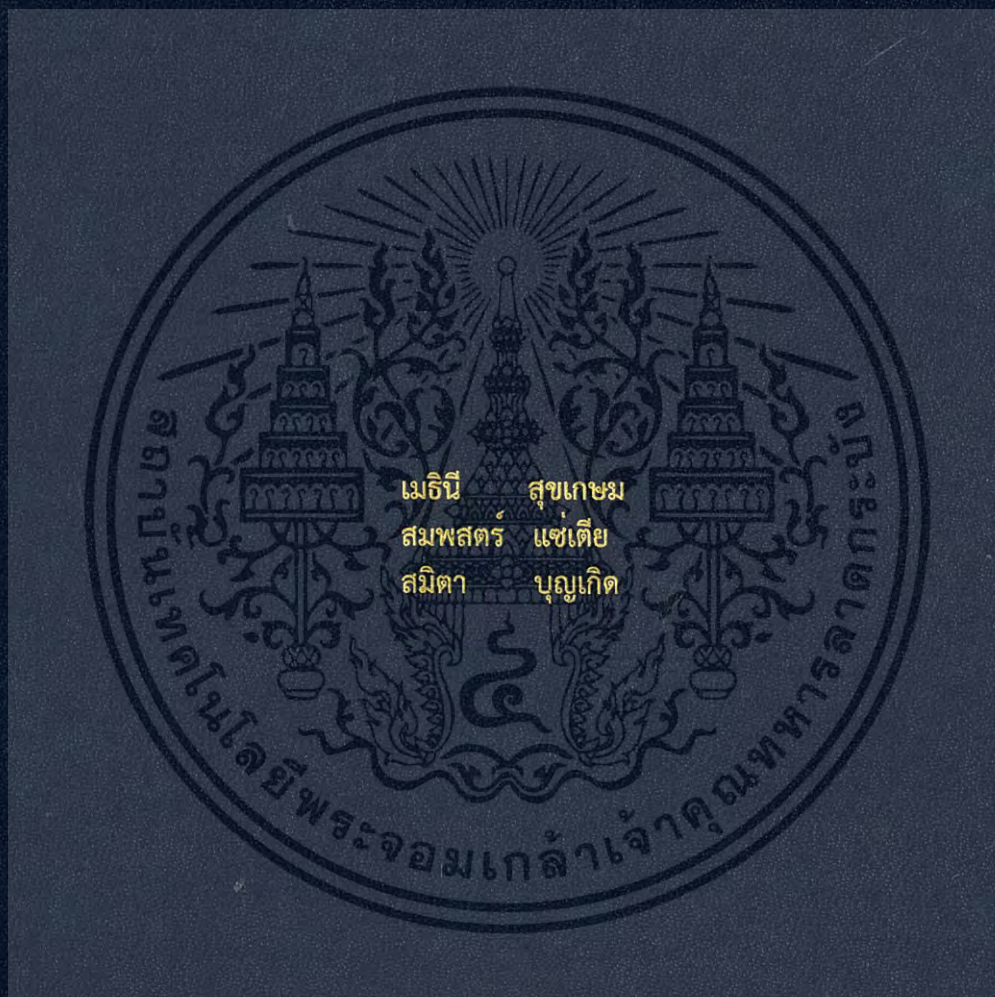


การศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะสเปรย์และการฉีดเชื้อเพลิงของน้ำมัน
HYDROTREATED VEGETABLE OIL ในระบบหัวฉีดความดันสูง

SPRAY AND INJECTION CHARACTERISTICS OF HYDROTREATED VEGETABLE OIL
BY USING HIGH PRESSURE FUEL INJECTION SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะสเปรย์และการฉีดเชื้อเพลิงของน้ำมัน
HYDROTREATED VEGETABLE OIL ในระบบหัวฉีดความดันสูง

SPRAY AND INJECTION CHARACTERISTICS OF HYDROTREATED VEGETABLE OIL
BY USING HIGH PRESSURE FUEL INJECTION SYSTEM



T143886



รฟ.
2173711
2558

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 143886
วันเดือนปี 04 ต.ค. 2558

b. 42809000
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPRAY AND INJECTION CHARACTERISTICS OF HYDROTREATED VEGETABLE OIL
BY USING HIGH PRESSURE FUEL INJECTION SYSTEM



Ms.Maythinee Sukkasam

Mr.Somphot Saetia

Ms.Samita Boonkerd

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
2015
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2558

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะสเปรย์และการฉีดเชื้อเพลิงของน้ำมัน HYDROTREATED VEGETABLE OIL ในระบบหัวฉีดความดันสูง
SPRAY AND INJECTION CHARACTERISTICS OF HYDROTREATED VEGETABLE OIL BY USING HIGH PRESSURE FUEL INJECTION SYSTEM

ผู้จัดทำ

1. นส. เมธินี สุขเกษม รหัสประจำตัว 55011000
2. นาย สมพสตร์ แซ่เตี๋ย รหัสประจำตัว 55011265
3. นส. สมิตา บุญเกิด รหัสประจำตัว 55011268




..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.พงษ์ศักดิ์ คำมูล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะสเปร์ย์และการฉีดเชื้อเพลิงของน้ำมัน HYDROTREATED VEGETABLE OIL ในระบบหัวฉีดความดันสูง

นส.เมธินี สุขเกษม	รหัสประจำตัว	55011000
นายสมพสตร์ แซ่เตี๋ย	รหัสประจำตัว	55011265
นส.สมิตา บุญเกิด	รหัสประจำตัว	55011268
ผศ.พงษ์ศักดิ์ คำมูล	อาจารย์ที่ปรึกษา	
ปีการศึกษา 2558		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบคุณลักษณะสเปร์ย์และการฉีดเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิง Hydro-treated Vegetable Oil (HVO) และ ดีเซลเพื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่าง คุณลักษณะสเปร์ย์และคุณลักษณะของการฉีด ซึ่งทั้งสองมีผลต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง โดยแบ่งงานออกเป็น 3 ส่วน คือส่วนแรก ทำการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อหา ความหนาแน่น, ความหนืด, แรงตึงผิว, จำนวนคาร์บอนและไฮโดรเจน ส่วนที่สองคือ ทดสอบคุณลักษณะสเปร์ย์ โดยใช้หัวฉีดความดันสูงแบบรูเดียว (single hole) ที่ทำงานร่วมกับระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม (Common Rail) และห้องเผาไหม้แบบปริมาตรคงที่ (Constant Combustion Chamber : CVCC) พร้อมทั้งใช้หลักการถ่ายภาพแบบซูริเรน (SHULIEREN) บันทึกรูปร่างผลของสเปร์ย์ที่ถ่ายโดยกล้องวิดีโอความเร็วสูง และส่วนสุดท้ายคือ ทดสอบคุณลักษณะการฉีดเชื้อเพลิง โดยใช้หลักการ Zeuch's method ในการเก็บข้อมูลการฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPRAY AND INJECTION CHARACTERISTICS OF HYDROTREATED VEGETABLE OIL BY USING HIGH PRESSURE FUEL INJECTION SYSTEM

Maythinee	Sukkasam	55011000
Somphot	Saetia	55011265
Samita	Boonkerd	55011268
Assis.Prof Pongsak	Kummul	Advisor
Year 2015		

Abstract

The aim of this work is to investigate effect of fuel properties on spray and injection characteristics of Hydro-treated Vegetable Oil (HVO) and diesel fuel by using high injection pressure. This work were compose of three parts. First, Fuel properties test to determine density, viscosity, surface tension, carbon and hydrogen. Second, Spray characteristics test. The experiment was conducted single hole injector equipped with common rail system and constant volume combustion chamber (CVCC) Also used schlieren photography method to capture spray images by high speed video camera And finally, injection characteristics test used Zeuch's method to obtain injection data.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
สารบัญตาราง.....	vi
สารบัญรูป.....	vii
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีหลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 วัฏจักรดีเซล.....	3
2.2 เครื่องยนต์ดีเซล.....	3
2.3 ระบบคอมมอนเรล หรือ ระบบฉีดเชื้อเพลิงรางร่วม.....	4
2.4 หลักการโดยสังเขปของเครื่องยนต์ดีเซลระบบรางร่วม.....	4
2.5 หัวฉีดโซลินอยด์.....	5
2.6 คุณลักษณะของสเปรย์.....	6
2.7 เชื้อเพลิง.....	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 เชื้อเพลิงดีเซล.....	7
2.7.2 เชื้อเพลิง HVO.....	7
2.8 คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	7
2.8.1 ความหนาแน่น (Density).....	8
2.8.2 ความหนืด (Viscosity).....	8
2.8.3 แรงตึงผิว (Surface Tension).....	8
2.9 หลักการถ่ายภาพแบบซูรีเรน (Schlieren).....	9
2.10 ห้องเผาไหม้แบบปริมาตรคงที่ (CVCC : Constant Volume Combustion Chamber)...	9
2.11 Zeuch's method.....	10
2.12 การกำหนดคุณลักษณะของการฉีดเชื้อเพลิง.....	12
2.13 การคำนวณเกี่ยวกับอัตราการฉีดเชื้อเพลิงเฉลี่ย.....	12
2.13.1 ปริมาณการฉีด (Injection quantity).....	12
2.13.2 อัตราการฉีดเชื้อเพลิงเฉลี่ย (Real mass flow rate).....	12
2.13.3 Discharge Coefficient.....	12
2.13.4 Reynolds number.....	13
2.13.5 Cavitation number.....	14
2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	16
3.1 การผสมน้ำมันเชื้อเพลิง.....	16
3.2 การทดลองศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิง.....	16
เอกสารนี้เป็3.2.1การทดลองหาค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (Density).....	16

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การทดลองหาค่าแรงตึงผิวของเชื้อเพลิง (Surface Tension).....	17
3.2.3 การทดลองหาความหนืดของเชื้อเพลิง (Viscosity).....	17
3.2.4 การทดลองหาจำนวนคาร์บอนและไฮโดรเจนของน้ำมันเชื้อเพลิงHVO.....	18
3.2.5 การทดลองหาค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง (Heating Value).....	19
3.2.6 การทดลองหาจุดวาบไฟ (Flash Point).....	19
3.3 อุปกรณ์การทดลองศึกษาคุณลักษณะของสเปรย์.....	20
3.3.1 แผนผังการทดลองโดยรวมของการศึกษาลักษณะของสเปรย์เชื้อเพลิง.....	20
3.3.2 ห้องเผาไหม้จำลองปริมาตรคงที่.....	20
3.3.3 ระบบควบคุมและการวัด.....	21
3.3.4 ระบบควบคุมและการวัด.....	22
3.3.5 การจ่ายและระบายแก๊ส.....	23
3.3.6 ระบบจ่ายน้ำมัน.....	24
3.3.7 อุปกรณ์บันทึกภาพ.....	25
3.3.8 ขั้นตอนของการศึกษาคุณลักษณะสเปรย์.....	26
3.3.8.1 รูปแบบของการศึกษา.....	26
3.3.8.2 วิธีการทดลอง.....	27
3.3.9 ชุดการทดลองการวัดปริมาณการฉีดแบบ Zeuch.....	27
3.3.9.1 การทดลองการวัดปริมาณการฉีด.....	28
3.3.9.2 การทดสอบการรั่ว (Leak Test).....	29
3.3.9.3 การทดลองการวัดปริมาณการฉีด.....	29
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	31
4.1 ผลการทดลองคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 ผลการทดลองหาค่าคุณสมบัติความหนาแน่น (Density).....	31
4.1.2 ผลการทดลองหาค่าคุณสมบัติความหนืดจลน์ (Kinematic Viscosity).....	32
4.1.3 ผลการทดลองหาค่าคุณสมบัติความร้อน (Heating Value).....	33
4.1.4 ผลการทดลองหาค่าคุณสมบัติจุดวาบไฟ (Flash Point).....	34
4.1.5 ผลการทดลองหาค่าคุณสมบัติแรงตึงผิว (Surface Tension).....	35
4.2 ผลของการศึกษาคุณลักษณะของสเปรย์.....	36
4.2.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบภาพถ่ายสเปรย์ (Spray image).....	36
4.2.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบความยาวสเปรย์ (Spray Penetration).....	37
4.2.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบความเร็วปลายสเปรย์ (Spray Tip Velocity).....	38
4.2.4 ผลการทดลองเปรียบเทียบองศาสเปรย์ (Spray Angle).....	40
4.2.5 ผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาตรสเปรย์ (Spray Volume).....	41
4.2.6 ผลการทดลองเปรียบเทียบอัตราส่วนสมบูรณ (Local equivalence ratio).....	43
4.3 ผลของการศึกษาคุณลักษณะของการฉีดน้ำมัน.....	44
4.3.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบอัตราการฉีดน้ำมัน (Injection Rate).....	45
4.3.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบความล่าช้าของการฉีด (Injection delay).....	45
4.3.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาการฉีด (Injection duration).....	46
4.3.4 ผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาณการฉีด (Injection Quantity).....	47
4.3.5 ผลการทดลองเปรียบเทียบค่า Discharge coefficient (Cd).....	47
4.3.6 ผลการทดลองเปรียบเทียบค่า Energy input.....	48
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	49
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	49
5.1.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิง.....	49
5.1.2 ผลการศึกษาคุณลักษณะของสเปรย์.....	49

5.1.2.1 ผลกระทบจากค่าความหนาแน่น.....	49
5.1.2.2 ผลกระทบจากค่าความหนืดจลน์.....	49
5.1.2.3 ผลกระทบจากความดันในการฉีดเชื้อเพลิง.....	49
5.1.3 ผลการศึกษาคุณลักษณะการฉีดและอัตราการฉีดของเชื้อเพลิง.....	50
5.1.3.1 ผลกระทบจากค่าความหนาแน่น.....	50
5.1.3.2 ผลกระทบจากค่าโมดูลัสการอัดตัว.....	50
5.1.3.3 ผลกระทบจากความดันในการฉีดเชื้อเพลิง.....	50
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	50
บทที่ 6 เอกสารอ้างอิง.....	52
ภาคผนวก.....	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 มลพิษที่ลดลงจากการสันดาปภายในของเครื่องยนต์.....	14
2.2 มลพิษของน้ำมันดีเซลเทียบกับน้ำมัน HVO.....	15
3.1 เงื่อนไขในการศึกษา.....	16
3.2 เงื่อนไขในการทดสอบ.....	27
3.3 เงื่อนไขในการทดสอบการวัดปริมาณ	28
4.1 เปร้ชี้้นต์ความแตกต่างของค่าความหนาแน่น.....	32
4.2 เปร้ชี้้นต์ความแตกต่างของค่าความหนาแน่น.....	33
4.3 เปร้ชี้้นต์ความแตกต่างของค่าความร้อน.....	34
4.4 เปร้ชี้้นต์ความแตกต่างของค่าจุดวาบไฟ.....	35
4.5 เปร้ชี้้นต์ความแตกต่างของแรงตึงผิว.....	36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วัฏจักรดีเซล (Diesel Cycle).....	3
2.2 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ.....	4
2.3 แสดงหลักการทำงานของเครื่องยนต์คอมมอนเรล (Common Rail Engine).....	4
2.4 หลักการทำงานของหัวฉีดโซลินอยด์.....	6
2.5 โครงสร้างสเปรย์ของเชื้อเพลิงดีเซล.....	6
2.6 กระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง HVO	7
2.7 การวัดแรงตึงผิว.....	9
2.8 หลักการถ่ายภาพแบบชูรีเรน (Schlieren).....	9
2.9 ห้องเผาไหม้แบบปริมาตรคงที่.....	10
2.10 หลักการวัดด้วยวิธี Zeuch.....	11
2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดเพลิงกับเวลา.....	12
3.1 เครื่องวัดความหนาแน่นแบบดิจิตอล Anton Paar DMA 4500.....	17
3.2 เครื่องมือวัดแรงตึงผิว Kibron AquaPi.....	17
3.3 เครื่องมือวัดค่าความหนืดจลน์ CANNON รุ่น mini-av-x.....	18
3.4 เครื่องมือทดสอบหาจำนวนคาร์บอน และ ไฮโดรเจนของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	18
3.5 เครื่องมือการทดลองหาค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง Bomb Calorimeter.....	19
3.6 เครื่องมือการทดลองหาจุดวาบไฟ TANAKA APM-7.....	19
3.7 แผนผังอุปกรณ์การทดลอง.....	20
3.8 แสดงห้องเผาไหม้จำลองแบบปริมาตรคงที่.....	21
3.9 หลักการทำงานของหัวฉีดโซลินอยด์.....	21
3.10 โปรแกรมควบคุมความดัน.....	22
3.11 แสดงออสซิลโลสโคป.....	22
3.12 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและจอแสดงผล.....	23
3.13 แสดงเครื่องวัดความดัน.....	23
3.14 ระบบจ่ายและระบายแก๊ส.....	24
3.15 อินเวอร์เตอร์คอนโทรล.....	24
3.16 รางร่วม และมอเตอร์ขับเคลื่อน.....	25
3.17 ผังระบบการบันทึกภาพแบบชูรีเรน.....	25
3.18 ระบบชูรีเรน.....	26
3.19 กล้องวิดีโอความเร็วสูง Photron FASTCAM-Mini-UX100.....	26
3.20 ห้องจำลองปริมาตรคงที่พร้อมับอุปกรณ์การวัดปริมาณการฉีด.....	28
3.21 แผนผังการวัดปริมาณการฉีดเชื้อเพลิง.....	30
3.22 ชุดการวัดปริมาณการฉีดแบบ Zeuch พร้อมอุปกรณ์การทดลอง.....	30
4.1 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิง.....	31

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 กราฟแสดงค่าความหนืดจลน์ของเชื้อเพลิง.....	32
4.3 กราฟแสดงค่าความร้อนของเชื้อเพลิง.....	33
4.4 กราฟแสดงค่าจุดวาบไฟของเชื้อเพลิง.....	34
4.5 กราฟแสดงค่าแรงตึงผิวของเชื้อเพลิง.....	35
4.6 ภาพสเปรย์ของน้ำมันHVOและน้ำมันดีเซลที่P.back=2.5 Pa.....	36
4.7 กราฟแสดงความยาวสเปรย์ของน้ำมันดีเซลที่ความดันหัวฉีดแตกต่างกัน.....	37
4.8 กราฟแสดงความยาวสเปรย์ของน้ำมันHVO ที่ความดันหัวฉีดแตกต่างกัน.....	37
4.9 กราฟแสดงความยาวสเปรย์ของน้ำมันดีเซลและHVOที่ความดันหัวฉีด 40, 120 และ 160 MPa.....	38
4.10 กราฟแสดงความเร็วปลายสเปรย์ของน้ำมันดีเซลที่ความดันหัวฉีดแตกต่างกัน.....	38
4.11 กราฟแสดงความเร็วปลายสเปรย์ของน้ำมันHVOที่ความดันหัวฉีดแตกต่างกัน.....	39
4.12 กราฟแสดงความเร็วปลายสเปรย์ของน้ำมันดีเซลและHVOกับเวลาหลังจากการฉีด.....	39
4.13 กราฟแสดงองศาของสเปรย์ของน้ำมันดีเซลที่ความดันหัวฉีดแตกต่างกัน.....	40
4.14 กราฟแสดงองศาของสเปรย์ของน้ำมันHVOที่ความดันหัวฉีดแตกต่างกัน.....	40
4.15 กราฟแสดงองศาของสเปรย์ของน้ำมันดีเซลและHVOกับเวลาหลังจากการฉีด.....	41
4.16 กราฟแสดงปริมาตรของสเปรย์ของน้ำมันดีเซลที่ความดันหัวฉีดแตกต่างกัน.....	41
4.17 กราฟแสดงปริมาตรของสเปรย์ของน้ำมันHVO ที่ความดันหัวฉีดแตกต่างกัน.....	42
4.18 กราฟแสดงปริมาตรของสเปรย์ของน้ำมันดีเซลและHVOกับเวลาหลังจากการฉีด.....	42
4.19 กราฟแสดงอัตราส่วนสมมูลของน้ำมันดีเซล ที่ความดันหัวฉีดแตกต่างกัน.....	43
4.20 กราฟแสดงอัตราส่วนสมมูลของน้ำมันHVO ที่ความดันหัวฉีดแตกต่างกัน.....	43
4.21 กราฟแสดงอัตราส่วนสมมูลของน้ำมันดีเซลและHVOกับเวลาหลังจากการฉีด.....	44
4.22 กราฟแสดงอัตราการฉีดเชื้อเพลิงกับเวลาหลังจากการฉีด.....	45
4.23 กราฟแสดงความล่าช้าการฉีดกับผลต่างความดันของการฉีด.....	45
4.24 กราฟแสดงระยะเวลาการฉีดกับผลต่างความดันของการฉีด.....	46
4.25 กราฟแสดงปริมาณการฉีดกับผลต่างความดันของการฉีด.....	47
4.26 กราฟแสดงค่าDischarge coefficient กับผลต่างความดัน.....	47
4.27 กราฟแสดง Energy input กับผลต่างความดัน.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

สถานการณ์ปัจจุบันของโลกประสบปัญหาเชื้อเพลิงที่ได้จากแหล่งกำเนิดฟอสซิลมีปริมาณที่ลดน้อยลง จึงส่งผลให้ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงเกิดการแปรปรวนรับราคาขึ้นลงตลอดเวลา ผู้บริโภคที่เดือดร้อนจากราคาน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นจากทั่วโลกได้ให้ความสำคัญกับเรื่องพลังงานทดแทนเป็นอย่างมากจึงพยายามหาทางที่จะนำพลังงานทดแทนมาใช้ ประกอบกับประเทศไทยมีการใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นจำนวนมากทั้งทางด้าน การเกษตรและการขนส่งมวลชนและเป็นประเทศอุตสาหกรรมเกษตรจึงสามารถนำวัตถุดิบที่ได้จากการเกษตร มาเปลี่ยนรูปมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ เช่น hydro treating of vegetable oils (HVO) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ ที่ทำมาจากเมล็ดสับดูดำนำมาผ่านกระบวนการ Hydrogenation เพื่อให้ได้น้ำมันที่เรียกว่า hydro treating of vegetable oils ที่มีโครงสร้างเช่นเดียวกับน้ำมันดีเซลแต่มีคุณภาพที่สูงกว่า ภาครัฐจึงสนับสนุนให้ใช้พลังงาน ทดแทนเพื่อลดการนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิลจากต่างประเทศและลดมลพิษของเชื้อเพลิงซึ่งเป็นตัวการก่อให้เกิด ปัญหาภาวะโลกร้อน HVOจึงเป็นทางเลือกที่ดีเพราะเป็นเชื้อเพลิงที่มีค่าซีเทนที่สูงกว่า 80 ช่วยให้เครื่องยนต์ สตาร์ทติดง่ายเผาไหม้สมบูรณ์กว่าทั้งยังปราศจากกำมะถัน ส่งผลให้ค่ามลพิษไอเสียน้อยกว่าเชื้อเพลิงเดิม แต่ อย่างไรก็ตามการใช้HVOเป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาในเชิงลึกต่อไป

ขั้นตอนสำคัญก่อนที่เครื่องยนต์จะเกิดการเผาไหม้นั้นคือช่วงของการฉีดสเปรย์น้ำมัน ซึ่งเป็นขั้นตอน สำคัญของการเกิดการเผาไหม้แบบแพร่หรือการเป็นละอองฝอยของเชื้อเพลิงที่มีผลต่อการคลุกเคล้าของน้ำมัน เชื้อเพลิงและเปลวไฟในการเผาไหม้แบบแพร่ของเครื่องยนต์ดีเซล HVOเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนประเภท ดีเซลที่ได้จากธรรมชาติมีโครงสร้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเหมือนน้ำมันดีเซลที่ได้มาจากน้ำมัน ปิโตรเลียม สารตั้งต้นในการผลิตมาจากน้ำมันปาล์ม, น้ำมันสับดูดำ หรือน้ำมันพืชใช้แล้วมาทำปฏิกิริยากับ ไฮโดรเจนและตัวเร่งปฏิกิริยาในหน่วยปฏิบัติการผลิต (Hydro-treating Unit) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในโรง กลั่นในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกกำจัดออกซิเจนออกได้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีค่าซีเทนและค่า ความร้อนสูง อีกทั้งยังมีคุณสมบัติการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพอีกด้วย นอกจากนี้ยังนำไปผ่านกระบวนการ Hydro-Cracking เพื่อการลดขนาด โครงสร้างโมเลกุลให้เป็นไฮโดรคาร์บอนแบบ Branched chain ที่มี คุณสมบัติการไหลเทที่ดีขึ้นจึงทำให้HVOมีคุณสมบัติที่ดีกว่าน้ำมันดีเซล งานวิจัยนี้ได้ทำการนำเสนอการ วิเคราะห์ลักษณะของสเปรย์ในระบบหัวฉีดความดันสูงแบบรูเดียวและคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อ งานวิจัย (Single hole injector) ในการศึกษาการฉีดของละอองสเปรย์ของเชื้อเพลิงHVOกับเชื้อเพลิงดีเซล เพื่อหาขนาดองศาความยาวสเปรย์ด้วยเทคนิคการถ่ายภาพโดยการปรับค่าตัวแปรเริ่มต้นคือ แรงดันของหัวฉีด น้ำมัน (Injection Pressure) ที่สภาวะความดันที่25barและอุณหภูมิบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาทดลองคุณลักษณะของสเปรย์ในระบบฉีดเชื้อเพลิงดีเซลคอมมอนเรลภายในห้องเผาไหม้แบบปริมาตรคงที่ โดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพแบบซูริเรนกับกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของสเปรย์ของน้ำมัน HVO ในหัวฉีดดีเซลคอมมอนเรลที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 คุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและน้ำมัน HVO เช่น ความหนาแน่น ความหนืดและแรงตึงผิว เป็นต้น มีความแตกต่างกัน ดังนั้นทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณลักษณะการฉีดสเปรย์ของเชื้อเพลิง

1.3.2 ความดันในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและความดันภายในห้องควบคุมปริมาตรคงที่ มีผลกระทบต่อลักษณะของสเปรย์

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาลักษณะสเปรย์ของเชื้อเพลิงดีเซลและHVOโดยใช้ค่าความดันของหัวฉีดที่แตกต่างกันดังนี้ 400 600 800 1000 1200 1400 และ 1600 บาร์

1.4.2 ใช้หัวฉีดความดันสูงแบบรูเดียว เพื่อฉีดเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ ที่อุณหภูมิห้อง 27 องศาเซลเซียส โดยมีการควบคุมความดันหัวฉีด และความดันภายในห้องควบคุมปริมาตร

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1.5.1 อ่านวารสารเชิงวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเรื่องของสเปรย์และการทดสอบในรูปแบบต่างๆ ศึกษาเรื่องของสเปรย์ คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงและระบบคอมมอนเรลของเครื่องยนต์ดีเซล

1.5.2 วางขอบเขตศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการฉีดของสเปรย์และเลือกตัวแปรที่จะทำการศึกษา

1.5.3 ทำการทดลองและเก็บข้อมูลผลการทดลองของคุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง HVO และดีเซล

1.5.4 จัดเตรียมและติดตั้งชุดอุปกรณ์เพื่อทำการทดลองศึกษาละอองของสเปรย์

1.5.5 ทำการทดลองและเก็บข้อมูลผลการทดลอง

1.5.6 นำผลการทดลองที่ได้มาศึกษาและวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ด้วยโปรแกรม MATLAB

1.5.7 สรุปผลการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีหลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัฏจักรดีเซล

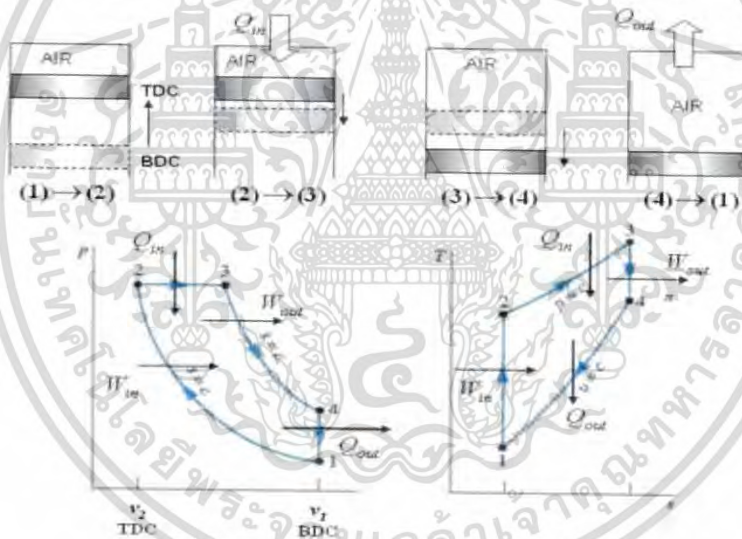
วัฏจักรดีเซล เป็นวัฏจักรการทำงานสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อสร้างพลังงาน ถูกคิดขึ้นโดยวิศวกรชาวเยอรมัน Rudolph Diesel ในปี ค.ศ. 1980 ประกอบด้วย 4 กระบวนการดังรูปที่ 2 คือ

กระบวนการ 1 ไป 2 เป็นกระบวนการอัดตัวแบบแอดิแบติกโดยไม่มีการถ่ายเทความร้อนออกจากระบบ

กระบวนการ 2 ไป 3 เป็นกระบวนการรับความร้อนภายใต้ความดันคงที่ และปริมาตรของอากาศขยายตัวตามอัตราส่วนคัตออฟ (cut-off ratio)

กระบวนการ 3 ไป 4 เป็นกระบวนการขยายตัวแบบแอดิแบติก จนกระทั่งอากาศมีปริมาตรเท่ากับสถานะเริ่มต้น

กระบวนการ 4 ไป 1 เป็นการถ่ายเทความร้อนภายใต้ปริมาตรคงที่

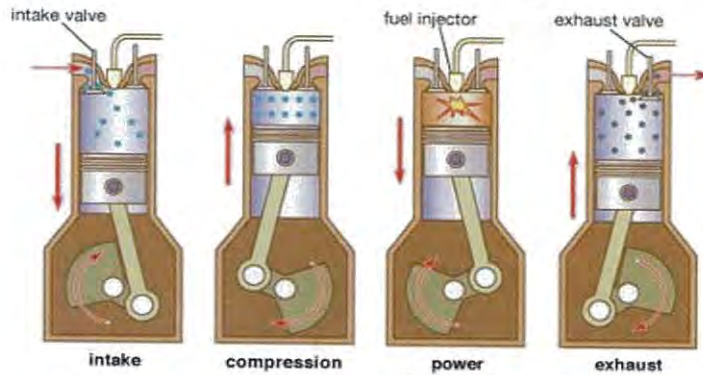


รูปที่ 2.1 วัฏจักรดีเซล (Diesel Cycle)

2.2 เครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์แบบหนึ่งของเครื่องยนต์สันดาปภายใน ซึ่งเป็นต้นกำเนิดที่เปลี่ยนพลังงานเคมีในเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานความร้อนโดยการเผาไหม้ และพลังงานความร้อนก็จะเปลี่ยนเป็นพลังงานกลเครื่องยนต์ดีเซลนั้นจะมีการจุดระเบิด ส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงเองซึ่งเรียกว่า compression ignition โดยเชื้อเพลิงจะถูกอัดฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ที่มีอากาศถูกอัดไว้และจะเกิดการลุกไหม้ขึ้น ผลของการเผาไหม้จะทำให้ก๊าซที่เกิดขึ้นมีความดันและอุณหภูมิสูงก็จะขยายตัวดันลูกสูบลงมาซึ่งจะไปผลักให้ข้อเหวี่ยงหมุนไป

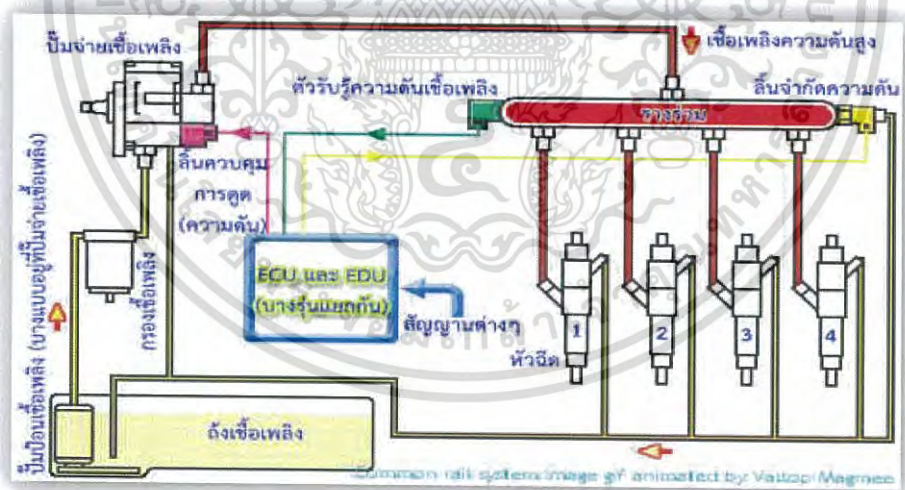
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

2.3 ระบบคอมมอนเรล หรือ ระบบฉีดเชื้อเพลิงรางร่วม

ระบบคอมมอนเรล หรือระบบจ่ายน้ำมันแบบรางร่วม เป็นระบบจ่ายเชื้อเพลิงประกอบด้วย ปั๊มแรงดันสูงน้ำมันเข้าสู่รางร่วม (Common Rail) เพื่อรอจังหวะการฉีดที่เหมาะสมที่ประมวลได้ จากหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Control Unit, ECU) เมื่อถึงจังหวะการฉีดเชื้อเพลิงที่ ECU ประมวลผลออกมาได้ วาล์วน้ำมันหรือเข็มหัวฉีดจะถูกยกด้วยแรงขับจากโซลินอยด์โดยใช้ไฟฟ้า ระบบคอมมอนเรลจึงสามารถฉีดเชื้อเพลิงยืดหยุ่นได้ตามสภาวะการทำงานที่เหมาะสมตามการประมวลผลของ ECU โดย ECU ของเครื่องยนต์สามารถรับรู้สภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ได้จาก Sensor ต่างๆ



รูปที่ 2.3 แสดงหลักการทำงานของเครื่องยนต์คอมมอนเรล (Common Rail Engine)

2.4 หลักการโดยสังเขปของเครื่องยนต์ดีเซลระบบรางร่วม

เชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) ป้อนเข้าสู่ปั๊มซึ่งมีอยู่ 2 วิธีคือใช้ปั๊มไฟฟ้าจุ่มในถังเชื้อเพลิงดังในรูปที่ 2 (นิยมใช้กับรถยุโรป) กับแบบกลไกติดตั้งอยู่หน่วยเดียวกับปั๊มจ่ายเชื้อเพลิง (นิยมใช้กับรถกระบะในประเทศไทย) ปั๊มจ่ายเชื้อเพลิงหรือปั๊มความดันสูงควบคุมความดันด้วยลิ้นควบคุมความดันหรือลิ้นควบคุมการดูด (Suction Control Valve หรือ SCV) ความดันสูงนี้ถูกส่งไปเก็บสะสมยังท่อความดันสูง (High Pressure Vessel หรือรางร่วม Common Rail) ซึ่งมีรูปร่างอยู่ 2 แบบคือทรงกระบอกยาว (นิยมใช้กันมาก) กับแบบทรงกระบอกสั้น ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นหัวฉีดทุกหัวจึงมีความดันเชื้อเพลิงที่สูงมากเท่ากันทุกกระบอกสูบ รออยู่ที่ปลายหัวฉีดพร้อมตลอดเวลา สำหรับการฉีดให้เป็นฝอยละอองที่ละเอียดที่สุดผ่านรูเล็กๆ ของปลายหัวฉีดลงไปคลุกเคล้ากับอากาศที่ถูกอัดตัวจนมีความดันและอุณหภูมิที่สูงเหมาะสม ทั้งหมดควบคุมการทำงานโดยหน่วยควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ หรือ ECU (Electronic Control Unit) หรือ ECM (Electronic Control Module) ซึ่งจะรับสัญญาณต่างๆ เช่นสัญญาณตำแหน่งของลูกสูบ ความเร็วรอบ ตำแหน่งคันเร่ง อุณหภูมิ น้ำ อุณหภูมิเชื้อเพลิง อุณหภูมิอากาศ ปริมาตรอากาศที่ประจุเข้า ความดันตัววัดบรรยากาศเทอร์โบและความดันบรรยากาศ ความดันเชื้อเพลิง ความเร็วรถยนต์ ตำแหน่งเกียร์ เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น เมื่อ ECU (ที่มี CPU 16 - 32 บิต) ประมวลผลแล้ว ส่งสัญญาณการฉีดไปยังหน่วยส่งแรงขับหัวฉีดหรือ EDU (Electronic Drive Unit) (บางแบบ ECU และ EDU อยู่ในชุดเดียวกัน) เพื่อเพิ่มแรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก 12 โวลต์เป็น 100 โวลต์ (บางแบบ 60 - 150 โวลต์ซึ่งแล้วแต่รุ่นของรถยนต์และแบบของหัวฉีด)

2.5 หัวฉีดโซลินอยด์

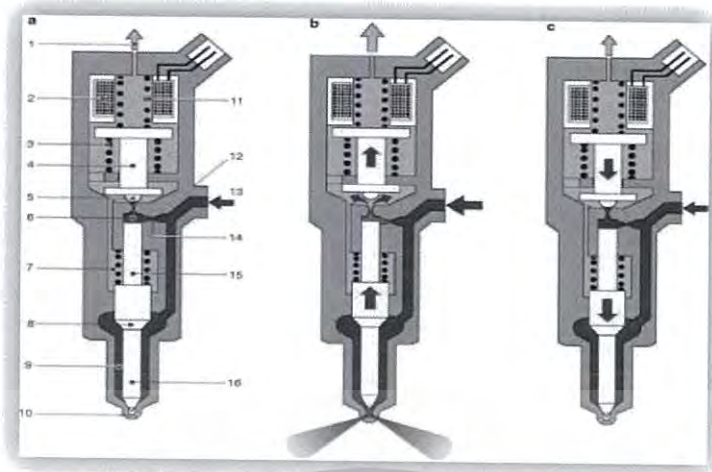
หัวฉีดโซลินอยด์ เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ที่ฝาสูบของเครื่องยนต์ซึ่งต่อกับรางร่วมความดันสูงของระบบคอมมอนเรลซึ่งทำหน้าที่ในการฉีดเชื้อเพลิง จะถูกควบคุมโดยกล่อง ECU - จำนวนรูหัวฉีดมี 6 - 8 รู (หัวฉีดไพโซโซอิเลกทริก รุ่นล่าสุดบางรุ่นมีรูจำนวน 10 รู และระบบรางร่วมรุ่นที่ 4 ในปี ค.ศ. 2014 หัวฉีดอาจมี 11 รู) หัวฉีดมีรูโต 0.13 - 0.147 mm (รุ่น 8 รู แต่ละรูโต 0.0876 mm) ปริมาตรการฉีดเชื้อเพลิงขณะเดินเบา เมื่อเครื่องยนต์ร้อนประมาณ 3 - 4 mm³/Stroke หน่วยขับหัวฉีดหรือหน่วยส่งแรงขับด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Driver Unit หรือ EDU) ส่งแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปิดหัวฉีด 60 - 150 V จังหวะการฉีดเชื้อเพลิงขณะเดินเบาบางรุ่นเริ่มฉีดหลังศูนย์ตายบน 2 องศา และที่ 3,000 rpm ไม่มีภาระจะเริ่มฉีดก่อนศูนย์ตายบน 1 ถึง 4 องศา เครื่องยนต์ระบบรางร่วมรุ่นที่ 1 - 2 มีจังหวะการฉีด 2 จังหวะ คือการฉีดนำร่อง (Pilot Injection) ระยะเวลาการฉีดประมาณ 0.5 - 0.6 ms และการฉีดหลัก (Main Injection) มีระยะเวลาประมาณ 0.7 - 0.9 ms เครื่องยนต์ระบบรางร่วมรุ่นที่ 3 จะมีการฉีด 5 ครั้ง แต่แต่ละครั้งจะมีระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงประมาณ 0.1 - 0.2 ms การฉีดหลายครั้งเรียกว่า Multiple Injection การฉีดครั้งที่ 1 เรียกว่าการฉีดนำร่อง (Pilot Injection) การฉีดครั้งที่ 2 เรียกว่าการฉีดก่อน (Pre Injection) การฉีดครั้งที่ 3 เรียกว่าการฉีดหลัก (Main Injection) การฉีดครั้งที่ 4 เรียกว่าการฉีดภายหลัง (After Injection) และการฉีดสุดท้ายครั้งที่ 5 เรียกว่าการฉีดตามหลัง (Post Injection) อนึ่งผู้เขียนเคยทราบข้อมูลมาว่าที่ประเทศเยอรมันได้มีการทดลองการฉีดเชื้อเพลิง 9 ครั้ง

หัวฉีดมี 2 แบบคือหัวฉีดลิ้นโซเลนอยด์ (Solenoid Injector) และแบบใหม่ซึ่งใช้กับเครื่องยนต์ระบบรางร่วมรุ่นที่ 3 คือหัวฉีดไพโซโซอิเลกทริก (Piezo Injector หรือ Piezoelectric Injector)

หัวฉีดแบบโซลินอยด์ มีหลักการทำงานดังนี้

- ในขณะที่ยังไม่มีการฉีดเชื้อเพลิง จากรูป 4a ลิ้นโซลินอยด์จะปิดช่องทางของห้องควบคุมความดันสูงซึ่งจะมีพื้นที่หน้าตัดมากกว่าห้องความดันด้านล่างลิ้นของเข็มหัวฉีดจึงถูกกดให้อยู่ในตำแหน่งปิดสนิท
- เมื่อมีสัญญาณการฉีดจาก ECU ไหลผ่านเข้าขดลวดโซลินอยด์ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเอาชนะแรงของสปริงที่กอดอยู่ด้านบนของลิ้นโซเลนอยด์ ลิ้นโซเลนอยด์จึงยกขึ้น ดังรูปที่ 4b เปิดช่องทางของห้องควบคุมเป็นผลให้ความดันในห้องควบคุมตก ดังนั้นความดันเชื้อเพลิงที่ด้านล่างของเข็มหัวฉีดจะยกเข็มหัวฉีดเปิดช่องทางให้เชื้อเพลิงไหลผ่านลิ้นหัวฉีดผ่านรูหัวฉีดให้เป็นฝอยละออง
- เมื่อหยุดส่งสัญญาณไฟฟ้าที่โซลินอยด์ ลิ้นโซเลนอยด์จะลงกลับมาตำแหน่งของห้องควบคุมปริมาตร จากนั้นเข็มหัวฉีดจะถูกดันกลับมามีตำแหน่งเดิม ดังรูปที่ 4c ศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



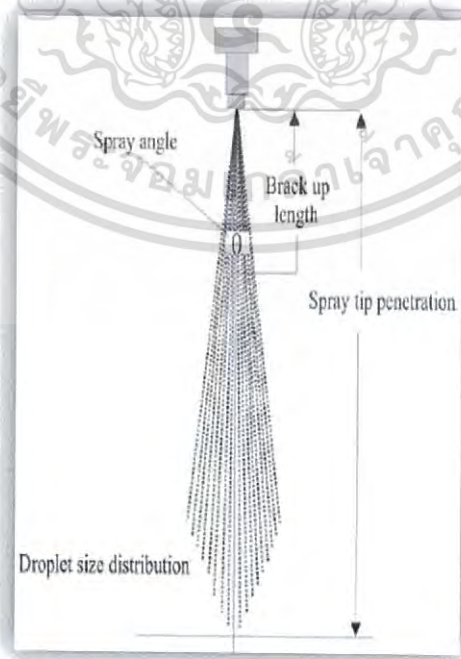
รูปที่2.4 หลักการทำงานของหัวฉีดโซลินอยด์

2.6 คุณลักษณะของสเปรย์

จากรูปที่5 โครงสร้างสเปรย์ของเชื้อเพลิงดีเซลที่ออกจากหัวฉีด สามารถจำแนกคุณลักษณะของสเปรย์ได้ดังนี้

1. Brack-Up Length คือ ช่วงความยาวของสเปรย์เชื้อเพลิงที่เป็นของเหลว
2. Spray tip Penetration คือ ช่วงความยาวของสเปรย์ตั้งแต่ออกจากหัวฉีดถึงปลายสเปรย์
3. Spray Angle คือ องศาการเกิดสเปรย์
4. Droplet Size Distribution คือ ขนาดละอองของสเปรย์

ซึ่งในการศึกษานี้จะศึกษาเฉพาะ Spray Angle และ Spray tip Penetration เท่านั้น



รูปที่2.5 โครงสร้างสเปรย์ของเชื้อเพลิงดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 เชื้อเพลิง

2.7.1 เชื้อเพลิงดีเซล

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปิโตรเลียม หรือน้ำมันดิบ (Crude oil) ในธรรมชาติที่มีอยู่ใต้พื้นโลก มาเข้าสู่กระบวนการกลั่นตัวที่หอกลั่นลำดับส่วนในโรงกลั่น และสามารถแยกชนิดของน้ำมันออกเป็นประเภทต่างๆ รวมถึง น้ำมันดีเซล

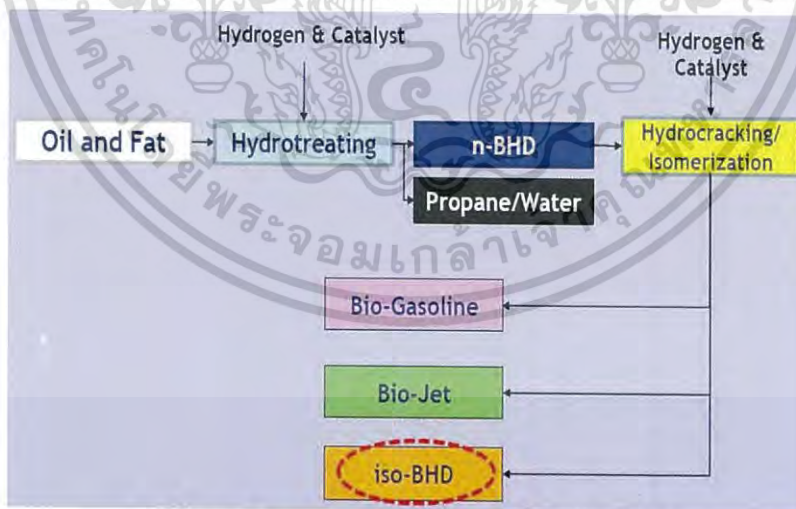
ข้อดีและข้อเสียของน้ำมันดีเซล มีดังนี้

ข้อดี น้ำมันดีเซลปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์, ไฮโดรคาร์บอน และคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาน้อยมาก รวมถึงสารตะกั่วที่ปล่อยออกมาทำให้โลกร้อนมีน้อย

ข้อเสีย มีจำนวนของส่วนผสมไนโตรเจนสูง และมีซัลเฟอร์ที่ได้จากการเผาไหม้ในน้ำมันดีเซลมาก ซึ่งตะกั่ว (ถึงมีน้อยแต่สะสมในอากาศ) จะทำให้เกิดฝนกรด (Acid rain) คิว้นพิษ คิว้นดำ และสุขภาพที่ไม่ดีต่อมนุษย์

2.7.2 เชื้อเพลิง HVO

เป็นน้ำมันสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างเหมือนน้ำมันดีเซลที่มาจากน้ำมันปิโตรเลียมได้รับความสนใจในการศึกษาและวิจัยเป็นอย่างมาก [13] เนื่องจากผลิตได้ จากการนำน้ำมันพืช เช่นน้ำมันปาล์ม น้ำมันสบู่ดำ หรือน้ำมันพืชใช้แล้ว ที่ผลิตได้เองภายในประเทศมาทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนและตัวเร่งปฏิกิริยาในหน่วยปฏิบัติการผลิต (Hydro-treating Unit) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในโรงกลั่นในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกกำจัดออกซิเจนออกได้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีค่าซีเทนและค่าความร้อนสูง อีกทั้งยังมีคุณสมบัติการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพอีกด้วย นอกจากนี้ยังนำไปผ่านกระบวนการHydro-Cracking เพื่อการลดขนาดโครงสร้างโมเลกุลให้เป็นไฮโดรคาร์บอนแบบ Branched chain ที่มีคุณสมบัติการไหลเทที่ดีขึ้น



รูปที่ 2.6 กระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง HVO

2.8 คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

เนื่องจากปัจจัยด้านน้ำมันเชื้อเพลิงมีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณสมบัติของเชื้อเพลิงจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่บ่งชี้ว่าน้ำมันเชื้อเพลิงนั้นมีคุณภาพอยู่ในระดับใด ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพแก่เครื่องยนต์หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 ความหนาแน่น (Density)

เป็นการวัดมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ซึ่งเมื่อมวลต่อหน่วยปริมาตรยิ่งมากขึ้น ปริมาตรก็ยิ่งมากขึ้นไปด้วย หรือกล่าวได้ว่า วัตถุที่มีความหนาแน่นสูงนั้นจะมีปริมาตรที่น้อยกว่าวัตถุที่มีความหนาแน่นต่ำ เมื่อเทียบที่มวลเท่ากัน

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (kg/m^3)

m คือ มวลของเชื้อเพลิง (kg)

V คือ ปริมาตรของเชื้อเพลิง (m^3)

2.8.2 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืด คือตัวบ่งชี้คุณสมบัติความต้านทานการไหลของของไหล ยิ่งมีค่ามากจะทำให้ของไหลนั้นยิ่งมีความหนืดมากแสดงในรูปสมการได้เป็น

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.2)$$

เมื่อ ν คือ ค่าความหนืดจลน์ (cSt)

μ คือ ค่าความหนืดสัมบูรณ์ ($\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$)

ρ คือ ความหนาแน่น (kg/m^3)

2.8.3 แรงตึงผิว (Surface Tension)

คือ แรงที่เกิดจากการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของของเหลวด้วยกัน เพื่อพยายามยึดผิวของเหลวให้ตึง (ให้มีพื้นที่น้อยที่สุด) แรงตึงผิวของของเหลวจะมีทิศทางกับผิวของเหลวและตั้งฉากกับเส้นขอบที่ของเหลวสัมผัส การวัดแรงตึงผิวจะใช้วิธี Willhelmy plate โดยการทำให้ของเหลวสัมผัสกับแผ่นโลหะและเมื่อยกแผ่นโลหะขึ้น จะมีแรงตึงผิวด้านตามความยาวของแผ่นโลหะ ดังรูปที่ 3 โดยเครื่องจะอ่านค่าแรงตึงผิวที่ได้และคำนวณตามสมการ

$$P = mg + Ly \cos \theta - sh\rho g \quad (2.3)$$

เมื่อ m คือ มวลโลหะ (kg)

g คือ ความเร่งจากแรง (m/s^2)

L คือ ความยาวรอบรูปแผ่นโลหะ (m)

γ คือ แรงตึงผิว (N/m)

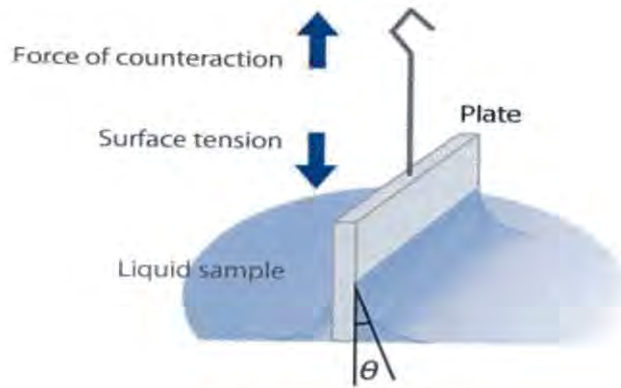
θ คือ มุมสัมผัสระหว่างแผ่นกับของเหลว

S คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)

h คือ ระยะที่แผ่นจม (m)

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)

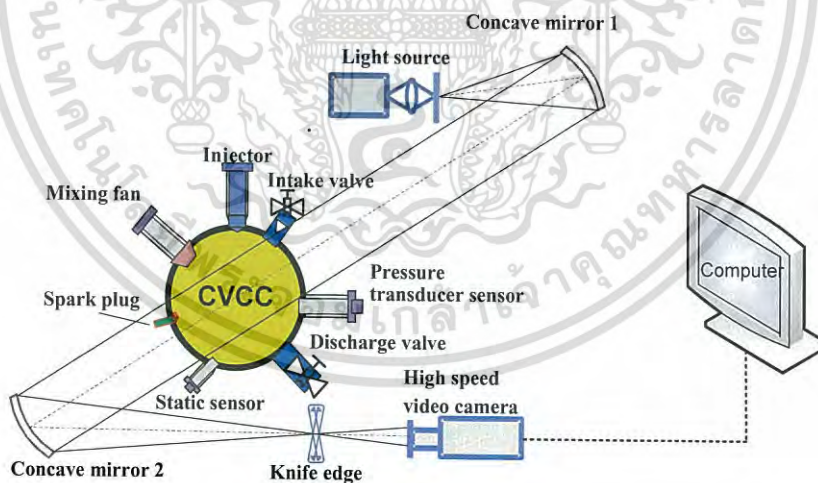
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การวัดแรงตึงผิว

2.9 หลักการถ่ายภาพแบบซูรีเรน (Schlieren)

การมองเห็นลักษณะสเปร์ย์ของเชื้อเพลิงนั้นยากที่จะมองได้ด้วยตาเปล่า เพราะเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่สั้น การศึกษาลักษณะสเปร์ย์ในงานวิจัยครั้งนี้จึงเลือกใช้กล้องความเร็วสูงจับภาพสเปร์ย์เชื้อเพลิง โดยใช้หลักการถ่ายภาพแบบซูรีเรน ดังแสดงในรูปที่ 3 ที่จะอาศัยลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (Light Source) ฉายลำแสงไปที่กระจกโค้ง (Concave Mirror) จากนั้นลำแสงจากกระจกจะสะท้อนผ่านสเปร์ย์เชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ (CVCC) ไปตกกระทบกับกระจกโค้งอีกตัวหนึ่งที่จะทำหน้าที่รวมแสงที่เกิดจากการหักเหจากค่าความแตกต่างของแกร์เดียนระหว่างความหนาแน่นของสเปร์ย์เชื้อเพลิงและลำของเชื้อเพลิงที่ไม่เท่ากัน ทำให้เกิดภาพขึ้น แล้วบันทึกภาพด้วยกล้องวิดีโอ



รูปที่ 2.8 หลักการถ่ายภาพแบบซูรีเรน (Schlieren)

2.10 ห้องเผาไหม้แบบปริมาตรคงที่ (CVCC : Constant Volume Combustion Chamber)

เป็นอุปกรณ์ที่จำลองการทำงานของเครื่องยนต์ ช่วง Compression Stroke เพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาคูณลักษณะสเปร์ย์ CVCC นั้นถูกพัฒนาขึ้นมาพิเศษเพื่อสามารถมองผ่านเข้าไปเห็นกระบวนการเผาไหม้ภายในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นใดไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ รวมถึงลักษณะสเปร์ยตอนฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้ โดย CVCC มีกระจกควอตซ์ที่ด้านข้างทั้งสองข้างของห้องเผาไหม้แบบปริมาตรคงที่ และยังคงติดตั้งด้วย Sensor วัดความดันเริ่มต้นของห้องเผาไหม้ ซึ่งเกิดจากการอัดแก๊สเข้าไปเพื่อจำลองการทำงานสถานะ Compression Stroke ที่ถูกสูบลูกอัดขึ้นไปเพื่อรอการจุดระเบิดของน้ำมันเชื้อเพลิงและเกิดการเผาไหม้ อุปกรณ์ดังกล่าวได้แก่ เครื่องยนต์สำหรับงานวิจัยแบบมองเห็นการเผาไหม้ได้ (Optical Research Engine) เครื่องอัดเร็ว (Rapid Compression Machine) และ ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ (Constant Volume Combustion Chamber) โดยงานวิจัยนี้เราได้เลือกใช้ห้องห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ (Constant Volume Combustion Chamber) เพราะเป็นห้องเผาไหม้ที่สามารถสังเกตเห็นลักษณะสเปร์ยของน้ำมันเชื้อเพลิงได้โดยอาศัยหลักการถ่ายภาพแบบซูริเรน (Schlieren) ที่ได้รับการออกแบบไว้ในปีการศึกษา 2554 โดยนักศึกษาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รูปที่ 2.9 ห้องเผาไหม้แบบปริมาตรคงที่

2.11 Zeuch's method

กระบวนการ Zeuch's method เป็นวิธีการวัดปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงซึ่งสามารถที่จะหาคุณลักษณะการฉีดของหัวฉีดได้อย่างครบถ้วนได้แก่ ความล่าช้าของการฉีด ระยะเวลาการฉีด เป็นต้น โดยมีอุปกรณ์การทดลองคือ 1.ห้องจำลองปริมาตรคงที่ (Constant volume chamber) 2.อุปกรณ์เพื่อใช้ในการวัดและเก็บข้อมูลจากการทดลอง 3.หัวฉีดเพื่อใช้ในการทดสอบอัตราการฉีด โดยอาศัยหลักการคือการฉีดน้ำมันเข้าภายในห้องจำลองที่มีการอัดเชื้อเพลิงจนเต็มอยู่ภายในและควบคุมความดันให้คงที่ ซึ่งเมื่อมีการฉีดน้ำมันเข้าภายในห้องจำลองนี้ย่อมมีความดันที่เพิ่มขึ้นจึงสามารถคำนวณหาปริมาณของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปได้โดยการใช้สมการอัตราการผลิตของมวล และใช้โมดูลัสการอัดตัว (Isothermal Bulk modulus) มาใช้ในการคำนวณด้วย ในการทดลองนี้ได้มีการควบคุมให้อุณหภูมิของน้ำมันภายในห้องทดลองขณะทำการทดลองคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสามารถคำนวณหาค่าโมดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิงตามสมการที่ (2.4) และการคำนวณหาอัตราการฉีดเชื้อเพลิงตามสมการที่ (2.5)

$$K_B = V_0 \frac{\Delta P_K}{\Delta V_K} \quad (2.4)$$

เมื่อ K_B คือ โมดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิง(MPa)

V_0 คือ ปริมาตรคงที่ของห้องจาลอง(m^3)

ΔP_K คือ ความดันที่เปลี่ยนแปลงของห้องจาลอง(MPa)

ΔV_K คือ ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงของห้องจาลอง (m^3)

$$\frac{dm}{dt} = \rho \frac{V_0}{K_B} \frac{dP}{dt} \quad (2.5)$$

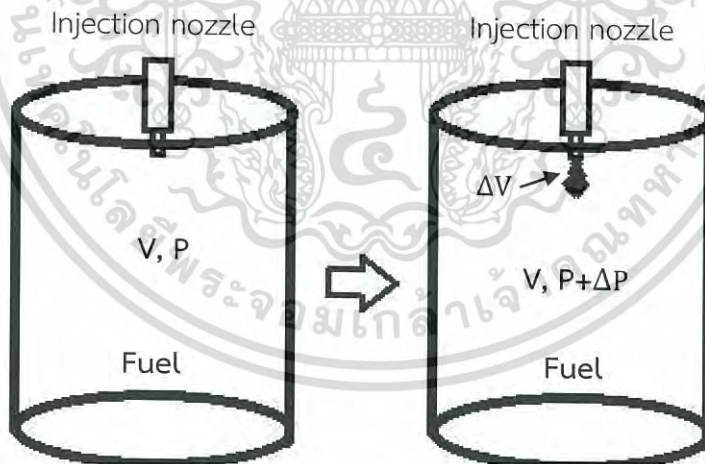
เมื่อ $\frac{dm}{dt}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวล (mg/ms)

ρ คือ ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (kg/m^3)

V_0 คือ ปริมาตรคงที่ของห้องจาลอง(m^3)

K_B คือ โมดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิง(MPa)

$\frac{dP}{dt}$ คือ ความดันที่เปลี่ยนแปลงของห้องจาลองในรูปของความดันที่เพิ่มขึ้นต่อเวลา (MPa/ms)

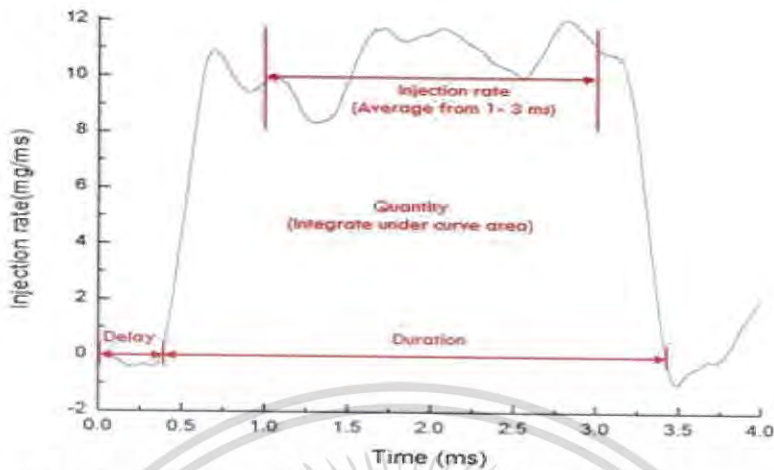


รูปที่2.10 หลักการวัดด้วยวิธี Zeuch

จากรูปที่2.10 เป็นการวัดปริมาณการฉีดของเชื้อเพลิง โดยการวัดความดันที่เปลี่ยนแปลงภายในห้องจาลอง (ΔP) ที่มีความดันเริ่มต้น (P) และปริมาตร (V) คงที่ แล้วนำมาคำนวณโดยใช้ค่าโมดูลัสการอัดตัว (K_B) ของน้ำมันมาช่วยในการคำนวณหาปริมาณการฉีดของเชื้อเพลิง (ΔV) สมการความสัมพันธ์ระหว่างความดัน ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลง ปริมาตรคงที่ของห้องจาลองและโมดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 การกำหนดคุณลักษณะของการฉีดเชื้อเพลิง



รูปที่ 2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดเพลิงกับเวลา [10]

จากรูปที่ 2.11 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีด (Injection rate) ที่ กับเวลา (Time) ซึ่งกราฟนี้สามารถบอกคุณลักษณะการฉีดเชื้อเพลิงได้ดังนี้

2.12.1 ความล่าช้าการฉีด (Injection delay)

ความล่าช้าของการฉีด [11] คือความล่าช้าในการทำงานของอุปกรณ์ซึ่งส่งผลให้หัวฉีดมีการทำงานล่าช้าจากการสั่งของอุปกรณ์ควบคุม

2.12.2 ระยะเวลาการฉีด (Injection duration)

ระยะเวลาการฉีด [11] คือระยะเวลาที่หัวฉีดทำการฉีดจริงซึ่งสังเกตได้จากความดันที่เปลี่ยนแปลงภายในห้องจำลอง สังเกตได้จากเวลาที่หัวฉีดทำการฉีดจนถึงเวลาปิด

2.13 การคำนวณเกี่ยวกับอัตราการฉีดเชื้อเพลิงเฉลี่ย

2.13.1 ปริมาณการฉีด (Injection quantity)

ปริมาณการฉีด คือ พื้นที่ใต้กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดกับเวลาในช่วงระยะเวลาการฉีด ซึ่งได้จากรูปที่ 2.11

2.13.2 อัตราการฉีดเชื้อเพลิงเฉลี่ย (Real mass flow rate)

อัตราการฉีดเชื้อเพลิงเฉลี่ย คือ การหาพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดกับเวลาหารด้วยระยะเวลาการฉีด (Injection duration) ซึ่งได้จากรูปที่ 2.11

2.13.3 Discharge Coefficient

Discharge Coefficient คือ สัดส่วนระหว่างอัตราการฉีดของเชื้อเพลิงเฉลี่ยกับอัตราการฉีดของเชื้อเพลิงเชิงทฤษฎีซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของหัวฉีดแสดงในรูปสมการได้เป็น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_d = \frac{\dot{m}_{measured}}{n_{orifice} s \sqrt{2\Delta P \rho}} \quad (2.6)$$

เมื่อ C_d	คือ Discharge Coefficient
$\dot{m}_{measured}$	คือ อัตราการฉีดเชื้อเพลิงเฉลี่ย (mg/ms)
$n_{orifice}$	คือ จำนวนรูหัวฉีด
ΔP	คือ ความแตกต่างระหว่างความดันของหัวฉีดกับความดันในห้องเผาไหม้ จำลอง (MPa)
ρ	คือ ความหนาแน่นของน้ำมัน (kg/m^3)
s	คือ พื้นที่หน้าตัดรูหัวฉีด (m^2)

2.13.4 Reynolds number

Reynolds number คือ ตัวแปรไร้มิติซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความเร็ว (V_{mean}) และความหนืด (ν) โดย Reynolds number นั้นสามารถเพิ่มขึ้นตามความเร็ว

$$Re = \frac{V_{mean} D_0}{\nu} \quad (2.7)$$

$$V_{mean} = \frac{\dot{m}_{measured}}{s * \rho * n_{orifice}} \quad (2.8)$$

เมื่อ V_{mean}	คือ ความเร็วทางออกหัวฉีด (m/s)
D_0	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด (mm)
ν	คือ ความหนืดจลน์ (cSt)
s	คือ พื้นที่หน้าตัดรูหัวฉีด (m^2)
ρ	คือ ความหนาแน่นของน้ำมัน (kg/m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.5 Cavitation number

Cavitation number คือ ตัวแปรไร้มิติที่บ่งบอกถึงการเกิดฟองอากาศภายในของไหล

$$K_c = \frac{P_{injection} - P_v}{P_{injection} - P_{back\ pressure}} \quad (2.9)$$

เมื่อ K_c คือ Cavitation number

$P_{injection}$ คือ ความดันในการฉีด (MPa)

P_v คือ ความดันของเหลวที่ทำให้เกิดเป็นไอ (MPa)

$P_{back\ pressure}$ คือ ความดันภายในห้องเผาไหม้จำลอง (MPa)

*ในงานวิจัยนี้ได้มีการกำหนดให้ความดันของเหลวที่ทำให้เกิดเป็นไอ (P_v) ไม่มีผลกับการทดลอง เนื่องจากเป็นการทดลองในระบบปิดจึงทำให้ไม่มีการเกิดเป็นไอของน้ำมัน

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาคุณลักษณะสเปิร์ยและอัตราการฉีดเชื้อเพลิงของน้ำมัน HVO มาเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำมัน HVO [2] งานวิจัยนี้ใช้น้ำมัน HVO และน้ำมันดีเซล EN950 มาทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล เทอร์โบชาร์จ 8.4 ลิตร 6 สูบ 4 จังหวะ โดยนำเครื่องยนต์นี้ไปทดสอบกับเครื่อง dynamometer โดยวัดค่าไอเสีย เขม่าหรืออนุภาคคาร์บอน แต่ยังไม่ได้มีการนำน้ำมัน HVO มาใช้งานจริงกับเครื่องยนต์ในปัจจุบัน ซึ่งตอนนี้อยู่ในขั้นทดลองเพื่อศึกษาความเหมาะสมว่าสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน ซึ่งผลจากการวิจัยทดสอบน้ำมัน HVO กับเครื่องยนต์ดีเซล พบว่าสามารถลดมลพิษที่เกิดจากการสันดาปภายในของเครื่องยนต์ได้จริงโดยเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลที่มี HVO เป็นส่วนผสม 30% ซึ่งพบว่ามีเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงเนื่องจากน้ำมัน HVO มีระยะเวลาการเผาไหม้นานกว่าจึงทำให้มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า (ดังตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 มลพิษที่ลดลงจากการสันดาปภายในของเครื่องยนต์

Emission	Effect Of HVO
CO	(-5%) – (-78%)
NO _x	(-7%) – (-14%)
THC	(0%) – (-48%)
Particulate mass	(-28%) – (-26%)

และอีกงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำมัน HVO [3] ได้ใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมัน HVO ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล เทอร์โบชาร์จ 2.5 ลิตร 4 สูบ ต่อกับไดนาโมมิเตอร์ โดยผลจากการทดสอบพบว่า HVO นั้นสามารถลดมลพิษต่าง ๆ ได้เช่น สารไฮโดรคาร์บอน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น แต่ทางตรงกันข้าม สารนี้เป็นสารที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและการศึกษาเท่านั้น เมื่ออยู่ติดเตาไปใช้ประโยชน์ด้านนี้ก็ไม่ควรนิ่งนอนใจ หวังว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้ามมี NOx ที่เกิดเพิ่มมากขึ้นมากกว่าน้ำมันดีเซลปกติ ซึ่งเกิดจากการที่ น้ำมัน HVO นั้นมีคุณสมบัติในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า ทำให้เกิดอุณหภูมิการเผาไหม้สูงจึงทำให้เกิด NOx เพิ่มมากขึ้นตาม (ดังตารางที่ 2.2)

ตารางที่2.2 มลพิษของน้ำมันดีเซลเทียบกับน้ำมัน HVO

	Diesel	HVO 100
CO (ppm)	260	200.9
CO ₂ (%)	8.46	8.13
NO _x (ppm)	836.3	886.8
HC (ppm)	107.84	86.01

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาลักษณะสเปรย์ที่ผ่านมาจะเป็นการศึกษาคุณลักษณะสเปรย์ของน้ำมันดีเซลมาเปรียบเทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิง Dimethyl Ether (DME)[1] แต่งานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาคุณลักษณะของสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงHVO และมีความแตกต่างของค่าความดันของหัวฉีด ,ความดันในห้องเผาไหม้จำลอง และระยะเวลาการฉีดของน้ำมันเชื้อเพลิง ได้ข้อสรุปได้ DME spray มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกับดีเซลเมื่อปรับความดันในห้องเผาไหม้ต่างกัน ความยาวสเปรย์ของDME แทบจะไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการฉีดแต่ปริมาณการฉีดได้ส่งผลกระทบต่อรูปร่างของสเปรย์เมื่อมีปริมาณการฉีดที่น้อยความยาวสเปรย์ที่ได้ก็ยิ่งน้อย และสเปรย์ของDME มีความยาวที่น้อย เกิดignition delayน้อย ระเบิดได้ไว ซึ่งส่งผลดีต่อมลพิษที่จะปล่อยออกไปน้อยลง แล้วด้วยข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปออกแบบcombustion chamberที่เหมาะสมกับDME sprayได้

Dernotte และคณะ[17] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของเชื้อเพลิงความหนาแน่น, ความหนืด และแรงตึงผิวที่กระทำต่อขั้นตอนการฉีดในเครื่องยนต์ดีเซล ในช่วงที่เกิดสเปรย์และขนาดการกระจายตัวของละอองสเปรย์หลังจากได้ผลของความยาวสเปรย์และองศาของสเปรย์ที่ทำการทดลองโดยใช้ 8 น้ำมันที่แตกต่างกัน พบว่าทั้งส่วนของสเปรย์ และส่วนของการกระจายตัวของละอองนั้น ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงมีผลกระทบต่อทั้งสองส่วน

น้ำมันที่มีค่าความหนาแน่นมากจะมีผลของความยาวสเปรย์ที่มากกว่า และเมื่อความหนาแน่นในห้องเผาไหม้ลดลง องศาของสเปรย์จะค่อยๆลดลงเนื่องจากผลของ aerodynamic ในส่วนของค่าความหนืดที่มากส่งผลให้เกิดความยาวของสเปรย์มากขึ้น กลับกันกับองศาของสเปรย์ เมื่อค่าความหนืดมาก องศาสเปรย์ที่ได้จะน้อย เชื่อว่าความหนืดที่มากส่งผลให้เกิดระดับturbulenceที่ออกจากหัวฉีดน้อย และเกิดการหน่วงเนื่องจาก cavitation และaerodynamic force

ในส่วนสุดท้ายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอัตราการฉีดเชื้อเพลิง Octavio Armas และคณะ [13] ศึกษาผลของความดันในการฉีดของหัวฉีด ความดันภายในห้องจำลองที่ส่งผลต่ออัตราการฉีด โดยได้ข้อสรุปว่าการเพิ่มความดันในห้องจำลอง (Zeuch) นั้นไม่มีผลต่ออัตราฉีด แต่การเพิ่มความดันในการฉีดนั้นส่งผลให้มีระยะเวลาการฉีดที่สูงขึ้น จึงเป็นผลให้มีอัตราการฉีดที่มากขึ้น ซึ่งจากข้อมูลที่ได้นั้นทำให้ทราบถึงปริมาณการฉีดของน้ำมันได้

โดยปริมาณของน้ำมันที่ฉีดนั้นจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของน้ำมันแต่ละชนิด ซึ่งในน้ำมันที่มีความหนาแน่นที่สูงกว่าจะทำให้มีปริมาณในการฉีดที่สูงกว่าน้ำมันที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การทดลองในงานวิจัยครั้งนี้จะแบ่งเป็น 3 ส่วน 1. เป็นการทดลองหาคคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง HVO และ ดีเซล เพื่อนำคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้ มาทำการวิเคราะห์ในการทดลองส่วนที่สอง 2.เป็นการทดลองศึกษาคุณลักษณะของสเปรย์เชื้อเพลิง HVO และ ดีเซล 3. ผลการศึกษาคุณลักษณะการฉีดและอัตราการฉีดของน้ำมัน

3.1 การผสมน้ำมันเชื้อเพลิง

นำน้ำมันเชื้อเพลิงHVO ผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลโดยผสมมวลของเชื้อเพลิงแปรผันตามสัดส่วนให้ได้มวลรวม14000g.ตามตารางที่3.1 จากนั้นทำการเขย่าน้ำมันทั้งสองในเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขในการศึกษา

$m=14000g.$

Fuel	Weight_HVO (g.)	Weight_Diesel (g.)
Diesel	0	14000
HVO-10	1400	12600
HVO-30	4200	9800
HVO-50	7000	7000
HVO-70	9800	4200
HVO-90	12600	1400
HVO	14000	0

3.2 การทดลองศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิง

3.2.1 การทดลองหาความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (Density)

นำน้ำมันเชื้อเพลิง Diesel HVO-10 HVO-30 HVO-50 HVO-70 HVO-90 และHVO-100 ทำการทดสอบไปทดสอบด้วยเครื่องมือวัดความหนาแน่นแบบดิจิตอลตามมาตรฐาน ASTM D4052 จากนั้นเครื่องมือวัดความหนาแน่นจะแสดงผลค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงนั้นทางจอแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.1 เครื่องวัดความหนาแน่นแบบดิจิตอล Anton Paar DMA 4500

3.2.2 การทดลองหาค่าแรงตึงผิวของเชื้อเพลิง (Surface Tension)

เครื่องวัดแรงตึงผิวจะทำการจุ่ม Ring หรือ Plate ลงบนผิวของน้ำมันเชื้อเพลิงตัวอย่าง จากนั้นจะเลื่อน Ring หรือ Plate โดยอัตโนมัติ ด้วยการขับของservo motor และ สรุปลค่าแรงตึงผิวโดยแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ตามมาตรฐาน ASTM D1331



รูปที่3.2 เครื่องมือวัดแรงตึงผิว Kibron AquaPi

3.2.3 การทดลองหาความหนืดของเชื้อเพลิง (Viscosity)

น้ำมันเชื้อเพลิงที่ต้องการทำการทดสอบใส่ถ้วยมาตรฐานปริมาตร 60 ml แล้วนำเข้าเครื่องวัดค่าความหนืดจลน์ จากนั้นเครื่องมือจะนำน้ำมันตัวอย่างไหลขึ้นไปและจับเวลาเมื่อของไหล ไหลผ่านท่อขนาดมาตรฐาน ลงสู่ถ้วยมาตรฐาน ค่าความหนืดที่ได้จะเป็นหน่วยCentistoke ตามมาตรฐาน ASTM D445-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.3 เครื่องมือวัดค่าความหนืดจลน์ CANNON รุ่น mini-av-x

3.2.4 การทดลองหาจำนวนคาร์บอนและไฮโดรเจนของน้ำมันเชื้อเพลิงHVO

เปิดเครื่องมือหาจำนวนคาร์บอนและไฮโดรเจน และโปรแกรมวิเคราะห์ผล ทำการจ่ายออกซิเจน, ก๊าซฮีเลียม และน้ำมันเชื้อเพลิงที่จะทำการตรวจสอบเข้าไปเครื่อง ตั้งค่าอุณหภูมิของการเผาไหม้ 950 องศาเซลเซียส จากนั้นสั่งจากโปรแกรมเพื่อดำเนินการทดสอบ ก๊าซออกซิเจนและน้ำมันเชื้อเพลิงจะทำปฏิกิริยากันทำให้เกิดการเผาไหม้ และได้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้คือโมเลกุล H_2O และ CO_2 ซึ่งก๊าซฮีเลียมจะมาดักจับผลิตภัณฑ์เหล่านี้ และตัวโปรแกรมจะทำการบันทึกผลค่าไฮโดรเจน และคาร์บอน จากโมเลกุลที่ก๊าซฮีเลียมจับได้ ตามมาตรฐาน ASTM D5373



รูปที่3.4 เครื่องมือทดสอบหาจำนวนคาร์บอน และ ไฮโดรเจนของน้ำมันเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 การทดลองหาค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง (Heating Value)

ต่อขดลวดกับ electrode เข้าไปในเครื่อง Bomb Calorimeter จากนั้นซึ่งสารตัวอย่างโดยให้มีน้ำหนักประมาณ 0.5-2 กรัม จากนั้นบรรจุตัวอย่างลงในถ้วยใส่ตัวอย่างและจัดขดลวดให้สัมผัสกับตัวอย่าง ทำการบรรจุ Electrode Assy ลงไปใน Bomb เมื่อเสร็จแล้วทำการปิดฝา bomb แล้วเติมออกซิเจนให้ได้ความดัน 30 bar สุดท้ายนำ Bomb Body จุ่มลงใน water jacket ซึ่งภายในจะมีน้ำอยู่แล้ว แล้วต่อ Bomb Calorimeter ให้ครบวงจรเสร็จแล้วกดปุ่ม test ในระหว่างการทำการทดลองการทำงานของโปรแกรมภายในเครื่อง Bomb Calorimeter ก็เริ่มขึ้น เมื่อเสร็จสิ้นจะโปรแกรมจะแสดงค่าความร้อนของสารตัวอย่าง ตามมาตรฐาน ASTM D240



รูปที่ 3.5 เครื่องมือการทดลองหาค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง Bomb Calorimeter

3.2.6 การทดลองหาจุดวาบไฟ (Flash Point)

วัดหาจุดวาบไฟหรือ Flash Point โดยใช้เครื่องมือทดสอบหาจุดวาบไฟยี่ห้อ TANAKA รุ่น APM-7 โดยการนำสารตัวอย่างบรรจุลงในภาชนะบรรจุและนำเข้าเครื่อง เครื่องจะคนสารตัวอย่างตลอดเวลาเพื่อการทดสอบที่ง่ายขึ้น จากนั้นเครื่องมือจะทำการให้ความร้อนแก่สารตัวอย่างจนสารตัวอย่างเกิดไฟวาบขึ้น และเมื่อเสร็จสิ้นการหาจุดวาบไฟ เครื่องจะมีสัญญาณดังขึ้นพร้อมแสดงค่าจุดวาบไฟออกทางหน้าจอแสดงผล ตามมาตรฐาน ASTM D93

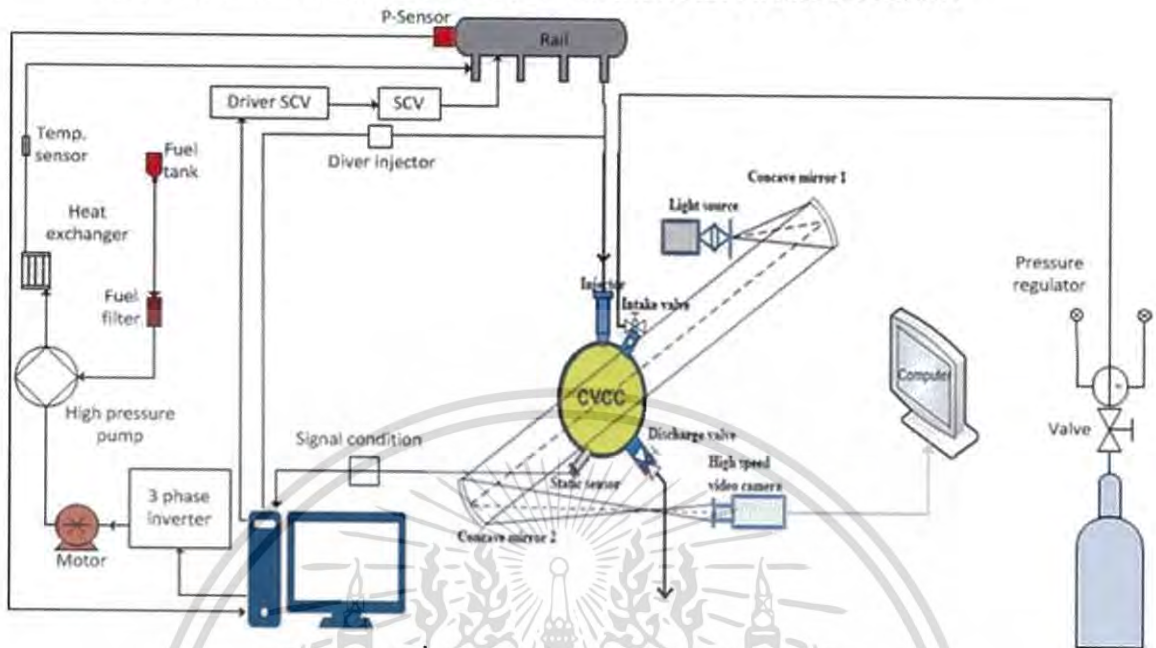


รูปที่ 3.6 เครื่องมือการทดลองหาจุดวาบไฟ TANAKA APM-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของศูนย์วิจัยและพัฒนาเพื่ออุตสาหกรรมหลวง ในหลวงวัดไร่ยาวไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 อุปกรณ์การทดลองศึกษาคุณลักษณะของสเปร์ย์

3.3.1 แผนผังการทดลองโดยรวมของการศึกษาคุณลักษณะของสเปร์ย์เชื้อเพลิง



รูปที่ 3.7 แผนผังอุปกรณ์การทดลอง

จากแผนผังชุดอุปกรณ์การทดลองสามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ 1.ระบบจ่ายและระบายแก๊ส 2.ระบบควบคุมและการวัดค่าต่างๆ 3.ระบบปั๊มจ่ายน้ำมัน 4.ห้องเผาไหม้จำลองแบบปริมาตรคงที่

ส่วนที่ 1 ระบบจ่ายและระบายแก๊สสามารถจำแนกแก๊สที่เกี่ยวข้องกับการทดลองออกเป็น 2 ชนิด คือ ไนโตรเจน และอากาศ โดยจะมีวาล์ว (Valve) จ่ายและระบายแก๊สในห้องเผาไหม้จำลองทั้งก่อนและหลังการทดลองเพื่อให้อากาศเสียไหลออกจากห้องเผาไหม้จำลองและจ่ายแก๊สใหม่เข้าไปแทนที่

ส่วนที่ 2 ระบบควบคุมและการวัดโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) เป็นตัววัดอุณหภูมิน้ำมันก่อนฉีดเข้าห้องเผาไหม้จำลองและชุดควบคุมเป็นตัวส่งการส่งสัญญาณไฟฟ้า Electronic Drive Unit (EDU) ให้หัวฉีดทำการฉีดน้ำมันเข้าห้องเผาไหม้จำลองและส่งให้กล่องวิดีโอทำการบันทึกภาพขณะฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแล้วจะใช้เซ็นเซอร์วัดความดันสัญญาณผ่านตัวแปลงกระแสไฟ (Charge Amplifier) ส่งต่อมาที่ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) เพื่อทำการวัดและเก็บผลค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปและนำมาคำนวณหาความดันเผาไหม้

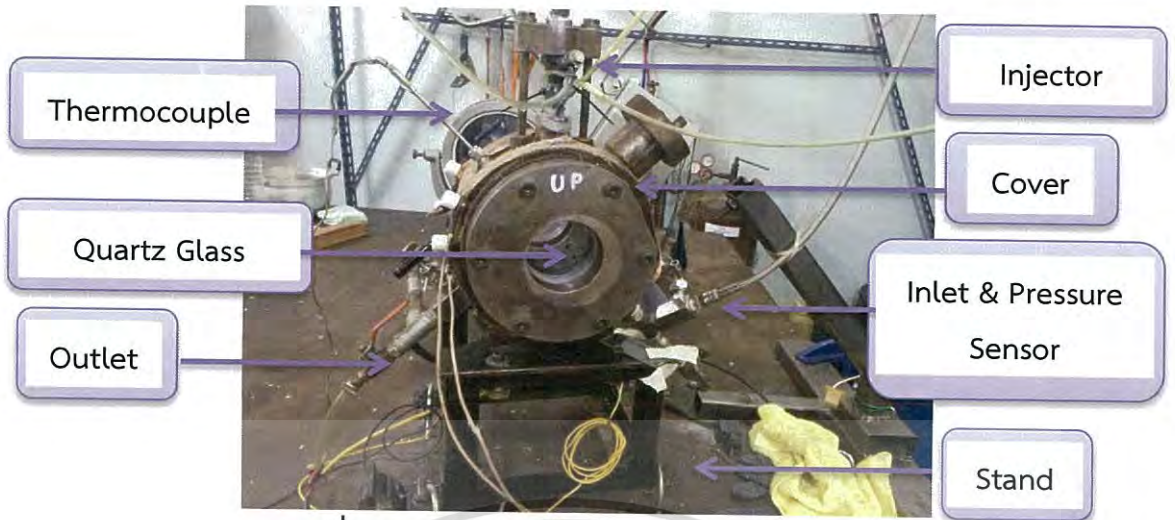
ส่วนที่ 3 ระบบปั๊มจ่ายน้ำมันในระบบนี้เพิ่มแรงดันน้ำมันในระบบให้มีค่าความดันที่ 40, 60, 80, 100, 120, 140 และ 160 MPa ตามลำดับโดยที่มี Inverter Unit ที่คอยควบคุมความเร็วของมอเตอร์แล้วส่งต่อไปยังหัวฉีดเชื้อเพลิงที่อยู่ในห้องเผาไหม้

ส่วนที่ 4 ห้องเผาไหม้จำลองแบบปริมาตรคงที่ห้องเผาไหม้จำลองจะมีเซ็นเซอร์วัดความดันภายในห้องเผาไหม้ที่เปลี่ยนไปตามเวลา (Dynamic Pressure Sensor) และหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Injector)

3.3.2 ห้องเผาไหม้จำลองปริมาตรคงที่

ห้องเผาไหม้จำลองปริมาตรคงที่เป็นห้องเผาไหม้ที่สามารถสังเกตลักษณะของสเปร์ย์น้ำมันเชื้อเพลิงและการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงได้ โดยมีกระจกควอตซ์ที่ฝาปิดด้านข้างทั้งสองด้าน ภายในจะการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความดันที่เปลี่ยนไปตามเวลาและหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.8 แสดงห้องเผาไหม้จำลองแบบปริมาตรคงที่

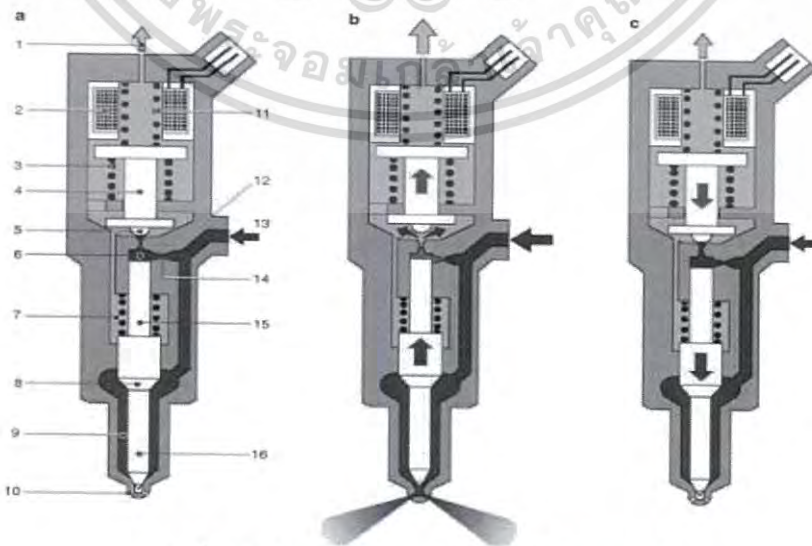
3.3.3 ระบบควบคุมและการวัด

หัวฉีดโซลินอยด์ เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ที่ฝาสูบของเครื่องยนต์ซึ่งต่อกับรางร่วมความดันสูงของระบบคอมมอนเรลซึ่งทำหน้าที่ในการฉีดเชื้อเพลิง จะถูกควบคุมโดยกล่องหัวฉีดแบบโซลินอยด์ มีหลักการทำงานดังนี้

- ในขณะที่ยังไม่มีการฉีดเชื้อเพลิง จากรูป 4a ลิ้นโซลินอยด์จะปิดช่องทางของห้องควบคุมความดันสูงซึ่งจะมีพื้นที่หน้าตัดมากกว่าห้องความดันด้านล่างลิ้นของเข็มหัวฉีดจึงถูกกดให้อยู่ในตำแหน่งปิดสนิท

- เมื่อมีสัญญาณการฉีดจาก ECU ไหลผ่านเข้าขดลวดโซลินอยด์ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเอาชนะแรงของสปริงที่กอดอยู่ด้านบนของลิ้นโซลินอยด์ ลิ้นโซลินอยด์จึงยกขึ้น ดังรูปที่ 4b เปิดช่องทางของห้องควบคุม เป็นผลให้ความดันในห้องควบคุมตก ดังนั้นความดันเชื้อเพลิงที่ด้านล่างของเข็มหัวฉีดจะยกเข็มหัวฉีดเปิดช่องทางให้เชื้อเพลิงไหลผ่านลิ้นหัวฉีดผ่านรูหัวฉีดให้เป็นฝอยละออง

- เมื่อหยุดส่งสัญญาณไฟฟ้าที่โซลินอยด์ ลิ้นโซลินอยด์จะลงกลับมาตำแหน่งของห้องควบคุมปริมาตร จากนั้นเข็ม ของหัวฉีดจะถูกดันกลับมาตำแหน่งเดิม ดังรูปที่ 4c

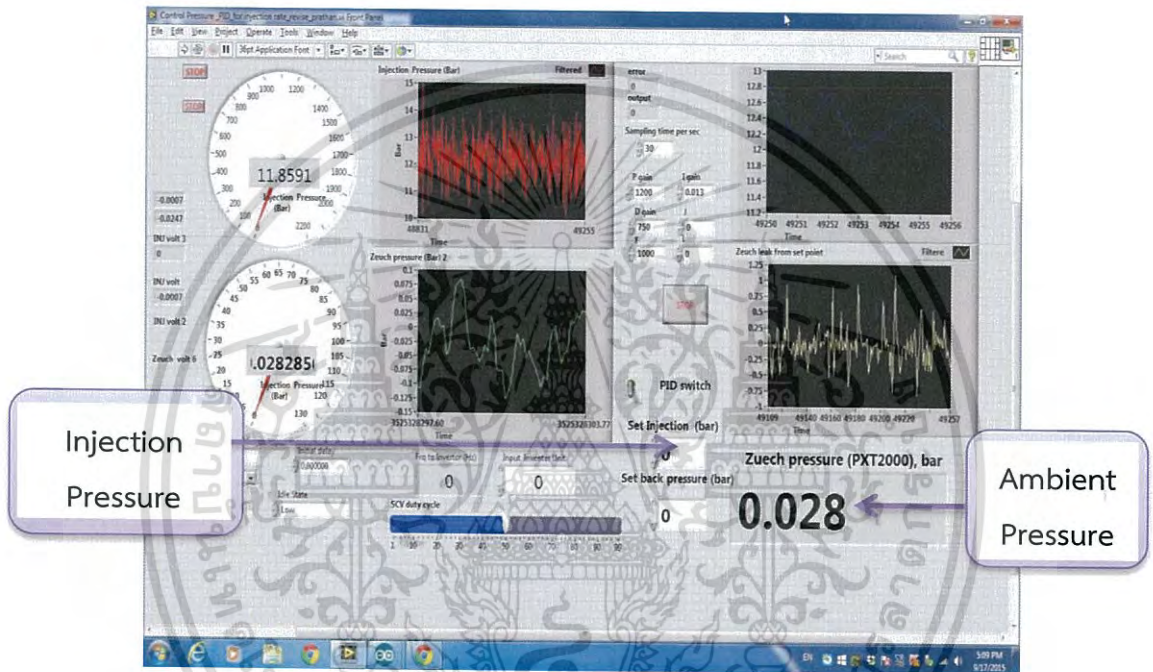


รูปที่3.9 หลักการทำงานของหัวฉีดโซลินอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 ระบบควบคุมและการวัด

ระบบควบคุมและการวัดมีอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการควบคุมและการวัดได้แก่ 1. อุปกรณ์ควบคุมสัญญาณไฟฟ้าสั่งเปิดและปิดการจ่ายกระแสไฟฟ้าตามเวลาที่เรากำหนดลงในชุดควบคุม และส่งสัญญาณไฟฟ้าไปที่ชุดขับเคลื่อนหัวฉีดทำการยกเข็มหัวฉีดพร้อมสั่งให้กล่องทำการบันทึกภาพขณะฉีดเชื้อเพลิงถูกช่วงเวลาเพื่อลดการบันทึกของข้อมูลในส่วนที่ไม่จำเป็น ดังรูปที่3.10 2. เซนเซอร์วัดความดันจะทำการส่งสัญญาณความดันที่วัดได้เข้ามาที่ออสซิลโลสโคป ดังรูปที่3.11 3. ออสซิลโลสโคปจะทำการวัดและเก็บผลค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป 4. เทอร์โมคัปเปอรวัดอุณหภูมิของน้ำเลี้ยงและน้ำมันก่อนไหลเข้าปั๊มคอมมอลเรลแล้วส่งค่าที่วัดได้ไปที่จอแสดงผล ดังรูปที่...

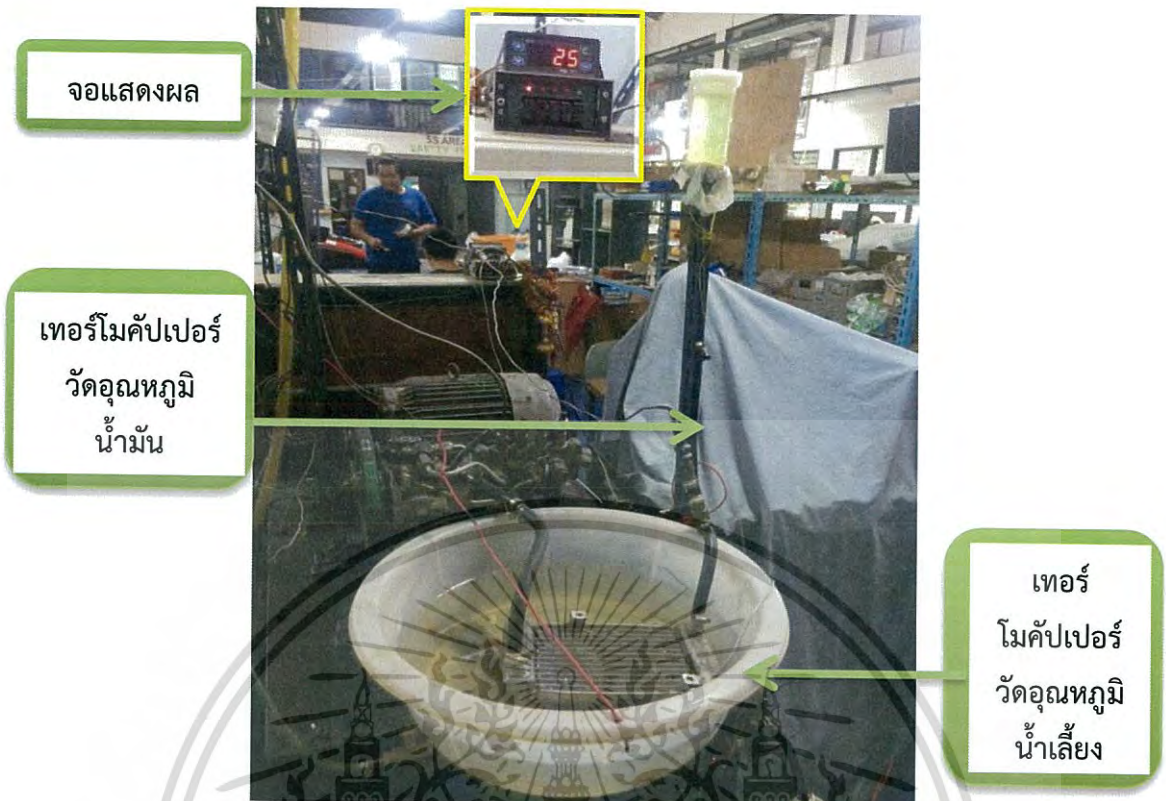


รูปที่3.10 โปรแกรมควบคุมความดัน

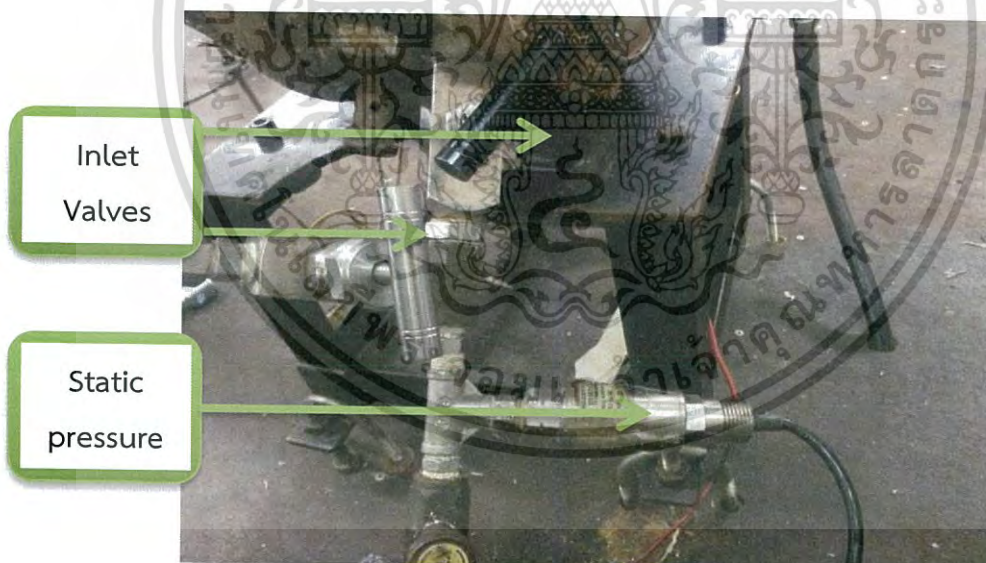


รูปที่3.11 แสดงออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและจอแสดงผล

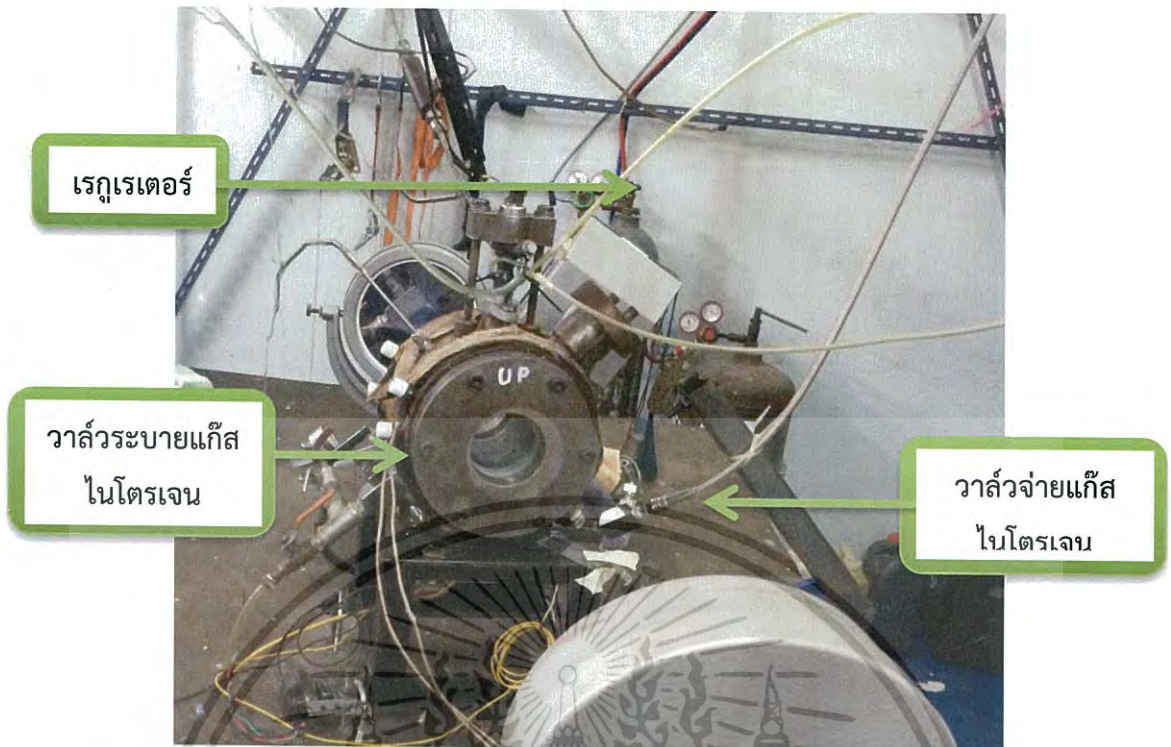


รูปที่ 3.13 แสดงเครื่องวัดความดัน

3.3.5 การจ่ายและระบายแก๊ส

ระบบจ่ายและระบายแก๊สสามารถจำแนกแก๊สที่เกี่ยวข้องกับการทดลองออกเป็น 2 ชนิด คือ ไนโตรเจน และอากาศ โดยจะมีวาล์ว (Valve) จ่ายและระบายแก๊สในห้องเผาไหม้จำลองทั้งก่อนและหลังการทดลองเพื่อให้อากาศเสียไหลออกจากห้องเผาไหม้จำลองและจ่ายแก๊สใหม่เข้าไปแทนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 ระบบจ่ายและระบายแก๊ส

3.3.6 ระบบจ่ายน้ำมัน

ระบบปั๊มจ่ายน้ำมันในระบบนี้เพิ่มแรงดันน้ำมันในระบบให้มีค่าความดันที่ 40, 60, 80, 100, 120, 140 และ 160 MPa ตามลำดับโดยที่มิเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับปั๊มให้สร้างแรงดันซึ่งแรงดันจะแปรผันตามจำนวนรอบของมอเตอร์ มอเตอร์จะอินเวอร์เตอร์คอนโทรล (Inverter Control Unit) ที่คอยควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์โดยจะปรับความถี่ของสัญญาณไฟให้มอเตอร์หมุนแล้วส่งต่อไปยังรางร่วม (Common Rail) และหัวฉีดเชื้อเพลิงที่อยู่ในห้องเผาไหม้ตามลำดับ



รูปที่ 3.15 อินเวอร์เตอร์คอนโทรล

โปรแกรมควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงและการถ่ายภาพ โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวส่งสัญญาณเพื่อควบคุมเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีด และควบคุมกล้องวิดีโอความเร็วสูงให้บันทึกภาพ โดยสามารถกำหนดค่าต่างๆของการทดลอง ได้แก่ เวลาในการฉีดเชื้อเพลิง และควบคุมการทำงานของกล้องวิดีโอความเร็วสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

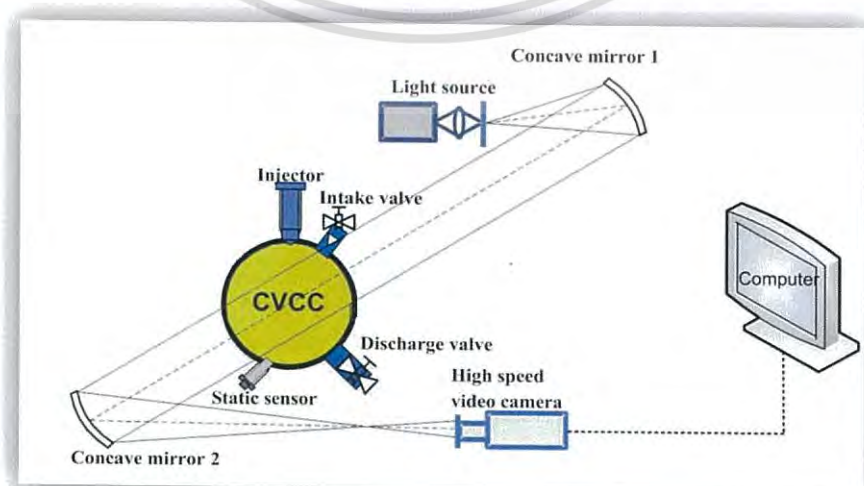
ระบบที่ใช้รางจ่ายเชื้อเพลิงตัวเดียวสำหรับทุกสูบ (Common rail) และส่งเชื้อเพลิงความดันสูงไปยังหัวฉีด แล้วทำการฉีดด้วยสัญญาณจากชุดควบคุมเครื่องยนต์ หัวฉีดมีหลายแบบแตกต่างกันโดยทั่วไปหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงทำงานโดยการควบคุมการทำงานโดยกล่องควบคุมจ่ายสัญญาณกราวด์ให้ และขดลวดทองแดงในหัวฉีดจะทำงานโดยสร้างสนามแม่เหล็ก และก็ใช้แรงนี้ยกเข็มหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแรงดันน้ำมันเชื้อเพลิงที่รออยู่ที่บริเวณเข็มหัวฉีดก็สามารถฉีดออกไปบริเวณด้านหลังวาล์วไอดี ซึ่งการทดลองนี้ใช้ระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วมความดันสูง ซึ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 5 แรงม้า



รูปที่ 3.16 รางร่วม และมอเตอร์ขับเคลื่อน

3.3.7 อุปกรณ์บันทึกภาพ

ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการบันทึกภาพโดยใช้หลักการถ่ายภาพแบบซูริเรน (SHLIEREN) กับกล้องถ่ายภาพวีดีโอความเร็วสูง high speed camera ที่จะอาศัยลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (Light Source) ฉายลำแสงไปที่กระจกโค้ง (Concave Mirror) จากนั้นลำแสงจากกระจกจะสะท้อนผ่านสเปรย์เชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ (CVCC) ไปตกกระทบกับกระจกโค้งอีกตัวหนึ่งที่จะทำหน้าที่รวมแสงที่เกิดจากการหักเหจากค่าความแตกต่างของแอมพลิจูดระหว่างความหนาแน่นของสเปรย์เชื้อเพลิงและลำแสงของเชื้อเพลิงที่ไม่เท่ากันทำให้เกิดภาพขึ้น แล้วบันทึกภาพด้วยกล้องวีดีโอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้วงเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.17 ผังระบบการบันทึกภาพแบบซูริเรน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.18 ระบบซูรีเรน



รูปที่3.19 กล้องวิดีโอความเร็วสูง Photron FASTCAM-Mini-UX100

3.3.8 ขั้นตอนของการศึกษาคุณลักษณะสเปร์ย์

3.3.8.1 รูปแบบของการศึกษา

ทำการศึกษาตามเงื่อนไขโดยการกำหนดความดันภายในห้องเผาไหม้ 2.5 MPa ขนาดรูหัวฉีด 0.2 mm ระยะเวลาฉีด 2.5 ms โดยเปลี่ยนความดันในการฉีดเป็น 40, 60, 80, 100, 120, 140 และ 160 MPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขในการทดสอบ

Parameters	Unit	Conditions
Fuel		Diesel and HVO
Injection Diameter	mm	0.20 (Single hole,Solenoid injector)
Injection Duration	ms	2.5
Injection Pressure	MPa	40, 60, 80, 100, 120, 140 and 160
Ambient Pressure	MPa	2.5
Ambient Temperature	K	300
** Non Vaporization Conditions		

3.3.8.2 วิธีการทดลอง

1. เปิดระบบอุปกรณ์การทดลอง
2. ใช้โปรแกรมArduinoควบคุมระบบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและความดันรางของระบบที่ 40, 60, 80, 100, 120, 140 และ 160 MPa
3. กำหนดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ 2.5 ms
4. เปิดวาล์วถังไนโตรเจนเพิ่มความดันเริ่มต้นภายในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ที่ความดัน 2.5 MPa
5. ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงตามสภาวะที่กำหนด และส่งกล้องให้ทำการบันทึกวิดีโอด้วยโปรแกรม PFV
6. ทำความสะอาดห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่เพื่อใช้ในการทำการทดลองครั้งต่อไปและทำการเปลี่ยนน้ำมันเชื้อเพลิง
7. ใช้โปรแกรม Paint หรือ PFV เลือกช่วงของภาพที่มีสเปรย์ก่อนถึงขอบล่างของห้องเผาไหม้ และกำหนดขนาดของภาพเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB
8. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลที่ได้ตามสภาวะที่ทดลอง

3.3.9 ชุดการทดลองการวัดปริมาณการฉีดแบบ Zeuch

เป็นวิธีการวัดปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงฉีด โดยอาศัยหลักการคือการฉีดน้ำมันเข้าภายในห้องจำลองที่มีการอัดเชื้อเพลิงจนเต็มอยู่ภายในและควบคุมความดันให้คงที่ ซึ่งเมื่อมีการฉีดน้ำมันเข้าภายในห้องจำลองนี้ย่อมมีความดันที่เพิ่มขึ้นจึงสามารถคำนวณหาปริมาณของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปได้โดยอาศัยอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกัน 5 ชิ้น คือ

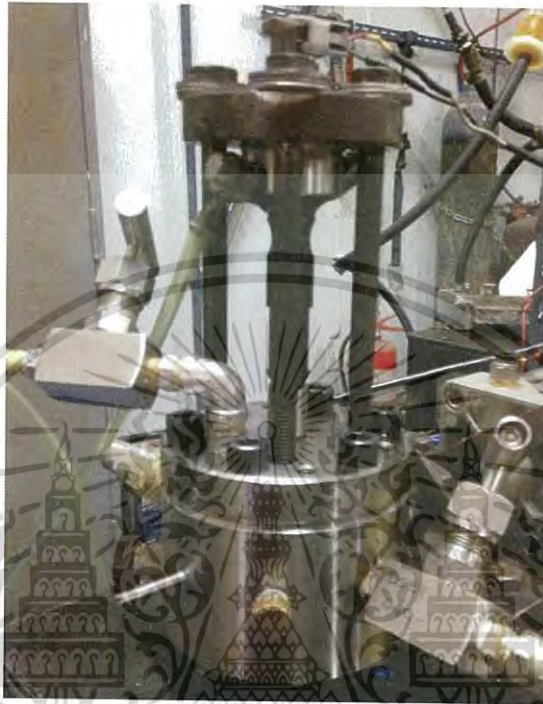
1. Top injection lock ทำหน้าที่ยึดหัวฉีดเชื้อเพลิงคอมมอนเรลเข้ากับห้องจำลองปริมาตรคงที่เพื่อไม่ให้เกิดหัวฉีดเกิดการเคลื่อนที่ขณะฉีดเชื้อเพลิง

2. Cap pneumatic ทำหน้าที่ประกอบกับลูกปั๊ม (Pump plunger) เพื่อใช้ทดลองหาค่าโมดูลัสการอัดตัว

3. Copper gasket หรือปะเก็นทองแดงทำหน้าที่ป้องกันการรั่วของน้ำมันเชื้อเพลิงออกจากห้องจำลอง เนื่องจากทองแดงมีโมดูลัสการยืดหยุ่นเท่ากับ 110 GPa ซึ่งมีเพียงพอที่นำมาป้องกันการรั่ว และรับความดันได้มากกว่า 120 MPa

เอกรังสีมีคุณสมบัติสูงในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Needle valve การเลือกวาล์วสำหรับชุดการทดลองต้องการวาล์วที่สามารถทนความดันได้สูงกว่า 120 MPa และสามารถปรับอัตราการไหลได้
5. Pump plunger หรือลูกปั๊มเป็นส่วนที่เกิดการที่เปลี่ยนแปลงปริมาตร (ΔV_k) ดังนั้นเลือกใช้ลูกปั๊มที่ต้องไม่เกิดการรั่วไหลของน้ำมันออกจากห้องจำลอง



รูปที่ 3.20 ห้องจำลองปริมาตรคงที่พร้อมกับอุปกรณ์การวัดปริมาณการฉีด

3.3.9.1 การทดลองการวัดปริมาณการฉีด

เป็นการศึกษาปริมาณของการฉีดเชื้อเพลิงตามเงื่อนไขโดยการกำหนดชนิดของเชื้อเพลิง ชนิดและเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด ความดันรางในการฉีดหรือความดันของหัวฉีด ความดันภายในห้องจำลอง และระยะเวลาของการฉีด ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.3 เงื่อนไขในการทดสอบการวัดปริมาณการฉีด

Parameters	Unit	Conditions
Fuel		Diesel and HVO
Injection Diameter	mm	0.20 (Single hole, Solenoid injector)
Injection Duration	ms	2.5
Injection Pressure	MPa	40, 60, 80, 100, 120 and 140
Ambient Pressure	MPa	2.5
Ambient Temperature	K	300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.9.2 การทดสอบการรั่ว (Leak Test)

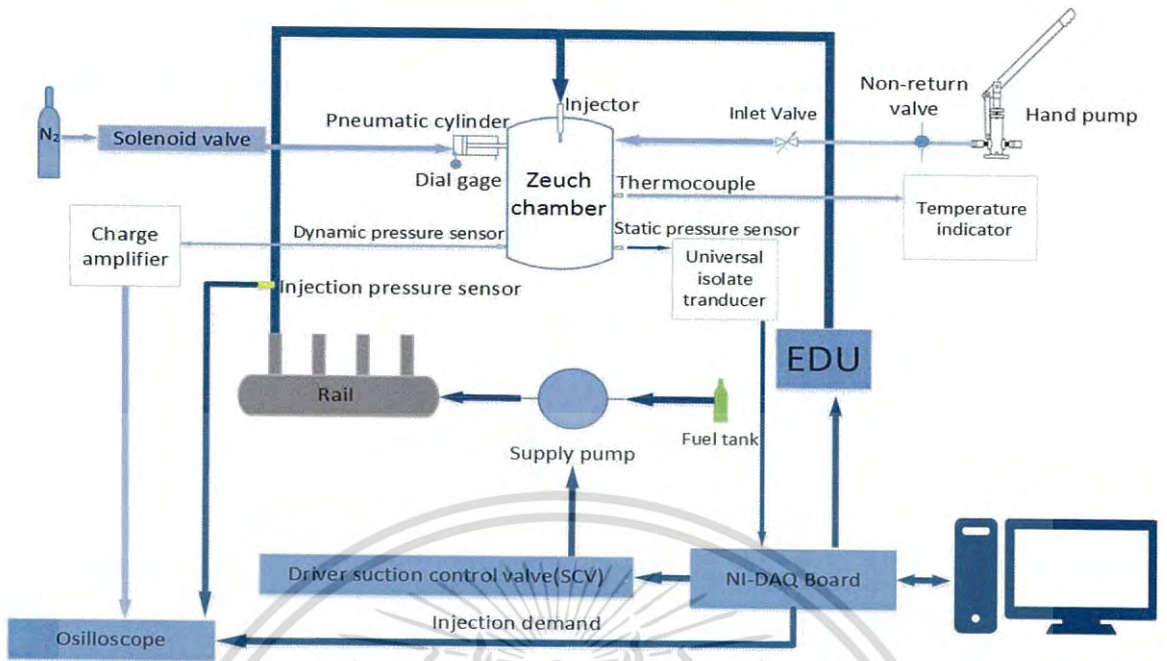
ทดสอบโดยการหาค่าความดันที่ลดลงของอุปกรณ์ขณะทำการทดลอง ซึ่งเป็นการทดสอบการรั่วของของเหลว (Hydrostatic test) โดยการทดสอบการรั่วจะใช้ความดันสูงสุดในการทดสอบ 1.5 เท่า จากความดันใช้งานของอุปกรณ์ที่เท่ากับ 2.5 MPa เพื่อความปลอดภัยจึงมีการเผื่อค่าความปลอดภัย (Safety factor) โดยทำการทดสอบที่ 2.4 เท่าซึ่งเท่ากับ 6 MPa โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. ใช้ปั๊มมือ (Hand pump) อัดน้ำมันที่ใช้ในการทดลองเข้าสู่ห้องจำลองปริมาตรคงที่
2. ปิดวาล์วเพื่อให้ปริมาตรและความดันของน้ำมันที่อัดคงที่
3. สังเกตค่าความดันที่ห้องจำลองปริมาตรคงที่ (Zeuch chamber) จากโปรแกรมควบคุมการทดลอง (LabVIEW) ว่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่
4. นำผลข้อมูลที่ได้อาวิเคราะห์เพื่อหาอัตราการรั่วของอุปกรณ์

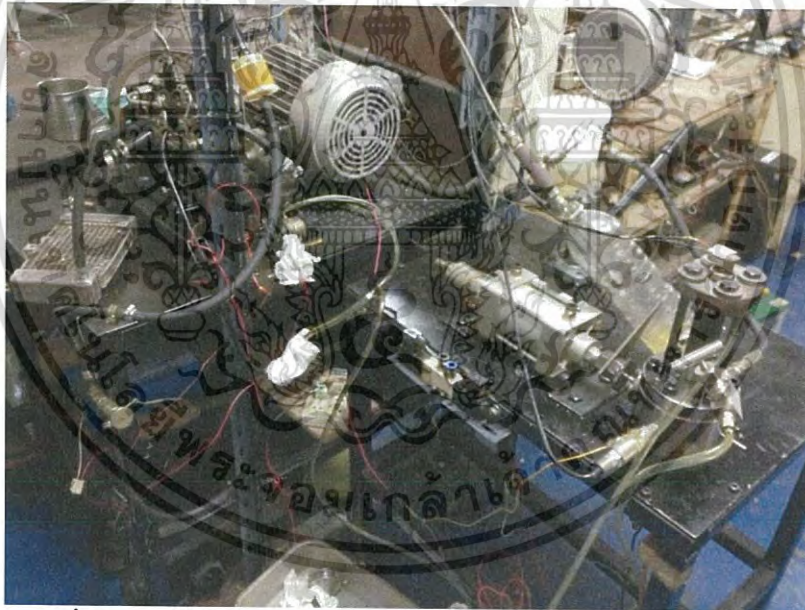
3.3.9.3 การทดลองการวัดปริมาณการฉีก

ทำการควบคุมอุณหภูมิของเชื้อเพลิงให้คงที่ตลอดการทดลอง โดยสังเกตอุณหภูมิขณะทำการทดลองได้จากจอแสดงผลอุณหภูมิ (Temperature indicator) ตามแผนผังการวัดปริมาณการฉีกตามรูปที่ 3.21 ซึ่งการทดลองการวัดปริมาณการฉีกมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เริ่มจากการใช้ปั๊มมือ (Hand pump) อัดน้ำมันที่ใช้ในการทดลองเข้าสู่ห้องจำลองโดยมีการควบคุมความดันในห้องจำลองเริ่มต้นให้เท่ากับ 2.5 MPa
2. คอมพิวเตอร์จะเป็นตัวส่งควบคุมอุปกรณ์การทดลองซึ่งจะมีบอร์ด (NI-DAQ board) เป็นตัวแปลงสัญญาณไปยังวาล์วควบคุมปริมาณน้ำมัน ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมปริมาณของน้ำมันจากถังน้ำมันเข้าสู่ปั๊มน้ำมัน (Supply Pump) ซึ่งปั๊มน้ำมันจะทำหน้าที่จ่ายน้ำมัน เข้าไปยังรางคอมมอนเรลทำให้เกิดความดันสูง ซึ่งจะใช้ความดันราง 40, 60, 80, 100, 120 และ 140 MPa และส่งสัญญาณไปยังตัวควบคุมสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ (EDU)
3. สั่งให้หัวฉีดทำงาน โดยทำการฉีดน้ำมันเข้าไปในห้องจำลอง
4. หลังจากนั้นเครื่องแปลงสัญญาณ (Charge Amplifier) จะส่งสัญญาณที่ได้เซนเซอร์วัดความดัน (Dynamic pressure sensor) ซึ่งเป็นความดันที่ได้จากการฉีก ไปยังเครื่องรับสัญญาณ (Oscilloscope) อีกทั้งสัญญาณการฉีกที่ได้จากหัวฉีดได้ถูกส่งไปเครื่องรับสัญญาณด้วย จากนั้นบันทึกผล
5. นำผลการทดลองที่ได้ ซึ่งเป็นสัญญาณความดันที่ได้จากการฉีกไปคำนวณหาอัตราการฉีกเชื้อเพลิง จากนั้นหาคุณลักษณะการฉีกและคำนวณเกี่ยวกับอัตราการฉีกเชื้อเพลิงเฉลี่ย



รูปที่ 3.21 แผนผังการวัดปริมาณการฉีดเชื้อเพลิง



รูปที่ 3.22 ชุดการวัดปริมาณการฉีดแบบ Zeuch พร้อมอุปกรณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

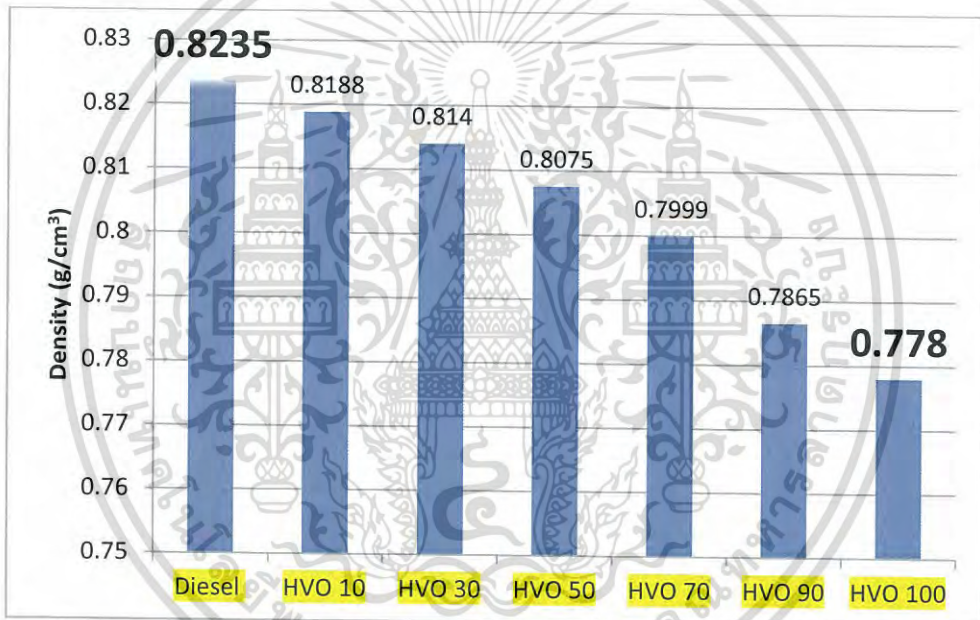
ผลการทดลอง

ในโครงการวิจัยเล่มนี้ จะแบ่งผลการทดลองเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่1 ผลการทดลองคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง ส่วนที่2 ผลการศึกษาคุณลักษณะการฉีดและอัตราการฉีดของน้ำมัน และส่วนที่3 ผลการทดลองคุณลักษณะสเปร์ย์ของน้ำมันเชื้อเพลิง

4.1 ผลการทดลองคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

4.1.1 ผลการทดลองหาค่าคุณสมบัติความหนาแน่น (Density)

ผ่านการทดสอบโดยใช้มาตรฐาน ASTM D4052



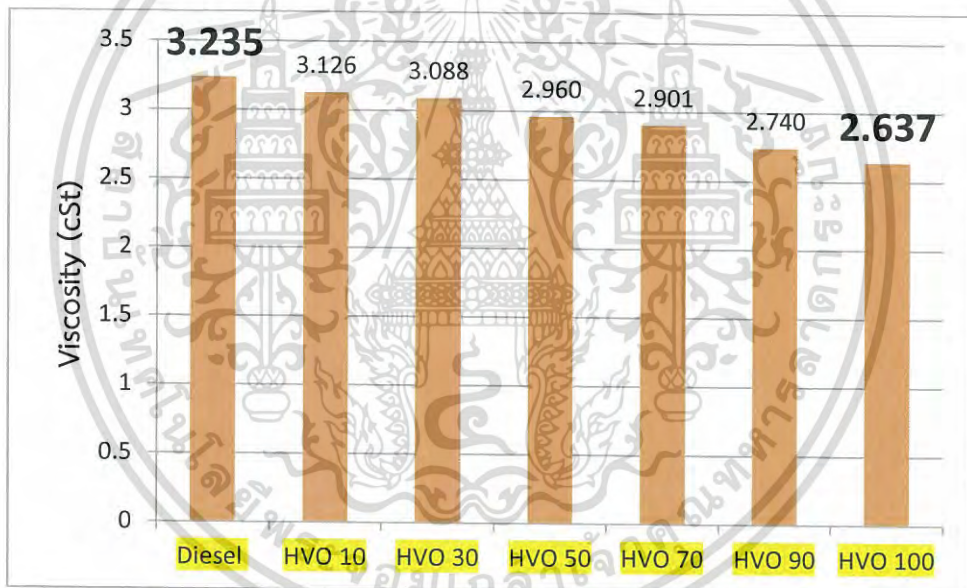
รูปที่4.1 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิง

จากกราฟผลการทดลองหาความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงพบว่า ค่าความหนาแน่นแปรผกผันกับเปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงHVO กล่าวคือค่าความหนาแน่นยิ่งมากเมื่อมีอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงHVO น้อย หรือ ค่าความหนาแน่นจะน้อยลงเมื่อมีอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงHVOมากขึ้น เนื่องจากเชื้อเพลิงHVOมีมวลโมเลกุลที่น้อยกว่ามวลโมเลกุลของดีเซลทำให้ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงHVOน้อยกว่าค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงดีเซล โดยความแตกต่างของค่าความหนาแน่น แสดงในตารางที่4.1

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความหนาแน่น

น้ำมันเชื้อเพลิง	% ความแตกต่างของค่าความหนาแน่น
Diesel กับ HVO10	0.57
HVO10 กับ HVO30	0.59
HVO30 กับ HVO50	0.80
HVO50 กับ HVO70	0.94
HVO70 กับ HVO90	1.68
HVO90 กับ HVO100	1.08
Diesel กับ HVO100	5.53

4.1.2 ผลการทดลองหาค่าคุณสมบัติความหนืดจลน์ (Kinematic Viscosity) ผ่านการทดสอบโดยใช้มาตรฐาน ASTM D445



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าความหนืดจลน์ของเชื้อเพลิง

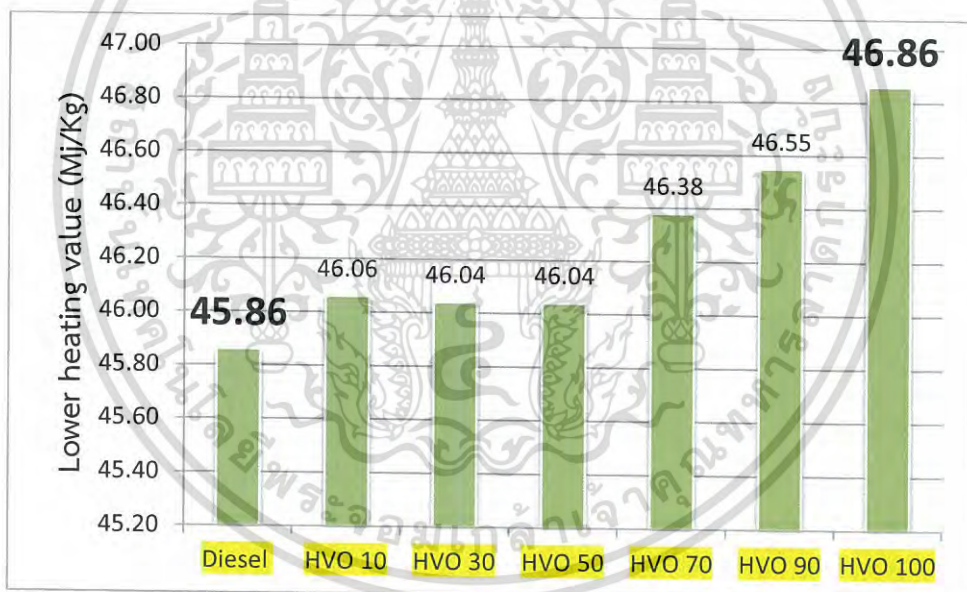
จากกราฟผลการทดลองหาความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงพบว่า แนวโน้มค่าความหนืดแปรผกผันกับเปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงHVO กล่าวคือค่าความหนืดมีแนวโน้มยิ่งมากเมื่อมีอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงHVOน้อย หรือ ค่าความหนืดจะยังมีแนวโน้มน้อยลงเมื่อมีอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงHVOมากขึ้น เนื่องจากเชื้อเพลิงHVOมีมวลโมเลกุลที่น้อยกว่ามวลโมเลกุลของดีเซลทำให้ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงHVOน้อยกว่าค่าความหนืดของเชื้อเพลิงดีเซล โดยความแตกต่างของค่าความหนืด แสดงในตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าความหนาแน่น

น้ำมันเชื้อเพลิง	% ความแตกต่างของค่าความหนาแน่น
Diesel กับ HVO10	3.37
HVO10 กับ HVO30	1.22
HVO30 กับ HVO50	4.15
HVO50 กับ HVO70	1.99
HVO70 กับ HVO90	5.55
HVO90 กับ HVO100	3.76
Diesel กับ HVO100	18.49

4.1.3 ผลการทดลองหาค่าคุณสมบัติความร้อน (Heating Value) ผ่านการทดสอบโดยใช้มาตรฐาน ASTM D240



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

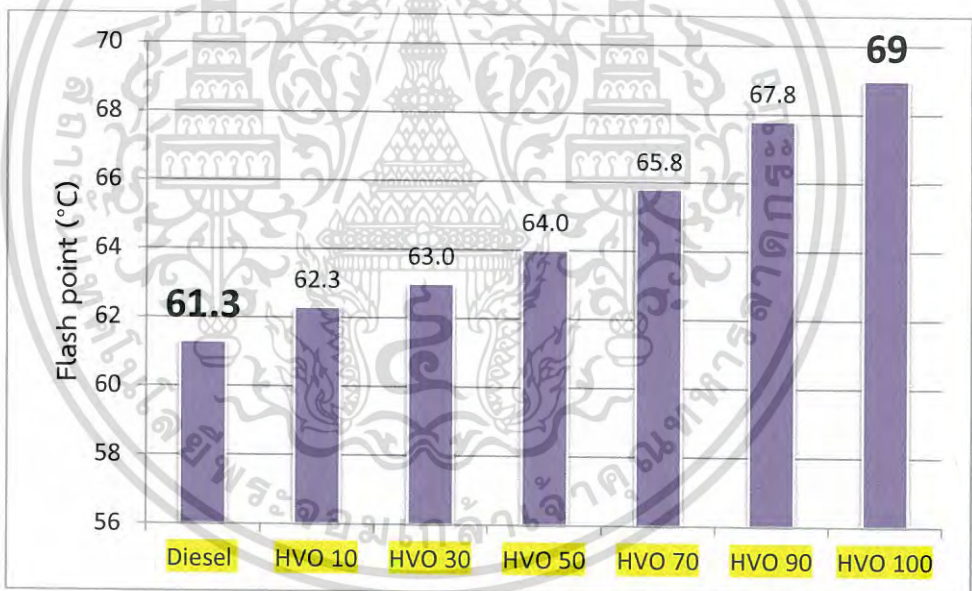
จากกราฟผลการทดลองหาค่าความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงพบว่า แนวโน้มค่าความร้อนแปรผันตรงกับเปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงHVO กล่าวคือค่าความร้อนมีแนวโน้มยิ่งมากเมื่อมีอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงHVOมาก หรือ ค่าความร้อนจะยังมีแนวโน้มน้อยลงเมื่อมีอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงHVOน้อย เนื่องจากเชื้อเพลิงHVOมีค่าความหนาแน่นน้อยและมีโครงสร้างโมเลกุลที่เรียงตัวกันแบบParaffinซึ่งทำให้ง่ายต่อการสลายพันธะโมเลกุลจึงเป็นผลให้ได้ค่าความร้อนจากการสลายพันธะสูง โดยความแตกต่างของค่าความร้อน แสดงในตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าความร้อน

น้ำมันเชื้อเพลิง	% ความแตกต่าง ของค่าความร้อน
Diesel กับ HVO10	0.43
HVO10 กับ HVO30	0.043
HVO30 กับ HVO50	0
HVO50 กับ HVO70	0.73
HVO70 กับ HVO90	0.37
HVO90 กับ HVO100	0.66
Diesel กับ HVO100	2.13

4.1.4 ผลการทดลองหาค่าคุณสมบัติจุดวาบไฟ (Flash Point) ผ่านการทดสอบโดยใช้มาตรฐาน ASTM D93



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าจุดวาบไฟของเชื้อเพลิง

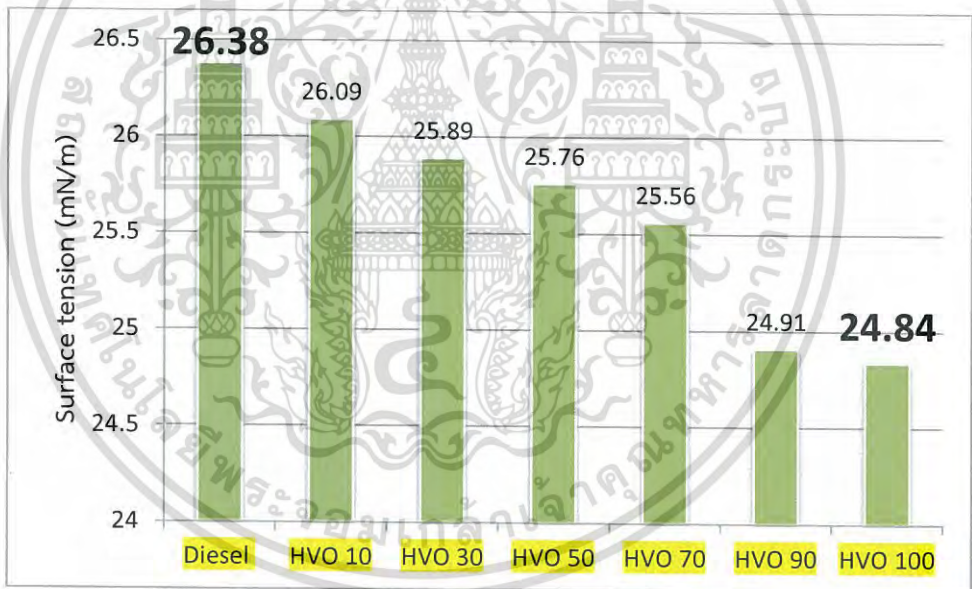
จากกราฟผลการทดลองหาความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงพบว่า แนวโน้มค่าจุดวาบไฟแปรผันตรงกับเปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงHVO กล่าวคือค่าจุดวาบไฟมีแนวโน้มยิ่งมากเมื่อมีอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงHVOมาก หรือ ค่าจุดวาบไฟจะยังมีแนวโน้มน้อยลงเมื่อมีอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงHVOน้อย เนื่องจากเชื้อเพลิงHVOมีการระเหยตัวที่ต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซล โดยความแตกต่างของค่าจุดวาบไฟ แสดงในตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 เปรอ์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าจุดวาบไฟ

น้ำมันเชื้อเพลิง	% ความแตกต่าง ของค่าจุดวาบไฟ
Diesel กับ HVO10	1.61
HVO10 กับ HVO30	1.11
HVO30 กับ HVO50	1.56
HVO50 กับ HVO70	2.74
HVO70 กับ HVO90	2.95
HVO90 กับ HVO100	1.74
Diesel กับ HVO100	11.16

4.1.5 ผลการทดลองหาค่าคุณสมบัติแรงตึงผิว (Surface Tension)
ผ่านการทดสอบโดยใช้มาตรฐาน ASTM D1590



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าแรงตึงผิวของเชื้อเพลิง

จากกราฟผลการทดลองหาความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงพบว่า ค่าแรงตึงผิวแปรผกผันกับ เปรอ์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงHVO กล่าวคือค่าแรงตึงผิวยิ่งมากเมื่อมีอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงHVOน้อย หรือ ค่าแรงตึงผิวจะน้อยลงเมื่อมีอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงHVOมากขึ้น เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของ เชื้อเพลิงHVOเป็นการเรียงตัวแบบParaffin ซึ่งเป็นผลให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่น้อยกว่า เชื้อเพลิงดีเซล จึงทำให้ค่าแรงตึงผิวของเชื้อเพลิงHVOน้อยกว่าค่าแรงตึงผิวของเชื้อเพลิงดีเซล โดยความ ต่างของค่าแรงตึงผิว แสดงในตารางที่4.5

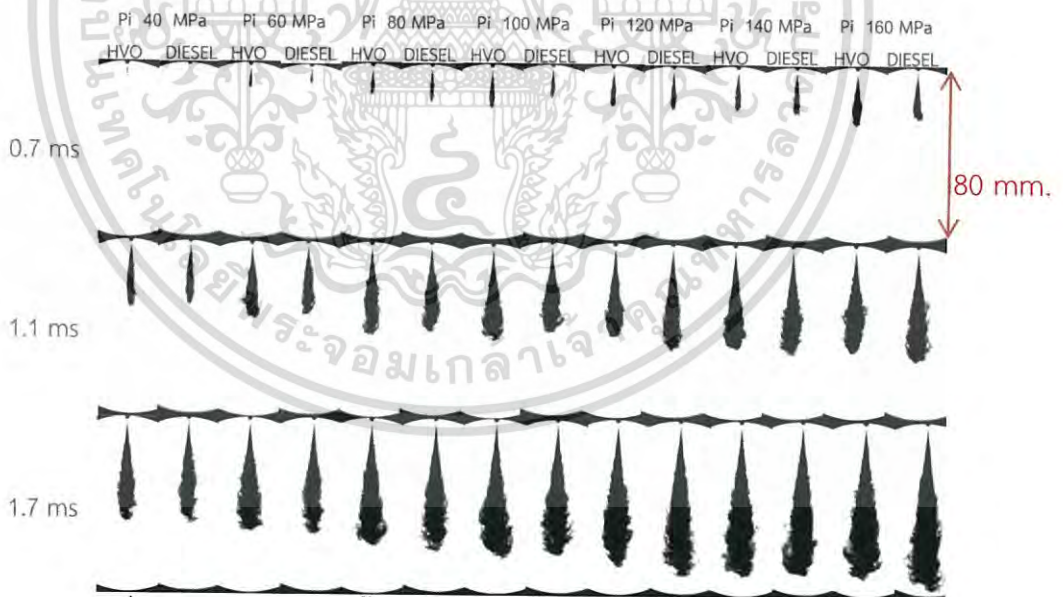
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 เปร้เซ็นต์ความแตกต่างของแรงตึงผิว

น้ำมันเชื้อเพลิง	% ความแตกต่าง ของค่าแรงตึงผิว
Diesel กับ HVO10	1.10
HVO10 กับ HVO30	0.77
HVO30 กับ HVO50	0.50
HVO50 กับ HVO70	0.78
HVO70 กับ HVO90	2.54
HVO90 กับ HVO100	0.28
Diesel กับ HVO100	5.84

4.2 ผลของการศึกษาคูณลักษณะของสเปรย์

จากการศึกษาคูณลักษณะของสเปรย์เชื้อเพลิงดีเซลและHVO ในระบบหัวฉีดความดันสูงแบบรางร่วม แบ่งผลการทดลองเป็น5ส่วนคือ เปรียบเทียบความยาวสเปรย์ เปรียบเทียบความเร็วสเปรย์ เปรียบเทียบองศาสเปรย์ เปรียบเทียบปริมาตรสเปรย์ และเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนสมมูล



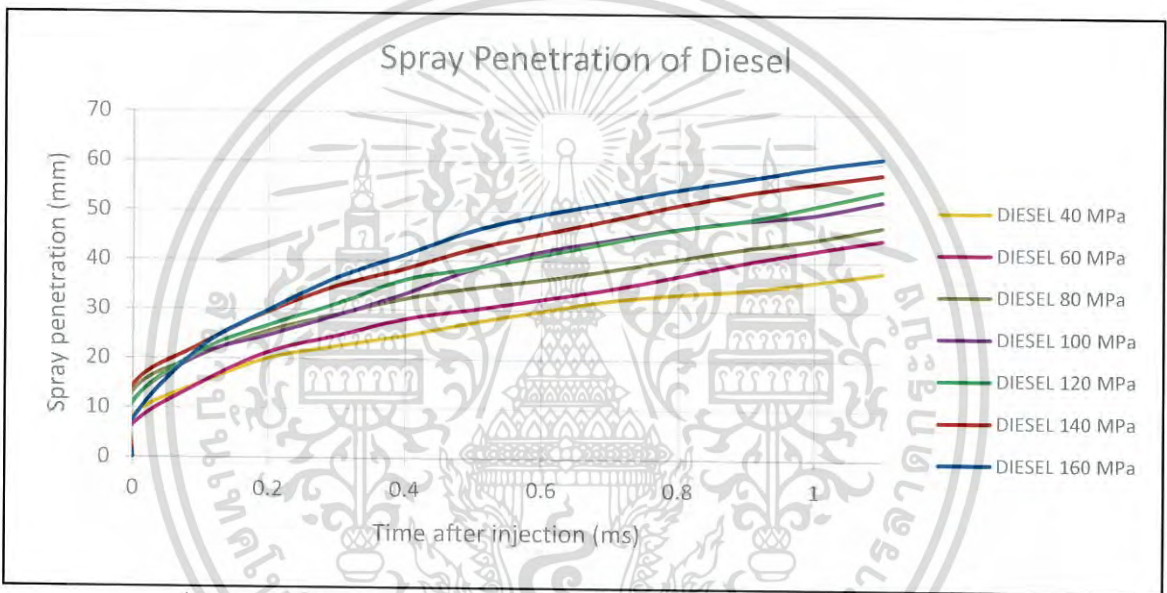
รูปที่4.6 ภาพสเปรย์ของน้ำมันHVOและน้ำมันดีเซล ที่P.back=2.5 Pa

4.2.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบภาพถ่ายสเปรย์ (Spray image)

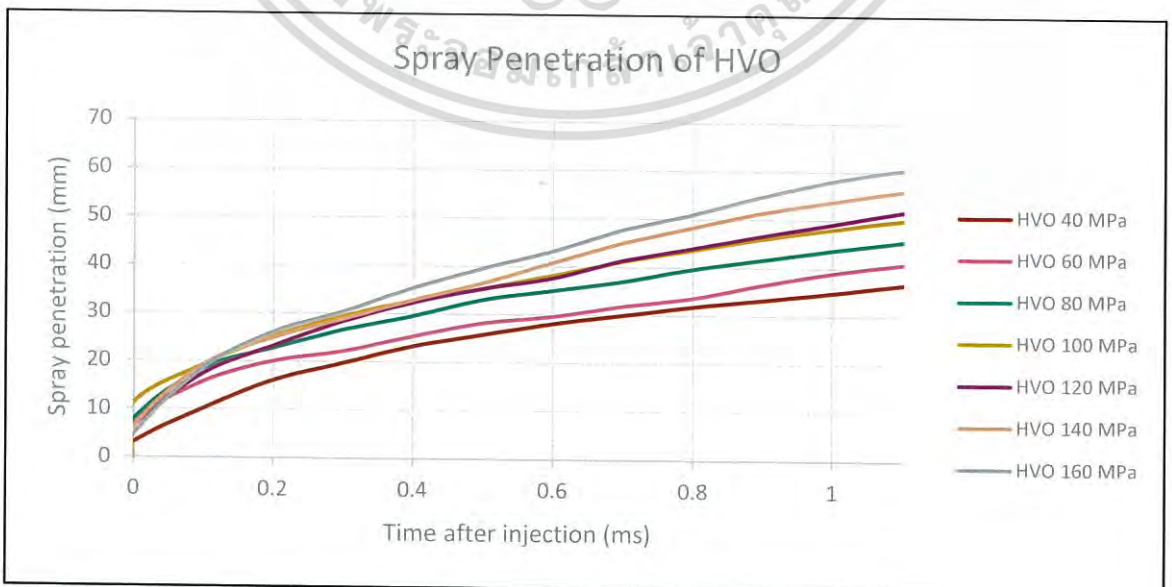
ภาพถ่ายสเปรย์นี้เกิดจากการจับภาพโดยกล้องถ่ายภาพวิดีโอความเร็วสูง บันทึกภาพถ่ายสเปรย์ในเวลาต่างกัน ดังรูป4.6 โดยมีสามช่วงเวลาหลังจากเริ่มการฉีด (0.7, 1.1 and 1.7 ms) จากรูปของผลการศึกษาพบว่าน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลมีความยาวสเปรย์ที่มากกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงHVO ความยาวสเปรย์ของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองจะยาวขึ้นเรื่อยๆตามเวลาหลังจากเริ่มการฉีด โดยสามารถเปรียบเทียบความไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างของความยาวที่เวลา 0.7 ms และ 1.7ms เทียบกับเวลาที่ 1ms จะเห็นความแตกต่างของความยาวอย่างชัดเจนและที่เวลา 1.7ms จะเห็นว่าตรงปลายสเปรย์ของทั้งสองน้ำมันในทุกความดันการฉีดมีการกระจายตัวของละอองที่เห็นได้ชัด เกิดขึ้นเนื่องจากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงกับ ambient air ซึ่งการรบกวนของ ambient air ต่อน้ำมันเชื้อเพลิงนั้นจะเกิดขึ้นเร็วเมื่อมีความดันในการฉีดสูง สังเกตได้โดยการเปรียบเทียบภาพในแต่ละความดันการฉีดที่ 0.7ms เหตุการณ์นี้เป็นผลมาจากความเร็วของสเปรย์ที่สูงจากการฉีดที่ความดันสูงๆ ทำให้ความยาวสเปรย์และการทำปฏิกิริยากับอากาศรวดเร็วมากยิ่งขึ้น ในส่วนของความยาวสเปรย์ของน้ำมันเชื้อเพลิง HVO ที่สั้นกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลสามารถอธิบายได้โดยต่อไป

4.2.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบความยาวสเปรย์ (Spray Penetration)

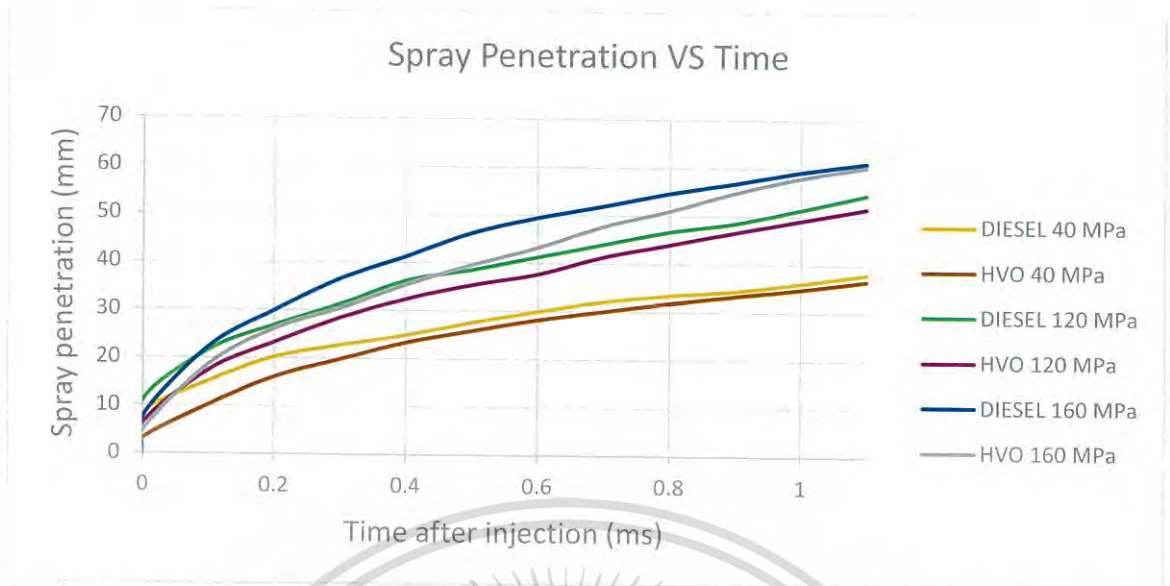


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความยาวสเปรย์ของน้ำมันดีเซล ที่ความดันหัวฉีดแตกต่างกัน



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความยาวสเปรย์ของน้ำมัน HVO ที่ความดันหัวฉีดแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ บริษัท อีทีอี จำกัด การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

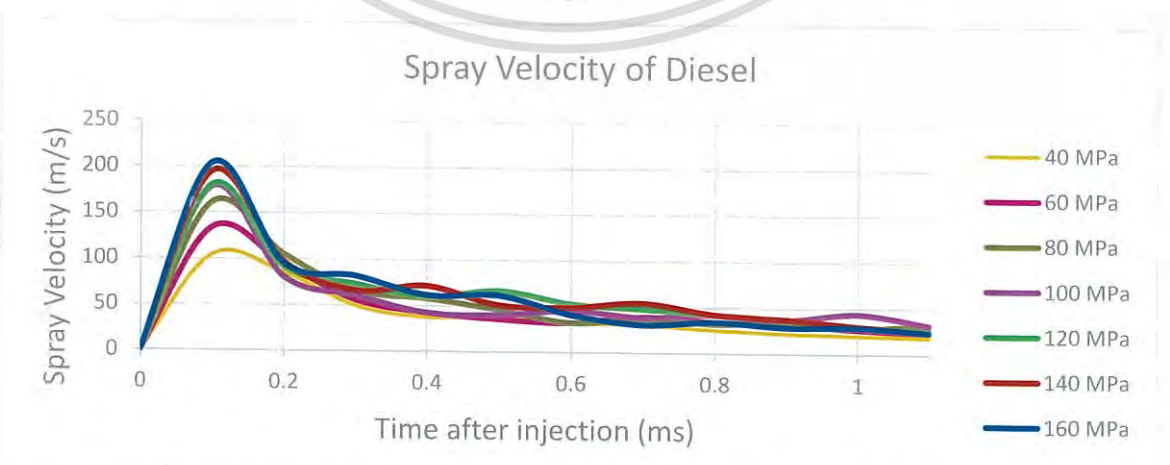


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความยาวสเปรย์ของน้ำมันดีเซลและHVO ที่ความดันหัวฉีด 40, 120 และ 160 MPa

จากผลการศึกษา เมื่อลองพิจารณารูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 น้ำมันHVOและดีเซลมีความยาวสเปรย์ที่ค่อยๆเพิ่มขึ้นตามเวลาหลังการฉีด และเมื่อเทียบเวลาหลังการฉีดที่ 1.1 ms ในทุกความดันการฉีดของน้ำมันทั้งสอง จะเห็นว่ามีมีความยาวสเปรย์มากที่สุดภายใต้เงื่อนไขความดันการฉีดที่ 160 MPa ดังนั้นจากรูปที่ 4.7 และ 4.8 นั้นพบว่าความยาวสเปรย์ของน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันของเวลา กล่าวคือความยาวสเปรย์จะมีค่ามากขึ้น(ยาวขึ้น)เมื่อเวลาหลังการถูกฉีดนานขึ้น อีกทั้งความยาวสเปรย์ของน้ำมันเชื้อเพลิงจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อถูกฉีดด้วยความดันสูงๆอีกด้วย

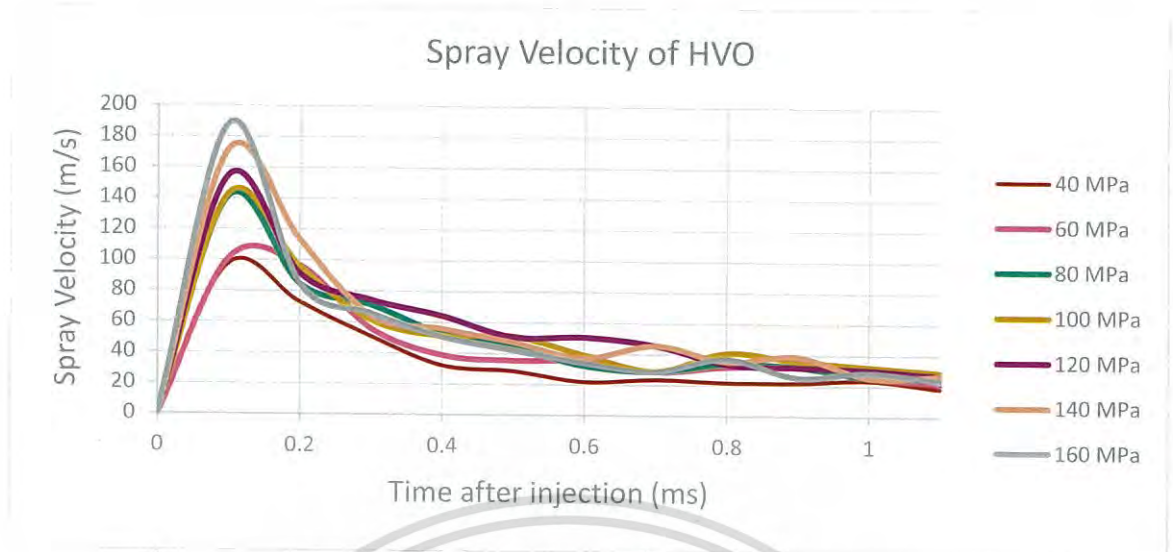
และเมื่อพิจารณารูปที่ 4.9 ความยาวสเปรย์ของน้ำมันHVO ในเงื่อนไขความดันการฉีดที่ 40, 120 และ 160 MPa มีค่าต่ำกว่าความยาวสเปรย์ของน้ำมันดีเซลทั้งสามเงื่อนไขความดันการฉีด เป็นผลมาจากน้ำมันดีเซลมีค่าความหนาแน่น และค่าbulk modulus ที่มากกว่าเป็นผลทำให้เกิดการเพิ่มความเร็วยของของเหลวที่กำลังออกจากหัวฉีด เมื่อความเร็วมากโมเมนตัมของดีเซลก็มีมากขึ้นทำให้เคลื่อนที่ไปได้ไกล

4.2.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบความเร็วปลายสเปรย์ (Spray Tip Velocity)

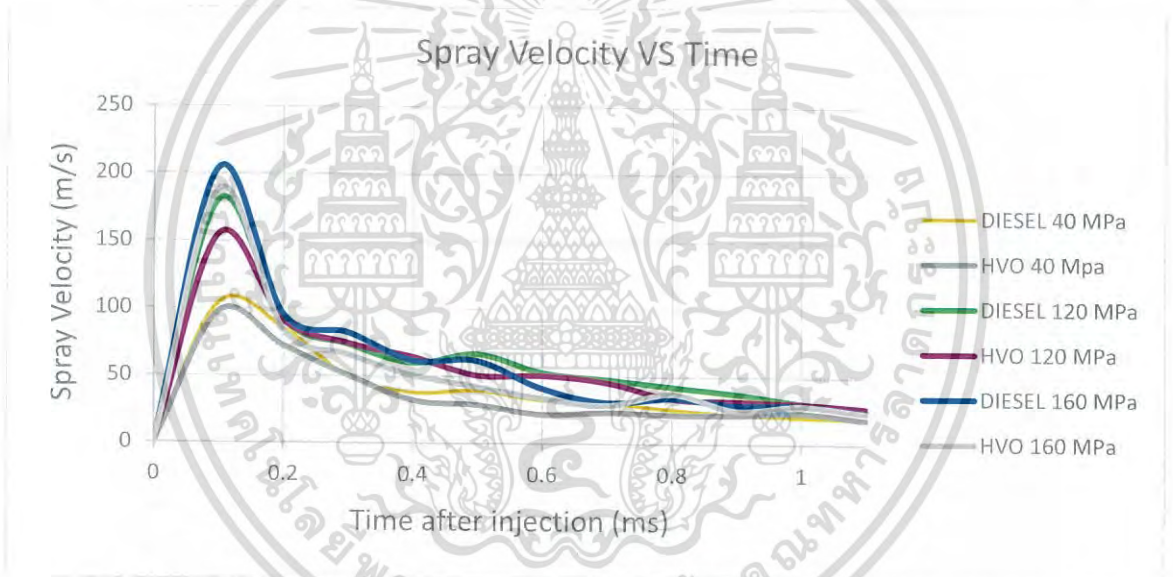


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความเร็วปลายสเปรย์ของน้ำมันดีเซล ที่ความดันหัวฉีดแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.11 กราฟแสดงความเร็วปลายสเปรย์ของน้ำมันHVO ที่ความดันหัวฉีดแตกต่างกัน



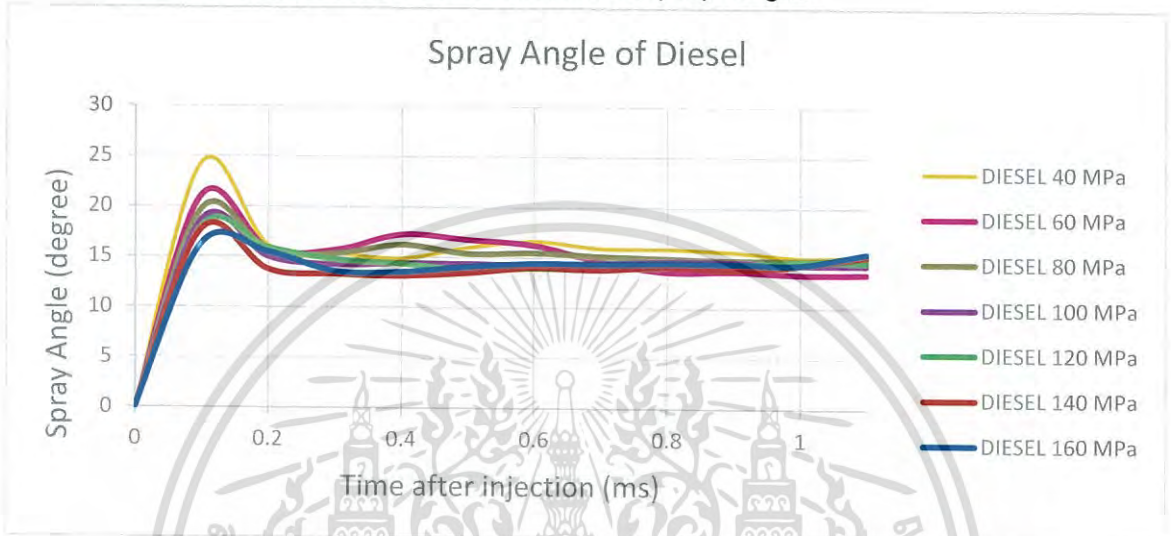
รูปที่4.12 กราฟแสดงความเร็วปลายสเปรย์ของน้ำมันดีเซลและHVOกับเวลาหลังจากการฉีด

ความเร็วปลายสเปรย์ของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและHVO ที่ความดันในการฉีดแตกต่างกันดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 จากผลการศึกษาพบว่าความเร็วปลายสเปรย์ของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองหลังจากที่ถูกฉีดออกจากหัวฉีด เพิ่มขึ้นตามเวลาอย่างรวดเร็วจนกระทั่งถึงจุดที่ความเร็วปลายสเปรย์มีค่ามากที่สุด หลังจากนั้นความเร็วปลายสเปรย์ของทั้งสองจะค่อยๆลดลง และค่าที่มากที่สุดของความเร็วปลายสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองเพิ่มขึ้นยังเพิ่มขึ้นตามความดันในการฉีดอีกด้วย ดังรูป.....ความเร็วปลายสเปรย์มากที่สุดของน้ำมันเชื้อเพลิงHVOและดีเซลภายใต้เงื่อนไขความดันในการฉีด 40Pa ที่มีค่าเท่ากับ 104 และ 98 m/s เปรียบเทียบกับน้ำมันHVOและดีเซลภายใต้เงื่อนไขความดันในการฉีด 160Pa ที่มีค่าเท่ากับ 204 และ 189 m/s จะเห็นว่าความเร็วปลายสเปรย์ของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองเพิ่มขึ้นเมื่อความดันในการฉีดเพิ่มขึ้น และเมื่อเทียบเวลาหลังการฉีดที่ 0.1 ms ในทุกความดันการฉีด จะเห็นว่าความเร็วสเปรย์ที่มากที่สุดเกิดขึ้นที่ความดัน 160 MPa และความเร็วสเปรย์ที่น้อยสุดในเวลานั้นเกิดขึ้นที่ความดัน 40 MPa ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ความดันการฉีดที่มากจะได้ผลความเร็วสเปรย์ที่มากขึ้นด้วย

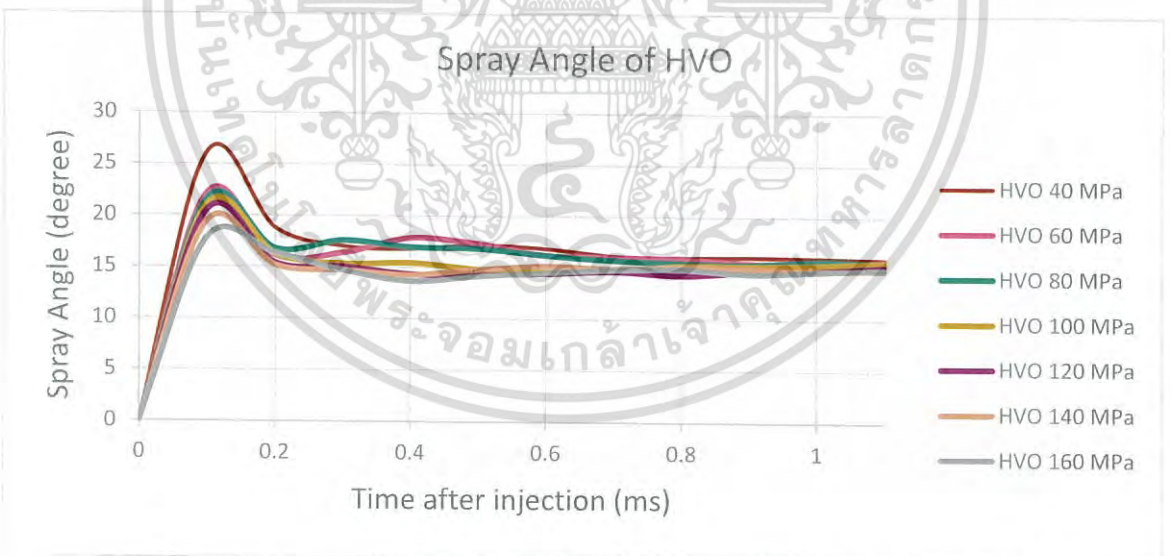
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อลองพิจารณารูปที่ 4.12 เปรียบเทียบน้ำมันทั้งสองในสามความดันการฉีดที่แตกต่างกัน พบว่า น้ำมันเชื้อเพลิง HVO มีค่าความเร็วสเปรย์ที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซลในทั้งสามเงื่อนไขความดันการฉีด เนื่องจากน้ำมัน HVO มีค่าความหนาแน่น และค่า bulk modulus ที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซลเป็นผลทำให้ น้ำมัน HVO มีโมเมนตัมน้อย ความเร็วของการเคลื่อนที่จึงน้อยกว่าน้ำมันดีเซลที่มีโมเมนตัมมากกว่า

4.2.4 ผลการทดลองเปรียบเทียบของสเปรย์ (Spray Angle)

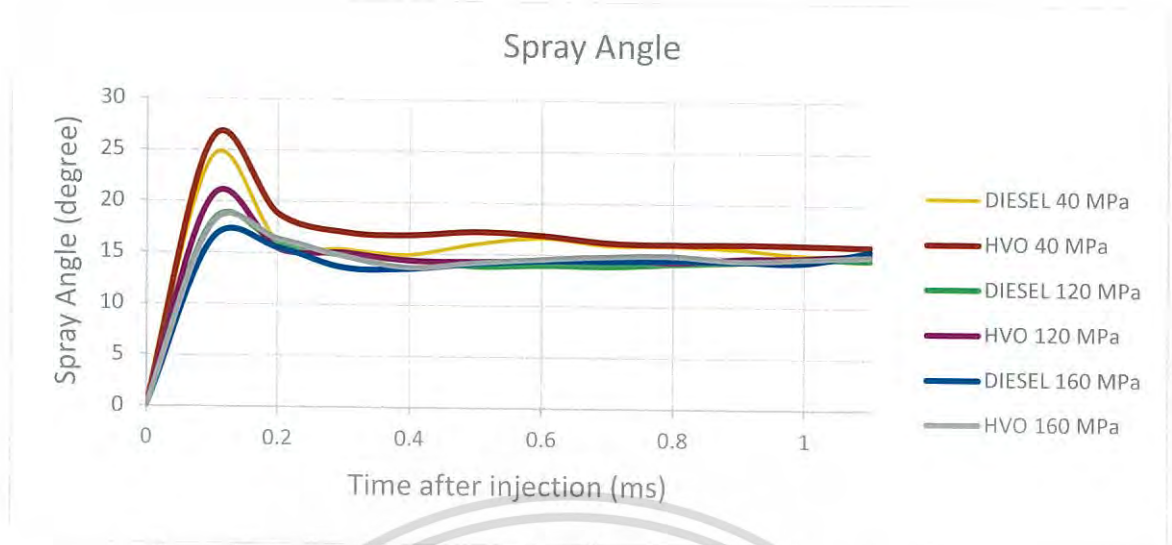


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงองศาของสเปรย์ของน้ำมันดีเซล ที่ความดันหัวฉีดแตกต่างกัน



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงองศาของสเปรย์ของน้ำมัน HVO ที่ความดันหัวฉีดแตกต่างกัน

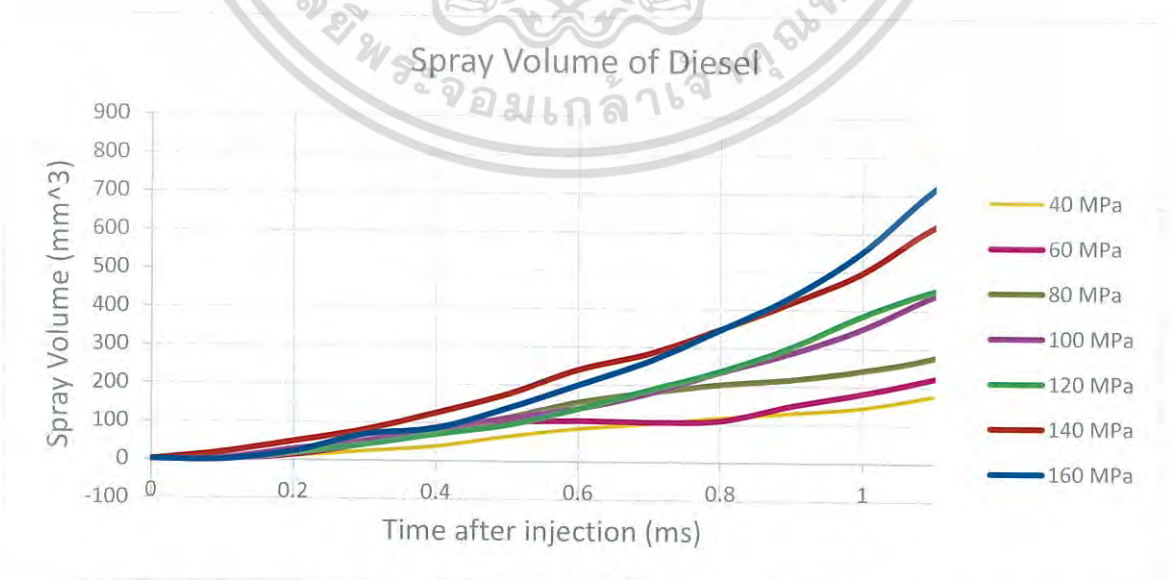
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.15 กราฟแสดงองศาของสเปรย์ของน้ำมันดีเซลและHVOกับเวลาหลังจากการฉีด

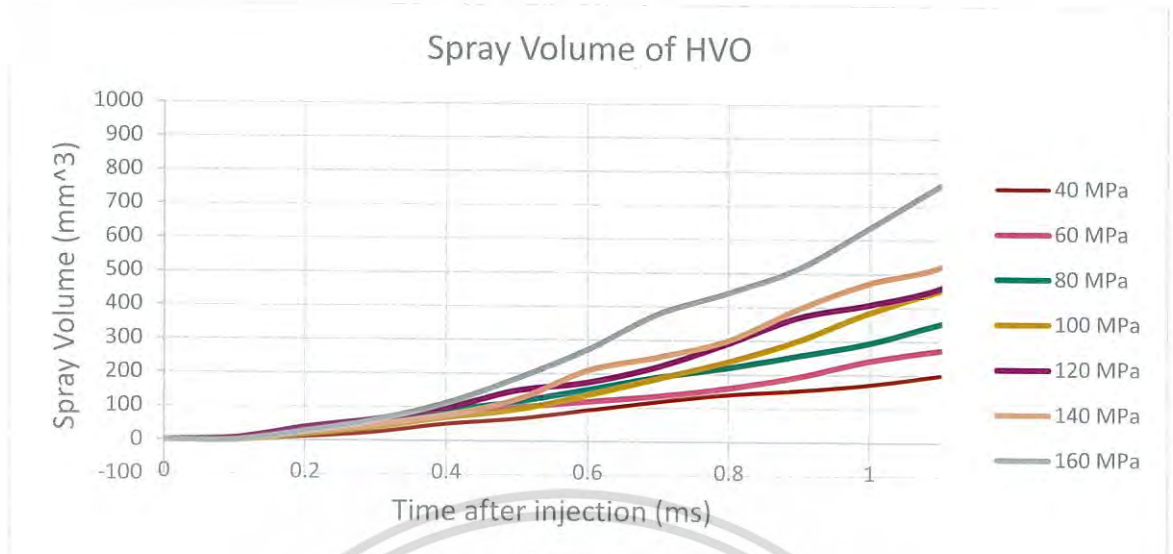
จากรูปที่4.13, 4.14 และ4.15 ผลของการศึกษาองศาสเปรย์ภายใต้ความดันในการฉีดที่แตกต่างกันเทียบกับเวลาหลังการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง พบว่าองศาสเปรย์ของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองจะเริ่ม steady ที่เวลาประมาณ 0.9 ms. หลังจากน้ำมันถูกฉีดที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 40 ,60 ,80 และ100 Pa และเริ่ม steady ที่เวลาประมาณ 0.6 ms. หลังจากน้ำมันถูกฉีดที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 120 ,140 และ160 Pa จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความดันในการฉีดมากขึ้นองศาสเปรย์ของเชื้อเพลิงทั้งสองก็ยิ่งเข้าสู่ช่วง Steady ได้เร็วมากยิ่งขึ้น และสิ่งที่เห็นได้ชัดเจนคือในทุกๆความดันในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลมีองศาสเปรย์แคบกว่าของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเป็นผลจากน้ำมันดีเซลมีค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดที่สูงทำให้เกิดระดับ turbulence ต่ำ เมื่อถูกฉีดออกจึงเกิดการกระจายตัวของสเปรย์น้อย

4.2.5 ผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาตรสเปรย์ (Spray Volume)

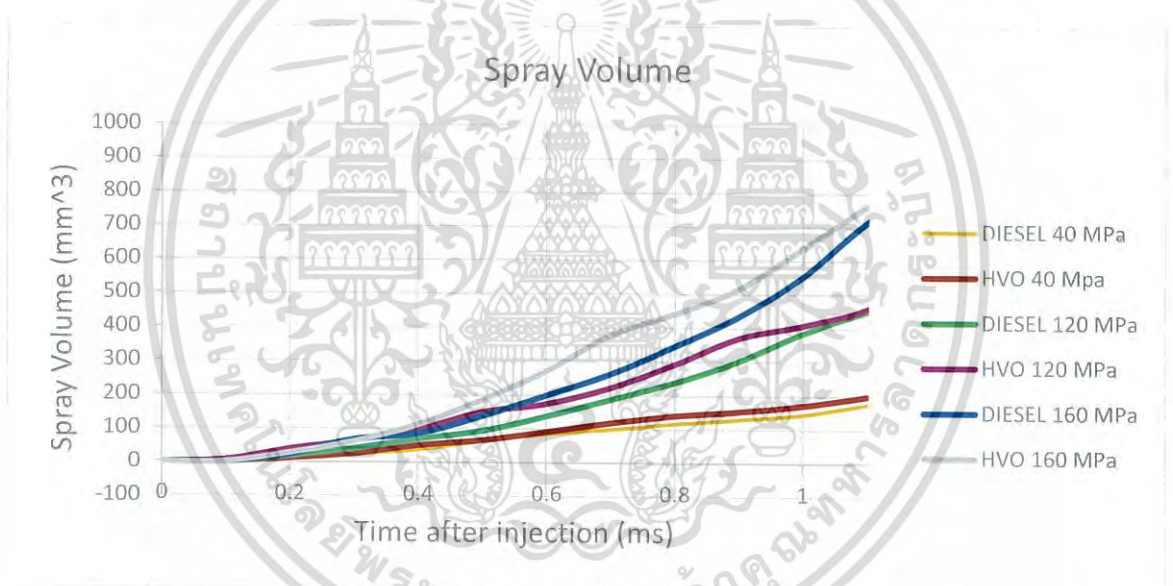


รูปที่4.16 กราฟแสดงปริมาตรของสเปรย์ของน้ำมันดีเซล ที่ความดันหัวฉีดแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงปริมาตรของสเปรย์ของน้ำมันHVO ที่ความดันหัวฉีดแตกต่างกัน

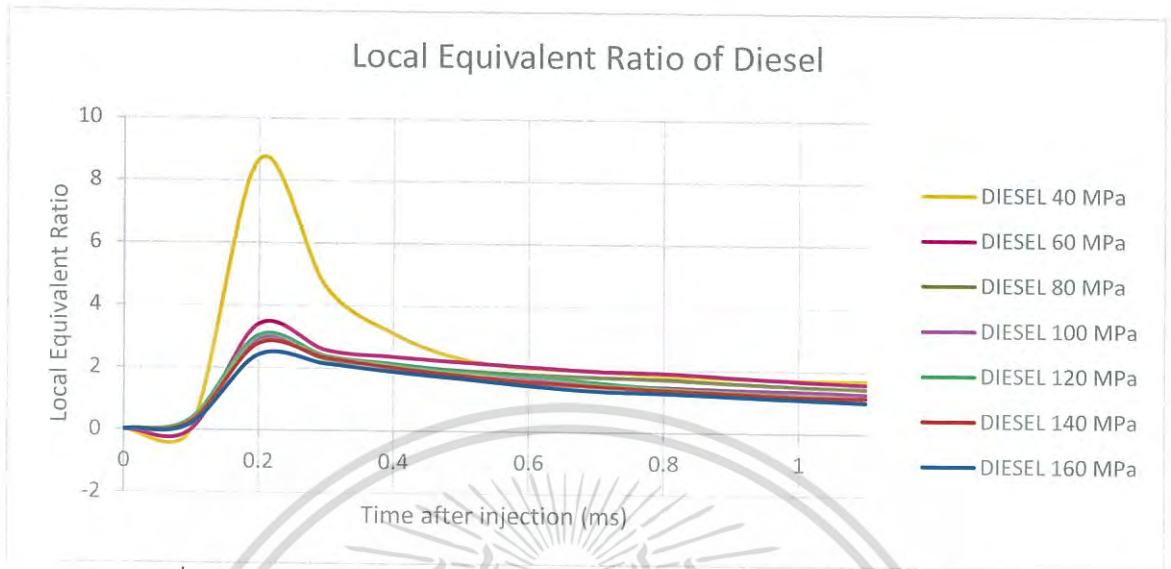


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงปริมาตรของสเปรย์ของน้ำมันดีเซลและHVOกับเวลาหลังจากการฉีด

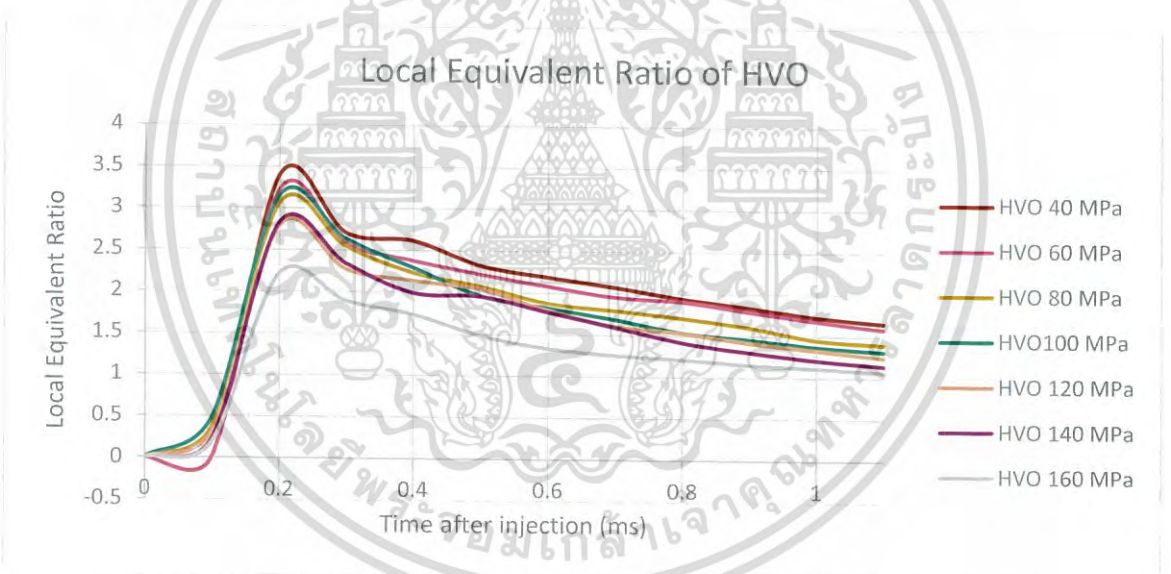
จากรูปที่ 4.16, 4.17 และ 4.18 แสดงถึงผลการศึกษาค่าปริมาตรสเปรย์ที่ได้จากการคำนวณของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและHVO ในแต่ละความดันการฉีดเทียบกับเวลาหลังการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง พบว่า ปริมาตรของสเปรย์ทั้งสองน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อเทียบกับเวลาหลังการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงมีความสัมพันธ์แบบกราฟ exponential และจากรูป...เทียบกับรูป....สังเกตได้ว่า ปริมาตรสเปรย์จะมากขึ้นเมื่อเพิ่มความดันในการฉีดมากขึ้น เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง HVO เพิ่มขึ้นจาก 8 cm^3 เป็น 32 cm^3 ที่เวลา 1.6 ms. หลังเริ่มการฉีด ภายใต้เงื่อนไขความดันในการฉีดที่เพิ่มขึ้นจาก 40 Pa ถึง 160 Pa และเมื่อลองพิจารณาที่น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองจะเห็นว่า น้ำมันเชื้อเพลิง HVO มีค่าปริมาตรสเปรย์มากกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล เป็นผลมาจากที่น้ำมันดีเซลมีความหนืดที่มากกว่า ซึ่งค่าความหนืดนี้ส่งผลกระทบต่อห้องควาเปรย์ของน้ำมันดีเซลแคบ และสิ่งนี้ทำให้เกิดการกระจายตัวของละอองน้ำมันดีเซลน้อย ปริมาตรของสเปรย์จึงน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 ผลการทดลองเปรียบเทียบอัตราส่วนสมมูล (Local equivalence ratio)

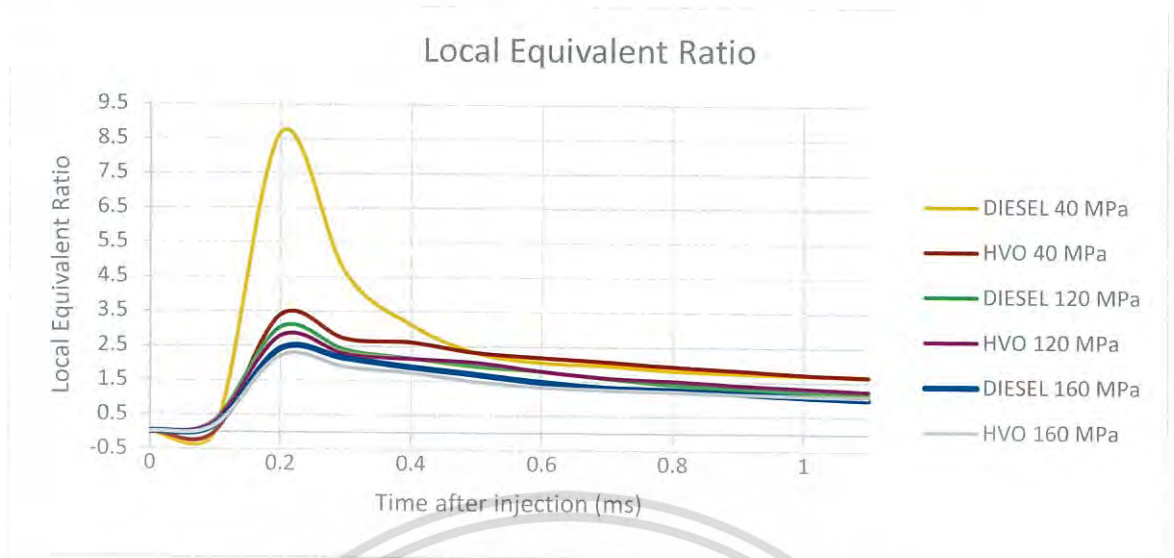


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงอัตราส่วนสมมูลของน้ำมันดีเซล ที่ความดันหัวฉีดแตกต่างกัน



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงอัตราส่วนสมมูลของน้ำมันHVO ที่ความดันหัวฉีดแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



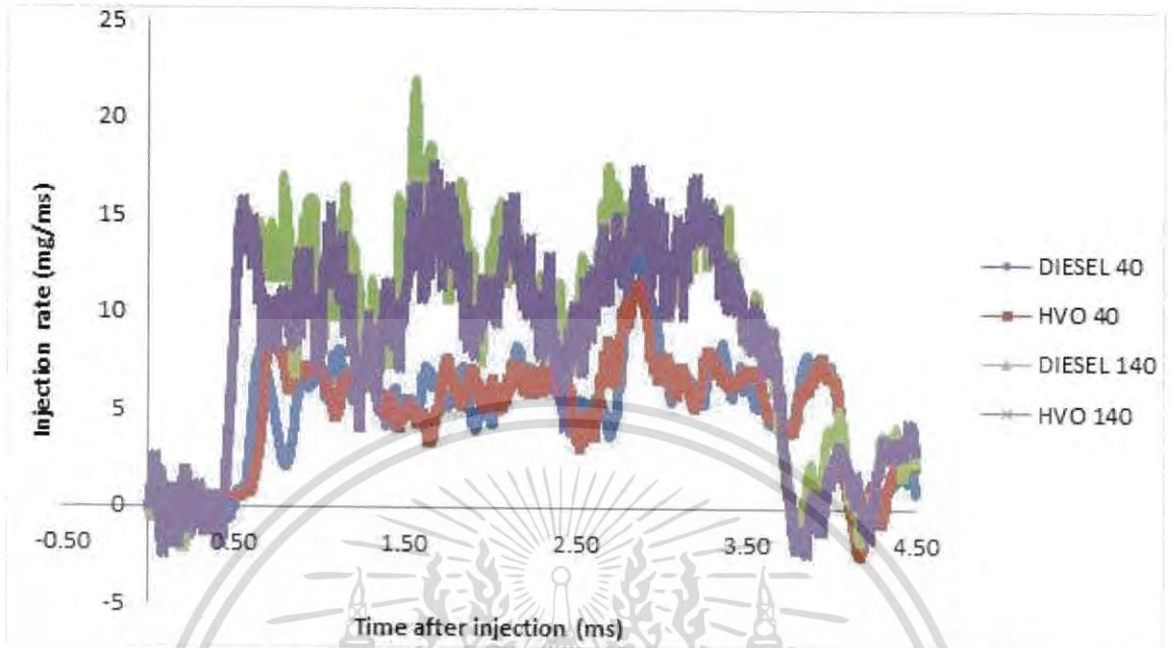
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงอัตราส่วนสมมูลของน้ำมันดีเซลและHVOกับเวลาหลังจากการฉีด

จากรูป 4.21 พบว่าอัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิงอากาศของสเปรย์ทั้งสองเมื่อเทียบกับเวลาหลังการฉีดน้ำมันจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่ามากที่สุดที่ระยะเวลาหนึ่งจากนั้นจึงค่อยๆลดลงแบบ linear และจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความดันการฉีดที่มากขึ้น ค่า equivalence ratio จะยิ่งน้อยลง เกิดจากเมื่อเพิ่มความดันการฉีดที่มากขึ้นปริมาณน้ำมันที่ออกมาจะมากขึ้น เป็นผลให้ค่า equivalence ratio น้อย เมื่อพิจารณาที่น้ำมันจะเห็นว่า HVO มีค่า ϕ ที่น้อยกว่าดีเซลในทุกความดันการฉีดเป็นค่า stoichiometric air fuel ratio ของ HVO มีมากกว่าดีเซล และอีกเหตุผลคือ HVO มีองศาสเปรย์ที่มากกว่าดีเซล มวลอากาศจึงเข้ามาผสมได้มากกว่า

4.3 ผลของการศึกษาคุณลักษณะของการฉีดน้ำมัน

จากการศึกษาคุณลักษณะของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและ HVO ในระบบหัวฉีดความดันสูงแบบรางร่วม ซึ่งแบ่งผลการทดลองเป็น 6 ส่วนคือ เปรียบเทียบอัตราการฉีดน้ำมัน เปรียบเทียบความล่าช้าของการฉีดน้ำมัน เปรียบเทียบระยะเวลาการฉีดของน้ำมัน เปรียบเทียบปริมาณการฉีดของเชื้อเพลิง เปรียบเทียบค่า Discharge coefficient และเปรียบเทียบค่า Energy input

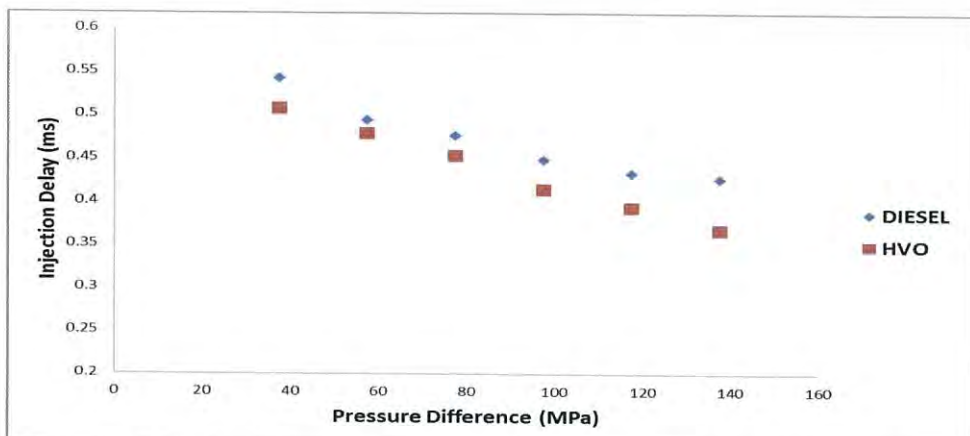
4.3.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบอัตราการฉีดน้ำมัน (Injection Rate)



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงอัตราการฉีดเชื้อเพลิงกับเวลาหลังจากการฉีด

จากรูปที่ 4.22 พบว่าเมื่อเพิ่มแรงดันในการฉีดมากขึ้นจะส่งผลให้อัตราการฉีดเชื้อเพลิงนั้นมีค่ามากขึ้น โดยที่น้ำมัน Diesel และ HVO มีค่าอัตราการฉีดที่ความดันในการฉีด 40 MPa เท่ากับ 5.6 g/s และ 5.3 g/s ตามลำดับ และค่าอัตราการฉีดของน้ำมัน Diesel และ HVO เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความดันในการฉีด 140 MPa เท่ากับ 12.7 g/s และ 11.9 g/s ถ้าเมื่อลองพิจารณาที่น้ำมัน จะเห็นว่าดีเซลมีอัตราการฉีดมากกว่า HVO ในทุกความดันการฉีด เช่นจากในรูปที่ 4.22 น้ำมันดีเซลมีค่าอัตราการฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง 40 MPa มากกว่าน้ำมัน HVO ถึง 5% และดีเซลมีค่าอัตราการฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง 140 MPa มากกว่าน้ำมัน HVO ถึง 6% ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความหนาแน่นและค่าโมดูลัสการอัดตัวที่มากกว่า ซึ่งหมายความว่าจะทำให้การยกตัวของหัวฉีดที่ยกได้ไวและยกตัวได้สูง

4.3.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบความล่าช้าของการฉีด (Injection delay)

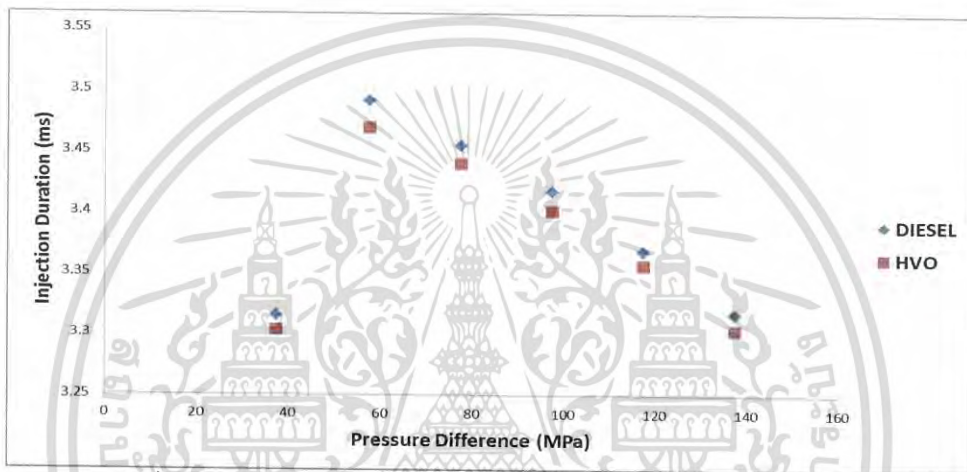


รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความล่าช้าการฉีดกับผลต่างความดันของการฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการวิจัยและพัฒนาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารได้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป4.23 พบว่าความล่าช้าในการฉีดของน้ำมันทั้งสองจะลดลงเมื่อเพิ่มความดันในการฉีดมากขึ้น โดยค่าความล่าช้าของการฉีดน้ำมันดีเซล และHVO ที่ความดันการฉีด 40 MPa เท่ากับ 0.54 ms และ 0.50 ms ตามลำดับและเมื่อเพิ่มความดันการฉีดขึ้นเป็น 160 MPa ค่าความล่าช้าการฉีดของน้ำมันดีเซล และHVO ลดลงเป็น 0.43 ms และ 0.37 ms ซึ่งเป็นผลมาจากค่าโมดูลัสการอัดตัวที่มีมากในความดันสูง ซึ่งค่าโมดูลัสที่มากจะส่งผลให้เกิดแรงที่สามารถยกเข็มของหัวฉีดได้ไวกว่า และเมื่อพิจารณาที่น้ำมันทั้งสอง จะเห็นว่าน้ำมันHVOมีความล่าช้าในการฉีดที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งคิดเป็น7%ที่ความดันการฉีด 40 MPa และน้อยกว่าถึง 14% ที่ความดันการฉีด 140 MPa เป็นผลมาจากค่าโมดูลัสการอัดตัวและค่าความหนาแน่นของน้ำมัน HVO ที่มีค่าที่น้อยกว่า

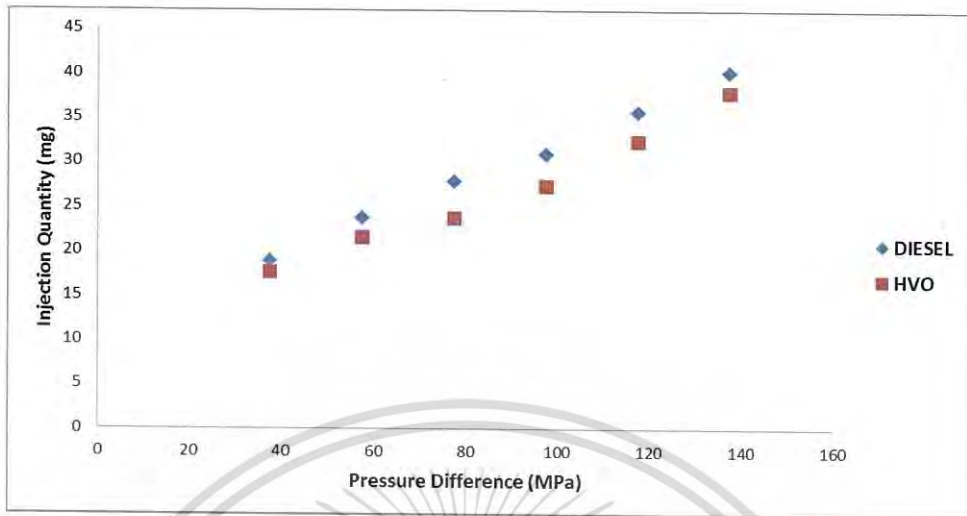
4.3.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาการฉีด (Injection duration)



รูปที่4.24 กราฟแสดงระยะเวลาการฉีดกับผลต่างความดันของการฉีด

จากรูปที่4.24 พบว่าระยะเวลาการฉีดของน้ำมันทั้งสองจะเพิ่มขึ้นเมื่อความดันในการฉีดเพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงความดันการฉีดที่60 MPa (หรือผลต่างความดันที่ 35 MPa) จากนั้นระยะเวลาการฉีดจะเริ่มลดลงเมื่อเพิ่มความดันการฉีดมากขึ้น สาเหตุมาจากที่ความดันการฉีดต่ำ (ในกรณีนี้ที่ความดันการฉีดที่ 40 และ60 MPa)ยังมีค่าโมดูลัสการอัดตัวที่ไม่มากพอที่จะส่งผลให้เข็มหัวฉีดปิดตัวลง จึงทำให้ค่าคงที่ของสปริงที่เข็มของหัวฉีดยังส่งผลทำให้เข็มของหัวฉีดปิดตัวได้ช้า แต่เมื่อที่ความดันการฉีดที่มากขึ้น ค่าโมดูลัสการอัดตัวมีค่ามากพอจะส่งผลให้เข็มของหัวฉีดปิดตัวเร็วมากยิ่งขึ้น และเหตุนี้ที่น้ำมันHVOที่มีค่าโมดูลัสการอัดตัวที่น้อยกว่าดีเซล ทำให้ค่าระยะเวลาการฉีดของHVOน้อยกว่าในทุกความดันการฉีด ซึ่งน้ำมันHVO มีค่าปริมาณการฉีดน้ำมันน้อยกว่าน้ำมันดีเซลที่ความดันการฉีด 40, 60, 80, 100, 120 และ140 MPa คิดเป็นร้อยละ 0.4, 0.6, 0.4, 0.5, 0.3, และ 0.4

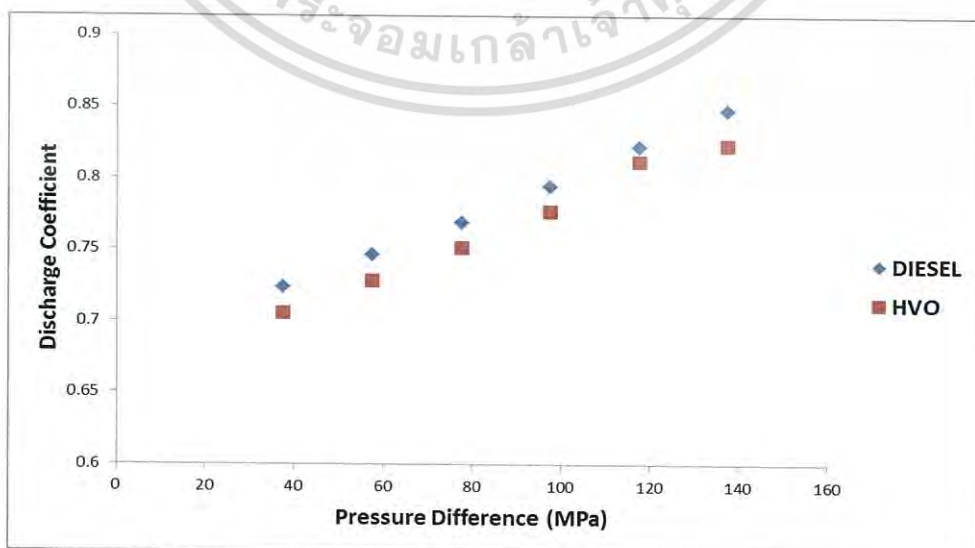
4.3.4 ผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาณการฉีด (Injection Quantity)



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงปริมาณการฉีดกับผลต่างความดันของการฉีด

จากรูป 4.25 พบว่าปริมาณการฉีดของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเมื่อความดันการฉีดเพิ่มขึ้น สังเกตได้จากที่ความดันการฉีดที่ 40 MPa น้ำมันดีเซลและน้ำมัน HVO มีปริมาณการฉีดอยู่ที่ 19 mg และ 18 mg และเมื่อเพิ่มความดันการฉีดขึ้นเรื่อยๆ จนถึงความดันสุดท้ายที่ 140 MPa น้ำมันดีเซลและ HVO มีปริมาณการฉีดอยู่ที่ 40 mg และ 38 mg เป็นผลมาจากอัตราการฉีดที่มากขึ้นตามความดันการฉีด และเมื่อพิจารณาที่น้ำมันทั้งสองจะเห็นว่า น้ำมันดีเซลมีปริมาณการฉีดมากกว่า HVO ในทุกความดันการฉีด ดังนี้ ที่ความดันการฉีด 40 MPa น้ำมันดีเซลมากกว่า HVO 6% และมากกว่า HVO คิดเป็นร้อยละ 9, 15, 12, 9, 5 ที่ความดันการฉีด 60, 80, 100, 120, 140 ตามลำดับ เนื่องจากค่าความหนาแน่นของดีเซลมีค่ามากกว่าทำให้มีอัตราการไหลเชิงมวลที่มากกว่า

4.3.5 ผลการทดลองเปรียบเทียบค่า Discharge coefficient (Cd)

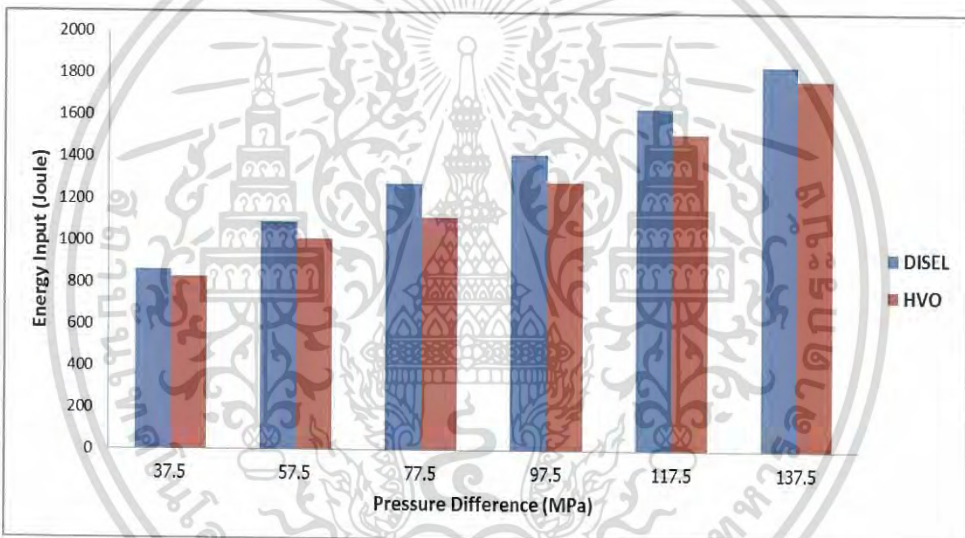


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงค่า Discharge coefficient กับผลต่างความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่4.26 พบว่าค่า Discharge coefficient จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีความดันในการฉีดเพิ่มขึ้น สังเกตได้จากที่ความดันการฉีดที่ 40 MPa น้ำมันดีเซล และHVO มีค่า Discharge coefficient อยู่ที่ 0.72 และ 0.7 เมื่อเพิ่มความดันการฉีดขึ้นเรื่อยๆจนถึงที่ความดันการฉีดที่ 140 MPa น้ำมันดีเซล และHVOมีค่า Discharge coefficient เพิ่มขึ้นเป็น 0.84 และ 0.82 ซึ่งเป็นผลจากปริมาณการฉีดที่เพิ่มขึ้นตามความดันการฉีดที่มากขึ้นทำให้อัตราการไหลเชิงมวลที่เกิดขึ้นยิ่งเข้าใกล้อัตราการไหลเชิงมวลตามทฤษฎี และเมื่อลองได้พิจารณาที่น้ำมันทั้งสอง จะเห็นว่าน้ำมันดีเซลมีค่า Discharge coefficient มากกว่าน้ำมันHVOในทุกความดันการฉีด โดยที่ความดันการฉีด 40, 60, 80, 100, 120 และ 140 MPa ค่า Discharge coefficient ของน้ำมันดีเซลมากกว่าน้ำมันHVO คิดเป็นร้อยละ 2, 2, 2, 1, และ3 ที่ความดันการฉีด 40, 60, 80, 100, 120, 140 ตามลำดับ เนื่องมาจากดีเซลมีค่าความหนาแน่นมากกว่า ซึ่งค่าความหนาแน่นมากจะส่งผลให้มีอัตราการไหลเชิงมวลที่มากขึ้น ปริมาณการฉีดก็จะมากขึ้นตาม

4.3.6 ผลการทดลองเปรียบเทียบค่า Energy input



รูปที่4.27 กราฟแสดง Energy input กับผลต่างความดัน

จากรูปที่4.27 พบว่าEnergy input เพิ่มขึ้นตามความดันการฉีดที่มากขึ้น สังเกตได้จากกราฟที่ความดันการฉีด 40 MPa น้ำมันดีเซลและน้ำมันHVO มีค่า Energy input อยู่ที่ 863 Joule และ 825 Joule และเมื่อได้ทำการเพิ่มความดันการฉีดขึ้นเรื่อยๆ จนถึงที่ความดันสุดท้ายที่ 140 MPa น้ำมันดีเซลและน้ำมันHVO มีค่า Energy input เพิ่มขึ้นอยู่ที่ 1842 Joule และ 1778 Joule เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณการฉีดตามความความดันการฉีด และจากกราฟจะเห็นว่าน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลมีค่า Energy input ที่มากกว่าน้ำมันHVO โดยที่ค่า Energy input ที่ความดัน 40, 60, 80, 100, 120 และ 140 MPa น้ำมันดีเซลมีร้อยละที่มากกว่า น้ำมันHVO เท่ากับ 4, 7, 13, 10, 7, และ 3 เป็นผลมาจากค่าความหนาแน่นของดีเซลที่มากกว่า ส่งผลให้มีอัตราการไหลเชิงมวลเพิ่มขึ้นมากกว่าน้ำมันHVO

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากผลการทดลองสามารถแบ่งผลการทดลองออกเป็น 3 ส่วนคือส่วนแรกคือผลการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิง ส่วนที่สองคือผลการศึกษาคุณลักษณะของสเปรย์ และส่วนสุดท้ายคือผลการศึกษาคุณลักษณะการฉีดเชื้อเพลิง

5.1.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิง

จากการศึกษาพบว่า ร้อยละของHVOในเชื้อเพลิงมีผลต่อความหนาแน่น, ค่าความหนืด, ค่าความร้อน, จุดวาบไฟ และแรงตึงผิว เมื่อเชื้อเพลิงมีร้อยละของHVOที่มากขึ้น เป็นผลทำให้มีค่าความหนืด, ค่าความหนาแน่น และค่าแรงตึงผิวน้อยลง เมื่อเชื้อเพลิงมีร้อยละของHVOที่มากขึ้น เป็นผลทำให้มีค่าความร้อน และค่าจุดวาบไฟที่มากขึ้น

5.1.2 ผลการศึกษาคุณลักษณะของสเปรย์

จากการศึกษาพบว่า คุณสมบัติของเชื้อเพลิง ได้แก่ ค่าความหนาแน่นและค่าความหนืด ส่งผลกระทบบต่อคุณลักษณะของสเปรย์ อีกทั้งความดันในการฉีดก็ส่งผลต่อคุณลักษณะของสเปรย์อีกด้วย

5.1.2.1 ผลกระทบจากค่าความหนาแน่น

ค่าความหนาแน่นของน้ำมันHVO มีค่าที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ซึ่งด้วยค่าคุณสมบัตินี้ส่งผลกระทบบต่อ ความยาวของสเปรย์และความเร็วปลายของสเปรย์ของน้ำมัน HVO ที่เกิดขึ้นและช้ากว่าความยาวของสเปรย์และความเร็วปลายของสเปรย์ของน้ำมันดีเซล

5.1.2.2 ผลกระทบจากค่าความหนืดจลน์

ค่าความหนืดจลน์ของน้ำมันHVO มีค่าที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ซึ่งด้วยค่าคุณสมบัตินี้ส่งผลกระทบบต่อ องศาของสเปรย์, ปริมาตรของสเปรย์และค่าอัตราส่วนสมมูลของน้ำมัน HVO ที่ทำให้น้ำมันHVO มีองศาที่กว้าง, ปริมาตรที่ใหญ่ และมีค่าอัตราส่วนสมมูลน้อยกว่าของน้ำมันดีเซล

5.1.2.3 ผลกระทบจากความดันในการฉีดเชื้อเพลิง

เมื่อเพิ่มความดันการฉีดเชื้อเพลิง จะส่งผลให้ความยาวสเปรย์, ความเร็วสเปรย์ และ ปริมาตรของสเปรย์เพิ่มมากขึ้น แต่ในทางเดียวกันจะทำให้ องศาของสเปรย์และค่าอัตราส่วนสมมูลน้อยลง เมื่อเพิ่มความดันในการฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 ผลการศึกษาคุณลักษณะการฉีดและอัตราการฉีดของเชื้อเพลิง

จากผลการศึกษาพบว่าคุณสมบัติของเชื้อเพลิง ได้แก่ ค่าความหนาแน่นและค่าโมดูลัสการอัดตัว ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะการฉีดและอัตราการฉีดเชื้อเพลิง อีกทั้งความดันในการฉีดก็ส่งผลต่อคุณลักษณะของสเปรย์อีกด้วย

5.1.3.1 ผลกระทบจากค่าความหนาแน่น

จากค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงHVO ที่มีน้อยกว่าเชื้อเพลิงดีเซล ทำให้ส่งผลต่ออัตราการฉีด ปริมาณการฉีด และ ค่า Discharge coefficient ของเชื้อเพลิงHVO มีน้อยกว่าเชื้อเพลิงดีเซล

5.1.3.2 ผลกระทบจากค่าโมดูลัสการอัดตัว

ค่าโมดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิงHVO มีค่าที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล ทำให้ส่งผลต่อค่าความล่าช้าในการฉีดเชื้อเพลิง และค่าระยะเวลาการฉีดของเชื้อเพลิงHVO มีค่าที่น้อยกว่าเชื้อเพลิงดีเซล

5.1.3.3 ผลกระทบจากความดันในการฉีดเชื้อเพลิง

เมื่อเพิ่มความดันการฉีดเชื้อเพลิง จะส่งผลให้ค่าปริมาณในการฉีดเชื้อเพลิง, ค่า Discharge coefficient และค่า Input energyเพิ่มมากขึ้น แต่ในทางเดียวกันจะทำให้ ค่าความล่าช้าของการฉีดเชื้อเพลิงและค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงน้อยลงเมื่อเพิ่มความดันในการฉีด

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากเชื้อเพลิงHVOมีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงเชื้อเพลิงดีเซล เพียงแต่มีความหนาแน่น ความหนืด แรงตึงผิวน้อยและค่าโมดูลัสการอัดตัวน้อยกว่าเชื้อเพลิงดีเซลเล็กน้อย ด้านคุณลักษณะสเปรย์เชื้อเพลิงจึงมีการกระจายตัวของสเปรย์ดีกว่า ปริมาตรและองศาของสเปรย์ของเชื้อเพลิงHVOจึงมากกว่าดีเซล ซึ่งมีผลต่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ ทางด้านการฉีดและอัตราการฉีดคุณสมบัติเชื้อเพลิงHVOเหล่านี้ก็ส่งผลกระทบด้วย แต่การใช้เชื้อเพลิงHVOในเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไปสามารถทำได้เนื่องจากคุณลักษณะของสเปรย์ระหว่างเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดนั้นมีความต่างกันไม่มาก และมีค่าinput energyที่น้อยซึ่งเป็นข้อดี ดังที่เห็นจากผลการทดลอง และจากผลการทดลองนี้สามารถนำข้อมูลไปใช้ในงานวิจัยเพื่อศึกษาและปรับปรุงเครื่องยนต์ได้ดังนี้

1.ถ้าต้องการทำให้คุณลักษณะของสเปรย์เชื้อเพลิงHVOให้มีความคล้ายคลึงกับของเชื้อเพลิงดีเซล ควรมีการปรับความดันในการฉีดเชื้อเพลิงให้มีค่ามากขึ้นเพื่อทำให้ความยาวสเปรย์ของHVOยาวขึ้น

2.ปรับความดันในการฉีดน้ำมัน เพื่อลดการสูญเสียพลังงานจากความหนืดของเชื้อเพลิงและลดระยะเวลาการตอบสนองของหัวฉีด เพราะเนื่องจากผลของความดันนั้นส่งผลต่อปริมาณในการฉีดของเชื้อเพลิง

3.หาอัตราส่วนผสมระหว่างHVOกับดีเซลที่เหมาะสม เพื่อให้ใช้งานในเครื่องยนต์ได้จริงโดยที่ไม่ต้องปรับเปลี่ยนห้องเผาไหม้ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทาสารมาผสมในเชื้อเพลิงHVO เพื่อเพิ่มความหนืด ในสภาวะการใช้งานจริงความหนืดที่น้อยเกินไปอาจส่งผลทำให้อายุการใช้งานของเครื่องยนต์ลดน้อยลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

เอกสารอ้างอิง

[1]Yoshio Sato, Akira Noda.2008.An Experimental Study on DME Spray Characteristics by Using Schlieren Optical Systems.SAE paper

[2]HannuAatola, MarttiLarmi, TeemuSarjovaara, and SeppoMikkonen. 2008. Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NOx, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine. SAE Paper.

[3]SomnuekJaroonjitsathian, PeerawatSaisirirat, KomkritSivara, ManidaTongroon and NuwongChollacoop. 2014. Effects of GTL and HVO Blended Fuels on Combustion and Exhaust Emissions of a Common-Rail DI Diesel Technology.SAE Paper.

[4] Diesel Engine,
URL:<http://waterpacific.com/index.php/dieselengine>

[5] Diesel Engine work, URL:<http://anjungainssmkss.files.wordpress.com/2011/06/24075-004-613c6f14.gif>

[6] Diesel Cycle,
URL:<https://wiki.ucl.ac.uk/display/MechEngThermodyn/Gas+Power+Cycles>

[7] วิชางานทดสอบปั๊มและหัวฉีด สาขางานยานยนต์ ,
URL:http://www.technoasia.ac.th/edownload/files/file_9.pdf

[8]CI Cycle,
URL:http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Internal%20Combustion%20Engine%20Part%20I/5_2.html

[9] ระบบควบคุมรถยนต์, ระบบคอมมอนเรล, URL:
http://www.denso.co.th/denso/th/product_1_1_3.jsp?lang=th

[10] Common rail system,Common rail components
,URL:https://www.dieselnet.com/tech/diesel_fi_common-rail_components.php

[11] Hiro Hiroyasu and Masataka Arai, Structures of Fuel Sprays in Diesel Engines, SAE Paper, 1990

[12] SIAMCHEMI What is Diesel, URL:<http://www.siamchemi.com/น้ำมันดีเซล/>

[13] สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน (2557), ภาพอนาคตพลังงานไทย 2557

[14] WIKIPEDIA The Free Encyclopedia, Density, URL:<https://en.wikipedia.org/wiki/Density>

[15] WIKIPEDIA The Free Encyclopedia, Viscosity, URL:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Viscosity>

[16] Surface Tension, URL: http://www.face-kyowa.co.jp/english/en_science/en_theory/en_what_Surface_tension/

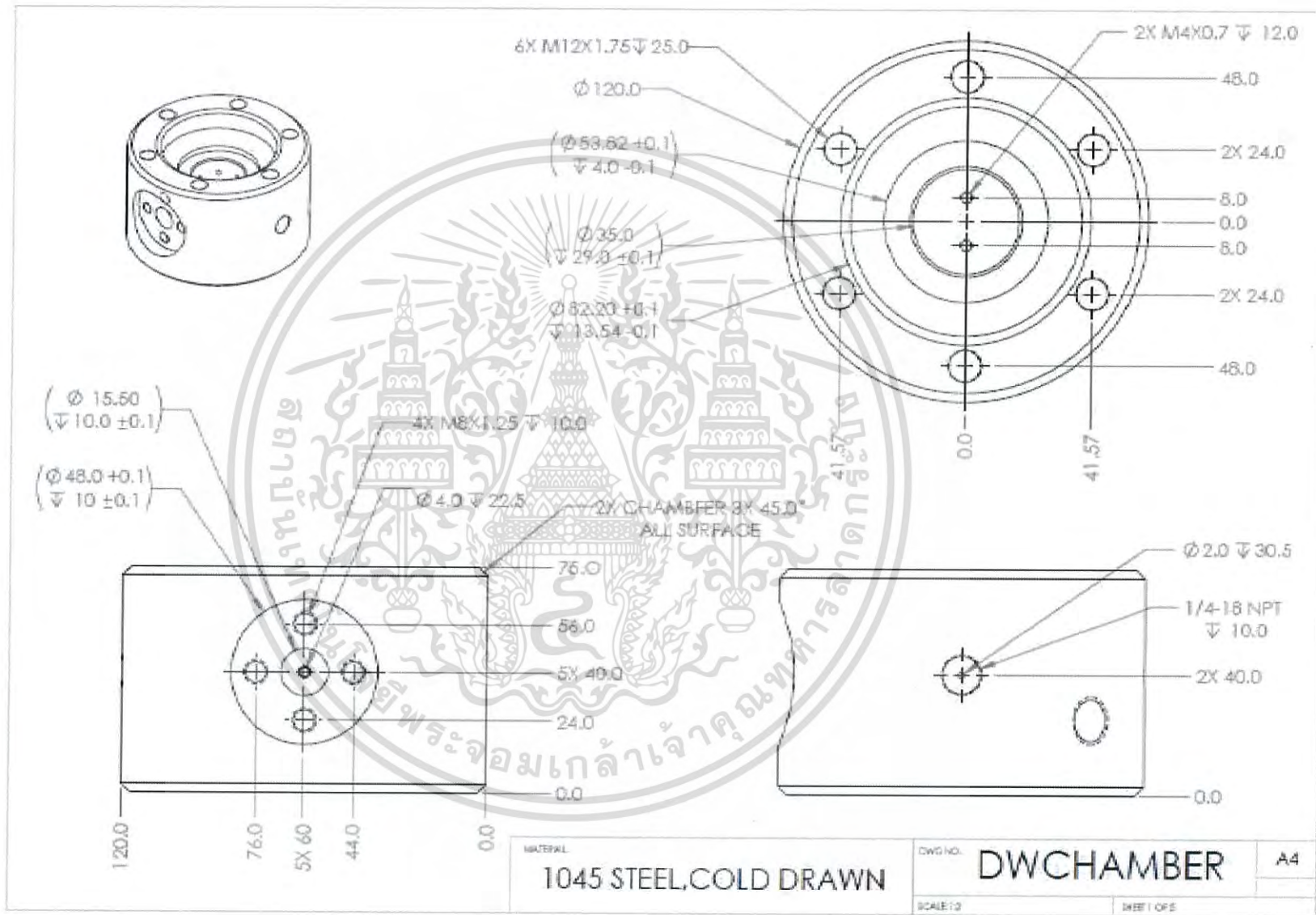
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

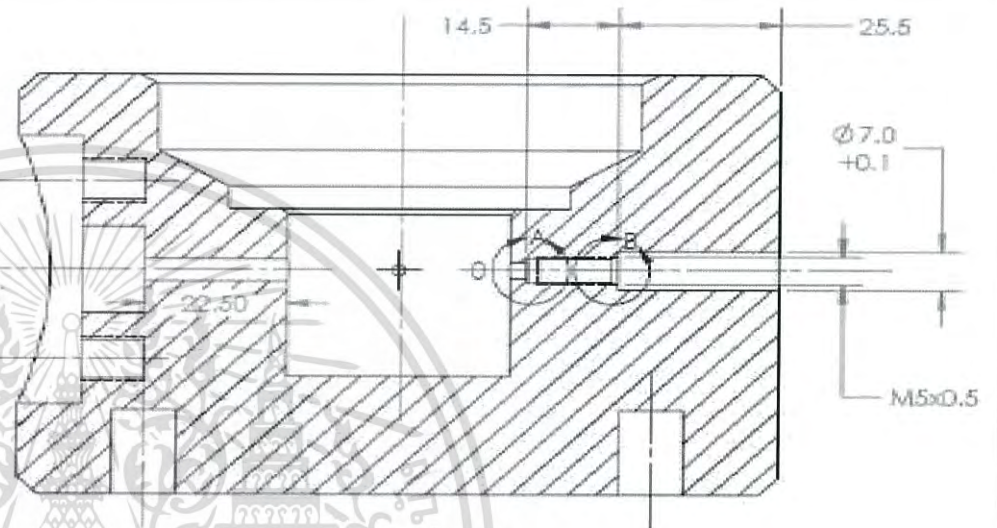
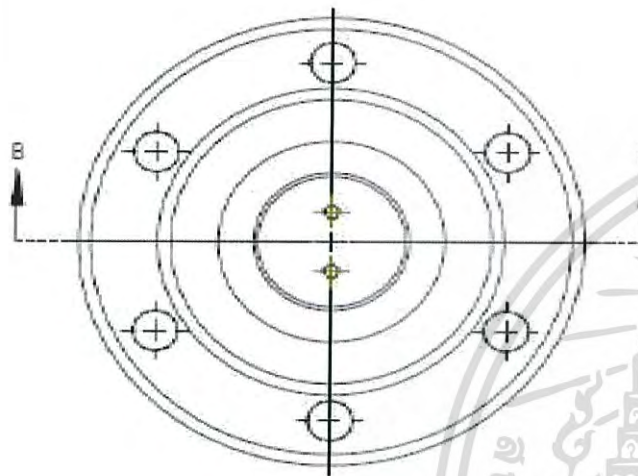


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

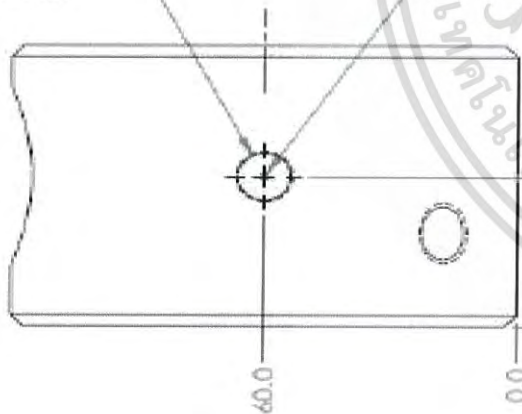
ข้อมูลการออกแบบชุดวัดปริมาณการฉีดแบบ Zeuch และการติดตั้งอุปกรณ์
การทดลอง

1. ห้องจำลองปริมาตรคงที่ (Constant volume chamber)





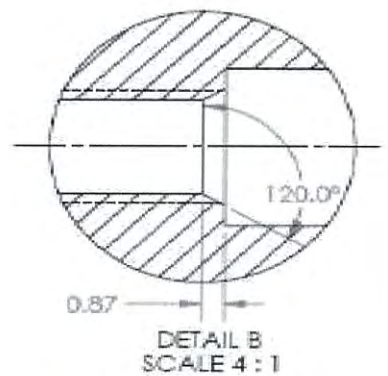
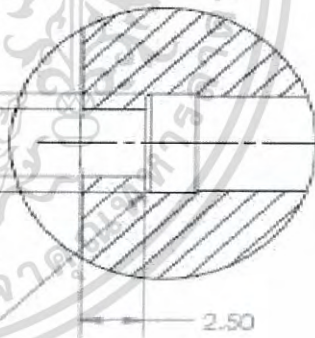
1/4-18 NPT
 $\nabla 10.0$



$\varnothing 2.0 \nabla 30.5$

$\varnothing 4.40 +0.10$
 $\varnothing 3.0$

FILLET R0.20



DRG. NO.

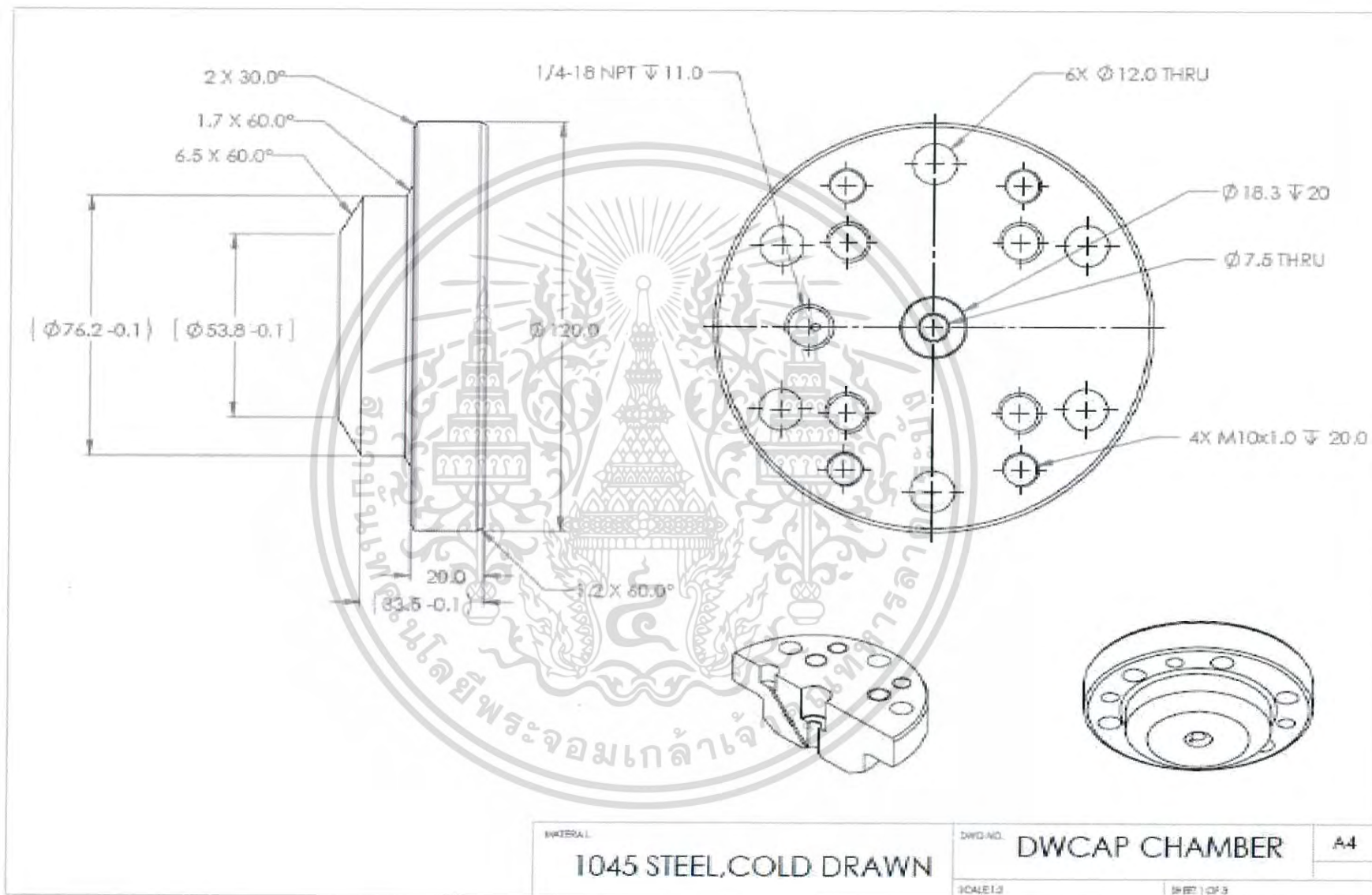
DWCHAMBER

A4

SCALE 1:1

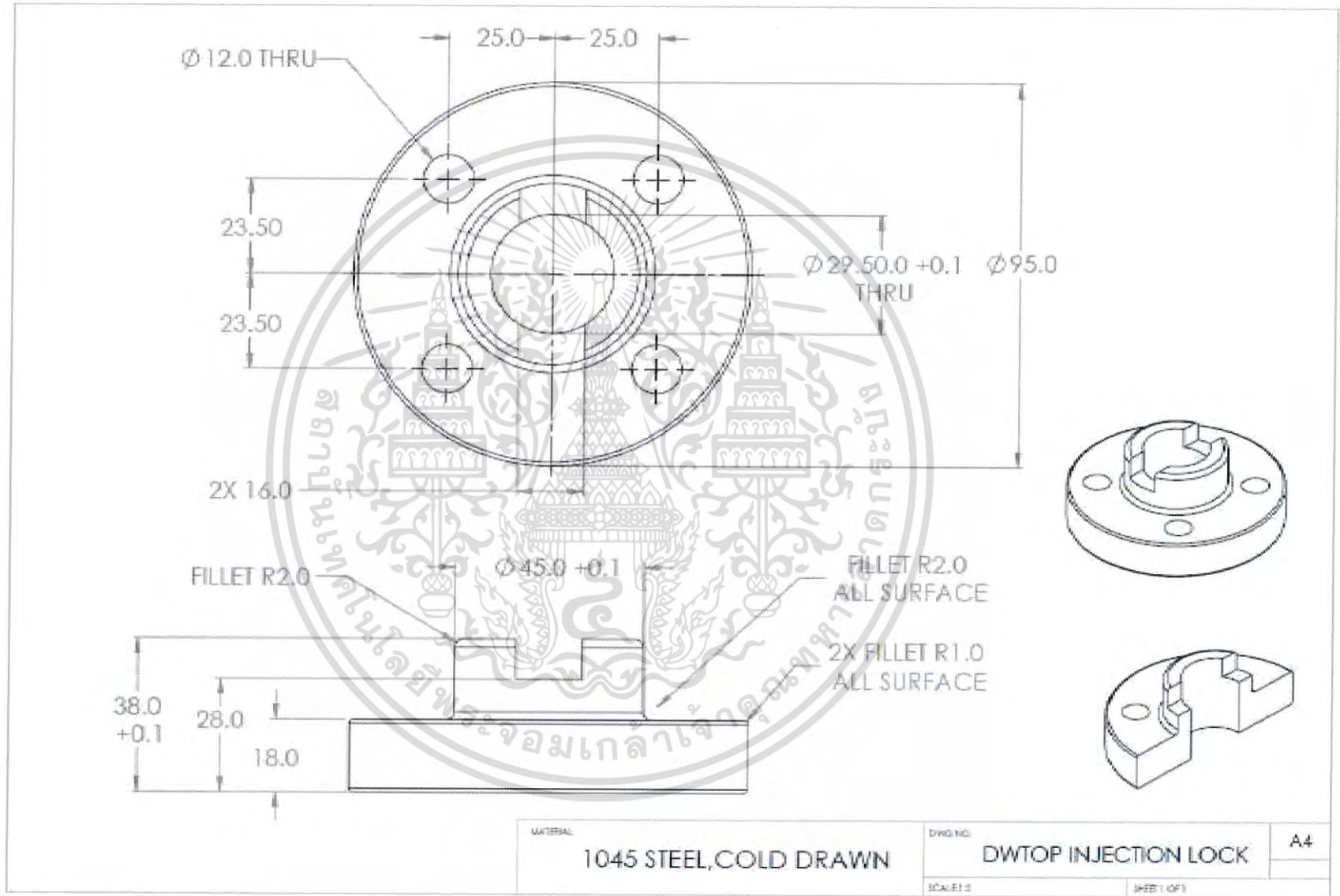
SHEET 3 OF 3

2. ฝาห้องจำลองปริมาตรคงที่ (Cap Chamber)

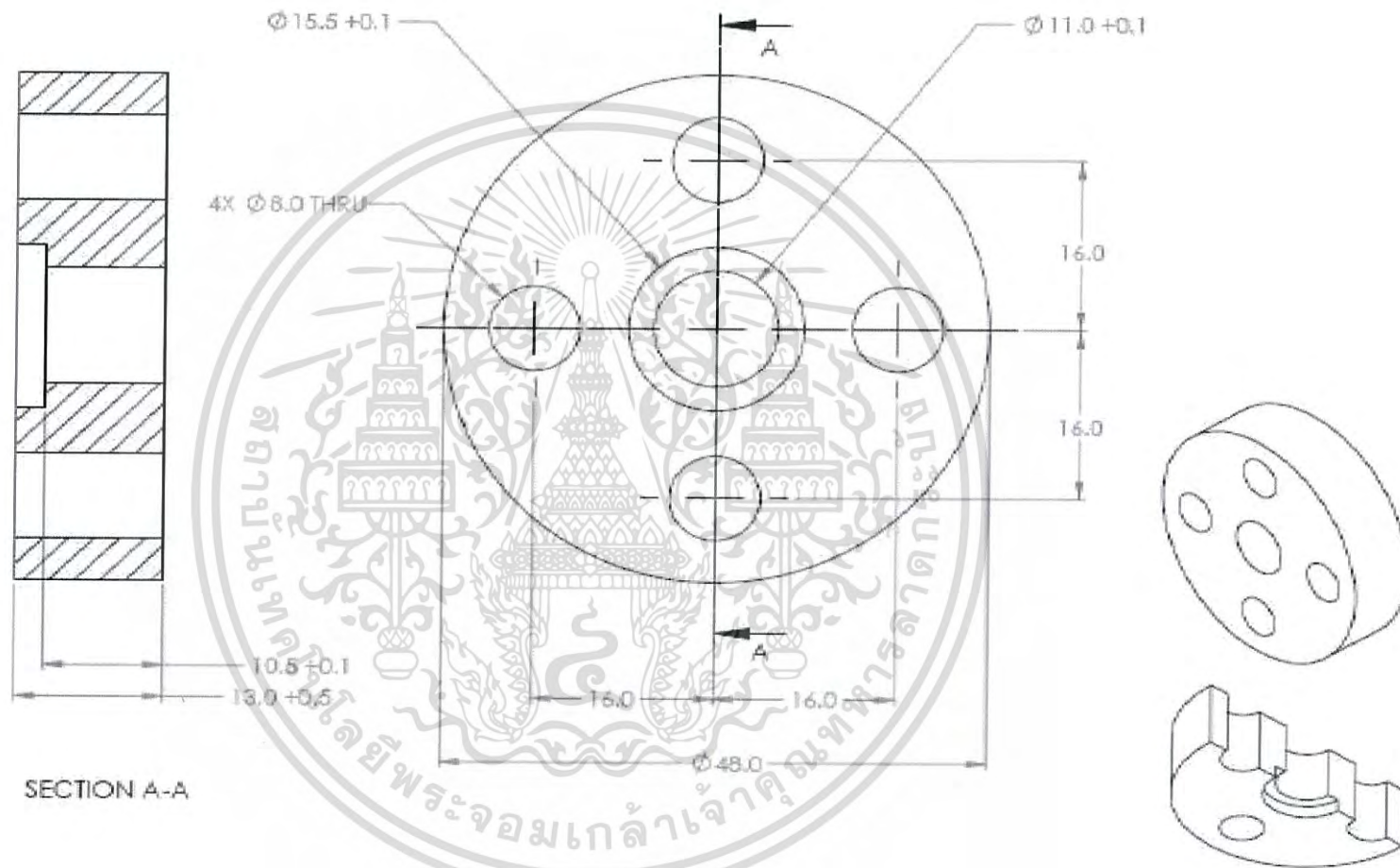


3. อุปกรณ์ที่ใช้รวมกับห้องจำลองปริมาตรคงที่

3.1 Top Injection Lock



3.2 Cap pneumatic



MATERIAL

1045 STEEL, COLD DRAWN

DWG. NO.

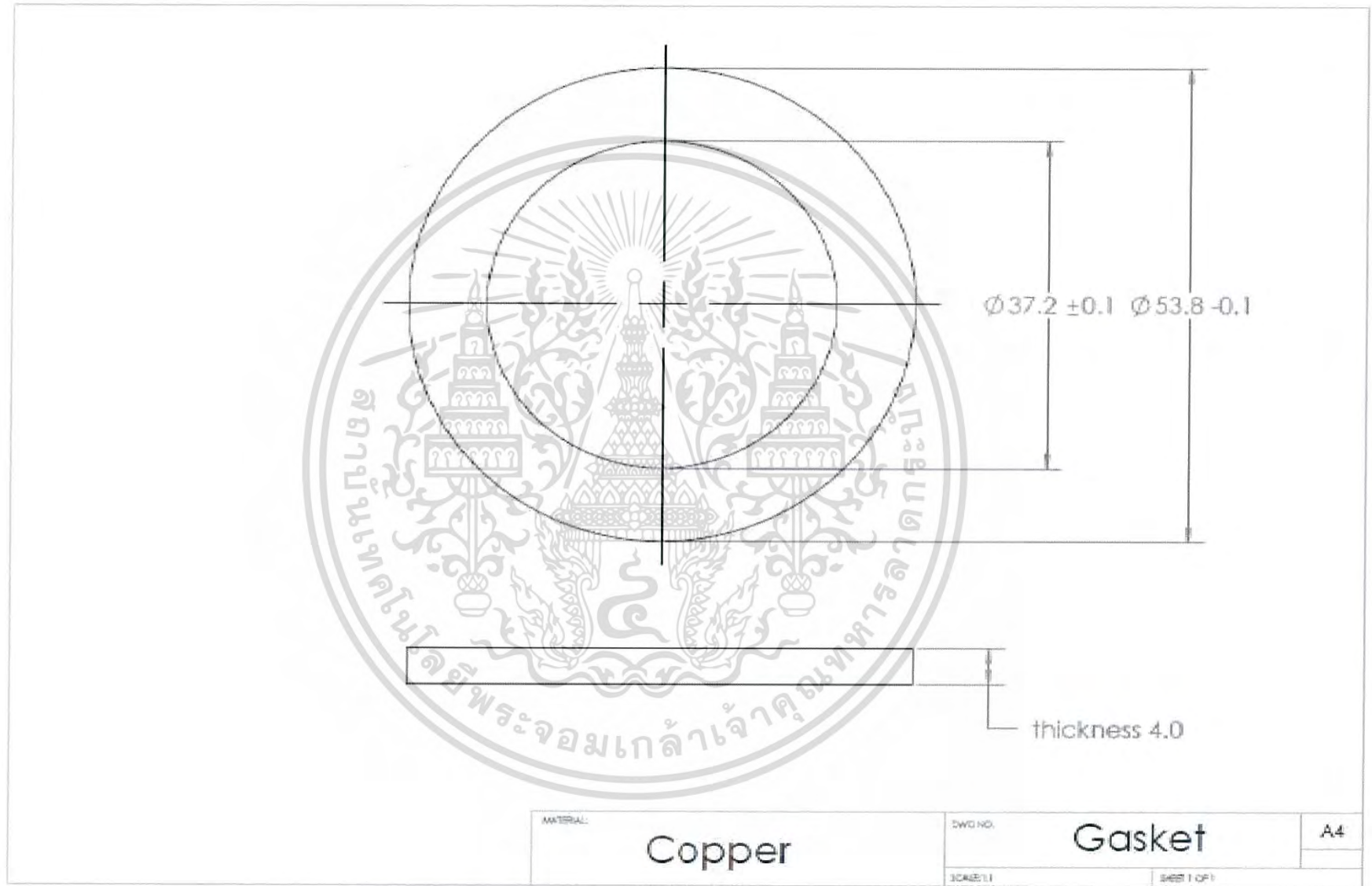
DWCAP PNEUMATIC

A4

SCALE: 1:1

SHEET 1 OF 1

3.3 Copper Gasket



ข้อมูล Specification pressure sensor

1. Static pressure sensor รุ่น PXT-2000

PXT Series Pressure Transmitters Installation Instructions

00-02-0475
Revised 08-05
Section 05

Please read the following information before installing.

A visual inspection of this product for damage during shipping is recommended before mounting.



WARNING

This Murphy instrument is susceptible to damage when exposed to static electrical charges. To avoid damage, observe the following:

- ✓ Ground transmitter body before making electrical connections.
- ✓ When disconnecting, remove ground connection last.
- ✓ Disconnect all electrical power to the machine.
- ✓ Make sure the machine cannot operate during installation.
- ✓ Follow all safety warnings of the machine manufacturer.
- ✓ Read and follow all installation instructions.



Listed for Class I, Div. 2, Groups A, B, C, D and Div. I, Grps. A, B, C, D with a Barrier

EMI Protection: To the European standards of BS EN 50082-2:1991 in accordance with IEC 901 para 1 to 6 for susceptibility to EMC and to BS EN 50081-1:1992 for emissions.

Voltage Surge/Spike: Protected against a 600 V spike to IEC 60-2. Reverse polarity protected.

Sealed: Sealed to one atmosphere at sea level for ranges > 1000 psi (6.89 MPa) (6.8 Bar).

Vented: Vented for ranges <= 1000 psi (6.89 MPa) (6.8 Bar).

Laboratory Approvals: UL, EUL, Class I, Div. 1, Groups A, B, C, D, Class II, Division 1, Groups E, F, G, when installed with approved barrier per drawing 05-08-0754 UL/UL Class I, Div. 2, Groups A, B, C, D, Class II Groups E, F, G, non-incendive per drawing 05-08-0754.

Description

The PXT Series pressure transmitters are state-of-the-art instruments providing 4 to 20 mA outputs. They feature a precision micro-machined silicon diaphragm with fully welded stainless steel pressure port for greater accuracy, stability and a wide range of compatibility. All wetted parts are 316L stainless steel or Hastelloy C276.

Specifications

Accuracy (Full Scale, Best Straight Line): ±0.25% including non-linearity, hysteresis and repeatability. Long term stability better than 0.2% FS over twelve (12) months.

Zero Setting: ±0.5% of full scale (0.25% typical).

Span Setting: ±0.5% of full scale (BSL, RSS).

Overpressure/Proof Pressure: 400% for up to 500 psi (3.45 MPa) [34 Bar], 200% for higher ranges.

Burst Pressure:

Ranges 0-1000 psi = 600% of full scale or 4000 psi whichever is lower. Ranges 2000 psi (13.79 MPa) [137 Bar] = 20,000 psi (27.5 MPa) [275 Bar].

Response Time: Frequency response better than 2 kHz.

Storage Temperature: -65 to 200°F (-54 to 93°C).

Operating Temperature: -40 to 180°F (-40 to 82°C).

Compensated Temperature: -20 to 160°F (-29 to 71°C).

Total Thermal Effects Over Compensated Range: ±2% FS TIED.

Physical:

Enclosure: Weather Resistant.

Body: 316 stainless steel. Meets NACE MR01-75.

Wetted Parts: 316L stainless steel or HASTELLOY C276.

Process Connection: 1/4 NPT female.

Electrical Cable: Integral; 60 in. (1514 mm); vented.

1/2 in. NPT male conduit connection

Environmental Effect

Humidity: No effect.

Mounting: Position/orientation has negligible effect.

Reverse polarity protected

Shock: 1000g 1ms Half sine Pulse in each of 3 mutually perpendicular axis will not affect performance.

Vibration: Effect on output response is less than 0.05% FS/g at 30g Peak 10Hz to 2kHz, limited by 0.05 in double amplitude. (ML STD 810C Proc. 5142-2 curve L).

PXT Power Requirements: Typically 24 VDC is required, using the Loop Resistance Graph, 9-30 VDC.

PXT Series Transmitter Output: 4-20 mA, 2-wire.

Insulation: Greater than 10 Mohms @ 500 VDC.

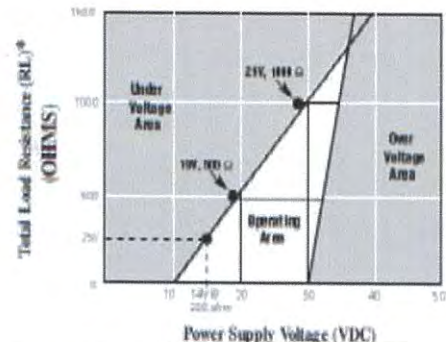
Ranges Available

Pressure Range:	Specify	For this range
30V30WC	-30" H ₂ O to +30" H ₂ O (+76 cm H ₂ O to +76 cm H ₂ O) (+/-0.075 Bar)	
30V30	-30" Hg to +30" Hg (-76 cm Hg to +76 cm Hg) (2.07 Bar)	
30V100	-30" Hg to +100" Hg (-76 cm Hg to 25.4 cm Hg) (6.89 Bar)	
15	0-15 psi (1.03 kPa) (1.03 Bar)	
60	0-60 psi (4.13 kPa) (4.63 Bar)	
100	0-100 psi (6.89 kPa) (6.89 Bar)	
200	0-200 psi (13.79 kPa) (13.79 Bar)	
300	0-300 psi (20.69 kPa) (20.69 Bar)	
400	0-400 psi (27.58 kPa) (27.58 Bar)	
600	0-600 psi (41.37 kPa) (41.37 Bar)	
1000	0-1,000 psi (68.95 kPa) (68.95 Bar)	
2000	0-2,000 psi (137.9 MPa) (137.9 Bar)	
3000	0-3,000 psi (206.9 MPa) (206.9 Bar)	
5000	0-5,000 psi (344.8 MPa) (344.8 Bar)	
6000	0-6,000 psi (413.7 MPa) (413.7 Bar)	

†NOTE: Conversions are approximate.

Loop Resistance Graph

Supply voltage for the PXT must be within range of 9-30 VDC. The Graph below shows the minimum supply voltage (VDC) required for a given load resistance (RL).



*NOTE: Cable resistance effect included in RL.

2. Dynamic pressure sensor รุ่น 6053CC60

Pressure

KISTLER
measure. analyze. innovate.

Miniature Measuring Probe

Type 6053CC...

for Non-Cooled Cylinder Pressure Measurement, M5 Thread

The miniature measuring probe with very small dimensions and M5x0.5 mounting thread is particularly suitable for direct installation in small-capacity combustion engines with more than two valves per cylinder. The measuring element is identical to the standard sensor Type 6052C...

- Good temperature stability of the sensitivity
- Acceleration-compensated
- Needs only 6 mm mounting bore
- Low thermal shock error and long life thanks to the front seal
- Very high sensitivity

Description

Type 6053CC... uses a new type of PiezoStar® crystal which achieves high sensitivity in conjunction with an extremely small sensor structure. The sensitivity drifts by a maximum of $\pm 0.5\%$ over the temperature range of $200 \pm 50^\circ\text{C}$. The passive acceleration compensation patented by Kistler keeps the influence of engine vibrations to a minimum.

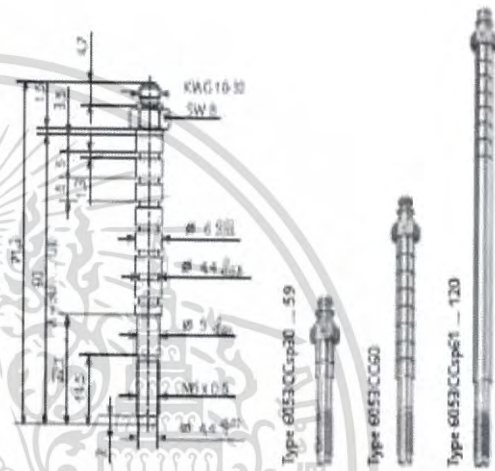
The front seal allows very good heat dissipation and thus briefly a maximum operating temperature of 400°C . The diaphragm, optimized by finite element calculation, produces good measuring results and ensures a long service life. The shape of the probe allows mounting with a very small access bore. O-rings also permit mounting through coolant passages. The probe can be manufactured in custom lengths between 30 and 120 mm.

Application

The sensor Type 6053CC... is an excellent all-rounder. Its rugged construction makes it suitable for measurements at the knock limit as well as for thermodynamic investigations. This sensor is used mainly on multi-valve engines, motor cycle and other small engines and for combustion analysis.

This sensor should be used when there is insufficient mounting space available for the Type 6052C...

At high speeds (vibrations), preference should be given to Type 6052C... since it is primarily the long versions of Type 6053CC... which can assume sympathetic vibrations. For applications mainly in the knocking range or at very high peak pressures, use of Type 6052C...U20 with reinforced diaphragm (heavy duty version) is recommended.



The probe is supplied without a cable. See Accessories for the various cables available for different applications. If the sensor connector is exposed directly to engine oil, e.g. when installed through the valve cover, the oil proof cable (IP67) Type 1983AC... is recommended.

Technical Data

Measuring range	bar	0 ... 250
Calibrated sub-ranges	bar	0 ... 50, 0 ... 100, 0 ... 150
Overload	bar	300
Sensitivity	pC/bar	≈ -20
Natural frequency, nominal	kHz	≈ 160
Linearity in all ranges (at 23°C)	%/FSO	$\leq \pm 0.4$
Acceleration sensitivity		
axial	bar/g	< 0.0002
radial	bar/g	< 0.0005
Operating temperature range	$^\circ\text{C}$	$-20 \dots 350$
Temperature min./max.	$^\circ\text{C}$	$-50 \dots 400$
Connector	$^\circ\text{C}$	200

6053CC_000-571e-03_08

This information corresponds to the current state of knowledge. Kistler reserves the right to make technical changes. Liability for consequential damage resulting from the use of Kistler products is excluded.

©2006, Kistler Group, Eulachstr. 22, 8408 Winterthur, Switzerland
Tel: +41 52 224 1111, Fax: +41 52 224 1414, info@kistler.com, www.kistler.com

Page 1/4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

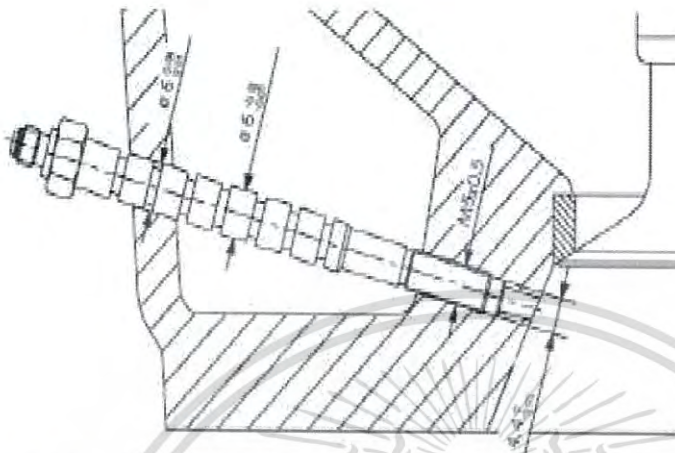


Fig. 1: Mounting through water passage

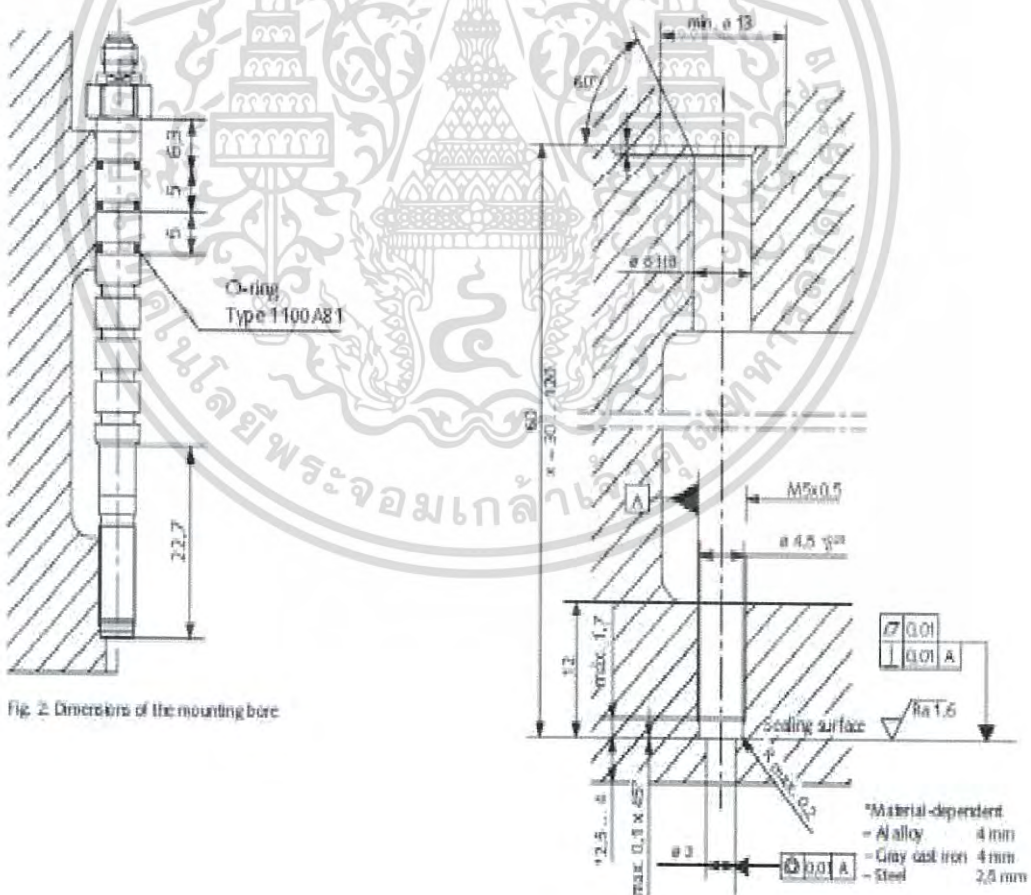


Fig. 2: Bore for sensor

6053CC_000-5716-02.018

ข้อมูล Charge Amplifier Kistler TYPE 5011

Electronics & Software

KISTLER

measure. analyze. innovate.

Charge Amplifier

Type 5011B...

Single-channel multi-range laboratory charge amplifier

The mains-operated, microprocessor controlled single-channel charge amplifier Type 5011B... converts the electrical charge produced by piezoelectric sensors into a proportional voltage signal.

- Large measuring range
- Wide frequency range
- Automatic zero correction
- Adjustable low-pass filter and time constant
- Various options and versions provide optimum adaptation to the measuring problem
- Conforming to CE

Description

The main features of the instrument are its continuous measuring range adjustment range from $\pm 10 \dots \pm 999\,000$ pC and convenient adjustment of the parameters with a two-line LC display. The values entered are retained in the event of an interruption in the power supply.

A built-in IEEE-488 parallel interface or a serial RS-232C interface is available as an option. This enables all set values to be entered or queried. Transmission of data measured is not possible.

The version ...Y50 additionally has a drift compensation and is used in engine measuring technology with uncooled sensors

Application

This amplifier serves mainly to measure mechanical quantities, e.g. pressure, force or acceleration.

The instrument dimensions are DIN standardized and it can be supplied in a desktop or rack mount case.



The principle measurement without calculation:

- Set sensor sensitivity
- Select display scale
- Sensor sensitivity and scale are displayed
- Set the signal output of the data acquisition unit (recorder, oscilloscope...), for example to 1 V/unit (1 V/cm)
- The display appears directly in mechanical units according to the display scale selected

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Technical Data

Basic unit		
Measuring range for 10 V FS	pC	±10 ... ±999 000
Sensor sensitivity (T) (M.U. = Mechanical units)	pC/M.U.	±0.01 ... ±9 990
Scale [S]	M.U./V	0.001 ... 9 990 000
Output voltage	V	±10
Output current (short-circuit protected)	mA	±5
Output impedance	Ω	10
Frequency range (-3 dB, Filter "OFF")	kHz	≈0 ... 200
Low-pass filter upper cutoff frequency -3dB Butterworth, 2 pin 8 stages (1, 3, 10 ...)	kHz (%)	0,01 ... 30 (±10)
Time constant (TC) (high-pass filter)		
Long	s	>1 000 ... 100 000
Medium (T = R _s ·C _s)	s	1 ... 10 000
Short (T = R _s ·C _s)	s	0,01 ... 100
Error		
<±100 pC FS (max./typ.)	%	<±3 / <±2
±±100 pC FS (max./typ.)	%	<±1 / <±0,5
Linearity	% FS	<±0,05
Noise	mV _{rms}	≈0,5 (<±1,5)
9,99 pC/V (1 pC/V)	mV _{rms}	≈1 (<±8)
Loss due to cable capacitance	pC.../pF	<2·10 ³
Drift at 25 °C	pC/s	<±0,07
General Data		
Operating temperature range	°C	0 ... 50
Connections		
Measuring input/signal output	-	BNC (negative)
Remote control (Operate, Overload, ...)	-	Connector 6 pin DIN 45322
Power plug	-	IEC 3 20 C 14
Conformity to EC Directive		
Safety	-	EN 61010-1
EMC Interference Emission	-	EN 50081-1/EN 50081-2
EMC Interference Immunity	-	EN 50082-1/EN 50082-2
Power, switchable (Protection class II)	VAC (%)	230/115 (-22/+15)
	Hz (VA)	48 ... 62 (20)
Voltage between protection and measuring ground	V _{max}	<50
Dimensions		
with desktop case type 5747A1	mm	94x141x195
for rack mounting	mm	71,12x120,7x169
Front panel according to DIN 41494 (Part 15)	HE (mm)	3 (128,7)
	TE (mm)	14 (71,12)
Weight (incl. IEEE-488 or RS-232C)	kg	≈2

Version ...Y50, Drift compensation; at [TC] setting "Drco"

Time constant (TC) (High-pass filter)		
Long	s	>1 000 ... 100 000
Drco	-	Driftcompensation
Short (T = R _s ·C _s)	s	0,01 ... 100
Driftcompensation, at [TC] setting "Drco"		
Range for ±10V FS	pC	±100 ... ±999 000
Zero-point error	mV	<±20
Max. Error in signal repetition frequency range	%	<1
Signal repetition frequency range	Hz	5 ... in dependence of the selected low-pass filter

Option: Parallel Interface IEEE-488 Type 5605A

Standardized interface with IEC 625-1 electrically compatible for remote control and checking of all parameters. Measured data are not transmitted.

Standard used	Type	IEEE-488-1978
Max. distance between 2 instruments	m	2
Max. bus length	m	20
Max. number of instruments on the bus		15
Address range		30
Functions		Listener, Talker

Option: Serial Interface RS-232C Type 5611A

Standardized interface for remote control and checking of all parameters. Measured data not transmitted.

Standard used	Type	RS-232C resp. V24
Max. cable length	m (pF)	20 (2 500)
Baud rates	Baud	50, 110, 250, 300, 600, 1 200, 2 400, 4 800
Number of data bit	Bit	7 or 8
Number of stop bit	Bit	1 or 2
Parity	-	without, even or odd
Software protocol	XON/XOFF	not allowed

ข้อมูล Hand pump (Diesel Injector Nozzle Tester / Pop Pressure Tester - Dual Scale Bar / PSI Gauge)

Injector Pop Tester with 0-600 Bar / PSI Gauge

Model: NTD 600

Injector Pop Tester with 0-600 Bar / PSI Gauge comprise precision designed and constructed range of nozzle testers that are made available with aluminum cast injection pumps operated through use of hand lever.

Coming with semi transparent fuel container with 5 micron genuine Bosch filter, these are three way shut off valves featuring heavy duty Brass Bourdon tube Pressure gauge with dial of 150 mm, thread of 3/8 " BSP and working range from 0 - 600 Bar & 0 - 8500 PSI. These also come fitted with genuine Bosch plunger as well as option of delivery valve and filter so as to provide for optimum functional support.

The nozzle tester consists of :

1. Aluminum Cast Injection pump operated by a hand lever.
2. Semi Transparent fuel container with a 5 micron genuine Bosch filter.
3. Three way shut off valve
4. Heavy duty Brass Bourdon tube Pressure gauge - 150 mm Dial, 3/8 " BSP thread Dual Scale Gauge:-
 - o Ranges: 0 - 600 Bar & 0 - 8500 PSI
5. Fitted with genuine Bosch plunger, delivery valve and filter.

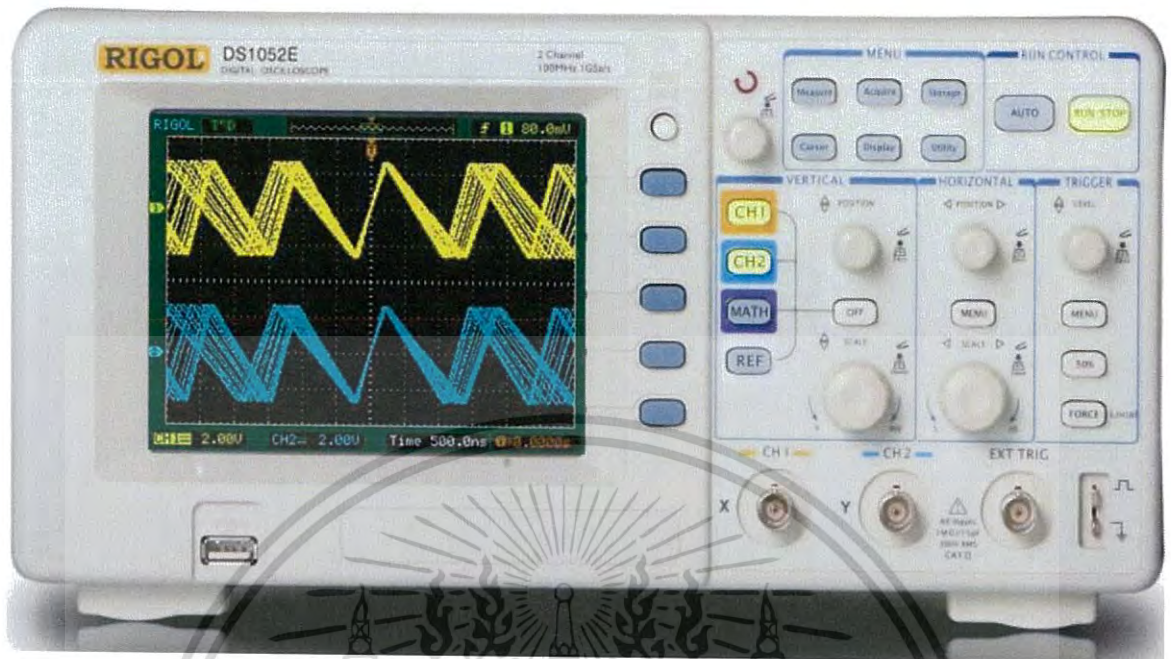


[Send Enquiry](#)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล เครื่องบันทึกผลการทดลอง Digital Oscilloscope DS1052E



Features

Specifications

Documents

Software

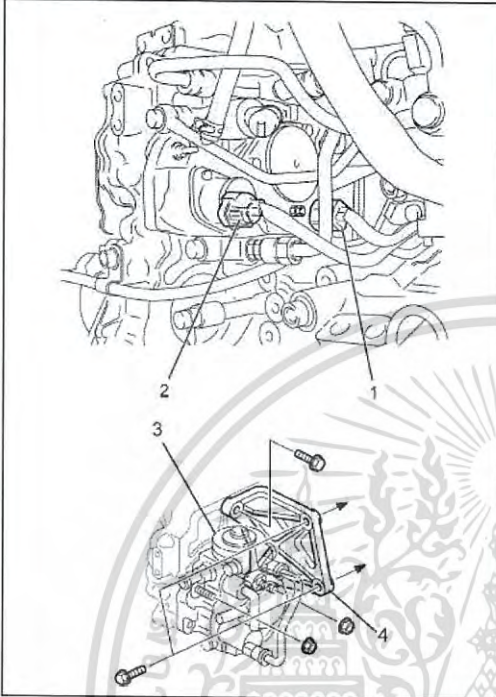
Accessories

Model	DS1052E			
Bandwidth	50 MHz			
Analog Channels	2			
Vertical Sensitivity	2 mV/div - 10V/div			
Real-time Sample Rate	1 GSa/s (each channel) , 500 MSa/s (dual channels)			
Equivalent Sample Rate	10 GSa/s			
Memory Depth	Mode	capture rate	common	long memory
	one channel	1 GSa/s	16 kpts	N/A
		500 MSa/s	16 kpts	1 Mpts
dual channels	500 MSa/s 250 MSa/s or less	8 kpts 8 kpts	N.A. 512 kpts	
Standard Interface	USB Host & Device, RS-232, P/F Out			
Vertical Resolution	8 bits			
Math	+ , - , x , FFT			
Max Input Voltage	All inputs 1M Ω 15pF 300 V RMS CATI			
Cursor Measurements	Manual, Track and Auto Measure modes			

DS1000D/E Specs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

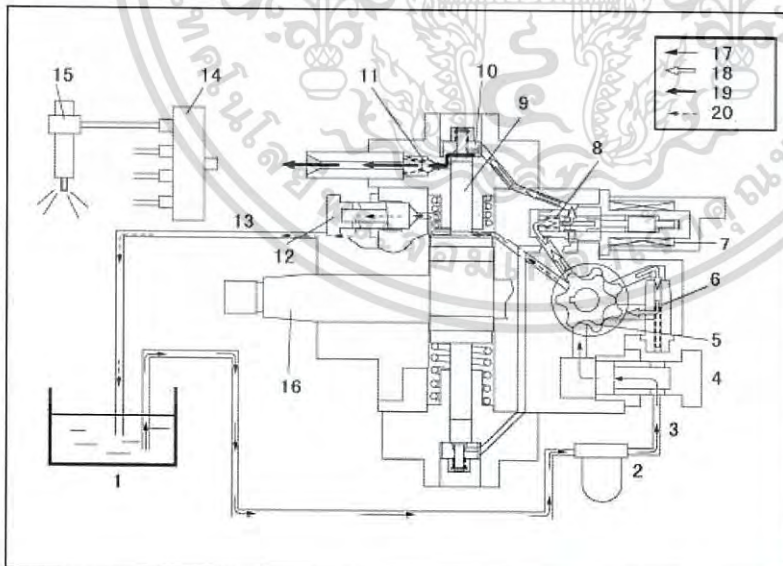
FUEL SUPPLY PUMP



FSP merupakan jantung dari tipe penginjeksian bahan bakar elektronik sistem common rail, injection pump tidak dipakai lagi dan supply pump type plunger dibuat untuk men-supply bahan bakar bertekanan tinggi ke fuel rail. Supply pump dipasang pada posisi yang sama seperti injection pump konvensional, dan digerakkan 1:1 terhadap mesin. Feed pump (trochoid type) dipasang dibagian dalam supply pump untuk menyedot bahan bakar dari fuel tank ke plunger chamber. Juga, pada supply pump dilengkapi oleh suction control valve (SCV) untuk mengontrol supplay bahan bakar bertekanan tinggi ke fuel rail dan sebuah fuel temperature (FT) sensor untuk mendeteksi temperatur bahan bakar.

1. Fuel Temperature (FT) Sensor
2. Suction Control Valve (SCV)
3. Fuel Supply Pump
4. Bracket

Catatan! Untuk membuat karakteristik fuel supply pump sesuai dengan kerja ECM, biarkan mesin idle selama pemanasan setelah ECM atau supply pump diganti. Jika DTC's fuel system tersimpan pada waktu yang ditentukan, Sekali menghapus DTC lalu panaskan mesin lagi.

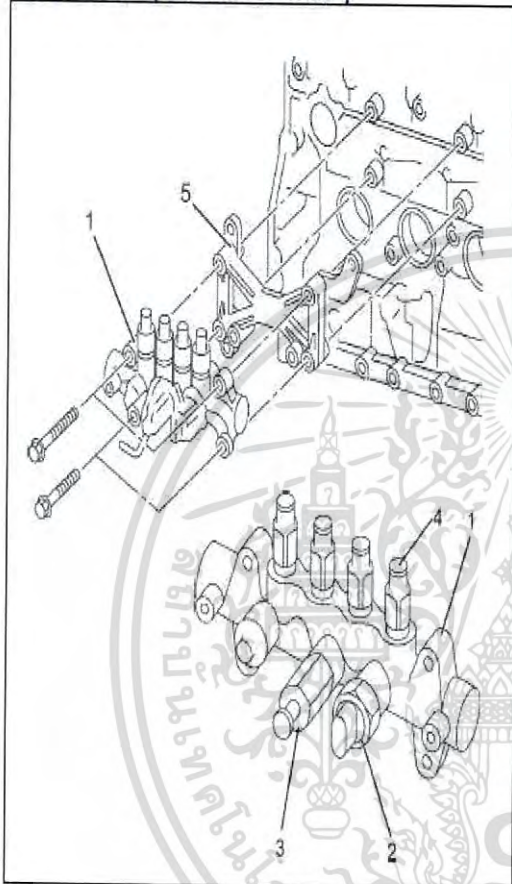


1. Fuel Tank
2. Fuel Filter
3. Suction
4. Fuel Inlet
5. Feed Pump
6. Regulating Valve
7. Suction Control Valve (SCV)
8. Return Spring
9. Plunger
10. Suction Valve
11. Delivery Valve
12. Fuel Overflow
13. Return
14. Fuel Rail
15. Injector
16. Driveshaft
17. Suction Pressure
18. Feed Pressure
19. High Pressure
20. Return Pressure

Bahan bakar dihisap masuk kedalam plunger chamber oleh feed pump yang ada didalam supply pump, dan selanjutnya ditekan dengan tekanan tinggi ke fuel rail oleh dua plungers yang digerakkan oleh camshaft disitu. Kerja SCV berdasarkan signals dari engine control module (ECM) yang mengontrol kuantiti dan timing bahan bakar untuk disupply ke fuel rail. Type pump ini dapat menyesuaikan jumlah bahan bakar di tekanan rendah dan pengiriman tekanan tinggi bila diperlukan sehingga efisien.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่ควรนำออกจำหน่าย หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต. หากต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายบริการลูกค้าของ Isuzu Motor Thailand. ราคานี้เป็นราคาแนะนำเท่านั้น และอาจมีการเปลี่ยนแปลงโดยไม่ต้องแจ้งให้ทราบล่วงหน้า. กรุณาตรวจสอบรายการประกอบและรายการสีของเครื่องยนต์ก่อนสั่งซื้อ. กรุณาอ่านคู่มือการใช้งานและคู่มือการบำรุงรักษาเครื่องยนต์ Isuzu 4JJ1-TC Engine-38 อย่างละเอียดก่อนการใช้งาน. Isuzu Motor Thailand ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลนี้. © 2010 Isuzu Motor Thailand. All rights reserved.

FUEL RAIL (COMMON RAIL)



Dengan dipergunakannya tipe sistem elektronik penginjeksian bahan bakar, fuel rail dihubungkan ke saluran tekanan tinggi bahan bakar antara supply pump dan injectors. Sensor tekanan dan pressure limiter (pembatas tekanan) dipasang pada fuel rail. Pressure sensor mendeteksi tekanan bahan bakar didalam fuel rail dan mengirimkan sinyalnya ke ECM. Berdasarkan signal ini ECM mengontrol tekanan bahan bakar didalam fuel rail melalui Suction Control Valve di supply pump. Pressure limiter membuka valve secara mekanikal untuk menjaga tekanan saat tekanan bahan bakar didalam fuel rail sangat berlebihan.

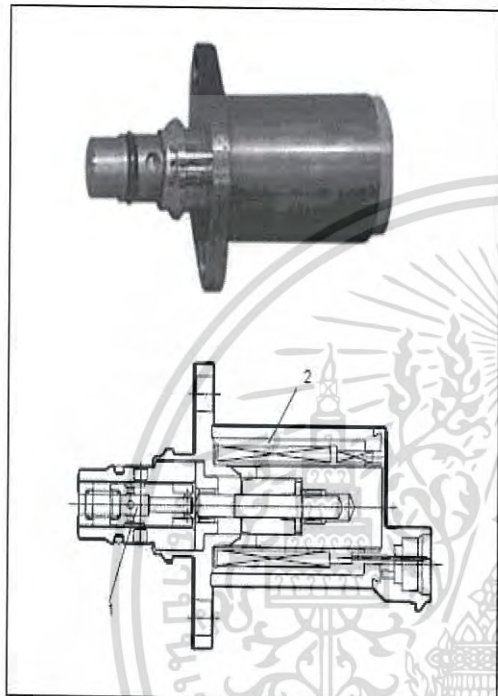
- 1. Fuel Rail
- 2. Fuel Rail Pressure Sensor
- 3. Pressure Limiter Valve
- 4. Flow Damper
- 5. Bracket

ข้อมูลวาล์วควบคุมปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง (Suction Control Valve, SCV) ของเครื่องยนต์ 4JJ1-TC



4JJ1-TC Engine-42

Operation of Suction Control Valve (SCV)



Splenoid valve type linear telah diadopsi. ECM mengontrol 250Hz duty ratio (lamanya waktu arus yang bekerja di SCV), yang bertugas mengontrol jumlah bahan bakar yang dikirim ke plunger tekanan tinggi. pressure plunger. Beban berputar supply pump berkurang hanya saat jumlah bahan bakar yang diterima rail pressure sudah sesuai target.

Saat arus mengalir ke SCV, tekanan electromotive variable dihasilkan sesuai dengan duty ratio, menggerakkan armature ke sisi kiri. Armature menggerakkan cylinder ke sisi kiri, mengubah fuel passage terbuka dan dengan demikian mengatur jumlah bahan bakar. Saat SCV OFF, spring pengembali akan mendorong membuka penuh fuel passage dan bahan bakar mengalir ke plungers (Full quantity intake dan full quantity discharge) Saat SCV ON, tekanan dari return spring bergerak mendorong cylinder ke kanan, menutup saluran bahan bakar (normally open).

Pengontrolan arus SCV dapat dilihat di data display Tech-2 dengan unit "mA". SCV On duty ratio juga dapat ditemukan di data display Tech 2 dengan "%".

- 1. Valve
- 2. Coil
- A. Small Duty Ratio (Large Suction Quantity)
- B. Large Duty Ratio (Small Suction Quantity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง Photron รุ่น FASTCAM MINI UX50



FRAME RATE (fps)	MAXIMUM RESOLUTION		RECORD DURATION (12-BIT)					
			TIME (Sec.)			FRAMES		
	Horizontal	Vertical	4GB	8GB	16GB	4GB	8GB	16GB
1,000	1,280	1,024	2.18	4.37	8.73	2,180	4,365	8,734
2,000	1,280	1,024	1.09	2.18	4.37	2,180	4,365	8,734
4,000	1,280	512	1.09	2.18	4.37	4,361	8,730	17,468
5,000	1,280	488	0.92	1.83	3.67	4,575	9,159	18,327
8,000	1,280	296	0.94	1.89	3.78	7,543	15,100	30,215
10,000	640	240	1.86	3.72	7.45	18,607	37,248	74,531
20,000	1,280	120	0.93	1.86	3.73	18,607	37,248	74,531
40,000	1,280	56	1.00	2.00	3.99	39,872	79,818	159,709
80,000	1,280	48	0.58	1.16	2.33	46,518	93,121	186,328
100,000	1,280	24	0.93	1.86	3.73	93,036	186,242	372,656
160,000	1,280	8	1.74	3.49	6.99	279,108	558,728	1,117,969

Sensor	1280x1024 pixels, 10um pixel size, 12-bit ADC (Bayer system color, 36 bit single sensor)	Trigger Modes	Start, Center, End, Manual, Random
Shutter	Global electronic shutter from 20ms to 4µs independent of frame rate	Saved Image Formats	JPEG, AVI, TIFF, BMP, RAW, PNG, MOV and FTIF. Images can be saved with or without comment data
Memory	4GB (2,180 frames @ maximum resolution) standard 8GB (4,365frames @ maximum resolution) memory options 16GB (8,734 frames @ maximum resolution) memory options	Data Display	Frame Rate, Shutter Speed, Trigger Mode, Date or Time, Status (Playback /Record), Real Time, Frame Count and Resolution
Camera Control	High speed Gigabit Ethernet	Cooling	Actively cooled
Low Light Mode	Low light mode drops the frame rate and shutter time to their maximum values, while maintaining other set parameters, to enable users to position and focus the camera	High-G operation	Tested to 100G, 10ms, 6 axis
Triggering	Selectable positive or negative TTL 5Vp-p or switch closure	Operating Temperature	0 - 40 degrees (32 - 104 degree F)
Timing	Internal clock or external source	Mounting	4 x1/4-20UNC, 4 x M5
I/O	Input: Trigger (TTL/Switch), Sync, Ready, Event, IRIG Output: Trigger, Sync, Ready, Rec, Expose	Dimensions	120 mm (4.7")Hx120mm (4.7")Wx90mm (3.6")D
Phase Lock	Enable cameras to synchronized precisely together to a master camera or external source such as IRIG time codes	Weight	1.5 kg (3.4 lbs)
		Power Requirements	100V-240V AC 40W , 50-60Hz DC operation 22-32 VDC, 40VA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือมีการแจ้งขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้