

การเผาไหม้ของดีเซลในห้องเผาไหม้แบบปริมาตรคงที่

THE SIMULATION OF DIESEL COMBUSTION PROCESS BY USING CONSTANT
VOLUME COMBUSTION CHAMBER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

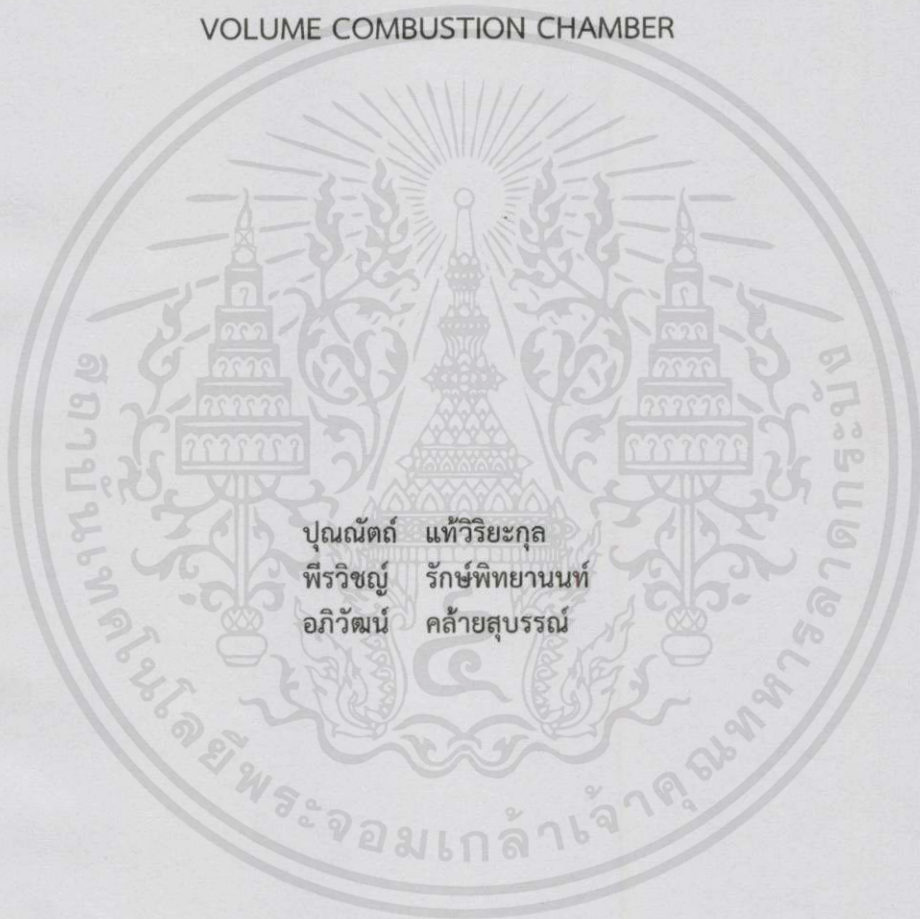
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การเผาไหม้ของดีเซลในห้องเผาไหม้แบบปริมาตรคงที่

THE SIMULATION OF DIESEL COMBUSTION PROCESS BY USING CONSTANT
VOLUME COMBUSTION CHAMBER



ปณณัตต์ แท้วริยะกุล
พีรวิชญ์ รัชพิทยานนท์
อภิวัฒน์ คล้ายสุบรรณ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE SIMULATION OF DIESEL COMBUSTION PROCESS BY USING CONSTANT
VOLUME COMBUSTION CHAMBER



POONNUT THAEVIRIYAKUL
PHIRAWICH RAKPITTAYANON
APHIWAT KHLAISUBAN

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
2014
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

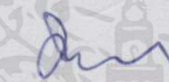
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การเผาไหม้ของดีเซลในห้องเผาไหม้แบบปริมาตรคงที่

THE SIMULATION OF DIESEL COMBUSTION PROCESS BY USING CONSTANT
VOLUME COMBUSTION CHAMBER

ผู้จัดทำ

1. นาย ปุณณัตต์ แท้วริยะกุล รหัสประจำตัว 54010829
2. นาย พีรวิชญ์ รัชชพิทยานนท์ รหัสประจำตัว 54010945
3. นาย อภิวัฒน์ คล้ายสุบรรณ รหัสประจำตัว 54011494



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.พงษ์ศักดิ์ คำมูล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเผาไหม้ของดีเซลในห้องเผาไหม้แบบปริมาตรคงที่

นายปยุณต์	แท้วิริยะกุล	54010829
นายพีรวิชญ์	รักษพิทยานนท์	54010945
นายอภิวัฒน์	คล้ายสุบรรณ	54011494
ผศ.พงษ์ศักดิ์ คำมูล		อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2557		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการเผาไหม้ของดีเซลในห้องเผาไหม้จำลองที่มีปริมาตรคงที่ (CVCC) โดยจำลองเงื่อนไขในการเผาไหม้ของวัฏจักรดีเซล เพื่อใช้ในเทคโนโลยีการหมุนเวียนนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่ เพื่อลดอุณหภูมิของการเผาไหม้ ทำให้ลดการเกิดแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ซึ่งการเผาไหม้จะเกิดขึ้นสองขั้นตอน โดยเริ่มขั้นตอนแรกเป็นการจ่ายแก๊สอากาศ (N_2) และออกซิเจน (O_2) และจ่ายแก๊สเชื้อเพลิงคือ อะเซทิลีน (C_2H_2) จากนั้นทำการเผาไหม้โดยการจุดประกายไฟจากหัวเทียน เพื่อให้เกิดความดันและความร้อนที่เหมาะสมแก่การฉีดเชื้อเพลิง ขั้นตอนที่สอง ทำการฉีดเชื้อเพลิงดีเซลเพื่อให้เกิดการเผาไหม้แล้วสังเกตลักษณะการเผาไหม้ โดยสังเกตผ่านกระจกควอตซ์ทั้งสองด้านของห้องเผาไหม้จากนั้นใช้กล้องถ่ายภาพความเร็วสูง ร่วมกับเทคนิคการถ่ายภาพการลามของเปลวไฟแบบซูริเรนเพื่อศึกษาลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซล ในขณะเดียวกันทำการวัดความดันในการเผาไหม้ โดยการใช้เซ็นเซอร์วัดความดัน ซึ่งผลจากการศึกษานี้ได้แก่ ผลของเปอร์เซ็นต์ของออกซิเจนหลังการเผาไหม้ (O_2) เพื่อเป็นต้นแบบในการปรับปรุงเครื่องยนต์ดีเซลให้มีสมรรถนะสูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE SIMULATION OF DIESEL COMBUSTION PROCESS BY USING CONSTANT VOLUME
COMBUSTION CHAMBER

Poonnut	Thaeviriyakul	54010829
Phirawich	Rakpittayanon	54010945
Aphiwat	Khlaisuban	54011494
Assis.Prof Pongsak Kummul		Advisor
Year 2014		

ABSTRACT

This paper is to study diesel combustion in constant volume combustion chamber (CVCC) under simulating diesel combustion conditions for using exhaust gas recirculation. The simulation of combustion process consists of two steps. The first step is to control and supply combustible gas which includes of Nitrogen (N₂), Oxygen (O₂), Acetylene (C₂H₂) into combustion chamber and this gas mixture is burned by spark plug to generate high temperature, high pressure. Temperature and pressure in CVCC are cooled down by heat loss. The second step is to inject diesel fuel to the simulated diesel environment at desired temperature and pressure point. The combustion phenomenon in CVCC are visualized via two transparent quartz windows which has high tolerance of pressure and temperature combine with high speed camera followed optical Schlieren technique. The analysis of diesel combustion characteristics are based on combustion pressure data through using piezo-transducer sensor. The result of this research will be able to use for developing engine in the future.

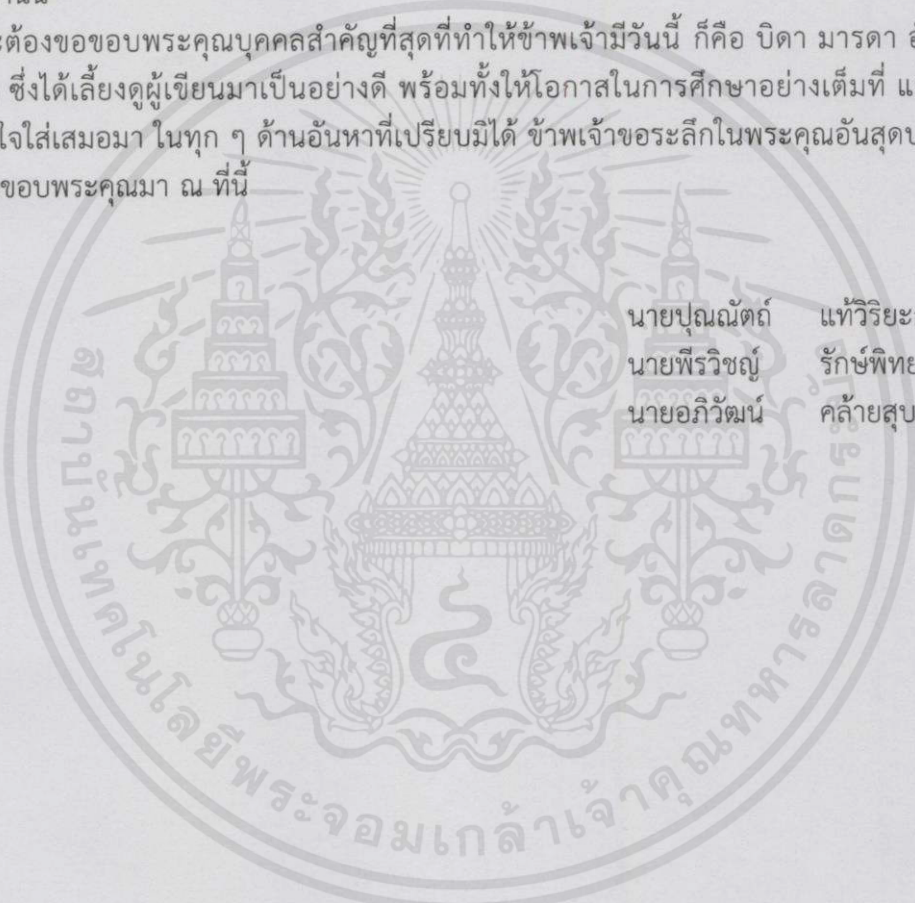
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมาจาก ผศ.พงษ์ศักดิ์ คำมูล อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณอาจารย์กรรมการที่ช่วยให้คำแนะนำ ชี้แจงข้อบกพร่องที่ควรแก้ไข ซึ่งทำให้ผลงานมีความสมบูรณ์มากขึ้น รวมทั้งสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้สถานที่ในการทำโครงงานนี้ และขอบคุณนายประทาน ศรีชัย และ บริษัท High-Tech resource (Thailand) ที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆในการทำโครงงานนี้

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



นายปณณัตต์ แท้วริยะกุล
นายพีรวิญญ์ รัชภัพพิทยานนท์
นายอภิวัฒน์ คล้ายสุบรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
สมมุติฐานของการศึกษา.....	1
ขอบเขตการวิจัย.....	1
ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีหลักการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
ความรู้เบื้องต้นในวัฏจักรดีเซล.....	3
ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง.....	4
การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล.....	6
ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่.....	11
เทคนิคการถ่ายภาพแบบซูร์เร็น.....	13
ระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม.....	13
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	17
อุปกรณ์การทดลอง.....	17
อุปกรณ์บันทึกภาพ.....	23
ขั้นตอนของการศึกษา.....	25
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	28
ผลการทดลองหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันระหว่างการเผาไหม้.....	28
ผลการทดลองหาอุณหภูมิในการเผาไหม้.....	29
ความล่าช้าในการจุดระเบิด.....	31
อัตราการปล่อยความร้อนและลักษณะการเผาไหม้.....	32
ความยาวของลำสเปร์ยในช่วงที่เป็นของเหลว.....	35
ประสิทธิภาพการเผาไหม้.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปเผยแพร่ ใช้งานด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใด ๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูงและขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	38
สรุปผลการศึกษา.....	38
ข้อเสนอแนะ	39
เอกสารอ้างอิง	40
ภาคผนวก	41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบแก๊สที่จำลองการเผาไหม้.....	15
3.1 เงื่อนไขในการศึกษา.....	25
3.2 การจ่ายแก๊สเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้.....	26



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตร.....	3
2.2 ผลของแรงดันในห้องเผาไหม้เทียบกับเวลาขณะฉีดเชื้อเพลิงดีเซล.....	5
2.3 อัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงทั่วไป.....	7
2.4 การเปรียบเทียบแบบจำลองการเผาไหม้ดีเซล.....	9
2.5 แนวคิดรูปแบบดั้งเดิมของการเผาไหม้ดีเซลผ่านการเผาไหม้สารผสมในขั้นตอนการเริ่มต้นของการเผาไหม้ในช่วง Mixing-Controlled.....	9
2.6 แบบจำลองของการควบคุมการผสมในการเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซล หลังจากการเผาไหม้ช่วงต้นเสร็จสิ้นจนถึงการหยุดฉีดเชื้อเพลิง.....	11
2.7 อุปกรณ์ในการทดลองที่เหมาะสมกับความดันและอุณหภูมิ.....	12
2.8 ชุดระบบคอมมอนเรลและหัวฉีด.....	14
2.9 ภายในหัวฉีดและส่วนประกอบต่างๆขณะเปิดและปิด.....	15
2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดไนโตรเจนออกไซด์และการนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่.....	16
3.1 แผนผังอุปกรณ์การทดลอง.....	17
3.2 ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่.....	18
3.3 ระบบควบคุมและการวัด.....	19
3.4 โปรแกรมควบคุมความดันในราง.....	19
3.5 ตัวแปลงกระแสไฟ.....	20
3.6 ออสซิลโลสโคป.....	20
3.7 ปัมพ์สูญญากาศที่สวมไว้สำหรับควารี่ใช้งานเพื่อตรวจสอบว่าน้ำมัน ไบโอมเอตเวลาหนึ่งชั่วโมงไปใช้ประโยชน์แล้ว.....	21
3.8 อินเวอเตอร์คอนโทรล.....	21
3.9 ชุดหัวฉีด รางร่วม และมอเตอร์ขับปัมพ์.....	22

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง.....	22
3.11 เซ็นเซอร์วัดความดันในห้องเผาไหม้.....	23
3.12 ผังควบคุมการทำงาน.....	23
3.13 ผังอุปกรณ์การทดลองแบบซูรีเรนกับห้องเผาไหม้.....	24
3.14 อุปกรณ์การทดลองแบบซูรีเรนกับห้องเผาไหม้.....	24
3.15 กล้องวิดีโอความเร็วสูง Photon SA-X2 fastcam.....	24
3.16 ความดันในการทดลองเทียบกับเวลา.....	25
3.17 ความสัมพันธ์ของความดันและเวลาของแก๊สผสม.....	26
4.1ก ความดันของความเข้มข้นออกซิเจน 10% โดยโมล.....	28
4.1ข ความดันของความเข้มข้นออกซิเจน 15% โดยโมล.....	29
4.1ค ความดันของความเข้มข้นออกซิเจน 21% โดยโมล.....	29
4.2ก อุณหภูมิการเผาไหม้ของความเข้มข้นออกซิเจน 10% โดยโมล.....	30
4.2ข อุณหภูมิการเผาไหม้ของความเข้มข้นออกซิเจน 15% โดยโมล.....	30
4.2ค อุณหภูมิการเผาไหม้ของความเข้มข้นออกซิเจน 21% โดยโมล.....	31
4.3 ความล่าช้าในการจุดระเบิดของแต่ละความเข้มข้นออกซิเจน.....	32
4.4.1ก อัตราการปล่อยความร้อนของความเข้มข้นออกซิเจน 10% โดยโมล.....	32
4.4.2ก ลักษณะการเผาไหม้ของความเข้มข้นออกซิเจน 10% โดยโมล.....	33
4.4.1ข อัตราการปล่อยความร้อนของความเข้มข้นออกซิเจน 15% โดยโมล.....	33
4.4.2ข ลักษณะการเผาไหม้ของความเข้มข้นออกซิเจน 15% โดยโมล.....	33
4.4.1ค อัตราการปล่อยความร้อนของความเข้มข้นออกซิเจน 21% โดยโมล.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

4.4.2ค ลักษณะการเผาไหม้ของความเข้มข้นออกซิเจน 21% โดยโมล	34
4.5 ตัวอย่างการใช้โปรแกรม PFV เพื่อวัดความยาวของลำสเปร์ยในช่วงที่เป็นของเหลว	35
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของลำสเปร์ยในช่วงที่เป็นของเหลวและเวลา.....	36
4.7 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของแต่ละความเข้มข้นออกซิเจน	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากก่อนหน้านี้ผลผลิตที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซลก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสุขภาพซึ่งนับวันได้มีปัญหามากขึ้นซึ่งปัญหานี้ทำให้มีการพัฒนาการเผาไหม้ที่ใช้ลดมลพิษที่ก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพ ซึ่งกระบวนการในการลดไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ได้แก่ การนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่ (Exhaust Gas Recirculation: EGR), การฉีดเชื้อเพลิงหลายครั้ง (Multiple Injection) และการใช้DOC (Diesel Oxidation Catalyst) เพื่อกระตุ้นไอเสียที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ให้มีการทำปฏิกิริยาออกเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งติดตั้งก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศเป็นต้น

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แนวทางการลดมลพิษแบบการใช้ EGR โดยใช้ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ซึ่งอุปกรณ์นี้สามารถจำลองการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลโดยจำลองส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศให้สอดคล้องกับสถานะเริ่มต้นในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อเพิ่มอุณหภูมิและความดันในห้องเผาไหม้ส่วนของอากาศที่คงเหลือจากการเผาไหม้นั้นจะถูกควบคุมปริมาณของออกซิเจนก่อนการเผาไหม้ให้มีค่า 10%, 15% และ 21% โดยเปอร์เซ็นต์โมล เพื่อสร้างเงื่อนไขเทียบเคียงกับสถานะแวดล้อมของการเผาไหม้วัฏจักรดีเซลจากนั้นจึงฉีดเชื้อเพลิงดีเซลเข้าสู่ห้องเผาไหม้เพื่อให้เกิดการจุดระเบิด

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 นำเสนอผลของการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สเพื่อจำลองระบบ EGR โดยการลดความเข้มข้นของออกซิเจน ของการเผาไหม้แก๊สกับระบบหัวฉีดความดันสูงแบบรูเดียว (Single Hole Injector) เพื่อศึกษาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซล

1.2.2 ศึกษาผลของความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนที่ต่างกัน ที่มีผลต่ออัตราการปล่อยพลังงาน (Heat Release Rate), ความยาวของลำสเปรย์ในช่วงที่เป็นของเหลว (Liquid Length) และความล่าช้าในการจุดระเบิด (Ignition Delay)

1.2.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนที่ต่างกันที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion Efficiency)

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1.3.1 ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนจะแปรผันตรงกับอัตราการปล่อยพลังงานและความยาวของลำสเปรย์ในช่วงที่เป็นของเหลวและการลามของเปลวไฟ แต่จะแปรผกผันกับความล่าช้าในการจุดระเบิด

1.3.2 ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนจะแปรผันตรงกับประสิทธิภาพการเผาไหม้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซลที่อัตราความเข้มข้นออกซิเจน 10%, 15% และ 21% โดยเปอร์เซ็นต์โมล

1.4.2 ใช้หัวฉีดความดันสูงแบบรูเดียว เพื่อฉีดเชื้อเพลิงดีเซลในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลวิน โดยควบคุมความดันหัวฉีด และความดันภายในห้องเผาไหม้

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1.5.1 อ่านวารสารเชิงวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเรื่องการเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซลและการทดสอบในรูปแบบต่างๆ รวมทั้งศึกษาระบบคอมมอลเรลของเครื่องยนต์ดีเซล

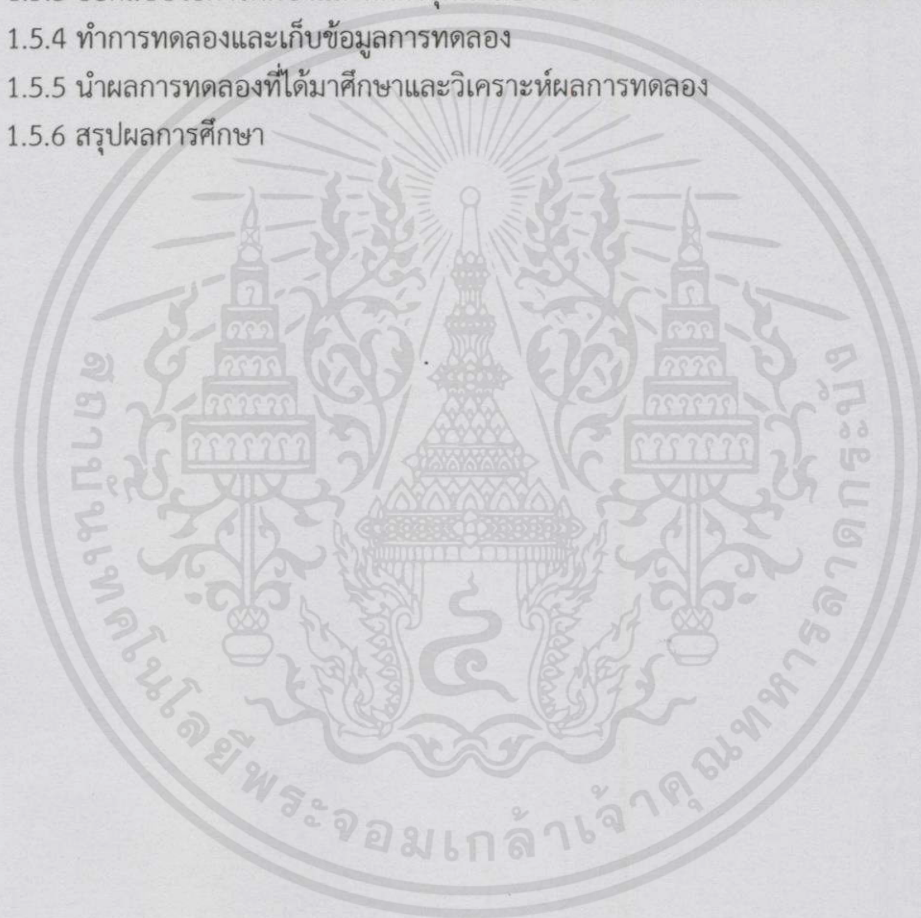
1.5.2 วางขอบเขตศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อ การเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซลและเลือกตัวแปรที่จะทำการศึกษา

1.5.3 ออกแบบวิธีการศึกษาและติดตั้งชุดทดลองเพื่อจะทำการวัดความดันการเผาไหม้

1.5.4 ทำการทดลองและเก็บข้อมูลการทดลอง

1.5.5 นำผลการทดลองที่ได้มาศึกษาและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.5.6 สรุปผลการศึกษา



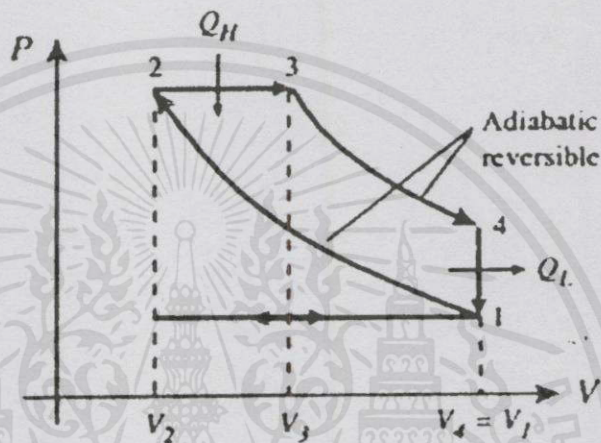
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า .
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีหลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เบื้องต้นในวัฏจักรดีเซล

การศึกษาเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซลนั้นต้องมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับวัฏจักรดีเซล โดยเริ่มศึกษาจากความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรของลูกสูบ แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดัน (P) และปริมาตร (V) [1]

เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engines) ซึ่งเป็นเครื่องต้นกำลังที่เปลี่ยนพลังงานเคมีในเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานความร้อนโดยการเผาไหม้และพลังงานความร้อนก็เปลี่ยนเป็นพลังงานกลเครื่องยนต์ดีเซลนั้นจะมีการจุดระเบิดโดยเชื้อเพลิงจะถูกอัดฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ที่มีอากาศถูกอัดไว้และจะเกิดการลุกไหม้ขึ้นผลของการเผาไหม้จะทำให้ก๊าซที่เกิดขึ้นมีความดันและอุณหภูมิสูงก็จะขยายตัวดันลูกสูบลงมาซึ่งจะไปผลักให้ข้อเหวี่ยงหมุนไปโดยกระบวนการในรูปที่ 2.1 สามารถอธิบายได้ดังนี้

กระบวนการ 1 ไป 2 เป็นกระบวนการอัดตัวแบบอะเดียแบติก (Adiabatic process) โดยไม่มีการถ่ายเทความร้อนออกจากระบบ

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

กระบวนการ 3 ไป 4 เป็นกระบวนการขยายตัวแบบอะเดียแบติก (Adiabatic process) จนกระทั่งอากาศมีปริมาตรเท่ากับสภาวะเริ่มต้น

กระบวนการ 4 ไป 1 เป็นการถ่ายเทความร้อนภายใต้ปริมาตรคงที่
ในการศึกษาลักษณะของสเปิร์กของงานวิจัยนี้ได้จำลองความดันของกระบวนการเผาไหม้ในวัฏจักรดีเซลอุดมคติเป็นกระบวนการรับความร้อนโดยความดันคงที่คือกระบวนการ 2 ไป 3 ซึ่งในกระบวนการนี้ของวัฏจักรดีเซลอุดมคติจะเป็นช่วงที่หัวฉีดของเครื่องยนต์ทำการฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้จึงได้เลือกศึกษาลักษณะการเผาไหม้ในกระบวนการนี้ภายในห้องเผาไหม้จำลอง

2.2 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง ได้แก่ ความดันระหว่างการเผาไหม้ อุณหภูมิในการเผาไหม้ ความล่าช้าในการจุดระเบิด อัตราการปล่อยความร้อน ความยาวของลำสเปรย์ในช่วงที่เป็นของเหลว และประสิทธิภาพการเผาไหม้

2.2.1 ความดันระหว่างการเผาไหม้

ความดันระหว่างการเผาไหม้ เป็นตัวแปรตาม ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต้น คือ ความเข้มข้นของออกซิเจน ซึ่งความดันจะสามารถนำไปพิจารณาอุณหภูมิระหว่างการเผาไหม้ ความล่าช้าในการจุดระเบิด และอัตราการปล่อยความร้อนต่อไป

2.2.2 อุณหภูมิในการเผาไหม้

อุณหภูมิการเผาไหม้ (Bulk Gas Temperature) ซึ่งคำนวณจากความดันในการเผาไหม้ ดังสมการที่ 2.1

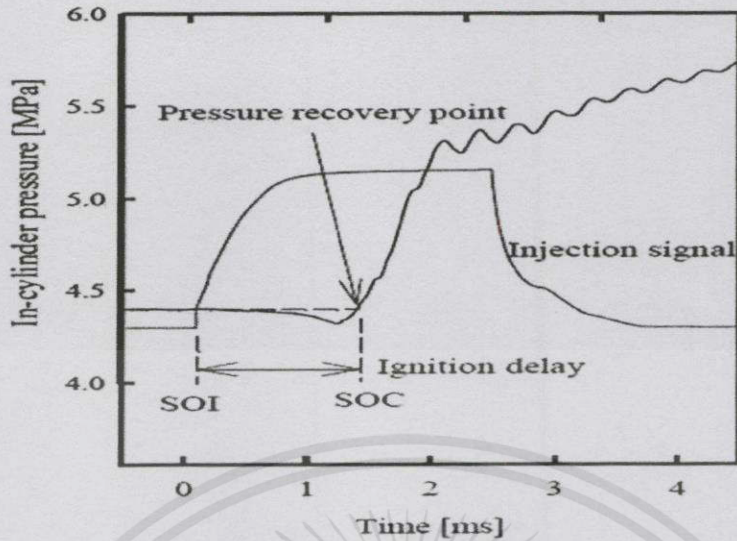
$$(2.1) \quad T_{\text{bulk}} = T_{\text{int}} \frac{P_{\text{bulk}}}{P_{\text{int}}} M$$

เมื่อ	T_{bulk}	แทนอุณหภูมิของแก๊สผสมหลังการจุดระเบิด
	T_{int}	แทนอุณหภูมิของแก๊สผสมที่จ่ายเข้าห้องเผาไหม้
	P_{bulk}	แทนความดันของแก๊สรวมหลังการจุดระเบิด
	P_{int}	แทนความดันของแก๊สผสมก่อนการจุดระเบิด
	M	แทนอัตราส่วนน้ำหนักโมลระหว่างผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้น

2.2.3 ความล่าช้าในการจุดระเบิด

ความล่าช้าในการจุดระเบิด (Ignition Delay) คือระยะเวลาระหว่างจุดเริ่มต้นฉีดเชื้อเพลิง (SOI) จนถึงจุดเริ่มต้นการระเบิด (SOC) ซึ่งการจุดระเบิดของดีเซลประกอบไปด้วยทางเคมีและทางฟิสิกส์การเผาไหม้แบ่งได้สามขั้นตอนคือ เวลาค้นหาในการเผาไหม้ (Ignition Delay) การเผาไหม้ทันทีที่ฉีดเชื้อเพลิง (Premixed Combustion) การเผาไหม้ช้า (Rate-Control Combustion) ดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ผลของแรงดันในห้องเผาไหม้เทียบกับเวลาขณะฉีดเชื้อเพลิงดีเซล [12]

2.2.4 อัตราการปล่อยความร้อน

อัตราการปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) คือ อัตราการปล่อยความร้อนที่น้ำมันเชื้อเพลิงปล่อยออกมาระหว่างการเผาไหม้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} p \frac{dv}{dt} + \frac{1}{\gamma - 1} V \frac{dp}{dt} \quad (2.2)$$

ซึ่งในการทดลองนี้ ปริมาตรห้องเผาไหม้มีค่าคงที่ ดังนั้น อัตราการปล่อยความร้อน สามารถหาได้ดังสมการที่ 2.3

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{1}{\gamma - 1} V \frac{dp}{dt} \quad (2.3)$$

เมื่อ γ แทนอัตราส่วนความร้อนจำเพาะ
 V แทนปริมาตรของห้องเผาไหม้
 $\frac{dp}{dt}$ แทนอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันเทียบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 ความยาวของลำสเปรย์ในช่วงที่เป็นของเหลว

ความยาวของลำสเปรย์ในช่วงที่เป็นของเหลว (Liquid Penetration Length) จะแสดงถึงความสามารถในการระเหยของเชื้อเพลิง จากของเหลวกลายเป็นแก๊ส โดยในการทดลองนี้ จะใช้โปรแกรม PFV วัดความยาวของลำสเปรย์ จากเทคนิคการถ่ายภาพแบบซูร์เรนในการเผาไหม้

2.2.6 ประสิทธิภาพการเผาไหม้

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion efficiency) คือประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิง จะขึ้นอยู่กับค่าความร้อน (Heating Value), ปริมาณการฉีดเชื้อเพลิง (Injection quantity) และการปล่อยความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง (Heat Release) โดยที่ประสิทธิภาพการเผาไหม้สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.4

$$\eta = \frac{Q}{m_{\text{fuel}} Q_{\text{HV}}} \times 100\% \quad (2.4)$$

โดยที่ Q แทนการปล่อยความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง (กิโลจูล) นำมาจากผลรวมของพื้นที่ใต้กราฟ RHOR.
 m_{fuel} แทนปริมาณการฉีดเชื้อเพลิง ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้หัวฉีดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.14 มิลลิเมตร ใช้เวลาการฉีด 2.5 มิลลิวินาที ดังนั้นจะได้ปริมาณการฉีดเชื้อเพลิง 13.84 มิลลิกรัม
 Q_{HV} แทนค่าความร้อนของเชื้อเพลิงดีเซล (45.13 เมกะจูลต่อกิโลกรัม)

2.3 การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล

2.3.1 ส่วนประกอบของขั้นตอนการเผาไหม้

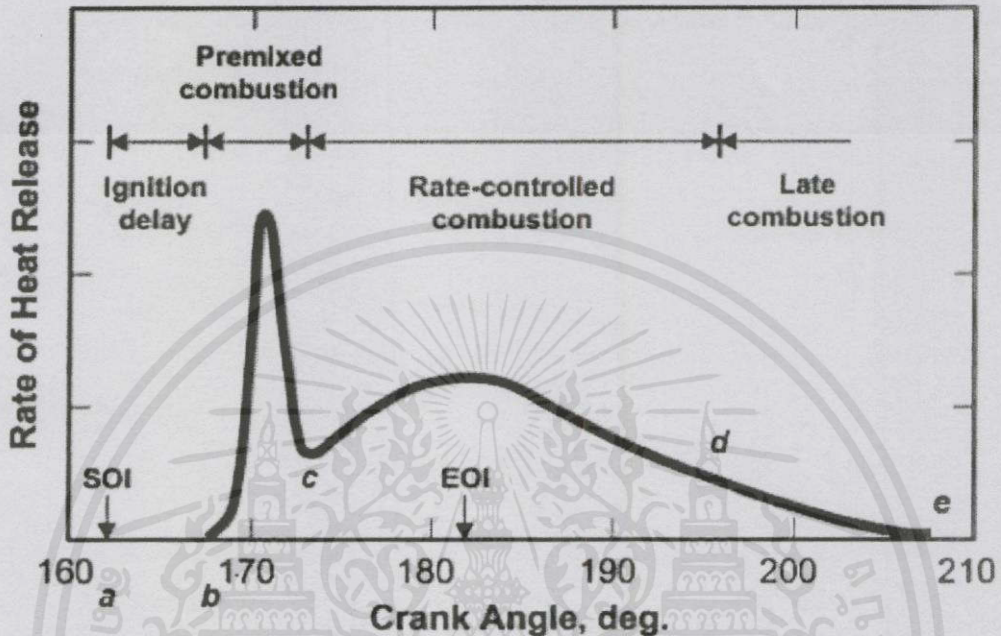
เครื่องยนต์ดีเซลมีความโดดเด่นในเรื่องการใช้เชื้อเพลิงต่ำ มีลักษณะความทนทาน และนำเชื้อถือพวกเขารูในแง่ที่ว่า ปล่อยมลพิษไฮโดรคาร์บอน และคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำ อย่างไรก็ตาม เครื่องยนต์ดีเซลก็ยังปล่อยเขม่าและกลิ่นไอเสียที่ออกมายังมีไนตริกออกไซด์สูง

ในเครื่องยนต์ดีเซลเชื้อเพลิงจะถูกฉีดจะเข้าไปในช่วงใกล้ถึงจุดสูงสุดของการอัดอากาศ จะฉีดน้ำมันผ่านหัวฉีดจนกลายเป็นละอองขนาดเล็ก เพื่อจะได้แทรกซึมลงไปในห้องเผาไหม้ เชื้อเพลิงจะดูดซับความร้อนจากภายนอกจนกลายเป็นสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ณ ขณะที่ลูกสูบอยู่ตำแหน่งศูนย์ตายบน (Top Dead Center; TDC) จนถึงอุณหภูมิที่จุดระเบิดด้วยตนเอง

2.3.2 การจุดระเบิดของดีเซล

ในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นเมื่อทำการฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงเข้าไปในจังหวะที่ลูกสูบอยู่ที่จุดศูนย์ตายบน เชื้อเพลิงจะยังไม่เกิดการระเบิดโดยทันที เพราะจะต้องให้เชื้อเพลิงผสมกับอากาศและถึงจุดที่ระเบิดได้ด้วยตัวเอง ดังนั้นจากรูปที่ 2.2 จะแสดงให้เห็นว่า ณ จุดที่เริ่มฉีดน้ำมัน (Start of Ignition; SOI) แรงดันภายในห้องเผาไหม้นั้นจะลดลงเพราะเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิที่เย็นกว่าภายในห้องเผาไหม้ จึงรับความร้อนจากภายนอกเข้ามา ทำให้แรงดันลดลง หลังจากรับความร้อนเข้ามาแล้ว เชื้อเพลิงได้เปลี่ยนสถานะจาก

ของเหลวไปเป็นแก๊สหลังจากรับความร้อนเข้ามาแล้วจนถึงจุดที่แรงดันกลับมาเท่าเดิมเพราะเชื้อเพลิงได้ปล่อยพลังงานออกมา จึงเริ่มเกิดการเผาไหม้ขึ้น (Start of Combustion; SOC) และเมื่อเราหารระยะเวลาจากจุด SOI จนถึงจุด SOC เราจะได้ระยะเวลา ช่วงที่ล่าช้าในการจุดระเบิด ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 อัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงทั่วไป [12]

จากช่วงเวลาต่างๆ ระยะเวลาการฉีดและเผาไหม้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรง สามารถสรุปได้จากกราฟอัตราการปล่อยความร้อนในรูปที่ 2.3 ได้ดังนี้

1. ช่วงที่ล่าช้าในการจุดระเบิด (Ignition Delay) จากจุด a ไปจุด b คือจุดที่เริ่มการฉีดเชื้อเพลิงดีเซลเข้าสู่ห้องเผาไหม้สารผสม หลังจากนั้นในระยะเวลา a ถึง b น้ำมันเชื้อเพลิงจะดูดความร้อนจากอากาศภายในห้องเผาไหม้แล้วเปลี่ยนสถานะจากของเหลวจนกลายเป็นไอจนกระทั่งถึงจุดที่สามารถคายพลังงานออกมาได้หรือจุดระเบิดด้วยตัวเอง (Self Ignition) คือจุด b
2. ช่วงการเผาไหม้สารผสม (Premixed Combustion) จุด b ในจุดนี้เป็นช่วงที่เชื้อเพลิงผสมกับอากาศเรียบร้อยแล้ว ถึงจุดที่ระเบิดได้ด้วยตนเอง ณ จุดนี้จะเผาไหม้เกือบพร้อมกันทั้งหมดจึงเผาไหม้อย่างรวดเร็วในเวลาไม่กี่องศาเพลลาข้อเหวี่ยง และเป็นผลทำให้การคายพลังงานในช่วงนี้มากที่สุดเพราะคายพร้อมกัน
3. ช่วงการเผาไหม้โดยที่ถูควบคุมจุด c เมื่อผ่านช่วงการเผาไหม้สารผสมแล้วค่าการปล่อยความร้อนจะลดลงอย่างรวดเร็วเพราะอากาศบริเวณรอบๆ ถูกเผาไหม้ไปแล้ว เมื่อเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดมาอย่างต่อเนื่องจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวเป็นแก๊สแล้วทำให้อัตราการปล่อยความร้อนลดลงและเพิ่มขึ้นใหม่เมื่อเกิดการจุดระเบิดด้วยตนเองอีกครั้งจนถึงจุดสิ้นสุดการฉีดเชื้อเพลิง ที่จุดนี้เมื่อเชื้อเพลิงหยุดฉีดแล้วค่าการปล่อยความร้อนจะค่อยๆ ลดลงเพราะไม่มีเชื้อเพลิงมาฉีดเพิ่มและเชื้อเพลิงที่เหลืออยู่ก็เผาไหม้หมดไปอย่างช้าๆ
4. ช่วงการเผาไหม้ช้า (Late Combustion) เป็นช่วงที่การปล่อยความร้อนเกิดขึ้นต่อไปที่อัตราต่ำในจังหวะขยายตัว ซึ่งเป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงส่วนที่เหลืออยู่เล็กน้อยและเป็นการเผาไหม้ต่อไปของ

เขม่าและสารที่เกิดจากการเผาไหม้สารผสมหนา เช่น CO, H₂

2.3.3. แบบจำลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซล

แบบวิวัฒนาการของดีเซลความเข้าใจในรายละเอียดขั้นตอนธรรมชาติของกระบวนการเผาไหม้ดีเซลได้ถูกกล่าวถึงอย่างมีนัยสำคัญในปี 1990 ด้วยการนำเทคนิค Laser Sheet มาใช้ในการสร้างภาพ ในงานวิจัยเครื่องยนต์ที่มีการฉายแสงเข้าสู่ห้องเผาไหม้[Dec, 1997] ก่อนการนำเทคโนโลยีการถ่ายภาพ Laser Sheet มาใช้ มันถูกคาดการณ์ไว้ว่า เป็นการเสมือนสัดส่วนคงตัวของการเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซล หลังจากที่มีการระเบิดจนถึงการหยุดฉีดซึ่งใกล้เคียง สภาวะคงตัวของหัวทอซึ่งปฏิกิริยาเช่นนี้ สามารถพบได้ในเตาเผาและระบบกังหันก๊าซแบบรุ่นแรกๆของการเผาไหม้ดีเซลซึ่งอธิบายกระบวนการเผาไหม้ดีเซลโดยสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงกับเชื้อเพลิงที่ผสมหนา และการกระจายเชื้อเพลิงที่ลดลงในลักษณะคล้ายกับ Gaussian ที่รัศมีที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีสามคุณลักษณะที่สำคัญดังนี้

- การเผาไหม้แบบ Premixed ลำสเปรย์น้ำมันช่วงที่เป็นของเหลวที่ออกมาจากหัวฉีดเป็นหยดๆในโซนที่มีการเผาไหม้
- หลังจากการเผาไหม้ในช่วงแรกๆแล้ว การเผาไหม้จะเกิดขึ้นจากเพียงการลามของเปลวไฟ และถูกจำกัดแค่บริเวณรอบๆของลำสเปรย์
- เขม่าส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในบริเวณเส้นรอบขอบของสเปรย์

การศึกษาในรูปที่ 2.4 จากเทคนิคการถ่ายภาพ Laser Sheet ในช่วงแรกๆ แสดงลักษณะที่ขัดแย้งกับแบบจำลอง ดังนี้

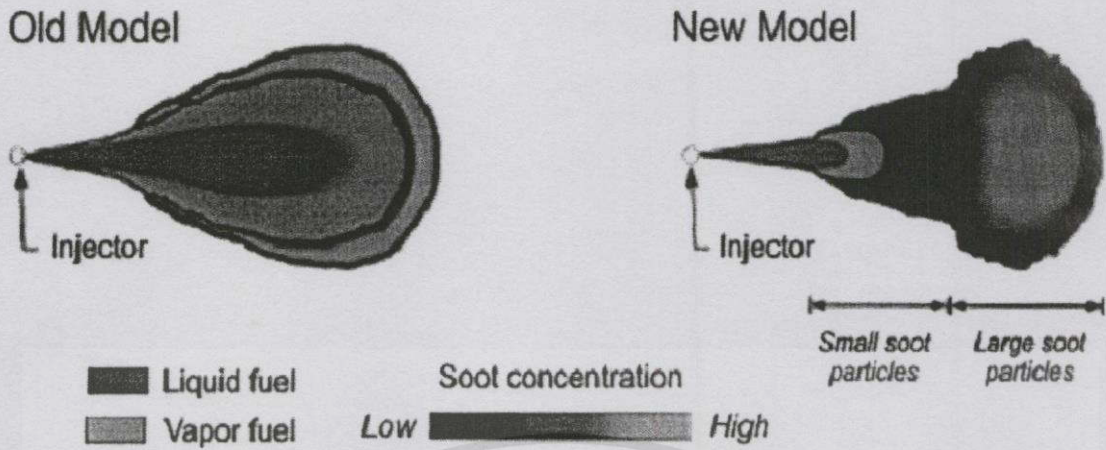
- เขม่าจะกระจายผ่านส่วนของเหลวของลำสเปรย์ดีเซล
- ไม่มีเชื้อเพลิงที่เป็นหยดของเหลวในลำสเปรย์
- เขม่าในส่วนต้นของสเปรย์มีขนาดเล็กกว่าในแกนกลางส่วนต้น
- ในงานศึกษาต่อมา ภาพได้มีรายละเอียดที่เพิ่มเข้ามา แบบจำลองของการเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซลถูกเปลี่ยนแปลงไปดังรูปนี้ ได้ระบุดังนี้
- การกระจายตัวจนสิ้นสุดของลำสเปรย์ค่อนข้างมาก ความยาวของลำสเปรย์จะสั้นมาก ในช่วงการเผาไหม้ปกติหลังจากสิ้นสุดการเผาไหม้ช่วงแรกๆ เชื้อเพลิงบางส่วนจะถูกใช้ ในการเผาไหม้แบบหนา ก่อนที่เชื้อเพลิงจะไปถึงการลามเปลวไฟ ที่การเผาไหม้เสร็จสมบูรณ์

มุมมองของการเผาไหม้แบบจำลองเก่า รายละเอียดการเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซลในเครื่องยนต์เก่าๆ แบบจำลองได้ถูกพัฒนาขึ้นใหม่ โดยใช้พื้นฐาน 3 ข้อเกี่ยวกับเครื่องยนต์ดีเซลสมัยใหม่ ดังนี้

1. ความเร็วในการฉีดเชื้อเพลิงสูงมากในเครื่องยนต์สมัยใหม่ ซึ่งนำการลามเปลวไฟจากหัวฉีดและอากาศช่วงต้นในโซนการลามเปลวไฟ

2. ส่วนผสมที่ส่วนยอดของสเปรย์ (Up Stream) มีความเข้มข้นของเชื้อเพลิงสูงมากกว่าส่วนปลายของสเปรย์ (Down Stream)

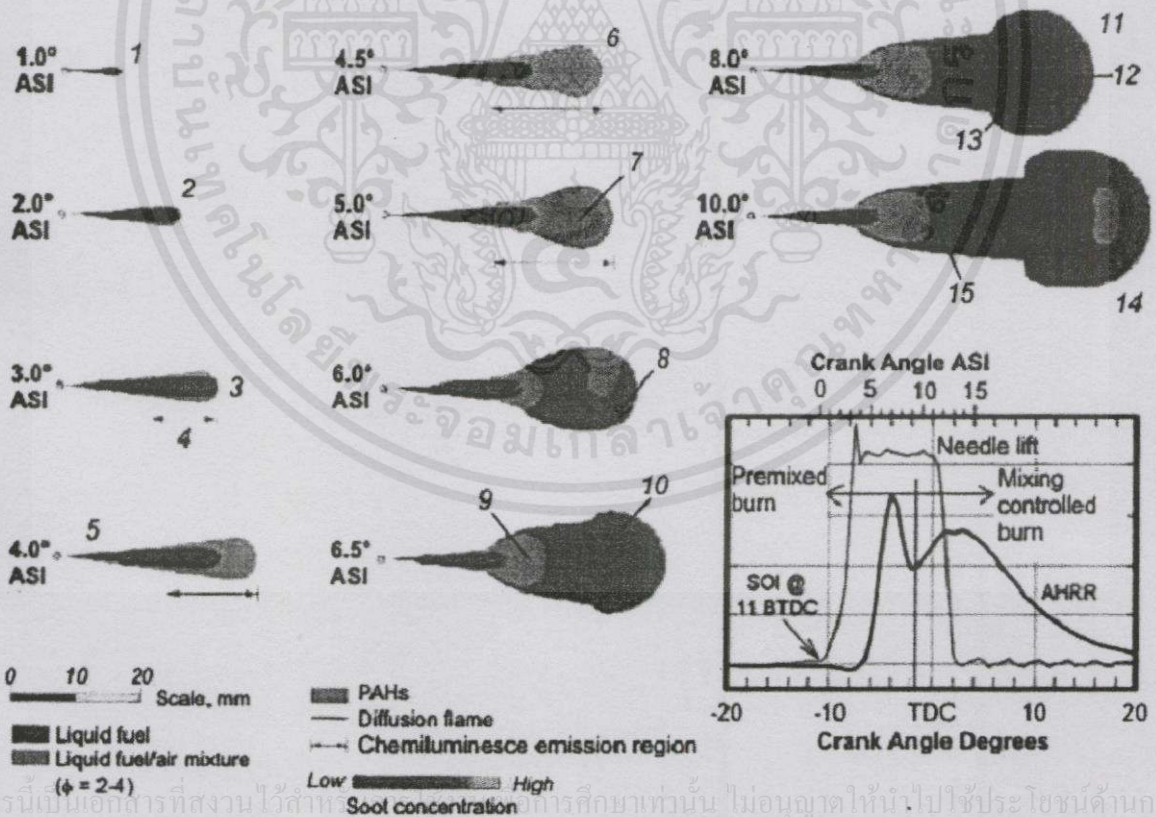
เอกสารนี้เป็น 3. รูปภาพชั่วขณะที่บ้านทีก จะแตกต่างจากภาพที่บ้านทีกโดยเฉลี่ยเป็นอย่างมาก การวัดก่อนค่า
ไม่ว่า เวลาเปลี่ยนแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวแบบเกาส์ และการไล่ระดับสีที่ที่เกิดขึ้นจริงอาจจะมีมากขึ้น
มาก



รูปที่ 2.4 การเปรียบเทียบแบบจำลองการเผาไหม้ดีเซล (ซ้ายแบบ Old Model ขวาแบบ New Model)

2.2.4 แบบจำลองการเผาไหม้ดีเซล

การจำลองการเผาไหม้ในช่วงต้นของการเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซล จะถูกย่อด้วยรูปที่ 2.5 การอธิบายข้อมูลในเชิงปริมาณเพียงแค่งานที่พิจารณาซึ่งค่าของเครื่องยนต์อื่นๆจะแตกต่างกัน



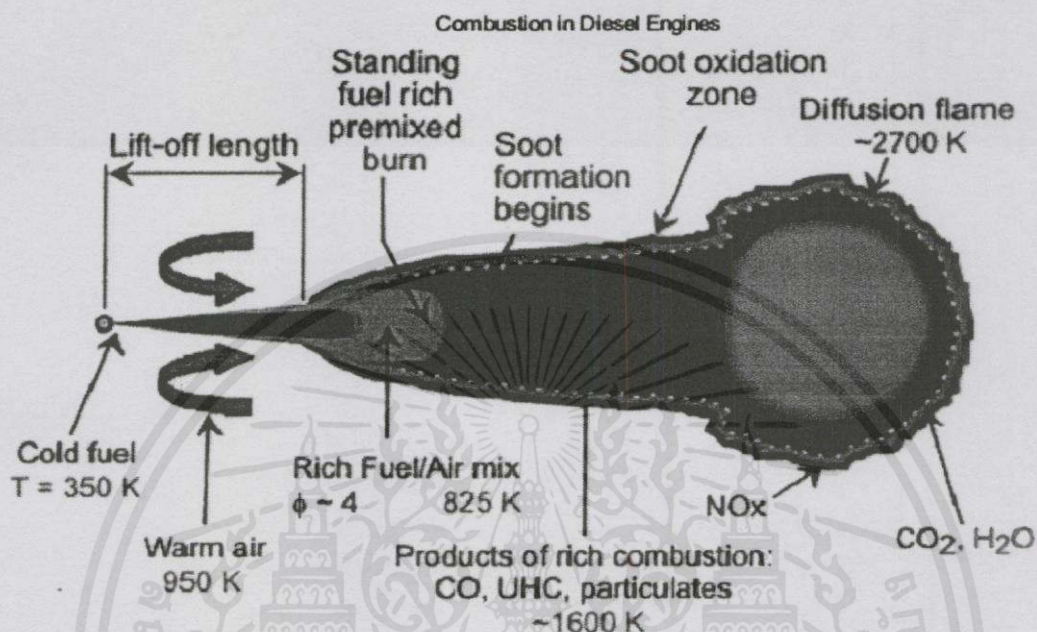
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่าการตีพิมพ์ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงแหล่งเอกสารที่ตีพิมพ์ที่มีการนำ ไปใช้ รูปที่ 2.5 แนวคิดรูปแบบดั้งเดิมของการเผาไหม้ดีเซลผ่านการเผาไหม้สารผสมในขั้นตอนการเริ่มต้นของการเผาไหม้ในช่วง Mixing-Controlled

1. ลำของเชื้อเพลิงฉีดออกจากหัวฉีด
2. เชื้อเพลิงจะแยกตัวออกจากลำสเปรย์เพื่อผสมตัวกับอากาศร้อน
3. ช่วงที่เป็น Liquid Penetration Length มีค่าสูงสุดในช่วงนี้และสเปรย์เริ่มเป็นไอเพื่อผสมตัวกับอากาศร้อน
4. เกิดการเผาไหม้แต่ไม่มีปฏิกิริยา
5. เริ่มมีความดันในการเผาไหม้
6. ช่วงส่วนผสม ($D > 2-4$) ของลำสเปรย์จะถูกแทรกเป็นการเผาไหม้ แบบไม่มีปฏิกิริยาอีกครั้งหนึ่ง โดยสังเกตมีเชื้อเพลิงในลำสเปรย์ของช่วง break down (แยกออก)
7. การแยกตัวของลำเชื้อเพลิง (Fuel break down) และการเขม่าแบบ PAH, Soot precursor formation
8. เกิดเขม่าที่บริเวณการเผาไหม้แบบแพร่ (Diffusion Combustion) บริเวณ Periphery ส่วนหัวของสเปรย์
9. ช่วง Liquid Penetration Length สิ้นลงเนื่องจากความร้อนในการเผาไหม้
10. ส่วนของปลายของลำสเปรย์ (Down Stream) ขอบเขตของการเผาไหม้แบบแพร่ จึงเกิดเขม่าในส่วนปลายของลำสเปรย์และจะมีมลพิษอนุภาคเกิดขึ้นในส่วนปลายของสเปรย์ในการเผาไหม้
11. การเผาไหม้แบบแพร่ (Diffusion Combustion) เสร็จสมบูรณ์
12. ความเข้มข้นของเขม่าเพิ่มขึ้นและมากที่สุดในช่วงใกล้กับหัวฉีด
13. เกิดเขม่าขึ้นอีกรอบบริเวณใกล้ส่วนปลายของลำสเปรย์
14. เกิดการเผาไหม้แบบ Mixing control เชื้อเพลิงเป็นผลจากการเผาไหม้ โดยสังเกตจากหยุดฉีดเชื้อเพลิงและเกิดเขม่าในช่วงที่มีการผสมตัวแบบ Vertex บริเวณปลายของสเปรย์
15. ไม่มีเขม่าในช่วง Up Stream (บริเวณใกล้หัวฉีด) เนื่องจากเกิดการผสมตัวที่สมบูรณ์ประกอบการหยุดฉีดเชื้อเพลิง แต่ในช่วงปลายสเปรย์ยังคงเกิดเขม่าเหมือนเดิม

สเปรย์ของเชื้อเพลิงถูกปล่อยออกจากปลายหัวฉีด หลังจากช่วงเริ่มการฉีดเชื้อเพลิง (SOI) มันนำพาอากาศที่มีความร้อนจากระบบการอัดตัวของลูกสูบ (ประมาณ 950 เคลวิน) อากาศที่ถูกนำพาจะอุ่นน้ำมัน และเป็นสาเหตุให้เริ่มการดูดความร้อนที่จุดนี้ การแตกตัวของเหลวที่จุดปลายจะมีขนาดมากที่สุด ซึ่งสามารถเกิดขึ้นก่อนการปลดปล่อยความร้อนจะเกิดขึ้นลำดับถัดมา ส่งผลให้การแตกตัวของเหลวมีมากที่สุด ไอของน้ำมันเชื้อเพลิงข้างๆสเปรย์เชื้อเพลิงที่เป็นของเหลวจะบางมาก ขอบเขตของไอเชื้อเพลิงจะเหมือนกับของเหลว หลังจากของเหลวมีขอบเขตสูงสุดแล้วนั้น ไอของเชื้อเพลิงจะกระจายตัวไปทั่วห้องเผาไหม้สิ่งที่ตามมาคือ การปลดปล่อยพลังงาน ไอของน้ำมันจะผสมกับอากาศได้ดีที่อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงและอากาศประมาณ 2-4 การจุดระเบิดก่อนจะเกิดขึ้นหลายๆจุด ในบริเวณ Premixed Combustionและกระจายตัวอย่างทั่วถึง การเกิดขึ้นของเขม่าจะเริ่มเมื่อน้ำมันหยุดฉีดประมาณ 0.14 มิลลิวินาทีต่อมา ซึ่งส่วนของเขม่าจะเล็กมากๆการลามของเปลวไฟจะเริ่มที่ขอบนอกของลำสเปรย์ เมื่ออุณหภูมิและความเข้มข้นมากเพียงพอ เปลวไฟจะกระจายครอบคลุมรอบๆส่วนที่ไอน้ำมัน

และอากาศผสมกัน การลามของเปลวไฟจะถูกป้อนด้วยน้ำมัน ซึ่งคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน จะเกิดรูปในการเผาไหม้แบบหนา

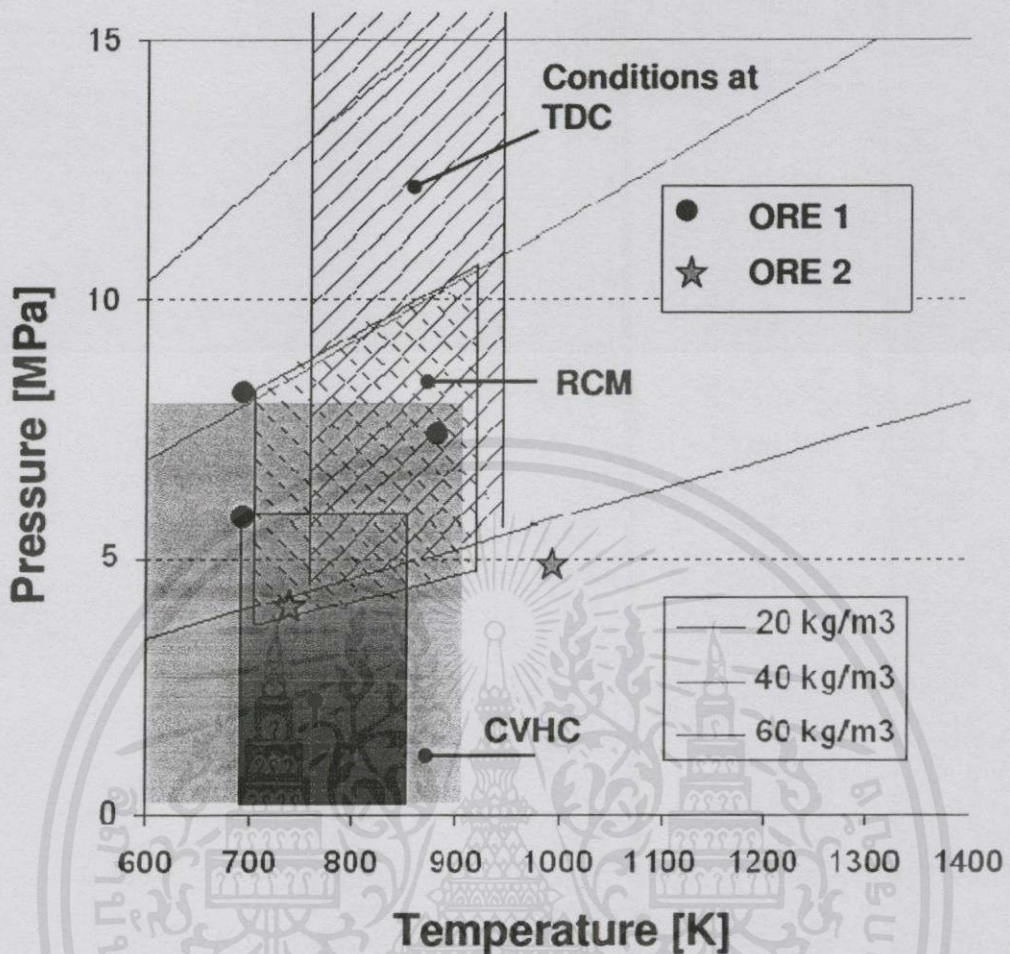


รูปที่ 2.6 แบบจำลองของการควบคุมการผสมในการเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซล หลังจากการเผาไหม้ช่วงต้นเสร็จสิ้น จนถึงการหยุดฉีดเชื้อเพลิง

จากรูปที่ 2.6 ผลลัพธ์ของการเผาไหม้แบบหนาหลักๆก็คือ ไฮโดรเจน น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน เขม่า และน้ำมันส่วนเล็กๆ พลังงานที่ปลดปล่อยในโซนเปลวไฟบางคือ การก่อตัวของน้ำ และอุณหภูมิประมาณ 1600 เคลวิน หลังจากสิ้นสุดกระบวนการฉีดเชื้อเพลิง เขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้ช่วงแรกๆจะถูกออกซิไดซ์โดยไฮดรอกไซด์ หลังจากการปิดของหัวฉีดแล้ว ความเร็วของน้ำมันที่ถูกฉีดออกมาจะลดลง

2.4 ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่

เราต้องการจำลองสภาวะของเครื่องยนต์ดีเซลในช่วงศูนย์ตายบน (TDC) ซึ่ง ณ จุดนี้จะมีอุณหภูมิประมาณ 800-900 เคลวิน (K) และแรงดันประมาณ 4.5-6.0 เมกะปาสคาล (MPa) การทดลองนั้นมีหลายอุปกรณ์และหลายวิธี จากในรูปที่ 2.7 มี Rapid Compression Machines (RCM), Constant Volume Hot Cells (CVHC), Constant Volume Precombustion Cells (CVPC) ซึ่ง CVCC สามารถทำการทดลองได้ทุกช่วงความดัน



รูปที่ 2.7 อุปกรณ์ในการทดลองที่เหมาะสมกับความดันและอุณหภูมิ [1]

2.4.1 แบบ Rapid Compression Machine (RCM)

ในอุปกรณ์นี้จะเป็นลูกสูบขยับขึ้นลงและจะศึกษาในช่วงจุดตายบน (TDC) หลายครั้งที่ RCM ได้ใช้ศึกษาการเผาไหม้ดีเซล แต่จากงานวิจัยหลายๆงานได้บอกไว้ว่ามีความเสี่ยงที่จะสร้าง ด้ำนเนงงาน และควบคุม นอกจากนี้เครื่องเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะมีเสียงดังและแรงสั่นสะเทือนจากเครื่อง ในจังหวะการบีบอัด นั้นจึงทำให้การดำเนินการวิเคราะห์ด้วยเลเซอร์ยากขึ้น เครื่อง RCM สามารถรองรับการใช้งานสูงสุดของแรงดันที่ 11 MPa และ อุณหภูมิสูงสุดที่ 900 K

2.4.2 แบบ Constant Pressure Flow Rig (CPFR)

สำหรับการศึกษาสเปย์เชื้อเพลิงดีเซลที่ไม่จำกัดขอบเขตปฏิกิริยาการไหลเราจะใช้อุปกรณ์อื่น อุปกรณ์ที่น่าสนใจคือ CPFR โดยทำการทดลองการไหลในขณะที่รักษาความดันแก๊สในท่อเชื้อเพลิงจะถูกฉีดทิศทางขนานการกระจายของลำสเปย์และการเผาไหม้จะถูกสังเกตและศึกษาผ่านกระจกที่อยู่รอบๆท่อข้อเสียคืออุณหภูมิและความดันสูงสุดจะถูกจำกัดและการทดลองจำเป็นต้องใช้เวลานานเพื่อที่จะปรับเป้าหมายระดับอุณหภูมิ

2.4.3 แบบ Constant Volume Hot Cells (CVHC)

ทางเลือกอีกทางหนึ่งคือการใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าห้องการทดลองปริมาตรคงที่ ใช้ผนังที่ทำจากเหล็กสามารถรับแรงดันสูงๆและอุ่นห้องเผาไหม้ให้ความร้อนที่ต่อเนื่องและฉีดเชื้อเพลิงดีเซลเข้ามา เมื่อเราใช้ผนังโลหะเหล็กแข็งแรงแรงจะทำให้เข้าใกล้ข้อจำกัดอุณหภูมิสูงสุดได้โดยส่วนมากจะใช้ที่ 900 เคลวิน ถ้าใช้ผนังสองชั้นทำให้สามารถรับแรงดันได้ถึง 80 บาร์ขณะที่ CPFR ใช้ดักแก๊สความดันอุณหภูมิและการจัดวางองค์ประกอบของ CVHC สามารถคำนวณหรือพิจารณาได้แม่นยำอย่างไรก็ตามการสังเกตจะมีข้อจำกัดด้วยกระจกบานเล็กๆเพื่อลดข้อจำกัดต่างๆสามารถอุ่นโดยใช้เครื่องอุ่นก่อนที่จะปล่อยแก๊สเข้าห้องเผาไหม้

2.5 เทคนิคการถ่ายภาพแบบชูรีเรน (Schlieren)

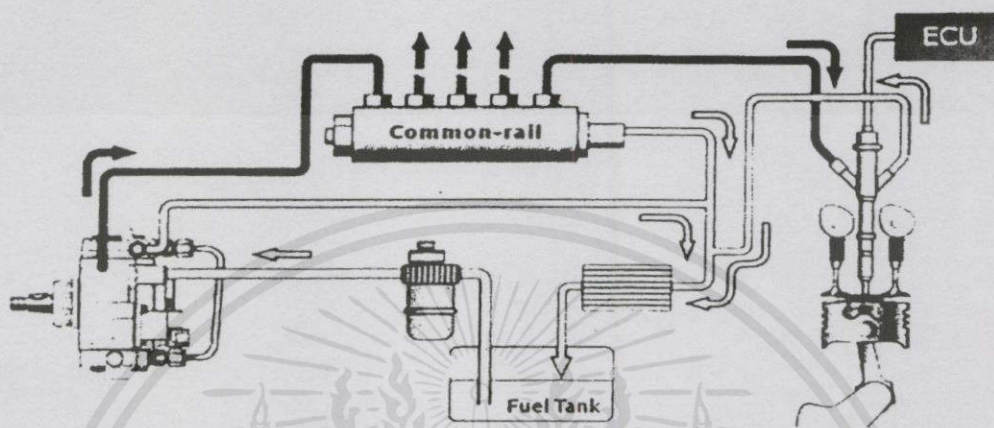
เทคนิคการถ่ายภาพแบบชูรีเรนโดยใช้หลักการของการหักเหของแสง เนื่องจากตาของคนเรานั้นไม่สามารถมองเห็นความแตกต่างระหว่างสถานะของสารต่างๆได้ เราสามารถมองเห็นได้เฉพาะความสว่างโทนสีของแสง การที่จะมองเห็นภาพเหล่านี้ได้ด้วยเทคนิคชูรีเรนซึ่งสามารถเปลี่ยนสถานะต่างๆของแสงที่ได้สะท้อนมา เป็นความมืดและสว่างรวมถึงสีในบางครั้ง การกระจายตัวของแสงเมื่อผ่านตัวกลางที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เช่น แสงจากดวงดาวจะไม่ถูกรบกวนใดๆเมื่อเดินทางผ่านสุญญากาศ แต่เมื่อแสงเดินทางผ่านมายังโลกได้ผ่านชั้นบรรยากาศความหนาแน่นของอากาศ การถ่ายเทความร้อน รวมถึงความปั่นป่วนภายในระบบที่เกิดขึ้นจึงทำให้เห็นดาวกระพริบได้ ดังนั้นกล้องโทรทรรศน์ที่ส่องศึกษาดวงดาวจึงต้องถูกส่งออกไปนอกโลกเพราะจะได้เกิดการรบกวนที่น้อยกว่าเมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศ แสงจะมีความเร็วไม่เท่ากันในตัวกลางที่แตกต่างกัน ดัชนีการหักเหของแสง $n=c_0/c$ สำหรับความหนาแน่นของตัวกลางที่ต่างกัน

2.6 ระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม

ระบบจ่ายเชื้อเพลิงแบบรางร่วมหรือคอมมอนเรลเป็นระบบที่พัฒนาขึ้นมาในปัจจุบันเพื่อให้แรงดันน้ำมันเข้าสู่รางร่วม (Common Rail) เพื่อรอจังหวะฉีดน้ำมันที่เหมาะสม จากการประมวลผลของหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Control Unit; ECU) สั่งการให้โซลินอยด์ยกหัวฉีดให้สามารถฉีดหลายครั้งได้ ซึ่งต่างจากแบบเดิมที่เป็นปั๊มเชื้อเพลิงแบบเรียงแถวที่จะใช้แรงดันน้ำมันให้สามารถขณะแรงสปริงได้ เมื่อขณะแรงสปริงน้ำมันจะออกมาจากหัวฉีด ซึ่งแรงดันจะอยู่ที่ประมาณ 120-200 บาร์ ในระบบคอมมอนเรลสามารถควบคุมการฉีดให้ยืดหยุ่นตามสภาวะที่เหมาะสมได้ โดย ECU จะสามารถรู้จังหวะฉีดได้โดยจากเซ็นเซอร์ เช่น ตำแหน่ง ของเพลาลูกเบี้ยว คันเร่งจากเท้า แรงดันน้ำมันในรางอุณหภูมิ และออกซิเจนในไอเสียหรืออื่นๆ จึงทำให้ ฉีดเชื้อเพลิงได้หลายครั้งในการจุดระเบิดเพียงครั้งเดียว (Multiple Injection) สามารถปริมาณมลพิษในตริกออกไซด์และช่วยลดการน็อกของเครื่องยนต์ได้

ปัจจุบัน ECU สามารถควบคุมให้มีการฉีดเชื้อเพลิงได้แบบหลายครั้ง (Multiple Injection) สามารถช่วยลดปริมาณมลพิษในตริกออกไซด์และช่วยลดการน็อกของเครื่องยนต์ได้ปัจจุบันสามารถผลิต ECU ให้ควบคุมการฉีดสูงสุดได้ถึง 5 ครั้งโดยมีพื้นฐานดังนี้คือการฉีดครั้งที่ 1 เป็นการฉีดล่อ (Pilot Injection) เป็นส่วนช่วยให้เชื้อเพลิงส่วนแรกผสมกับอากาศได้ก่อนหลังจากนั้นจึงฉีดครั้งที่ 2 ตามมาเรียกว่า Pre-Injection เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของเชื้อเพลิงในการเริ่มการเผาไหม้ส่วนแรกการฉีดครั้งที่ 3 เป็นการฉีดเชื้อเพลิงหลัก Main-Injection เป็นการฉีดที่ควบคุมสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ตามคันเร่งการฉีดครั้งที่ 4 เรียกว่า After-Injection เป็นการฉีดเพื่อเผาเขม่าหรืออนุภาคคาร์บอน (PM) ส่วน

สุดท้ายเพื่อให้มีการเผาไหม้สมบูรณ์ที่สุดและการฉีดที่ 5 สุดท้ายคือ Post-Injection เป็นการฉีดควบคุมอุณหภูมิไอเสียสำหรับในประเทศไทย ส่วนใหญ่จะเป็นการฉีดเชื้อเพลิงแบบ 2 ครั้งคือ Pilot และ Main-Injection แต่คาดว่าเทคโนโลยีการฉีดแบบ 5 ครั้งจะเข้ามาต่อไปเนื่องจากข้อกำหนดของการปลดปล่อยมลพิษที่เข้มงวดมากขึ้น



รูปที่ 2.8 ชุดระบบคอมมอนเรลและหัวฉีด

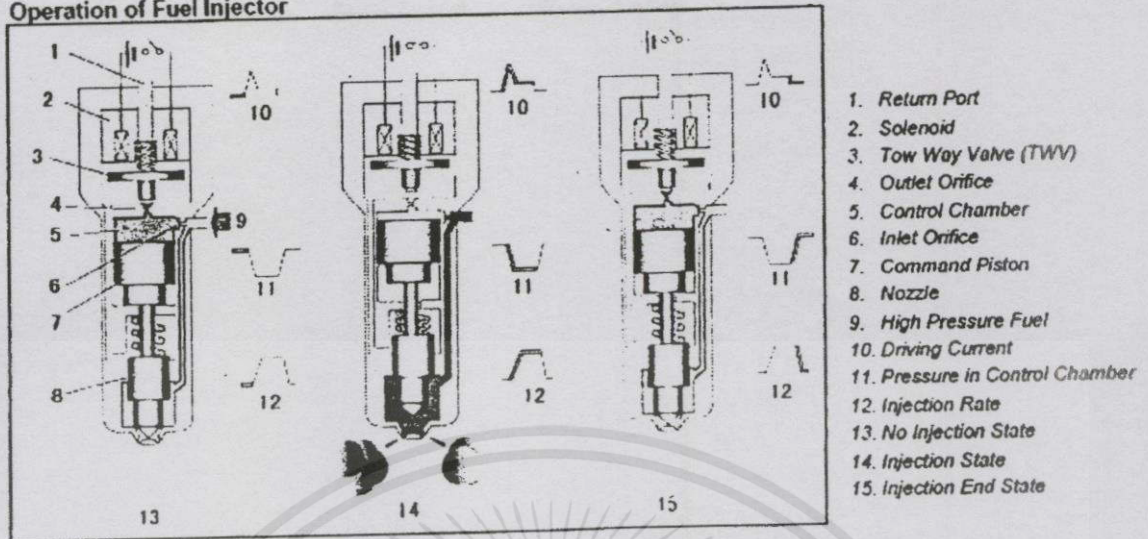
ระบบคอมมอนเรลประกอบด้วย

ปั๊มแรงดันสูงปัจจุบันสามารถปั๊มน้ำมันให้มีความดันได้สูงถึง 1,800 บาร์หรือ 180 MPa ขึ้นอยู่กับเครื่องยนต์แต่ละรุ่นแรงดันที่สูงนี้ทำให้น้ำมันแตกตัวเป็นละอองได้ดีกว่าการใช้หัวฉีดแบบเก่ามากหรือที่เรียกว่า Fuel Atomisation

รางร่วมมีลักษณะเป็นท่อเล็กๆยาวๆที่มีความหนามากเพื่อทนต่อแรงดันสูงรางร่วมนี้จะรักษาความดันให้คงที่และช่วยให้ละอองน้ำมันที่จ่ายไปยังห้องเผาไหม้ทุกห้องมีลักษณะเหมือนกัน อีซียู (Electronic Control Unit) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของทั้งระบบให้เหมาะสมกับการขับขี่ หัวฉีดโซลินอยด์ช่วยทำให้สามารถควบคุมเวลาของการฉีดน้ำมันและปริมาณน้ำมันที่ฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ได้อย่างละเอียดทำงานโดยวิธีเก็บเชื้อเพลิงรอไว้หลังปลายหัวฉีดโดยมีลิ้นแบบเข็มปิดกั้นเชื้อเพลิงไว้ด้วยแรงสปริงหรือแรงแม่เหล็กไฟฟ้าหัวฉีดความดันต่ำเมื่อเพิ่มความดันลิ้นจะถูกดันให้เปิดและปล่อยเชื้อเพลิงพุ่งออกมา ถ้าเป็นหัวฉีดความดันสูงเชื้อเพลิงจะถูกฉีดทันทีที่โซลินอยด์ไฟฟ้าดึงลิ้นแบบเข็มถอยหลังโดยควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงที่ฉีดตามเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Operation of Fuel Injector



รูปที่ 2.9 ภายในหัวฉีดและส่วนประกอบต่างๆขณะเปิดและปิด

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ประเภทที่หนึ่งเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบต่อการเกิดเขม่าจากการนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่ ประเภทที่สองเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการลดไนโตรเจนออกไซด์โดยการใช้ EGR ในเครื่องยนต์ดีเซลจริง

2.7.1 งานวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบต่อการเกิดเขม่าจากการนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่ [9]

มลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซลก่อให้เกิดเขม่า และเกิดแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ซึ่งก๊าซเหล่านี้มีผลต่อปัญหาสุขภาพ ซึ่งมีงานวิจัยและการศึกษาจำนวนมากที่เกี่ยวกับการลดมลพิษ ซึ่ง Mehdi Jangiet al. ได้ทำการศึกษาผลกระทบจากการนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่ (EGR) ที่มีผลต่อไอเสีย เช่น การเกิดเขม่า และไนโตรเจนออกไซด์ เป็นต้น โดยใช้เทคนิคการจำลองการเผาไหม้ CFD ซึ่งมีตัวแปรต้นคือความเข้มข้นของออกซิเจนก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ที่ 10% และ 21% โดยมีผล ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบแก๊สที่จำลองการเผาไหม้ [9]

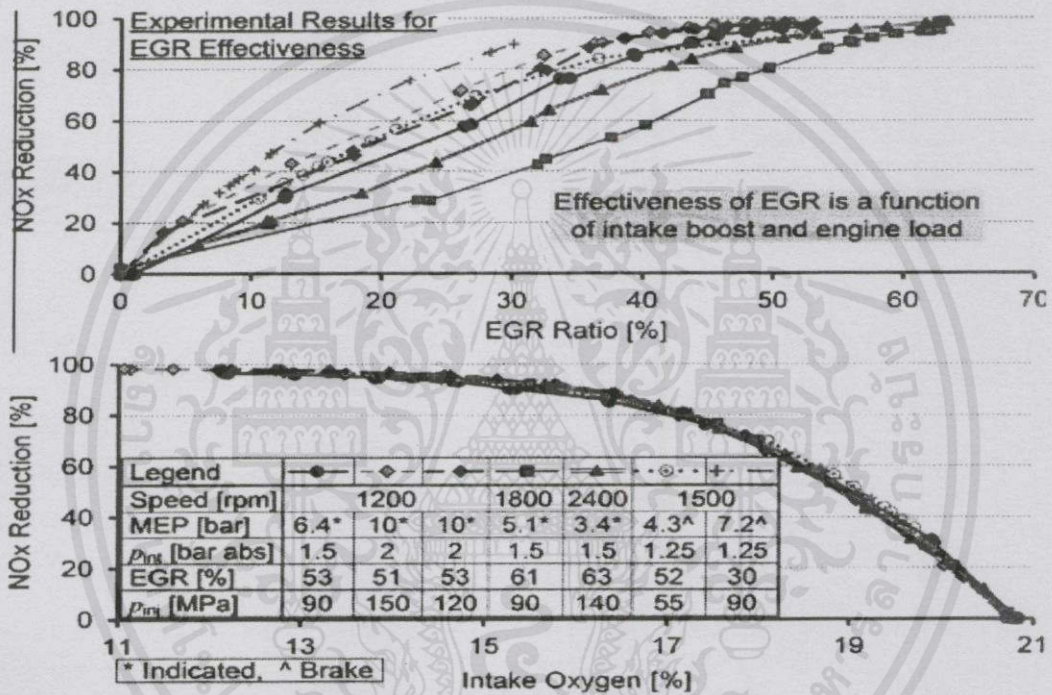
Molar percentage of the ambient gases

Case	O_2	N_2	CO_2	H_2O
I	21	69.33	6.11	3.56
II	10	80	6.33	3.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ทางออนไลน์โดยไม่มีการคิดค่าลิขสิทธิ์ การเพิ่มขึ้นของ Equivalent Ratio จะส่งผลต่อการเกิดเขม่า อีกทั้งอุณหภูมิเปลวไฟระหว่างการเผาไหม้จะแปรผันตามความเข้มข้นของออกซิเจนขณะเริ่มต้นก่อนเผาไหม้

2.7.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการลดไนโตรเจนออกไซด์โดยการนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่ในเครื่องยนต์ดีเซลจริง [10]

การนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่ในเครื่องยนต์ดีเซลได้มีผลกระทบต่อ การปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) และเขม่า อีกทั้งยังส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ ยิ่งไปกว่านั้น อัตราการใช้ EGR จะสอดคล้องกับภาระของเครื่องยนต์และความดันอากาศเข้าห้องเผาไหม้ ดังนั้น การนำไอเสียมาใช้ใหม่จึงต้องมีความเข้าใจในพฤติกรรมของ EGR และผลกระทบต่อความดันอากาศที่ทางเข้าห้องเผาไหม้ ซึ่ง Usman Asad et al. (2013) ได้ทำการศึกษามลกระทบจากการนำไอเสียมาใช้ใหม่ที่ส่งผลต่อการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ในเครื่องยนต์ดีเซลจริง ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดไนโตรเจนออกไซด์กับการนำไอเสียมาใช้ใหม่ [10]

ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการนำไอเสียมาใช้ใหม่ประมาณ 50% (ความเข้มข้นออกซิเจน 21% โดยโมล) สามารถลดการเกิดไนโตรเจนออกไซด์ได้ประมาณ 80-90% ซึ่งเพียงพอต่อการลดมลพิษจากไอเสียในปัจจุบัน ซึ่งถ้าหากเพิ่มการอัตราส่วน EGR จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้และกำลังของเครื่องยนต์ต่ำลง

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า มีงานวิจัยหลายชิ้นที่ศึกษาการเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซล และการลดการเกิดไนโตรเจนออกไซด์โดยการนำไอเสียมาใช้ใหม่ แต่งานวิจัยเหล่านั้นไม่ได้ทำการทดลองในห้องเผาไหม้ที่ควบคุมตัวแปรด้านอื่นๆ เช่น อุณหภูมิห้องเผาไหม้ การกวนแก๊สผสมให้คลุกเคล้ากัน เป็นต้น อีกทั้งยังไม่ได้คำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ลดลง จากการลดความเข้มข้นของออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

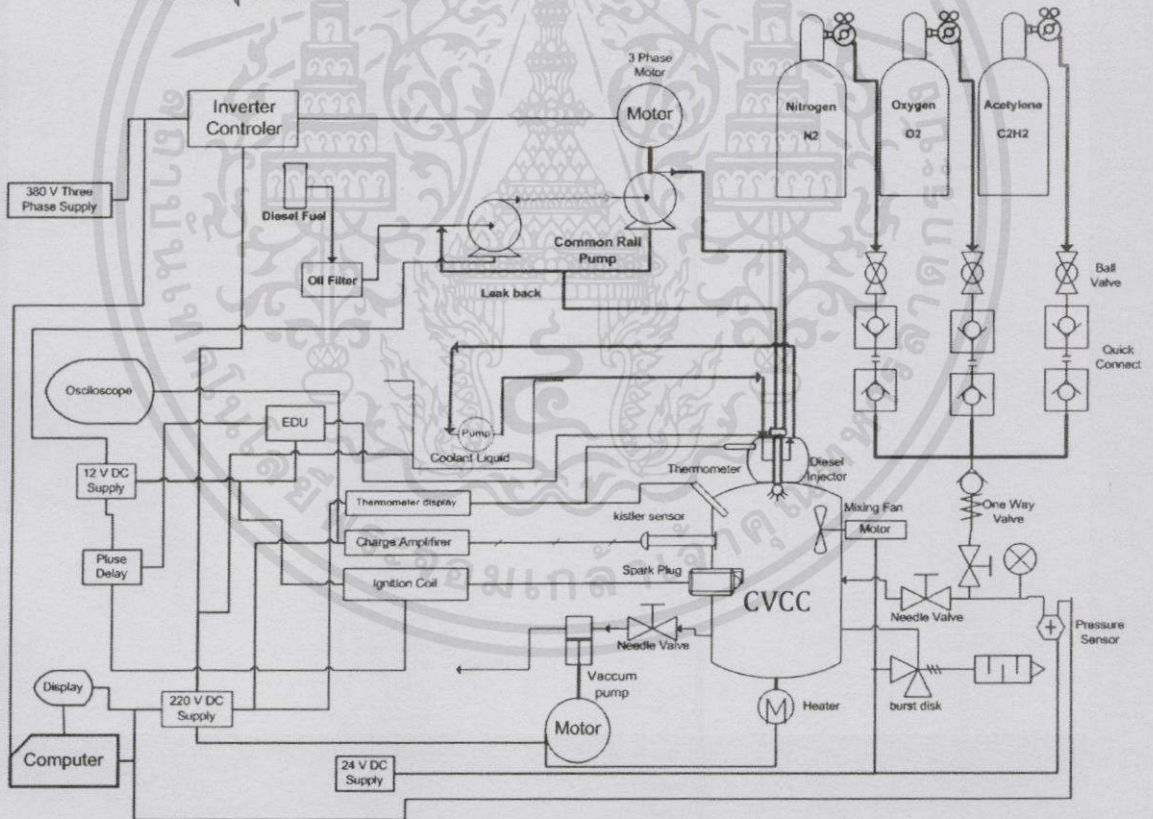
บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การทดลองนี้ได้จำลองการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่โปร่งใสขึ้นมา โดยการลดความเข้มข้นของออกซิเจนของการเผาไหม้แก๊ส ซึ่งการทดลองนี้จ่ายแก๊สเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องเผาไหม้ คือ อะเซทิลีน (C_2H_2) ไนโตรเจน (N_2) และออกซิเจน (O_2) ตามลำดับ แล้วทำการเผาไหม้โดยการจุดประกายไฟจากหัวเทียนเพื่อให้เกิดความดันและความร้อนที่เหมาะสมแก่การฉีดเชื้อเพลิง จากนั้นความดันและอุณหภูมิจะลดลงแล้วทำการฉีดเชื้อเพลิงดีเซลเพื่อให้เกิดการเผาไหม้แล้วสังเกตลักษณะการเผาไหม้ซึ่งใช้กระจกควอตซ์เป็นวัสดุโปร่งใสในการมองเห็นร่วมกับการใช้เทคนิคการถ่ายภาพแบบซูร์เร็นและบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 แผนผังอุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 3.1 แผนผังอุปกรณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็น จากแผนผังอุปกรณ์การทดลองแบ่งได้ 4 ส่วนคือ 1.ระบบจ่ายและระบายแก๊ส 2.ระบบควบคุมการวัด 3.ระบบปั๊มจ่ายน้ำมัน 4.ห้องเผาไหม้จำลอง ซึ่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ส่วนที่ 1 ระบบจ่ายและระบายแก๊สมีแก๊สที่เกี่ยวข้องกับการทดลองทั้งหมด 4 ชนิด คืออะเซทิลีน ออกซิเจน ไนโตรเจน และอากาศ โดยจะมีปั๊มสุญญากาศ (Vacuum Pump) เพื่อดูดอากาศในห้องเผาไหม้ทั้งก่อนและหลังการทดลองออก

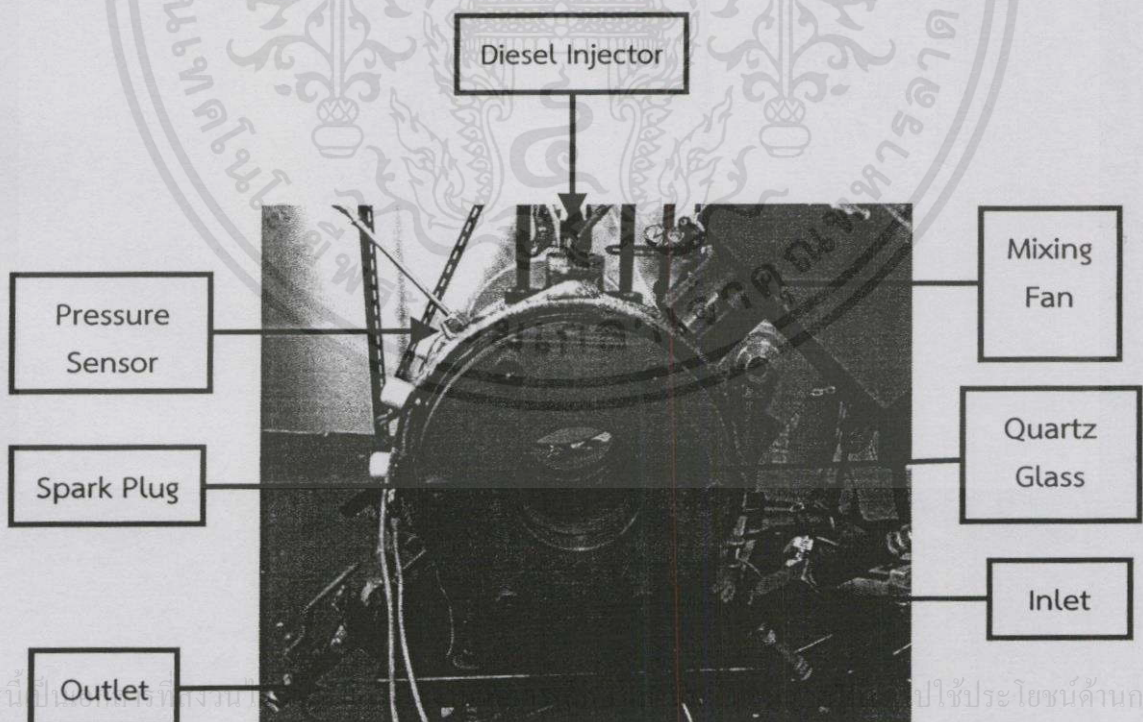
ส่วนที่ 2 ระบบควบคุมและการวัดจะใช้ตัวคอนโทรลเลอร์ในการสั่งการเป็นสัญญาณปิดและเปิดตามเวลาที่เรากำหนดไว้โดยกล่องควบคุมจะออกคำสั่งให้กล้องเริ่มถ่ายภาพขณะจุดระเบิดและอุปกรณ์ควบคุมสัญญาณไฟฟ้า Electronic Drive Unit (EDU) ขับหัวฉีดให้มีแรงยกได้เมื่อทำการเผาไหม้แล้วจะใช้สัญญาณจากเซ็นเซอร์วัดความดันซึ่งผ่านตัวแปลงกระแสไฟ (Charge Amplifier) แล้วส่งต่อมาที่ออสซิลโลสโคป (oscilloscope) เพื่อทำการวัดและเก็บผลค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปและนำมาคำนวณหาความดันเผาไหม้และความดันที่เปลี่ยนไปตามเวลา เพื่อใช้ในการหาค่าการปล่อยความร้อนและความล่าช้าในการจุดระเบิด

ส่วนที่ 3 ระบบปั๊มจ่ายน้ำมันในระบบนี้เพิ่มแรงดันน้ำมันในระบบให้คงที่ที่ความดัน 120 เมกะปาสคาล โดยมี Inverter Unit ที่คอยควบคุมความเร็วของมอเตอร์แล้วส่งต่อไปยังหัวฉีดเชื้อเพลิงที่อยู่ในห้องเผาไหม้

ส่วนที่ 4 ห้องเผาไหม้จำลองห้องเผาไหม้จำลองจะมีเซ็นเซอร์วัดความดันที่เปลี่ยนไปตามเวลา (Dynamic Pressure Sensor), เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (Thermo couple), พัดลมกวนอากาศ (Mixing Fan), หัวเทียน (Spark Plug) และหัวฉีดดีเซล (Diesel Injector)

3.1.2 ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่

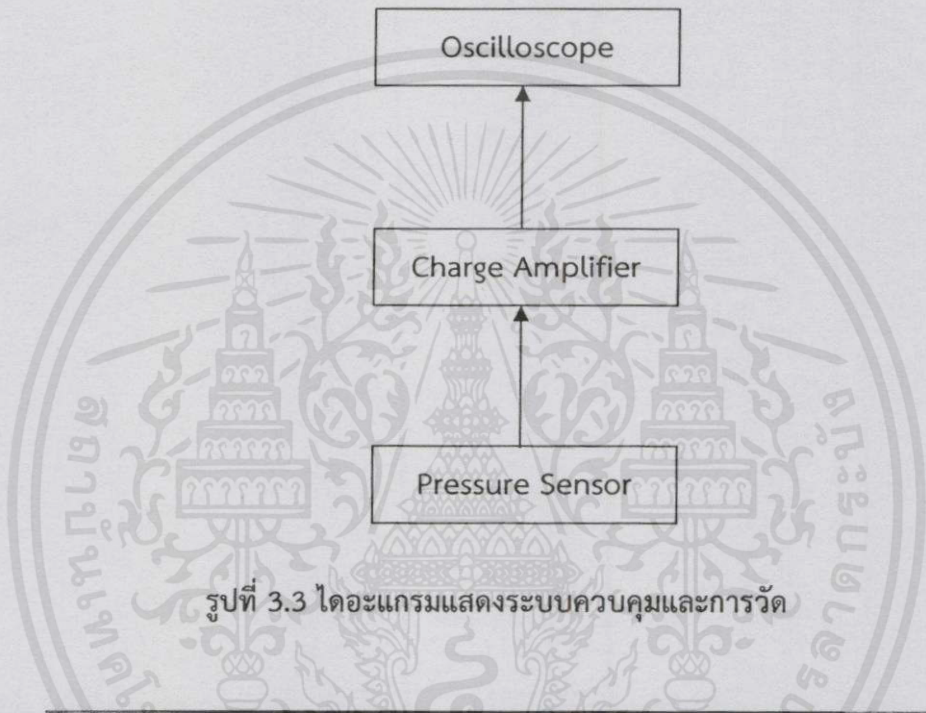
ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ เป็นห้องเผาไหม้ที่สามารถสังเกตลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงได้ โดยมีกระจกควอตซ์ที่ด้านข้างทั้งสองด้าน ภายในจะมีการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความดันที่เปลี่ยนไปตามเวลา พัดลมกวนอากาศ หัวเทียน และหัวฉีดดีเซล



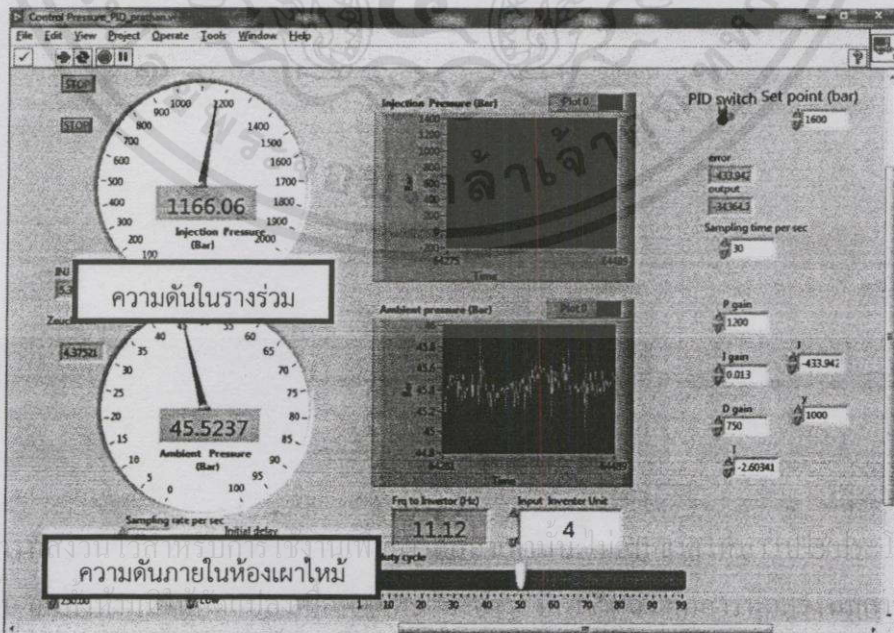
รูปที่ 3.2 แสดงห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่

3.1.3 ระบบควบคุมและการวัดความดันในการเผาไหม้

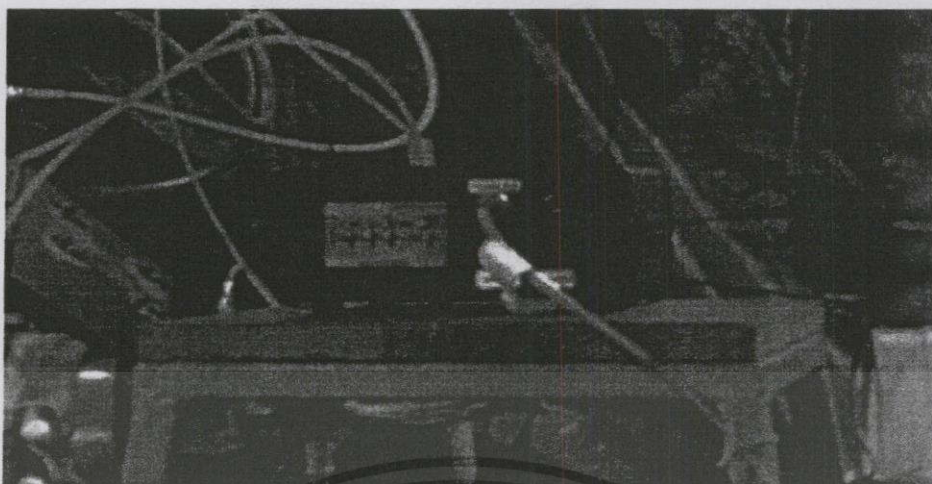
ระบบควบคุมและการวัดจะใช้อุปกรณ์ควบคุมสัญญาณไฟฟ้า สั่งเปิดและปิดการจ่ายกระแสไฟฟ้าตามเวลาที่เราระบุได้เขียนกำหนดลงในอุปกรณ์ควบคุม และส่งสัญญาณไฟฟ้าไปที่ชุดขับเคลื่อนหัวฉีดเพื่อทำการขับเคลื่อนหัวฉีดให้มีแรงยกได้ พร้อมสั่งให้กล่องทำการบันทึกภาพขณะจุดระเบิดถูกช่วงเวลา เพื่อลดข้อมูลการบันทึกในส่วนที่ไม่จำเป็นและจะใช้สัญญาณจากเซนเซอร์วัดความดันซึ่งผ่านตัวแปลงกระแสไฟแล้วเข้ามาที่ออสซิลโลสโคป ทำการวัดและเก็บผลค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปและนำมาคำนวณหาความดันที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา



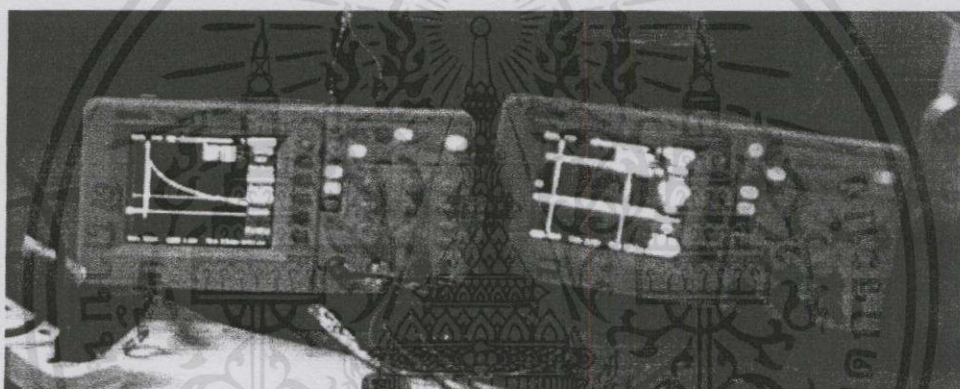
รูปที่ 3.3 ไดอะแกรมแสดงระบบควบคุมและการวัด



รูปที่ 3.4 โปรแกรมควบคุมความดันในการฉีดเชื้อเพลิง



รูปที่ 3.5 ตัวแปลงกระแสไฟ

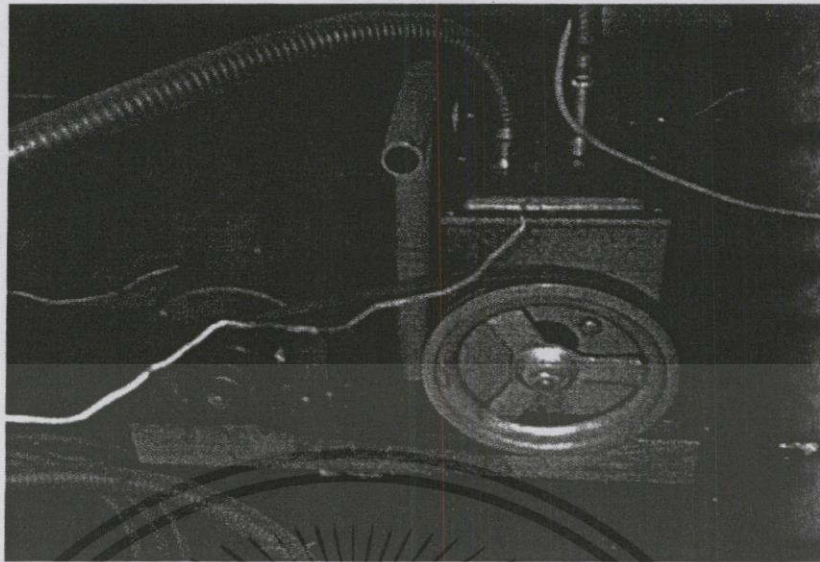


รูปที่ 3.6 แสดงออสซิลโลสโคป

3.1.4 การจ่ายและระบายแก๊ส

การจ่ายและระบายแก๊ส มีแก๊สที่เกี่ยวข้องกับการทดลองทั้งหมด 4 ชนิด คือ อะเซทิลีน ออกซิเจน ไนโตรเจน และอากาศ โดยจะมีปั๊มแวกคัมเพื่อดูดอากาศในห้องเผาไหม้ทั้งก่อนและหลังการทดลอง เพื่อให้อากาศเสียออกนอกบริเวณทดลอง ดังตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับจรรยาบรรณการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

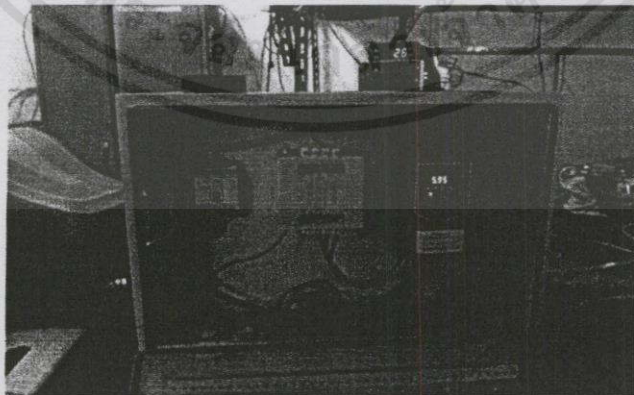


รูปที่ 3.7 ป้อนสัญญาณภาค

3.1.5 ระบบจ่ายน้ำมัน

ระบบจ่ายน้ำมัน จะใช้ปั๊มจ่ายน้ำมันเพิ่มแรงดันน้ำมันในระบบให้คงที่ ที่ความดัน 120 เมกะปาสคาลโดยจะใช้มอเตอร์ขับเคลื่อน ซึ่งปั๊มจะเปลี่ยนแปลงแรงดันตามความเร็วรอบของมอเตอร์ มอเตอร์จะถูกควบคุมความเร็วรอบโดยใช้อินเวอร์เตอร์คอนโทรล (Inverter Control Unit) โดยจะปรับความถี่ของสัญญาณไฟให้มอเตอร์หมุน แล้วส่งต่อโดยมีสายพานขับไปยังรางร่วม (Common Rail) และหัวฉีดเชื้อเพลิงที่อยู่ในห้องเผาไหม้ตามลำดับ

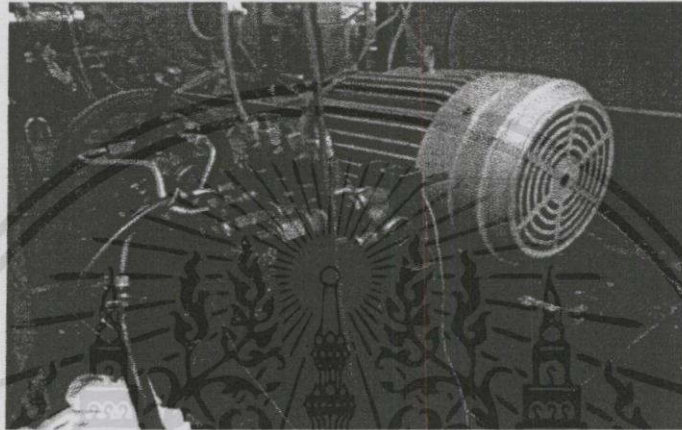
โปรแกรมควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงและการถ่ายภาพ โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณเพื่อควบคุมระยะเวลาในการฉีดของหัวฉีด และควบคุมกล้องวิดีโอความเร็วสูง โดยสามารถกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆของการทดลองได้แก่ การควบคุมระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงและควบคุมการทำงานของกล้องวิดีโอความเร็วสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

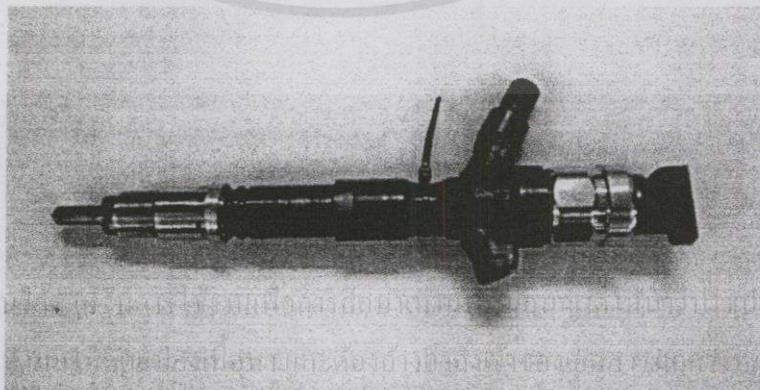
รูปที่ 3.8 อินเวอร์เตอร์คอนโทรล

ระบบที่ใช้รางจ่ายเชื้อเพลิงรางเดียวสำหรับทุกสูบ (Common rail) และส่งเชื้อเพลิงความดันสูงไปยังหัวฉีดแล้วทำการฉีดด้วยสัญญาณจากชุดควบคุมเครื่องยนต์หัวฉีดมีหลายแบบแตกต่างกัน ส่วนใหญ่ทำงานโดยวิธีเก็บเชื้อเพลิงรอไว้หลังปลายหัวฉีดโดยมีลิ้นแบบเข็มปิดกั้นเชื้อเพลิงไว้ด้วยแรงสปริงหรือแรงแม่เหล็กไฟฟ้า หัวฉีดความดันต่ำ เมื่อเพิ่มความดัน ลิ้นจะถูกดันให้เปิดและปล่อยเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงจะถูกฉีดทันทีที่โซลินอยด์ไฟฟ้าดึงลิ้นแบบเข็มถอยหลัง โดยควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงที่ฉีดตามเวลา การทดลองนี้ใช้ระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วมความดันสูง ซึ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 5 แรงม้าดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ชุดหัวฉีด รางร่วม และมอเตอร์ขับเคลื่อน

หัวฉีดหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (Injector) เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ที่กระบอกสูบของเครื่องยนต์และรางร่วมของระบบคอมมอนเรล ซึ่งทำหน้าที่ในการฉีดเชื้อเพลิง จะถูกควบคุมโดยอุปกรณ์ควบคุมสัญญาณไฟฟ้าหลักการทำงานของหัวฉีดนี้คือน้ำมันที่มีแรงดันสูงนั้นจะถูกส่งเข้าไปในหัวฉีด โดยเมื่ออุปกรณ์ควบคุมสัญญาณไฟฟ้าจ่ายไฟฟ้าไปยังโซลินอยด์ลูกสูบ (Control plunger) จะยกขึ้นซึ่งจะทำให้เกิดผลต่างของความดันภายในหัวฉีดซึ่งจะทำให้หัวฉีดนั้นยกขึ้นและเชื้อเพลิงจะถูกฉีดออกไป และเมื่อหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าลูกสูบจะลงมาปิดเพื่อสร้างแรงดันให้หัวฉีดปิดลงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ซึ่งหากมีการนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ หรือมีการนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าโดยไม่ว่าครณินใจทั้งสิ้น อีกทั้งหากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าโดยไม่ว่าครณินใจทั้งสิ้น

3.1.6 เซ็นเซอร์วัดความดันภายในห้องเผาไหม้

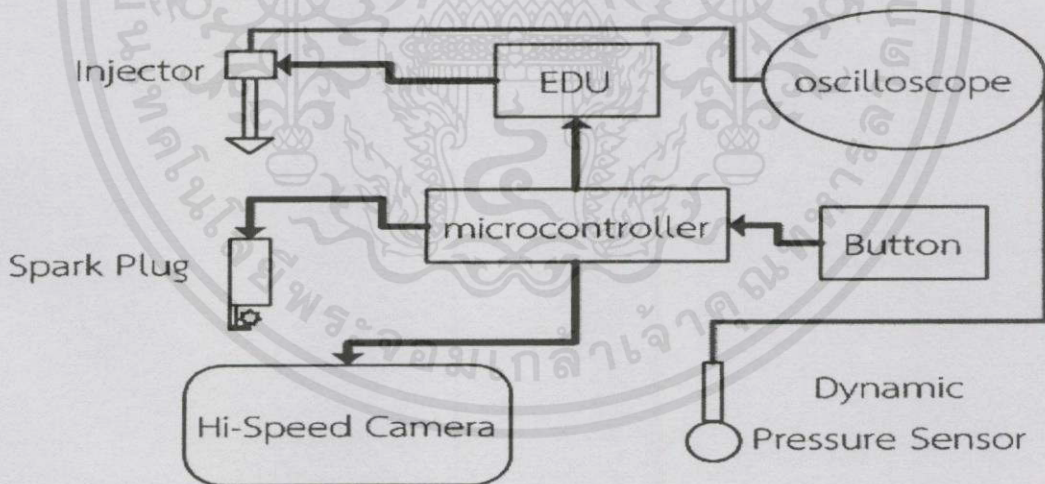
ในการวัดความดันในการเผาไหม้ตัวเซ็นเซอร์ที่ใช้จำเป็นต้องมีความเร็วในการวัดสูง ดังนั้นจึงเลือกใช้เซ็นเซอร์ที่ใช้วัดความดันในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จริงแบบมีหัวเทียนในตัวยี่ห้อ Kistler type 6053CC60 ดังรูปที่ 3.11 ซึ่งสามารถรับความดันสูงสุดได้ 20 เมกะปาสคาล



รูปที่ 3.11 เซ็นเซอร์วัดความดันในห้องเผาไหม้

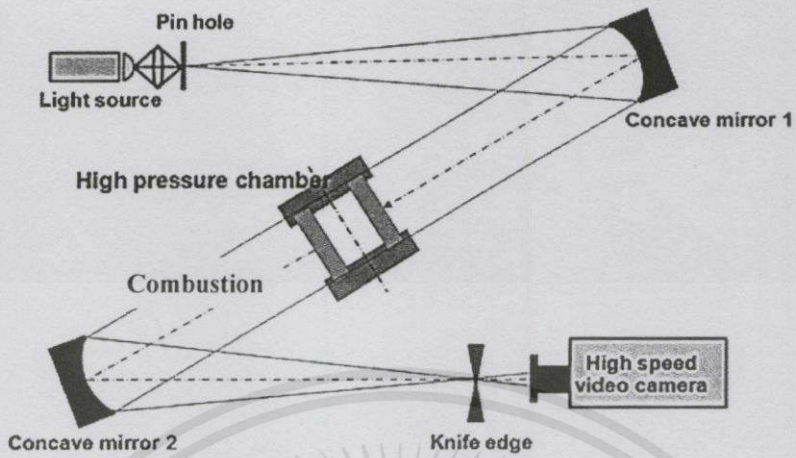
3.2 อุปกรณ์บันทึกภาพ

ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการบันทึกภาพแบบชูรีเรน (Schlieren) [6] ร่วมกับกล้องวิดีโอความเร็วสูง ซึ่งใช้ลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงกระจายผ่านกระจกโค้งจะได้ลำแสงที่ขนานกันเป็นเส้นตรงผ่านลำสเปร์ยเชื้อเพลิงที่ต้องการบันทึกภาพ ความแตกต่างของเกรเดียนระหว่างความหนาแน่นของสเปร์ยเชื้อเพลิงและลำเชื้อเพลิงที่ไม่เท่ากัน จะทำให้เกิดการหักเหของแสงทำให้เกิดภาพ กระจกโค้งตัวที่สองจะทำหน้าที่รวมแสง และใบมีดจะตัดแสงบริเวณจุดโฟกัส แล้วบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพความเร็วสูงยี่ห้อ Photron รุ่น SA-X2 ความเร็ว 20,000fps ความเร็วชัตเตอร์ 1/70,000 วินาที ที่สั่งการทำงานด้วยสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเริ่มสั่งงานจากปุ่ม Bottom โดยมีผังการทำงานตามรูปที่ 3.13 - 3.14

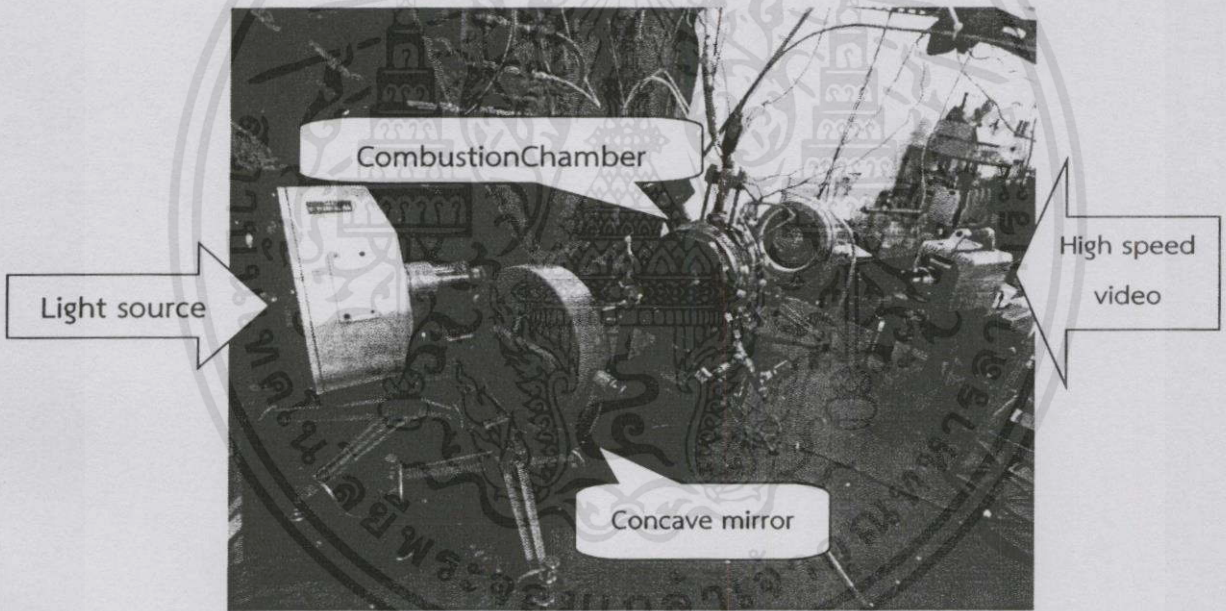


รูปที่ 3.12 ผังควบคุมการทำงาน

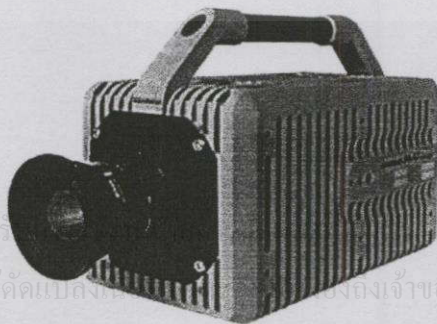
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ผังอุปกรณ์การทดลองแบบซูรีเรนกับห้องเผาไหม้ [6]



รูปที่ 3.14 อุปกรณ์การทดลองแบบซูรีเรนกับห้องเผาไหม้



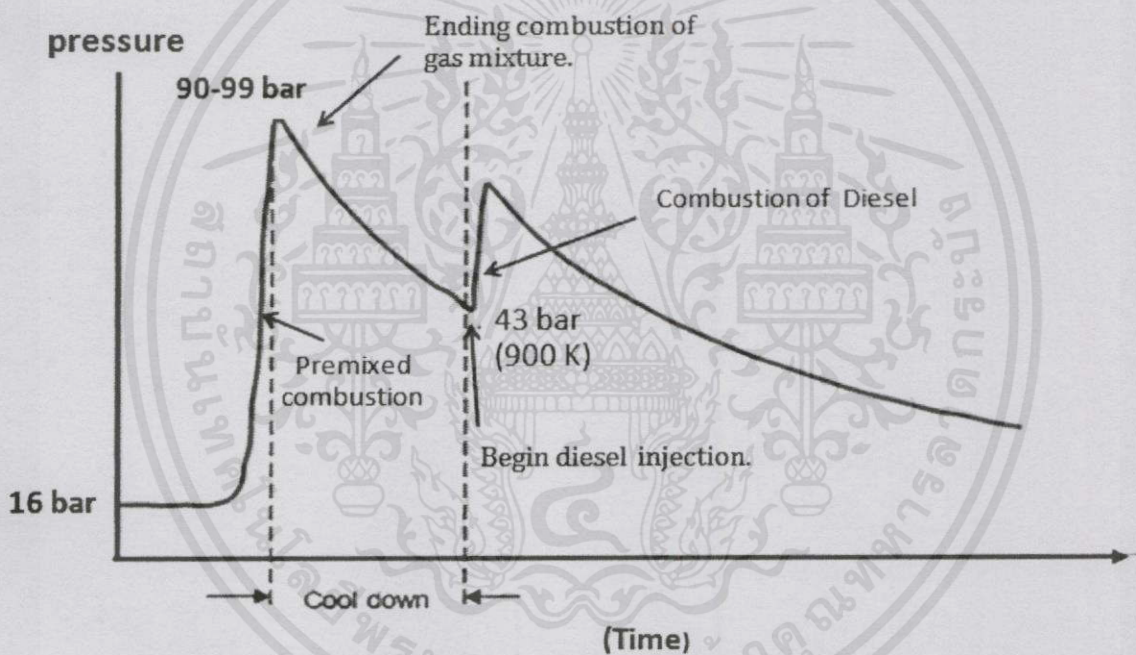
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... กรุณาอย่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแบบส่ง... เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.15 กล้องวิดีโอความเร็วสูง Photron SA-X2 fastcam [11]

3.3 ขั้นตอนของการศึกษา

3.3.1 รูปแบบของการศึกษา

การทดลองนี้ใช้หัวฉีดเชื้อเพลิงแบบรูเดียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 140 ไมโครเมตร ประกอบด้วยหัวฉีดเข้ากับท่อน้ำมันแรงดันสูง โดยติดตั้งสายน้ำมันเข้ากับหัวฉีดเพื่อเป็นทางออกของน้ำมันในกรณีแรงดันภายในหัวฉีดมากเกินไป โดยกำหนดแรงดันภายในหัวฉีด 120 เมกะปาสกาล และใช้เวลาในการฉีด 2.5 มิลลิวินาที ทำให้สามารถหามวลของเชื้อเพลิง ซึ่งได้จากการทดลอง Zeuch Injection Rate จะได้มวลเชื้อเพลิงที่ฉีดออกมาทั้งหมด 13.84 มิลลิกรัม อีกทั้งกำหนดให้ฉีดเชื้อเพลิงในขณะที่ห้องเผาไหม้ อุณหภูมิลดลงถึง 900 เคลวิน สำหรับการทดลองนี้ทดลองที่ความเข้มข้นของออกซิเจน 10%, 15% และ 21% โดยเปอร์เซ็นต์โมล ซึ่งค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลจะมีค่าเท่ากับ 45.13 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ดังตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.16



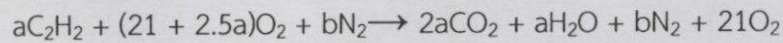
รูปที่ 3.16 ความดันในการทดลองเทียบกับเวลา

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขในการศึกษา

Injector	1 hole, 140 μm
Injection pressure, P_{inj}	120 MPa
Temperature, T_a	900 K
Injection duration, Δt_{inj}	2.5 ms
O_2 concentration	10%, 15%, 21%
Heating Value of Diesel, QHV	45.13 MJ/kg
Injection Quantity, m_{fuel}	13.84 mg

3.3.2 ขั้นตอนการศึกษา

สมการที่ใช้ในการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงผสมสำหรับความเข้มข้นออกซิเจน 21% โดยโมล มีดังนี้



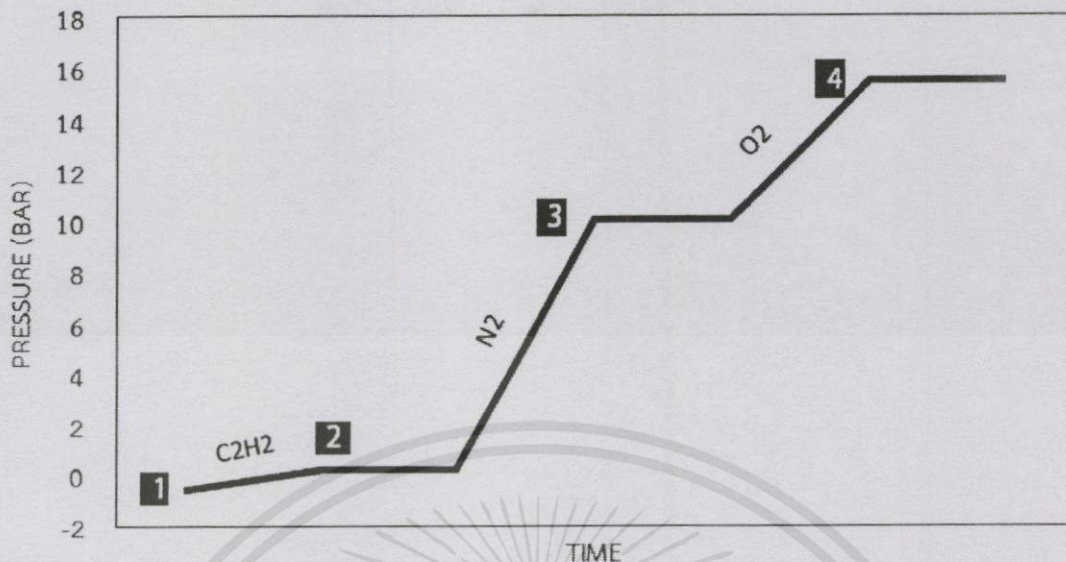
(3.1)

%O ₂	%EGR	Gas	Pressure (MPa)	Relative Pressure (MPa)
21%	0%	C ₂ H ₂	0.0816	0.0216
		N ₂	0.9784	1.008
		O ₂	0.54	1.5488
15%	28.57%	C ₂ H ₂	0.0816	0.0216
		N ₂	1.1544	1.096
		O ₂	0.364	1.54
10%	52.38%	C ₂ H ₂	0.0816	0.0216
		N ₂	1.0744	1.176
		O ₂	0.444	1.54

ตารางที่ 3.2 แสดงการจ่ายแก๊สเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้

การจ่ายแก๊สเข้าสู่ห้องเผาไหม้ เริ่มต้นจากการทำให้ห้องเผาไหม้เป็นสุญญากาศ จากตารางที่ 3.2 จะพบว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจน จะทำให้ปริมาณของแก๊สอะเซทิลีนคงที่ แต่แก๊สไนโตรเจนและแก๊สออกซิเจนจะต่างกัน อันเนื่องมาจากการดุลสมการ เมื่อปริมาณแก๊สมากขึ้นย่อมส่งผลให้ความดันย่อยมากขึ้นแก๊สที่จ่ายในห้องเผาไหม้รวมเท่ากับ 1.6 เมกะปาสคาล รายละเอียดดังรูปที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 แสดงความสัมพันธ์ของความดันและเวลาของแก๊สผสม

จากรูปที่ 3.17 ณ ตำแหน่งที่ 1 คือตำแหน่งที่ดูดอากาศออกจากห้องเผาไหม้ให้เป็นความดันสูญญากาศ เพื่อสามารถจ่ายแก๊สเชื้อเพลิงอะเซทิลีนในความดันต่ำได้
 ณ ตำแหน่งที่ 2 คือการจ่ายแก๊สอะเซทิลีนเข้าสู่ห้องเผาไหม้และปล่อยให้แก๊สเข้าสู่สมดุล
 ณ ตำแหน่งที่ 3 คือการจ่ายแก๊สไนโตรเจนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และปล่อยให้แก๊สผสมเข้าสู่สมดุล เหตุผลที่จ่ายแก๊สไนโตรเจนเข้าห้องเผาไหม้ก่อนจ่ายแก๊สออกซิเจนเพราะว่าป้องกันการจุดระเบิดล่วงหน้าระหว่างแก๊สอะเซทิลีนและออกซิเจน จากเปอร์เซ็นต์คาร์บอนที่ไม่คงที่
 ณ ตำแหน่งที่ 4 คือการจ่ายแก๊สออกซิเจนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และปล่อยให้แก๊สผสมเข้าสู่สมดุลดังรูปที่ 3.12

3.3.3 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนในการใช้เชื้อเพลิงแก๊สผสมเพื่อจำลองเงื่อนไขของเครื่องยนต์ดีเซลดังขั้นตอนตามรูปที่ 2.1 มี 9 ขั้นตอนดังนี้

1. เปิดฮีตเตอร์ให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ให้ได้อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ที่ 80 เซลเซียส
2. จ่ายแก๊สไนโตรเจนเข้าไปในห้องเผาไหม้เพื่อเช็การรั่ว
3. เปิดวาล์วทางออกและอัดอากาศเข้าไปเพื่อให้แก๊สไนโตรเจนออกจากห้องเผาไหม้
4. ทำการจ่ายแก๊สเชื้อเพลิงดังรูปที่ 3.17 แล้วปิดวาล์วจ่ายแก๊ส
5. เปิด Mixing fan เพื่อให้แก๊สผสมจากขั้นตอนที่ 4 เกิดการผสมคลุกเคล้ากันมากยิ่งขึ้น
6. ทำการจุดประกายไฟที่หัวเทียนเพื่อให้แก๊สผสมเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊ส
7. ฉีดเชื้อเพลิงดีเซลที่เก็บใน Diesel tank เข้าห้องเผาไหม้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยากับไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ในขั้นตอนที่ 6

8. บันทึกค่าต่างๆที่ต้องการโดยค่าที่บันทึกนั้นได้แก่ความดันระหว่างการเผาไหม้ และวิดีโอในการ
 ไม่ว่าเผาไหม้ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ปล่อยให้ไอเสียออกทาง Release Valve จากนั้นจึงอัดอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ เพื่อระบายอากาศ

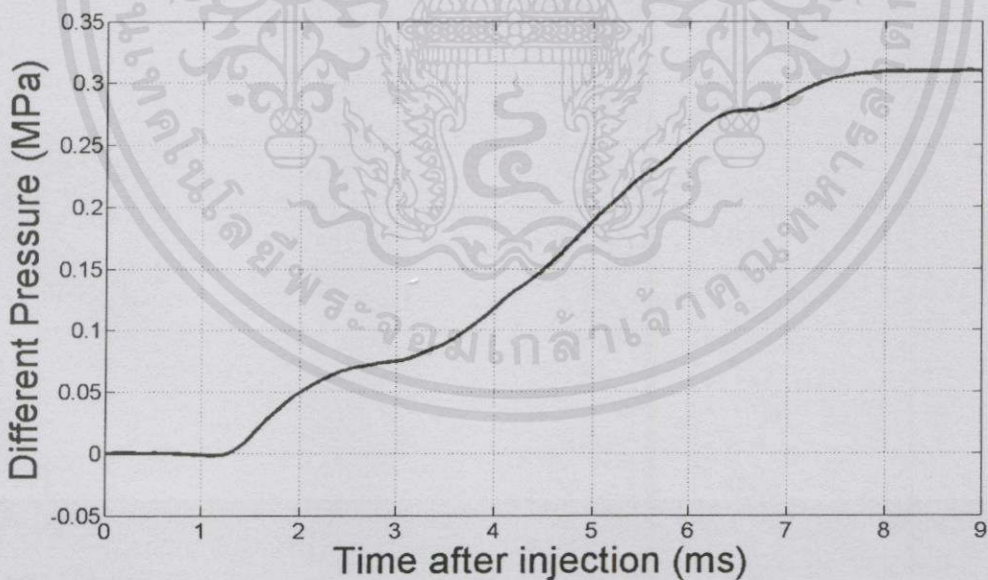
บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซลทั้งส่วนของความดันในการเผาไหม้ อุณหภูมิในการเผาไหม้ ความล่าช้าในการจุดระเบิด อัตราการปล่อยความร้อนและลักษณะการเผาไหม้ ความยาวของลำสเปรย์ในช่วงที่เป็นของเหลว และประสิทธิภาพการเผาไหม้

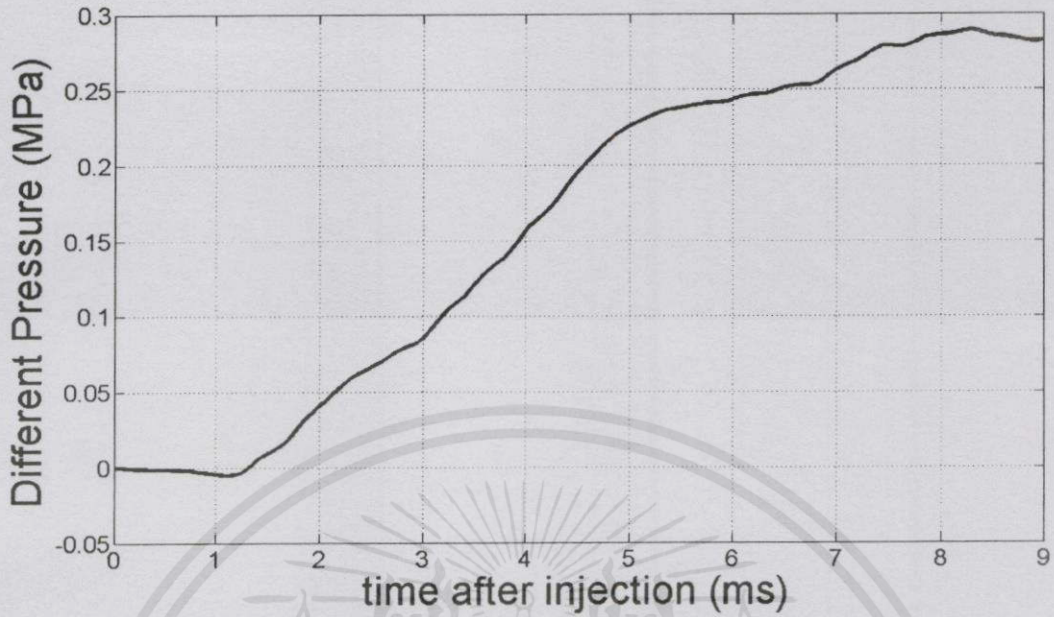
4.1 ผลการทดลองหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันระหว่างการเผาไหม้

ความดันระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซล ซึ่งบันทึกค่าได้จาก Pressure Sensor สามารถนำมาหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความดัน และเขียนกราฟได้ดังรูป 4.1 โดยความดันเริ่มต้น 4.2 เมกะปาสคาล จากรูปที่ 4.1 (ก-ค) จะพบว่า ความดันจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจน กล่าวคือ ที่ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจน 21% โดยโมล จะมีความดันการเผาไหม้สูงที่สุดเมื่อเทียบกับความเข้มข้นแก๊สออกซิเจน 15% และ 10% โดยโมล ตามลำดับ พบว่า ผลต่างความดันระหว่างความเข้มข้นออกซิเจน 21% โดยโมล และ 15% โดยโมล จะมีค่าประมาณ 0.07 เมกะปาสคาล และผลต่างความดันระหว่างความเข้มข้นออกซิเจน 21% โดยโมล และ 10% โดยโมล จะมีค่า 0.05 เมกะปาสคาล ซึ่งค่าความดันที่ได้สามารถนำไปพิจารณาอุณหภูมิระหว่างการเผาไหม้ (Bulk gas temperature), ความล่าช้าในการจุดระเบิด (Ignition Delay) และคำนวณหาอัตราการปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) ต่อไป

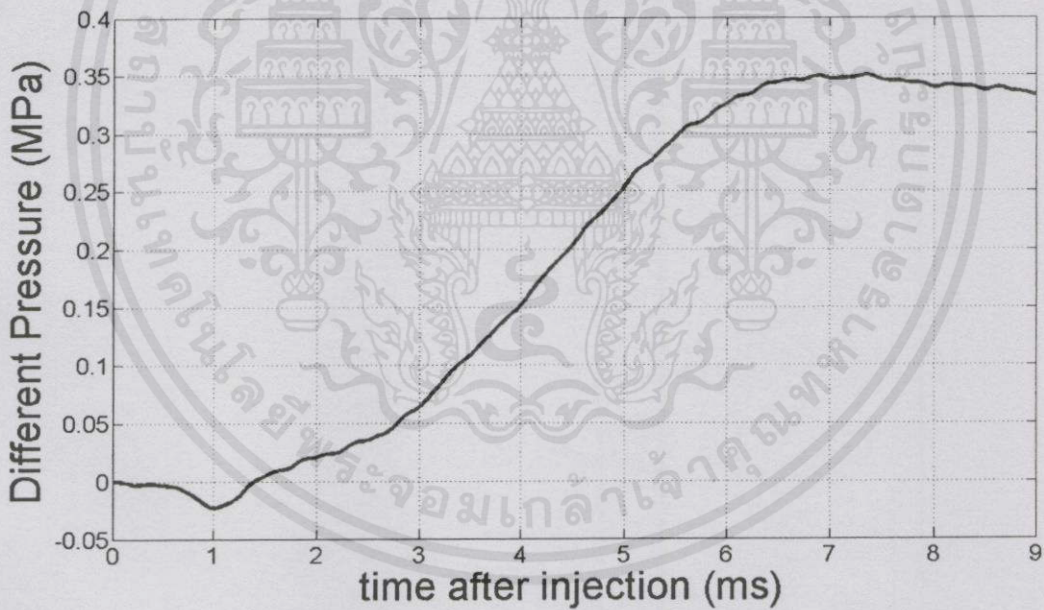


รูปที่ 4.1(ก) แสดงความดันของความเข้มข้นออกซิเจน 10% โดยโมล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1(ข) แสดงความดันของความเข้มข้นออกซิเจน 15% โดยโมล

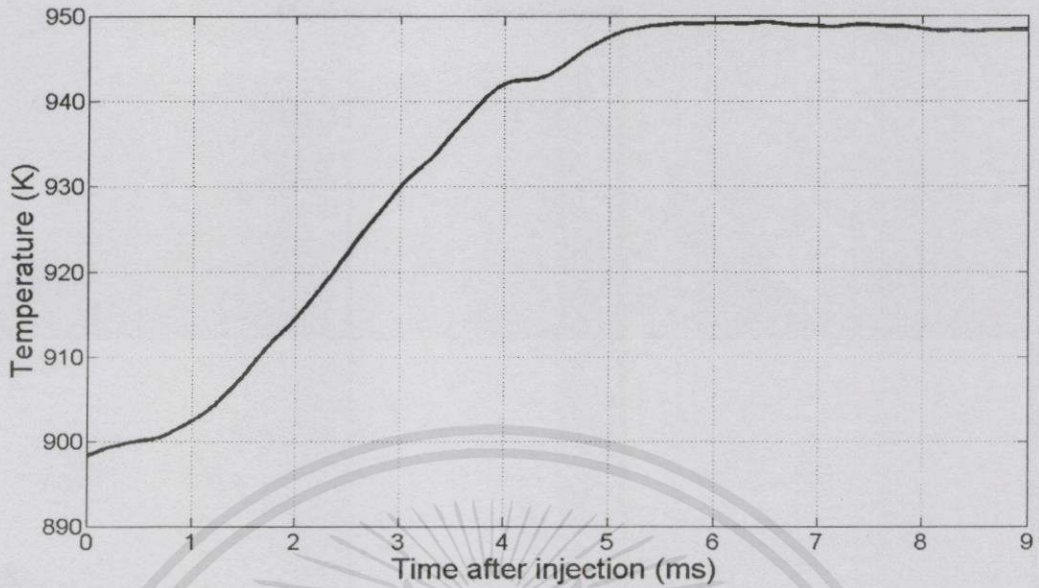


รูปที่ 4.1(ค) แสดงความดันของความเข้มข้นออกซิเจน 21% โดยโมล

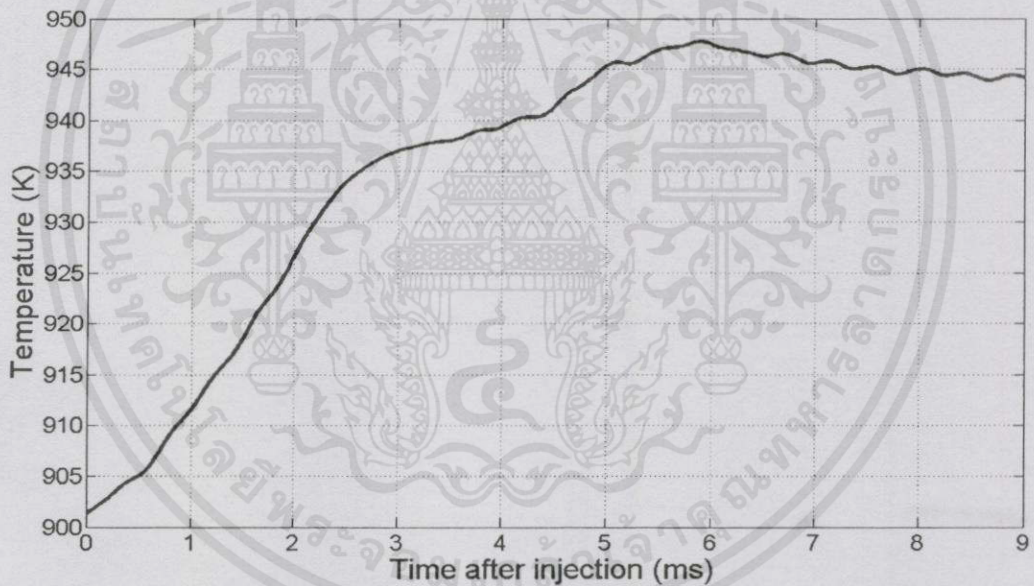
4.2 ผลการทดลองหาอุณหภูมิในการเผาไหม้

อุณหภูมิการเผาไหม้ (Bulk gas temperature) ซึ่งคำนวณจากความดันในการเผาไหม้ ดังสมการที่ 2.1 สามารถนำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

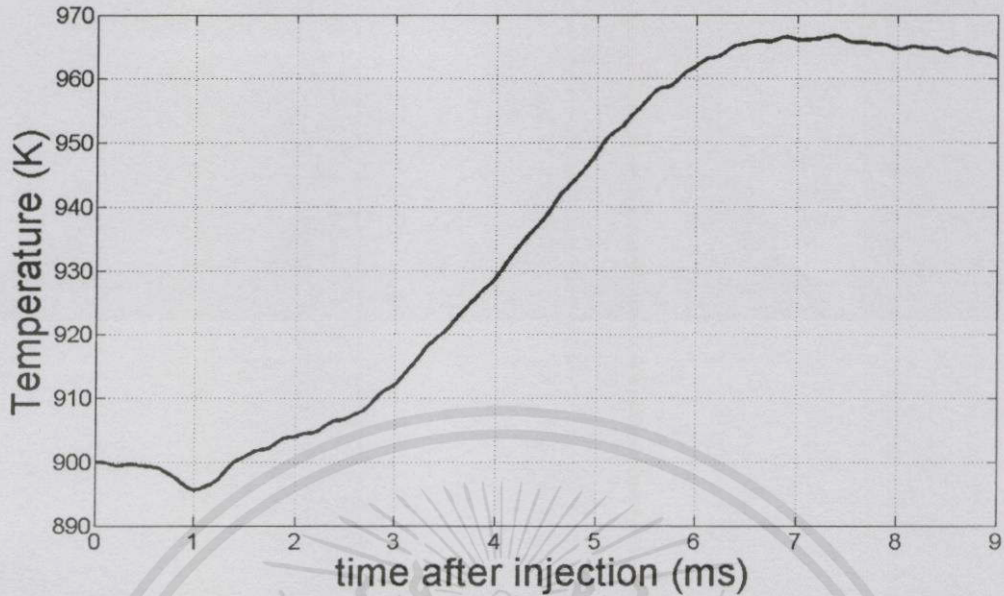


รูปที่ 4.2(ก) กราฟแสดงอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ความเข้มข้นออกซิเจน 10% โดยโมล



รูปที่ 4.2(ข) กราฟแสดงอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ความเข้มข้นออกซิเจน 15% โดยโมล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

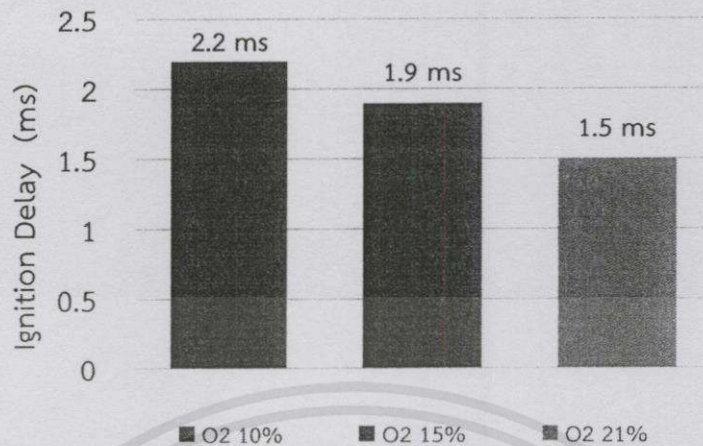


รูปที่ 4.2(ค) กราฟแสดงอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ความเข้มข้นออกซิเจน 21% โดยโมล

จากรูปที่ 4.2 (ก-ค) พบว่า อุณหภูมิการเผาไหม้จะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจน กล่าวคือ ที่ความเข้มข้นออกซิเจน 21% โดยโมล จะมีอุณหภูมิการเผาไหม้สูงที่สุด และที่ความเข้มข้นออกซิเจน 10% โดยโมล จะมีอุณหภูมิการเผาไหม้ต่ำที่สุดเนื่องจากอุณหภูมิลดลงแปรผันตรงกับความดันในการเผาไหม้ และความดันในการเผาไหม้แปรผันตรงกับความเข้มข้นออกซิเจน โดยอุณหภูมิความเข้มข้นออกซิเจน 21% และ 15% มีค่าความแตกต่าง 10 เคลวิน และความเข้มข้นออกซิเจน 21% และ 10% โดยโมล มีค่าความแตกต่าง 5 เคลวิน

4.3 ความล่าช้าในการจุดระเบิด (Ignition Delay)

จากการทดลองพบว่า ที่ความเข้มข้นของออกซิเจน 21% โดยโมล จะมีความล่าช้าในการจุดระเบิดประมาณ 1.5 มิลลิวินาที ซึ่งจะมีค่าน้อยที่สุด ที่ความเข้มข้นออกซิเจน 15% โดยโมล มีความล่าช้าในการจุดระเบิดประมาณ 1.9 มิลลิวินาที และที่ความเข้มข้นของออกซิเจน 10% โดยโมล จะมีความล่าช้าในการจุดระเบิดประมาณ 2.2 มิลลิวินาที ซึ่งจะมีค่ามากที่สุด ตามลำดับดังรูปที่ 4.3

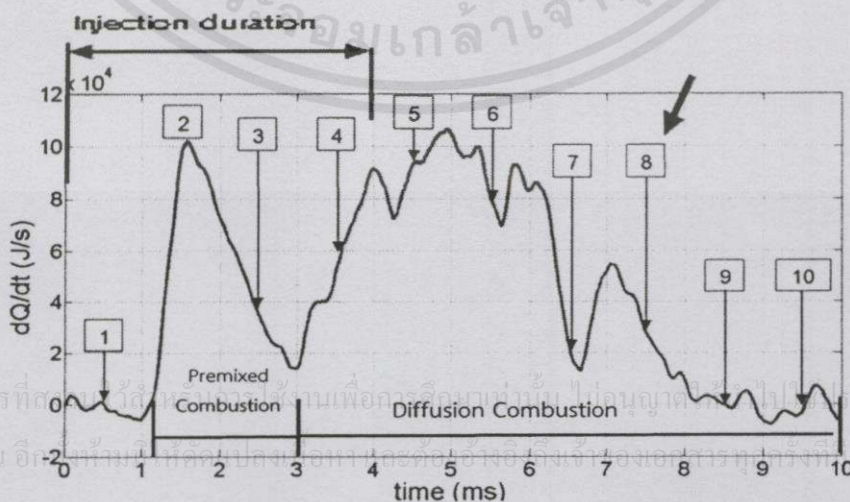


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความล่าช้าในการจุดระเบิดของแต่ละความเข้มข้นออกซิเจน

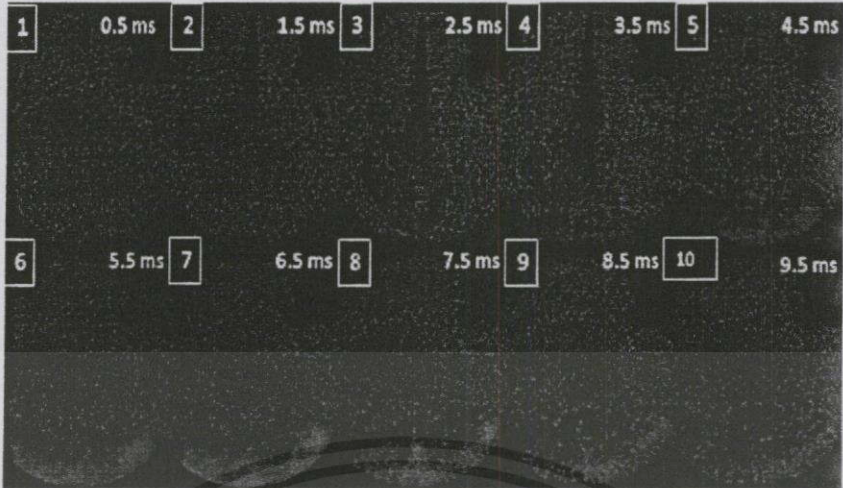
จากรูปที่ 4.3 พบว่า ความล่าช้าในการจุดระเบิดเป็นผลมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ของละอองสเปรย์เชื้อเพลิง กล่าวคือ เมื่อมีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเชื้อเพลิงดี ทำให้เชื้อเพลิงสามารถสันดาปกับออกซิเจนได้ไว ย่อมส่งผลให้ระยะเวลาความล่าช้าในการจุดระเบิดน้อย หากเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์แล้ว ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจน 10% โดยโมล การจุดระเบิดจะล่าช้ากว่าของความเข้มข้นออกซิเจน 21% โดยโมล ประมาณ 46.7% และความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจน 15% โดยโมล จะล่าช้ากว่าของความเข้มข้นออกซิเจน 21% โดยโมล ประมาณ 26.7%

4.4 อัตราการปล่อยความร้อนและลักษณะการเผาไหม้

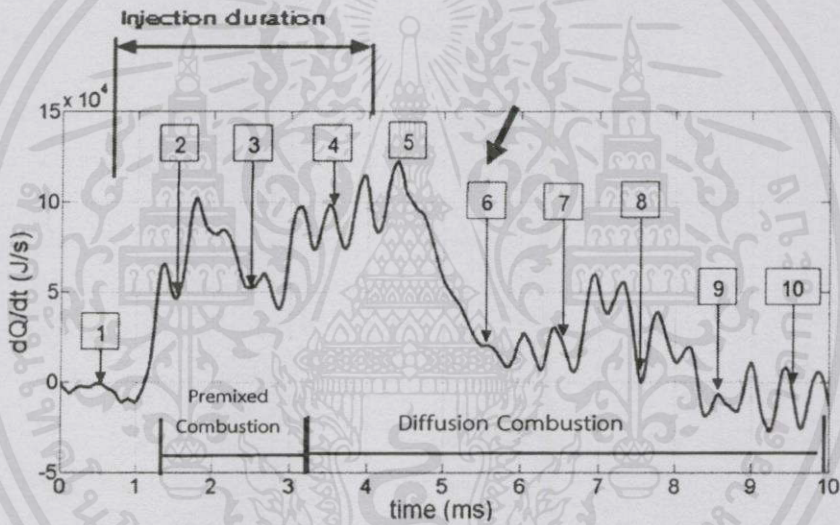
อัตราการปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) คือ อัตราการปล่อยความร้อนที่น้ำมันเชื้อเพลิงปล่อยออกมาระหว่างการเผาไหม้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3 และเปรียบเทียบค่าอัตราการปล่อยความร้อนและลักษณะการเผาไหม้ระหว่างความเข้มข้นของออกซิเจนทั้งสามค่า นำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 4.4.1 และ รูปที่ 4.4.2



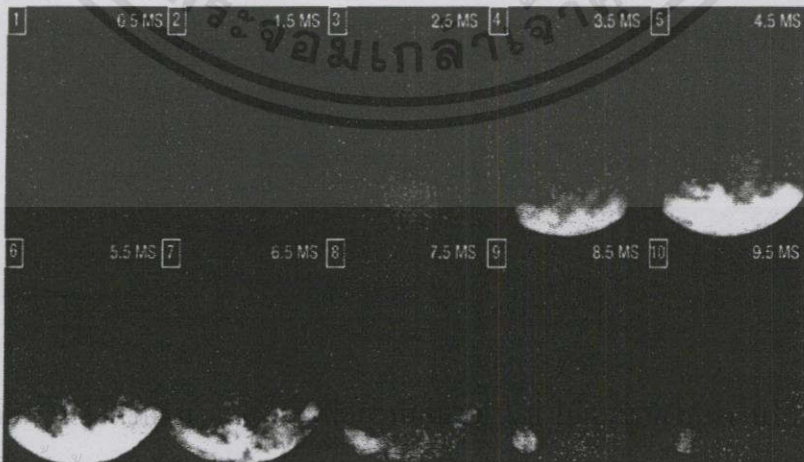
รูปที่ 4.4.1(ก) อัตราการปล่อยความร้อนของ ความเข้มข้นออกซิเจน 10% โดยโมล



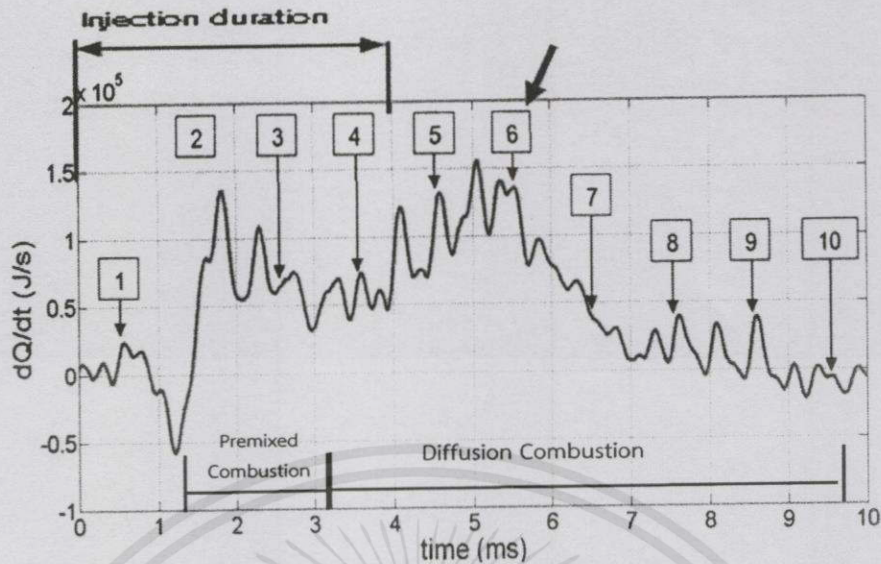
รูปที่ 4.4.2(ก) ลักษณะการเผาไหม้ของความเข้มข้นออกซิเจน 10% โดยโมล



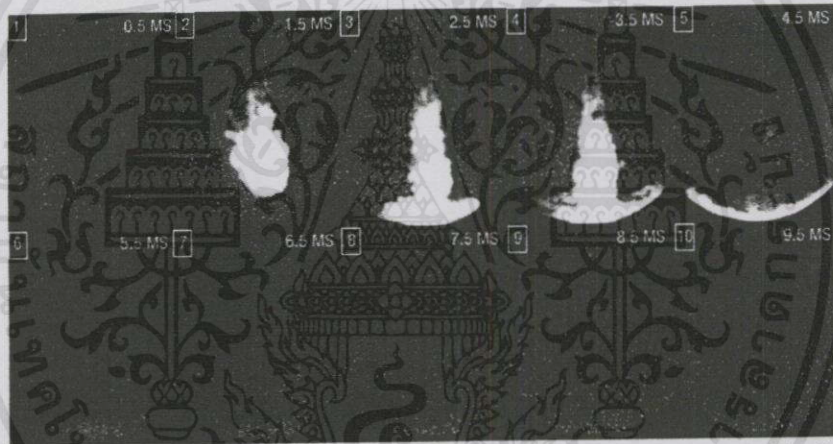
รูปที่ 4.4.1(ข) อัตราการปล่อยความร้อนของความเข้มข้นออกซิเจน 15% โดยโมล



รูปที่ 4.4.2(ข) ลักษณะการเผาไหม้ของความเข้มข้นออกซิเจน 15% โดยโมล



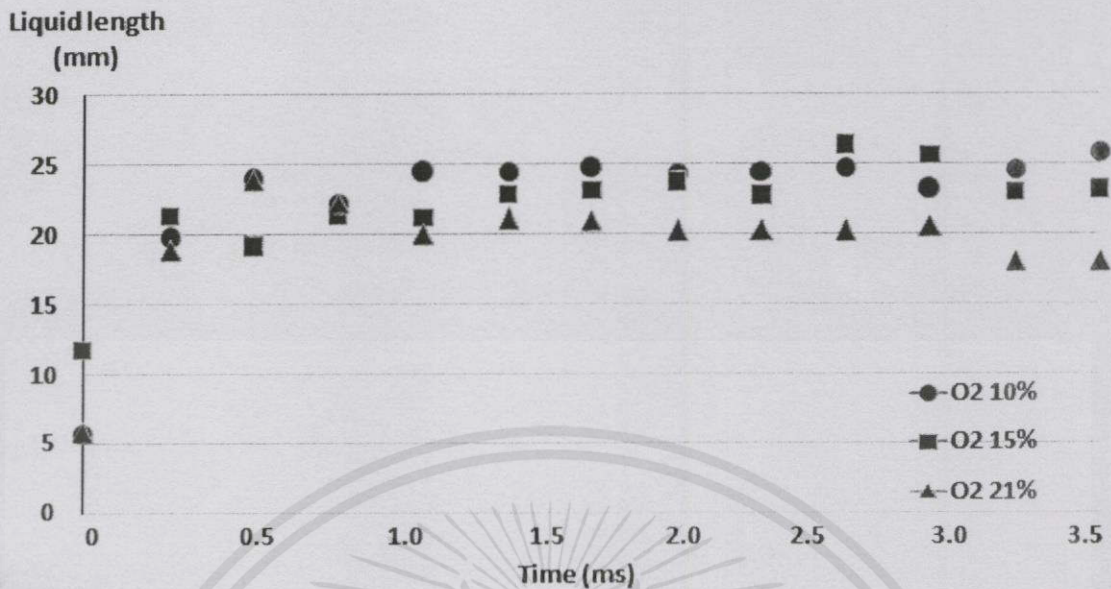
รูปที่ 4.4.1(ค) อัตราการปล่อยความร้อนของวามเข้มข้นออกซิเจน 21% โดยโมล



รูปที่ 4.4.2(ค) ลักษณะการเผาไหม้ของวามเข้มข้นออกซิเจน 21% โดยโมล

เมื่อพิจารณาลักษณะการเผาไหม้จากรูปที่ 4.4.2 โดยแยกแต่ละช่วงเวลาพบว่า ณ เวลาประมาณ 0.5 มิลลิวินาทีถึง 4 มิลลิวินาที คือช่วงเวลาที่มีการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเข้าสู่ห้องเผาไหม้จากรูปที่ 4.4(ก) ณ เวลาหลังจาก 2 มิลลิวินาทีไปจนถึง 9.5 มิลลิวินาทีคือช่วงเวลาที่มีการเผาไหม้จากรูปที่ 4.4(ข) ณ เวลาหลังจาก 1.5 มิลลิวินาทีไปจนถึง 2.5 มิลลิวินาทีคือช่วงที่เริ่มมีการเผาไหม้ และเผาไหม้ไปจนถึงช่วงเวลาประมาณ 7.5 มิลลิวินาทีจึงเสร็จสิ้นขั้นตอนการเผาไหม้จากรูปที่ 4.4(ค) ณ เวลา 1.5 มิลลิวินาทีถึง 3.5 มิลลิวินาที คือช่วงเวลาที่เริ่มต้นมีการเผาไหม้จนกระทั่งจบกระบวนการเผาไหม้พบว่า ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนแปรผันตรงกับอัตราการปล่อยความร้อน กล่าวคืออัตราการปล่อยความร้อนแปรผันตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันเทียบกับเวลา และอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันเทียบกับเวลาแปรผันตรงกับวามเข้มข้นของออกซิเจน โดยความเข้มข้นของออกซิเจน 21% โดยโมล จะมีค่าอัตราการปล่อยความร้อนมากที่สุด และความเข้มข้นของออกซิเจน 10% โดยโมลจะมีอัตราการปล่อยความร้อนน้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาทั้งสามรูปข้างต้น พบว่า ในช่วงแรกๆของการเผาไหม้ คือภาพที่ 2 จนถึงภาพที่ 4 จะมีการปล่อยความร้อนออกมามากที่สุด คือช่วง Premixed Combustion ซึ่งจะเป็นการเผาไหม้แบบทันทีที่



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของลำสเปรย์ในช่วงที่เป็นของเหลวและเวลา

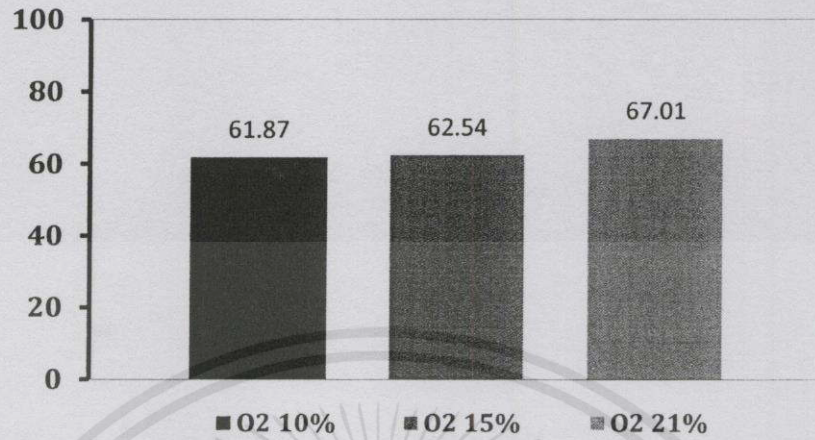
เราสามารถสังเกตได้ว่าที่ความเข้มข้นของออกซิเจน 21% โดยโมลมีค่าความยาวของลำสเปรย์ในช่วงที่เป็นของเหลวน้อยที่สุด ซึ่งความยาวของลำสเปรย์ในช่วงที่เป็นของเหลวนี้อาจหากมีความยาวมาก แสดงว่าลำสเปรย์จะระเหิดกลายเป็นไอเชื้อเพลิงเพื่อผสมกับอากาศน้อย ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ที่ความเข้มข้นของออกซิเจน 21% โดยโมล จะมีการระเหิดกลายเป็นไอน้ำมากที่สุด และความเข้มข้นออกซิเจน 15% โดยโมล จะมีการระเหิดลดลง และที่ความเข้มข้นของออกซิเจน 10% โดยโมล จะมีการระเหิดกลายเป็นไอน้ำน้อยที่สุด เนื่องจากความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนแปรผกผันกับความล่าช้าในการจุดระเบิด และความล่าช้าในการจุดระเบิดแปรผันตรงกับ ความยาวของลำสเปรย์ในช่วงที่เป็นของเหลว

4.6 ประสิทธิภาพการเผาไหม้

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion efficiency) จะขึ้นอยู่กับค่าความร้อน (Heating Value), ปริมาณการฉีดเชื้อเพลิง (Injection quantity) และการปล่อยความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง (Heat Release) ได้จากการหาพื้นที่ใต้กราฟของอัตราการปล่อยพลังงาน ซึ่งความเข้มข้นออกซิเจน 21% โดยโมล จะได้ 418.43 kJ ซึ่งจะได้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ 67.01% สำหรับความเข้มข้นออกซิเจน 15% โดยโมล จะได้ 390.63 kJ และมีประสิทธิภาพ 62.54% ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลงเทียบกับความเข้มข้นออกซิเจน 21% เท่ากับ 5.53% และสำหรับความเข้มข้นออกซิเจน 10% โดยโมล จะได้ 386.49 kJ และมีประสิทธิภาพ 61.87% ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลงจากความเข้มข้นออกซิเจน 21% เท่ากับ 5.14%

จะพบว่า ประสิทธิภาพการเผาไหม้จะแปรผันตามความเข้มข้นของออกซิเจน กล่าวคือ ประสิทธิภาพการเผาไหม้จะดีที่สุดที่ความเข้มข้นออกซิเจน 21% โดยโมล และน้อยลงเมื่อลดความเข้มข้นของออกซิเจนดังรูปที่ 4.7 มิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Combustion
efficiency (%)



รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของแต่ละความเข้มข้นออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซลกับอากาศที่มีความเข้มข้นออกซิเจนต่างกันในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ โดยที่ระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง 2.5 มิลลิวินาที และความดันในการฉีดเชื้อเพลิง 120 เมกะปาสคาล ขนาดรูหัวฉีด 0.14 มิลลิเมตร จากผลการฉีดเชื้อเพลิงครั้งเดียวพบว่า ความดันในการเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซล ค่าอุณหภูมิในการเผาไหม้ ความล่าช้าในการจุดระเบิด ความยาวของลำสเปรย์ในขณะที่เป็นของเหลว ตลอดจนประสิทธิภาพการเผาไหม้ มีข้อสรุปดังนี้

1. ความดันที่ได้จากการเผาไหม้เมื่อฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล สำหรับความเข้มข้นออกซิเจน 21% โดยโมล จะมีความดันและอุณหภูมิสูงสุดสูงกว่าความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจน 15% โดยโมล 0.25 เมกะปาสคาล, 10 องศาเซลวิน และมากกว่าความเข้มข้นออกซิเจน 10% โดยโมล 0.45 เมกะปาสคาล, 5 องศาเซลวินตามลำดับ

2. ความล่าช้าในการจุดระเบิดและความยาวของลำสเปรย์ในช่วงที่เป็นของเหลว จะแปรผกผันกับความเข้มข้นของออกซิเจน โดยความเข้มข้นของออกซิเจน 21% โดยโมลจะมีความล่าช้าในจุดระเบิดน้อยกว่าความเข้มข้นออกซิเจน 15% โดยโมล ประมาณ 0.4 มิลลิวินาที และน้อยกว่าความเข้มข้นออกซิเจน 10% โดยโมล ประมาณ 0.7 มิลลิวินาที แต่อัตราการปล่อยพลังงานจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของออกซิเจน โดย ความเข้มข้นของออกซิเจน 21% โดยโมล จะมีอัตราการปล่อยพลังงานมากกว่าความเข้มข้นออกซิเจน 15% โดยโมล ประมาณ 7.12% และมากกว่าความเข้มข้นออกซิเจน 10% โดยโมล ประมาณ 8.26% เนื่องจากความเข้มข้นของออกซิเจนมากกว่า ส่งผลให้ความดันและอุณหภูมิการเผาไหม้สูงกว่า และทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าห้องเผาไหม้จะเป็นละอองและเกิดการสันดาปได้เร็วและมากกว่า อีกทั้งการลามของเปลวไฟจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจน โดยความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจน 10% โดยโมล จะมีการลามของเปลวไฟช้าที่สุด โดยสังเกตจากภาพการเผาไหม้ เมื่อเทียบกับความเข้มข้นออกซิเจน 15% และ 21% ตามลำดับ

3. ประสิทธิภาพการเผาไหม้จะแปรผันตามความเข้มข้นของออกซิเจน กล่าวคือประสิทธิภาพการเผาไหม้จะดีที่สุดที่ความเข้มข้นออกซิเจน 21% โดยโมล (EGR 0%) โดยมีประสิทธิภาพการเผาไหม้ถึง 67.01% และประสิทธิภาพการเผาไหม้จะแย่ที่สุดเมื่อความเข้มข้นออกซิเจน 10% โดยโมล (EGR 52%) โดยมีประสิทธิภาพลดลงถึง 61.87% โดยประสิทธิภาพที่เปลี่ยนแปลงไปจากการนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่ (EGR) จาก 0-52% EGR ส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลง 5.14%

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากการทดลองได้จำลองการนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่ (EGR) โดยการจ่ายแก๊สเข้าห้องเผาไหม้ และควบคุมปริมาณแก๊สออกซิเจนให้มีค่าความเข้มข้นออกซิเจนที่ 10%, 15% และ 21% โดยเปอร์เซ็นต์โมล ควรมีการวัดค่ามลพิษ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ไนโตรเจนออกไซด์ และเขม่า แบบ Real-time ในห้องเผาไหม้

2.ในการทดลองและผลการทดลองนี้ ควรเพิ่มการทดสอบแบบฉีดเชื้อเพลิงหลายครั้ง (Multi pulse) เพื่อให้สอดคล้องกับเครื่องยนต์จริง

3.ควรมีการเพิ่มเงื่อนไขอุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการเผาไหม้ ในกรณีเพิ่มอัตราส่วนการอัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Heat Engine Concept, The Diesel Engine, URL: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/diesel.html>
- [2] Combustion in a Diesel Engine URL: <http://transportation.centennialcollege.ca/oduffy/fuels/level1/level%201%20fuels%204.pdf>
- [3] ความสำคัญและองค์ประกอบของบรรยากาศ
URL: http://www.myfirstbrain.com/student_view.aspx?ID=73816
- [4] หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล
URL: <http://water-pacific.com/index.php/dieselenigne>
- [5] A. Jeronimo, V. Van Der Haegen, Schlieren Technique – Lab Notes. EUROAVIA Symposium, 2002
- [6] ประทาน ศรีชัย (2554), Spray Characteristics of Ethanol and Gasoline in a High-Pressure Chamber by Schlieren Photography Technique, บทความเสนอในการสัมมนาวิชา DII, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
- [7] http://www.technoasia.ac.th/edownload/files/file_9.pdf
- [8] Manual 4JJ1-TC ENGINE, ISUZU MOTORS limited
- [9] ปิยวรรณ แซ่เตียว, วิชเลิศ กลิ่นถือสีล, และวรุณชัย บุญเต็มพิทักษ์ (2554). ออกแบบห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่สำหรับทดสอบเชื้อเพลิงดีเซลแบบฉีดตรง, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [10] Mehdi Jangi, Tommaso Lucchini, Gianluca D'Errico, Xue-Song Bai (2013). Effects of EGR on the structure and emission of diesel combustion, Lund University
- [11] PROTRON HIGH SPEEDCAM, FASTCAM SA2 URL: http://www.photron.com/?cmd=product_general&product_id=5
- [12] MR. RONNACHART MUNSIN. A FUNDAMENTAL STUDY OF BIO-ETHANOL COMBUSTION UNDER SI AND CI ENGINE CONDITIONS: Combustion Characteristics of Test Fuels in CVCC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลเซ็นเซอร์วัดความดัน ยี่ห้อ kistler type 6053CC60



Type 6053CC...U20 (C 6052C...)

Measuring range	bar	0 ... 300
Calibrated partial ranges	bar	0 ... 100, 0 ... 200
Overload	bar	350
Acceleration sensitivity		
axial	bar/g	<0,0005
radial	bar/g	<0,0005
Thermal shock error		
(at 1 500 1/min, $p_{mi} = 9$ bar)		
Δp (short time drift)	bar	$\leq \pm 0,7$
Δp_{mi}	%	$\leq \pm 3$
Δp_{max}	%	$\leq \pm 1,5$

Type 6052C...U40 (the rest of specifications same like Type 6052C...)

Operating temperature range	°C	-20 ... 200
Temperature min./max.		-50 ... 200
Sensitivity shift		
150 ... 200 °C	%	$\leq \pm 0,5$
23 ... 200 °C	%	$\leq \pm 2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

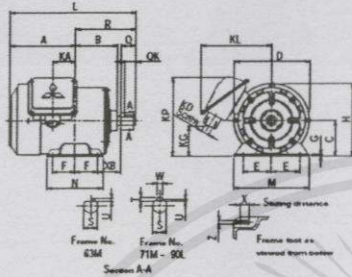


Fig. 6

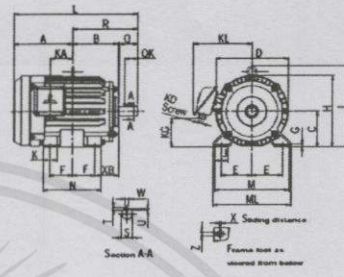


Fig. 7

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)	-	6	121.4	73.6	63	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)	6	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)	6	122	98	80	161.6	62.5	50	3.2	165.4	-	-	262	160	-	125	15	50	9	39.5	38	PF3/4	145	-	
SF-JR	90L	2(1.5), 3(2.2)	2(1.5)	1(0.75)	7	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)	7	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)	7	181	138	112	228	95	70	6.5	226	253	40	45	381	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)	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)	7	230.5	174	132	266	108	89	6.5	265	288	40	45	488.5	256	268	218	4	89	12	94	96	PF1	210	-

* True perpendicular variation of tolerance for the shaft center is -0.5
 ** True dimension is for motor when KP > H only.

Model	Frame No.	Shaft End						Bearing No.		Approximate Weight (kg)			Approximate Packing Dimensions (LxWxH)			Packing Weight (kg)		
		Q	OK	R	S	T	U	W	Drive End	Opposite	2-Pole	4-Pole	6-Pole	2-Pole	4-Pole	6-Pole	2-Pole	4-Pole
	63M	23	-	103	11±6	-	1	-	6201ZZ	6201ZZ	6.5	6.6	-	245 × 221 × 193	5.7	6	-	
	71M	30	25	120	14,6	5	3	5	6202ZZ	6201ZZ	8.0	9.2	9.0	275 × 256 × 180	7.2	8	8	
	80M	40	32	140	19,6	6	3.5	6	6204ZZ	6203ZZ	10.5	11	11	315 × 270 × 206	10.7	11.7	11.5	
SF-JR	90L	50	40	168.5	24,6	7	4	8	6205ZZ	6204ZZ	17, 20.5	20	21.5	368 × 280 × 226	17.2, 21	20	19.5	
	100L	60	45	193	28,6	7	4	8	6206ZZ	6205ZZ	-	24	25	430 × 355 × 300	-	28	27	
	112M	60	45	200	28,6	7	4	8	6207ZZ	6206ZZ	33	36	37	477 × 399 × 315	40	42	44	
	132S	80	63	239	38±6	8	5	10	6308ZZ	6207ZZ	47, 55	48	50	579 × 435 × 347	55, 63	56	58	
	132M	80	63	258	38±6	8	5	10	6308ZZ	6207ZZ	-	58	61	579 × 435 × 347	-	66	69	

MITSUBISHI ELECTRIC AUTOMATION (THAILAND) CO., LTD.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้"

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

LED monitor

When the motor is running or stopped:
The monitor displays the speed monitor (such as output frequency, set frequency, output current, output voltage, DC-bus voltage, Motor speed, Lines speed).
Alarm mode: The monitor shows the cause of Trip with a fault code.

Up/Down keys

During operation: Used to increase or decrease the frequency or motor speed. This key valid if the function code F301=0
In data setting: Used to indicate the function code Number or to change data set value.

Data key

Used to change the LED monitor and to store the function code and data.

Unit display

The unit of the displayed at the LED monitor is indicated. Use the data key to switch the Displayed data.

Program key

Programming mode: Used to set data.

Potentiometer

Used to set the frequency and issue the PID process commands.

Run key

While the motor is stopped: Used to start the operation. This key is invalid if the function code F201=1 (operation by external signals).

Stop key

Used to stop the operation.
During operation: This key invalid if the function code F201=1 (operation by external signals).
Alarm mode: Resets a trip prevention mode.

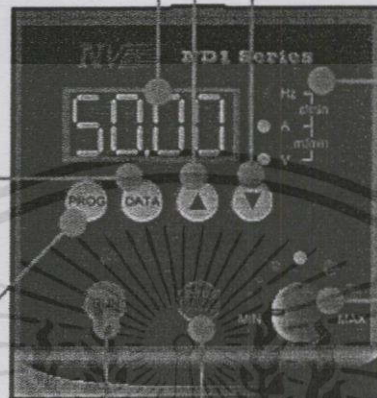
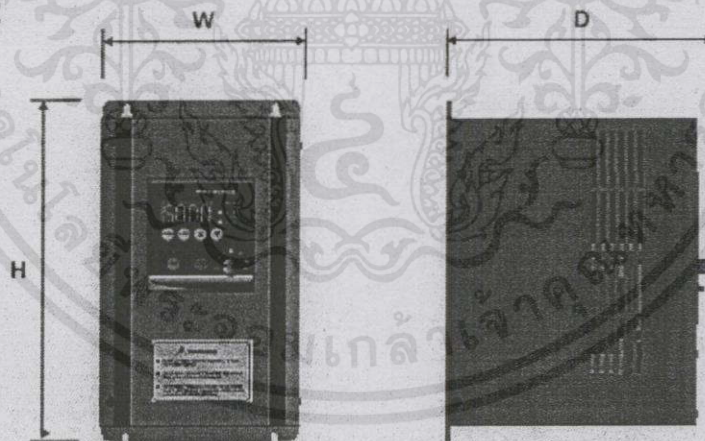


Fig.2

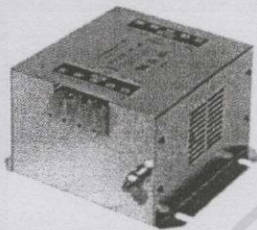


Power supply voltage	Model	HP	OUTPUT (A)	W x H x D (mm.)	Braking Unit	Cooling Method	Fig.
Single-phase 220VAC	ND1-2-0A5	0.5	3.3	125 x 147 x 145	Not include	Self-cooling	1
	ND1-2-001	1	5.3				
	ND1-2-002	2	8.0				
Three-phase 380VAC	ND1-4-001	1	3.5	128 x 147 x 155	Built-in	Forced air-cooled	2
	ND1-4-002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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... การศึกษาเท่านั้น... ไม่สามารถนำ... 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

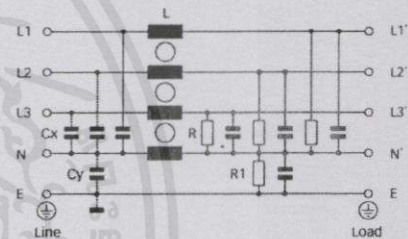


RoHS
2002/95/EC
By December 2005

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
Overload capability:	IP00 (filters with connectors -28) 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

Typical electrical schematic

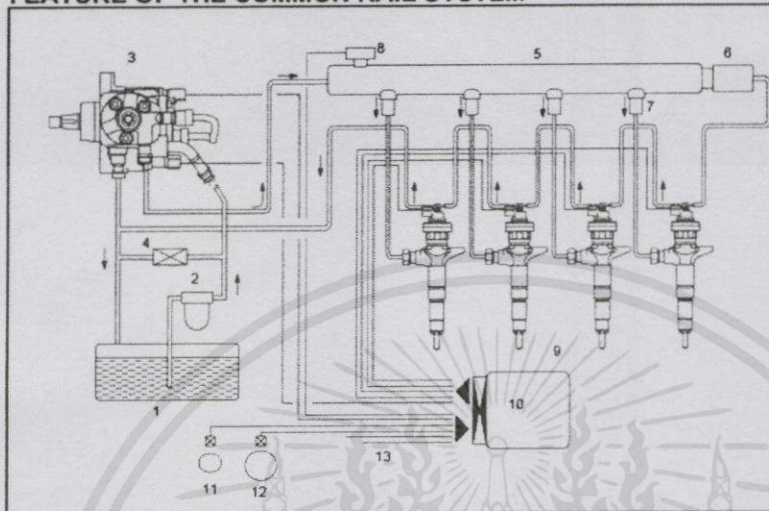


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลระบบหัวฉีดแบบรางร่วม

FUEL SYSTEM

FEATURE OF THE COMMON RAIL SYSTEM



1. Fuel Tank
2. Fuel Filter
3. Fuel Supply Pump
4. One-way Valve
5. Fuel Rail
6. Pressure Limiter Valve
7. Flow Damper
8. Fuel Rail Pressure Sensor
9. Injector
10. Engine Control Module (ECM)
11. Camshaft Position (CKP) Sensor
12. Crankshaft Position (CKP) Sensor
13. Various Sensor Inputs

The common rail system uses a type of accumulator chamber called the fuel rail to store pressurized fuel, and injectors that contain electronically controlled solenoid valves to spray the pressurized fuel in the combustion chambers. The injection system (injection pressure, injection rate, and injection timing) is controlled by the engine control module (ECM), and therefore the common rail system can be controlled independently, free from the influence of engine speed and load. This ensures a stable injection pressure at all time, particularly in the low engine speed range, so that black smoke specific to diesel engines generated during vehicle starting or acceleration can be reduced dramatically. As a result, exhaust gas emissions are clear and reduced, and higher output is achieved.

1. High Pressure Control
 - Enables high pressure injection from low engine speed range.
 - Optimizes control to minimize particulate matter and NOx emissions.
2. Injection Timing Control
 - Enables finely tuned optimized control in accordance with running conditions.
3. Injection Rate Control
 - Pilot injection control that performs a small amount of injection before main injection.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้"

ข้อมูลตัวแปลงกระแสไฟฟ้า

Measure & Analyze – MCA

KISTLER

P
1...3

Ladungsverstärker mit Digital-einstellung
Amplificateur de charge à réglage digital
Charge Amplifier with digital adjustment

Typ
5041E...

Beschreibung

Ladungsverstärker zum Umwandeln elektrischer Ladung in Spannung. Auf Digitalschalter aufgebaut. Bereich ab 100 pC über 3 Dekaden einstellbar.

Frequenzbereich = 0 (quasistatische Messung) bis 50 kHz. Durch JFET Eingangstransistoren gegen Überlastung geschützt. Speisung mit ±15 V oder 24 V.

- Schraubklemmen BNC-Eingang
Borne à vis d'entrée BNC
Screw terminals, BNC input
- Einfache Montage durch Einstecken
Montage très simple par enclenchage
Extremely simple plug-in assembly
- Digitale Bereichseinstellung
Réglage numérique de la plage
Digital range setting
- LED für Operate and Overload
LED de fonctionnement et de surcharge
LED for Operate and Overload
- CE-konform
Conforme au CE
Conforming to CE

Description

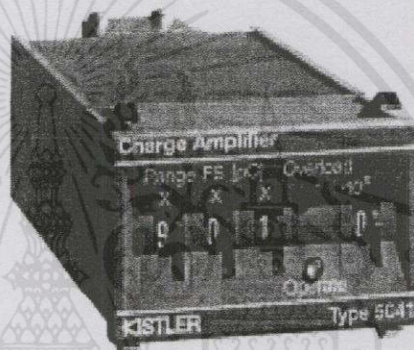
Amplificateur de charge pour la conversion d'une charge électrique en une tension. Réglable par trois commutés Plage ajustable par pas de 100 pC sur trois décades.

Domaine de fréquence = 0 (mesure quasi statique) jusqu'à 50 kHz. Protégé contre les surcharges par des transistors d'entrée JFET. Alimentation en ±15 V ou 24 V.

Description

Charge amplifier for converting an electrical charge into voltage. Based on digital switches. Range from 100 pC adjustable through 3 decades.

Frequency range = 0 (quasistatic measurements) to 50 kHz. Protected against overload by JFET input transistors. Supply ±15 V or 24 V.



Technische Daten

Données techniques

Technical Data *

Technische Daten	Données techniques	Technical Data *		
Messbereich für ±10 V Ausgangsspannung	Grenze de mesure pour une tension de sortie de ±10 V	Range for ±10 V output voltage	pC	±100 ... 400000
Ausgangsstrom	Tension de sortie	Output voltage	V	±10
Ausgangsleistung	Courant de sortie	Output current	mA	±6.5
Ausgangsimpedanz	Impédance de sortie	Output impedance	Ω	±10
Isolationswiderstand am Eingang	Résistance d'isolement à l'entrée	Insulation resistance at input	Ω	±10
Frequenzbereich (-3 dB)	Grenze de fréquence (-3 dB)	Frequency range (-3 dB)	kHz	0 ... 50
Zeitkonstante	Constante de temps	Time constant	s	10 000 ... 100 000
Linearität	Linéarité	Linearity	%	< ±0.1
Fehler	Erreur	Error	%	< ±2
Ausgangssignalsignal (0.1 Hz ... 10 MHz)	Signal parasite de la sortie (0.1 Hz ... 10 MHz)	Output interference signal (0.1 Hz ... 10 MHz)	mV _{eff} mV _{rms}	<20 <5
Zusätzliches Störsignal durch Kabelkapazitäten am Eingang	Signal parasite supplémentaire par capacité du câble sur l'entrée	Additional interference signal due to cable capacitances at the input	pC _{eff} /V	±4 ... 10 ³
Drift (durch Leckstrom) bei 50 °C	Dérive (par courant de fuite) à 50 °C	Drift (from leakage current) at 50 °C	pC/h pC/s	±0.2 ±0.1
Anschlüsse Eingang Ausgang und Speisung Schraubklemme	Raccordements d'entrée Sortie et alimentation Borne à vis	Input connections Output and supply Screw terminal	Type	BNC req.
Speisungsspannung (5041E)	Tension d'alimentation 5041E	Supply voltage 5041E	V DC mA	±15 (±5 %) ≤30
5041E1	5041E1	5041E1	V DC mA	24 (±10 %) ≤40
Betriebs temperaturreich	Gamme de température d'utilisation	Operating temperature range	°C	0 ... 50

* In all Kistler documents, the decimal sign is a comma on the line (ISO 31-0:1982)

Funktionsprinzip

Die von einem piezoelektrischen Sensor abgegebene elektrische Ladung wird in eine proportionale Spannung umgewandelt.

Principe de fonctionnement

La charge électrique engendrée par un capteur piézoélectrique est convertie en une tension proportionnelle.

Functional principle

The charge yielded by a piezoelectric sensor is converted to a proportional voltage.

Kistler Instruments AG, Winterthur, CH-8406 Winterthur, Switzerland, Tel. (052) 294 11 11 Kistler Instruments Corp., Amherst, NY 14206-3171, USA, Phone (716) 891-8100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในองค์กรของคุณเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อประโยชน์ด้านการศึกษา
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

016-30-515-46, 98 (12/11) 5.04 km