

การศึกษาเกี่ยวกับอัตราการฉีดเชื้อเพลิงของน้ำมัน HYDROTREATED
VEGETABLE OIL ในระบบหัวฉีดความดันสูง

EVALUATION ON INJECTION RATE OF HYDROTREATED VEGETABLE OIL
BY USING HIGH PRESSURE FUEL INJECTION SYSTEM



นายมานะ พูนขยัน
นายสมบัติ มารศรี
นายสรพล แซ่เต๋น

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EVALUATION ON INJECTION RATE OF HYDROTREATED
VEGETABLE OIL BY USING HIGH PRESSURE FUEL INJECTION
SYSTEM



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาเกี่ยวกับอัตราการฉีดเชื้อเพลิงของน้ำมัน Hydrotreated vegetable oil ในระบบหัวฉีดความดันสูง

Evaluation on Injection rate of Hydrotreated Vegetable Oil by using High Pressure Fuel Injection System

ผู้จัดทำ

- | | | |
|---------------------|---------------|----------|
| 1. นายมานะ พูนขยัน | รหัสนประจำตัว | 54011028 |
| 2. นายสมบัติ มารศรี | รหัสนประจำตัว | 54011316 |
| 3. นายสรพล แซ่เต๋น | รหัสนประจำตัว | 54011327 |

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.พงษ์ศักดิ์ คำมูล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเกี่ยวกับอัตราการฉีดเชื้อเพลิงของน้ำมัน Hydrotreated vegetable oil ในระบบหัวฉีด
ความดันสูง

นายมานะ พูนขยัน 54011028

นายสมบัติ มารศรี 54011316

นายสรพล แซ่เต๋น 54011327

ผศ.พงษ์ศักดิ์ คำมูล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

งานโครงการนี้เป็นการศึกษาอัตราการฉีดเชื้อเพลิงของน้ำมัน Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) โดยวิธี Zeuch ด้วยหัวฉีดน้ำมันดีเซลความดันสูงระบบวางร่วม (คอมมอนเรล) โดยมีการสร้างห้องจำลอง เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเชื้อเพลิงและความดันในห้องจำลอง (Zeuch's chamber) อีกทั้งยังมีการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความดันเพื่อตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของความดันและอุณหภูมิภายในห้องจำลอง อีกทั้งมีการใช้ตัวแปรโมดูลัสการอัดตัวเพื่อหาอัตราการฉีดของเชื้อเพลิง ซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณการฉีดของเชื้อเพลิงนั้นสามารถที่จะนำมาใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ และ มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมัน เพื่อพัฒนาคุณภาพของน้ำมันให้เป็นพลังงานทดแทนใหม่ ซึ่งจากผลการทดลองอัตราการฉีดของน้ำมันดีเซลนั้นมีค่ามากกว่าของน้ำมัน HVO อันเนื่องมาจากผลของโมดูลัสการอัดตัวซึ่งน้ำมันดีเซลจะมีค่ามากกว่าน้ำมัน HVO

คำหลัก: อัตราการฉีดเชื้อเพลิง, อุปกรณ์วัดปริมาณการฉีดของเชื้อเพลิงแบบเชิส, น้ำมัน HVO, โมดูลัสการอัดตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Evaluation on Injection rate of Hydrotreated Vegetable Oil by using High Pressure Fuel Injection System

MANA POONKAYAN 54011028
SOMBAT MARASRI 54011316
SORAPOL TURN 54011327
Asst.Prof. Pongsak Khummoon Advisor
Year 2557

Abstract

Evaluation on injection rate of Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) by using Zeuch's method with high pressure diesel fuel injector which operate in common rail system. The thermocouple is installed on the tank for measuring temperature and studying the relation between injected fuel amount and pressure rise inside the chamber. The pressure sensors are used for detecting small change of pressure. Bulk modulus of elasticity can be used to find the right amount of fuel as correction factor. It is expected that result of research will be able to use for investigating the influences of HVO-fuel properties to combustion efficiency and emissions as well as improving the fuel quality for new alternative fuel generation base diesel. The experimental results show that the injection rate of Diesel are higher than HVO because of the fuel Bulk modulus which Diesel have higher than HVO.

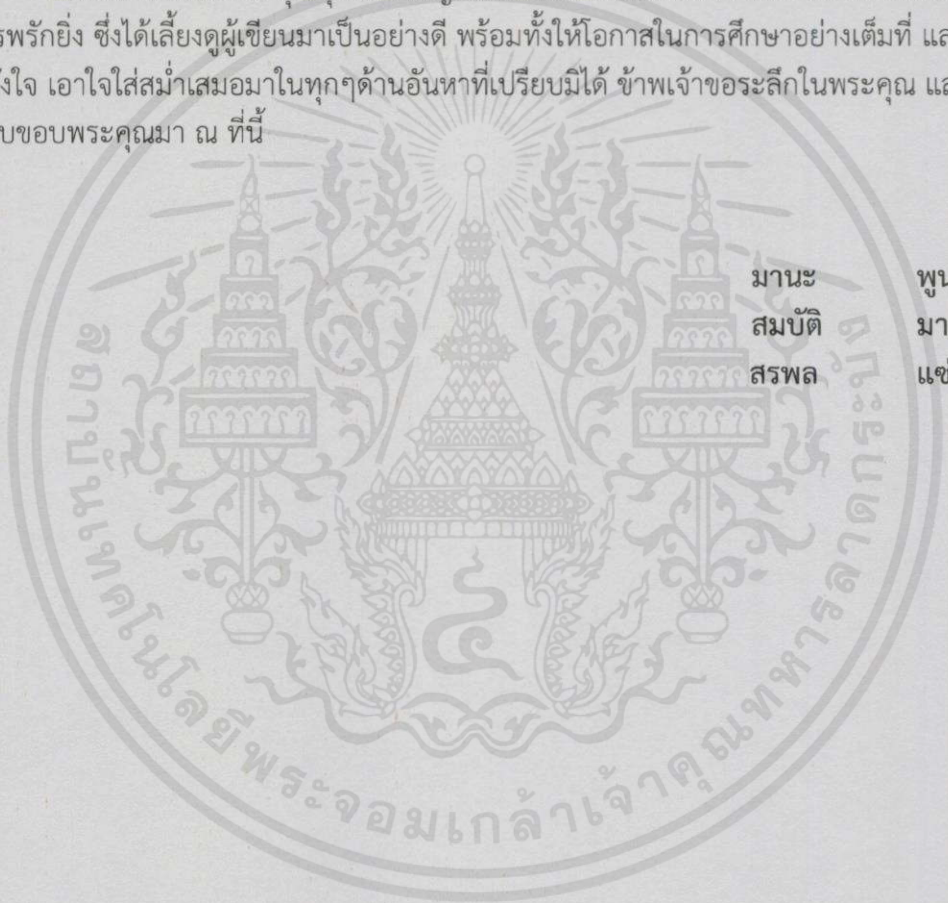
Keywords: Injection rate, Zeuch's method for fuel injection rate, Hydrotreated Vegetable Oil (HVO), Bulk Modulus.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่างๆ เสมอมาจาก ผศ.ไพฑูริย์ศักดิ์ คำมูล อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก ขอขอบคุณอาจารย์กรรมการที่ช่วยให้คำแนะนำ ชี้แจงข้อบกพร่องที่ควรแก้ไข ซึ่งทำให้ผลงานมีความสมบูรณ์มากขึ้น รวมถึงสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้สถานที่ในการทำโครงการนี้และขอขอบคุณนายประธาน ศรีชัย Mr.Vo Tan Chau และ Renewable Energy Laboratory National Metal and Materials Technology Center ตลอดจน บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการนี้

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่รัก เคารพรักรยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่สม่ำเสมอในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



มานะ
สมบัติ
สรพล

พูนชัย
มารศรี
แช่เต็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีหลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ระบบคอมมอนเรล.....	3
2.2 หัวฉีดโซลีนอยด์.....	4
2.3 น้ำมันHydrotreated Vegetable Oil.....	4
2.4 Zeuch's method.....	5
2.5 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง.....	7
2.5.1 ความหนาแน่น.....	7
2.5.2 ความหนืด.....	7
2.6 การกำหนดคุณลักษณะของการฉีดเชื้อเพลิง.....	7
2.6.1 ความล่าช้าของการฉีด.....	8
2.6.2 ระยะเวลาการฉีด.....	8
2.7 การคำนวณเกี่ยวกับอัตราการฉีดเชื้อเพลิงเฉลี่ย.....	8
2.7.1 ปริมาณการฉีด.....	8
2.7.2 อัตราการฉีดเชื้อเพลิงเฉลี่ย.....	8
2.7.3 Discharge Coefficient.....	9
2.7.4 Reynolds number.....	9

สารบัญ (ต่อ)

2.7.5 Cavitation number.....	10
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.8.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาอัตราการฉีด.....	10
2.8.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบน้ำมันHydrotreated vegetable oil.....	11
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	13
3.1 การออกแบบและสร้างชุดวัดปริมาณการฉีดแบบZeuch.....	13
3.2 หลักการออกแบบห้องจำลองปริมาตรคงที่.....	14
3.2.1 คุณสมบัติของวัสดุของห้องจำลองปริมาตรคงที่.....	14
3.2.2 การวิเคราะห์ค่าความแข็งแรง โดยใช้โปรแกรมSolidWorks Simulation.....	14
3.3 ชุดการทดลองการวัดปริมาณการฉีดแบบZeuch.....	19
3.4 โปรแกรมควบคุม.....	20
3.5 การทดสอบการรั่ว.....	21
3.6 เงื่อนไขการศึกษา.....	22
3.6.1 การทดลองหาค่าโมดูลัสการอัดตัว.....	22
3.6.2 การทดลองการวัดปริมาณการฉีด.....	22
3.7 การทดลองหาค่าโมดูลัสการอัดตัว.....	23
3.8 การทดลองการวัดปริมาณการฉีด.....	24
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	26
4.1 ผลจากการศึกษาการออกแบบชุดการทดลอง.....	26
4.1.1 ผลการทดสอบการรั่ว.....	26
4.2 ผลการศึกษาคุณลักษณะการฉีดและอัตราการฉีดของน้ำมัน.....	27
4.2.1 ผลการทดลองหาค่าโมดูลัสการอัดตัว.....	27
4.2.2 อัตราการฉีดเชื้อเพลิง.....	29
4.2.3 ความล่าช้าของการฉีด.....	30
4.2.4 ระยะเวลาการฉีด.....	31
4.2.5 ปริมาณการฉีดของเชื้อเพลิง.....	32
4.2.6 Discharge coefficient.....	34
4.2.7 Discharge coefficient กับ Reynolds number.....	35

สารบัญ (ต่อ)

4.2.8 Reynolds number กับรากที่สองของ Cavitation number.....	36
4.2.9 Discharge coefficient กับ รากที่สองของ Cavitation number.....	38
4.3 Energy input.....	39
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	40
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	40
5.1.1 ผลการศึกษาการออกแบบชุดอุปกรณ์ทดลอง.....	40
5.1.2 ผลการศึกษาคูณลักษณะการฉีดและอัตราการฉีดของน้ำมัน.....	40
5.1.2.1 สมบัติทางกายภาพของน้ำมัน.....	40
5.1.2.2 ความดันในการฉีดของหัวฉีด.....	40
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	41
บรรณานุกรม.....	42
ภาคผนวก.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 มลพิษที่ลดลงจากการสันดาปภายในของเครื่องยนต์ของน้ำมัน.....	11
2.2 มลพิษของน้ำมันดีเซลเทียบกับน้ำมันHVO.....	12
3.1 แสดงคุณสมบัติบางประการของวัสดุ.....	14
3.2 แสดงเงื่อนไขการออกแบบห้องจำลองปริมาตรคงที่.....	15
3.3 เงื่อนไขการศึกษาการทดลองหาค่าโมดูลัสการอัดตัว.....	22
3.4 เงื่อนไขการศึกษาการวัดปริมาณการฉีด.....	22



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบหลักของระบบคอมมอนเรล.....	3
2.2 การทำงานของหัวฉีดโซลินอยด์.....	4
2.3 กระบวนการผลิตน้ำมัน Hydrotreated Vegetable Oil.....	5
2.4 หลักการวัดด้วยวิธีZeuch.....	6
2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดเพลิงกับเวลา.....	8
3.1 ขั้นตอนการออกแบบชุดวัดปริมาณการฉีด.....	13
3.2 ห้องจำลองปริมาตรคงที่.....	14
3.3 แสดงจุดที่ถูกจับยึดแน่นทั้งหมดของห้องจำลองปริมาตรคงที่.....	15
3.4 แสดงภาพตัดที่ใส่จุดจับยึดแน่นของห้องจำลองปริมาตรคงที่.....	15
3.5 แสดงบริเวณที่มีแรงกระทำกับห้องจำลอง.....	16
3.6 แสดงภาพตัดที่บริเวณที่มีแรงกระทำกับห้องจำลอง.....	16
3.7 แสดงความละเอียดในการวิเคราะห์ห้องจำลอง.....	17
3.8 แสดงผลจากการวิเคราะห์ค่าความเค้นของห้องจำลอง.....	17
3.9 แสดงผลการวิเคราะห์การเสียรูปของห้องจำลอง.....	18
3.10 ห้องจำลองปริมาตรคงที่พร้อมอุปกรณ์การทดลอง.....	19
3.11 ห้องจำลองปริมาตรคงที่พร้อมกับอุปกรณ์การวัดปริมาณการฉีด.....	20
3.12 โปรแกรมควบคุมการทดลอง.....	20
3.13 แผนผังการทดสอบการรั่ว.....	21
3.14 หน้าจอแสดงผลการทดสอบการรั่ว.....	21
3.15 แผนผังการทดลองหาค่าโมดูลัสการอัดตัว.....	23
3.16 หน้าจอแสดงผลการทดลองหาค่าโมดูลัส.....	23
3.17 แผนผังการวัดปริมาณการฉีดเชื้อเพลิง.....	24
3.18 ชุดการวัดปริมาณการฉีดแบบZeuchพร้อมอุปกรณ์การทดลอง.....	25
4.1 ผลของการทดสอบรั่วของอุปกรณ์ที่อยู่ในรูปของความดันเทียบกับเวลา.....	26
4.2 ผลการทดลองหาค่าโมดูลัสการอัดตัว.....	27
4.3 ค่าโมดูลัสที่ความดันในการฉีดที่ได้มาจากสมการตามรูปที่4.2.....	28
4.4 อัตราการฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันในการฉีด40, 100, 160 MPa.....	29
4.5 ความล่าช้าของการฉีด.....	30
4.6 ระยะเวลาการฉีด.....	31
4.7 ปริมาณการฉีดของเชื้อเพลิง.....	32

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 Discharge coefficient กับผลต่างความดันของการฉีด.....	34
4.9 Discharge coefficient กับ Reynolds number.....	35
4.10 Reynolds number กับรากที่สองของ Cavitation number.....	36
4.11 Discharge coefficient กับ รากที่สองของ Cavitation number.....	38
4.12 Energy input กับผลต่างความดันของการฉีด.....	39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันโลกของเราได้ประสบปัญหาขาดแคลนน้ำมันดิบ [1] และก๊าซธรรมชาติที่ใกล้หมดลงซึ่งสังเกตได้จากอัตราการใช้พลังงานต่อวันของแต่ละประเทศเทียบกับความสามารถในการผลิตซึ่งพบว่าโดยส่วนใหญ่จะมีอัตราการใช้ที่ค่อนข้างสูงกว่าความสามารถในการผลิต ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดวิกฤติพลังงานได้ จึงทำให้มีการคิดค้นหาแหล่งพลังงานทดแทนมาใช้แทนแหล่งพลังงานฟอสซิล

น้ำมัน Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) [2] เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่จะนำมาทดแทนน้ำมันดีเซลเพราะเนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตนั้นสามารถหาได้จากผลผลิตทางการเกษตร ไม่ว่าจะเป็นปาล์มน้ำมันสบู่ดำน้ำมันถั่วเหลืองรวมทั้งไขมันของเหลือจากสัตว์ อีกทั้งน้ำมัน HVO ยังมีคุณสมบัติทางเคมีที่เหนือกว่าน้ำมันดีเซล กล่าวคือสามารถใช้ในที่สภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำ มีเลขซีเทน (Cetane number) ที่สูงกว่ามีให้พลังงานความร้อนได้ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้น้อยกว่า

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบชุดการทดลองและการวัดอัตราการฉีดของน้ำมัน [3] เพื่อศึกษาอัตราการฉีดของน้ำมัน ซึ่งผลของอัตราการฉีดนั้นสามารถนำไปเป็นแนวทางในการปรับปรุงเพื่อหาความเหมาะสมของอัตราการฉีดของน้ำมันในเครื่องยนต์ได้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์และเพื่อให้สามารถใช้งานเชื้อเพลิงชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพต่างจากน้ำมันที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย และนอกจากนั้นยังสามารถนำไปสู่การทดลองเพื่อศึกษาคุณลักษณะของสเปรย์น้ำมันและการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ได้อีกด้วย

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างชุดวัดปริมาณการอัตราการฉีดตามแบบZeuch's ของหัวฉีดดีเซลแรงดันสูงแบบคอมมอนเรล (Common rail)

1.2.2 เพื่อศึกษาคุณลักษณะการฉีดของน้ำมันHVO ในหัวฉีดดีเซลคอมมอนเรลที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิงต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 คุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันดีเซลและน้ำมัน HVO เช่น ความหนาแน่น ความหนืด จลน์ เป็นต้น มีความแตกต่างกัน ดังนั้นทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณลักษณะการฉีดของเชื้อเพลิง

1.3.2 ค่าโมดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิงความดันในการฉีดเชื้อเพลิง ความดันภายในห้องจ่ายปริมาตรคงที่ มีผลต่อคุณลักษณะการฉีดของเชื้อเพลิง

1.4 ขอบเขตการวิจัย

ออกแบบและสร้างชุดวัดปริมาณการฉีดแบบ Zeuch ของหัวฉีดดีเซลแรงดันสูงแบบคอมมอนเรลเพื่อนำมาใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาคุณลักษณะการฉีดของน้ำมัน HVO เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิงต่างกัน

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

1.5.1 ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเรื่องวิธีการวัดปริมาณการฉีดแบบ Zeuch ระบบของหัวฉีดดีเซลความดันสูงแบบคอมมอนเรลและศึกษาคุณสมบัติของน้ำมัน HVO

1.5.2 วางขอบเขตการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อคุณลักษณะการฉีดของน้ำมันและกำหนดตัวแปรเงื่อนไขที่จะศึกษาออกแบบชุดวัดปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงแบบ Zeuch

1.5.3 ออกแบบและสร้างชุดวัดปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงแบบ Zeuch

1.5.4 ประกอบชุดการทดลองที่ออกแบบไว้

1.5.5 ทำการทดลอง เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.5.6 สรุปผลการศึกษา

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถใช้ชุดวัดปริมาณการฉีดแบบ Zeuch

1.6.2 สามารถหาความเหมาะสมของคคุณลักษณะในการฉีดเชื้อเพลิงเพื่อนำมาปรับใช้ให้สอดคล้องกับการทำงานของเครื่องยนต์

1.6.3 สามารถนำผลการทดลองไปต่อยอดในงานวิจัยเกี่ยวกับผลของคุณลักษณะของสเปรย์ของการฉีดเชื้อเพลิงและงานวิจัยเกี่ยวกับการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงได้

1.6.4 สามารถนำผลการทดลองเกี่ยวกับอัตราการฉีดเชื้อเพลิงของ HVO มาใช้ในการปรับปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงภายในเครื่องยนต์เพื่อให้เหมาะสมต่อจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

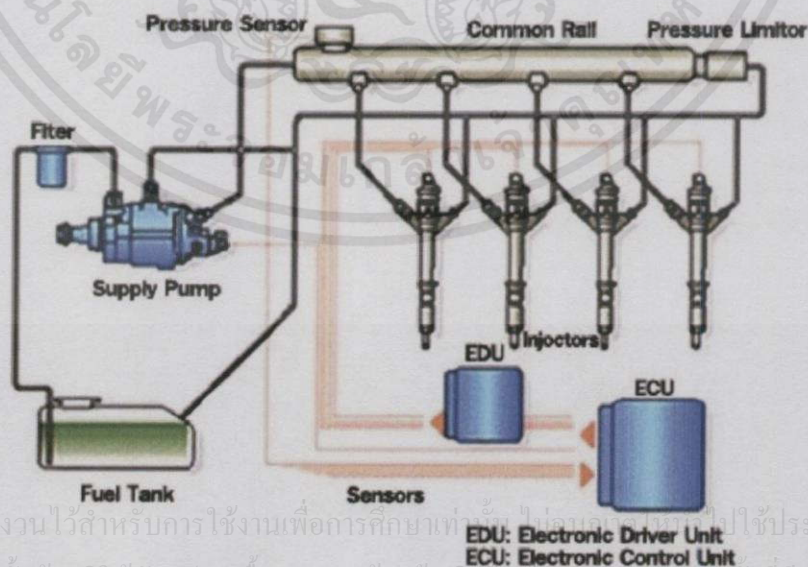
บทที่ 2

ทฤษฎีหลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบคอมมอนเรล(Common rail system)

ระบบคอมมอนเรล [4] หรือระบบจ่ายน้ำมันแบบรางร่วม ตามรูปที่ 2.1 เป็นระบบจ่ายน้ำมันที่ได้รับการพัฒนาล่าสุดสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล การทำงานของระบบจะเริ่มต้นโดยอาศัยปั๊มแรงดันสูง (Supply Pump) ที่สามารถจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยแรงดันที่สูงเข้าสู่รางน้ำมันคอมมอนเรล (Common Rail) ซึ่งมีอุปกรณ์เซนเซอร์วัดความดัน(Pressure sensor) เพื่อทำหน้าที่ควบคุมแรงดันของน้ำมันภายในรางที่ถูกส่งมาจากปั๊มแรงดันสูงให้เหมาะสมกับสภาพการขับขี่

การทำงานในทุกขั้นตอนของระบบคอมมอนเรล ไดเรคอินเจคชั่น จะถูกควบคุมด้วยกล่อง ECU (Electronic Control Unit) โดยอาศัยข้อมูลที่ถูกส่งมาจากส่วนต่างๆ เช่น เซ็นเซอร์ของเพลลาข้อเหวี่ยง คันเร่ง อุดหนุมิ อากาศ เป็นต้น แล้วนำมาประมวลผล เพื่อให้กล่อง EDU (Electric Driver Unit) มีการส่งจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงที่หัวฉีด (Injector) อย่างถูกต้อง แม่นยำและสอดคล้องกับความเร็วรอบและภาระงานของเครื่องยนต์ ซึ่งกล่อง ECU ยังควบคุมจังหวะการเปิด-ปิดวาล์วควบคุมปริมาณน้ำมัน (Suction Control Valve) ของปั๊มแรงดันสูงให้เหมาะสมกับจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ ด้วยส่งผลให้เครื่องยนต์อีกทั้งยังสามารถแก้ปัญหาในเรื่องการฉีดน้ำมันของหัวฉีดที่ไม่เท่ากันได้อีกด้วย ทำให้เครื่องยนต์มีสมรรถนะดีขึ้นกำลังสูงขึ้น ประหยัดน้ำมันมากขึ้น สิ้นเสือน้อย มีความทนทานสูง ค่าบำรุงรักษาต่ำและมลพิษในไอเสียต่ำ จนสามารถผ่านข้อกำหนดมาตรฐานไอเสียในระดับยูโร 4 ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานไอเสียที่หลายประเทศบังคับใช้

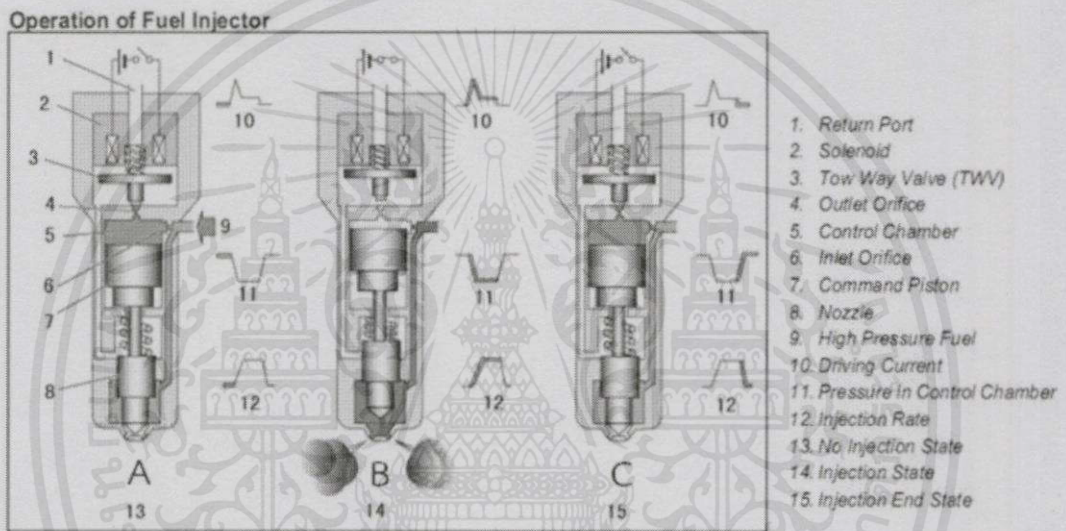


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบหลักของระบบคอมมอนเรล [4]

2.2 หัวฉีดโซลินอยด์ (Solenoid Injector)

หัวฉีด [5] เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ที่ฝาสูบของเครื่องยนต์ซึ่งต่อกับรางร่วมความดันสูงของระบบคอมมอนเรลซึ่งทำหน้าที่ในการฉีดเชื้อเพลิง จะถูกควบคุมโดยกล่อง ECU หลักการทำงานของหัวฉีดนี้คือ น้ำมันที่มีแรงดันสูงจากรางจะถูกส่งเข้าไปในหัวฉีด โดยเมื่อกล่อง EDU สั่งจ่ายไฟฟ้าไปยังโซลินอยด์เพื่อทำการยกหัวฉีดขึ้น ซึ่งลูกปั๊ม (Control plunger) จะยกขึ้นซึ่งจะทำให้เกิดผลต่างของความดันภายในห้องควบคุมปริมาตร (Control chamber) ซึ่งจะทำให้เข็มของหัวฉีด (Needle) ยกขึ้นจากนั้นเชื้อเพลิงจะถูกฉีดออกไป และเมื่อหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าลูกปั๊มจะลงมาปิดเพื่อสร้างแรงดันให้เข็มของหัวฉีดปิดลง



รูปที่ 2.2 การทำงานของหัวฉีดโซลินอยด์ [5]

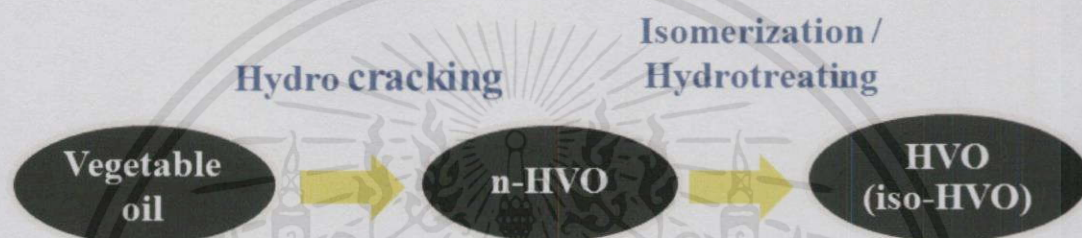
หัวฉีดโซลินอยด์มีหลักการทำงานดังรูป ที่ 2.2 โดยรูป A คือหัวฉีดเก็บเชื้อเพลิงที่ความดันสูงที่ถูกจ่ายมาจากรางความดัน โดยมีลิ้นแบบเข็มปิดกั้นเชื้อเพลิงไว้ด้วยแรงสปริงและความดันภายในห้องควบคุม รูป B คือเชื้อเพลิงกำลังถูกฉีดโดย เมื่อจ่ายไฟฟ้าไปยังโซลินอยด์ โดยโซลินอยด์จะเกิดแรงดึงลูกปั๊มขึ้นทำให้เกิดผลต่างของความดันที่ห้องควบคุมปริมาตรทำให้เข็มของหัวฉีด (Needle) ยกขึ้นจากนั้นเชื้อเพลิงจะถูกฉีดออกไป ตามระยะเวลาของการฉีด รูป C คือเมื่อหยุดจ่ายไฟฟ้าที่โซลินอยด์ทำให้ลูกปั๊มถอยกลับมาปิดช่องน้ำมันทางออก (Outlet orifice) ของห้องควบคุมปริมาตร จากนั้นเข็มของหัวฉีดจะถูกดันกลับมาตำแหน่งเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2.3 น้ำมัน Hydrotreated Vegetable Oil (HVO)

น้ำมัน Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) [2] เป็นน้ำมันไบโอดีเซลทางเลือกรุ่นที่ 2 ซึ่งมีกระบวนการผลิตพื้นฐานคล้ายคลึงกับการผลิตน้ำมันดิบปิโตรเลียม แต่มีข้อแตกต่างกันที่วัตถุดิบซึ่ง

ผลิตมาจากทางธรรมชาติได้แก่ สบู่ดำ ปาล์มน้ำมัน ไขมันของเหลือของสัตว์ และกระบวนการผลิตที่ต่างออกไปจากน้ำมันไบโอดีเซลคือมีการใช้กระบวนการ Hydro-cracking ในการสลายโมเลกุลไขมันของวัตถุดิบออกเป็นพาราฟิน จากนั้นมีการใช้กระบวนการ Hydrotreating เพื่อลด กำมะถัน ไนโตรเจน และอโรมาติกส์ (Aromatics) จากนั้นเข้าสู่กระบวนการ Isomerization เพื่อจัดเรียงอะตอมใหม่และปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นซึ่งในน้ำมัน HVO นี้มีข้อดีคือ มีเลขซีเทนและค่าพลังงานความร้อนที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล สามารถใช้งานได้ในสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าน้ำมันดีเซล และยังเกิดมลพิษจากกระบวนการเผาไหม้ที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซล ข้อเสียคือ ทำให้เครื่องเกิดการสึกหรอได้ง่ายเนื่องจากคุณสมบัติทางการหล่อลื่นที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซล



รูปที่ 2.3 กระบวนการผลิตน้ำมัน Hydrotreated Vegetable Oil (HVO)

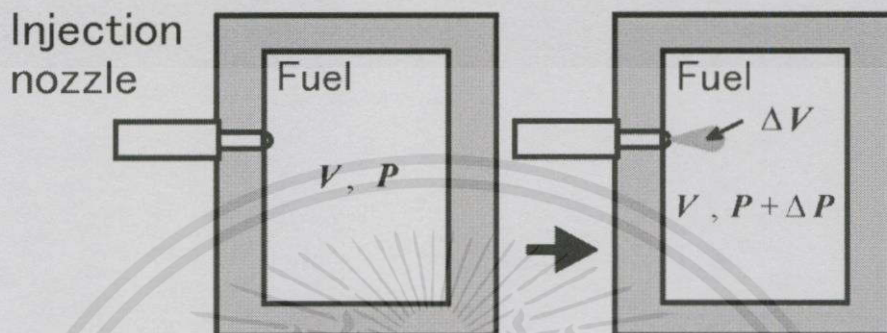
2.4 Zeuch's method

Zeuch's method [6] เป็นวิธีการวัดปริมาณการฉีดโดยการใช้อุปกรณ์ทดลองคือ ห้องจำลองปริมาตรคงที่ (Constant volume chamber) ในการทดลอง ซึ่งจะมีการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อใช้ในการวัดและเก็บข้อมูลจากการทดลอง รวมทั้งมีการติดตั้งหัวฉีดเพื่อใช้ในการทดสอบอัตราการฉีด โดยมีหลักการคือ เมื่อภายในห้องจำลองนั้นมีการอัดเชื้อเพลิงจนเต็มอยู่ภายในและควบคุมความดันให้คงที่ ซึ่งเมื่อมีการฉีดน้ำมันเข้าภายในห้องจำลองนี้ย่อมมีความดันที่เพิ่มขึ้นซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาปริมาณของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปได้โดยการใช้สมการอัตราการไหลของมวล และใช้โมดูลัสการอัดตัว (Isothermal Bulk modulus) มาใช้ในการคำนวณด้วย ซึ่งในกระบวนการทดลองได้มีการกำหนดให้กระบวนการนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Isothermal) ของน้ำมันภายในห้องทดลองขณะทำการทดลอง

Glenn R. Bower และ David E. Foster [7] ได้ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการวัดอัตราการฉีดของ Zeuch's method กับ Bosch method จากงานวิจัยนี้พบว่าวิธีการวัดอัตราการฉีดนั้นมียู่สองวิธีที่นิยมใช้กันซึ่งคือ Zeuch's method และ Bosch method โดยในสองวิธีนี้มีข้อแตกต่างกันในเรื่อง วิธีการทดลอง หลักการทดลอง อุปกรณ์ในการทดลอง และผลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งในงานวิจัยการวัดอัตราการฉีดเชื้อเพลิงนี้ได้เลือกที่จะนำวิธี Zeuch's method มาใช้เป็นวิธีในการวัดอัตราการฉีดเพราะเนื่องจากใน Zeuch's method นั้นสามารถที่จะหาคุณลักษณะการฉีดของหัวฉีดได้อย่างครบถ้วนได้แก่ ความล่าช้าของการฉีด ระยะเวลาการฉีด เป็นต้น ซึ่งใน Bosch method จะ

หาได้เพียงอัตราการฉีดเชื้อเพลิงเท่านั้น ทำให้งานวิจัยนี้ได้มุ่งเป้าหมายไปที่การศึกษาหาคุณลักษณะการฉีดและอัตราการฉีดของเชื้อเพลิง ดังนั้นจึงได้เลือกZeuch's method มาใช้ในศึกษาและนอกจากนั้นจากงานวิจัยนี้ ยังได้ข้อสรุปว่าทั้งสองวิธีนี้สามารถหาค่าอัตราการฉีดได้อย่างแม่นยำ

จาก Zeuch's method มีวิธีการคำนวณค่าโมดูลัสการอัดตัวตามสมการที่ (1) และการคำนวณหาอัตราการฉีดเชื้อเพลิงตามสมการที่ (2) ตามรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 หลักการวัดด้วยวิธี Zeuch [7]

จากรูปที่ 2.4 เป็นการวัดปริมาณการฉีดของเชื้อเพลิง โดยการวัดความดันที่เปลี่ยนแปลงภายในห้องจ่ายลง (ΔP) ที่มีความดันเริ่มต้น (P) และปริมาตร (V) คงที่ แล้วนำมาคำนวณโดยใช้ค่าโมดูลัสการอัดตัว (K_B) ของน้ำมันมาช่วยในการคำนวณหาปริมาณการฉีดของเชื้อเพลิง (ΔV) สมการความสัมพันธ์ระหว่างความดัน ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลง ปริมาตรคงที่ของห้องจ่ายลงและโมดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิคงที่มีดังนี้

$$K_B = V_o \frac{\Delta P_K}{\Delta V_K} \quad (1)$$

- เมื่อ K_B คือ โมดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิง(MPa)
 ΔP_K คือ ความดันที่เปลี่ยนแปลงของห้องจ่ายลง(MPa)
 ΔV_K คือ ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงของห้องจ่ายลง (m^3)
 V_o คือ ปริมาตรคงที่ของห้องจ่ายลง(m^3)

สมการอัตราการฉีดเชื้อเพลิงแสดงในรูปสมการได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา $\frac{dm}{dt} = \rho \frac{V_o}{K_B} \frac{dP}{dt}$ ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไป (2)

เมื่อ	$\frac{dm}{dt}$	คือ อัตราการไหลเชิงมวล (mg/ms)
	ρ	คือ ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (kg/m^3)
	$\frac{dP}{dt}$	คือ ความดันที่เปลี่ยนแปลงของห้องจำลองในรูปของความดันที่เพิ่มขึ้นต่อเวลา (MPa/ms)

2.5 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง

2.5.1 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่น [8] เป็นการวัดมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ซึ่งยิ่งวัตถุมีความหนาแน่นมาก มวลต่อหน่วยปริมาตรจะยิ่งมีมากขึ้น หรือกล่าวได้ว่า วัตถุที่มีความหนาแน่นสูงนั้นจะมีปริมาตรที่น้อยกว่าวัตถุที่มีความหนาแน่นต่ำเมื่อเทียบที่มวลเท่ากัน แสดงในรูปสมการได้เป็น

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

เมื่อ	ρ	คือ ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (kg/m^3)
	m	คือ มวลของเชื้อเพลิง (kg)
	V	คือ ปริมาตรของเชื้อเพลิง (m^3)

2.5.2 ความหนืด (Viscosity)

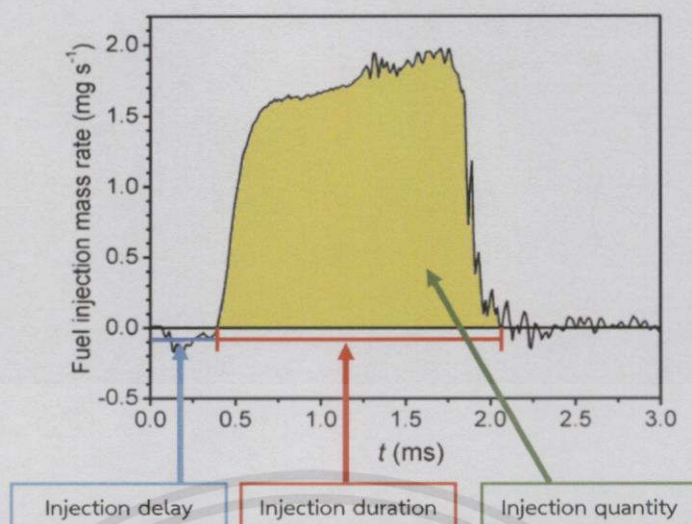
ความหนืด [9] คือตัวบ่งชี้คุณสมบัติความต้านทานการไหลของของไหล ยิ่งมีค่ามากจะทำให้ของไหลนั้นยังมีความหนืดมากแสดงในรูปสมการได้เป็น

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (4)$$

เมื่อ	ν	คือ ค่าความหนืดจลน์ (cSt)
	μ	คือ ค่าความหนืดสัมบูรณ์ (N-s/m^2)
	ρ	คือ ความหนาแน่น (kg/m^3)

2.6 การกำหนดคุณลักษณะของการฉีดเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีด (Injection rate) กับเวลา (Time) เมื่อความดันไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ในการฉีดเท่ากับ 30 MPa ที่ขนาดของรูหัวฉีดเท่ากับ 115 μm [10] ซึ่งจากกราฟอัตราการฉีดสามารถบอกคุณลักษณะการฉีดของเชื้อเพลิงได้ ตามรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดเพลิงกับเวลา [10]

2.6.1 ความล่าช้าของการฉีด (Injection delay)

ความล่าช้าของการฉีด [11] คือความล่าช้าในการทำงานของอุปกรณ์ซึ่งส่งผลให้หัวฉีดมีการทำงานล่าช้าจากการสั่งของอุปกรณ์ควบคุม สังเกตได้จากช่วงเวลา 0 – 0.4 มิลลิวินาที ดังรูปที่ 2.5

2.6.2 ระยะเวลาการฉีด (Injection duration)

ระยะเวลาการฉีด [11] คือระยะเวลาที่หัวฉีดทำการฉีดจริงซึ่งสังเกตได้จากความดันที่เปลี่ยนแปลงภายในห้องจ่ายลง สังเกตได้จากเวลาที่หัวฉีดทำการฉีดจนถึงเวลาปิด กล่าวคือช่วงเวลา 0.4 – 2.0 มิลลิวินาที ดังรูปที่ 2.5

2.7 การคำนวณเกี่ยวกับอัตราการฉีดเชื้อเพลิงเฉลี่ย

2.7.1 ปริมาณการฉีด (Injection quantity)

ปริมาณการฉีด [11] คือ พื้นที่ใต้กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดกับเวลา ในช่วงระยะเวลาการฉีด ซึ่งได้จากรูปที่ 2.5

2.7.2 อัตราการฉีดเชื้อเพลิงเฉลี่ย (Real mass flow rate)

อัตราการฉีดเชื้อเพลิงเฉลี่ย [10] คือการหาพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดกับเวลา ทหารด้วยระยะเวลาการฉีด (Injection duration) ซึ่งได้จากรูปที่ 2.5
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 Discharge Coefficient

Discharge Coefficient [12] คือ สัดส่วนระหว่างอัตราการฉีดของเชื้อเพลิงเฉลี่ยกับอัตราการฉีดของเชื้อเพลิงเชิงทฤษฎี ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของหัวฉีดแสดงในรูปสมการได้เป็น

$$C_d = \frac{\dot{m}_{measured}}{\dot{m}_{theory}} \quad (5)$$

เมื่อ C_d คือ discharge coefficient
 $\dot{m}_{measured}$ คือ อัตราการฉีดเชื้อเพลิงเฉลี่ย (mg/ms)
 \dot{m}_{theory} คือ อัตราการฉีดเชื้อเพลิงเชิงทฤษฎี (mg/ms)

อัตราการฉีดเชื้อเพลิงเชิงทฤษฎีแสดงในรูปสมการได้เป็น

$$\dot{m}_{theory} = n_{orifice} \cdot S \sqrt{2\Delta P \cdot \rho} \quad (6)$$

เมื่อ $n_{orifice}$ คือ จำนวนรูของหัวฉีด
 S คือ พื้นที่หน้าตัดของรูหัวฉีด (m^2)
 ρ คือ ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (kg/m^3)
 ΔP คือ ความแตกต่างของความดันของหัวฉีดกับความดันภายในห้องจ่าย

(MPa)

2.7.4 Reynolds number

Reynolds number [12] คือ ตัวแปรไร้มิติซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความเร็ว (V_{mean}) และความหนืด (ν) โดย Reynolds number นั้นจะเพิ่มขึ้นตามความเร็ว ซึ่งแสดงในรูปสมการได้เป็น

$$Re = \frac{V_{mean} D_o}{\nu} \quad (7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{mean} = \frac{\dot{m}_{measured}}{n_{orifice} \cdot S \cdot \rho} \quad (8)$$

เมื่อ	V_{mean}	คือ ความเร็วทางออกของหัวฉีด (m/s)
	D_o	คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด (mm)
	ν	คือ ความหนืดจลน์ (cSt)
	S	คือ พื้นที่หน้าตัดของรูหัวฉีด (m^2)
	ρ	คือ ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (kg/m^3)

2.7.5 Cavitation number

Cavitation number [12] คือ ตัวแปรไร้มิติที่ใช้ในการบ่งบอกถึงการเกิดฟองอากาศของของไหล

$$K_C = \frac{P_{inj} - P_v}{P_{inj} - P_{back}} \quad (9)$$

เมื่อ	K_C	คือ เลขคาวิตีชัน
	P_{inj}	คือ ความดันในการฉีดน้ำมัน (MPa)
	P_v	คือ ความดันของเหลวที่ทำให้เกิดเป็นไอ (MPa)
	P_{back}	คือ ความดันภายในห้องจ่าย (MPa)

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้มีการกำหนดให้ความดันของเหลวที่ทำให้เกิดเป็นไอ (P_v) ไม่มีผลกับการทดลอง เนื่องจากการทดลองในระบบปิดจึงทำให้ไม่มีการเกิดเป็นไอของน้ำมัน

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเกี่ยวกับอัตราการฉีดเชื้อเพลิงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ประเภทที่หนึ่งเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างชุดปริมาณการฉีดแบบ Zeuch ประเภทที่สองเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบน้ำมัน HVO ในเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาอัตราการฉีด

Octavio Armas และคณะ [13] ได้ทำการศึกษาถึงผลของความดันในการฉีดของหัวฉีด ความดันภายในห้องจ่ายที่ส่งผลต่ออัตราการฉีด โดยได้ข้อสรุปว่าการเพิ่มความดันในห้องจ่าย (Zeuch) นั้นไม่มีผลต่ออัตราการฉีด แต่การเพิ่มความดันในการฉีดนั้นส่งผลให้มีระยะเวลาการฉีดที่สูงขึ้น จึงเป็นผลให้มีอัตราการฉีดที่มากขึ้น ซึ่งจากข้อมูลที่ได้นั้นทำให้ทราบถึงปริมาณการฉีดของน้ำมันได้ โดยปริมาณของน้ำมันที่ฉีดนั้นจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของน้ำมันแต่ละชนิด ซึ่งในน้ำมันที่มีความหนาแน่นที่สูงกว่าจะทำให้มีปริมาณในการฉีดที่สูงกว่าน้ำมันที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า

Dong Han และคณะ [12] ได้ทำการศึกษาถึงผลของความดันในการฉีด ระยะเวลาการจ่าย กระแสไฟให้หัวฉีดและคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันที่ส่งผลต่ออัตราการฉีด ซึ่งได้ข้อสรุปว่าการเพิ่มระยะเวลาในการจ่ายกระแสไฟให้หัวฉีดจะเป็นการเพิ่มระยะเวลาการฉีดและอัตราการฉีดให้มากขึ้นเนื่องมาจากการทำงานของหัวฉีดซึ่งในระยะเวลาการจ่ายไฟฟ้าที่น้อยอาจส่งผลให้หัวฉีดทำงานได้ไม่เต็มที่ และการเพิ่มความดันในการฉีดนั้นจะเป็นผลให้มีระยะเวลาการฉีดที่สูงขึ้นและยังช่วยลดความล่าช้าของการฉีดได้อีกด้วยซึ่งมีผลเนื่องมาจากค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมันจะส่งผลให้เข็มของหัวฉีดนั้นมีการยกที่เร็วขึ้นและปิดที่ช้าลงซึ่งในน้ำมันที่มีค่าโมดูลัสการอัดตัวมากจะมีระยะเวลาการฉีดที่มากและความล่าช้าของการฉีดที่น้อย ซึ่งเมื่อมีระยะเวลาการฉีดที่สูงขึ้นอัตราการฉีดย่อมสูงขึ้นตาม

2.8.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบน้ำมัน Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) ในเครื่องยนต์

Nestle Oil company (Finland) [14] ได้ทำการศึกษาเชื้อเพลิงน้ำมัน HVO บริสุทธิ์ และเชื้อเพลิงผสมน้ำมัน HVO 30%, 70% โดยปริมาตรในดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลหนักเพื่อศึกษาปล่อยมลพิษ พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมน้ำมัน HVO ทำให้มีการปล่อยมลพิษลดลงแต่ยังคงไม่สามารถสรุปได้ว่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์มีผลต่อการปล่อยมลพิษ

Hannu Aatola และคณะ [14] งานวิจัยนี้เป็นการใช้น้ำมัน HVO และน้ำมันดีเซล EN950 ไปทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล เทอร์โบชาร์จ 8.4 ลิตร 6 สูบ 4 จังหวะ โดยนำเครื่องยนต์นี้ไปทดสอบกับไดนาโมมิเตอร์ โดยวัดค่าไอเสีย(Emission) เขม่า(Soot) หรืออนุภาคคาร์บอน(Particulate Matter) แต่ยังไม่ได้มีการนำน้ำมัน HVO มาใช้งานจริงกับเครื่องยนต์ในปัจจุบัน ซึ่งตอนนี้อยู่ในขั้นทดลองเพื่อศึกษาความเหมาะสมว่าสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนซึ่งผลจากการวิจัยทดสอบน้ำมันHVO กับเครื่องยนต์ดีเซลพบว่าสามารถลดมลพิษที่เกิดจากการสันดาปภายในของเครื่องยนต์ได้จริงโดยใช้น้ำมัน HVO บริสุทธิ์เทียบกับน้ำมันดีเซลผสมน้ำมัน HVO30% ซึ่งพบว่ามีการเผาไหม้ที่ลดลงเนื่องจากน้ำมัน HVO มีระยะเวลาการเผาไหม้ที่นานกว่าจึงทำให้มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 มลพิษที่ลดลงจากการสันดาปภายในของเครื่องยนต์ของน้ำมัน HVO [11]

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่หรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

Somnuek Jaroonjitsathian และคณะ [15] งานวิจัยนี้ได้ใช้น้ำมัน GTL (Gas to liquid) และน้ำมัน HVO ไปทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์จ 2.5 ลิตร 4 สูบ ต่อกับไดนาโมมิเตอร์ โดยผลจากการทดสอบพบว่า น้ำมัน HVO นั้นสามารถลดมลพิษต่าง ๆ ได้เช่น สารไฮโดรคาร์บอน (HC) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น แต่ทางตรงกันข้ามมี NO_x ที่เกิดเพิ่มมากขึ้นมากกว่าน้ำมันดีเซลปกติ ซึ่งเกิดจากการที่น้ำมัน HVO นั้นมีคุณสมบัติในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า ทำให้เกิดอุณหภูมิการเผาไหม้สูงจึงทำให้เกิด NO_x เพิ่มมากขึ้นตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 มลพิษของน้ำมันดีเซลเทียบกับน้ำมัน HVO [4]

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

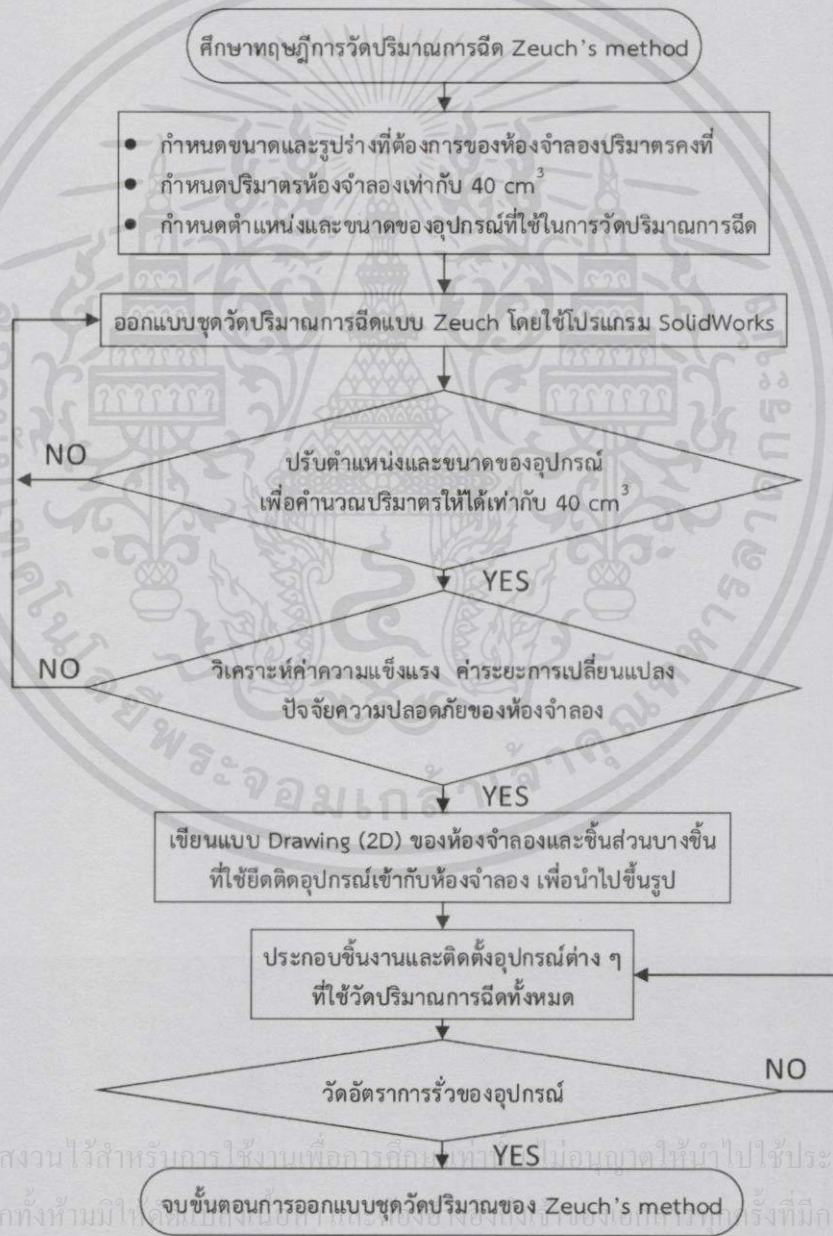
บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การออกแบบชุดการทดลองวัดปริมาณการฉีดแบบ Zeuch และศึกษาคุณลักษณะการฉีดของน้ำมัน ที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิงต่างกัน

3.1 การออกแบบและสร้างชุดวัดปริมาณการฉีดแบบ Zeuch

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยใหม่ ที่ต้องเตรียมอุปกรณ์การทดลอง โดยขั้นตอนการออกแบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ลอกเลียนแบบข้อมูลในเอกสารฉบับนี้ไปใช้ในที่ที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการออกแบบชุดวัดปริมาณการฉีด

จากรูปที่ 3.1 จากการกำหนดปริมาตรของห้องจำลองมีค่าเท่ากับ 40 cm^3 [7] เพื่อให้เซนเซอร์สามารถตรวจจับความดันที่เปลี่ยนแปลงในห้องจำลองได้แม่นยำขึ้นเพราะหัวฉีดที่ใช้มีจำนวนหกหัว ทำให้เกิดความดันที่เปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องจำลองมีน้อยมากซึ่งอาจทำให้เกิดสัญญาณรบกวนขณะทำการทดลอง ดังนั้นจึงต้องใช้ปริมาตรของห้องจำลองที่เหมาะสมกับความสามารถในการฉีดน้ำมันของหัวฉีด เพื่อลดปัญหาการเกิดสัญญาณรบกวนและได้ผลการทดลองที่มีความแม่นยำ

3.2 หลักการออกแบบห้องจำลองปริมาตรคงที่ (Constant volume chamber)

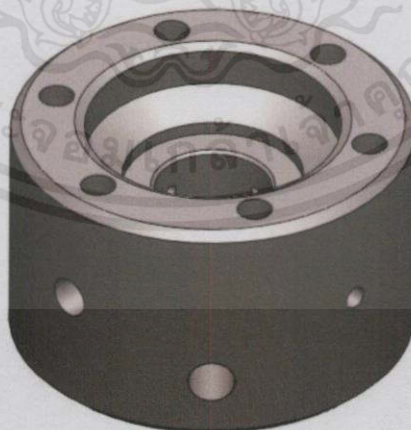
ห้องจำลองปริมาตรคงที่เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับชุดวัดปริมาณการฉีดแบบ Zeuch เพราะต้องอัดน้ำมันเข้าไปด้วยความดันสูง ดังนั้นจึงต้องออกแบบลักษณะของรูปทรงที่เรียบง่ายต่อการศึกษาเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการวัด โดยให้ปริมาตรภายในห้องจำลองเท่ากับ 40 ลูกบาศก์เซนติเมตร นอกการออกแบบห้องจำลองปริมาตรคงที่ งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบชิ้นส่วนที่ต้องใช้ร่วมกับห้องจำลอง

3.2.1 คุณสมบัติของวัสดุของห้องจำลองปริมาตรคงที่

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติบางประการของวัสดุ

ชนิดของวัสดุ	AISI 1045 Steel
โมดูลัสการยืดหยุ่น (Elastic Modulus)	205 GPa
ความเค้นจุดคราก (Yield Strength)	530 MPa

3.2.2 การวิเคราะห์ค่าความแข็งแรง โดยใช้โปรแกรม SolidWorks Simulation



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับงานวิจัยทางวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.2 ห้องจำลองปริมาตรคงที่ (Constant volume chamber)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงเงื่อนไขการออกแบบห้องจำลองปริมาตรคงที่

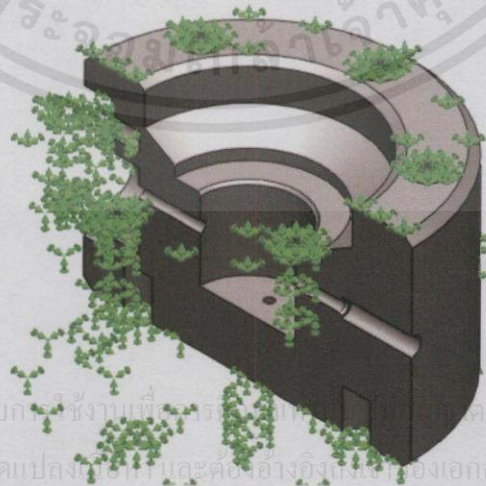
ความดันสูงสุดที่รับได้ภายในห้องจำลอง	12.0 MPa
คุณสมบัติของห้องจำลอง	มีความแข็งแรงสูง ทนทานความดันได้สูง ป้องกันการเกิดสนิมและทนทานการกัดกร่อน
ค่าความปลอดภัย	มากกว่าหรือเท่ากับ 30
ค่าการเสียรูป	± 0.001 mm
หลักการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรง	Linear dynamic

ขั้นตอนการวิเคราะห์ความแข็งแรงและการเสียรูปของชิ้นงาน

1. Fixture คือ จุดหรือบริเวณของชิ้นงานที่ถูกจับยึดแน่น ซึ่งในโปรแกรมจุดที่ถูกจับยึดแน่นนั้นจะแสดงเป็นบริเวณที่มีลูกศรสีเขียว



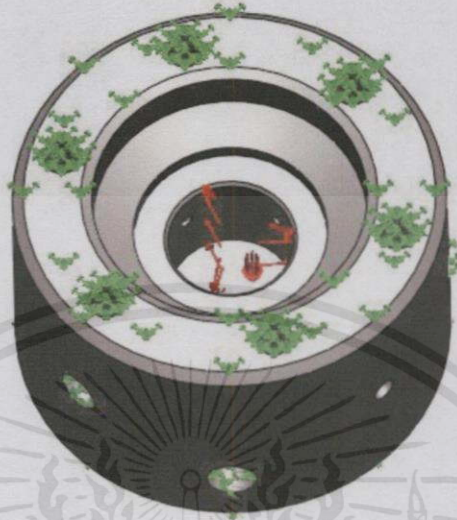
รูปที่ 3.3 แสดงจุดที่ถูกจับยึดแน่นทั้งหมดของห้องจำลองปริมาตรคงที่



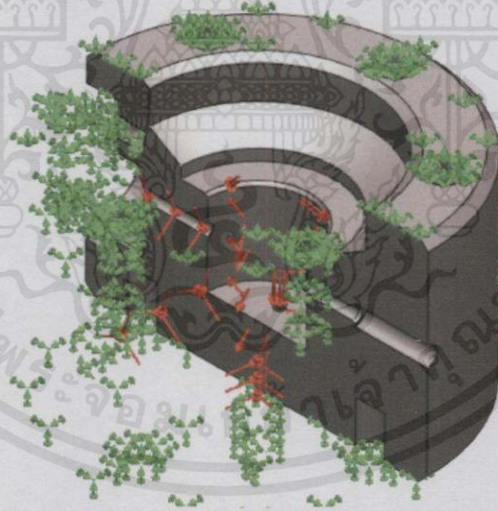
รูปที่ 3.4 แสดงภาพตัดที่ใส่จุดจับยึดแน่นของห้องจำลองปริมาตรคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น หากท่านต้องการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. External load คือ จุดหรือบริเวณที่มีแรงกระทำกับชิ้นงาน ซึ่งในโปรแกรมบริเวณที่มีแรงมากกระทำจะแสดงเป็นลูกศรสีแดง



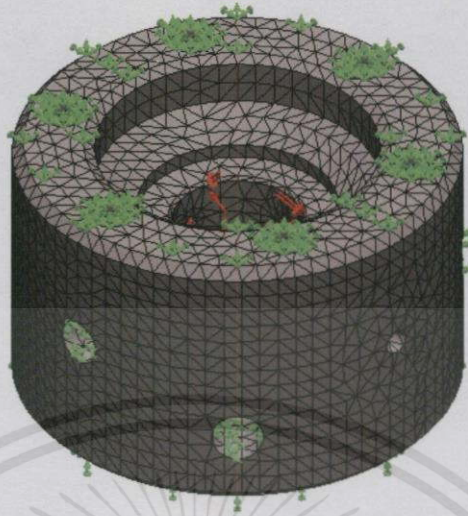
รูปที่ 3.5 แสดงบริเวณที่มีแรงกระทำกับห้องจำลอง



รูปที่ 3.6 แสดงภาพตัดที่บริเวณที่มีแรงกระทำกับห้องจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Mesh คือ ความละเอียดในการวิเคราะห์ชิ้นงาน แสดงได้ดังนี้



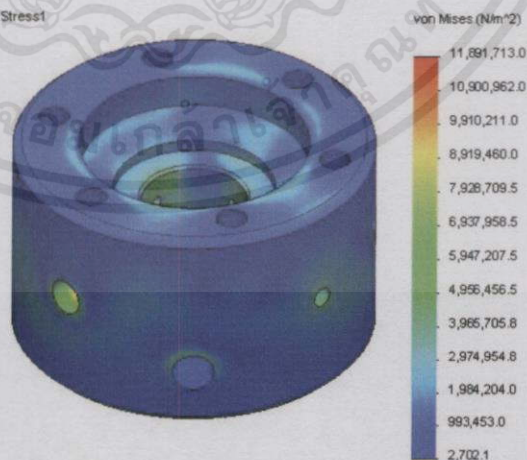
รูปที่ 3.7 แสดงความละเอียดในการวิเคราะห์ห้องจำลอง

4. Result

1. ผลของการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงของห้องจำลองปริมาตรคงที่ การวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงของห้องจำลองปริมาตรคงที่นั้นใช้โปรแกรม SolidWorks Simulation ช่วยในการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงของห้องจำลอง ซึ่งได้ผลดังนี้

1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความเค้น (Stress Analysis)

Model name: CHAMBER
Study name: Study 3
Plot type: Linear Dynamics Nodal stress Stress1
Plot step: 100 time: 1 Seconds
Deformation scale: 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 แสดงผลจากการวิเคราะห์ค่าความเค้นของห้องจำลอง

จากรูปที่ 3.4 แสดงผลจากการวิเคราะห์ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นกับห้องจำลอง พบว่าความเค้นมีค่าสูงสุดและมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 11.8917 MPa และ 0.0027 MPa ตามลำดับ สามารถหาปัจจัยความปลอดภัยที่เกิดขึ้นได้จากสมการค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) [16]

ดังนั้นหาค่าความปลอดภัย

$$F.S. = \frac{\sigma_y}{\sigma_{\max}} = \frac{530.000}{11.891} = 44.571$$

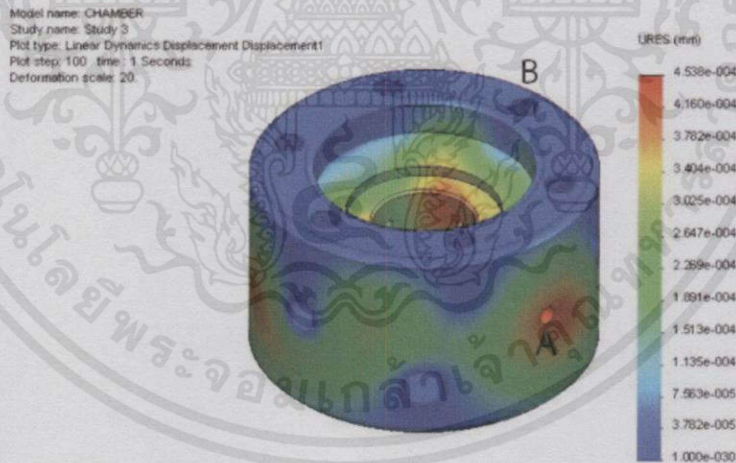
เมื่อ $F.S.$ = ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety)

σ_{\max} = ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้น (Maximum Stress)

σ_y = ความเค้นจุดคราก (Yield Strength)

จะเห็นได้ว่าค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) เท่ากับ 44.571 ซึ่งพบว่าห้องจำลองปริมาตรคงที่มีความปลอดภัยที่สูงและเพียงพอต่อภาระความดันใช้งาน เนื่องจากการออกแบบได้มีการเผื่อการรับแรงเพิ่มขึ้นด้วย

1.2 ผลการวิเคราะห์การเสีรูป (Displacement)

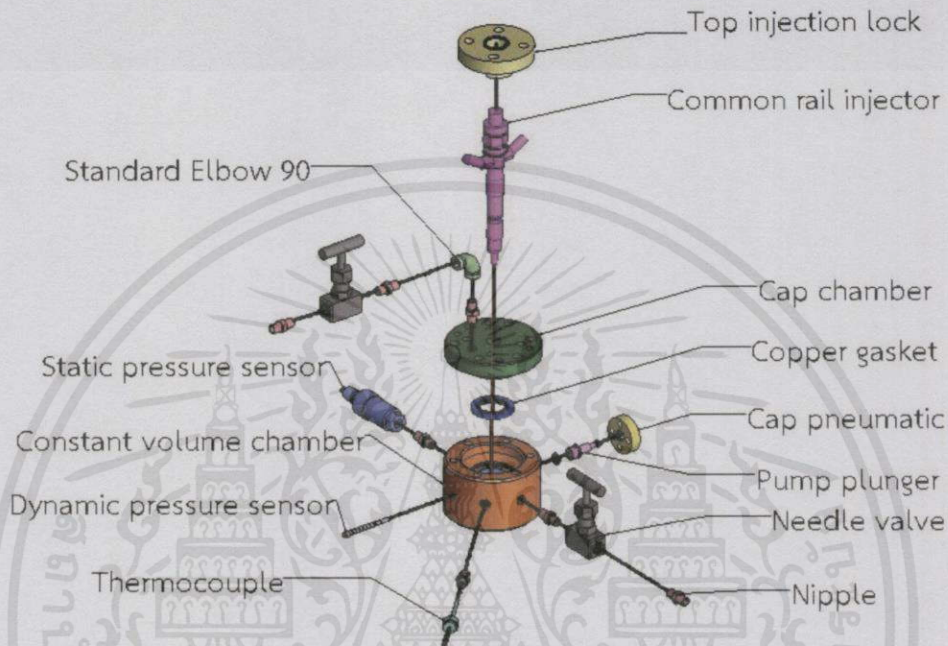


รูปที่ 3.9 แสดงผลการวิเคราะห์การเสีรูปของห้องจำลอง

จากรูปที่ 3.4 พบว่ามีการเสีรูปสูงสุดที่บริเวณจุด A (บริเวณสีแดง) และต่ำสุดที่บริเวณจุด B (บริเวณสีน้ำเงิน) ของห้องจำลองมีค่าเท่ากับ 0.4538 ไมโครเมตรและ 0.1000 ไมโครเมตร ตามลำดับ สามารถคิดเปอร์เซ็นต์การเสีรูปสูงสุดมีเท่ากับ 0.00106% เนื่องจากห้องจำลองต้องปริมาตรคงที่ ซึ่งพบว่า การเสีรูปจากการวิเคราะห์สามารถยอมรับได้และสามารถนำไปสร้างชุดการทดลองได้

3.3 ชุดการทดลองการวัดปริมาณการฉีดแบบ Zeuch

การออกแบบชุดการทดลองการวัดปริมาณการฉีดนอกจากห้องจำลองปริมาตรคงที่ที่มีความสำคัญต่อชุดการทดลองแล้วนั้นยังมีอุปกรณ์ที่ต้องออกแบบและอุปกรณ์ที่ต้องจัดหาเพื่อใช้ร่วมกับห้องจำลอง ดังนั้นการออกแบบชุดการทดลองนี้มีชิ้นส่วนที่ต้องประกอบเข้ากับห้องจำลองตามรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.10 ห้องจำลองปริมาตรคงที่พร้อมอุปกรณ์การทดลอง

จากรูปที่ 3.2 นอกจากห้องจำลองปริมาตรคงที่ ยังมีอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อใช้งานร่วมกับห้องจำลอง คือ

1. Top injection lock เป็นชิ้นส่วนนี้ทำหน้าที่ยึดหัวฉีดดีเซลคอมมอนเรลเข้ากับห้องจำลองเพื่อไม่ให้เกิดหัวฉีดเกิดการเคลื่อนที่ขณะทำการทดลอง

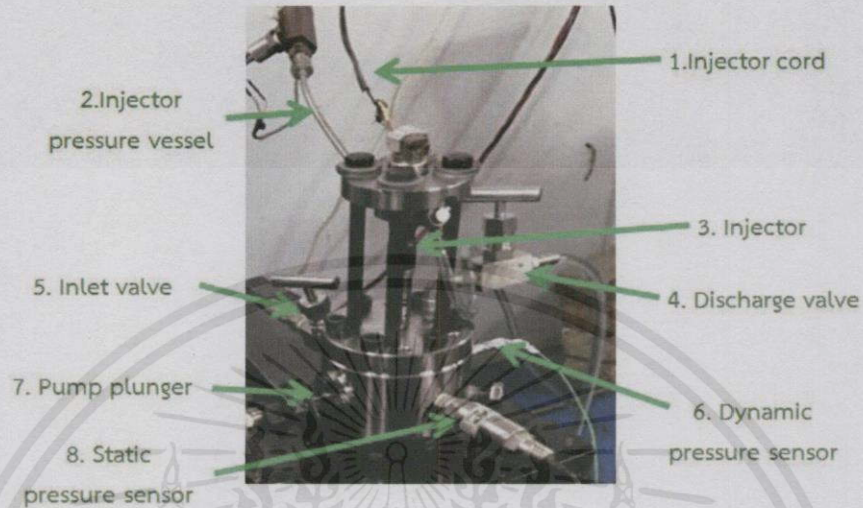
2. Cap pneumatic เป็นชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ประกอปกับลูกปั๊ม (Pump plunger) ซึ่งส่วนนี้เป็นส่วนที่ใช้ทดลองหาค่าโมดูลัสการอัดตัว

3. Copper gasket (ปะเก็นทองแดง) ทำหน้าที่ป้องกันการรั่วของน้ำมันออกจากห้องจำลอง เนื่องจากทองแดงมีโมดูลัสการยืดหยุ่นเท่ากับ 110 GPa ซึ่งมีเพียงพอที่นำมาป้องกันการรั่ว และรับความดันได้มากกว่า 120 MPa

4. Needle valve การเลือกวาล์วสำหรับชุดการทดลองต้องการวาล์วที่ปรับอัตราการไหลได้ และสามารถทนต่อความดันได้สูงกว่า 120 MPa

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 5. ที่ Pump plunger (ลูกปั๊ม) ส่วนที่เกิดการที่เปลี่ยนแปลงปริมาตร (ΔV_K) ดังนั้นเลือกใช้ลูกปั๊มที่ ต้องไม่เกิดการรั่วไหลของน้ำมันออกจากห้องจำลอง

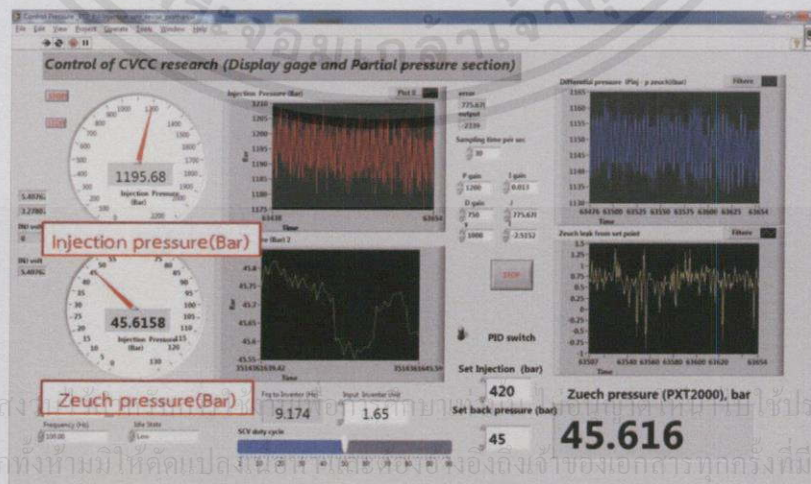
เมื่อออกแบบห้องจำลองปริมาตรคงที่และอุปกรณ์ใช้ร่วมกับห้องจำลอง ตามรูปที่ 3.1 เมื่อขึ้นงานผ่านการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงและการวิเคราะห์การเสีรูปจากนั้นนำขึ้นงานไปขึ้นรูปและสร้างชุดการทดลอง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ห้องจำลองปริมาตรคงที่พร้อมกัอุปกรณ์การวัดปริมาณการฉีด

3.4 โปรแกรมควบคุม

ในการทดลองการวัดอัตราการฉีดเชื้อเพลิง ซึ่งโปรแกรมควบคุมเขียนโดยโปรแกรมแลปวิว (LabVIEW) เป็นโปรแกรมควบคุมความดันในการฉีดเชื้อเพลิง โดยใช้สัญญาณวงจรมอด (Close-loop) จากเซนเซอร์ความดัน ซึ่งเป็นเซนเซอร์จากรางคอมมอนเรล เพื่อควบคุมความดันในการฉีดของระบบคอมมอนเรล โดยสามารถกำหนดค่าเริ่มต้นต่าง ๆ ของการทดลองได้แก่ ระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง (Injection duration) และความดันในการฉีดเชื้อเพลิง (Injection pressure) นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถแสดงค่าความดันภายในห้องจำลอง (Zeuch pressure)



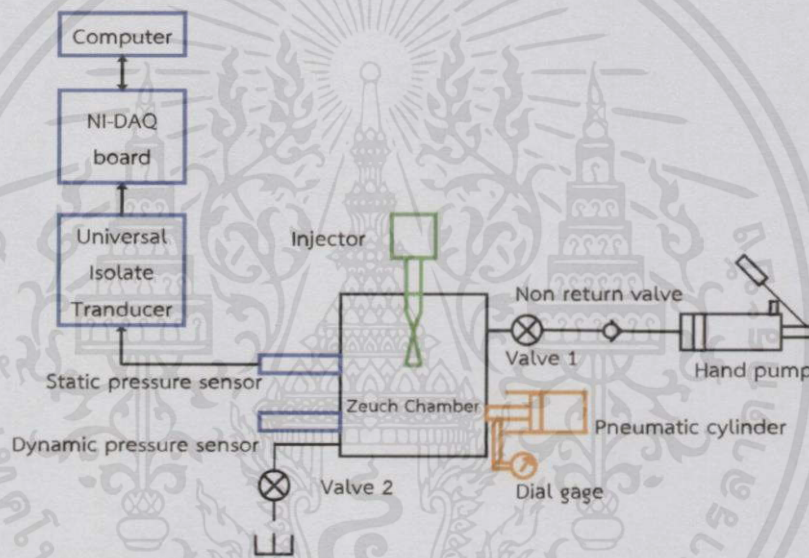
รูปที่ 3.12 โปรแกรมควบคุมการทดลอง (LabVIEW)

3.5 การทดสอบการรั่ว (Leak Test)

การทดสอบการรั่วเป็นการทดสอบด้วยของเหลว (Hydrostatic test) [17] เพื่อหาค่าความดันที่ลดลงของอุปกรณ์ทดลอง ซึ่งการทดสอบการรั่วจะใช้ความดันสูงสุดในการทดสอบ 1.5 เท่า จากความดันใช้งานของอุปกรณ์ ซึ่งเท่ากับ 7 MPa แต่การทดสอบในการวิจัยนี้ใช้การทดสอบ 2.4 เท่า ซึ่งเท่ากับ 11 MPa เนื่องจากเพื่อหาค่าความปลอดภัย ซึ่งแผนผังแสดงการทดสอบการรั่วตามรูปที่ 3.13

ขั้นตอนการทดสอบการรั่วของอุปกรณ์

1. ใช้ปั๊มมือ (Hand pump)อัดน้ำมันที่ใส่ทดลองเข้าสู่ห้องทดลอง
2. ปิดวาล์วเพื่อคงปริมาตรและความดันไว้
3. สังเกตค่าความดันที่ห้องจำลอง (Zeuch chamber) จากโปรแกรมควบคุมการทดลอง (LabVIEW) ตามรูปที่ 3.14
4. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ เพื่อหาอัตราการรั่วของอุปกรณ์



รูปที่ 3.13 แผนผังการทดสอบการรั่ว



รูปที่ 3.14 หน้าจอแสดงผลการทดสอบการรั่ว

3.6 เงื่อนไขการศึกษา

3.6.1 การทดลองหาค่าโมดูลัสการอัดตัว

ทำการศึกษาตามเงื่อนไขโดยการกำหนดชนิดของเชื้อเพลิง ความดันภายในห้องจำลอง ระยะเคลื่อนที่ของลูกปัม ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.3 เงื่อนไขการศึกษาการทดลองหาค่าโมดูลัสการอัดตัว

เชื้อเพลิง	ความดันภายในห้องจำลอง (MPa)	ระยะเคลื่อนที่ของลูกปัม (mm)
น้ำมันดีเซล	3.0	2.5 mm เพื่อไม่ให้เกิดความดันสูงสุด ที่เซนเซอร์วัดความดันรับได้
	4.5	
น้ำมัน HVO	6.0	
	8.0	
	9.0	

3.6.2 การทดลองการวัดปริมาณการฉีด

ทำการศึกษาตามเงื่อนไขโดยการกำหนดชนิดของเชื้อเพลิง ชนิดและเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด ความดันรางในการฉีดหรือความดันของหัวฉีด ความดันภายในห้องจำลอง และระยะเวลาของการฉีด ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.4 เงื่อนไขการศึกษาการวัดปริมาณการฉีด

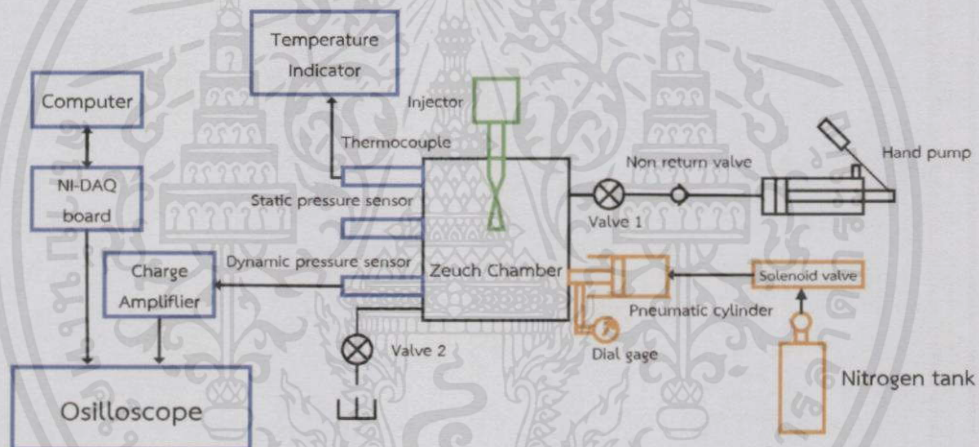
เชื้อเพลิง	ชนิดและเส้นผ่าน ศูนย์กลางของ หัวฉีด	ความดันภายใน ห้องจำลอง (MPa)	ระยะเวลา การฉีด (มิลลิวินาที)	ความดันรางใน การฉีด (MPa)
น้ำมันดีเซล	หัวฉีดคอมมอนเรล 6 รู ขนาด 170 ไมโครเมตร	45	2.5	40
				60
80				
100				
120				
140				
160				
น้ำมัน HVO				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

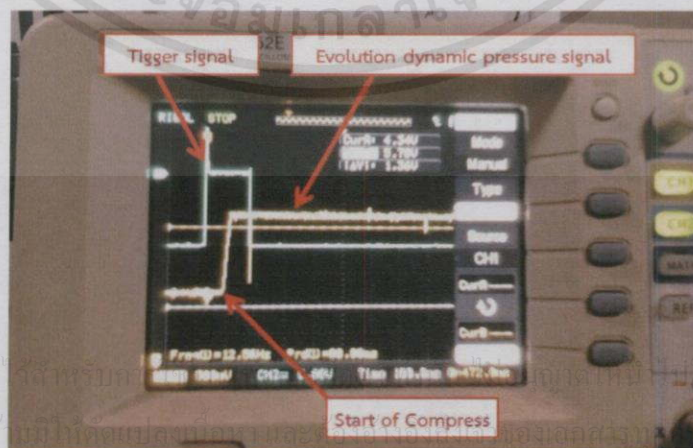
3.7 การทดลองหาค่าโมดูลัสการอัดตัว

การทดลองจะถูกควบคุมให้อุณหภูมิของเชื้อเพลิงคงที่ตลอดการทดลอง ซึ่งจะสังเกตเห็นอุณหภูมิขณะทำการทดลองได้จากจอแสดงผลอุณหภูมิ (Temperature indicator) ซึ่งการทดลองหาค่าโมดูลัสการอัดตัวมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เริ่มจากการใช้ปั๊มมือ (Hand pump) อัดน้ำมันที่ใช้ในการทดลองเข้าสู่ห้องจำลองโดยกำหนดให้ความดันเริ่มต้นในห้องทดลองเท่ากับ 3.0, 4.5, 6.0, 8.0 และ 9.0 MPa
2. วัดโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมัน โดยใช้โซลินอยด์วาล์ว ควบคุมการเคลื่อนที่กระบอกลม (Pneumatic cylinder) ให้อัดลูกสูบ (Pump plunger) ซึ่งมีเกจวัดระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกลม ซึ่งมีการควบคุมให้มีระยะชักอยู่ที่ 2.5 มิลลิเมตร
3. เครื่องแปลงสัญญาณ (Charge Amplifier) จะส่งสัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์วัดความดันไปยังเครื่องรับสัญญาณ (Oscilloscope) จากนั้นบันทึกผล ตามรูปที่ 3.15 ซึ่งรูปของสัญญาณที่ได้จากการทดลองแสดงตามรูปที่ 3.9
4. จากผลการทดลองที่บันทึกค่าความดัน นำไปคำนวณค่าโมดูลัสการอัดตัวตามสมการที่ (1)



รูปที่ 3.15 แผนผังการทดลองหาค่าโมดูลัสการอัดตัว

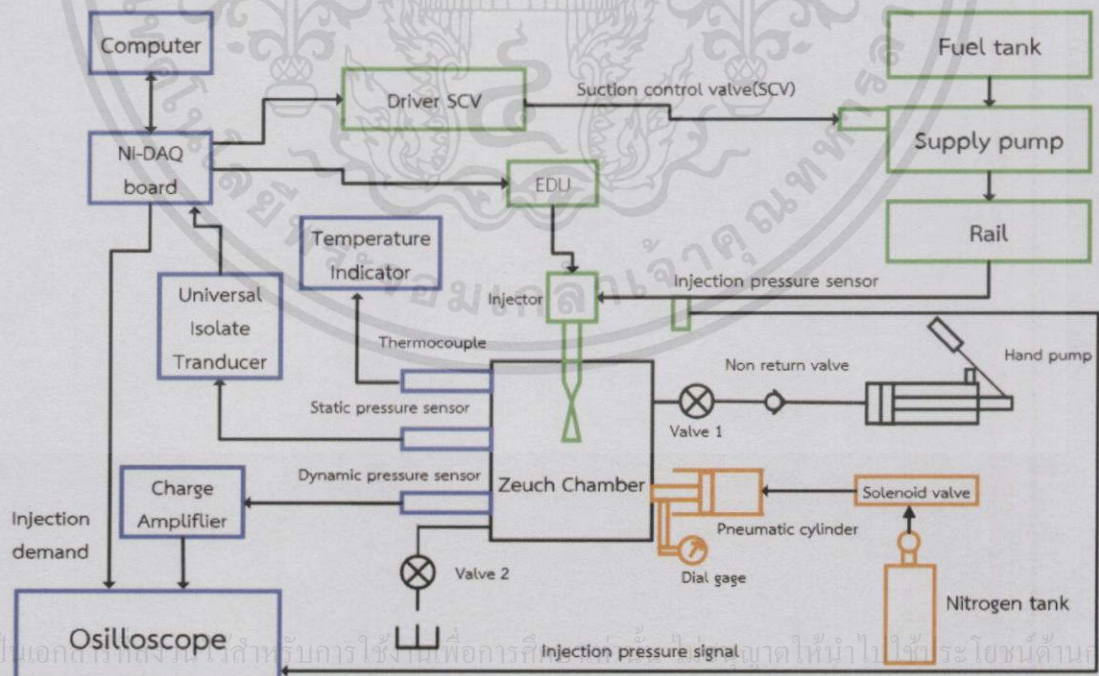


รูปที่ 3.16 หน้าจอแสดงผลการทดลองหาค่าโมดูลัส

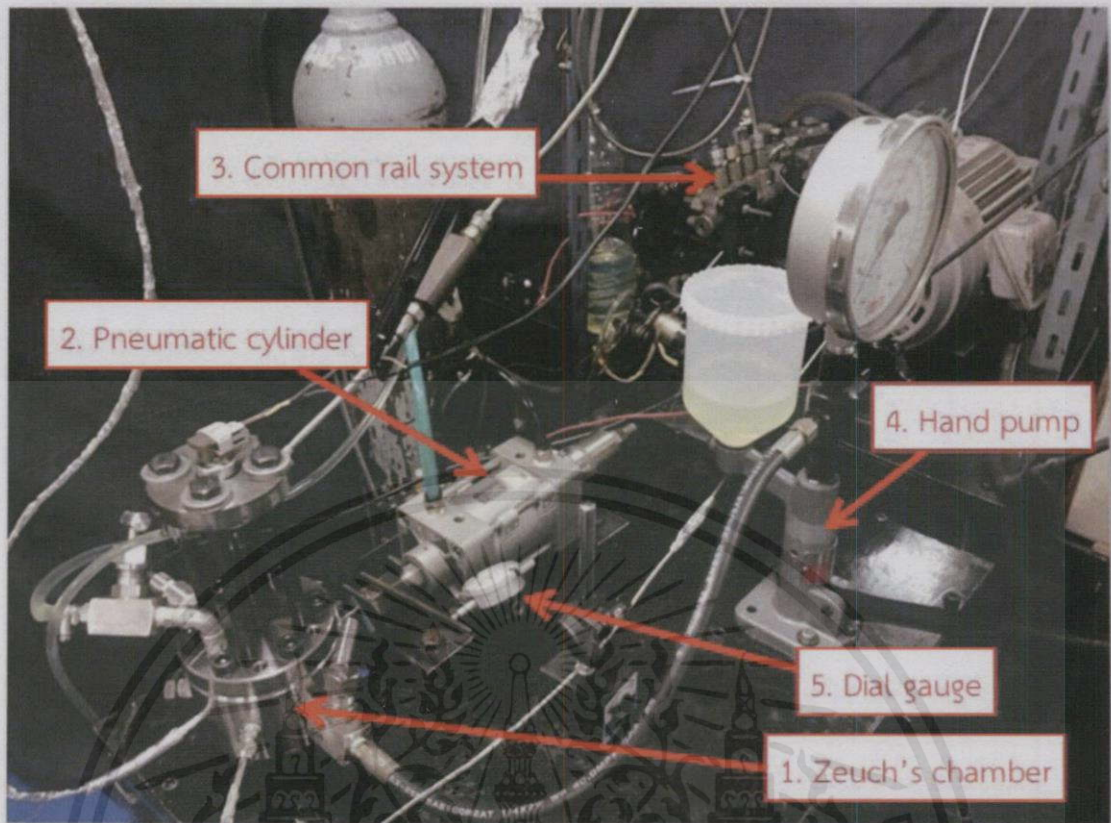
3.8 การทดลองการวัดปริมาณการฉีด

รูปชุดการทดลองและอุปกรณ์การทดลองทั้งหมดแสดงตามรูปที่ 3.18 โดยการทดลองจะถูกควบคุมให้อุณหภูมิของเชื้อเพลิงคงที่ตลอดการทดลอง ซึ่งจะสังเกตเห็นอุณหภูมิขณะทำการทดลองได้จากจอแสดงผลอุณหภูมิ (Temperature indicator) ตามแผนผังการวัดปริมาณการฉีดตามรูปที่ 3.17 ซึ่งการทดลองการวัดปริมาณการฉีดมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เริ่มจากการใช้ปั๊มมือ (Hand pump) อัดน้ำมันที่ใช้ในการทดลองเข้าสู่ห้องจำลองโดยมีการควบคุมความดันในห้องจำลองเริ่มต้นให้เท่ากับ 4.5 MPa
2. คอมพิวเตอร์จะเป็นตัวส่งควบคุมอุปกรณ์การทดลองซึ่งจะมีบอร์ด (NI-DAQ board) เป็นตัวแปลงสัญญาณไปยังวาล์วควบคุมปริมาณน้ำมัน ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมปริมาณของน้ำมันจากถังน้ำมันเข้าสู่ปั๊มน้ำมัน (Supply Pump) ซึ่งปั๊มน้ำมันจะทำหน้าที่จ่ายน้ำมัน เข้าไปยังรางคอมมอนเรล ทำให้เกิดความดันสูง ซึ่งจะใช้ความดันราง 40, 60, 80, 100, 120 และ 140 MPa และส่งสัญญาณไปยังตัวควบคุมสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ (EDU)
3. สั่งให้หัวฉีดทำงาน โดยทำการฉีดน้ำมันเข้าไปในห้องจำลอง
4. หลังจากนั้นเครื่องแปลงสัญญาณ (Charge Amplifier) จะส่งสัญญาณที่ได้เซนเซอร์วัดความดัน (Dynamic pressure sensor) ซึ่งเป็นความดันที่ได้จากการฉีด ไปยังเครื่องรับสัญญาณ (Oscilloscope) อีกทั้งสัญญาณการฉีดที่ได้จากหัวฉีดได้ถูกส่งไปเครื่องรับสัญญาณด้วย จากนั้นบันทึกผล
5. นำผลการทดลองที่ได้ ซึ่งเป็นสัญญาณความดันที่ได้จากการฉีดไปคำนวณหาอัตราการฉีดเชื้อเพลิงตามสมการที่ (2) จากนั้นหาคุณลักษณะการฉีดและคำนวณเกี่ยวกับอัตราการฉีดเชื้อเพลิงเฉลี่ยตามหัวข้อที่ 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ



รูปที่ 3.17 แผนผังการวัดปริมาณการฉีดเชื้อเพลิง



รูปที่ 3.18 ชุดการวัดปริมาณการฉีดแบบ Zeuch พร้อมอุปกรณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

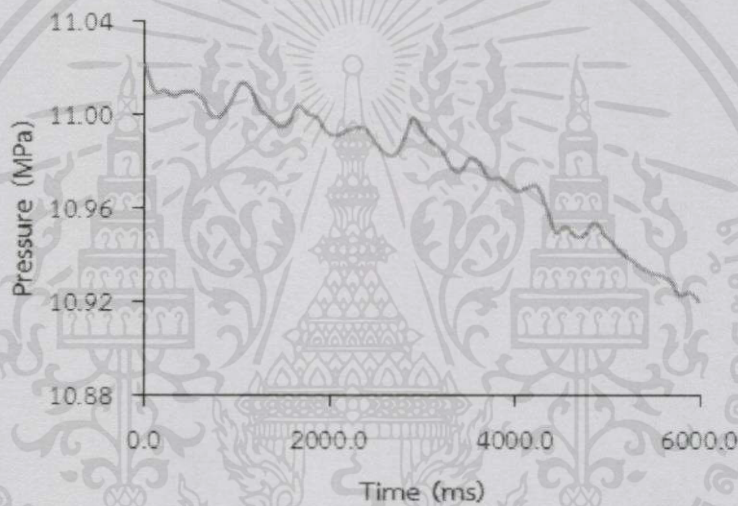
บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการทดลองในบทที่ 3 สามารถแบ่งผลการทดลองออกเป็นสองส่วนคือ ผลจากการศึกษาการออกแบบชุดการทดลองซึ่งจะมีผลการทดสอบการรั่ว และผลการศึกษาคุณลักษณะการฉีดและอัตราการฉีดของน้ำมันซึ่งประกอบด้วยผลการทดลองหาค่าโมดูลัส และผลการวัดปริมาณการฉีดของเชื้อเพลิง

4.1 ผลจากการศึกษาการออกแบบชุดการทดลอง

4.1.1 ผลการทดสอบการรั่ว



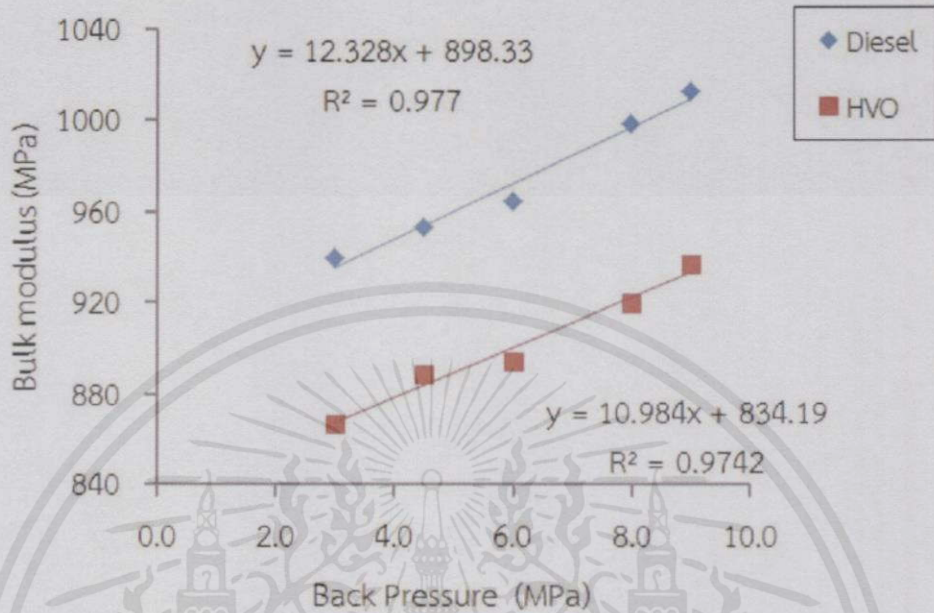
รูปที่ 4.1 ผลของการทดสอบรั่วของอุปกรณ์ที่อยู่ในรูปของความดันเทียบกับเวลา

จากผลการทดสอบการรั่วที่ความดัน 11.02 MPa ซึ่งมีค่าเป็น 2.4 เท่าของความดันที่ใช้ในการทดลอง พบว่าอัตราการลดลงของความดันมีค่าเท่ากับ 0.0000168 MPa/ms และเปอร์เซ็นต์การลดลงของความดันสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.0827% ซึ่งระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงไม่เกิน 4 มิลลิวินาที ทำให้ความดันภายในห้องจำลองลดลงไม่เกิน 0.0000672 MPa ต่อการทดลอง 1 ครั้ง ซึ่งเป็นอัตราการลดลงและเปอร์เซ็นต์การลดลงที่มีผลน้อยมาก จึงทำให้ชุดการทดลองนี้สามารถนำไปใช้ทดลองได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะวิธีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการศึกษาคุณลักษณะการฉีดและอัตราการฉีดของน้ำมัน

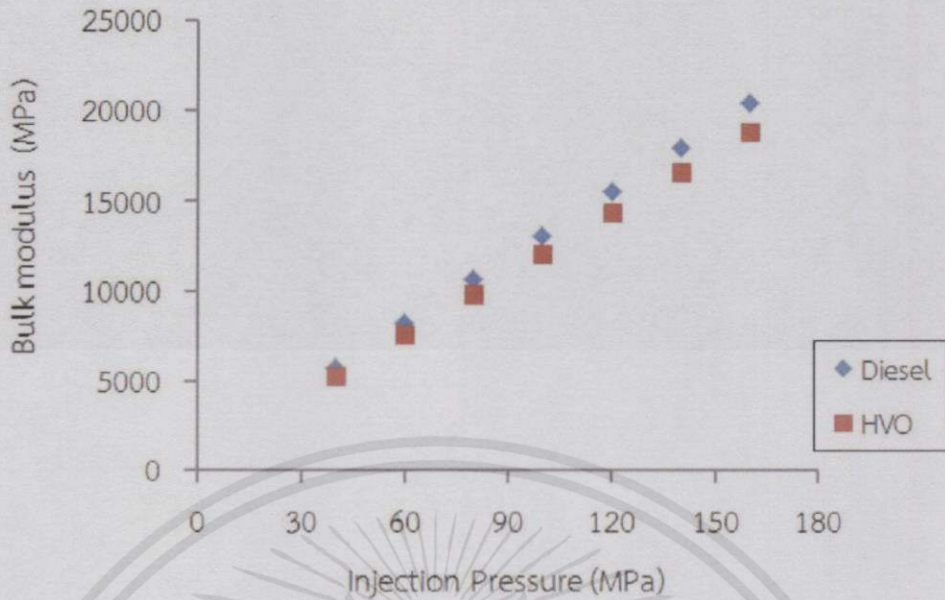
4.2.1. ผลการทดลองหาค่าโมดูลัสการอัดตัว



รูปที่ 4.2 ผลการทดลองหาค่าโมดูลัสการอัดตัว

จากผลการทดลองหาค่าโมดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิงพบว่าค่าโมดูลัสการอัดตัวมีค่าเพิ่มมากขึ้นโดยมีแนวโน้มเพิ่มเป็นแบบเชิงเส้นเมื่อเพิ่มความดันในห้องจ่าย โดยค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมันดีเซลมีค่าเพิ่มขึ้นตามความดันในห้องจ่ายที่ 4.5, 6.0, 8.0 และ 9.0 MPa มีเปอร์เซ็นต์ผลความแตกต่างเมื่อเทียบกับค่าโมดูลัสการอัดตัวที่ 3.0 MPa เท่ากับ 1.49%, 2.69%, 6.27% และ 7.76% ตามลำดับ และค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมัน HVO มีค่าเพิ่มขึ้นตามความดันในห้องจ่ายที่ 4.5, 6.0, 8.0 และ 9.0 MPa มีเปอร์เซ็นต์ผลความแตกต่างเมื่อเทียบกับค่าโมดูลัสการอัดตัวที่ 3.0 MPa เท่ากับ 2.59%, 3.24%, 6.15% และ 8.09% ตามลำดับ และที่ความดันในห้องจ่ายเท่ากับ 3.0 MPa ค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมัน HVO เท่ากับ 7.76% ที่ความดันในห้องจ่ายเท่ากับ 4.5 MPa ค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมัน HVO เท่ากับ 6.76% ที่ความดันในห้องจ่ายเท่ากับ 6.0 MPa ค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมัน HVO เท่ากับ 7.27% ที่ความดันในห้องจ่ายเท่ากับ 8.0 MPa ค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมัน HVO เท่ากับ 7.86% และ ที่ความดันในห้องจ่ายเท่ากับ 9.0 MPa ค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมัน HVO เท่ากับ 7.48% ซึ่งเป็นผลมาจากความหนาแน่นของน้ำมันดีเซลที่มากกว่าน้ำมัน HVO ตามสมการที่ (1)

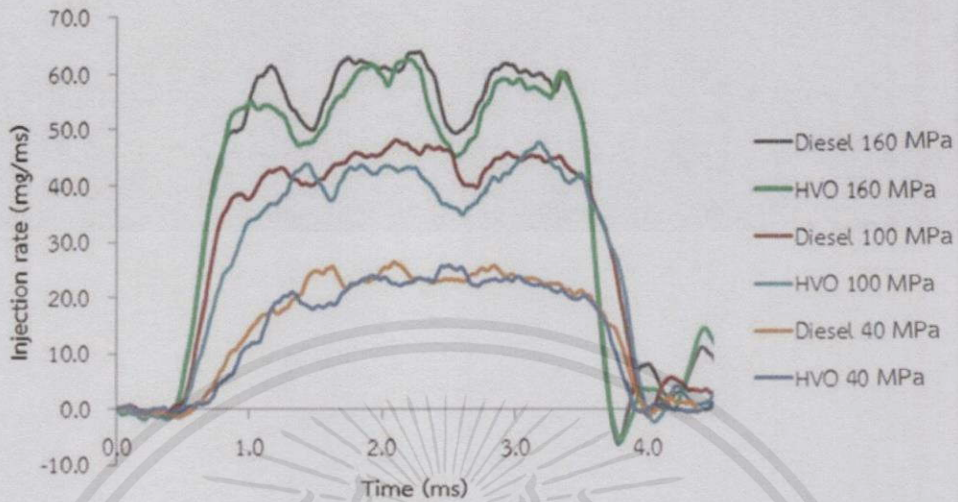
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับกริซ ซึ่งใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ค่าโมดูลัสที่ความดันในการฉีดที่ได้มาจากการสมการจากรูปที่ 4.2

จากรูปที่ 4.3 คือ ผลจากการนำสมการเส้นตรงจากรูปที่ 4.2 ของค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมันดีเซลและน้ำมัน HVO มาคำนวณที่ความดันสูงเพื่อคาดคะเนค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมันในการฉีด โดยค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมันดีเซลมีค่าเพิ่มขึ้นตามความดันในการฉีดที่ 60, 80, 100, 120, 140 และ 160 MPa มีเปอร์เซ็นต์ผลความแตกต่างเมื่อเทียบกับค่าโมดูลัสการอัดตัวที่ 40 MPa เท่ากับ 42.21%, 84.42%, 126.63%, 168.84%, 211.05% และ 253.26% ตามลำดับ และค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมัน HVO มีค่าเพิ่มขึ้นตามความดันในการฉีดที่ 60, 80, 100, 120, 140 และ 160 MPa มีเปอร์เซ็นต์ผลความแตกต่างเมื่อเทียบกับค่าโมดูลัสการอัดตัวที่ 40 MPa เท่ากับ 42.20%, 84.40%, 126.60%, 168.80%, 211.00% และ 253.20% ตามลำดับ และที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 40 MPa ค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมัน HVO เท่ากับ 8.03% ที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 60 MPa ค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมัน HVO เท่ากับ 8.04% ที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 80 MPa ค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมัน HVO เท่ากับ 8.04% ที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 100 MPa ค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมัน HVO เท่ากับ 8.04% ที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 120 MPa ค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมัน HVO เท่ากับ 8.05% ที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 140 MPa ค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมัน HVO เท่ากับ 8.05% และที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 160 MPa ค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมัน HVO เท่ากับ 8.05% โดยค่าโมดูลัสการอัดตัวที่ความดันในการฉีดคาดว่า จะมีผลต่อการเปิด-ปิดของเข็มของหัวฉีดซึ่งมีผลต่อค่าอัตราการผลิตเชื้อเพลิง ค่าความล่าช้าของการฉีด และระยะเวลาการฉีดอีกด้วย

4.2.2 อัตราการฉีดเชื้อเพลิง(Injection rate)



รูปที่ 4.4 อัตราการฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันในการฉีด 40, 100, 160 MPa

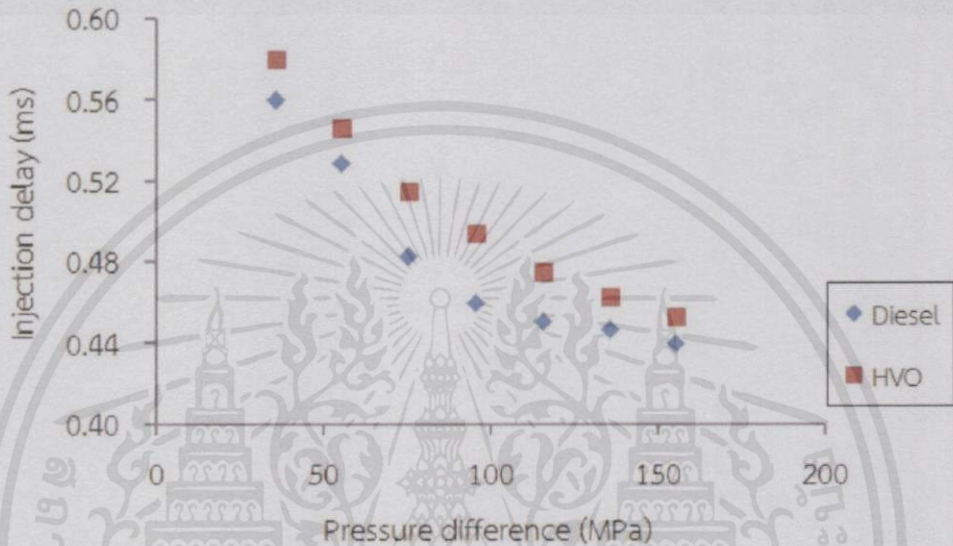
จากรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อเพิ่มความดันในการฉีดส่งผลให้อัตราการฉีดเชื้อเพลิงนั้นเพิ่มมากขึ้น โดยที่ความดันในการฉีดที่ 100 และ 160 MPa มีค่าเท่ากับ 94.80% และ 164.74% เมื่อเทียบกับอัตราการฉีดของความดันในการฉีดที่ 40 MPa ของน้ำมันดีเซลและที่ความดันในการฉีดที่ 100 และ 160 MPa มีค่าเท่ากับ 97.43% และ 174.74% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับอัตราการฉีดของผลต่างความดันของการฉีดที่ 40 MPa ของน้ำมัน HVO ซึ่งสังเกตได้จากกราฟเมื่อเพิ่มความดันในการฉีดมากขึ้น ความชันของกราฟจะมีความชันมากขึ้นเป็นผลมาจากค่าโมดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิงและความหนาแน่นทำให้การยกตัวของหัวฉีดที่ยกได้ไวและยกตัวได้สูงจึงทำให้อัตราการฉีดของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าอัตราการฉีดของน้ำมัน HVO เท่ากับ 6.26%, 4.84% และ 2.39% ที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 40, 100 และ 160 MPa ตามลำดับเนื่องมาจากความหนาแน่นและค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าความหนาแน่นและค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมัน HVO

เมื่ออัตราการฉีดของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นถึงจุดคงที่ในแต่ละความดันในการฉีดจะสังเกตได้ว่าที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 40 MPa กราฟจะมีความราบเรียบมากกว่าที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 100 และ 160 MPa เป็นเพราะค่า Reynold number ของทุกๆความดันเป็นการไหลแบบ Turbulent แต่ที่ 40 MPa มีค่า Reynold number ที่น้อยกว่าค่า Reynold number ที่ความดัน 100 และ 160 MPa ซึ่งหมายความว่ามีการไหลที่มีความแปรปรวนที่น้อยกว่าการไหลที่ 100 และ 160 MPa จึงทำให้กราฟของความดันในการฉีดที่ 40 MPa มีความราบเรียบมากกว่าที่ความดันในการฉีดที่ 100 และ 160 MPa

จากรูปที่ 4.4 พบว่าค่าความล่าช้าของการฉีดของความดันในการฉีดที่ 40 MPa มีค่ามากกว่าความล่าช้าของการฉีดที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 100 และ 160 MPa และระยะเวลาการฉีดที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 40 MPa จะมีระยะเวลาสั้นกว่าระยะเวลาการฉีดที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 100 MPa แต่จะมีระยะเวลามากกว่าระยะเวลาการฉีดที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 160 MPa และ

ปริมาณการฉีดของเชื้อเพลิงที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 40 MPa มีค่าน้อยกว่าปริมาณการฉีดของเชื้อเพลิงที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 100 และ 160 MPa ซึ่งรายละเอียดพฤติกรรมของค่าความล่าช้าของการฉีด, ระยะเวลาการฉีดและปริมาณในการฉีดได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.2.3, 4.2.4 และ 4.2.5 ตามลำดับ

4.2.3 ความล่าช้าของการฉีด(Injection delay)

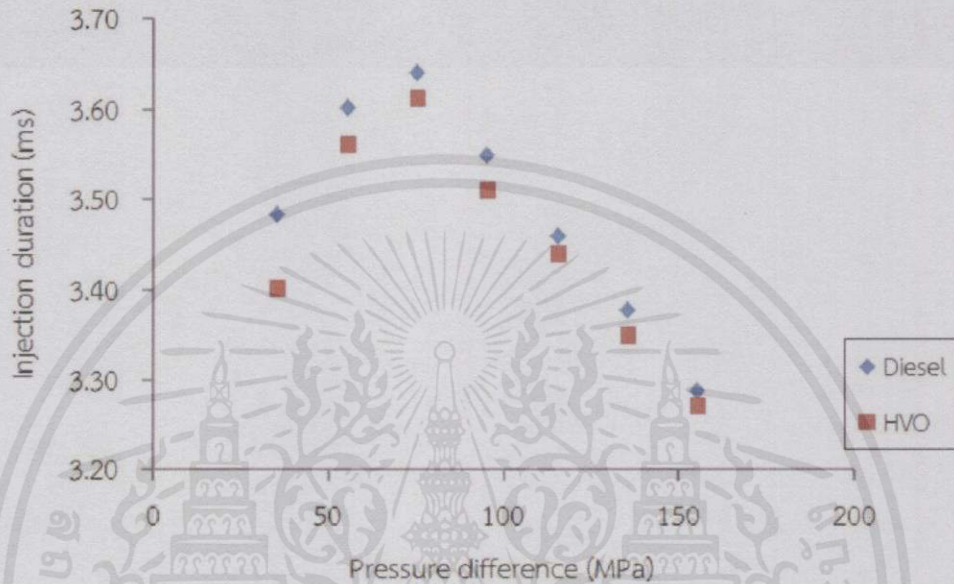


รูปที่ 4.5 ความล่าช้าของการฉีดกับผลต่างความดันของการฉีด

จากกราฟพบว่าเมื่อเพิ่มผลต่างความดันของการฉีดเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความล่าช้าของการฉีดของน้ำมันดีเซลลดลงที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 55.5, 75.5, 95.5, 115.5, 135.5 และ 155.5 MPa เมื่อเทียบกับค่าความล่าช้าที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 35.5 MPa มีเส้นอัตราการลดลงของความล่าช้าของการฉีดเท่ากับ 5.62%, 13.79%, 17.97%, 19.55%, 20.23% และ 21.42% ตามลำดับ และส่งผลให้ค่าความล่าช้าของการฉีดของน้ำมัน HVO ลดลงที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 55.5, 75.5, 95.5, 115.5, 135.5 และ 155.5 MPa เมื่อเทียบกับค่าความล่าช้าที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 35.5 MPa มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของความล่าช้าของการฉีดเท่ากับ 5.78%, 11.15%, 14.70%, 17.99%, 20.16% และ 21.86% ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากค่าโมดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิงที่ความดันต่ำจะมีค่าน้อยกว่าค่าโมดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิงที่ความดันสูง จึงส่งผลให้เมื่อ Control plunger ยกตัวขึ้นจะเกิดผลต่างของความดันในช่องว่างที่เกิดขึ้นและเกิดแรงที่สามารถทำให้เข็มของหัวฉีดยกตัวขึ้น ซึ่งถ้าค่าโมดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิงมีค่าสูงจะส่งผลให้เกิดแรงที่สามารถยกเข็มของหัวฉีดขึ้นได้ไวกว่าโมดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิงที่มีค่าน้อยกว่า และความล่าช้าของการฉีดของน้ำมันดีเซลมีค่าน้อยกว่าความล่าช้าของการฉีดของน้ำมัน HVO ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 35.5 MPa เท่ากับ 3.38% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 55.5 MPa เท่ากับ 3.22% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 75.5 MPa เท่ากับ 6.25% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 95.5 MPa เท่ากับ 7.08% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 115.5 MPa เท่ากับ 5.22%

ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 135.5 MPa เท่ากับ 3.46% และที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 155.5 MPa เท่ากับ 2.84% ซึ่งเป็นผลมาจากค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมัน HVO ที่มีค่าน้อยกว่าค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมันดีเซลตามผลในรูปที่ 4.3

4.2.4 ระยะเวลาการฉีด(Injection duration)

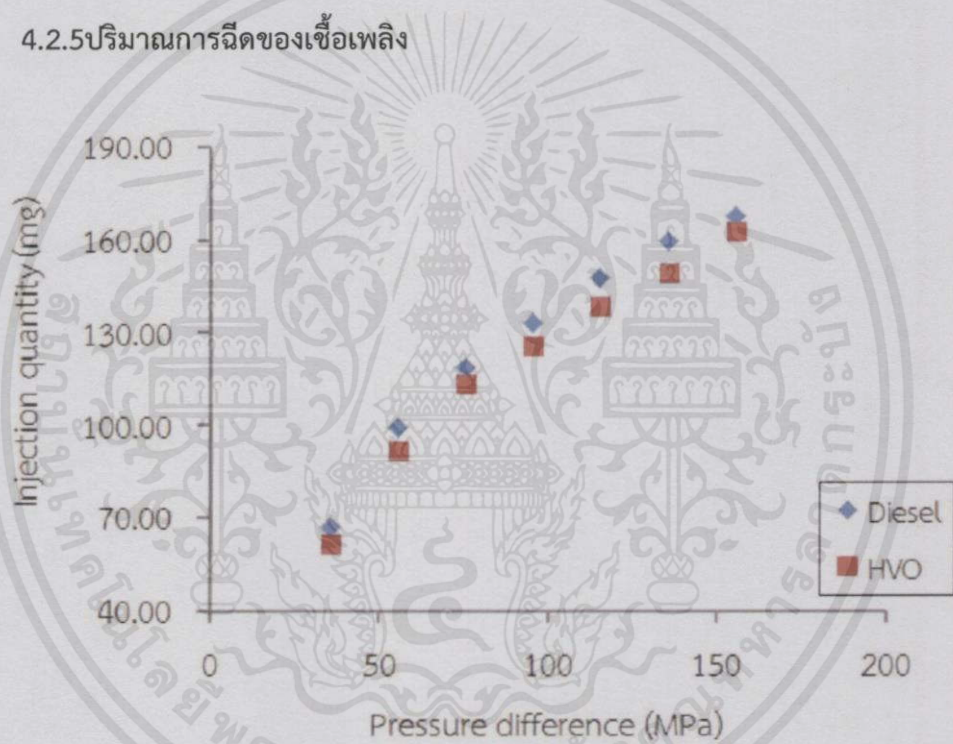


รูปที่ 4.6 ระยะเวลาการฉีดกับผลต่างความดันของการฉีด

จากกราฟพบว่าเมื่อเพิ่มผลต่างความดันของการฉีดเพิ่มขึ้น ระยะเวลาการฉีดจะเพิ่มขึ้นจนถึงที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 75.5 MPa และจะเริ่มลดลงเมื่อเพิ่มผลต่างความดันของการฉีดขึ้นอีก ซึ่งเมื่อเทียบกับระยะเวลาการฉีดที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 75.5 MPa ระยะเวลาการฉีดของน้ำมันดีเซลจะลดลง 4.35%, 1.09%, 2.52%, 4.97%, 7.24% และ 9.70% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 35.5, 55.5, 95.5, 115.5, 135.5 และ 155.5 MPa ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับระยะเวลาการฉีดที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 75.5 MPa ระยะเวลาการฉีดของน้ำมัน HVO จะลดลง 5.86%, 1.43%, 2.83%, 4.79%, 7.27% และ 9.42% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 35.5, 55.5, 95.5, 115.5, 135.5 และ 155.5 MPa ตามลำดับ ซึ่งระยะเวลาการฉีดที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 35.5, 55.5 และ 75.5 MPa มีระยะเวลาเพิ่มขึ้นเนื่องจากค่าคงที่ของสปริงที่เข็มของหัวฉีดสามารถที่จะดันให้เข็มของหัวฉีดปิดตัวลงได้ช้าลงและค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมัน HVO ไม่ส่งผลถึงการปิดตัวมากจนถึงที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 75.5 MPa นั้นเป็นจุดที่ค่าคงที่ของสปริงที่เข็มของหัวฉีดไม่มีผลต่อการปิดตัวของเข็มหัวฉีดแล้วและเมื่อผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 95.5, 115.5, 135.5 และ 155.5 MPa ระยะเวลาการฉีดจะลดลงเนื่องจากค่าโมดูลัสการอัดตัวที่สูงจึงสามารถสร้างแรงดันได้ไวเมื่อลูกปั๊มของหัวฉีดปิดตัวลงและทำให้เข็มของหัวฉีดปิดตัวได้ไวขึ้นเมื่อค่าโมดูลัสการอัดตัวสูงขึ้นโดยที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 35.5 MPa ระยะเวลาการฉีดของน้ำมันดีเซลนานกว่าระยะเวลาการฉีดของ HVO เท่ากับ 2.39% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ

55.5 MPa ระยะเวลาการฉีดของน้ำมันดีเซลนานกว่าระยะเวลาการฉีดของ HVO เท่ากับ 1.12% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 75.5 MPa ระยะเวลาการฉีดของน้ำมันดีเซลนานกว่าระยะเวลาการฉีดของ HVO เท่ากับ 0.77% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 95.5 MPa ระยะเวลาการฉีดของน้ำมันดีเซลนานกว่าระยะเวลาการฉีดของ HVO เท่ากับ 1.09% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 115.5 MPa ระยะเวลาการฉีดของน้ำมันดีเซลนานกว่าระยะเวลาการฉีดของ HVO เท่ากับ 0.58% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 135.5 MPa ระยะเวลาการฉีดของน้ำมันดีเซลนานกว่าระยะเวลาการฉีดของ HVO เท่ากับ 0.81% และที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 35.5 MPa ระยะเวลาการฉีดของน้ำมันดีเซลนานกว่าระยะเวลาการฉีดของ HVO เท่ากับ 0.49% ซึ่งเป็นผลมาจากค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมัน HVO ที่น้อยกว่าค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมันดีเซลด้วยตามรูปที่ 4.6

4.2.5 ปริมาณการฉีดของเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.7 ปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงกับผลต่างความดันของการฉีด

จากกราฟพบว่าเมื่อผลต่างความดันของการฉีดมีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลจะมีเปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาณการฉีดที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 35.5 MPa เท่ากับ 48.43%, 77.29%, 98.52%, 120.21%, 137.71% และ 149.93% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 55.5, 75.5, 95.5, 115.5, 135.5 และ 155.5 MPa ตามลำดับ และปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงของน้ำมัน HVO จะมี % เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาณการฉีดที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 35.5 MPa เท่ากับ 49.61%, 83.60%, 103.79%, 124.69%, 142.23% และ 164.28% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 55.5, 75.5, 95.5, 115.5, 135.5 และ 155.5 MPa ตามลำดับ ซึ่งปริมาณการฉีดที่เพิ่มขึ้น

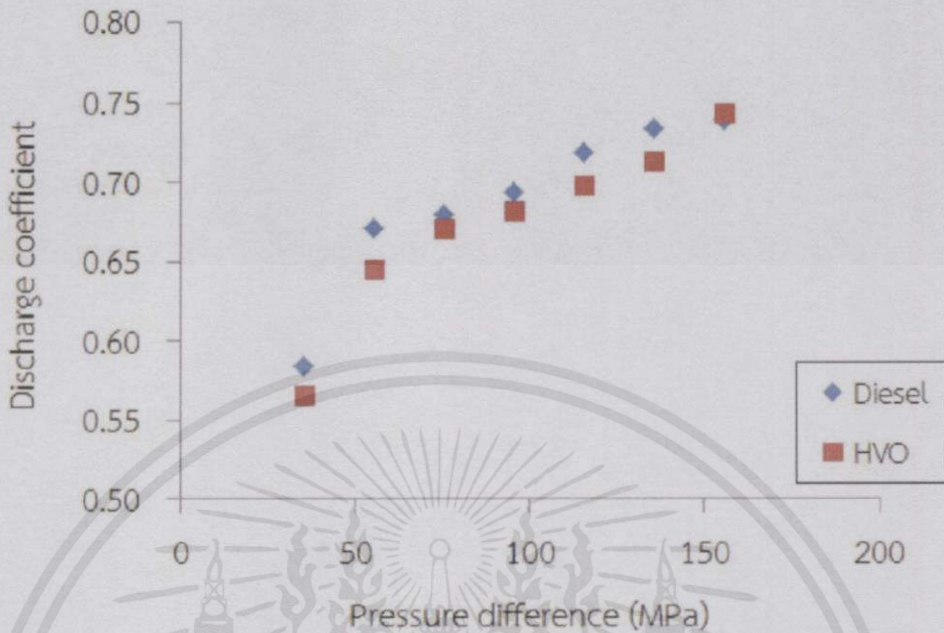
เป็นผลมาจากอัตราการฉีดของเชื้อเพลิงที่เพิ่มสูงขึ้นตามความดันในการฉีดโดยที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 35.5 MPa มีปริมาณการฉีดของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าปริมาณการฉีดของน้ำมัน HVO เท่ากับ 8.79% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 55.5 MPa มีปริมาณการฉีดของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าปริมาณการฉีดของน้ำมัน HVO เท่ากับ 8.26% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 75.5 MPa มีปริมาณการฉีดของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าปริมาณการฉีดของน้ำมัน HVO เท่ากับ 5.05% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 95.5 MPa มีปริมาณการฉีดของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าปริมาณการฉีดของน้ำมัน HVO เท่ากับ 5.98% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 115.5 MPa มีปริมาณการฉีดของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าปริมาณการฉีดของน้ำมัน HVO เท่ากับ 6.62% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 135.5 MPa มีปริมาณการฉีดของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าปริมาณการฉีดของน้ำมัน HVO เท่ากับ 6.76% และที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 165.5 MPa มีปริมาณการฉีดของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าปริมาณการฉีดของน้ำมัน HVO เท่ากับ 2.89% ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความหนาแน่นของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าค่าความหนาแน่นของน้ำมัน HVO เป็นไปตามสมการอัตราการไหลเชิงมวลดังนี้

$$\dot{m} = \rho VA$$

เมื่อ \dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวล (m^3/s)
 ρ คือ ความหนาแน่น (kg/m^3)
 A คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 Discharge coefficient

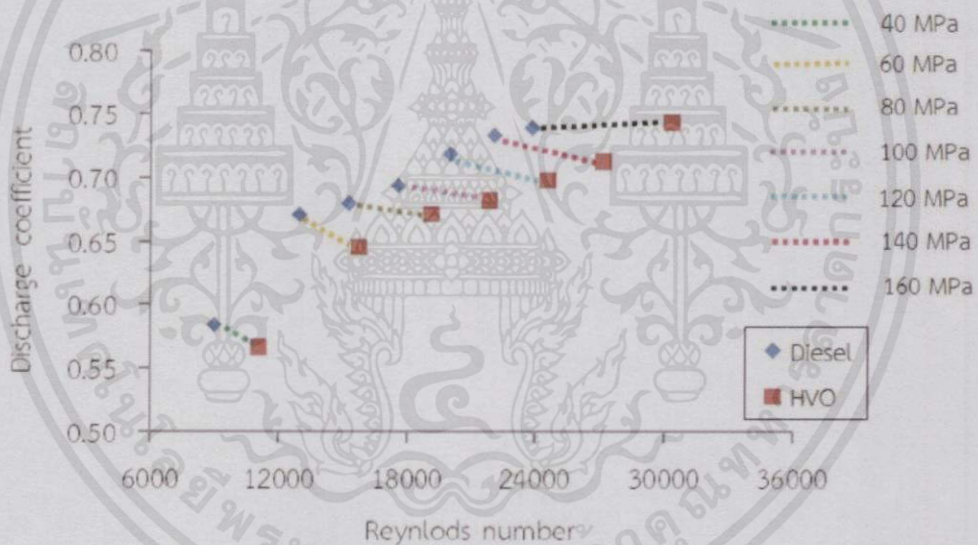


รูปที่ 4.8 Discharge coefficient กับผลต่างความดันของการฉีด

จากกราฟพบว่าเมื่อเพิ่มผลต่างความดันของการฉีดสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่า Discharge coefficient มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งค่า Discharge coefficient ของน้ำมันดีเซลมีเปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่า Discharge coefficient ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 35.5 MPa เท่ากับ 14.79%, 16.28%, 18.77%, 22.88%, 25.46% และ 26.49% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 55.5, 75.5, 95.5, 115.5, 135.5 และ 155.5 MPa ตามลำดับ และค่า Discharge coefficient ของน้ำมัน HVO มี % เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่า Discharge coefficient ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 35.5 MPa เท่ากับ 13.94%, 18.52%, 20.37%, 23.17%, 25.88% และ 31.27% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 55.5, 75.5, 95.5, 115.5, 135.5 และ 155.5 MPa ตามลำดับ โดยที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 35.5 MPa ค่า Discharge coefficient ของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าค่า Discharge coefficient ของน้ำมัน HVO เท่ากับ 3.22% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 55.5 MPa ค่า Discharge coefficient ของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าค่า Discharge coefficient ของน้ำมัน HVO เท่ากับ 3.99% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 75.5 MPa ค่า Discharge coefficient ของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าค่า Discharge coefficient ของน้ำมัน HVO เท่ากับ 1.27% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 95.5 MPa ค่า Discharge coefficient ของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าค่า Discharge coefficient ของน้ำมัน HVO เท่ากับ 1.84% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 115.5 MPa ค่า Discharge coefficient ของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าค่า Discharge coefficient ของน้ำมัน HVO เท่ากับ 2.98% และที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 135.5 MPa ค่า Discharge coefficient ของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าค่า Discharge coefficient ของน้ำมัน HVO เท่ากับ 2.88% แต่ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 155.5 MPa ค่า Discharge

coefficient ของน้ำมัน HVO จะมีค่ามากกว่า 0.54% ของค่า Discharge coefficient ของน้ำมันดีเซลซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณการฉีดของเชื้อเพลิงและค่าความหนาแน่นซึ่งเมื่อเพิ่มผลต่างความดันของการฉีดมากขึ้นปริมาณการฉีดจะเพิ่มสูงขึ้นและส่งผลให้ค่า Discharge coefficient มีค่าสูงขึ้นจนเข้าใกล้จุดสูงสุดของค่า Discharge coefficient ของน้ำมันชนิดนั้นโดยจุดสูงสุดของค่า Discharge coefficient ของน้ำมัน HVO จะมีค่าสูงกว่าค่า Discharge coefficient ของน้ำมันดีเซล เป็นผลมาจากค่าความหนาแน่นของ HVO มีค่าน้อยกว่าค่าความหนาแน่นของน้ำมันดีเซลจึงทำให้เกิด Cavitation ที่ความดันสูงกว่าน้ำมันดีเซลซึ่งสังเกตได้จากกราฟและผลการทดลองว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Discharge coefficient ของน้ำมัน HVO มีค่ามากกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Discharge coefficient ของน้ำมันดีเซลและค่า Discharge coefficient ของน้ำมันดีเซลเริ่มเข้าใกล้จุดสูงสุดและถ้าเพิ่มความดันในการฉีดขึ้นอีกจะมีโอกาสเห็นแนวโน้มการลดลงของค่า Discharge coefficient ที่เป็นผลมาจากการเกิด Cavitation ได้แต่ทางผู้ทดสอบไม่สามารถทดลองได้เนื่องจากถึงจุดสูงสุดของความดันในการฉีดเชื้อเพลิงของผู้ทำการทดสอบสามารถทำการทดสอบได้

4.2.7 Discharge coefficient กับ Reynolds number

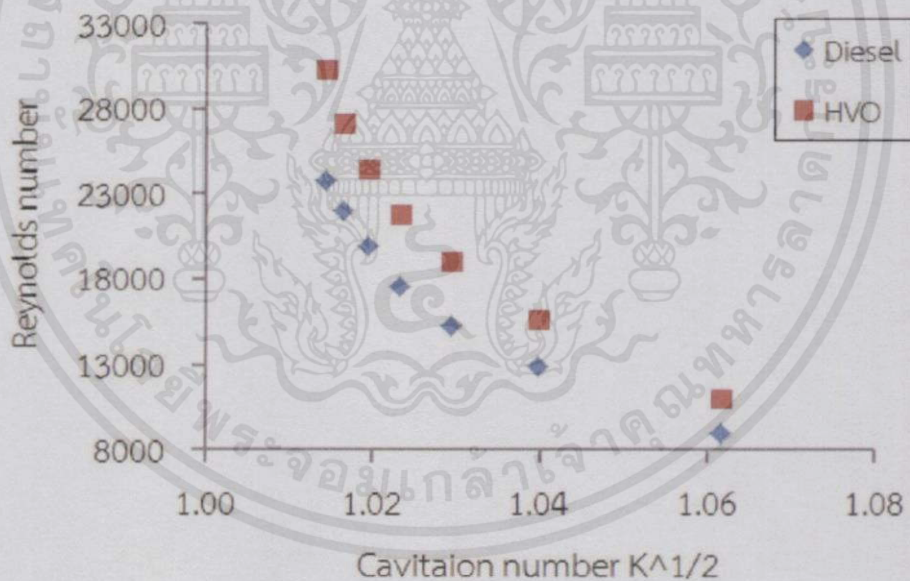


รูปที่ 4.9 Discharge coefficient กับ Reynolds number

จากกราฟพบว่าเมื่อเพิ่มความดันในการฉีดจะส่งผลให้ค่า Discharge coefficient และค่า Reynold number เพิ่มมากขึ้นซึ่งค่า Reynold number ของน้ำมันดีเซลมีเปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่า Reynold number ของความดันในการฉีดที่ 40 MPa เท่ากับ 43.53%, 69.58%, 94.80%, 121.65%, 145.11% และ 164.74% ที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 60, 80, 100, 120, 140 และ 160 MPa ตามลำดับ และค่า Reynold number ของน้ำมัน HVO มีเปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่า Reynold number ของความดันในการฉีดที่ 40 MPa เท่ากับ 42.46%, 72.84%, 97.43%, 122.17%, 145.92% และ 174.74% ที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 60, 80, 100, 120, 140 และ 160 MPa ตามลำดับ ซึ่งค่า Reynold number ที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากปริมาณการฉีดของ

เชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นเมื่อความดันในการฉีดสูงขึ้น และที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 40 MPa ค่า Reynold number ของน้ำมัน HVO มีค่ามากกว่าค่า Reynold number ของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 22.53% ที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 40 MPa ค่า Reynold number ของน้ำมัน HVO มีค่ามากกว่าค่า Reynold number ของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 21.62% ที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 40 MPa ค่า Reynold number ของน้ำมัน HVO มีค่ามากกว่าค่า Reynold number ของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 24.89% ที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 40 MPa ค่า Reynold number ของน้ำมัน HVO มีค่ามากกว่าค่า Reynold number ของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 24.19% ที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 40 MPa ค่า Reynold number ของน้ำมัน HVO มีค่ามากกว่าค่า Reynold number ของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 22.82% ที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 40 MPa ค่า Reynold number ของน้ำมัน HVO มีค่ามากกว่าค่า Reynold number ของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 22.94% และที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 40 MPa ค่า Reynold number ของน้ำมัน HVO มีค่ามากกว่าค่า Reynold number ของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 27.16% ซึ่งเป็นผลมาจากความหนาแน่นของน้ำมันดีเซลที่มีค่ามากกว่าค่าความหนาแน่นของน้ำมัน HVO ส่งผลให้ความเร็วของน้ำมันที่ไหลออกจากหัวฉีดของน้ำมันดีเซลมีค่าน้อยกว่าความเร็วของน้ำมันที่ไหลออกจากหัวฉีดของน้ำมัน HVO

4.2.8 Reynolds number กับรากที่สองของ Cavitation number



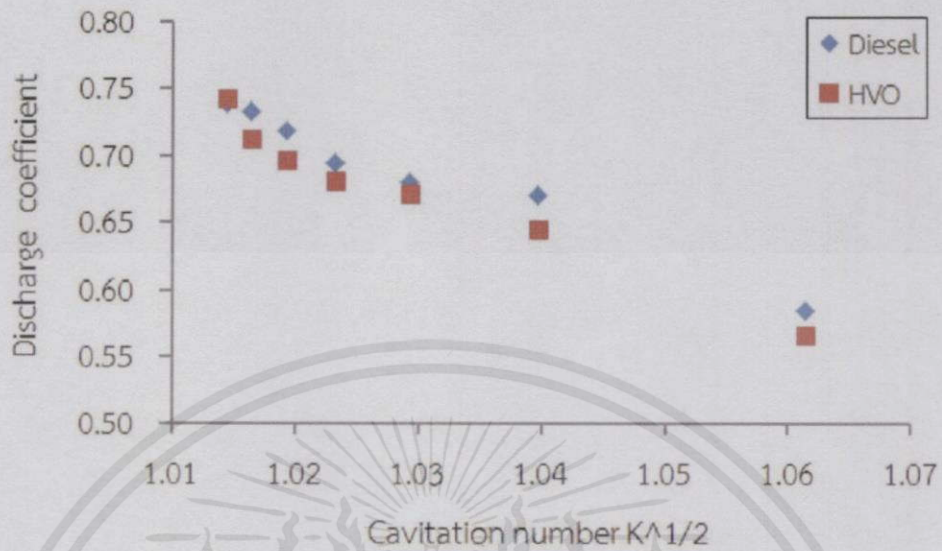
รูปที่ 4.10 Reynolds number กับรากที่สองของ Cavitation number

จากกราฟพบว่าที่ความดันในการฉีดของทั้งสองชนิดน้ำมันเท่ากันจะส่งผลให้มีค่ารากที่สองของ Cavitation number ของทั้งสองชนิดน้ำมันเท่ากัน โดยที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 40 MPa จะมีค่ารากที่สองของ Cavitation number เท่ากับ 1.061 ที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 60 MPa จะมีค่ารากที่สองของ Cavitation number เท่ากับ 1.040 ที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 80 MPa จะมีค่ารากที่สองของ Cavitation number เท่ากับ 1.029 ที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 100 MPa จะมีค่ารากที่

สองของ Cavitation number เท่ากับ 1.023 ที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 120 MPa จะมีค่ารากที่สองของ Cavitation number เท่ากับ 1.019 ที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 140 MPa จะมีค่ารากที่สองของ Cavitation number เท่ากับ 1.016 และที่ความดันในการฉีดเท่ากับ 160 MPa จะมีค่ารากที่สองของ Cavitation number เท่ากับ 1.014 ซึ่งสังเกตได้ว่าถ้าเพิ่มความดันในการฉีดให้สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่ารากที่สองของ Cavitation number ลดลงและที่ค่ารากที่สองของ Cavitation number เท่ากับ 1.061 ค่า Reynold number ของน้ำมัน HVO มีค่ามากกว่าค่า Reynold number ของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 22.53% ที่ค่ารากที่สองของ Cavitation number เท่ากับ 1.040 ค่า Reynold number ของน้ำมัน HVO มีค่ามากกว่าค่า Reynold number ของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 21.62% ที่ค่ารากที่สองของ Cavitation number เท่ากับ 1.029 ค่า Reynold number ของน้ำมัน HVO มีค่ามากกว่าค่า Reynold number ของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 22.94% ที่ค่ารากที่สองของ Cavitation number เท่ากับ 1.023 ค่า Reynold number ของน้ำมัน HVO มีค่ามากกว่าค่า Reynold number ของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 24.89% ที่ค่ารากที่สองของ Cavitation number เท่ากับ 1.019 ค่า Reynold number ของน้ำมัน HVO มีค่ามากกว่าค่า Reynold number ของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 24.19% ที่ค่ารากที่สองของ Cavitation number เท่ากับ 1.016 ค่า Reynold number ของน้ำมัน HVO มีค่ามากกว่าค่า Reynold number ของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 22.82% ที่ค่ารากที่สองของ Cavitation number เท่ากับ 1.014 ค่า Reynold number ของน้ำมัน HVO มีค่ามากกว่าค่า Reynold number ของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 22.94% ซึ่งจากข้อมูลที่ได้อ้างไว้สามารถบอกได้ว่าเมื่อค่า Reynold number สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่ารากที่สองของ Cavitation number ลดลงและเริ่มเข้าใกล้ค่า Cavitation critical point ของแต่ละน้ำมันแต่เนื่องจากการทดลองใช้ความดันในการฉีดไม่สูงพอที่จะให้เห็นจุด Cavitation critical point เพราะทางผู้ทดสอบไม่สามารถทดลองได้เนื่องจากถึงจุดสูงสุดของความดันในการฉีดเชื้อเพลิงของผู้ทำการทดสอบสามารถทำการทดลองได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.9 Discharge coefficient กับรากที่สองของ Cavitation number.



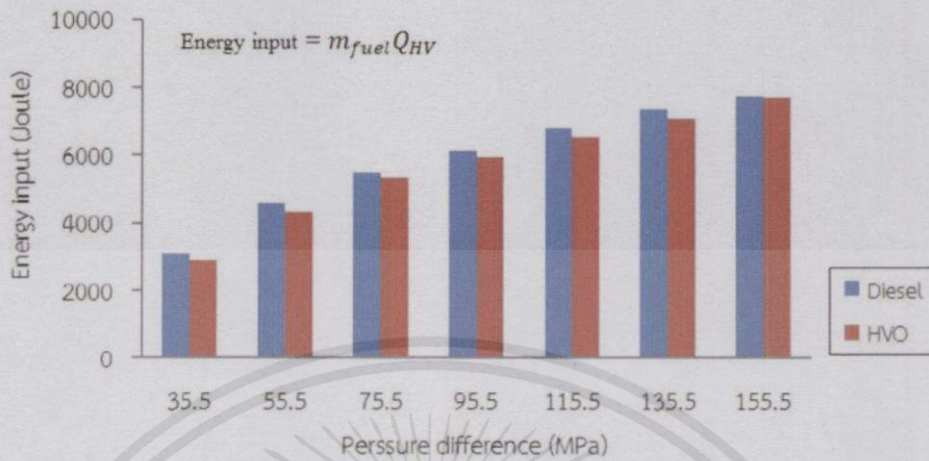
รูปที่ 4.11 Discharge coefficient กับรากที่สองของ Cavitation number

จากรูปที่ 4.10 พบว่าเมื่อค่ารากที่สองของ Cavitation number ลดลงจะส่งผลให้ค่า Discharge coefficient เพิ่มขึ้นและค่า Discharge coefficient จะเริ่มคงที่เมื่อเข้าใกล้ Cavitation critical point และถ้าเพิ่มความดันในการฉีดให้มากขึ้นอีกจะทำให้สามารถเห็น Cavitation critical point ที่ทำให้เห็นค่า Discharge coefficient ลดลงแต่เนื่องจากผู้ทดสอบไม่สามารถทำการทดสอบเพราะถึงจุดสูงสุดของความดันในการฉีดเชื้อเพลิงของผู้ทำการทดสอบสามารถทำการทดลองได้

จากรูปที่ 4.10 พบว่าเมื่อค่ารากที่สองของ Cavitation number ลดลงจะส่งผลให้ค่า Discharge coefficient เพิ่มขึ้น และเมื่อค่ารากที่สองของ Cavitation number เริ่มเข้าใกล้ 1 ค่า Discharge coefficient ของน้ำมันดีเซลจะเริ่มคงที่ซึ่งหมายความว่าค่าของรากที่สองของ Cavitation number นั้นเริ่มเข้าใกล้ Cavitation critical point แล้วแต่ค่า Discharge coefficient ของน้ำมัน HVO ยังเพิ่มขึ้นอยู่หมายความว่าค่า Cavitation critical point ของน้ำมัน HVO จะมีค่าน้อยกว่าค่า Cavitation critical number ของทั้งสองชนิดน้ำมันได้เนื่องจากผู้ทดสอบไม่สามารถทำการทดสอบเพราะถึงจุดสูงสุดของความดันในการฉีดเชื้อเพลิงของผู้ทำการทดสอบสามารถทำการทดลองได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 Energy input



รูปที่ 4.12 Energy input กับผลต่างความดันของการฉีด

จากกราฟที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากัน พบว่าพลังงานที่ได้จากการฉีดน้ำมันดีเซลสูงกว่าพลังงานที่ได้จากการฉีดน้ำมัน HVO เท่ากับ 5.892%, 5.426%, 2.544%, 3.396%, 3.976%, 4.105% และ 0.489% ที่ผลต่างความดันของการฉีดเท่ากับ 35.5, 55.5, 75.5, 95.5, 115.5, 135.5 และ 155.5MPa ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณการฉีดของน้ำมันดีเซลที่มีปริมาณมากกว่าปริมาณการฉีดของน้ำมัน HVO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการทดลองสามารถแบ่งผลการทดลองออกเป็น 2 ส่วนคือ ผลการศึกษาการออกแบบชุดอุปกรณ์ทดลองและผลการศึกษาคุณลักษณะการฉีดและอัตราการฉีดของน้ำมัน HVO

5.1.1 ผลการศึกษาการออกแบบชุดอุปกรณ์ทดลอง

จากการศึกษาพบว่า การออกแบบอุปกรณ์ชุดทดลองนั้นที่ใช้โปรแกรม SolidWorks Simulation ในการออกแบบได้ ซึ่งจากการสร้างอุปกรณ์ตามแบบแผนที่ได้ทำการออกแบบไว้ในโปรแกรมพบว่าอุปกรณ์สามารถใช้งานได้จริง เนื่องจากผ่านการทดสอบการรั่ว และสามารถทนต่อแรงดันที่ใช้ในการทดลองได้ ซึ่งจากการนำอุปกรณ์ไปใช้ในการทดลองเพื่อหาคุณลักษณะการฉีดนั้นสามารถหาได้และได้ผลข้อมูลที่ถูกต้องตามทฤษฎี

5.1.2 ผลการศึกษาคุณลักษณะการฉีดและอัตราการฉีดของน้ำมัน

จากการศึกษาพบว่า สมบัติทางกายของน้ำมันและความดันในการฉีดของหัวฉีดนั้นส่งผลต่อคุณลักษณะการฉีดดังนี้

5.1.2.1 สมบัติทางกายภาพของน้ำมัน

ผลจากความหนาแน่นของน้ำมัน

จากการทดลองพบว่าความหนาแน่นของน้ำมันดีเซลนั้นมีมากกว่าน้ำมัน HVO ซึ่งส่งผลให้อัตราการฉีด ปริมาณการฉีด และ Discharge coefficient ของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าน้ำมัน HVO ซึ่งทั้งค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมัน พบว่าในน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าน้ำมัน HVO

ผลจากโมดูลัสการอัดตัว

จากการทดลองพบว่าผลของโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมันดีเซลมีค่ามากกว่าน้ำมัน HVO ซึ่งส่งผลต่อการทำงานของหัวฉีด โดยโมดูลัสการอัดตัวส่งผลให้ความล่าช้าของการฉีดและระยะเวลาการฉีดของน้ำมันดีเซลมีมากกว่าน้ำมัน HVO

5.1.2.2 ความดันในการฉีดของหัวฉีด

จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความดันในการฉีดของหัวฉีดให้มากขึ้นจะสามารถลดความล่าช้าของการฉีด และสามารถเพิ่มอัตราการฉีด ปริมาณการฉีด และ Discharge coefficient ให้มากขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะฟรีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาอัตราการฉีดพบว่าผลต่างของอัตราการฉีดของเชื้อเพลิงนั้นมีผลเนื่องมาจากคุณสมบัติทางกายภาพของทั้งสองเชื้อเพลิง ซึ่งในน้ำมัน HVO นั้นมีความคล้ายคลึงกับน้ำมันดีเซลมาก ไม่ว่าจะเป็นความหนืด ความหนาแน่น โมดูลัสการอัดตัว โดยที่น้ำมัน HVO นั้นจะมีค่าที่น้อยกว่า น้ำมันดีเซลเล็กน้อย ซึ่งในคุณสมบัติเหล่านี้ล้วนส่งผลต่ออัตราการฉีดทั้งสิ้น แต่เมื่อพิจารณาในเรื่องของพลังงานแล้วในน้ำมัน HVO นั้นมีค่าพลังงานความร้อนที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงหลักการนำไปใช้ในเครื่องยนต์จริงนั้นนอกจากจะพิจารณาถึงอัตราการฉีดแล้วยังต้องพิจารณาถึงพลังงานอีกด้วย ซึ่งแนวทางในการนำเชื้อเพลิงนี้ไปปรับใช้นั้นได้แก่

1. ปรับความดันในการฉีดน้ำมัน เพื่อลดการสูญเสียพลังงานจากความหนืดของเชื้อเพลิงและลดระยะเวลาการตอบสนองของหัวฉีด เพราะเนื่องจากผลของความดันนั้นมีผลต่อปริมาณในการฉีดของเชื้อเพลิง
2. ปรับระยะเวลาการฉีดเพื่อให้ปริมาณของเชื้อเพลิงที่ฉีดนั้นมีความเหมาะสมต่อการทำงานของเครื่องยนต์ โดยปรับระยะเวลาของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโซลินอยด์ของหัวฉีด ซึ่งอาจเพิ่มให้มากขึ้นหรือน้อยลงตามความเหมาะสม
3. อาจมีการนำน้ำมันทั้งสองชนิดนี้มาผสมกันในสัดส่วนต่างๆ เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในเครื่องยนต์
4. ให้ติดตั้ง Needle lift sensor เพื่อจับการเคลื่อนที่ของเข็มหัวฉีดและระยะเวลาการยกของการฉีดจริงที่หัวฉีด
5. ให้ทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมัน HVO เนื่องจากคาดว่าจะมีผลต่อการเปิด-ปิดของเข็มหัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] ประเทศไทยอยู่ตรงไหน, เรามีก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบเยอะแค่ไหน, URL:<http://whereisthailand.info/2013/06/proved-reserves-of-oil-natural-gas/>
- [2] Markku Kuronen, Seppo Mikkonen, Paivi Aakko and Timo Murtonen. 2007. **Hydrotreated vegetable oil as fuel for heavy duty diesel engines**. SAE Paper.
- [3] J. Benajes, J. V. Pastor, R. Payri, A. H. Plazas. 2004. **Analysis of the Influence of Diesel Nozzle Geometry in the Injection Rate Characteristic**. Journal of Fluids Engineering. Vol. 126. pp. 71
- [4] ระบบควบคุมรถยนต์, ระบบคอมมอนเรล, URL: http://www.denso.co.th/denso/th/product_1_1_3.jsp?lang=th
- [5] Manual 4JJ1-TC ENGINE, ISUZU MOTOR limited
- [6] Satoshi Ishikawa, Yukimitsu Ohmori, Susumu Fukushima, Takao Suzuki, Akio Takamura and Takeyuki Kamimoto. 2000. **Measurement of Rate of Multiple- Injection in CDI Diesel Engines**. SAE Paper.
- [7] Glenn R. Bower and David E. Foster. 1991. **A Comparison of the Bosch and Zuech Rate of Injection Meters**. SAE Paper.
- [8] Density, URL:<http://en.wikipedia.org/wiki/Density>
- [9] Viscosity, URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Viscosity>
- [10] S. Martí nez-Martí nez, F.A. Sa ´nchez-Cruz, J.M. Riesco-Á vila, A. Gallegos-Mun ˜oz ,S.M. Aceves. 2008. **Liquid penetration length in direct diesel fuel injection**. Applied Thermal Engineering. Vol. 28. pp. 1756-1762
- [11] Dong Han, Yaozong Duan, Chunhai Wang, He Lin, Zhen Huang. 2014. **Experimental study on injection characteristics of fatty acid esters on a diesel engine common rail system**. Fuel 128. pp. 19-25
- [12] J. Dernote, C. Hespel, F. Foucher, S. Houill´e, C. Mounaïm-Rousselle. 2012. **Influence of physical fuel properties on the injection rate in a Diesel injector**. Fuel 96. pp. 153-160
- [13] Octavio Armas, Carmen Mata, Simón Martínez-Martínez. 2012. **Effect of diesel injection parameters on instantaneous fuel delivery using a solenoidoperated injector with different fuels**. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México. pp 9-21
- [14] Hannu Aatola, Martti Larmi, Teemu Sarjoavaara and Seppo Mikkonen. 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.

[15] 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.

[16] Maximum von Mises Stress Criterion,

URL:http://help.solidworks.com/2014/english/solidworks/cworks/r_Maximum_von_Mises_Stress_Criterion.htm

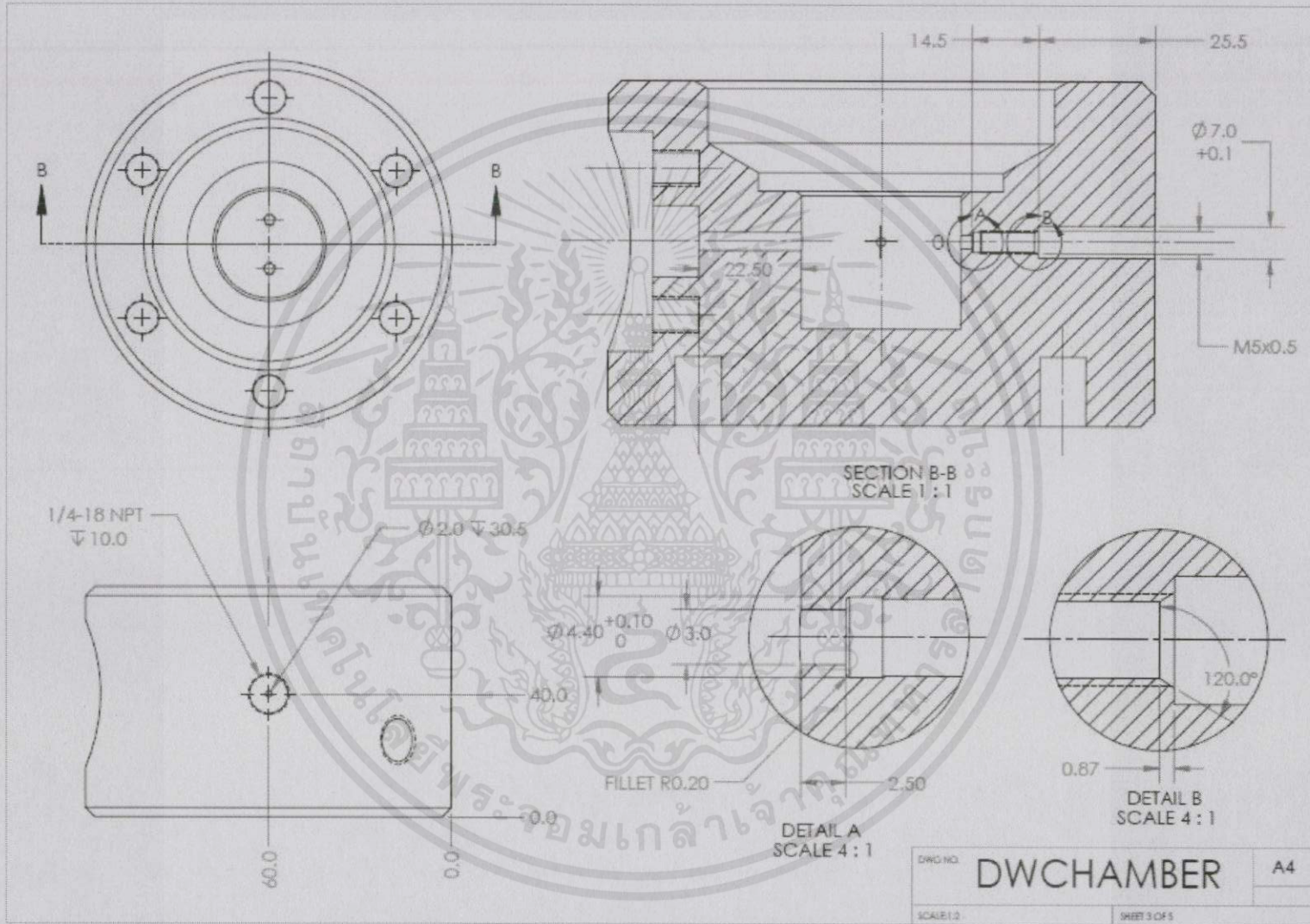
[17] Hydrostatic test, URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrostatic_test



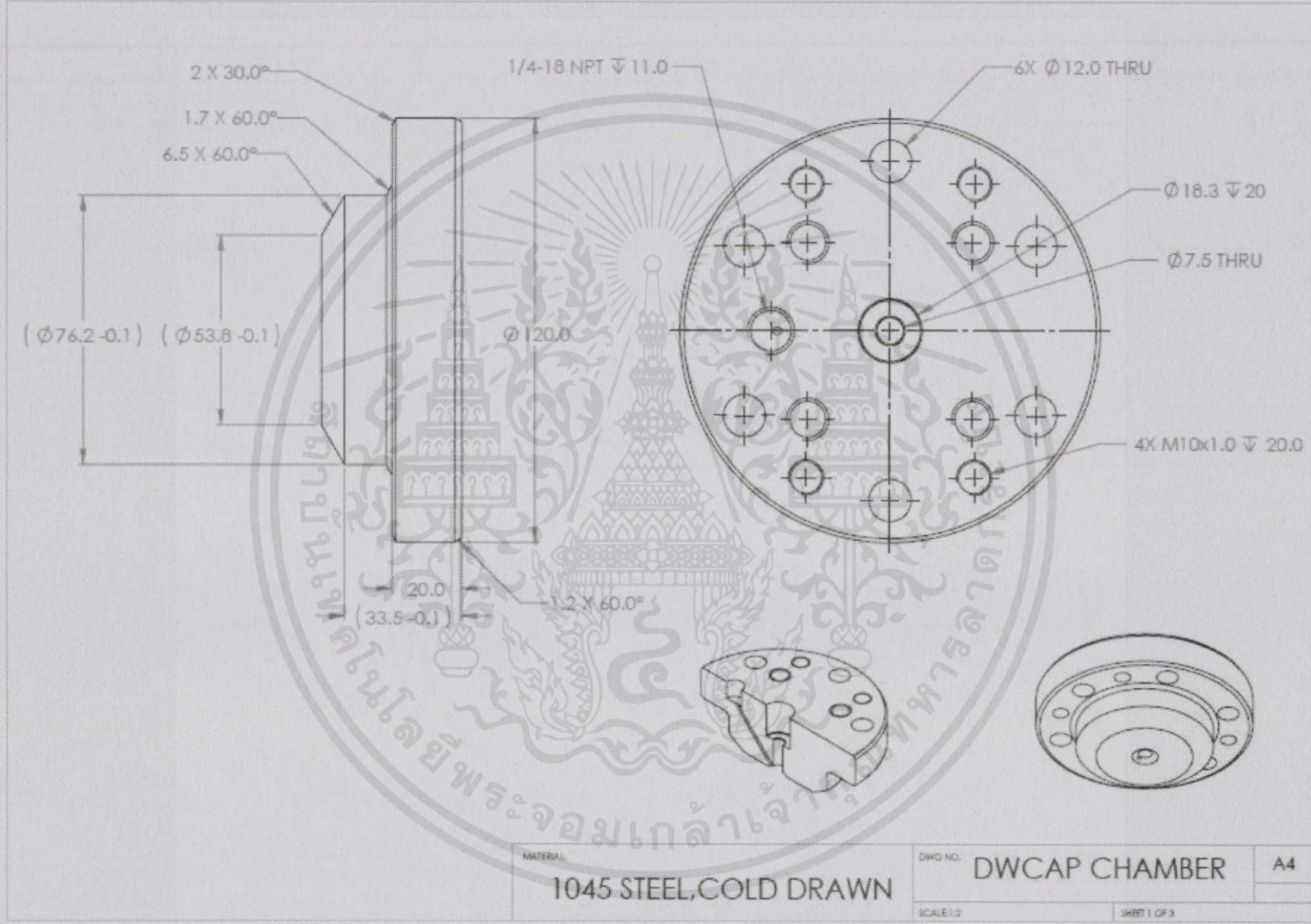
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

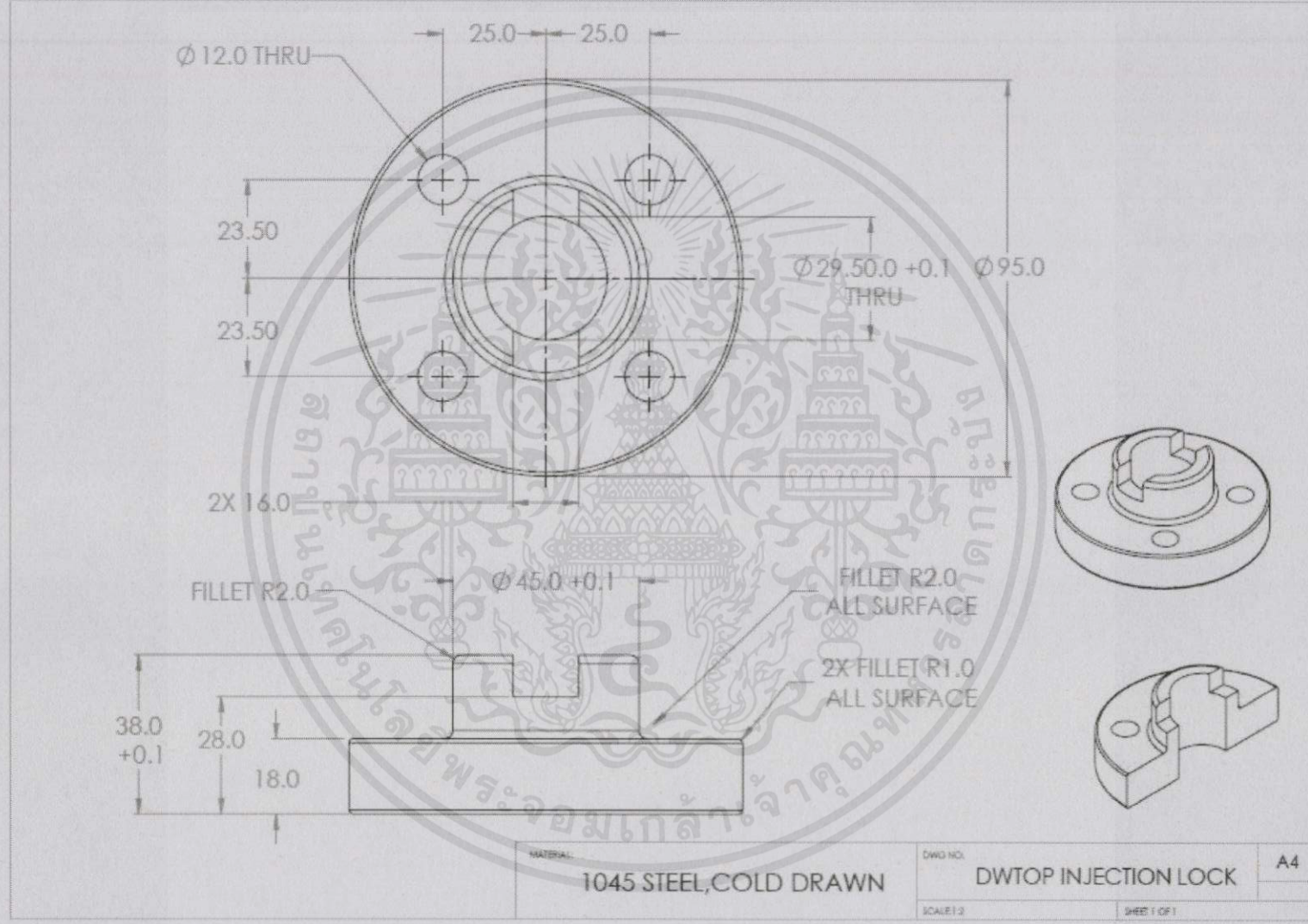


2. ฝาห้องจำลองปริมาตรคงที่ (Cap Chamber)

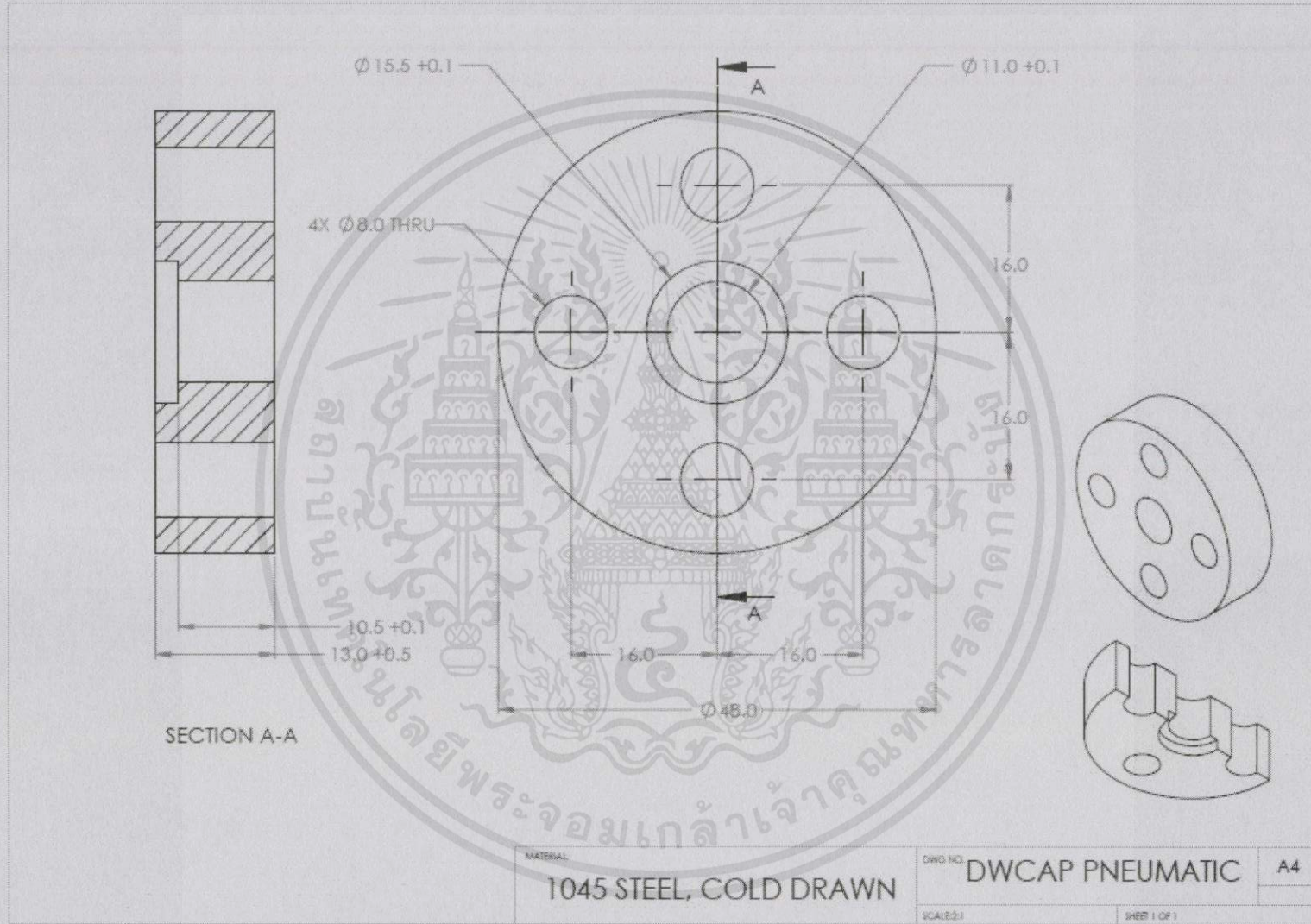


3. อุปกรณ์ที่ใช้รวมกับห้องจำลองปริมาตรคงที่

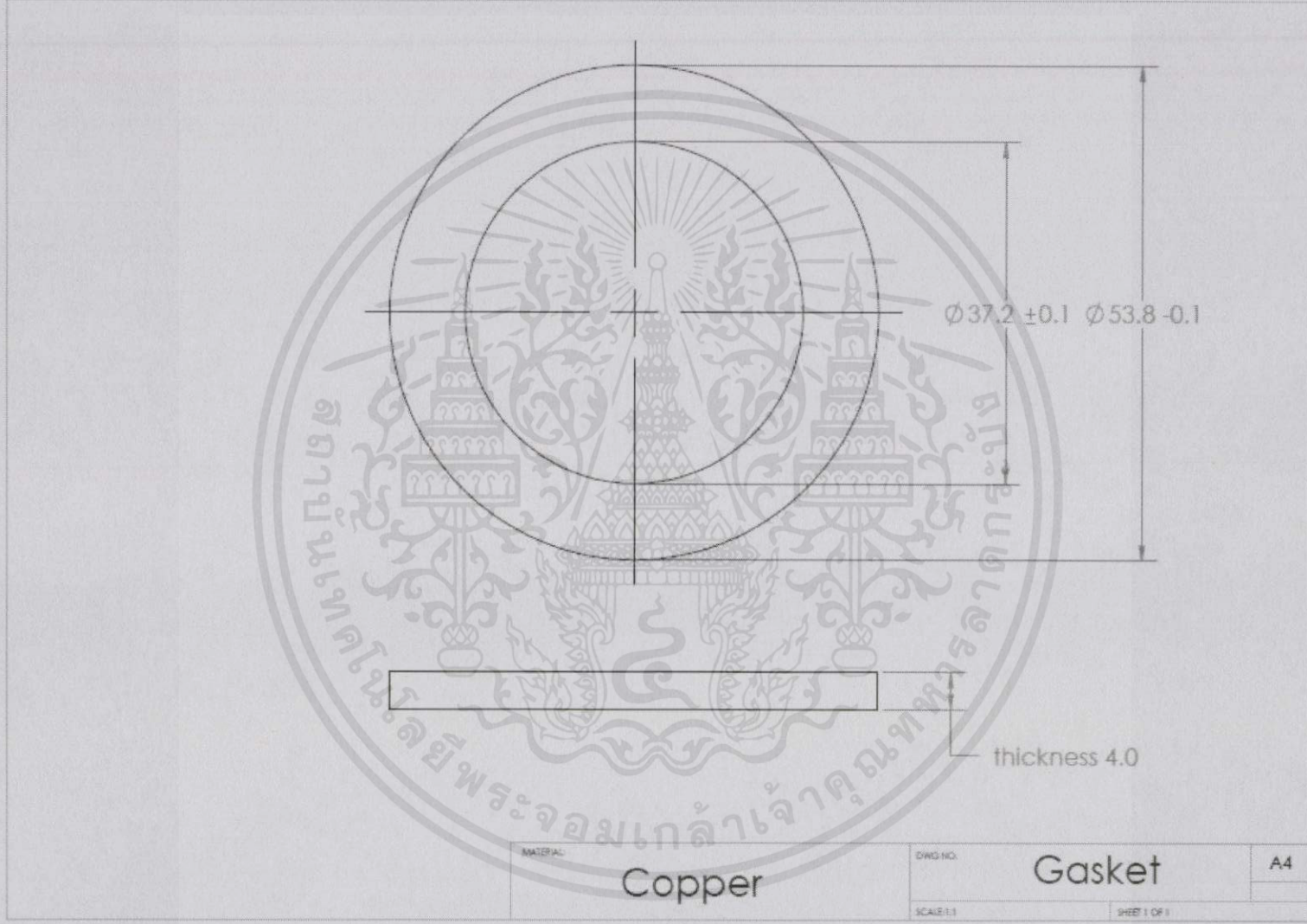
3.1 Top Injection Lock



3.2 Cap pneumatic



3.3 Copper Gasket



ทฤษฎีสำหรับการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงของโปรแกรม SolidWorks Simulation

Maximum von Mises Stress Criterion

The maximum von Mises stress criterion is based on the von Mises-Hencky theory, also known as the Shear-energy theory or the Maximum distortion energy theory.

In terms of the principal stresses σ_1 , σ_2 , σ_3 , the von Mises stress is expressed as:

$$\sigma_{\text{vonMises}} = \{[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2] / 2\}^{1/2}$$

The theory states that a ductile material starts to yield at a location when the von Mises stress becomes equal to the stress limit. In most cases, the yield strength is used as the stress limit. However, the software allows you to use the ultimate tensile or set your own stress limit.

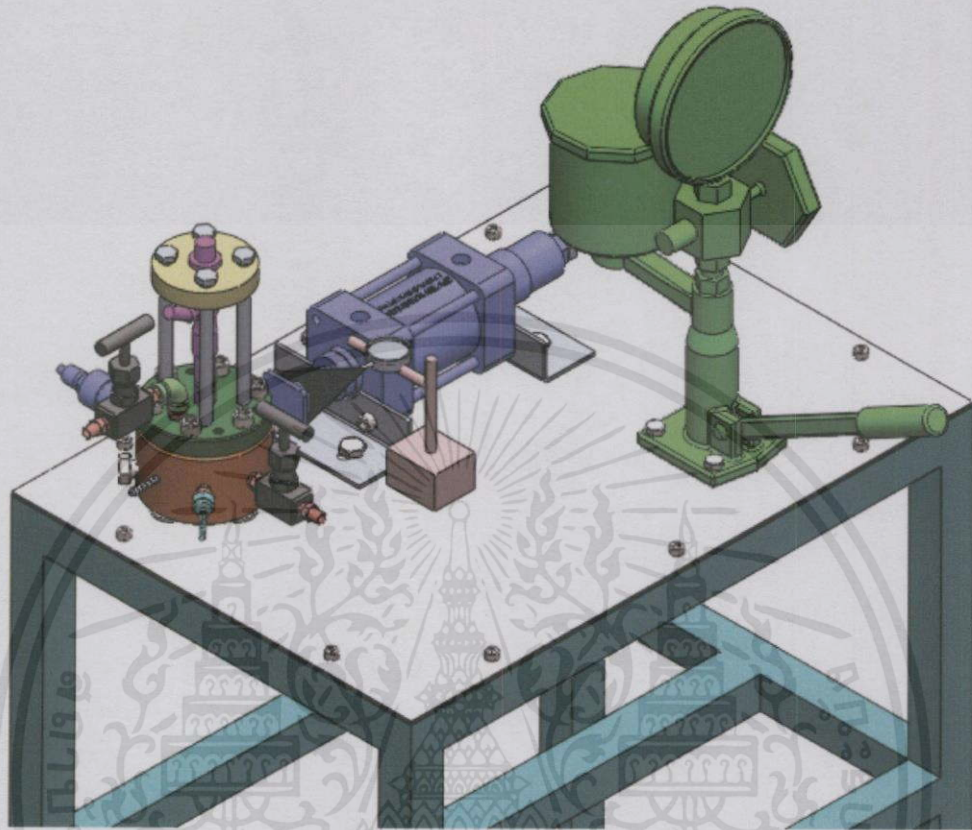
$$\sigma_{\text{vonMises}} \geq \sigma_{\text{limit}}$$

Yield strength is a temperature-dependent property. This specified value of the yield strength should consider the temperature of the component. The factor of safety at a location is calculated from:

$$\text{Factor of Safety (FOS)} = \sigma_{\text{limit}} / \sigma_{\text{vonMises}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้"

ภาพประกอบของชุดการทดลองการวัดปริมาณการฉีดยาแบบ Zeuch



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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 (34.5 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 [137 MPa] [137 Bar] to 20,000 psi [27.5 MPa] [27.5 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 TEB.

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. (914 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. (MIL 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.

EMI Protection: To the European standards of BS EN 50082-2:1991 in accordance with IEC 801 parts 1 to 6 for susceptibility to EMC and to BS EN 50081-1992 for emissions.

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

Sealed: Sealed at 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/cUL 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/cUL Class I, Div. 2, Groups A, B, C, D, Class II Groups E, F, G; non-reciprocative per drawing 05-08-0754.

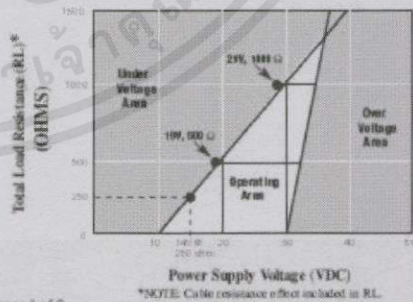
Ranges Available

Pressure Range:	Specify	For this range
30V20WC	-30" H ₂ O to +30" H ₂ O (-7.6 cm H ₂ O to +7.6 cm H ₂ O)	(±0.075 Bar)
30V20	-30" H ₂ O to +30" H ₂ O (-7.6 cm H ₂ O to 7.6 cm H ₂ O)	(±0.7 Bar)
30V100	-30" Hg to +100" Hg (-7.6 cm Hg to 6.89 cm Hg)	(6.89 Bar)
15	0-15 psi (101.4 kPa)	(1.03 Bar)
60	0-60 psi (413.7 kPa)	(4.13 Bar)
100	0-100 psi (689 kPa)	(6.89 Bar)
200	0-200 psi (1.38 MPa)	(13.28 Bar)
300	0-300 psi (2.07 MPa)	(20.67 Bar)
400	0-400 psi (2.75 MPa)	(27.56 Bar)
600	0-600 psi (4.14 MPa)	(41.24 Bar)
1000	0-1,000 psi (6.89 MPa)	(68.9 Bar)
2000	0-2,000 psi (13.79 MPa)	(137.8 Bar)
3000	0-3,000 psi (20.69 MPa)	(206.7 Bar)
5000	0-5,000 psi (34.48 MPa)	(344.5 Bar)
6000	0-6,000 psi (41.37 MPa)	(413.4 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

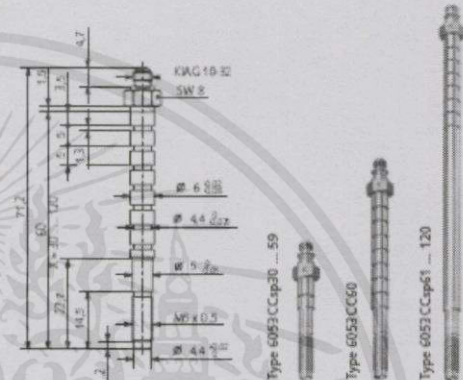
The shape of the probe allows mounting with a very small access bore. O-rings also permit mounting through coolant passages. The probe can be manufactured in custom lengths between 30 and 120 mm.

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	$\mu\text{C}/\text{bar}$	≈ 20
Natural frequency, nominal	kHz	≈ 160
Linearity in all ranges (at 23°C)	%/FSO	≤ 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-02.08

Page 1/4

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.

©2008, Kistler Group, Eulachstr. 22, 8408 Winterthur, Switzerland
Tel: +41 52 224 1111, Fax: +41 52 224 1414, info@kistler.com, www.kistler.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Miniature Measuring Probe -- for Non-Cooled Cylinder Pressure Measurement, M5 Thread, Type 6053CC...

KISTLER
measure. analyze. innovate.

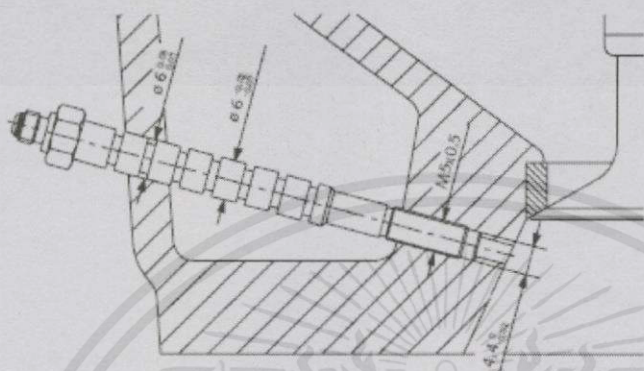


Fig. 1: Mounting through water passage

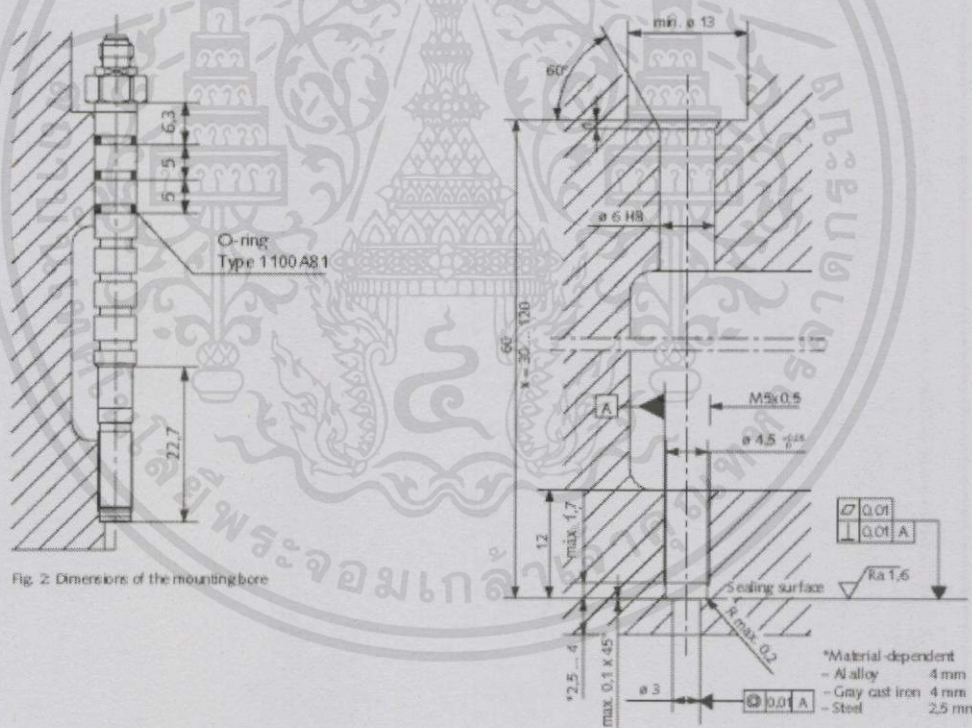


Fig. 2: Dimensions of the mounting bore

Fig. 3: Bore for sensor

6053CC_000-571e-02.08

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.

©2008, Kistler Group, Eulachstr. 22, 8406 Winterthur, Switzerland
Tel +41 52 224 1111, Fax +41 52 224 1414, info@kistler.com, www.kistler.com

Page 3/4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

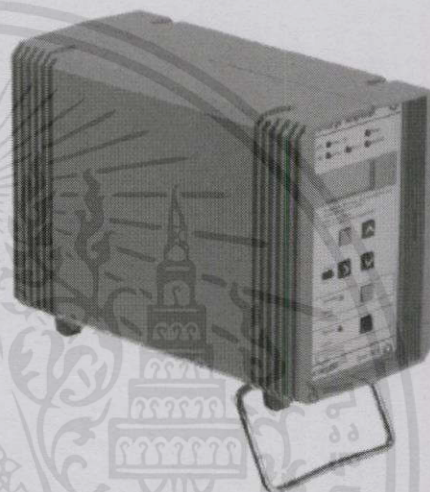
A built-in IEEE-488 parallel interface or a serial RS-232C interface is available as an option. This enables all set values to be entered or queried. Transmission of data measured is not possible.

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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Charge Amplifier – Single-channel multi-range laboratory charge amplifier, Type 5011B...

KISTLER

measure. analyze. innovate.

Technical Data

Basic unit		
Measuring range for 10 V FS	pC	±10 ... ±999 000
Sensor sensitivity [1]	pC/M.U.	±0.01 ... ±9 990
(M.U. = Mechanical units)		
Scale [5]	M.U./V	0.001 ... 9 990 000
Output voltage	V	±10
Output current	mA	±5
(short-circuit protected)		
Output impedance	Ω	10
Frequency range (-3 dB, Filter "OFF")	kHz	≈0 ... 2.00
Low-pass filter	kHz (%)	0.01 ... 30 (±10)
upper cutoff frequency -3dB Butterworth, 2 pin 8 stages (1, 3, 10 ...)		
Time constant [TC] (high pass filter)		
Long	s	>1 000 ... 100 000
Medium (T = R _e C _e)	s	1 ... 10 000
Short (T = R _i C _i)	s	0.01 ... 1.00
Error		
<±100 pC FS (max./typ.)	%	<±3/<±2
≥±100 pC FS (max./typ.)	%	<±1/<±0.5
Linearity	% FS	<±0.05
Noise	mV _{eff}	<0.5 (<1.5)
9.99 pC/V (1 pC/V)	mV _{eff}	<4 (<8)
Loss due to cable capacitance	pC _{loss} /pF	<±10*
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	-	Connector 6 pin
(Operate, Overload, ...)	-	DIN 45322
Power plug	-	IEC 320-C 14
Conformity to EC Directive		
Safety	-	EN 610 10-1
EMC Interference Emission	-	EN 50081-1/EN 50081-2
EMC Interference Immunity	-	EN 50082-1/EN 50082-2
Power, switchable	VAC (%)	230/115 (-22/+15)
(Protection class I)	Hz (VA)	48 ... 62 (20)
Voltage between protection and measuring ground	V _{max}	<50
Dimensions		
with desktop case Type 5747A 1	mm	94x141x195
for rack mounting	mm	71, 12x128,7x169
Front panel according to	HE (mm)	3 (128,7)
DIN 41494 (Part 5)	TE (mm)	14 (71,12)
Weight	kg	≈2
(incl. IEEE-488 or RS-232C)		

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 _e C _e)	s	0.01 ... 100
Driftcompensation; at [TC] setting 'Drco'		
Range for ±10 V 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

5011B_000-296e-12_05

Page 2/6

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.

©2005, Kistler Instrumente AG, PO Box, Eulachstr. 22, CH-8408 Winterthur
Tel +41 52 224 11 11, Fax +41 52 224 14 14, info@kistler.com, www.kistler.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล Specification ของ Pneumatic cylinder

Non-rotating Rod Series MBK



JIS Symbol
Double acting



Made to Order
(Refer to page 38 for made to order products of service MBK)

Symbol	Specifications/Descriptions
—XA—	Change of rod end shape
—XC3	Special port position
—XC6	Piston rod and rod end nut made of stainless steel
—XC7	The rod, cushion valve, tie rod nut, etc. made of stainless steel
—XC8	Adjustable stroke cylinder/Adjustable extend stroke
—XC9	Adjustable stroke cylinder/Adjustable retract stroke
—XC10	Dual stroke cylinder/Double rod
—XC14	Change of trunnion bracket mounting position
—XC27	Double clevis pin and double knuckle pin made of stainless steel
—XC29	Double knuckle joint with spring pin
—XC30	Front trunnion

Standard Stroke

Bore size (mm)	Standard stroke (mm)
32	25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500
40	25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500
50	25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600
63	25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600
80	25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800
100	25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800

Intermediate strokes are available.
(No spacer is used)

Specifications

Bore size (mm)	32	40	50	63	80	100
Action	Double acting single rod					
Fluid	Air					
Proof pressure	1.5MPa					
Max. operating pressure	1.0MPa					
Min. operating pressure	0.05MPa					
Ambient and fluid temperature	Without auto switch: -10 to 70°C (No freezing) With auto switch: -10 to 60°C (No freezing)					
Lubrication	Not required (Non-lube)					
Operating piston speed	50 to 1000mm/s					
Allowable stroke tolerance	up to 250: $^{+1.0}_0$, 251 to 1000: $^{+1.4}_0$, 1001 to 1500: $^{+1.8}_0$					
Cushion (1)	Both ends (Air cushion)					
Thread tolerance	JIS class 2					
Port size (1/4, NPT, G)	Rc(PT)1/8	Rc(PT)1/4	Rc(PT)1/4	Rc(PT)3/8	Rc(PT)3/8	Rc(PT)1/2
Mounting	Basic, Foot, Front flange, Rear flange, Single clevis, Double clevis, Center trunnion					
Non-rotating accuracy	e32, ø40	±0.5°				
	ø50, ø63	±0.5°				
	ø80, ø100	±0.3°				
Allowable rotating torque Nm max.	ø32	0.25	ø80	0.79		
	ø40	0.45	ø100	0.93		
	ø50, ø63	0.64				

Note 1) Absorbable kinetic energy by cushion mechanism is identical to double acting single rod.
When requesting a cylinder without air cushion, cylinder utilizes rubber bumpers which increases cylinders overall length.

Accessories

Mounting		Basic	Foot	Front flange	Rear flange	Single clevis	Double clevis	Center trunnion
Standard	Rod end out	●	●	●	●	●	●	●
	Clevis pin	—	—	—	—	—	—	—
Option	Single knuckle joint	●	●	●	●	●	●	●
	Double knuckle joint (with pin)	●	●	●	●	●	●	●
	Rod boot	●	●	●	●	●	●	●

Weight/Aluminum Tube

Bore size (mm)		32	40	50	63	80	100
Basic weight	Basic	0.50	0.66	1.21	1.51	2.58	3.73
	Foot	0.62	0.83	1.41	1.75	3.23	4.36
	Flange	0.79	1.03	1.64	2.30	4.03	7.04
	Single clevis	0.75	0.89	1.55	2.14	3.69	6.90
	Double clevis	0.76	0.93	1.64	2.30	3.96	7.42
	Trunnion	0.79	1.02	1.69	2.31	4.13	7.40
Additional weight per 50 stroke	All mounting bracket	0.11	0.15	0.26	0.27	0.40	0.52
	Accessories	Single knuckle	0.15	0.23	0.26	0.26	0.60
	Double knuckle (with pin)	0.22	0.37	0.43	0.43	0.87	1.27
Square tube	Additional weight to the basic weight	0.03	0.03	0.05	0.07	0.11	0.13
	Additional weight per 50 stroke	0.16	0.21	0.33	0.37	0.56	0.72

Calculation example: MBK32-100 (Basic, ø32, 100st)

- Basic weight ----- 0.50 (Basic ø32)
- Additional weight --- 0.11/50 stroke
- Cylinder stroke ----- 100 stroke

$0.50 + 0.11 \times 100/50 = 0.72\text{kg}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Injector Pop Tester with 0-600 Bar / PSI Gauge

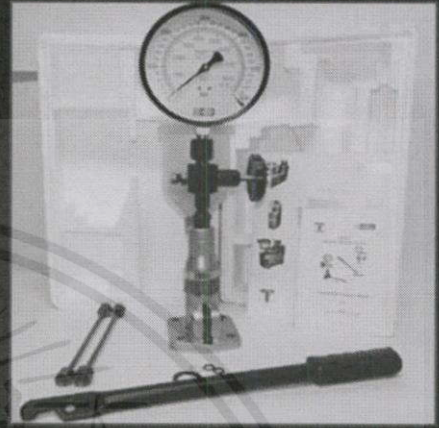
Model: NTD 600

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.

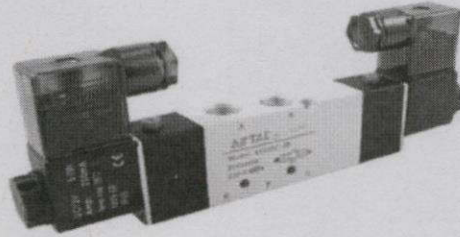


[Send Enquiry](#)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล Specification ของ Solenoid Valve 5-Way 3-Position

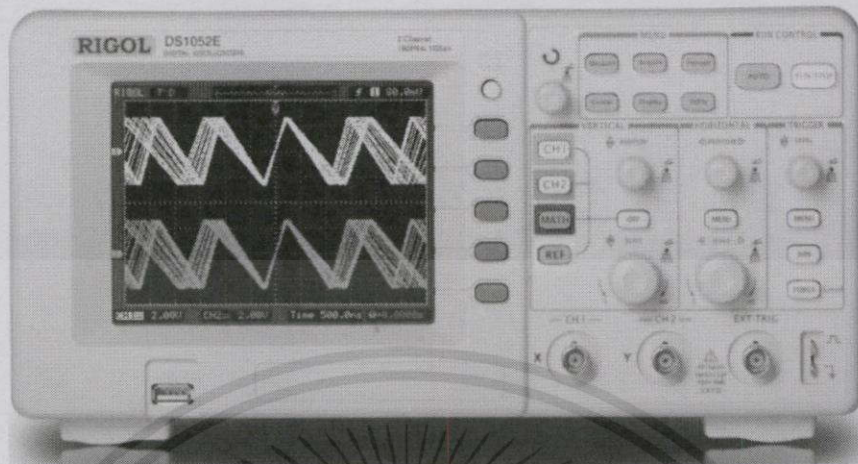


รายละเอียดโซลินอยด์วาล์ว:

- Product Name: Pneumatic Solenoid Valve
- Model: 4V230C-08
- Working Medium: 40 Micron Filtered Air
- Motion Pattern: Inner Guide Type
- Type: 3 Position 5 Way
- Material: Resin, Plastic
- Working Voltage/Current/Power: DC12V, 120mA, 3.0W
- Temperature: Rise 35°C
- Operating Pressure: 1.5 ~ 8kgf/cm²
- Effective Area: 12mm²
- Port Connection: Air Inlet = Air Outlet = PT 1/4, Exhaust = PT 1/8
- Air Inlet Diameter: 1.15cm/ 0.45"
- Air Exhaust Diameter: 0.85cm/0.335"
- Black Pull Into Diameter: 1.1cm/ 0.43"
- Wiring Form: Direct Lead Wire or Connector
- Total Size (Approx.): 19 x 6.5 x 2.2cm / 7.5" x 2.6" x 0.9" (L * W * T)
- Color: White, Black
- Weight: 321g
- Package Content: 1 x Pneumatic Solenoid Valve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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	+, -, ×, FFT			
Max Input Voltage	All inputs 1MΩ/15pF 300 V RMS CATI			
Cursor Measurements	Manual, Track and Auto Measure modes			

DS1000D/E Specs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลบางส่วนของมาตรฐานการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง

1. ความหนาแน่น (Density)



Designation: D4052 – 11

Standard Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Liquids by Digital Density Meter¹

This standard is issued under the fixed designation D4052; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This test method covers the determination of the density, relative density, and API Gravity of petroleum distillates and viscous oils that can be handled in a normal fashion as liquids at the temperature of test, utilizing either manual or automated sample injection equipment. Its application is restricted to liquids with total vapor pressures (see Test Method D5191) typically below 100 kPa and viscosities (see Test Method D445 or D7042) typically below about 15 000 mm²/s at the temperature of test. The total vapor pressure limitation however can be extended to >100 kPa provided that it is first ascertained that no bubbles form in the U-shaped, oscillating tube, which can affect the density determination. Some examples of products that may be tested by this procedure include: gasoline and gasoline-oxygenate blends, diesel, jet, basestocks, waxes, and lubricating oils.

1.1.1 Waxes and highly viscous samples were not included in the 1999 interlaboratory study (ILS) sample set that was used to determine the current precision statements of the method, since all samples evaluated at the time were analyzed at a test temperature of 15°C. Wax and highly viscous samples require a temperature cell operated at elevated temperatures necessary to ensure a liquid test specimen is introduced for analysis. Consult instrument manufacturer instructions for appropriate guidance and precautions when attempting to analyze wax or highly viscous samples. Refer to the Precision and Bias section of the method and Note 8 for more detailed information about the 1999 ILS that was conducted.

1.2 In cases of dispute, the referee method is the one where samples are introduced manually as in 6.3 or 6.4, as appropriate for sample type.

1.3 This test method should not be applied to samples so dark in color that the absence of air bubbles in the sample cell

cannot be established with certainty. For the determination of density in crude oil samples use Test Method D5002.

1.4 The values stated in SI units are regarded as the standard, unless stated otherwise, such as the "torr" units of pressure in Eq 1. The accepted units of measure for density are grams per millilitre (g/mL) or kilograms per cubic metre (kg/m³).

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. For specific warning statements, see 7.4, 7.5, and 10.3.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- D287 Test Method for API Gravity of Crude Petroleum and Petroleum Products (Hydrometer Method)
- D445 Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity)
- D1193 Specification for Reagent Water
- D1250 Guide for Use of the Petroleum Measurement Tables
- D1298 Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method
- D4057 Practice for Manual Sampling of Petroleum and Petroleum Products
- D4177 Practice for Automatic Sampling of Petroleum and Petroleum Products
- D4377 Test Method for Water in Crude Oils by Potentiometric Karl Fischer Titration
- D5002 Test Method for Density and Relative Density of Crude Oils by Digital Density Analyzer
- D5191 Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products (Mini Method)

¹This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D02 on Petroleum Products and Lubricants and is the direct responsibility of Subcommittee D02.04.0D on Physical and Chemical Methods.

Current edition approved Oct. 15, 2011. Published December 2011. Originally approved in 1981. Last previous edition approved in 2009 as D4052-09. DOI: 10.1520/D4052-11.

²For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2099, United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved), Fri Sep 6 00:57:54 EDT 2013

1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความหนืด



Designation: D445 - 12

British Standard 2000: Part 71:1990



Designation: 71/1/97

Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity)¹

This standard is issued under the fixed designation D445; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This test method specifies a procedure for the determination of the kinematic viscosity, ν , of liquid petroleum products, both transparent and opaque, by measuring the time for a volume of liquid to flow under gravity through a calibrated glass capillary viscometer. The dynamic viscosity, η , can be obtained by multiplying the kinematic viscosity, ν , by the density, ρ , of the liquid.

Note 1—For the measurement of the kinematic viscosity and viscosity of bitumens, see also Test Methods D2170 and D2171.

Note 2—ISO 3104 corresponds to Test Method D445.

1.2 The result obtained from this test method is dependent upon the behavior of the sample and is intended for application to liquids for which primarily the shear stress and shear rates are proportional (Newtonian flow behavior). If, however, the viscosity varies significantly with the rate of shear, different results may be obtained from viscometers of different capillary diameters. The procedure and precision values for residual fuel oils, which under some conditions exhibit non-Newtonian behavior, have been included.

1.3 The range of kinematic viscosities covered by this test method is from 0.2 to 300 000 mm²/s (see Table A1.1) at all temperatures (see 6.3 and 6.4). The precision has only been determined for those materials, kinematic viscosity ranges and temperatures as shown in the footnotes to the precision section.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as standard. The SI unit used in this test method for kinematic viscosity is mm²/s, and the SI unit used in this test method for dynamic viscosity is mPa·s. For user reference, 1 mm²/s = 10⁻⁶ m²/s = 1 cSt and 1 mPa·s = 1 cP = 0.001 Pa·s.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D02 on Petroleum Products and Lubricants and is the direct responsibility of Subcommittee D02.07 on Flow Properties.

Current edition approved April 15, 2012. Published May 2012. Originally approved in 1937. Last previous edition approved in 2011 as D445-11a. DOI: 10.1520/D0445-12.

In the IP, this test method is under the jurisdiction of the Standardization Committee.

1.5 **WARNING**—Mercury has been designated by many regulatory agencies as a hazardous material that can cause central nervous system, kidney and liver damage. Mercury, or its vapor, may be hazardous to health and corrosive to materials. Caution should be taken when handling mercury and mercury containing products. See the applicable product Material Safety Data Sheet (MSDS) for details and EPA's website—<http://www.epa.gov/mercury/faq.htm>—for additional information. Users should be aware that selling mercury and/or mercury containing products into your state or country may be prohibited by law.

1.6 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- D446 Specifications and Operating Instructions for Glass Capillary Kinematic Viscometers
- D1193 Specification for Reagent Water
- D1217 Test Method for Density and Relative Density (Specific Gravity) of Liquids by Bingham Pycnometer
- D1480 Test Method for Density and Relative Density (Specific Gravity) of Viscous Materials by Bingham Pycnometer
- D1481 Test Method for Density and Relative Density (Specific Gravity) of Viscous Materials by Lipkin Bicapillary Pycnometer
- D2162 Practice for Basic Calibration of Master Viscometers and Viscosity Oil Standards
- D2170 Test Method for Kinematic Viscosity of Asphalts (Bitumens)

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2959, United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Fri Sep 6 01:04:05 EDT 2013

1

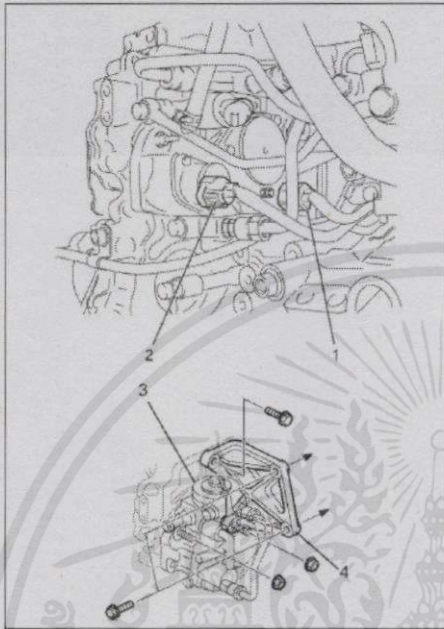
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ 4JJ1-TC



4JJ1-TC Engine-38

FUEL SUPPLY PUMP



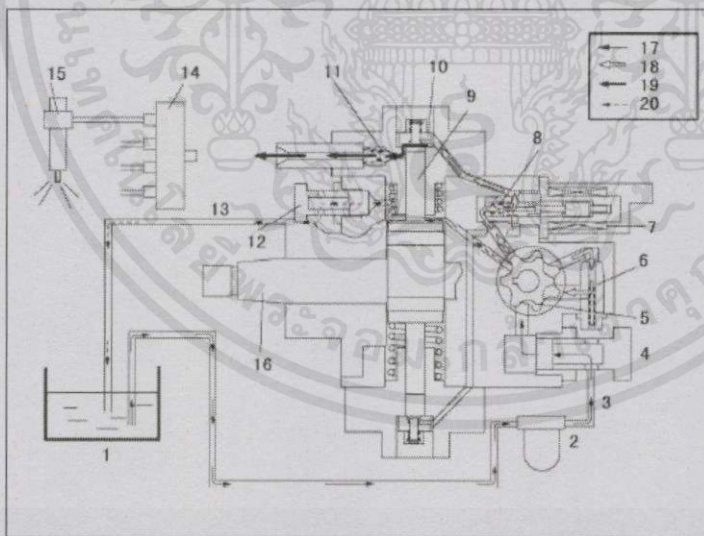
FSP merupakan jantung dari tipe penginjeksian bahan bakar elektronik sistem common rail, injection pump tidak dipakai lagi dan supply pump type plunger dibuat untuk men-supply bahan bakar bertekanan tinggi ke fuel rail. Supply pump dipasangkan pada posisi yang sama seperti injection pump konvensional, 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 supply 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.



4JJ1-TC Engine-39



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.

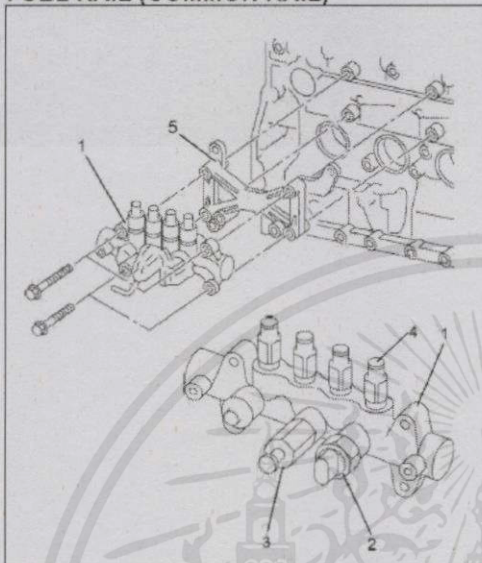
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องแจ้งการนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า

ข้อมูลรางน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ 4JJ1-TC

ISUZU

4JJ1-TC Engine-45

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

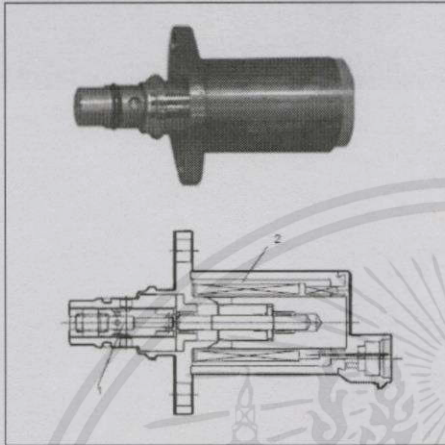
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ISUZU

4JJ1-TC Engine-42

Operation of Suction Control Valve (SCV)



Solenoid 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. 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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้