 bar ตามลำดับ