

การมองการลามของเปลวไฟและลักษณะการเผาไหม้
ของเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนผสมเอทานอล

VISUALIZATION OF FLAME PROPAGATION AND COMBUSTION
CHARACTERISTICS OF ETHANOL BLENDED GASOLINE FUELS

ประathan ศรีชัย
PRATHAN SRICHAJ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-EN-M-030-111

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การมองการลามของเปลวไฟและลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนผสมเอทานอล

VISUALIZATION OF FLAME PROPAGATION AND COMBUSTION CHARACTERISTICS OF ETHANOL BLENDED GASOLINE FUELS



ประธาน ศรีชัย

PRATHAN SRICHAJ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**105423**
วัน,เดือน,ปี.....**23 พ.ย. 2552**



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-EN-M-030-111

**VISUALIZATION OF FLAME PROPAGATION AND COMBUSTION
CHARACTERISTICS OF ETHANOL BLENDED GASOLINE FUELS**

PRATHAN SRICHAJ

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

2009

KMITL-2009-EN-M-030-111

COPYRIGHT 2009

FACUTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การมองการลามของเปลวไฟและลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนผสมเอทานอล
Thesis Title Visualization of Flame Propagation and Combustion Characteristics of Ethanol Blended Gasoline Fuels
นักศึกษา นายประทาน ศรีชัย
รหัสประจำตัว 49060365
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-030-111

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.จารุวัตร	เจริญสุข	
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงศ์	
ดร.ณัฐวุฒิ	เคไปวา	กฤษฎา เตมิกู
รศ.ดร.คณิต	วัฒนวิเชียร	กนก วัฒนวิเชียร
ผศ.ดร.จินดา	เจริญพรพาณิชย์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 เวลา 10.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2552

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การมองการลามของเปลวไฟและลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนผสมเอทานอล
นักศึกษา	ประทาน ศรีชัย
รหัสนักศึกษา	49060365
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาลักษณะการเผาไหม้ของเอทานอลและแก๊สโซลีนผสมเอทานอลในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ แก๊สโซลีน (E0) เอทานอล (E100) และแก๊สโซลีนผสมเอทานอลในอัตราส่วนร้อยละ 20 (E20) และร้อยละ 85 (E85) ที่ระยะห่างระหว่างของแกนเชื้อหัวเทียนเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร และได้มีการวัดความดันที่ได้จากการเผาไหม้ตลอดจนถ่ายภาพการลามของเปลวไฟด้วยเทคนิคการถ่ายภาพแบบซูริเรนร่วมกับกล้องวิดีโอความเร็วสูง ซึ่งได้มีการศึกษาผลของ ค่าอัตราส่วนสมมูล อุณหภูมิเริ่มต้น ในการเผาไหม้ และความดันเกจเริ่มต้นในการเผาไหม้ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของเอทานอลเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่เร็วขึ้น และค่าความดันในการเผาไหม้ที่สูงขึ้น ซึ่งความดันสูงสุดในการเผาไหม้ของเอทานอลมีสูงสุดที่ 8.73 บาร์ ซึ่งมีค่ามากกว่าเบนซินผสมเอทานอล E85 E20 และเบนซินตามลำดับ จากภาพถ่ายการลามของเปลวไฟพบว่าช่วงเวลาในการเผาไหม้ของเอทานอลใช้เวลาในการเผาไหม้ที่น้อยที่สุดที่ 13 มิลลิวินาที และมีเชื้อเพลิงเชื้อที่เผาไหม้ที่ช้ากว่าดังนี้ E85 E20 ตลอดจน เบนซินตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงค่าอัตราส่วนของในแต่ละเชื้อเพลิง พบว่าที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 ทำให้ช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่เร็วที่สุด และรองลงมาเป็น 0.8 1.2 1.4 ตามลำดับ จากค่าช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ลดลง ทำให้ค่าความเร็วในการเผาไหม้ที่เร็วขึ้นและค่าความดันสูงสุดในการเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีขึ้น

Thesis Title	Visualization of Flame Propagation and Combustion Characteristics of Ethanol Blended Gasoline Fuels
Student	Mr.Prathan Srichai
Student ID.	49060365
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2009
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr.Chinda Chareonphonphanich

ABSTRACT

This research presents an experimental study of the combustion of ethanol blends with gasoline in a constant volume combustion chamber. The test fuels are gasoline, E20 (ethanol20%), E85 (ethanol85%) and pure ethanol. The pressure in combustion chamber was measured. The images of flame propagation were recorded by schlieren technique with high speed video camera. The effects of equivalent ratio, temperature, pressure on the combustion characteristics were studied. The results show the greater percent of ethanol provides faster burn rate of combustion and higher peak of cylinder pressure. The peak combustion pressure E100 is 0.873 MPa which is higher than E85, E20 and E0. The ignition delay time decreases with higher percent of ethanol. As the results of flame propagation images, at stoichometric burn duration of pure ethanol is 13 ms which is shorter than E85, E20 and E0. The combustion duration of mixture at equivalence ratio of 1.0 is less than that of equivalent ratio 0.8, 1.2 and 1.4. The flame speed and peak pressure increase with percentage of ethanol. The faster flame speed of ethanol flame effects to shorter combustion duration and greater performance and efficiency.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.จินดา เจริญพร พานิชย์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะในการแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดี แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ ทางผู้จัดทำต้องขอขอบคุณทาง ดร.นวงศ์ ชลคุปต์และ ดร. สุบงกช โตไพบูลย์ คุณ ศักดา ธงชาย คุณมงคล คณานนท์ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ ห้องปฏิบัติการวิจัยเชื้อเพลิงชีวภาพ สถาบันวิจัยวัสดุแห่งชาติและ อาจารย์ อุทัย อึ้งเจริญ และคุณนิคม ใจวงศ์มูล ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ที่อนุเคราะห์ให้ยืมชุดวัดความดันในห้องเผาไหม้ใน การทดลองครั้งนี้

ขอขอบคุณทาง สถาบันหมวกนิรภัย คณะเภสัชกรรมศาสตร์ มหาลัยศิลปกร วิทยาเขตสนามจันทร์ ที่อนุเคราะห์การเช่ากล้องถ่ายวิดีโอความเร็วสูง

ขอขอบคุณ คุณอัฐพล และคุณ Erice Yeo แห่งบริษัทไฮเทคประเทศไทย จำกัด ที่แนะนำให้ และให้คำปรึกษาการใช้งานกล้องถ่ายวิดีโอความเร็วสูง

ขอขอบคุณ คุณสุวิทย์ พิพิชฌิธรรม และ พิกิตติ เอี่ยมเปรมจิต ที่ให้คำปรึกษาในการปรับตั้ง การถ่ายภาพแบบซูร์เร็น

ขอขอบคุณ คุณนเร็น ชัยธานี ที่ช่วยดูแลเกี่ยวกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในงานวิจัยนี้ รวมไปถึง พี่ยักษ์ พี่หนุ่ม เพื่อนบัณฑิต น้องวิท น้องกอน น้องปิ น้องโต๊ด น้องชาย น้องอ๋า น้องโอ น้องน็อค น้องนวม น้องเปี้ยก น้องโจ้ น้องนู น้องแป้ง น้องมร และน้องๆทุกคนที่ยังกล่าวชื่อนามในชมรมยานยนต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยกันสร้างอุปกรณ์ทดสอบชุดนี้ ขึ้นมา

ขอขอบคุณ ไปยัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่มอบงบประมาณสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์นี้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดา มารดาซึ่งเป็นที่รักเคารพยิ่ง และคุณจิตรวดี สุวรรณภักดิ์ ตลอดจนครุอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ประทาน ศรีชัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.7 ขั้นตอนการศึกษา.....	9
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานในงานวิจัย.....	10
2.1 อัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ (Theoretical Air-fuel Ratio).....	10
2.2 เทคนิคการถ่ายภาพแบบซูริเรน.....	15
2.3 การเผาไหม้และการเกิดเปลวไฟ.....	19
2.4 ขั้นตอนในการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ.....	20
2.5 ทฤษฎีการลามของเปลวไฟแบบลามินาร์(Lamina flame speed).....	22
2.6 วิธีการวัดความเร็วในการลามของเปลวไฟ.....	22
2.7 ผลของปฏิกิริยาทางเคมีและการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่มีผลต่อความเร็วในการลุกไหม้ของเปลวไฟ.....	26
2.8 เศษส่วนของมวลในการเผาไหม้.....	33
บทที่ 3 อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง.....	34
3.1 การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นทางกายภาพของการเผาไหม้ของการทดลองในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่.....	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 การออกแบบอุปกรณ์การทดลอง.....	37
3.3 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง.....	45
3.4 อุปกรณ์วัดความดันในห้องเผาไหม้.....	52
3.5 อุปกรณ์การถ่ายภาพแบบซูริเรน.....	56
3.6 การกำหนดความสัมพันธ์ช่วงเวลาในการฉีดของเชื้อเพลิงกับมวลของเชื้อเพลิง.....	59
3.8 วิธีการทดลอง.....	63
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	65
4.1 ผลการเปรียบเทียบความดันในการเผาไหม้เมื่อค่าอุณหภูมิอากาศระหว่าง เอทานอลและเบนซิน.....	65
4.2 ผลการเปรียบเทียบการเผาไหม้ที่ค่าอัตราส่วนผสมเท่ากับ 1.....	66
4.3 ภาพถ่ายการลามของเปลวไฟ.....	68
4.4 ผลของการวัดพื้นที่ในการลามของเปลวไฟ.....	70
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	79
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	79
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	81
เอกสารอ้างอิง.....	82
ภาคผนวก	85
ภาคผนวก ก อุปกรณ์การทดลอง.....	86
ภาคผนวก ข อุปกรณ์ในการบันทึกภาพการลามของเปลวไฟ.....	99
ภาคผนวก ค ผลงานวิจัยที่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่.....	103
ประวัติผู้เขียน.....	124

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ความเร็วของเปลวไฟที่เปอร์เซ็นต์เอทานอลและเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุพูนต่างกัน.....	8
2.1 ค่าอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงเบนซินผสมเอทานอล.....	11
2.2 ตารางเปรียบเทียบสมบัติของเชื้อเพลิงเอทานอลและเบนซิน.....	14
3.1 ช่วงเวลาการฉีดของเชื้อเพลิงจากการคำนวณ ผลของค่าอุณหภูมิเท่ากัน.....	61
3.2 ช่วงเวลาการฉีดของเชื้อเพลิงจากการคำนวณ ผลของค่าอัตราส่วนสมมูล $\phi = 0.8$	61
3.3 ช่วงเวลาการฉีดของเชื้อเพลิงจากการคำนวณ ผลของค่าอัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.0$	61
3.4 ช่วงเวลาการฉีดของเชื้อเพลิงจากการคำนวณ ผลของค่าอัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.2$	62
3.5 ช่วงเวลาการฉีดของเชื้อเพลิงจากการคำนวณ ผลของค่าอัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.4$	62
3.6 ช่วงเวลาการฉีดของเชื้อเพลิงจากการคำนวณ ความดันเริ่มต้น $P_{int} = 1.5 \text{ kg} / \text{cm}^2$	62
3.7 ช่วงเวลาการฉีดของเชื้อเพลิงจากการคำนวณ อุณหภูมิเริ่มต้น $T_{int} = 470 \text{ K}$	63

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 รัศมีในการแพร่ลามของเปลวไฟของเชื้อเพลิงเอทานอลที่อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ ต่างกัน โดยวัดจากเทคนิคการถ่ายภาพแบบซูริเรน.....	5
1.2 ภาพถ่ายการลามของเปลวไฟที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้ เท่ากับ 0.1 Mpa อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ 358K.....	6
1.3 รัศมีในการลามของเปลวไฟที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้ 0.1 MPa อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ 358 องศาเซลเซียส.....	6
1.4 ภาพถ่ายจากการถ่ายภาพแบบซูริเรนในการเปรียบเทียบรัศมีการลามของเปลวไฟของ E0 และ E15 ที่ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้เท่ากับ 0.1 Mpa อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้เท่ากับ 358 องศาเซลเซียส.....	7
1.5 ภาพถ่ายเปลวไฟของเบนซิน (ซ้าย) และE30 (ขวา) ที่เส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุพอรุนเท่ากับ 8 มิลลิเมตร.....	7
2.1 แสดงระบบซูริเรนที่มีแหล่งกำเนิดแสงเป็นจุดแหล่งกำเนิดแสงมีขนาดแบบมีมิดตัดแสง.....	17
2.2 แสดงระบบซูริเรนที่มีแหล่งกำเนิดแสงมีขนาด.....	17
2.3 แสดงแหล่งกำเนิดแสงมีขนาดและมีมิดตัดแสง.....	18
2.4 แสดงตัวอย่างชุดทดลองซูริเรน	18
2.5 การเคลื่อนที่ของเปลวไฟในห้องเผาไหม้.....	19
2.6 กระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟในทางอุดมคติ	20
2.7 กระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ของเครื่องยนต์จริง.....	21
2.8 แสดงถึง การเกิดของความเร็วในการลุกไหม้ถาร์มินาร์ โดยที่แก๊สที่ยังไม่เผาไหม้วิ่งเข้าไปหาบริเวณที่ทำการเผาไหม้ที่ $SL = v_u$ และออกจากบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ความเร็ว $v_b > v_u$	22
2.9 บริเวณเปลวไฟที่บันทึกโดยการถ่ายภาพโดยตรงแบบต่างกัน.....	23
2.10 ภาพขยายกรวยด้านในประกอบด้วยเปลวไฟรูปทรงกรวยหลายเปรียบเทียบในการวัด ขนาดของวิธีวัดเปลวไฟแบบต่างกัน.....	24
2.11 อิทธิพลของปริมาณเชื้อเพลิงในอากาศต่อค่าความเร็วของเปลวไฟแบบถาร์มินาร์.....	27

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.12 อิทธิพลของปริมาณเชื้อเพลิงในอากาศต่อค่าความเร็วของเปลวไฟแบบลาร์มินาร์ ต่างกัน (ต่อ)	27
2.13 อิทธิพลของสารเติมแต่งแบบเฉื่อยต่อ S_L และ S_{Lmax}	29
2.14 อิทธิพลของสารเติมแต่งแบบว่องไว CH_4 ต่อ S_L ของ CO เผาไหม้กับอากาศ	29
2.15 อิทธิพลของความดัน P ต่อ S_L	30
2.16 อิทธิพลของอุณหภูมิเริ่มต้น T_0 ต่อ S_L	31
2.17 อิทธิพลของอุณหภูมิเปลวไฟ T_f ต่อ S_{Lmax}	32
2.18 อิทธิพลจำนวนของคาร์บอน n_{carbon} ต่อ ความเร็วสูงสุดในการเผาไหม้แบบลาร์มินาร์	32
3.1 การประมาณค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้	35
3.2 การประมาณอุณหภูมิต่างในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟเมื่อทำงานสภาวะคงที่	35
3.3 อุณหภูมิของอากาศคงที่อุณหภูมิห้องเผาไหม้ต่างกัน	36
3.4 การทดลองวัดความดันเกจเริ่มต้นในการเผาไหม้	37
3.5 ผลการจำลองรับแรงดันของควอซซ์ในห้องเผาไหม้	38
3.6 ภาพตัดภายในของห้องเผาไหม้	36
3.7 การวัดขนาดความยาวของสเปรย์ในการฉีด	39
3.8 ผลของการวัดความยาวของสเปรย์ของหัวฉีด	39
3.9 ผลการจำลองความยาว (เส้นสีแดง) ของสเปรย์ในห้องเผาไหม้	40
3.10 ท่อไอเสียที่จ่ายไอเสียเข้าห้องเผาไหม้	41
3.11 แสดงถึงค่าเร โนลนัมเบอร์ในช่วงจ่ายเชื้อเพลิง	42
3.12 แสดงถึงผลต่างความดันช่วงที่จ่ายเชื้อเพลิงเข้าจ่ายเข้าห้องเผาไหม้	42
3.13 การทดลองการหามวลของเชื้อเพลิงที่ค้างอยู่ในท่อ ไอเสียที่ร่วมไอเสีย	43
3.14 ผลการทดลองฉีดเชื้อเพลิงในท่อไอเสีย	43
3.15 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังห้องเผาไหม้ใหม่ด้านนอกสู่ผนังห้องเผาไหม้ด้านใน	44
3.16 ภาพของเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนและแก๊สโซลีนผสมเอทานอล	45
3.17 ผังอุปกรณ์การทดลอง	45
3.18 ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่	46
3.19 รายละเอียดอุปกรณ์ของห้องเผาไหม้	47
3.20 อุปกรณ์จ่ายไอเสียเข้าห้องเผาไหม้	47
3.21 อุปกรณ์ปรับความดันอากาศ	48

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.22 ชุดกรองและทำอากาศแห้ง.....	48
3.23 หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์.....	49
3.24 วงจรขับหัวฉีด.....	49
3.25 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	50
3.26 หัวเทียนที่ทำการตัดแปลงแล้ว.....	50
3.27 ชุดควบคุมฮีตเตอร์(ชาย) ฮีตเตอร์แบบรัดท่อ (ขวา)	51
3.28 ตำแหน่งในการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล.....	51
3.29 อุปกรณ์ทำสุญญากาศ.....	52
3.30 เซ็นเซอร์วัดความดันในการวัดความดันในการเผาไหม้.....	52
3.31 ลักษณะภายในของเซ็นเซอร์.....	53
3.32 โปรแกรม DEWESOFT 6.5.1 ในการเก็บค่าข้อมูลในการเผาไหม้เปรียบเทียบกับช่วงเวลา หลังจากการเผาไหม้.....	53
3.33 ผังการควบคุมการฉีดของเชื้อเพลิงและการวัดช่วงเวลาในการฉีดของเชื้อเพลิง.....	54
3.34 ผังการควบคุมการฉีดของเชื้อเพลิงและการวัดช่วงเวลาในการฉีดของเชื้อเพลิง.....	55
3.35 ผังอุปกรณ์การทดลองแบบซูรีเรนกับห้องเผาไหม้.....	56
3.36 ชุดกำเนิดแสง (Light Source).....	57
3.37 กระจกโค้ง (Concurve mirror).....	57
3.38 กระจกระนาบ (Reflect Mirror).....	58
3.39 ชุดใบมีดตัดแสง (Knife Edge).....	58
3.40 กล้องถ่ายภาพวิดีโอความเร็วสูง.....	59
3.41 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาในการฉีดของเชื้อเพลิงกับมวลของเชื้อเพลิง.....	60
3.42 การชั่งมวลของเชื้อเพลิง	60
3.43 ตำแหน่งของวาล์วในอุปกรณ์ทดลอง	64
4.1 ผลของความดันในการเผาไหม้เปรียบเทียบกับเมื่ออุณหภูมิงานความร้อนเท่ากัน.....	65
4.2 เศษส่วนมวลในการเผาไหม้เปรียบเทียบกับเมื่อค่าพลังงานความร้อนเท่ากัน.....	65
4.3 ผลของความดันในการเผาไหม้เปรียบเทียบกับช่วงเวลาหลังจากการเผาไหม้ที่อัตราส่วนเอทานอลต่างกัน.....	66

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 ผลของความดันในการเผาไหม้เปรียบเทียบกับช่วงเวลาหลังจากการเผาไหม้ที่อัตราส่วน เอทานอลต่างกัน.....	66
4.5 ค่าเศษส่วนมวลในการเผาไหม้ ที่ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1	67
4.6 ภาพลำดับการลามของเปลวไฟด้วยเทคนิคซูร์เรเนกล้องวิดีโอความเร็วในบันทึกภาพ 10,000 flame/sec	68
4.7 ภาพลำดับการลามของเปลวไฟด้วยกล้องวิดีโอความเร็วในบันทึกภาพ 40 flame/sec	69
4.8 ผลของส่วนผสมเชื้อเพลิงต่อพื้นที่การลามของเปลวไฟที่เวลาในการเผาไหม้ ณ อัตราส่วน สมมูลเท่ากับ 0.8	70
4.9 ผลของส่วนผสมเชื้อเพลิงต่อพื้นที่การลามของเปลวไฟที่เวลาในการเผาไหม้ ณ อัตราส่วน สมมูลเท่ากับ 1.0	71
4.10 ผลของส่วนผสมเชื้อเพลิงต่อพื้นที่การลามของเปลวไฟที่เวลาในการเผาไหม้ ณ อัตราส่วน สมมูลเท่ากับ 1.2	72
4.11 ผลของส่วนผสมเชื้อเพลิงต่อพื้นที่การลามของเปลวไฟที่เวลาในการเผาไหม้ ณ อัตราส่วน สมมูลเท่ากับ 1.4	73
4.12 เปรียบเทียบช่วงเวลาในการเผาไหม้กับอัตราส่วนสมมูลและเชื้อเพลิงต่างกัน	74
4.13 เปรียบเทียบช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่อัตราส่วนสมมูล 0.8 กับ 1	74
4.14 เปรียบเทียบช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่อัตราส่วนสมมูล 1.2 กับ 1.0	75
4.15 เปรียบเทียบช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่อัตราส่วนสมมูล 1.4 กับ 1.0.....	75
4.16 ผลของส่วนผสมเชื้อเพลิงต่อพื้นที่การลามของเปลวไฟที่เวลาในการเผาไหม้ ณ อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ 470 องศาเซลเซียสและ470 องศาเซลเซียส.....	76
4.17 เปรียบเทียบช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ 450 องศาเซลเซียส กับ อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.0.....	77
4.18 ผลของพื้นที่การลามของเปลวไฟที่ความดันในการเริ่มต้นในการเผาไหม้ 1.47 บาร์กับ 1.47 บาร์.....	77
4.19 เปรียบเทียบช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้ 0.98 บาร์ และ 1.47 บาร์.....	78

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การมองการลามของเปลวไฟและลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนผสมเอทานอล
นักศึกษา	ประทาน ศรีชัย
รหัสนักศึกษา	49060365
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาลักษณะการเผาไหม้ของเอทานอลและแก๊สโซลีนผสมเอทานอลในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ แก๊สโซลีน (E0) เอทานอล (E100) และแก๊สโซลีนผสมเอทานอลในอัตราส่วนร้อยละ 20 (E20) และร้อยละ 85 (E85) ที่ระยะห่างระหว่างของแกนเชื้อหัวเทียนเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร และได้มีการวัดความดันที่ได้จากการเผาไหม้ตลอดจนถ่ายภาพการลามของเปลวไฟด้วยเทคนิคการถ่ายภาพแบบซูริเรนร่วมกับกล้องวิดีโอความเร็วสูง ซึ่งได้มีการศึกษาผลของ ค่าอัตราส่วนสมมูล อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ และความดันเกจเริ่มต้นในการเผาไหม้ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของเอทานอลเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่เร็วขึ้น และค่าความดันในการเผาไหม้ที่สูงขึ้น ซึ่งความดันสูงสุดในการเผาไหม้ของเอทานอลมีสูงสุดที่ 8.73 บาร์ ซึ่งมีค่ามากกว่าเบนซินผสมเอทานอล E85 E20 และเบนซินตามลำดับ จากภาพถ่ายการลามของเปลวไฟพบว่าช่วงเวลาในการเผาไหม้ของเอทานอลใช้เวลาในการเผาไหม้ที่น้อยที่สุดที่ 13 มิลลิวินาที และมีเชื้อเพลิงเชื้อที่เผาไหม้ที่ช้ากว่าดังนี้ E85 E20 ตลอดจน เบนซินตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงค่าอัตราส่วนของในแต่ละเชื้อเพลิง พบว่าที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 ทำให้ช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่เร็วที่สุด และรองลงมาเป็น 0.8 1.2 1.4 ตามลำดับ จากค่าช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ลดลง ทำให้ค่าความเร็วในการเผาไหม้ที่เร็วขึ้นและค่าความดันสูงสุดในการเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีขึ้น

Thesis Title	Visualization of Flame Propagation and Combustion Characteristics of Ethanol Blended Gasoline Fuels
Student	Mr.Prathan Srichai
Student ID.	49060365
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2009
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr.Chinda Chareonphonphanich

ABSTRACT

This research presents an experimental study of the combustion of ethanol blends with gasoline in a constant volume combustion chamber. The test fuels are gasoline, E20 (ethanol20%), E85 (ethanol85%) and pure ethanol. The pressure in combustion chamber was measured. The images of flame propagation were recorded by schlieren technique with high speed video camera. The effects of equivalent ratio, temperature, pressure on the combustion characteristics were studied. The results show the greater percent of ethanol provides faster burn rate of combustion and higher peak of cylinder pressure. The peak combustion pressure E100 is 0.873 MPa which is higher than E85, E20 and E0. The ignition delay time decreases with higher percent of ethanol. As the results of flame propagation images, at stoichiometric burn duration of pure ethanol is 13 ms which is shorter than E85, E20 and E0. The combustion duration of mixture at equivalence ratio of 1.0 is less than that of equivalent ratio 0.8, 1.2 and 1.4. The flame speed and peak pressure increase with percentage of ethanol. The faster flame speed of ethanol flame effects to shorter combustion duration and greater performance and efficiency.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.จินดา เจริญพร พานิชย์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะในการแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดี แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ ทางผู้จัดทำต้องขอขอบคุณทาง ดร.นุวงศ์ ชลคุปต์และ ดร. สุภงกช โดไพบูลย์ คุณ ศักดา ธงชาย คุณมงคล คณานนท์ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ ห้องปฏิบัติการวิจัยเชื้อเพลิงชีวภาพ สถาบันวิจัยวัสดุแห่งชาติและ อาจารย์ อุทัย อึ้งเจริญ และคุณนิคม ใจวงศ์มูล ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ที่อนุเคราะห์ให้ยืมชุดวัดความดันในห้องเผาไหม้ใน การทดลองครั้งนี้

ขอขอบคุณทาง สถาบันหมวกนิรภัย คณะเภสัชกรรมศาสตร์ มหาลัยศิลปกร วิทยาเขตสนาม จันทร์ ที่อนุเคราะห์การเช่ากล้องถ่ายวิดีโอความเร็วสูง

ขอขอบคุณ คุณอัฐพล และคุณ Erice Yeo แห่งบริษัทไฮเทคประเทศไทย จำกัด ที่แนะนำให้ และให้คำปรึกษาการใช้งานกล้องถ่ายวิดีโอความเร็วสูง

ขอขอบคุณ คุณสุวิทย์ พิพิชฌวัชรธรรม และ พิกิตติ เอี่ยมเปรมจิต ที่ให้คำปรึกษาในการปรับตั้ง การถ่ายภาพแบบซูริเรน

ขอขอบคุณ คุณนเร็น ชัยธานี ที่ช่วยเหลือเกี่ยวกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในงานวิจัยนี้ รวมไปถึง พี่ยักษ์ พี่หนุ่ม เพื่อนบ๊ดี น้องวิท น้องกอน น้องปี น้องโต๊ด น้องชาย น้องอ๋า น้องโอ น้องน็อค น้องบวม น้องเปี้ยก น้องโจ้ น้องนู น้องแป้ง น้องมร และน้องๆทุกคนที่ยังกล่าวนามในชมรมยานยนต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยกันสร้างอุปกรณ์ทดสอบชุดนี้ ขึ้นมา

ขอขอบคุณ ไปยัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่มอบงบประมาณสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์นี้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดา มารดาซึ่งเป็นที่รักเคารพยิ่ง และคุณจิตรวดี สุวรรณฉลิ ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ประทาน ศรีชัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.7 ขั้นตอนการศึกษา.....	9
บทที่2 ทฤษฎีพื้นฐานในงานวิจัย.....	10
2.1 อัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ (Theoretical Air-fuel Ratio).....	10
2.2 เทคนิคการถ่ายภาพแบบซูริเรน.....	15
2.3 การเผาไหม้และการเกิดเปลวไฟ.....	19
2.4 ขั้นตอนในการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ.....	20
2.5 ทฤษฎีการลามของเปลวไฟแบบลาร์มินาร์(Lamina flame speed).....	22
2.6 วิธีการวัดความเร็วในการลามของเปลวไฟ.....	22
2.7 ผลของปฏิกิริยาทางเคมีและการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่มีผลต่อความเร็วในการลุกไหม้ของเปลวไฟ.....	26
2.8 เศษส่วนของมวลในการเผาไหม้.....	33
บทที่3 อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง.....	34
3.1 การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นทางกายภาพของการเผาไหม้ของการทดลองในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่.....	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 การออกแบบอุปกรณ์การทดลอง.....	37
3.3 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง.....	45
3.4 อุปกรณ์วัดความดันในห้องเผาไหม้.....	52
3.5 อุปกรณ์การถ่ายภาพแบบซูริเรน.....	56
3.6 การกำหนดความสัมพันธ์ช่วงเวลาในการฉีดของเชื้อเพลิงกับมวลของเชื้อเพลิง.....	59
3.8 วิธีการทดลอง.....	63
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	65
4.1 ผลการเปรียบเทียบความดันในการเผาไหม้เมื่อค่าจุกความร้อนเท่ากันระหว่าง เอทานอลและเบนซิน.....	65
4.2 ผลการเปรียบเทียบการเผาไหม้ที่ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.....	66
4.3 ภาพถ่ายการลามของเปลวไฟ.....	68
4.4 ผลของการวัดพื้นที่ในการลามของเปลวไฟ.....	70
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	79
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	79
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	81
เอกสารอ้างอิง.....	82
ภาคผนวก	85
ภาคผนวก ก อุปกรณ์การทดลอง.....	86
ภาคผนวก ข อุปกรณ์ในการบันทึกภาพการลามของเปลวไฟ.....	99
ภาคผนวก ค ผลงานวิจัยที่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่.....	103
ประวัติผู้เขียน.....	124

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ความเร็วของเปลวไฟที่เปอร์เซ็นต์เอทานอลและเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุพอรุนต่างกัน.....	8
2.1 ค่าอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงเบนซินผสมเอทานอล.....	11
2.2 ตารางเปรียบเทียบสมบัติของเชื้อเพลิงเอทานอลและเบนซิน.....	14
3.1 ช่วงเวลาการฉีดของเชื้อเพลิงจากการคำนวณ ผลของค่าจุกความร้อนเท่ากัน.....	61
3.2 ช่วงเวลาการฉีดของเชื้อเพลิงจากการคำนวณ ผลของค่าอัตราส่วนสมมูล $\phi = 0.8$	61
3.3 ช่วงเวลาการฉีดของเชื้อเพลิงจากการคำนวณ ผลของค่าอัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.0$	61
3.4 ช่วงเวลาการฉีดของเชื้อเพลิงจากการคำนวณ ผลของค่าอัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.2$	62
3.5 ช่วงเวลาการฉีดของเชื้อเพลิงจากการคำนวณ ผลของค่าอัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.4$	62
3.6 ช่วงเวลาการฉีดของเชื้อเพลิงจากการคำนวณ ความดันเริ่มต้น $P_{int} = 1.5 \text{ kg} / \text{cm}^2$	62
3.7 ช่วงเวลาการฉีดของเชื้อเพลิงจากการคำนวณ อุณหภูมิเริ่มต้น $T_{int} = 470 \text{ K}$	63

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 รัศมีในการแพร่ลามของเปลวไฟของเชื้อเพลิงเอทานอลที่อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ ต่างกัน โดยวัดจากเทคนิคการถ่ายภาพแบบซูริเรน.....	5
1.2 ภาพถ่ายการลามของเปลวไฟที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้ เท่ากับ 0.1 Mpa อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ 358K.....	6
1.3 รัศมีในการลามของเปลวไฟที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้ 0.1 MPa อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ 358 องศาเซลเซียส.....	6
1.4 ภาพถ่ายจากการถ่ายภาพแบบซูริเรนในการเปรียบเทียบรัศมีการลามของเปลวไฟของ E0 และ E15 ที่ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้เท่ากับ 0.1 Mpa อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้เท่ากับ 358 องศาเซลเซียส.....	7
1.5 ภาพถ่ายเปลวไฟของเบนซิน (ซ้าย) และE30 (ขวา) ที่เส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุพูนเท่ากับ 8 มิลลิเมตร.....	7
2.1 แสดงระบบซูริเรนที่มีแหล่งกำเนิดแสงเป็นจุดแหล่งกำเนิดแสงมีขนาดแบบมีมิดตัดแสง.....	17
2.2 แสดงระบบซูริเรนที่มีแหล่งกำเนิดแสงมีขนาด.....	17
2.3 แสดงแหล่งกำเนิดแสงมีขนาดและมีมิดตัดแสง.....	18
2.4 แสดงตัวอย่างชุดทดลองซูริเรน	18
2.5 การเคลื่อนที่ของเปลวไฟในห้องเผาไหม้.....	19
2.6 กระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟในทางอุดมคติ	20
2.7 กระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ของเครื่องยนต์จริง.....	21
2.8 แสดงถึง การเกิดของความเร็วในการลุกไหม้ถาร์มินาร์ โดยที่แก๊สที่ยังไม่เผาไหม้วิ่งเข้าไปหาบริเวณที่ทำการเผาไหม้ที่ $SL = v_u$ และออกจากบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ความเร็ว $v_b > v_u$	22
2.9 บริเวณเปลวไฟที่บันทึกโดยการถ่ายภาพโดยตรงแบบต่างกัน.....	23
2.10 ภาพขยายกรวยด้านในประกอบด้วยเปลวไฟรูปทรงกรวยหลายเปรียบเทียบในการวัด ขนาดของวิธีวัดเปลวไฟแบบต่างกัน.....	24
2.11 อิทธิพลของปริมาณเชื้อเพลิงในอากาศต่อค่าความเร็วของเปลวไฟแบบถาร์มินาร์.....	27

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.12 อิทธิพลของปริมาณเชื้อเพลิงในอากาศต่อค่าความเร็วของเปลวไฟแบบลาร์มินาร์ ต่างกัน (ต่อ)	27
2.13 อิทธิพลของสารเติมแต่งแบบเฉื่อยต่อ S_L และ $S_{L_{max}}$	29
2.14 อิทธิพลของสารเติมแต่งแบบว่องไว CH_4 ต่อ S_L ของ CO เผาไหม้กับอากาศ	29
2.15 อิทธิพลของความดัน P ต่อ S_L	30
2.16 อิทธิพลของอุณหภูมิเริ่มต้น T_0 ต่อ S_L	31
2.17 อิทธิพลของอุณหภูมิเปลวไฟ T_f ต่อ $S_{L_{max}}$	32
2.18 อิทธิพลจำนวนของคาร์บอน n_{carbon} ต่อ ความเร็วสูงสุดในการเผาไหม้แบบลาร์มินาร์	32
3.1 การประมาณค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้	35
3.2 การประมาณอุณหภูมิต่างในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟเมื่อทำงานสภาวะคงที่	35
3.3 อุณหภูมิของอากาศคงที่อุณหภูมิห้องเผาไหม้ต่างกัน	36
3.4 การทดลองวัดความดันแก๊สเริ่มต้นในการเผาไหม้	37
3.5 ผลการจำลองรับแรงดันของควอดซ์ในห้องเผาไหม้	38
3.6 ภาพตัดภายในของห้องเผาไหม้	36
3.7 การวัดขนาดความยาวของสเปรย์ในการฉีด	39
3.8 ผลของการวัดความยาวของสเปรย์ของหัวฉีด	39
3.9 ผลการจำลองความยาว (เส้นสีแดง) ของสเปรย์ในห้องเผาไหม้	40
3.10 ท่อไอเสียที่จ่ายไอดีเข้าห้องเผาไหม้	41
3.11 แสดงถึงค่าเรโนลด์นัมเบอร์ในช่วงจ่ายเชื้อเพลิง	42
3.12 แสดงถึงผลต่างความดันช่วงที่จ่ายเชื้อเพลิงเข้าจ่ายเข้าห้องเผาไหม้	42
3.13 การทดลองการหามวลของเชื้อเพลิงที่ค้างอยู่ในท่อ ไอเสียที่ร่วมไอดี	43
3.14 ผลการทดลองฉีดเชื้อเพลิงในท่อไอดี	43
3.15 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังห้องเผาไหม้ใหม่ด้านนอกสู่ผนังห้องเผาไหม้ด้านใน	44
3.16 ภาพของเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนและแก๊สโซลีนผสมเอทานอล	45
3.17 ผังอุปกรณ์การทดลอง	45
3.18 ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่	46
3.19 รายละเอียดอุปกรณ์ของห้องเผาไหม้	47
3.20 อุปกรณ์จ่ายไอดีเข้าห้องเผาไหม้	47
3.21 อุปกรณ์ปรับความดันอากาศ	48

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.22 ชุดกรองและทำอากาศแห้ง.....	48
3.23 หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์.....	49
3.24 วงจรขับหัวฉีด.....	49
3.25 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	50
3.26 หัวเทียนที่ทำการตัดแปลงแล้ว.....	50
3.27 ชุดควบคุมฮีตเตอร์(ชาย) ฮีตเตอร์แบบรัดท่อ (ขวา)	51
3.28 ตำแหน่งในการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล.....	51
3.29 อุปกรณ์ทำสุญญากาศ.....	52
3.30 เซ็นเซอร์วัดความดันในการวัดความดันในการเผาไหม้.....	52
3.31 ลักษณะภายในของเซ็นเซอร์.....	53
3.32 โปรแกรม DEWESOFT 6.5.1 ในการเก็บค่าข้อมูลในการเผาไหม้เปรียบเทียบกับช่วงเวลา หลังจากการเผาไหม้.....	53
3.33 ผังการควบคุมการฉีดของเชื้อเพลิงและการวัดช่วงเวลาในการฉีดของเชื้อเพลิง.....	54
3.34 ผังการควบคุมการฉีดของเชื้อเพลิงและการวัดช่วงเวลาในการฉีดของเชื้อเพลิง.....	55
3.35 ผังอุปกรณ์การทดลองแบบซูรีเรนกับห้องเผาไหม้.....	56
3.36 ชุดกำเนิดแสง (Light Source).....	57
3.37 กระจกโค้ง (Concurve mirror).....	57
3.38 กระจกเงา (Reflect Mirror).....	58
3.39 ชุดใบมีดตัดแสง (Knife Edge).....	58
3.40 กล้องถ่ายภาพวิดีโอความเร็วสูง.....	59
3.41 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาในการฉีดของเชื้อเพลิงกับมวลของเชื้อเพลิง.....	60
3.42 การชั่งมวลของเชื้อเพลิง	60
3.43 ตำแหน่งของวาล์วในอุปกรณ์ทดลอง	64
4.1 ผลของความดันในการเผาไหม้เปรียบเทียบกับเมื่อจุดพลังงานความร้อนเท่ากัน.....	65
4.2 เศษส่วนมวลในการเผาไหม้เปรียบเทียบกับเมื่อค่าพลังงานความร้อนเท่ากัน.....	65
4.3 ผลของความดันในการเผาไหม้เปรียบเทียบกับช่วงเวลาหลังจากการเผาไหม้ที่อัตราส่วนเอทานอลต่างกัน.....	66

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่

หน้า

4.4 ผลของความดันในการเผาไหม้เปรียบเทียบกับช่วงเวลาหลังจากการเผาไหม้ที่อัตราส่วน เอทานอลต่างกัน.....	66
4.5 ค่าเศษส่วนมวลในการเผาไหม้ ที่ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1	67
4.6 ภาพลำดับการลามของเปลวไฟด้วยเทคนิคซูร์เรนกล้องวิดีโอความเร็วในบันทึกภาพ 10,000 flame/sec	68
4.7 ภาพลำดับการลามของเปลวไฟด้วยกล้องวิดีโอความเร็วในบันทึกภาพ 40 flame/sec	69
4.8 ผลของส่วนผสมเชื้อเพลิงต่อพื้นที่การลามของเปลวไฟที่เวลาในการเผาไหม้ ณ อัตราส่วน สมมูลเท่ากับ 0.8	70
4.9 ผลของส่วนผสมเชื้อเพลิงต่อพื้นที่การลามของเปลวไฟที่เวลาในการเผาไหม้ ณ อัตราส่วน สมมูลเท่ากับ 1.0	71
4.10 ผลของส่วนผสมเชื้อเพลิงต่อพื้นที่การลามของเปลวไฟที่เวลาในการเผาไหม้ ณ อัตราส่วน สมมูลเท่ากับ 1.2	72
4.11 ผลของส่วนผสมเชื้อเพลิงต่อพื้นที่การลามของเปลวไฟที่เวลาในการเผาไหม้ ณ อัตราส่วน สมมูลเท่ากับ 1.4	73
4.12 เปรียบเทียบช่วงเวลาในการเผาไหม้กับอัตราส่วนสมมูลและเชื้อเพลิงต่างกัน	74
4.13 เปรียบเทียบช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่อัตราส่วนสมมูล 0.8 กับ 1	74
4.14 เปรียบเทียบช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่อัตราส่วนสมมูล 1.2 กับ 1.0	75
4.15 เปรียบเทียบช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่อัตราส่วนสมมูล 1.4 กับ 1.0.....	75
4.16 ผลของส่วนผสมเชื้อเพลิงต่อพื้นที่การลามของเปลวไฟที่เวลาในการเผาไหม้ ณ อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ 470 องศาเซลเซียสและ 470 องศาเซลเซียส.....	76
4.17 เปรียบเทียบช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ 450 องศาเซลเซียส กับ อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.0.....	77
4.18 ผลของพื้นที่การลามของเปลวไฟที่ความดันในการเริ่มต้นในการเผาไหม้ 1.47 บาร์กับ 1.47 บาร์.....	77
4.19 เปรียบเทียบช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้ 0.98 บาร์ และ 1.47 บาร์.....	78

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันราคาเชื้อเพลิงในตลาดโลกมีราคาสูงขึ้นจึงส่งผลให้ประชาชนเกิดความเดือดร้อนในการเพิ่มขึ้นของราคาคงน้ำมันทางรัฐบาลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงมีนโยบายในการใช้เชื้อเพลิงพลังงานทดแทนในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนคือการผสมเอทานอลกับน้ำมันเบนซิน เพราะประเทศไทยสามารถผลิตเอทานอลจากพืชผลภายในประเทศได้จึงเป็นการลดการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ

งานวิจัยในปัจจุบันต่างสนใจมุ่งไปทางด้าน การปรับแต่งเครื่องยนต์ใช้เอทานอลใช้เชื้อเพลิงทางเลือก แต่หากจะให้มีความรู้และความเข้าใจในการเผาไหม้ที่คั้นจึงจำเป็นต้องมองเห็นถึงการลามของเปลวไฟในห้องเผาไหม้ซึ่งค่านี้อาจมีผลต่อสมรรถนะเครื่องยนต์ จึงได้เกิดแนวคิดที่สร้างห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ เพื่อใช้ในการจำลองการเผาไหม้ในเครื่องยนต์โดยสามารถ ปรับค่าอัตราส่วนสมมูล การปรับอุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ การปรับความดันเกจเริ่มต้นในการเผาไหม้ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวที่มีผลต่อช่วงเวลาในการเผาไหม้ของเปลวไฟมีผลต่อวัฏจักรของเครื่องยนต์เบนซินทั้งด้านสมรรถนะและค่ามลพิษ นอกจากนี้ยังใช้ห้องเผาไหม้เป็นต้นแบบในการปรับแต่งเครื่องยนต์เบนซินที่ผสมเอทานอลเป็นพลังงานทางเลือกให้มีสมรรถนะสูงขึ้น ที่อัตราการสิ้นเปลืองและค่ามลพิษที่ลดลงต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือ

1. สร้างห้องเผาไหม้แบบปริมาตรคงที่ เพื่อใช้ให้เห็นการลามของเปลวไฟ
2. ศึกษาภาพถ่ายการลุกลามของเปลวไฟด้วยวิธีซูริเรนเพื่อนำไปหาภาพถ่ายในการหาพื้นที่การลามของเปลวไฟและช่วงเวลาในการเผาไหม้ซึ่งทำการทดลองเชื้อเพลิงในเบนซิน (E0) เอทานอล (E100) และเบนซินผสมเอทานอลในอัตราส่วนร้อยละ 20 (E20) ร้อยละ 85 (E85)

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนนั้นเมื่อไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์จะทำให้ส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศบางทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ลดลง ค่ามลพิษสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อเรามีการปรับแต่งเครื่องยนต์โดยการเพิ่มปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงให้อัตราส่วนผสมเหมาะสมเป็นผลทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเบนซิน

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

กระบวนการเผาไหม้ในจังหวะการจุดระเบิดของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนจะเริ่มจุดประกายไฟทำให้เกิดการเผาไหม้ สร้างเป็นแรงก๊าซผลักดันลูกสูบเคลื่อนลงจากศูนย์ตายบนไปยังศูนย์ตายล่าง จึงได้แนวคิดที่ว่าหากเราสร้างเป็นห้องเผาไหม้ที่แข็งแรงและโปร่งใสแล้วทดลองจ่ายส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศที่อัตราส่วนต่างกัน แล้วกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นทางกายภาพในการเผาไหม้ เช่น อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้ แล้วทำการจุดประกายไฟทำให้เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิง ทำให้เราสามารถวัดค่าความดันในการเผาไหม้และภาพในการลามของเปลวไฟในแต่ละเชื้อเพลิงได้และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเร็วในการลุกลามของเปลวไฟได้

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 สร้างห้องเผาไหม้แบบปริมาตรคงที่ขึ้นมาเพื่อศึกษาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเบนซินผสมเอทานอล

1.5.2 การทดลองการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (E0) และเอทานอล (E100) ตลอดจนเบนซินผสมเอทานอลร้อยละ 20 (E20) ตลอดจนเบนซินผสมเอทานอลร้อยละ 85 (E85) โดยการป้อนเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ทางทฤษฎีที่อัตราส่วนผสม ที่ 0.8 1.0 1.2 1.4 แล้วทำการควบคุมตัวแปรต้นในการเผาไหม้คือ อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ 450 องศาเซลเซียส 470 องศาเซลเซียส และความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้ 0.98 บาร์ และ 1.47 บาร์ เพื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการเผาไหม้ได้โดยภาพถ่ายการลามของเปลวไฟด้วยเทคนิคซูริเรนในแต่ละสัดส่วนของเบนซินที่ผสมเอทานอลเพื่อเปรียบเทียบพื้นที่การลามของเปลวไฟ

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ของเอทานอลทั้งภายในประเทศและภายนอกประเทศ ซึ่งเกี่ยวกับการเผาไหม้ของเอทานอลทั้งในเครื่องยนต์และในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่

การเผาไหม้ในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ยังไม่มีการปรับปรุงเครื่องยนต์นั้นทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ลดลงเช่นการวิจัยของ Somchai C. และ Manita T. [1] ได้การทดลองถึงคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน โดยไม่มีการปรับปรุงเครื่องยนต์ ของเครื่องยนต์ระบบจ่ายเชื้อเพลิงแบบคาร์บูเรเตอร์ ซึ่งไม่มีการขยายขนาดมวน (main jet) พบว่าการใช้เชื้อเพลิงเบนซินผสมเอทานอลร้อยละ 10 15 40 50 พบว่าความดันสูงสุดในการเผาไหม้จะลดลงเมื่อผสมอัตราส่วนเอทานอลเพิ่มมากขึ้น ค่าเศษส่วนมวลในการเผาไหม้ที่เร็วที่สุดคือ เบนซินและเศษส่วนมวลในการรองลงมาก็คืออัตราส่วนเอทานอลร้อยละ 10 15 10 40 ตามลำดับ เห็นได้ว่าแสดงว่าการเพิ่มปริมาตรของเอทานอลเข้าเป็นผลทำให้เศษส่วนมวลในการเผาไหม้ช้าลง ค่าการลามของเปลวไฟและช่วงในการเผาไหม้ของเปลวไฟนานขึ้น โดยเฉพาะการลามของเปลวไฟเร็วขึ้นที่ช่วงองศาเพลลาข้อเหวี่ยง 29-33 องศาเพลลาข้อเหวี่ยงก่อนศูนย์ตายบน โดยอยู่ในช่วงอัตราส่วนเอทานอลผสมเชื้อเพลิงเบนซินที่ร้อยละ 40-50 และมีค่าการลามของเปลวไฟที่ช้าที่สุดคือเชื้อเพลิงเบนซิน ซึ่งสรุปโดยรวมได้ว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมเอทานอลกับเบนซินในอัตราส่วนที่สูงขึ้นนั้น โดยที่การเพิ่มอัตราส่วนเชื้อเพลิงนั้น ทำให้ช่วงเวลาในการลามของเปลวไฟที่ช้าลงและค่าความแปรปรวนจากความดันในการเผาไหม้เพิ่มขึ้น

ต่อมาเป็นงานวิจัยที่ทำในประเทศ เกี่ยวกับการเผาไหม้ในเครื่องยนต์และสมรรถนะ โดยไม่มีการปรับแต่ง ประชาสันติ ไตรยสุทร [2] ได้ศึกษาผลกระทบต่อรูปแบบการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ยังไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างเบนซิน (ออกเทน 91) กับเอทานอล 99.5 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน ดังนี้คือ E10 E20 E30 และทำการทดลองที่ภาระงานสูงสุด ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2000 3000 และ 4000 รอบต่อนาที โดยเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงเบนซินจากผลการทดลองพบว่า ตัวแปรต่างๆ ในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเชื้อเพลิง E10 จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของเอทานอลมากยิ่งขึ้นตัวแปรต่างๆ จะมีค่าแตกต่างกันไปจากเชื้อเพลิงเบนซินมากขึ้นตามอัตรา ส่วนผสมของเอทานอล ได้แก่ ความดันสูงสุดจะมีค่าลดลง ตำแหน่งองศาเพลลาข้อเหวี่ยงที่ความดันสูงสุดอยู่หลังตำแหน่งจุดศูนย์ตายบนมากขึ้นตำแหน่งองศาเพลลาข้อเหวี่ยงที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ของเศษส่วนมวลที่เผาไหม้แล้วจะอยู่หลังตำแหน่ง จุดศูนย์ตายบนมากขึ้น เช่นเดียวกันมุมมององศาข้อเหวี่ยงการขยายตัวของเปลวไฟจะมีค่ามากขึ้น ค่าความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้มีค่าลดลง และค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ มีค่าใกล้เคียงกันทุกส่วนผสมเอทานอลผสมเบนซิน

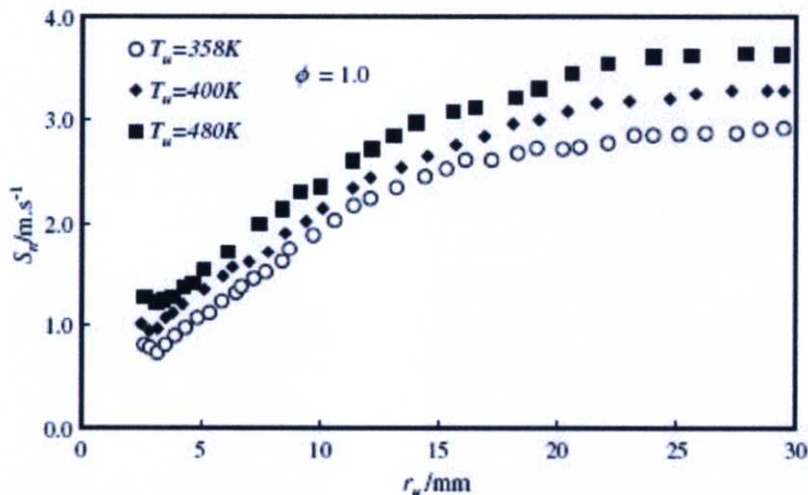
ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันในของความดันในการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ใช้เอทานอลผสมเบนซิน จากงานวิจัยของ M.A. Ceviz [3] ได้ทำวิจัยหาค่าดังกล่าวจากข้อมูลการวัดความดันในการเผาไหม้เฉลี่ยที่ 50 วัฏจักรในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ไม่มีการปรับปรุงเครื่องยนต์ โดยใช้เชื้อเพลิงเบนซินผสมเอทานอลโดยอัตราส่วนที่ E10 E15 และ E20 จากผลการทดลองพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์สัมประสิทธิ์การแปรผันในการเผาไหม้ของ E10 จะมีค่าเปอร์เซ็นต์น้อยที่สุดที่ 2.352 และ E20 มีค่า

เปอร์เซ็นต์สัมประสิทธิ์การแปรผันในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงมากที่สุดที่ 3.317 ซึ่งเห็นได้ว่าการเพิ่มอัตราส่วนปริมาตรเอทานอลในเบนซินที่มากขึ้นของเครื่องยนต์ที่ยังไม่มีการปรับปรุงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ช้าลง

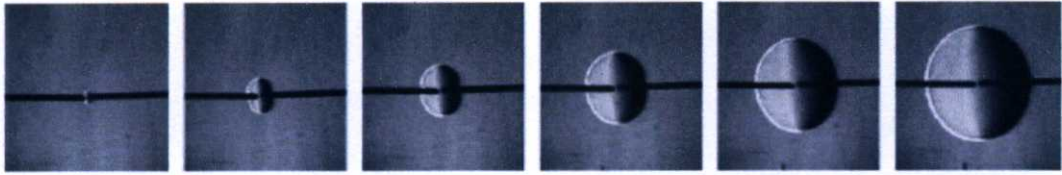
ต่อมาจะกล่าวถึงสมรรถนะและการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ใช้เอทานอลแล้วมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ พิชัย อัญมงคลและคณะ [4] ได้ทำการศึกษาถึงสมรรถนะของเครื่องยนต์ เมื่อใช้เอทานอล บริสุทธิ์ 95 เปอร์เซ็นต์ และ 99.5 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน ซึ่งผลการใช้เชื้อเพลิงเอทานอลในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนมีการปรับปรุงเครื่องยนต์เพื่อให้สามารถใช้ได้กับเชื้อเพลิงเอทานอลได้ คือเพิ่มขนาดของนมหนู (Main jet) ในคาร์บูเรเตอร์ และปรับเพิ่มองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ ความเร็วรอบเปลี่ยนตั้งแต่ 2,000 ถึง 6,000 รอบต่อนาที ที่ภาระงานเต็มที่ ปรากฏว่า เครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิง เอทานอล 99.5เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าแรงบิดและกำลังงานไม่ต่างจากเชื้อเพลิงเบนซินในขณะที่ให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่า 40-50 เปอร์เซ็นต์ แต่มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูง กว่าประมาณ 10 - 20 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อใช้เชื้อเพลิงเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าแรงบิดและกำลังงานออกมา ต่ำกว่าประมาณ 2-5เปอร์เซ็นต์ และให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่า 25-30 เปอร์เซ็นต์ แต่มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่าประมาณ 30-50 เปอร์เซ็นต์ ต่อมา ธนวัฒน์ ศรีรักษา [5] ได้ทำการทดสอบรถจักรยานยนต์ระบบหัวฉีดและคาร์บูเรเตอร์ ทั้งไม่ได้ปรับปรุงเครื่องยนต์และปรับปรุงเครื่องยนต์ด้วยการเพิ่มปริมาณการฉีดของเชื้อเพลิง โดยการขยายช่วงเวลากการฉีดของเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของเอทานอลเปรียบเทียบกับเบนซิน จากการทดลองพบว่า การนำเอทานอลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์แทนเชื้อเพลิงเบนซินโดยปรับปรุงระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อที่ให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของเอทานอล โดยเมื่อใช้เชื้อเพลิงเอทานอลแล้วเครื่องยนต์จะมีแรงม้ามากกว่าประมาณ 4-16เปอร์เซ็นต์ ส่วนแรงบิดจะมีมากกว่า 10 – 16 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้เบนซินเป็นเชื้อเพลิงและเนื่องมาจากค่าความร้อนของเอทานอลมีปริมาณที่น้อยกว่าเบนซินจึงทำให้การใช้เชื้อเพลิงเอทานอลมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่มากกว่าเชื้อเพลิงเบนซินประมาณ 25 – 38 เปอร์เซ็นต์ ต่อมาเป็นการทางด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์เปรียบเทียบระหว่างเอทานอลและเบนซินของเครื่องยนต์ที่มีเทอร์โบ Matthew Brusstar [6] ได้ทำการทดลองในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ปริมาตรกระบอกสูบ 1.9 ลิตร และเพิ่มค่าอัตราส่วนการอัดเท่ากับ 19.1:1 ค่า swirl ratio เท่ากับ 2.0 ในการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้เอทานอลและเบนซินจากผลการทดลองพบว่าค่าดัชนีผลเฉลี่ยเบรค bmep ของเชื้อเพลิงเอทานอลมีค่าเพิ่มขึ้น 20 บาร์ (กรณีใช้ เทอร์โบ) เมื่อเปรียบเทียบกับเบนซินและผลต่างความเร็วในการลุกไหม้แบบลาร์มินาร์ ที่อัตราส่วนสมมูลกับอากาศที่เท่ากับ 1.1 พบว่าเอทานอลมีค่าเร็วกว่าเบนซินที่ 10 เซนติเมตรต่อวินาที และ Christopher P. [7] ได้ทำการวิจัยการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเอทานอลผสมเบนซินจาก

ข้อมูลความดันในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จริง ในอัตราส่วน E0 E20 E60 E84 โดยแต่ละเชื้อเพลิงได้มีการปรับค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 พบว่าค่าเศษส่วนมวลในการเผาไหม้ของเอทานอลที่อัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์ 8:1 การจุดระเบิดล่วงหน้า 0 องศาเพลลาข้อเหวี่ยงก่อนศูนย์ตายบนพบว่าเศษส่วนมวลในการเผาไหม้ของ E84 จะมีค่าเร็วกว่า E60 E40 E20 และ E0 ตามลำดับ และช่วงเวลาในการเผาไหม้เมื่อเปรียบเทียบกับ 10 เปอร์เซนต์เศษส่วนมวลในการเผาไหม้ (MFB) ของการเปรียบเทียบการจุดระเบิดล่วงหน้า 5 – 20 องศาเพลลาข้อเหวี่ยงก่อนศูนย์ตายบน พบว่าแนวโน้มช่วงเวลาในการเผาไหม้ของ E84 จะมีค่าน้อยกว่า E60 E40 E20 ตามลำดับ

การเผาไหม้ของเอทานอลผสมเบนซินในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ งานวิจัยของ S.Y. Liao และ D.M. Jiang Z.H. Huang [8] ได้มีการทดลองการเผาไหม้ของเอทานอลในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ โดยใช้เทคนิคซูรีเรนในการถ่ายภาพการรุกรานของเปลวไฟ เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ที่มีผลต่อรัศมีการลามของเปลวไฟ โดยมีปรับค่าอัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิงกับอากาศเท่ากับ 1 แล้วเลือกค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้เท่ากับ 358 องศาเซลเซียส 400 องศาเซลเซียส และ 480 องศาเซลเซียส พบว่ารัศมีการเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้สูงขึ้นมีค่ารัศมีการลามของเปลวไฟที่เพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ 480 องศาเซลเซียส 400 องศาเซลเซียส และ 358 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังรูปที่ 1.1 และรูปที่ 1.2 ภาพการรุกรานของเปลวไฟด้วยเทคนิคซูรีเรนเริ่มมีการจุดระเบิดจากทางด้านซ้าย โดยแต่ละรูปมีช่วงเวลาที่แตกต่างกันที่ 4 ms

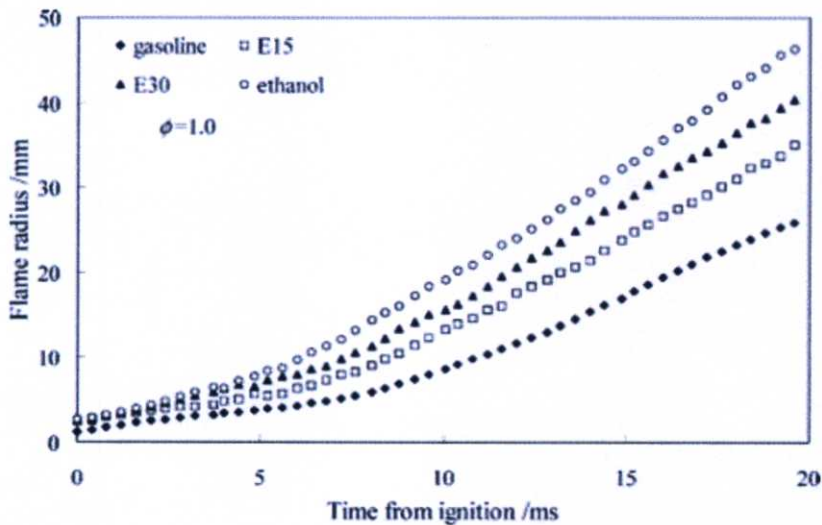


รูปที่ 1.1 รัศมีการลามของเปลวไฟของเชื้อเพลิงเอทานอลที่อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ต่างกัน โดยวัดจากเทคนิคการถ่ายภาพแบบซูรีเรน [8]

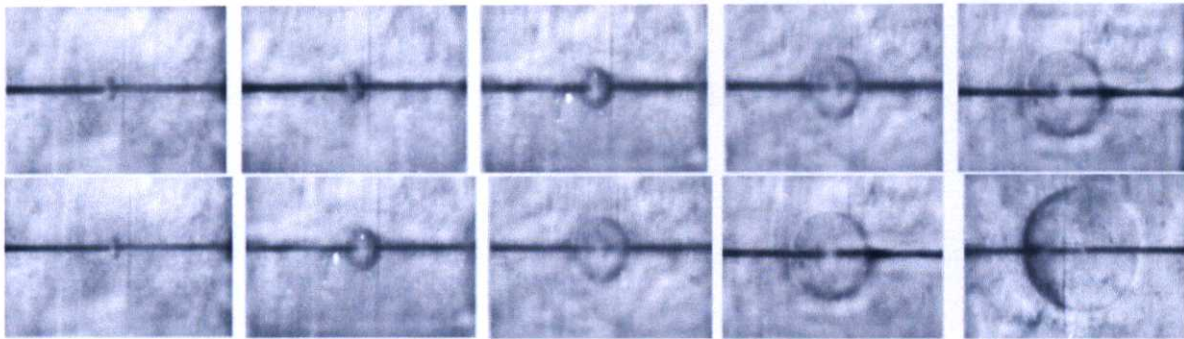


รูปที่ 1.2 ภาพการลามของเปลวไฟที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้เท่ากับ 0.1 Mpa อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ 358 องศาเซลเซียส เริ่มการเผาไหม้จากทางด้านซ้าย [8]

S. Y. Liao, D. M. Jiang [9] ได้ทดลองศึกษาค่าปัจจัยที่มีผลต่อการเผาไหม้ในช่วงเริ่มสตาร์ทของเชื้อเพลิงเอทานอลผสมกับเบนซินในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่โดยใช้เชื้อเพลิงเบนซิน E0 E15 E30 และเอทานอล E100 อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ 358 องศาเซลเซียส ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้ 0.1 MPa จากผลการทดลองพบว่ารัศมีในการลามของเปลวไฟจะมีค่าเริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลงของรัศมีเปลวไฟที่ชัดเจนที่เวลา 5 ms หลังจากการเผาไหม้ โดยรัศมีในการลามของเปลวไฟของเอทานอลมีรัศมีในการลามของเปลวไฟที่มากที่สุดและรัศมีในการลามของที่มีขนาดรองลงมาคือ E30 E15 E0 ตามลำดับดังรูปที่ 1.3 ซึ่งสังเกตได้ว่าการเพิ่มอัตราส่วนของเอทานอลเพิ่มขึ้นแสดงว่าความเร็วของเปลวไฟเอทานอลจะมีค่าเร็วกว่าเชื้อเพลิงเบนซินผสมเอทานอลและเบนซิน



รูปที่ 1.3 รัศมีในการลามของเปลวไฟที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้ 0.1 MPa อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ 358 องศาเซลเซียส [9]



รูปที่ 1.4 ภาพถ่ายจากการถ่ายภาพแบบซูร์เรนในการเปรียบเทียบรัศมีการลามของเปลวไฟของ E0 (ภาพบน) และ E15 (ภาพล่าง) ที่ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้เท่ากับ 0.1 Mpa อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้เท่ากับ 358 องศาเซลเซียส [9]

ในส่วนสุดท้ายนี้จะกล่าวถึงการเผาไหม้ของเอทานอลในวิธีการวัดความเร็วในการเผาไหม้ประเภทอื่น Chintre Parag [10] ได้ทำวิจัยในการวัดความเร็วของเปลวไฟของเอทานอล E100 และเอทานอลผสมเบนซินในอัตราส่วน E50 E60 E70 E90 โดยวิธี porous sphere ซึ่งเป็นการนำเอาวัสดุพอร์นก่อนกลมนำมาติดไฟแล้วถ่ายเชื้อเพลิงเข้าไปเผาไหม้โดยมีการเปลี่ยนเส้นผ่านศูนย์กลาง(d) ของวัสดุพอร์น 2 ขนาดคือ 8 มิลลิเมตรและ 10 มิลลิเมตร จากการทดลองพบว่าค่าความยาวของเปลวไฟของเอทานอล มีค่าความเร็วของเปลวไฟเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของเอทานอลเพิ่มขึ้นและขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางวัสดุพอร์นตามตารางที่ 1.1



รูปที่ 1.5 ภาพถ่ายเปลวไฟของเบนซิน (ซ้าย) และ E30 (ขวา) ที่เส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุพอร์นเท่ากับ 8 มิลลิเมตร [10]

ตารางที่ 1.1 ความเร็วของเปลวไฟที่เปอร์เซ็นต์เอทานอลและเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุพูนต่างกัน

[10]

เชื้อเพลิง	Translation velocity (m/s)	
	d = 8 mm.	d = 10 mm.
E50	0.82	0.87
E60	0.82	0.88
E70	0.84	0.91
E80	0.84	0.92
E90	0.86	0.92
E100	0.94	1.03

จากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้เชื้อเพลิงเอทานอลในเครื่องยนต์ขณะยังไม่มี การปรับปรุงเครื่องยนต์คือการเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงเพราะเอทานอลมีค่าความร้อนในเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่าเบนซิน ทำให้กำลังและสมรรถนะของเครื่องยนต์ลดลง [1] และ [2] ตลอดจนค่าสัมประสิทธิ์แปรผันของความดันยังผลเฉลี่ย [3] ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการลามของเปลวไฟในการเผาไหม้ที่ช้าลง และเมื่อปรับแต่งเครื่องยนต์โดยการเพิ่มปริมาณการจ่ายของเชื้อเพลิงเพื่อชดเชยค่าความร้อนที่ต่ำกว่าเบนซิน เช่น การเพิ่มขนาดของนวมหนูในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนระบบจ่ายเชื้อเพลิงแบบคาร์บูเรเตอร์ [4] ทำให้แรงบิดและกำลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างเบนซินและเอทานอลมีค่าแรงบิดและกำลังงานที่เท่ากัน ตลอดจนการปรับช่วงเวลาการฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด ทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์สูงขึ้น [5] และการเพิ่มปริมาณการฉีดและการเพิ่มความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้โดยใช้เทอร์โบ [6] ทำให้ค่าเศษส่วนมวลในการเผาไหม้ที่เร็วขึ้นตามปริมาณเปอร์เซ็นต์ของเอทานอลที่ผสมกับเบนซิน [7] ซึ่งสาเหตุที่สมรรถนะของการเผาไหม้ที่ดีขึ้นอ้างอิงมาจากความเร็วของเปลวไฟในการเผาไหม้ ดังนั้นการที่จะเข้าใจถึงการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่แท้จริง จึงจำเป็นต้องมองเห็นถึงกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นการยากที่จะทำให้เห็นถึงจุดนี้ได้ จึงมีแนวคิดสร้างเพื่อให้เห็นลักษณะการลามของเปลวไฟ ซึ่งห้องเผาไหม้ใหม่ปริมาตรคงที่ใช้ในการทดลองการลามของเปลวไฟของเชื้อเพลิงเอทานอลนั้นมีผู้ที่ได้ทำมาแล้ว [8] แต่เป็นการจำลองการเผาไหม้ในเรื่องของการเพิ่มอุณหภูมิที่สถานะเริ่มต้นของเชื้อเอทานอลเพียงเชื้อเพลิงเดียว และ [9] เป็นการจำลองสถานะการเริ่มต้นสตาร์ทของเครื่องยนต์ในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ ช่วงอุณหภูมิในสถานะเริ่มต้นการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง E0 E15 E30 และ E100 ซึ่งอุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้นั้นไม่ได้อยู่ในช่วงการทำงานของเครื่องยนต์จริงที่สถานะคงที่ ประกอบกับอัตราส่วนของเชื้อเพลิงเบนซินผสมเอทานอลที่ใช้ในประเทศไทยนั้นไม่มีจำหน่าย งานวิจัยนี้ได้มีข้อแตกต่างคือ ได้จำลองการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เมื่อสถานะคงที่ และได้มีการ

เปรียบเทียบตัวแปรในการเผาไหม้ที่มีผลต่อการเผาไหม้ได้แก่ เปอร์เซ็นต์เอทานอลในอัตราส่วนที่ E0 E20 E85 E100 ตลอดจนการปรับค่าอัตราส่วนสมมูลที่ 0.8 1.0 1.2 1.4 อุณหภูมิที่สถานะเริ่มต้น ก่อนการเผาไหม้ที่ 450 องศาเซลเซียส และ 470 องศาเซลเซียส ตลอดจนการปรับความดันเกจที่สถานะ เริ่มต้น ที่ 0.98 บาร์ และ 1.47 บาร์ เพื่อศึกษาว่าตัวแปรในการเผาไหม้ใดที่ส่งปัจจัยผลต่อการลาม ของเปลวไฟมากที่สุด เพราะปัจจัยเหล่านี้มีผลอย่างยิ่งในการใช้เชื้อเพลิงเอทานอลผสมเบนซินต่อ ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ ค่ามลพิษ ค่าอัตราการสิ้นเปลืองของเครื่องยนต์

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ในงานวิจัย ขั้นตอนการศึกษา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานในงานวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วย อัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิง เบนซินกับเอทานอล การถ่ายภาพด้วยเทคนิคซูริเรน การเผาไหม้และเกิดเปลวไฟ ขั้นตอนในการเผา ไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ทฤษฎีการลามของเปลวไฟแบบลาร์มินาร์ ผลของ ปฏิกริยาทางเคมีและการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่มีผลต่อความเร็วในการลุกไหม้ของเปลวไฟ เศษส่วนของมวลในการเผาไหม้

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบอุปกรณ์การทดลอง เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง อุปกรณ์การ ทดลอง วิธีการทดลอง

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการเปรียบเทียบความดันในการเผาไหม้ ภาพถ่ายการลามของเปลวไฟ ผล ของการวัดพื้นที่ในการลามของเปลวไฟ

บทที่ 5 ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานในงานวิจัย

2.1 อัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ (Theoretical Air-fuel Ratio)

อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิง (Air-fuel Ratio) ตามทฤษฎีของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนคือส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงที่จำเป็นสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 14.7:1 หรือ ประมาณ 15:1 โดยน้ำหนัก จึงจะทำให้ค่ากำลัง การอัตราการสิ้นเปลือง ค่ามลพิษที่ได้จากเครื่องยนต์เหมาะสมที่สุด แต่หากเราใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนนั้น ค่าอัตราส่วนของเชื้อเพลิงจะอยู่ในช่วงบาง ซึ่งทำให้เครื่องยนต์มีสมรรถนะที่ลดลง และค่ามลพิษที่เพิ่มขึ้น

2.1.1 วิธีการหาอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงเบนซินผสมเอทานอล

กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จะเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างออกซิเจนในอากาศกับคาร์บอน(C) และไฮโดรเจน (H) ในเชื้อเพลิงทำให้ได้พลังงานในรูปของความร้อนออกมา และทำให้ความดันภายในกระบอกสูบเพิ่มสูงขึ้น ผลจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้นี้ จะเกิดขึ้นในจังหวะระเบิดหรือจังหวะงาน จึงทำให้สามารถนำกำลังงานที่ได้รับไปใช้งานได้-ตามต้องการ

โดยทั่วไปอากาศประกอบด้วยออกซิเจน (O₂) ประมาณ 22% โดยน้ำหนัก หรือ 21% โดยปริมาตรดังนั้นอากาศที่ต้องใช้ผสมกับเชื้อเพลิงจึงมีปริมาณที่มากกว่าเชื้อเพลิงมาก ปริมาณความต้องการอากาศในทางทฤษฎีสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เรียกว่า Stoichiometric Air Fuel Ratio สำหรับเชื้อเพลิงเบนซินผสมเอทานอลซึ่งมีสมการเคมี C₂H₅OH+ C_{8.26}H_{15.5} สมการการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงเบนซินผสมเอทานอล คือ



จะ ได้ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงของยกตัวอย่างเบนซินผสมเอทานอล 85 เปอร์เซนต์ (E85) เมื่อเปลี่ยนรูปสมการที่ 2.1 คือ

$$(A/F)_s = \frac{(3X+12.13Y) \times 4.773 \times 29}{46X+114.8Y} \quad (2.2)$$

โดย X คือ อัตราส่วนของเอทานอลในน้ำมันเชื้อเพลิงเช่น E85 X คือ 0.85

Y คือ อัตราส่วนของเบนซินในน้ำมันเชื้อเพลิงเช่น E85Y คือ 0.15

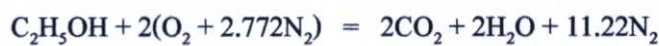
จากสมการที่ 2 สามารถหาค่าอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละส่วนของเชื้อเพลิงเบนซินผสมเอทานอลได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงเบนซินผสมเอทานอล

เชื้อเพลิง	อัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงตามทฤษฎี
E0	14.60
E20	14.11
E85	10.74
E100	9.0

2.1.2 การเผาไหม้เชื้อเพลิงเอทานอล

สำหรับเอทานอลซึ่งมีสมการเคมี C_2H_5OH สมการการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของเอทานอล คือ



คิดในหน่วยโมล

$$1 + 2(1 + 2.772) = 2 + 2 + 11.22$$

$$1 + 14.22 = 16.22$$

คิดในหน่วยน้ำหนัก

$$46.07 + (14.22 \times 28.96) = (2 \times 44.01) + (2 \times 18.02) + (11.22 \times 28.16)$$

$$46.07 + 414.71 = 88.02 + 46.06 + 218.77$$

$$460.78 = 460.78$$

เพราะฉะนั้นจำนวนอากาศที่ใช้ต่อ 1 กิโลกรัมของเอทานอล จะได้

$$(A/F)_s = \frac{414.71}{46.07} = 9.00$$

นั่นคือเชื้อเพลิงเอทานอล 1 กิโลกรัมจะต้องใช้อากาศ 9 กิโลกรัมจึงจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ในทางทฤษฎี

2.1.3 การควบคุมอัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศทางทฤษฎีก่อนทำการเผาไหม้

การควบคุมส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศในทางทฤษฎีในการเผาไหม้นั้นค่าของมวลของอากาศที่ป้อนเข้าห้องเผาไหม้ สามารถหาได้จาก สมการที่ (2.2)

$$m_a = \frac{PV}{R_g T_u} \quad (2.2)$$

โดยที่

P คือ ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้

V คือ ปริมาตรของห้องเผาไหม้

R_g คือ ค่าจุความร้อนจำเพาะของอากาศ

T_u คือ อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้

จากนั้นสามารถหาค่าอัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิงกับอากาศ [11] ได้จากสมการที่ (2.4)

$$\phi = \frac{(m_f / m_a)_{actual}}{(m_f / m_a)_{theory}} \quad (2.4)$$

โดยที่

$(m_f / m_a)_{actual}$ คืออัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศจริง

$(m_f / m_a)_{theory}$ คืออัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศตามทฤษฎี

2.1.4 การใช้เชื้อเพลิงเอทานอลกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน

เครื่องยนต์แก๊สโซลีนและเครื่องยนต์ดีเซลคือเครื่องยนต์ที่มีใช้กันมาในปัจจุบันนี้ซึ่งเครื่องยนต์ทั้ง 2 แตกต่างกันในลักษณะการทำงาน ส่วนประกอบของเครื่องยนต์และที่สำคัญที่สุดคือ วิธีการจุดระเบิดเชื้อเพลิง (Fuel Ignition) เครื่องยนต์แก๊สโซลีนใช้ประกายไฟในการจุดระเบิดเชื้อเพลิงในตอนเริ่มต้นและเกิดการเผาไหม้ตัวเองต่อไปอย่างรวดเร็วในขณะที่เครื่องยนต์ดีเซลอาศัยความร้อนจากอากาศอัดในห้องเผาไหม้จุดระเบิดเชื้อเพลิง จากลักษณะที่ต่างกันของเครื่องยนต์นี้ทำให้เชื้อเพลิงที่จะนำมาใช้ก็จะมีคุณสมบัติที่ต่างกันด้วย เพื่อให้เหมาะกับเครื่องยนต์แต่ละแบบ

จากการเพิ่มขึ้นของราคาเชื้อเพลิงในปัจจุบันทำให้มีการสนใจเชื้อเพลิงทดแทน (Alternate Fuel) ที่จะนำมาทดแทนเชื้อเพลิง ฟอสซิล (Fossil Fuel) กันมากขึ้น เอทานอล (Ethanol) เป็นเชื้อเพลิงจากพืชการเกษตรหรือของเสียจากการเกษตร สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนและเครื่องยนต์ดีเซลได้

เอทานอลไม่ใช่เชื้อเพลิงเฉพาะสำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีนหรือดีเซลเลยทีเดียว แต่เป็นเชื้อเพลิงที่ทดแทนได้ โดยเฉพาะเครื่องยนต์แก๊สโซลีนจะมีความเหมาะสมมากกว่าในเครื่องยนต์ดีเซล ลักษณะเฉพาะของเชื้อเพลิงเอทานอลที่ใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายใน ได้มีการพัฒนามากกว่า 75 ปีแล้วและได้คุณสมบัติของเชื้อเพลิงเอทานอล ดังในตารางที่ 2.2 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบสมบัติของเชื้อเพลิงเอทานอลและเบนซิน

2.1.5 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงเอทานอล

คุณสมบัติของเชื้อเพลิงเอทานอลแสดงดังในตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นเนื่องจากเอทานอลมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากแก๊สโซลีนเพราะฉะนั้นการนำเชื้อเพลิงเอทานอลมาใช้แทนแก๊สโซลีนนั้นจะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติที่แตกต่างเพื่อที่จะให้เครื่องยนต์ทำงานได้เหมาะสมนั้นคือ

ก. จากสมการเคมีของเอทานอล C_2H_5OH จะเห็นได้ว่านอกเหนือจากอะตอมของไฮโดรเจน (H) และคาร์บอน (C) ที่มีอยู่เหมือนในแก๊สโซลีนแล้วในเอทานอลยังมีอะตอมของออกซิเจน (O) เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ซึ่งอะตอมของออกซิเจนจะจับตัวอยู่ในรูปของอนุมูลไฮดรอกซิล (Hydroxy - OH) ทำให้โมเลกุลของเอทานอลมีคุณสมบัติเป็นโพลาร์ (Polar) ซึ่งมีปฏิกิริยาสูงกว่าแก๊สโซลีน จึงทำให้มีอำนาจในการกักความร้อนสูงกว่าแก๊สโซลีน ซึ่งจะส่งผลการกักความร้อนต่อชิ้นส่วนที่เป็นโลหะและพลาสติก ดังนั้นการนำเอทานอลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนจึงจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนวัสดุหรือการเคลือบสารที่ด้านทานการกักความร้อนของเอทานอลในชิ้นส่วนที่ต้องสัมผัสกับเอทานอล

ข. ค่าความจุพลังงาน (Energy Content) จากตารางที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าค่าความร้อนต่อหน่วยน้ำหนักของเอทานอลนั้นมีค่าน้อยกว่าแก๊สโซลีนประมาณ 20% ดังนั้นเมื่อใช้เอทานอลแทนแก๊สโซลีน จะต้องให้ปริมาณเชื้อเพลิงมากขึ้นเพื่อให้เครื่องยนต์สามารถทำงานได้เช่นเดิมและจาก

ค. ค่าความร้อนแฝงของการระเหย (Latent Heat of Vaporization) จากตารางที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าเอทานอลมีค่าความร้อนแฝงการระเหยตัวสูงกว่าแก๊สโซลีนประมาณ 2 เท่า ซึ่งแสดงว่าเมื่อใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงแทนแก๊สโซลีน เอทานอลจะมีการดึงความร้อนเพื่อการระเหยตัวในท่อไอดีมากกว่าจะทำให้อุณหภูมิในท่อไอดีต่ำกว่า ซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องยนต์ดังนี้

เมื่ออุณหภูมิในท่อไอดีต่ำ อากาศที่ถูกดูดเข้ามาก็จะมีความหนาแน่นสูงขึ้นทำให้ลูกสูบสามารถดึงอากาศเข้ามาได้มากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรสูงขึ้น และกำลังของเครื่องยนต์มากขึ้น มีงานวิจัยหนึ่งได้รายงานว่าการกำลังที่ได้ (Power Output) จากเครื่องยนต์ที่ใช้เอทานอล (95%) เป็นเชื้อเพลิงมีค่าสูงกว่าการใช้แก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิงประมาณ 2% ที่อัตราส่วนการอัดเดียวกัน

การสมดุลสมการทางเคมีเชื้อเพลิงทั้งสองที่การเผาไหม้สมบูรณ์ (Stoichiometric) แก๊สโซลีนจะได้ A/F ประมาณ 14.6 ในขณะที่เอทานอลมีค่าเพียง 9 เพราะฉะนั้นถ้าเอทานอลใช้ อัตราส่วนเดียวกับแก๊สโซลีนก็จะทำให้ส่วนผสมของเอทานอลกับอากาศที่ได้บางมากทำให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างลำบากและทำให้การสตาร์ทติดยาก เพราะฉะนั้นจะต้องเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงที่เข้าห้องเผาไหม้

จากการที่เอทานอลต้องใช้ความร้อนในการระเหยตัวที่มากกว่าทำให้สภาวะที่อุณหภูมิในบรรยากาศต่ำ การระเหยตัวของเอทานอลเป็นไปได้อย่างยากทำให้มีปัญหาในการสตาร์ทเครื่องในขณะอากาศเย็น ซึ่งเอทานอลสามารถกลายเป็นไอเพื่อการเผาไหม้ได้ที่อุณหภูมิค่าประมาณ $10^{\circ}C$ และจะมีปัญหากับการสตาร์ทในสภาวะอากาศเย็นที่อุณหภูมิประมาณ $4^{\circ}C$ โดยมีการศึกษาแก้ปัญหาครั้งนี้โดยบางงานวิจัยใช้วิธีผสมแก๊สโซลีนเข้าไปประมาณ 5-10 % หรือบางงานวิจัยใช้อีเทอร์ (Ether) และอะซิโตน (Acetone) ผสมลงไปประมาณ 21% ในเอทานอลซึ่งจากผลการทดลองปรากฏว่าสามารถสตาร์ทเครื่องได้ที่อุณหภูมิต่ำถึง $18^{\circ}C$

ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบสมบัติของเชื้อเพลิงเอทานอลและเบนซิน [17]

Fuel	Gasoline	Ethanol
Chemical Formula (<i>l</i>)	$C_{8.26}H_{15.5}$	C_2H_5OH
Molecular Weight	114.8	46.07
Specific Gravity	0.72-0.78	0.785
Oxygen content (wt%)	-	24.8
Freezing Point ($^{\circ}C$)	-40	-114
Reid Vapor Pressure (kPa)	55-102	16
Higher Heating Value (kJ/kg)	47,200	29,700
Lower Heating Value (kJ/kg)	44,000	26,900
Heat of Vaporization (kJ/kg)	205	840
LHV of Stoich. Mixture (kJ/kg)	2,820	2,690
Research Octane Number (RON)	92-98	107
Motor Octane Number (RON)	80-90	89
Stoichiometric A/F ratio	14.6	9
Adiabatic flame temperature (K)	2,266	2,197

ง. ค่าออกเทน (Octane) ค่าออกเทนเป็นตัวเลขที่ใช้บอกคุณสมบัติด้านทานการน็อกของเชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องยนต์ จากตารางที่ 2.2 จะเห็นว่าเชื้อเพลิงเอทานอลมีค่าออกเทนสูงกว่าแก๊สโซลีน ซึ่งสามารถที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ได้โดยการเพิ่มอัตราส่วนกำลังอัดได้ ซึ่งการศึกษาทดลองใช้ใน บราซิล พบว่าเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงสามารถเพิ่มอัตราส่วนกำลังอัดของเครื่องยนต์ได้ถึง 18:1 (สำหรับเอทานอล 99.5%) แต่ในการใช้งานจริงจะอยู่ที่ประมาณ 12:1

จ. ค่า Adiabatic flame temperature คือค่าอุณหภูมิของเปลวไฟ พบว่ามีค่าของอุณหภูมิในการเผาไหม้ที่ต่ำกว่าเบนซิน ทำให้การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีและการนำของความร้อนจากภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ออกสู่สภาวะแวดล้อมน้อยกว่าเมื่อมีการปรับค่าอัตราส่วนเชื้อเพลิงในปริมาณที่เหมาะสม

2.2 เทคนิคการถ่ายภาพแบบซูริเรน

เทคนิคการถ่ายภาพแบบซูริเรน [12] โดยปกติแล้วตาของคนเราหรือกล้องถ่ายรูปแบบธรรมดาไม่สามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างสถานะของสารต่างๆ ในลำแสงหนึ่งๆ ได้ เราสามารถเห็นได้เฉพาะความสว่างแสง ความแตกต่างของสีและ โพลาริเซชันของแสง ถ้ามนุษย์สามารถมองเห็นความแตกต่างระหว่างสถานะของแสงได้มนุษย์จะสามารถเห็นทัศนียภาพใหม่ๆ ที่ไม่เคยมองเห็นมาก่อน ทัศนียภาพเหล่านั้นเป็นสิ่งที่สามารถจะมองเห็นได้ด้วยวิธีซูริเรนซึ่งสามารถเปลี่ยนความต่างสถานะของแสงให้เป็นความสูงต่ำของแสง และความแตกต่างของสีในบางครั้ง

2.2.1 การกระจายตัวของแสงเมื่อผ่านตัวกลางที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

แสงจะกระจายตัวอย่างเป็นรูปแบบเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นเนื้อเดียวกัน เช่น แสงจากดวงดาวจะไม่ถูกรบกวนใดๆขณะที่เดินทางผ่านสุญญากาศ ถ้าสมมติให้บรรยากาศโลกเป็นเนื้อเดียวกัน แสงจากดาวที่มาถึงพื้น โลกจะเป็นลำแสงขนาน แต่ในความเป็นจริงแล้วบรรยากาศของโลกไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกันเนื่องมาจากการไหลอย่างปั่นป่วน การพาความร้อนของอากาศ และปรากฏการณ์ทางสภาพอากาศ เป็นต้น ความไม่สมดุลเหล่านี้ทำให้ความหนาแน่นของบรรยากาศโลกเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยส่งผลให้ดัชนีการหักเหเปลี่ยนไป ดังนั้นรังสีแสงของแสงจากดาวจะไม่ตรง หน้าคลื่นของแสงจะตั้งฉากกับแนวลำแสงเสมอ หน้าคลื่นจะเริ่มย่นเมื่อมีการเปลี่ยนของสถานะ ดังนั้นรูปของดาวจะไม่เป็นรูปจุดเพราะความผันแปรของบรรยากาศเกิดขึ้นตลอดเวลา เราจึงเห็นดาวกระพริบ ความแปรปรวนเหล่านี้เองทำให้นักดาราศาสตร์ต้องนำกล้องโทรทรรศน์ขึ้นไปวางในวงโคจรที่อยู่นอกชั้นบรรยากาศแสงจะมีความเร็วไม่เท่ากันในตัวกลางที่แตกต่างกัน ดัชนีการหักเหของแสง $n = c_0/c$ สำหรับตัวกลางโปร่งใส โดย c คือความเร็วของแสงในตัวกลาง c_0 คือความเร็วของแสงในสุญญากาศเท่ากับ 2×10^8 เมตรต่อวินาที

สำหรับอากาศและก๊าซอื่นๆ ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีการหักเหกับความหนาแน่นของก๊าซ คือ

$$n = 1 + k(\lambda) * \rho \quad (2.5)$$

โดย k ค่าคงที่ของ Gladstone-Dale ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสง λ สำหรับอากาศปกติจะมีค่า k ประมาณ $0.22 \text{ cm}^2/\text{g}$ เราจะสังเกตได้ว่าค่าของ n จะขึ้นอยู่กับ ρ การเปลี่ยนความหนาแน่นของอากาศเพิ่มจากเดิม สองเท่าจะทำให้ n เพิ่มขึ้นเพียง 2% เท่านั้น ดังนั้นถ้าเราต้องการทราบความหนาแน่นที่เปลี่ยนไปเล็กน้อยนั้นเราจะต้องการเลนส์ที่มีความไวสูง

จากที่กล่าวมาข้างต้นแล้วว่าวิธีซูริเรนสามารถทำให้มองเห็นของไหลที่มีความหนาแน่นแตกต่างกันได้ เราสามารถทำวิธีซูริเรนมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยด้านต่างๆ ได้ เช่น การสังเกตการไหลแบบ Supersonic เราจะสามารถเห็นคลื่นกระแทกและคลื่นขยายซึ่งสามารถเห็นได้ชัดเจนด้วย

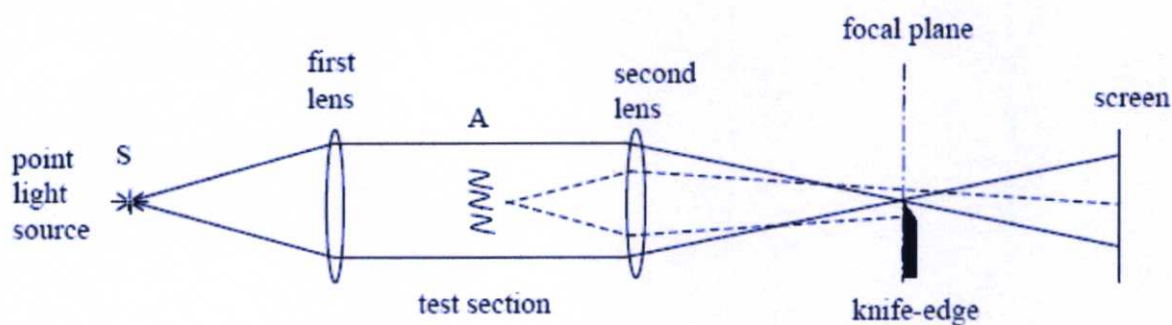
วิธีซูรีเรนการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จึงเป็นพื้นฐานในการออกแบบยานพาหนะความเร็วสูงเพราะว่าความเสถียรของยานพาหนะประเภทนี้จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของคลื่นกระแทกและคลื่นขยาย ไม่เพียงแต่การไหลแบบ Supersonic เท่านั้นที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่น การไหลแบบ subsonic ที่มีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นก็เหมาะที่จะศึกษาด้วยวิธีซูรีเรนเช่นกัน การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะทำให้ความหนาแน่นของตัวกลางมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งวิธีซูรีเรนเป็นวิธีหนึ่งที่จะใช้ในการสังเกตการพาความร้อน

2.2.2 วิธีซูรีเรน (Schlieren Method)

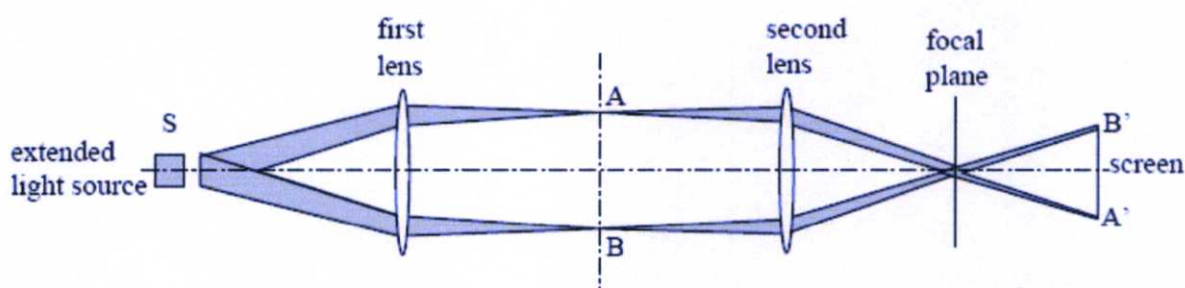
แหล่งกำเนิดแสงเป็นจุดจากรูปที่ 2.2 การจัดวางแหล่งกำเนิดแสงวางอยู่ในตำแหน่งจุดโฟกัสของเลนส์ตัวที่ 1 แสงที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงจะถูกหักเหโดยเลนส์ให้กลายเป็นลำแสงขนานผ่านช่วงที่ทดสอบ (Test Section) โดยเลนส์ตัวที่ 2 จะทำหน้าที่รวมแสงภาพที่เกิดขึ้นบนฉากนั้นจะเป็นภาพจริงหัวกลับของสิ่งที่ทดสอบ แต่เนื่องจากภาพเงาของสิ่งที่ทดสอบที่ได้บนฉากในขณะนี้จะมีลักษณะที่มัวไม่ชัดเจน จึงต้องมีการเพิ่มมิดคัดแสงเข้าไปในระบบในตำแหน่งจุดโฟกัสของเลนส์ตัวที่ 2 เพื่อให้ภาพที่เกิดขึ้นนั้นคมชัดสมบูรณ์ขึ้น

เมื่อวางมิดคัดแสงในตำแหน่งจุดโฟกัสจะทำให้ภาพที่ปรากฏมีดขึ้น เนื่องจากมิดคัดแสงวางอยู่ในตำแหน่งจุดโฟกัสซึ่งรวมลำแสงให้กลายเป็นจุด มิดคัดแสงจะคัดแสงส่วนเกินออกจากลำแสงโดยการวางขวางเส้นทางการเดินของแสงเหล่านั้น อย่างไรก็ตามเลนส์ตัวที่ 2 จะรวมแสงจากทุกจุดของสิ่งที่ทดสอบให้เกิดภาพบนฉากได้ทั้งหมด ลำแสงสองเส้นที่แสดงในรูปที่ 2.2 เส้นหนึ่งถูกหักเหเอียงขึ้นด้านบนอีกเส้นหนึ่งหักเหเอียงลงด้านล่าง ลำแสงทั้งสองเส้นไม่ผ่านจุดโฟกัสของเลนส์ตัวที่ 2 ลำแสงเส้นบนจะทำให้จุดตำแหน่งหนึ่งบนฉากสว่างขึ้น แต่ลำแสงเส้นล่างถูกมิดคัดแสงบังไว้ ทำให้จุดดังกล่าวที่สว่างบนฉากมีดลงต่อต้านกับการสว่างขึ้น ที่จุดนี้เองความต่างสถานะที่เกิดขึ้นในแนวตั้งจะถูกแปลงภาพที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าให้สามารถมองเห็นได้ โดยปกติแล้วลำแสงที่เกิดขึ้นจริงมีแนวลำแสงมากมายที่หักเหไปในหลายทิศทางเช่นเดียวกับกับลำแสงที่ยกตัวอย่างนี้ ทุก ๆ ลำแสงที่เบี่ยงเบนจะถูกบังไว้ด้วยมิดคัดแสงทำให้เกิดรูปร่างในส่วนต่าง ๆ ของสิ่งที่ทดสอบเกิดขึ้นบนฉากที่สว่าง

เมื่อพิจารณาเกี่ยวกับมิดคัดแสงแล้วจะพบว่า มิดคัดแสงในแนวที่แสดงในรูปจะไม่มีผลต่อลำแสงที่เบี่ยงเบนในแนวนอน ดังนั้นการวางแนวของมิดคัดแสง จึงต้องพิจารณา มีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นในแนวแกนไหนบ้างและต้องการพิจารณาในแนวแกนไหนจึงจะได้ประสิทธิภาพของภาพถ่ายสูงสุด



รูปที่ 2.1 แสดงระบบจურიเรนที่มีแหล่งกำเนิดแสงเป็นจุดแหล่งกำเนิดแสงมีขนาดแบบมีมิดตัดแสง (Knife-edge) [12]



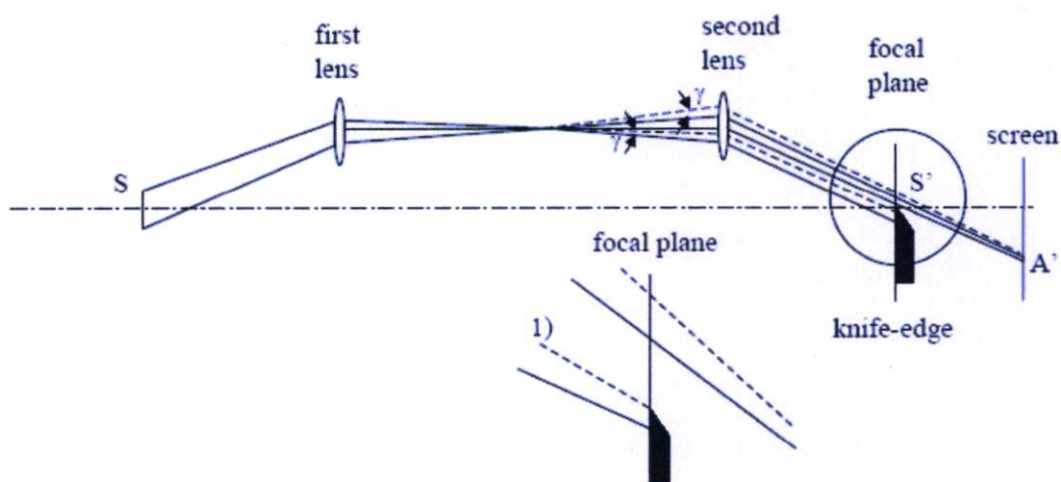
รูปที่ 2.2 แสดงระบบจურიเรนที่มีแหล่งกำเนิดแสงมีขนาดแบบไม่มีมิดตัดแสง (Knife-edge) [12]

จากรูปที่ 2.2 ทุกๆจุดบน S ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง ลักษณะของลำแสงจะค่อนข้างจะเหมือนกับแหล่งกำเนิดแสงแบบจุด ในระบบแบบนี้ทุกๆจุดในหน้าตัด AB จะได้รับแสงจากแต่ละจุดของแหล่งกำเนิดแสง ยกตัวอย่างเช่น ทุกๆลำแสงที่ผ่านจุด A จะทำให้เกิดภาพบนฉากที่จุด A' ซึ่งจะเห็นได้ว่าทุกๆจุดบนฉากจะได้รับแสงในปริมาณที่เท่ากันจากจุด A ซึ่งหมายความว่าเกิดการูบบนฉากจะมีความสว่างเท่ากันหมด

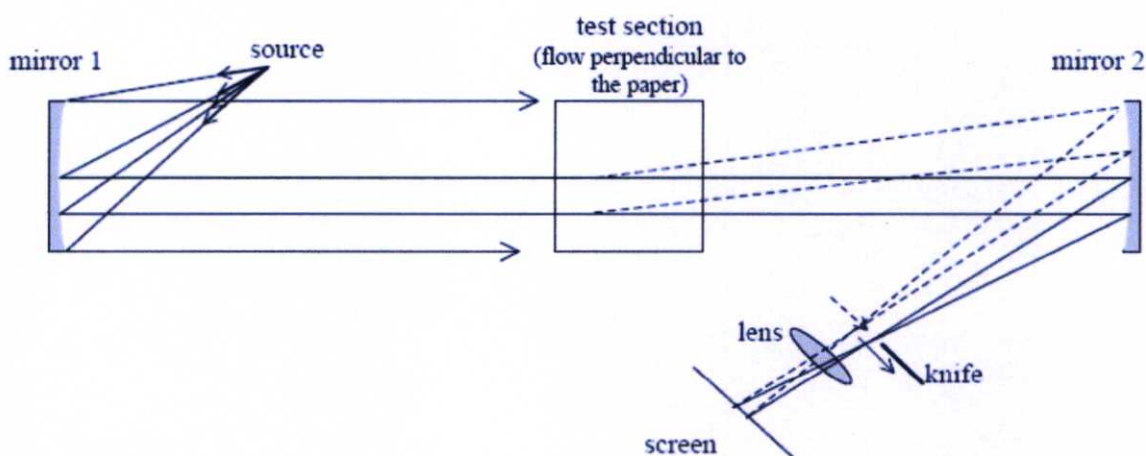
จากภาพสังเกตได้ว่าไม่มีการเบี่ยงเบนของแสง(ช่วงทดสอบไม่มีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น) มิดตัดแสงที่อยู่ในตำแหน่งโฟกัสของเลนส์ตัวที่ 2 จะตัดบางส่วนของภาพ A' ซึ่งเหตุนี้เองส่งผลให้ภาพที่เกิดขึ้นทุกๆจุดบนฉากจะมีขนาดเล็กกว่าภาพเมื่อไม่มีมิดตัดแสงจะตัดแสงในปริมาณที่เท่ากันของภาพทุกจุดที่เกิดขึ้นบนฉากทำให้เกิดความสว่างที่เท่ากันทั้งภาพ ถ้ามีความหนาแน่นที่ตำแหน่ง S จะลำแสงหักเหผ่านจุด A เราอนุมานได้ว่าทุกๆลำแสงเบี่ยงเบนทำมุมเท่าๆกันเท่ากับ γ ผลที่เกิดขึ้นคือจะมีแสงเพียงส่วนหนึ่งที่กระทบกับมิดตัดแสง และแสงที่ผ่านมิดตัดแสงที่ตำแหน่ง S' มีปริมาณเพิ่มขึ้น การหมุนมิดตัดแสงไป 180 องศาครบแแกน จะทำให้จุด S' มีความสว่างน้อยลง

เมื่อพิจารณาลำแสง 1 ในรูปที่ 2.3 แนวลำแสงอยู่ในตำแหน่งค่อนข้างเหนือมิดตัดแสงเล็กน้อยแทนที่จะส่องชนมิดตัดแสง ซึ่งหมายความว่าทุกๆลำแสงที่ผ่านจุด A จะตกลงบนฉาก

ทั้งหมดทำให้ภาพที่เกิดขึ้นไม่คมชัดเท่าที่ควร ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการเลื่อนตำแหน่งของมีดตัดแสงไปตามแนวลำแสง ถ้ามีดตัดแสงเลื่อนไปยังตำแหน่งโฟกัสของเลนส์พอดีจะทำให้ปริมาณแสงเพียงเล็กน้อยที่จะตกลงบนฉากทำให้ภาพที่เกิดขึ้นมีคดลง ผลที่เกิดขึ้นก็คือเราสามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงเล็กๆที่เกิดขึ้นในช่วงทดสอบได้จากการเปลี่ยนแปลงความสว่างของแสงและทำให้ระบบตอบสนองได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 2.3 แสดงแหล่งกำเนิดแสงมีขนาดและมีดตัดแสง[12]



รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างชุดทดลองชวรีเรน [12]

ชุดทดลองในรูปที่ 2.4 เป็นแบบที่นิยมใช้มากที่สุด โดยจะใช้กระจกเว้าเพราะผลิตได้ง่าย ไม่ดูดกลืนแสงหรือสี เนื่องจากการผลิตเลนส์ที่มีขนาดใหญ่ซึ่งมีจุดโฟกัสยาวนั้นทำได้ยากกว่าการที่ผลิตกระจกเว้ามาก ใช้กระจกเว้าบานที่ 1 (Mirror 1) และกระจกเว้าบานที่ 2 (Mirror 2) โดยมีความโค้งเป็น พาราโบลา แต่ถ้ากระจกมีขนาดเล็กจะใช้เป็นกระจกโค้งรัศมีวงกลมได้

สำหรับการติดตั้งชุดอุปกรณ์นั้นมุมตกกระทบของกระจกเว้าบานที่ 1 และมุมสะท้อนของกระจกเว้าบานที่ 2 ควรจะมีขนาดเล็กเพื่อป้องกันการผิเค้นของแสง ซึ่งควรจะเล็กกว่า 7 องศา และระยะห่างระหว่างกระจกเว้าทั้งสองบานควรจะมากกว่า 2 เท่าของความยาวโฟกัส บางครั้งอาจจะนำเอากระจกบานมาใช้เพื่อย่นระยะทางได้สำหรับระยะห่างระหว่างกระจกเว้าทั้งสองนั้น ควรจะยาวกว่าความยาวโฟกัสของกระจกเว้าบานที่ 2

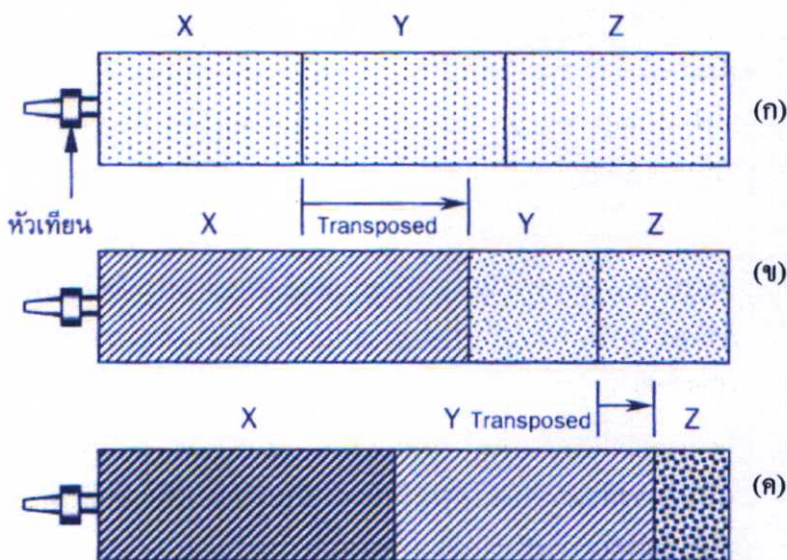
กระจกเว้าบานที่ 1 และกระจกเว้าบานที่ 2 ควรจะอยู่ในระนาบเดียวกันหันตรงเข้าหากัน โดยมีความสมมาตรรอบจุดศูนย์กลางของกระจกทั้ง 2 บาน

การนำเอา Color Filter มาแทนใบมีด (Knife edge) ทำให้รูปที่ได้เป็นรูปสี Color Schlieren และสามารถเห็นค่าความหนาแน่นของบริเวณนั้นๆ ได้ง่ายขึ้น

2.3 การเผาไหม้และการเกิดเปลวไฟ

เป็นที่ทราบกันดีว่าการเกิดการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟจะถูกแบ่งออกเป็น 2 แบบ [12] คือ การเผาไหม้ที่ปกติและการเผาไหม้ที่ผิดปกติ ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงการเผาไหม้ที่ปกติ ในทางทฤษฎีนั้นจะถือว่าจะเกิดการเผาไหม้พร้อมกันทุกจุด แต่ในทางปฏิบัตินั้นการเกิดเปลวไฟนั้นจะเริ่มมีการเผาไหม้เริ่มตั้งแต่เชื้อของหัวเทียนและลามออกไปตามห้องเผาไหม้ ซึ่งการเผาไหม้จะประกอบไปด้วยการเกิดปฏิกิริยา (Reaction) และการเคลื่อนที่ของเปลวไฟ (Transposition)

การเกิดปฏิกิริยาเคมีทำให้เกิดการลุกไหม้ ส่วนการลุกไหม้ของเปลวไฟคือ การเคลื่อนที่ทางกายภาพของเปลวไฟเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ห้องเผาไหม้ดังรูปที่ 2.5 จะช่วยให้เกิดความเข้าใจในการเผาไหม้มากขึ้น

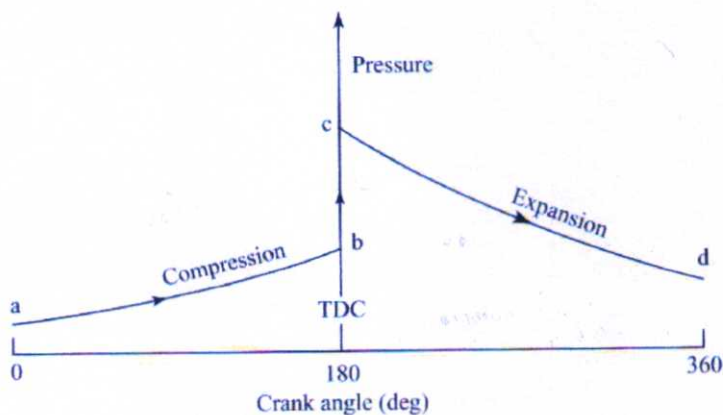


รูปที่ 2.5 การเคลื่อนที่ของเปลวไฟในห้องเผาไหม้ [12]

จากรูปที่ 2.5 (ก) สมมุติพื้นที่ของการเผาไหม้เป็น X, Y, Z ซึ่งแบ่งพื้นที่ในการเผาไหม้เป็นพื้นที่เท่ากันในการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นเมื่อหัวเทียนจุดประกายไฟ จากพื้นที่เกิดการเผาไหม้ด้าน X ก่อน และเมื่อเกิดการเผาไหม้จะเกิดการขยายตัวของก๊าซในห้องเผาไหม้ การขยายตัวของก๊าซร้อนนี้จะขยายตัวของก๊าซร้อนจะไปอัดเชื้อเพลิงส่วนที่เหลืออยู่ก็คือปริมาตร Y, Z ให้มีปริมาณแคบลง ดังรูปที่ 2.5 (ข) และเปลวไฟจะลามท่วม X และแพร่กระจายไปยัง Y, Z และในส่วนของ Y จะขยายของเปลวไฟไปอัดปริมาตรของ Z ให้เล็กลง ในขณะที่ปริมาตรของ X ที่มีการสันดาปไปแล้วก็มีปริมาณเล็กลงเช่นกัน ซึ่ง รูปที่ 2.5 (ค) หากปริมาตรของเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ก็จะมีการเผาไหม้ต่อไปเรื่อยๆต่อไป

2.4 ขั้นตอนในการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

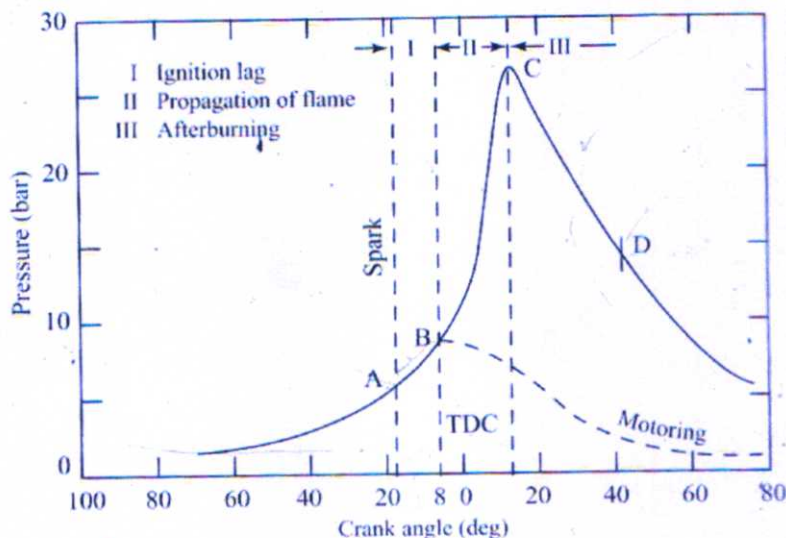
ขั้นตอนในการเผาไหม้ในทางทฤษฎี [12] นั้นสามารถแบ่งช่วงในการเผาไหม้ได้ดังนี้ (a ถึง b) เป็นช่วงในการอัดตัวของลูกสูบ (b ถึง c) เป็นช่วงที่มีการเผาไหม้ (c ถึง d) เป็นช่วงการขยายตัวของปริมาตรในห้องเผาไหม้ ซึ่งในรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นกระบวนการเผาไหม้ทั้งหมด ซึ่งเป็นกระบวนการเผาไหม้ในอุดมคติ แต่ในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จริงไม่สามารถเป็นเช่นนี้ได้ เพราะ เกิดการสูญเสียความร้อนในระบบขั้นตอนที่ 2 (b ถึง c) เป็นช่วงทางกายภาพเกี่ยวกับการแผ่ของเปลวไฟตลอดห้องเผาไหม้โดยถูกแบ่งโดยจุดตัดจากช่วง Motoring ซึ่งจะได้เส้นตัดที่จุด B และในช่วงนี้ความเร็วในการลุกลามของเปลวไฟคงที่ และมีความสำคัญที่ ถ้าความเร็วในการลามของเปลวไฟเร็วขึ้นทำให้การแผ่ความร้อนเข้าผนังห้องเผาไหม้ได้น้อย และความร้อนในช่วงนี้จะถูกระบายไปกับไอเสีย และค่าการปลดปล่อยพลังงานความร้อนจะขึ้นอยู่กับค่า Turbulent intensity รวมถึงไปถึงส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศตลอดจน ความดันในการเผาไหม้ที่แปรผกผันตามปริมาณการปล่อยค่าความร้อน ทั้งนี้เพราะปริมาตรของห้องเผาไหม้ยังคงเป็นช่วงที่ปริมาตรคงที่ (ลูกสูบยังอยู่ตำแหน่ง TDC)



รูปที่ 2.6 กระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟในทางอุดมคติ [12]

ขั้นตอนที่ 2 (c ถึง d) เป็นจุดที่มีความดันในการเผาไหม้สูงสุดที่ จุด C และความเร็วในการเผาไหม้จะลดลงพร้อมกับความดันเผาไหม้จะลดลง จนกระทั่งวาล์วไอเสียเปิด

จากงานวิจัยของ Richado สามารถแบ่งกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟได้เป็น 2 ช่วงดังนี้ โดยเริ่มจากมีการอัดตัวของลูกสูบ แล้วทำการจุดประกายไฟที่ จุด A (โดยเครื่องยนต์ทั่วไปจะมีการเริ่มจุดระเบิดล่วงหน้า ที่ 20 BTDC) จะเริ่มมีปฏิกิริยาจากการเผาไหม้ที่จุด B ประมาณที่ 8 ATDC และเผาไหม้จนได้ความดันสูงสุดในการเผาไหม้ที่ จุด C โดยแบ่งกระบวนการในการเผาไหม้ 2 ขั้นตอนดังนี้



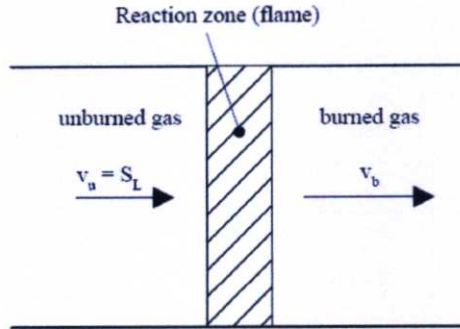
รูปที่ 2.7 กระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ [12]

กระบวนการในขั้นตอนที่ 1 (A ถึง B) โดยที่จุด B อ้างอิงมาจากความล่าช้าในการจุดระเบิด (Ignition lag) เมื่อหัวเทียนจุดประกายไฟไปแล้ว จากนั้นเป็นกระบวนการในขั้นตอนที่ 2 ซึ่งการเริ่มลามของเปลวไฟ (Flame Propagation) โดยเริ่มมีการเผาไหม้ด้วยอนุของเชื้อเพลิงจากส่วนที่เล็กแล้วลามไปทั่วห้องเผาไหม้ ซึ่งปัจจัยผลการติดไฟในช่วงนี้ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้ คุณสมบัติการติดไฟของเชื้อเพลิง ค่าอัตราส่วนไอเสียค้างอยู่ในห้องเผาไหม้ ช่วงสุดท้ายเป็นกระบวนการในช่วงสิ้นสุดการลุกไหม้ของเปลวไฟ (Afterburning) โดยเริ่มนับตั้งแต่ความดันสูงสุดในการเผาไหม้ จนกว่าวาล์วไอเสียเริ่มเปิด

จากค่าความดันในการเผาไหม้นั้นจึงได้มีแนวคิดในการสร้างห้องเผาไหม้แบบปริมาตรคงที่เพื่อจำลองการเผาไหม้สังเกตพฤติกรรมการลามของเปลวไฟประกอบกับวัดความดันในการเผาไหม้ในเชื้อเพลิงต่างๆ ตลอดจนมีการปรับแต่งค่าความดันเกจเริ่มต้นที่มีผลต่อการเผาไหม้ เพื่อศึกษาได้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่ดีที่สุด เป็นแนวทางในการปรับปรุงเครื่องยนต์ที่ใช้พลังงานทดแทนต่อไป

2.5 ทฤษฎีการลามของเปลวไฟแบบลามินาร์ (Lamina flame speed)

ความเร็วในการลามของเปลวไฟแบบลามินาร์ [15] จะถูกกำหนดโดยความเร็วของไอดีเข้าไปเผาไหม้ซึ่งกระบวนการนี้จะเปลี่ยนจากความเร็วในการไหลของไอดีเป็นความเร็วการลุกไหม้ของเปลวไฟ



รูปที่ 2.8 แสดงถึง การเกิดของความเร็วในการลุกไหม้ลามินาร์ โดยที่แก๊สที่ยังไม่เผาไหม้วิ่งเข้าไปหาบริเวณที่ทำการเผาไหม้ที่ $S_L = v_u$ และออกจากบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ความเร็ว $v_b > v_u$. [15]

รูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นถึงขณะที่เปลวไฟหยุดนิ่งอยู่กับที่ โดยที่ความเร็วของก๊าซที่ยังไม่เผาไหม้ (Unburned gas) เคลื่อนที่เข้าหาช่วงที่เกิดการเผาไหม้และมีเปลวไฟที่เผาไหม้ (Burned gas) แล้วมีการลุกไหม้ออกไป ซึ่งความหนาแน่นของของก๊าซที่เผาไหม้แล้วจะมีความหนาแน่นต่ำกว่าก๊าซที่ยังไม่เผาไหม้ ซึ่งในกรณีเครื่องยนต์จริงนั้นก๊าซที่ยังไม่เผาไหม้นั้นจะอยู่กับที่ และช่วงปฏิกิริยาในการเผาไหม้จะเคลื่อนที่โดยทั่วไปความเร็วในการลุกไหม้แบบลามินาร์ จะมีความเร็ว 0.5 เมตรต่อวินาที แต่ในความจริงแล้วค่าของ พื้นที่หน้าตัดของเปลวไฟเมื่อมีการขยายตัวของก๊าซเปลวไฟ แต่ในการทดลองทั่วไปนิยมใช้ความเร็วในการลุกไหม้ของเปลวไฟแบบลามินาร์เพื่อใช้ในการประมาณความเร็วในการลุกไหม้ของเชื้อเพลิง

2.6 วิธีการวัดความเร็วในการลามของเปลวไฟ

วิธีการวัดความเร็วของเปลวไฟนั้นมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน [16] ในวิธีแรกนั้นเปลวไฟจะอยู่กับที่ (stationary flame) ขณะที่วิธีที่เหลือเปลวไฟจะเคลื่อนที่ (flame propagation) ซึ่งมีวิธีในการวัดดังนี้

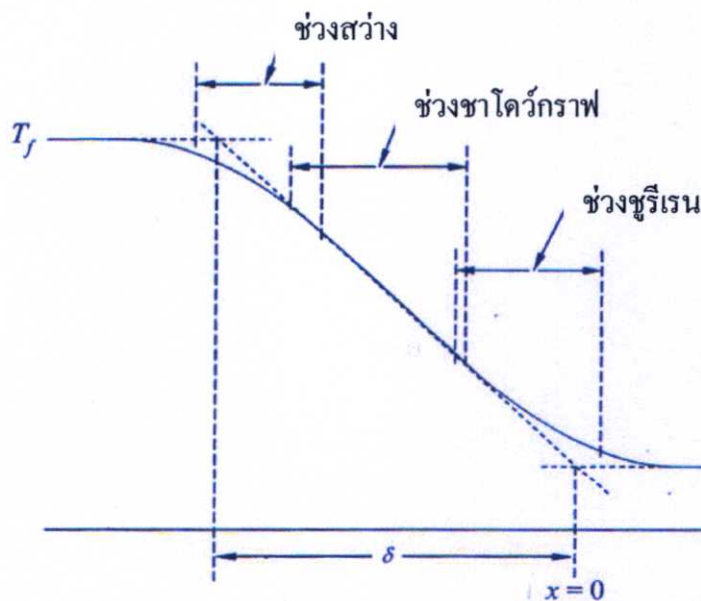
การวัดความเร็วของเปลวไฟ [17] มีหลายมีหลายดังนี้

- วิธีตะเกียงบุนเซน (Bunsen Burner method)
- วิธีฟองสบู่ (Soap-bubble method)
- เทคนิคการติดตามอนุภาค (Particle track method)

- วิธีตะเกียงรูปร่อง (Flat flame burner method)
- วิธีห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ (Constant Volume Combustion Chamber)

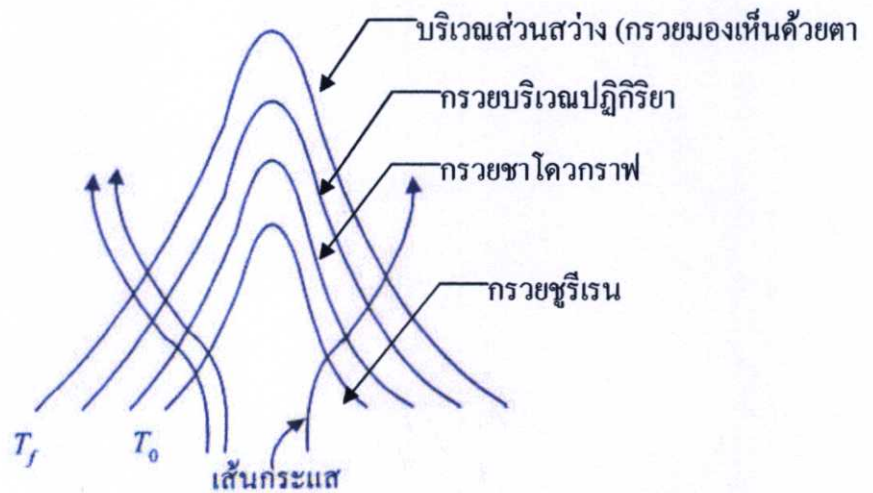
โดยเฉพาะวิธีฟองสบู่นั้นจำเป็นต้องใช้เทคนิคการถ่ายภาพความเร็วสูง ทำให้ยุ่งยากกว่าวิธีแรก ขณะเดียวกันวิธีห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ มียุ่งยากมากที่สุดเพราะต้องทราบอัตราการเปลี่ยนแปลงขนาดของเปลวไฟและความดันในการเผาไหม้ แต่อย่างไรก็ตาม ในสองวิธีแรกนั้นมีความจำเป็นต้องทราบพื้นที่ของเปลวไฟที่ถูกต้องเพื่อการคำนวณหาค่าความเร็วของเปลวไฟ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องกล่าวถึงวิธีการวัดพื้นที่ผิวของเปลวไฟที่ถูกต้องเสียก่อนซึ่งมีอยู่สองวิธี คือ การถ่ายภาพเปลวไฟโดยตรง (direct photograph) และเทคนิคการติดตามอนุภาค (particle tracking technique)

การถ่ายภาพเปลวไฟโดยตรงแม้ว่าจะจะไม่แม่นยำมากนักแต่ก็เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดที่สามารถบันทึกรูปร่างและขนาดของเปลวไฟของบริเวณที่สว่าง (luminous zone) เนื่องการแผ่รังสีจากอนุภาคร้อนหรือแก๊สร้อนเพื่อหาพื้นที่เปลวไฟจากบริเวณสว่างนั้นได้ อย่างไรก็ตามพื้นที่เปลวไฟจากบริเวณสว่างนี้มีค่ามากเกินไปเพราะเป็นบริเวณที่ค่อนข้างด้านหลังของเปลวไฟ (post flame) จนห่างจากส่วนผสมที่ไม่มากเกินไปดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งขัดแย้งกับนิยามของค่าความเร็วของเปลวไฟที่ว่าเป็นค่าความเร็วสัมผัสของเปลวไฟเมื่อเทียบส่วนผสมที่ยังไม่เผาไหม้ ดังนั้นพื้นที่เปลวไฟที่จำเป็นเพื่อหาค่าความเร็วของเปลวไฟที่แม่นยำถูกต้องคือพื้นที่เปลวไฟที่ต้องอยู่ใกล้มากที่สุดกับส่วนผสมที่ยังไม่ติดไฟคือบริเวณ $x = 0$ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 และรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 บริเวณเปลวไฟที่บันทึกโดยการถ่ายภาพโดยตรงแบบต่าง ๆ กัน [16]

ในการแก้ไขปัญหากว่าข้างต้นจึงได้มีการพัฒนาการถ่ายภาพแบบพิเศษขึ้นมาสามวิธีคือ วิธีโคว์กราฟ (shadow graph) วิธีชูรีเรน (schlieren) และวิธีอินเทอเฟอโรกราฟ (interferograph) ทั้งสามวิธีทำงานโดยอาศัยปรากฏการณ์พื้นฐานทางฟิสิกส์สองประการคือ ประการที่หนึ่ง เกิดความแตกต่างของความหนาแน่นในเปลวไฟอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิและองค์ประกอบ ประการที่สอง เกิดความแตกต่างของดัชนีหักเหของแสงในเปลวไฟ ดังนั้นเมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านเปลวไฟแสงจะหักเหทำให้แสงเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่หักเหซึ่งมีระยะทางที่ยาวกว่ากรณีไม่หักเหทำให้แสงใช้เวลาเดินทางจากแหล่งกำเนิดไปยังฉากรับแสงตามเส้นทางที่หักเหมากกว่าตามเส้นทางที่ไม่มีหักเห จากเวลาที่แตกต่างกันนี้จะเป็นสิ่งที่ชี้การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นในเปลวไฟได้ ซึ่งกลายเป็นหลักการทำงานของการถ่ายภาพวิธีอินเทอเฟอโรกราฟ ส่วนวิธีชูรีเรนจะแสดงบริเวณเปลวไฟที่มีการเปลี่ยนแปลงการลาดชันของความหนาแน่น (density gradient) ในขณะที่วิธีโคว์กราฟจะแสดงจะแสดงบริเวณที่มีการเป็นการเปลี่ยนอนุพันธ์ที่สองของความหนาแน่น (second derivative of density) ยกตัวอย่างเช่น สมมุติว่าความหนาแน่นในเปลวไฟขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แต่เพียงอย่างเดียว ($\rho \propto 1/T$) ภาพถ่ายโดยวิธีโคว์กราฟจะแสดงบริเวณที่ค่า dT/dx มีค่าสูงสุดคือบริเวณใกล้จุดควงกลับ (inflexion point) ของอุณหภูมิ $T(x)$ ในขณะที่ภาพถ่ายโดยวิธีชูรีเรนจะแสดงบริเวณใกล้ ๆ ที่ค่า d^2T/dx^2 มีค่าสูงสุดซึ่งเกิดขึ้นในเปลวไฟบริเวณที่อยู่ใกล้กับส่วนผสมที่ยังไม่เผาไหม้มากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 2.10 ดังนั้นพื้นที่ผิวเปลวไฟที่หาได้จากการถ่ายภาพโดยวิธีชูรีเรนจึงเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปคำนวณหาความเร็วของเปลวไฟในขณะที่วิธีโคว์กราฟและการถ่ายภาพเปลวไฟโดยตรงให้พื้นที่ที่ใหญ่เกินไปทำให้ค่าความเร็วเปลวไฟมีความคลาดเคลื่อนสูงแต่มีข้อดีคือ ใช้อุปกรณ์ทางแสงที่ติดตั้งง่ายกว่าวิธีชูรีเรน



รูปที่ 2.10 ภาพขยายกรวยด้านในประกอบด้วยเปลวไฟรูปทรงกรวยหลายเปรียบเทียบในการวัดขนาดของวิธีวัดเปลวไฟแบบต่างกัน [16]

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการวัดความเร็วในการลุกไหม้ของเปลวไฟคือ แบบห้องเผาไหม้แบบปริมาตรคงที่ (Constant Volume Combustion Chamber) ซึ่งมีสาเหตุในการเลือกใช้วิธีนี้คือ

- สามารถจำลองการเผาไหม้ในช่วงของการลามของเปลวไฟลาร์มินาร์ ในช่วงเริ่มต้นการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ได้
- สามารถประยุกต์เทคนิคการถ่ายภาพแบบซูริเรนเพื่อสังเกตความเร็วในการลามของเปลวไฟในการลามของเปลวไฟ
- สามารถวัดความดันจากการเผาไหม้

โดยทั่วไปการออกแบบห้องเผาไหม้มีลักษณะเป็นทรงกลมรัศมีไม่เกิน 20 เซนติเมตร โดยเชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าห้องเผาไหม้ แล้วทำการจุดประกายไฟบริเวณกลางห้องเผาไหม้ และห้องเผาไหม้จะต้องมีความแข็งแรงพอที่จะรับแรงดันในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงได้ วิธีนี้คล้ายกับวิธีก่อนหน้าแตกต่างกันที่ใช้ปริมาตรคงที่ ส่วนผสมจะถูกบรรจุในภาชนะรูปทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 เซนติเมตรและมีความแข็งแรงมากพอที่จะรองรับความดันสูงจากระเบิดหลังจากที่ส่วนผสมถูกจุดระเบิดที่จุดศูนย์กลางของภาชนะทรงกลมได้ เปลวไฟจะลามออกไปในทุกทิศทางจากจุดศูนย์กลางผนัง แก๊สที่เผาไหม้แล้วจะขยายตัวทำให้ทั้งอุณหภูมิและความดันเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากเพราะเกิดการอัดภายใต้สภาวะแอดิเอแบติก อุณหภูมิและความดันที่เพิ่มขึ้นสูงจะยิ่งส่งเสริมให้เปลวไฟลามได้เร็วมากขึ้น ที่สภาวะสมดุล (equilibrium) อย่างสมบูรณ์และไม่มีการสูญเสียความร้อน S_L ความเร็วในการเผาไหม้แบบลาร์มินาร์

$$S_L = \left(1 - \frac{R^3 - r^3}{3p\gamma_u r^2} \frac{dp}{dr} \right) \frac{dr}{dt} \quad (2.6)$$

เมื่อ

p คือ ความดันในการเผาไหม้เปรียบเทียบกับช่วงเวลา

r คือ รัศมีของเปลวไฟเปรียบเทียบกับช่วงเวลา

γ_u คือ Specific heat ratio ของแก๊สที่ยังไม่เผาไหม้

R คือ รัศมีของห้องเผาไหม้

ขณะที่เปลวไฟกำลังลามออกจากจุดศูนย์กลางไปยังผนังทรงกลม จะเห็นได้ว่าการหาค่า S_L ตามสมการ (2.6) จำเป็นต้องมีการบันทึกการเปลี่ยนแปลงรัศมีเปลวไฟ r และความดันภายในภาชนะทรงกลม p อย่างต่อเนื่อง เพื่อทราบค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าทั้งสองเทียบกับเวลาได้ อย่างไรก็ตาม จากการที่อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าทั้งสองมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนอย่างมากในการคำนวณหาค่า S_L ตามสมการ (2.7) ดังนั้นจึงใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงเศษส่วนมวลของแก๊สที่เผาไหม้แล้ว (Y) เป็นตัวแปรในการคำนวณดังแสดงในสมการ (2.7)

$$S_L = \frac{1}{3} \frac{R^3}{r^2} \left(\frac{p_i}{p} \right)^{1/\gamma_u} \frac{dY}{dt} \quad (2.7)$$

เมื่อ p_i คือความดันเริ่มต้น สำหรับกรณีนี้ Y มีค่าน้อย ๆ ให้ใช้ความสัมพันธ์

$$Y \equiv \frac{p - p_i}{p_e - p_i} \quad (2.8)$$

แทนได้ เมื่อ p_e คือความดันที่เทียบเท่ากับการเผาไหม้ภายใต้ปริมาตรคงที่และอาจคำนวณหาได้โดยวิธีการสมดุลทางเคมีและทางความร้อน (Thermo chemistry) ค่า S_L ที่ทดลองได้โดยวิธีนี้มักมีค่าต่ำกว่าที่แท้จริงเพราะสมมุติฐานที่ใช้ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วการเข้าสู่สภาวะสมดุลของแก๊สที่เผาไหม้แล้วบริเวณหลังเปลวไฟอาจไม่สมบูรณ์อย่างแท้จริงเพราะต้องใช้เวลานาน

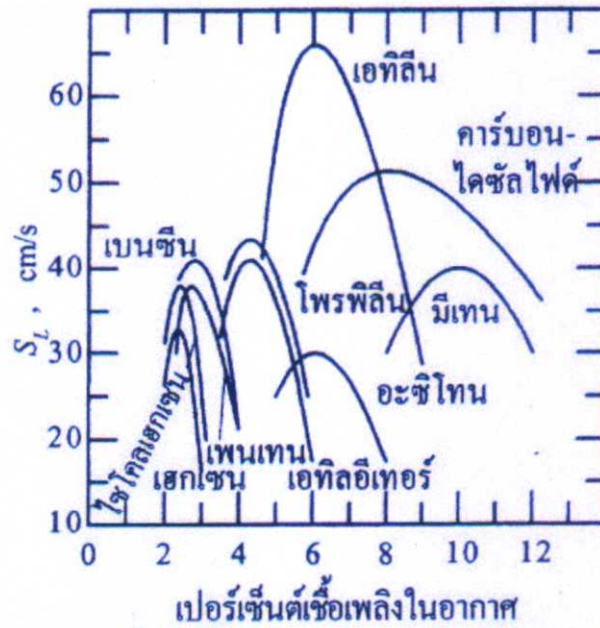
2.7 ผลของปฏิกิริยาทางเคมีและการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่มีผลต่อความเร็วในการลุกไหม้ของเปลวไฟ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองวัดค่าความเร็วของเปลวไฟของเชื้อเพลิงต่าง ๆ วิธีการต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นตลอดจนอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าความเร็วของเปลวไฟ ตัวแปรที่มีผลต่อความเร็วของเปลวไฟแบ่งออกได้สองประเภทคือ ตัวแปรทางเคมี (Chemical variables) เช่น อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่อออกซิโดเซอร์ โครงสร้างโมเลกุล และสารเติมแต่ง (additives) เป็นต้น และตัวแปรทางฟิสิกส์ (physical variables) เช่น ความดัน (P) อุณหภูมิเริ่มต้น (T_0) อุณหภูมิเปลวไฟ (T_f) ค่าการแพร่ความร้อน (α) และค่าความร้อนจำเพาะเชื้อเพลิง (C_p) เป็นต้น

2.7.1 การเปลี่ยนแปลงตามปฏิกิริยาทางเคมี

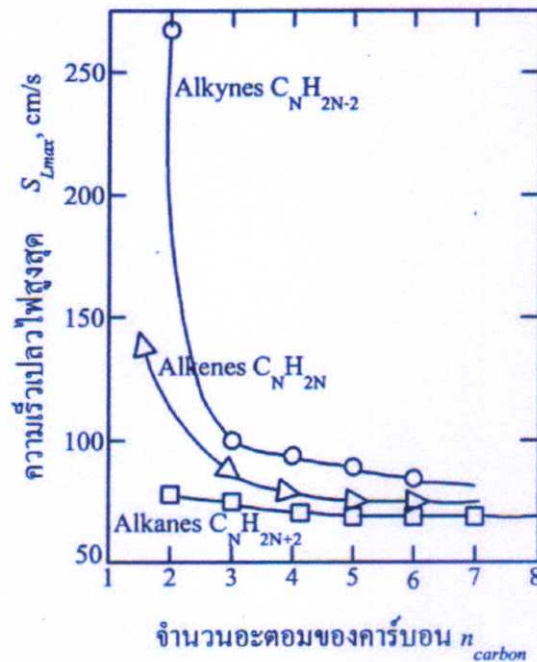
2.7.1.1 อิทธิพลของปริมาณเชื้อเพลิงออกซิโดเซอร์

เมื่ออัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงต่อออกซิโดเซอร์เปลี่ยนไปซึ่งกระทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงเป็นเปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงในอากาศ จะมีผลทำให้อุณหภูมิเปลวไฟเปลี่ยน ส่งผลทำให้ความเร็วของเปลวไฟแบบลามินาร์เปลี่ยนไปด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.12 ความเร็วการเผาไหม้สูงสุดจะเกิดขึ้นที่อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่อออกซิโดเซอร์ใกล้ ๆ ค่าทางทฤษฎี (Stoichiometric) หรือค่อนข้างไปทางส่วนผสมหนาเล็กน้อย (Slightly fuel-rich mixture) โดยทั่วไปสามารถยอมรับได้ว่าเชื้อเพลิงที่มีอุณหภูมิเปลวไฟสูงยอมให้ค่าความเร็วของเปลวไฟที่สูงตามไปด้วย



รูปที่ 2.11 อิทธิพลของปริมาณเชื้อเพลิงในอากาศต่อค่าความเร็วของเปลวไฟแบบลาร์มินาร์ S_L [16]

2.7.1.2 อิทธิพลของโครงสร้างโมเลกุลของเชื้อเพลิง



รูปที่ 2.12 อิทธิพลจำนวนของคาร์บอน n_{carbon} ต่อความเร็วสูงสุดในการเผาไหม้แบบลาร์มินาร์ S_{Lmax} [16]

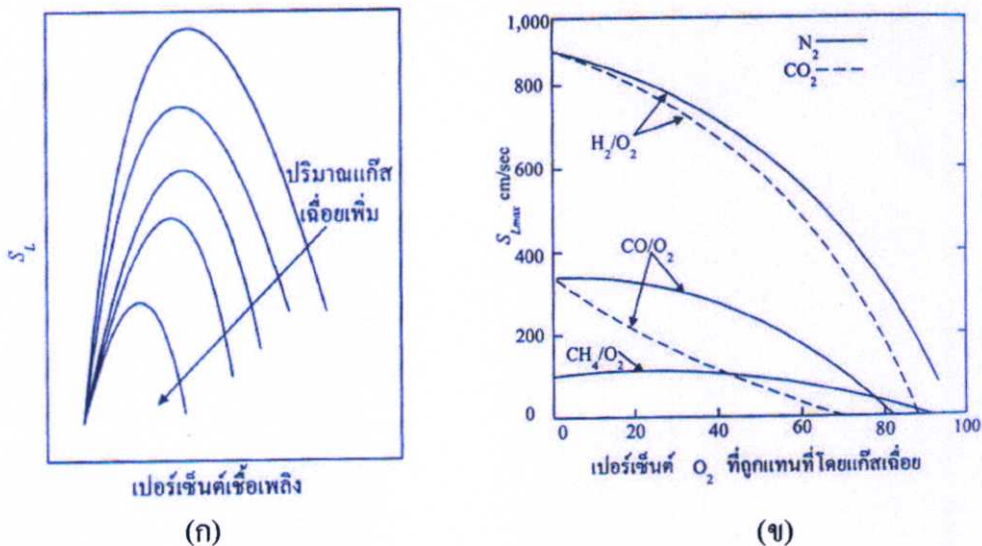
โครงสร้างโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนที่แตกต่างกันมีผลทำให้ความเร็วของเปลวไฟแตกต่างกัน กล่าวคือ ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวหรือ Alkanes ($C_N H_{2N+2}$) ซึ่งรู้จักกันในชื่อพาราฟินส์ (parafins) เช่น (อีเทน (C_2H_6) โพรเพน (C_4H_{10}) เพนเทน (C_5H_{12}) และเฮกเซน (C_6H_{14}) เป็นต้นจะให้

ค่าความเร็วของเปลวไฟสูงสุดประมาณ 70 cm/s และแทบจะไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนอะตอมของคาร์บอน n_{carbon} ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ส่วนไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว เช่น Alkanes (C_NH_{2N}) หรือรู้จักในชื่อ โอลิฟินส์ (olefins) โดยอะตอมของคาร์บอนยึดกับด้วยพันธะคู่ (เช่น เอทิลีน (C_2H_4) และ โพรพิลีน (C_3H_6) เป็นต้น) และ Alkanes (C_NH_{2N}) หรือที่รู้จักในชื่อ Acetylene series โดยอะตอมของคาร์บอนยึดด้วยไตรพันธะ (เช่น อะซิติลีน (C_2H_2) โพรเพน (C_2H_4) บิวไทน์ (C_4H_6) และ เพนไทน์ (C_5H_8) เป็นต้น) นั้น ความเร็วของเปลวไฟขึ้นอยู่กับ n_{carbon} กล่าวคือถ้า n_{carbon} น้อยจะให้ความเร็วของเปลวไฟที่สูงกว่า n_{carbon} มาก จากรูปที่ 2.12 ความเร็วของเปลวไฟสูงสุดของกรณีไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อ n_{carbon} เพิ่มขึ้นเป็น 4 และเมื่อ n_{carbon} เพิ่มขึ้นต่อไปอีกความเร็วสูงสุดของเปลวไฟจะลดลงอย่างช้า ๆ จนลู่เข้าใกล้ค่าของกรณีไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวเมื่อ n_{carbon} เท่ากับหรือมากกว่า 8 สาเหตุหลักที่ทำให้ค่าความเร็วของเปลวไฟลดลงตาม n_{carbon} ที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวเกิดจากการลดลงของค่าการแพร่ความร้อนตามน้ำหนักโมเลกุลของเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นตามจำนวน n_{carbon} ที่เพิ่มขึ้น โดยไม่ได้เกิดจากการลดลงของอุณหภูมิของเปลวไฟแต่อย่างใด ทั้งนี้เพราะค่าอุณหภูมิเปลวไฟของไฮโดรคาร์บอนส่วนใหญ่มีค่าประมาณ 2,200 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งมีค่าพลังงานก่อกัมมันต์สำหรับเชื้อเพลิงทั่วไปที่มีปฏิกิริยากับออกซิเจนอยู่ในช่วงแคบ โดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ 40,000 cal/mole เท่านั้น

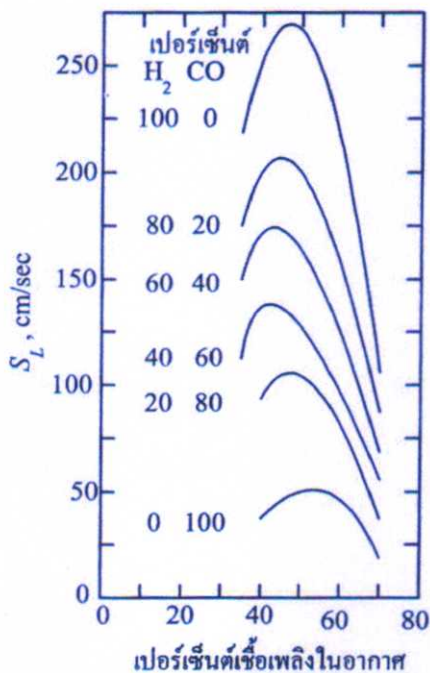
2.7.1.3 อิทธิพลของสารเติมแต่ง (Additives)

ซึ่งในเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ที่ใช้ในเครื่องยนต์มักจะเติมสารปรุงแต่งเข้าไปในเชื้อเพลิง เพื่อช่วยในการป้องกันการติดไฟในขณะที่อุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุของการน็อก (knock) ของเครื่องยนต์ ทั้งนี้สารปรุงแต่งที่ผสมเข้าย่อมมีผลต่อความเร็วในการลามของเปลวไฟแต่ผลดังกล่าวมีผลเพียงเล็กน้อยแต่จะมีผลมากต่ออุณหภูมิเปลวไฟในการเผาไหม้สารเติมแต่งแบ่งได้เป็นสองชนิดคือ แบบเฉื่อย (เช่น CO_2 , N_2 , He, และ Ar เป็นต้น ดูรูปที่ 2.13 ข ประกอบ) และแบบว่องไว เช่น H_2 , H_2O , และ CH_4 เป็นต้น ดูรูปที่ 2.13 ข ประกอบ สารเติมแต่งแบบเฉื่อย รูปที่ 2.12 มีอิทธิพลต่อค่าสมบัติทางกายภาพ เช่น ค่าการนำความร้อน (k) หรือค่าความร้อนจำเพาะ (C_p) หรือ อัตราส่วน k/C_p ของส่วนผสม เมื่อเพิ่มปริมาณ CO_2 หรือ N_2 เข้ากับส่วนผสมระหว่าง H_2/O_2 , CO/O_2 และ CH_4/O_2 จะให้ผลเหมือนกัน กล่าวคือความเร็วสูงสุดของเปลวไฟ S_{Lmax} ลดลง รูปที่ 2.12 ช่วงการติดไฟ (flammability range) แคบลงตำแหน่งที่เกิดความเร็วของเปลวไฟสูงสุดเลื่อนไปทางด้านเปอร์เซ็นต์เชื้อเพลิงน้อย รูปที่ 2.16 สำหรับสารเติมแต่งแบบว่องไว รูปที่ 2.17 (ก) มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาลุกไหม้ เช่น อะตอมของไฮโดรเจนที่มาจาก H_2 หรือ CH_4 ที่นำมาผสมลงไป ใน CO เพียงเล็กน้อยจะมีผลทำให้ค่าความเร็วของเปลวไฟสูงขึ้นมาก Mallard และ Chatelier law [17] กล่าวว่า ถ้าส่วนผสมของเชื้อเพลิงผสมสองหรือสามเชื้อเพลิงที่มีค่าความเร็วเปลวไฟ

เท่ากันและจะผสมกันในอัตราส่วนใด ๆ ก็ตาม ค่าความเร็วการลามเปลวไฟของส่วนผสมนั้นยังคงเท่าเดิมไม่เปลี่ยนแปลง “Mixtures of limit mixtures are them selves limit mixture”



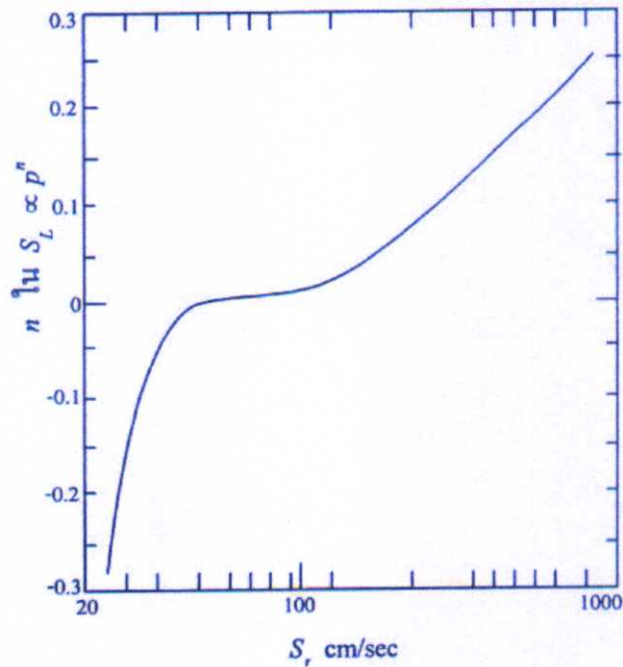
รูปที่ 2.13 อิทธิพลของสารเติมแต่งแบบเฉื่อยต่อ S_L และ $S_{L,max}$ [16]



รูปที่ 2.14 อิทธิพลของสารเติมแต่งแบบว่องไว CH_4 ต่อ S_L ของ CO เผาไหม้กับอากาศ [16]

2.7.2 ปัจจัยที่มีผลทางกายภาพที่มีผลต่อความเร็วในการลุกไหม้ของเปลวไฟ

2.7.2.1 อิทธิพลของความดัน P



รูปที่ 2.15 อิทธิพลของความดัน P ต่อ S_L [16]

Lewis (1954) ได้ศึกษาอิทธิพลของความดัน P ที่มีต่อค่าความเร็วของเปลวไฟของส่วนผสมระหว่างไฮโดรคาร์บอนชนิดต่าง ๆ และออกซิเจน โดยมี N_2 , Ar หรือ He ผสมอยู่ด้วยและทราบว่า

$$S_L \propto P^n \quad (2.9)$$

ดังแสดงในกราฟรูปที่ 2.15

เมื่อ n คือ Lewis pressure index จากกราฟดังกล่าวมีสิ่งที่น่าสนใจคือ

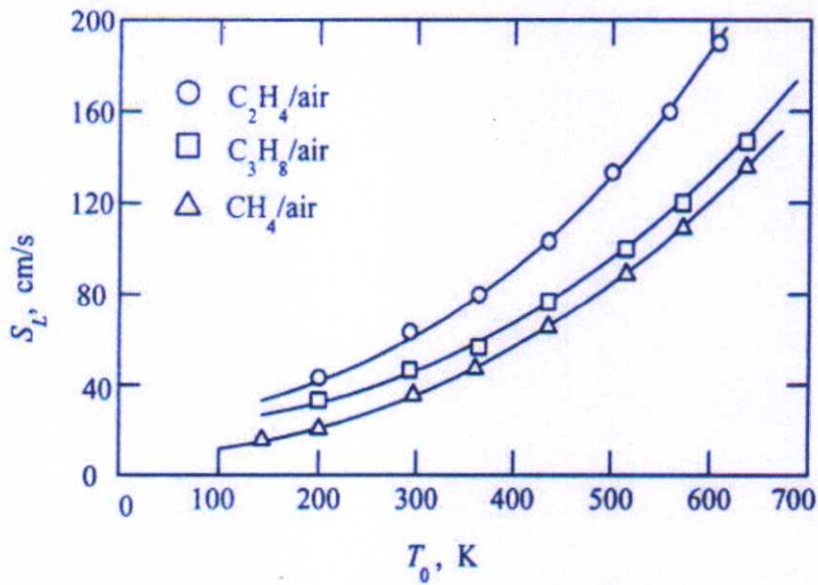
กรณีที่ $S_L < 50$ cm/s n มีค่าเป็นลบ S_L มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ P ลดลง

กรณีที่ $50 < S_L < 100$ cm/s n มีค่าเป็นศูนย์ S_L ไม่ขึ้นกับความดัน P

กรณีที่ $S_L > 100$ cm/s n มีค่าเป็นบวก S_L มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ P เพิ่มขึ้น

ค่า S_L นอกจากจะขึ้นอยู่กับ P ตามสมการ $S_L \propto P^n$ แล้วยังจะพบในภายหลังอีกว่าค่า S_L จะขึ้นกับ P ตามสมการ $S_L \propto P^{(n-2)/2}$ เมื่อ n ในกรณีหลังนี้คืออันดับของปฏิกิริยา ดังนั้นจากความสัมพันธ์ของ S_L กับ P ในรูปของ Lewis pressure index และในรูปของอันดับของปฏิกิริยาสามารถสรุปได้ว่า กรณีที่ $S_L < 50$ cm/s อันดับของปฏิกิริยาจะน้อยกว่า 2 กรณีที่ $50 < S_L < 100$ cm/s อันดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับ 2 และกรณีที่ $S_L > 100$ cm/s อันดับของปฏิกิริยาจะมากกว่า 2

2.7.2.2 อิทธิพลของอุณหภูมิเริ่มต้น T_0



รูปที่ 2.16 อิทธิพลของอุณหภูมิเริ่มต้น T_0 ต่อ S_L [16]

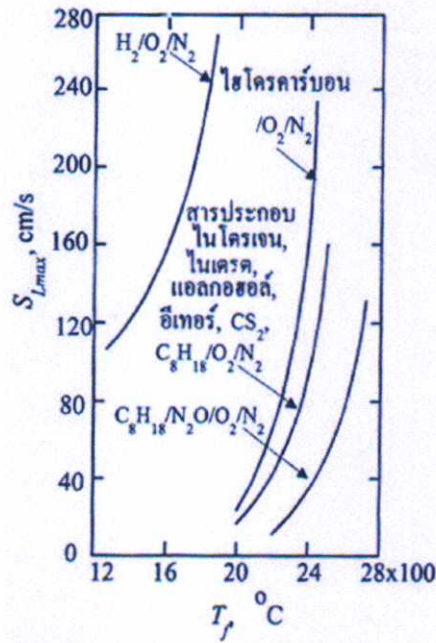
จากผลการทดลองของ Dugger et al. (1955) พบว่า

$$S_L \propto T_0^m \quad (2.10)$$

ดังแสดงในกราฟรูปที่ 2.16 เมื่อ m มีค่าอยู่ ระหว่าง 1.5 และ 2 T_0 คืออุณหภูมิเริ่มต้นของส่วนผสม การเพิ่มขึ้นของ S_L ส่วนใหญ่จะมาจากผลของการอุ่นส่วนผสมมากกว่าที่จะเกิดจากอุณหภูมิเปลวไฟที่เปลี่ยนไปเนื่องจาก T_0 เปลี่ยนไป ทั้งนี้เพราะว่า T_f จะเปลี่ยนไปไม่มากเมื่อ T_0 เปลี่ยน

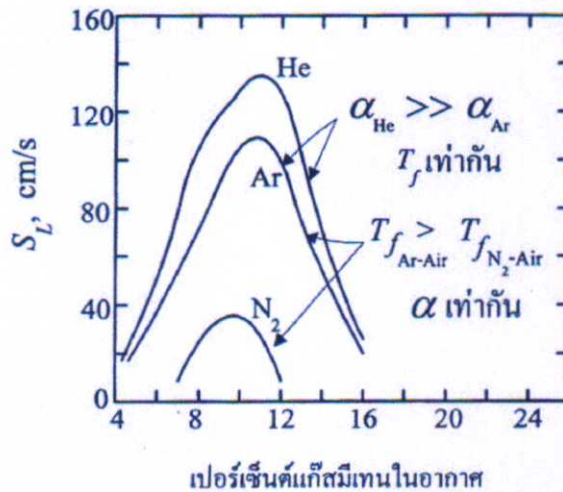
2.7.2.3 อิทธิพลของอุณหภูมิเปลวไฟ T_f

จากผลการทดลองของ Bartholome และ Sachsse (1949) [17] พบว่าความสัมพันธ์ของ อุณหภูมิเปลวไฟ T_f และค่า S_{Lmax} แสดงได้ดังรูปที่ 2.16 จะเห็นได้ว่าที่เชื้อเพลิงหนึ่ง ๆ เมื่อ อุณหภูมิเปลวไฟเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยสามารถทำให้ S_{Lmax} เปลี่ยนไปได้อย่างมาก การ แปรเปลี่ยน T_f ของแต่ละเชื้อเพลิงกระทำโดยเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สเฉื่อย N_2 ที่เป็น องค์ประกอบในส่วนผสม



รูปที่ 2.17 อิทธิพลของอุณหภูมิเปลวไฟ T_f ต่อ S_{Lmax}

2.7.2.4 อิทธิพลของค่าการแพร่ความร้อน (α) และค่าความร้อนจำเพาะ (C_p) [16]



รูปที่ 2.18 อิทธิพลของค่าการแพร่ความร้อน α และค่าความร้อนจำเพาะ C_p ต่อ S_L [16]

จากการทดลองของ Clingman et al. (1952) ทราบว่าเมื่ออุณหภูมิเปลวไฟ (T_f) คงที่ เชื้อเพลิงที่มีค่าการแพร่ความร้อนสูงกว่ายอมให้ S_L ที่สูงกว่าดังแสดงในกราฟรูปที่ 2.18 จากกราฟใช้ CH_4 เป็นเชื้อเพลิงแล้วผสมด้วยส่วนผสมของออกซิเจนและก๊าซเฉื่อยคือ N_2 หรือ He หรือ Ar โดยใช้สัดส่วนการผสมออกซิเจนต่อก๊าซเฉื่อยในอัตราส่วน 0.21: 0.79 คงที่ตลอด จากกราฟเส้นบนสุดและเส้นกลางซึ่ง $T_{fHe} = T_{fAr}$ เพราะทั้ง He และ Ar ต่างก็เป็นก๊าซอะตอมเดี่ยวทั้งคู่ขณะที่ $\alpha_{He} \gg \alpha_{Ar}$ เพราะน้ำหนักโมเลกุลของ He น้อยกว่าของ Ar มาก จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า S_L ของส่วนผสมที่มี He เป็นองค์ประกอบจะสูงกว่า S_L ของส่วนผสมที่มี Ar เป็นองค์ประกอบมาก

ในทางกลับกัน เมื่อเปรียบเทียบกราฟเส้นกลางกับเส้นล่างสุดซึ่ง $\alpha_{N_2} = \alpha_{Ar}$ ขณะที่ $C_{p, Ar} < C_{p, N_2}$ ดังนั้นที่อัตราการปลดปล่อยความร้อนเดียวกันจะได้ $T_{Ar} > T_{N_2}$ ทำให้ S_L ของส่วนผสมที่มี Ar เป็นองค์ประกอบจะสูงกว่า S_L ของส่วนผสมที่มี N_2 เป็นองค์ประกอบ

2.8 เศษส่วนของมวลในการเผาไหม้

เศษส่วนมวลในการเผาไหม้เป็นค่าที่บอกถึงอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ ประมาณได้จากความดันในการเผาไหม้ เพราะความดันในการเผาไหม้จะแปรผันตามมวลของเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ และค่านี้เป็นตัวแปรที่บอกถึงความล่าช้าในการจุดระเบิด [11] ในแต่ละช่วงของเผาไหม้ในแต่ละเชื้อเพลิง สามารถหาได้ในสมการที่ (2.11)

$$M(t) = \frac{p(t) - p_{int}}{p_{max} - p_{int}} \quad (2.11)$$

โดยที่

- $p(t)$ คือ ความดันที่ช่วงเวลาใดๆ
- p_{int} คือ ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้
- p_{max} คือ ความดันสูงสุดในการเผาไหม้ในกระบอกสูบ

บทที่ 3

อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง

การทดลองนี้ได้สร้างห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่โปร่งใสขึ้นมาเพื่อจำลองการเผาไหม้ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน โดยจำลองขณะลูกสูบอยู่ตำแหน่งศูนย์ตายบน ซึ่งลักษณะของห้องเผาไหม้หน้าตัดทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร โดยที่เส้นผ่านศูนย์กลางคล้ายกับเครื่องยนต์จริง โดยห้องเผาไหม้จำลองนี้มีปริมาตรภายใน 320 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อให้เห็นการลามของเปลวไฟภายในห้องเผาไหม้จึงเลือกใช้วัสดุโปร่งใสและทนความดัน ได้แก่ ควอตซ์ เพื่อปิดทั้งสองด้านของห้องเผาไหม้ ทำให้มองเห็นเปลวไฟแล้วมีการวัดความดันในการเผาไหม้เพื่อคำนวณหาค่า เศษส่วนมวลในการเผาไหม้ เปรียบเทียบระหว่างเชื้อเพลิงเบนซินตลอดจน เบนซินผสมเอทานอล

3.1 การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นทางกายภาพของการเผาไหม้ของการทดลองในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่

3.1.1 อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ในเครื่องยนต์

ในการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ปัจจัยเริ่มต้นในการเผาไหม้คืออุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ ซึ่งค่านี้ได้จำลองมาจากกระบวนการไอเซนโทรปิก ในการอัดตัวของลูกสูบเพื่อให้อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ใกล้เคียงกับเครื่องยนต์จริง ในโปรแกรมจำลองการทำงานของเครื่องยนต์ Four stroke gas otto cycle [24] โดยกำหนดเงื่อนไขในการทดลอง โดยต้องการผลลัพธ์ที่ได้เป็นอุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้เพื่อกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นในการทดลอง

โดยการกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นในการจำลองดังนี้

ความดันของท่อร่วมไอดี (Intake Pressure)	50 kPa
อุณหภูมิของท่อร่วมไอดี (Intake Temperature)	300 K
ความดันที่ของไอเสีย (Exhaust Pressure)	100 kPa
อัตราส่วนการอัด (Compression ratio)	9
ค่าคงที่ของก๊าซ (Gamma)	1.14
ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง (q_{in})	2500 kJ/kg

จากรูปที่ 3.1 ผลการจำลองพบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้มีค่าเท่ากับ 451.5 องศาเซลเซียส จึงเลือกอุณหภูมินี้เป็นอุณหภูมิเริ่มต้นก่อนเผาไหม้ ประกอบกับที่อุณหภูมินี้มีค่าน้อยกว่าจุดติดไฟของเชื้อเพลิงเบนซิน

Four Stroke Gas Otto Cycle

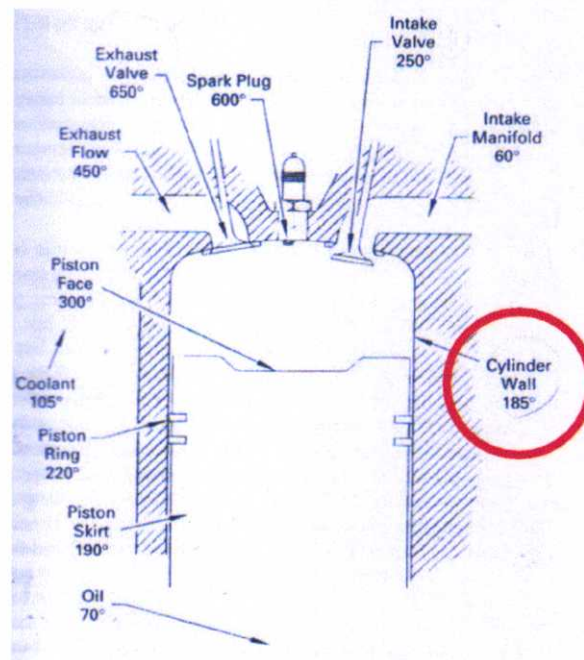
Intake Pressure (kPa)	50			
Intake Temperature (K)	300			
Exhaust Pressure (kPa)	100			
Compression ratio	9			
Gamma	1.14			
qin (kJ/kg gas)	2500			
Compute Cycle	Enter			

State	1	2	3	4
Pressure (kPa):	50.0	612.08	2233.11	182.42
Temperature (K):	331.9	451.5	1647.2	1211.0
Exhaust Temp. (K) =	1124.8		Volumetric Efficiency =	0.89
Residual Mass Fraction =	0.0656		Net Imep (kPa) =	326.97
Ideal Thermal Eff. =	0.265		Net Thermal Eff. =	0.23

รูปที่ 3.1 การประมาณค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ [24]

3.1.2 อุณหภูมิชิ้นส่วนของเครื่องยนต์เมื่อสภาวะคงที่

เมื่อพิจารณาเครื่องยนต์ทำงานในสภาวะคงที่ในรูปที่ 3.2 แล้วพบว่าชิ้นส่วนที่มีพื้นที่สัมผัสไอติดก่อนการเผาไหม้มากที่สุดคือ ผนังห้องเผาไหม้ (Cylinder Wall) จึงได้แนวคิดนี้ในการประมาณอุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้จำลองให้เท่ากับเครื่องยนต์จริง



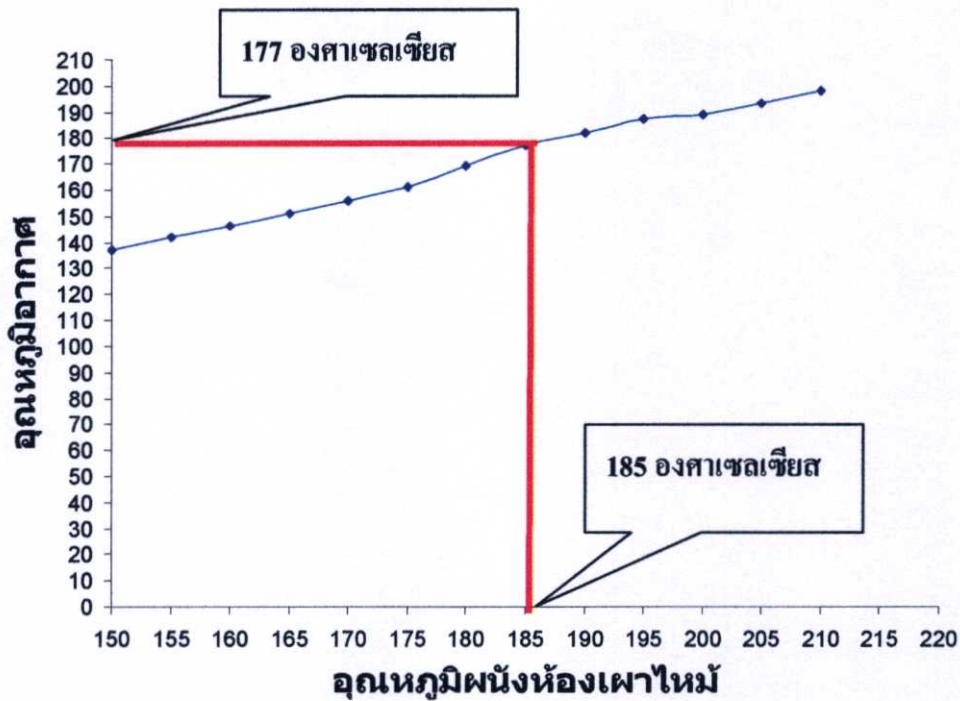
รูปที่ 3.2 การประมาณอุณหภูมิต่างในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟเมื่อทำงานสภาวะคงที่

[19]

รายละเอียดการทดลองดังนี้

1. เปิดฮีตเตอร์ตั้งอุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ให้เท่ากับ 150 องศาเซลเซียส จนถึง 210 องศาเซลเซียส โดยเพิ่มอุณหภูมิครั้งละ 5 องศาเซลเซียส (ปรับที่ชุดคอนโทรลฮีตเตอร์)

2. แล้วทำการเปิด-ปิดวาล์ว ให้อากาศเข้าห้องเผาไหม้โดยตั้งความดันเริ่มต้นของอากาศที่เข้าห้องเผาไหม้ 0.98 บาร์ โดยคล้ายกับการทดลองจริงแล้วจดค่าอุณหภูมิของอากาศและอุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้



รูปที่ 3.3 อุณหภูมิของอากาศคงที่อุณหภูมิห้องเผาไหม้ต่างกัน

รูปที่ 3.4 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศกับอุณหภูมิของผนังห้องเผาไหม้ในการทดลอง

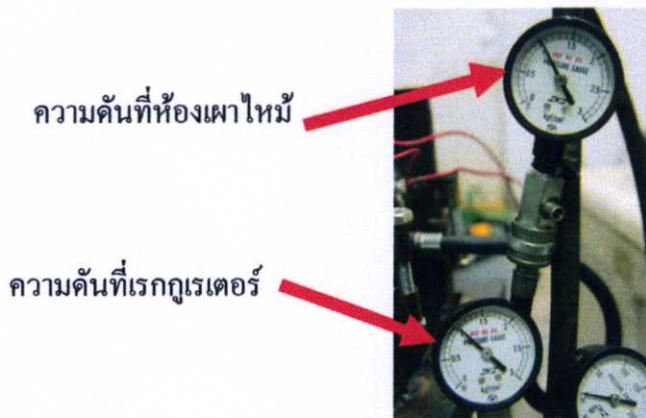
จากรูปที่ 3.4 เห็นได้ว่าอุณหภูมิในการพาความร้อนจากขอบห้องเผาไหม้ด้านนอกไปยังผนังกระบอกสูบทำให้อุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้เท่ากับ 177 องศาเซลเซียส (450 องศาเคลวิน) ที่สภาวะคงที่

จากข้อมูลดังกล่าวนำไปประมาณค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่

3.1.3 ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้

การกำหนดความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้นั้นถูกกำหนดโดยอุปกรณ์ปรับความดันอากาศ (เรกูเลเตอร์) เพื่อให้แรงดันของอากาศที่สามารถส่งเชื้อเพลิงที่ผสมกับอากาศแล้วเข้าห้องเผาไหม้ ซึ่งมีงานวิจัยหลายงานวิจัย [20] ที่ใช้ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้เท่ากับ 1 บาร์ จากรูปที่ 3.4 การทดลองวัดค่าปรับค่าความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้ระหว่างความดันที่อุปกรณ์

ปรับความดันอากาศและความดันภายในห้องเผาไหม้ เพื่อกำหนดเวลาในการเปิดและปิดวาล์วทำให้ทราบถึงเวลาของ ไอคิต์ที่เข้าห้องเผาไหม้ตามปริมาตรของท่อไอคิต์



รูปที่ 3.4 การทดลองวัดความดันเกจเริ่มต้นในการเผาไหม้

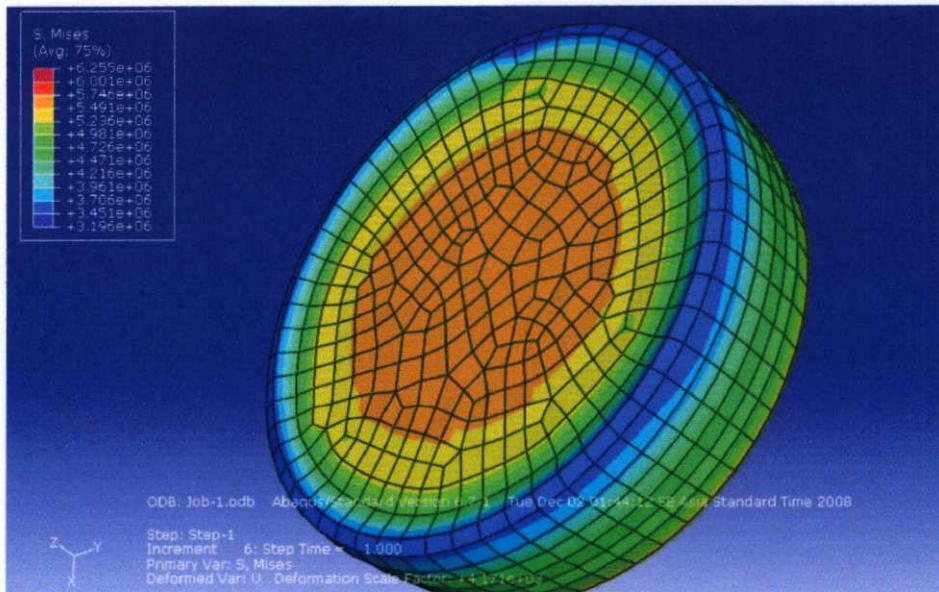
3.2 การออกแบบอุปกรณ์การทดลอง

การที่จะทำให้เห็นการลามของเปลวไฟในห้องเผาไหม้ได้นั้น จำเป็นที่จะต้องสร้างห้องเผาไหม้และใช้วัสดุ โปร่งใส ซึ่งต้องมีความแข็งแรงที่รับแรงดันในการเผาไหม้ได้โดยไม่ทำให้เกิดอันตรายในการทดลอง แนวคิดในการออกแบบคือ ต้องการสร้างห้องเผาไหม้จำลองที่มีขนาดหน้าตัดเท่ากับเครื่องยนต์จริง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบอยู่ที่ 80 มิลลิเมตร ประกอบกับการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้ในอัตราส่วนที่เหมาะสมและซึ่งระยะห่างระหว่างเขี้ยวหัวเทียนเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร จึงจะทำให้เกิดการติดไฟภายในห้องเผาไหม้ได้ ซึ่งรายละเอียดของการออกแบบอุปกรณ์การทดลองมีดังนี้

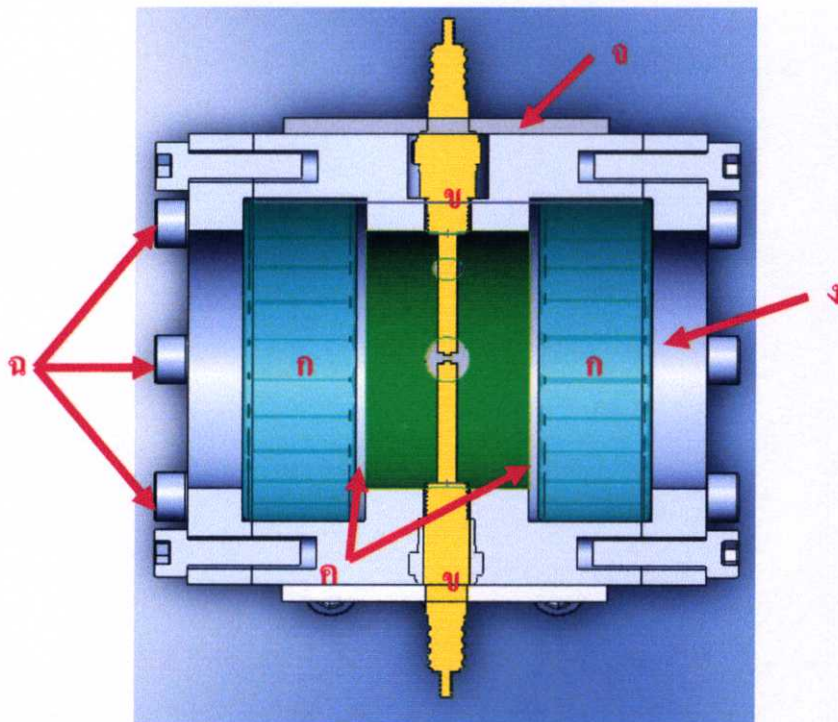
3.2.1 อุปกรณ์ใช้ในการมองเห็นเปลวไฟในห้องเผาไหม้

งานวิจัยนี้ได้เลือกควอตซ์มาเป็นวัสดุโปร่งใสในการมองเห็นเปลวไฟภายในห้องเผาไหม้ ซึ่งคุณสมบัติของวัสดุชนิดนี้ คือ เป็นวัสดุที่โปร่งใส สามารถทนแรงดันและร้อนสูงและในการเผาไหม้ได้ ประกอบกับเมื่อเพิ่มขนาดของความหนาขึ้นมาจะไม่ทำให้ดัชนีการหักเหของแสงเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นถึงการจำลองการรับแรงของควอตซ์ ในโปรแกรม Abacus กำหนดเงื่อนไขในการจำลองที่ความดันในการเผาไหม้เท่ากับ 50 บาร์ อ้างอิงมาจากความดันในการเผาไหม้จริงของเครื่องยนต์ในการทดลอง [2] เป็นผลทำให้ค่า safety factor เท่ากับ 6 จึงสามารถสรุปว่าใช้วัสดุชนิดนี้รับแรงดันในการเผาไหม้ในการทดลองนี้ได้



รูปที่ 3.5 ผลการจำลองรับแรงดันของควอดซ์ในห้องเผาไหม้



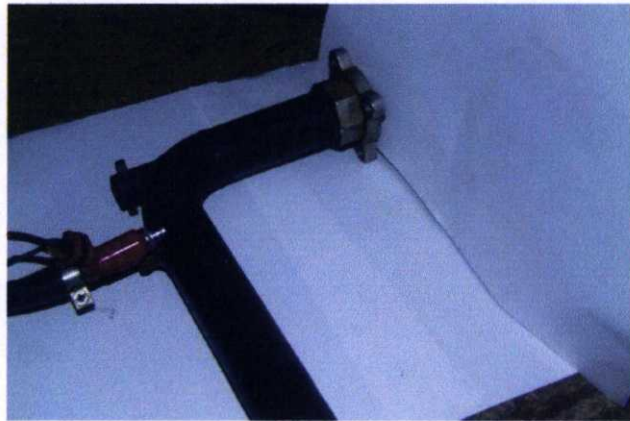
รูปที่ 3.6 ภาพตัดอุปกรณ์ภายในของห้องเผาไหม้ (ก) ควอดซ์ (ข) หัวเทียน (ค) ปะเก็นกราไฟต์ (ง) ชุดยึดควอดซ์ (ฉ) โบลท์ยึด (ช) ฮีตเตอร์

รูปที่ 3.6 แสดงถึงภาพตัดจากระนาบด้านบนของห้องเผาไหม้ซึ่งเห็นตำแหน่งของหัวเทียน และแผ่นควอดซ์ปิดห้องเผาไหม้ทั้งสองด้านกันความดันในการเผาไหม้ด้วยโดยใช้ปะเก็นกราไฟต์

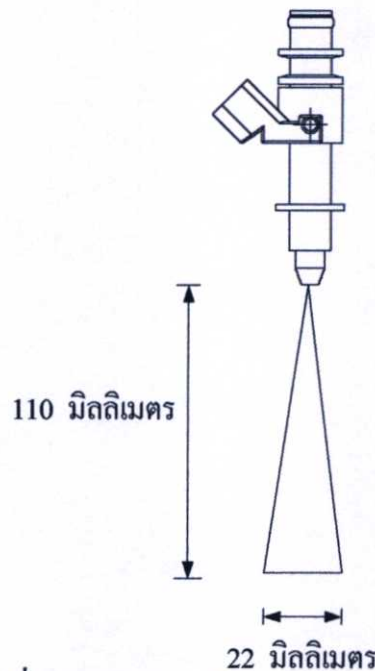
3.2.2 การออกแบบระบบท่อการจ่ายไอดีเข้าห้องเผาไหม้

ท่อไอดีนี้ทำหน้าที่ให้เชื้อเพลิงและอากาศถูกเคล้ากันและเป็นส่วนที่ส่งไอดีเข้าห้องเผาไหม้ ดังนั้นการออกแบบระบบท่อไอดีนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึง ปริมาตรของท่อต้องมีเพียงพอต่อการจ่ายไอดีเข้าห้องเผาไหม้ และใช้พื้นฐานในการออกแบบดังนี้

การประมาณมุมและความยาวของสเปรย์เชื้อเพลิงแล้วทำการหาความยาวของสเปรย์เชื้อเพลิงเพื่อหาตำแหน่งในการติดตั้งหัวฉีดที่ทำให้ละอองของเชื้อเพลิงถูกผนังห้องเผาไหม้ให้น้อยที่สุด



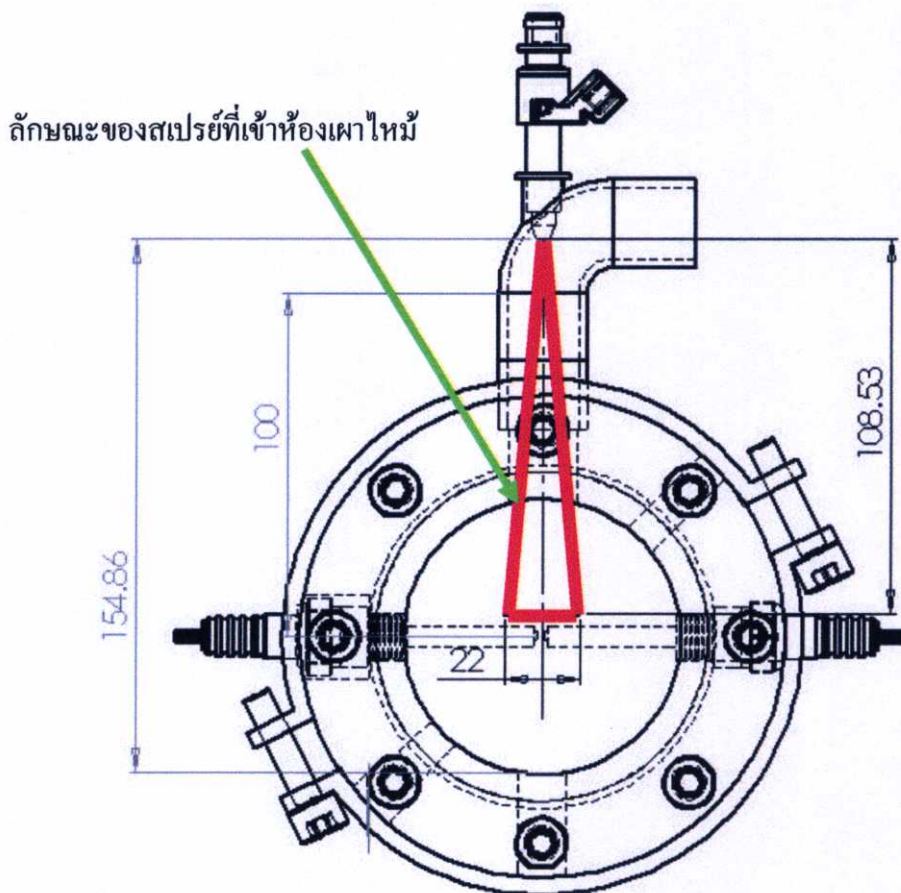
รูปที่ 3.7 การวัดขนาดความยาวของสเปรย์ในการฉีด



รูปที่ 3.8 ผลของการวัดความยาวของสเปรย์ของหัวฉีด

วิธีการประมาณความยาวและมุมสเปรย์ของหัวฉีดขณะฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้

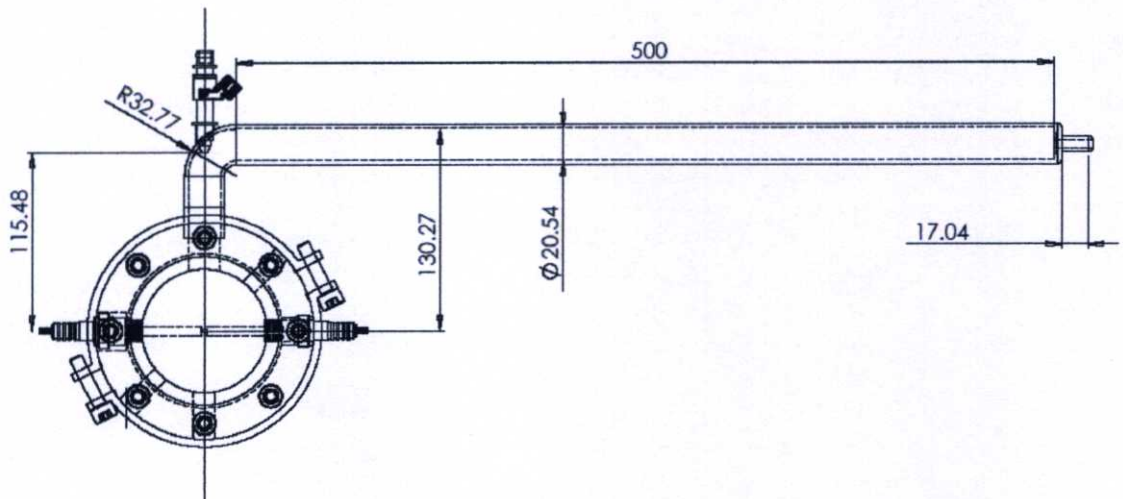
1. ปรับช่วงเวลาในการฉีดของเชื้อเพลิงที่ช่วงเวลาในการฉีดของเชื้อเพลิงที่ 60 ms เพราะช่วงเวลานี้มีปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงจ่ายออกมามากที่สุดในการทดลอง
2. ใช้กระดาษ A4 วัดตำแหน่งความยาวของสเปรย์โดยวางตำแหน่งให้ได้ฉากกับหัวฉีด โดยเริ่มวัดให้ระยะห่างจากหัวฉีดที่ 150 มิลลิเมตร แล้วทำการฉีดเชื้อเพลิงและ 200 มิลลิเมตร
3. ทำการวัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของสเปรย์เพื่อทำการหาความยาวในการฉีด โดยที่เชื้อเพลิงไม่ถูกผนังท่อไอดี
4. นำผลของความยาวและระยะการแพร่ของสเปรย์ของหัวฉีดมาเปรียบเทียบกับขนาดจริงของห้องเผาไหม้เพื่อหาตำแหน่งที่ติดตั้งหัวฉีด ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ผลการจำลองความยาว (เส้นสีแดง) ของสเปรย์ในห้องเผาไหม้

การเลือกความยาวของท่อไอดีนั้น มีหลักการออกแบบ คือ ต้องการบังคับการไหลเข้าห้องเผาไหม้ให้เป็นการไหลแบบลาร์มินาร์เพื่อให้ได้เปลวไฟแบบลาร์มินาร์ โดยการบังคับการไหลของอากาศที่ผ่านอุปกรณ์ปรับความดันอากาศให้มีความเร็วของอากาศที่ค่าเรโนลด์นัมเบอร์ไม่เกิน 4,000 โดยการบังคับจากขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 5 มิลลิเมตรมาเป็น 25.4 มิลลิเมตร ทำให้การไหล

ความเร็วสูงจากอุปกรณ์ปรับความดันอากาศ อากาศถูกลดความเร็วลงและปริมาณของอากาศต้องพอที่สำหรับจ่ายเข้าห้องเผาไหม้ ที่มีปริมาตร 320 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากการกำหนดปริมาตรของท่อ ไอคิที่จ่ายเข้าห้องเผาไหม้นั้นต้องมีค่าสองเท่าปริมาตรของห้องเผาไหม้



รูปที่ 3.10 ท่อไอคิที่จ่ายไอคิเข้าห้องเผาไหม้

จากรูปที่ 3.10 แสดงให้เห็นถึงการออกแบบระบบการจ่ายไอคิเข้าห้องเผาไหม้ โดยออกแบบให้ท่อไอคิมีปริมาตรเป็นสองเท่าของห้องเผาไหม้เพราะได้มีปริมาณการจ่ายอากาศที่เข้าห้องเผาไหม้ได้ทันและป้องกันการย้อนกลับของไอคิโดยใช้ความยาวของท่อส่งที่ 500 มิลลิเมตร

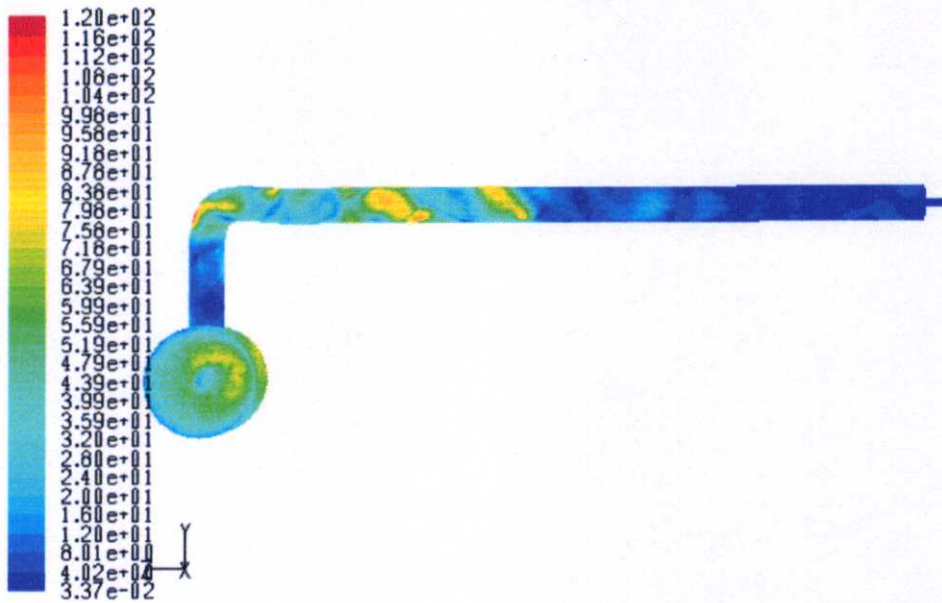
จากแบบของห้องเผาไหม้ ได้นำปริมาตรภายในการจำลองการไหลของอากาศเข้าห้องเผาไหม้ในโปรแกรม Fluent 6.3 โดยสมมติฐานในการจำลองคือ ต้องการหาค่าเรโนลด์นัมเบอร์ในการไหลเข้าของไอคิที่ไม่ทำให้เปลี่ยนไปเป็นการไหลแบบเทอร์บูเลนต์ และต้องการให้ผลต่างความดันในการจ่ายเข้าห้องเผาไหม้น้อยที่สุด และได้กำหนดเงื่อนไขในการจำลองดังนี้

ความดันในห้องเผาไหม้มีค่า -0.02 บาร์

ความดันในอากาศเมื่อจ่ายเข้าห้องเผาไหม้มีค่าเท่ากับ 0.98 บาร์

อุณหภูมิของอากาศทางเข้าห้องเผาไหม้เท่ากับ 450 องศาเซลเซียส

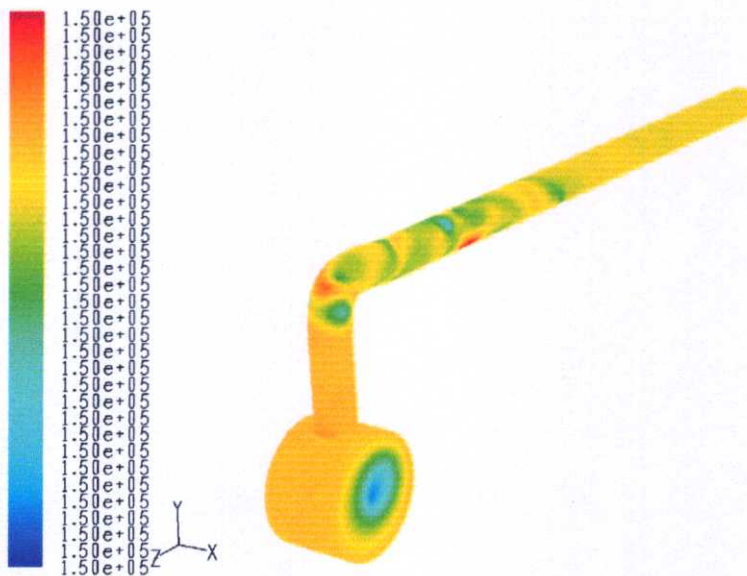
เพื่อหาค่าเรโนลด์นัมเบอร์ของอากาศที่เข้าห้องเผาไหม้โดยที่กำหนดการเผาไหม้เป็นแบบลาร์มินาร์ ซึ่งมีค่าเรโนลด์นัมเบอร์ไม่เกิน 4,000 ซึ่งผลการจำลองรูปที่ 3.11 พบว่าค่าเรโนลด์นัมเบอร์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 120 แสดงว่าการไหลยังเป็นช่วงลาร์มินาร์ และผลต่างความความดันที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการเกาะของละอองเชื้อเพลิงหลังบริเวณส่วนโค้งบริเวณท่อไอคิขณะจ่ายเข้าห้องเผาไหม้ พบว่าค่าผลต่างความดันมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.5×10^{-3} kPa ซึ่งเป็นค่าน้อยมากจนไม่สามารถทำให้ละอองเชื้อเพลิง



Contours of Cell Reynolds Number

May 29, 2009
FLUENT 6.3 (3d, dp, pbns, lam)

รูปที่ 3.11 แสดงถึงค่าเรโนลด์นัมเบอร์ในช่วงจ่ายเชื้อเพลิง



Contours of Static Pressure (pascal)

May 27, 2009
FLUENT 6.3 (3d, dp, pbns, lam)

รูปที่ 3.12 แสดงถึงผลต่างความดันช่วงที่จ่ายเชื้อเพลิงเข้าจ่ายเข้าห้องเผาไหม้

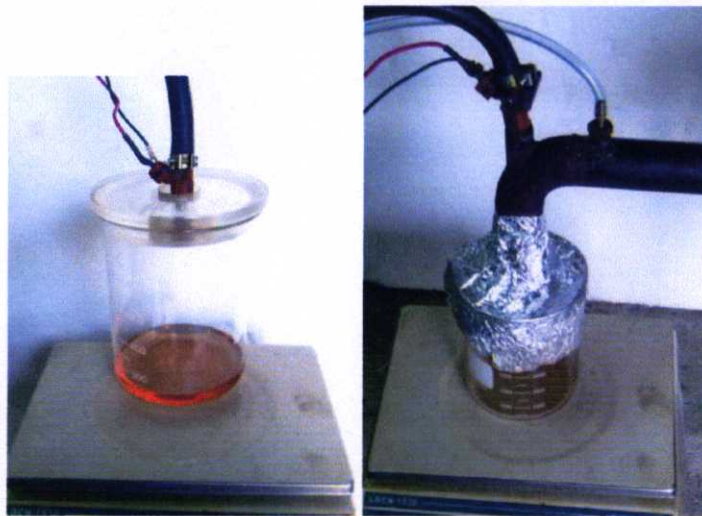
หลังจากการออกแบบและสร้างท่อ ไอคิหลังจากนั้นทำการหามวลของเชื้อเพลิงที่ค้างในท่อ ไอคิ แนวคิดในการวัด คือ ต้องการเปรียบเทียบระหว่างมวลที่ฉีดได้โดยไม่ผ่านท่อ ไอคิและฉีด โดยผ่านท่อ ไอคิ เพื่อต้องการทราบค่ามวลของเชื้อเพลิงที่อยู่ในช่วงฉีดเชื้อเพลิง

การวัดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ค้างอยู่ในท่อไอดี

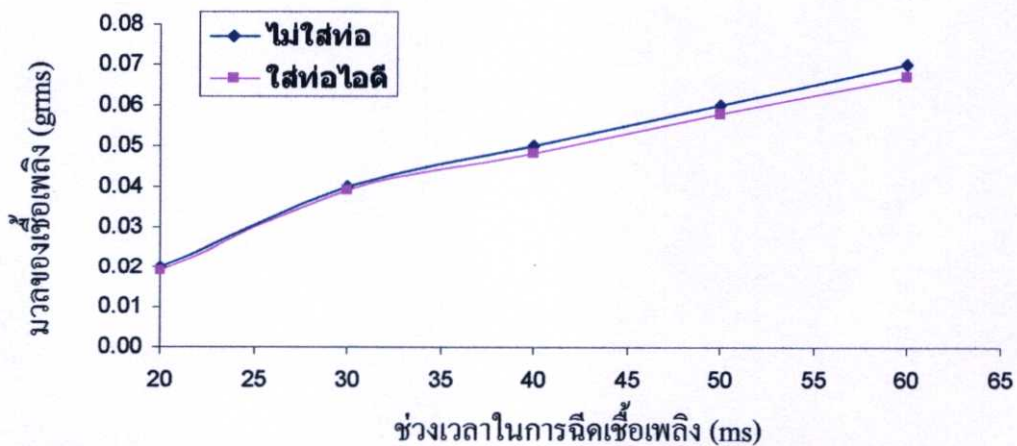
1. นำหัวฉีดบีเกอร์ปิดฝาเพื่อป้องกันละอองของเชื้อเพลิงฟุ้งกระจาย (รูปที่ 3.13 ซ้าย) แล้วตั้งช่วงเวลาในการฉีดของเชื้อเพลิง แล้วฉีดเชื้อเพลิง ที่ 100 ครั้ง และทำการจดน้ำหนักผลต่างของน้ำหนักเพื่อเป็นค่าเฉลี่ยมวลของเชื้อเพลิงกรณีไม่ใส่ท่อไอดี

2. นำท่อไอดีไปวางบนบีเกอร์ (รูปที่ 3.13 ขวา) แล้วใช้ลูมิเนียมฟอยด์หุ้มไว้ป้องกันการฟุ้งกระจายของละอองน้ำมันแล้วฉีดเชื้อเพลิงแล้วทำการฉีดที่ 100 ครั้ง และทำการจดน้ำหนักผลต่างของน้ำหนักเพื่อเป็นค่าเฉลี่ยมวลของเชื้อเพลิง

นำมวลที่ได้มา ไปเปรียบเทียบกันและหาเปอร์เซ็นต์ความต่างระหว่างกรณีใส่ท่อไอดีและไม่ใส่ท่อไอดี โดยที่เปรียบเทียบช่วงเวลากการฉีดของเชื้อเพลิงที่ 20 30 40 50 และ 60 ms รูปที่ 3.14



รูปที่ 3.13 การทดลองการหามวลของเชื้อเพลิงที่ค้างอยู่ในท่อ ไอดีที่พร้อม ไอดี(ด้านซ้ายกรณีไม่ใส่ท่อไอดี ด้านขวากรณีใส่ท่อไอดี)

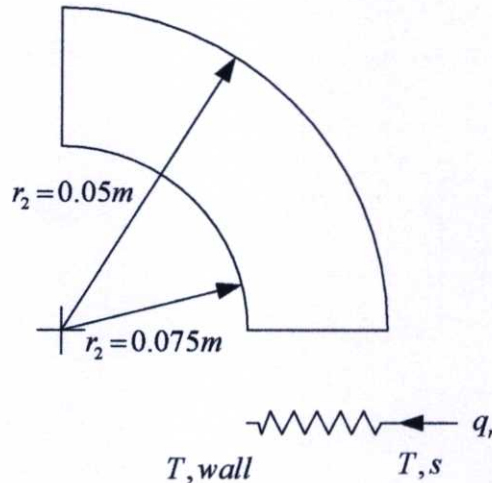


รูปที่ 3.14 ผลการทดลองฉีดเชื้อเพลิงในท่อไอดี

หลังจากการทดลองนี้ได้หามวลเชื้อเพลิงตักข้างของมวลเชื้อเพลิง พบว่าเปอร์เซ็นต์มวลข้างในท่อไฮโดรเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ใส่ท่อไฮโดรที่มากที่สุดเท่ากับ 4.30 เปอร์เซ็นต์ที่ระยะเวลาในการฉีดที่ 60 ms

3.1.2 การออกแบบระบบให้ความร้อนกับห้องเผาไหม้

การออกแบบการให้ความร้อนแก่ห้องเผาไหม้นี้ได้ออกแบบให้ความร้อนจากผนังด้านนอกจากนั้นจะเกิดนำของความร้อนผ่านโลหะจากผนังห้องเผาไหม้ด้านนอกไปยังผนังท่อด้านในเพื่อเป็นการกำหนดสถานะเริ่มต้นในการเผาไหม้ของอากาศภายในห้องเผาไหม้



รูปที่ 3.15 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังห้องเผาไหม้ใหม่ด้านนอกสู่ผนังห้องเผาไหม้ด้านในจากการกำหนดค่า

อุณหภูมิของผนังห้องเผาไหม้ $T, wall$ 185 องศาเซลเซียส (458 องศาเคลวิน)

ความยาวของผนังท่อเท่ากับ $L = 50mm$

ค่าการนำความร้อนของโลหะ $k = 15W / m^2 .K$

$$q_r = \frac{2\pi LK(T_{s2} - T, wall)}{\ln(r_2 / r_1)} \quad 3.1$$

จากการคำนวณกำลังงานความร้อนของฮีตเตอร์เท่ากับ 1300 W และอุณหภูมิของผนังท่อด้านนอกเท่ากับ 770 องศาเคลวิน ที่ทำให้อุณหภูมิผนังท่อเท่ากับ 458 องศาเคลวิน จากสมการที่ 3.1 สามารถคำนวณค่าย้อนกลับเพื่อหาค่าคำตอบของอุณหภูมิผนังด้านในและกำลังของฮีตเตอร์

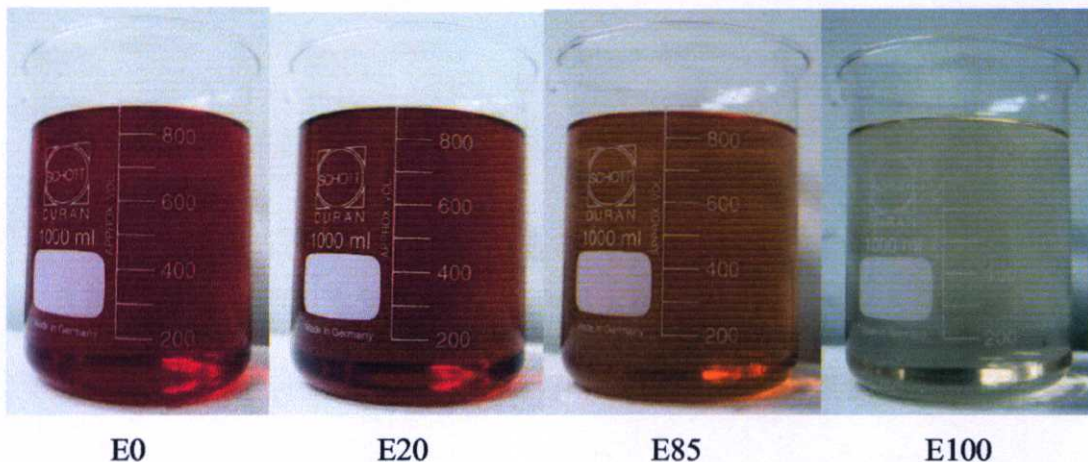
$$1300W = \frac{2\pi(15)(0.012)(770K - T, wall)}{\ln(0.075/0.050)}$$

$$T, wall = 458K$$

ดังนั้นขนาดของฮีตเตอร์ที่ทำให้อุณหภูมิผนังท่อเท่ากับ 770 องศาเคลวิน เท่ากับ 1300 วัตต์

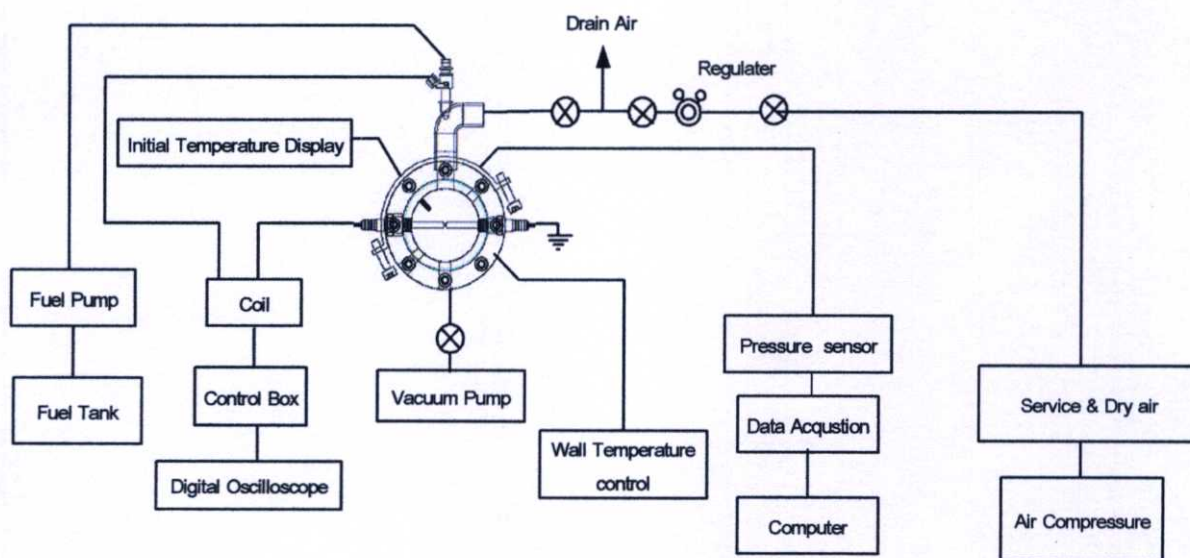
3.3 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง

ได้แก่ เบนซิน (E0) เอทานอลความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ (E100) ตลอดจนเบนซินผสมเอทานอลในอัตราส่วนร้อยละ 20 (E20) ร้อยละ 85 (E85) ซึ่งเชื้อเพลิงเบนซินผสมเอทานอลนั้นมาตรฐานเป็นของการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย



รูปที่ 3.16 ภาพของเชื้อเพลิงเบนซินและเบนซินผสมเอทานอล

3.3 อุปกรณ์การทดลอง

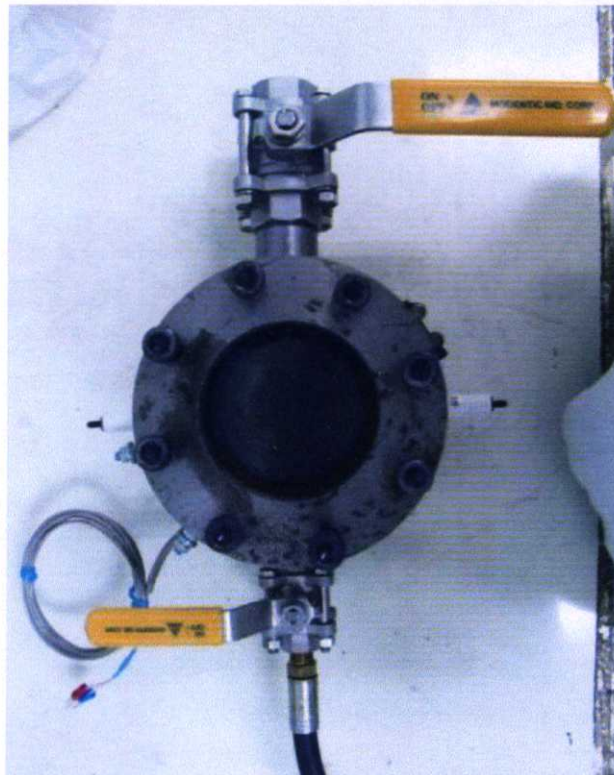


รูปที่ 3.17 พังอุปกรณ์การทดลอง

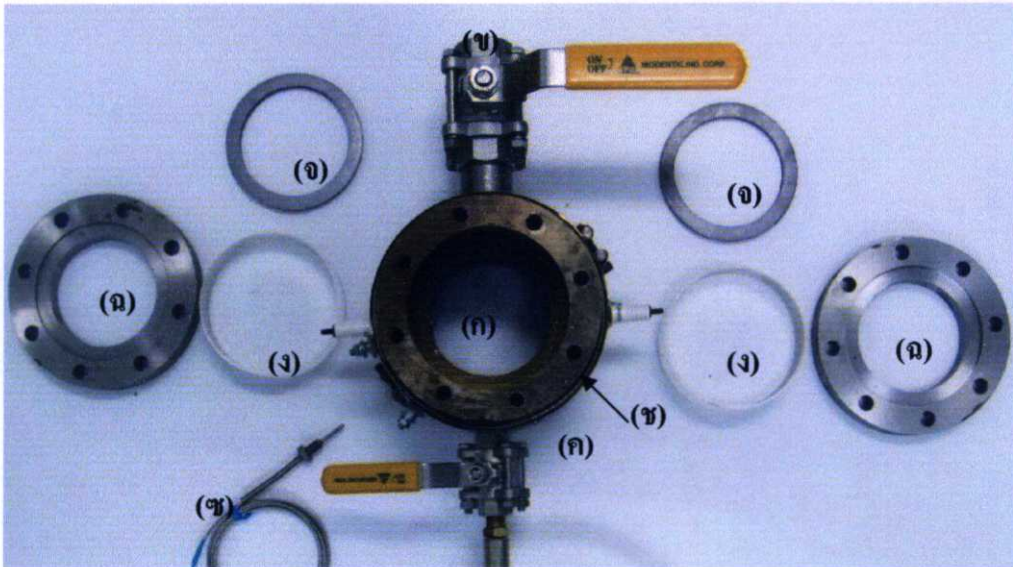
จากรูปที่ 3.17 แสดงถึงอุปกรณ์การทดลองโดยรวม ซึ่งหลักการทำงานของอุปกรณ์ทดลองนี้คือ การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น ได้แก่ ค่าอุณหภูมิเริ่มในการเผาไหม้โดยใช้ ฮีตเตอร์แบบรีดท็อคติดกับผนังด้านนอกของห้องเผาไหม้เพื่อให้เกิดการนำความร้อนผ่าน โลหะที่ใช้เป็นตัวเรือนห้องเผาไหม้ไปยังอากาศในห้องเผาไหม้ และค่าความดันเกจเริ่มต้นในการเผาไหม้จะอาศัยหลักการดันของอากาศเข้าที่ผ่านการตั้งความดันจากอุปกรณ์ปรับความดันอากาศ เพื่อให้อากาศผสมกับเชื้อเพลิงที่ควบคุมมวลในการฉีดจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ในห้องผสมเชื้อเพลิงก่อนที่จะส่งเข้าห้องเผาไหม้ แล้วทำการจุดประกายไฟทำให้เกิดการไหม้ และทำการวัดค่าความดันในการเผาไหม้ตลอดจนบันทึกภาพการลุกลามของเปลวไฟ

3.3.1 ห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber)

ห้องเผาไหม้ที่ใช้ในการทดลองนี้มีปริมาตรภายใน 320 ลูกบาศก์เซนติเมตร ผลิตมาจากเหล็กเพลาฟ้า (SCM4) แล้วเจาะช่องเพื่อติดตั้งบอลวาล์วทางเข้าไอดี ทางออกของไอเสียอยู่ที่กึ่งกลางของห้องเผาไหม้ ตลอดจนเซ็นเซอร์ในการวัดอุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้และอุณหภูมิผนังด้านในของห้องเผาไหม้ เซ็นเซอร์วัดความดันในการเผาไหม้ และช่องสำหรับติดตั้งหัวเทียน

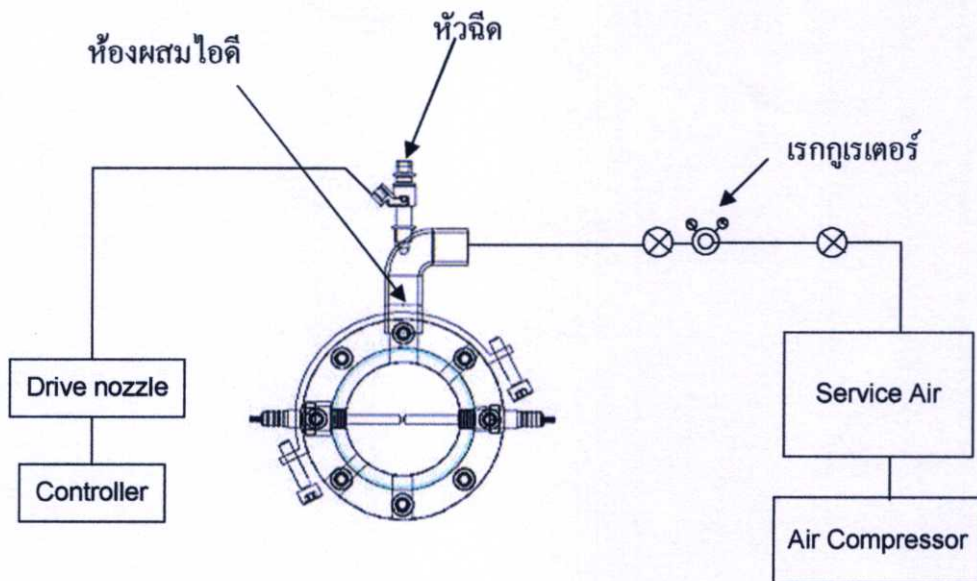


รูปที่ 3.18 ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่



รูปที่ 3.19 รายละเอียดอุปกรณ์ของห้องเผาไหม้ (ก) ตัวเรือนห้องเผาไหม้ (ข) วาล์วทางเข้าไอดี (ค) วาล์วทางออกของไอเสีย (ง) ควอดซ์ (จ) ประเก็น (ฉ) หน้าแปลนยึดควอดซ์ (ช) ฮีตเตอร์ (ฅ) เทอร์โมคัปเบิล

3.3.2 อุปกรณ์จ่ายไอดีเข้าห้องเผาไหม้ (Air supply system)



รูปที่ 3.20 อุปกรณ์จ่ายไอดีเข้าห้องเผาไหม้

รูปที่ 3.20 มีหลักการของชุดจ่ายไอดีเข้าห้องเผาไหม้ดังนี้ เริ่มต้นจาก ปั๊มลม (Air Compressor) จ่ายความดันอากาศไปทำการกรองและทำให้อากาศแห้งที่ชุดบริการลม (Service Air) จากนั้นอากาศที่ถูกกรองและทำให้แห้งแล้วจะถูกส่งเข้าอุปกรณ์ปรับความดันอากาศเพื่อปรับตั้งแรงดันเกจเริ่มต้นในการเผาไหม้ จากนั้นเชื้อเพลิงจะถูกออกมาจากหัวฉีดและผสมกับอากาศที่ห้องผสมไอดีแล้วจะ

ถูกแรงดันอากาศจากอุปกรณ์ปรับความดันอากาศบรรจุเข้าห้องเผาไหม้แล้วทำการปิดวาล์วทางเข้าของไอดีและทำการจุดประกายไฟให้เกิดการเผาไหม้

3.3.3 อุปกรณ์การจ่ายอากาศ

ในการป้อนไอดีเข้าห้องไหม้ได้มีการออกแบบให้อากาศจากปั๊มลม(Air compressor) ดันอากาศไปผสมกับเชื้อเพลิงให้คลุกเคล้ากันก่อนที่ป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยปรับความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้โดยใช้ อุปกรณ์ปรับความดันอากาศรูปที่ 3.21 ซึ่งอากาศผ่านการกรองความชื้นและทำอากาศแห้งก่อนที่จะป้อนเข้าห้องเผาไหม้รูปที่ 3.20



รูปที่ 3.21 อุปกรณ์ปรับความดันอากาศ (Regulator)



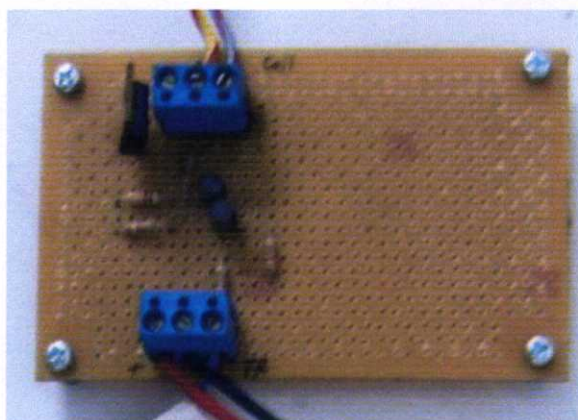
รูปที่ 3.22 ชุดกรองและทำอากาศแห้ง (Service Air)

3.3.4 อุปกรณ์การจ่ายเชื้อเพลิง

ในการจ่ายเชื้อเพลิงนั้นช่วงเวลาในการฉีดของเชื้อเพลิงได้ถูกกำหนดโดยไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งให้ไฟกระแสตรงแรงดัน 5 โวลต์ มาจ่ายที่ชุดวงจรจับหัวฉีดทำให้เข็มยกตัวโซลินอยด์ของเข็มหัวฉีดเกิดการพ่นเป็นฝอยละอองของเชื้อเพลิง ซึ่งเลือกใช้หัวฉีดยี่ห้อ Nippon denso รุ่น DN-C3 ดังรูปที่ 3.23 มีปริมาตรการฉีด 90 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ ที่ความดันในการฉีดของเชื้อเพลิง 294 kPa.



รูปที่ 3.23 หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 3.24 วงจรจับหัวฉีด

รูปที่ 3.24 แสดงถึงวงจรจับหัวฉีด เนื่องจากกระแสไฟที่สั่งการทำงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์มีแรงดันเพียง 5 โวลต์ จึงไม่สามารถยกโซลินอยด์ของหัวฉีดได้ ดังนั้นจึงมีการนำวงจรจับหัวฉีดมาช่วยให้ไฟแรงดัน 12 โวลต์ มาช่วยในการยกโซลินอยด์ของหัวฉีดได้

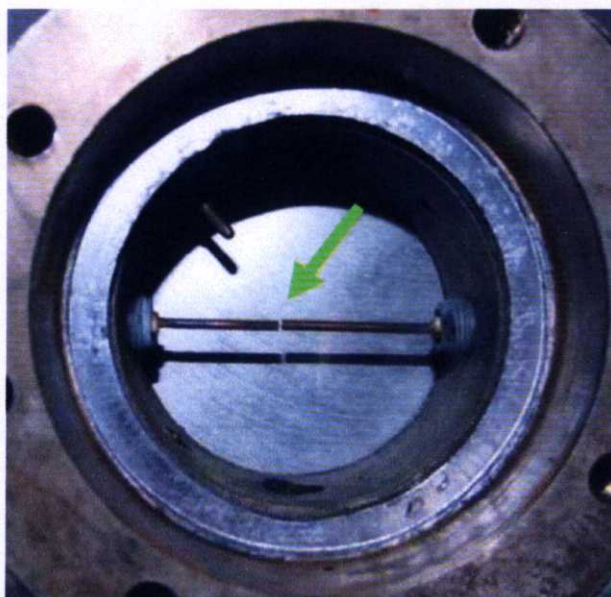
รูปที่ 3.25 ไมคอนโทรคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการควบคุมช่วงเวลาในการจ่ายเชื้อเพลิง โดยอาศัยการเขียนคำสั่งจากซอร์สโค้ดจากโปรแกรมภาษาซี โดยรายละเอียดตัวไมโครคอนโทรลเลอร์มีดังนี้ ตัวชิปมีความจำ 128 เมกะไบต์ ซึ่งรายละเอียดดังนี้ TIMER/COUNTER 8/16 BIT 10 BIT A TO D จำนวน 8 ช่อง TIMER/COUNTER 8/16 BIT 10 PIN ET PSPI สามารถกำเนิดช่วงเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงได้ที่ 0.01 ms ในการทดลอง



รูปที่ 3.25 ไมโครคอนโทรลเลอร์

3.3.5 อุปกรณ์จุดประกายไฟ

ในการเริ่มต้นในการจุดประกายไฟเพื่อให้เกิดการเผาไหม้จึงได้มีการตัดแปลงหัวเทียนยี่ห้อ NGK รุ่น B7HSA มาทำการต่อแกนเจ็วหัวเทียนออกมาให้ยาวขึ้นและเพื่อให้สามารถจุดประกายไฟในตำแหน่งกึ่งกลางห้องเผาไหม้และใช้หัวเทียนอีกตัวหนึ่งเป็นกราวด์เพื่อให้กระแสไฟกระโดดผ่าน แกนเจ็วหัวเทียน มีระยะห่าง 1.5 มิลลิเมตร

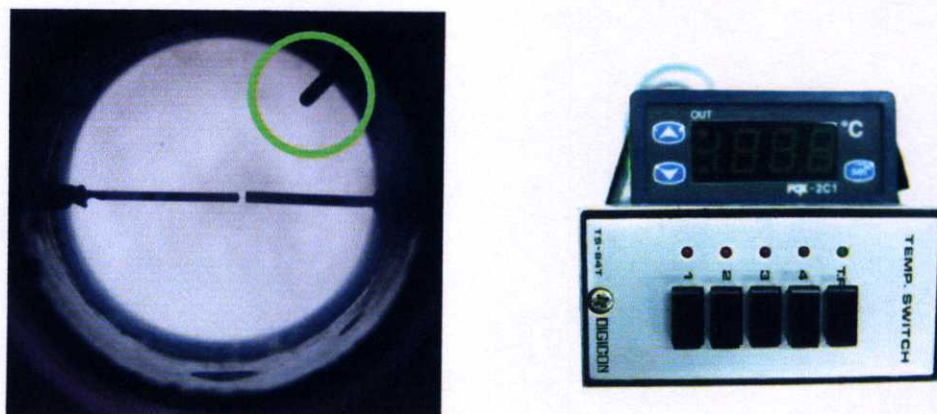


รูปที่ 3.26 หัวเทียนที่ทำการดัดแปลงแล้ว

3.3.6 อุปกรณ์ให้ความร้อนกับห้องเผาไหม้และวัดอุณหภูมิในสถานะเริ่มต้นการเผาไหม้
 เนื่องจากการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนนั้นอุณหภูมิผนังของห้องเผาไหม้ประมาณ 185 องศาเซลเซียส [12] ดังนั้นเพื่อจำลองให้ห้องเผาไหม้มีการทำงานสอดคล้องกับเครื่องยนต์จริงเพราะผนังห้องเผาไหม้เป็นส่วนที่มีพื้นที่ติดกับห้องเผาไหม้มากที่สุด จากการคำนวณในหัวข้อ 3.1.2 ดังนั้นจึงต้องให้ความร้อนกับห้องเผาไหม้ โดยใช้ฮีตเตอร์แบบรัศต่อขนาด 650 วัตต์ จำนวน 2 ตัวต่อขนานกันในการนำความร้อนกับห้องเผาไหม้แล้วใช้ชุดควบคุมฮีตเตอร์โดยอาศัยการป้อนค่ากลับจากเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ติดตั้งไว้ที่ผนังห้องเผาไหม้แล้วใช้อุปกรณ์ควบคุมฮีตเตอร์แบบ PID ในการควบคุมอุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ และการวัดอุณหภูมิเริ่มต้นก่อนเผาไหม้โดยการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลในห้องเผาไหม้ดังรูปที่ 3.28 (ซ้าย)



รูปที่ 3.27 (ซ้าย) ตำแหน่งในการติดตั้งฮีตเตอร์ (ขวา) ชุดควบคุมฮีตเตอร์



รูปที่ 3.28 (ซ้าย) ตำแหน่งในการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล (ขวา) อุปกรณ์แสดงผลการวัดอุณหภูมิเริ่มต้นในสถานะก่อนการเผาไหม้

3.3.7 อุปกรณ์สร้างสุญญากาศในห้องเผาไหม้

ในการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้นั้น จำเป็นต้องทำสุญญากาศให้ห้องเผาไหม้เพื่อสร้างเป็นแรงดูดไอดีเข้าห้องเผาไหม้ในช่วงจ่ายเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้และดูดไอเสียออกจากห้องเผาไหม้หลังจากการเผาไหม้ไปแล้ว โดยที่อุปกรณ์นี้สามารถสร้างความดันสุญญากาศได้ 0.02 บาร์ ปริมาตรดูด 50 ลิตรต่ออนาที



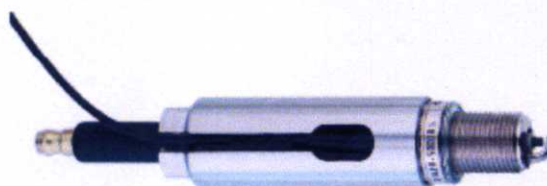
รูปที่ 3.29 อุปกรณ์ทำสุญญากาศ

3.4 อุปกรณ์วัดความดันในห้องเผาไหม้

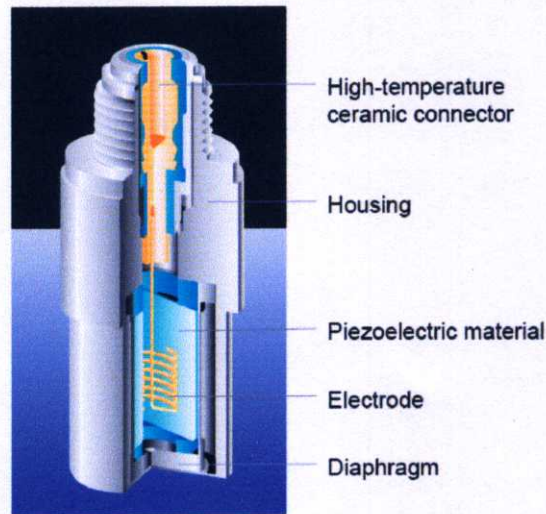
ในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้นั้นมีความเร็วในการเผาไหม้ที่รวดเร็วมาก ดังนั้นการวัดความดันในการเผาไหม้จึงจะเป็นที่ที่จะต้องมียุกรณ์ที่มีความเร็วในการสุ่มเก็บข้อมูลของความดันที่เร็วเช่นเดียวกัน ซึ่งมีรายละเอียดของอุปกรณ์วัดความดันในการเผาไหม้ดังนี้

3.4.1 เซ็นเซอร์วัดความดันภายในห้องเผาไหม้

ในการวัดความดันในการเผาไหม้ตัวเซ็นเซอร์ที่ใช้จำเป็นต้องมีความเร็วในการวัดสูงมาก ดังนั้นจึงเลือกใช้ เซ็นเซอร์ที่ใช้วัดความดันในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จริงแบบมีหัวเทียนในตัว ยี่ห้อ Kistler รุ่น 711BFD ในรูปที่ 3.30 ซึ่งสามารถรับความดันสูงสุดได้ 250 บาร์ รูปที่ 3.31 ซึ่งภาพตัดแสดงถึงอุปกรณ์ภายในตัวเซ็นเซอร์วัดความดัน



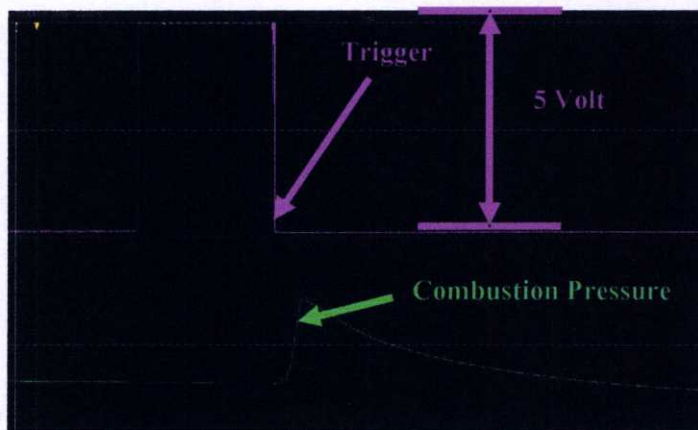
รูปที่ 3.30 เซ็นเซอร์วัดความดันในการเผาไหม้



รูปที่ 3.31 ลักษณะภายในของเซ็นเซอร์ [23]

3.4.2 อุปกรณ์เก็บข้อมูลในการเผาไหม้

ในช่วงที่เกิดการลามของเปลวไฟในห้องเผาไหม้นั้น ความเร็วในการเผาไหม้ของเปลวไฟมีความเร็วในการเผาไหม้ที่เร็ว ดังนั้นเพื่อวัดความดันในการเผาไหม้จึงเลือกใช้อุปกรณ์เก็บข้อมูลความดันที่มีความไวในการเก็บข้อมูลเช่นกัน ซึ่งเลือกใช้ชุดวิเคราะห์ความดันการเผาไหม้ยี่ห้อ DEWETRON รุ่น DEWE 5000 ซึ่งเลือกความเร็วในการเก็บข้อมูล 5000 sample/sec ซึ่งรูปที่ 3.32 แสดงการเก็บข้อมูลของโปรแกรม DEWESOFT ในการเผาไหม้จะเริ่มนับจากสัญญาณ Trigger จากที่ต่อขนานไว้กับคอยด์ (เส้นสีเขียว) ตัดลงที่ศูนย์โวลต์เป็นตำแหน่งบอกถึงการนับเวลาในการเผาไหม้ และจะมีค่าของความดันในการเผาไหม้เพิ่มขึ้น (เส้นสีเขียว)

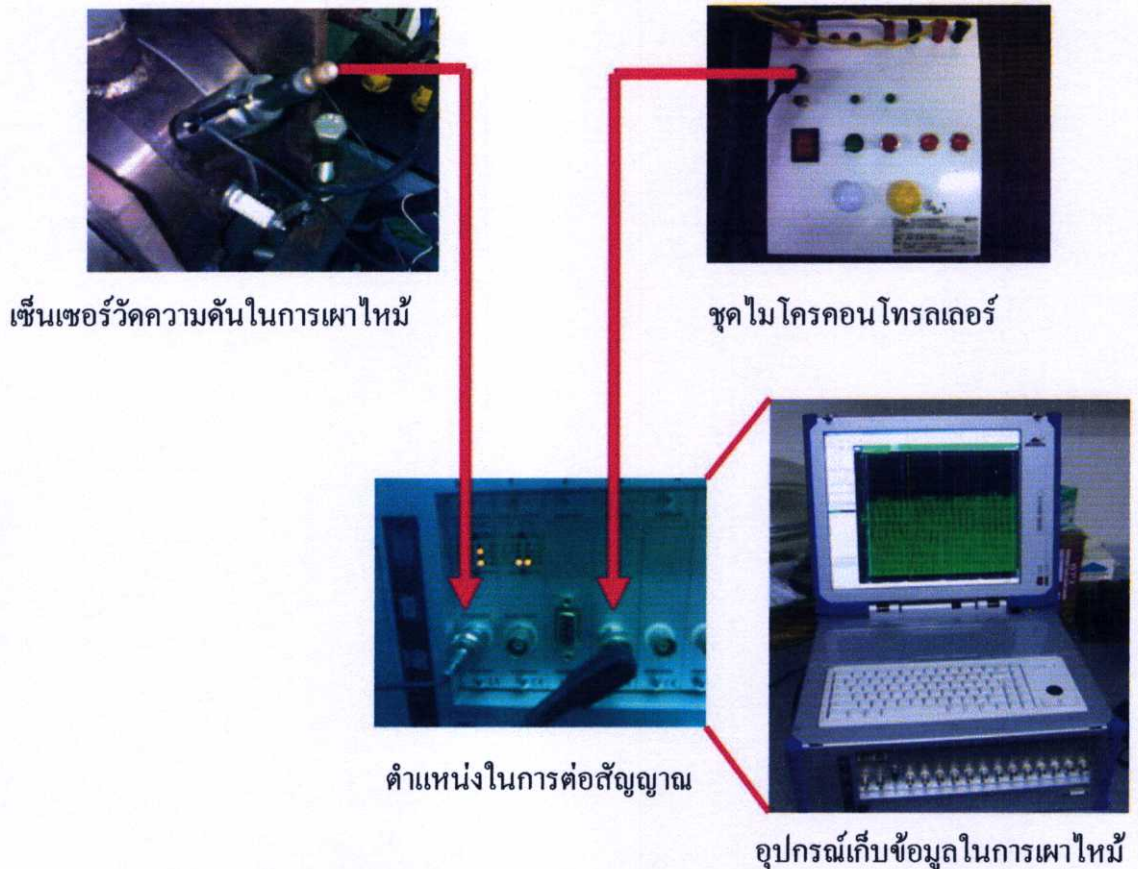


รูปที่ 3.32 โปรแกรม DEWESOFT 6.5.1 ในการเก็บค่าข้อมูลในการเผาไหม้เปรียบเทียบกับช่วงเวลาหลังจากการเผาไหม้

โดยหลักการการวัดความดันในการเผาไหม้เริ่มจากตัวเซ็นเซอร์วัดความดันจะทำการปล่อยกระแสไฟผ่านชุด piezo material ซึ่งจะแปลงความดันไปตามความดันกระแสไฟในห้องเผาไหม้

จากนั้นส่งกระแสไฟที่ออกจากเซ็นเซอร์วัดความดันในการเผาไหม้ไปแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัลที่ชุด change amplifier แล้วนำสัญญาณนี้ไปเก็บข้อมูลความดันที่ชุด High speed data acquisition ซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์ ประกอบกับการใช้โปรแกรม DEWESOFT 6.5.1 ในการเก็บข้อมูลความดันในการเผาไหม้ในการวิเคราะห์การเผาไหม้ในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

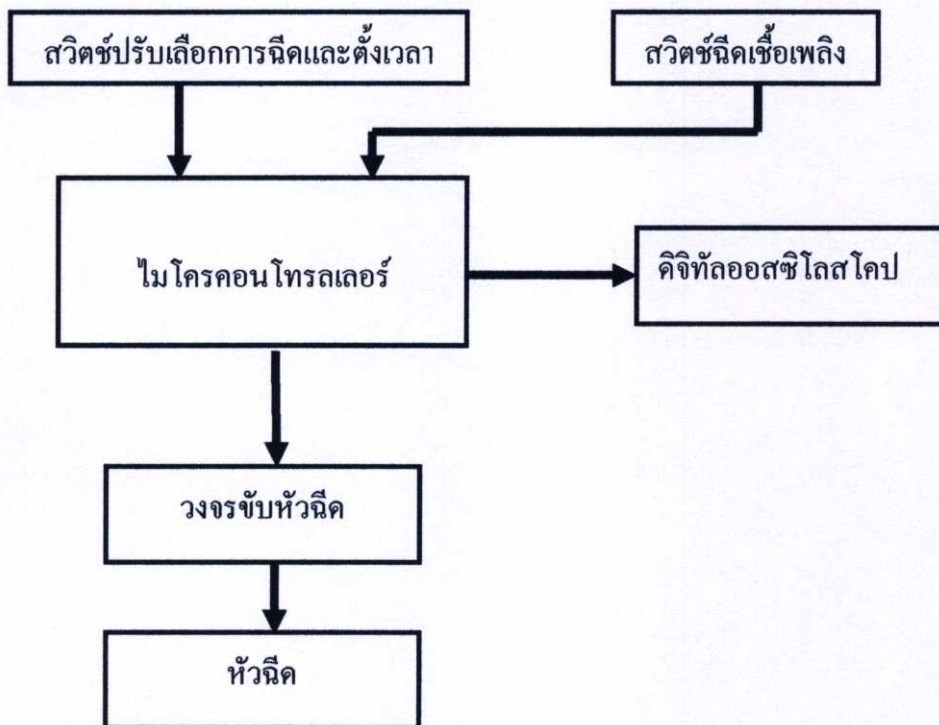
รูปที่ 3.34 แสดงถึงผังการเก็บข้อมูลความดันในการเผาไหม้โดยด้านซ้ายเป็นชุดเซ็นเซอร์เก็บความดันในการเผาไหม้ซึ่งต่ออยู่กับชุด change Amplifier สัญญาณที่ได้เป็น Combustion Pressure (เส้นสีเขียวในรูปที่ 3.32) ส่วนด้านขวาเป็นชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ในการกำหนดนับช่วงเวลาในการเผาไหม้โดยต่ออยู่กับชุด DC in ในชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ในการเก็บสัญญาณ Trigger ของคอยด์จตุระเบิด (เส้นชมพูในรูปที่ 3.32)



รูปที่ 3.33 ผังอุปกรณ์บันทึกข้อมูลความดันในการเผาไหม้

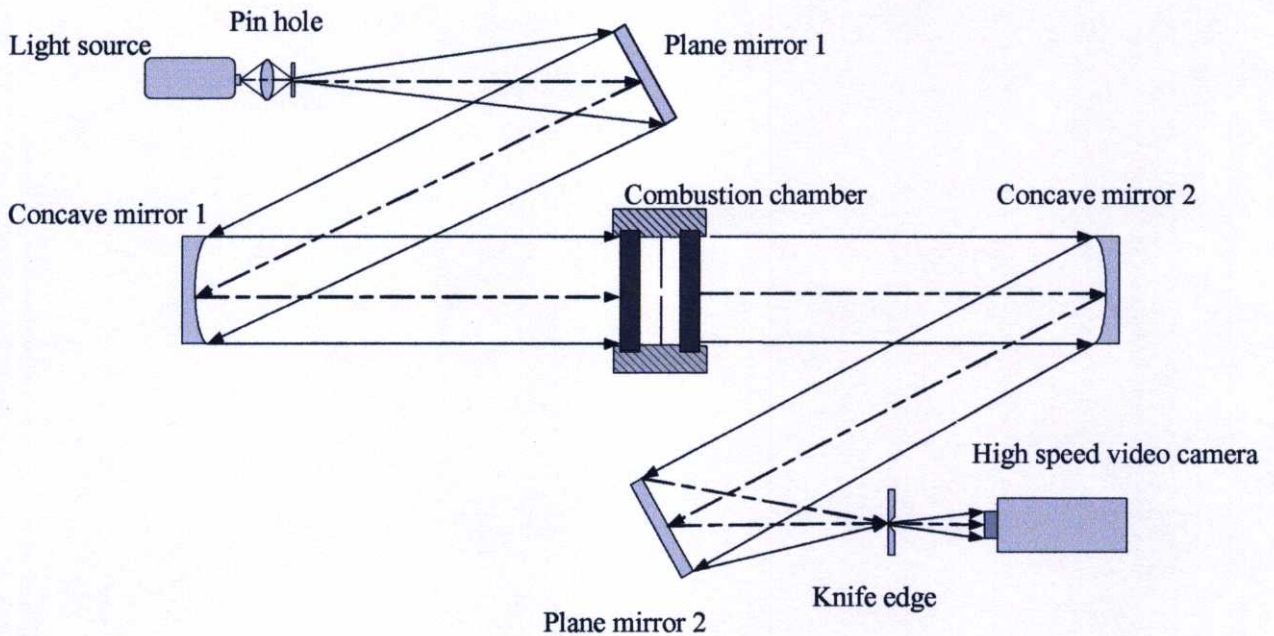
3.4.3 อุปกรณ์วัดช่วงเวลาการฉีดของเชื้อเพลิง

การวัดช่วงเวลาการฉีดเชื้อเพลิงเพื่อการควบคุมมวลเพื่อกำหนดค่าอัตราส่วนมวลของเชื้อเพลิงในการเผาไหม้นั้นย่อมต้องมีอุปกรณ์ในการปรับเปลี่ยนช่วงเวลาตามค่าอัตราส่วนมวลในแต่ละเงื่อนไขในการทดลอง ซึ่งแต่ละเชื้อเพลิงของเบนซินผสมเอทานอลมีมวลในการฉีดไม่เท่ากันในการทำให้อัตราส่วนมวลเท่ากัน จึงจำเป็นที่จะต้องทำการวัดช่วงเวลาในการฉีด โดยสามารถทำได้โดยการปรับตั้งโดยการปรับสวิทช์เลือกการฉีดและตั้งช่วงเวลาการฉีดที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วทำการวัดช่วงเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงด้วยดิจิตอลออสซิลอสโคปที่ความละเอียดในการวัด 0.01 ms และอัตราสุ่มข้อมูล 2G sample/sec เมื่อได้ช่วงเวลาในการฉีดตามตารางที่คำนวณไว้แล้วจากนั้นทำการเปลี่ยนสวิทช์เลือกการฉีด ซึ่งเมื่อกดสวิทช์ฉีดเชื้อเพลิงทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณในการฉีดตามเวลาที่ตั้งเวลาไว้ไปสั่งให้ชุดวงจรจับหัวฉีดจ่ายไฟไปยกโซลินอยด์หัวฉีดในการฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้



รูปที่ 3.34 แผงการควบคุมการฉีดของเชื้อเพลิงและการวัดช่วงเวลาในการฉีดของเชื้อเพลิง

3.5 อุปกรณ์การถ่ายภาพแบบซูริเรน



รูปที่ 3.35 ผังอุปกรณ์การทดลองแบบซูริเรนกับห้องเผาไหม้

หลักการทำงานของอุปกรณ์ถ่ายภาพแบบซูริเรน เริ่มจากแหล่งกำเนิดแสง (Light source) ซึ่งเลือกใช้หลอดไฟซีนอนได้กำเนิดแสงออกมา ลำแสงนี้จะถูกควมผ่านเลนส์และผ่านการปรับแสงที่ผ่าน (Pin hole) จากนั้นลำแสงจะถูกส่งไปกระทบกระจกเงาระนาบขนานที่ 1 (Plane mirror 1) แล้วสะท้อนหากระจกโค้งตัวที่ 1 (Concave 1) จากนั้นลำแสงจะหักเหผ่านชุดทดสอบซึ่งเป็นห้องเผาไหม้ (Combustion chamber) แล้วสะท้อนไปยังกระจกโค้งตัวที่ 2 (Concave mirror 2) เพื่อให้ลำแสงหักเหไปยังกระจกเงาระนาบตัวที่ 2 (Plane mirror 2) ซึ่งในตำแหน่งหลังจุดนี้ที่ตำแหน่งโฟกัส จะถูกตัดแสงด้วยใบมีดตัดแสง (Knife edge) แล้วส่งลำแสงนั้นไปกระทบกับหน้าเลนส์ของกล้องถ่ายภาพวิดีโอความเร็วสูง (High speed video camera) ในการบันทึกภาพการลุกลามของเปลวไฟ

จากรูปที่ 3.35 แสดงถึงผังอุปกรณ์การทดลองแบบซูริเรนกับห้องเผาไหม้ การถ่ายภาพซูริเรนประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

3.5.1 ชุดกำเนิดแสง (Light Source)

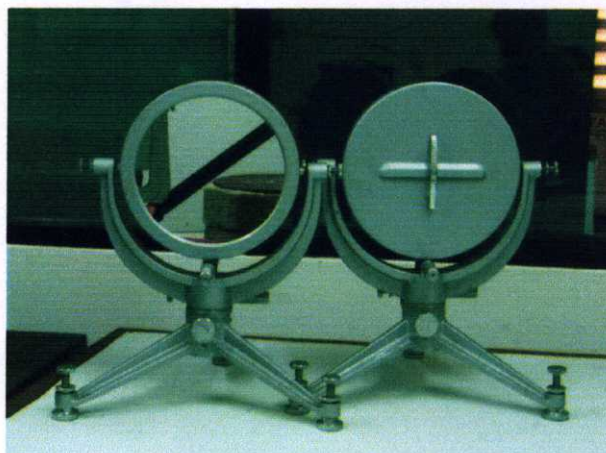
ชุดกำเนิดแสงนี้เป็นชุดที่ทำให้เกิดแสงสว่างในการทดลองและภายในชุดกำเนิดแสงประกอบไปด้วยหลอดไฟซีนอน (Xenon Lamp HID) ความสว่างแสงขนาด 6,000 K ซึ่งจะได้แสงขาวนวล และบัลลาสต์ขนาด 100 วัตต์ จากนั้นแสงถูกควบคุมผ่านเลนส์ผ่านชุดรูตัดแสง (Pin hole) ในการเลือกขนาดความเข้มของแสงที่จะส่งไปกระทบกระจกระนาบตัวที่ 1



รูปที่ 3.36 ชุดกำเนิดแสง (Light Source)

3.5.2 กระจกโค้ง (Concave mirror)

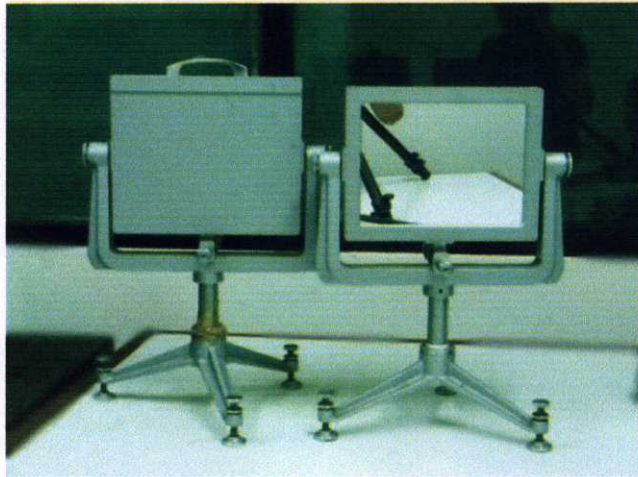
กระจกโค้งที่ใช้เป็นกระจกโค้ง 2 บาน ใช้ในการหักเหของแสงซึ่ง มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 180 มิลลิเมตร ระยะ โฟกัส 1,800 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.37 กระจกโค้ง (Concave mirror)

3.5.3 กระจกเงา (Reflect Mirror)

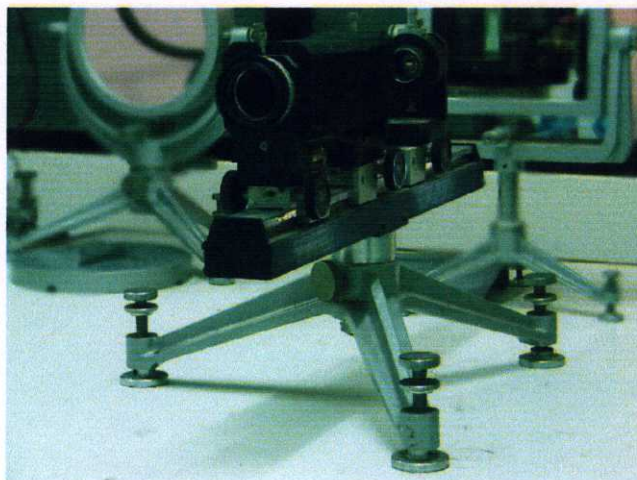
ขนาดของกระจกเงาเท่ากับ 150 x 200 มิลลิเมตร ใช้ในการร่นระยะของจุดโฟกัสกรณี
ที่ระยะ โฟกัสของกระจกห่างมากเกินไปทำให้ลดพื้นที่ในการวางอุปกรณ์ในกรณีค่าตำแหน่งจุด
โฟกัสของกระจกโค้งที่ยาว



รูปที่ 3.38 กระจกเงา (Plane Mirror)

3.5.4 ชุดใบมีดตัดแสง (Knife Edge System)

ชุดใบมีดตัดแสงนี้มีหน้าที่ตัดแสงส่วนเกินที่ตำแหน่ง โฟกัสหลังกระจกโค้งตัวที่ 2 เพื่อจะ
ได้เห็นภาพชัดยิ่งขึ้น หากเป็นการถ่ายภาพแบบซาโดว์กราฟจะไม่ใช่ชุดใบมีดตัดแสง



รูปที่ 3.39 ชุดใบมีดตัดแสง (Knife edge)

3.5.5 กล้องถ่ายภาพวิดีโอความเร็วสูง (High speed video camera)

เนื่องจากเวลาในการเผาไหม้มีการลุกลามของเปลวไฟนั้นเร็วมาก ดังนั้นบันทึกภาพการลามของเปลวไฟได้ทันจึงใช้การบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพวิดีโอความเร็วสูงยี่ห้อ Prottron รุ่น APX-RS ในการบันทึก และความเร็วสูงสุดในการบันทึกภาพที่ 30,000 เฟรมต่อวินาที



รูปที่ 3.40 กล้องถ่ายภาพวิดีโอความเร็วสูง

3.6 การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาในการฉีดของเชื้อเพลิงกับมวลของเชื้อเพลิง

เนื่องจากตัวไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นไม่สามารถทราบได้ว่าที่ใช้ช่วงเวลาในการฉีดของเชื้อเพลิงเท่าไรที่จะทำให้ค่าอัตราส่วนสมมูลได้ตามที่กำหนดจากการคำนวณ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาในการฉีดของเชื้อเพลิงกับมวลของเชื้อเพลิง โดยกำหนดค่าความดันในการฉีดของเชื้อเพลิงที่ 298 kPa และปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้

1. นำปีกเกอร์ใส่หัวฉีดแล้วใช้พลาสติกหุ้มเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของละอองเชื้อเพลิง
2. จากนั้นนำปีกเกอร์ไปวางบนตาชั่ง ดังรูปที่ 3.42
3. ทำการจดบันทึกมวลของปีกเกอร์ก่อนที่จะทำการฉีดเชื้อเพลิง
4. ทำการตั้งค่าช่วงเวลาในการฉีดที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเริ่มตั้งแต่ 10 ms
5. กดสวิทช์ฉีดเชื้อเพลิงจำนวน 100 ครั้ง จากนั้นบันทึกทำค่ามวลของเชื้อเพลิงหลังการฉีดไปลบกับก่อนที่จะฉีดเชื้อเพลิงแล้วหาค่าเฉลี่ยของมวลเชื้อเพลิงในช่วงเวลาการฉีด
6. ปฏิบัติตามขั้นตอนที่ 5 โดยปรับช่วงเวลาในการฉีดของเชื้อเพลิงที่ 20 ms 30 ms 40 ms 60 ms และ 70 ms

7. จากนั้นนำค่าเฉลี่ยของเชื้อเพลิงในแต่ละช่วงเวลาไปสร้างความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาในการฉีดกับมวลของเชื้อเพลิง เพื่อใช้ในทดลองในเรื่องไขการทดลองต่างๆ

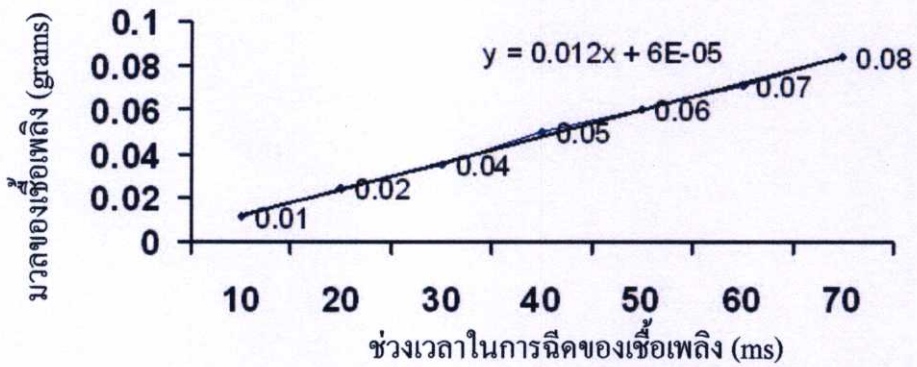
สมการที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลของเชื้อเพลิงและช่วงเวลาในการฉีดของเชื้อเพลิง

$$y = 0.012x + 0.012^{-5} \quad (3.1)$$

โดยที่

y คือ มวลของเชื้อเพลิง

x คือ ช่วงเวลาการฉีดที่วัดได้จาก คิวท์ลอสซิโลสโคป



รูปที่ 3.41 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาในการฉีดของเชื้อเพลิงกับมวลของเชื้อเพลิง



รูปที่ 3.42 การชั่งมวลของเชื้อเพลิง

จากคำนวณค่ามวลของเชื้อเพลิงในการทดลองที่เงื่อนไขต่างกันตามสมการที่ 3.3 และ 3.5 เราสามารถเปรียบเทียบของมวลเชื้อเพลิงในรูปที่ 3.28 เพื่อได้ค่ามวลของเชื้อเพลิงที่เงื่อนไขการทดลองต่างๆ ตามตารางที่ 3.1- 3.6

ตารางที่ 3.1 ช่วงเวลาการฉีดของเชื้อเพลิงจากการคำนวณ ผลของค่าอุณหภูมิร้อนเท่ากัน

เชื้อเพลิง	ช่วงเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง (ms)
E0	36
E100	40

ตารางที่ 3.2 ช่วงเวลาการฉีดของเชื้อเพลิงจากการคำนวณ ผลของค่าอัตราส่วนสมมูล

$$\phi = 0.8, P_{\text{int}} = 1 \text{ kg} / \text{cm}^2, T_{\text{int}} = 450 \text{ K}$$

เชื้อเพลิง	ช่วงเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง (ms)
E0	22.69
E20	23.48
E85	30.84
E100	36.68

ตารางที่ 3.3 ช่วงเวลาการฉีดของเชื้อเพลิงจากการคำนวณผลของค่าอัตราส่วนสมมูล

$$\phi = 1.0, P_{\text{int}} = 1 \text{ kg} / \text{cm}^2, T_{\text{int}} = 450 \text{ K}$$

เชื้อเพลิง	ช่วงเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง (ms)
E0	34.03
E20	35.22
E85	46.27
E100	55.03

ตารางที่ 3.4 ช่วงเวลาการฉีดของเชื้อเพลิงจากการคำนวณผลของค่าอัตราส่วนสมมูล

$$\phi = 1.2, P_{\text{int}} = 1 \text{ kg/cm}^2, T_{\text{int}} = 450 \text{ K}$$

เชื้อเพลิง	ช่วงเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง (ms)
E0	33.83
E20	35.0
E85	45.99
E100	54.70

ตารางที่ 3.5 ช่วงเวลาการฉีดของเชื้อเพลิงจากการคำนวณผลของค่าอัตราส่วนสมมูล

$$\phi = 1.4, P_{\text{int}} = 1 \text{ kg/cm}^2, T_{\text{int}} = 450 \text{ K}$$

เชื้อเพลิง	ช่วงเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง (ms)
E0	28.36
E20	29.35
E85	38.56
E100	45.86

ตารางที่ 3.6 ช่วงเวลาในการฉีดของเชื้อเพลิง

ที่ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้ $P_{\text{int}} = 1.5 \text{ kg/cm}^2, \phi = 1.0, T_{\text{int}} = 450 \text{ K}$

เชื้อเพลิง	ช่วงเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง (ms)
E0	39.71
E20	41.09
E85	53.98
E100	64.20

ตารางที่ 3.7 ช่วงเวลาการฉีดของเชื้อเพลิง ที่อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ที่

$$T_{\text{int}} = 470K, \phi = 1.0, P_{\text{int}} = 1.0 \text{ kg/cm}^2$$

เชื้อเพลิง	ช่วงเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง (ms)
E0	27.15
E20	28.10
E85	36.91
E100	43.91

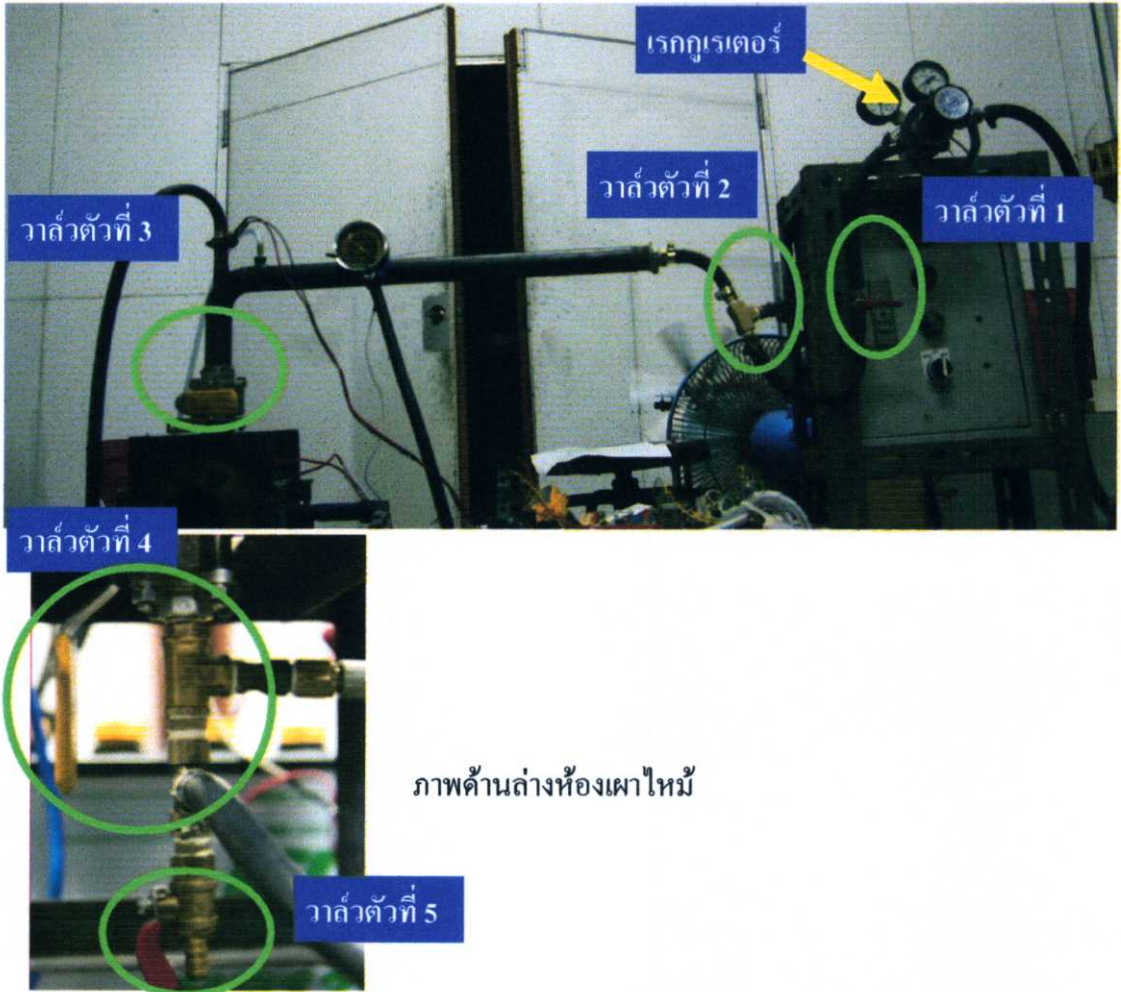
3.8 วิธีการทดลอง

ก่อนที่จะทำการทดสอบนั้นต้องแน่ใจว่าขันโบลที่ยึดห้องเผาไหม้แน่นทุกตัวแล้วและไม่มีการรั่วระหว่างปะเก็นและควอตซ์

ขั้นตอนในการทดลองมีดังนี้ (ดูประกอบกับรูปที่ 3.43)

- เปิดสวิตเตอร์ให้อุณหภูมิของห้องเผาไหม้ให้อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ที่กำหนดไว้
- ทำการปรับตั้งช่วงเวลาในการฉีดของเชื้อเพลิงที่ไมโครคอนโทรลเลอร์
- ทำการปรับตั้งความดันเกจเริ่มต้นในการเผาไหม้ที่อุปกรณ์ปรับความดันอากาศ (เรกกูเรเตอร์)
- ปิดวาล์วจ่ายไอดีที่ 3 และ 5 แล้วเปิดวาล์วตัวที่ 4 เพื่อทำสุญญากาศห้องเผาไหม้
- ทำการปิดวาล์วตัวที่ 5 และ 4 แล้วเปิดวาล์วตัวที่ 2 เปิดวาล์วตัวที่ 3 พร้อมกับการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าท่อไอดีในขณะเดียวกัน ปิดวาล์วตัวที่ 2 และเปิดวาล์วตัวที่ 1 เพื่อให้อากาศจากอุปกรณ์ปรับความดันอากาศเข้าห้องเผาไหม้โดยสังเกตเกจวัดแรงดันที่อุปกรณ์ปรับความดันอากาศว่าความดันเท่ากับที่ตั้งความดันเกจเริ่มต้น (ดูที่เกจเรกกูเรเตอร์) ตามเงื่อนไขการทดลองแล้วหรือยัง
- เมื่อแรงดันลมในเกจอุปกรณ์ปรับความดันอากาศคงที่แล้วให้ปิดวาล์วตัวที่ 3 แล้วทำการต้องสังเกตต่อไปอีกว่าอีกว่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้เท่ากับเงื่อนไขการทดลองหรือไม่ ถ้าอุณหภูมิเท่ากันทดลองแล้วให้ทำการจุดประกายไฟ หากอุณหภูมิเริ่มต้นมีมากกว่ากำหนดไว้ ให้ไล่อากาศออกจากห้องเผาไหม้โดยเปิดวาล์วตัวที่ 3 และตัวที่ 5 เพื่อเป็นการระบายความร้อนให้กับห้องเผาไหม้ หากอุณหภูมิเริ่มต้นไม่ถึงตามกำหนดให้ปรับอุณหภูมิของสวิตเตอร์ขึ้นอีก แล้วเริ่มขั้นตอนที่ 2 ใหม่
- เมื่อมีการเผาไหม้แล้ว ให้ระบายไอเสียจากการห้องเผาไหม้โดยเปิดวาล์วตัวที่ 3 และวาล์วตัวที่ 4 และ 5 แล้วทำสุญญากาศห้องเผาไหม้

8. จากนั้นการปิดวาล์วตัวที่ 3 และ 5 แล้วเปิดวาล์วตัวที่ 4 ในการทำสุญญากาศให้กับห้องเผาไหม้



รูปที่ 3.43 ตำแหน่งของวาล์วในอุปกรณ์ทดลอง

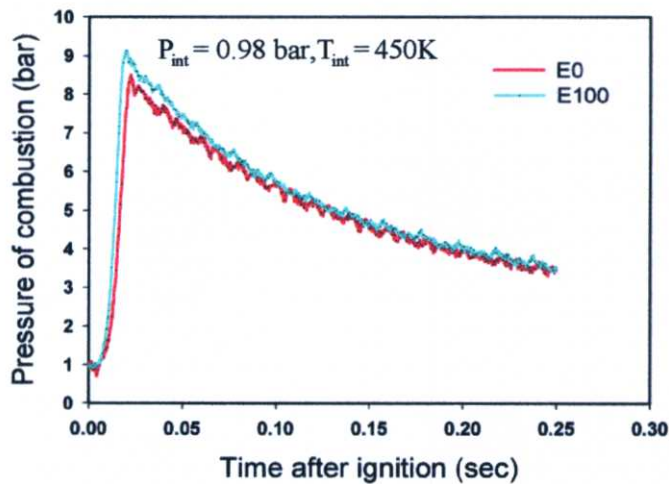
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

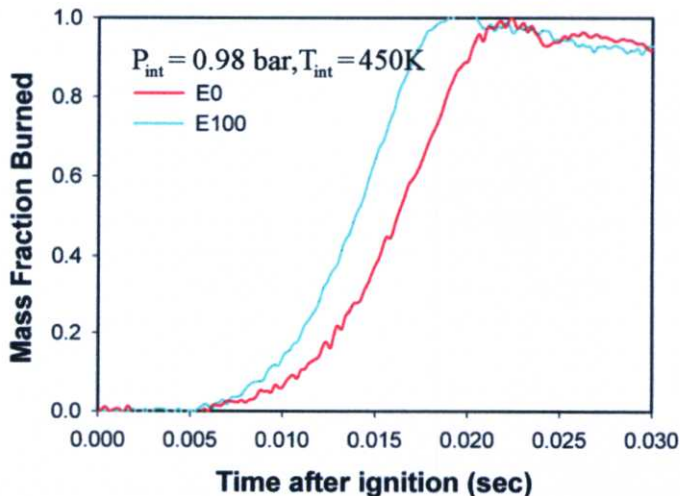
ในส่วนนี้จะกล่าวถึงบทการทดลองของการเผาไหม้ของเอทานอลผสมเบนซินทั้งส่วนของความดันในการเผาไหม้และภาพถ่ายการลามของเปลวไฟ

4.1 ผลการเปรียบเทียบความดันในการเผาไหม้เมื่อค่าอุณหภูมิเท่ากันระหว่างเอทานอลและเบนซิน

รูปที่ 4.1 ผลของความดันในการเผาไหม้เปรียบเทียบ โดยการคงที่ช่วงเวลาในการฉีดของเบนซิน (E0) เท่ากับ 30 ms ซึ่งได้ทำการคำนวณระยะเวลาการฉีดของ E100 เท่ากับ 46.6 ms เพื่อเปรียบเทียบความดันในการเผาไหม้ที่ค่าอุณหภูมิของแต่ละเชื้อเพลิงเท่ากันพบว่าความดันสูงสุดในการเผาไหม้ของเอทานอลมีค่าสูงกว่าเบนซินอยู่ที่ 0.5 บาร์



รูปที่ 4.1 ผลของความดันในการเผาไหม้เปรียบเทียบเมื่ออุณหภูมิเท่ากัน

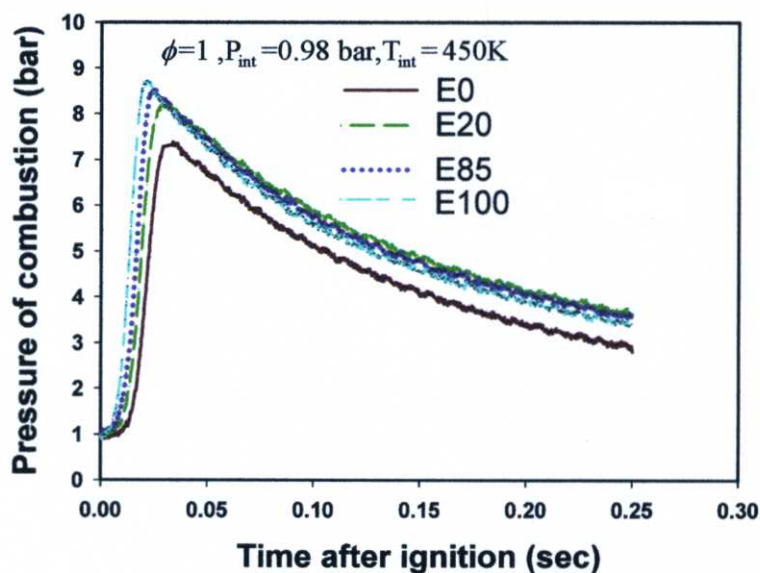


รูปที่ 4.2 เศษส่วนมวลในการเผาไหม้เปรียบเทียบเมื่ออุณหภูมิเท่ากัน

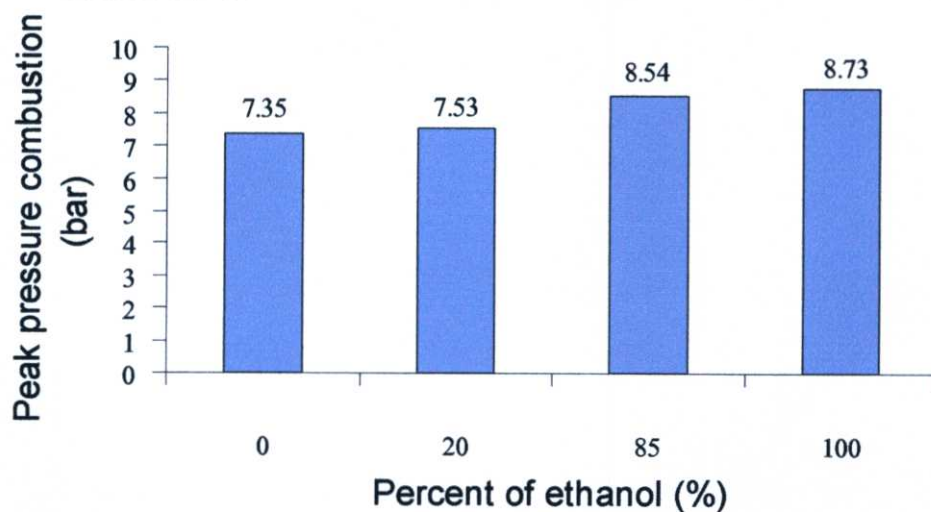
จากรูปที่ 4.2 เศษส่วนมวลในการเผาไหม้คำนวณมาจากสมการที่ 2.11 พบว่าเอทานอลและเบนซินจะมีค่าของเศษส่วนมวลในการเผาไหม้ตั้งแต่ช่วงเวลาลงการเผาไหม้ที่ 0.06 sec แต่เริ่มมีความแตกต่างของค่าเศษส่วนมวลในการเผาไหม้ตั้งแต่ 0.07 sec เอทานอลมีความชันของกราฟที่เพิ่มขึ้นมากกว่าเบนซิน แสดงว่าเมื่อค่าปรับค่าพลังงานความร้อนเท่ากันนั้นค่าเศษส่วนมวลในการเผาไหม้ของเอทานอลสามารถติดไฟได้เร็วกว่าเบนซิน

4.2 ผลการเปรียบเทียบการเผาไหม้ที่ค่าอัตราส่วนผสมเท่ากับ 1

จากการคำนวณช่วงเวลาการฉีดของเชื้อเพลิงเพื่อให้อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงเหมาะสมในช่วง $\phi = 1$ ของเชื้อเพลิงในของเอทานอลผสมเบนซินในอัตราส่วนต่างกัน โดยตั้งความดันเกจเริ่มต้นในการเผาไหม้ 0.98 บาร์ อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ 450 องศาเซลเซียส ซึ่งผลของการวัดความดันในการเผาไหม้ได้ผลดังรูปที่ 4.3

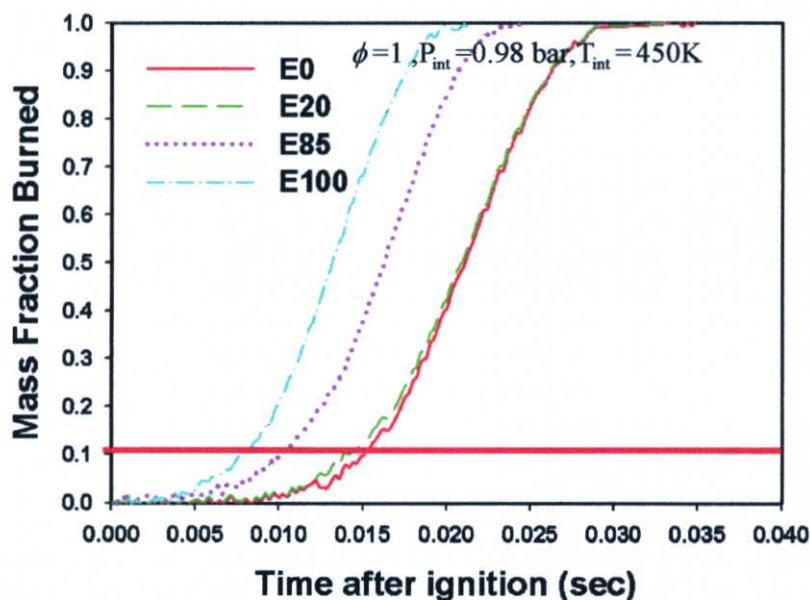


รูปที่ 4.3 ผลของความดันในการเผาไหม้เปรียบเทียบกับช่วงเวลาหลังจากการเผาไหม้ที่อัตราส่วนเอทานอลต่างกัน



รูปที่ 4.4 ผลของความดันสูงสุดในการเผาไหม้ในแต่ละอัตราส่วนเชื้อเพลิงเอทานอลผสมเบนซิน

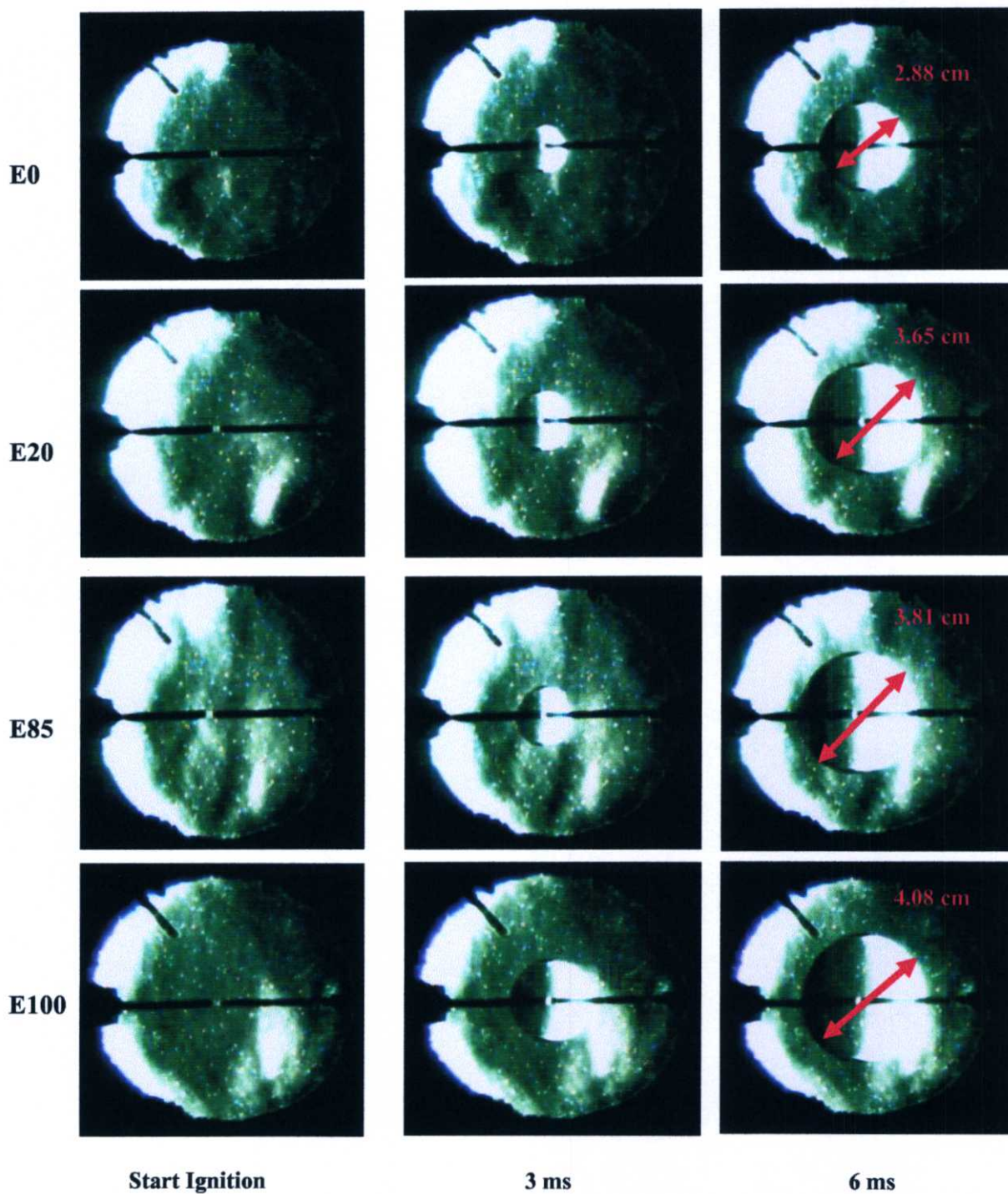
จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบค่าความดันในการเผาไหม้ เปรียบเทียบที่ช่วงเวลาในการหลังการเผาไหม้ที่ ค่าเปอร์เซ็นต์ของเอทานอลต่างกัน พบว่าค่าความชันของกราฟ ในช่วงหลังจากการเผาไหม้ ของเชื้อเพลิงเอทานอลมีค่าความชันสูงสุด ซึ่งรองลงมาเป็น E85 E20 E0 ตามลำดับและสามารถแสดงผลของความดันสูงสุดในการเผาไหม้รูปที่ 4.4 มาเปรียบเทียบในแต่ละเปอร์เซ็นต์ของเอทานอลพบว่า E100 มีค่าความดันในการเผาไหม้สูงสุดที่ 8.73 บาร์ รองลงมา เป็น E85 เท่ากับ 7.54 บาร์ และ E20 เท่ากับ 7.53 บาร์ ซึ่งความดันในการเผาไหม้น้อยที่สุดได้แก่ E0 เท่ากับ 7.35 บาร์



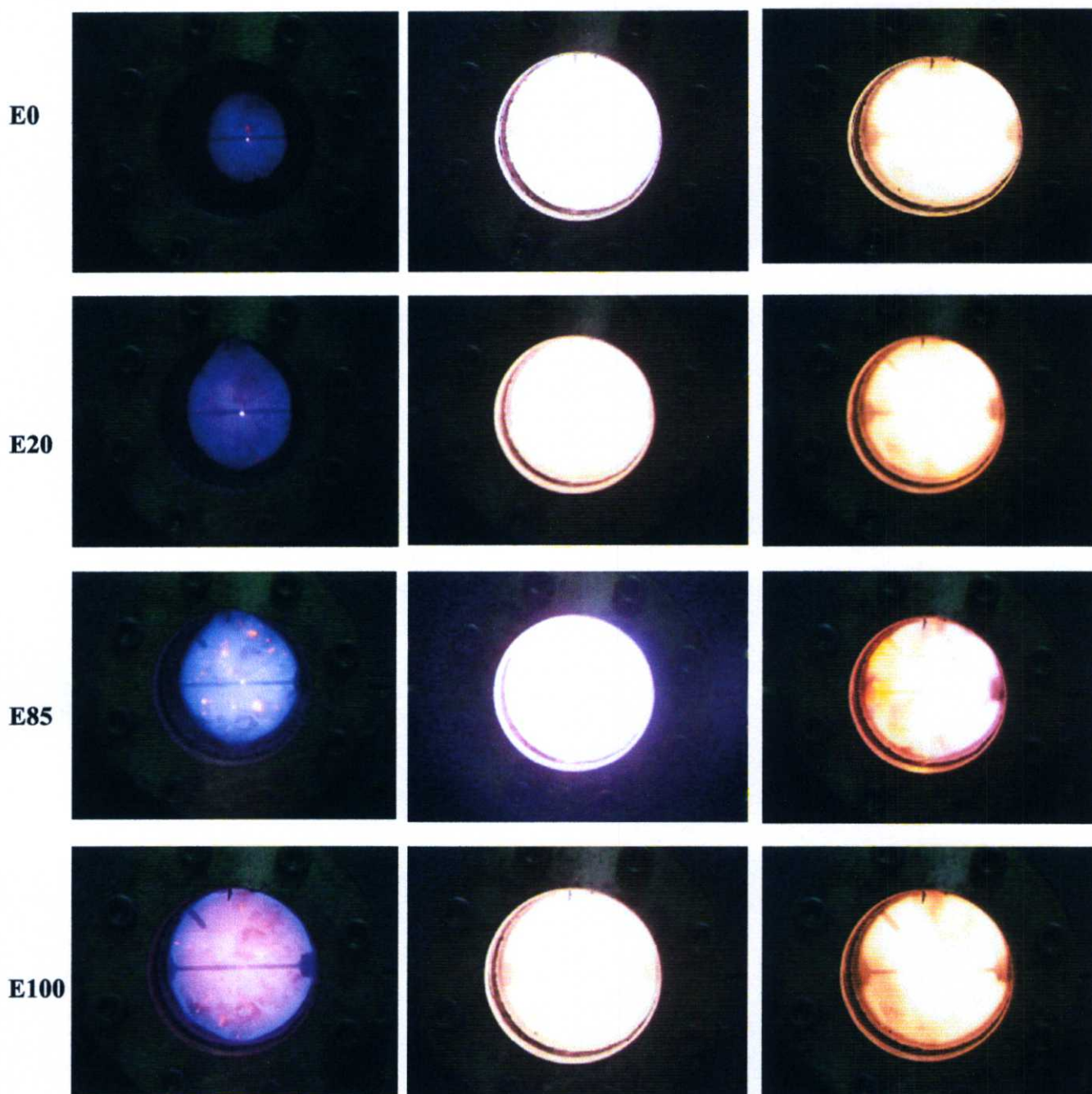
รูปที่ 4.5 ค่าเศษส่วนมวลในการเผาไหม้ ที่ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1

จากค่าความดันตามช่วงเวลาในการเผาไหม้ นำมาคำนวณหาค่าเศษส่วนมวลในการเผาไหม้หลังจาก ข้อมูลความดันในการเผาไหม้ไปคำนวณ จากสมการที่ 2.11 เปรียบเทียบที่ความล่าช้าในการเผาไหม้ โดยเปรียบเทียบว่าเมื่อเศษส่วนมวลในการเผาไหม้เท่ากับ 1 นั้นแสดงว่าการเผาไหม้ของมวลใน ห้องเผาไหม้หมดแล้ว แต่ในที่นี้สนใจในช่วง 10 เปอร์เซ็นต์หลังของเศษส่วนมวลในการเผาไหม้ ของเชื้อเพลิงทั้งหมดเพื่อสังเกตค่าเวลาล่าช้าในการเผาไหม้ในช่วงเริ่มต้นในการเผาไหม้ พบว่าเอทานอล E100 มีใช้ช่วงเวลา 7.8 ms E85 มีใช้ช่วงเวลา 10 ms E20 มีใช้ช่วงเวลา 14 ms และ เบนซิน E0 ใช้ช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ 15.2 ms จากผลการทดลองพบว่าช่วงล่าช้าในการจุดเผาไหม้ของ เบนซินมีค่าช้ากว่าเบนซินผสมเอทานอลและเอทานอลล้วนตามลำดับ

4.3 ภาพถ่ายการลามของเปลวไฟ



รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายการลามของเปลวไฟด้วยเทคนิคซูริเรนร่วมกับกล้องวิดีโอความเร็วสูง ใช้ความเร็วในการถ่าย 10,000 frame/sec ที่เงื่อนไขความดันเกจในการเริ่มต้น 0.98 บาร์ อุณหภูมิเริ่มต้นในสภาวะก่อนการเผาไหม้ 450 องศาเซลเซียส ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1



รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายลำดับการลามของเปลวไฟด้วยกล้องวิดีโอความเร็วในบันทึกภาพ 40 frame/sec ที่ความดันในการเริ่มต้น 0.98 บาร์ อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ 450 องศาเซลเซียส อัตราส่วนผสมเท่ากับ 1 ของเบนซิน เริ่มมีการเผาไหม้จากภาพด้านซ้าย

จากรูปที่ 4.6 ตัวอย่างภาพถ่ายการลุกไหม้ของเปลวไฟโดยใช้เทคนิคซูร์เรนซึ่งทำการแปลงไฟล์วิดีโอมาเป็นภาพนิ่งในการเปรียบเทียบเส้นผ่านศูนย์กลางของเปลวไฟในแต่ละเชื้อเพลิงในช่วงเวลาหลังจากการเผาไหม้ที่ 3 ms และ 6 ms เพื่อเปรียบเทียบเส้นผ่านศูนย์กลางของเปลวไฟ

จากรูปที่ 4.7 ผลของการลามของเปลวไฟโดยการใช้กล้องวิดีโอความเร็วในการบันทึกภาพ 40 flame/sec โดยใช้กล้องวิดีโอถ่ายโดยตรงหน้าห้องเผาไหม้ ซึ่งทำการถอดควอตซ์ด้านหลังแล้วใช้ก้อนโลหะกลิ้งขึ้นรูปแทนควอตซ์ เพื่อกันความดันในการเผาไหม้รั่วและให้ฉากหลังมืดทำให้สังเกตเห็นการลามของเปลวไฟที่ชัดเจนขึ้น

4.4 ผลของการวัดพื้นที่ในการลามของเปลวไฟ

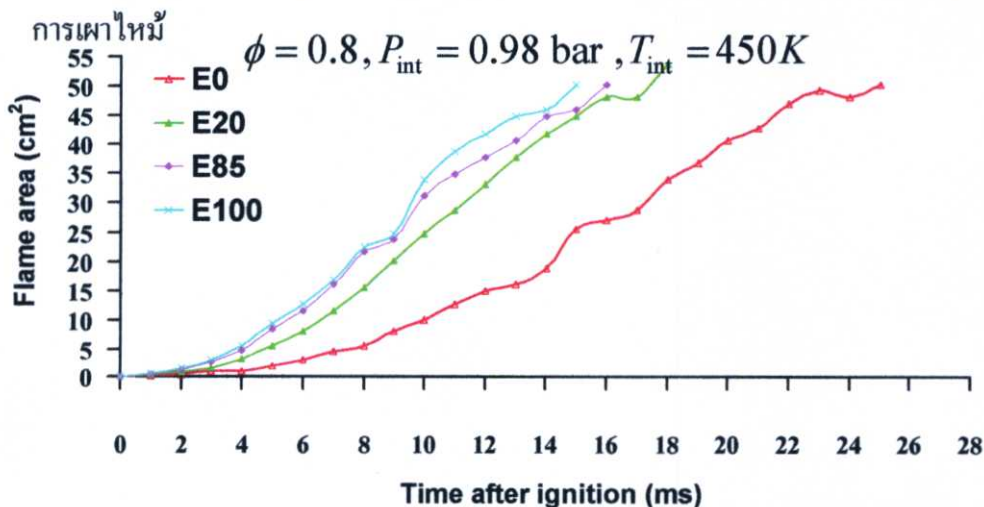
จากภาพวิดีโอการลามในแต่ละเชื้อเพลิงดังรูปที่ 4.6 การลามของเปลวไฟมีลักษณะเป็นวงกลมจึงสามารถวัดพื้นที่การลามของเปลวไฟในห้องเผาไหม้ด้วย โปรแกรม Motic โดยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางการลามของเปลวไฟที่ 6 ms หลังจากการเผาไหม้ E 100 มีค่ามากที่สุดที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.08 เซนติเมตร รองไปเป็น E85 เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.81 เซนติเมตร E20 เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.65 เซนติเมตร และ E0 เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.88 เซนติเมตรและได้นำค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเปลวไฟคำนวณหาพื้นที่การลามของเปลวไฟในแต่ละกรณีการศึกษาดังนี้

4.4.1 ผลของการวัดพื้นที่ในการลามของเปลวไฟที่อัตราส่วนสมมูลต่าง ๆ

เงื่อนไขในการทดลองนี้ได้เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิงต่างกันที่ 0.8 1.0 1.2 และ 1.4 โดยการกำหนดค่าความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้ เท่ากับ 0.98 บาร์ อุณหภูมิเริ่มต้นในสถานะเผาไหม้เท่ากับ 450 องศาเซลเซียส ซึ่งผลการทดลองเป็นความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ในการลามของเปลวไฟ (Flame Area) และช่วงเวลาหลังจากการเผาไหม้ (Time after ignition) ที่อัตราส่วนสมมูลในแต่ละเชื้อเพลิงต่างกัน

4.4.1.1 พื้นที่ในการลามของเปลวไฟที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.8

จากรูปที่ 4.8 ผลของพื้นที่การลามของเปลวไฟโดยปรับเงื่อนไขในการทดลองเริ่มต้นได้แก่ ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.8 ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้ 0.98 บาร์ อุณหภูมิเริ่มต้นใน

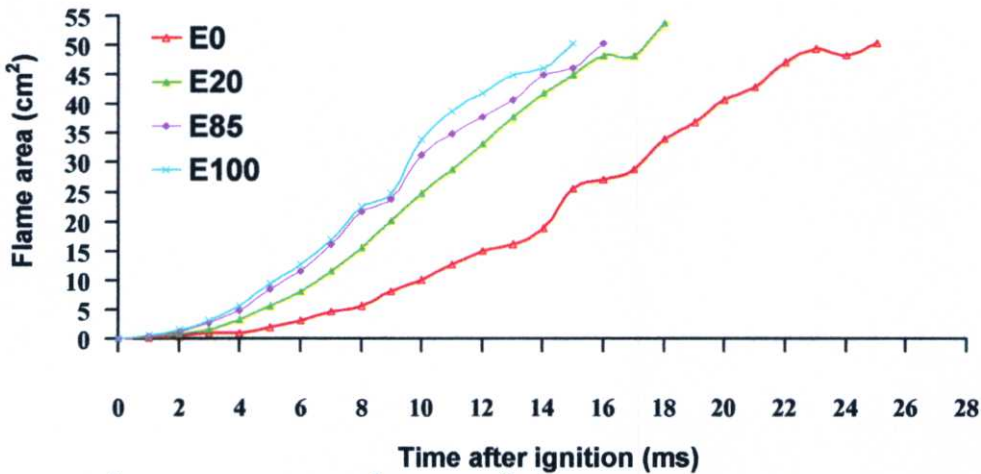


รูปที่ 4.8 ผลของส่วนผสมเชื้อเพลิงต่อพื้นที่การลามของเปลวไฟที่เวลาในการเผาไหม้ ณ อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.8

450 องศาเซลเซียส ของแต่ละเชื้อเพลิงเท่ากัน พบว่าพื้นที่การลามของเอทานอล E100 มีเวลาในการเผาไหม้ที่ 15 ms และมีเชื้อเพลิงที่มีการเผาไหม้ที่ช้ากว่าดังนี้ E85 ช่วงเวลาในการเผาไหม้ช้ากว่า 1 ms และ E20 ช่วงเวลาในการเผาไหม้ช้ากว่า 3 ms และ E0 ช่วงเวลาในการเผาไหม้ช้ากว่า 10 ms ซึ่งจากการสังเกตว่าเอทานอลจะมีค่าพื้นที่ในการลามและเวลาการเผาไหม้มากกว่าเชื้อเพลิงเบนซิน ผสมอยู่ในช่วงส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศบาง

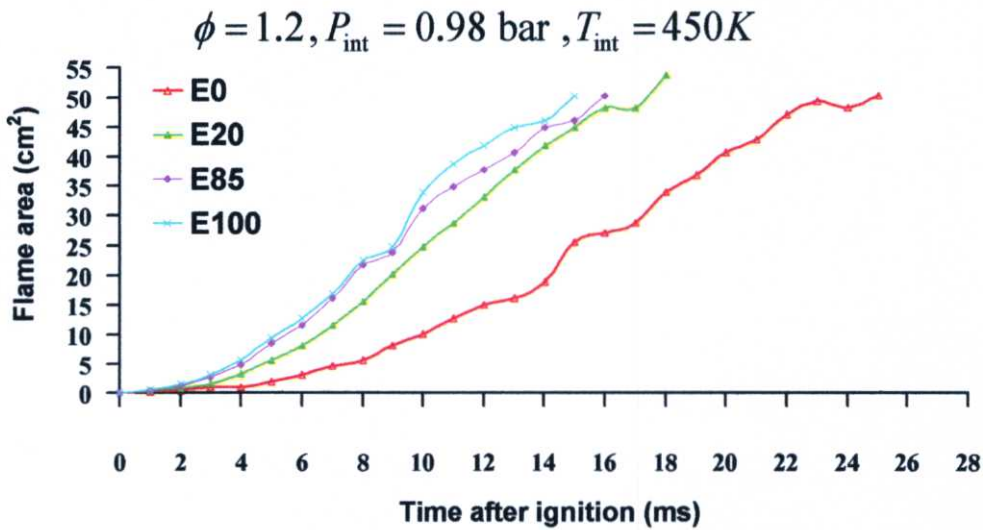
4.4.1.2 พื้นที่ในการลามของเปลวไฟที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1

$$\phi = 1.0, P_{\text{int}} = 0.98 \text{ bar}, T_{\text{int}} = 450 \text{ K}$$



รูปที่ 4.9 ผลของส่วนผสมเชื้อเพลิงต่อพื้นที่การลามของเปลวไฟที่เวลาในการเผาไหม้ ณ อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1

จากรูปที่ 4.9 ผลของพื้นที่การลามของเปลวไฟโดยปรับเงื่อนไขในการทดลองเริ่มต้นได้แก่ ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 ส่วนค่าความดันในการเริ่มต้นการเผาไหม้และอุณหภูมิเริ่มต้นในสถานะเผาไหม้เท่ากับกรณีอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.8 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนสมมูลทำให้ค่าช่วงเวลาในการเผาไหม้โดยรวมของเชื้อเพลิงทั้งหมดลดลงนั้นแสดงว่าเวลาในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเร็วขึ้น แต่เมื่อสังเกตต่อไปพบว่าพื้นที่ในการลามของเปลวของเชื้อเพลิงเอทานอล E100 มีช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่เร็วที่สุดที่ 13 ms และเชื้อเพลิงที่ช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ช้ากว่าดังนี้ E85 มีการเผาไหม้ที่ช้ากว่า 1 ms ตลอดจน E20 มีการเผาไหม้ที่ช้ากว่า 4 ms และเบนซิน E0 มีการเผาไหม้ที่ช้ากว่า 8 ms จากการสังเกตพื้นที่การลามของเปลวไฟพบว่าเชื้อเพลิงที่พบว่าเอทานอลมีช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่เร็วกว่าเบนซินผสมเอทานอลและเบนซิน

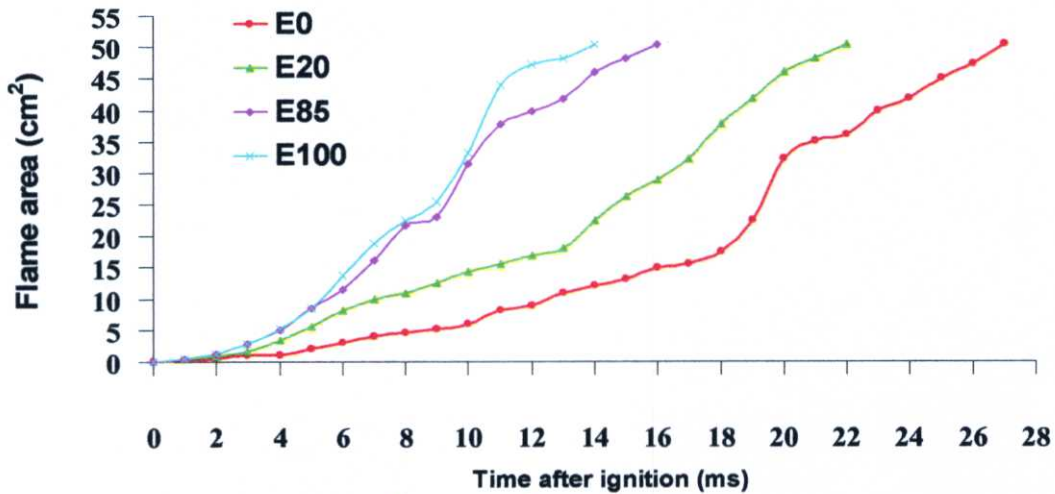


รูปที่ 4.10 ผลของส่วนผสมเชื้อเพลิงต่อพื้นที่การลามของเปลวไฟที่เวลาในการเผาไหม้ ณ อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.2

4.4.1.3 ผลของการวัดพื้นที่ในการลามของเปลวไฟที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.2

จากรูปที่ 4.10 ผลของพื้นที่การลามของเปลวไฟโดยปรับเงื่อนไขในการทดลองเริ่มต้นเท่ากับค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.8 และ 1 พบว่าช่วงเวลาในการลามของเปลวไฟมีค่าน้อยกว่ากรณีอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 และ 0.8 ตามลำดับ ซึ่งช่วงเวลาในการลามของเปลวไฟ ของเอทานอล E100 เร็วที่สุด 13.5 ms และเชื้อเพลิงที่มีการเผาไหม้ที่ช้ากว่าดังนี้ E85 มีช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ช้ากว่า 2 ms และ E20 มีช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ช้ากว่า 4.5 ms ช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ช้าที่สุดคือ E0 มีช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ช้ากว่า 8.5 ms สังเกตได้ว่าช่วงเวลาในการเผาไหม้ในแต่ละเชื้อเพลิงมีค่าช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่เร็วขึ้นกว่ากรณีค่าอัตราส่วนสมมูล 1 และ 0.8 ตามลำดับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของมวลเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้ค่าการลามของเปลวไฟที่เร็วขึ้น และสังเกตต่อไปว่าเชื้อเพลิงเอทานอลและ E85 จะมีพื้นที่ในการเผาไหม้ที่เท่าใกล้เคียงกันในช่วงเริ่มการเผาไหม้จนถึงเวลาที่ 5 ms แต่หลังจากช่วงเวลานี้แล้วพื้นที่ในการลามของเปลวไฟของ E100 มีพื้นที่ในการลามของเปลวไฟที่มากกว่า E 85 ตลอดจนการสิ้นสุดการเผาไหม้

$$\phi = 1.4, P_{\text{int}} = 0.98 \text{ bar}, T_{\text{int}} = 450 \text{ K}$$



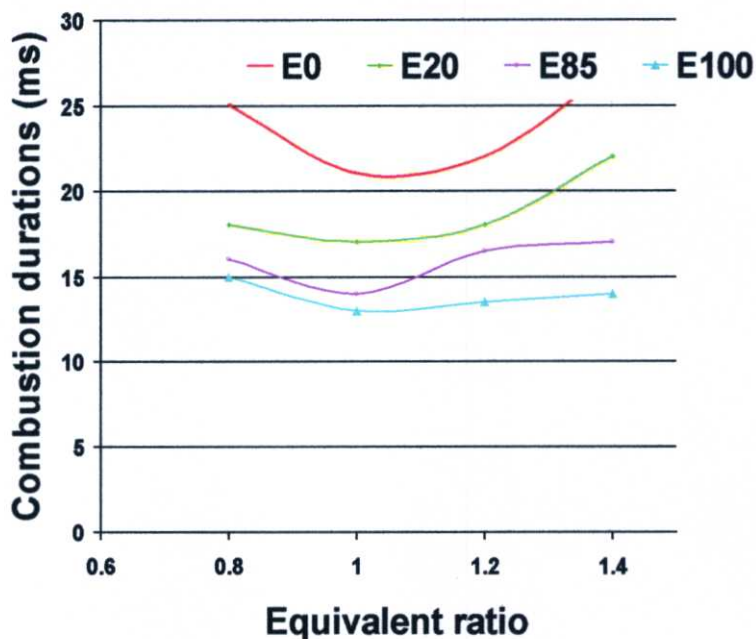
รูปที่ 4.11 ผลของส่วนผสมเชื้อเพลิงต่อพื้นที่การลามของเปลวไฟที่เวลาในการเผาไหม้ ณ อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.4

4.4.1.4 ผลของการวัดพื้นที่ในการลามของเปลวไฟที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.4

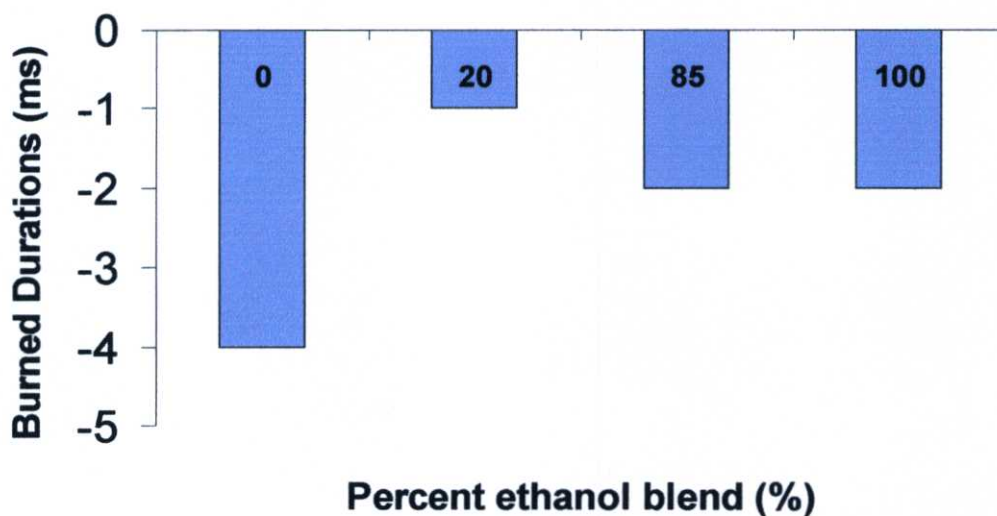
จากรูปที่ 4.11 ผลของพื้นที่การลามของเปลวไฟโดยปรับเงื่อนไขในการทดลองเริ่มต้น ได้แก่ ค่าความดันเกจเริ่มต้นในการเผาไหม้ อุณหภูมิเริ่มต้นในก่อนสถานะเผาไหม้ ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.2 เดียวกันกับกรณี 0.8 และ 1 พบว่าแนวโน้มของช่วงเวลาในการเผาไหม้มีค่ามากกว่ากรณีค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.2 ทั้งนี้เพราะปริมาณในการจ่ายเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้นเป็นการเผาไหม้อยู่ในช่วงหนา ทำให้เวลาในการเผาไหม้ ของเปลวไฟช้าลงและสังเกตต่อไปพบว่าพื้นที่ในการลามของไฟของเชื้อเพลิง E100 มีช่วงเวลาในการเผาไหม้เร็วที่ 14 ms และเชื้อเพลิงที่มีช่วงเวลาในการเผาไหม้ช้าลงมาได้แก่ E85 มีช่วงเวลาที่ช้ากว่า 2 ms E20 มีช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ช้ากว่า 8ms และเวลาในการเผาไหม้ของ E0 มีช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ช้ากว่า 13 ms

จากรูปที่ 4.12 ช่วงเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทั้งหมดในการทดลองพบว่า ที่ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.8 เบนซิน E100 มีช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่สุด รองลงมาเป็น E85 E20 และ E0 ตามลำดับ ซึ่งสังเกตได้ว่าเมื่ออัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิงกับอากาศอยู่ในช่วงบางนั้นช่วงเวลาในการเผาไหม้ของเอทานอลยังมีการเผาไหม้ที่รวดเร็วกว่าเชื้อเพลิงเบนซินและเบนซินผสมเอทานอล เมื่อเพิ่มอัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิงกับอากาศมาเป็น 1 พบว่าเวลาในการเผาไหม้โดยรวมของเชื้อเพลิงมีช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ลดลงมากกว่ากรณีค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.8 และสามารถสังเกตได้ว่าเอทานอลนั้นช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่เร็วที่สุด รองลงมาเป็น E85 E20 และ E0 ตามลำดับ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนสมมูลเป็น 1.2 พบว่าช่วงเวลาในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง โดยรวมจะมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 แต่เอทานอล E100 ยังมีช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่เร็วกว่า E85 E20 และเบนซิน E0 ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนสมมูลขึ้นมาเป็น 1.4 เป็นช่วงที่มีการจ่ายของเชื้อเพลิงหนาขึ้นพบว่าช่วงเวลาในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

โดยรวมมีค่าช้าลง แต่ช่วงเวลาในการเผาไหม้ของ เอทานอล E100 มีค่าเร็วที่สุด รองมาเป็น E20 E85 และ E0 ตามลำดับ



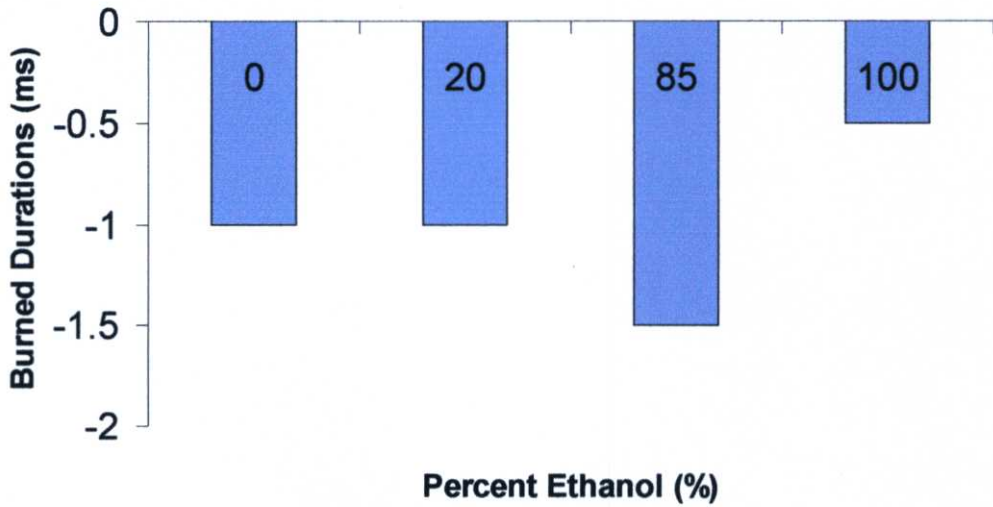
รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบช่วงเวลาในการเผาไหม้กับอัตราส่วนผสมและเชื้อเพลิงต่างกัน



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่อัตราส่วนผสม 0.8 กับ 1

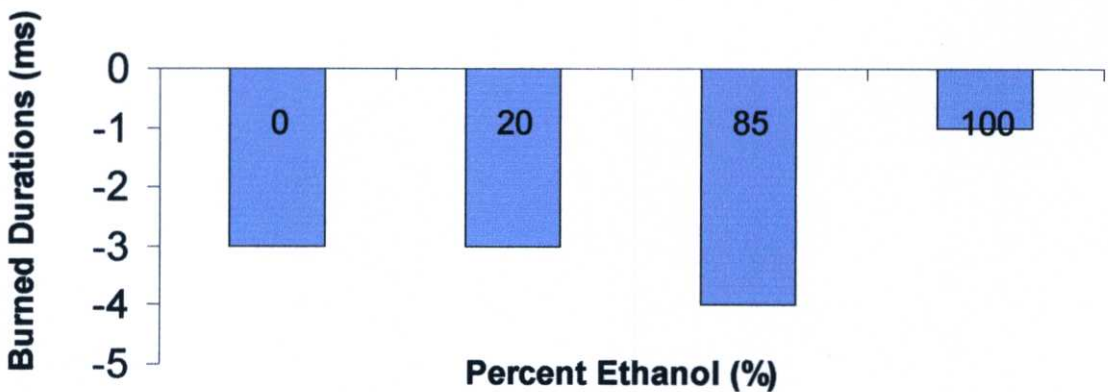
จากการเผาไหม้ทางทฤษฎีนั้นค่าอัตราส่วนผสมเท่ากับ 1 เป็นช่วงที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงกับอากาศทำให้ค่ากำลังของเครื่องยนต์ ค่าอัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิง [19] จึงได้เปรียบเทียบช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ กับค่านี้ จากรูปที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนผสมเท่ากับ 1 พบว่าเบนซิน E0 มีช่วงเวลาดการเผาไหม้ที่ช้ากว่า 4 ms (19 เปอร์เซ็นต์) E20 ช่วงเวลาดการเผาไหม้ที่ช้ากว่า 1 ms (5 เปอร์เซ็นต์) E85 มีช่วงเวลาดการเผาไหม้ที่ช้ากว่า 2 ms

(14.28 เปอร์เซ็นต์) และเอทานอล E100 มีช่วงเวลาการเผาไหม้ที่ช้ากว่า 2 ms (15.38 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งสังเกตได้ว่าช่วงนี้เชื้อเพลิงที่มีการระเหยที่ดีที่สุดคือ E20 จะมีช่วงเวลาการเผาไหม้ได้ดีที่สุด



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่อัตราส่วนสมมูล 1.2 กับ 1

จากรูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่อัตราส่วนสมมูล 1.2 กับเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนสมมูล 1 พบว่าช่วงเวลาการเผาไหม้ของเอทานอล E100 เร็วกว่า 0.5 ms (3.84 เปอร์เซ็นต์) E85 มีเวลาในการเผาไหม้ที่ช้ากว่า 1.5 ms (10.71 เปอร์เซ็นต์) E20 มีช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ช้ากว่า 1ms (5.88 เปอร์เซ็นต์) และ E0 มีช่วงเวลาในการเผาไหม้ช้ากว่า 1ms (4.76 เปอร์เซ็นต์)

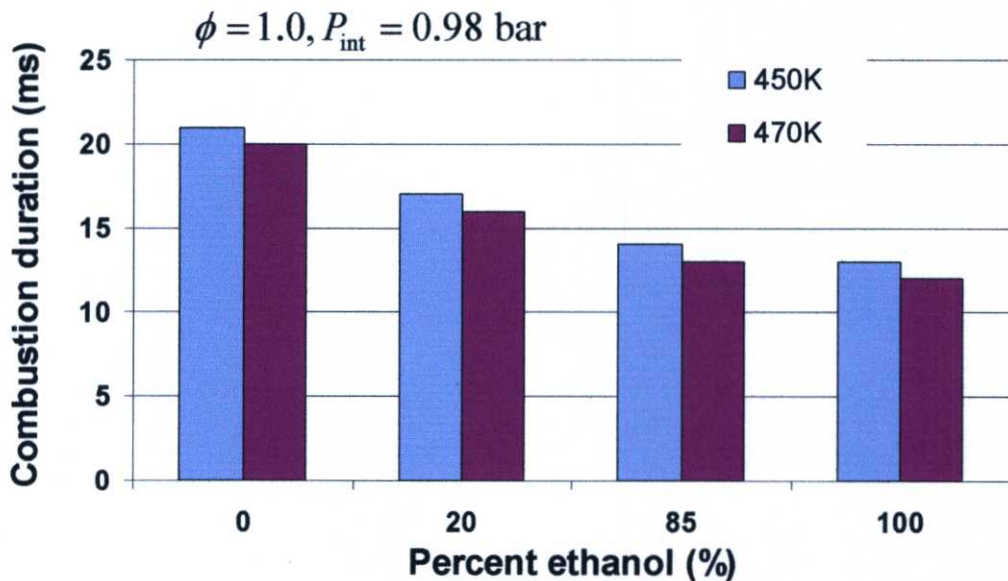


รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่อัตราส่วนสมมูล 1.4 กับ 1

จากรูปที่ 4.15 เป็นการเปรียบเทียบช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่อัตราส่วนสมมูล 1.4 กับ 1 ซึ่งช่วงนี้สัดส่วนของเชื้อเพลิงกับอากาศอยู่ในช่วงหนาจึงทำให้ระยะเวลาในการเผาไหม้ของทุกเชื้อเพลิงมาค่านานขึ้นและเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 พบว่า ช่วงเวลาในการเผาไหม้เชื้อเพลิงทั้งหมดมีค่ามากกว่า ช่วงอัตราส่วนสมมูล 1 และ 1.2 ของเอทานอล E100 มีช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ลดลง โดยที่เชื้อเพลิงเอทานอล E100 มีช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ช้ากว่า 1ms (7.69

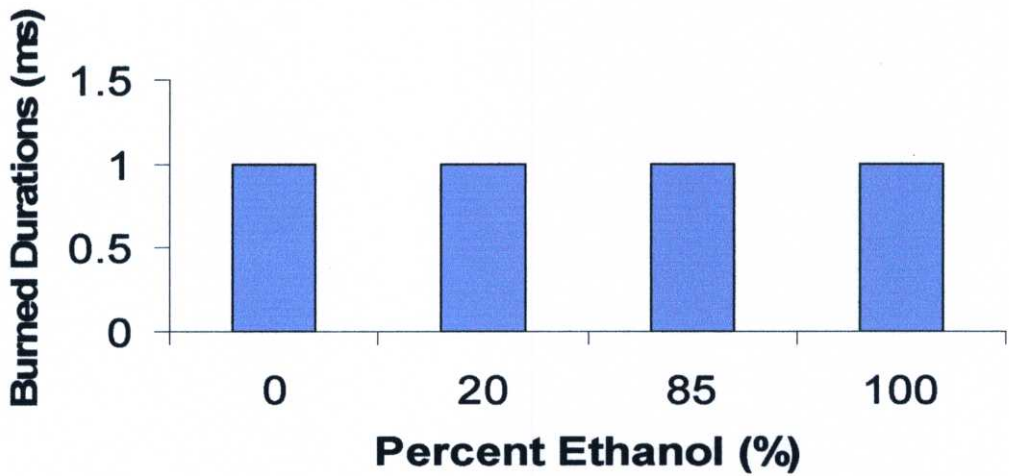
เปอร์เซ็นต์) E85 มีช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ช้ากว่า 3 ms (21.42 เปอร์เซ็นต์) E20 มีช่วงเวลาในการเผาไหม้ช้ากว่า 5 ms (29.41 เปอร์เซ็นต์) E0 มีช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ช้ากว่า 6 ms (28.57 เปอร์เซ็นต์) สังเกตได้ว่าช่วงเวลาในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเบนซินที่ผสมในอัตราส่วนสมมูล 1.4 ช่วงเวลาในการเผาไหม้เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเบนซิน

4.4.2 ผลของการเพิ่มอุณหภูมิในสถานะเริ่มต้นในการเผาไหม้ต่อพื้นที่ในการลามของเปลวไฟที่ 470 องศาเซลเซียส



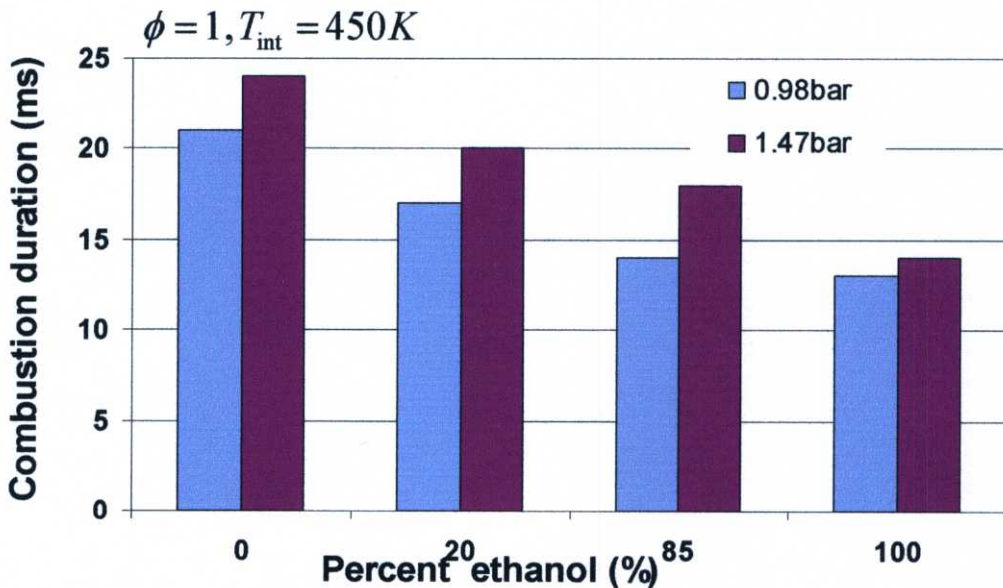
รูปที่ 4.16 ผลของส่วนผสมเชื้อเพลิงต่อพื้นที่การลามของเปลวไฟที่เวลาในการเผาไหม้ ณ อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ 450 องศาเซลเซียส และ 470 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.16 ผลของช่วงเวลาการเผาไหม้โดยปรับเงื่อนไขในการทดลองเริ่มต้นที่อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ 470 องศาเซลเซียส ใช้เปรียบเทียบกับกรณีค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 ในหัวข้อ 4.4.1.2 ในศึกษาการเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ที่มีผลต่อพื้นที่ในการลามของเปลวไฟ พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ขึ้นมาเป็นผลทำให้ช่วงเวลาในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเอทานอลและเบนซินและเบนซินผสมเอทานอลลดลงดังนี้ E100 มีช่วงเวลาในการเผาไหม้ 12 ms และมีเชื้อเพลิงที่มีการเผาไหม้ช้ากว่าดังนี้ E85 มีช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ช้ากว่า 1 ms E20 ช้ากว่า 4 ms และ E0 ช้ากว่า 8 ms ทั้งนี้การเพิ่มของอุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ทำให้เวลาในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงลดลงทำให้การเผาไหม้เร็วขึ้นด้วย



รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ 450 องศาเซลเซียส กับ 470 องศาเซลเซียส

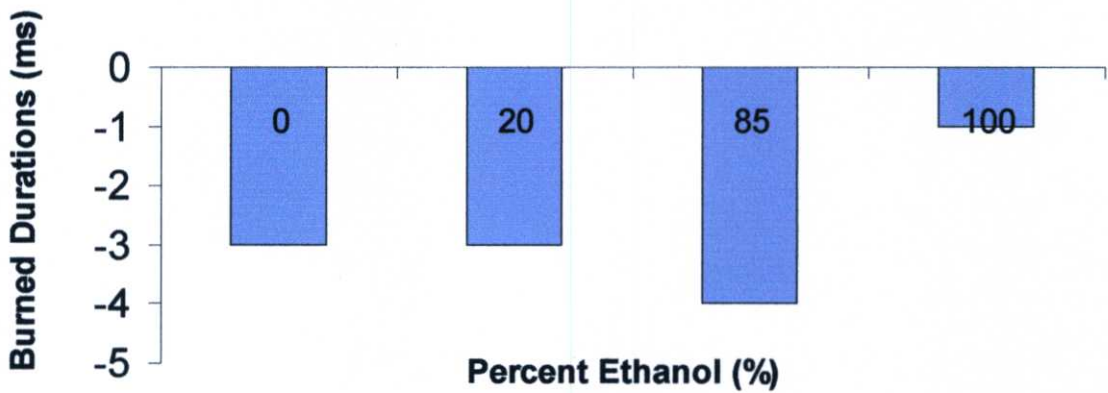
จากรูปที่ 4.17 ผลการเปรียบเทียบช่วงเวลาในการเผาไหม้ระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ที่ 450 องศาเซลเซียส และ 470 องศาเซลเซียส โดยกำหนดให้ค่าอัตราส่วนสมมูล ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้เท่ากันในแต่ละเชื้อเพลิงเท่ากัน พบว่าช่วงเวลาในการเผาไหม้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ขึ้นมาทำให้ช่วงเวลาในการเผาไหม้ของแต่ละเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น 1ms โดยเมื่อเปรียบเทียบกับ 450 องศาเซลเซียส พบว่าช่วงเวลาในการเผาไหม้ในแต่ละเชื้อเพลิงมีผลดังนี้เอทานอล E100 ลดลง 7.69 เปอร์เซ็นต์ E85 ลดลง 7.14 เปอร์เซ็นต์ E20 มีช่วงเวลาในการเผาไหม้ ลดลง 5.88 เปอร์เซ็นต์ E0 มีช่วงเวลาที่ลดลง 4.76 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.18 ผลของพื้นที่การลามของเปลวไฟที่ความดันในการเริ่มต้นในการเผาไหม้ 0.98 บาร์ กับ 1.47 บาร์

4.4.3 ผลของการเพิ่มความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้ต่อพื้นที่ในการลามของเปลวไฟที่ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้เท่ากับ 1.47 บาร์

จากรูปที่ 4.18 ผลของพื้นที่การลามของเปลวไฟที่ความดันในการเริ่มต้นในการเผาไหม้ 1.47 บาร์ ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ 450 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับเวลาในการเผาไหม้เพิ่มขึ้นมีเปรียบเทียบที่ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 และเมื่อสังเกตต่อไปพบว่าเวลาในการเผาไหม้ของแต่ละเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นดังนี้เอทานอล E100 ใช้เวลาในการเผาไหม้ที่ 14 ms และมีเชื้อเพลิงที่มีการเผาไหม้ช้ากว่าดังนี้ E85 ใช้เวลาในการเผาไหม้ที่ช้ากว่า 4 ms E20 ใช้เวลาในการเผาไหม้เพิ่มขึ้น 6 ms และ E0 เพิ่มขึ้น 10 ms ซึ่งเห็นได้ว่าเวลาในการเผาไหม้ของแต่ละเชื้อเพลิงในการเพิ่มค่าความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้ขึ้นมาทำให้เวลาการเผาไหม้ในแต่ละเชื้อเพลิงเร็วยิ่งขึ้นถึงแม้จะมีการปรับค่าปริมาณของเชื้อเพลิงให้เพิ่มขึ้นตามมวลของอากาศที่เข้าห้องเผาไหม้ขึ้น แต่การเผาไหม้ในแต่ละเชื้อเพลิงยังช้ากว่ากรณีความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้เท่ากับ 0.98 บาร์



รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้ 0.98 บาร์ และ 1.47 บาร์

จากรูปที่ 4.19 แสดงถึงการเปรียบเทียบช่วงเวลากการเผาไหม้โดยเพิ่มความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้จาก 0.98 บาร์กับ 1.47 บาร์พบว่าช่วงเวลาในการเผาไหม้ของเอทานอล E100 เพิ่มขึ้น 1ms (7.7 เปอร์เซ็นต์) E85 ช่วงเวลาในการเผาไหม้เพิ่มขึ้น 4 ms (28.57เปอร์เซ็นต์) E20 มีช่วงเวลาในการเผาไหม้เพิ่มขึ้น 3 ms (17.64 เปอร์เซ็นต์) และเบนซิน E0 มีช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่เพิ่มขึ้น 3 ms (14.28 เปอร์เซ็นต์)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการสร้างห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ขึ้นมาเพื่อศึกษาผลการทดลองทั้งภาพถ่ายในการลามของเปลวไฟและความดันในการเผาไหม้สามารถสรุปได้ดังนี้

1. กรณีการทดลองที่ค่าความจุความร้อนของเชื้อเพลิงระหว่างเบนซินและเอทานอลเท่ากัน นั้นพบว่าค่าความดันในการเผาไหม้ของเอทานอลมีค่าสูงกว่าเบนซินที่ 0.5 บาร์ ประกอบกับค่าเศษส่วนมวลในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเอทานอลมีค่าการติดไฟที่ช่วงเวลาหลังจากการเผาไหม้ที่เร็วกว่าเบนซิน

2. การเปรียบเทียบการเผาไหม้ที่ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 พบว่า

ค่าความดันสูงสุดในการเผาไหม้ของเอทานอล E100 นั้นมีค่าสูงสุดที่ 8.73 บาร์ ซึ่งมีความดันมากกว่าเชื้อเพลิงเบนซินผสมเอทานอล E85 (2.17 เปอร์เซ็นต์) E20 (15.80 เปอร์เซ็นต์) และ เบนซิน E0 (13.17 เปอร์เซ็นต์) สังเกตได้ว่าความดันสูงสุดในการเผาไหม้นั้นจะขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของเอทานอล

ค่าเศษส่วนมวลในการเผาไหม้ที่คำนวณมาจากค่าความดันในการเผาไหม้นั้นพบว่าเอทานอล E100 มีเศษส่วนมวลในการเผาไหม้ที่เร็วกว่า E85 E20 และเบนซิน E0 เมื่อเทียบที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของเศษส่วนมวลในการเผาไหม้พบว่า เอทานอลสามารถติดไฟได้ที่ 7.8 ms รองลงมาคือเชื้อเพลิงเบนซินผสมเอทานอลสามารถติดไฟได้ช้ากว่า ดังนี้ E85 (28.57 เปอร์เซ็นต์) E20(44.28 เปอร์เซ็นต์) และ เบนซิน (48.68 เปอร์เซ็นต์) เวลาตามลำดับ ค่าความดันในการเผาไหม้มีค่าสูงขึ้นเมื่อในเอทานอลล้วน และทำให้ค่าเศษส่วนมวลในการเผาไหม้ที่เร็วขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเบนซินผสมเอทานอลและเบนซิน

3. การวัดพื้นที่การลามของเปลวไฟ

3.1 จากการวัดพื้นที่การลามของเปลวไฟและช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่อัตราส่วนสมมูลต่างกัน 4 อัตราส่วนพบว่า ที่อัตราส่วนสมมูล 0.8 มีช่วงเวลาในการเผาไหม้โดยรวมที่ 14.96 ms และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 พบว่า ช่วงเวลาในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทั้งหมดมีการเผาไหม้มีการเผาไหม้ที่เร็วขึ้น 11.76 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนสมมูลมาเป็น 1.2 พบว่า ช่วงเวลาในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงมีเพิ่มขึ้นกว่ากรณีอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 เท่ากับ 7.30 เปอร์เซ็นต์ ต่อมาเมื่อเพิ่มอัตราส่วนสมมูลขึ้นมาเป็น 1.4 พบว่าการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทั้งหมดมี

ช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ช้ากว่าอัตราส่วนสมมูล 1.2 เท่ากับ 14.32 เปอร์เซ็นต์ จากการสังเกตในแต่ละเชื้อเพลิงพบว่าเชื้อเพลิงเอทานอลมีช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่เร็วที่สุด

ผลการปรับค่าอัตราส่วนสมมูลพบว่าการปรับส่วนผสมอยู่ในช่วงอัตราสมมูลที่เท่ากับ 1 ทำให้ค่าช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่เร็วที่สุดและการปรับปริมาณเชื้อเพลิงในช่วงบาง 0.8 ทำให้ช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่เพิ่มขึ้น และการจ่ายส่วนผสมที่หนาในช่วงอัตราส่วนสมมูล 1.2 และ 1.4 ทำให้ช่วงเวลาในการเผาไหม้ช้าลงด้วยเช่นกัน ดังนั้นค่าอัตราส่วนสมมูลที่เหมาะสมที่ทำให้ช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่เร็วทำให้ความเร็วของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงโดยรวมเร็วขึ้น

3.2 จากการวัดการพื้นที่การลามของเปลวไฟและช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ต่างกัน พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ขึ้นมาจาก 450 องศาเซลเซียส มาเป็น 450 องศาเซลเซียส ทำให้ช่วงเวลาในการเผาไหม้รวมของแต่ละเชื้อเพลิงลดลง 4.76 – 7.69 เปอร์เซ็นต์

3.3 จากการวัดการพื้นที่การลามของเปลวไฟที่การเพิ่มของค่าความดันเกจในการเริ่มต้นจาก 0.98 บาร์ มาเป็น 1.47 บาร์ และมีการปรับค่าอัตราส่วนสมมูลชดเชยจากค่ามวลของอากาศที่เพิ่มขึ้นพบว่าช่วงเวลาในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงโดยรวมมีค่าช้าลง 7.7 – 17.88 เปอร์เซ็นต์

ปัจจัยที่ทำให้เชื้อเพลิงเอทานอลมีการเผาไหม้ที่รวดเร็วกว่าเบนซินผสมเอทานอลและเบนซินนั้นอันเนื่องมาจาก ค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนที่ผสมอยู่ในตัวเชื้อเพลิงตามเปอร์เซ็นต์ของเอทานอลที่ผสมอยู่ในเบนซิน ซึ่งจะช่วยให้การเผาไหม้ที่เร็วกว่า ประกอบกับขนาดของโมเลกุลของเอทานอลที่มีเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนที่ผสมอยู่น้อยกว่าเบนซินจึงทำการไหม้ติดไฟที่มีความเร็วในการลามของเปลวไฟที่เร็วขึ้น และอุณหภูมิของเปลวไฟ (Adiabatic flame temperature) ของเอทานอลมีค่าน้อยกว่าเบนซินทำค่าการสูญเสียความร้อนออกไปสู่สภาวะแวดล้อมที่น้อยกว่าทำให้ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีกว่า ค่าต่างๆ ที่ดังกล่าวมาทำให้ค่าความเร็วของเปลวไฟเร็วขึ้น ช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ลดลง และความดันสูงสุดในการเผาไหม้สูงขึ้นเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้วัฏจักรการออกโตมีพื้นที่ได้กราฟที่มากขึ้น ดังนั้นจึงทำให้กำลังและสมรรถนะของเครื่องยนต์สูงขึ้น ตลอดจนค่ามลพิษที่เกิดจากช่วงเวลาในเผาไหม้ลดลง แต่อย่างไรก็ตามการที่จะทำให้อัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิงเอทานอลและเอทานอลผสมเบนซินนั้นจำเป็นที่จะต้องใช้ปริมาณของเชื้อเพลิงเอทานอลที่มากกว่าเบนซินเพื่อชดเชยค่าความร้อนของเอทานอลที่มีน้อยกว่าเบนซิน

จากการทดลองนี้นำไปประยุกต์กับการปรับแต่งเครื่องยนต์เบนซินที่ใช้เอทานอลเป็นทางเลือกนั้นเครื่องยนต์เบนซินนั้นถึงที่จำเป็นที่สุดต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้คือ ต้องเพิ่มปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงเพราะเมื่อนำเอทานอลจะมีใช้ทำให้ส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศบางแต่เมื่อชดเชยค่าพลังงานความร้อนของเอทานอลที่มีน้อยกว่าโดยการขยายช่วงเวลาในการฉีดของเชื้อเพลิงทำให้พื้นที่การลามของเปลวไฟเพิ่มขึ้นและช่วงเวลาที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเบนซินที่ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากัน ซึ่งในเครื่องยนต์แบบหัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์นั้นต้องเพิ่มช่วงเวลาในการจ่าย

เชื้อเพลิงหัวฉีดจากช่วงเวลาเดิมที่ควบคุมด้วยกล่อง อิซียู ให้นานขึ้นเพื่อเป็นการเพิ่มมวลของเชื้อเพลิงในการชดเชยค่าพลังงานความร้อนของเอทานอลที่มีค่าน้อยกว่าเบนซิน และในเครื่องยนต์คาร์บูเรเตอร์นั้นจำเป็นที่จะต้องขยายหรือเปลี่ยนขนาดของนมหนูตัวหลัก (Main jet) ให้ปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเพื่อให้ไม่ทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ลดลงเมื่อใช้เชื้อเพลิงพลังงานทางเลือกชนิดนี้

การเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้นั้นทำให้เวลาในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในการทดลองนี้เป็นผลทำให้ช่วงเวลาในการเผาไหม้เร็วขึ้น ซึ่งในกรณีเครื่องยนต์จริงนั้นอาจจะต้องออกแบบให้อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้นจึงจะทำให้ช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการศึกษาการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้แบบปริมาตรคงที่ในขั้นสูงต่อไปดังนี้

1. จัดสร้างเครื่องยนต์โปร่งใสในการทดลองการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จริงและสังเกตพฤติกรรมการเผาไหม้ในศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงพลังงานทดแทนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นต่อไป

2. เพิ่มการวิเคราะห์อุณหภูมิของเปลวไฟ (KL -factor) ที่ทำให้เกิดคำมลพิษจากการเผาไหม้

ข้อเสนอแนะในการศึกษาต่อของอุปกรณ์ชุดนี้

1. ควรมีการวัดคำมลพิษหลังจากการเผาไหม้เพื่อความถูกต้อง โดยเพื่อคำนวณย้อนกลับในการกำหนดปริมาณการจ่ายของเชื้อเพลิง

2. ควรมีการใช้สัญญาณในการเริ่มต้นการจุดระเบิดในเริ่มจับกลิ้งถ่ายวิถีโอความเร็วสูงเพื่อใช้วิเคราะห์ความล่าช้าในการติดไฟของแต่ละเชื้อเพลิง

3. ควรมีการวัดความดันในการเผาไหม้และภาพถ่ายจากระบบซูรีเรนไปพร้อมกันเพื่อวิเคราะห์ความเร็วในการลุกไหม้แบบลามินาร์และค่าอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงเอทานอลแต่ละอัตราส่วน

4. ควรใช้หัวฉีดเชื้อเพลิงแบบฉีดตรงเข้าห้องเผาไหม้ เพื่อลดเปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงที่ค้างภายในท่อไอดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Somchai C. ,Manita T. **Combustion and Emissions of Gasoline/Ethanol Blends in a Multi-Cylinder SI Engine** International Symposium on Alcohol Fuels Conference & Exhibition. ,Vol 2,2002
- [2] ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์, ผลกระทบต่อรูปแบบการเผาไหม้เมื่อใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีนผสมเอทานอลในเครื่องยนต์ SI . การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลครั้งที่ 18 , พ.ศ. 2547
- [3] M.A. Ceviz,F.Yuksel , **Effect of ethanol – unlead gasoline blens on cyclic variability and emissions in SI engine** . Scidirect ,Applied Thermal Engineering ,pp.917-925,Vol 25, 2005.
- [4] พิชัย อัญมมงคล , สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิง. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17 ปราจีนบุรี, พ.ศ. 2547
- [5] ธนวัฒน์ ศรีรักษา และ จินดา เจริญพรพาณิชย์. **จักรยานยนต์เชื้อเพลิงเอทานอล** . การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต,พ.ศ. 2551.
- [6] Matthew Brusstar , **Ethanol-Gasoline Blends: Fuel Economy and Emissions Benefits**. Presented at the SAE Government and Industry Meeting in Washington, D.C. , 2003
- [7] Christpher P.Cooney,Yeliana , **Combustion Characterizion in an Internal Combustion Engine with Ethanol – Gasoline Blended Fuel Varying Compression ratios and Ignition Timing** . Energy & Fuels ,March 2009.
- [8] S.Y. Liao, D.M. Jiang Z.H. Huang , **Determination of Lamina burning velocities for mixture of Ehanol and air at elevated temperature**. Scidirect, Applice Thermal Enginnering 27 ,pp347-380,2007.
- [9] S. Y. Liao , **Investigation of the Cold-Start Combustion Characteristics of Ethanol-Gasoline Blends in a Constant-Volume International**, Energy & Fuels , 2007

- [10] Shintre Parag, Vasudevan Raghavan , **Experimental investigation of burning rates of pure ethanol and ethanol blended fuels**. Scidirect Combustion and Flame 156 , pp. 997–1005,2009.
- [11] Jeonghoon Song , Dae Hee Lee ,**Experimental Study of Ignition of a Gasoline Air Mixture in a Constant-Volume Combustion Chamber** .Combustion, Explosion, and Shock Waves, Vol. 39, No. 5, pp. 513-524, 2003
- [12] A. Jeronimo, V. Van Der Haegen , **Schlieren Technique – Lab Notes**. EUROAVIA Symposium , 2002
- [13] เสมอขวัญ คันติกุล, **เครื่องยนต์สันดาปภายใน**. ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ, พิมพ์ครั้งที่ 1 , ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ , พ.ศ. 2546
- [14] V Ganesan , **Internal Combustion Engine ”** Second edition ,Mc Graw Hill INC.,2003.
- [15] Per Anders Tunestal , **The Use of Cylinder Pressure for Estimation of the In-Cylinder Air/Fuel**. Thesis in Doctor of Philosophy of Mechanical Engineering, UNIVERSITY OF CALIFORNIA,2000.
- [16] Kenneth K.Kuo , **Principles of combustion**. John Willer & Sons, INC ,2005
- [17] สำเร็จ จักรใจ ,**การเผาไหม้** . สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ.2547
- [18] Chang Sik Lee, **Effect of residual Gas Fraction on the Combustion characteristic of Butane-Air Mixture in the Constant Volume Combustion chamber**.Energy& Fuel 2003 ,American Society of Chemical Engineering. ,2003
- [19]. W. Pulkkrabek, 2003 , **Engineering Fundamental of the Internal Combustion Combustion Engine** . , Prentice Hall. 2003.
- [20] S.Y. Liao, **Determination of the laminar burning velocities for mixtures of ethanol and air at elevated temperatures** ., Applied Thermal Engineering 27 ,2007
- [21] John B.Heywood, **Internal Combustion Combustion Engine Fundamentals**. McGraw-Hill INC. ,1988
- [22] Naoki Shiraishi , Kazuhito Sakai , Syoji Nagasaka , Takayoshi Takano and Hiroshi Sami, **A Study on Direct Injection Gasoline Combustion using Constant Volume Combustion Vessel**. Energy & Fuel ,The fifth International

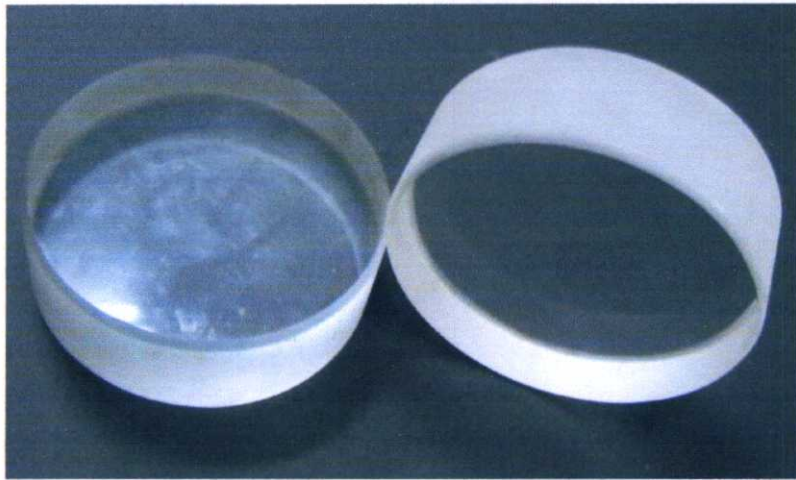
Symposium on Diagnostics and Modeling of combustion in Internal Combustion
Engines, 2001

- [23] www.kistler.com
- [24] www.engr.colostate.edu/~allan/engines.html

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
อุปกรณ์การทดลอง

ควอตซ์ (Quartz plate)

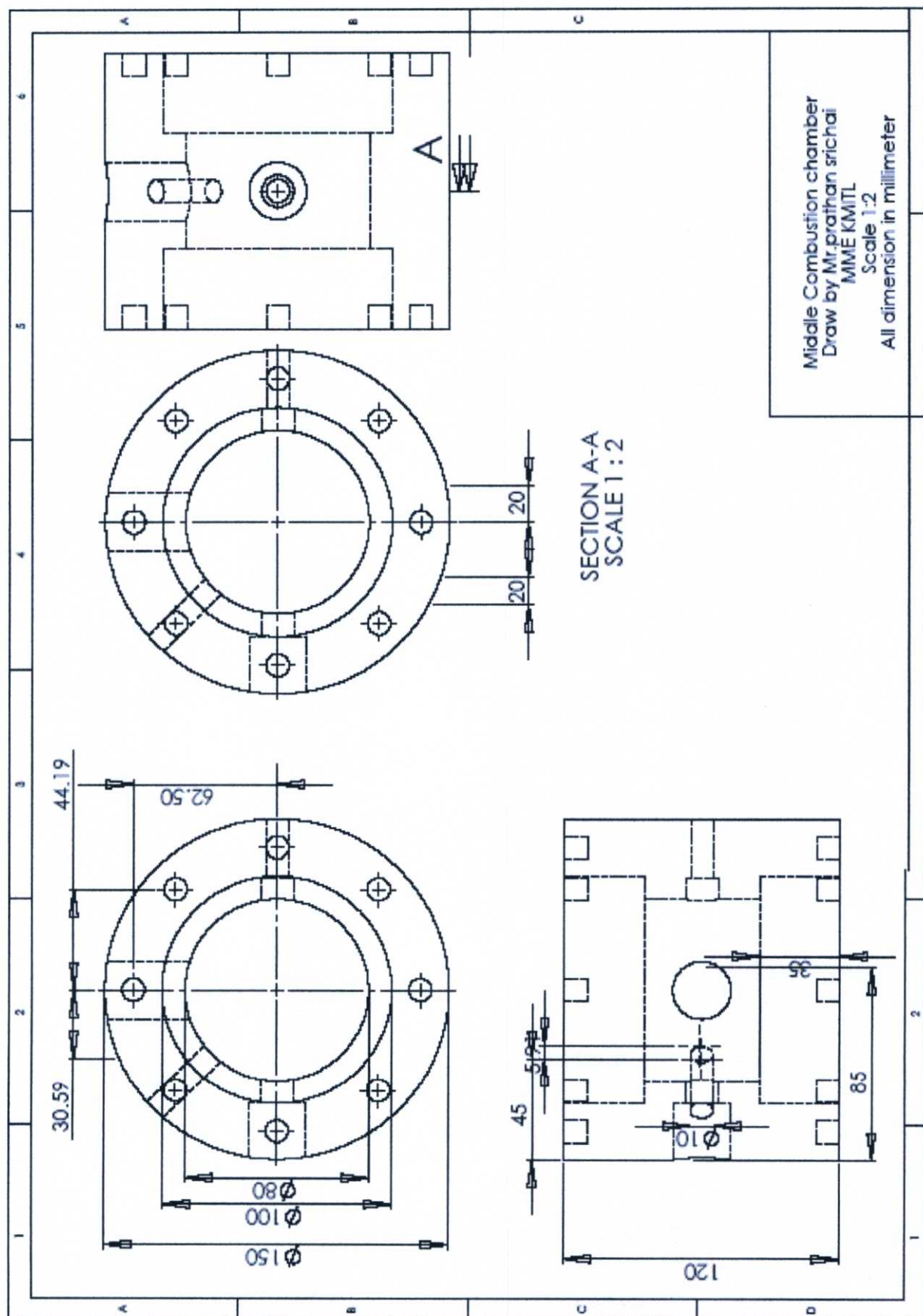


ลักษณะของควอตซ์ที่ใช้เป็นวัสดุโปร่งใสเห็นการลามของเปลวไฟในห้องเผาไหม้

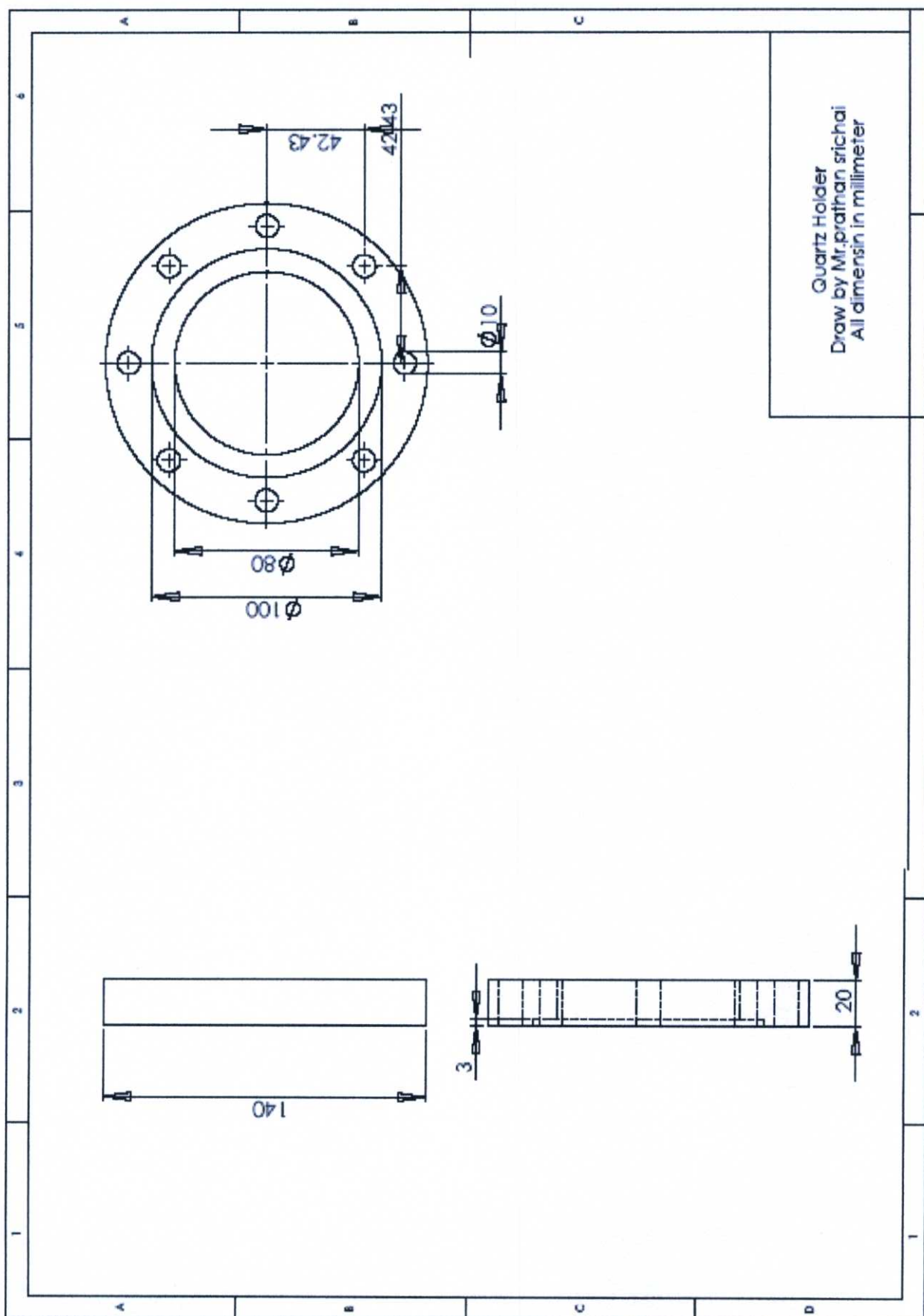
คุณสมบัติทางกลของควอตซ์

ชื่อคุณสมบัติ	หน่วย	ค่าจำเพาะ
Specific	g/cm ²	2.21
Hardness	Mhos scale	5-7
Rapture strength	Mpa	800-1000
Compressive stress	Mpa	60-700
Young's Modulus 20 °C	Gpa	77.8
Young's Modulus 50 °C	Gpa	82
Young's Modulus 900 °C	Gpa	85
Possion ratio		0.17
Rigid index 900 C	Gpa	36.9
Speed of longinal wave	m/s	5.72x10 ⁻³

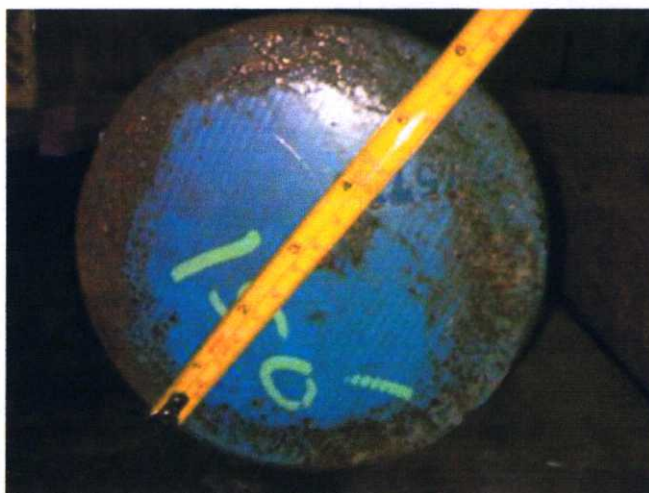
ขนาดของเรือนห้องเผาไหม้ (ส่วนกลาง)



ขนาดของฝาปิดห้องเผาไหม้



เหล็กที่ใช้ในการทำห้องไหม้ ซึ่งได้เลือกใช้เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่มีชื่อว่า SCM4 เป็นเหล็กที่สามารถทนรับความเค้นสูงได้แล้วยังสามารถชุบแข็งเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับโลหะ ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร



เหล็กเพลลาฟ้า(SCM4) ก่อนที่จะเลือกใช้ทำเป็นห้องเผาไหม้

คุณสมบัติของเหล็กเพลลาฟ้า (SCM4)

	unit	1"	2 - 1/4"	4 - 1/2"	7 - 3/4"
Tensile strength	PSI	98,000	101,500	100,000	100,000
Yield strength	PSI	61,000	62,000	57,000	58,500
Elongation	%	23	26	25	21
Reduction in area	%	54	55	56	59
Hardness	HB	197	212	202	197

ปะเก็นทนความร้อน



รายละเอียดของปะเก็น



SealPack Style 300R

FLEXIBLE GRAPHITE ROLLS

Temperature Limits :

-200°C to + 1650°C

-200°C to + 850°C Non-Oxidizing atm.

+932°F (500°C) Oxidizing atm.

Chemical Resistance :

pH 0-14 except oleum, fuming nitric acid & aqua regia

Thickness (mm) 0.2, 0.35, 0.40, 0.50, 0.8, 1.0, 1.5

Width : 1000 - 1500 mm

Length : 50 - 100 m.

บอลวาล์ว (Ball valve)



Monel 400 Three Piece Ball Valves, Full Bore, 2000/1500 psi



APPLICABLE STANDARDS	
Body Wall Thickness	ASME B 16.34
Socket-weld Ends	ASME B 16.11
Threaded Ends	ANSI B1.20.1 BS 21 DIN 2999 ISO 228 ISO7-1
Butt-weld Ends	ASME B 16.25
End to End	Mfg. Std.
Material	ASTM
Pressure-Temperature Rating	ASME B 16.34
Pressure Testing	API 598

รายละเอียด อุปกรณ์เก็บผลข้อมูล

อุปกรณ์เก็บข้อมูลความดันในห้องเผาไหม้

Main System

DEWE-5000 PC instrument series

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



System specifications

	DEWE-5000
Power supply:	<input type="checkbox"/> 300 W 100 to 240 V _{AC} ATX power supply FSP300-60PFN/PLN <input type="checkbox"/> 400 W 100 to 240 V _{AC} ATX power supply FSP400-60PFN/PLN <input type="checkbox"/> 300 W 9 to 18 V _{DC} ATX power supply DX 300HEW <input type="checkbox"/> 300 W 18 to 36 V _{DC} ATX power supply APT-DY300H for details see next pages
Operating temperature:	-5 °C to 50 °C (standard)
Storage temperature:	-20 °C to +70 °C
Humidity (operating):	10 % to 80 %, non condensing 5 % to 95 %, rel. humidity
Vibration:	MIL-STD 810F 514.5 procedure I operating test procedure frequency range: 5 to 200 to 5 Hz; 5 x 12 min each direction displacement amplitude ±3.5 mm (5 to 8.45 Hz) acceleration amplitude 1 g (8.45 to 92 Hz) displacement amplitude 92 to 113 Hz: ±0.029 mm acceleration amplitude 1.5 g (113 to 200 Hz)
Shock:	MIL-STD 810F 516.5 procedure I non operating test procedure ½ sinus 11 ms 10 g, 3 shocks positive, 3 shocks negative
Dimensions (W x H x D):	approx. 453 x 200 x 351 mm (17.8 x 7.9 x 13.8 in.)
Weight:	typ. 17 kg (37.4 lbs), depending on configuration

เซ็นเซอร์วัดความดันในห้องเผาไหม้

Measuring Spark Plug with Integrated Cylinder Pressure Sensor

The measuring spark plug allows a pressure measurement without a drilled hole. In the spark plug Type 6117B... is integrated the worlds smallest piezoelectric high temperature, cylinder pressure sensor.

- Measuring without measuring bore
- Highest natural frequency (up to 100 kHz) for high rpm
- Sensor mounted flush with the combustion chamber
- High sensitivity
- High accuracy
- Different heat values available

Description

By an eccentric electrode arrangement the space for sensor mounting is provided. The miniature pressure sensor can be dismantled for maintenance purposes. However, in the normal case dismantling of the sensor by the customer is not recommended.

The sensor is mounted from the front of the spark plug and fixed by means of a screw which also serves as flame protection. The cable Type 1927A1 can be dismantled.

This sensor is installed flush with the combustion chamber, allowing for a natural frequency of more than 100 kHz. Therefore the Type 6117B... is also well suited for indicating measurements at high engine speed.

This sensor is also available in a version Type 6617B... with impedance converter integrated in the cable connector (voltage output). See data sheet 12.5147.

Application

Cylinder pressure measurements with the measuring spark plug are recommended in cases when expenditure for the sensor system should be minimal. An example is the adjustment of the engine electronics in racing cars (ignition, injection) near the knocking limit.

Type 6117B...

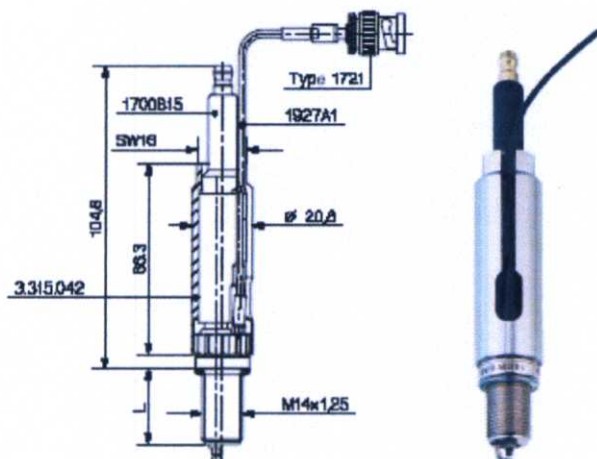


Fig. 1: Complete Measuring Spark Plug

The measuring spark plug Type 6117B... is preferred to the spark plug Type 6517B... when high engine speeds prevail (>5000 rpm), since it has a considerably higher natural frequency.

ใบรับรองการสอบเทียบเซ็นเซอร์วัดความดันในห้องเผาไหม้

KISTLER
measure. analyze. innovate.

Kalibrierschein DRUCK
Calibration Certificate PRESSURE

Type 6117BFD16 Serial No. 1492823

Kalibriert durch Calibrated by	Datum Date
G. Ratano	09.07.2007

Referenzgeräte Reference Equipment	Typ Type	Serien-Nr. Serial No.
Gebrauchsnorm Working Standard	Kistler 6961A250	992713
Ladungsverstärker Charge Amplifier	Kistler 5011B	602394
	Kistler 5011B	608416
Ladungskalibrator Charge Calibrator	Kistler 5395A	605251

Umgebungstemperatur Ambient Temperature	Relative Feuchte Relative Humidity
°C	%
25	47

Messergebnisse Results of Measurement

Kalibrierter Bereich Calibrated Range	Empfindlichkeit Sensitivity	Linearität Linearity
bar	pC / bar	≤ ± % FSO
0 ... 200 (23°C)	-16,62	0,06
0 ... 50 (23°C)	-16,54	0,08
0 ... 150 (200°C)	-16,86	0,11
0 ... 50 (200°C)	-16,76	0,19

Bestätigung Confirmation

Die Geräte halten die Herstellertoleranzen gemäss Spezifikationen der Datenblätter ein. Wir bestätigen, dass das oben identifizierte Gerät nach den vorgeschriebenen Verfahren geprüft wurde. Alle Messmittel sind auf nationale Normale rückverfolgbar. Kistler betreibt die SCS (Swiss Calibration Service) Kalibrierstelle Nr. 049, akkreditiert nach ISO 17025. Das Kistler Qualitätsmanagement System ist nach ISO 9001 zertifiziert.

The equipment meets the manufacturing tolerances according to the specification data sheets. We confirm that the device identified above was tested by the prescribed procedures. All measuring devices are traceable to national standards. The SCS (Swiss Calibration Service) Calibration Laboratory No. 049 is operated by Kistler and accredited per ISO 17025. The Kistler Quality Management System is certified per ISO 9001.

Kistler Instrumente AG
Eulachstrasse 22
PO Box
CH-8408 Winterthur

Tel. +41 52 224 11 11
Fax +41 52 224 14 14
info@kistler.com

ZKB Winterthur BC 732
Swift: ZKBKCHZZ80A
Account: 1132-0374.628

IBAN: CH67 0070 0113 2003 7462 8
VAT: 229 713
ISO 9001 certified

www.kistler.com

โปรแกรม ความคุมช่วงเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง

```

#include <avr/io.h>      // AVR device-specific IO definitions (Creat by naren chaitani)
#include <compat/deprecated.h> // Use sbi(), cbi() function

unsigned int num = 0,a=0,m_sec,m_sec2;

#define SW (PINA&(1<<PINA1))

void delay_sw()
{ unsigned int i,j;
  for(i=0;i<100;i++)
    for(j=0;j<200;j++); }

/*void delay_ig()
{ unsigned int i,j;
  for(i=0;i<500;i++)
    for(j=0;j<500;j++);}*/

void delay(unsigned int sec)
{  unsigned int i,k;
   for(k=0;k<sec;k++)
   for(i=0;i<8000;i++);}

#define ADC_VREF_TYPE 0x00

// Read the AD conversion result
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{ ADMUX=adc_input|ADC_VREF_TYPE;

// Start the AD conversion
ADCSRA|=0x40;

// Wait for the AD conversion to complete
while ((ADCSRA & 0x10)==0);

ADCSRA|=0x10;
return ADCW; }

/***** Main Functions */

void main(void)
{
  //unsigned char num=0;

```

```

DDRA = 0x00;

DDRC =0xff; // PORT PA0 Output & PA1 Input
cbi(PORTA,0);
ADMUX=ADC_VREF_TYPE;
ADCSRA=0x84; // Clear port
    while (1) { num = 1;
a=0x00;
PORTC = 0x00;
m_sec=read_adc(0)*2;//+ read_adc(1);
m_sec2=read_adc(2);
if (((~PINA&0x01)==0x01))
    { delay_sw();
if (((~PINA&0x01)==0x01))
    { a=0x02; }
while(a==0x02)
    { if(num==1)
    { PORTC = 0x01;
delay(m_sec+m_sec2);
PORTC = 0x00;
num = 3; }
if(((~PINA&0x01)!=0x01))
    { a=0x00; }
}}
if (((~PINA&0x02)==0x02))
    { delay_sw();
if (((~PINA&0x02)==0x02))
    { a=0x02; }
while(a==0x02)
    {
m_sec=read_adc(0)*2;//+ read_adc(1);
m_sec2=read_adc(2);
PORTC = 0x02;

```

```
        delay(m_sec+m_sec2);
PORTC = 0x00;
delay(2000);
if(((~PINA&0x02)!=0x02))
{ a=0x00; }
}}
/* if (((~PINA&0x04)==0x04))
{ delay_sw();
if (((~PINA&0x04)==0x04))
{   a=0x02;
}
while(a==0x02)
{
if(num==1)
{   PORTC = 0x04;
delay_ig();
PORTC = 0x00;
num = 3;
}
if(((~PINA&0x04)!=0x04))
{a=0x00; }}
}*/}}
```

ภาคผนวก ข
อุปกรณ์ในการบันทึกภาพการลามของเปลวไฟ

อุปกรณ์ในการบันทึกภาพการลามของเปลวไฟ

เลนส์ F1.4

เลนส์ที่ใช้คู่กับกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง คือ เลนส์ยี่ห้อ NIKON ขนาด 58 mm. ขนาดรูรับแสง F1.4



กล้องถ่ายวิดีโอความเร็วสูง



รายละเอียดทางเทคนิค

Sensor	10-bit CMOS (Bayer system color, single sensor) with 17 μ m pixels, 16.7ms to 2 μ s global electronic shutter independent of frame rate and overexposure protection
Saved Image Formats	AVI, JPEG, PNG (10-bit), TIFF, FTIF (10-bit), BMP, and Bayer and RS-170 Video output. Images can be saved with or without image or comment data
Extended Dynamic Range	Selectable from 4 presets to prevent over exposure
Phase Lock	Enables cameras to be synchronized precisely together to a master camera or external source
Triggering	Selectable positive or negative TTL 5Vp-p, switch closure
Lens Mount	Interchangeable F-mount and C-mount supplied standard. Optional High-G block mount
Data Display	Frame Rate, Shutter Speed, Trigger Mode, Date or Time (can be switched), Status (Playback/Record), Real Time, Frame Count, Resolution System or IRIG time, and user-edited comments can be displayed beside or in the saved image area for all formats
Video Output	NTSC or PAL. Live video during recording. Ability to zoom and pan within image via keypad
Dual Speed Recording™	Enables the recording speed to be changed, up or down, by a factor of 2, 4 or 8 during a recording
Timing	Internal clock or external source such as IRIG or GPS. Indicators show current status of timing source
Event Markers	Ten user-entered event markers mark specific events within the image sequence in real time. Immediately accessible through software
Recording Modes	Start, End, Center, Manual, Random, Random Reset, Random Center, Random Manual, and Dual Speed Recording™
Partitioning	Up to 64 memory segments for multiple recordings in memory
Camera Control	Through supplied keypad and RS-422A. And either via the Photron Gigabit Optical Network, Gigabit Ethernet or FireWire
Software	Includes image rotation and ability to save images with or without time codes or comment data
Shock	100G @ 10ms any axis
Dimensions (no lens mount)	H 6.24" (158.6mm) (add 2.13" [54mm for handle and feet] x W 5.17" (131.4mm) x L 11.39" (289.2mm)
Weight	10.8lb (4.9kg)

ขั้นตอนการติดตั้งระบบซูรีเรนในการทดลองนี้

1. วางกระจกเว้าบานที่ 1 พร้อมกับแหล่งกำเนิดแสง โดยให้แหล่งกำเนิดแสงอยู่ในระยะโฟกัสของกระจกเว้าและมีมุมไม่เกิน 10 องศา ถ้าอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมแล้วลำแสงที่สะท้อนออกจากกระจกเว้าผ่านช่วงทดสอบจะเป็นลำแสงขนาน ขนาดภาพที่เกิดขึ้นจะเท่ากันตลอด ตรวจสอบโดยใช้กระดาษวาดกลมเท่ากับห้องเผาไหม้ เพื่อบัดลำแสงที่ผ่านห้องเผาไหม้
2. วางกระจกเว้าบานที่ 2 เพื่อที่จะสะท้อนแนวลำแสงขนานที่มาจากกระจกเว้าบานที่ 1 แนวลำแสงที่สะท้อนจากกระจกเว้าบานที่ 2 ควรผ่านมิดตัดแสง ควรตัดแสงในแนวตั้งเพื่อได้ภาพที่คมชัด
3. เลื่อนมิดตัดแสงไปตามแนวลำแสงที่สะท้อนจากกระจกเว้าบานที่ 2 จนได้โปรแกรม Protron ที่คมชัด จะสังเกตว่าที่ตำแหน่งนี้ มิดตัดแสงจะอยู่ในระยะโฟกัสของกระจกเว้าบานที่ 2 พอดี
4. หมุนมิดตัดแสงในองศาต่าง ๆ เพื่อดูว่ามิดตัดแสงควรตัดแสงในระนาบไหนที่จะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงในส่วนที่ทดสอบมากที่สุด
5. ตรวจสอบเช็คความถูกต้องของระบบตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 4 ว่าลำแสงที่ได้ยังขนานอยู่หรือไม่และตำแหน่งต่างเหมาะสมดีแล้วหรือยัง



รายละเอียดบันทึกภาพ ของกล้องวิดีโอความเร็วสูง Protron APX-RS

Frame Rate (fps)	Max. Resolution		Record Time (seconds)		
	Horizontal	Vertical	2GB	8GB	16GB
60	1,024	1,024	34.1	102.4	204.8
125	1,024	1,024	16.4	49.2	98.3
250	1,024	1,024	8.2	24.6	49.2
500	1,024	1,024	4.1	12.3	24.6
1,000	1,024	1,024	2.0	6.1	12.3
2,000	1,024	1,024	1.0	3.1	6.1
3,000	1,024	1,024	0.7	2.0	4.1
5,000	768	768	0.7	2.2	4.4
9,000	640	480	0.8	2.3	4.7
10,000	512	512	0.8	2.5	4.9
10,000	512	528	0.8	2.4	4.8
15,000	384	384	1.0	2.9	5.8
30,000	256	256	1.1	3.3	6.6
50,000	256	144	1.2	3.5	7.0
70,000	128	128	1.9	5.6	11.2
100,000	384	48	1.2	3.5	7.0
150,000	128	48	2.3	7.0	14.0
210,000	256	16	2.5	7.5	15.0
250,000	128	16	4.2	12.6	25.2

ภาคผนวก ก
ผลงานที่ได้มีการตีพิมพ์เผยแพร่



The 5th
International Conference
on Automotive Engineering

ICAE-5

Final Program & Abstracts

**Motor Vehicles
Towards the Future**

**March 30 - April 3, 2009
BITEC, Bangkok, Thailand**

Combustion of Ethanol Fuel in a Constant Volume Combustion Chamber

Prathan Srichai, Chinda Chareonphonphanich

Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

ABSTRACT

This research present about investigate of combustion of ethanol and gasoline in constant volume combustion chamber. The Test fuel are Ethanol Benzene, E20, E85, Ethanol (E100) at stoichiometric.

The side wall of constant volume combustion chamber is made of transparent material in order to observe flame propagation. The pressure of combustion was also measured. The peak combustion pressure, mass fraction burn was calculated for different fuels. As the result, at stoichiometric, Initial pressure equal 1kg/cm^2 , Initial temperature equal 450K present, the peak pressure, mass fraction burned and flame speed of ethanol are greater than ethanol blend gasoline. That is the reason why the engine which modified for using ethanol should give higher power than the conventional gasoline engine. However the increase of fuel injection for ethanol is needed to compensate its lower energy content.

INTRODUCTION

In this resent, Thailand can use FFV (Flexible Fuel Vehicles) in fuel E0 – E85, also to modified the engine to use ethanol blends gasoline different ratio. The process and mechanism combustion of spark ignition engine is main issue in modified the old engine and developed new engine to increase performance and efficiency.

From literature review, In case the study effect combustion in constant volume combustion chamber were test in find optimize of equivalence ratio in cold start engine (1) don't test condition same wall temperature in the real engine (2). But in this research have condition compare temperature and shape of combustion chamber.

Purpose of this research is study Mass fraction burned, Maximum pressure combustion, Picture of flame propagation of E0 E20 E85 E100 at stoichiometric, Initial temperature 450K, Initial pressure 1kg./cm^3

Constant Volume Combustion Chamber use simulation combustion of engine in position piston at dead center. In design this research, The shape of combustion have sphere diameter 80 millimeter. In side volume 320cm^2 , In order to seen flame propagation inside by use transparent materials and high pressure will be select quartz plate for transparent window. In the same time were recorded video flame propagation and measurement pressure of combustion to calculation mass fraction burned in different percent ethanol blend gasoline.

EXPERIMENTAL SETUP AND PROCEDURE

In procedure essential calculation A/F ratio by find mass of air before assign injection duration fuel to control equivalent ratio between fuel and air corresponding stoichiometric ratio.

Theory Control of Equivalence ratio.

First procedure to calculation mass of air supply combustion chamber before start ignition (1)

$$m_a = \frac{PV}{R_g T_u} \quad (1)$$

P is Initial Pressure before combustion.

V is Volume of combustion chamber.

R_g is Gas constant of air.

T_u is Initial Temperature of combustion.

Then can find equivalence ratio (2)

$$\phi = \frac{(m_f / m_a)_{actual}}{(m_f / m_a)_{theory}} \quad (2)$$

Where

$(m_f / m_a)_{actual}$ is real air fuel ratio.

$(m_f / m_a)_{theory}$ is theory air fuel ratio.

The 5th International Conference on Automotive Engineering (ICAE-5)
March 30 – April 3, 2009, BITEC, Bangkok, Thailand

Mass Fraction Burned

The mass fraction is the burned this parameter to tell ignition delay time when ignition and duration of flame burned fuel from started ignition. Calculated from history pressure data. Pressure in the combustion chamber corresponds to the mass fraction burnt. We used relation (3) to calculated.

$$M(t) = \frac{p(t) - p_{int}}{p_{max} - p_{int}} \quad (3)$$

Where

$p(t)$ is Pressure in function time.

p_{int} is Intial pressure.

p_{max} is Peak pressure of combustion.

From table 1 property of property of ethanol blend gasoline have Lower heating value less than gasoline, If want the equivalence ratio equal with gasoline by increase duration of fuel injection. Percent oxygen content in ethanol cash in complete combustion characteristic more than gasoline. Raid vapor pressure decrease when blend ethanol in higher volume. And Heat of evaporative increase when blends higher percent ethanol in gasoline, Then density of air to decrease and more mass of air enter the combustion chamber than incase of gasoline fuel.

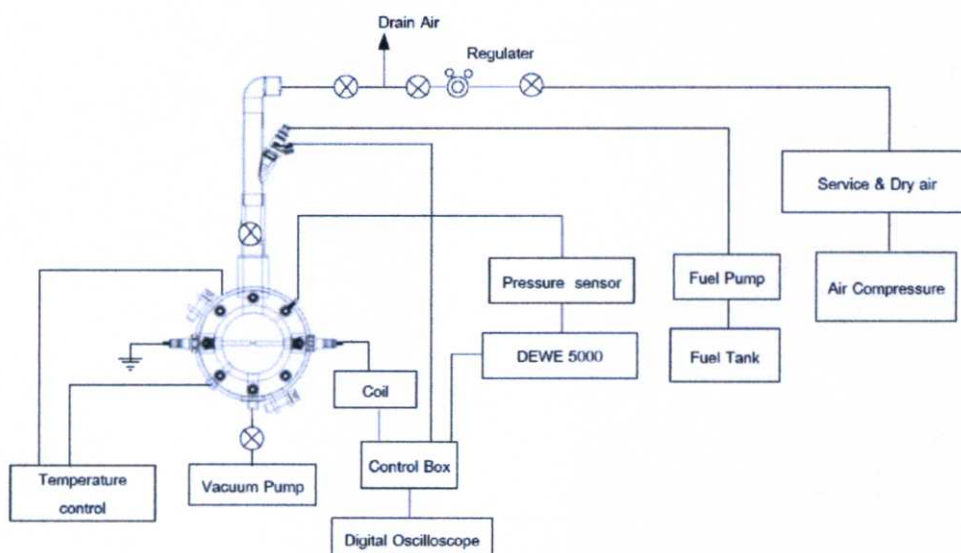


Figure 1 Experimental Setup.

Table 1. Property of Fuel.

Property	E0	E100
Molecular Weight	114.8	46.07
RVP (kPa)	62.6	16
Lower Heating Value (kJ/kg)	44,000	26,900
Heat of Vaporization (kJ/kg)	305	840
Stoichiometric A/F ratio	14.6	9

TEST PROCEDURE

First, adjust duration injection in AVR microcontroller and measure time fuel injection by oscilloscope and inject fuel to mixture with air and supply this mixture to combustion chamber by force from air and setting initial combustion chamber by regulator. Adjust initial temperature of combustion use heater 1300 W. when the mixture sent to combustion chamber complete, will closed all valve and start ignition and the mixture burned in combustion chamber after that will measure pressure of combustion by use dynamics pressure transducer Kistler model 611BFD16, the data history combustion pressure were record differ time after ignition in high speed data acquisition Model DEWE 5000 and select record 5000 sample rate /sec.

At the same time will record flame propagation by use video camera and convert video to picture respective after ignition. In this experiment the data were use in compare combustion characteristic are pressure from combustion and picture of flame propagation in each percent ethanol blend gasoline at initial pressure 1kg/cm^2 , Initial temperature 450K stoichiometric Air fuel ratio .

RESULTS

History pressure data.

From data, we conduct data to analysis peak pressure, mass fraction burned, and picture of flame propagation to study effect of ethanol blend gasoline.

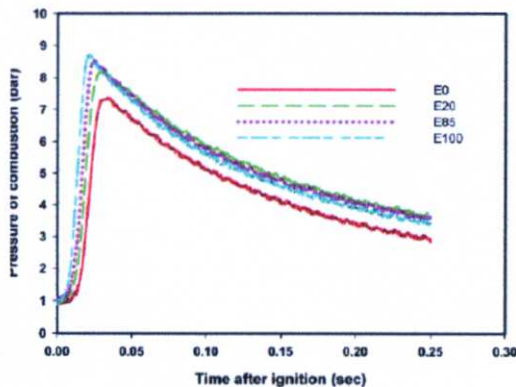


Figure 2. Pressure data different fuel gasoline In order of the maximum rate pressure combustion was ethanol combustion E85, E20 E0 respectively.

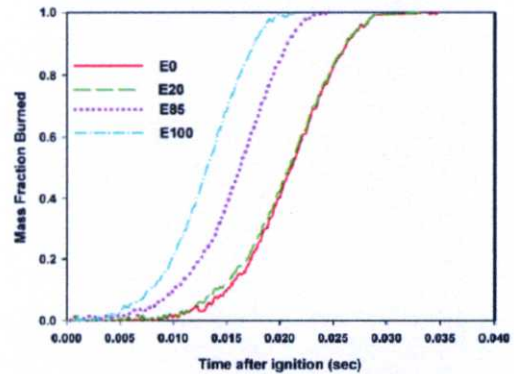


Figure 3. Mass fraction burned data in different percent ethanol blend gasoline.

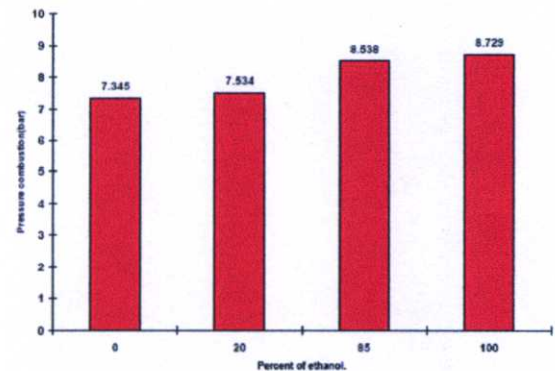


Figure 4 Peak combustion pressure in different percent ethanol.

From figure 3. Mass Fraction Bured from calculation from pressure data (3) is from and plot graph relation between mass fraction and time after ignition, Ethanol have first combustion at time 0.004 sec, E85, E20 and E0 latest. And in case of E0, E20 nearly because of percent is very small.

From Figure 4 The maximum pressure from combustion in different percent ethanol blend gasoline removed the peak pressure in case E100 is highest pressure, 8.729 bar E85 7.538 bar, E20 7.534 bar, and lowest is E0 7.345 bar. Can see this effect increase pressure of combustion when blends percent ethanol higher percent. Consequent, this clause have effect to the engine gasoline were use ethanol increase rate power out put than gasoline.

Result from picture flame propagation.

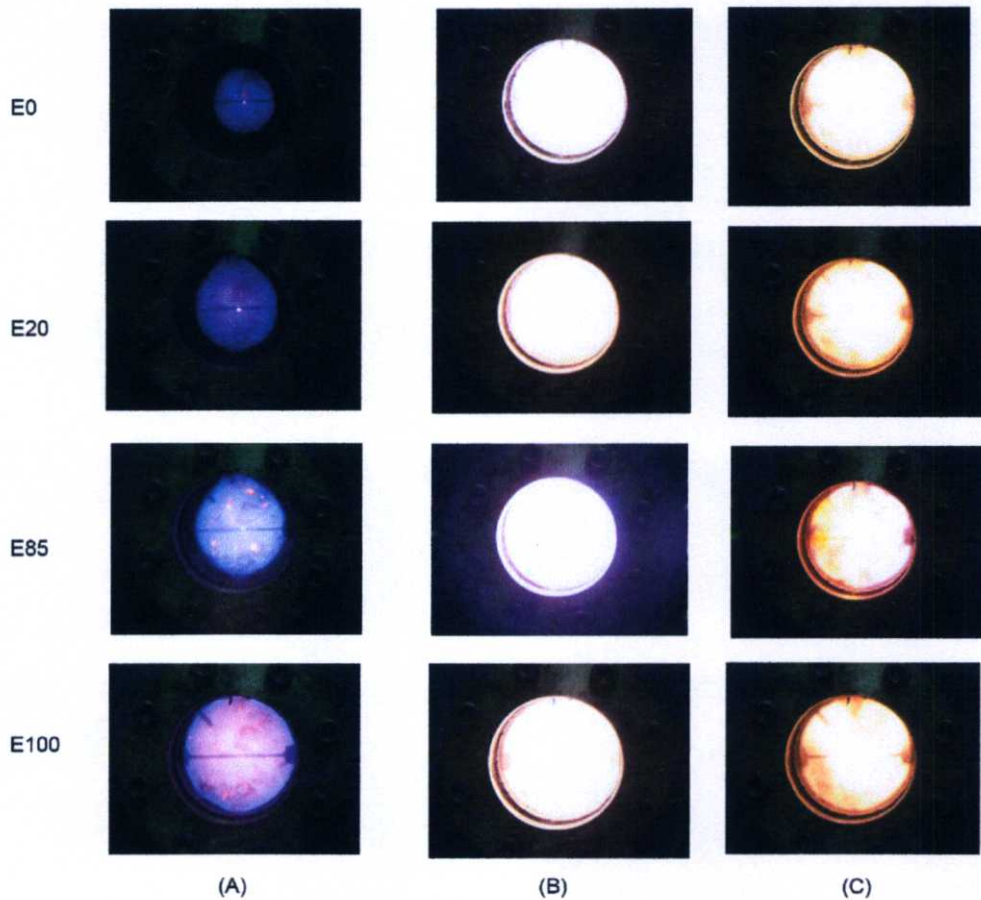


Figure 5. Picture flame propagation in various percent ethanol blend gasoline at stoichiometric, Pint 1kg/cm², Pint 450K. Start ignition from left hand.

From Figure 5. In observe picture in column (A) show radius of flame propagation different Percent ethanol, So that E100 has flame radius more than E85, E20 and E0.

CONCLUSION

As the experimental results, flame speed, peak pressure and mass fraction Burned in combustion chamber increase with percent of ethanol in the fuel. E100 gives the highest value and the next are E85, E20 E0, respectively. The reason is because the ethanol fuel has oxygen and molar mass of ethanol, So that engine used ethanol fuel

ACKNOWLEDGE

The authors would like to express sincere thanks to Dr.Nuwong Cholcoop and Dr.Subonkot Thopiboon, MR. Sakda Thonchai. MR.Monkol Kananon MTEC THAILAND. And Aj.Uthai Aongcharoen Head of Mechanical Engineering Patumwan Institute of technology. For their support pressure measurement equipment. Special Thanks for student in Automotive club KMITL for their support all in manufacturing this constant volume combustion chamber.

REFERENCES

- 1.) S. Y. Liao, 2005, " Investigation of the Cold-Start Combustion Characteristics of Ethanol-Gasoline Blends in a Constant-Volume Combustion Chamber", SAE International, INC.
- 2.) W. Pulkrabek, 2003 " Engineering Fundamental of the Internal Combustion Engine. ", Prentice Hall.
- 3.) Chang Sik Lee, 2003 " Effect of residual Gas Fraction on the Combustion characteristic of Butane-Air Mixture in the Constant Volume Combustion chamber" Energy & Fuel 2003, American Society of Chemical Engineering.

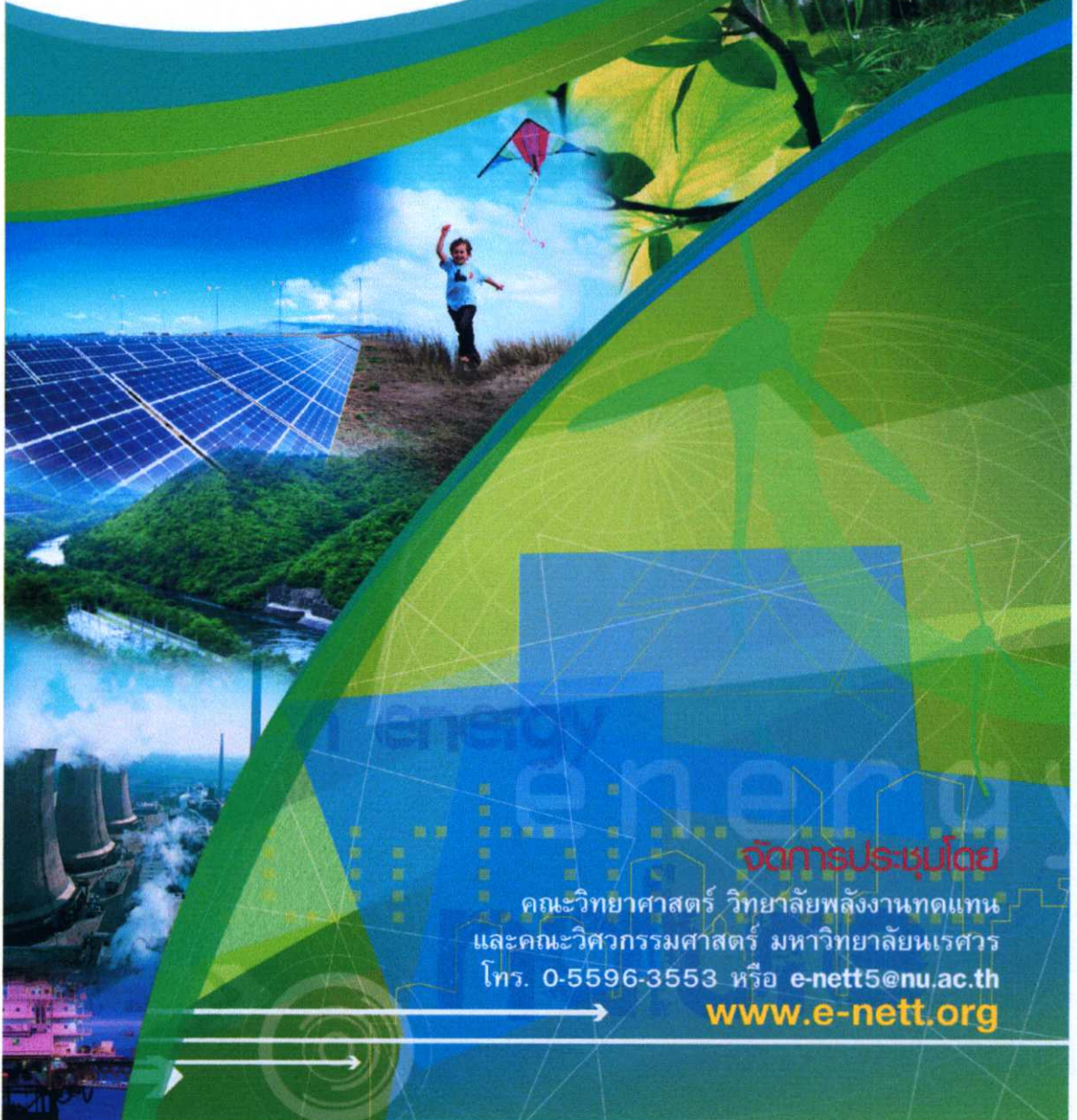
การประชุมวิชาการ

เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5

5th Conference on Energy Network of Thailand (E-NETT)

29 เมษายน - 1 พฤษภาคม 2552

มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก



จัดการประชุมโดย

คณะวิทยาศาสตร์ วิทยาลัยพลังงานทดแทน
และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

โทร. 0-5596-3553 หรือ e-nett5@nu.ac.th

www.e-nett.org

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 5
29 เมษายน -1 พฤษภาคม 2552 มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ พิชญ์โลก

การเผาไหม้ของเอทานอลและเบนซินในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ Combustion of Ethanol and Gasoline in Constant Volume Combustion Chamber

ประธาน ศรีชัย และ จินดา เจริญพรพาณิชย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

โทร 0-2326-4197 โทรสาร 0-2326-4198

Prathan Srichai and Chinda Chareonphonphanich

Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

Tel: 0-2326-4197 Fax: 0-2326-4198 * Corresponding Author: kchchind@kmitl.ac.th

โดยย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเผาไหม้ของเอทานอลและเบนซินในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ ซึ่งได้มีการจัดสร้างห้องเผาไหม้จำลองด้วยวัสดุสังเคราะห์การแพร่กระจายของเปลวไฟ และบันทึกภาพการลุกไหม้ของเปลวไฟและความดันที่ได้จากการเผาไหม้ในการเปรียบเทียบการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเบนซินและเอทานอล จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบการเผาไหม้ที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 ความดันเริ่มต้นในห้องเผาไหม้ 1kg/cm^2 อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ 450K พบว่าการเผาไหม้ของเอทานอลมีผลของ เศษส่วนมวลการเผาไหม้ ความดันในการเผาไหม้ ความเร็วในการเผาไหม้ ที่มากกว่าเบนซิน ซึ่งยดังกล่าวส่งผลทำให้เครื่องยนต์เบนซินที่ใช้เอทานอลมีสมรรถนะกำลังสูงกว่าเบนซิน ทั้งนี้จำเป็นต้องเพิ่มปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงเอทานอลเพื่อชดเชยกับพลังงานที่ต่ำกว่าเบนซิน

คำคีย์: ห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ / เอทานอล / เบนซิน

tract

This research present about study combustion of ethanol gasoline in constant volume combustion chamber. The wall constant volume combustion chamber is made of transparent material in order to observe flame propagation. The pressure of combustion was also measured. The mass fraction burn was related for different fuels. As the result, at equivalent ratio 1 at pressure 1kg/cm^2 , initial temperature 450K present, the combustion pressure, mass fraction burn and flame speed of ethanol is greater than gasoline. That is the reason why the engine which modified for using ethanol is higher than gasoline engine. However the increase of fuel injection for ethanol is needed to compensate its lower energy content.

word: Constant volume combustion chamber/ Ethanol/ Gasoline/ Flame Propagation

1. บทนำ

ในการที่ประเทศไทยจะเริ่มใช้รถยนต์ที่ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิง ดังนั้นเครื่องยนต์จึงจำเป็นต้องสามารถใช้งานกับเชื้อเพลิงผสมระหว่างที่สัดส่วนเอทานอลและเบนซินต่างกันได้ ซึ่งความรู้ความเข้าใจในคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผสมระหว่างเอทานอลและเบนซินนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อการดัดแปลงรถยนต์เก่า หรือพัฒนาปรับปรุงรถยนต์ให้เป็นใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิง ที่มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

จุดประสงค์ในการวิจัยคือ เปรียบเทียบค่าของเศษส่วนมวลในการเผาไหม้ ความสูงจุดดับในการเผาไหม้ ภาพถ่ายการแพร่กระจายของเปลวไฟด้วยวีซีดีเร็น ของเชื้อเพลิงระหว่างเอทานอลและเบนซิน เพื่อให้เห็นค่าความแตกต่างของการเผาไหม้ในแต่ละแต่เชื้อเพลิง

จากการวิจัย [1] พบว่าเครื่องยนต์เบนซินที่ใช้เอทานอลมีสมรรถนะด้านแรงม้ามากกว่าประมาณ 4 -16% เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง

ในงานสำรวจวิจัยการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ที่ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงที่ผ่านมาพบว่าในงานวิจัยของ [2] ได้มีการทดลองคุณลักษณะในการเผาไหม้ในช่วงสตาร์ทเย็นในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ เพื่อหาอัตราส่วนเหมาะสมของคุณลักษณะในเริ่มติดเครื่องยนต์ของเอทานอลเปรียบเทียบกับเบนซิน แต่ยังไม่ได้ทดสอบที่สภาวะอ้างอิงกับการทำงานของเครื่องยนต์จริง ซึ่งในงานวิจัยนี้มีข้อแตกต่างคือจะใช้ค่าอุณหภูมิอ้างอิงกับเครื่องยนต์

การสร้างห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ขึ้นนี้เพื่อจำลองการเผาไหม้ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน โดยจำลองขณะลูกสูบอยู่ตำแหน่งศูนย์ตายบน ซึ่งลักษณะของห้องเผาไหม้หน้าตัดทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตรซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางคล้ายหน้าตัดห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์จริง มีปริมาตรภายใน 320 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นเพื่อให้เห็นแพร่กระจายของเปลวไฟภายในห้องเผาไหม้จึงเลือกใช้วัสดุโปร่งใสและทนความดัน ได้แก่ ควอทซ์เพื่อทำการประกบปิดทั้งสองด้านของห้องเผาไหม้ ทำให้มองเห็นเปลวไฟแล้วมีการวัดความดันในการเผาไหม้เพื่อคำนวณหาค่า เศษส่วนมวลในการเผาไหม้เปรียบเทียบระหว่างเอทานอลและเบนซิน

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 5
29 เมษายน -1 พฤษภาคม 2552 มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ พินิจโลก

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในการทดลองจำเป็นต้องมีการปรับค่าอัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศจากการคำนวณก่อนตั้งช่วงเวลาการฉีดของเชื้อเพลิงก่อนที่จะป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้

2.1 การควบคุมอัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศทางทฤษฎีก่อนทำการเผาไหม้

การควบคุมอัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศให้เป็นไปตามทางทฤษฎีในการเผาไหม้นั้น จำเป็นต้องทราบมวลของอากาศเพื่อกำหนดค่าของมวลของเชื้อเพลิงอากาศตามค่าอัตราส่วนผสมก่อนที่จะป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ โดยที่มวลของอากาศ สามารถหาได้จาก สมการที่ (1)

$$m_a = \frac{PV}{R_g T_u} \quad (1)$$

โดยที่

P คือ ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้

V คือ ปริมาตรของห้องเผาไหม้

R_g คือ ค่าจุความร้อนจำเพาะของอากาศ

T_u คือ อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้

จากนั้นสามารถหาค่าอัตราส่วนผสม [3] ของเชื้อเพลิงกับอากาศได้จากสมการที่ (2)

$$\phi = \frac{(m_f / m_a)_{actual}}{(m_f / m_a)_{theory}} \quad (2)$$

โดยที่

$(m_f / m_a)_{actual}$ คือ ส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศจริง

$(m_f / m_a)_{theory}$ คือ ส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศตามทฤษฎี

2.2 เศษส่วนมวลในการเผาไหม้ในกระบอกสูบ

เศษส่วนมวลในการเผาไหม้ [4] คืออัตราส่วนระหว่างมวลของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้แล้วส่วนกับมวลของเชื้อเพลิงทั้งหมดในห้องเผาไหม้ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงค่าการล่าช้าในการเผาไหม้ โดยสามารถหาได้จากความดันในห้องเผาไหม้ จากสมการ (3)

$$M(t) = \frac{P(t) - P_{int}}{P_{max} - P_{int}} \quad (3)$$

โดยที่ $P(t)$ คือ ความดันที่ช่วงเวลา

P_{int} คือ ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้

P_{max} คือ ความดันสูงสุดในการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้

3. รายละเอียดอุปกรณ์การทดลอง

3.1 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองนี้ใช้เชื้อเพลิงเอทานอลเปรียบเทียบกับเบนซิน ซึ่งคุณสมบัติของเอทานอลเปรียบเทียบกับเบนซินแสดงไว้ดังตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง จะเห็นว่าเอทานอลจะมีค่าของออกซิเจนผสมอยู่ที่ 3.48 wt% ซึ่งมากกว่าเบนซิน รวมไปถึง ค่าความร้อนแฝงการกลายเป็นไอ ซึ่งค่านี้จะมีผลต่อการดูดความร้อนภายในห้องเผาไหม้เป็นผลทำให้ปริมาตรดูดอากาศของเครื่องยนต์ที่ใช้เอทานอลมีมากกว่าเบนซิน และค่าพลังงานความร้อนของเอทานอลที่น้อยกว่าเบนซินซึ่งค่าดังกล่าวส่งผลต่อพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ดังนั้นจึงต้องมีการเพิ่มค่าปริมาณการฉีดของเอทานอลให้มีค่าปริมาณมากกว่าเบนซิน

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเอทานอลเปรียบเทียบกับเบนซิน

คุณสมบัติ	Gasoline(E0)	Ethanol(E100)
สูตรทางเคมี	$C_{12}H_{15.5}$	C_2H_6OH
โมลโมเลกุล	114.8	46.07
เปอร์เซ็นต์ออกซิเจน wt%	-	3.48
ค่าความดันไอ (kPa)	55-103	16
ค่าพลังงานความร้อน (kJ/kg)	44,000	26,900
ค่าความร้อนแฝงการกลายเป็นไอ (kJ/kg)	305	840
อัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศ	14.6	9

3.2 หลักการทำงานของอุปกรณ์การทดลอง

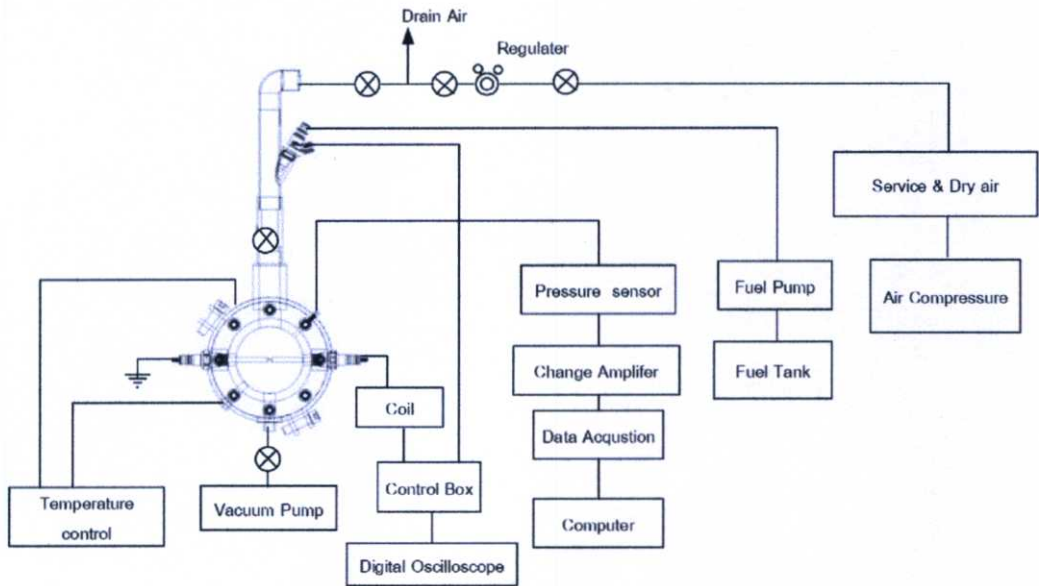
เริ่มจากตั้งเวลาการฉีดของ เชื้อเพลิงที่ฉีดออกจากหัวฉีดที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ยี่ห้อ AVR วัดช่วงเวลาในการฉีดด้วยออสซิลอสโคป จากนั้นไอที่ถูกผสมแล้วป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยการอาศัยการดันของอากาศจากปั๊มลมผ่านแวกวาล์วเข้าสู่ห้องเผาไหม้เพื่อให้ความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้ P_{int} เท่ากับ 1kg/cm^2 ต่อมาการให้ความร้อนห้องเผาไหม้ด้วยฮีตเตอร์ขนาด 1300 วัตต์ เพื่อให้ทำให้อุณหภูมิของผนังห้องเผาไหม้เท่ากับ 458K [4] และอุณหภูมิเริ่มต้นของอากาศในการเผาไหม้ T_{int} เท่ากับ 450K จากนั้นส่วนผสมของไอที่จะถูกส่งเข้าสู่ห้องเผาไหม้ แล้วทำการปรับวาล์วตัวบนและวาล์วตัวล่าง แล้วทำการจุดประกายไฟเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง แล้ววัดความดันในการเผาไหม้โดยใช้ Dynamic Pressure sensor ยี่ห้อ Kistler รุ่น 6062C31 โดยสัญญาณที่ออกจาก Pressure sensor จะถูกขยายสัญญาณแล้วบันทึกค่าความดันในการเผาไหม้เปรียบเทียบกับระยะเวลาหลังจากการจุดระเบิดด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับ ความดันสูงสุดในการเผาไหม้ และนำค่าความ

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่
29 เมษายน -1 พฤษภาคม 2552 มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ พิษณุ

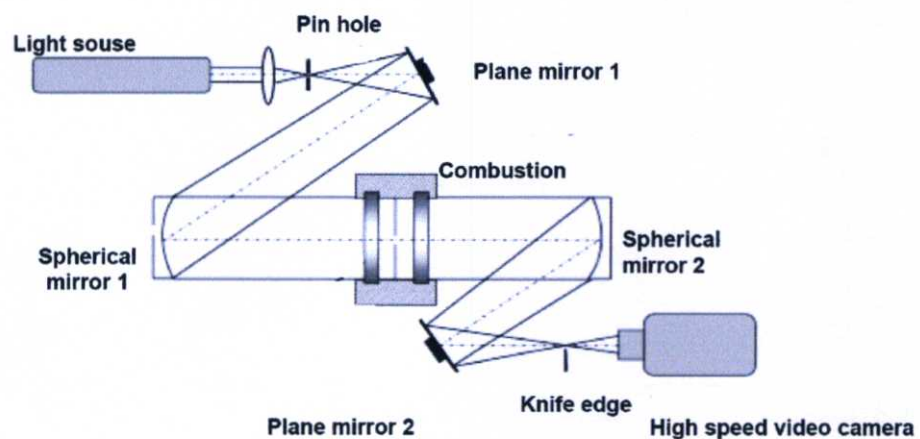
ต้นที่ได้ทำการคำนวณหาค่าเศษส่วนมวลในการเผาไหม้ ในแต่ละ
เชื้อเพลิง

ในขณะเดียวกันนั้นจะทำการบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพวิดีโอ
ความเร็วสูงประกอบด้วยเทคนิคการถ่ายภาพแบบซูร์เรน ซึ่งเทคนิค
นี้สามารถเห็นความหนาแน่นของเปลวไฟในห้องเผาไหม้ได้

แล้วนำมาวัดขนาดผลต่างรัศมีของเปลวไฟที่เวลาเดียวกันระหว่าง
เชื้อเพลิงทั้งสอง ในการเปรียบเทียบการเผาไหม้ ข้อมูลที่ได้จาก
ทดลองนี้ ได้แก่ความดันในการเผาไหม้และภาพถ่ายการแพร่กระจาย
ของเปลวไฟ ใช้ในการเปรียบเทียบคุณลักษณะการเผาไหม้ของเอ
นอลและเบนซิน



รูปที่ 2 ผังอุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 3 ผังอุปกรณ์ถ่ายภาพแบบซูร์เรน

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 5
29 เมษายน -1 พฤษภาคม 2552 มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ พิชญ์โลก

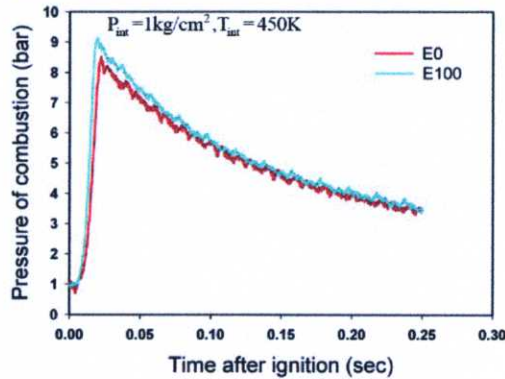
4. ผลการทดลอง

ในการเปรียบเทียบคุณลักษณะในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเอทานอลและเบนซินสามารถเปรียบเทียบจากค่าตัวแปรในการศึกษาดังนี้

4.1 ผลการเปรียบเทียบที่จุดพลังงานความร้อนเท่ากัน

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าค่าพลังงานความร้อนของเอทานอลนั้นมีค่าต่ำกว่าเบนซินดังนั้นเมื่อต้องการเปรียบเทียบที่ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเท่ากัน จึงต้องเพิ่มของมวลเอทานอลด้วยการขยายช่วงเวลาในการจุด แล้วสังเกตผลของความดันและเศษส่วนมวลในเผาไหม้ของแต่ละเชื้อเพลิง

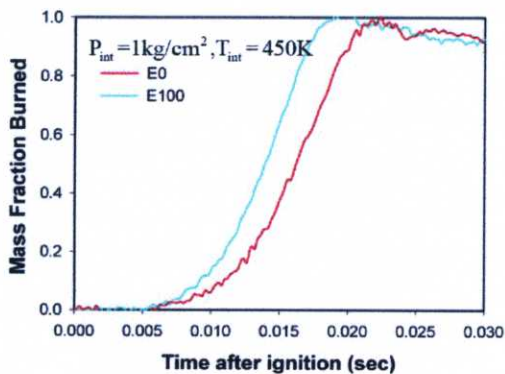
รูปที่ 4 แสดงถึงความดันสูงสุดในการเผาไหม้พบว่าความดันสูงสุดของเอทานอลจะมีค่ามากกว่า 0.5 bar ต่อมาเมื่อนำค่าความดันในมา



รูปที่ 4 ผลของความดันในการเผาไหม้เปรียบเทียบเมื่อจุดพลังงานความร้อนเท่ากัน

สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาหลังจากการจุดระเบิดเปรียบเทียบกับเศษส่วนมวลเผาไหม้ระหว่างเอทานอลและเบนซินที่อุณหภูมิและความดันเริ่มต้นในการเผาไหม้เท่ากัน

โดยคำนวณค่าเศษส่วนมวลในการเผาไหม้จากสมการ (1) เพื่อสร้างเป็นของเอทานอลน้อยกว่าและความดันในการเผาไหม้สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเบนซิน

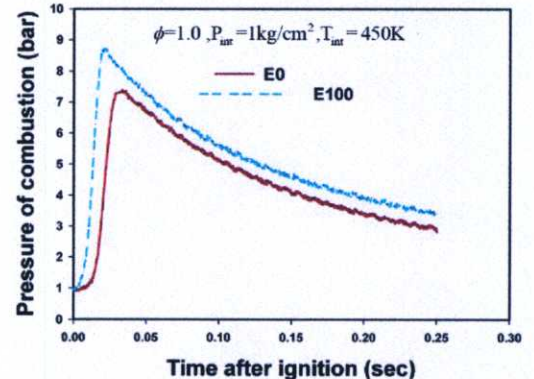


รูปที่ 4 เศษส่วนมวลในการเผาไหม้เปรียบเทียบเมื่อค่าพลังงานความร้อนเท่ากัน

จากรูปที่ 5 เศษส่วนมวลในการเผาไหม้ของเอทานอลจะมีค่าเริ่มสูงขึ้นตั้งแต่เบนซินตั้งแต่เวลา 0.06 sec และมีค่าสูงกว่าเบนซินจนถึงเศษส่วนการเผาไหม้เท่ากับ 1 นั้นก็หมายความว่าเวลาการเผาไหม้ของเอทานอลมากกว่าเบนซิน

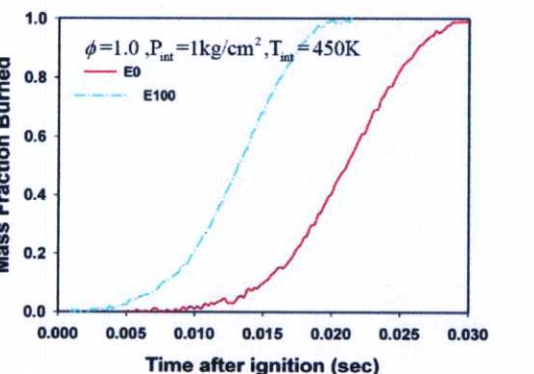
4.2 ผลการเปรียบเทียบความดันในการเผาไหม้ที่อัตราส่วนสมมูล $\phi=1.0$

จาก [3] กล่าวว่ค่าอัตราส่วนสมมูลระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศทางทฤษฎี $\phi=1.0$ ที่ทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ และค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงรวมไปถึงค่ามลพิษเหมาะสมที่สุด ดังนั้นจึงได้ทดลองค่านี้ขึ้นมา



รูปที่ 5 ผลของความดันในการเผาไหม้เปรียบเทียบเมื่ออัตราส่วนสมมูล $\phi=1.0$

จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ชัดเจนว่าความดันสูงสุดในการเผาไหม้ของเอทานอลจะมีค่าสูงกว่าเบนซินอยู่ที่ 1.5 bar ซึ่งผลของความดันสูงสุดในการเผาไหม้ค่าดังกล่าวมีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ คือเมื่อค่าความดันต้นการเผาไหม้สูงแสดงว่าพื้นที่ใต้จะมีค่ามากกว่าให้กำลังงานที่ได้ในเครื่องยนต์จะได้มากกว่า



รูปที่ 6 เศษส่วนมวลในการเผาไหม้เปรียบเทียบเมื่ออัตราส่วนสมมูล $\phi=1.0$

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 5
29 เมษายน -1 พฤษภาคม 2552 มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ พิษณุโลก

จากรูปที่ 6 เศษส่วนมวลในการเผาไหม้ของเอทานอลจะมีค่าเริ่มสูงขึ้นตั้งแต่ก่อนเวลาที่ 0.05 sec และมีค่าสูงกว่าเบนซินจนถึงเศษส่วนการเผาไหม้เท่ากับ 1 เมื่อพิจารณาถึงค่าเศษส่วนมวลในการเผาไหม้ในแต่เชื้อเพลิง พบว่าเศษส่วนมวลในการเผาไหม้ของเอทานอลจะมีค่าเร็วกว่าตั้งแต่ช่วงเวลาที่ 0.056 sec ขึ้นไปแล้วความชันของเอทานอลจะมีค่าเร็วกว่าเบนซิน แสดงว่าเอทานอลใช้เวลาการเผาไหม้น้อยกว่าเบนซิน

4.3 ผลการเปรียบเทียบการแพร่กระจายของเปลวไฟใช้ภาพถ่าย

เพื่อให้เห็นความแตกต่างในการแพร่กระจายของเปลวไฟโดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพเพื่อเห็นความแตกต่างในการลามของเปลวไฟได้ชัดเจนขึ้น

จากรูปที่ 7 เป็นภาพถ่ายเปรียบเทียบการแพร่กระจายของเปลวไฟที่อัตราส่วนสมมูล $\phi = 1.0$ ความดันในการเริ่มต้นเผาไหม้ 1 kg/cm^2 อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ 450K โดยแสดงภาพในการเริ่มต้นในการจุดระเบิดจากทางด้านซ้ายรูปที่ 5 จากการศึกษาการสังเกตการณ์ของเปลวไฟที่ชัดเจน ที่ 6 ms โดยการวัดรัศมีของเปลวไฟด้วยโปรแกรม Motic Images Plus พบว่ารัศมีของเปลวไฟ ของเอทานอลจะมีรัศมีมากกว่าเบนซินที่ 0.5995 เซนติเมตร

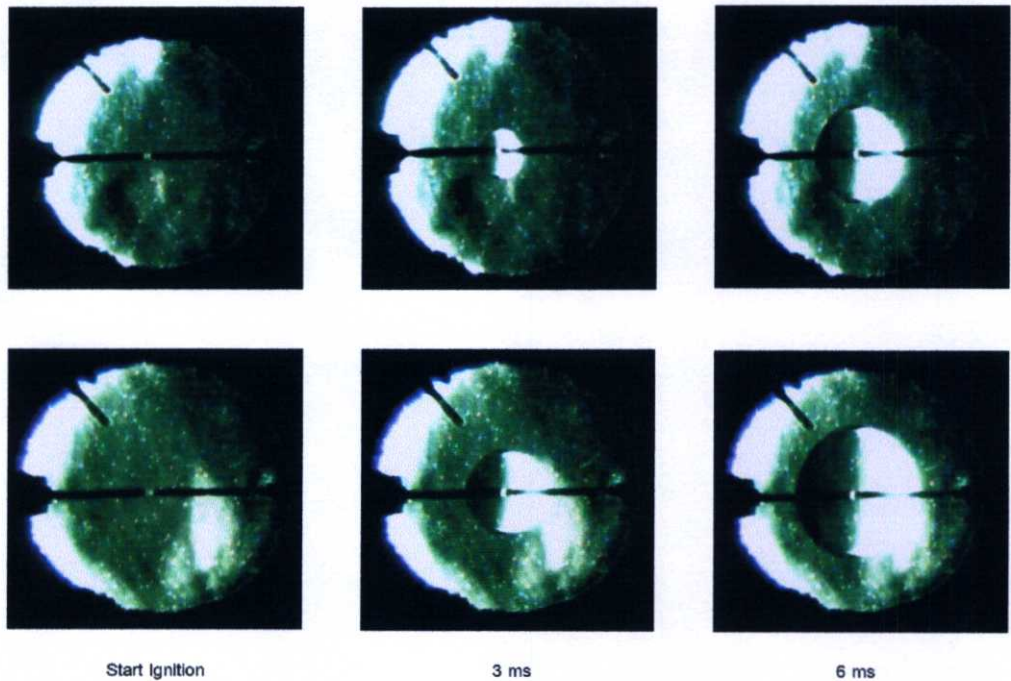
5.สรุปผลการทดลอง

จากผลของ ค่าเศษส่วนมวลในการเผาไหม้ ความดันในการเผาไหม้ และภาพถ่ายการแพร่กระจายของเปลวไฟของเชื้อเพลิงเอทานอลในเบนซินในห้องเผาไหม้ปริมาตรคงที่ สามารถกล่าวสรุปไว้ดังนี้

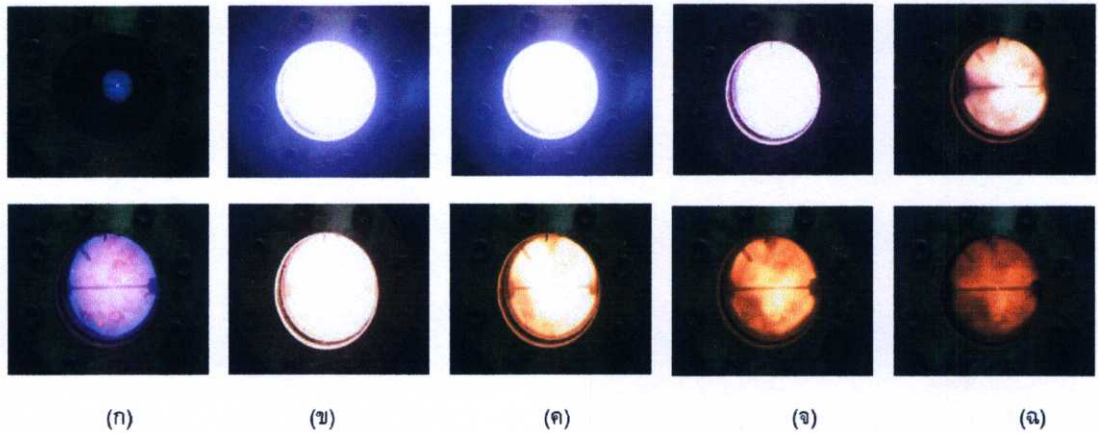
1.ค่าความเร็วในการเผาไหม้ของเอทานอลเร็วกว่าเมื่อเทียบกับเบนซิน ทั้งนี้อ้างอิงมาจากค่าเศษส่วนมวลในการเผาไหม้ที่มีค่ามากกว่า และภาพถ่ายการแพร่กระจายของเปลวไฟที่มีรัศมีของเปลวไฟที่เร็วกว่าเบนซิน

2.ค่าความดันสูงสุดในการเผาไหม้ จากการเปรียบเทียบเมื่อค่าจุดพลังงานความร้อนเท่ากันและค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 พบว่าค่าความดันในการเผาไหม้ของเอทานอลที่ค่ามากกว่าเบนซิน

ทั้งนี้เพราะในเอทานอลจะมีส่วนผสมของออกซิเจนอยู่เชื้อเพลิงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าเบนซิน ประกอบกับค่าการระเหยตัวของเอทานอลทำให้อุณหภูมิในห้องไอติดตลงเป็นผลให้ความหนาแน่นของอากาศเข้าห้องเผาไหม้ได้ดีกว่า และค่าโมเลกุลของเอทานอลจำนวนน้อยกว่า จึงส่งผลทำให้ค่าความดันในการเผาไหม้สูงกว่าเบนซิน ดังนั้นการใช้เอทานอลในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่มีการปรับแต่งขยายช่วงเวลาการฉีดเชื้อเพลิง จึงมีค่ากำลังงานของเครื่องยนต์ที่สูงกว่าใช้เบนซินเป็นเชื้อเพลิง



รูปที่ 7 ภาพถ่ายลำดับการแพร่กระจายของเปลวไฟด้วยเทคนิคซูริเรนกล้องวิดีโอความเร็วสูง ความเร็วในการถ่าย 10,000 frame/sec ที่ความดันในการเริ่มต้น 1 kg/cm^2 อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ 450K อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1 ของเบนซิน (ภาพบน) และเอทานอล (ภาพล่าง)



รูปที่ 8 ภาพลำดับการแพร่กระจายของเปลวไฟด้วยกล้องวิดีโอความเร็วในการถ่าย 40 frame/sec ที่ความดันในการเริ่มต้น 1kg/cm^2 อุณหภูมิเริ่มต้นในการเผาไหม้ 450K อัตราส่วนผสมมูลเท่ากับ 1 ของเบนซิน (ภาพบน) และเอทานอล (ภาพล่าง) เริ่มมีการเผาไหม้จากภาพ (ก)

กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้จัดทำต้องขอขอบคุณทางดร.นุวงศ์ ชลคุปต์และ ดร. สุนงข โตไพบุลย์ คุณศักดิ์ตา ชงชาย คุณมงคล คณานนท์ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิจัยเชื้อเพลิงชีวภาพ สถาบันวิจัยวัสดุแห่งชาติ(MTEC) และทาง อาจารย์ อุทัย อึ้งเจริญ และคุณนิคม ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อำนวยความสะดวกให้เยี่ยมชมความดันในห้องเผาไหม้ในการทดลองครั้งนี้

ขอขอบคุณทาง สถาบันหมวกนิรภัย คณะเภสัชกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสนามจันทร์ ที่อนุเคราะห์การเช่ากล้องถ่ายวิดีโอความเร็วสูง

รวมถึงคุณณรินทร์ ชัยธานี ตลอดจน เพื่อน พี่ น้อง ที่ยังไม่กล่าวนาม แห่งชมรมยานยนต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยร่วมกันสร้างอุปกรณ์ชุดนี้ขึ้นมา

เอกสารอ้างอิง

1. ธนวัฒน์ ศรีรักษา และ จินดา เจริญพรพาณิชย์
" จักรยานยนต์เชื้อเพลิงเอทานอล" การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
2. S. Y. Liao,2005 , " Investigation of the Cold-Start Combustion Characteristics of Ethanol-Gasoline Blends in a Constant-Volume Chamber " Energy Fuels , American Chemical Society
3. W. Pulkrabek ,2003 " Engineering Fundamental of the Internal Combustion Combustion Engine. " ,Printice Hall International ,INC.

4. Chang Sik Lee ,2003 " Effect of redual Gas Fraction on the Combustion Characteristics of Butane-Air Mix ture in the Constant -Volume Chamber." Energy & Fuel 2003 Vol 17,pp-755-761.
5. Somchai C., Manida T. ,2002 , " Combustion and Emmision of Gasoline /Ethanol Blend in Multi - Cylinder SI Engine." International Syposium on Alcohol Fuel Conference &meeting ,Vol 12 pp-1266
6. John B.Heywood ,1988 , " Internal Combustion Combustion Engine Fundamentals ", McGraw-Hill INC.



SETC

2009

15th SMALL ENGINE TECHNOLOGY CONFERENCE

SMALL ENGINE ERA
PURSUING A SOCIETY LESS DEPENDENT ON OIL

PRELIMINARY PROGRAM

November 3 - 5 2009

Convention & Exhibition Centre
Hotel Equatorial
Penang, Malaysia















SAE International



Motorcycle & Scooter Assemblers And Distributors Association of Malaysia

www.setc2009.com

Flame Propagation of Bio-Ethanol in a Constant Volume Combustion Chamber

Chinda Chareonphonphanich and Prathan Srichai

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

Copyright © 2009 SAE Japan and Copyright © 2009 SAE International

ABSTRACT

This research presents an experimental study of the combustion of ethanol blends with gasoline in a constant volume combustion chamber. The test fuels are gasoline, E20 (ethanol20%), E85 (ethanol85%) and pure ethanol. The pressure in combustion chamber was measured. The images of flame propagation were recorded by schlieren technique with high speed video camera. The effects of equivalent ratio, temperature, pressure on the combustion characteristics were studied. The results show the greater percent of ethanol provides faster burn rate of combustion and higher peak of cylinder pressure. The peak combustion pressure E100 is 0.873 MPa which is higher than E85, E20 and E0. The ignition delay time decreases with higher percent of ethanol. As the results of flame propagation images, at stoichiometric burn duration of pure ethanol is 13 ms which is shorter than E85, E20 and E0. The combustion duration of mixture at equivalence ratio of 1.0 is less than that of equivalent ratio 0.8, 1.2 and 1.4. The flame speed and peak pressure increase with percentage of ethanol. The faster flame speed of ethanol flame effects to shorter combustion duration and greater performance and efficiency.

INTRODUCTION

In this recent, many kinds of ethanol fuel such as E0, E20 and E85 are available in Thailand. The new engine model will be designed to use with various percentage of ethanol. The conventional engines may be modified to use ethanol fuels due to its lower price. The property of ethanol is different to the conventional gasoline. That leads to different combustion characteristics which effects to engine performance and efficiency.

Many researchers have studied the combustion of ethanol. S. Y. Liao [1] studied the best equivalent ratio of ethanol fuel for cold starting in a constant volume combustion chamber. The burn duration effects to cyclic variation, peak combustion pressure and NO_x generation in an engine [2]. Faster burn rate effects to reduce engine knocking due to less time for spontaneous ignition to develop. Shorter burn duration leads to operate at higher compression ratio and with Leaner mixtures thus, higher efficiency, higher power output [3].

SETC2009

S.Y. Liao [4] studied premixed laminar combustion of pure ethanol-air mixtures has been conducted in a constant volume combustion bomb. The laminar burning velocities of ethanol-air mixtures are determined over a wide range of equivalence ratio at different temperatures. The shortest burn duration occurs at equivalent ratio 1.0. The burn duration decreases when initial temperature increases.

Many researchers studied only the combustion of pure ethanol. The authors have not found the report of combustion or flame propagation of gasoline blended with ethanol such as E20 or E85. The purpose of this research is to understand the combustion characteristics of bio-ethanol. The flame propagation of bio-ethanol was visualized by schlieren technique. The mass fraction burn, peak combustion pressure and burn duration of bio-ethanol were examined as well. The maximum benefit of using ethanol fuel will be obtained with the optimization of combustion. The engine parameters such as injection duration and ignition timing which effect to the air fuel ratio and combustion characteristics should be adjusted for each blend ratio of ethanol and gasoline.

EXPERIMENTAL SETUP AND PROCEDURE

The constant volume combustion chamber was designed for simulating the combustion in an engine. In this research, the shape of combustion is cylindrical with diameter of 80 mm. Volume of combustion chamber is 320 cm^3 . In order to visualize the flame propagation, transparent and high strength material must be used as windows of combustion chamber. The transparent quartz disks were selected for this combustion chamber. The sectioned view of constant volume combustion chamber is shown in Figure 1. Clearance of spark plug is 1.5 mm. The schematic diagram of experimental set up is shown in Figure 2. The experimental apparatus was design to prepare mixture with a fuel injector and injection controller. The thermocouples were installed at intake port, inside of combustion chamber and at the wall of combustion chamber. The electrical heater and controller were equipped to maintain the temperature. In order to measure the cylinder pressure, a pressure transducer (Kistler model 611BFD16) was also installed in the chamber. The historical data were recorded with high speed data acquisition (Dewetron Model DEWE-5000).

The movies of flame propagation were recorded by the Photron high speed video camera (Model APX-RS).

The schlieren technique was adopted to obtain clear images of bio-ethanol flame as shown in Figure 3.

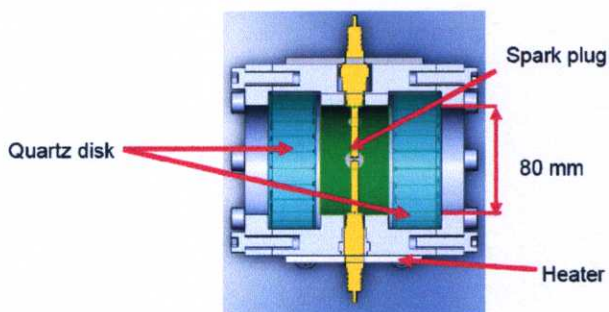


Figure 1 Sectioned view of constant volume combustion chamber

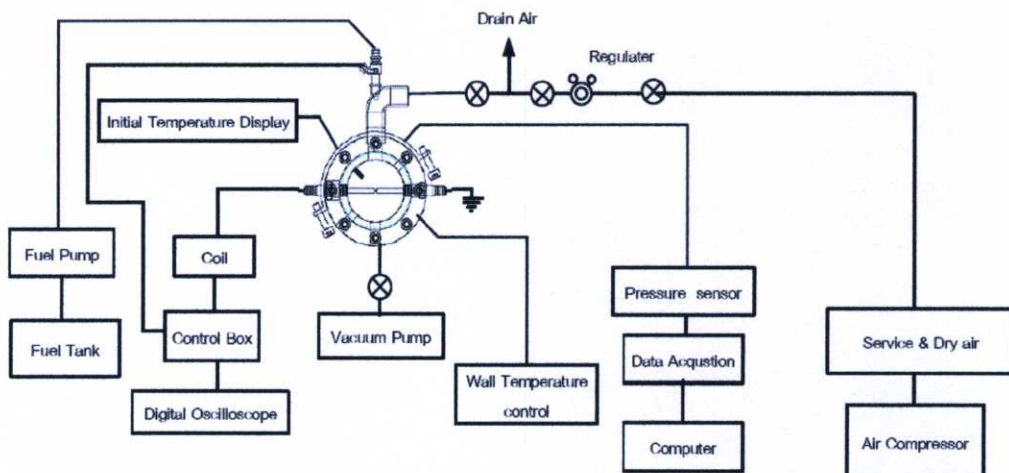


Figure 2 Experimental Setup

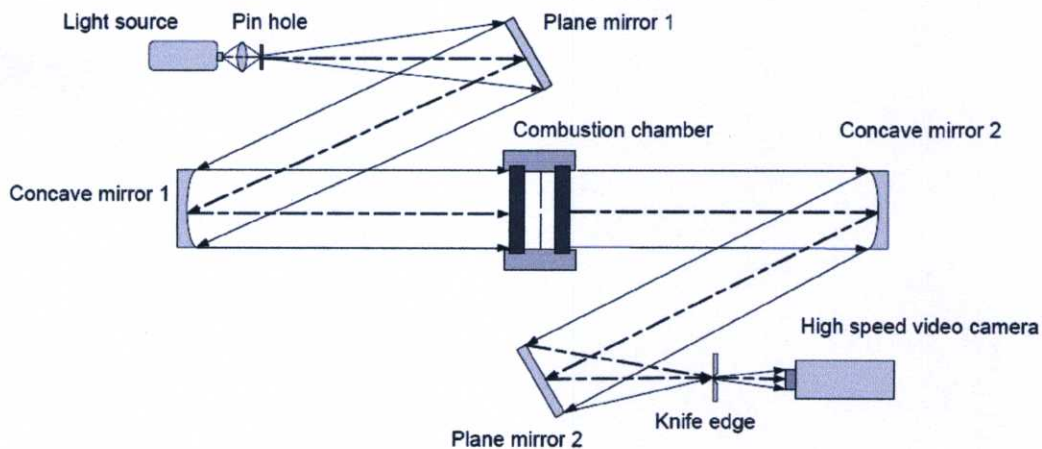


Figure 3 Schlieren setup for visualization of combustion flame

Table 1 Specification of gasoline and ethanol

Property	E0 (Gasoline)	E100 (Ethanol)
Molecular Weight	114.8	46.07
RVP (kPa)	62.6	16
Lower Heating Value (kJ/kg)	44,000	26,900
Heat of Vaporization (kJ/kg)	305	840
Stoichiometric A/F ratio	14.6	9

Table 1 shows properties of ethanol and gasoline. The stoichiometric air fuel ratio is different. Then the amount of injection for ethanol and gasoline must be calculated to obtain the same equivalent ratio.

TEST PROCEDURE

Table 2 shows the test conditions. The test fuels are E0 (gasoline), E20 (ethanol 20%), E85 (ethanol 85%) and E100 (pure ethanol) In order to study effect of equivalent ratio, initial temperature and initial pressure, these parameters were varied as shown in the table.

Table 2 Test conditions

Test fuels	E0 ,E20,E85 and E100
Equivalence ratio	0.8, 1.0,1.2 and 1.4
Initial temperature	177 and 197 °C
Initial pressure	0.098 and 0.147 MPa

The experiment starts with adjusting the injection duration with microcontroller. The injection duration was measured by oscilloscope. The initial pressure was adjusted by a regulator. The initial temperature of combustion chamber was controlled by electrical heater of 1300 W. The mixture was forced into the combustion chamber by the air pressure. After all mixture flew into the chamber, all mechanic valves were closed. Then mixture was ignited by spark plug. The combustion pressure was measured by dynamics pressure transducer. The historical data were recorded after ignition with high speed data acquisition at 5000 sample rate/sec. At the same time, the flame images were recorded by high speed video camera at 10,000 frame per second.

To obtain the equivalent ratio of mixture, calculation of A/F ratio was done by measuring the mass of air before injection and amount of fuel injection. Calculation of equivalence ratio

Mass of air before start of ignition was calculated by the following equation [5]

Where

$$m_a = \frac{PV}{R_g T_u} \quad (1)$$

P is Initial gage pressure before combustion

V is Volume of combustion chamber

R_g is Gas constant of air

T_u is Initial Temperature of combustion

The mass of fuel depends on the injection duration which is decided by microcontroller. Then equivalent ratio [5] can be calculated by mass of fuel m_f .

$$\phi = \frac{(m_f / m_a)_{actual}}{(m_f / m_a)_{theory}} \quad (2)$$

Where

$(m_f / m_a)_{actual}$ is real air fuel ratio.

$(m_f / m_a)_{theory}$ is theory air fuel ratio.

The mass fraction burn is calculated from historical pressure data. Pressure in the combustion chamber corresponds to the mass fraction burn [5].

$$M(t) = \frac{p(t) - p_{int}}{p_{max} - p_{int}} \quad (3)$$

Where

$p(t)$ is Pressure in function time

p_{int} is Initial pressure

p_{max} is Peak pressure of combustion

RESULTS AND DISCUSSION

Historical combustion pressure data

Peak pressure, mass fraction were calculated based on the historical pressure data. Figure 3 shows pressure data of test fuels. As the results, pure ethanol (E100) provides the greatest peak of combustion pressure (0.873 MPa). The peak combustion pressure of E85, E20 and E0 are 0.853, 0.753 and 0.734 MPa respectively.

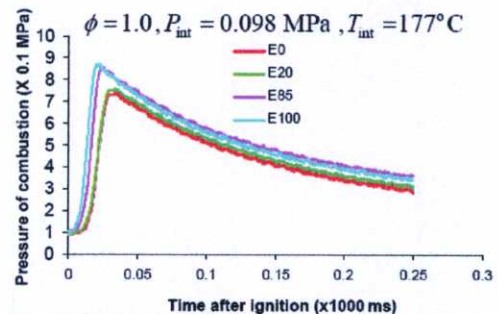


Figure 3 Historical data of combustion pressure of E100, E85, E20 and E0 (gasoline)

The ignition delay time is defined at 10% of mass fraction burned. The combustion of pure ethanol (E100) starts at 7.8 ms after ignition. The combustion of E85, E20 and E0 starts at 10, 14 and 15.2 ms

respectively. The mass fraction burned is shown in Figure 4.

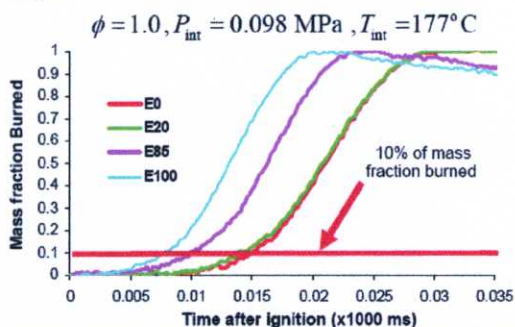


Figure 4 Mass fraction burned data of each ethanol blended fuel.

Figure 5 shows sequence of flame propagations images taken by schlieren technique. These are the images of flame at ignition time, 3 ms and 6 ms after ignition. The flame diameter and flame area relates to the flame speed of test fuels. At 6 ms after ignition, flame diameter of E100, E85, E20 and E0 are 4.80, 3.81, 3.65 and 2.88 cm respectively.

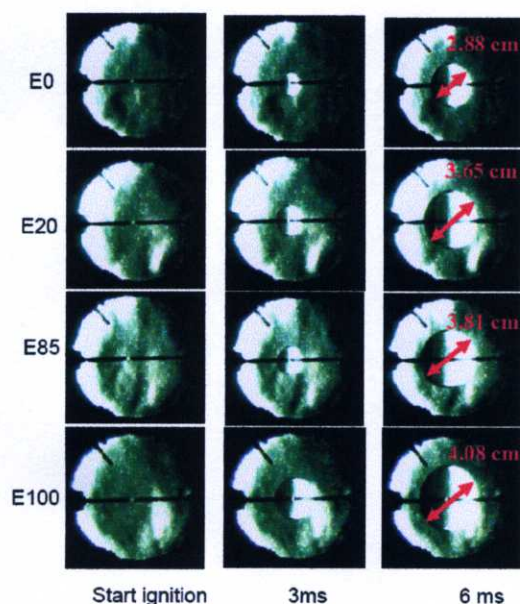


Figure 5 Flame propagation of each test fuels at equivalent ratio 1.0, initial pressure 0.098 MPa and initial temperature 177 °C.

S.Y. Liao [1] showed flame propagation of E0 and E15. The flame propagation rate of E15 is higher than E0. In this study, the flame propagation of higher percent of ethanol blends E20 and E85 was observed as well. The author can conclude that the flame propagation rate increases with percent of ethanol even at higher blend ratio.

SETC2009

Effect of equivalent ratio on flame propagation

In order to compare the flame propagation of each test fuels, flame diameter and flame area were measured by software of MOTIC PLUS.

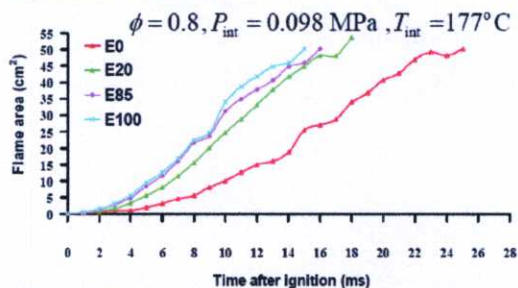


Figure 6 Flame area of each test fuels at $\phi = 0.8$.

Figure 6 shows flame area and combustion duration at equivalent ratio 0.8. In this case, combustion duration of E100, E85, E20 and E0 are 15, 16, 18 and 25 ms respectively. Figure 7, 8 and 9 show flame area and combustion duration at equivalent ratio 1.0, 1.2 and 1.4 respectively. Figure 10 shows combustion duration of each fuel at various equivalent ratios. The combustion duration of pure ethanol is the shortest one for overall equivalent ratio. The combustion duration of all fuels at equivalent ratio 1.0 is shorter than that of equivalent ratio 0.8, 1.2 and 1.4.

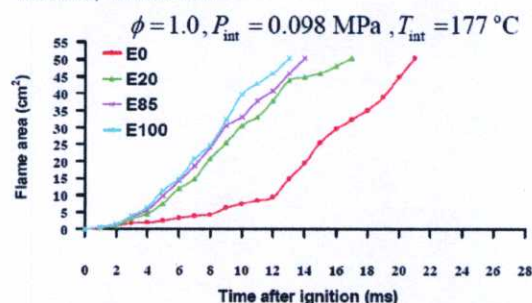


Figure 7 Flame area of each test fuels at $\phi = 1.0$.

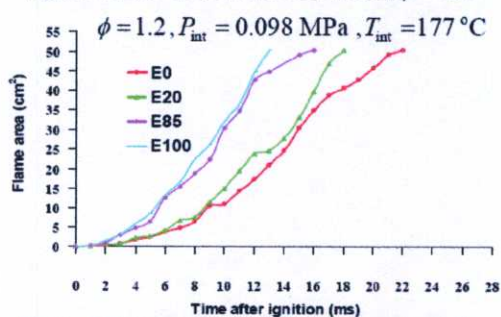


Figure 8 Flame area of each test fuels at $\phi = 1.2$.

The results of pure ethanol combustion give good agreement with results of S.Y. Liao [4] which included only combustion pure ethanol. The combustion of other mixing ratios E20 and E85 show same trend with pure Ethanol. These results can be discussed as follows. At equivalent ratio 0.8, the mixture is lean which effects to lower flame speed. At equivalent ratio

1.2 and 1.4, the excess fuel may absorb more heat for changing phase of ethanol and effects to reduce the temperature and lower flame speed. The shorter combustion duration effects to increase engine efficiency and reduce NO_x emission.

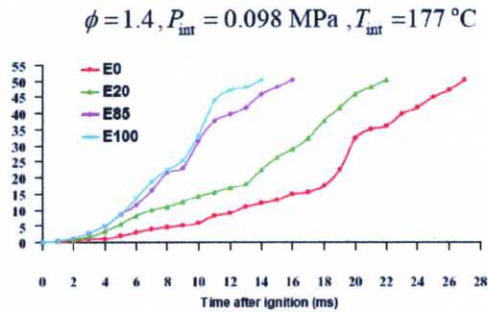


Figure 9 Flame area of each test fuels at $\phi = 1.4$.

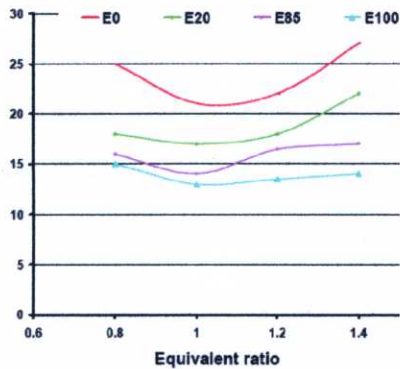


Figure 10 Combustion duration of each test fuel at different equivalent ratio

Effect of initial temperature on combustion duration

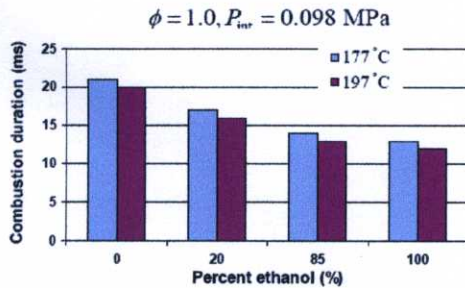


Figure 11 Combustion duration of each test fuel at initial temperature of 177 and 197 °C

Figure 11 shows the effect of initial temperature on flame propagation. The combustion duration of ethanol fuels in case of initial temperature 177 °C is less than that of 197 °C about 5.88 - 7.69%. The higher initial temperature effects to increase the flame speed of all test fuels. These results agree with calculation results of S.Y. Liao [4]

SETC2009

Figure 12 shows effect of initial pressure on flame propagation. The combustion duration of ethanol fuels in case of initial pressure 0.098 MPa is less than that of 0.147 MPa about 7.7 to 28.57%. The higher initial pressure effects to decrease flame speed of all test fuels.

Effect of initial pressure on combustion duration

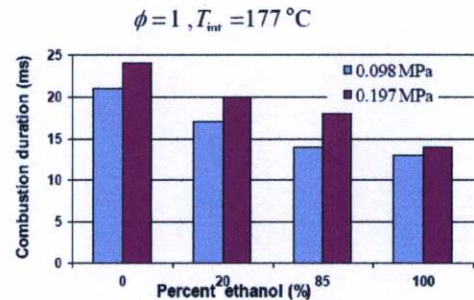


Figure 12 Combustion duration of each fuel at initial pressure of 0.098 and 0.147 MPa

CONCLUSION

The constant volume combustion chamber was designed and manufactured for observing the flame propagation. The combustion characteristics of bio-ethanol at different blends ratio including E0, E20, E85 and E100 was observed. The results show good agree with other researchers at lower percent of ethanol. The effects of equivalent ratio, initial temperature and initial pressure on flame propagation rate and combustion durations of various percent of ethanol were cleared. The experimental results can be summarized as follows.

1. Pure ethanol (E100) provides maximum peak pressure of combustion and minimum ignition delay compare to E85, E20 and E0.
2. The combustion duration of pure ethanol is less than that of E85, E20 and E0 respectively. The equivalent ratio of 1.0 provides the shortest combustion duration compare to 0.8, 1.2 and 1.4.
3. The flame propagation rate of each ethanol blends increases with initial temperature. The combustion duration of ethanol fuels in case of initial temperature 197 °C is less than that of 177 °C about 5.88 - 7.69%.
4. The flame propagation rate of each ethanol blends decreases with initial pressure. The combustion duration of ethanol fuels in case of initial pressure 0.098 MPa is less than that of 0.147 MPa about 7.7 to 28.57%.

From these results, the information of bio-ethanol combustion was revealed. To obtain lower heat loss in combustion chamber, higher efficiency, lower NO_x emission, the shorter combustion duration is required. This information is expected to provide the benefit for ethanol engine design.

ACKNOWLEDGE

The authors would like to express sincere thank to Bio fuel lab, National Metal and Materials Technology Center, Thailand and Department of Mechanical Engineering Patumwan Institute of technology for supporting the pressure measurement equipment.

REFERENCES

1.S. Y. Liao, "Investigation of the Cold - Start Combustion Characteristics of Ethanol-Gasoline Blends in a Constant-Volume" International, INC., 2005

2.Hakan Bayraktar "Theoretical investigation of flame propagation process in an SI engine running on gasoline-ethanol blends "Renewable Energy 32 ,2007

3. W. Pulkrabek, "Engineering Fundamental of the Internal Combustion Combustion Engine." Prentice Hall. 2003

4. S. Y. Liao, "Determination of the laminar burning velocities for mixtures of ethanol and air at elevated temperatures" Applied Thermal Engineering 27,2007

5. Chang Sik Lee ,2003 "Effect of residual Gas Fraction on the Combustion characteristic of Butane-Air Mixture in the Constant Volume Combustion chamber" Energy& Fuel, American Society of Chemical Engineering, 2003.

CONTACT

Dr. Chinda Chareonphonphanich

E-mail kchchind@kmitl.ac.th

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

ประวัติผู้เขียน

นายประธาน ศรีชัย ดำเนินการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขา
วิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
องค์รักษ์ ในปีการศึกษา 2549 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา
วิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2549 E-mail: prathan_srichai@hotmail.com