

อิทธิพลของความดันในการฉีดเชื้อเพลิงต่อลักษณะของสเปรย์และการเผาไหม้
ของเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพสังเคราะห์ในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่
EFFECT OF INJECTION PRESSURE ON DIESEL-HVO SPRAY AND COMBUSTION
CHARACTERISTICS IN CONSTANT VOLUME
COMBUSTION CHAMBER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

อิทธิพลของความดันในการฉีดเชื้อเพลิงต่อลักษณะของสเปรย์และการเผาไหม้
ของเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพสังเคราะห์ในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่
EFFECT OF INJECTION PRESSURE ON DIESEL-HVO SPRAY AND
COMBUSTION CHARACTERISTICS IN CONSTANT VOLUME
COMBUSTION CHAMBER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF INJECTION PRESSURE ON DIESEL-HVO SPRAY AND
COMBUSTION CHARACTERISTICS IN CONSTANT VOLUME
COMBUSTION CHAMBER



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 INSITUTE OF TECHNOLOGY LADKABANG
2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา2559

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อิทธิพลของความดันในการฉีดเชื้อเพลิงต่อลักษณะของสเปรย์และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง
ดีเซลชีวภาพสังเคราะห์ในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่

EFFECT OF INJECTION PRESSURE ON DIESEL-HVO SPRAY AND COMBUSTION
CHARACTERISTICS IN CONSTANT VOLUME COMBUSTION CHAMBER

ผู้จัดทำ

- | | | |
|---------------|----------|---------------|
| 1. นายอภิชัย | ภูวรักษ์ | รหัส 55011413 |
| 2. นายชัยชาญ | พิลึก | รหัส 56010406 |
| 3. นายวิวัฒน์ | สุวรรณ | รหัส 56011138 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลของความดันของความดันในการฉีดเชื้อเพลิงต่อลักษณะของสเปรย์และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพสังเคราะห์ในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่

นายอภิชัย	ภูวรักษ์	55011413
นายชัยชาญ	พิลึก	56010406
นายวิวัฒน์	สุวรรณ	56011138
ศศ.ดร.จินดา	เจริญพรพาณิชย์	อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองผลกระทบของความดันการฉีดเชื้อเพลิงบนคุณลักษณะสเปรย์และการเผาไหม้ของดีเซล และ เชื้อเพลิงHVOในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ภายใต้การจำลองเงื่อนไขการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล โดย HVO เป็นเชื้อเพลิงไบโอดีเซลชีวภาพสังเคราะห์รุ่นที่สองจากกระบวนการไฮโดรจีเนชั่น HVO เป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติดีกว่าในทั้งทางด้านกายภาพและด้านเคมี เช่น ความหนาแน่น และความหนืด ปราศจากสารซัลเฟอร์และอะโรมาติก เลขซีเทนและค่าความร้อนที่สูงกว่าดีเซล การทดลองการเผาไหม้ในครั้งนี้ดำเนินการโดยทดลองเปรียบเทียบเชื้อเพลิง HVO และเชื้อเพลิงดีเซล ขนาดหัวฉีดเชื้อเพลิงรูเดียว 0.2 มิลลิเมตร สภาวะความดันบรรยากาศและอุณหภูมิบรรยากาศอยู่ที่ 4 เมกะปาสคาล และ 900 เคลวินตามลำดับ ความดันในการฉีดเชื้อเพลิงจะอยู่ที่ 60 100 140 เมกะปาสคาล นอกเหนือจากนั้น เทคนิคการถ่ายภาพแบบเงาจะแสดงให้เห็นการเผาไหม้ คุณสมบัติในการระเหยตัวของเชื้อเพลิง และ ช่วงการเปลี่ยนแปลงของเปลวไฟของเชื้อเพลิง HVO และเชื้อเพลิงดีเซล

EFFECT OF INJECTION PRESSURE ON HVO-DIESEL SPRAY AND COMBUSTION
CHARACTERISTICS IN CONSTANT VOLUME COMBUSTION CHAMBER

Apichai Phuwarak 55011413
Chaichan Piluek 56010406
Wirawat Suwan 56011138
Assoc.Prof.Dr.Chinda Charoenphonphanich
Year 2559

Abstract

The purpose of this study is to investigate on the effect of injection pressure on spray and combustion characteristics of diesel and Hydrotreated Vegetable Oil in Constant Volume Combustion Chamber (CVCC). The experiment was done under simulated diesel engine combustion condition. The HVO is a second generation biofuel produced from vegetable oil by hydrogenating process. The HVO has better physical and chemical properties such as density and viscosity which are similar to the diesel fuel, free sulfur and aromatics, high cetane number and heating value. This combustion experiment was carried out with two test fuels: pure HVO and commercial diesel, nozzle orifice 0.2mm single-hole injector. The ambient pressure and temperature were 4MPa and 900K, respectively. The injection pressure was varied as 60MPa, 100MPa and 140MPa. In addition, the shadowgraph technique was adopted to visualize the spray and combustion of fuel in order to describe the effect of fuel properties of HVO and diesel.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์ และคำแนะนำอันดีจาก อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.จินดา เจริษพรพาณิชย์ ซึ่งคอยชี้แนะกระบวนการในการดำเนินงานต่างๆ และยังคงคอยสนับสนุนทางด้านอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการทำงาน

ขอขอบคุณพี่ๆ 1.สมบัติ มารศรี 2.ภพพล เอี้ยวพันธ์ ที่ให้การสนับสนุน ช่วยเหลือ สอนการใช้ งานเครื่องมือ และการแก้ไขปัญหาต่างๆ รวมถึงสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่เอื้อเพื่อให้ยืมเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และเพื่อนๆ น้องๆทุกคนที่เข้ามาพูดคุยกับงานวิจัยนี้

ท้ายที่สุดนี้ต้องขอขอบคุณบิดามารดา บุคคลที่สำคัญที่สุดที่คอยสนับสนุนทั้งแรงกาย แรงใจ และได้ให้โอกาสกับข้าพเจ้าในการศึกษาเล่าเรียน ส่งผลให้ข้าพเจ้าได้ประสบความสำเร็จในวันนี้ ขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้



นายอภิชัย ภูวรักษ์
นายชัยชาญ พิสิฐ
นายวิวัฒน์ สุวรรณ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดหวังจากงานวิจัย.....	3
บทที่2 วรรณกรรมปริทัศน์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับวัฏจักรดีเซล.....	5
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่.....	8
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพสังเคราะห์.....	9
2.5 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง Hydrotreated Vegetable Oil.....	10
2.6 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง.....	11
2.7 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายภาพแบบซาโตว์กราฟ.....	13
2.8 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม.....	14
2.9 อุปกรณ์ในการศึกษาการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล.....	15

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่3 อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง.....	17
3.1 อุปกรณ์การทดลอง.....	17
3.1.1 แผนผังอุปกรณ์การทดลอง.....	17
3.1.2 ระบบจ่ายแก๊ส.....	18
3.1.3 ระบบควบคุมและการวัด.....	19
3.1.4 ระบบปั๊มจ่ายเชื้อเพลิง.....	21
3.1.5 ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่.....	22
3.1.6 อุปกรณ์บันทึกภาพ.....	23
3.2 ขั้นตอนของการศึกษาการเผาไหม้.....	26
3.2.1 รูปแบบของการศึกษา.....	26
3.2.2 ขั้นตอนการศึกษา.....	28
บทที่4 สรุปผลการทดลอง.....	29
4.1 อัตราการปล่อยความร้อน.....	29
4.2 ความล่าช้าการจุดระเบิด.....	31
4.3 ปริมาณการปล่อยความร้อน.....	33
4.4 ปริมาณการปล่อยความร้อนสะสม.....	35
4.5 การวิเคราะห์ภาพถ่ายการเผาไหม้.....	36
บทที่5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	40
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	40
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	41
เอกสารอ้างอิง.....	42
ภาคผนวก.....	43

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพสังเคราะห์และเชื้อเพลิงดีเซล.....	10
2.2 การเปรียบเทียบอุปกรณ์การศึกษาการลามของเปลวไฟแต่ละประเภท.....	11
3.1 เงื่อนไขในการศึกษาการเผาไหม้.....	27
3.2 ปริมาณการจ่ายแก๊สเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ตามความดันย่อย (Partial Pressure).....	27



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการเคลื่อนที่ของลูกสูบในจังหวะต่างๆของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ.....	5
2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดัน (P) และปริมาตร (V)ของวัฏจักรดีเซล 4 จังหวะ.....	6
2.3 ช่วงอัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซล.....	7
2.4 แสดงกระบวนการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่.....	9
2.5 แสดงกระบวนการผลิต HVO.....	9
2.6 ผลของความดันในห้องเผาไหม้เทียบกับเวลาขณะฉีดเชื้อเพลิง.....	12
2.7 หลักการถ่ายภาพแบบชาโดว์กราฟ (shadowgraph technique).....	13
2.8 แสดงการทำงานของระบบคอมมอนเรล.....	14
2.9 (a) เครื่องยนต์สำหรับงานวิจัยแบบมองเห็นการเผาไหม้ (Optical engine).....	15
(b) เครื่องอัดเร็ว (Rapid compression machine)	
(c) ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่	
2.10 เงื่อนไขในการเผาไหม้ในแต่ละอุปกรณ์การทดลอง.....	16
3.1 แสดงแผนผังอุปกรณ์การทดลอง.....	17
3.2 แสดงระบบจ่ายและระบายแก๊ส.....	19
3.3 ไดอะแกรมวัดความดันในการเผาไหม้.....	19
3.4 โปรแกรม Labview ควบคุมความดัน.....	20
3.5 แสดงออสซิลโลสโคป.....	20
3.6 แสดงเซนเซอร์วัดความดัน.....	21
3.7 แสดงอินเวอร์เตอร์คอนโทรล.....	21
3.8 ระบบรางร่วม และมอเตอร์ขับเคลื่อน.....	22
3.9 แสดงภาพของห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่และอุปกรณ์ต่างๆ.....	23
3.10 ผังควบคุมการทำงาน.....	24
3.11 ผังอุปกรณ์การทดลองแบบชาโดว์กราฟกับห้องเผาไหม้.....	24
3.12 อุปกรณ์การทดลองแบบชาโดว์กราฟกับห้องเผาไหม้.....	25
3.13 กล้องวิดีโอความเร็วสูง Photron FASTCAM-Mini-UX100.....	25
3.14 ความดันในการเผาไหม้เทียบกับเวลา.....	26

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันโลกของเรากำลังประสบปัญหาขาดแคลนน้ำมันที่ใกล้หมดลงซึ่งสังเกตได้ จากอัตราการใช้พลังงานต่อวันของแต่ละประเทศเทียบกับความสามารถในการผลิตซึ่ง พบว่าโดยส่วนใหญ่ จะมีอัตราการใช้ที่ค่อนข้างสูงกว่าความสามารถในการผลิต ซึ่งอาจส่งผลให้เกิด วิกฤติพลังงานจึงทำให้ มีการคิดค้นหาแหล่งพลังงานทดแทนมาใช้แทนแหล่งพลังงานฟอสซิลที่มีประสิทธิภาพสูง รวมทั้ง ปริมาณมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้มีค่าต่ำและมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) เป็นพลังงานทดแทนที่มีคุณสมบัติและประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงฟอสซิลและเป็น พลังงานที่สะอาด โดยเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้จากชีวมวลคือ

1. เชื้อเพลิงที่ได้จากไม้เนื้ออ่อน
2. เชื้อเพลิงที่ได้จากการเกษตรซึ่งส่วนใหญ่เป็นของเหลือจากภาคการเกษตรเช่น แกลบ ชัง ข้าวโพด
3. เชื้อเพลิงที่ได้จากของเสียอุตสาหกรรม เช่นขานอ้อยจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล
4. เชื้อเพลิงที่ได้จากของเสียในชุมชน เช่น ขยะ

เพราะฉะนั้นการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพใช้ในประเทศ อาทิ เชื้อเพลิงเอทานอล (Ethanol) เชื้อเพลิงไบโอดีเซลซึ่งเป็นไบโอดีเซลรุ่นแรกที่ได้จากกระบวนการ Transesterification และเชื้อเพลิง ดีเซลชีวภาพสังเคราะห์ ซึ่งการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพทำให้มลพิษลดลงได้มากกว่าเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน และเชื้อเพลิงดีเซล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เชื้อเพลิง Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) หรือ เชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพสังเคราะห์ ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงไบโอดีเซลรุ่นที่สอง เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่จะ นำมาทดแทนเชื้อเพลิงดีเซลเพราะเนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตนั้นสามารถหาได้จากผลผลิตทาง การเกษตรโดยประเทศไทยเราเป็น ประเทศเกษตรกรรมมีวัตถุดิบเยอะ ไม่ว่าจะเป็นปาล์ม สบู่ดำ น้ำมันถั่วเหลืองรวมทั้งไขมันของเหลือจากสัตว์และเป็นการสนับสนุนนโยบายของกระทรวงพลังงานที่ ตั้งเป้าหมายจะมีพลังงานทดแทนร้อยละ 25 [1] ในอนาคต ซึ่งมีกระบวนการผลิตคือ ขั้นแรกทำการ ดึงออกซิเจน และสลายพันธะจากไตรกลีเซอไรด์โดยผ่านกระบวนการบำบัดด้วยไฮโดรเจน (Hydrotreating Process) ได้เป็นผลิตภัณฑ์กลุ่มของพาราฟิน หรือ HVO (n-Paraffin หรือ n-HVO) เนื่องจากเชื้อเพลิง HVO มีความสามารถในการไหลต่ำที่อุณหภูมิต่ำ เพราะว่าโครงสร้างของโมเลกุล ส่วนใหญ่เป็นพาราฟิน ซึ่งสามารถปรับปรุงคุณสมบัติโดยการจัดเรียงโมเลกุลใหม่ (Isomerization process) ได้เป็นเชื้อเพลิง Iso-HVO และมีเลขซีเทน (Cetane Number) ที่สูงกว่าดีเซลและให้ พลังงานความร้อนได้มากกว่าเชื้อเพลิงดีเซล ไม่มีสารซัลเฟอร์เจือปน เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่ไม่มีกลิ่น และไม่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบทำให้ไม่เกิดกระบวนการออกซิเดชัน รวมไปถึงมลพิษ ที่เกิดจากการเผาไหม้ยังน้อยกว่า เช่น ไนโตรออกไซด์(NO_x) และ เขม่า (Soot) โดยงานวิจัยนี้ได้ นำเสนอคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ในรูปแบบเชิงการทดลองโดยใช้ ห้องเผาไหม้ปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คังที่ โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้หัวฉีดดีเซลและคอมมอนเรลความดันสูงแบบบูรเดียวโดยมีการใช้ห้องเผาไหม้ปริมาตรคังที่

โดยรวมแล้วเชื้อเพลิง HVO มีข้อดีมากมายทั้งในเรื่องของคุณสมบัติ อาทิ เลขซีเทนสูง มีค่าพลังงานความร้อนสูงที่ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น และช่วยให้ลดมลพิษจากไอเสียของเครื่องยนต์ รวมไปถึงทำให้เพิ่มประสิทธิภาพ สมรรถนะของเครื่องยนต์ให้สูงขึ้น บริษัท ปตท. จำกัดมหาชน เป็นบริษัทที่ได้ดำเนินการพัฒนาเชื้อเพลิง HVO อย่างต่อเนื่อง โดยใช้ชื่อว่า เชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพสังเคราะห์ เพื่อในอนาคตประเทศไทยจะนำเชื้อเพลิง HVO มาใช้ในภาคการขนส่งภาคอุตสาหกรรมได้อย่างมีคุณภาพและศักยภาพที่สูงขึ้น

งานวิจัยนี้มุ่งเพื่อจำลองการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลโดยจำลองส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ให้สอดคล้องกับสภาวะเริ่มต้นในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล สำหรับการทดลองนี้จะทำการศึกษา ความล่าช้าการจุดระเบิด ระยะเวลาการเผาไหม้ อัตราการปลดปล่อยความร้อน และอีกทั้งยังใช้เทคนิคการถ่ายภาพแบบชาโดว์กราฟเพื่อดูพฤติกรรมของการเผาไหม้ เช่น กระบวนการระเหยตัวและผสมตัวระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง พฤติกรรมของเปลวไฟ ซึ่งผลการทดลองสามารถนำไปปรับใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องยนต์ สมรรถนะ และเพื่อให้สามารถใช้งานเชื้อเพลิงชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพต่างจากเชื้อเพลิงที่ใช้กันอยู่อย่างแพร่หลาย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของคุณสมบัติของเชื้อเพลิง HVO ที่มีผลต่อคุณลักษณะของการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ปริมาตรคังที่ ภายใต้การจำลองการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดแบบหัวฉีดตรง

1.2.2 เพื่อศึกษาคุณลักษณะและพฤติกรรมของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง HVO ในห้องเผาไหม้ปริมาตรคังที่ ภายใต้ความดันการฉีดเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน

1.2.3 ศึกษาความดันการฉีดเชื้อเพลิงที่แตกต่างกันที่มีผลต่ออัตราการปล่อยพลังงาน (Heat Release Rate), ความล่าช้าในการจุดระเบิด (Ignition Delay), ปริมาณการปล่อยความร้อนสุทธิ (Integral heat release) และปริมาณการปล่อยความร้อนสะสม (Cumulative heat release)

1.2.7 การวิเคราะห์ภาพถ่าย เพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงHVO

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิง HVO ต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ปริมาตรคังที่ ภายใต้การจำลองการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดแบบหัวฉีดตรง

1.3.2 งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซลและ HVO โดยใช้ค่าความดันของการฉีดเชื้อเพลิงที่แตกต่างกันดังนี้ 60 MPa 100 MPa และ 140 MPa

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

งานวิจัยนี้ เป็นการมุ่งเน้นไปที่การศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง HVO ในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ ภายใต้เงื่อนไขการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากเชื้อเพลิง Hydro-treated Vegetable Oil (HVO) เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีคุณภาพสูง สามารถใช้กับเครื่องยนต์และช่วยลดมลพิษจากไอเสียที่ถูกปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ได้ โดยแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 3 ส่วนได้แก่

1.4.1 ศึกษาและค้นคว้ารวบรวมข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยในเรื่องของการศึกษาคูณลักษณะและพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง HVO ในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่

1.4.2 จัดเตรียมอุปกรณ์การทดลองและทดลอง

1.4.3 วิเคราะห์และประเมินผลการวิจัย จากนั้นทำการเขียนและนำเสนอผลงานวิจัยเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยสู่สาธารณะชนและแลกเปลี่ยนความคิดเห็น

1.5 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

1.5.1 การศึกษาคูณลักษณะและพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดแบบหัวฉีดตรงอย่างมาก เพราะเป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ สมรรถนะของเครื่องยนต์ และมลพิษจากเครื่องยนต์ สำหรับเครื่องยนต์ที่จุดระเบิดด้วยการอัด อีกทั้งยังเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และการสึกหรอของเครื่องยนต์อีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาตัวแปรดังกล่าว ซึ่งส่งผลให้มีการพัฒนาเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดแบบหัวฉีดตรง เพื่อลดการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงและลดการใช้พลังงานในภาคขนส่ง

1.5.2 มีการนำเชื้อเพลิง HVO ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนที่สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรกรรมซึ่งมีอยู่มากในประเทศไทย ซึ่งสามารถช่วยลดปริมาณการนำเข้าเชื้อเพลิงและปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิง HVO ผลิตมาจากน้ำมันจากพืชนั้นสามารถช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่สะอาด เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม กล่าวคือเชื้อเพลิง HVO มีความสามารถสูงที่ทำให้การเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าพลังงานฟอสซิลและยังปล่อยมลพิษจากไอเสียของเครื่องยนต์ได้น้อยกว่าพลังงานฟอสซิลอีกด้วย

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยของ Rantanen และคณะ. [2] ได้ทำการศึกษาผลของคุณสมบัติของเชื้อเพลิง HVO ต่อมลพิษจากไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล ระบบคอมมอนเรล แบบหัวฉีดตรง เทอร์โบชาร์จ ซึ่งทำการทดลองเชื้อเพลิง HVO ในส่วนผสมร้อยละ 5 20 และ 85 กับเชื้อเพลิงดีเซล ผลการทดลองพบว่าเชื้อเพลิง HVO ช่วยลดมลพิษ ซึ่งได้แก่สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC) คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และอนุภาค PM (Particulate Matter) เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล แต่ไม่สามารถลดออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx) ลงได้ทั้งสองกรณีและพบว่าการลดของมลพิษของไอเสียนั้นขึ้นอยู่กับร้อยละการผสมของเชื้อเพลิง HVO

จากงานวิจัยใช้เชื้อเพลิง HVO และเชื้อเพลิงดีเซล EN950 [3] มาทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล เทอร์โบชาร์จ โดยวัดค่าไอเสีย เขม่าหรืออนุภาค ซึ่งผลจากการวิจัยทดสอบเชื้อเพลิง HVO กับเครื่องยนต์ดีเซล พบว่าสามารถลดมลพิษที่เกิดจากการสันดาปภายในของเครื่องยนต์ได้จริงโดยเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลที่มี HVO เป็นส่วนผสม 30% ซึ่งพบว่ามีเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงเนื่องจากเชื้อเพลิง HVO มีระยะเวลาการเผาไหม้ที่นานกว่าจึงทำให้มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า

งานวิจัยต่อไป [4] ได้ใช้เชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิง HVO ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล เทอร์โบชาร์จ โดยผลจากการทดสอบพบว่าเชื้อเพลิง HVO นั้นสามารถลดมลพิษต่าง ๆ ได้เช่น สารไฮโดรคาร์บอน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น แต่ทางตรงกันข้ามมี NOx ที่เกิดเพิ่มมากขึ้นมากกว่าเชื้อเพลิงดีเซลปกติ ซึ่งเกิดจากการที่เชื้อเพลิง HVO นั้นมีคุณสมบัติในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า ทำให้เกิดอุณหภูมิการเผาไหม้สูงจึงทำให้เกิด NOx เพิ่มมากขึ้นตาม

จากผลการทดลองพบว่า

1. เชื้อเพลิง HVO มีปริมาณ CO น้อยกว่าเชื้อเพลิงร้อยละ Diesel 23.07
2. เชื้อเพลิง HVO มีปริมาณ CO₂ น้อยกว่าเชื้อเพลิงร้อยละ Diesel 3.90
3. เชื้อเพลิง HVO มีปริมาณ NO_x สูงกว่าเชื้อเพลิงร้อยละ Diesel 6.04
4. เชื้อเพลิง HVO มีปริมาณ HC น้อยกว่าเชื้อเพลิงร้อยละ Diesel 20.24

จากงานวิจัยของ Millo และคณะ. [5] ได้ศึกษาและทดลองเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (RME) และเชื้อเพลิง HVO ในอัตราส่วนร้อยละ 30 ผสมกับดีเซลและเชื้อเพลิงดีเซล 100% พบว่าเมื่อโหลดสูงเกิดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพการใช้ของเชื้อเพลิงไม่เปลี่ยนแปลง แต่เขม่าควันของเชื้อเพลิง RME ลดลงอย่างเห็นได้ชัด สำหรับโหลดต่ำ พบว่า เชื้อเพลิง HVO ในอัตราร้อยละ 30 ไม่ทำให้เกิดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพการใช้ของเชื้อเพลิงเปลี่ยนแปลง แต่มลพิษลดลง (HC CO เขม่า) ยกเว้น NOx ที่ไม่ลดลงเนื่องจากเชื้อเพลิง HVO มีค่าซีเทนสูง

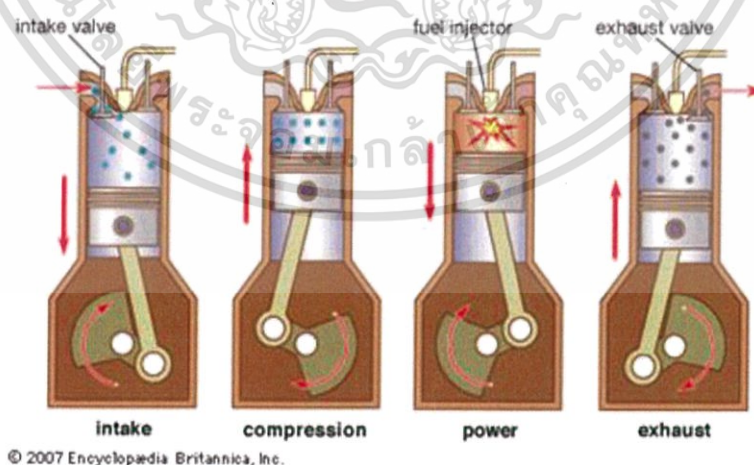
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยของ Sugiyama และคณะ. [6] ได้ทำการทดลองผลของเชื้อเพลิง HVO เทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล สำหรับศึกษาผลกระทบของเชื้อเพลิงต่อการทดลองการเผาไหม้และมลพิษจากไอเสีย โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซล ระบบคอมมอนเรล เทอร์โบชาร์จ ผลการทดลองพบว่าเชื้อเพลิง HVO สามารถช่วยลดเสียงรบกวนของการเผาไหม้ ลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ลดมลพิษ (HC Soot และ PM) เนื่องจากเชื้อเพลิง HVO ไม่มีกลิ่นและสารซัลเฟอร์ ซึ่งช่วยให้ NO_x ลดลง เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล และงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างความเหมาะสมของการใช้เชื้อเพลิง ซึ่งพบว่าเชื้อเพลิง HVO มีศักยภาพในการช่วยแก้ไขปัญหาการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เสียงรบกวนและควันเขม่าได้ และสามารถใช้เชื้อเพลิง HVO ผสมร่วมกับเชื้อเพลิงดีเซลได้ดี

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับวัฏจักรดีเซล

2.2.1 เครื่องยนต์ดีเซล

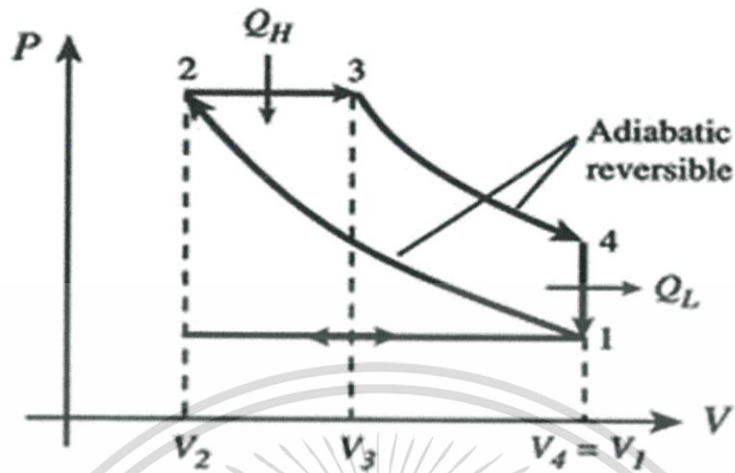
เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์แบบหนึ่งของเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engines) ซึ่งเป็นเครื่องต้นกำลังที่เปลี่ยนพลังงานเคมีในเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานความร้อนโดยการเผาไหม้ และพลังงานความร้อนก็จะเปลี่ยนเป็นพลังงานกล [7] เครื่องยนต์ดีเซลนั้นจะมีการจุดระเบิด ส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงเองซึ่งเรียกว่า Compression Ignition โดยเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ที่มีอากาศถูกอัดไว้และจะเกิดการลุกไหม้ขึ้น ผลของการเผาไหม้จะทำให้แก๊สที่เกิดขึ้นมีความดันและอุณหภูมิสูงก็จะขยายตัวดันลูกสูบลงมา ซึ่งจะไปผลักให้ข้อเหวี่ยงหมุนไป การทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ (Cycle of Four Stroke Diesel Engine) เครื่องยนต์ 4 จังหวะ จะมีวงจรการทำงาน 1 วัฏจักรประกอบด้วย จังหวะ (Stroke) 4 จังหวะ จังหวะการทำงาน 1 จังหวะ ก็คือการเคลื่อนที่ของลูกสูบจากตำแหน่งศูนย์ตายบน (Top Dead Center) หรือตำแหน่งบนสุด จนถึงตำแหน่งศูนย์ตายล่าง (Bottom Dead Center) หรือจากตำแหน่งล่างสุด จนถึงตำแหน่งบนสุด ซึ่ง 2 จังหวะการทำงานจะเท่ากับ 1 รอบการหมุนของข้อเหวี่ยงหรือของเครื่องยนต์ วงจรการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลจะเป็นไปตามภาพด้านล่างนี้



รูปที่ 2.1 แสดงการเคลื่อนที่ของลูกสูบในจังหวะต่างๆของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซลต้องมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับวัฏจักรดีเซล โดยศึกษาจากความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรของลูกสูบ



รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดัน (P) และปริมาตร (V) ของวัฏจักรดีเซล 4 จังหวะ

โดยกระบวนการในรูปที่ 2.2 สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. กระบวนการ 1 ไป 2 เป็นกระบวนการอัดตัวแบบอะเดียแบติก (Adiabatic compression Process) โดยไม่มีการถ่ายเทความร้อนออกจากระบบ
2. กระบวนการ 2 ไป 3 เป็นกระบวนการรับความร้อนภายใต้ความดันคงที่และปริมาตรของอากาศขยายตัวตามอัตราส่วนการอัด r_c (Cut-off Ratio)
3. กระบวนการ 3 ไป 4 เป็นกระบวนการขยายตัวแบบอะเดียแบติก (Adiabatic Process) จนกระทั่งอากาศมีปริมาตรเท่ากับสถานะเริ่มต้น
4. กระบวนการ 4 ไป 1 เป็นการถ่ายเทความร้อนภายใต้ปริมาตรคงที่ (Exhaust Process)

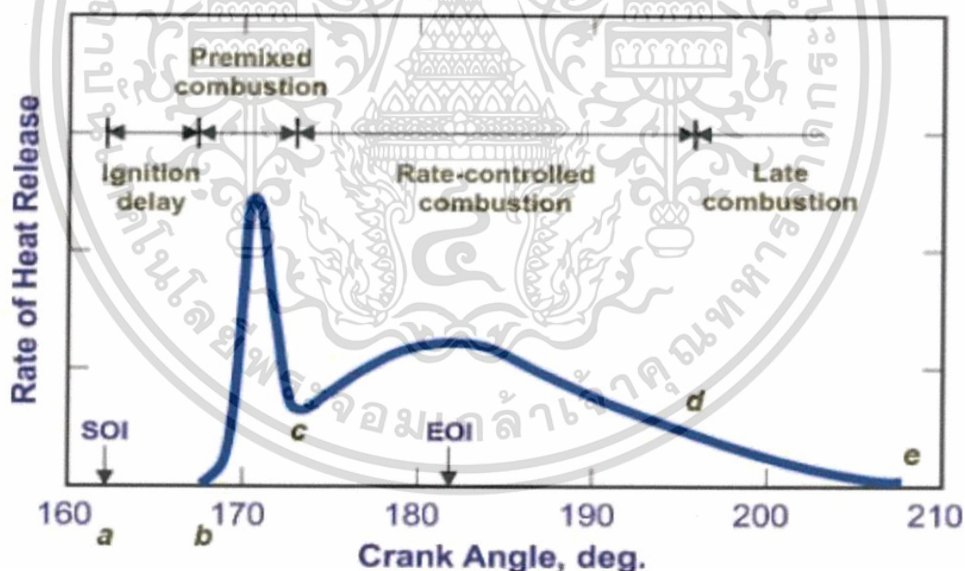
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลแบบหัวฉีดตรง

ในเครื่องยนต์ดีเซลเชื้อเพลิงความดันสูงถูกฉีดน้ำมันผ่านหัวฉีดจนกลายเป็นละอองขนาดเล็กในห้องเผาไหม้ เชื้อเพลิงถูกจุดด้วยความร้อนจากภายในห้องเผาไหม้ ที่สถานะเปลี่ยนจากของเหลวกลายเป็นไอ ณ ความดันและอุณหภูมิสูงที่ลูกสูบอยู่ตำแหน่งศูนย์ตายบน (Top Dead Center; TDC) จนถึงอุณหภูมิที่จุดระเบิดด้วยตนเอง (Self ignition)

2.2.3 การจุดระเบิดด้วยการอัด

ในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นเมื่อทำการฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงเข้าไปในจังหวะที่ลูกสูบอยู่ที่จุดศูนย์ตายบนเชื้อเพลิงจะยังไม่เกิดการระเบิดโดยทันที เพราะจะต้องให้เชื้อเพลิงผสมกับอากาศและรอช่วงความล่าช้าในการจุดระเบิดตัวเอง [8] ดังนั้นจากรูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการปล่อยพลังงาน (Heat release rate) ณ จุดที่เริ่มฉีดเชื้อเพลิง (Start of Ignition; SOI) ในตำแหน่งนี้แรงดันภายในห้องเผาไหม้ลดลงเล็กน้อยเพราะเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิที่เย็นกว่าภายในห้องเผาไหม้จึงได้รับความร้อนจากภายนอกเข้ามาทำให้แรงดันลดลง ในช่วงความล่าช้าการจุดระเบิด Ignition delay เชื้อเพลิงได้เปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นแก๊สหลังจากได้รับความร้อนเข้ามาแล้วจนถึงจุดที่แรงดันกลับมาเท่าเดิมเพราะเชื้อเพลิงได้ปล่อยพลังงานออกมาจึงเริ่มเกิดการเผาไหม้ขึ้น (Start of Combustion; SOC) และเมื่อเราหารระยะเวลาจากจุด SOI ที่องศาเพลลาข้อเหวี่ยง จนถึงจุด SOC เราจะได้ระยะเวลาช่วงที่ล่าช้าในการจุดระเบิดดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ช่วงอัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซล [8]

จากช่วงเวลาต่างๆกระบวนการฉีดและเผาไหม้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรง สามารถสรุปช่วงได้จากกราฟอัตราการปล่อยความร้อนในรูปที่ 2.3 ได้ดังนี้

1. ช่วงที่ล่าช้าในการจุดระเบิด (Ignition Delay) จากจุด a ไปจุด b คือจุดที่เริ่มการฉีดเชื้อเพลิงดีเซลเข้าสู่ห้องเผาไหม้สารผสมหลังจากนั้นในระยะเวลา a ถึง b น้ำมันเชื้อเพลิงดูดความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากอากาศภายในห้องเผาไหม้แล้วเปลี่ยนสถานะจากของเหลวจนกลายเป็นไอจนกระทั่งถึงจุดสามารถคายพลังงานออกมาได้หรือจุดระเบิดด้วยตัวเอง (Self Ignition) คือจุด b

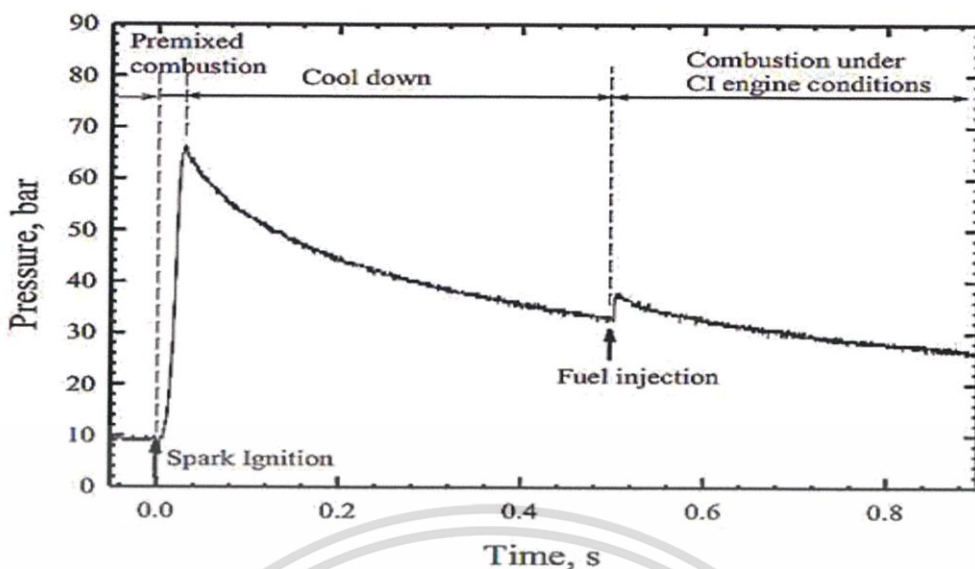
2. ช่วงการเผาไหม้สารผสม (Premixed Combustion) จุด b ในจุดนี้เป็นช่วงที่เชื้อเพลิงผสมกับอากาศเรียบร้อยแล้ว ถึงจุดที่ระเบิดได้ด้วยตนเอง ณ จุดนี้จะเผาไหม้เกือบพร้อมกันทั้งหมดจึงเผาไหม้อย่างรวดเร็วในเวลาไม่กี่องศาเพลลาข้อเหวี่ยง และเป็นผลทำให้การคายพลังงานในช่วงนี้มากที่สุด เพราะคายพร้อมกัน

3. ช่วงการเผาไหม้โดยที่ถูกรควบคุมจุด c (Rate controlled combustion หรือ Mixing control) เมื่อผ่านช่วงการเผาไหม้สารผสมแล้วค่าการปล่อยความร้อนลดลงอย่างรวดเร็วเพราะอากาศบริเวณรอบๆถูกเผาไหม้ไปแล้ว เมื่อเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดมาอย่างต่อเนื่อง จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวเป็นแก๊สแล้วทำให้อัตราการปล่อยความร้อนลดลงและเพิ่มขึ้นใหม่เมื่อเกิดการจุดระเบิดด้วยตนเองอีกครั้งจนถึงจุดสิ้นสุดการฉีดเชื้อเพลิง ที่จุดนี้เมื่อเชื้อเพลิงหยุดฉีดแล้วค่าการปล่อยความร้อนจะค่อยๆลดลงเพราะไม่มีเชื้อเพลิงมาฉีดเพิ่มและเชื้อเพลิงที่เหลืออยู่ที่เผาไหม้หมดไปเป็นขั้นตอนการเผาไหม้ถัดไป

4. ช่วงการเผาไหม้ล่าช้า (Late Combustion) เป็นช่วงที่การปล่อยความร้อนเกิดขึ้นต่อไปที่แนวโน้มนลดลงในจังหวะขยายตัวและแรงดันแก๊สจากการเผาไหม้ต้นให้ถูกสูบเคลื่อนที่ลงส่วนนี้เป็นการเผาไหม้ต่อไปของเขม่าและสารที่เกิดจากการเผาไหม้สารผสมหนา เช่น CO, H₂

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่

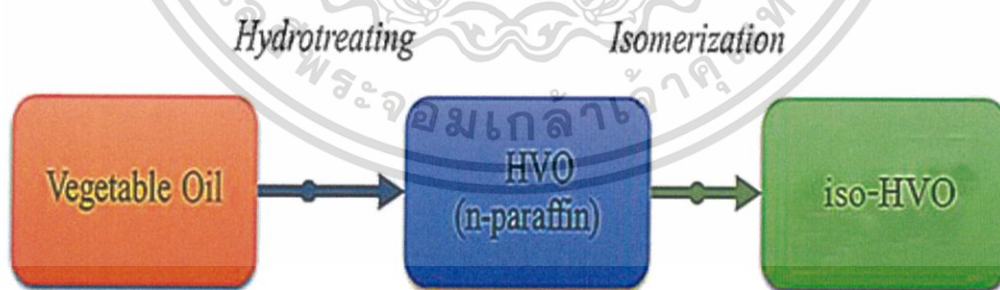
ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่เป็นห้องสำหรับสังเกต การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ด้านข้างของห้องเผาไหม้จะติดตั้งกระจกควอดซ์ไว้ สำหรับให้มองเห็นการเผาไหม้ภายในได้ ส่วนภายในจะมีการติดตั้ง หัวเทียน หัวฉีด และเซ็นเซอร์วัดความดัน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะออกแบบให้มีขนาด 502.65 cm³ โดยห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่นี้เป็นการจำลองการทำงานกระบวนการอัดตัวแบบบอเดียดิเบติก (Adiabatic Process) โดยไม่มีการถ่ายเทความร้อนออกจากระบบ ณ ตำแหน่งศูนย์ตายบนของห้องเผาไหม้จนถึงสิ้นสุดจังหวะกำลังเมื่อแก๊สเชื้อเพลิงกับอากาศในถังผสมแก๊สผสมกันจนได้สถานะที่เหมาะสมแล้ว จะถูกส่งเข้าสู่ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ แก๊สผสมจะมีความดันและอุณหภูมิ 1.4 MPa และ 80°C ตามลำดับโดยห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่นี้เป็นการจำลองการทำงานกระบวนการอัดตัวแบบบอเดียดิเบติก (Adiabatic Process) ณ ตำแหน่งศูนย์ตายบนของห้องเผาไหม้จนถึง จังหวะสิ้นสุดการทำงานหนึ่งวัฏจักรจากนั้นจึงทำการจุดระเบิดด้วยหัวเทียน ส่งผลให้ความดันในห้องเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้น จนมีค่า ประมาณ 7 MPa เมื่อสิ้นสุดการเผาไหม้ ห้องเผาไหม้จะถูกปล่อยให้ความดันและอุณหภูมิของแก๊สภายในลดลง (Cool Down) เป็น 4 MPa และ 627°C (900 K) ตามลำดับ ซึ่งในขณะนี้จะยังคงมีออกซิเจนเหลืออยู่ประมาณ 21% โดยเปอร์เซ็นต์โมล จากนั้นจึงทำการฉีดเชื้อเพลิง เพื่อพิจารณา ลักษณะการเผาไหม้ต่อไป ขั้นตอนในการเผาไหม้ สามารถอธิบายได้จากความดันในการเผาไหม้



รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ [9]

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพสังเคราะห์ Hydrotreated Vegetable Oil

เป็นเชื้อเพลิงสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างเหมือนเชื้อเพลิงดีเซลที่มาจากน้ำมันปิโตรเลียมได้รับความสนใจในการศึกษาและวิจัยเป็นอย่างมาก [9] เนื่องจากผลิตได้ จากการนำน้ำมันพืช เช่นน้ำมันปาล์ม น้ำมันสบู่ดำ หรือน้ำมันพืชใช้แล้ว ที่ผลิตได้เองภายในประเทศมาทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนและตัวเร่งปฏิกิริยาในหน่วยปฏิบัติการผลิต (Hydro-Treating Unit) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในโรงกลั่นในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกกำจัดออกซิเจนออกได้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีค่าซีเทนและค่าความร้อนสูง อีกทั้งยังมีคุณสมบัติการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพอีกด้วยนอกจากนั้นยังนำไปผ่านกระบวนการ Isomerization เพื่อการลดขนาด โครงสร้างโมเลกุลให้เป็นไฮโดรคาร์บอนแบบ Branched Chain ที่มีคุณสมบัติการไหลที่ดีขึ้น



รูปที่ 2.5 แสดงกระบวนการผลิต HVO [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง Hydrotreated Vegetable Oil

ค่าพลังงานความร้อน มีผลต่อพลังงานที่จะทำให้อากาศที่เผาไหม้มีความดันสูงขึ้นมากหรือน้อย โดยถ้าค่าพลังงานความร้อนสูงเมื่อเผาไหม้จะทำให้ได้ความดันสูงและกำลังอัดในกระบอกสูบสูงตามลำดับ และมีข้อดีและข้อเสียดังนี้

ข้อดี

1. เลขซีเทน (Cetane Number) สูง
2. จำนวนคาร์บอนและพันธะโมเลกุล ใกล้เคียงดีเซล
3. กำมะถัน (Sulfur) สารอะโรมาติก (Aromatics) ซี้เถ้า (Ash) และกากคาร์บอน (Carbon Residue) ต่ำ
4. ทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Better oxidation Stability) ได้ดี

ข้อเสีย

1. ต้นทุนการผลิตสูง
2. คุณสมบัติในการไหลต่ำที่อุณหภูมิต่ำ (Cold flow properties)

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพสังเคราะห์และเชื้อเพลิงดีเซล

Properties	Standard	Diesel	HVO
Kinematic Viscosity (40°C,cSt)	ASTM D445	3.24	2.64
Density (30°C,kg/m ³)	ASTM D4052	824	778
Heating Value (MJ/kg)	ASTM D240	45.86	46.86
Cetane Index	ASTM D4737	60.43	76.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทดลองได้แก่ ความดันระหว่างการเผาไหม้ อุณหภูมิในการเผาไหม้ ความล่าช้าในการจุดระเบิด อัตราการปล่อยความร้อน ผสม

2.6.1 ความดันระหว่างการเผาไหม้

ความดันระหว่างการเผาไหม้ เป็นตัวแปรตามซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต้น คือ ความเข้มข้นของออกซิเจน ซึ่งความดันสามารถนำไปพิจารณาอุณหภูมิระหว่างการเผาไหม้ ความล่าช้าในการจุดระเบิด อัตราการปลดปล่อยความร้อน ปริมาณการปล่อยความร้อนสะสม และปริมาณการปล่อยความร้อน

2.6.2 อุณหภูมิในการเผาไหม้

อุณหภูมิในการเผาไหม้ (Bulk Gas Temperature) ซึ่งคำนวณได้จากความดันในการเผาไหม้ดังสมการ

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

- T_{bulk} แทนอุณหภูมิของแก๊สหลังจากจุดระเบิด (K)
 T_{int} แทนอุณหภูมิของแก๊สที่จ่ายเข้าห้องเผาไหม้ (K)
 P_{bulk} แทนความดันของแก๊สหลังจากจุดระเบิด (Pa)
 P_{int} แทนความดันของแก๊สก่อนการจุดระเบิด (Pa)
 M แทนอัตราส่วนน้ำหนักโมเลกุล

2.6.4 อัตราการปล่อยความร้อน

อัตราการปล่อยความร้อน (Heat Release Rate) คืออัตราการปล่อยความร้อนที่เชื้อเพลิงปล่อยออกระหว่างการเผาไหม้สามารถคำนวณได้ดังสมการ

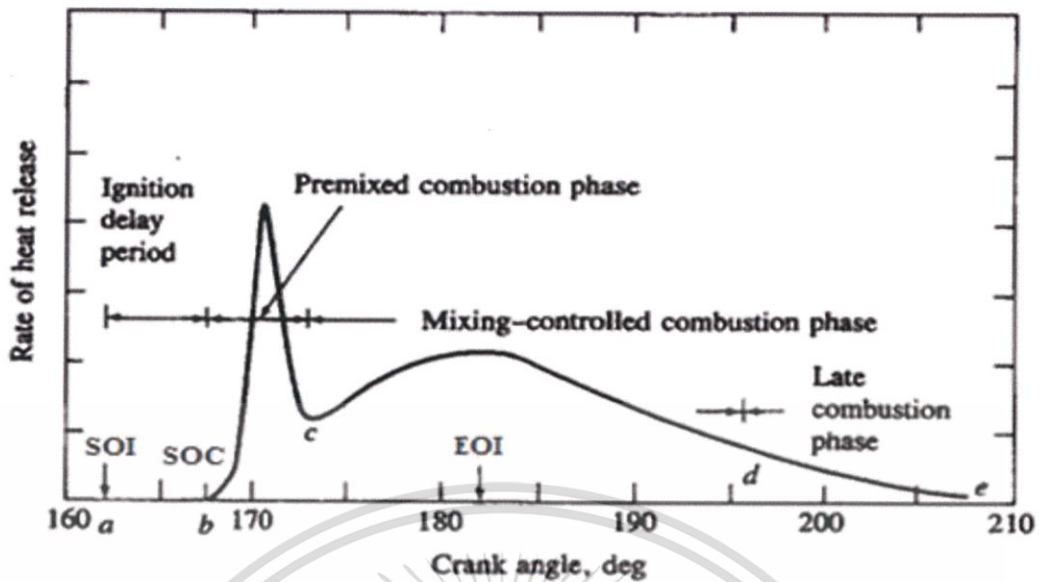
$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\gamma}{\gamma-1} P \frac{dv}{dt} + \frac{1}{\gamma-1} V \frac{dp}{dt} \quad (2.2)$$

ซึ่งในการทดลองนี้ ปริมาตรห้องเผาไหม้มีค่าคงที่ ดังนั้นอัตราการปล่อยความร้อนสามารถลดรูปได้ เนื่องจากการใช้ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่โดยที่ปริมาตรไม่มีการเปลี่ยนแปลง สามารถลดรูปได้ดังสมการที่ 2.3

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

- γ แทนอัตราส่วนความร้อนจำเพาะ
 V แทนปริมาตรของห้องเผาไหม้
 $\frac{dp}{dt}$ แทนอัตราเปลี่ยนแปลงความดันเทียบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



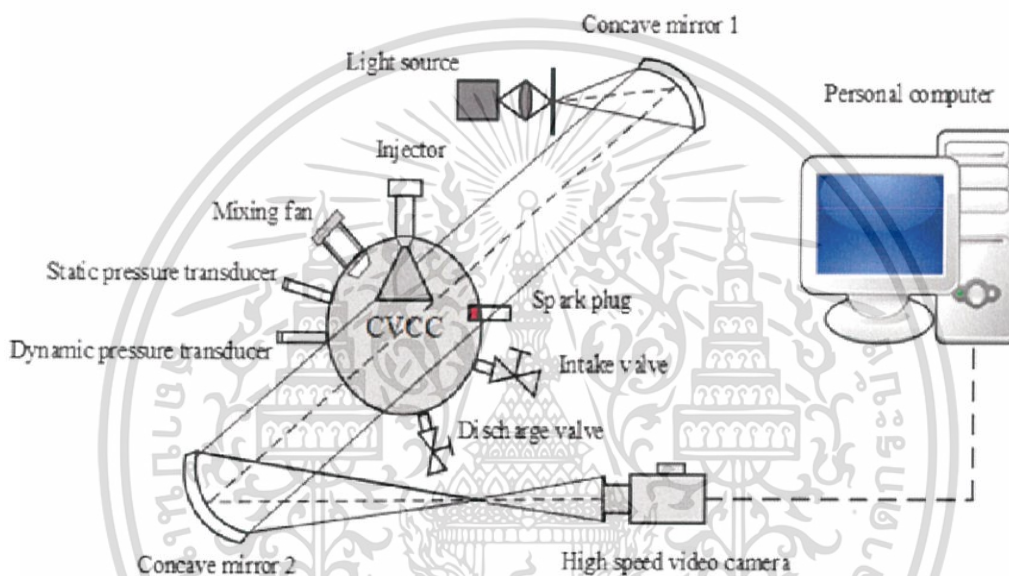
รูปที่ 2.6 ผลของความดันในห้องเผาไหม้เทียบกับเวลาขณะฉีดเชื้อเพลิง [11]

2.6.3 ความล่าช้าในการจุดระเบิด

ความล่าช้าในการจุดระเบิด (Ignition Delay) คือระยะเวลาระหว่างจุดเริ่มต้นฉีดเชื้อเพลิง (SOI) จนถึงจุดเริ่มต้นการระเบิด (SOC) ซึ่งการจุดระเบิดของดีเซลแบ่งได้ 3 ขั้นตอน คือ ความล่าช้าในการจุดระเบิด (Ignition Delay) การเผาไหม้ทันทีที่ฉีดเชื้อเพลิง (Premixed Combustion) การเผาไหม้ช้า (Late-Control Combustion)

2.7 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายภาพแบบซาโดว์กราฟ (Shadowgraph technique)

การมองเห็นลักษณะสเปร์ยของเชื้อเพลิงนั้นยากที่จะมองได้ด้วยตาเปล่า เพราะเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่สั้น การศึกษาลักษณะสเปร์ยในงานวิจัยครั้งนี้จึงเลือกใช้กล้องความเร็วสูงจับภาพสเปร์ยเชื้อเพลิง โดยใช้หลักการถ่ายภาพแบบซาโดว์กราฟ ที่จะอาศัยลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (Light Source) ฉายลำแสงไปที่กระจกโค้ง (Concave Mirror) จากนั้นลำแสงจากกระจกจะสะท้อนผ่านสเปร์ยเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ (CVCC) ไปตกกระทบกับกระจกโค้งอีกตัวหนึ่งที่ทำหน้าที่รวมแสงที่เกิดจากการหักเหจากค่าความแตกต่างของแอมพลิจูดระหว่างความหนาแน่นของสเปร์ยเชื้อเพลิงและลำของเชื้อเพลิงที่ไม่เท่ากัน ทำให้เกิดภาพขึ้น แล้วบันทึกภาพด้วยกล้องบันทึกภาพความเร็วสูง

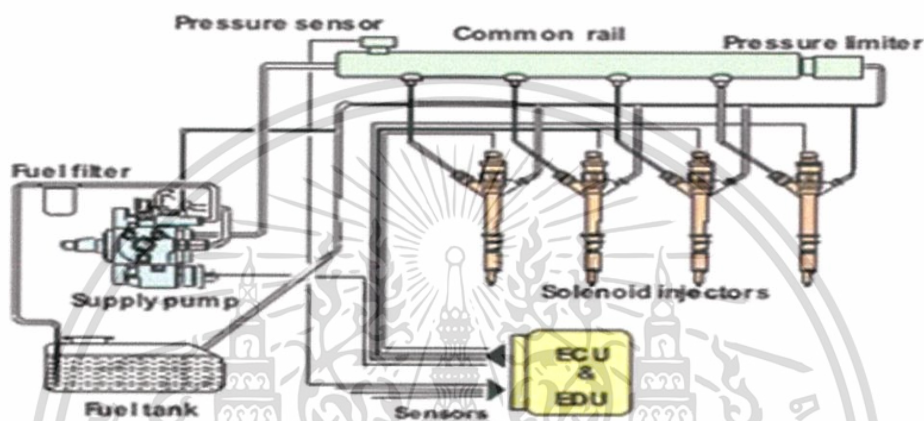


รูปที่ 2.7 หลักการถ่ายภาพแบบซาโดว์กราฟ (shadowgraph technique)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม

ระบบคอมมอนเรล หรือระบบจ่ายเชื้อเพลิงแบบรางร่วม เป็นระบบจ่ายเชื้อเพลิงประกอบด้วยปั๊มแรงดันสูงดันเชื้อเพลิงเข้าสู่รางร่วม (Common Rail) เพื่อรอจังหวะการฉีดที่เหมาะสมที่ประมวลได้จากหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Control Unit, ECU) เมื่อถึงจังหวะการฉีดเชื้อเพลิงที่ ECU ประมวลผลออกมาได้ วาล์วเชื้อเพลิงหรือเข็มหัวฉีดจะถูกยกด้วยแรงขับจากโซลินอยด์โดยใช้ไฟฟ้า ระบบคอมมอนเรลจึงสามารถฉีดเชื้อเพลิงยืดหยุ่นได้ตามสภาวะการทำงานที่เหมาะสมตามการประมวลผลของ ECU โดย ECU ของเครื่องยนต์สามารถรับรู้สภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ได้จาก Sensor ต่างๆ



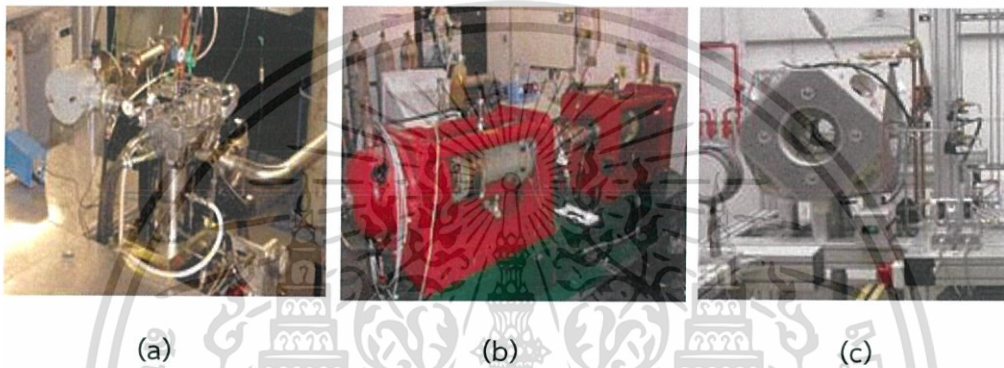
รูปที่ 2.8 แสดงการทำงานของระบบคอมมอนเรล [12]

ระบบคอมมอนเรลประกอบด้วย

1. ปั๊มแรงดันสูง โดยสามารถปั๊มเชื้อเพลิงให้มีความดันสูงถึง 1,800 บาร์หรือ 180 MPa ขึ้นอยู่กับเครื่องยนต์แต่ละรุ่น โดยแรงดันที่สูงนี้ทำให้เชื้อเพลิงแตกตัวเป็นละอองได้ดีกว่าการใช้หัวฉีดแบบเก่ามากหรือที่เรียกว่า Fuel Atomization
2. รางร่วมมีลักษณะเป็นท่อเล็กและยาวที่มีความหนาแน่นเพื่อทนต่อแรงดันที่สูง รางร่วมนี้จะรักษาความดันให้คงที่และช่วยให้ละอองเชื้อเพลิงที่จ่ายไปยังห้องเผาไหม้ทุกห้องมีลักษณะเหมือนกัน

2.9 อุปกรณ์ในการศึกษาการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล

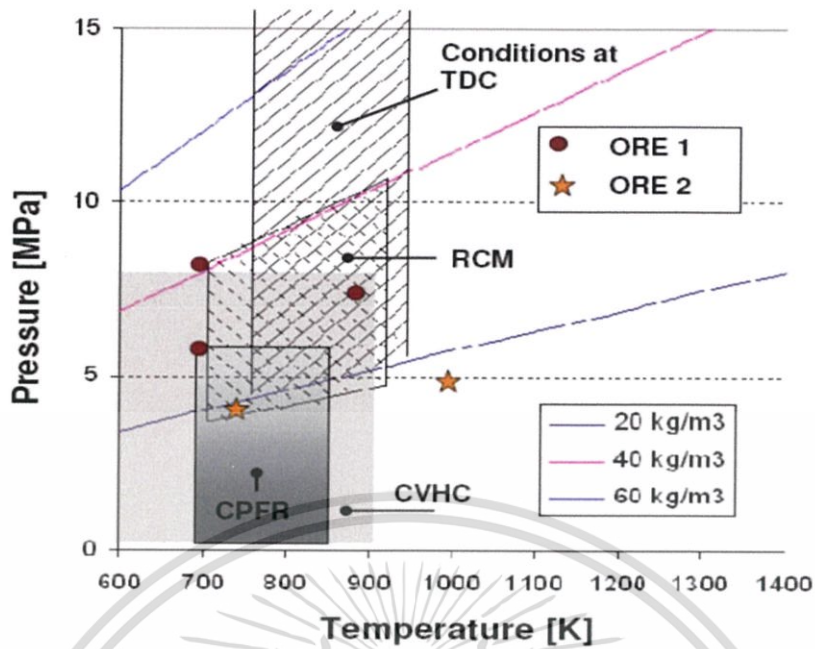
ในการที่ศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ของเปลวไฟของการจุดระเบิดของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (Compression ignition engine) ด้วยน้ำมันดีเซลหรือเชื้อเพลิงใด ๆ ก็ตาม ซึ่งเชื้อเพลิงสามารถถูกจุดระเบิดได้ด้วยอากาศร้อน ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นจากการอัดตัวของลูกสูบที่ความเร็วสูงโดยทั่วไปห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์มีลักษณะที่บไม่สามารถมองเห็นภายในได้ เพื่อให้เห็นถึงการเผาไหม้ภายในจึงจำเป็นต้องใช้ชุดทดลองพิเศษที่สามารถมองผ่านเข้าไปเห็นกระบวนการเผาไหม้ของเปลวไฟภายในได้ อุปกรณ์ดังกล่าวได้แก่เครื่องยนต์สำหรับงานวิจัยแบบมองเห็นการเผาไหม้ได้ (Optical research engine) เครื่องอัดเร็ว (Rapid compression machine) และห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ (Constant volume combustion chamber) ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 (a) เครื่องยนต์สำหรับงานวิจัยแบบมองเห็นการเผาไหม้ (Optical engine)
(b) เครื่องอัดเร็ว (Rapid compression machine)
(c) ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ [3]

เงื่อนไขในการเผาไหม้ของอุปกรณ์การทดลองการศึกษาการเผาไหม้ของเปลวไฟ ในรูปที่ 2.4 แสดงถึงเมื่อเปรียบเทียบกับเงื่อนไขที่ตำแหน่งจุดศูนย์ตายบนของเครื่องยนต์ Condition at TDC [3] โดยมีการเปรียบเทียบอุปกรณ์ดังนี้ เครื่องยนต์โปร่งใส (ORE) เครื่องอัดแบบเร็ว (RCM) ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่มีกาลไหล (CPFR) ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่แบบใช้ความร้อน (CVHC) และห้องเผาไหม้ ปริมาตรคงที่แบบใช้เชื้อเพลิงเผาไหม้ล่วงหน้า (CVPC หรือ CVCC) และสรุป ได้ว่า CPFR และ CVHC ไม่สามารถสร้างความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้เท่ากับเงื่อนไขจุดศูนย์ตายบนของเครื่องยนต์ เนื่องจากค่าการทำความร้อนและความดันของอุปกรณ์ทั้งสองคู่ไม่สอดคล้องกับเครื่องยนต์จริงต่อมาเป็น ORE สามารถทำเงื่อนไขเข้าใกล้กับตำแหน่งของ TDC ได้แต่ยังติดปัญหาดังนี้ การกระทบของละอองเชื้อเพลิงกับผนังด้านบนของลูกสูบ (Spray interaction) การเกิดความเค้นของความร้อน (Thermal stress) ของกระจกที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สามารถถ่ายภาพต่อเนื่องของการลุกลามเปลวไฟได้ต้องใช้วิธีการข้ามการถ่ายรูปของเปลวไฟในแต่ละวัฏจักร (Skip mode)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 เงื่อนไขในการเผาไหม้ในแต่ละอุปกรณ์การทดลอง [3]

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบอุปกรณ์การศึกษาการลามของเปลวไฟในแต่ละประเภท 0 = ปานกลาง, + = ดี, - = แย่ [3]

Type of optical test rig	ORE	RCM	RCYM	CPFR	CVHC	CVPC
Optical accessibility	0	0	++	++		+
Similarity to the real engine situation	0	-	--	--	--	--
Free spray penetration distance	0	+	+	+++	++	++
Control on trapped gas p / T	0	+	0	++	++	++
Control on trapped gas composition (i.e. EGR)	0	-	0	+	++	+++
Flow field impact on combustion	--	-(-)	-	0	-	-
Test facility volume	0	+	0	0	++	++
Time to switch between operating conditions (i.e. T)	0	0	0	0	--	++
Time between tests [s] (*)	1	120-600	1	1-3	60	600

จากตารางที่ 2.2 เป็นการเปรียบเทียบอุปกรณ์การศึกษาการเผาไหม้ของเปลวไฟแต่ละประเภท ความสามารถในการมองเห็นเปลวไฟ (Optical accessibility) พบว่า RCM และ CPFR มีความสามารถในการมองเห็นเปลวไฟได้ดี ส่วน CVPC มีอันดับลดลงมา และที่แย่ที่สุดเป็น ORE และ RCM ความคล้ายกันกับการทำงานของเงื่อนไขการทำงานของเครื่องยนต์จริง (Similar to the real engine) พบว่า ORE มีการทำงานคล้ายกับเครื่องยนต์จริงที่มากกว่าอุปกรณ์การศึกษาการลามของเปลวไฟประเภทอื่น ระยะช่วงระยะแพร่ในการฉีดละอองน้ำมันเชื้อเพลิง (Free spray penetration distance) ความเหมาะสมในการแพร่ของละอองน้ำมันในการคลุกเคล้าอากาศ ในส่วนนี้ CVHC มีความเหมาะสมมากกว่า CVHC CPVC และ ORE ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์การทดลองแบ่งออกได้ 4 ส่วนคือ

1. ระบบจ่ายแก๊ส
2. ระบบควบคุมและการวัด
3. ระบบปั๊มจ่ายเชื้อเพลิง
4. ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่

ส่วนที่ 1 ระบบจ่ายและระบายแก๊สมีแก๊สที่เกี่ยวข้องกับการทดลองทั้งหมด 3 ชนิด คือ อะเซทิลีน ออกซิเจน และไนโตรเจน โดยจะมีปั๊มสุญญากาศ (Vacuum Pump) เพื่อดูดอากาศในห้องเผาไหม้ทั้งก่อนและหลังการทดลองออก

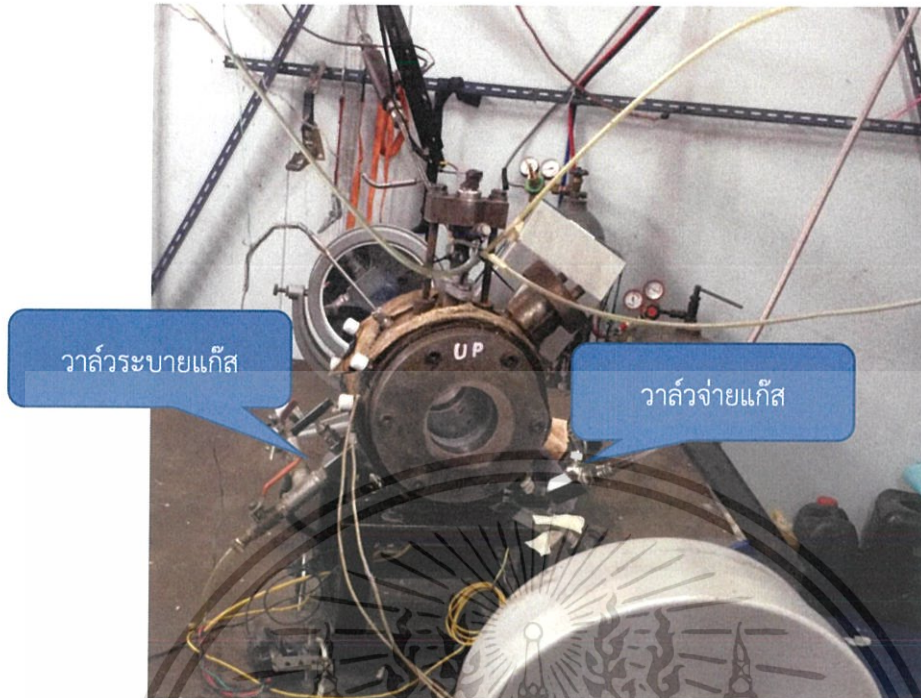
ส่วนที่ 2 ระบบควบคุมและการวัดจะใช้ตัวคอนโทรลเลอร์ในการสั่งการเป็นสัญญาณปิดและเปิดตามเวลาที่เรากำหนดไว้โดยกล่องควบคุมจะออกคำสั่งให้กล่องเริ่มถ่ายภาพขณะจุดระเบิดและอุปกรณ์ควบคุมสัญญาณไฟฟ้า Electronic Drive Unit (EDU) ขับหัวฉีดให้มีแรงยกได้เมื่อทำการเผาไหม้แล้วจะใช้สัญญาณจากเซ็นเซอร์วัดความดันซึ่งผ่านตัวแปลงกระแสไฟ (Charge Amplifier) แล้วส่งต่อมาที่ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) เพื่อทำการวัดและเก็บผลค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปและนำมาคำนวณหาความดันเผาไหม้และความดันที่เปลี่ยนไปตามเวลา เพื่อใช้ในการหาค่าการปล่อยความร้อนและความล่าช้าในการจุดระเบิด

ส่วนที่ 3 ระบบปั๊มจ่ายเชื้อเพลิงในระบบนี้เพิ่มแรงดันเชื้อเพลิงในระบบให้คงที่ที่ความดัน 600 1000 และ 1400 บาร์ โดยมี Inverter Unit ที่คอยควบคุมความเร็วมอเตอร์และส่งต่อไปยังหัวฉีดเชื้อเพลิงที่อยู่ในห้องเผาไหม้

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

3.1.2 ระบบจ่ายแก๊ส

ระบบจ่ายและระบายแก๊สสามารถจำแนกแก๊สที่เกี่ยวข้องกับการทดลองออกเป็น 3 ชนิด คือ อะเซทิลีน ไนโตรเจน และอากาศ โดยจะมีวาล์ว (Valve) จ่ายและระบายแก๊สในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ทั้งก่อนและหลังการทดลองเพื่อให้อากาศเสียไหลออกจากห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่และจ่ายแก๊สใหม่เข้าไปแทนที่

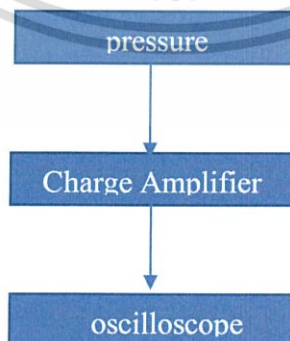


รูปที่ 3.2 แสดงระบบจ่ายและระบายแก๊ส

3.1.3 ระบบควบคุมและการวัด

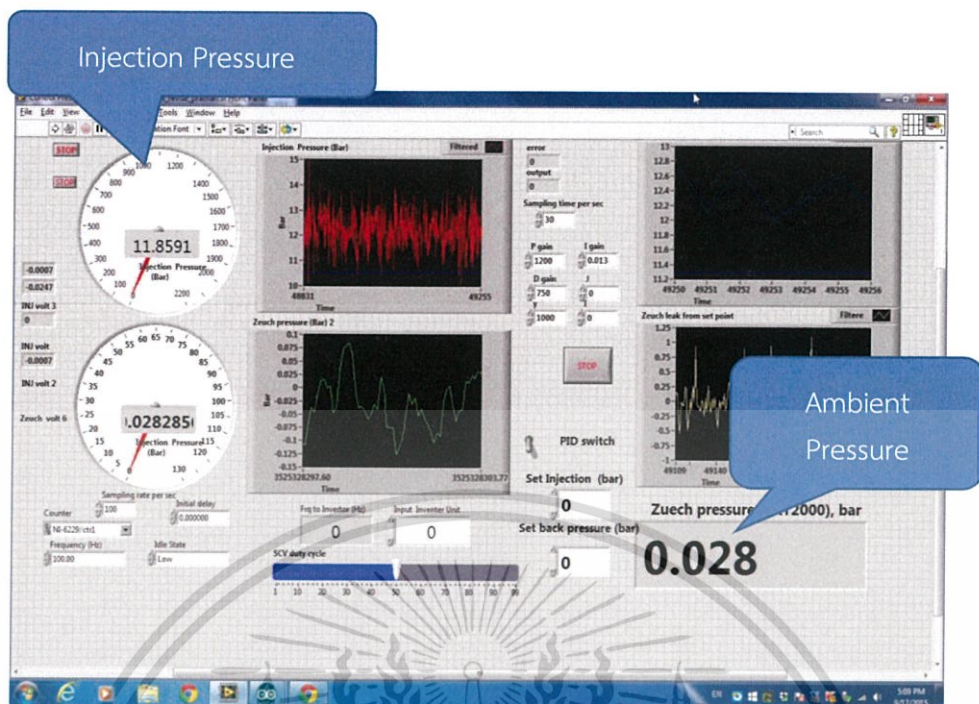
ระบบควบคุมและการวัดมีอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการควบคุมและการวัดได้แก่

1. อุปกรณ์ควบคุมสัญญาณไฟฟ้าสั่งเปิดและปิดการจ่ายกระแสไฟฟ้าตามเวลาที่เรากำหนดลงในชุดควบคุม และส่งสัญญาณไฟฟ้าไปที่ชุดขับหัวฉีดทำการยกเข็มหัวฉีดพร้อมสั่งให้กล่องทำการบันทึกภาพขณะฉีดเชื้อเพลิงให้ถูกช่วงเวลาเพื่อลดการบันทึกของข้อมูลในส่วนที่ไม่จำเป็น
2. เซนเซอร์วัดความดันจะทำการส่งสัญญาณความดันที่วัดได้เข้ามาที่ออสซิลโลสโคป ออสซิลโลสโคปจะทำการวัดและเก็บผลค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป
3. เทอร์โมคัปเปอรวัดอุณหภูมิของน้ำเลี้ยงและน้ำมันก่อนไหลเข้าปั๊มคอมมอนเรลแล้วส่งค่าที่วัดได้ไปที่จอแสดงผล



รูปที่ 3.3 ไดอะแกรมวัดความดันในการเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

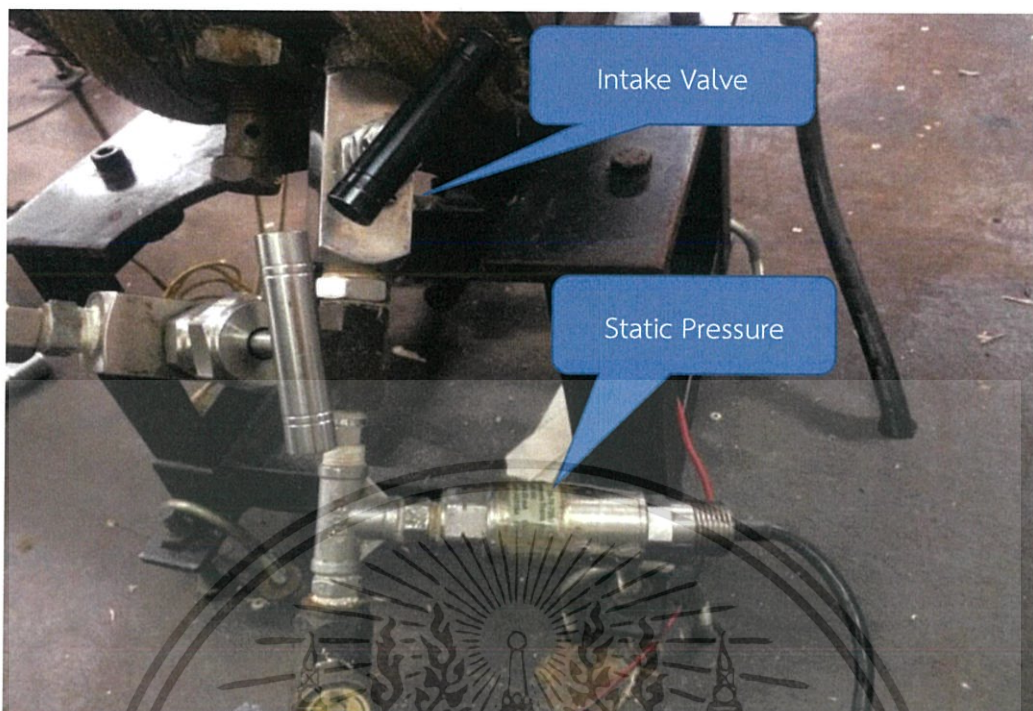


รูปที่ 3.4 โปรแกรม Labview ควบคุมความดัน



รูปที่ 3.5 แสดงออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงเซนเซอร์วัดความดัน

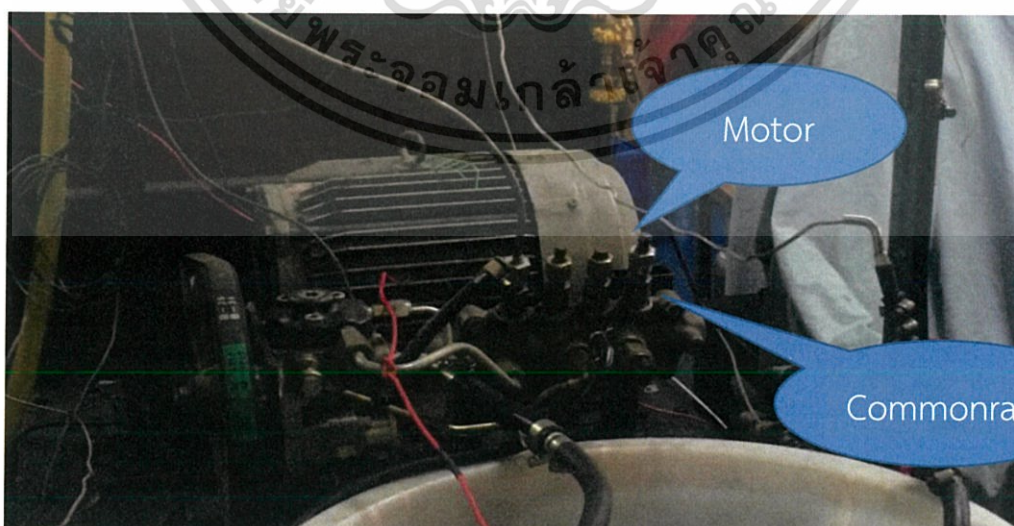
3.1.4 ระบบปั๊มจ่ายเชื้อเพลิง

ระบบปั๊มจ่ายเชื้อเพลิงในระบบนี้เพิ่มแรงดันเชื้อเพลิงในระบบให้มีค่าความดันที่ 60 MPa 100 MPa และ 140 MPa ตามลำดับโดยที่มีมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนให้สร้างแรงดันซึ่งแรงดันจะแปรผันตามจำนวนรอบของมอเตอร์ มอเตอร์จะอินเวอร์เตอร์คอนโทรล (Inverter Control Unit) ที่คอยควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์โดยจะปรับความถี่ของสัญญาณไฟให้มอเตอร์หมุนแล้วส่งต่อไปยังรางร่วม (Common Rail) และหัวฉีดเชื้อเพลิงที่อยู่ในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ตามลำดับ



รูปที่ 3.7 แสดงอินเวอร์เตอร์คอนโทรล

โปรแกรมควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงและการถ่ายภาพ โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวส่งสัญญาณเพื่อควบคุมเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีด และควบคุมกล่องวิตโอความเร็วสูงให้บันทึกภาพ โดยสามารถกำหนดค่าต่างๆของการทดลอง ได้แก่ เวลาในการฉีดเชื้อเพลิง และควบคุมการทำงานของกล่องวิตโอความเร็วสูงระบบที่ใช้รางจ่ายเชื้อเพลิงแบบรางร่วม (Common Rail) และส่งเชื้อเพลิงความดันสูงไปยังหัวฉีดแล้วทำการฉีดด้วยสัญญาณจากชุดควบคุมเครื่องยนต์ หัวฉีดมีหลายแบบแตกต่างกันโดยทั่วไปหัวฉีดเชื้อเพลิงทำงานโดยการควบคุมการทำงานโดยกล่องควบคุมจ่ายสัญญาณกราวด์ให้ และขดลวดทองแดงในหัวฉีดจะทำงานโดยสร้างสนามแม่เหล็ก และใช้แรงนี้ยกเข็มหัวฉีดเชื้อเพลิงแรงดันเชื้อเพลิง ที่รออยู่ที่บริเวณเข็มหัวฉีดก็สามารถฉีดออกไปบริเวณด้านหลังวาล์วไอดี ซึ่งการทดลองนี้ใช้ระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วมความดันสูง ซึ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 5 แรงม้า

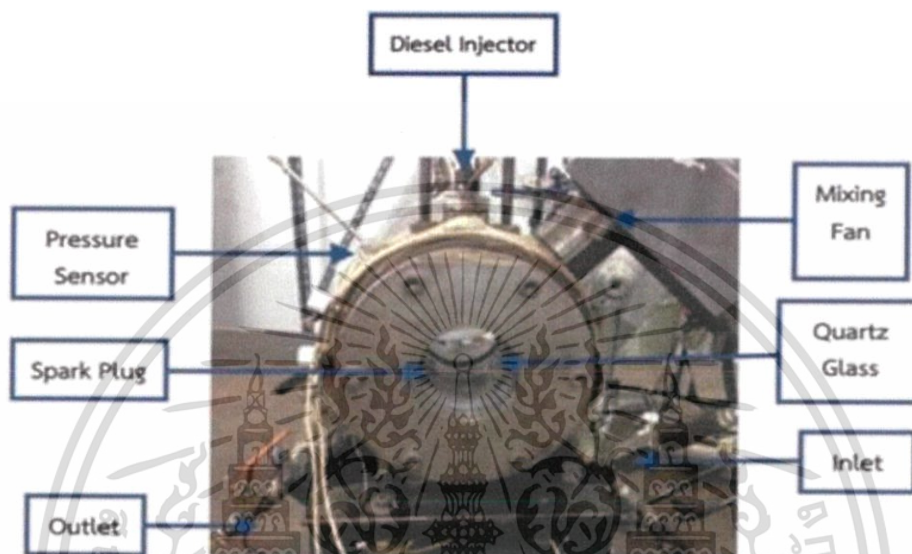


รูปที่ 3.8 ระบบรางร่วม และมอเตอร์ขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่

ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ เป็นห้องเผาไหม้ที่สามารถสังเกตลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงได้ โดยมีกระบอกควอตซ์ที่ด้านข้างทั้งสองด้าน ภายในจะมีการติดตั้งเซนเซอร์วัดความดันที่เปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา พัฒลมกวนอากาศ หัวเทียน และหัวฉีดดีเซล ดังรูป



รูปที่ 3.9 แสดงภาพของห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่และอุปกรณ์ต่างๆ

อุปกรณ์ภายในห้องเผาไหม้ประกอบด้วย

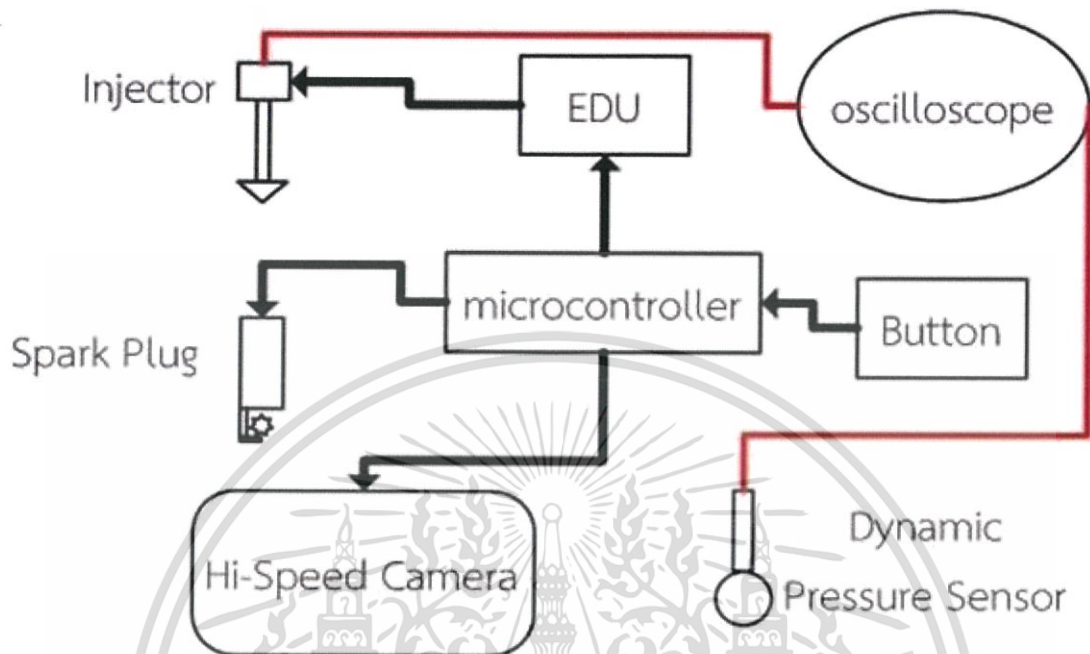
1. วาล์วไอดี (Intake Valve) เพื่อใช้ในการควบคุมการผสมของแก๊สในห้องเผาไหม้
2. วาล์วไอเสีย (Exhaust Valve) เพื่อระบายไอเสียหลังจากการเผาไหม้ซึ่งจะถูกต่อกับปั๊มสูญญากาศ
3. หัวเทียน (Spark Plug) เพื่อใช้ในการจุดระเบิดแก๊สในห้องเผาไหม้
4. พัฒลมกวนเวียน (Mixing Fan) เพื่อกระจายอุณหภูมิของแก๊สในห้องเผาไหม้ก่อนที่จะมีการฉีดเชื้อเพลิง
5. เซ็นเซอร์วัดความดัน (Pressure Transducer) เพื่อเก็บผลของความดันที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง
6. หัวฉีดดีเซลขนาดรูเดียว (Single Hole Injector) เพื่อฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้

3.1.6 อุปกรณ์บันทึกภาพ

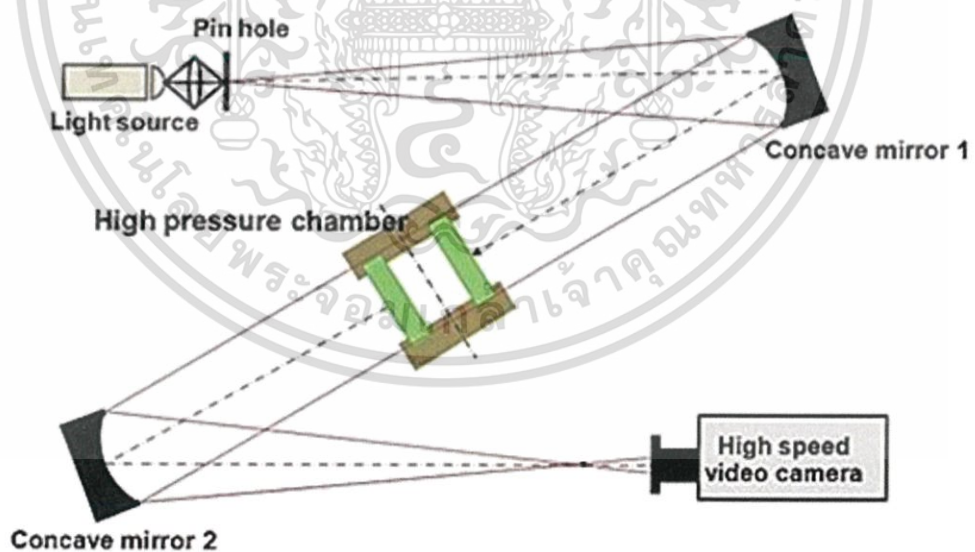
ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการบันทึกภาพโดยใช้หลักการถ่ายภาพแบบซาโดว์กราฟ (Shadowgraph) กับกล้องถ่ายภาพวิดีโอความเร็วสูง High Speed Camera ที่จะอาศัยลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (Light Source) ฉายลำแสงไปที่กระจกโค้ง (Concave Mirror) จากนั้นลำแสงจากกระจกจะสะท้อนผ่านห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ (CVCC) ไปตกกระทบกับกระจกโค้งอีกตัวหนึ่งที่จะทำหน้าที่รวมแสงที่เกิดจากการหักเหจากค่าความแตกต่างของแอมพลิจูดระหว่างความหนาแน่นของสเปร์รี่เชื้อเพลิงและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำของเชื้อเพลิงที่ไม่เท่ากัน ทำให้เกิดภาพขึ้น แล้วบันทึกภาพด้วยกล้องวีดิโอความเร็วสูงยี่ห้อ Photron รุ่น FASTCAM-Mini-UX100 ความเร็ว 10,000 รูปต่อวินาที ที่สั่งการด้วยสัญญาณจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเริ่มสั่งงานจากปุ่ม Button ตามผังในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ผังควบคุมการทำงาน



รูปที่ 3.11 ผังอุปกรณ์การทดลองแบบชาโดว์กราฟกับห้องเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 อุปกรณ์การทดลองแบบซาโตว์กราฟกับห้องเผาไหม้



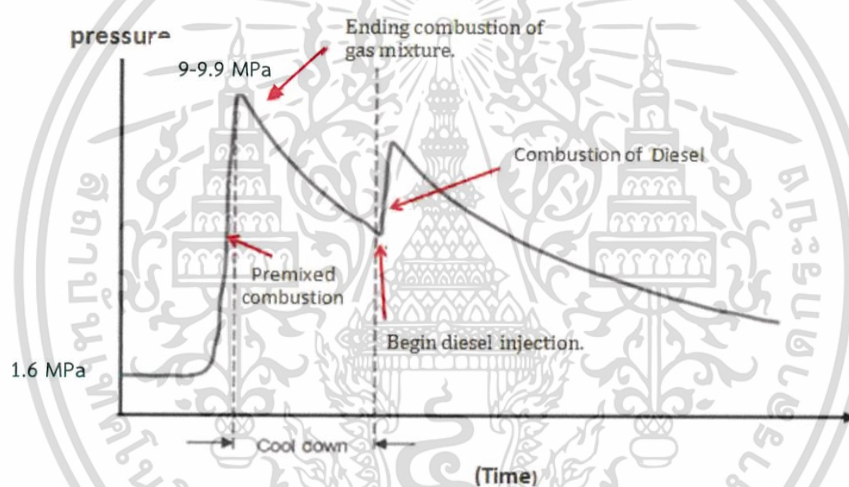
รูปที่ 3.13 กล้องวิดีโอความเร็วสูง Photron FASTCAM-Mini-UX100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนของการศึกษาการเผาไหม้

3.2.1 รูปแบบของการศึกษา

การทดลองนี้ใช้หัวฉีดเชื้อเพลิงแบบรูเดียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 มิลลิเมตรประกอบหัวฉีดเข้ากับท่อน้ำมันแรงดันสูง โดยติดตั้งสายน้ำมันเข้ากับหัวฉีดเพื่อเป็นทางออกของน้ำมันในกรณีแรงดันภายในหัวฉีดมากเกินไป โดยกำหนดแรงดันภายในหัวฉีด 60,100,140 MPa และใช้เวลาในการฉีด 2.5 มิลลิวินาที อีกทั้งกำหนดให้ฉีดเชื้อเพลิงในขณะที่ห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิลดลงถึง 900 องศาเซลเซียส สำหรับการทดลองนี้ทดลองที่ความเข้มข้นของออกซิเจน 21% โดยเปอร์เซ็นต์โมลการจำลองการเผาไหม้ด้วยการเผาไหม้ด้วยเชื้อเพลิงก๊าซ ดังรูปที่ 5.27 โดยเชื้อเพลิงก๊าซถูกผสมแบบความดันย่อยตามตารางที่ 5.1 ที่ความดันในการเผาไหม้ 1.6 MPa จากนั้นทำการจุดประกายไฟให้เชื้อเพลิงมีการเผาไหม้ แบบ Premixed combustion ที่ความดันสูงสุดไม่เกิน 9.9 MPa และเกิดช่วง Cool down จากการถ่ายเทความร้อนจนความดันลดลงเท่ากับ 4 MPa แล้วจึงทำการฉีดเชื้อเพลิงดีเซลเข้าไปเผาไหม้



รูปที่ 3.14 ความดันในการเผาไหม้เทียบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขในการศึกษาการเผาไหม้

Parameters	Conditions
Test fuels	Diesel, HVO
Nozzle orifice diameter	Single hole 0.2mm
Energizing time	2.5 ms
Injection pressure	60,100,140 MPa
Ambient gas temperature	900 K
Oxygen concentration	21%
Ambient pressure	4.0MPa
Repeat	5 Times / Condition

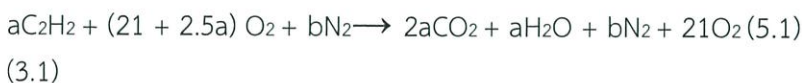
ตารางที่ 3.2 ปริมาณการจ่ายแก๊สเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ตามความดันย่อย (Partial Pressure)

% O ₂	ชนิดของก๊าซ	Partial Pressure (MPa)	Relative Pressure (MPa)
21%	C ₂ H ₂	0.0816	0.0216
	N ₂	0.9784	1.008
	O ₂	0.54	1.5488

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ขั้นตอนการศึกษา

สมการที่ใช้ในการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงผสมสำหรับความเข้มข้นออกซิเจน 21% โดยโมล มีดังนี้



การจ่ายแก๊สเข้าสู่ห้องเผาไหม้ เริ่มต้นจากการทำให้ห้องเผาไหม้เป็นสุญญากาศ จากตารางที่ 5.2 พบว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจน จะทำให้ปริมาณของแก๊สอะเซทิลีนคงที่ แต่แก๊สไนโตรเจนและแก๊สออกซิเจนจะต่างกัน อันเนื่องมาจากการดุลสมการ เมื่อปริมาณแก๊สมากขึ้น ย่อมส่งผลให้ความดันย่อยมากขึ้นแก๊สที่จ่ายในห้องเผาไหม้รวมเท่ากับ 1.6 MPa รายละเอียดดังรูปที่ 5.23 จากรูปที่ 5.28 ณ ตำแหน่งที่ 1 คือตำแหน่งที่ดูดอากาศออกจากห้องเผาไหม้ให้เป็นความดันสุญญากาศ เพื่อสามารถจ่ายแก๊สเชื้อเพลิงอะเซทิลีนในความดันต่ำได้ ณ ตำแหน่งที่ 2 คือการจ่ายแก๊สอะเซทิลีนเข้าสู่ห้องเผาไหม้และปล่อยให้แก๊สเข้าสู่สมดุลและคงที่ของความดัน ณ ตำแหน่งที่ 3 คือการจ่ายแก๊สไนโตรเจนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และปล่อยให้แก๊สผสมเข้าสู่สมดุล เหตุผลที่จ่ายแก๊สไนโตรเจนเข้าห้องเผาไหม้ก่อนจ่ายแก๊สออกซิเจนเพราะว่าป้องกันการจุดระเบิดล่วงหน้าระหว่างแก๊สอะเซทิลีนและออกซิเจน จากเปอร์เซ็นต์คาร์บอนที่ไม่คงที่ ณ ตำแหน่งที่ 4 คือการจ่ายแก๊สออกซิเจนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และปล่อยให้แก๊สผสมเข้าสู่สมดุล

3.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนในการใช้เชื้อเพลิงแก๊สผสมจำลองเงื่อนไขของเครื่องยนต์ดีเซลขั้นตอนตามรูปที่ 2 ประกอบด้วย 9 ขั้นตอนดังนี้

1. เปิดฮีตเตอร์ให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ให้อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ที่ 80 องศาเซลเซียส
2. จ่ายแก๊สไนโตรเจนเข้าไปในห้องเผาไหม้เพื่อเช็คการรั่ว
3. เปิดวาล์วทางออกและอัดอากาศเข้าไปเพื่อให้แก๊สไนโตรเจนออกจากห้องเผาไหม้
4. ทำการจ่ายแก๊สอะเซทิลีนเข้าสู่ห้องเผาไหม้และปล่อยให้แก๊สเข้าสู่สมดุลตามความดันที่กำหนดไว้ จากนั้นจ่ายแก๊สไนโตรเจนและออกซิเจนตามลำดับแล้วปิดวาล์วจ่ายแก๊ส
5. เปิดพัดลมเพื่อให้แก๊สผสมจากขั้นตอนที่ 4. เกิดจากการผสมคบลกเคล้ากันมากขึ้น
6. ทำการจุดประกายไฟที่หัวเทียนเพื่อให้แก๊สผสมเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊ส
7. ฉีดเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง เข้าห้องเผาไหม้เพื่อทำปฏิกิริยากับไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ในขั้นตอนที่ 6.
8. บันทึกค่าต่างๆที่ต้องการโดยค่าที่บันทึกนั้นได้แก่ความดันระหว่างการเผาไหม้และวิถีโอมในการเผาไหม้
9. ปล่อยให้ไอเสียออกทางวาล์วไอเสียจากนั้นจึงอัดอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้เพื่อระบายอากาศ
10. ทำการทดลองซ้ำเดิมแต่เปลี่ยนค่าความดันที่แตกต่างกันไป ได้แก่ 60 100 และ 140 MPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

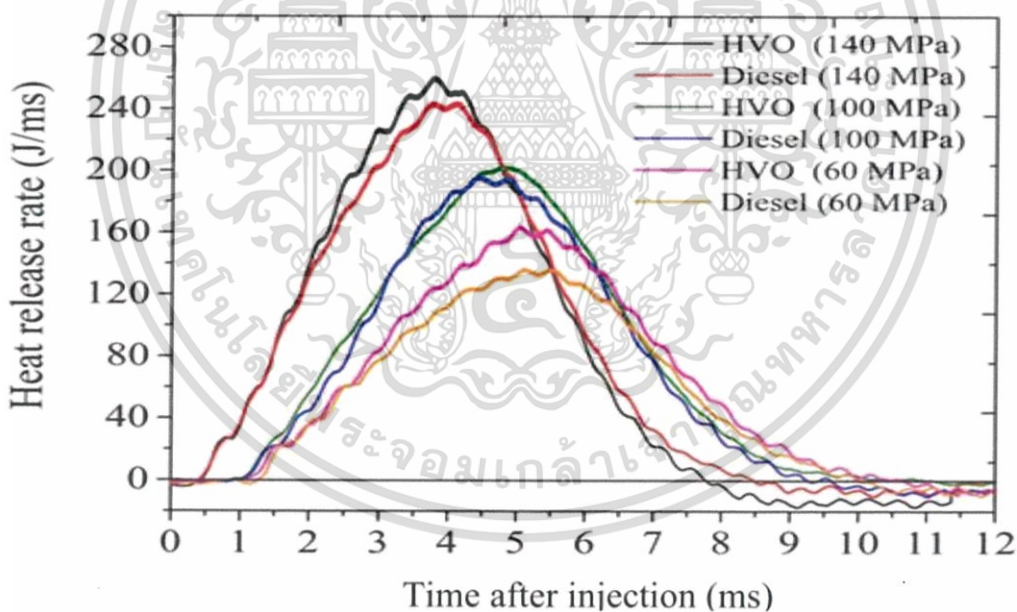
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 อัตราการปล่อยความร้อน

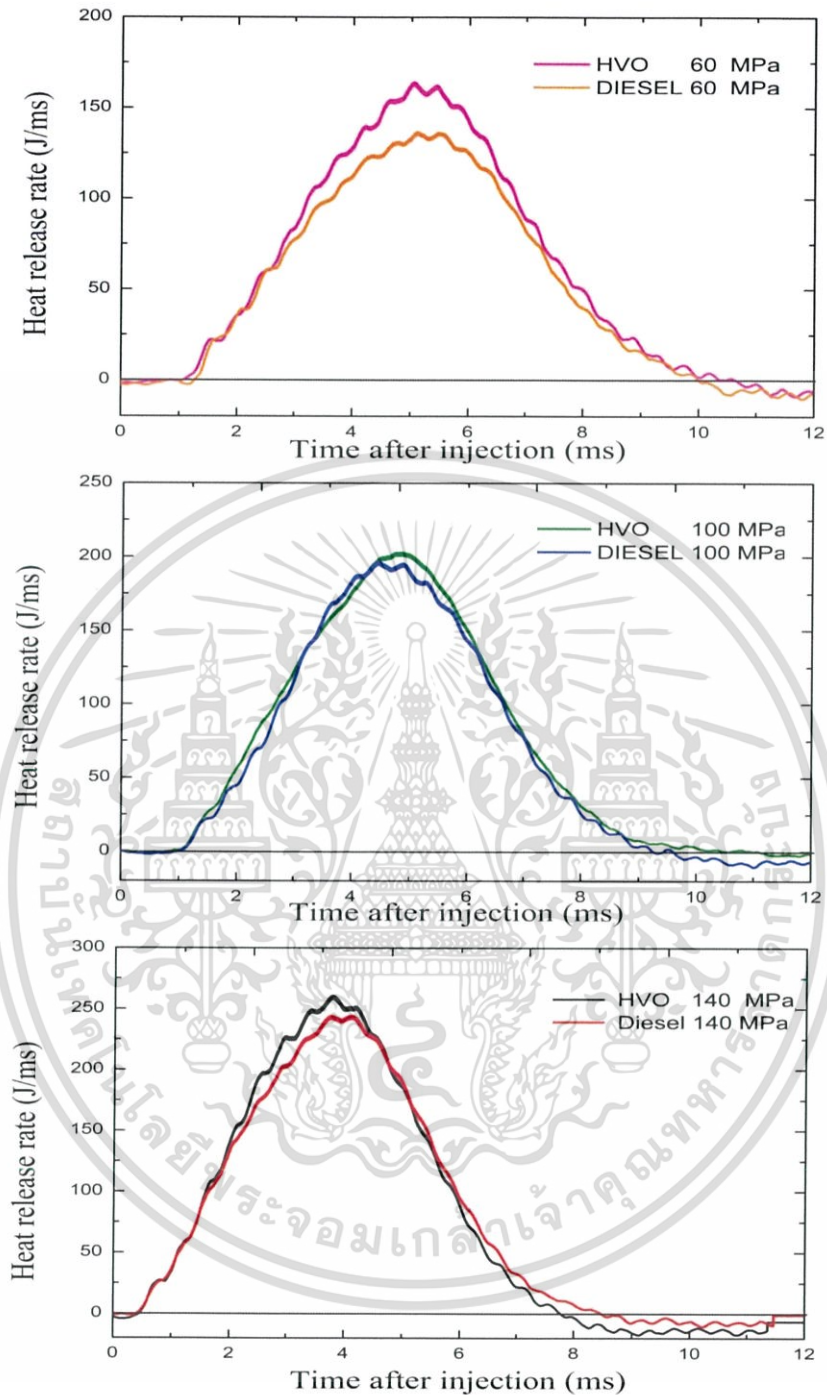
อัตราการปล่อยความร้อน (Heat release rate) คือการปล่อยความร้อนของเชื้อเพลิงเป็นการศึกษาคำนวณอัตราการปล่อยความร้อนในห้องเผาไหม้มีพื้นฐานมาจากกฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์และอัตราการปล่อยความร้อนวิเคราะห์จากตำแหน่งเริ่มการเผาไหม้ที่ความดันการฉีดเชื้อเพลิง 60,100,140 เมกะปาสกาล(MPa)

จากรูปที่ 4.1 กราฟผลการทดลองอัตราการปล่อยความร้อน ของเชื้อเพลิงHVOเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลที่ 60,100,140 MPa. จากกราฟการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการปล่อยความร้อนของเชื้อเพลิงHVOสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลในทุกความดันการฉีดเชื้อเพลิงเนื่องจากเชื้อเพลิงHVOมีค่าความร้อนที่สูงกว่าดีเซล โดยรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงปริมาณการปล่อยความร้อนในแต่ละความดันการฉีดเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงอัตราการปล่อยความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



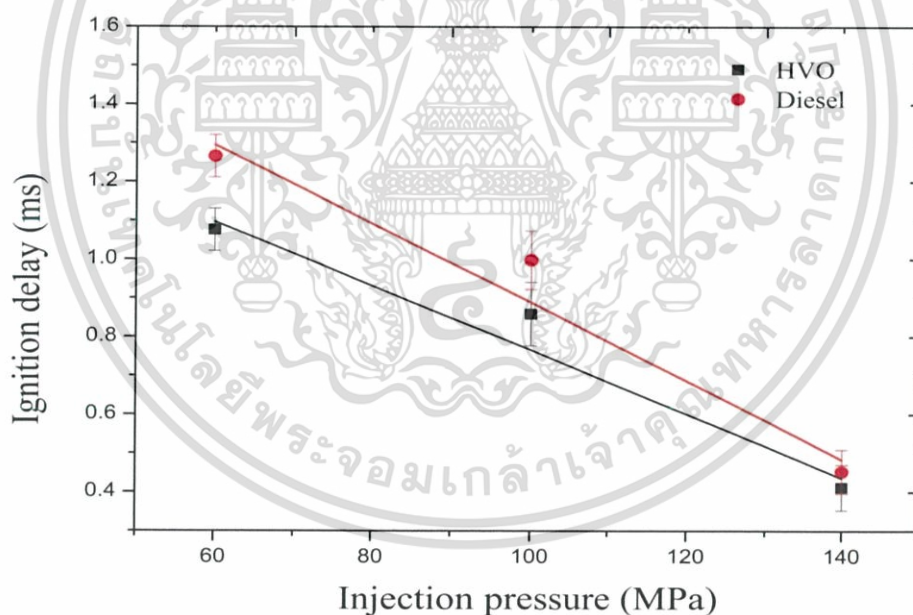
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงอัตราการปล่อยความร้อนของแต่ละความดันการฉีดเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ความล่าช้าการจุดระเบิด

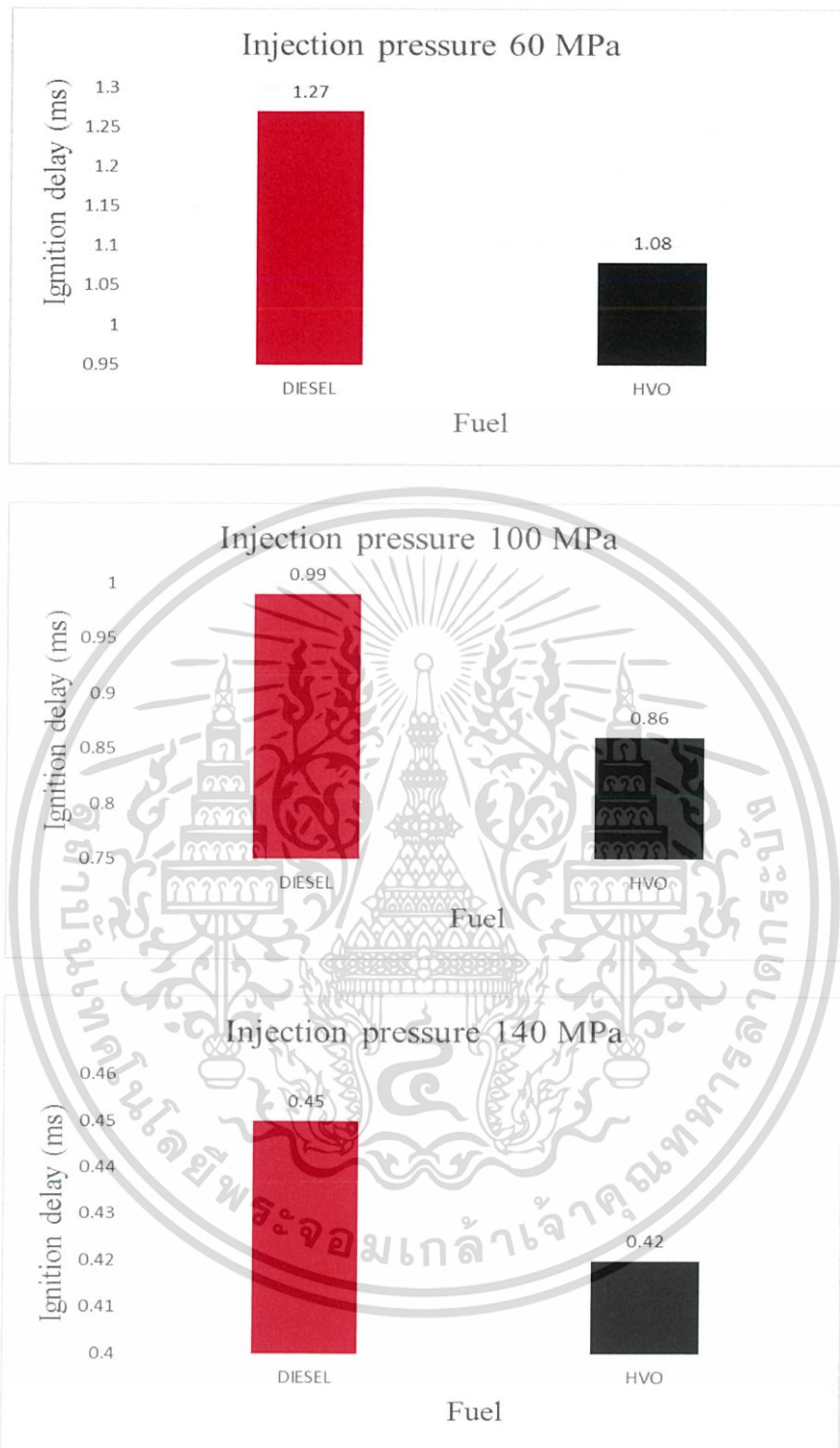
ความล่าช้าการจุดระเบิด(Ignition Delay) คือช่วงเวลาระหว่างการเริ่มต้นของการฉีดเชื้อเพลิง และการเริ่มต้นของการเผาไหม้ ซึ่งในช่วงล่าช้านี้จะมีทั้งกระบวนการทางกายภาพและทางเคมีเกิดขึ้น โดยกระบวนการทางกายภาพ ได้แก่การแยกตัวเป็นเม็ดละอองของเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าไป การระเหยของหยดเชื้อเพลิง และการผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศ ส่วนกระบวนการทางเคมีได้แก่ปฏิกิริยาทางเคมีของการเผาไหม้เบื้องต้นของสารผสมระหว่างเชื้อเพลิงอากาศ และแก๊สภายในห้องเผาไหม้ซึ่งจะนำไปสู่การจุดระเบิด

จากกราฟพบว่าความล่าช้าในการจุดระเบิดของHVOและดีเซลลดลงเมื่อเพิ่มความดันการฉีดเชื้อเพลิงเนื่องจากการเพิ่มความดันการฉีดเชื้อเพลิงเป็นปรับปรุงการกระจายตัวของเชื้อเพลิงและลดระยะเวลาการผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศเนื่องจากการเพิ่มเรย์โนลด์ (Re) ที่ทางออกของหัวฉีด ส่งผลให้ความล่าช้าในการจุดระเบิดของHVO น้อยกว่าดีเซลโดยที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง 60 เมกะปาสคาล(MPa) ความล่าช้าในการจุดระเบิดของ HVO น้อยกว่าดีเซล 18% ,ที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง 100 เมกะปาสคาล(MPa) ความล่าช้าในการจุดระเบิด HVOน้อยกว่าดีเซล 10% และที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง 140 เมกะปาสคาล(MPa) ความล่าช้าในการจุดระเบิดของHVOน้อยกว่าดีเซล 2% โดยเป็นผลมาจากค่าซีเทนของHVOสูงกว่าดีเซล[13]



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความล่าช้าการจุดระเบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



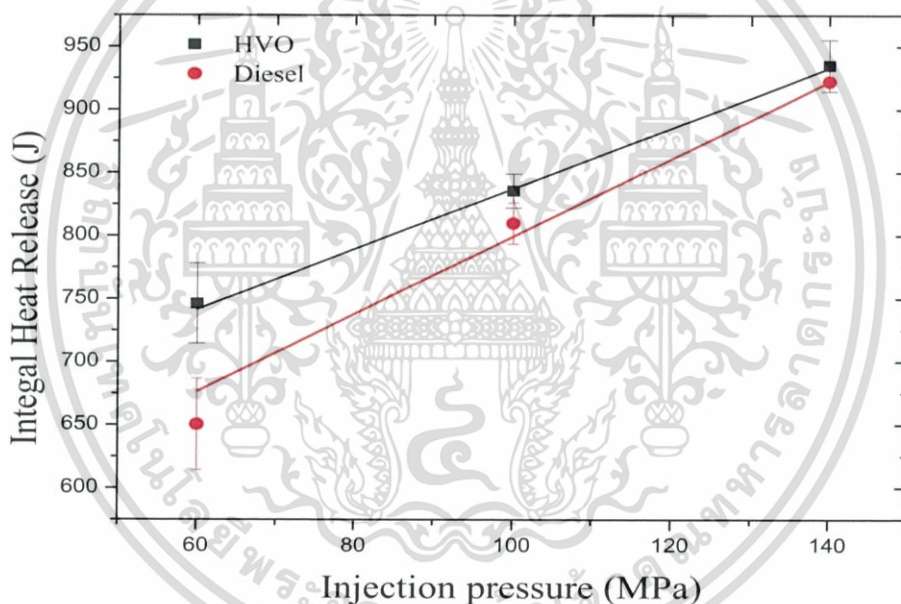
รูปที่ 4.4 กราฟแท่งความล่าช้าในการจุดระเบิดแต่ละความดันการฉีดเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ปริมาณการปล่อยความร้อน

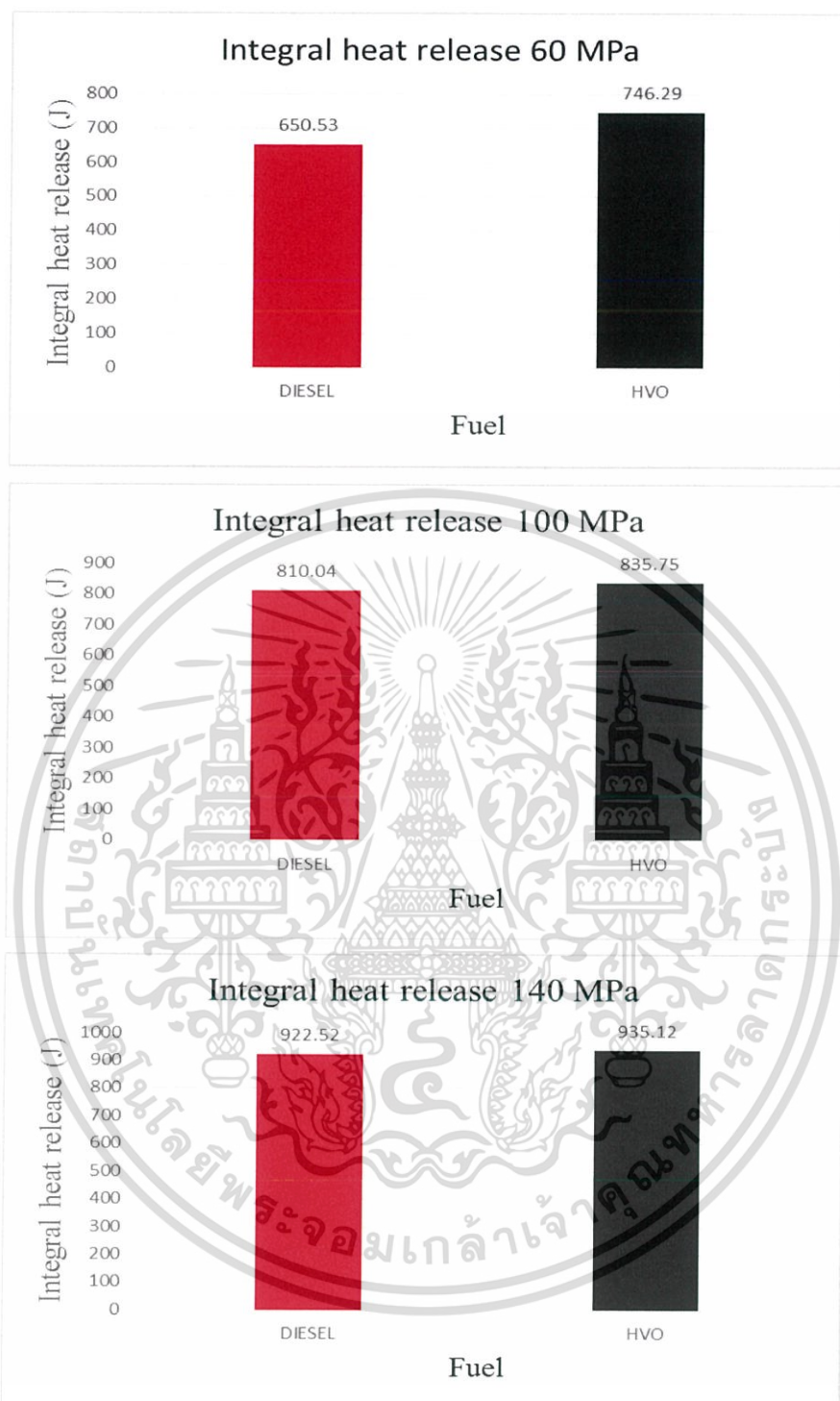
ปริมาณการปล่อยความร้อน(Integral Heat Release) คือปริมาณการปล่อยความร้อนที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงซึ่งเป็นการคำนวณปริพันธ์พื้นที่ใต้กราฟอัตราการปล่อยความร้อนจากช่วงเริ่มการฉีดเชื้อเพลิงถึงช่วงสิ้นสุดการเผาไหม้ การปล่อยความร้อนที่สำคัญในการศึกษานี้ อธิบายว่าเป็นความร้อนของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

จากรูปที่ 4.5 พบว่ากราฟผลการทดลองปริมาณการปล่อยความร้อน ของเชื้อเพลิงHVOเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลที่ 60, 100 และ140 เมกะปาสกาล(MPa). จากกราฟการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณการปล่อยความร้อนของเชื้อเพลิงHVOสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลในทุกความดันการฉีดเชื้อเพลิง โดยที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง 60 เมกะปาสกาล(MPa) ปริมาณการปล่อยความร้อนของ HVO สูงกว่าดีเซลร้อยละ 14.72 ,ที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง 100 เมกะปาสกาล(MPa) ปริมาณการปล่อยความร้อนของ HVO สูงกว่าดีเซลร้อยละ 3.17 และที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง 140 เมกะปาสกาล (MPa) ปริมาณการปล่อยความร้อนของHVOสูงกว่าดีเซลร้อยละ 1.37 โดยเป็นผลจากเชื้อเพลิงHVO มีค่าความร้อนและการผสมกันของอากาศกับเชื้อเพลิงที่สูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงปริมาณการปล่อยความร้อนของเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงHVO ความดันของการฉีดเชื้อเพลิง 60 MPa,100 MPa และ 140 MPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



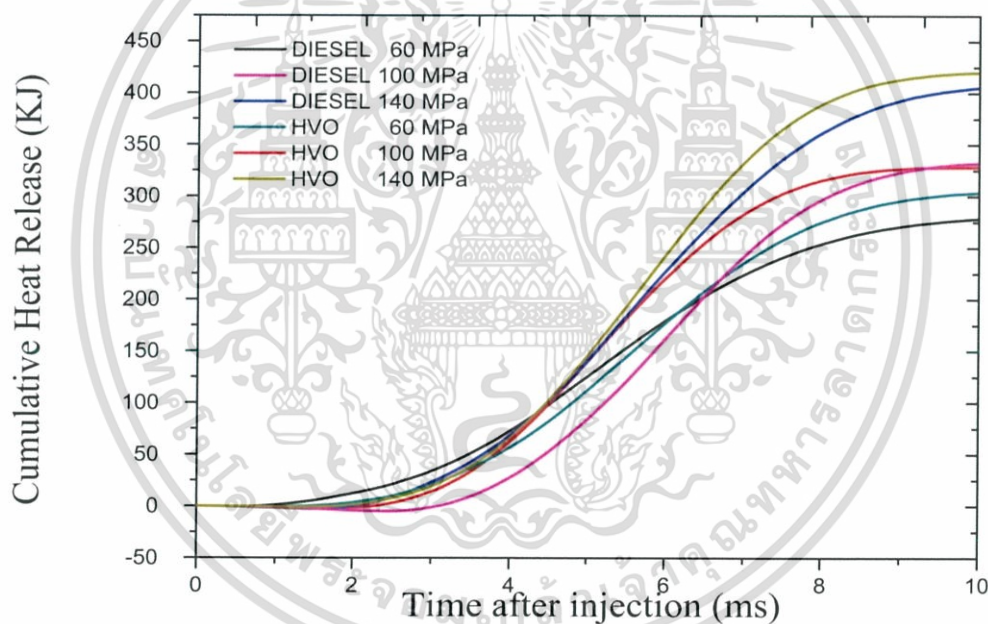
รูปที่ 4.6 กราฟแท่งแสดงปริมาณการปล่อยความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ปริมาณการปล่อยความร้อนสะสม

ปริมาณความร้อนสะสม คือ ปริมาณการปล่อยความร้อนสะสมของเชื้อเพลิงในช่วงเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงจนสิ้นสุดการเผาไหม้ซึ่งเป็นการคำนวณจากผลรวมของอัตราการปล่อยความร้อนในช่วงเวลาหนึ่ง

จากกราฟการทดลองปริมาณการปล่อยความร้อนสะสม ของเชื้อเพลิงHVOและเชื้อเพลิงดีเซล แสดงให้เห็นว่าปริมาณการปล่อยความร้อนของเชื้อเพลิงHVOสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลที่ทุกความดันการฉีดเชื้อเพลิงโดยเปลี่ยนแปลงในช่วง 2.5 มิลลิวินาที(ms)ถึง 10 มิลลิวินาที(ms) พบว่าที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง 60 เมกะปาสคาล(MPa) ปริมาณการปล่อยความร้อนสะสมของ HVO สูงกว่าดีเซล 14.11% ,ที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง 100 เมกะปาสคาล(MPa) ปริมาณการปล่อยความร้อนสะสมของ HVO สูงกว่าดีเซล 3.56% และที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง 140 เมกะปาสคาล(MPa) ปริมาณการปล่อยความร้อนสะสมของHVOสูงกว่าดีเซล 3.79% โดยเป็นผลจากอัตราการปล่อยความร้อนของเชื้อเพลิงHVOและการผสมกันของอากาศกับเชื้อเพลิงที่สูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล



รูปที่ 4.7 ปริมาณการปล่อยความร้อนสะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การวิเคราะห์ภาพถ่ายการเผาไหม้

ภาพจากวิดีโอของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง Diesel และ HVO แปลงเป็นรูปภาพและเปรียบเทียบที่เวลาหลังจากการเผาไหม้ดังที่แสดงในรูปที่ 4.4 4.5 และ 4.6 ตามลำดับโดยทำการเปรียบเทียบผลการเพิ่มความดันฉีดเชื้อเพลิง

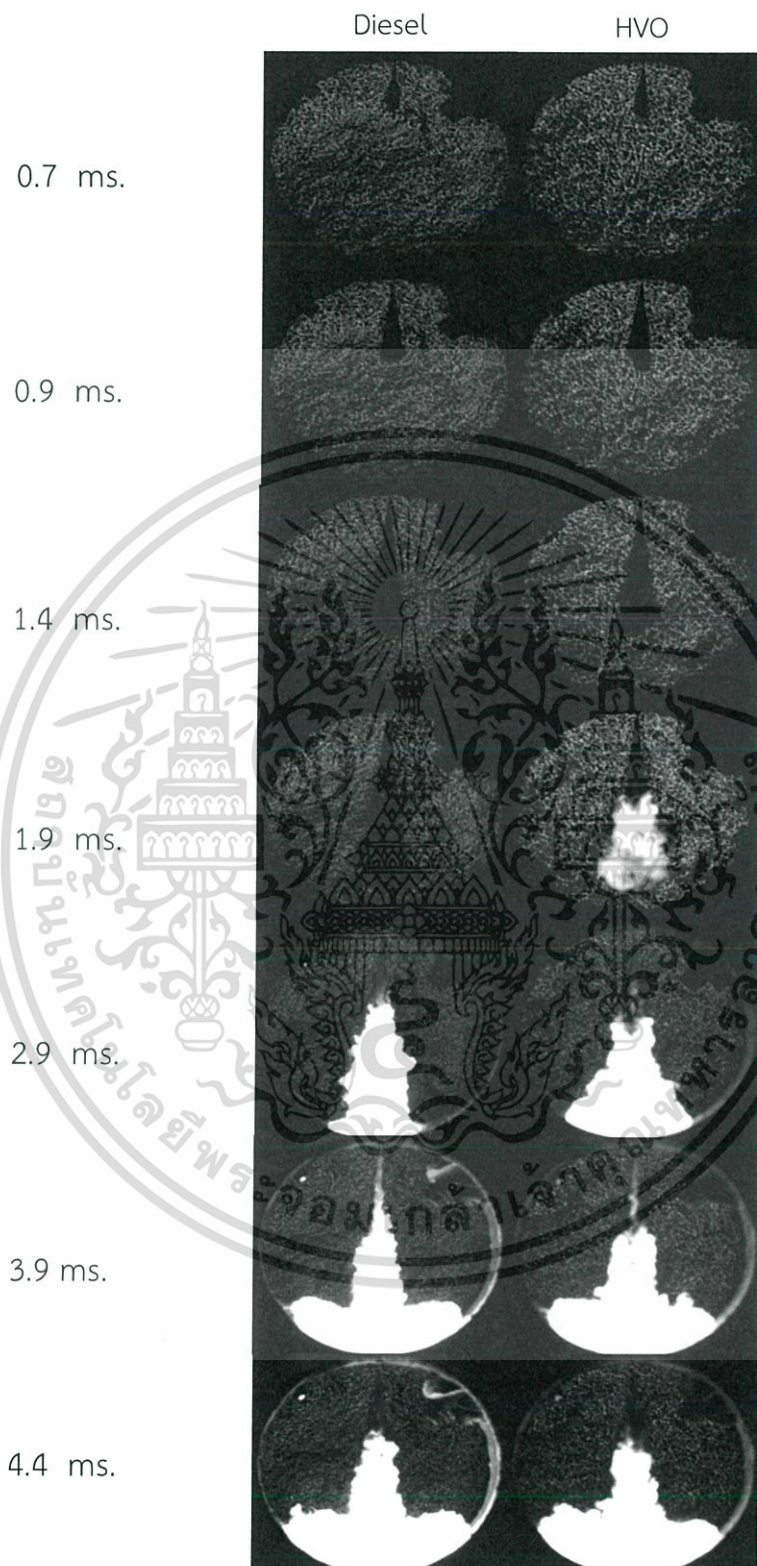
ที่ความดันการฉีดเชื้อเพลิงที่ 60 MPa. เชื้อเพลิงHVOและเชื้อเพลิงDiesel มีการเห็นการเปล่งแสงจากการเผาไหม้ (สีขาว) ในช่วงที่มีการเผาไหม้ตั้งแต่เวลาหลังจากการฉีดเชื้อเพลิงโดยที่เวลาหลังจากการฉีดเชื้อเพลิง 1.9 ms ของเชื้อเพลิงHVO จะสังเกตเห็นการเปล่งแสงจากการเผาไหม้ (สีขาว) ก่อนเชื้อเพลิง Diesel 0.1 ms

ที่ความดันการฉีดเชื้อเพลิงเท่ากับ 100 MPa. มีการเริ่มเปล่งแสงจากการเผาไหม้ของHVO ก่อน Diesel ในช่วงที่มีการเผาไหม้ ตั้งแต่เวลาหลังจากการฉีดเชื้อเพลิงที่ 1.9 ms ของเชื้อเพลิง HVO จะสังเกตเห็นการเปล่งแสงจากการเผาไหม้ (สีขาว) เชื้อเพลิง HVO ก่อนเชื้อเพลิง Diesel 0.1 ms

ค่าความดันการฉีดเชื้อเพลิงที่มากที่สุดที่ 140 MPa. มีการเริ่มเปล่งแสงจากการเผาไหม้ของ HVO ก่อน Diesel ในช่วงที่มีการเผาไหม้ ตั้งแต่เวลาหลังจากการฉีดเชื้อเพลิงที่ 1.4 ms ของเชื้อเพลิง HVO จะสังเกตเห็นการเปล่งแสงจากการเผาไหม้ (สีขาว) เชื้อเพลิง HVO ก่อนเชื้อเพลิง Diesel 0.2 ms และรายละเอียดของการทำประมวลผลจากภาพถ่ายจะนำเสนอในส่วนถัดไป



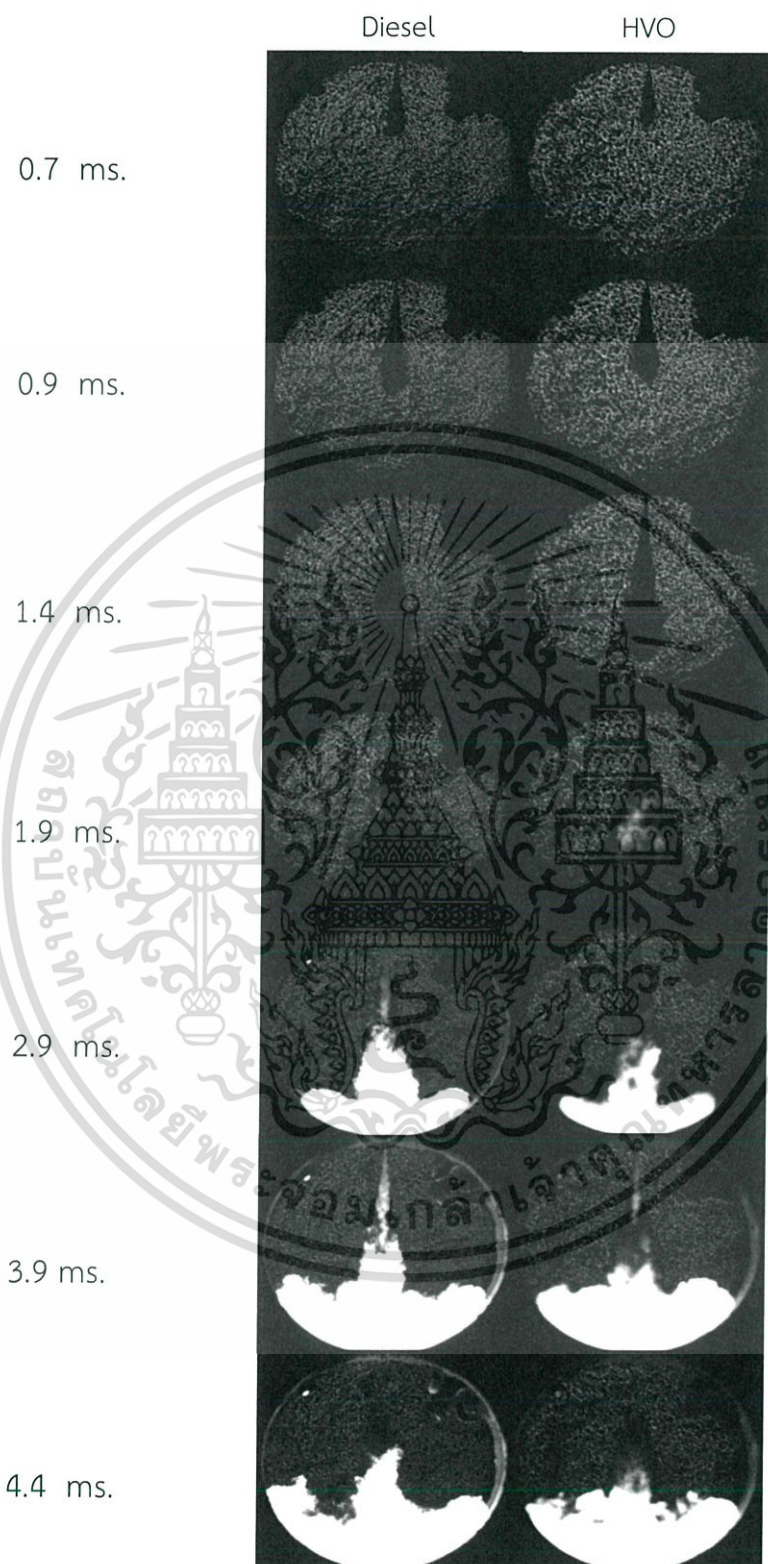
Injection Pressure 60 MPa.



รูปที่ 4.8 รูปถ่ายการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซลและ HVO ที่ความดันการฉีด 60 MPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

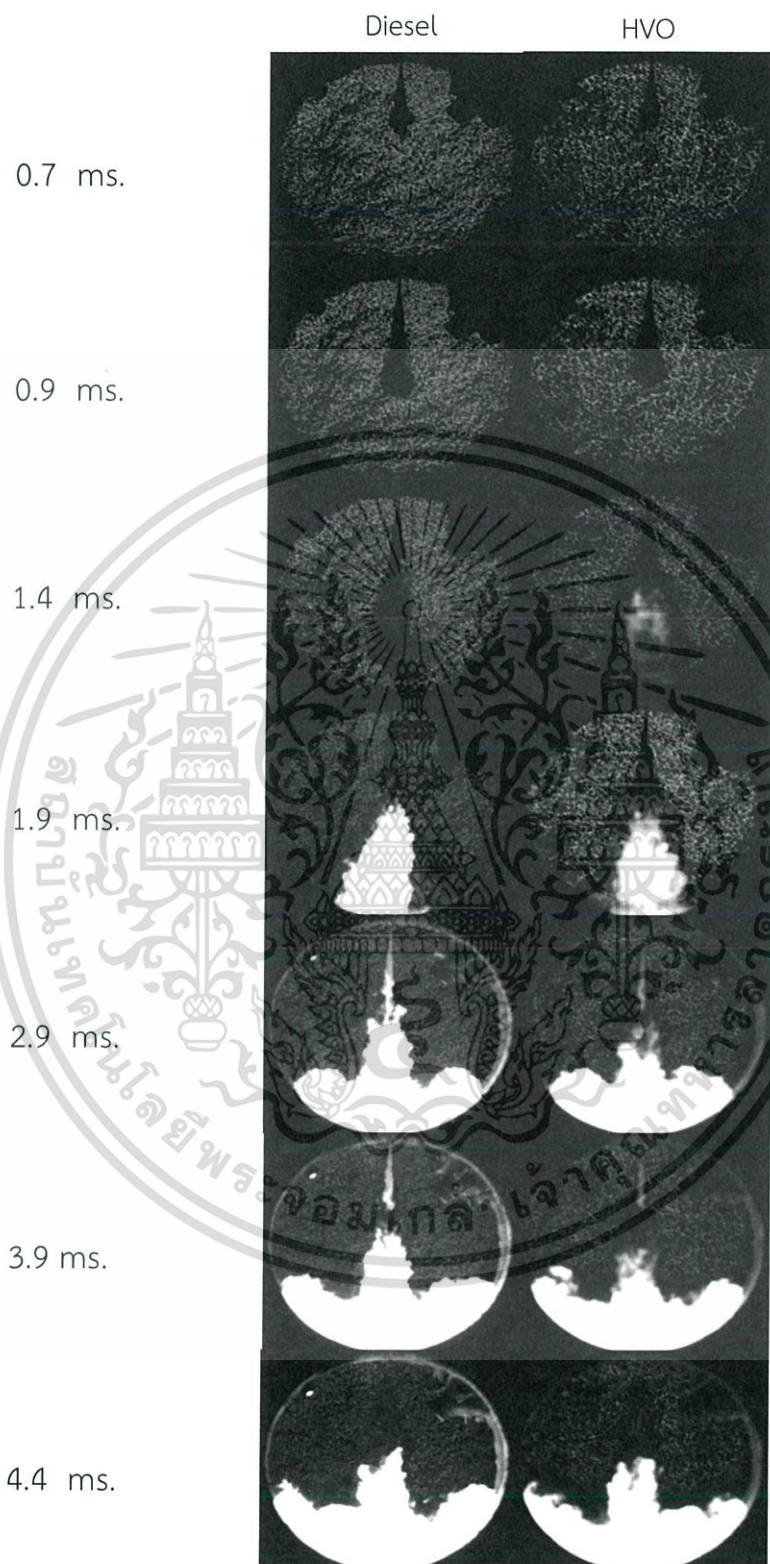
Injection Pressure 100 MPa.



รูปที่ 4.9 รูปถ่ายการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซลและ HVO ที่ความดันการฉีด 100 MPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Injection Pressure 140 MPa.



รูปที่ 4.10 รูปถ่ายการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซลและ HVO ที่ความดันการฉีด 140 MPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซล (DIESEL) และดีเซลชีวภาพสังเคราะห์ (HVO) ที่เงื่อนไขของ ความดันในการฉีดเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน โดยการทำการทดลองในห้องเผาไหม้แบบปริมาตรคงที่ สามารถสรุปผลที่ได้จากการศึกษาได้ดังนี้

1. อัตราการปล่อยความร้อนสูงสุด (Peak of heat release rate) ของเชื้อเพลิง HVO สูงกว่าดีเซลในทุกเงื่อนไขการทดลองที่ 17.37% ที่ความดันการฉีดเชื้อเพลิง 60 เมกะปาสคาล (MPa), 3.18% ที่ความดันการฉีดเชื้อเพลิง 100 เมกะปาสคาล และ 6.57% ที่ความดันการฉีดเชื้อเพลิง 140 เมกะปาสคาล
2. ความล่าช้าของการจุดระเบิด (Ignition delay) ที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง 60 เมกะปาสคาล(MPa) พบว่าความล่าช้าในการจุดระเบิดของ HVO น้อยกว่าดีเซล 18% ,ที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง 100 เมกะปาสคาล(MPa) ความล่าช้าในการจุดระเบิด HVO น้อยกว่าดีเซล 10% และที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง 140 เมกะปาสคาล(MPa) ความล่าช้าในการจุดระเบิดของHVOน้อยกว่าดีเซล 2% เนื่องจากHVOมีค่าซีเทนสูงกว่าดีเซล
3. ปริมาณการปล่อยความร้อน (Integral heat release) ของเชื้อเพลิง HVO และเชื้อเพลิงดีเซลสูงขึ้น 17.8% เมื่อเพิ่มความดันในการฉีดเชื้อเพลิงที่ 60 เมกะปาสคาลเป็น 100 เมกะปาสคาล, 12.87% เมื่อเพิ่มความดันในการฉีดเชื้อเพลิงที่ 100 เมกะปาสคาลเป็น 140 เมกะปาสคาล และ 33% เมื่อเพิ่มความดันในการฉีดเชื้อเพลิงที่ 60 เมกะปาสคาลเป็น 140 เมกะปาสคาล เนื่องจากที่ความดันในการฉีดสูงทำให้ความสามารถในการไหลดีขึ้น และอีกทั้งส่งผลให้พลังงานที่ป้อนเข้าสูงขึ้น
4. จากการศึกษ ปริมาณการปล่อยความร้อน (Integral heat release) ที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง 60 เมกะปาสคาล(MPa) ปริมาณการปล่อยความร้อนของ HVO สูงกว่าดีเซล 14.72% ,ที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง 100 เมกะปาสคาล(MPa) ปริมาณการปล่อยความร้อนของ HVO สูงกว่า 3.17% และที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง 140 เมกะปาสคาล (MPa) ปริมาณการปล่อยความร้อนของHVOสูงกว่าดีเซล 1.37%
5. ปริมาณความร้อนสะสม (Cumulative heat release) ของเชื้อเพลิง HVO และเชื้อเพลิงดีเซลมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความดันในการฉีดของทุกเงื่อนไขการทดลอง เนื่องจากอัตราการปล่อยความร้อนสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ปริมาณความร้อนสะสม (Cumulative heat release) ของเชื้อเพลิง HVO มีค่าสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลในทุกเงื่อนไขการทดลอง โดยเปลี่ยนแปลงในช่วง 2.5 มิลลิวินาทีถึง 10 มิลลิวินาที พบว่าที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง 60 เมกะปาสกาล(MPa) ปริมาณการปล่อยความร้อนสะสมของ HVO สูงกว่าดีเซล 14.11% ,ที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง 100 เมกะปาสกาล(MPa) ปริมาณการปล่อยความร้อนสะสมของ HVO สูงกว่าดีเซล 3.56% และที่ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง 140 เมกะปาสกาล(MPa) ปริมาณการปล่อยความร้อนสะสมของ HVO สูงกว่าดีเซล 3.79% โดยเป็นผลจากอัตราการปล่อยความร้อนของ เชื้อเพลิง HVO และการผสมกันของอากาศกับเชื้อเพลิงที่สูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล
7. จากการวิเคราะห์การถ่ายภาพของกระบวนการเผาไหม้ดีเซลชีวภาพสังเคราะห์สามารถปรับปรุงการผสมคลุกเคล้าโดยสังเกตจากการเห็นแสงขาวของ HVO ก่อนเชื้อเพลิงเซล และ HVO มีการทำปฏิกิริยาของเชื้อเพลิงกับอากาศภายในห้องไหม้หลังจากการฉีดเชื้อเพลิงก่อนเชื้อเพลิงดีเซล

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากการทดลองได้จำลองการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลในสภาวะห้องเผาไหม้ ปริมาตรคงที่ภายใต้เงื่อนไขการเพิ่มความดันในการฉีด โดยการจ่ายแก๊สเข้าห้องเผาไหม้ และควบคุม และควบคุมปริมาณแก๊สออกซิเจนให้มีค่าความเข้มข้นออกซิเจนที่ 21% โดยเปอร์เซ็นต์โมล ควรมีการวัดค่ามลพิษ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ไนโตรเจนออกไซด์และเขม่า แบบ Real-time ในห้องเผาไหม้
2. ควรเพิ่มเงื่อนไขของอุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการเผาไหม้ในกรณีเพิ่มอัตราส่วนการอัด
3. ในการทดลองและผลการทดลองนี้ ควรเพิ่มการทดสอบแบบฉีดเชื้อเพลิงหลายครั้ง (Multiple pulse) เพื่อให้สอดคล้องกับเครื่องยนต์จริง
4. ควรใช้เทคนิคในการถ่ายภาพแบบ Two color method เพื่อศึกษาอุณหภูมิของเปลวไฟในการเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564) (Alternative Energy Development Plan: AEDP 2012-2021), แหล่งที่มา <http://www.efe.or.th/datacenter/ckupload/files/aedp25.pdf>
- [2] Rantanen L. et al. NEXBTL-Biodiesel fuel of the second generation. 2005. SAE Technical Paper 2005-01-3771
- [3] Aatola,H. ,Larmi,M. ,Sarjovaara,T. and Mikkonen,S. , 2008. **Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NOx, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine.** SAE Paper.
- [4] Jaroonjitsathian,S. ,Saisirirat,P. , Sivara,P. , Tongroon,M. and Chollacoop,N. , 2014. **Effects of GTL and HVO Blended Fuels on Combustion and Exhaust Emissions of a Common-Rail DI Diesel Technology.** SAE Paper
- [5] Millo,F. , Kumar,B. , Debnath, Vlachos,T. , Ciaravino,C. , Postriotti,L. and Buitoni,G., **Effects of different biofuels blends on performance and emissions of a automotive diesel engine.** 2015. Fuel 159. pp. 614-627
- [6] Sugiyama,K. , Goto,T. , Kitano,K. and Mogi,K. and Honkanen,M. , **Effects of Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as Renewable Diesel Fuel on Combustion and Exhaust Emissions in Diesel Engine.** 2011. SAE Technical
- [7] **Diesel Engine**, แหล่งที่มา URL:<http://waterpacific.com/index.php/dieselenigne>
- [8] Munsin,R. , **A Fundamental Study of Bio-Ethanol Combustion under SI and CI Engine Conditions.** 2014. A Thesis for the Degree of Doctor of Engineering (Mechanical Engineering), King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- [9] สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน (2557), ภาพอนาคตพลังงานไทย2557
- [10] Caprotti,R. ,Tang,T. ,Ishibe,N. ,In-ochanon,R. ,Tipdecho,C. and Silapakampeerapap,S. , **Performance of Diesel containing Bio-Hydrogenated Component.** 2011. SAE Technical Paper 2011-01-1953
- [11] MUNSIN,R. , **A FUNDAMENTAL STUDY OF BIO-ETHANOL COMBUSTION UNDER SI AND CI ENGINE CONDITIONS : Combustion Characteristics of Test Fuels in CVCC**
- [12] **ระบบคอมมอนเรล**, แหล่งที่มา <https://www.denso.com/th/en/products-and-services/oem/diesel-engine-management-system/>
- [13] ดร.ประทาน ศรีชัย. , **การศึกษาเชิงทดลองของการเผาไหม้แบบสเปรย์ด้วยเชื้อเพลิงที่มีไบโอดีเซลผสมในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ (2559)**

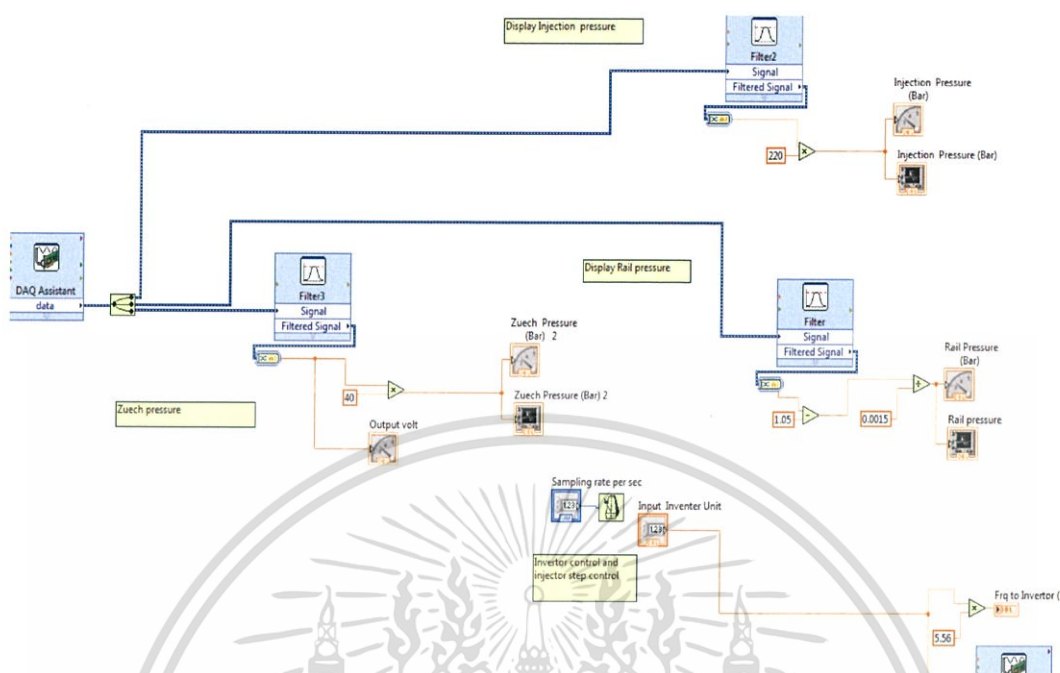
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



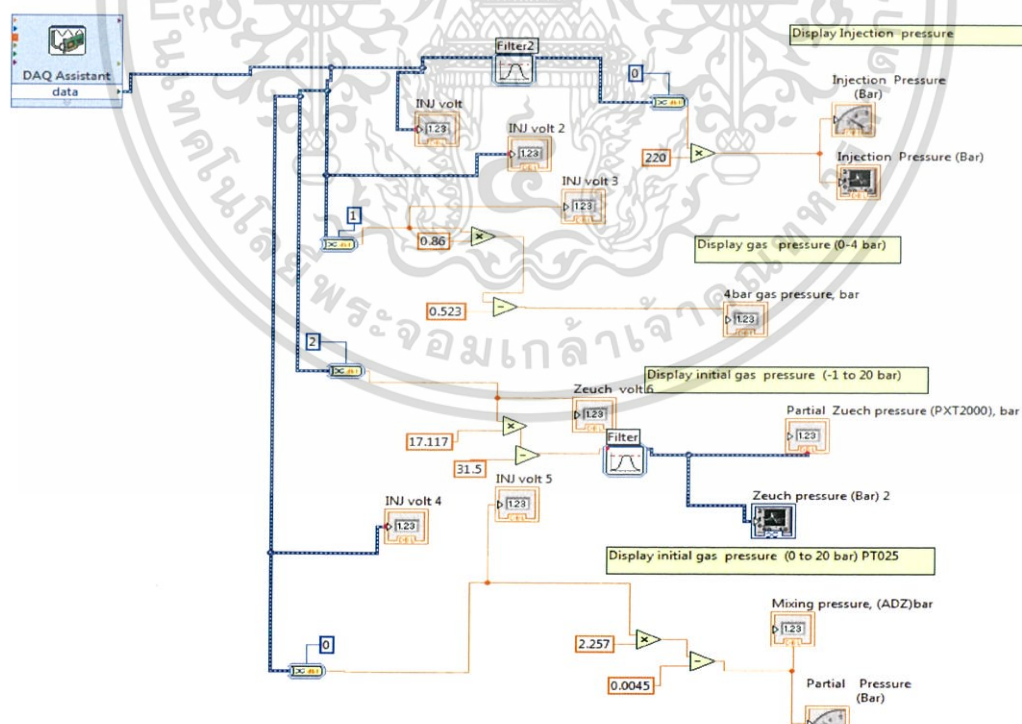
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 โปรแกรม Labview ควบคุมความดันในการฉีดเชื้อเพลิง

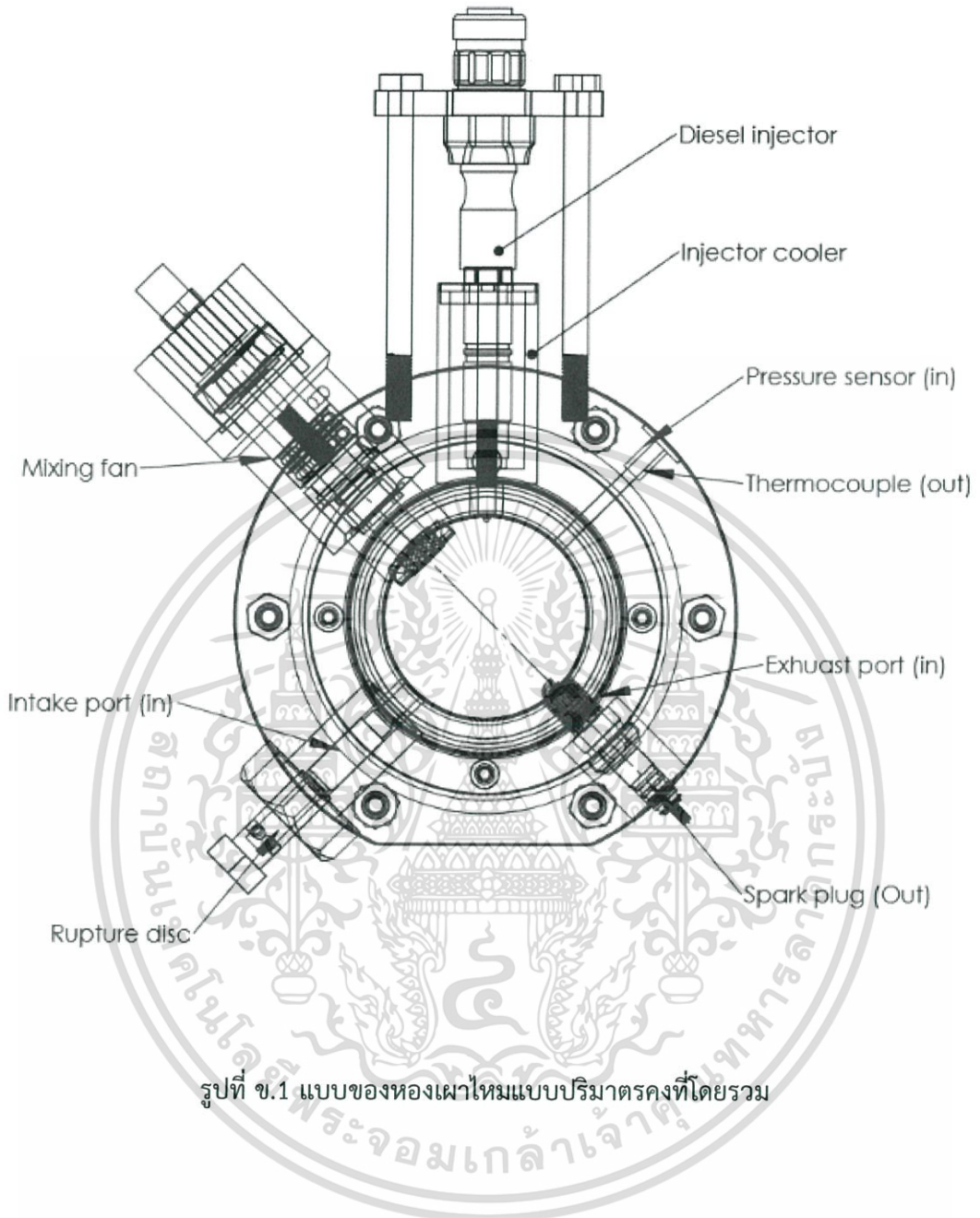


รูปที่ ก.1 โปรแกรม Labview ที่ใช้ในการอ่านค่าความดันย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

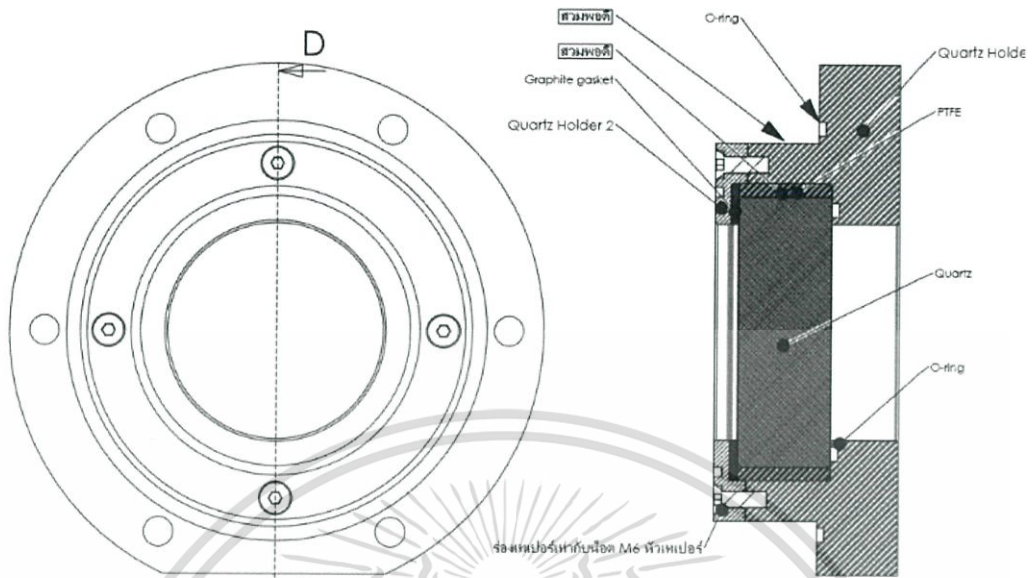


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 แบบของห้องเผาไหม้แบบปริมาตรคงที่โดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 แบบของชุดยึดควอตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KISTLER**Type 6053CC...**

measure. analyze. innovate.

Type 6053CC60**Technical Data**

Measuring range	bar	0 ... 250
Calibrated sub-ranges	bar	0 ... 50, 0 ... 100, 0 ... 150, 0 ... 250
Overload	bar	300
Sensitivity	pC/bar	≈-20
Natural frequency, nominal	kHz	≈160
Linearity in all ranges (at 23 °C)	%/FSO	≤±0,3
Acceleration sensitivity		
axial	bar/g	<0,0002
radial	bar/g	<0,0005
Operating temperature range	°C	-20 ... 350
Temperature min./max	°C	-50 ... 400
Connector	°C	200

Technical Data (Continuation)

Sensitivity change		
200 °C ±50 °C	%	≈±0,5
23 ... 350 °C	%	≤±2
Thermal shock error (at 1 500 1/min Δp _{mi} = 9 bar)		
Δp _{mi} (short time drift)	bar	≤±0,5
Δp _{mi}	%	<±2
Δp _{max}	%	<±1
Insulation resistance		
at 23 °C	Ω	>10 ¹³
Shock resistance	g	2 000
Tightening torque	N·m	1,5
Capacity		
Weight (Type 6053CC60)	g	10
Connector (PTFE)	-	KIAG 10-32

รูปที่ ค.1 ข้อมูลเซนเซอร์วัดความดัน ยี่ห้อ Kistler รุ่น 6053cc60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FASTCAM Mini UX

Photron



Compact high-speed camera system

Sensor Type	Proprietary Design Advanced CMOS
Maximum Resolution (pixels)	1280 x 1024 pixels
Sensor Size / Diagonal	12.80 (H) x 10.24mm (V) / 16.39mm (D)
Pixel Size (microns)	10 μ m x 10 μ m
Quantum Efficiency	62.6% at 630nm
Fill Factor	80%
Color Matrix	Bayer CFA (single sensor)
ISO 12232 Ssat sensitivity	ISO 10,000 monochrome
	ISO 5,000 color (monochrome sensor equivalent ISO 25,000 including near IR response)
Shutter	Global Electronic Shutter 3.9 μ s up to 1.01 μ s at maximum frame rates

รูปที่ ค.2 ข้อมูลกล้องวิดีโอความเร็วสูงยี่ห้อ Photron รุ่น Fastcam mini UX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้