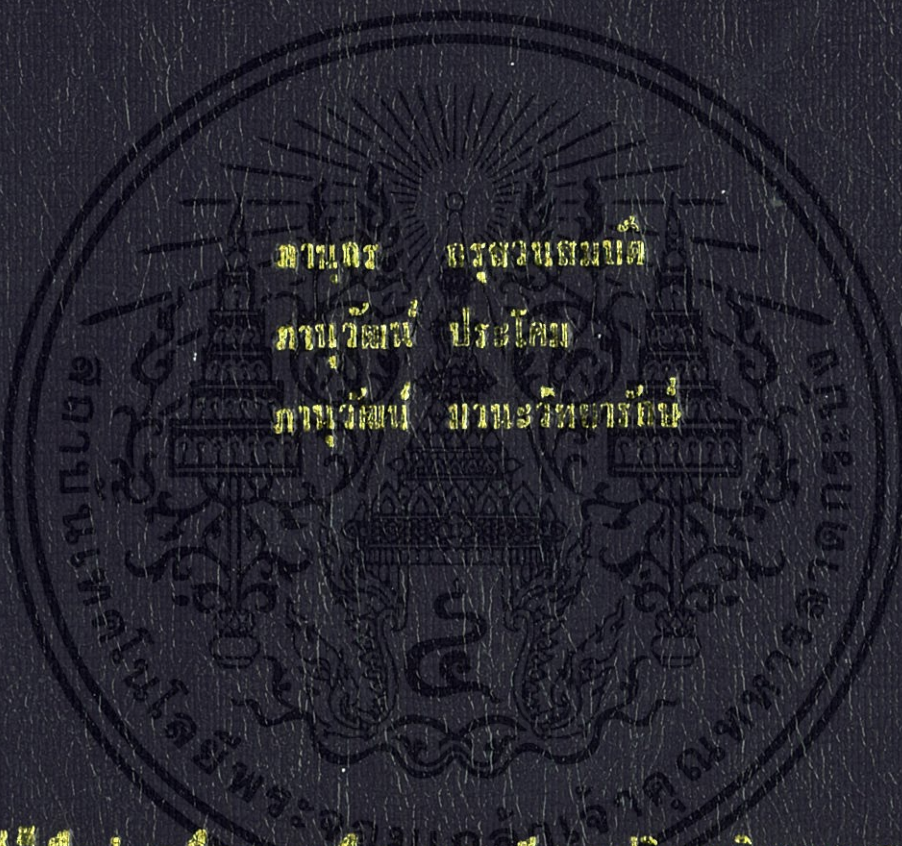


การศึกษาดัชนีประสิทธิผลของน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้กล้องความเร็วสูง

BIODIESEL SPRAY CHARACTERIZATION
BY USING HIGH SPEED CAMERA AND IMAGE PROCESSING



ปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

อรรถวิไลภรณ์ ศาสตร์

สาขาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

ปีการศึกษา 255 ๘

การศึกษาลักษณะของละอองน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้กล้องความเร็วสูง

BIODIESEL SPRAY CHARACTERIZATION
BY USING HIGH SPEED CAMERA AND IMAGE PROCESSING



นาย ภาณุกร กรุสวนสมบัติ
นาย ภาณุวัฒน์ ประโคม
นาย ภาณุวัฒน์ มานะวิทยารักษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BIODIESEL SPRAY CHARACTERIZATION
BY USING HIGH SPEED CAMERA AND IMAGE PROCESSING



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาลักษณะของละอองน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้กล้องความเร็วสูง

Biodiesel Spray Characterization by Using High Speed Camera and Image Processing

ผู้จัดทำ

1. นาย ภาณุกร กรุสวนสมบัติ รหัสประจำตัว 53011242
2. นาย ภาณุวัฒน์ ประโคม รหัสประจำตัว 53011252
3. นาย ภาณุวัฒน์ มานะวิทยารักษ์ รหัสประจำตัว 53011253



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.พงษ์ศักดิ์ คำมูล)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาลักษณะของละอองน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้กล้องความเร็วสูง

นายภาณุกร กรุสวนสมบัติ53011242
นายภาณุวัฒน์ ประโคม53011252
นายภาณุวัฒน์ มานะวิทยารักษ์ 53011253
ผศ.พงษ์ศักดิ์ คำมูล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาของคุณลักษณะของละอองเชื้อเพลิงดีเซลไบโอดีเซลและดีเซลผสมร่วมกับระบบเชื้อเพลิงแบบรางร่วม (Commonrail) ในห้องควบคุมความดันสูงที่มีลักษณะการมองเห็นภายในแบบโปร่งใสสามารถมองเห็นลักษณะของละอองสเปรย์ภายในได้ เจ็อนังการทดลองได้มีปรับเปลี่ยนปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงโดยการปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงความดันในการฉีดเชื้อเพลิง ความดันภายในห้องเผาไหม้ และ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูหัวฉีดเพื่อศึกษาผลของคุณลักษณะของละอองสเปรย์เช่น ความยาว องศา และการกระจายตัวของละอองเชื้อเพลิงในห้องควบคุมความดันสูงที่ โดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพแบบซูร์เรนและบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง จากนั้นนำผลของภาพถ่ายที่ทำการบันทึกได้มาวิเคราะห์การประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม Matlab เพื่อศึกษาคุณลักษณะของละอองเชื้อเพลิงจากผลการทดลองพบว่าการเพิ่มสัดส่วนร้อยละของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความหนาแน่น ค่าแรงตึงผิว ค่าความหนืดจลน์ และค่ามอดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ผลของคุณลักษณะของสเปรย์พบว่าความยาวและองศาของสเปรย์ยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง ความดันภายในห้องเผาไหม้ และขนาดของรูหัวฉีดด้วยข้อมูลวิจัยนี้เป็นข้อมูลขั้นพื้นฐานสามารถนำไปใช้แนวทางในการประยุกต์ต่อการพัฒนาเครื่องยนต์ดีเซลในการใช้ไบโอดีเซลเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซลให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นต่อไป

คำหลัก: น้ำมันไบโอดีเซล, คุณลักษณะของละอองเชื้อเพลิง, กล้องถ่ายภาพความเร็วสูง, การประมวลผลภาพ

Biodiesel Spray Characterization by Using High Speed Camera and Image Processing

PANUKORN KRUSUANSOMBAT53011242

PANUWAT PRAKHOM53011252

PANUWAT MANAVITHAYARAK53011253

Assoc.Prof.Pongsak Kummul Advisor

Year 2556

Abstract

The study on spray characteristics of biodiesel and commercial diesel in terms of spray angle and spray penetration has been completed successfully. In this work a high pressure injector equipped with common rail system and a constant volume high pressure chamber has been chosen to fundamentally understand the effects of injection duration, injection pressure, injector diameter and ambient pressure on spray angle, diffusion of spray and penetration length. The high pressure chamber consists quartz material to make it visible and Schlieren technique has been used to capture spray inside the chamber. Furthermore we used MATLAB software for image processing. From the result we found that higher the percentage of biodiesel on commercial diesel will increase density, surface tension, bulk modulus and viscosity which plays vital role to determine spray characteristics of any fuel. However all parameter like injection pressure, injector diameter, ambient pressure equally effects on spray characteristics of Compression ignition (CI) engine fuel. The collected data and result from this thesis work will be useful for engine development in some extent.

Keywords: biodiesel fuels, spray penetration, high speed camera, image processing

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมาจาก ผศ.พงษ์ศักดิ์ คำมูล อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก ขอขอบคุณอาจารย์กรรมการที่ช่วยให้คำแนะนำ ชี้แจงข้อบกพร่องที่ควรแก้ไข ซึ่งทำให้ผลงานมีความสมบูรณ์มากขึ้น รวมถึงสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้สถานที่ในการทําโครงการนี้ และขอขอบคุณนายประธาน ศรีชัย และ Renewable Energy Laboratory National Metal and Materials Technology Center ตลอดจน บริษัท High-tech resource (Thailand) ที่ให้ความช่วยเหลือด้านการทําโครงการนี้

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักรยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่สม่ำเสมอในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ภานุกร กรุสวนสมบัติ
ภานุวัฒน์ ประโคม
ภานุวัฒน์ มานะวิทยารักษ์

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 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีหลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 คุณลักษณะของสเปรย์.....	3
2.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง.....	3
2.2.1 เชื้อเพลิงดีเซล.....	3
2.2.2 เชื้อเพลิงไบโอดีเซล.....	4
2.2.3 โมดูลัสของแรงบีบอัด.....	4
2.2.4 ความหนาแน่น.....	5
2.2.5 ความหนืด.....	5
2.2.6 แรงตึงผิว.....	6
2.3 เทคนิคการถ่ายภาพแบบซูริเรน.....	7
2.4 ระบบหัวฉีดแบบบางร่วม.....	7
2.5 วัฏจักรดีเซล.....	9
2.6 ห้องความดันสูง.....	10
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.7.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซล.....	11
2.7.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับลักษณะสเปรย์.....	11
บทที่ 3 การผสมน้ำมันเชื้อเพลิง.....	15
3.1 การผสมน้ำมันเชื้อเพลิง.....	15
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้บันทึกค่าคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	15
3.2.1 การทดลองหาค่าความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	15
3.2.2 การทดลองหาค่าแรงตึงผิวของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	16

สารบัญ (ต่อ)

3.2.3 การทดลองหาค่าความหนืดจลน์ของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	17
3.2.4 การทดลองหาค่ามอดูลัสการอัดตัวของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	18
3.3 อุปกรณ์การทดลองศึกษาคุณลักษณะสเปร์ย์ของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	19
3.3.1 ห้องความดันสูง.....	19
3.3.2 หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง.....	19
3.3.3 ระบบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบรวม.....	20
3.3.4 อุปกรณ์บันทึกภาพ.....	20
3.3.5 โปรแกรมควบคุม.....	23
3.4 ขั้นตอนของการศึกษา.....	26
3.4.1 เงื่อนไขการศึกษา.....	26
3.4.2 ขั้นตอนการศึกษา.....	27
3.4.3 แผนผังการทำงานของโปรแกรม Matlab.....	30
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	31
4.1 ผลการทดลองคุณสมบัติเชื้อเพลิง.....	31
4.1.1 ผลการทดลองหาค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิง.....	31
4.1.2 ผลการทดลองหาค่าแรงตึงผิวของเชื้อเพลิง.....	32
4.1.3 ผลการทดลองหาค่าความหนืดจลน์ของเชื้อเพลิง.....	32
4.1.4 ผลการทดลองหาค่ามอดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิง.....	33
4.2 ผลของการศึกษาคุณลักษณะของสเปร์ย์.....	34
4.2.1 ผลของการทดสอบที่ระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงต่างกัน.....	34
4.2.2 ผลของการทดสอบที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิงต่างกัน.....	37
4.2.3 ผลของการทดสอบที่ความดันภายในห้องความดันสูงต่างกัน.....	40
4.2.4 ผลของการทดสอบที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีดต่างกัน.....	43
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	46
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	46
5.1.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิง.....	46
5.1.2 ผลการศึกษาคุณลักษณะของสเปร์ย์.....	46
5.1.2.1 ผลกระทบของร้อยละของไบโอดีเซลในเชื้อเพลิง.....	46
5.1.2.2 ผลกระทบระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง.....	46
5.1.2.3 ผลกระทบของความดันในการฉีดเชื้อเพลิง.....	46
5.1.2.4 ผลกระทบของความดันภายในห้องเผาไหม้.....	47
5.1.2.5 ผลกระทบของขนาดรูของหัวฉีด.....	47
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	47

สารบัญ (ต่อ)

เอกสารอ้างอิง.....	48
ภาคผนวก.....	49



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 เงื่อนไขในการศึกษา.....	26



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างสเปร์ย์เชื้อเพลิงดีเซล.....	3
2.2 โมดูลัสของแรงบีบอัด.....	4
2.3 การวัดค่าความหนาแน่นโดยใช้วิธี Wilhelmy plate.....	6
2.4 เทคนิคซูรีเรน.....	7
2.5 ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม.....	8
2.6 การทำงานของหัวฉีดโซลินอยด์.....	9
2.7 วัฏจักรดีเซล.....	10
2.8 ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่.....	10
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปร์ย์กับเวลา.....	13
2.10 แสดงค่าบัลก์โมดูลัสของเชื้อเพลิง.....	13
2.11 โครงสร้างสเปร์ย์ของของเหลวอัดตัวได้และของเหลวอัดตัวไม่ได้.....	14
3.1 การผสมเชื้อเพลิง.....	15
3.2 เครื่องวัดความหนาแน่นแบบดิจิตอลยี่ห้อ Anton Paar รุ่น DMA 4500.....	16
3.3 หน้าจอแสดงผลของเครื่องวัดความหนาแน่นแบบดิจิตอล.....	16
3.4 เครื่องวัดแรงตึงผิวยี่ห้อ KYOWA รุ่น DyneMaster DY-300.....	17
3.5 เครื่องวัดความหนืดจลน์ยี่ห้อ CANNON รุ่น Mini av viscosity meter.....	17
3.6 ผังระบบชุดทดลองหาค่าโมดูลัสการอัดตัวของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	18
3.7 หน้าจอแสดงผลจากเครื่องบันทึกข้อมูล Dewetron 5000.....	18
3.8 ห้องความดันสูง (CVCC).....	19
3.9 หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง.....	19
3.10 ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม.....	20
3.11 แผนผังระบบบันทึกภาพแบบซูรีเรน.....	21
3.12 ระบบถ่ายภาพแบบซูรีเรน.....	21
3.13 กล้องถ่ายภาพความเร็วสูงยี่ห้อ Photron รุ่น Fastcam SA7 Model30K-M2.....	22
3.14 เลนส์ยี่ห้อ NIKKOR รุ่น 50 mm f1.4.....	22
3.15 ตัวเพิ่มความยาวโฟกัสยี่ห้อ KENKO teleconverter รุ่น teleplus 1.4.....	23
3.16 โปรแกรมควบคุมความดันราง.....	23
3.17 โปรแกรมควบคุมการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง.....	24
3.18 ชุดอุปกรณ์ควบคุมการฉีดเชื้อเพลิง.....	24
3.19 ชุดอุปกรณ์บันทึกภาพและห้องความดันสูง.....	25
3.20 แผนผังการทดลองโดยรวมของภาควิชาลักษณะของสเปร์ย์เชื้อเพลิง.....	25
3.21 ลักษณะสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมการทดลอง.....	27
3.22 สัญญาณจริงที่วัดด้วยเครื่อง Oscilloscope.....	27
3.23 ตัวอย่างภาพสเปร์ย์ที่บันทึกได้.....	28
3.24 ภาพสเปร์ย์ที่ถูกลดขนาดเหลือ 200x500 พิกเซล ด้วยโปรแกรม PFV.....	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.25 หน้าต่างการทำงานของโปรแกรม Matlab.....	29
4.1 กราฟแสดงความหนาแน่นของเชื้อเพลิง ทดสอบโดยใช้มาตรฐาน ASTM D4052.....	31
4.2 กราฟแรงตึงผิวของเชื้อเพลิง ทดสอบโดยใช้มาตรฐาน ASTM D1331.....	32
4.3 กราฟแสดงค่าความหนืดจลน์ของเชื้อเพลิงชนิดต่าง ทดสอบโดยใช้มาตรฐาน ASTM D 445....	32
4.4 กราฟแสดงค่ามอดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ.....	33
4.5 ภาพถ่ายของสเปรย์เมื่อเปลี่ยนค่าระยะเวลาในการฉีด.....	34
4.6 กราฟความยาวสเปรย์ที่ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร.....	35
4.7 กราฟความเร็ว ณ จุดที่ปลายของสเปรย์ที่ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดัน ภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร.....	35
4.8 กราฟฟองศาสเปรย์ที่ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร.....	36
4.9 กราฟฟองศาสเปรย์ที่มากที่สุดของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง รูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร.....	36
4.10 ภาพถ่ายของสเปรย์เมื่อเปลี่ยนค่าความดันในการฉีด ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร.....	37
4.11 กราฟความยาวสเปรย์ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันภายในห้องความ ดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร.....	38
4.12 กราฟความเร็ว ณ จุดที่ปลายของสเปรย์ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดัน ภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร.....	38
4.13 กราฟฟองศาสเปรย์ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร.....	39
4.14 กราฟฟองศาสเปรย์ที่มากที่สุดของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร.....	39
4.15 ภาพถ่ายของสเปรย์เมื่อเปลี่ยนค่าความดันภายในห้องความดันสูง ที่ระยะเวลา ในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง รูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร.....	40
4.16 กราฟความยาวสเปรย์ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร.....	41
4.17 กราฟความเร็ว ณ จุดที่ปลายของสเปรย์ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดัน ในการฉีด 1200 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร.....	41
4.18 กราฟฟองศาสเปรย์ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร.....	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 กราฟองศาสเปรย์ที่มากที่สุดของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร.....	42
4.20 ภาพถ่ายของสเปรย์เมื่อเปลี่ยนขนาดของรูหัวฉีดที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์.....	43
4.21 กราฟความยาวสเปรย์ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์.....	44
4.22 กราฟความเร็ว ณ จุดที่ปลายของสเปรย์ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์.....	44
4.23 กราฟองศาสเปรย์ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์.....	45
4.24 กราฟองศาสเปรย์ที่มากที่สุดของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์.....	45

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันทรัพยากรเชื้อเพลิงที่ได้จากฟอสซิลมีปริมาณลดน้อยลงจึงส่งผลให้มีราคาเชื้อเพลิง แปรปรวนและสูงขึ้น ประชาชนที่เดือดร้อนจากราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นทั่วโลกได้ให้ความสำคัญกับ เรื่องของพลังงานทดแทนอย่างยิ่ง ประกอบกับประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีวัตถุดิบที่ใช้ ทำไบโอดีเซลจากพืชพรรณการเกษตรนับว่ามีศักยภาพสูงในการผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซลประกอบกัน รวมทั้งประเทศไทยมีการใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นจำนวนมากทั้งทางด้านการเกษตร การขนส่ง ภาครัฐบาลจึงสนับสนุนให้ใช้พลังงานทดแทนเพื่อลดการนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิลจากต่างประเทศ อีกทั้งไบโอดีเซลมีคุณสมบัติช่วยลดการปล่อยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มาจากการเผาไหม้ของ เครื่องยนต์โดยเป็นสาเหตุของปัญหาโลกร้อน ไบโอดีเซลยังเป็นเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของออกซิเจน (Oxygenated fuel) ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ได้ในทางอ้อมคดี แต่อย่างไร ก็ตามการใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาในเชิงลึกต่อไป

ก่อนที่เครื่องยนต์จะมีการเผาไหม้นั้นช่วงสำคัญอีกขั้นหนึ่งก็คือช่วงการสเปรย์ (Spray) ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของการเกิดการเผาไหม้แบบแพร่หรือการเป็นฝอยละอองของเชื้อเพลิงมีผลต่อการ คลุกเคล้าของเชื้อเพลิงและเปลวไฟในการเผาไหม้แบบแพร่ในเครื่องยนต์ดีเซล

ไบโอดีเซล [1] คือเชื้อเพลิงทดแทนประเภทดีเซลจากธรรมชาติ โดยการนำเอาน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์ มาผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์ เอสเตอริฟิเคชัน (Transesterification) [2] คือการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างไขมันหรือน้ำมัน (Triglyceride) กับแอลกอฮอล์ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอล โดยมีตัวเร่งในปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์ (Ester) และผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้กลีเซอรอล (Glycerol) ซึ่งเราจะเรียกชนิดของไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์นี้ตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ใน การทำปฏิกิริยาไบโอดีเซลชนิดเอสเทอร์นี้มีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกับน้ำมันดีเซล

งานวิจัยนี้ได้ทำการนำเสนอการวิเคราะห์สเปรย์ในระบบหัวฉีดความดันสูงแบบรูเดี่ยวเพื่อ งานวิจัย (Single hole injector) ในการศึกษาการฉีดของละอองสเปรย์ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลกับ เชื้อเพลิงดีเซลเพื่อหาขนาดของสเปรย์ด้วยเทคนิคการถ่ายภาพโดยการปรับค่าตัวแปร เริ่มต้นคือช่วงเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง (Injection duration) ที่สภาวะความดันและอุณหภูมิบรรยากาศ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ทดลองศึกษาคุณลักษณะของสเปรย์จากระบบฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซล คอมมอนเรลด้วยเทคนิคการถ่ายภาพแบบซูริเรนกับกล้องถ่ายภาพความเร็วสูงในห้องความดันสูง

1.2.2 ศึกษาขนาดขององศาสเปรย์และความยาวสเปรย์ของเชื้อเพลิงดีเซลไบโอดีเซลร้อยละ 20 (B20) ไบโอดีเซลร้อยละ40 (B40) ไบโอดีเซลร้อยละ60 (B60) ไบโอดีเซลร้อยละ80 (B80) และไบ โอดีเซล (B100)

1.2.3 ศึกษาอิทธิพลของความดันในการฉีดยาฉีดเชื้อเพลิง ช่วงเวลาในการฉีดยาฉีดเชื้อเพลิง ความดันเริ่มต้นก่อนทำการฉีดยาฉีดเชื้อเพลิงในห้องความดันสูง และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 คุณสมบัติพื้นฐานของเชื้อเพลิงดีเซล ไบโอดีเซลร้อยละ20 (B20) ไบโอดีเซลร้อยละ40 (B40) ไบโอดีเซลร้อยละ60 (B60) ไบโอดีเซลร้อยละ80 (B80) และไบโอดีเซล (B100) มีความแตกต่างกัน ดังนั้นทำให้เกิดผลกระทบต่อลักษณะของสเปรย์

1.3.2 ความดันในการฉีดยาฉีดเชื้อเพลิง ความดันภายในห้องความดันสูง ระยะเวลาในการฉีดยาฉีดเชื้อเพลิง และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด มีผลกระทบต่อลักษณะของสเปรย์

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาลักษณะสเปรย์ของเชื้อเพลิงดีเซลดีเซล ไบโอดีเซลร้อยละ20 (B20) ไบโอดีเซลร้อยละ40 (B40) ไบโอดีเซลร้อยละ60 (B60) ไบโอดีเซลร้อยละ80 (B80) และไบโอดีเซล (B100)

1.4.2 ใช้หัวฉีดความดันสูงแบบรูเดียว เพื่อฉีดยาฉีดเชื้อเพลิงในห้องความดันสูง ที่อุณหภูมิห้องโดยมีการควบคุมความดันในการฉีดยาฉีดเชื้อเพลิง และความดันภายในห้องความดันสูง

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1.5.1 ศึกษาเอกสารเชิงวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเรื่องของสเปรย์ระบบคอมมอนเรลของเครื่องยนต์ดีเซลและการทดสอบลักษณะของสเปรย์ในรูปแบบต่างๆ

1.5.2 วางขอบเขตศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการศึกษาสเปรย์และเลือกตัวแปรที่จะทำการศึกษา

1.5.3 ออกแบบวิธีการศึกษาของสเปรย์

1.5.4 ทำการทดลองและเก็บข้อมูลการทดลอง

1.5.5 นำผลการทดลองที่ได้มาศึกษาและวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Matlab

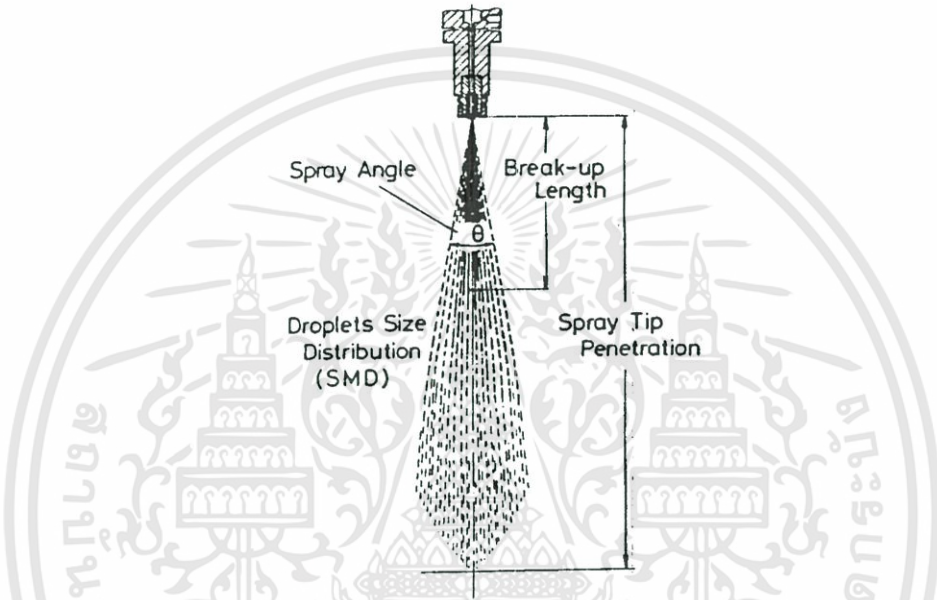
1.5.6 สรุปผลการศึกษา

บทที่ 2

ทฤษฎีหลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณลักษณะของสเปรย์

การศึกษาสเปรย์ของเชื้อเพลิงนั้นต้องมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโครงสร้างและลักษณะของสเปรย์โดยเริ่มศึกษาจากระบบการฉีดเชื้อเพลิง ลักษณะของเชื้อเพลิงที่ออกจากหัวฉีดมีโครงสร้างพื้นฐานของสเปรย์เชื้อเพลิงแสดงดังภาพที่ 1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างสเปรย์เชื้อเพลิงดีเซล [3]

จากรูปที่ 2.1 แสดงถึงการฉีดเชื้อเพลิงดีเซลโดยแบ่งช่วงของสเปรย์ได้ดังนี้ ในช่วงแรก (Breakup length) คือขนาดความยาวของเชื้อเพลิงที่เป็นของเหลวและช่วงต่อมาความยาวของปลายสเปรย์ (Spray Tip Penetration) ส่วนต่อมาก็คือขนาดของละอองสเปรย์ (Droplet size) ใน การศึกษานี้จะศึกษาเฉพาะองศาการฉีดสเปรย์ (Spray angle) และความยาวของปลายสเปรย์เท่านั้น ซึ่งลักษณะของสเปรย์มีผลอย่างยิ่งต่อการคลุกเคล้าของเชื้อเพลิงกับอากาศ (Mixing formation) การหน่วงเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง (Injection delay) การชนผนังห้องเผาไหม้ของสเปรย์ซึ่งปัจจัยทั้งหมด มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ทั้งสิ้น

2.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง

2.2.1 เชื้อเพลิงดีเซล

น้ำมันดีเซลเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้จากการนำน้ำมันดิบมากลั่นแยกส่วนในหอกลั่นโดยใช้หลักการด้านความแตกต่างของจุดเดือดซึ่งน้ำมันดีเซลมีจุดเดือดอยู่ช่วงอุณหภูมิ 150-360 องศาเซลเซียสและสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (Automotive Diesel oil) โดยทั่วไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วที่มีความเร็วเกิน 1,000 รอบต่อนาทีขึ้นไป เช่น รถยนต์เครื่องยนต์ดีเซล รถบรรทุกเล็ก รถบรรทุกใหญ่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถแทรกเตอร์ เรือประมง เรือโดยสาร เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในเรือเดินสมุทร เป็นต้น และทางรัฐบาลไทย กำหนดให้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วมีค่าซีเทนอย่างต่ำ 47

2. น้ำมันดีเซลหมุนช้า (Industrial Diesel oil) เป็นน้ำมันที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนปานกลางและหมุนช้าโดยทั่วไปจะต่ำกว่า 1,000 รอบต่อนาที เช่น เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ที่ใช้กับเรือประมง เรือโดยสาร และเครื่องยนต์ดีเซลกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ เป็นต้น และรัฐบาลไทย กำหนดให้มีค่าซีเทนอย่างต่ำ 45

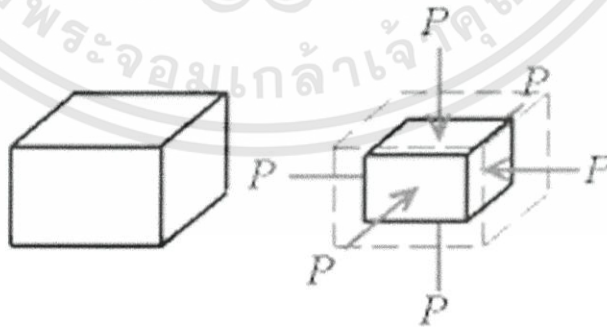
2.2.2 เชื้อเพลิงไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้จากไขมันสัตว์และน้ำมันพืชเช่นปาล์มมะพร้าว ถั่วเหลืองทานตะวันเมล็ดเรพ (Rape seed) สบู่ดำหรือน้ำมันพืชไขมันสัตว์ที่ผ่านการใช้งานแล้วไบโอดีเซลสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

1. น้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์โดยตรงไบโอดีเซลประเภทนี้คือน้ำมันพืชแท้ๆ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ซึ่งสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้เลยโดยไม่ต้องผสมหรือเติมสารเคมีอื่นๆ
2. ไบโอดีเซลแบบลูกผสมเป็นน้ำมันที่ผสมระหว่างน้ำมันพืช หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์กับน้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล เพื่อให้ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด
3. ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ไบโอดีเซลประเภทนี้เป็นน้ำมันที่ต้องผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า Transesterification คือการนำน้ำมันจากพืชทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ได้เอสเทอร์มีคุณสมบัติที่เหมือนกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด

2.2.3 โมดูลัสของแรงบีบอัด

โมดูลัสของแรงบีบอัด [12] หรือ บัลก์มอดูลัส (Bulk modulus) (K) คือ การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรสัมพันธ์ของวัตถุที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความดัน ซึ่งจำเป็นในการวัดความต้านทานของวัตถุที่มีต่อการบีบอัด อย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 2.2 โมดูลัสของแรงบีบอัด [12]

ค่าโมดูลัสของแรงบีบอัดของของไหลหรือของแข็ง เขียนอยู่ในรูปสมการได้เป็น

$$K = -V \frac{\partial P}{\partial V} \quad (2.1)$$

เมื่อ P คือความดัน
 V คือปริมาตร

$$B = (P - P_0) \frac{V_0}{(V_0 - V)} \quad (2.2)$$

เมื่อ B คือ ค่าบัลก์มอดูลัส (MPa)
 $P - P_0$ คือ ผลต่างของความดัน (MPa)
 $V_0 - V$ คือ ผลต่างของปริมาตร (m^3)
 V_0 คือ ปริมาตรเริ่มต้น (m^3)

หากกล่าวโดยชัดเจนแล้ว บัลก์มอดูลัสเป็นปริมาณทางเทอร์โมไดนามิกส์ จำเป็นในการระบุว่าคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงอย่างไรในการระบุค่าโมดูลัสของแรงบีบอัด กล่าวคือ ต้องกำหนดคุณสมบัติคงที่ (K_T), เอนทัลปีคงที่ (อะเดียบาติก) (K_S) หรือตัวแปรอื่นๆ ที่เป็นไปได้ ในทางปฏิบัติแล้วความแตกต่างจะมีความหมายสำหรับแก๊สเท่านั้นค่าส่วนกลับของโมดูลัสของแรงบีบอัดเรียกว่า compressibility ของสาร

2.2.4 ความหนาแน่น

ความหนาแน่น (Density) [13] เป็นการวัดมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ยิ่งวัตถุมีความหนาแน่นมากขึ้น มวลต่อหน่วยปริมาตรก็ยิ่งมากขึ้น กล่าวอีกนัยหนึ่ง คือวัตถุที่มีความหนาแน่นสูง จะมีปริมาตรน้อยกว่าวัตถุความหนาแน่นต่ำที่มีมวลเท่ากัน หน่วยของความหนาแน่นคือ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.3)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่น (kg/m^3)
 m คือ มวล (kg)
 V คือ ปริมาตร (m^3)

2.2.5 ความหนืด

ค่าความหนืด [14] คือค่าบ่งชี้คุณสมบัติความต้านทานการไหลในตัวของไหล ยิ่งมีค่ามากหมายความว่าของไหลนั้นมีความหนืดมาก โดยหน่วยของค่าความหนืดคือ เซ็นติสโตก (cSt)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.4)$$

เมื่อ	v	คือ ค่าความหนืดจลน์ (cSt)
	μ	คือ ค่าความหนืดไดนามิก
	ρ	คือ ความหนาแน่น (kg/m ³)

2.2.6 แรงตึงผิว

แรงตึงผิว (Surface tension) [15] คือ คุณสมบัติของพื้นผิวของของเหลว เป็นสิ่งทำให้เกิด บางส่วนของพื้นผิวของเหลวถูกดึงดูด (ยึดเข้าไว้ด้วยกัน) สู่พื้นผิวอื่น เช่น พื้นผิวของเหลวส่วนอื่น (การรวมตัวของหยดน้ำหรือหยดปรอทที่เกาะกันเป็นลูกกลม) แรงตึงผิวถูกทำให้เกิดขึ้นด้วยการดึงดูด (การดึงดูดของโมเลกุลกับโมเลกุลที่เหมือนกัน) เมื่อโมเลกุลบนพื้นผิวของของเหลวไม่ได้ล้อมรอบไป ด้วยโมเลกุลที่เหมือนกันในทุกๆด้านแล้ว โมเลกุลจะมีแรงดึงดูดกับโมเลกุลใกล้เคียงบนพื้นผิวมากขึ้น



รูปที่ 2.3 การวัดค่าความหนาแน่นโดยใช้วิธี Wilhelmy plate [14]

การวัดค่าแรงตึงผิวโดยใช้วิธี Wilhelmy plate คือการทำให้ของเหลวสัมผัสกับแผ่นโลหะ เมื่อยกแผ่นโลหะขึ้น จะมีแรงตึงผิวกระทำตามความยาวรอบรูปของแผ่นโลหะ เครื่องจะอ่านค่าแรงตึง และคำนวณหาค่าแรงตึงผิว

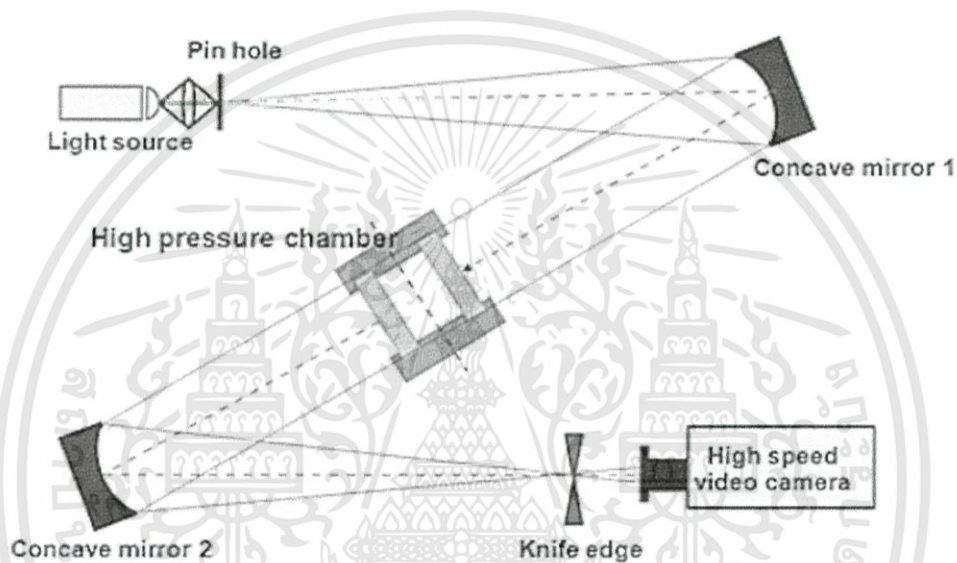
$$P = mg + Ly \cdot \cos \theta - shpg \quad (2.5)$$

เมื่อ	m	คือ มวลแผ่นโลหะ
	g	คือ ความเร่งจากแรงโน้มถ่วง
	L	คือ ความยาวรอบรูปแผ่นโลหะ
	γ	คือ แรงตึงผิว
	θ	คือ มุมสัมผัสระหว่างแผ่นกับของเหลว
	s	คือ พื้นที่หน้าตัดแผ่นโลหะ
	h	คือ ระยะที่แผ่นจม
	ρ	คือ ความหนาแน่นของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เทคนิคการถ่ายภาพแบบชูริเรน

การศึกษาลักษณะสเปร์ย์ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลและดีเซลนั้นการมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าและการบันทึกภาพด้วยวิธีทั่วไปจะไม่สามารถศึกษาลักษณะการแบ่งระหว่างของเหลวและไอของสเปร์ย์ได้อย่างชัดเจนดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการบันทึกภาพแบบชูริเรน (Schlieren) [4] ซึ่งใช้ลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงกระจายผ่านกระจกโค้งจะได้ลำแสงที่ขนานกันเป็นเส้นตรงผ่านสเปร์ย์เชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ที่ต้องการบันทึกภาพค่าความแตกต่างของแกร์เดียนระหว่างความหนาแน่นของสเปร์ย์เชื้อเพลิงและลำของเชื้อเพลิงที่ไม่เท่ากันจะทำให้แสงเกิดการหักเหเกิดภาพขึ้นกระจกโค้งตัวที่สองจะทำหน้าที่รวมแสงและมีใบมีด (Knife edge) ทำหน้าที่ตัดแสงบริเวณจุดโฟกัสแล้วบันทึกภาพด้วยกล้องวิดีโอความเร็วสูง



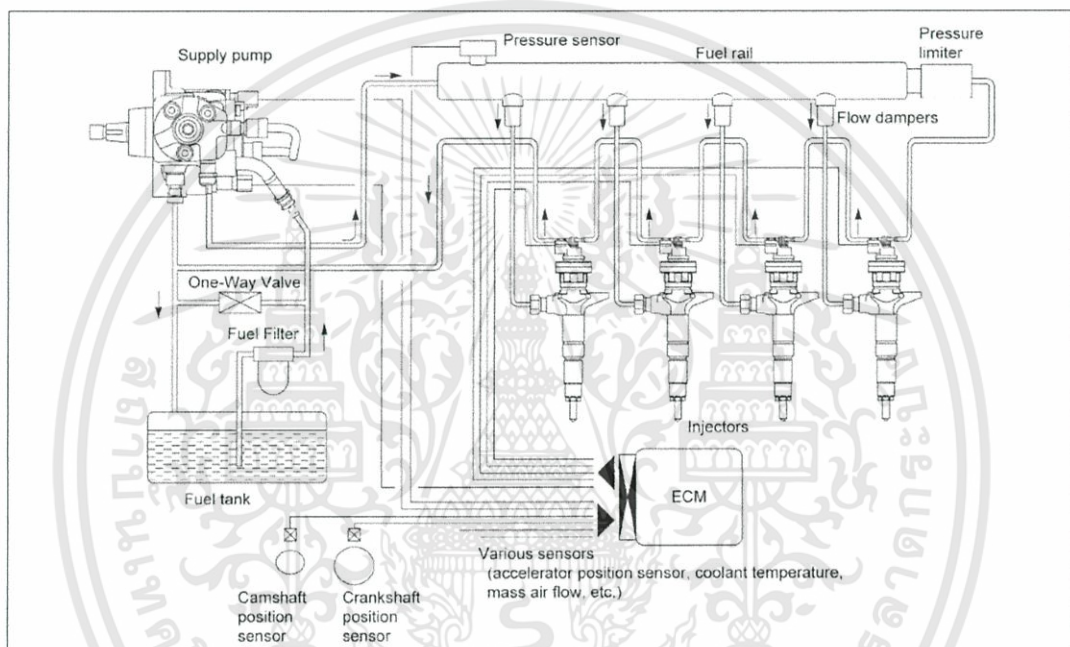
รูปที่ 2.4 เทคนิคชูริเรน [5]

2.4 ระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม

ระบบจ่ายเชื้อเพลิงแบบรางร่วมหรือระบบคอมมอนเรลเป็นระบบจ่ายน้ำมันที่พัฒนาขึ้นมาในปัจจุบันระบบประกอบด้วยปั๊มแรงดันสูงในการอัดน้ำมันเข้าสู่รางร่วม (Common Rail) เพื่อรอจังหวะการฉีดเชื้อเพลิงที่เหมาะสม จากการประมวลผลของหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic control Unit, ECU) เมื่อ ECU ประมวลผลออกมาถึงช่วงจังหวะการฉีดเชื้อเพลิงเข็มหัวฉีดจะยกขึ้นด้วยแรงดึงจากขดลวดโซลินอยด์ที่ได้รับกระแสไฟฟ้า ซึ่งในเครื่องยนต์รุ่นเก่าระบบฉีดเชื้อเพลิงเป็นปั๊มเชื้อเพลิงแบบแถวเรียงหรือจ่ายใช้วิธีการยกเข็มหัวฉีดด้วยแรงดันในตัวน้ำมัน (ประมาณ 120 - 250 บาร์) เมื่อแรงดันน้ำมันสามารถเอาชนะแรงกดของสปริงที่หัวฉีดได้ เข็มหัวฉีดจะยกเปิดให้น้ำมันไหลผ่านได้ วิธีนี้จะไม่สามารถควบคุมจังหวะการฉีดเชื้อเพลิงให้ยืดหยุ่นได้แต่ระบบคอมมอนเรลสามารถควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงให้ยืดหยุ่นตามสภาวะการทำงานที่เหมาะสมได้ โดย ECU ของเครื่องยนต์สามารถรับรู้สภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ได้จาก Sensor เช่นแรงดันในรางร่วม ตำแหน่งคันเร่งอุณหภูมิต่างๆ ปริมาณออกซิเจนในไอเสียหรืออื่นๆ ปัจจุบัน ECU สามารถควบคุมให้มีการฉีดเชื้อเพลิงได้แบบหลายครั้ง (Multiple-Injection) สามารถช่วยลดปริมาณมลพิษไนตริกออกไซด์และช่วยลดการน็อกของเครื่องยนต์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันสามารถผลิต ECU ให้ควบคุมการฉีดสูงสุดได้ถึง 5 ครั้งโดยมีพื้นฐานดังนี้คือการฉีดครั้งที่ 1 (Pilot Injection) เป็นส่วนช่วยให้เชื้อเพลิงส่วนแรกผสมกับอากาศได้ก่อน หลังจากนั้นจึงฉีดครั้งที่ 2 (Pre-Injection) ตามมาเพื่อเพิ่มปริมาณของเชื้อเพลิงในการเริ่มการเผาไหม้ส่วนแรก การฉีดครั้งที่ 3 เป็นการฉีดเชื้อเพลิงหลัก (Main-Injection) เป็นการฉีดที่ควบคุมสถานะการทำงานของเครื่องยนต์ตามคันเร่ง การฉีดครั้งที่ 4 (After-Injection) เป็นการฉีดเพื่อเผาเขม่าหรืออนุภาคคาร์บอน (PM) ส่วนสุดท้ายเพื่อให้มีการเผาไหม้สมบูรณ์ที่สุดและการฉีดที่ 5 (Post-Injection) เป็นการฉีดควบคุมอุณหภูมิไอเสียสำหรับในประเทศไทย ส่วนใหญ่จะเป็นการฉีดเชื้อเพลิงแบบ 2 ครั้งคือ Pilot และ Main-Injection แต่คาดว่าเทคโนโลยีการฉีดแบบ 5 ครั้งจะเข้ามาต่อไปเนื่องจากข้อกำหนดของการปลดปล่อยมลพิษที่เข้มงวดมากขึ้น



รูปที่ 2.5 ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม [6]

ระบบคอมมอนเรลในรูปที่ 2.5 ประกอบด้วย

ปั๊มแรงดันสูง (Supply pump) ปัจจุบันสามารถปั้มน้ำมันให้มีความดันได้สูงถึง 1,800 บาร์ หรือ 180MPa ขึ้นอยู่กับเครื่องยนต์แต่ละรุ่นแรงดันที่สูงนี้ทำให้น้ำมันแตกตัวเป็นละอองได้ดีกว่าการใช้หัวฉีดแบบเก่ามากหรือที่เรียกว่า Fuel Atomisation

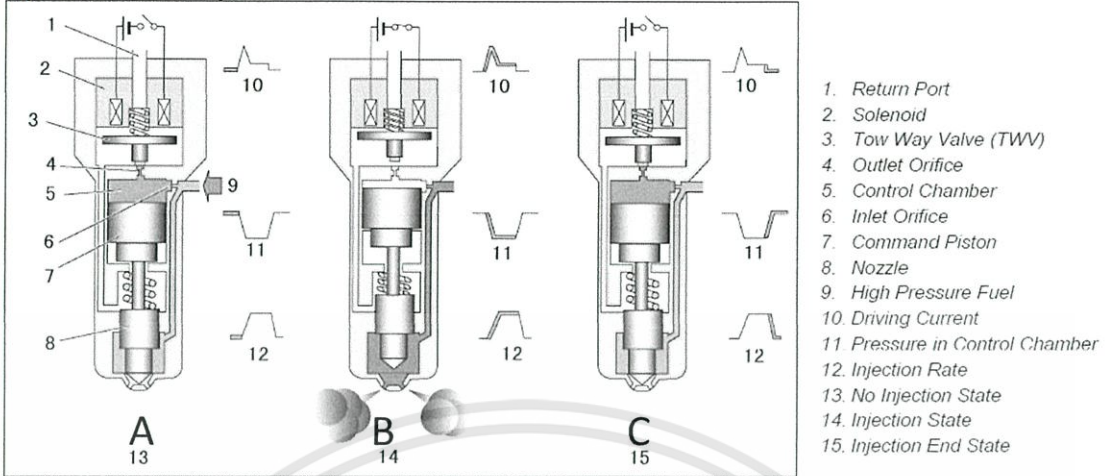
รางร่วม (Fuel rail) มีลักษณะเป็นท่อเล็กๆยาวๆที่มีความหนามากเพื่อทนต่อแรงดันสูงรางร่วมนี้จะรักษาความดันให้คงที่และช่วยให้ละอองน้ำมันที่จ่ายไปยังห้องเผาไหม้ทุกห้องมีลักษณะเหมือนกัน

อีซีเอ็ม (ECM, Engine Control Module) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของทั้งระบบให้เหมาะสมกับการขับขี่

หัวฉีดโซลินอยด์มีหลักการทำงานดังรูปที่ 2.6 โดยที่รูป A คือหัวฉีดที่เก็บเชื้อเพลิงรอไว้หลังปลายหัวฉีดโดยมีลิ้นแบบเข็มปิดกั้นเชื้อเพลิงไว้ด้วยแรงสปริงหรือแรงแม่เหล็กไฟฟ้า รูป B เชื้อเพลิงจะถูกฉีดทันทีที่โซลินอยด์ไฟฟ้าดึงลิ้นแบบเข็มถอยหลังโดยควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงที่ฉีดตามเวลาและเข็มหัวฉีดจะกลับเข้าสู่ตำแหน่งเดิมดังรูป C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

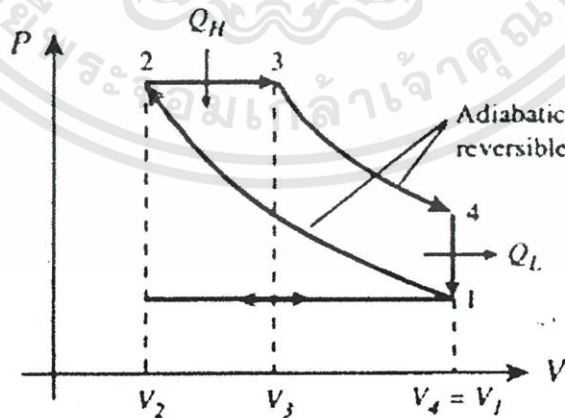
Operation of Fuel Injector



รูปที่ 2.6 การทำงานของหัวฉีดโซลินอยด์ [6]

2.5 วัฏจักรดีเซล

วัฏจักรดีเซล [10] ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (Compression Ignition : CI) เครื่องยนต์ CI ซึ่งถูกนำเสนอครั้งแรกโดยรูดอล์ฟ ดีเซล (Rudolph Diesel) ในปี ค.ศ. 1980 วิธีการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ดีเซลอากาศจะถูกอัดจนกระทั่งมีอุณหภูมิเหนืออุณหภูมิติดไฟของเชื้อเพลิงและการเผาไหม้จะเกิดขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าไปในอากาศร้อนในเครื่องยนต์ดีเซลมีเพียงอากาศเท่านั้นที่ถูกอัดในช่วงจังหวะอัดส่วนในกระบวนการฉีดเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์ดีเซลจะเริ่มที่ลูกสูบเข้าใกล้ตำแหน่งจุดศูนย์ตายบนและจะเกิดต่อเนื่องในช่วงแรกของจังหวะส่งกำลังดังนั้นกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ประเภทนี้จึงเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่นานกว่าและการเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่นานกว่านี้ทำให้กระบวนการเผาไหม้ในวัฏจักรดีเซลอุดมคติเป็นกระบวนการรับความร้อนโดยความดันคงที่



รูปที่ 2.7 วัฏจักรดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการ 1 ไป 2 เป็นกระบวนการอัดตัวแบบอะเดียแบติก (Adiabatic process) โดยไม่มีการถ่ายเทความร้อนออกจากระบบ

กระบวนการ 2 ไป 3 เป็นกระบวนการรับความร้อนภายใต้ความดันคงที่และปริมาตรของอากาศขยายตัวตามอัตราส่วนจุดตัด (Cut-off ratio) r_c

กระบวนการ 5 ไป 4 เป็นกระบวนการขยายตัวแบบอะเดียแบติก (Adiabatic process) จนกระทั่งอากาศมีปริมาตรเท่ากับสถานะเริ่มต้น

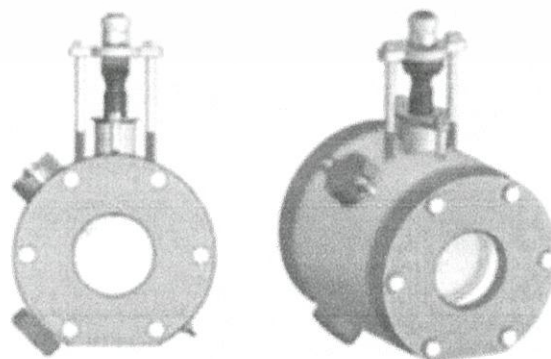
กระบวนการ 4 ไป 1 เป็นการถ่ายเทความร้อนภายใต้ปริมาตรคงที่

ในการศึกษาลักษณะของสเปร์ย์ของงานวิจัยนี้ได้จำลองความดันของกระบวนการเผาไหม้ในวัฏจักรดีเซลอุดมคติเป็นกระบวนการรับความร้อนโดยความดันคงที่คือกระบวนการ 2 ไป 5 ซึ่งในกระบวนการนี้ของวัฏจักรดีเซลอุดมคติจะเป็นช่วงที่หัวฉีดของเครื่องยนต์ทำการฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้จึงได้เลือกศึกษาลักษณะสเปร์ย์ในกระบวนการนี้ภายในห้องเผาไหม้จำลอง

2.6 ห้องความดันสูง

คืออุปกรณ์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อศึกษาลักษณะของสเปร์ย์ภายในห้องเผาไหม้และการเผาไหม้ของเปลวไฟที่เกิดขึ้นจากการจุดระเบิดของน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลหรือเชื้อเพลิงใดๆก็ตามที่สามารถถูกจุดระเบิดได้ด้วยอากาศร้อนซึ่งเป็นกระบวนการอันเกิดขึ้นจากการอัดตัวของลูกสูบจึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์พิเศษที่สามารถมองผ่านเข้าไปเห็นกระบวนการเผาไหม้ภายในได้และสามารถจำลองเงื่อนไขต่างๆของห้องเผาไหม้ได้ เช่น ความดันและอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ อุปกรณ์ดังกล่าวได้แก่เครื่องยนต์สำหรับงานวิจัยแบบมองเห็นการเผาไหม้ได้ (Optical Research Engine) เครื่องอัดเร็ว (Rapid Compression Machine) และห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ (Constant Volume Combustion Chamber)

ในงานวิจัยนี้เราได้เลือกใช้ห้องห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่เป็นห้องเผาไหม้ที่สามารถสังเกตลักษณะสเปร์ย์ของเชื้อเพลิง โดยมีกระจกควอตซ์ที่ด้านข้างเอาไว้สังเกตลักษณะสเปร์ย์ของเชื้อเพลิงภายในจะมีการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความดัน และหัวฉีดคอมมอนเรล ซึ่งมีระบบอัดแก๊สให้เกิดความดันเริ่มต้นในห้องเผาไหม้ ในงานวิจัยนี้จะใช้ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ เรื่อง การออกแบบห้องความดันสูงสำหรับทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลแบบฉีดตรง ที่ได้รับการออกแบบไว้ในปีการศึกษา 2554 โดยนักศึกษาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งมีลักษณะดังภาพ



รูปที่ 2.8 ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาสเปรย์เชื้อเพลิงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ประเภทที่หนึ่งเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับสมรรถนะประสิทธิภาพและปัญหาในการใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลประเภทที่สองเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับลักษณะของสเปรย์ในเครื่องยนต์ดีเซล

2.7.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซล

มีพืชหลายชนิดที่สามารถนำมาผลิตน้ำมันได้เช่นปาล์มมะพร้าวสบู่ดำรำข้าวเป็นต้นผลผลิตจากพืชเหล่านี้มีจำนวนมากพอสามารถที่จะนำมาผลิตน้ำมันเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงฟอสซิลได้มีงานวิจัยและการศึกษาจำนวนมากที่เกี่ยวกับการใช้น้ำมันจากพืชในเครื่องยนต์ดีเซล [9] ได้ทำการทดลองใช้น้ำมันมะพร้าวผสมกับน้ำมันดีเซล (Coco-Diesel) โดยใช้น้ำมันมะพร้าว 5% และน้ำมันดีเซล 95% ในปี 1981 ประเทศฟิลิปปินส์มีผลผลิตของมะพร้าวจำนวนมากทำให้ราคามะพร้าวตกต่ำรัฐบาลจึงได้จัดตั้งโครงการ Coco-Diesel programme เพื่อใช้น้ำมันมะพร้าวทดแทนน้ำมันดีเซล ในปี 1976 มีการทดสอบในเครื่องยนต์ซึ่งสามารถปรับอัตราส่วนการอัดได้ การทดลองใช้น้ำมันมะพร้าวดิบเป็นเชื้อเพลิงพบว่าที่กำลังเครื่องยนต์ 5.09 kW ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงถึง 33.3% เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลที่กำลังเครื่องยนต์ 5.10 kW ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน 32.4% การสึกหรอของชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์เช่นลูกสูบ แหวนลูกสูบ แบบริ่ง กระจบอกสูบ ฝาสูบและหัวฉีด จะมีการสึกหรออยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในเดือนกันยายนปี 1982 หลังจากทดลองได้ 2 เดือนการทดลองใช้น้ำมันมะพร้าวดิบ 5% ผสมน้ำมันดีเซลได้เริ่มขึ้นพบปัญหาการอุดตันของกรองน้ำมันเชื้อเพลิงของรถประจำทาง สาเหตุเกิดจากการเติบโตของแบคทีเรียภายในถังน้ำมันเชื้อเพลิง สิ่งสกปรกและน้ำเมื่อรวมตัวกับกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าวจะเป็นอาหารของแบคทีเรียและแบคทีเรียเหล่านี้จะเติบโตและไปอุดตันที่กรองน้ำมันเชื้อเพลิง

2.7.2 งานวิจัยเกี่ยวกับลักษณะสเปรย์

การใช้หัวฉีดซึ่งมีความดันหัวฉีดสูงจ่ายเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องเผาไหม้ [9] หัวฉีดมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของระบบห้องเผาไหม้

รูปร่างสเปรย์เชื้อเพลิงที่ออกจากหัวฉีดของเครื่องยนต์ดีเซลจะเป็นรูปรวยฉีดเชื้อเพลิงออกมาเป็นละอองเชื้อเพลิง (Droplets) ที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดของรูหัวฉีดมุมการสเปรย์ (θ) หาได้จากสมการ

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{1}{A} 4\pi \left(\frac{\rho_g}{\rho_l}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\sqrt{3}}{6}\right) \quad (2.6)$$

เมื่อ	ρ_g	คือ ความหนาแน่นของก๊าซ (kg/m^3)
	ρ_l	คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)
	A	คือ ค่าคงที่ของหัวฉีด

ความยาวของสเปรย์เชื้อเพลิงและความเร็วสเปรย์ภายในห้องเผาไหม้มีผลอย่างยิ่งต่อกระบวนการผสมเชื้อเพลิงกับอากาศ ในเครื่องยนต์บางชนิดห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิและอากาศหมุนวนสูง ต้องมีการออกแบบให้การฉีดเชื้อเพลิงมีการกระทบกับผนังห้องเผาไหม้แต่ในเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไป การออกแบบให้สเปรย์เชื้อเพลิงมีความยาวมากเกินไปจะทำให้เชื้อเพลิงส่วนที่เป็นของเหลวพุ่งไปกระทบผนังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำและไม่มีอากาศหมุนวนทำให้การผสมเชื้อเพลิงกับอากาศไม่ดีส่งผลให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และการออกแบบให้ความยาวสเปรย์มีขนาดสั้นเกินไปจะทำให้เชื้อเพลิงผสมกับอากาศได้ไม่ดีเช่นกันดังนั้นการออกแบบลักษณะการฉีดสเปรย์เชื้อเพลิงจึงมีความสำคัญต่อการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล

สมการซึ่งพัฒนาโดย Dent [16] เพื่อหาความสัมพันธ์ของความยาวสเปรย์ (S) ที่เป็นฟังก์ชันกับเวลา (t) ตามสมการ (2.2)

$$S = 3.07 \left(\frac{\Delta p}{\rho_g} \right)^{0.25} (td_n)^{0.5} \left(\frac{294}{T_g} \right)^{0.25} \quad (2.7)$$

เมื่อ Δp คือ ความดันระหว่างหัวฉีด (Pa)
 t คือ เวลาหลังการฉีด (s)
 d_n คือ เส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด (m)

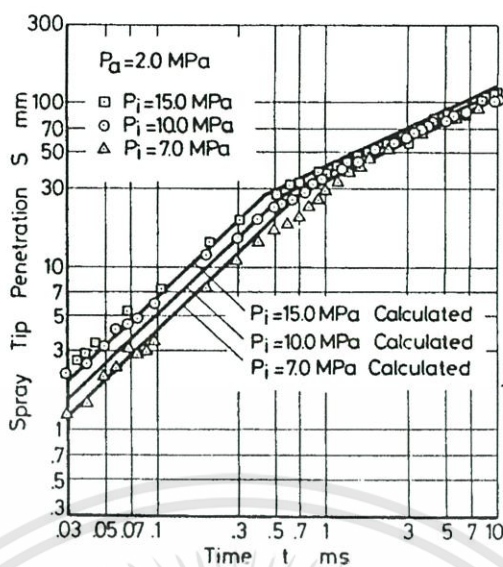
จากผลการทดลองของ Hiroyasu [3] พบว่าความยาวสเปรย์เป็นฟังก์ชันกับเวลาในช่วงแรก สเปรย์ที่ออกมาจะเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นกับเวลา (ความเร็วสเปรย์คงที่) ความยาวสเปรย์เป็นฟังก์ชันกับ t ดังสมการ (2.8), (2.9) และ (2.10) และแสดงรูปที่ 2.9

$$S = 0.39 \left(\frac{2\Delta P}{\rho_l} \right)^{0.5} t \quad (2.8)$$

$$S = 2.95 \left(\frac{\Delta P}{\rho_g} \right)^{0.25} (td_n)^{0.5} \quad (2.9)$$

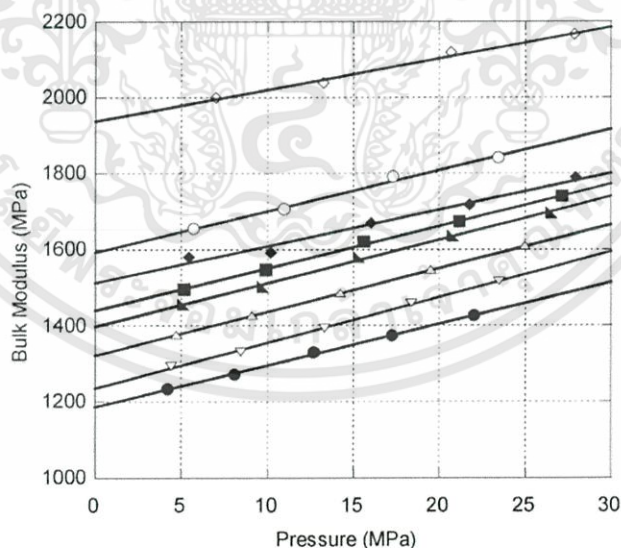
$$t_{break} = \frac{29\rho_l d_n}{(\rho_a \Delta P)^{0.5}} \quad (2.10)$$

เมื่อ Δp คือ ความดันระหว่างหัวฉีด (Pa)
 ρ_l คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)
 ρ_g คือ ความหนาแน่นของก๊าซ (kg/m^3)
 d_n คือ เส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด (m)
 t คือ เวลาหลังการฉีด (s)



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวสเปรย์กับเวลา

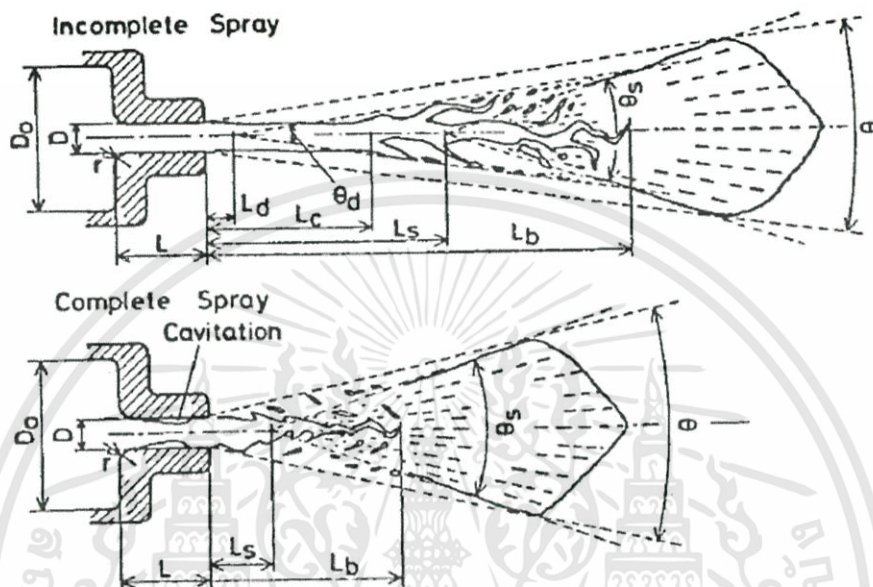
จากการศึกษาของ Andre L. Boehman [11] ศึกษาเกี่ยวกับค่าบัลก์มอดุลัส (bulk modulus) ซึ่งบัลก์มอดุลัส (bulk modulus) (K) หรือโมดูลัสของแรงบีบอัดคือการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรสัมพันธ์ของวัตถุที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความดันซึ่งจำเป็นในการวัดความต้านทานของวัตถุที่มีต่อการบีบอัดอย่างสม่ำเสมอค่าโมดูลัสของแรงบีบอัดของของไหลหรือของแข็งเขียนอยู่ในรูปสมการ (2.1) และ (2.2) โดยจากผลการทดสอบของ Andre L. Boehman พบว่า ค่าบัลก์มอดุลัสของเชื้อเพลิงต่างๆเป็นดังนี้



รูปที่ 2.10 แสดงค่าบัลก์มอดุลัสของเชื้อเพลิง [11] เมื่อ \circ คือไบโอดีเซล (B100), \blacktriangle คือ ดีเซล

จะเห็นได้ว่าค่าบัลก์มอดูลัสมีการเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของความดัน แต่อย่างไรก็ตาม ไบโอดีเซลจะมีค่าบัลก์มอดูลัสมากกว่าดีเซลเสมอ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ไบโอดีเซลมีการอัดตัวได้น้อยกว่าดีเซลนั่นเอง

จากทฤษฎีโครงสร้างสเปรย์ของของเหลวอัดตัวไม่ได้และอัดตัวได้ของ Hiroyasu [3] พบว่าโครงสร้างของของเหลวอัดตัวได้และอัดตัวไม่ได้มีความแตกต่างกันดังภาพ



รูปที่ 2.11 โครงสร้างสเปรย์ของของเหลวอัดตัวได้และของเหลวอัดตัวไม่ได้ [3]

จากภาพจะเห็นได้ว่าสเปรย์ของของเหลวอัดตัวไม่ได้จะมีโครงสร้างสเปรย์ที่ยาวกว่าของเหลวอัดตัวได้ในทำนองเดียวกันของเหลวที่อัดตัวได้น้อยกว่า (ค่าบัลก์มอดูลัสมากกว่า) จะมีโครงสร้างสเปรย์ที่ยาวกว่าส่วนในด้านความกว้างสเปรย์หรือองศาสเปรย์จะเห็นได้ว่าสเปรย์ของของเหลวอัดตัวได้จะมีโครงสร้างองศาสเปรย์ที่กว้างกว่าของเหลวอัดตัวไม่ได้

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่ามีงานวิจัยหลายชิ้นที่ศึกษาลักษณะของสเปรย์เชื้อเพลิงไบโอดีเซลในระบบหัวฉีดดีเซลแบบร่วมแต่งานวิจัยเหล่านั้นไม่สามารถเห็นลักษณะของสเปรย์เชื้อเพลิงได้ชัดเจนเนื่องจากภาพถ่ายสเปรย์ที่ได้เป็นภาพถ่ายจากมุมล่างและหัวฉีดที่ใช้เป็นแบบทฤษฎีจะเห็นลักษณะสเปรย์ในมุมเอียงจึงได้เกิดแนวคิดจัดทำงานวิจัยนี้ขึ้นเพื่อศึกษาลักษณะสเปรย์ในมุมที่เห็นลักษณะสเปรย์ได้ชัดเจนขึ้นและเลือกใช้หัวฉีดแบบบูรเดียวเพื่อให้ได้ภาพสเปรย์ที่ชัดเจนขึ้น

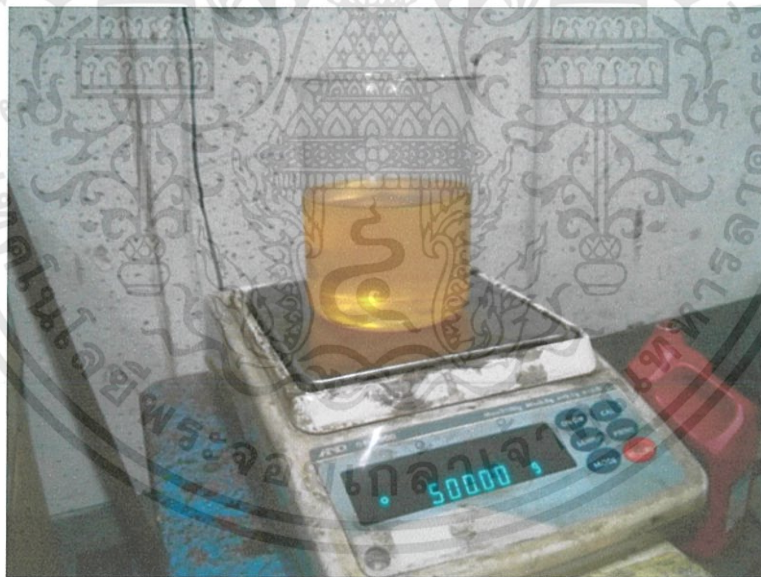
บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในการศึกษาปริญญาโทได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การทดลองหาค่าคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงและการทดลองศึกษาคุณลักษณะสเปร์ยของน้ำมันเชื้อเพลิง โดยการทดลองทั้งหมดเริ่มต้นจากการผสมน้ำมันเชื้อเพลิง

3.1 การผสมน้ำมันเชื้อเพลิง

น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบเป็นดีเซล (PTT) ผสมกับไบโอดีเซลปาล์มเอสเตอร์จากบริษัทน้ำมันพืชปทุม แพร่ผันตามสัดส่วนที่ต้องการ แบ่งเป็นดีเซลผสมไบโอดีเซลร้อยละ 20 (B20 จำนวน 100 กรัมได้จากการผสมไบโอดีเซล 20 กรัมจากนั้นเติมน้ำมันดีเซลให้ถึงน้ำหนักรวม 100 กรัม) ร้อยละ 40 (B40 จำนวน 100 กรัมได้จากการผสมไบโอดีเซล 40 กรัมจากนั้นเติมน้ำมันดีเซลให้ถึงน้ำหนักรวม 100 กรัม) ร้อยละ 60 (B60 จำนวน 100 กรัมได้จากการผสมไบโอดีเซล 60 กรัมจากนั้นเติมน้ำมันดีเซลให้ถึงน้ำหนักรวม 100 กรัม) และ ร้อยละ 80 (B80 จำนวน 100 กรัมได้จากการผสมไบโอดีเซล 80 กรัมจากนั้นเติมน้ำมันดีเซลให้ถึงน้ำหนักรวม 100 กรัม) โดยน้ำหนักและไบโอดีเซล (B100)



รูปที่ 3.1 การผสมเชื้อเพลิง 500 กรัมต่อครั้ง

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้บันทึกค่าคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

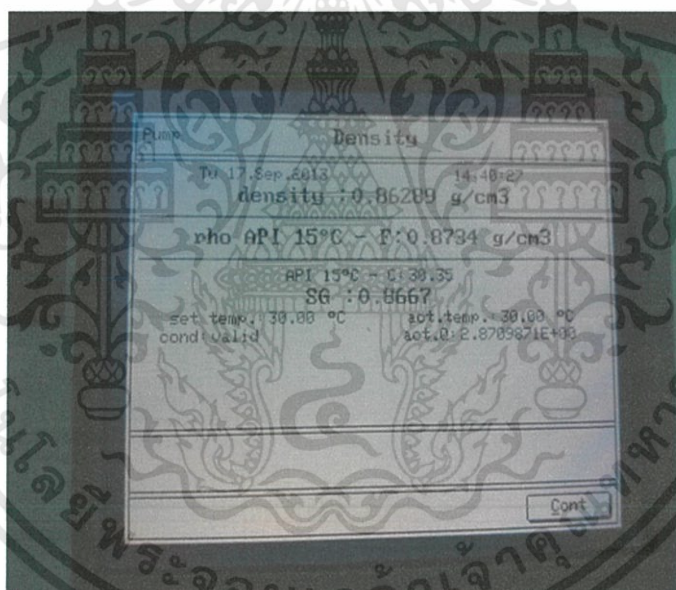
3.2.1 การทดลองหาค่าความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิง

ทำการทดลองหาความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิง B0 B20 B40 B60 B80 และ B100 ซึ่งถูกผสมโดยมวล นำน้ำมันเชื้อเพลิงไปทดสอบด้วยเครื่องมือวัดค่าความหนาแน่นแบบดิจิตอลยี่ห้อ Anton Paar รุ่น DMA 4500 ตามมาตรฐาน ASTM D4052

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดความหนาแน่นแบบดิจิทัลยี่ห้อ Anton Paar รุ่น DMA 4500



รูปที่ 3.3 หน้าจอแสดงผลของเครื่องวัดความหนาแน่นแบบดิจิทัล

3.2.2 การทดลองหาค่าแรงตึงผิวของน้ำมันเชื้อเพลิง

ทำการวัดค่าแรงตึงผิวของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่องยี่ห้อ KYOWA รุ่น DyneMaster DY-300 ใช้วิธีการวัดแบบสถิต โดยมีรายละเอียดของเครื่องทดลอง ดังนี้ ช่วงของข้อมูล 0-100mN/m, ความแม่นยำ 0.2 mN/m, ความละเอียด 0.01 mN/m, ความเร็วสถานะ 0.1-1 mm/s ตามมาตรฐาน ASTM D1331



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดแรงตึงผิวหยีห้อ KYOWA รุ่น DyneMaster DY-300

3.2.3 การทดสอบหาค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิง

ทำการวัดค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่อง CANNON mini av viscosity meter โดยเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงใส่ในภาชนะบรรจุ ทำการเปิดเครื่องให้นำสารตัวอย่างไหลขึ้นไปและจับเวลาที่น้ำมันเชื้อเพลิงไหลจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง เครื่องจะแสดงผลค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงในหน่วยเซนติสโตก (cSt) ตามมาตรฐาน ASTM D445-12

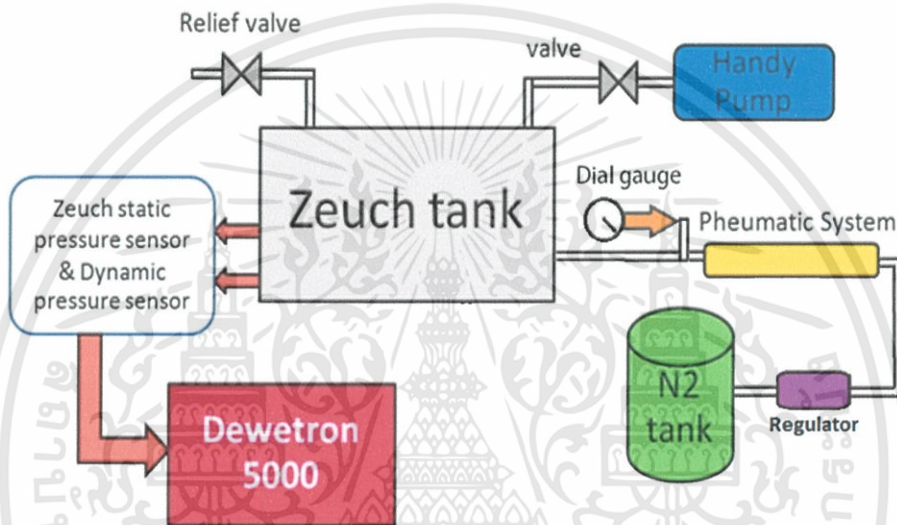


รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิง CANNON รุ่น Mini av viscosity meter พร้อมจอแสดงผล

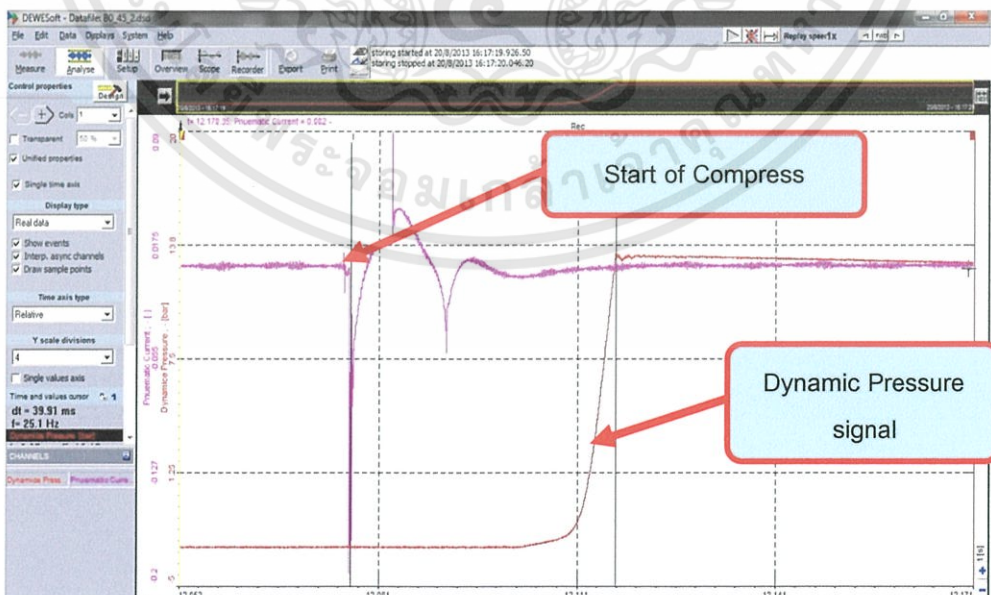
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การทดลองหาค่ามอดูลัสการอัดตัวของน้ำมันเชื้อเพลิง

ขั้นตอนการทดลองวัดค่ามอดูลัสการอัดตัวของน้ำมันเชื้อเพลิงเริ่มจากปั๊มน้ำมันโดยใช้ไฮดรอลิกปั๊มน้ำมันเข้าสู่ Zeuch tank โดยอัดให้ความดันเกิน (12.5 45 และ 57.5 บาร์) จากนั้นรอจนกระทั่งได้ความดันตกลงมาถึงค่าที่ต้องการ สังเกตได้จากเกจวัดความดัน จากนั้นกดสวิตซ์ให้ระบบนิวเมติกทำงาน ระบายสูบล้ออัดความดันเข้า Zeuch tank โดยที่ Zeuch static pressure sensor และ Dynamic pressure sensor ส่งสัญญาณความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงไปยังบันทึกที่เครื่องบันทึกข้อมูลยี่ห้อ Dewetron รุ่น DEWE 5000 ที่อัตราบันทึกความเร็วเท่ากับ 15,000 ข้อมูลต่อวินาทีและทำการอ่านค่าสูงสุดจากผลลัพธ์ที่ได้ ซึ่งผลการบันทึกค่าความดันได้แก่ความดันกับเวลาและปริมาตรที่เปลี่ยนไปนำมาคำนวณหาค่ามอดูลัสการอัดตัวต่อไปตามสมการที่ 2.2



รูปที่ 3.6 ผังระบบชุดทดลองหาค่ามอดูลัสการอัดตัวของน้ำมันเชื้อเพลิง



รูปที่ 3.7 หน้าจอแสดงผลจากเครื่องบันทึกข้อมูล Dewetron 5000

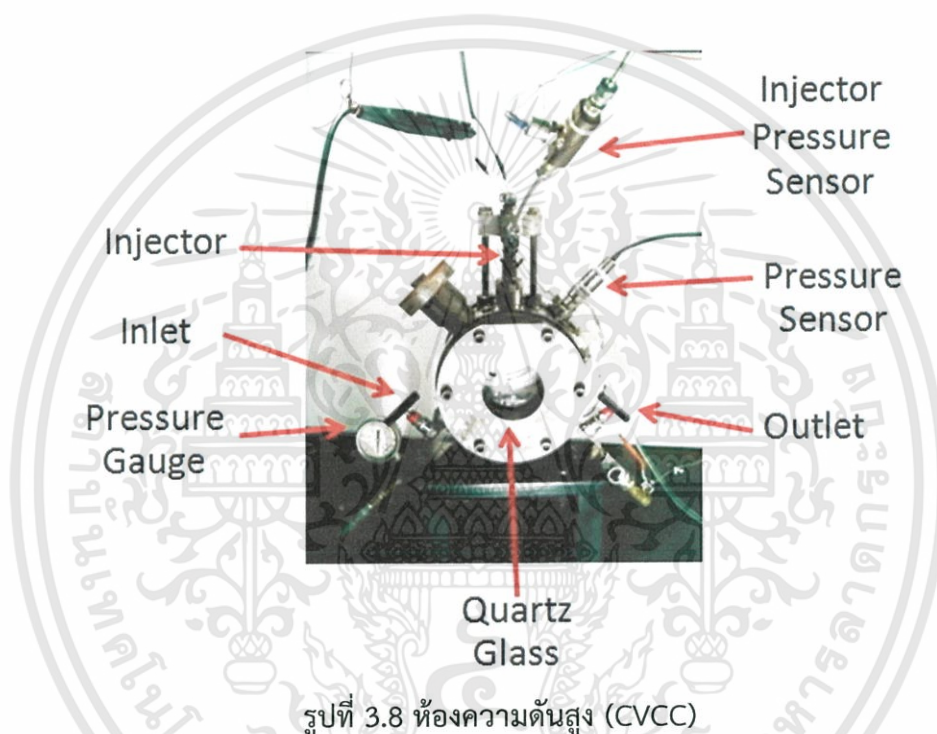
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 อุปกรณ์การทดลองศึกษาคุณลักษณะสเปรย์ของน้ำมันเชื้อเพลิง

3.3.1 ห้องความดันสูง

ห้องความดันสูง [8] เป็นห้องที่สามารถสังเกตคุณลักษณะสเปรย์ของน้ำมันเชื้อเพลิง โดยมีกระจกควอตซ์ที่ด้านข้างเพื่อสังเกตคุณลักษณะสเปรย์ของน้ำมันเชื้อเพลิง ภายในมีการติดตั้งหัวฉีด โดยห้องความดันสูงถูกใช้เพื่อจำลองความดันสูงเหมือนในห้องเผาไหม้เครื่องยนต์จริงสำหรับการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อศึกษาลักษณะของสเปรย์

ในงานวิจัยนี้ใช้ห้องความดันสูงที่ได้รับการออกแบบไว้ในปีการศึกษา 2554 โดยนักศึกษาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเรื่อง การออกแบบห้องความดันสูงสำหรับทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลแบบฉีดตรง



3.3.2 หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

ใช้หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบรางร่วม (Commonrail) ยี่ห้อ DENSO แบบรูเดียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 140 และ 200 ไมโครเมตรประกอบหัวฉีดเข้ากับท่อน้ำมันแรงดันสูง โดยติดตั้งสายน้ำมันเข้ากับหัวฉีดเพื่อเป็นทางออกของน้ำมันในกรณีแรงดันภายในหัวฉีดมากเกินไป



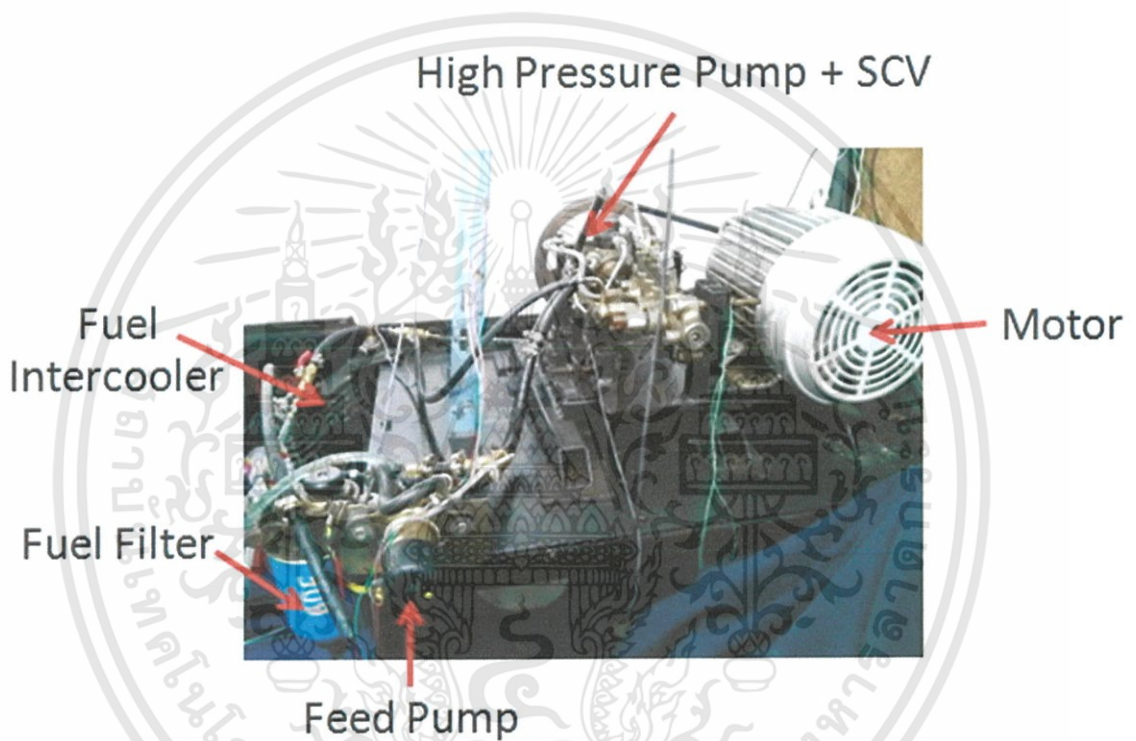
รูปที่ 3.9 หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 ระบบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบรางร่วม

เป็นระบบที่ใช้รางจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงตัวเดียวสำหรับทุกสูบ (Commonrail) และส่งน้ำมันเชื้อเพลิงความดันสูงไปยังหัวฉีดแล้วทำการฉีดด้วยสัญญาณจากชุดควบคุมเครื่องยนต์ (ECU) หัวฉีดมีหลายแบบแตกต่างกัน ส่วนใหญ่ทำงานโดยวิธีเก็บน้ำมันเชื้อเพลิงรอไว้หลังปลายหัวฉีดโดยมีลิ้นแบบเข็มปิดกั้นน้ำมันเชื้อเพลิงไว้ด้วยแรงสปริงหรือแรงแม่เหล็กไฟฟ้า หัวฉีดความดันต่ำ เมื่อเพิ่มความดันลิ้นจะถูกดันให้เปิดและปล่อยน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกฉีดทันทีที่โซลินอยด์ไฟฟ้าดึงลิ้นแบบเข็มถอยหลัง โดยควบคุมปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีดตามเวลา

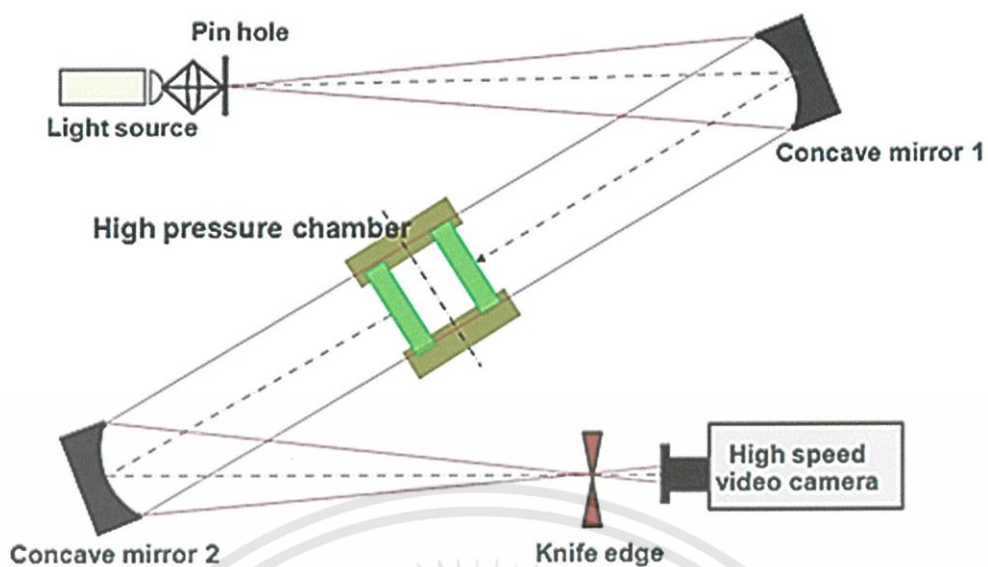
การทดลองนี้ใช้ระบบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบรางร่วมความดันสูง (ใช้รางร่วมของ ISUZU) ซึ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 5 แรงม้า ควบคุมด้วยอินเวอร์เตอร์



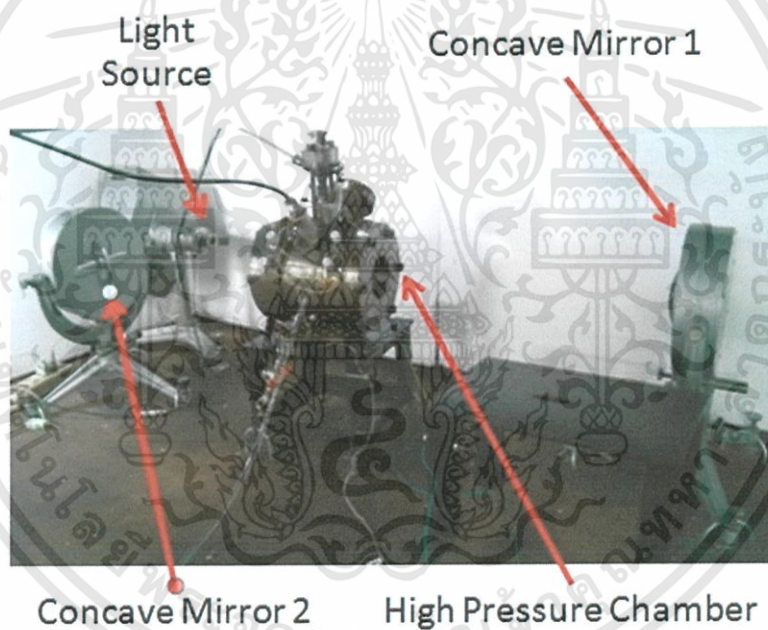
รูปที่ 3.10 ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม

3.3.4 อุปกรณ์บันทึกภาพ

ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการบันทึกภาพแบบชวริเรน (Schlieren) [4] ร่วมกับกล้องวิดีโอความเร็วสูง ซึ่งใช้ลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงกระจายผ่านกระจกโค้งได้ลำแสงที่ขนานกันเป็นเส้นตรงผ่านสเปร์รี่น้ำมันเชื้อเพลิงที่ต้องการบันทึกภาพ ความแตกต่างของแกรเดียนระหว่างความหนาแน่นของสเปร์รี่น้ำมันเชื้อเพลิงและลำน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่เท่ากัน ทำให้เกิดการหักเหของแสงทำให้เกิดภาพ กระจกโค้งตัวที่สองทำหน้าที่รวมแสงไปตัดที่จุดโฟกัสจากนั้นบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพความเร็วสูงยี่ห้อ Photron รุ่น SA730K-M2 ความเร็วในการบันทึกภาพ 10000 รูปต่อวินาทีที่ความเร็วชัดเตอร์ 1/70000 วินาที ขนาดภาพ 512x512 พิกเซล ส่งการทำงานด้วยสัญญาณควบคุม Digital out จากการ์ดควบคุม NI-6229



รูปที่ 3.11 แผนผังระบบบันทึกภาพแบบชูริเรน [5]



รูปที่ 3.12 ระบบถ่ายภาพแบบชูริเรน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 กล้องถ่ายภาพความเร็วสูงยี่ห้อ Photron รุ่น Fastcam SA7 Model30K-M2



รูปที่ 3.14 เลนส์ยี่ห้อ NIKKOR รุ่น 50 mm f1.4

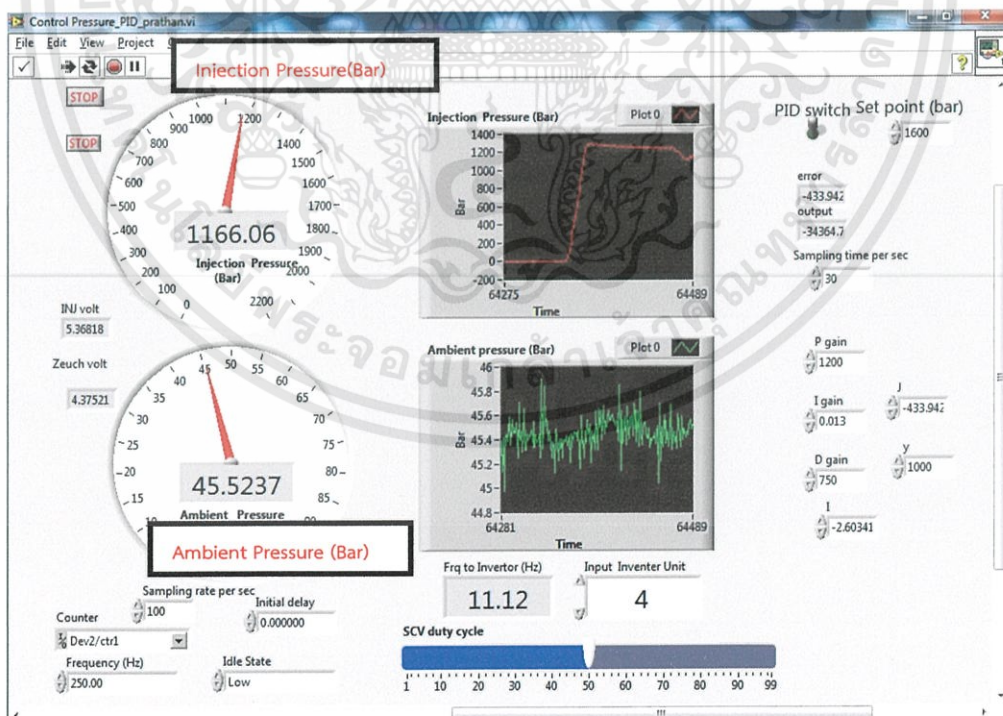
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 ตัวเพิ่มความยาวโฟกัสยี่ห้อ KENKO teleconverter รุ่น teleplus 1.4

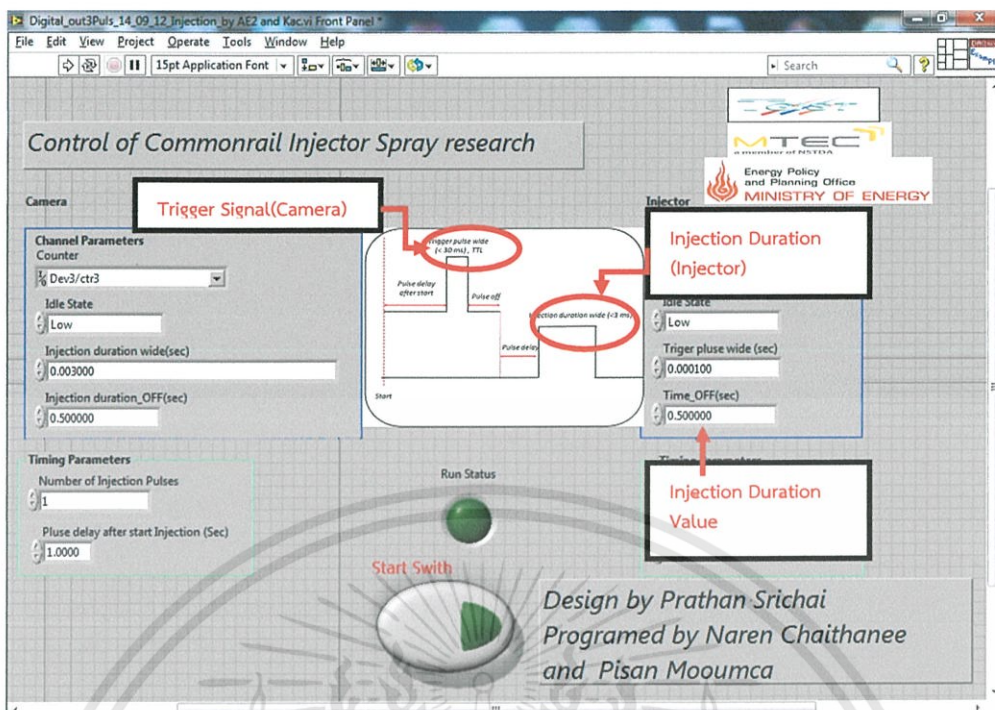
3.3.5 โปรแกรมควบคุม

โปรแกรมควบคุมการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและการถ่ายภาพ เขียนด้วยโปรแกรมแลปวิว (LabVIEW) โดยใช้สัญญาณวงจรรปิด (Close-loop) จากเซนเซอร์ความดัน เพื่อควบคุมความดันในระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม (Commonrail) โดยสามารถกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆของการทดลอง ได้แก่ ระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง (Injection Duration) และความดันในการฉีดเชื้อเพลิง (Injection Pressure) นอกจากนี้โปรแกรมยังแสดงค่าความดันเริ่มต้น (Ambient Pressure) ที่เกิดจากการอัดแก๊สไนโตรเจนเข้าสู่ความดันสูง



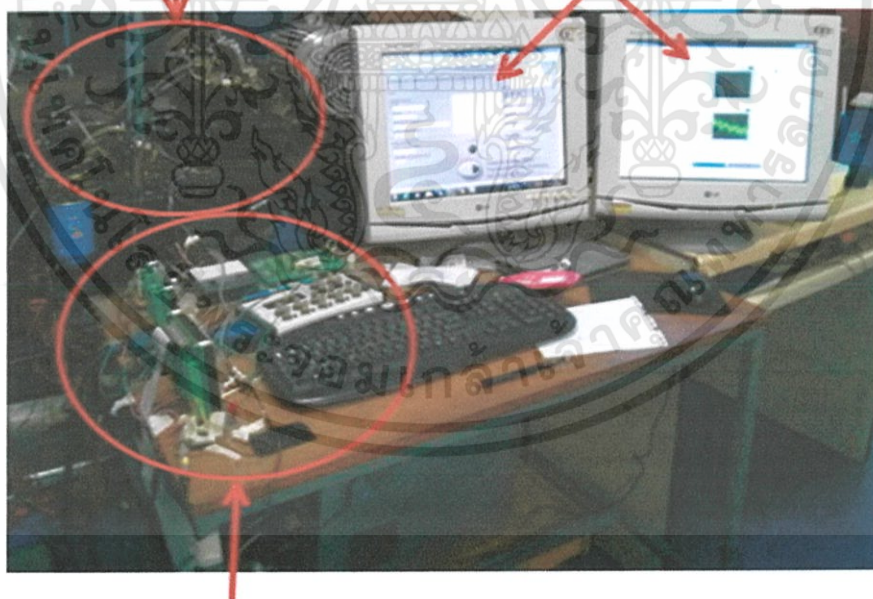
รูปที่ 3.16 โปรแกรมควบคุมความดันราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 โปรแกรมควบคุมการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง

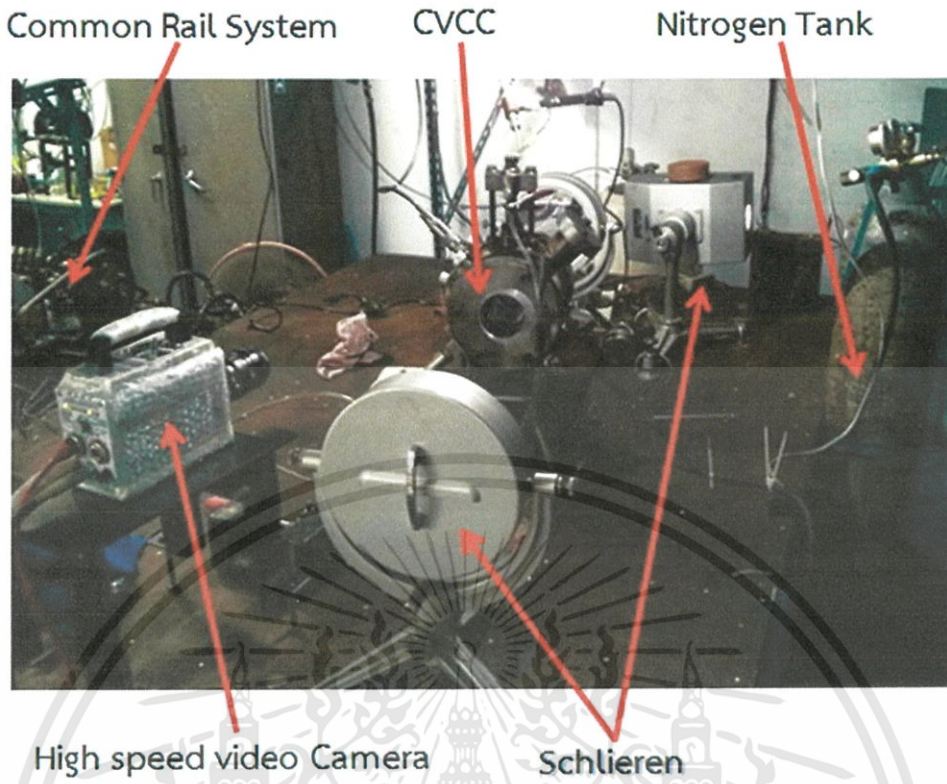
Common Rail System Injection Control Program (Labview)



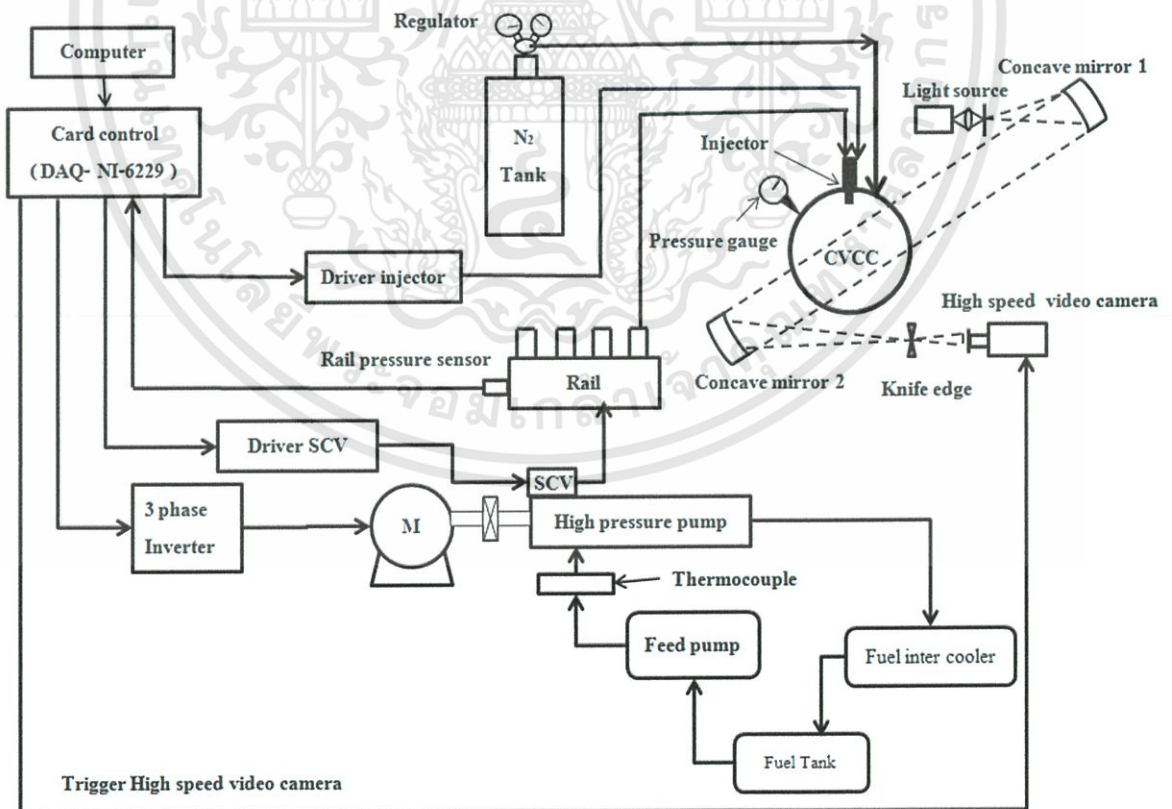
Injection Control Module

รูปที่ 3.18 ชุดอุปกรณ์ควบคุมการฉีดเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 ชุดอุปกรณ์อุปกรณ์บันทึกภาพและห้องความดันสูง



รูปที่ 3.20 แผนผังการทดลองโดยรวมของการศึกษาลักษณะของสเปรย์เชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนผังดังกล่าวประกอบด้วย 3 ระบบได้แก่

1. ระบบควบคุมการทำงานระหว่างกล้องถ่ายภาพความเร็วสูงและการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง
2. ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม (Commonrail)
3. ระบบถ่ายภาพแบบซูริเรนพร้อมกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง

ระบบควบคุมการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงประกอบไปด้วยคอมพิวเตอรืและการ์ดควบคุม ซึ่งจะส่งสัญญาณสั่งฉีดเชื้อเพลิงไปที่ไดร์เวอร์หัวฉีด (Driver Injector) เพื่อสั่งเริ่มการฉีดเชื้อเพลิง พร้อมทั้งส่งสัญญาณควบคุมปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกดูดจากปั๊มแรงดันสูง (High Pressure Pump) ไปที่ไดร์เวอร์วาล์วควบคุมปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง (Driver SCV) เพื่อสั่งการทำงานวาล์วควบคุมปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง (Suction Control Valve, SCV) และการ์ดควบคุมจะส่งสัญญาณสั่งการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสเพื่อสั่งการทำงานมอเตอร์เป็นต้นกำลังให้กับปั๊มแรงดันสูง (High Pressure Pump) สุดท้ายการ์ดควบคุมจะส่งสัญญาณสั่งการทำงานของกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง โดยมีสัญญาณความดันรางเป็นสัญญาณควบคุมของวงจรทั้งหมด

ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม (Commonrail) ประกอบด้วยมอเตอร์เป็นต้นกำลังให้กับปั๊มแรงดันสูงโดยมีสัญญาณควบคุม SCV ควบคุมการดูดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงไปยังรางร่วม เพื่อทำการฉีดน้ำมันเข้าสู่ห้องความดันสูง

ระบบถ่ายภาพแบบซูริเรนพร้อมกล้องถ่ายภาพความเร็วสูงประกอบด้วยชุดซูริเรนและกล้องถ่ายภาพความเร็วสูงโดยรับสัญญาณการสั่งการทำงานจากการ์ดควบคุม

สำหรับการสร้างความดันเริ่มต้น การทดลองนี้จะใช้แก๊สไนโตรเจนเพื่อสร้างความดันเนื่องจากอากาศประกอบไปด้วยแก๊สไนโตรเจนมากถึงร้อยละ 78

3.4 ขั้นตอนของการศึกษา

3.4.1 เงื่อนไขการศึกษา

ทำการศึกษาตามเงื่อนไขโดยการกำหนดความดันภายในราง ระยะเวลาในการฉีดและจำลองความดันในห้องความดันสูง ดังต่อไปนี้

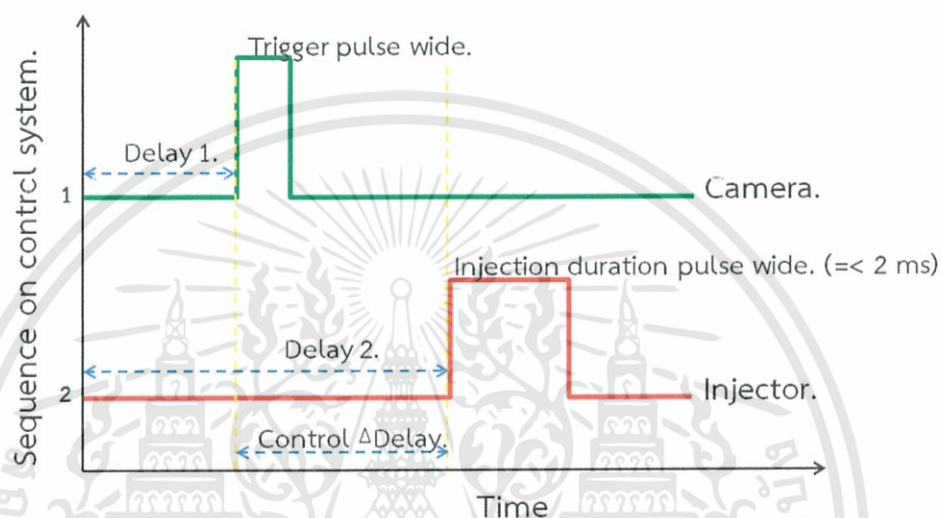
ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขในการศึกษา

เส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีด (ไมโครเมตร)	ความดันภายในห้องความดันสูง (บาร์)	ระยะเวลาในการฉีด (มิลลิวินาที)	ความดันภายในราง (บาร์)
200	45	1	1200
140	10	1	1200
140	19	1	1200
140	45	0.5	1200
140	45	1.5	1200
140	45	1	400
140	45	1	800
140	45	1	1200
140	45	1	1600

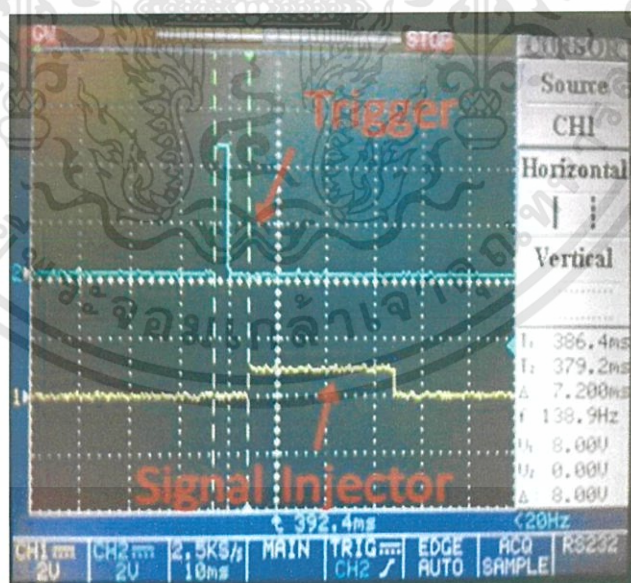
3.4.2 ขั้นตอนการศึกษา

1. เปิดระบบอุปกรณ์ทดลอง
2. ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคุมความดันรางของระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (400 800 1200 และ 1600 บาร์) และการถ่ายภาพด้วยโปรแกรมแลปวิว (LabVIEW) โดยจะมีการกำหนดขนาดของสัญญาณและระยะเวลาการหน่วงดังรูปที่ 3.21

Signal on experimental control



รูปที่ 3.21 ลักษณะสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมการทดลอง



รูปที่ 3.22 สัญญาณจริงที่วัดด้วยเครื่อง Oscilloscope

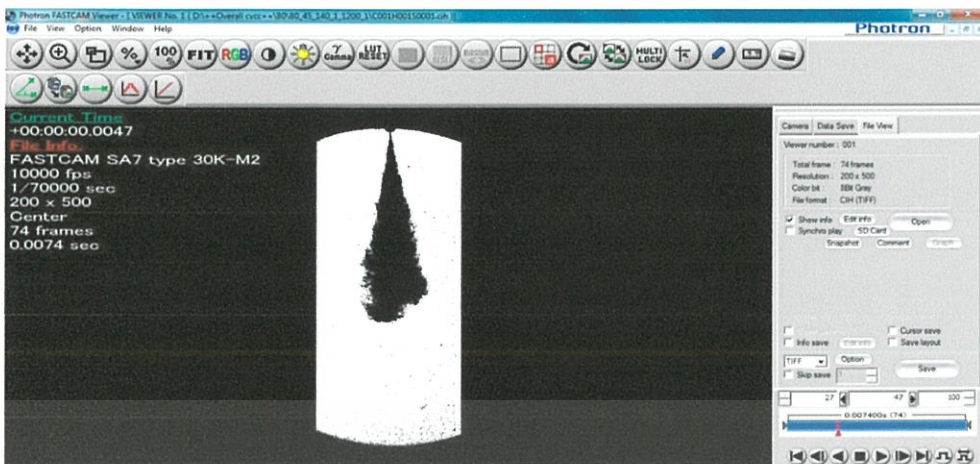
จากรูปที่ 3.22 สัญญาณขนาด 5 โวลต์ ระยะเวลาหน่วง (Control Delay) ต่างกัน 2 มิลลิวินาที เพื่อควบคุมให้การฉีดเชื้อเพลิงและการบันทึกภาพวิดีโอมีจุดเริ่มต้นการทำงานที่เท่ากัน จึงนับจุดดังกล่าวเป็นจุดเริ่มต้นของการฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

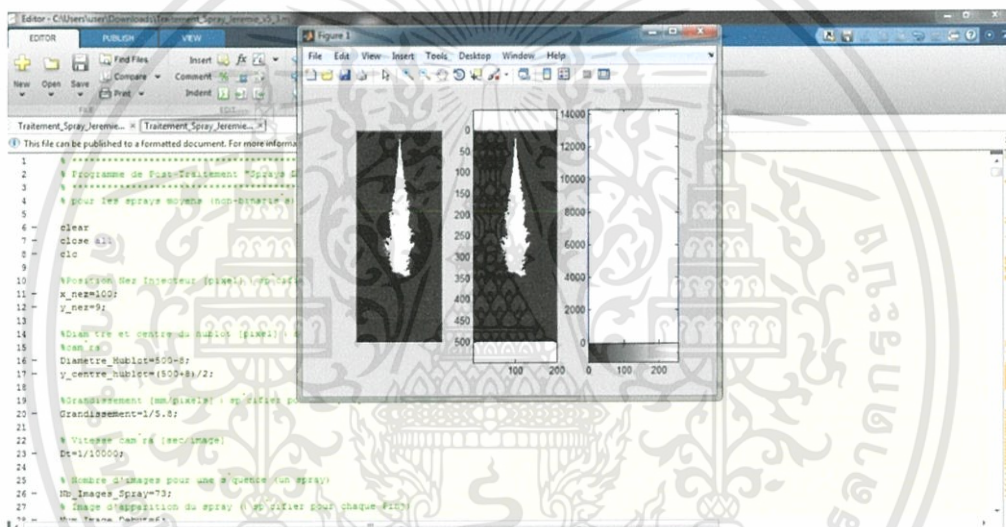
3. กำหนดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (0.5 1 และ 1.5 มิลลิวินาที)
4. เปิดวาล์วถังไนโตรเจนสร้างความดันเริ่มต้นภายในห้องความดันสูงโดยกำหนดความดันเริ่มต้นเป็น 10 19 และ 45 บาร์
5. ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่สภาวะทดลองต่างๆ
6. บันทึกภาพด้วยกล้องยี่ห้อ Photron รุ่น SA 7 30K-M2 Fastcam ด้วยเลนส์ยี่ห้อ NIKKOR รุ่น 50 mm f1.4 พร้อมตัวคูณเลนส์ยี่ห้อ KENKO teleconverter รุ่น teleplus 1.4 ด้วยความเร็วในการบันทึกภาพ 10000 รูปต่อวินาทีตั้งค่ากล้องโหมด Center Control สั่งการทำงานด้วยสัญญาณจากการ์ดควบคุม NI-6229
7. เปลี่ยนน้ำมันน้ำมันเชื้อเพลิง/หัวฉีดน้ำมันน้ำมันเชื้อเพลิง (140 และ 200 ไมโครเมตร)
8. ใช้โปรแกรม PFV เลือกช่วงของภาพที่มีการสเปรย์ถึงขอบล่างของห้องความดันสูงและกำหนดขนาดของภาพเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Matlab ได้ผลลัพธ์เป็นไฟล์ภาพ หลังจากนั้นทำการสอบเทียบกับความยาวห้องความดันสูงที่มีความยาว 80 มิลลิเมตรและทำการเลือกรูปที่อยู่ในช่วงเวลาการสเปรย์รวมทั้งลดขนาดรูปเหลือ 200x500 พิกเซล จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์ภาพถ่าย (Image Processing) โดยโปรแกรม Matlab ตามแผนผังการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 3.23 ตัวอย่างภาพสเปรย์ที่บันทึกได้



รูปที่ 3.24 ภาพสเปรย์ที่ถูกลดขนาดเหลือ 200x500 พิกเซล ด้วยโปรแกรม PFV



รูปที่ 3.25 หน้าต่างการทำงานของโปรแกรม Matlab

9. นำภาพไปประมวลผลด้วยโปรแกรม Matlab โดยกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆให้ครบถ้วนได้ผลลัพธ์คือมุมและความยาวของสเปรย์ในรูปแบบไฟล์เอ็กเซล (Excel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 แผนผังการทำงานของโปรแกรม Matlab



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

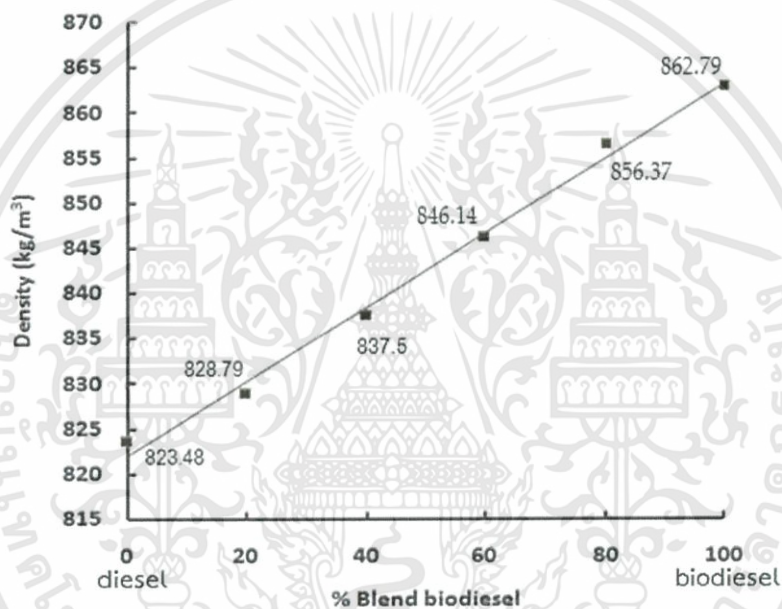
บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถแบ่งผลการทดลองนั้นแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ คุณสมบัติของเชื้อเพลิงและคุณลักษณะของสเปรย์เชื้อเพลิง

4.1 ผลการทดลองของคุณสมบัติเชื้อเพลิง

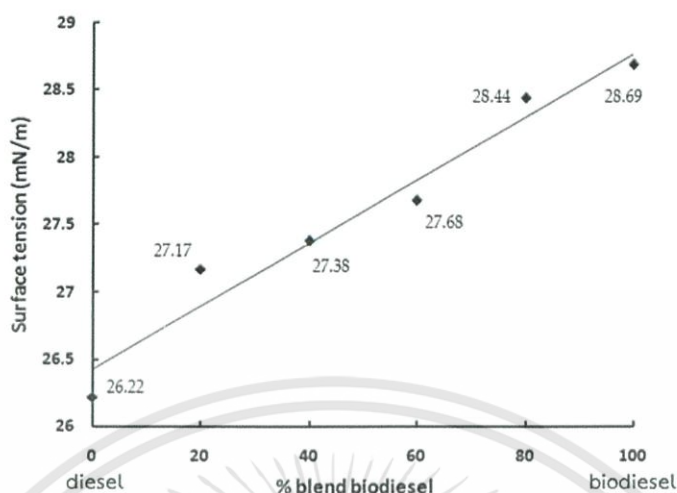
4.1.1 ผลการทดลองหาค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความหนาแน่นของเชื้อเพลิง ทดสอบโดยใช้มาตรฐาน ASTM D4052

จากการทดลองหาค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆพบว่า ยิ่งเชื้อเพลิงมีอัตราส่วนของไบโอดีเซลมากขึ้นจะทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากในเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าดีเซล โดยร้อยละความแตกต่างของค่าความหนาแน่นระหว่าง B0 กับ B20 คือ 0.64%, ระหว่าง B20 กับ B40 คือ 1.05%, ระหว่าง B40 กับ B60 คือ 1.03%, ระหว่าง B60 กับ B80 คือ 1.21%, ระหว่าง B80 กับ B100 คือ 0.75% และระหว่าง B0 กับ B100 คือ 4.77%

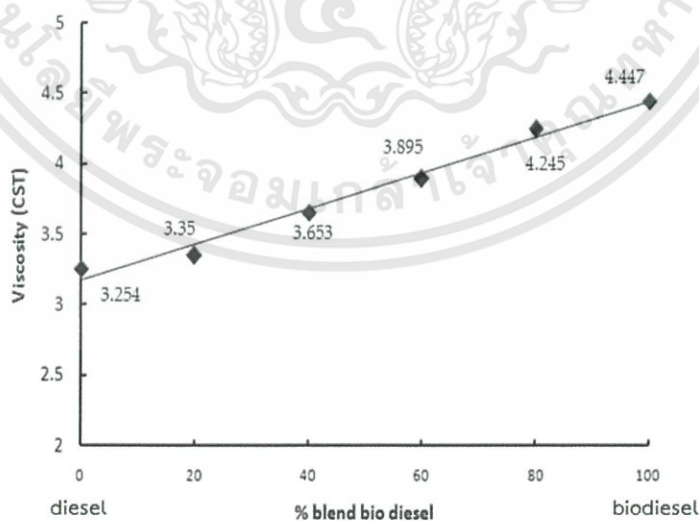
4.1.2 ผลการทดลองหาค่าแรงตึงผิวของเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.2 กราฟแรงตึงผิวของเชื้อเพลิง ทดสอบโดยใช้มาตรฐาน ASTM D1331

จากการทดลองหาค่าแรงตึงผิวของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆพบว่า ยิ่งเชื้อเพลิงมีอัตราส่วนของไบโอดีเซลมากขึ้นจะทำให้ค่าแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น เนื่องจากในเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีแรงระหว่างโมเลกุลมากกว่าดีเซล โดยร้อยละความแตกต่างของค่าแรงตึงผิวระหว่าง B0 กับ B20 คือ 3.62%, ระหว่าง B20 กับ B40 คือ 0.77%, ระหว่าง B40 กับ B60 คือ 1.1%, ระหว่าง B60 กับ B80 คือ 2.75%, ระหว่าง B80 กับ B100 คือ 0.88% และระหว่าง B0 กับ B100 คือ 9.42%

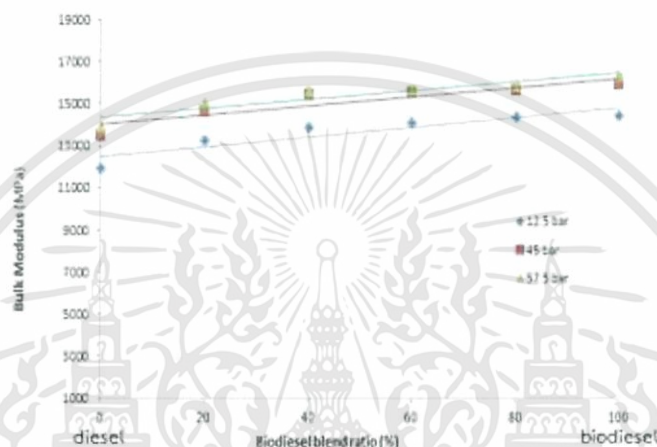
4.1.3 ผลการทดลองหาค่าความหนืดจลน์ของเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความหนืดจลน์ของเชื้อเพลิงชนิดต่าง ทดสอบโดยใช้มาตรฐาน ASTM D 445

จากการทดลองหาค่าความหนืดจลน์ของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆพบว่า ยิ่งเชื้อเพลิงมีอัตราส่วนของไบโอดีเซลมากขึ้นจะทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากในเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าดีเซล โดยร้อยละความแตกต่างของค่าความหนืดระหว่าง B0 กับ B20 คือ 2.95%, ระหว่าง B20 กับ B40 คือ 9.04%, ระหว่าง B40 กับ B60 คือ 6.62%, ระหว่าง B60 กับ B80 คือ 8.98%, ระหว่าง B80 กับ B100 คือ 4.76% และระหว่าง B0 กับ B100 คือ 36.66%

4.1.4 ผลการทดลองหาค่ามอดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่ามอดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

จากการทดลองหาค่ามอดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆพบว่า ยิ่งเชื้อเพลิงมีอัตราส่วนของไบโอดีเซลมากขึ้นจะทำให้ค่ามอดูลัสการอัดตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากในเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีความหนาแน่นมากกว่าดีเซล และเมื่อเพิ่มความดันค่ามอดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิงก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

ที่ความดัน 12.5 บาร์ ร้อยละความแตกต่างของค่ามอดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิงระหว่าง B0 กับ B20 คือ 13.67%, ระหว่าง B20 กับ B40 คือ 0.91%, ระหว่าง B40 กับ B60 คือ 1.2%, ระหว่าง B60 กับ B80 คือ 1.09%, ระหว่าง B80 กับ B100 คือ 0.98% และระหว่าง B0 กับ B100 คือ 20.76%

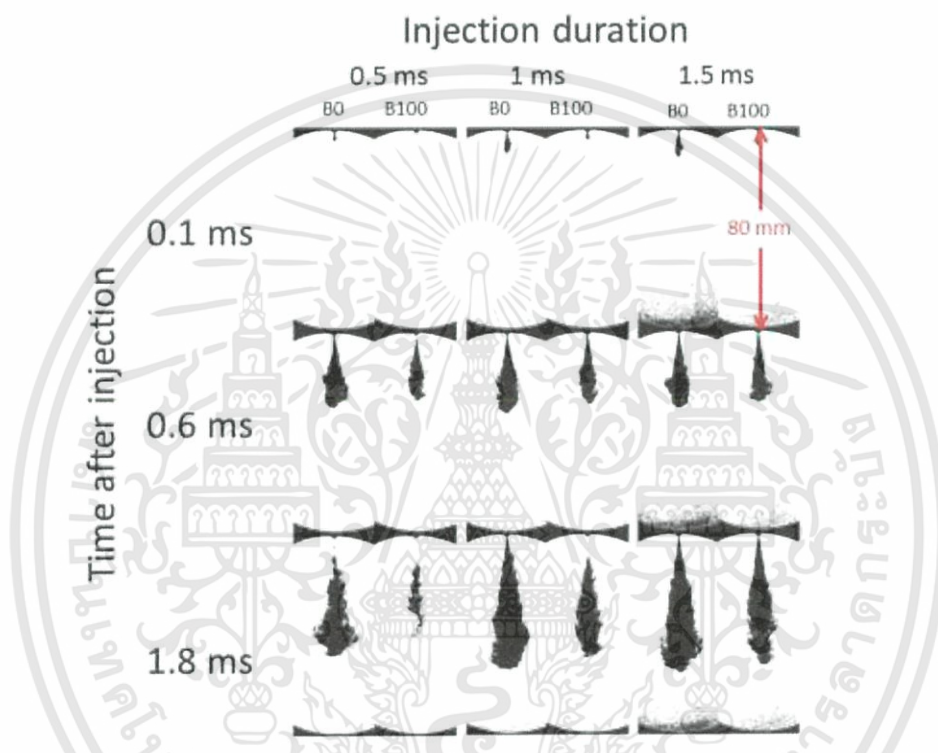
ที่ความดัน 45 บาร์ ร้อยละความแตกต่างของค่ามอดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิงระหว่าง B0 กับ B20 คือ 8.35%, ระหว่าง B20 กับ B40 คือ 4.55%, ระหว่าง B40 กับ B60 คือ 0.27%, ระหว่าง B60 กับ B80 คือ 1.99%, ระหว่าง B80 กับ B100 คือ 0.44% และระหว่าง B0 กับ B100 คือ 16.35%

ที่ความดัน 57.5 บาร์ ร้อยละความแตกต่างของค่ามอดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิงระหว่าง B0 กับ B20 คือ 8.29%, ระหว่าง B20 กับ B40 คือ 4.07%, ระหว่าง B40 กับ B60 คือ 0.98%, ระหว่าง B60 กับ B80 คือ 0.09%, ระหว่าง B80 กับ B100 คือ 3.34% และระหว่าง B0 กับ B100 คือ 17.96%

4.2 ผลของการศึกษาคุณลักษณะของสเปรย์

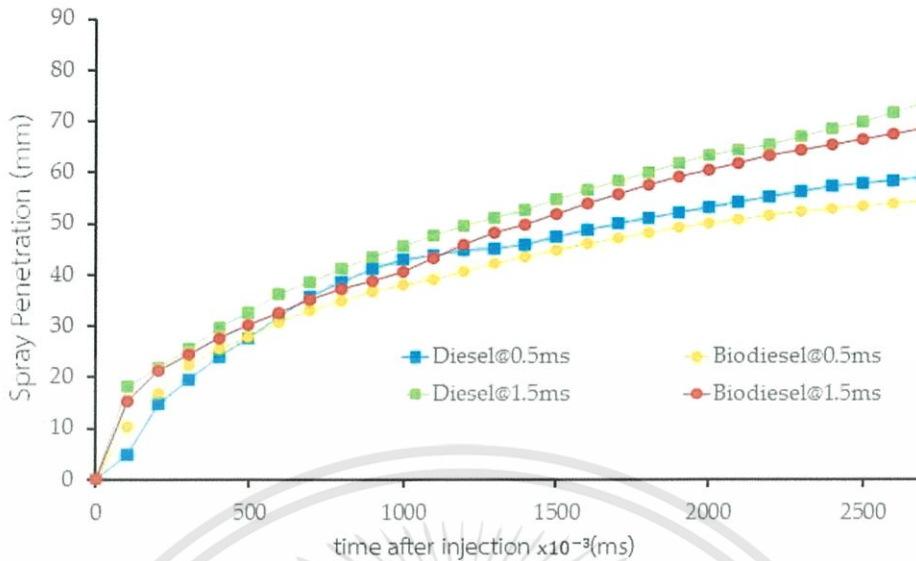
จากการศึกษาคุณลักษณะของสเปรย์เชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลในระดับหัวฉีดความดันสูงแบบรวม แบ่งผลการทดลองเป็น 4 ส่วนคือ การเปรียบเทียบระยะเวลาในการฉีด เปรียบเทียบความดันในการฉีด เปรียบเทียบความดันภายในห้องความดันสูง และเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวฉีด

4.2.1 ผลของการทดสอบที่ระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงต่างกัน



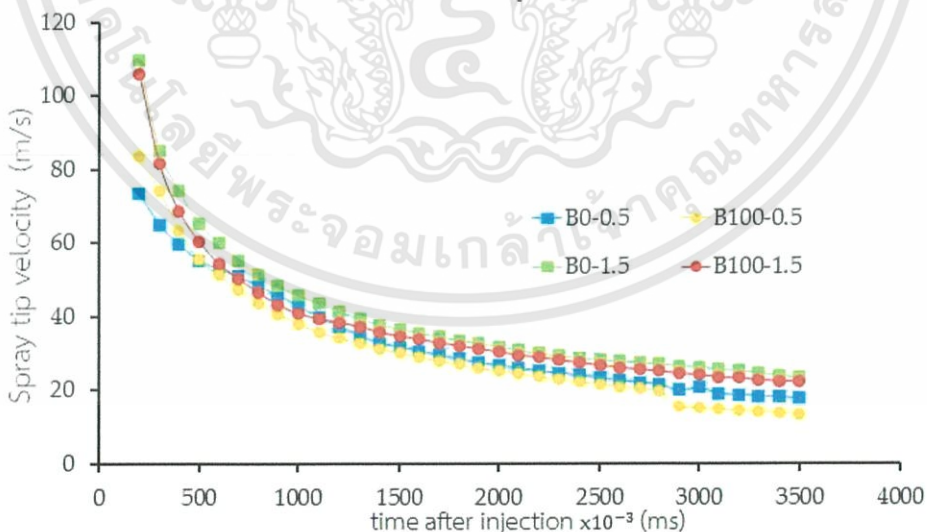
รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายของสเปรย์เมื่อเปลี่ยนค่าระยะเวลาในการฉีด ที่ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร

จากการศึกษาพบว่าที่ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร โดยเปลี่ยนระยะเวลาในการฉีดจาก 0.5 มิลลิวินาที 1 มิลลิวินาที และ 1.5 มิลลิวินาที ความยาวสเปรย์ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจะสั้นกว่าดีเซล เนื่องจากค่ามอดูลัสการอัดตัวและค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมากกว่าดีเซล องศาของสเปรย์ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจะแคบกว่าดีเซลเนื่องจากค่าแรงตึงผิวของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมากกว่าดีเซล

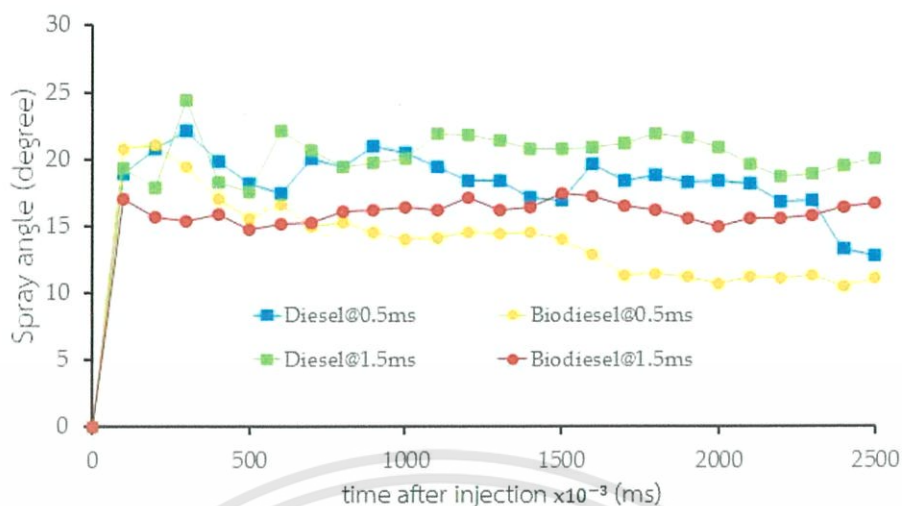


รูปที่ 4.6 กราฟความยาวสเปรย์ที่ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร

ที่ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงจาก 0.5 มิลลิวินาที เป็น 1.5 มิลลิวินาที ความยาวของสเปรย์จะยาวขึ้นเนื่องจากปริมาณเชื้อเพลิงที่ออกมาจะเพิ่มขึ้น และจากค่าความยาวของสเปรย์เราสามารถนำมาคำนวณหาความเร็ว ณ จุดที่ปลายของสเปรย์ได้ผลดังรูปที่ 4.7

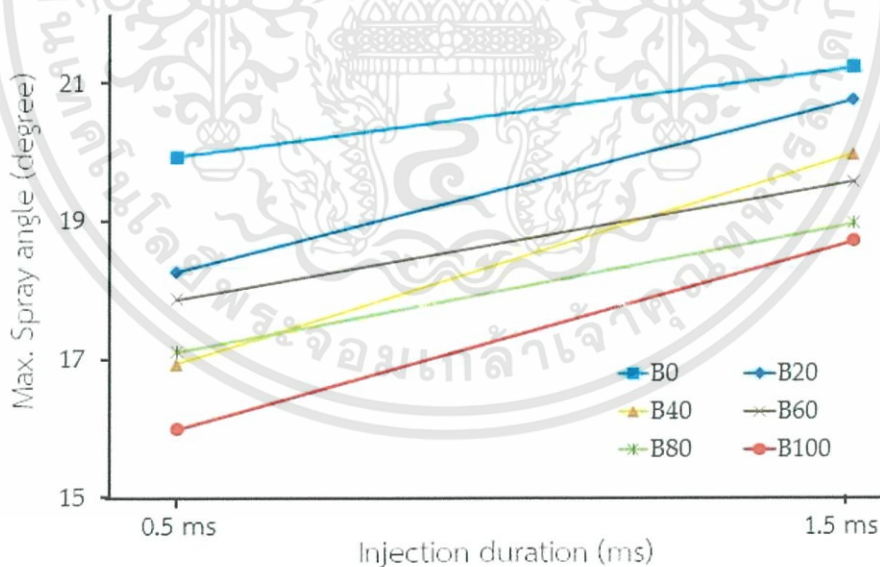


รูปที่ 4.7 กราฟความเร็ว ณ จุดที่ปลายของสเปรย์ที่ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.8 กราฟองศาการสเปรย์ที่ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร

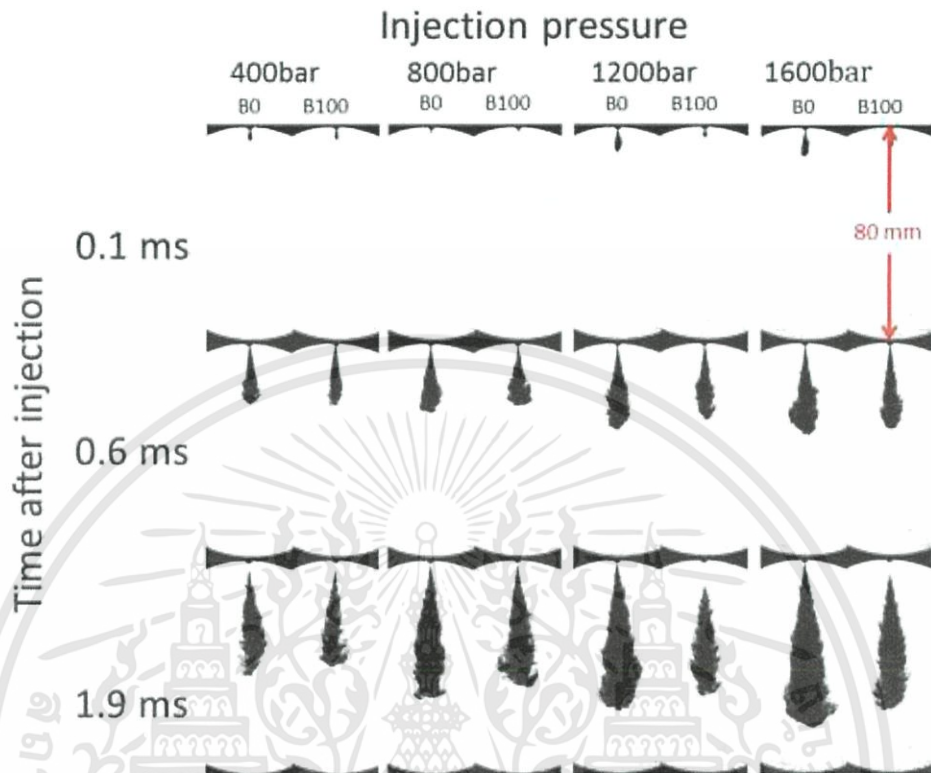
ที่ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงจาก 0.5 มิลลิวินาที เป็น 1.5 มิลลิวินาที องศาของสเปรย์จะกว้างขึ้นเนื่องจากปริมาณเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น จากรูปที่ 4.8 พบว่าในช่วงแรกค่าองศาของสเปรย์จะมีความผันผวน แต่หลังจากระยะเวลา 0.5 มิลลิวินาที ค่าองศาของสเปรย์จะมีความคงที่มากขึ้น จึงสามารถนำมาหาค่าองศาการสเปรย์ที่สูงที่สุดได้ ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 กราฟองศาการสเปรย์ที่มากที่สุดของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร

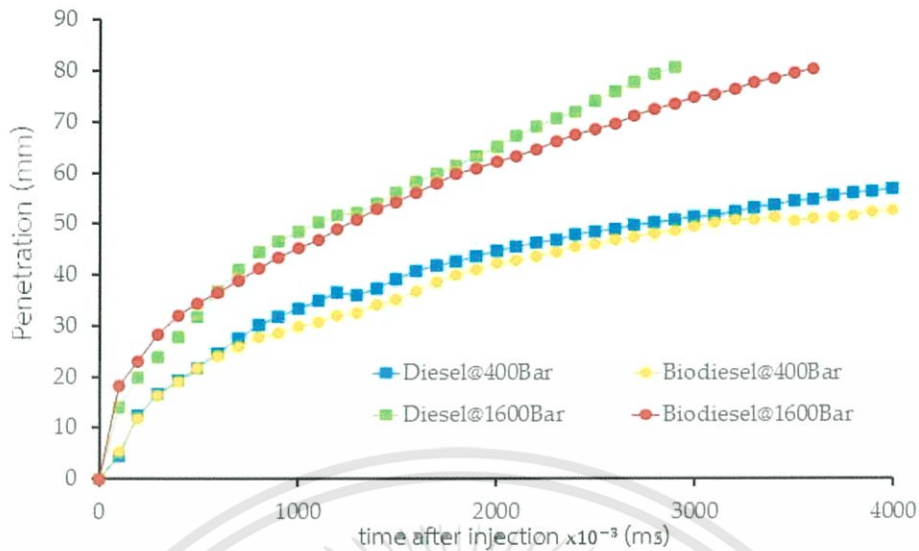
จากรูปที่ 4.9 พบว่าเชื้อเพลิงดีเซลจะมีค่าองศาการสเปรย์ที่มากที่สุดสูงกว่าไบโอดีเซล และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง ค่าองศาการสเปรย์ที่มากที่สุดก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

4.2.2 ผลของการทดสอบที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิงต่างกัน



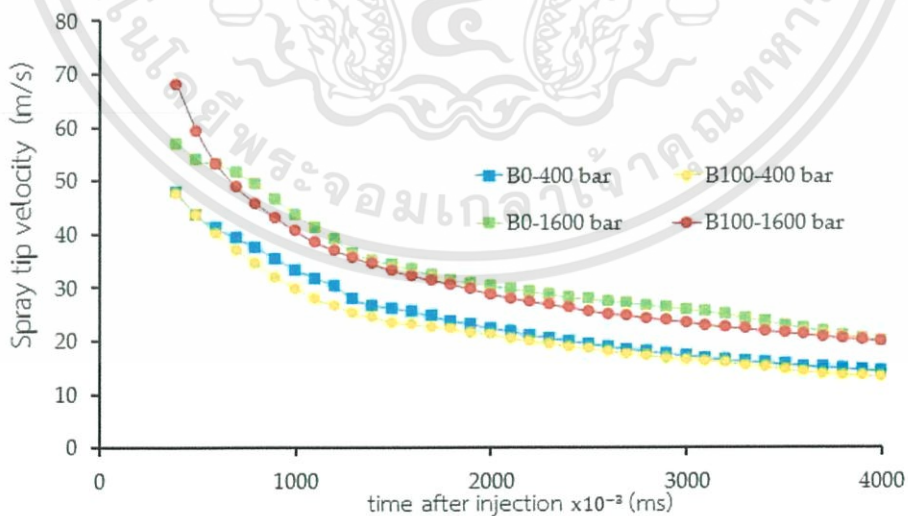
รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายของสเปรย์เมื่อเปลี่ยนค่าความดันในการฉีด ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร

จากการศึกษาพบว่าที่ระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง 1 มิลลิวินาที ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร โดยเปลี่ยนความดันในการฉีดจาก 400 บาร์ 800 บาร์ 1200 บาร์ และ 1600 บาร์ ความยาวสเปรย์ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจะสั้นกว่าดีเซลเนื่องจากค่ามอดูลัสการอัดตัวและค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมากกว่าดีเซล องศาของสเปรย์ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจะแคบกว่าดีเซลเนื่องจากค่าแรงตึงผิวของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมากกว่าดีเซล

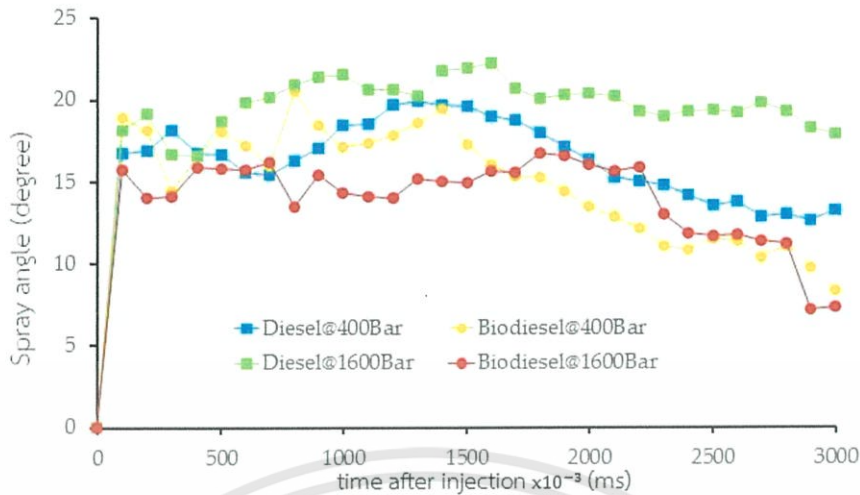


รูปที่ 4.11 กราฟความยาวสเปรย์ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร

ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร เมื่อเพิ่มความดันในการฉีดเชื้อเพลิงจาก 400 บาร์ เป็น 1600 บาร์ ความยาวของสเปรย์จะยาวขึ้นสืบเนื่องมาจากสมการของแบร์นูลลีเมื่อผลต่างของความดันมากขึ้นค่าความเร็วจะมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นที่ระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงที่เท่ากันเชื้อเพลิงที่มีผลต่างของความดันมากปริมาณของเชื้อเพลิงที่ฉีดออกมาจะมากกว่า และจากค่าความยาวของสเปรย์เราสามารถนำมาคำนวณหาความเร็ว ณ จุดที่ปลายของสเปรย์ได้ผลดังรูปที่ 4.12

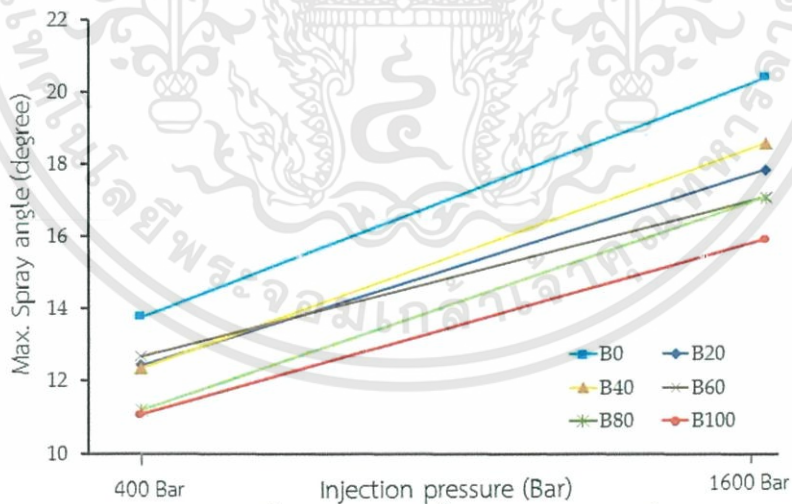


รูปที่ 4.12 กราฟความเร็ว ณ จุดที่ปลายของสเปรย์ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.13 กราฟองศาสเปรย์ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร

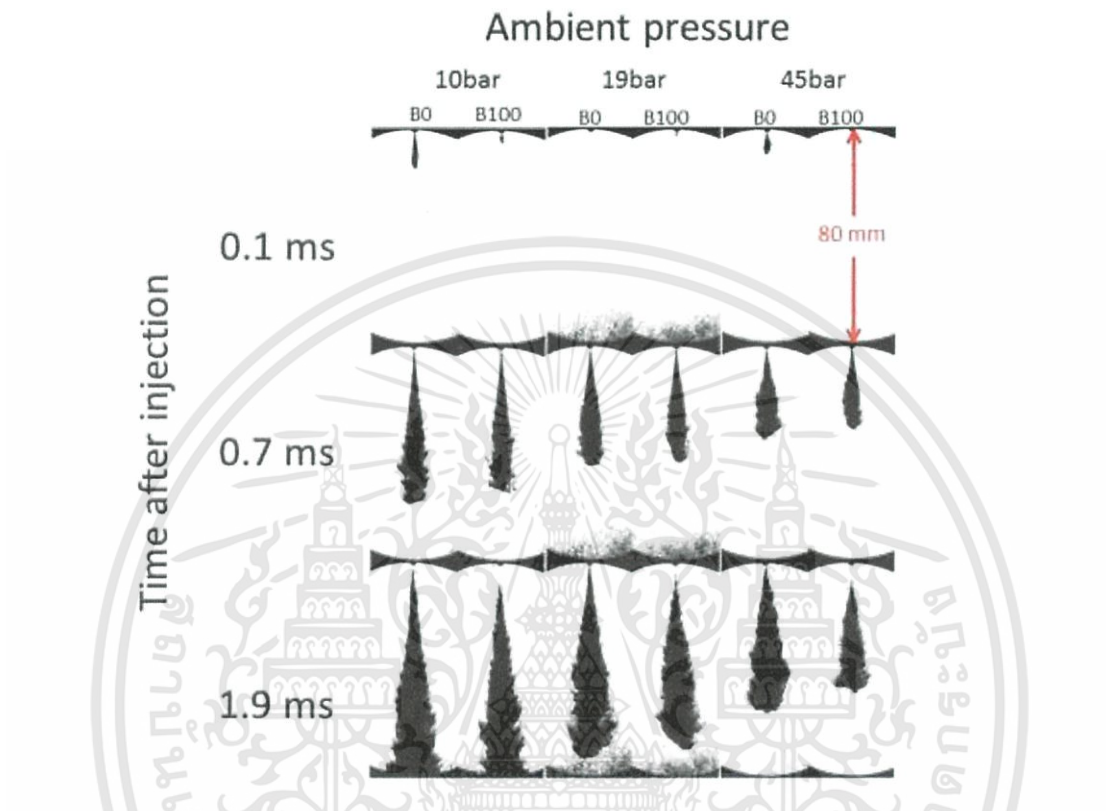
ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร เมื่อเพิ่มความดันในการฉีดเชื้อเพลิงจาก 400 บาร์ เป็น 1600 บาร์ องศาของสเปรย์จะกว้างขึ้นเนื่องจากเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดออกมาจะมีขนาดเล็กลงเมื่อเพิ่มความดันในการฉีด การกระจายตัวจึงทำได้ดี จากรูปที่ 4.13 พบว่าในช่วงแรกค่าองศาของสเปรย์จะมีความผันผวน แต่หลังจากระยะเวลา 1 มิลลิวินาที ค่าองศาของสเปรย์จะมีความคงที่มากขึ้น จึงสามารถนำมาหาค่าองศาสเปรย์ที่สูงที่สุดได้ ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 กราฟองศาสเปรย์ที่มากที่สุดของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาทีความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร

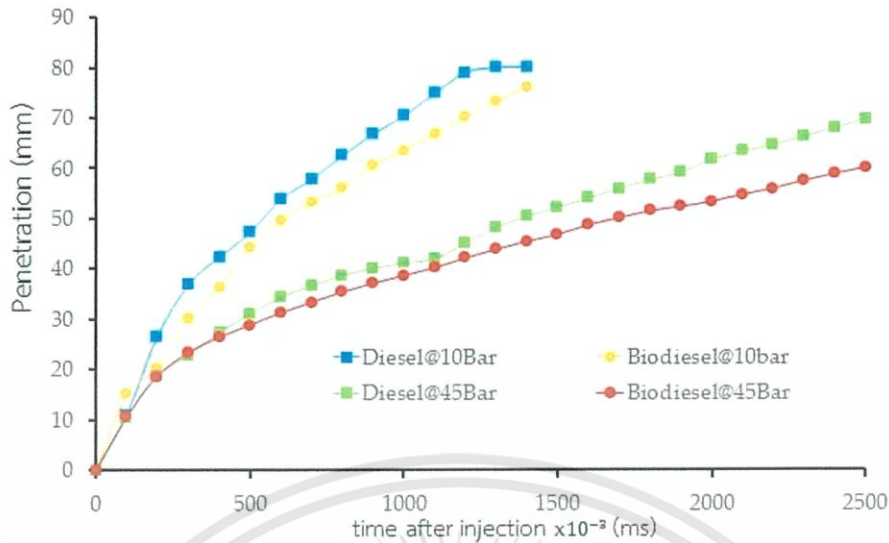
จากรูปที่ 4.14 พบว่าเชื้อเพลิงดีเซลจะมีค่าองศาสเปรย์ที่มากที่สุดสูงกว่าไบโอดีเซล และเมื่อเพิ่มความดันในการฉีดเชื้อเพลิง ค่าองศาสเปรย์ที่มากที่สุดก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

4.2.3 ผลของการทดสอบที่ความดันภายในห้องความดันสูงต่างกัน



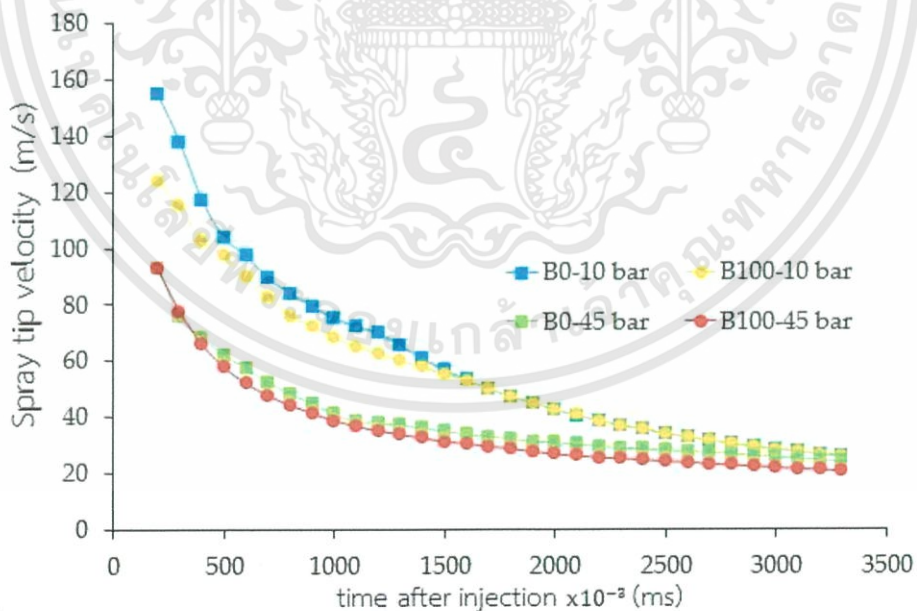
รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายของสเปรย์เมื่อเปลี่ยนค่าความดันภายในห้องความดันสูง ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร

จากการศึกษาพบว่าที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร โดยเปลี่ยนความดันในห้องความดันสูงจาก 10 บาร์ 19 บาร์ และ 45 บาร์ ความยาวสเปรย์ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจะสั้นกว่าดีเซลเนื่องจากค่ามอดูลัสการอัดตัวและค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมากกว่าดีเซล องศาของสเปรย์ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจะแคบกว่าดีเซลเนื่องจากค่าแรงตึงผิวของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมากกว่าดีเซล

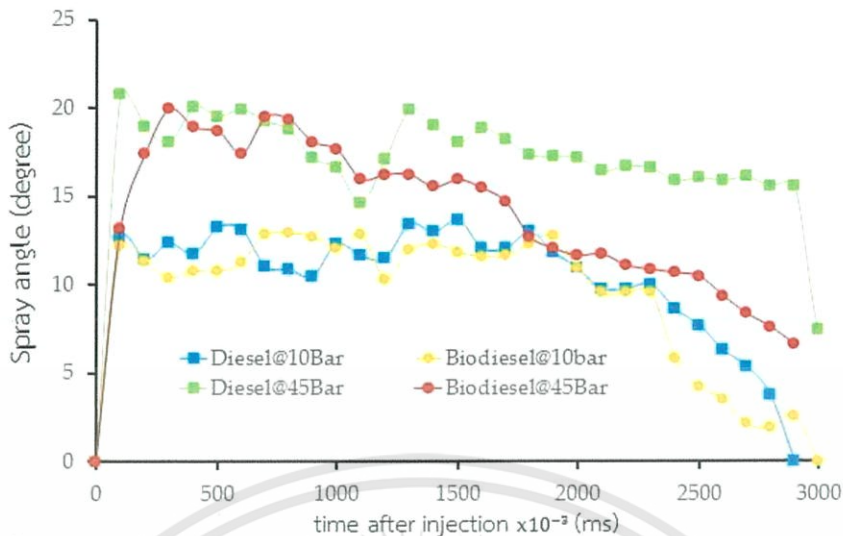


รูปที่ 4.16 กราฟความยาวสเปรย์ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร

ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร โดยเปลี่ยนความดันในห้องความดันสูงจาก 10 บาร์ เป็น 45 บาร์ ความยาวของสเปรย์จะสั้นลงเนื่องจากสเปรย์เชื้อเพลิงจะออกจากหัวฉีดยากขึ้น และจากค่าความยาวของสเปรย์เราสามารถนำมาคำนวณหาค่าความเร็ว ณ จุดที่ปลายของสเปรย์ได้ผลดังรูปที่ 4.17

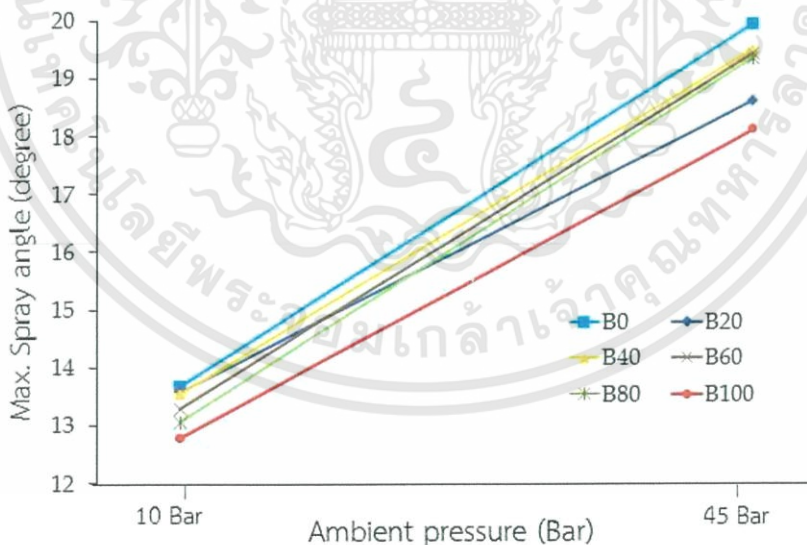


รูปที่ 4.17 กราฟความเร็ว ณ จุดที่ปลายของสเปรย์ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.18 กราฟองศาสเปรย์ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร

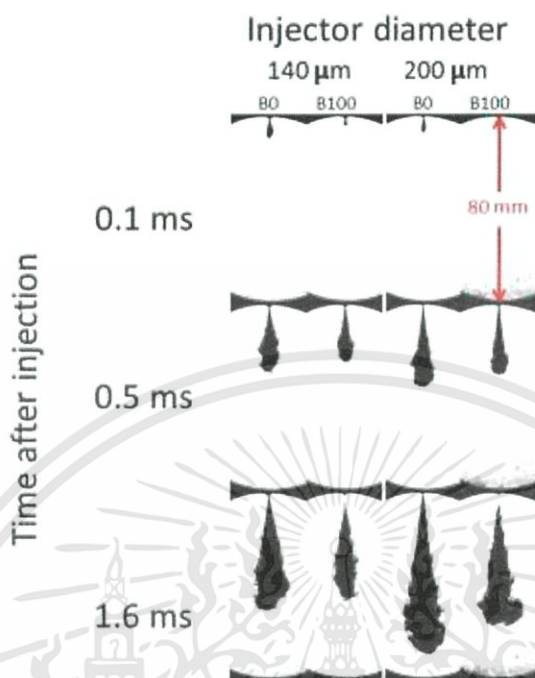
ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร โดยเปลี่ยนความดันในห้องความดันสูงจาก 10 บาร์ เป็น 45 บาร์ องศาของสเปรย์จะกว้างขึ้นเนื่องจากสเปรย์จะกระจายตัวออกในด้านกว้างได้ดีขึ้น จากรูปที่ 4.18 พบว่าในช่วงแรกค่าองศาของสเปรย์จะมีความผันผวน แต่หลังจากระยะเวลา 1 มิลลิวินาที ค่าองศาของสเปรย์จะมีความคงที่มากขึ้น จึงสามารถนำมาหาค่าองศาสเปรย์ที่สูงที่สุดได้ ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 กราฟองศาสเปรย์ที่มากที่สุดของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร

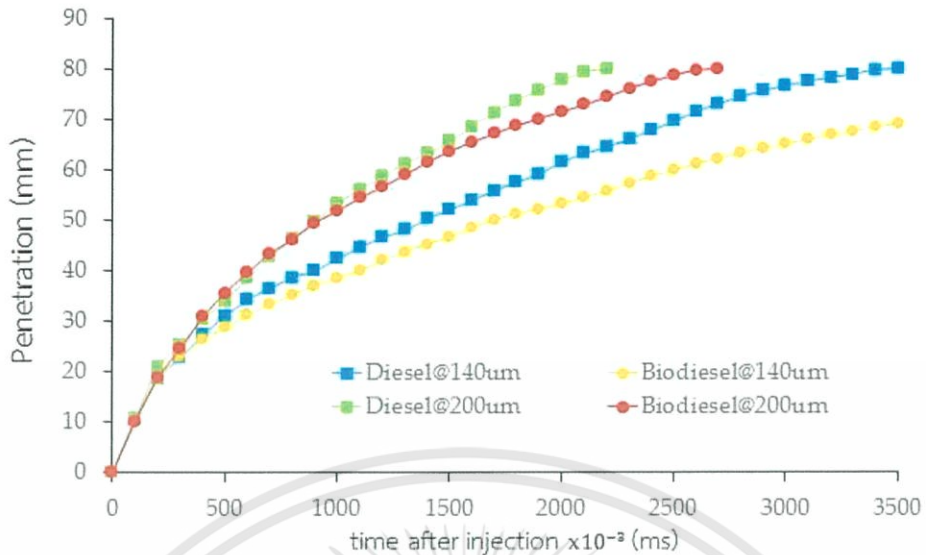
จากรูปที่ 4.19 พบว่าเชื้อเพลิงดีเซลจะมีค่าองศาสเปรย์ที่มากที่สุดสูงกว่าไบโอดีเซล และเมื่อเพิ่มความดันในห้องความดันสูง ค่าองศาสเปรย์ที่มากที่สุดก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

4.2.4 ผลของการทดสอบที่ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีดต่างกัน



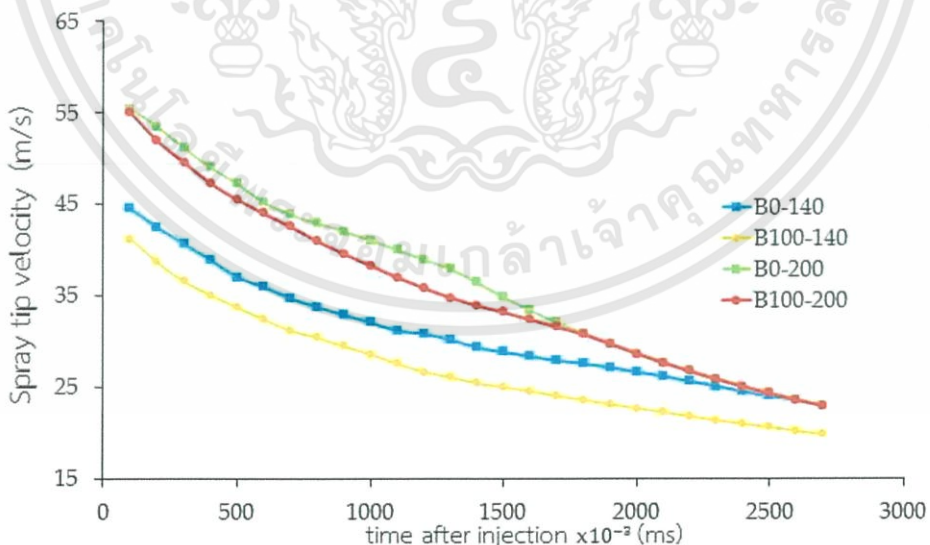
รูปที่ 4.20 ภาพถ่ายของสเปรย์เมื่อเปลี่ยนขนาดของรูหัวฉีดที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์

จากการศึกษาพบว่าที่ระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ โดยเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร และ 200 ไมโครเมตร ความยาวสเปรย์ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจะสั้นกว่าดีเซลเนื่องจากค่ามอดูลัสการอัดตัวและค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมากกว่าดีเซล องศาของสเปรย์ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจะแคบกว่าดีเซลเนื่องจากค่าแรงตึงผิวของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมากกว่าดีเซล

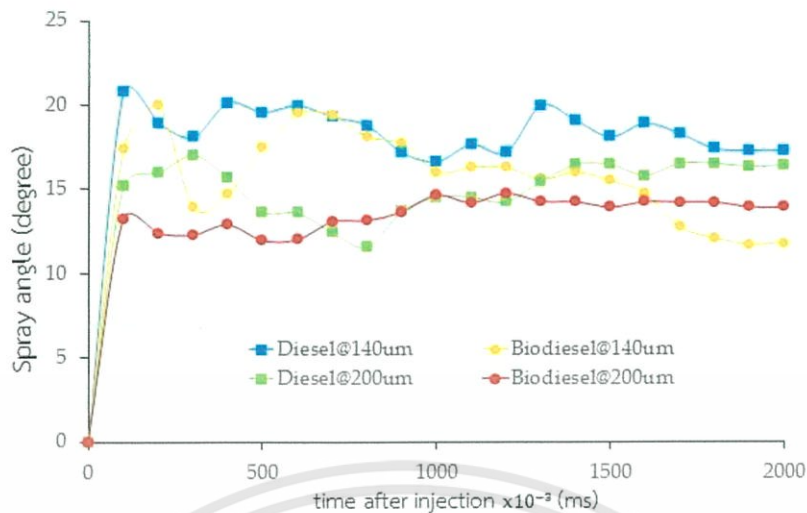


รูปที่ 4.21 กราฟความยาวสเปรย์ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์

ที่ระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ โดยเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร และ 200 ไมโครเมตร ความยาวของสเปรย์จะยาวขึ้นเนื่องจากปริมาณของเชื้อเพลิงที่ฉีดออกมาจะมากกว่า และจากค่าความยาวของสเปรย์เราสามารถนำมาคำนวณหาค่าความเร็ว ณ จุดที่ปลายของสเปรย์ได้ผลดังรูปที่ 4.22

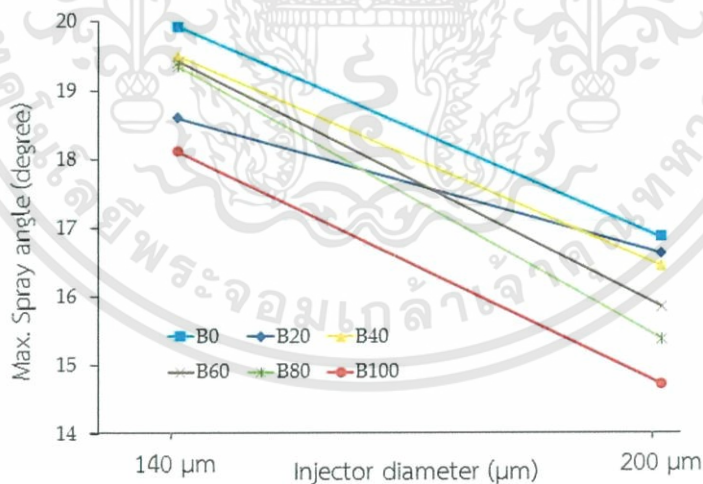


รูปที่ 4.22 กราฟความเร็ว ณ จุดที่ปลายของสเปรย์ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์



รูปที่ 4.23 กราฟองศาสเปรย์ที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์

ที่ระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์ โดยเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 140 ไมโครเมตร และ 200 ไมโครเมตร ความยาวของสเปรย์จะแคบลงเนื่องจากเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดออกมาจะมีขนาดใหญ่ขึ้น การกระจายตัวจึงทำไม่ได้ดี จากรูปที่ 4.23 พบว่าในช่วงแรกค่าองศาของสเปรย์จะมีความผันผวน แต่หลังจากระยะเวลา 0.5 มิลลิวินาที ค่าองศาของสเปรย์จะมีความคงที่มากขึ้น จึงสามารถนำมาหาค่าองศาสเปรย์ที่สูงที่สุดได้ ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 กราฟองศาสเปรย์ที่มากที่สุดของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่ระยะเวลาในการฉีด 1 มิลลิวินาที ความดันในการฉีด 1200 บาร์ ความดันภายในห้องความดันสูง 45 บาร์

จากรูปที่ 4.24 พบว่าเชื้อเพลิงดีเซลจะมีค่าองศาสเปรย์ที่มากที่สุดสูงกว่าไบโอดีเซล และเมื่อเพิ่มขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวฉีด ค่าองศาสเปรย์ที่มากที่สุดก็จะลดลง

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการทดลองสามารถแบ่งผลการทดลองออกเป็น 2 ส่วนคือผลการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงและผลการศึกษาคุณลักษณะของสเปร์ย์

5.1.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิง

จากการศึกษาพบว่า ร้อยละของไบโอดีเซลในเชื้อเพลิงมีผลต่อค่าความหนาแน่น ค่าแรงตึงผิว ค่าความหนืดจลน์ และค่ามอดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิง เมื่อเชื้อเพลิงมีร้อยละของไบโอดีเซลมากจะมีค่าความหนาแน่น ค่าแรงตึงผิว ค่าความหนืดจลน์ และค่ามอดูลัสการอัดตัวของเชื้อเพลิงมากขึ้นตามไปด้วย

5.1.2 ผลการศึกษาคุณลักษณะของสเปร์ย์

จากการศึกษาพบว่า ร้อยละของไบโอดีเซลในเชื้อเพลิง ระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง ความดันภายในห้องเผาไหม้ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูของหัวฉีด มีผลต่อคุณลักษณะของสเปร์ย์ดังนี้

5.1.2.1 ผลกระทบของร้อยละของไบโอดีเซลในเชื้อเพลิง

ที่ระยะเวลาในการฉีด ความดันในการฉีด ความดันภายในห้องเผาไหม้ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูของหัวฉีดเดียวกัน ความยาวสเปร์ย์ของเชื้อเพลิงดีเซลไบโอดีเซลจะมีความยาวสเปร์ย์สั้นกว่าเชื้อเพลิงดีเซล สำหรับองศาของสเปร์ย์พบว่าเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจะมีองศาสเปร์ย์แคบกว่าดีเซล

5.1.2.2 ผลกระทบระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง

ที่ความดันในการฉีด ความดันภายในห้องเผาไหม้ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูของหัวฉีดเดียวกัน เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง ความยาวและองศาของสเปร์ย์จะมีค่ามากขึ้นเนื่องจากมวลของสเปร์ย์มากขึ้น ทำให้ความยาวและองศาสเปร์ย์มีค่ามากขึ้น

5.1.2.3 ผลกระทบของความดันในการฉีดเชื้อเพลิง

ที่ระยะเวลาในการฉีด ความดันภายในห้องเผาไหม้ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูของหัวฉีดเดียวกัน เมื่อเพิ่มความดันในการฉีดเชื้อเพลิง ความยาวและองศาของสเปร์ย์จะมีค่ามากขึ้นเนื่องจากความเร็วของสเปร์ย์มากขึ้น ทำให้ความยาวและองศาสเปร์ย์มีค่ามากขึ้น

5.1.2.4 ผลกระทบของความดันภายในห้องเผาไหม้

ที่ระยะเวลาในการฉีด ความดันในการฉีด และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูของหัวฉีดเดียวกัน เมื่อเพิ่มความดันภายในห้องเผาไหม้ ความยาวของสเปรย์จะสั้นลง องศาของสเปรย์จะกว้างขึ้น เนื่องจากมีแรงต้านมากขึ้นภายในห้องความดันสูง ทำให้ความยาวสเปรย์สั้นลง แต่สเปรย์กระจายตัวมากขึ้นทำให้ห้องสเปรย์กว้างขึ้น

5.1.2.5 ผลกระทบของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูของหัวฉีด

ที่ระยะเวลาในการฉีด ความดันในการฉีด และความดันภายในห้องเผาไหม้เดียวกัน ความยาวของสเปรย์จะยาวขึ้น องศาของสเปรย์จะแคบลง เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีดมากขึ้น ทำให้ความยาวสเปรย์ยาวขึ้น แต่สเปรย์กระจายตัวน้อยลงทำให้ห้องสเปรย์แคบลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากเชื้อเพลิงดีเซลมีความหนาแน่น ความหนืดและแรงตึงผิวน้อยกว่าเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจึงทำให้การกระจายตัวของสเปรย์ดีกว่า ความยาวและองศาของสเปรย์ของเชื้อเพลิงดีเซลจึงมากกว่าไบโอดีเซลซึ่งมีผลต่อการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ แต่การใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไปสามารถทำได้เนื่องจากคุณลักษณะของสเปรย์ระหว่างเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดนั้นมีความต่างกันไม่มากดังที่เห็นจากผลการทดลอง และจากผลการทดลองนี้สามารถนำข้อมูลไปใช้ในงานวิจัยเพื่อศึกษาและปรับปรุงเครื่องยนต์ได้ดังนี้

1. ถ้าต้องการทำให้คุณลักษณะของสเปรย์เชื้อเพลิงไบโอดีเซลให้มีความคล้ายคลึงกับของเชื้อเพลิงดีเซล ควรมีการปรับความดันในการฉีดเชื้อเพลิงให้มีความดันเพิ่มขึ้นเพื่อทำให้ความยาวสเปรย์ของไบโอดีเซลยาวขึ้น องศาของสเปรย์กว้างขึ้น
2. เพื่อชดเชยค่าพลังงานของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่น้อยกว่าดีเซล การเพิ่มระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงเพื่อให้ปริมาณเชื้อเพลิงที่ออกจากรูหัวฉีดมากกว่า จะสามารถทำให้ได้ค่าพลังงานที่มากขึ้นได้
3. การฉีดล่วงหน้าสองครั้ง จะช่วยลดความยาวของสเปรย์ที่อาจจะโดนหัวลูกสูบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Brevard Biodiesel, What is biodiesel, URL: www.brevardbiodiesel.com/whatisbiod.html
- [2] BiodieselBooklet.co.uk Making biodiesel safely, The Safe Biodiesel Guide, URL: <http://www.biodieselbooklet.co.uk/>
- [3] Hiro Hiroyasu and Masataka Arai, Structures of Fuel Sprays in Diesel Engines, SAE Paper, 1990
- [4] A. Jeronimo, V. Van Der Haegen , Schlieren Technique – Lab Notes. EUROAVIA Symposium , 2002
- [5] ประทาน ศรีชัย (2554), Spray Characteristics of Ethanol and Gasoline in a High-Pressure Chamber by Schlieren Photography Technique, บทความเสนอในการสัมมนาวิชา DII, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
- [6] Manual 4JJ1-TC ENGINE, ISUZU MOTORS limited
- [7] URL:en.wikipedia.org/wiki/File:Injector3.gif
- [8] ปิยวรรณ แซ่เตี่ยว, วิชเลิศ กลิ่นถือสีล, และวรุณชัย บุญเต็มพิทักษ์ (2554). ออกแบบห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่สำหรับทดสอบเชื้อเพลิงดีเซลแบบฉีดตรง, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [9] I.E. cruz, A.C. Santos “Coconut Oil as Diesel Fuel Extender : The Philippine Experience” ASEAN Sem. W’Shop on Enman. Tech in Transport Sector. 1986.
- [10] J.B. Heywood “Internal Combustion Engine Fundamentals” McGraw – Hill, Internation Editions, pp. 529 – 531, 1988.
- [11] Andre L. Boehman, Davis Morris, and James Szybist “The Impact of the Bulk Modulus of Diesel Fuels on Fuel Injection Timing” Energy & Fuels 2004, 18, 1877- 1882
- [12] Bulk modulus, URL:http://en.wikipedia.org/wiki/Bulk_modulus
- [13] Density, URL:<http://en.wikipedia.org/wiki/Density>
- [14] Surface tension, URL:http://www.face-yowa.co.jp/english/en_science/en_theory/en_what_Surface_tension
- [15] Surface tension, http://th.wikipedia.org/wiki/Surface_tension
- [16] J. C. Dent; SAE, (1971) 71057.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลเครื่องมือวัดค่าความหนาแน่นแบบดิจิตอลยี่ห้อ Anton Paar รุ่น DMA 4500

Specifications

Measuring range	0 to 3 g/cm ³
Accuracy	Density: ±0.00005 g/cm ³ , Temperature: ±0.03 °C
Repeatability s.d.	Density: 0.00001 g/cm ³ , Temperature: 0.01 °C
Measuring temperature	0 °C to +90 °C (32 to 194 °F)
Pressure range	0 to 10 bars (0 to 150 psi)
Minimum amount of sample	approx. 1 ml
Materials in contact with the sample	PTFE, borosilicate glass
Typical measuring time per sample	approx. 30 seconds
Sample throughput	10 to 30/hour
Dimensions (L x W x H)	440 x 315 x 220 mm (17.5 x 12.5 x 9 inches)
Weight	approx. 21 kg (44 lbs)
Power supply	AC 85 to 260 V; 48 to 62 Hz
Power consumption	50 VA
Interfaces	2 x RS 232 for printer/PC/IBM-compatible keyboard/bar code reader
Standards	For traceable density standards, please contact your local Anton Paar distributor
Permanently stored tables	Alcohol (v/v, w/w), extract/sugar tables, API functions, acid/base tables, 19 tables/equations for your own concentration conversions



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลเครื่องวัดแรงตึงผิวหยั่ง KYOWA รุ่น DyneMaster DY-300



Evaluation of Paints, Inks, Additives for the coating processes

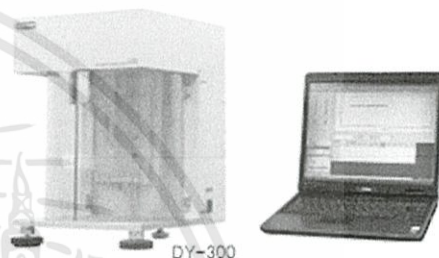
DyneMaster **DY-300**

Automatic Surface Tensiometer

New model of multi-talent and user friendly operation with dialog guidance, which is developed with Kyowa's experiences and know-how acquired by the 50 years' manufacturing surface tensiometers.

Features:

- ◆ Fully automatic operation by single command button
- ◆ For QC use, repetition of measurement can be pre-set
- ◆ For surfactant solutions, graph of variations over time can be plotted
- ◆ For R&D use, functions of graph overwriting and data converting to spreadsheet are prepared.
- ◆ Measurements of lamella length, and liquid density are available in addition to surface/interfacial tension.



Screens:



Typical applications:

- ◆ Surface tension: evaluating detergency of detergents, wettability of coating agents
- ◆ Interfacial tension: evaluating emulsification property of water/oil
- ◆ Lamella length: evaluating foaming stability of coating agents
- ◆ Liquid density: measuring density of liquids



Specifications:

Measurement method	Wilhelmy Plate method, du Nöuy Ring method
Measurement range	0-100 mN/m *Balance capacity & displaying range: 0-1000mN/m
Measurement accuracy	0.2 mN/m *standard deviation of repeatability
Resolution	0.01 mN/m
Stage speed	0.1-1 mm/s
Measurement temperature	Ambient-150°C (Heater type stage system) 10-70°C (Jacket type stage set with Hot/cold water circulator 4VT)
Software	Standard: Surface/interfacial tension, Lamella length, Liquid density
Detecting parts	Standard: Platinum plate Option: Platinum ring, Pycnometer for density, Accessory for sedimentation
External dimensions	255(W) x 307(D) x 369(H)mm
Weight	About 12.5kg
Electric power	AC100-240-50/60Hz 35W 75VA

The specifications are subject to change without notice

Kyowa Interface Science Co., Ltd. <http://www.face-kyowa.com>
5-4-41 Nobitome, Niiza-city, Saitama 352-0011, Japan
Tel: +81-48-483-2629 Fax: +81-48-483-2702

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลเครื่องวัดความหนืดอัตโนมัติ CANNON รุ่น mini av viscosity meter

INNOVATIONS IN VISCOSITY MEASUREMENT

CANNON® miniAV® Automatic Viscometer

Affordable D 445 Automation

The miniAV® from CANNON Instrument Company offers every laboratory an exciting new tool for convenient and highly accurate kinematic viscosity (Kin Vis) measurement. Occupying roughly the same footprint as a tabletop rotational viscometer, the miniAV automates the time-consuming sample measurement and viscometer tube wash/dry procedures associated with the ASTM D 445 method, freeing the laboratory technician for other duties. The miniAV has been designed as an affordable alternative to traditional labor-intensive manual Kin Vis measurement methods.

The miniAV performs in tandem with the proven VISCRO® II software for Windows® 98/NT®/XP®, providing convenient sample ID data entry, database maintenance, and powerful reporting and LIMS connectivity capabilities. Up to four miniAV® instruments can be connected to a single PC.

Operation

Operation of the miniAV is simple. The user fills the sample vial, places it in the vial holder beneath the viscometer, and raises it into position. Sample ID information is entered via the computer. The user initiates the test with a single mouse click. Without further operator intervention, the sample is drawn up into the viscometer tube, held for temperature equilibration, and then measured. Data is automatically transferred to the computer database via the RS-232 serial connection. The sample is then ejected as waste, and the sample vial becomes a wash station as solvent is automatically metered into the viscometer tube and then evaluated to complete the cleaning cycle. Following tube drying, the vial holder is lowered to its original position, ready to receive the next sample. Total cycle time for a test is about five to eight minutes depending on the viscosity.

Accuracy

The miniAV provides automatic Kin Vis testing within parameters specified by ASTM D 445, 446 and ISO 3104/3105. The miniAV measures flow rates within ± 0.001 second by electronically timing the liquid meniscus as it moves between their start timing sensors. Bath temperature is controlled with accuracy better than $\pm 0.1^\circ\text{C}$ between 15° and 100° , as required by ASTM D 445/446. Dark or opaque liquids may be measured with the same precision as transparent fluids without the need to change tubes. Unlike non-straight and bench-top instruments which claim D445 correction, the miniAV truly is a Kin Vis instrument. Using a capillary viscometer defined in D445, the miniAV performs equally well on Newtonian materials and fully formulated end products.

Features

The miniAV bath unit housing is only 10 inches wide, and the unit is less than 21 inches in height. Modular side panels swivel out for convenient maintenance service. The modified upper chrome compound viscometer tube offers a 100-fold viscosity range, easily covering the range of 5 separate manual glass viscometers, and requires only 5 x 10 mL of sample (as little as three mL with Fast-Run tubes). The tube rests in a 1-liter temperature bath that also contains temperature and fluid level sensors, optional TS Cooler, heating element, and impellers that circulate bath fluid to ensure high temperature uniformity. Like its fully automatic cousins in the CAV-2000 Series, the miniAV offers selectable temperatures between -5° and 100°C .

The instrument is shipped with an external power supply and waste receiver assembly. Convenient photographic-type container, as may be used for connecting cap thread #38 reagent bottles to the miniAV.

Required Accessories

The miniAV requires a computer with the Windows® 98/NT®/XP® operating system. The user must provide a suitable non-pressurized solvent container for each solvent. For test temperatures below 40°C for operation in high ambient environments, TS Cooler is required; a thermoelectric cooler is available from CANNON.



miniAV® Automatic Viscometer Specifications

miniAV Dimensions:	254 mm wide x 305 mm deep x 598 mm high (10 x 12 x 23.5")
Power Supply Dimensions:	343 mm wide x 356 mm deep x 159 mm high (13.5 x 14 x 6.25")
Weight:	12.5 kg (27.5 lbs) without bath fluid, Power Supply and Waste Receiver
Shipping Weight:	51 kg (113 lbs) with all units/accessories
Operating Conditions:	15°-30°C, 10%-90%RH (non-condensing), Installation Category II, Pollution degree 2
Fuse Rating:	115V & 100V Units: M 250V BA, 1-1/4 x 1/4"; 230V Unit: M 250V 4A, 1-1/4 x 1/4"
Compliance:	CE Mark; EMC directive (89/336/EEC); low voltage directive (73/23/EEC); Hi-POT (1900 VDC, 60 sec.)

miniAV® Order Information

Catalog #	Item Description
9725-AB0	miniAV 115V 50/60 Hz
9725-AB1	miniAV 230V 50/60 Hz
9725-AB2	miniAV 100V 50/60 Hz
P81-5600	Dastmann Thermometer, Calibrated, Digital Dual Channel Kit
P61-5601	Standard Size Smart Probe

CANNON
INSTRUMENT COMPANY

2139 High Tech Road • State College • PA 16803 S USA
800 676 6232 • 814 353 8000 • Fax 814 353 8007
e-mail: cannon@cannoninstrument.com • www.cannoninstrument.com

© 2000 CANNON Instrument Company • Printed in USA • 400-0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลเครื่องบันทึกข้อมูลยี่ห้อ Dewetron รุ่น DEWE 5000

Main System

DEWE-5000 PC instrument series

- Portable data acquisition system
- Up to 256 channels with external expansion racks or PAD modules
- A/D converter specs see appendix A
- 16 internal slots for DEWE-DAQ/PAD modules



System specifications

	DEWE-5000
Power supply:	<ul style="list-style-type: none"> □ 300 W 100 to 240 V_{AC} ATX power supply FSP300-60PFN/PLN □ 400 W 100 to 240 V_{AC} ATX power supply FSP400-60PFN/PLN □ 300 W 9 to 18 V_{DC} ATX power supply DX 300HEW □ 300 W 18 to 36 V_{DC} ATX power supply APT-DY300H for details see next pages
Operating temperature:	+5 °C to 60 °C (standard)
Storage temperature:	-20 °C to +70 °C
Humidity (operating):	10 % to 80 %, non condensing
	5 % to 95 %, rel. humidity
Vibration:	MIL-STD 810F 514.5 procedure I operating test procedure frequency range: 5 to 200 to 5 Hz; 5 x 12 mm each direction displacement amplitude ±3.5 mm (5 to 6.45 Hz) acceleration amplitude 1 g (6.45 to 92 Hz) displacement amplitude 92 to 113 Hz ±0.029 mm acceleration amplitude 1.5 g (113 to 200 Hz)
Shock:	MIL-STD 810F 516.5 procedure I non operating test procedure ½ sinus 11 ms; 10 g, 3 shocks positive, 3 shocks negative
Dimensions (W x H x D):	approx. 453 x 200 x 351 mm (17.8 x 7.9 x 13.8 in.)
Weight:	typ. 17 kg (37.4 lbs), depending on configuration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลกล้องถ่ายภาพความเร็วสูงยี่ห้อ Photron รุ่น fastcam SA7 Model30K-M2

Utilizing innovative new CMOS sensor technologies the FASTCAM SA7 defines new standards in high speed camera image quality and operational flexibility

The compact size of the FASTCAM SA7 conceals powerful high speed imaging performance. A choice of two performance options provide frame rates of either 2,000 fps or 3,500 fps at 1280x1024 pixel image resolution with increased frame rates at reduced image resolution.

Innovative CMOS image sensor technology provides a level of high quality low noise images not previously available from high speed camera systems. True 12bit ADC produces sharp, high contrast imaging to perfectly replicate the fine detail of subjects being recorded. Excellent light sensitivity and a 10 microsecond global electronic shutter allow the system to be employed in demanding imaging applications.

The 12.8 x 10.2mm sensor size allows the camera to be operated with 1 inch format C mount lenses and R mount lenses. The camera benefits from a sealed camera body construction allowing use in harsh environments without ingress of dust and other contamination. The camera's rugged and compact design (camera body size 151(5.9") x 102(4.0") x 195(7.7") mm) allows positioning in space limited locations and integration with other instrumentation systems.

Target applications include:

- Automotive safety testing
- Fluid dynamics
- Engineering Research
- Defense and aerospace research
- Materials Science

Photron
www.photron.com

Benefits

Frame Rate Performance examples:

FASTCAM SA7 Type 15K:

- 2,000 fps at 1280x1024 pixel resolution
- 2,500 fps at 896x896 pixel resolution
- 3,500 fps at 704x704 pixel resolution
- 5,000 fps at 640x584 pixel resolution

FASTCAM SA7 Type 30K:

- 3,500 fps at 1280x1024 pixel resolution
- 5,000 fps at 896x896 pixel resolution
- 7,500 fps at 704x704 pixel resolution
- 10,000 fps at 640x584 pixel resolution

Sensitivity - ISO 12232 Ssat standard

- ISO 5,000 monochrome
- ISO 2,500 color

Compatibility with 1 inch C mount, Nikon G type lenses and compatibility with optional Photron J-BOX for multiple camera installations.

10µs global shutter selectable independent of frame rate

4GB and 8GB memory options and high performance GigaBit Ethernet interface to PC



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลมอเตอร์ 3 เฟส ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น super line induction motor 5 hp frame 112m

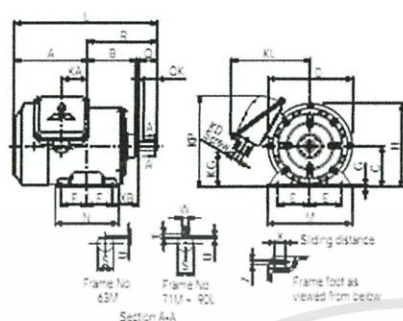


Fig. 6

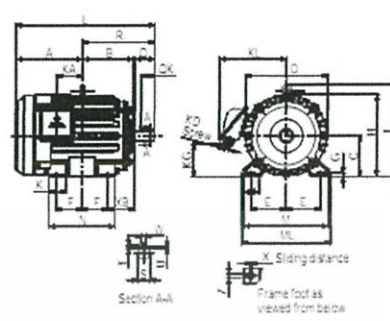


Fig. 7

Model	Frame No.	Output HP (KW)			Fig.	Motor																	Terminal Box					
		2-Pole	4-Pole	6-Pole		A	B	C*	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	ML	N	X	XB	Z	KA	KG	KD	KL	KP**
	63M	1/4(0.2)	1/4(0.2)	-		121.4	73.6	62	130	50	40	2.3	126.3	-	-	224.4	135	-	100	12	40	7	38.4	75	PF1/2	130	162	
	71M	1/2(0.4)	1/2(0.4)	1/4(0.2)		128.5	83	71	147.6	56	45	3.2	144.8	-	-	248.5	148	-	110	18	45	7	44.5	67	PF1/2	140	161	
	80M	1(0.75)	1(0.75)	1/2(0.4)		122	98	80	161.6	62.5	50	3.2	165.4	-	-	262	160	-	125	15	50	9	39.5	38	PF3/4	145	-	
	90L	2(1.5), 3(2.2)	2(1.5)	1(0.75)		143	117	90	183.6	70	62.5	4	186.3	-	-	311.5	175	-	150	15	56	9	53	59	PF3/4	158	-	
	100L	-	3(2.2)	2(1.5)		173	131	100	207	80	70	6.5	203.5	230	40	45	366	200	212	180	4	63	12	65	64	PF3/4	170	-
	112M	5(3.7)	5(3.7)	3(2.2)		181	138	112	226	95	70	6.5	226	253	40	45	391	230	242	180	4	70	12	69	87	PF3/4	182	-
	132S	7.5(5.5), 10(7.5)	7.5(5.5)	5(3.7)		211.5	155	132	266	108	70	6.5	265	288	40	45	450.5	256	268	180	4	89	12	75	96	PF1	210	-
	132M	-	10(7.5)	7.5(5.5)		230.5	174	132	266	108	89	6.5	265	288	40	45	488.5	256	269	218	4	89	12	94	96	PF1	210	-

* The perpendicular variation of tolerance for the shaft center is ± 0.3

** This dimension is for model which KP > H only.

Model	Frame No.	Shaft End						Bearing No.		Approximate Weight (kg)			Approximate Packing Dimensions (LxWxH)	Packing Weight (kg)			
		O	OK	R	S	T	U	W	Drive End	Opposite	2-Pole	4-Pole		6-Pole	2-Pole	4-Pole	6-Pole
	63M	28	-	103	11 h6	-	1	-	6201ZZ	6201ZZ	6.5	6.6	-	245 x 221 x 193	5.7	6	-
	71M	30	25	120	14 h6	5	3	5	6202ZZ	6201ZZ	8.0	9.2	9.0	275 x 256 x 180	7.2	8	8
	80M	40	32	140	19 h6	6	3.5	6	6204ZZ	6203ZZ	10.5	11	11	315 x 270 x 206	10.7	11.7	11.5
	90L	50	40	168.5	24 h6	7	4	8	6205ZZ	6204ZZ	17	20.5	20	368 x 280 x 226	17.2	21	20
	100L	60	45	193	28 h6	7	4	8	6206ZZ	6205ZZ	-	24	25	430 x 355 x 300	-	28	27
	112M	60	45	200	28 h6	7	4	8	6207ZZ	6206ZZ	33	36	37	477 x 399 x 315	40	42	44
	132S	80	63	239	38 h6	8	5	10	6308ZZ	6207ZZ	47	55	48	579 x 435 x 347	55	63	56
	132M	80	63	258	38 h6	8	5	10	6308ZZ	6207ZZ	-	58	61	579 x 435 x 347	-	66	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลการ์ดควบคุมยี่ห้อ National Instruments รุ่น NI PCI-6229

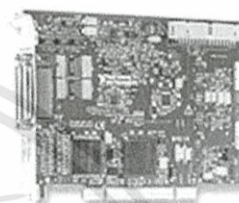


Technical Sales
Thailand
1800-345 555
asean@ni.com

NI PCI-6229

16-Bit, 250 kS/s, 32 Analog Inputs

- National Instruments recommends using the PCIe-6323 X-Series device for all new applications
- Four 16-bit analog outputs (833 kS/s)
- 48 digital I/O; 32-bit counters; digital triggering
- Correlated DIO (32 clocked lines, 1 MHz)
- NIST-traceable calibration certificate and more than 70 signal conditioning options
- Select high-speed M Series for 5X faster sampling rates or high-accuracy M Series for 4X resolution.
- NI-DAQmx driver software and NI LabVIEW SignalExpress interactive data-logging software



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล Compact general purpose three-phase and neutral line EMC filter

Compact general purpose 3-phase + neutral EMC filter



- Three-phase + neutral line filter for general purpose four-wire filtering
- Compact space-saving design
- Choice of connection style
- Low operating leakage current

Approvals



ROHS
2002/95/EC
By December 2005

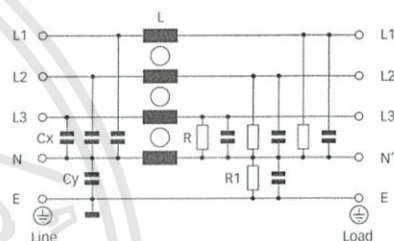
Technical specifications

Maximum continuous operating voltage:	3x 480VAC (FN 256) 3x 520VAC (FN 256 -H)
Operating frequency:	dc to 60Hz
Rated currents:	8 to 160A @ 50°C
High potential test voltage:	P → E 2650VDC for 2 sec (FN 256) P → P 2100VDC for 2 sec (FN 256) P → E 3000VDC for 2 sec (FN 256 -H) P → P 2250VDC for 2 sec (FN 256 -H)
Protection category:	IP20 IP00 (filters with connectors -28)
Overload capability:	4x rated current at switch on, 1.5x rated current for 1 minute, once per hour
Temperature range (operation and storage):	-25°C to +100°C (25/100/21)
Flammability corresponding to:	UL94V-2 or better
Design corresponding to:	UL1283, CSA22.2 No. 8 1986, EN133'200
MTBF @ 50°C/400V (Mil-HB-217F):	600,000 hours

Features and benefits

- FX 256 filters are designed specifically for applications involving asymmetric loads, ranging from industrial controls to medical electronics systems. These typically involve insufficiently filtered converters and switch-mode power supplies on different phases, causing current imbalance and significant interference problems.
- Employing single-stage filter circuits for each phase and the neutral line, FX 256 filters provide high attenuation of both symmetrical and asymmetrical interference.
- Used as a mains input filter, FX 256 filters also increase conducted immunity and thus contribute to overall system reliability.
- Choice of connection style as well as filter ratings in line with common fuse values support a fast and easy application-specific filter selection and deployment.
- A lightweight aluminium housing with a small footprint ensures that the filters can be easily accommodated on control panels and in tight power cabinets.

Typical electrical schematic



Typical applications

- General purpose 4-wire filtering
- High power office equipment
- Power supplies
- UPS
- Medical applications
- Electrical cabinets
- Control panels

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล inverter three-phase 380 VAC model ND1-4-5A5

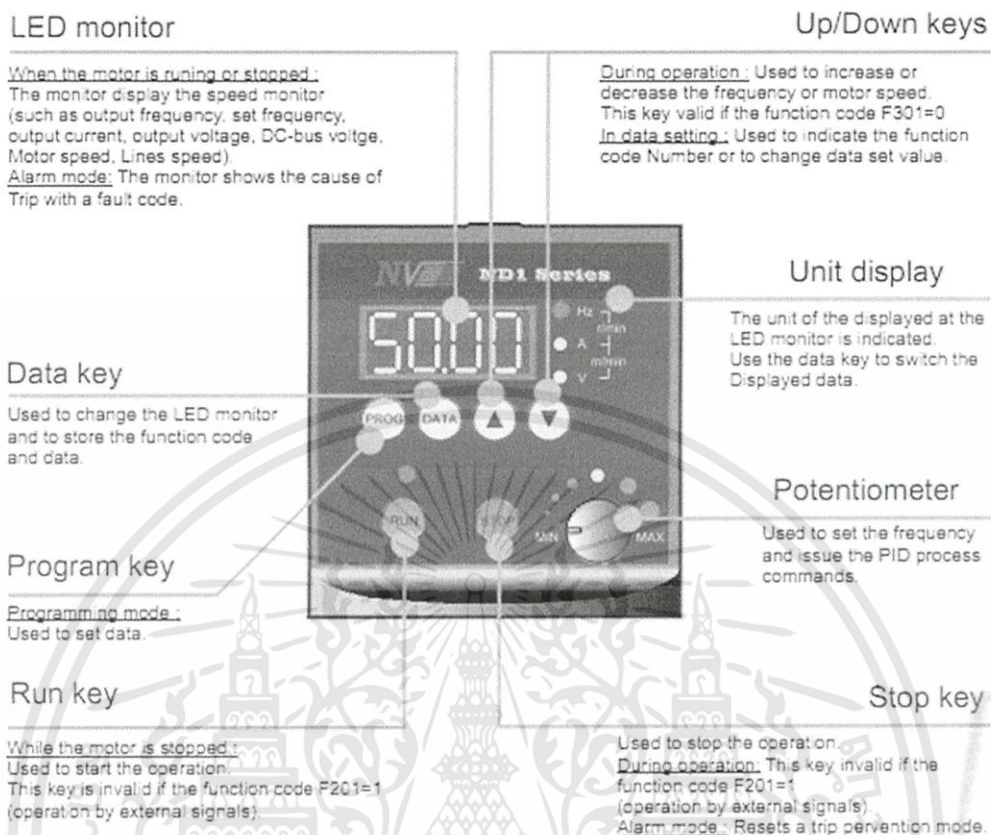


Fig.2



Power supply voltage	Model	HP	OUTPUT (A)	W x H x D (mm.)	Braking Unit	Cooling Method	Fig.
Single-phase 220VAC	ND1-2-0A5	0.5	3.3	125 x 147 x 145	Not include	Self-cooling	1
	ND1-2-001	1	5.3				
	ND1-2-002	2	8.0				
Three-phase 380VAC	ND1-4-001	1	3.5	128 x 147 x 155	Built-in	Forced air-cooled	
	ND1-4-002	2	4.8				
	ND1-4-5A5	5.5	11				
Three-Phase 220VAC	ND1-2-003	3	11	131 x 225 x 175			2
	ND1-2-5A5	5.5	17.5				

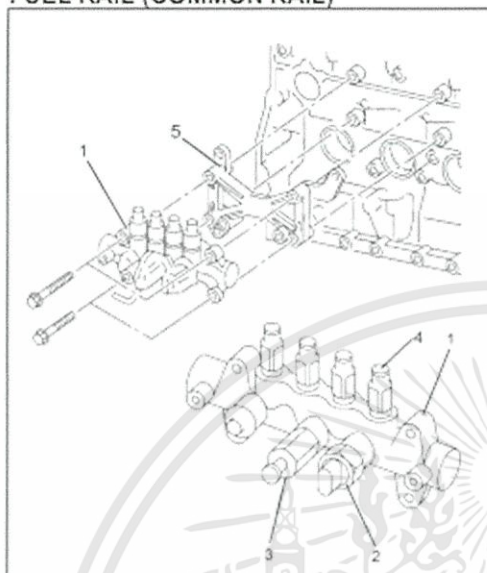
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลรางน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ Isuzu 4JJ1-TC

ISUZU

4JJ1-TC Engine-45

FUEL RAIL (COMMON RAIL)



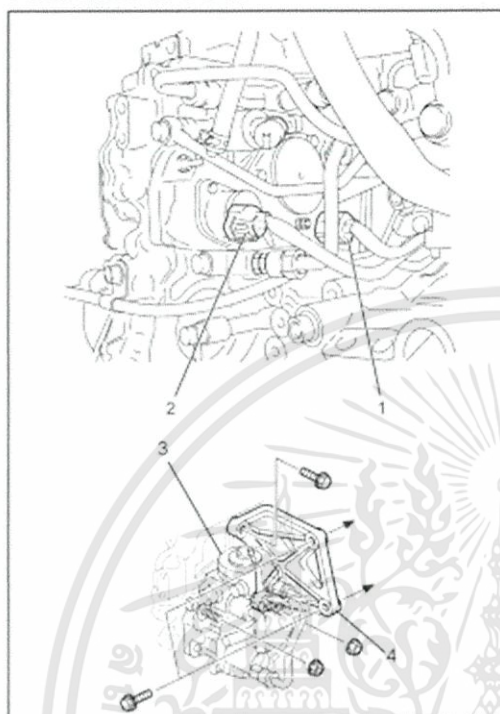
Along with the employment of a common rail type electronic control fuel injection system, the fuel rail is provided to store high pressure fuel between supply pump and injectors. A pressure sensor and a pressure limiter are installed on the fuel rail. The pressure sensor detects the fuel pressure inside the fuel rail and sends its signal to the ECM. Based on this signal, the ECM controls the fuel pressure inside the fuel rail via the suction control valve of the supply pump. The pressure limiter opens the valve mechanically to relieve the pressure when the fuel pressure inside the fuel rail increases extremely.

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

ข้อมูลปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ Isuzu 4JJ1-TC

ISUZU

4JJ1-TC Engine-38

FUEL SUPPLY PUMP

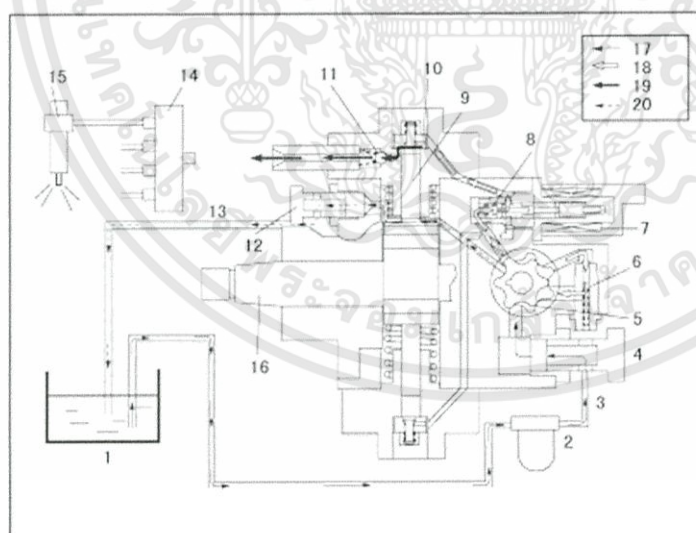
Along with the employment of the common rail type electronic control fuel injection system, the injection pump was disused and a plunger type supply pump is provided to supply high pressure fuel to the fuel rail. The supply pump is installed at the position where conventionally the injection pump was installed, and it is driven 1:1 to the engine. The feed pump (trochoid type) is built in the supply pump to feed fuel from the fuel tank to the plunger chamber. Also, the supply pump is attached with a suction control valve (SCV) to control high pressure fuel supply to the fuel rail and a fuel temperature (FT) sensor to detect fuel temperature.

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

Notice! In order to make the fuel supply pump characteristic learn into the ECM, let the engine idle until warm-up after ECM or supply pump replacement. If the fuel system DTCs stored in the meantime, once clear DTC and warm-up the engine again.

ISUZU

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

The fuel is fed under pressure to the plunger chamber by the feed pump built in the supply pump, and further it is fed under high pressure to the fuel rail by two plungers driven by the camshaft therein. Operating the SCV based on the signals from the engine control module (ECM) controls the quantity and timing of fuel supply to the fuel rail. Since this type of pump adjusts the fuel amount at low pressure side, and it can deliver required high pressure and is efficient.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

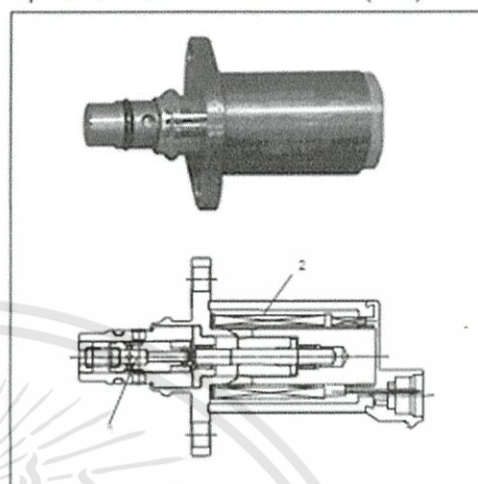
ข้อมูลวาล์วควบคุมปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง (Suction Control Valve, SCV) ของเครื่องยนต์ Isuzu 4JJ1-TC

A linear solenoid type valve has been adopted. The ECM controls the 250Hz duty ratio (the length of time that the current is applied to the SCV), in order to control the quantity of fuel that is supplied to the high-pressure plunger. Because only the quantity of fuel that is required for achieving the target rail pressure is drawn in, the drive load of the supply pumps decreases

When current flows to the SCV, variable electromotive force is created in accordance with the duty ratio, moving the armature to the left side. The armature moves the cylinder to the left side, changing the opening of the fuel passage and thus regulating the fuel quantity. With the SCV OFF, the return spring contracts, completely opening the fuel passage and supplying fuel to the plungers. (Full quantity intake and full quantity discharge) When the SCV is ON, the force of the return spring moves the cylinder to the right, closing the fuel passage (normally opened).

SCV control current can be found on the Tech 2 data display by unit "mA". SCV On duty ratio also can be found on the Tech 2 data display by "%".

Operation of Suction Control Valve (SCV)



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