สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาหัวฉีดเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มและเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ภายในเครื่องเยนต์กังหันแก๊ส

Development of palm oil injector and increase combustion efficiency in gas turbine engine

T119369

พงษ์พัฒน์ ตรีรัตน์

ศักดิ์สิทธิ์ ปัทมะสุนทร

อธิรัช วุฒิจรรยารักษ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 119369
วัน,เดือน,ปี 7 ส.ค. 2554
b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาหัวฉีดเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มและเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ภายในเครื่องเยนต์กังหันแก๊ส

Development of palm oil injector and increase combustion efficiency in gas turbine engine

โดย

พงษ์พัฒน์ ตรีรัตน์

ศักดิ์สิทธิ์ ปัทมะสุนทร

อธิรัช วุฒิจรรยารักษ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.อำนาจ คณะรัฐ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

รศ.ดร. จารุวัตร เจริญสุข

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาหัวฉีดเชื้อเพลิงน้ำมันพืชและเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ภายใน
เครื่องยนต์กังหันแก๊ส
DEVELOPMENT OF PALM OIL INJECTOR AND INCREASE
COMBUSTION EFFICIENCY IN GAS TURBINE ENGINE

ผู้จัดทำ
1.นาย พงษ์พัฒน์ ตรีรัตน์ รหัสประจำตัว 50011016
2.นาย ศักดิ์สิทธิ์ ปัทมะสุนทร รหัสประจำตัว 50011552
3.นาย อธิรัช วุฒิจรรยารักษ์ รหัสประจำตัว 50011829

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(อาจารย์ อำนาจ คณะรัฐ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รศ.ดร. จารุวัตร เจริญสุข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาหัวฉีดเชื้อเพลิงน้ำมันพืชและเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ในเครื่องยนต์กังหันแก๊ส

นาย พงษ์พัฒน์ ตรีรัตน์ 50011016
นาย ศักดิ์สิทธิ์ ปัทมะสุนทร 50011552
นาย อธิรัช วุฒิจรรยารักษ์ 50011829
ดร.อำนาจ คณะรัฐ อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

ปัจจุบันนี้มีการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกมาทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีอยู่เดิมซึ่งมีความสำคัญมากในการลดค่าใช้จ่ายและลดปัญหาสิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกันกับการนำพลังงานทางเลือกเหล่านี้มาใช้ในเครื่องยนต์กังหันแก๊ส จึงนำมาเป็นหัวข้อในการศึกษาและพัฒนาหัวฉีดที่สามารถฉีดเชื้อเพลิงได้สองระบบคือ LPG และน้ำมันปาล์ม โดยการฉีดน้ำมันปาล์มนั้นจะใช้อากาศแรงดันสูงพ่นไปพร้อมกันเพื่อที่จะเฉือนน้ำมันปาล์มให้เกิดการแตกตัวเป็นฝอยละอองของน้ำมันปาล์ม พร้อมทั้งสร้างท่อส่วนผสมอากาศ-เชื้อเพลิงLPG ก่อนการเผาไหม้ เพื่อทำให้เชื้อเพลิงได้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้นานขึ้นก่อนการเผาไหม้ซึ่งจะช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้นและลดมลพิษทางอากาศ อีกทั้งยังเป็นการใช้พลังงานทางเลือกที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF PALM OIL INJECTOR AND INCREASE COMBUSTION EFFICIENCY IN GAS TURBINE ENGINE

Pongpat Treeratana

Saksith Pattamasoontorn

Athirach Wutthichanyaruk

Dr. Amnat Kanarat Advisor

Assoc.Prof.Dr. Jaruwut Charoensuk Advisor

ABSTRACT

Nowadays, the alternative energy usage is becoming more important to save the cost and reduce environmental problems is using alternative energy in a gas turbine engine ,So we decided to study this topic and invent the fuel injection that can inject two kinds of fuel LPG and Palm Oil. Palm oil will be atomized by a jet of high pressure of air forming a mist after leaving a nozzle. Also, and also construct air - LPG mixing pipe before combustion to enhance fuel to react with oxygen in air longer. This resulted in more complete combustion and reduce air pollution and also utilize the limited alternative energy with the best benefit.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความเอาใจใส่ คำแนะนา การให้คำปรึกษาของ รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข ที่กรุณาถ่ายทอดความรู้ต่างๆให้กับคณะผู้วิจัย คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ลูกศิษย์ตลอดสี่ปีที่ได้ศึกษาในมหาลัยอันทรงเกียรติแห่งนี้

ขอขอบคุณ พี่ๆและเพื่อนๆ นักศึกษาทุกคนที่คอยให้การช่วยเหลือในด้านต่างๆ ทำให้โครงงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยนี้ อีกทั้งยังคอยให้กำลังใจอย่างใกล้ชิด

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ของคณะผู้วิจัย ที่คอยอบรมสั่งสอน ให้การเลี้ยงดูเป็นอย่างดี คอยให้กำลังใจและสนับสนุนด้านการศึกษาจนคณะผู้วิจัยก้าวมาถึงทุกวันนี้ได้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ได้ให้โอกาสคณะผู้วิจัยได้เข้ามารับการศึกษาและทำการวิจัยในภาควิชาแห่งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์เล่มนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นาย พงษ์พัฒน์ ตรีรัตน์
นาย ศักดิ์สิทธิ์ ปัทมะสุนทร
นาย อธิรัช วุฒิจรรยารักษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	IX
สารบัญตาราง	XIII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์	XIV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 จุดประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการทำงาน	2
1.4 กระบวนการดำเนินงาน	2
1.5 วิธีการดำเนินโครงงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีเครื่องยนต์กังหันแก๊ส	3
2.1 หลักการทำงานเของเครื่องยนต์	3
2.2 วัฏจักรในอุดมคติ (Ideal cycle)	3
2.3 วัฏจักรเครื่องยนต์กังหังแก๊ส	4
2.4 วัฏจักรที่แท้จริง (Actual cycle)	5
2.5 การคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องยนต์กังหันแก๊ส	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5.1 การคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องยนต์กังหันแก๊ส	5
2.5.2 ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของการขยายตัว (Isentropic efficiency of expansion)	6
2.5.3 ประสิทธิภาพของการเผาไหม้	6
2.6 การวัดและการคำนวณคุณสมบัติของของไหลที่ตำแหน่งต่างๆของเครื่องยนต์	6
2.6.1 การวัดอุณหภูมิของของไหล (Fluid temperature)	6
2.6.2 การวัดความดันของการไหลของของไหล (Fluid flow pressure)	7
2.6.3 การคำนวณหาความเร็วการไหล (Velocity flow)	8
2.6.4 การคำนวณหาความหนาแน่นของอากาศหลังจากถูกอัดโดยประมาณ (Compressor air approximated density)	8
2.6.5 การคำนวณอัตราการไหลเชิงมวลของของไหล (Fluid mass flow rate)	9
2.6.6 ทฤษฎีการหาอัตราการไหลของเชื้อเพลิง (Fuel mass flow rate)	9
2.6.7 การคำนวณความหนาแน่นของก๊าซที่เผาไหม้แล้ว (Mixed-gas density)	11
2.6.8 การวัดคำนวณแรงขับดันและกำลังงานทางกล	11
ทบที่ 3 หลักการและทฤษฎี	13
3.1 บทนำ	13
3.2 ทฤษฎีการเผาไหม้	13
3.2.1 ปฏิกิริยาการเผาไหม้	13
3.2.2 ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

3.2.3 ค่าความร้อน 14

3.2.4 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 14

3.2.5 อัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio) 15

3.2.6 เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (Percent excess air) 15

3.3 การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลว 16

3.3.1 การกลายเป็นไอ 16

3.3.2 ความหนืด 16

3.4 เชื้อเพลิงและคุณสมบัติ 16

3.4.1 คุณสมบัติของแก๊ส LPG 16

3.4.2 คุณสมบัติของน้ำมันปาล์ม 17

3.5 ประเภทของเปลวไฟ 18

3.5.1 การเผาไหม้แบบ Non-premixed (diffusion) 18

3.5.2 การเผาไหม้แบบ Premixed 19

3.6 หลักการออกแบบหัวฉีด 20

3.6.1 สมการอนุรักษ์มวล 20

3.6.2 การออกแบบหัวฉีด 21

3.6.3 Flame stability 21

3.6.4 การเปรียบเทียบความเหมาะสมและความปลอดภัยของการออกแบบหัวฉีด 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 กระบวนการและผลการออกแบบ	23
4.1 บทนำ	23
4.2 การออกแบบท่อ Premixed chamber	23
4.2.1 ออกแบบโดยการจำลองการไหลใน Mixing throat	23
4.2.1.1 ผลการจำลองการไหลใน Mixing throat	27
4.2.2 ออกแบบโดยการจำลองการไหลใน Premixed chamber	27
4.2.2.1 ผลการจำลองการไหลใน Premixed chamber	29
4.2.3 ออกแบบหัวฉีดเชื้อเพลิง LPG ภายใน Premixed Chamber	31
4.3 ผลการทดลองเผาไหม้แก๊ส LPG ในห้องเผาไหม้	36
4.4 การพัฒนาหัวฉีดเชื้อเพลิง LPG	36
4.5 หลักการออกแบบหัวฉีดน้ำมันปาล์ม	38
4.5.1 การแยกสลายของหยด (Breakup of drops)	40
4.5.2 หลักการทำงานของหัวฉีด	41
บทที่ 5 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	43
5.1 บทนำ	43
5.2 อุปกรณ์การทดลอง	44
5.3 วิธีการทดลอง	47
5.3.1 การทดลองภายนอกห้องเผาไหม้:การทดสอบหาอัตราส่วนอัตราการไหลน้ำมัน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

และอากาศภายนอกห้องเผาไหม้ 47

5.3.2 การทดสอบภายในห้องเผาไหม้: การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ โดยใช้เชื้อเพลิง LPG อย่างเดียวในการเผาไหม้ 49

5.3.3 การทดสอบภายในห้องเผาไหม้ : การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันพืช เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับ LPG ในการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ 51

บทที่ 6 ผลการทดลอง 52

6.1 บทนำ 52

6.2 ผลของการฉีดน้ำมันปาล์มร่วมที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิห้องเผาไหม้ 52

6.2.1 ทดลองนอกห้องเผาไหม้ 52

6.2.1.1 ผลการทดสอบเพื่อหาสัดส่วนอัตราน้ำมันที่เหมาะสมที่สุดในหัวฉีด 53

6.2.1.2 ผลการทดสอบเพื่อหาสัดส่วนอากาศที่ดีที่สุดในอัตราการไหลน้ำมัน 300 ml/min 54

6.2.2 การทดลองภายในห้องเผาไหม้ 55

6.3 ผลของท่อ Premixed chamber ที่มีผลต่ออุณหภูมิการเผาไหม้ 57

6.4 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ 58

บทที่ 7 วิจารณ์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 61

บรรณานุกรม 63

ภาคผนวก 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการทำงานของเครื่องยนต์กังหันแก๊ส	3
2.2 การทำงานของเครื่องยนต์กังหันแก๊สและแผนภาพ P-V กับ T-s	4
2.3 แสดงแผนภูมิการอัดและการขยาย	5
2.4 เครื่องอ่านค่าอุณหภูมิ (Data logger)	7
2.5 Pilot static tube	7
2.6 เครื่องมือวัดความเร็วแบบดิจิตอล (Anemometer)	8
2.7 กระบวนการอัดโดยเครื่องอังอากาศ	9
2.8 การวัดอัตราการไหลด้วยออริฟิส	10
2.9 เครื่องมือวัดอัตราการไหล LPG แบบเข็มและเกจวัดความดันถึงแก๊ส	10
3.1 โครงสร้างและลักษณะของเปลวไฟแบบ Non-premixed (diffusion)	19
3.2 เปลวไฟแบบ Premixed	19
3.3 หัวฉีดและ mixing chamber ที่ออกแบบและสร้างแบบที่ 1	20
3.4 velocity vector แสดงถึงความเร็วและลักษณะความเร็วเปลวไฟ (a.) flashback และ (b.) liftoff	22
3.5 กราฟการเปรียบเทียบความเหมาะสมและความปลอดภัยในการออกแบบหัวฉีด	22
4.1 แบบทางเดินอากาศ 3 มิติ a.) และปริมาตรควบคุม b.)	24
4.2 การจำลองการไหลของอากาศในท่อ mixing throat แบบที่ 1 ขนาดท่อ45 mm.	25
4.3 การจำลองการไหลของอากาศในท่อ mixing throat แบบที่ 1ขนาดท่อ 40 mm.	26
4.4 การจำลองการไหลของอากาศในท่อ mixing throat แบบที่ 1 ขนาดท่อ 35 mm.	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 ท่อผสม (mixing throat) ขนาด 35 mm.	27
4.6 การจำลองการไหลใน mixing chamber	28
4.7 การจำลองการไหลใน mixing chamber	28
4.8 แบบ 3 มิติ cross section ของหัวฉีด	29
4.9 ท่อ Mixing Chamber จริงที่พร้อมใช้งาน	30
4.10 ท่อ Mixing Chamber เมื่อนำไปติดตั้งภายในเครื่องยนต์	30
4.11 สเกลวัดความยาวเปลวไฟและฐานเปลวไฟ	31
4.12 Liftoff distance (L_l)	32
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความยาวเปลวไฟ	34
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับฐานของเปลวไฟ	35
4.15 เปลวไฟที่ได้จากท่อ Mixing chamber โดยใช้หัวฉีดขนาด 4.5 mm.	35
4.16 ท่อผสมแบบท่อตรง	36
4.17 ฐานเปลวไฟที่จะหลุดจากหัวฉีด	37
4.18 หัวฉีดที่ปรับปรุงฐานเปลวไฟแล้วที่อัตราการไหล 10 SCFH (a.) และอัตราการไหล 50 SCFH (b.)	38
4.19 แผนภาพจำลองโครงสร้างหัวฉีดที่ใช้ในโครงงานนี้	41
5.1 ชุดเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์	44
5.2 ชุดหัวฉีดเชื้อเพลิง	44
5.3 อุปกรณ์จ่ายอากาศ	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
5.4 มาตรวัดอัตราการไหลน้ำมัน	45
5.5 มาตรวัดอัตราการไหลLPG	45
5.6 มาตรวัดอัตราการไหลอากาศ	45
5.7 ถังความดัน	46
5.8 ถังแก๊ส 2 ถัง	46
5.9 เทอร์โมคัปเปิล Type K	46
5.10 อุปกรณ์อ่านค่าอุณหภูมิ Data Rogger	47
5.11 ชุดควบคุมรอบ Blower และชุดจุดระเบิด	47
5.12 ชุดทดลองฉีดน้ำมันปาล์ม	48
6.1 อัตราการไหลน้ำมัน 100 ml/min	53
6.2 อัตราการไหลน้ำมัน 200 ml/min	53
6.3 อัตราการไหลน้ำมัน 300 ml/min	53
6.4 อัตราการไหลน้ำมัน 400 ml/min	53
6.5 อัตราการไหลน้ำมัน 500 ml/min	54
6.6 อัตราการไหลอากาศ 50 scfh	54
6.7 อัตราการไหลอากาศ 60 scfh	54
6.8 อัตราการไหลอากาศ 70 scfh	55
6.9 อัตราการไหลอากาศ 80 scfh	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.10 อัตราการไหลอากาศ 90 scfh	55
6.11 อัตราการไหลอากาศ 100 scfh	55
6.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการจ่ายน้ำมันปาล์มที่มีผลต่ออุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้	56
6.13 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิห้องเผาไหม้ของการเผาไหม้แบบ premix และแบบ none premix	57

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 คุณสมบัติแก๊ส LPG	17
3.2 ตารางคุณสมบัติน้ำมันปาล์ม	18
3.3 Laminar flame speeds เชื้อเพลิงบริสุทธิในอากาศที่ ϕ 1.0 ที่1 atm ณ อุณหภูมิห้อง	21
4.1 แสดงค่าที่ระบุเงื่อนไขขอบเขตที่ทางเข้าอากาศใน mixing throat	25
4.2 ผลการทดลองที่ขนาดรู LPG = 3 mm.	32
4.3 ผลการทดลองที่ขนาดรู LPG = 4.5 mm.	33
4.4 ผลการทดลองที่ขนาดรู LPG = 6 mm.	33
4.5 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย หัวฉีดแบบ อะตอมไมเซอร์แบบต่างๆ	38
6.1 ผลการทดลองภายในการเผาไหม้ LPG เพียงอย่างเดียว	56
6.2 ผลการทดลองเมื่อมีการจ่ายน้ำมันร่วมด้วยกับLPG	56
6.3 ผลของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เพิ่มขึ้น	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคาย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์/ คาย่อ	ชื่อ / ความหมาย
A	พื้นที่หน้าตัดของการไหล (m^2)
AF	อัตราส่วนของมวลระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง
FA	อัตราส่วนของมวลระหว่างเชื้อเพลิง
cp	ค่าความร้อนจาเพาะ , kJ/kg
Ft	แรงขับดัน ,N
H	เอนทาลปี , kJ/kg
h_{fg}	ค่าความร้อนแฝงในการระเหยของน้าที่ 25 °C มีค่าเท่ากับ 2,440 kJ/kg
HHV	higher heating value หรือ Gross calorific (gross C.V.) , kJ/kg
LHV	lower heating value หรือ Net calorific (Net C.V.) , kJ/kg
LHV_{palm}	lower heating value หรือ Net calorific (Net C.V.) , kJ/kg
m_{fuel}, m f	อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง , kg /s
m_{H_2O}	มวลของน้า, kg
m_{fuel}	มวลของเชื้อเพลิง , kg
$m_{air(total)}$	อัตราการไหลอากาศทั้งหมด , kg/s
$m_{injector\ air}$	อัตราการไหลอากาศภายในหัวฉีดน้ามันปาล์ม เพื่อทาให้เกิดAtomization เกิดขึ้น , kg/s
$m_{primary}$ air	อัตราการไหลอากาศที่จ่ายให้ภายใน Premix Chamberเพื่อ premix เชื้อเพลิง LPG ก่อนการเผาไหม้ , kg/s
$m_{secondary\ air}$	อัตราการไหลอากาศสูงสุดภายในห้องเผาไหม้
m_{palm}	อัตราการไหลมวลน้ามันปาล์ม, kg/s
P_A	ความดันอากาศพลศาสตร์ภายนอก, Pa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_l	ความดันภายในที่ตาแหน่งต่างๆบนผิวของหยด,Pa
P_o	ความดันสแตกเนชั่น ,Pa
P_σ	ความดันตึงผิว, Pa
Q	ค่าความร้อน , J หรือ kJ
Q	การไหลเชิงปริมาตร, m^3/s
Q_{in}	พลังงานที่ให้กับระบบ , J หรือ kJ
Qout	พลังงานที่ออกจากระบบ , J หรือ kJ
Re	เรย์โนล์ดนัมเบอร์
T_0	อุณหภูมิสแตกเนชั่น ,K
T_i	อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ , ˚C
T_f	อุณหภูมิภายหลังมีการเผาไหม้, ˚C
v	ความเร็วการไหลของของไหล, m/s
U	ความเร็วเฉลี่ยของของไหล , m/s
U_4	ความเร็วของก๊าซไอเสีย ,m/s
W	งาน , J หรือ kJ
W_{net}	งานสุทธิ , J หรือ kJ
η_t	ประสิทธิภาพทางความร้อน
γ	ค่าคงที่ของอากาศ = 1.4
ρ	ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m^3
Φ	อัตราส่วนสมมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในสภาวะปัจจุบันที่เชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้น จึงทำให้ผู้บริโภคหันมาใช้พลังงานทางเลือกมากขึ้น โดยน้ำมันปาล์มและก๊าซธรรมชาติถือเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคเป็นอย่างมาก เพราะสามารถเอาไปใช้อย่างแพร่หลายในหลากหลายวงการ ทำให้ ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันปาล์มไม่เพียงพอต่อความต้องการ เกิดการขาดตลาด โดยในสภาวะปัจจุบันน้ำมันปาล์มมีราคาสูงขึ้นมาก จึงได้มีความพยายามที่จะหาวิธีการลดต้นทุนและใช้พลังงานที่มีอย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุดเพื่อสนองความต้องการที่มากขึ้นของผู้อุปโภคบริโภคให้อย่างทั่วถึงมากที่สุด

โครงงานนี้จึงแลเห็นความสำคัญของพลังงานทางเลือกที่นับวันจะยิ่งมีความต้องการมากขึ้นทุกที จึงได้ศึกษาและสร้างหัวฉีดเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว มาเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์กังหันแก๊ส โดยจะนำน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดปาท่องโก๋หรือลูกชิ้นทอดที่หาซื้อได้ในท้องตลาด มากรองเอาพวกตระกันออกก่อนการนำไปใช้งาน เพื่อไม่ให้ไปอุดตันในหัวฉีด โดยน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้วจะยังมีค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่ลดลงไปจากเดิมไม่มากซึ่งมีความคุ้มค่า ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนภายในห้องเผาไหม้ อีกทั้งยังโครงงานนี้ยังได้สร้างท่อผสมอากาศ-เชื้อเพลิง(Premix Chamber) ก่อนการเผาไหม้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเผาไหม้และความเสถียรภาพของเปลวไฟให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นซึ่งจะช่วยให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ซึ่งทั้งสองอุปกรณ์จะช่วยในการใช้พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วย

1.2 จุดประสงค์

1. ออกแบบและสร้างหัวฉีดเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มให้มีโครงสร้างเหมาะแก่การฉีดน้ำมันปาล์มและสร้างอุปกรณ์ ท่อผสม อากาศ-เชื้อเพลิง ก่อนการเผาไหม้
2. ทำการทดลองและศึกษาผลกระทบของการฉีดน้ำมันปาล์มร่วมกับก๊าซธรรมชาติ(LPG)ในเครื่องยนต์กังหันก๊าซ
3. เพื่อหาอัตราส่วนผสม อากาศ-เชื้อเพลิงLPG ที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการทำงาน

1. สร้างอุปกรณ์ฉีดเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์ม และท่อส่วนผสม อากาศ-เชื้อเพลิง ก่อนการเผาไหม้
2. ศึกษาผลกระทบของการฉีดน้ำมันปาล์มร่วมกับก๊าซหุงต้มLPG
3. หาอัตราส่วนผสม อากาศ-เชื้อเพลิงLPG ที่เหมาะสม เพื่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

1.4 กระบวนการดำเนินงาน

1. ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในหัวฉีดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันและผลจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์กังหันแก๊ส
2. แก้ไขปัญหาโดยการสร้างหัวฉีดเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์ม และเก็บผลข้อมูลต่างๆนำมาวิเคราะห์ผล
3. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ผสมอากาศ-เชื้อเพลิง ก่อนการเผาไหม้ และหาส่วนผสมที่เหมาะสมของส่วนผสม อากาศ-เชื้อเพลิงLPG เพื่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์
4. ทำการทดลองและเก็บข้อมูลเพื่อการสรุปผลการทดลอง

1.5 วิธีการดำเนินโครงงาน

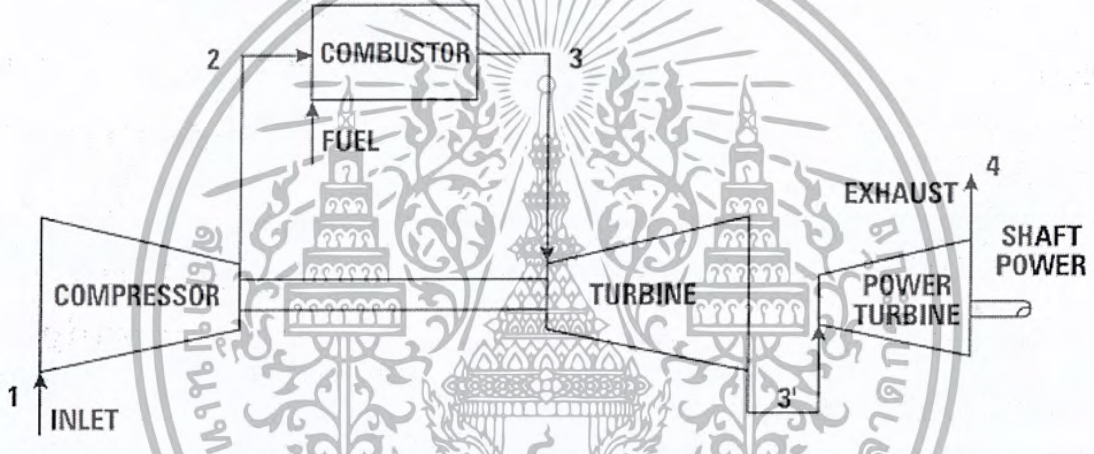
เริ่มศึกษาหัวฉีดเชื้อเพลิงที่ได้มีการทำขึ้นมาก่อนหน้านี้แล้ว โดยได้มีการศึกษาอุณหภูมิของการเผาไหม้ภายในของห้องเผาไหม้ ซึ่งมีการวิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต้นต่างๆ คือ รูปแบบลักษณะของหัวฉีดที่ไม่มีการนำอากาศมาผสมกับเชื้อเพลิง LPG และการแตกตัวของน้ำมันพืชตามที่ต้องการ ส่งผลทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และไม่สามารถเพิ่มอุณหภูมิในห้องเผาไหม้เป็นต้น ดังนั้นจึงทำการออกแบบหัวฉีดเชื้อเพลิงร่วมที่สามารถใช้งานทั้ง LPG และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว โดยการฉีดเชื้อเพลิง LPG แบบ Premixed ใช้การคำนวณอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงที่พอดีกับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์พร้อมทั้งการจำลองการไหลเพื่อให้ทราบถึงลักษณะการไหลภายในหัวฉีดและออกแบบหัวฉีด และนำข้อมูลที่ได้ไปปรับปรุงและออกแบบหัวฉีดขึ้นใหม่ และทำการทดลองการแตกตัวของน้ำมันพืชโดยใช้หลักการของ Atomization Air blast โดยวัตถุประสงค์หลักของโครงงานนี้ได้มีการประยุกต์ใช้เชื้อเพลิงทางเลือกอื่นๆในการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์กังหันแก๊สขนาดเล็ก และวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการทดลอง ซึ่งจะมีการแสดงผลที่ได้เปรียบเทียบกันระหว่างตัวแปรต้นที่ควบคุมได้กับอุณหภูมิและความดันในห้องเผาไหม้ ต่อจากนั้นก็จะสรุปผลเปรียบเทียบผลลัพธ์ของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้กับหัวฉีดแบบเดิมโดยผลที่ได้มาจากการทดลองภายในเครื่องยนต์จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีเครื่องยนต์กังหันแก๊ส

2.1 หลักการทำงานของเครื่องยนต์

การทำงานของเครื่องยนต์กังหันแก๊ส เริ่มจากการดูดอากาศเข้าที่จุดที่ 1 ที่อุณหภูมิและความดันอากาศและถูกอัดผ่านเครื่องอัดอากาศ ทำให้มีความดันและอุณหภูมิที่สูงขึ้นไปยังจุดที่ 2 และผ่านเข้าไปในห้องเผาไหม้ ซึ่งมีหัวฉีดก๊าซเชื้อเพลิงออกมาผสมกับอากาศ และทำการจุดระเบิดให้เกิดการเผาไหม้ขึ้น โดยจะเกิดงานที่ได้จากการขยายตัวของก๊าซผสม ทำให้มีแรงไปหมุนกังหันซึ่งมีเพลาต่ออยู่กับเครื่องอัดอากาศ จากนั้นก๊าซไอเสียที่ยังมีความดัน อุณหภูมิและพลังงานจลน์เหลืออยู่ก็จะไหลออกไปสู่บรรยากาศที่จุดที่ 4 ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของเครื่องยนต์กังหันแก๊ส

2.2 วัฏจักรในอุดมคติ (Ideal cycle)

การพิจารณาพลังงานที่ได้และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์กังหันแก๊สเพื่อให้ง่ายจึงต้องคิดในลักษณะของวัฏจักรไอเดียลก่อน ซึ่งในสภาวะนี้แต่ละองค์ประกอบของเครื่องยนต์จะแยกกันคิดงานที่ได้ของแต่ละชนิด (Specific work) และประสิทธิภาพของวัฏจักรขึ้นอยู่กับอัตราส่วนความดันและอุณหภูมิสูงสุดของวัฏจักรเท่านั้น หลังจากนั้นจึงทำการพิจารณาให้ถูกต้องมากขึ้นในภายหลัง จากหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่กล่าวถึงเครื่องยนต์กังหันแก๊สได้ตั้งข้อสมมุติฐานไว้ดังนี้

1) กระบวนบวนการอัดและการขยายตัวเป็นแบบอเดียเบติกชนิดย้อนกลับได้ (Reversible adiabatic)

2) ไม่คิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของสารตัวกลางระหว่างทางเข้าและทางออกของแต่ละส่วนของอุปกรณ์

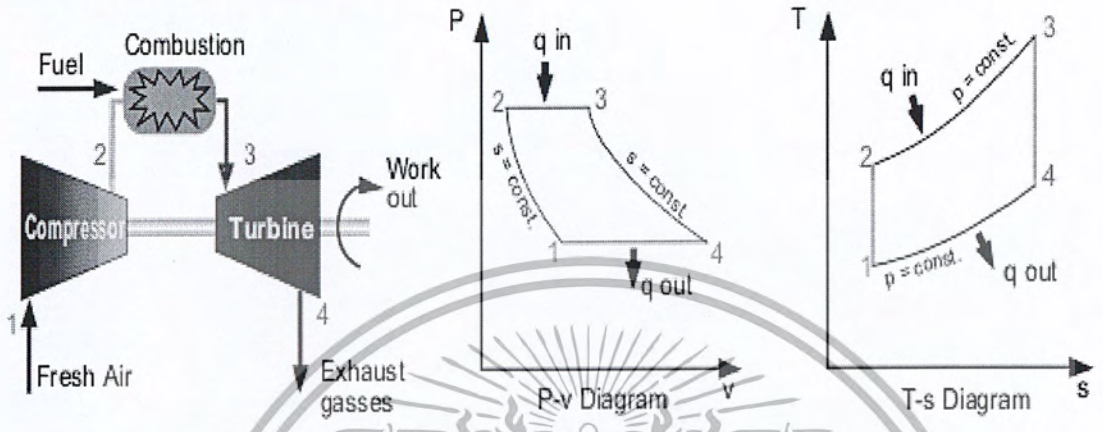
3) ไม่มีการสูญเสียความดันในอุปกรณ์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) กำหนดให้สารตัวกลางมีองค์ประกอบไม่เปลี่ยนแปลงตลอดวัฏจักรและเป็นแก๊สสมบูรณ์ที่มีค่าความร้อนจำเพาะ (Specific heat) คงที่

5) มวลที่ไหลตลอดวัฏจักรมีค่าคงที่

2.3 วัฏจักรเครื่องยนต์กังหันแก๊ส



รูปที่ 2.2 การทำงานของเครื่องยนต์กังหันแก๊สและแผนภาพ P-v กับ T-s

เมื่อทำการพิจารณาในแต่ละอุปกรณ์จะได้

จากจุดที่ 1-2 เป็นขบวนการอัดตัวแบบอเดียแบติก จากกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์จะได้

$$W_{12} = -(h_2 - h_1) = -c_p(T_2 - T_1) \quad (2.1)$$

จากจุดที่ 2-3 เป็นขบวนการให้ความร้อนในแบบความดันคงที่จากกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์จะได้

$$Q_{23} = (h_3 - h_2) = (T_3 - T_2) \quad (2.2)$$

จากจุดที่ 3-4 เป็นขบวนการขยายตัวแบบอเดียแบติก จากกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์จะได้

$$W_{34} = (h_3 - h_4) = (T_3 - T_4) \quad (2.3)$$

จากจุดที่ 4-1 เป็นขบวนการคายความร้อนในแบบความดันคงที่ จากกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์จะได้

$$Q_{41} = -(h_4 - h_1) = -c_p(T_4 - T_1) \quad (2.4)$$

เมื่อ Q และ W เป็นความร้อนและงานที่ถ่ายเทจากระบบต่อหนึ่งหน่วยมวล

ทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนของวัฏจักร (Thermal efficiency,) คือ

$$\eta t = W_{net} / Q_{in}$$

$$= \frac{W34 - W12}{Q23} = \frac{cp(T3 - T4) - cp(T2 - T1)}{cp(T3 - T2)} \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 วัฏจักรที่แท้จริง (Actual cycle)

ข้อแตกต่างของการทำงานของวัฏจักรที่แท้จริงของเครื่องยนต์กังหันแก๊สจะไม่เป็นไปตามวัฏจักรในอุดมคติ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในวัฏจักรที่เกิดขึ้นจริงนั้น จะมีตัวแปรหลายอย่างที่ทำให้วัฏจักรไม่เป็นไปตามทฤษฎี ดังนั้นในการคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของวัฏจักรจึงต้องคำนึงถึงข้อแตกต่างเหล่านั้นดังนี้

1) เนื่องจากการไหลของมวลในอุปกรณ์มีความเร็วสูง มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ระหว่างทางเข้าและทางออกมาก ดังนั้นเราจึงจาเป็นต้องออกแบบเครื่องมือวัดความดันและอุณหภูมิที่สแตกเนชั่น (Stagnation) ซึ่งเป็นการพิจารณาพลังงานที่เกิดขึ้นทั้งหมด

2) กระบวนบวนการที่เกิดขึ้นในขณะมีการอัดตัวในคอมเพรสเซอร์และการขยายตัวในเทอร์ไบน์เป็นขบวนการอะเดียเบติกแบบย้อนกลับไม่ได้ (Irreversible adiabatic) จึงเป็นการเพิ่มขึ้นของเอนโทรปี (Entropy)

3) ผลจากความฝืดจึงทำให้มีการสูญเสียความดันในห้องเผาไหม้ ตลอดจนในท่อทางเข้าและทางออกของห้องเผาไหม้

4) จำเป็นต้องมีการป้อนงานให้กับคอมเพรสเซอร์มากกว่าทางทฤษฎี เนื่องจากการสูญเสียพลังงานที่แบริ่งการต้านของแรงลมและการสูญเสียในระบบการส่งกำลังระหว่างคอมเพรสเซอร์

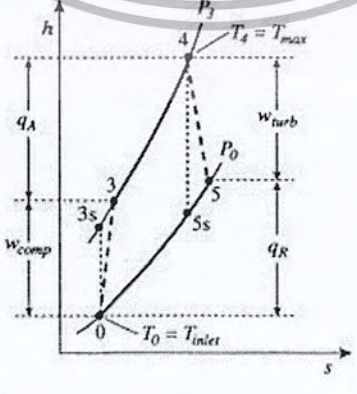
5) ค่าของ c_p และ γ ของสารตัวกลาง ขณะทำงานตลอดวัฏจักรเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ และตามองค์ประกอบทางเคมีของสารของไหล

6) การเผาไหม้ไม่มีความสมบูรณ์ ดังนั้นประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ไม่ถึง 100% จึงมีผลต่อการสิ้นเปลืองแก๊สเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น

7) มวลของแก๊สที่ไหลออกจากห้องเผาไหม้มีมากกว่ามวลของอากาศที่ออกจากคอมเพรสเซอร์ เนื่องจากมวลของเชื้อเพลิงที่ผสมเข้าไป ในทางปฏิบัติมวลจะมีเพิ่มขึ้นประมาณ 1-2% เนื่องจากมีค่าเล็กน้อยจึงเป็นการสมมุติว่า มวลไหลผ่านคอมเพรสเซอร์และเทอร์ไบน์เท่ากัน

2.5 การคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องยนต์กังหันแก๊ส

2.5.1 ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของการอัด (Isentropic efficiency of compression)



รูปที่ 2.3 แสดงแผนภูมิการอัดและการขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่ากระบวนการอัดจากจุด 0 ไปจุด 3 นั้นเป็นกระบวนการอัดที่เอนโทรปี้ไม่คงที่ซึ่งอุณหภูมิที่ 3 จะสูงกว่า 3s ที่ได้จากการอัดแบบไอเซนโทรปิก ทาให้งานที่ใช้ในการอัดต้องเพิ่มขึ้น

ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของการอัด หาได้จากสมการ

$$T_3 - T_0 = \frac{T01}{\eta}\left[\left(\frac{p_3}{\eta}\right)^{(\gamma-1)/\gamma}\right] \quad (2.6)$$

เมื่อ η_c คือประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของการอัด

γ คือค่าคงที่ของอากาศ = 1.4

2.5.2 ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของการขยายตัว (Isentropic efficiency of expansion)

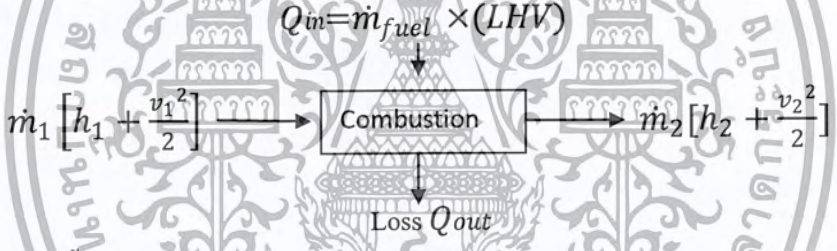
เช่นเดียวกับการอัด การขยายตัวจากจุด 03 ไปยังจุด04 โดยเอนโทรปี้เปลี่ยนแปลงจะได้งานออกแบบมาต่ำกว่าการขยายตัวไปยังจุด 04′ ซึ่งมีประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของการขยายตัวหาได้จากสมการ

$$T_4 - T_5 = \eta_T T_4\left[1 - \frac{1}{p_4 p_5}^{(\gamma-1)\gamma}\right] \quad (2.7)$$

เมื่อ η_T คือประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของการขยายตัว

γ คือค่าคงที่ของก๊าซผสม ซึ่งแตกต่างกันสาหรับเชื้อเพลิงแต่ละประเภท

2.5.3 ประสิทธิภาพของการเผาไหม้



ดังนั้นจะได้สมการดังนี้

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ = $\left\{\dot{m}_1\left[h_1 + \frac{v_1^2}{2}\right] - \dot{m}_2\left[h_2 + \frac{v_2^2}{2}\right]\right\}/Q_{in}$ (2.8)

2.6 การวัดและการคำนวณคุณสมบัติของของไหลที่ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องยนต์

2.6.1 การวัดอุณหภูมิของของไหล (Fluid temperature)

เพื่อเป็นการเริ่มต้นของการประเมินและวิเคราะห์เครื่องยนต์โดยอาศัยทฤษฎีของวัฏจักรเบรตัน (Brayton's cycle) โดยจะวัดอุณหภูมิในรูปของอุณหภูมิสแตกเนชั่น (Stagnation temperature) ซึ่งนิยามมาจาก

$$T_0 = T + \frac{v^2}{2C_p} \quad (2.9)$$

โดย $T0$ คืออุณหภูมิสแตกเนชั่น (K)

T คืออุณหภูมิสเตติกที่ได้จากการวัด (K)

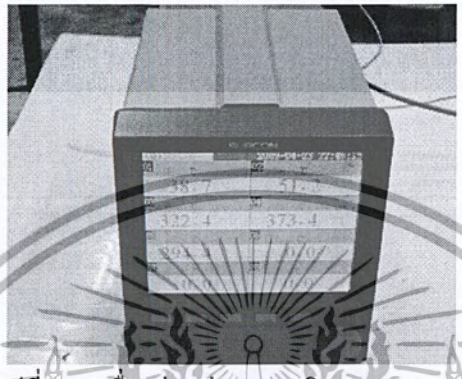
v คือความเร็วการไหลของของไหล ในที่นี้คืออากาศ (m/s)

คือค่าความจุความร้อนของของไหลที่ความดันคงที่ (อากาศ =1.405 kJ/kg.k)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งของการวัดอุณหภูมิประกอบด้วยตำแหน่งก่อนเข้าห้องเผาไหม้(01) หลังการอัดตัวตำแหน่งก่อนเข้าห้องเผาไหม้ (02) ทางออกห้องเผาไหม้ (03) ทางออกของกังหันแก๊ส (04) และตำแหน่งสุดท้ายคือตำแหน่งทางออกของท่อไอเสีย (05)

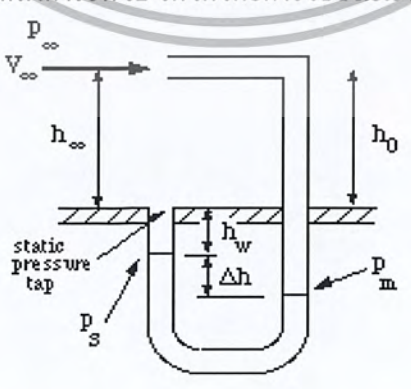
การวัดอุณหภูมินั้นเครื่องมือที่ใช้วัดและอ่านค่าอุณหภูมิประกอบไปด้วยเทอร์โมคับเปิ้ลสำหรับวัดอุณหภูมิและเครื่องอ่านค่าอุณหภูมิ (Data logger) โดยค่าที่วัดได้เป็น Static temperature ซึ่งต้องมีการคำนวณเพื่อให้ได้ค่า Stagnation temperature



รูปที่ 2.4 เครื่องอ่านค่าอุณหภูมิ (Data logger)

2.6.2 การวัดความดันของการไหลของของไหล(Fluid flow pressure)

เนื่องจากการวิเคราะห์ โดยหลักการของวัฏจักรเบรตันนั้นตั้งอยู่บนเงื่อนไขว่ากระบวนการอัดตัวและการขยายตัว เป็นกระบวนการไอเซนโทรปิก (Isentropic process) หรือกระบวนการอเดียเบติกแบบย้อนกลับได้ (Reversible adiabatic process) ซึ่งเกิดกระบวนการเอนโทรปีคงที่ขึ้นทำให้สามารถคำนวณค่าของอุณหภูมิและความดันหลังการอัดหรือการขยายตัวได้โดยไม่ต้องทำการวัดแต่ในความเป็นจริงไม่เป็นไปตามนั้น กระบวนการจริงเกิดขึ้น โดยกระบวนการซึ่งกำหนดโดยค่าประสิทธิภาพทางไอเซนโทรปิก ดังนั้นเราจึงทำการวัดความดันการไหลแบบสแตกเนชั่นประกอบกับอุณหภูมิสแตกเนชั่นในทุกๆ จุดข้างต้น ความดันสแตกเนชั่นในจุด 01 หรือทางเข้าเครื่องยนต์สามารถแทนได้ด้วยความดันบรรยากาศได้เช่นเดียวกับกรณีของอุณหภูมิ สาหรับตำแหน่งหลังการอัด 02 วัดได้โดยการใช้ Pitote Static Tube ดังรูป 9



รูปที่ 2.5 Pilot Static Tube

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 การคำนวณหาความเร็วการไหล (Velocity flow)

จากหัวข้อที่ผ่านมา Pilot Static Tube จะสามารถวัดความดันสแตติก (Static pressure) และสแตกเนชั่น (Stagnation pressure) ได้พร้อมกันเมื่อหาค่าความแตกต่างของความดัน (Pressure different) ระหว่างความดันสแตติกกับความดันสแตกเนชั่น จะได้ความดันไดนามิก (Dynamic pressure) ซึ่งอยู่ในรูปของความเร็วในการไหลดังสมการ

$$P_0 = P + \rho v22 \qquad (2.10)$$

โดย $P0$ คือความดันสแตกเนชั่น (Pa)

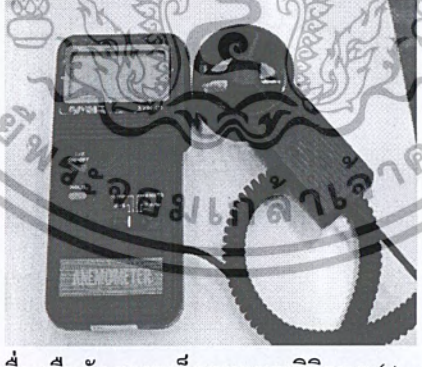
P คือความดันสแตกเนชั่นที่ได้จากการวัด (Pa)

v คือความเร็วการไหลของอากาศที่ทางเข้า (m/s)

ρ คือความหนาแน่นของอากาศ (kg/m³)

โดยที่ $\rho v22$ คือความดันไดนามิก ดังนั้นเมื่อหาความแตกต่างของ $P0$ และ P ได้ก็จะสามารถหาความเร็วในการไหลได้

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นการคำนวณหาความเร็วการไหลของห้องเผาไหม้นั้นสามารถคำนวณหาได้โดยใช้ท่อ Pilot Static Tube เพื่อหาค่าความเร็วได้ดังสมการที่กล่าวมาและจะสามารถหาค่าได้โดยอีกหลายวิธีทั้งนี้ในการนำเสนอข้อมูลนั้นเพื่อต้องการให้ผู้อ่านได้รู้ข้อมูลวิธีหาในหลายๆ ด้านซึ่งการทดลองจริงนั้นได้ใช้เครื่องมือวัดความเร็วลมเป็นแบบดิจิตอลเพื่อความสะดวกดังภาพ



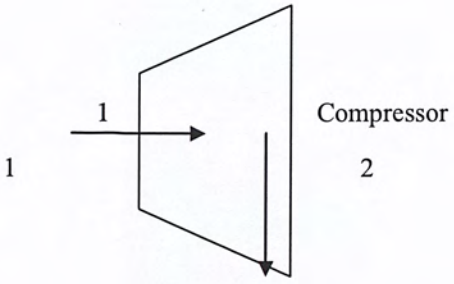
รูปที่ 2.6 เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบดิจิตอล (Anemometer)

2.6.4 การคำนวณหาความหนาแน่นของอากาศหลังจากถูกอัดโดยประมาณ(Compressed air approximated density)

เนื่องจากอากาศไหลผ่านกระบวนการอัดในเครื่องอัดอากาศ (Compressor) ดังรูป ทำให้ค่าความหนาแน่นเปลี่ยนไปเมื่อสมมติโดยประมาณให้อากาศที่สภาวะนี้เป็นก๊าซอุดมคติคำนวณได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของก๊าซอุดมคติ



รูปที่ 2.7 กระบวนการอัดโดยเครื่องอัดอากาศ

โดยมีความสัมพันธ์ของสมการ โดยสมมติว่าเป็นอุดมคติ ดังนี้

$$\frac{P_1}{\rho_1 T_1} = \frac{P_2}{\rho_2 T_2} \tag{2.11}$$

เมื่อ ตัวห้อย 1 หมายถึง ตำแหน่งทางเข้าเครื่องอัด

ตัวห้อย 2 หมายถึง ตำแหน่งหลังจากการอัด

2.6.5 การคำนวณอัตราการไหลเชิงมวลของของไหล (Fluid mass flow rate)

$$\dot{m} = \rho U A \tag{2.12}$$

เมื่อ $\dot{m}$ คืออัตราการไหลของอากาศ (kg/s)

ρ คือค่าความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

U คือความเร็วเฉลี่ยของของไหล (m/s)

A คือพื้นที่หน้าตัดของการไหล (m^2)

ดังนั้นเมื่อวัดความเร็วการไหลของอากาศหลังการอัดได้ก็จะสามารถคำนวณค่าอัตราการไหลโดยมวลของอากาศได้จากสมการดังที่กล่าวมา

2.6.6 ทฤษฎีการหาอัตราการไหลของเชื้อเพลิง (Fuel mass flow rate)

ทฤษฎีการคำนวณหาอัตราการไหลของเชื้อเพลิงนั้นจะสามารถคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงได้โดยการใช้แผ่นออริฟิสจะมีลักษณะเป็นแผ่นบางติดตั้งอยู่ระหว่างครีบของท่อ เนื่องจากลักษณะการออกแบบเป็นการออกแบบอย่างง่าย ทำให้มีราคาถูกและง่ายในการติดตั้งและถอดเปลี่ยนซึ่งที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

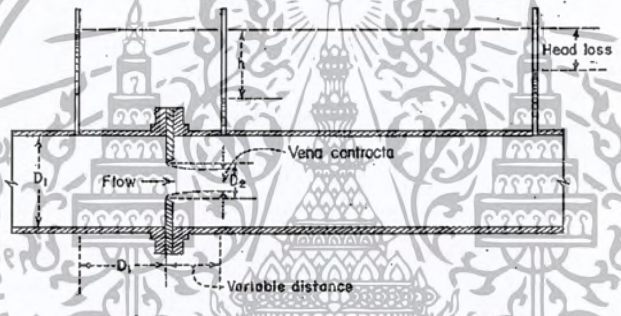
ขอบแหลมของริฟิสไม่สกปรกท่อแยกความดันของออริฟิสจะติดตั้งอยู่ในตำแหน่งเฉพาะที่ ดังรูปที่ 2.4 เนื่องจากตำแหน่งของท่อแยกความดันมีผลกระทบต่อการทดลองเพื่อหาสัมประสิทธิ์การไหลต้องเลือกค่า K และค่า C โดยสมการที่ใช้ออริฟิสแบบแนวศูนย์กลางร่วมที่ประกอบท่อแยกที่มุม คือ

$$c = 0.5959 + 0.0312\beta^{2.1} - 0.184\beta^{8} + \frac{91.71\beta^{2.5}}{Re_{D1}^{0.75}} \qquad (2.13)$$

$$K = \frac{c}{\sqrt{1+\beta^4}} \qquad (2.14)$$

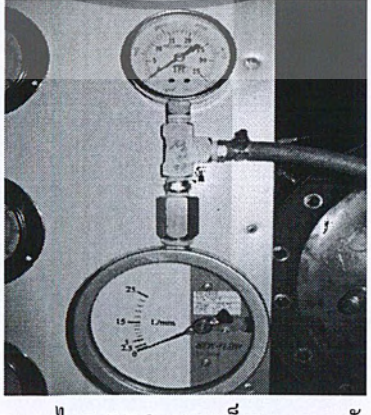
ในเทอมของสัมประสิทธิ์อัตราการไหลจริงดังสมการนี้

$$\dot{m} = KA_t\sqrt{2\rho(P_1 - P_2)} \qquad (2.15)$$



รูปที่ 2.8 การวัดอัตราการไหลด้วยออริฟิส

ในส่วนการทดลองนั้นเพื่อความสะดวกในการวัดอัตราการไหลของเชื้อเพลิงLPGได้นำเอาเครื่องวัดอัตราการไหลของเชื้อเพลิง โดยใช้เครื่องมือวัดเป็นแบบอนาล็อกวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตรซึ่งมีหน่วยเป็นลิตรต่อนาที นั้นจึงจะนำเอาค่าที่ได้มาแปลงหน่วยเป็นอัตราการไหลเชิงมวลเพื่อใช้ในการคำนวณ



รูปที่ 2.9 เครื่องมือวัดอัตราการไหล LPG แบบเข็มและเกจวัดความดันถังแก๊ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าการวัดของเครื่องมือวัดอัตราการไหลนั้นจะเป็นหน่วยลิตรต่อนาที L/min ดังนั้นค่าที่ใช้ในการคำนวณจะต้องนามาแปลค่าเพื่อใช้ในการคำนวณในหน่วยกิโลกรัมต่อวินาที kg/s ซึ่งจะสามารถคำนวณหาในหน่วย kg/s ดังนี้

$$m = Q \times \rho \tag{2.16}$$

เมื่อ Q คือการไหลเชิงปริมาตร (m^3/s)

ρ คือความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (kg/m^3)

2.6.7 การคำนวณความหนาแน่นของก๊าซที่เผาไหม้แล้ว (Mixed-gas density)

โดยทั่วไปแล้วก๊าซเชื้อเพลิง LPG จะมีส่วนผสมระหว่างโพรเพน (Propane,C_3H_8) และบิวเทน (Butane, C_4H_{10}) ซึ่งอัตราส่วนการผสมก็จะแตกต่างกันออกไปแล้วแต่บริษัทผู้ผลิตแต่ในที่นี้กำหนดให้ส่วนผสมเป็น 70:30 โดยมวลเพื่อใช้ในการคำนวณ จะได้สมการ (Stoichiometric combustion) การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ซึ่งมีส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงพอดีในรูปของสัดส่วนโดยโมลดังนี้

$$0.7C_3H_8 + 0.3C_4H_{10} + 5.45\,O_2 + 3.76N_2 \rightarrow 3.3CO_2 + 4.3H_2O + 20.492N_2$$

หรือในรูปของมวลดังนี้

$$48.2_{(g.Fuel)} + 748.176_{(g.Air)} \rightarrow 145.2_{(g.CO_2)} + 77.4_{(g.H_2O)} + 573.776_{(g.N_2)}$$

หารด้วย 48.2 เพื่อต้องการหาอากาศที่ใช้เผาไหม้เชื้อเพลิงใน 1 kg/s จะได้ดังนี้

$$1_{(g.Fuel)} + 15.5223_{(g.Air)} \rightarrow 3.0124_{(g.CO_2)} + 1.6058_{(g.H_2O)} + 11.9041_{(g.N_2)}$$

จะได้ดังนี้คือ การเผาไหม้เชื้อเพลิง 1 kg/s ต้องการส่วนผสมของอากาศที่พอดีเท่ากับ 15.52 kg/s ดังนั้นการทดลองที่เผาไหม้เชื้อเพลิง m_f kg/s จึงต้องการอากาศพอดีคือ 15.52 x m_f kg/s ซึ่งจะมีอากาศเหลือ (m_a - 15.52 x m_f) kg/s

2.6.8 การวัดคำนวณแรงขับดันและกำลังงานทางกล

การวัดและการคำนวณหาแรงขับดันนั้นจะต้องทาการวัดความเร็วของก๊าซผสมที่เปาไหม้แล้วโดยการนำ Pilot Static Tube ไปวัดที่ทางออกของเครื่องยนต์ ซึ่งความแตกต่างของความดันสแตติกและ สแตกเนชั่นที่จุดนี้ จากค่าความหนาแน่นที่หาได้ จะสามารถคำนวณความเร็วของไหลของก๊าซไอเสียที่เป็นความเร็วขับดันได้และคำนวณแรงขับดันได้จากสมการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก $$F_T=(\dot{m}_a+\dot{m}_f)U_4 \quad (2.17)$$

โดยที่ F_t คือแรงขับดัน(N)

$\dot{m}_a$ คืออัตราการไหลโดยมวลของอากาศ(kg/s)

$\dot{m}_f$ คืออัตราการไหลโดยมวลของเชื้อเพลิง(kg/s)

U_4 คือความเร็วของก๊าซไอเสีย(m/s)

และกำลังงานทางกลสามารถคำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

จะได้ $$\text{Mechanical work} = P \times Q \quad (2.18)$$

โดย P = ความดันเกจสถิตย์ ณ จุดที่ต้องการหาค่า (N/m^2)

$$Q = V \times A \quad (2.19)$$

เมื่อ V คือความเร็วของแก๊สร้อน (m/s)

A คือพื้นที่หน้าตัดในจุดนั้นๆ (m^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
หลักการและทฤษฎี

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวความคิดพื้นฐานที่จำเป็นต่อการศึกษาในโครงงานนี้ เพื่อในไปวิเคราะห์และเพื่อเป็นการเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์การเผาไหม้ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในเชิงลึก ซึ่งเอามาเป็นแนวทางในการออกแบบอุปกรณ์ท่อผสมอากาศ-เชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ Premix chamber และหัวฉีดน้ำมันปาล์ม โดยจะเริ่มจากทฤษฎีการเผาไหม้และปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทั้งของLPG และน้ำมันปาล์ม

3.2 ทฤษฎีการเผาไหม้

3.2.1 ปฏิกิริยาการเผาไหม้

การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ โดยที่พลังงานเคมีที่สะสมอยู่ในโมเลกุลของเชื้อเพลิงถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของพลังงานความร้อน ซึ่งปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เชื้อเพลิงส่วนมากจะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ส่วนตัวออกซิไดซ์คือ อากาศ

ปฏิกิริยาการเผาไหม้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1.ปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic Reaction) คือ ปฏิกิริยาที่ขณะเกิดปฏิกิริยาเคมีจะมีการคายความร้อนออกสู่สภาวะแวดล้อม

2.ปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic Reaction) คือ ปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่มีการดูดกลืนความร้อนเข้าสู่ระบบทำให้สภาวะแวดล้อมรอบข้างเย็นลง

3.2.2 ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้

ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้หรือไอเสีย หาได้จากการวิเคราะห์แก๊สไอเสีย ซึ่งในการวิเคราะห์จะตั้งสมมุติฐานว่า ในอากาศแห้ง 1 โมล ประกอบด้วย N_2 79% และ O_2 21% นั้นคือ ใน 1 โมลของ O_2 ที่เข้าทำปฏิกิริยาจะมี N_2 3.76 โมล ที่เข้าสู่ปฏิกิริยาด้วย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ถ้าเราต้องการออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยา 1 โมลจะต้องใช้อากาศ 4.36 โมล ซึ่งในปฏิกิริยาการเผาไหม้ N_2 จะสมมุติให้ไม่ทำปฏิกิริยา โดยสมมติให้ N_2 เป็นสารเฉื่อย สำหรับแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก การเผาไหม้สมบูรณ์สามารถแสดงได้ด้วย

$$C_uH_vO_wN_xS_y + a\ O_2 + 3.76N_2 \rightarrow BCO_2 + CH_2O + DSO_2 + EN_2 \qquad (3.1)$$

ในทางปฏิบัติปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจะไม่สมบูรณ์ ดังนั้นสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นนอกเหนือจากสารผลิตภัณฑ์ข้างต้นคือ CO และไฮโดรคาร์บอนบางส่วนที่เผาไหม้ไม่หมด นอกจากนี้ผลจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นประกอบกับมีปริมาณอากาศเหลือ (Excess air) มากพอ N_2 จะทำปฏิกิริยากับ O_2 เกิดเป็น NO_x ขึ้นได้ การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์แสดงด้วยสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_uH_vO_wN_xS_y + a\ O_2 + 3.76N_2 \rightarrow bCO_2 + cCO + dHC + eH_2O + fNO_x + gN_2 \quad (3.2)$$

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ดีต้องอาศัยปัจจัยสำคัญ 3 ประการ คือ

1.เวลาในการเผาไหม้ต้องนานเพียงพอ เพื่อให้เชื้อเพลิงเผาไหม้ได้หมดโดยไม่ถูกอากาศส่วนเกินพาออกไปก่อนถูกเผาไหม้

2.อุณหภูมิต้องสูงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง

3.การผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงควรอยู่ในลักษณะของการผสมอย่างปั่นป่วนเพื่อให้เกิดการคลุกเคล้ากันได้อย่างดี

3.2.3 ค่าความร้อน

สำหรับเชื้อเพลิงธรรมชาติไม่ว่าจะเป็น ถ่านหิน น้ำมันหรือผลิตภัณฑ์จากชีวมวล ล้วนแต่เป็นสารประกอบไม่บริสุทธิ์ จึงไม่สามารถคำนวณจากความร้อนของปฏิกิริยาได้ จึงจำเป็นจะต้องทำการทดลองโดยใช้เครื่องมือเฉพาะที่เรียกว่า บอมบ์ แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter) ซึ่งใช้ได้ทั้งเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งและของเหลว

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงคือ ปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยต่อหนึ่งหน่วยมวลของเชื้อเพลิง เมื่อเชื้อเพลิงอยู่ในสภาวะเริ่มต้นที่ 25 °C ทำปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์กับออกซิเจนได้สารผลิตภัณฑ์ที่เย็นตัวลงมาที่ 25 °C ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมี 2 ค่า คือ ค่าความร้อนทางสูง (Higher heating value, HHV) หรือ Gross calorific (gross C.V.) ซึ่งเกิดขึ้นกรณีที่ไอน้ำสารผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้กลั่นตัวเป็นน้ำ และค่าความร้อนทางต่ำ (Lower heating value, LHV) หรือ Net calorific (Net C.V.) เกิดในกรณีที่ไอน้ำไม่กลั่นตัว ค่าความร้อนทางต่ำสามารถหาได้จาก

$$LHV = HHV - (m_{H2O}/m_{fuel}) \times h_{fg} \quad (3.3)$$

เมื่อ m_{h_2o} คือ มวลของน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้หรือน้ำที่มาจากความชื้นของเชื้อเพลิงและที่เกิดปฏิกิริยากับไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง, kg

m_{fuel} คือ มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้, kg

h_{fg} คือ ค่าความร้อนแฝงในการระเหยของน้ำที่ 25 °C มีค่าเท่ากับ 2,440 kJ/kg

3.2.4 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงหรือ $(A/F)_{Stoic}$

เป็นอัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงโดยมวลทางทฤษฎี หรือตาม Stoichiometricของการเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(AF)_{Stoic}=\left(\frac{m_{air}}{m_{fuel}}\right)_{Stoic}=4.76\times a\times\frac{\text{MWair}}{\text{MWfuel}} \quad (3.4)$$

เมื่อ m_{air} คือ มวลของอากาศ, kg

a คือ Molar Oxygen-fuel ratio, kmol/kmol

MW_{air} คือ น้ำหนักมวลโมเลกุลของอากาศ, kg/kmol

MW_{fuel} คือ น้ำหนักมวลโมเลกุลของเชื้อเพลิง, kg/kmol

AF คือ อัตราส่วนของมวลระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง $AF=\frac{m_{air}}{m_{fuel}}$

FA คือ อัตราส่วนของมวลระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ $FA=\frac{1}{AF}$

3.2.5 อัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio)

ค่าอัตราส่วนสมมูล (Φ) คือ ค่าที่บ่งบอกให้ทราบว่าส่วนผสมระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ใช้งานจริงมีค่ามากหรือน้อยกว่าส่วนผสมระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี

$$\Phi=\frac{(AF)_{Stoic}}{(AF)_{Actual}}=\frac{(FA)_{Actual}}{(FA)_{Stoic}} \quad (3.5)$$

โดย $(AF)_{Stoic}$ คือ อัตราส่วนโดยมวลทางทฤษฎีของอากาศต่อเชื้อเพลิง

$(FA)_{Stoic}$ คือ อัตราส่วนโดยมวลทางทฤษฎีของเชื้อเพลิงต่ออากาศ

ถ้า $\Phi>1$ หมายความว่า ส่วนผสมหนา (Rich mixture)

$\Phi<1$ หมายความว่า ส่วนผสมบาง (Lean mixture)

$\Phi=1$ หมายความว่า ส่วนผสมพอดี

3.2.6 เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (Percent excess air)

เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน คือ ปริมาณที่บอกให้ทราบว่ามีปริมาณอากาศส่วนเกินกี่เปอร์เซ็นต์โดยคิดจากอากาศทางทฤษฎีที่มีค่าเท่ากับ 100

$$\text{เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน}=\frac{100}{\Phi}-100 \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลว

3.3.1 การกลายเป็นไอ

การกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงมีความสำคัญต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงและมีผลต่อการควบคุมอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลว โดยองค์ประกอบที่มีผลกระทบต่อการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงเหลวมีหลายประการดังนี้

1. การแพร่กระจายของเชื้อเพลิงเหลวซึ่งทำให้องค์ประกอบที่มีผลกระทบต่อการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น โดยการแพร่กระจายทำให้อัตราการเผาไหม้มากขึ้น ปกติทำได้โดยให้เชื้อเพลิงเป็นฝอยละออง
2. พลังงานความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอในกระบวนการเผาไหม้
3. ความดันขณะที่เชื้อเพลิงกลายเป็นไอมีความสำคัญกล่าวคือ ขณะที่ความดันเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิในห้องเผาไม้เพิ่มขึ้นทำให้เชื้อเพลิงกลายเป็นไอได้มากขึ้น และเชื้อเพลิงเหลวที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากเมื่ออุณหภูมิสูงจะทำให้การแตกตัวแพร่กระจายของเชื้อเพลิงเหลวได้ดี และการให้ความดันแก่เชื้อเพลิงเหลวผ่านหัวฉีดทำให้เชื้อเพลิงเป็นละออง หยดเชื้อเพลิงที่ออกจากหัวฉีดจะมีความดันที่ไม่คงที่ ละอองน้ำมันจะเกิดการผสมกับอากาศทำให้เกิดปฏิกิริยาก่อนการเผาไหม้

3.3.2 ความหนืด

เป็นค่าที่แสดงถึงแรงต้านทานการไหลของของเหลว มีความสำคัญมากโดยเฉพาะการให้หัวเผาที่ต้องทำให้เชื้อเพลิงเป็นฝอยละอองและกลายเป็นไอน้ำมัน ถ้าของเหลวมีค่าความหนืดสูงจะทำให้ละอองเชื้อเพลิงมีอนุภาคใหญ่และเคลื่อนที่ไปได้ไกลแต่อาจเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

3.4 เชื้อเพลิงและคุณสมบัติ

3.4.1 คุณสมบัติของแก๊สLPG

แก๊ส LPG ได้มาจากการแยกส่วนประกอบของก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ มีส่วนประกอบของคาร์บอน(C) ในระดับ C_3 และ C_4 เป็นหลัก เนื่องจากแก๊ส LPG มีจุดเดือดที่ต่ำมาก ดังนั้นที่ความดันบรรยากาศแก๊ส LPG จะมีสถานะเป็นแก๊ส แต่จะถูกอัดให้เป็นของเหลวอยู่ภายในถังที่มีความดันสูง ในการใช้การเมื่อแก๊ส LPG ถูกปล่อยออกจากถังบรรจุจะมีสถานะเป็นแก๊สและมีคุณสมบัติที่หนักกว่าอากาศ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มีรส ดังนั้นถ้าเกิดการรั่วไหลก็จะกระจายลงสู่ที่ต่ำเมื่อผสมกับอากาศและมีประกายไฟเกิดขึ้น ก็อาจทำให้เกิดอุบัติเหตุไฟไหม้ขึ้นได้ ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยจำเป็นต้องเติมสารประกอบที่มีกลิ่นลงไป เพื่อให้ผู้ใช้ทราบว่ามีการรั่วไหล หรือผู้ใช้ลืมปิดวาล์วแก๊ส สารประกอบที่เติมลงไปเป็นจำพวก เมอร์แคปแทน (Mercaptan)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติแก๊ส LPG

Properties	Propane	Butane
1. Chemical formular	C_3H_8	C_4H_{10}
2. Molecular weight	44.094	58.12
3. Boiling point,°C	-42.1	-0.5
4. Ideal gas relative density	1.522	2.006
5. Gross calorific value at 25°C, $^{MJ}/_{m^3}$	99.23	128.12
6. Net calorific value at 25°C, $^{MJ}/_{m^3}$	93.16	123.09

3.4.2 คุณสมบัติน้ำมันปาล์ม

คุณสมบัติทางกายภาพน้ำมันปาล์ม ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น ความหนืด ความร้อนจำเพาะ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ จุดเกิดควัน

1. ความถ่วงจำเพาะ หมายถึง ค่าความหนาแน่นของน้ำมันโดยวัดความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิมาตรฐาน 15 องศาเซลเซียส เครื่องมือที่ใช้วัดความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเรียกว่า ไฮโดรมิเตอร์ ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันแต่ละชนิดจะไม่เท่ากัน การทราบค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันแต่ละชนิดทำให้สามารถใช้ค่าของความถ่วงจำเพาะเพื่อบอกความบริสุทธิ์ของน้ำมันได้เพราะ ถ้ามีการปนเปื้อน จะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะเปลี่ยนแปลงได้
2. จุดเกิดควัน เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิหนึ่ง ความร้อนจะทำให้น้ำมันสลายตัวกลายเป็นควันลอยขึ้นมา เรียกว่า อุณหภูมิที่ทำให้เกิดควันขึ้นว่า จุดเกิดควัน เนื่องจากส่วนประกอบทางเคมีของน้ำมันแต่ละชนิดแตกต่างกัน จึงทำให้น้ำมันมีจุดเกิดควันไม่เท่ากัน
3. ความหนาแน่น หมายถึง มวลของน้ำมันต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ความหนาแน่นของน้ำมันขึ้นอยู่กับ ค่าซาปอนนิฟิเคชั่น,ค่าไอโอดีน,ปริมาณกรดไขมันอิสระ,ปริมาณน้ำและอุณหภูมิของน้ำมัน
4. ความร้อนจำเพาะ หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำมันหนึ่งหน่วยมวลมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ที่สภาวะความดันคงที่ หรือ ปริมาตรคงที่
5. ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้สารหนึ่งหน่วยมวลเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ที่อุณหภูมิและความดันคงที่
6. จุดวาบไฟและจุดติดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
119369

จุดติดไฟ หมายถึง อุณหภูมิต่ำสุดของของเหลวที่ไอของน้ำมันเกิดติดไฟและดับทันที จุดนี้หาได้ง่ายจากการค่อยๆให้ความร้อนแก่น้ำมันพอถึงจุดๆหนึ่ง (อุณหภูมิ) จะเกิดเปลวไฟกวาดไปบนพื้นผิวหน้าน้ำมันวาบหนึ่งและก็ดับลง

จุดติดไฟนั้น หมายถึง อุณหภูมิต่ำสุดที่ไอน้ำมันเกิดติดไฟ และติดอยู่ได้ไม่ต่ำกว่า5 นาที

ตารางที่ 3.2 ตารางคุณสมบัติน้ำมันปาล์ม

LHV	39,550 kJ/kg
จุดเกิดควัน	196°C
จุดติดไฟ	318°C
ความหนาแน่น(25°C)	887.5 kg/m^3
ความหนืด	86.97 cST
Specific gravity	0.92

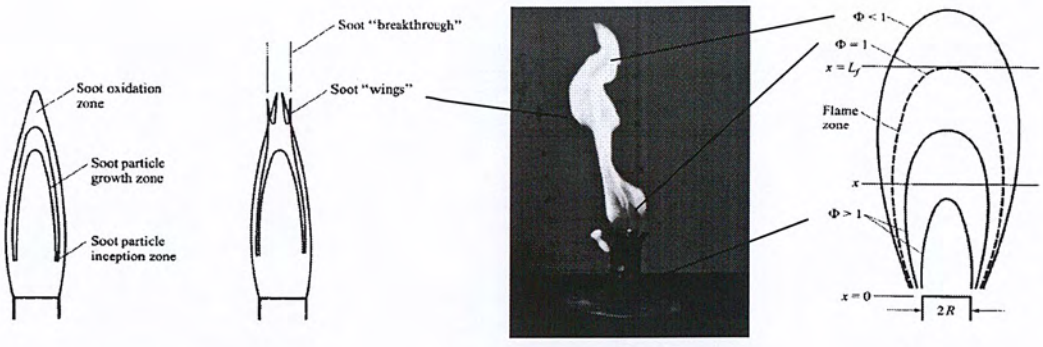
ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้ว ที่เหลือใช้จากการทอดลูกชิ้น โดยน้ำมันที่เหลือใช้นี้จะทำการกรองเอาสิ่งสกปรกที่ปะปนอยู่มากับน้ำมันออกก่อน ก่อนนำไปทำการทดสอบ ซึ่งให้ค่าความร้อนจากการเผาไหม้อยู่ที่ 38,999 kJ/kg โดยผ่านการทดสอบจากการใช้ Bomb Calorimeter

3.5 ประเภทของเปลวไฟ

การเผาไหม้มีเปลวไฟ 2 ชนิดคือ Premixed flame และ Non-premixed (diffusion) flame โดยเปลวไฟทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันที่การผสมกับอากาศอย่างเพียงพอโดยที่เปลวไฟเหนี่ยวนำอากาศภายนอกหรืออากาศบรรยากาศไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ได้ เปลวไฟทั้งสองมีความแตกต่างกันซึ่งเห็นได้ชัดลักษณะของเปลวไฟโดยตรง

3.5.1 การเผาไหม้แบบ Non-premixed (diffusion) เป็นการเผาไหม้ที่ไม่นำเอาอากาศมาผสมกับเชื้อเพลิงก่อนจุดระเบิด เปลวไฟที่ได้นั้นจึงเป็นเปลวไฟที่ไม่เสถียรคล้ายๆกับเปลวไฟของเทียนไข ฐานและตัวเปลวไฟไม่นิ่ง เปลวไฟยาวและมีสีส้มแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 โครงสร้างและลักษณะของเปลวไฟแบบ Non-premixed (diffusion)

3.5.2 การเผาไหม้แบบ Premixed เป็นการเกิดจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศโดยที่ต้องมีปริมาณของอากาศมากพอเพื่อให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ การเผาไหม้แบบนี้เปลวไฟและฐานเปลวไฟจะมีความเสถียรความยาวสั้นมากเมื่อเทียบกับแบบ diffusion ในปริมาณของเชื้อเพลิงที่เท่ากัน โดยมีอัตราส่วนอากาศและเชื้อเพลิง (AF ratio) เป็นตัวกำหนด เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของเชื้อเพลิงก็สามารถเพิ่มปริมาณของอากาศได้ตามอัตราส่วนนี้

รูปที่ 3.2 เปลวไฟแบบ Premixed

การเผาไหม้แบบ Premixed ของเชื้อเพลิง LPG กับอากาศ ซึ่งต้องใช้อากาศจำนวนมากในการทำให้มีส่วนผสมที่เหมาะซึ่งต้องใช้อัตราส่วน AF ratio ในการคำนวณ และต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของเชื้อเพลิง LPG ด้วย โดยแก๊ส LPG มีคุณสมบัติดังนี้

$$C_x\mathrm{H_y} + a(O_2 + 3.76N_2) \rightarrow xCO_2 + yH_2O + 3.76aN_2 \qquad (3.7)$$

เมื่อ $a = x + \frac{y}{4}$

$$C_{3.3}\mathrm{H_{8.6}} + 5.45(O_2 + 3.76N_2) \rightarrow 3.3CO_2 + 4.3H_2O + 22.372N_2 \qquad (3.8)$$

จากสูตร $AF = \frac{4.76 \times a(MW_{air})}{1 \times MW_{fuel}}$ (3.9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$AF = \frac{4.76 \times 5.45(28.85)}{1 \times 48.2} = 15.52{:}1$$

$$MW_{air} = 28.85\ {}^{kg}/_{kmol}$$

$$MW_{fuel} = 48.8\ {}^{kg}/_{kmol}$$

3.6 หลักการออกแบบหัวฉีด

เครื่องยนต์กังหันแก๊สมีการปรับปรุงชิ้นส่วนเพิ่มเติมจึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของหัวฉีดให้มีความสอดคล้องกัน มีการนำระบบแลกเปลี่ยนความร้อนมาติดตั้งที่ตัวเครื่องทำให้เส้นทางการไหลของอากาศเปลี่ยนไปจึงต้องออกแบบให้ทางเข้าของหัวฉีดให้มารับอากาศที่ตัว air inlet

รูปที่ 3.3 หัวฉีดและ mixing chamber ที่ออกแบบและสร้างแบบที่ 1

หลักการคือ หัวฉีดรุ่นใหม่นี้ต้องการให้มีการผสมแบบ premix จึงต้องนำอากาศเข้ามาผสมกับเชื้อเพลิง อากาศที่ไหลจาก compressor ที่อยู่ด้านหลังมีทิศทางการไหลมายังด้านหน้า แต่หัวฉีดมีทิศทางการฉีดตรงข้าม ดังนั้นจึงออกแบบให้มีท่อโค้งรูปตัวยู มารับอากาศจาก air inlet ผ่านท่อเข้าไปในหัวฉีด

3.6.1 สมการอนุรักษ์มวล

การกำหนดค่าตัวแปลที่มีผลกับการจำลองการไหลโดยกำหนดให้ของไหลเป็นแบบนิวตันคือมีค่าความหนืดและความหนาแน่นคงที่ เนื่องจากความหนืดและความหนาแน่นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ซึ่งสมการ Navier-Stoke เป็นสมการที่ไม่เป็นเส้นตรงซึ่งขึ้นอยู่กับความเร่งของการพาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงความเร็วในแต่ละจุด ไม่ว่าจะเป็นการไหลแบบราบเรียบหรือปั่นป่วน เมื่อใส่ค่าตัวแปรต้นก็สามารถหาความเร็วและความดันในแต่ละจุดของการไหลได้ โดยใช้ทฤษฎี Navier-Strokes equation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 การออกแบบหัวฉีด

พื้นที่ทางเข้าของอากาศจะถูกจำกัดด้วยพื้นที่ของ air inlet ที่มีความกว้างเพียง 8 cm. ซึ่งเราการให้มีการไหลของอากาศให้มากที่สุดจึงกำหนดขนาดของทางเข้าอากาศที่ 6 cm. และเพิ่มความเร็วภายในท่อโดยลดขนาดซึ่งกำหนดขนาด 3.5,4.0 และ 4.5 cm. และนำมาจำลองในโปรแกรมเพื่อให้รู้เส้นทางการไหลภายในท่อและเพื่อหากรณีการไหลที่ให้ประสิทธิภาพของท่อที่ดีที่สุด

3.6.3 Flame stability

ในการสร้างหัวฉีดต้องมีการออกแบบให้มีเสถียรภาพของเปลวไฟซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในห้องเผาไหม้ สิ่งที่บ่งบอกถึงเสถียรภาพของเปลวไฟคือฐานเปลวไฟ ความเร็วเปลวไฟและความยาวของเปลวไฟ ซึ่งต้องคำนึงถึงปัจจัยสองอย่างคือ flash back และ liftoff ในการเผาไหม้ ฐานของเปลวไฟคือบริเวณที่มีความเร็วของเชื้อเพลิงและความเร็วของเปลวไฟมีความสมดุลซึ่งจะขึ้นอยู่กับการออกแบบหัวฉีดและความเร็วเปลวไฟของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

- ความเร็วของเชื้อเพลิงลดลงหรือถูกหยุดจะทำให้เปลวไฟลามเข้าหาหัวฉีดเรียกว่า Flash back
- ความเร็วของเชื้อเพลิงถูกเพิ่มมากเกินไปจะทำให้ฐานเปลวไฟลอยหรือดับไปเรียกว่า liftoff

ตารางที่ 3.3 Laminar flame speeds เชื้อเพลิงบริสุทธิในอากาศที่ Φ 1.0 ที่1 atm ณ อุณหภูมิห้อง

Fuel	Formula	Laminar flame speeds,$s_L(^{cm}/_{s})$
Methane	CH_4	40
Acetylene	C_2H_2	136
Ethylene	C_2H_4	67
Ethane	C_2H_6	43
Propane	C_3H_8	44
Hydrogen	H_2	210

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

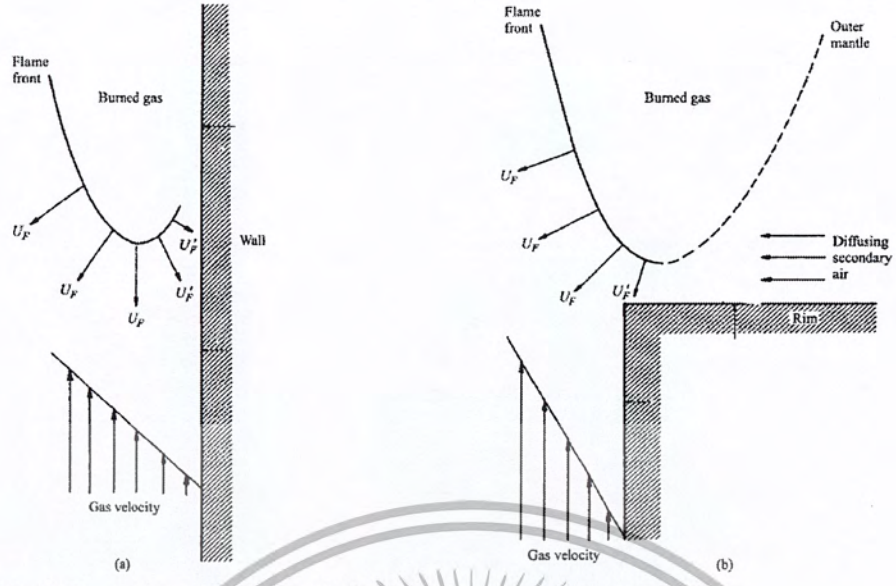
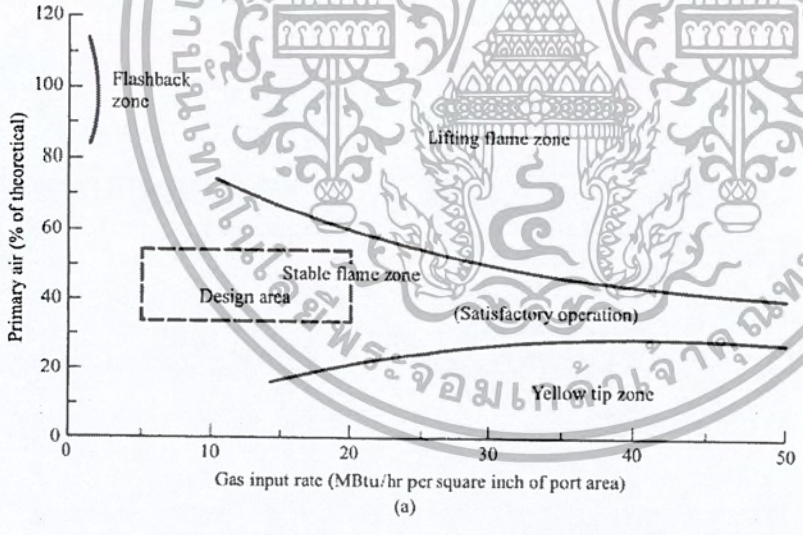


Figure 8.22 Velocity vectors showing flow velocities and local flame velocity for (a) flashback and (b) liftoff.
SOURCE: Reprinted with permission from Ref. [33]. © 1955, American Chemical Society.

รูปที่ 3.4 velocity vector แสดงถึงความเร็วและลักษณะความเร็วเปลวไฟ (a.) flashback และ (b.) liftoff

3.6.4 การเปรียบเทียบความเหมาะสมและความปลอดภัยของการออกแบบหัวฉีด



รูปที่ 3.5 กราฟการเปรียบเทียบความเหมาะสมและความปลอดภัยในการออกแบบหัวฉีด

$$\left(\dot{m} \times 70\%_{C_3H_8} \times LHV\right) + \left(\dot{m} \times 30\%_{C_4H_{10}} \times LHV\right) = kW \qquad (3.10)$$

จะได้ $Btu = \frac{kW \times 1000}{0.293}$, โดย 1000 Btu=0.293kw

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

กระบวนการและผลการออกแบบ

4.1 บทนำ

กระบวนการในการออกแบบอุปกรณ์ทั้งสองอย่างนั้นต้องอาศัยหลักการทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมาเป็นแนวทางในการออกแบบอุปกรณ์และทำการทดสอบทั้งในเชิงการทดลองจริงและแบบจำลองอุปกรณ์ (Simulation) เพื่อให้ได้อุปกรณ์ที่ดีที่สุดไปใช้งานจริงในการทดลองของโครงงานนี้และเพื่อให้ตรงไปตามวัตถุประสงค์มากที่สุด โดยจะแบ่งเป็น 2 อุปกรณ์หลักคือ ท่อ Premix chamber และ อุปกรณ์หัวฉีดน้ำมันปาล์ม

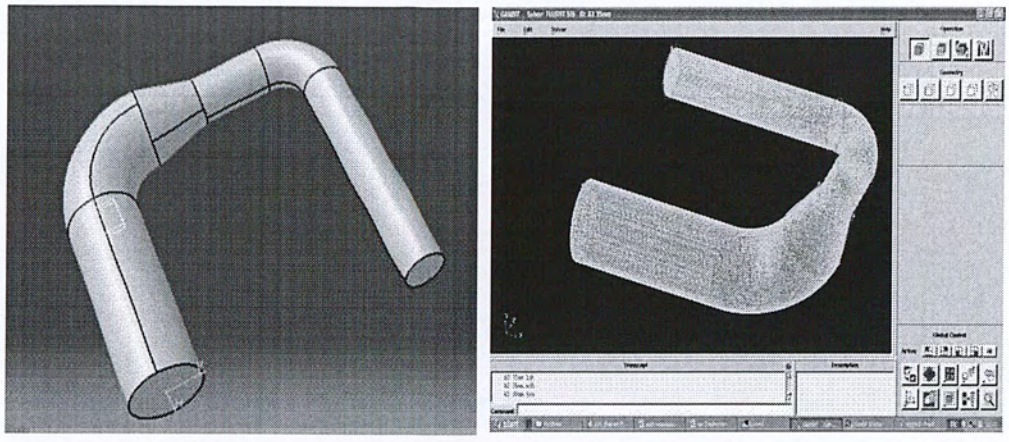
4.2 การออกแบบท่อ Premix chamber

การออกแบบอุปกรณ์ Premix chamber ทั้งหมดนั้นจะต้องออกแบบเป็นลำดับขั้นตอนทีละส่วนโดยจะออกแบบในส่วนของ Mixing throat ก่อน แล้วค่อยออกแบบในส่วน Mixing Chamber และออกแบบหัวฉีดเป็นลำดับสุดท้าย โดยหลักการในการออกแบบและทดสอบเพื่อได้ส่วนอุปกรณ์ที่ดีที่สุดไปใช้งาน

4.2.1 ออกแบบโดยจำลองการไหลใน Mixing throat

การสร้างแบบ 3 มิติของทางเดินอากาศรูปตัวยูโดยที่อากาศมาจาก Compressor ผ่านชุด Heat recovery และไหลผ่านไปตามท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 60 mm. และโค้งผ่าน nozzle เพื่อเพิ่มความเร็วของอากาศเพื่อช่วยในการผสมกับเชื้อเพลิงและไหลผ่านส่วนโค้งเข้าไปยัง mixing chamber โดยลดขนาดซึ่งกำหนดขนาด 35,40 และ45 mm.และถูกปริมาตรควบคุมย่อยด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยมจำนวน 663,944 ปริมาตรควบคุมซึ่งปริมาตรที่เขียนแบบนั้นเป็นปริมาตรเฉพาะที่อากาศไหลผ่านไม่เกี่ยวข้องกับปริมาตรท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



a.) b.)

รูปที่ 4.1 แบบทางเดินอากาศ 3 มิติ a.) และปริมาตรควบคุม b.)

โปรแกรมสำเร็จรูปเชิงพาณิชย์ของ Ansys CFX, Release 11 โดยใช้วิธี The 3-D Reynolds averaged compressible Navier-stokes equations และ standard k-ε turbulence ใช้ในการแก้ปัญหาในโปรแกรมเป็นสมการที่ไม่เป็นเส้นตรงซึ่งขึ้นอยู่กับความเร่งของการพาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงความเร็วในแต่ละจุด ไม่ว่าจะเป็นการไหลแบบราบเรียบหรือปั่นป่วน เมื่อใส่ค่าตัวแปรต้นก็สามารถหาความเร็วและความดันในแต่ละจุดของการไหลได้ โดยใช้ทฤษฎีนาเวียร์ สโตก (Navier-Strokes equation) ในสภาวะการไหลคงตัว (Steady stage) ซึ่งความเร็วจะไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลา แต่จะขึ้นอยู่กับความหนืด ความหนาแน่นซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ สมการอนุรักษ์สำหรับพลังงานจลน์แบบเทอร์บิวเลนท์ กฎของแก๊สอุดมคติและกฎทรงมวล [10]

แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วนแบบ k-ε [4]

การวิเคราะห์การไหลภายในท่อใช้แบบจำลองการไหลแบบ k-ε โดยการจำลองแบบปั่นป่วน (Turbulent model) เพื่อที่จะได้สามารถวิเคราะห์ลักษณะการไหลในรูปมิติไร้หน่วย (dimension analysis) เมื่อพิจารณาการถ่ายเทโมเมนตัม

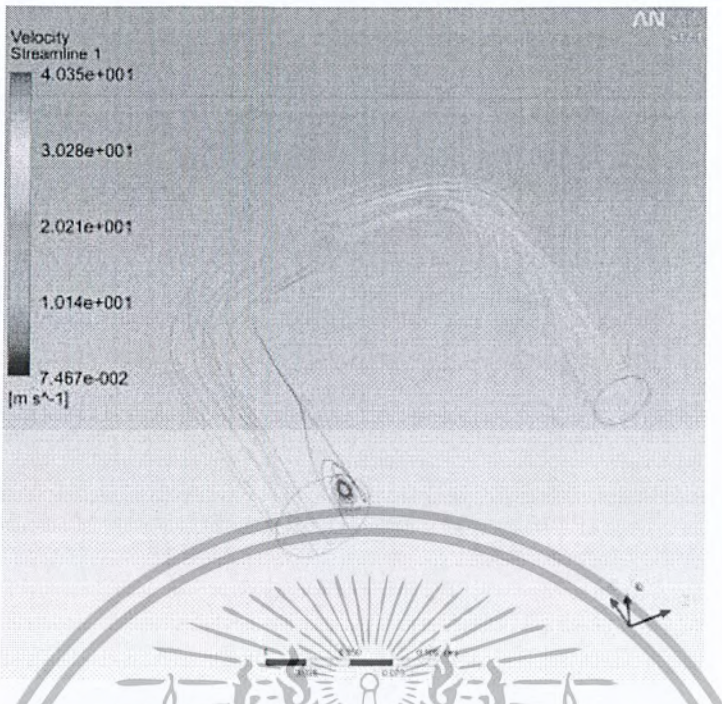
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าที่ระบุเงื่อนไขขอบเขตที่ทางเข้าอากาศใน mixing throat

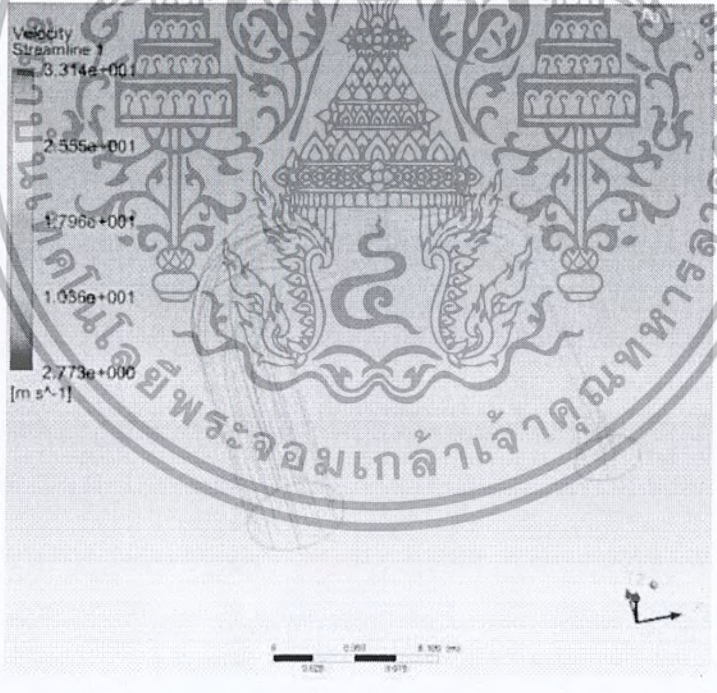
Temperature air inlet, K	298
Pressure air inlet, Pa	101325
Density of air, (kg/m^3)	1.1855
Dynamic viscosity, ($lb_f s/ft^2$)	1.39× 10^{-7}

รูปที่ 4.2 การจำลองการไหลของอากาศในท่อ mixing throat แบบที่ 1 ขนาดท่อ45 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การจำลองการไหลของอากาศในท่อ mixing throat แบบที่ 1ขนาดท่อ 40 mm.

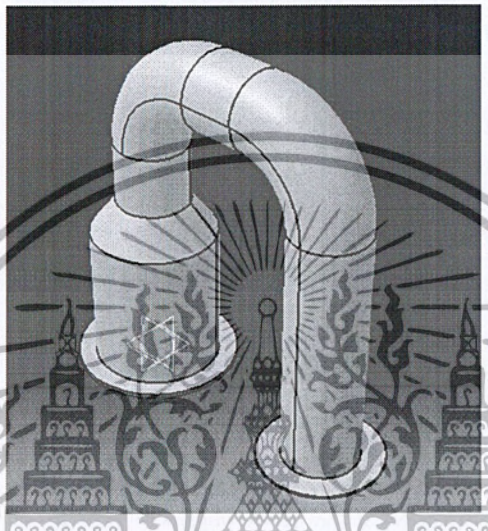


รูปที่ 4.4 การจำลองการไหลของอากาศในท่อ mixing throat แบบที่ 1 ขนาดท่อ 35 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.1 ผลการจำลองการไหลใน Mixing throat

จากการจำลองการไหลของอากาศที่เข้าไปตามท่อจะมีลักษณะที่คล้ายกันคือจะมีความเร็วที่ต่ำและเมื่อผ่านท่อลดขนาดที่มีความแตกต่างกันซึ่งจะทำให้ความเร็ว, ความดันและอุณหภูมิของอากาศเกิดความเปลี่ยนแปลงซึ่งเลือกตำแหน่งเพื่อที่จะหาความเร็ว, ความดันและอุณหภูมินั้นซึ่งคือปลายทางออกของท่อผสมและนำมาหาค่าประสิทธิภาพโดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 mm. มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ 98%



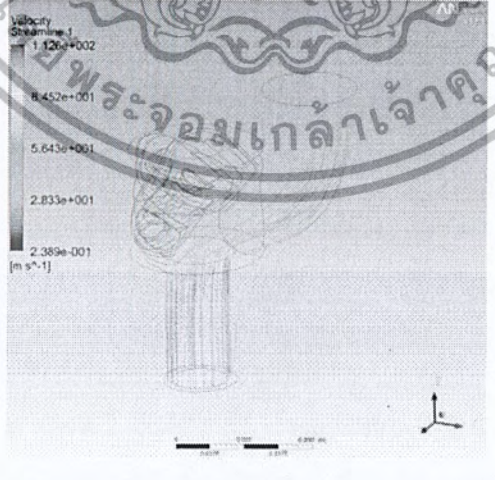
รูปที่ 4.5 ท่อผสม (mixing throat) ขนาด 35 mm.

4.2.2 ออกแบบโดยจำลองการไหลใน Premixed chamber

การออกแบบ premixed chamber นำหัวฉีดเดิมมาเพิ่ม premix chamber เพื่อเป็นทางเข้าจากท่อผสมเข้าไปในหัวฉีดและต้องให้ความเร็วทางออกจากหัวฉีดมีค่ามากกว่าความเร็วเปลวไฟของ LPG เพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับเข้าไปในหัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 การจำลองการไหลใน mixing chamber



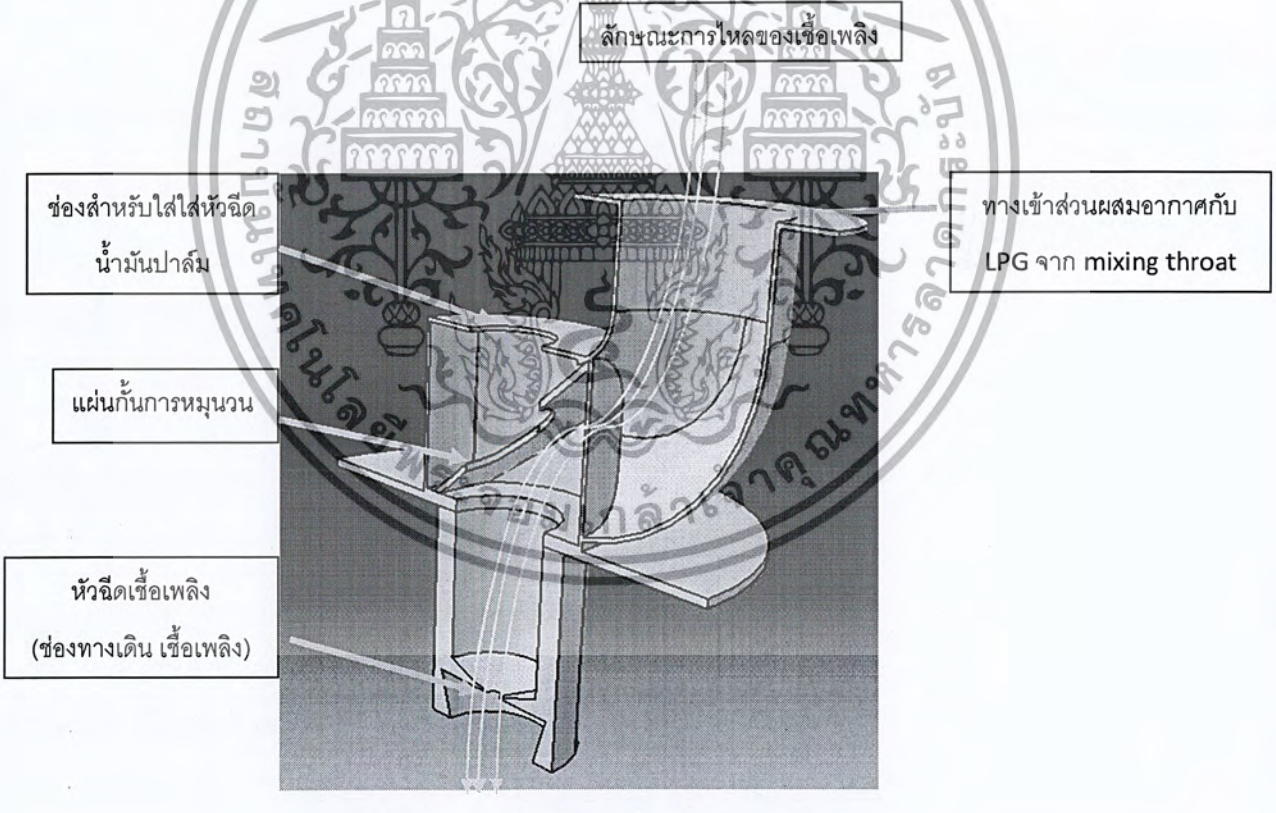
รูปที่ 4.7 การจำลองการไหลใน mixing chamber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.1 ผลการจำลองการไหลใน Premixed chamber

การจำลองการไหลของอากาศใน mixing chamber นั้นเมื่ออากาศผ่าน mixing throat ออกมาและไหลผ่านหัวฉีดที่มีความดันต่ำแต่มีพื้นที่หน้าตัดเล็กกว่าทำให้มีความเร็วสูง และถูกฉีดเพื่อเผาไหม้ต่อไป แต่ก็มีอากาศบางส่วนที่ยังคงปั่นป่วนใน mixing chamber เมื่ออากาศผสมกับเชื้อเพลิงและคลุกเคล้าจนได้ส่วนผสมที่พอดีกับการจุดติดไฟอาจทำให้ไฟไหลย้อนเข้ามาใน mixing chamber ได้ จากการจำลองการไหลพบว่าความเร็วที่ออกมาจากหัวฉีดคือ 98.762 m/s.

เมื่อทราบถึงลักษณะการไหลที่เป็นไปได้ของอากาศผ่านเข้าไปยังหัวฉีด จึงทำการออกแบบ mixing chamber ซึ่งจำเป็นต้องให้เป็นการไหลที่ค่อนข้างราบเรียบหรือพยายามไม่ให้มีอากาศเกิดการหมุนวนในตัวห้องผสมเหมือนรูปที่ 3.8 ดังนั้นจะได้รูปแบบของห้องผสมดังรูป



รูปที่ 4.8 แบบ 3 มิติ cross section ของหัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นกั้นที่อยู่ตรงกลาง mixing chamber เป็นตัวกั้นบังคับให้ของไหลไหลเข้าไปยังหัวฉีด เพื่อไม่ให้เกิดการหมุนวนและยังสามารถให้หัวฉีดของน้ำมันพืชสวมได้ ซึ่งจะทำให้การไหลของแก๊ส LPG ที่ผ่านเข้ามาที่หัวฉีดมีลักษณะเป็นแบบวงแหวน (Annular)

รูปที่4.9 ท่อ Mixing Chamber จริงที่พร้อมใช้งาน

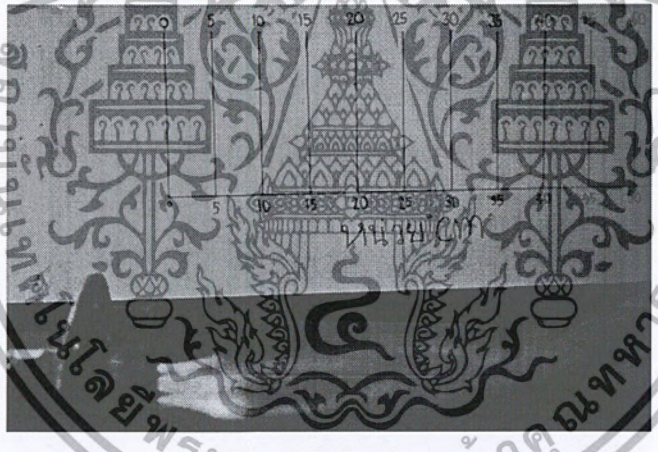
รูปที่4.10 ท่อ Mixing Chamber เมื่อนำไปติดตั้งภายในเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ออกแบบหัวฉีดเชื้อเพลิงLPG ภายใน Premix Chamber

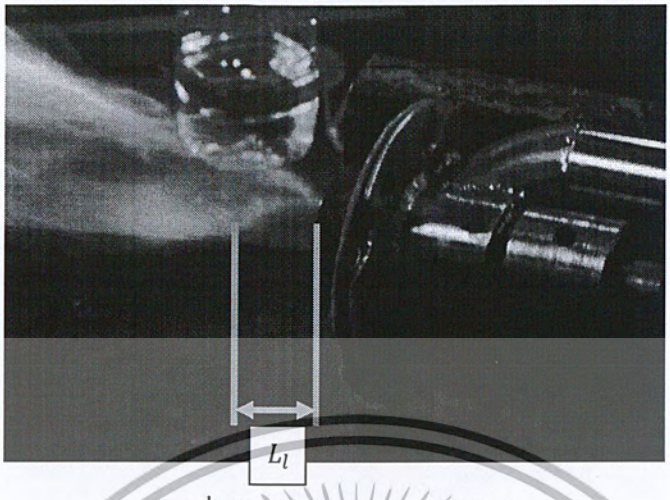
จากทฤษฎี jet pump โดย primary air จะถูกพ่นเพื่อที่จะเหนี่ยวนำแก๊สที่ฉีดเข้าด้านข้างของท่อผสมเข้าไปในท่อซึ่งกำหนดขนาดของรูหัวฉีด LPG เป็น 3, 4, 5, 6 mm. แล้วทดลองการเผาไหม้นอกห้องเผาไหม้เพื่อเปรียบเทียบหาหัวฉีดที่มีขนาดรูที่ฉีดเชื้อเพลิงแล้วให้ค่าความยาว, ฐานและสีของเปลวไฟที่เหมาะสมและตรงไปตามหลักการทางทฤษฎี

การทดลองเป็นการหาอัตราส่วนผสมที่ทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ทำโดยเปิด Brower 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 Hz แล้วปล่อยแก๊สที่อัตราการไหลต่ำๆ จุดไฟด้วยปืนยิงแก๊ส เมื่อมีการเผาไหม้เกิดขึ้นแล้วปรับอัตราการไหลที่มีส่วนผสมแบบ Premixed (ความยาวเปลวไฟ, ฐานเปลวไฟสั้นและมีเปลวไฟสีฟ้า) และหลักการวัดความยาวของเปลวไฟ ฐานเปลวไฟ จะมีฉากวัดทางข้างซึ่งมีสเกลวัดเป็นเซนติเมตร ซึ่งค่าที่ได้อาจจะมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง การวัดฐานเปลวไฟจะวัดจากระยะ liftoff จากปากหัวฉีดถึงฐานเปลวไฟที่ลอยออกมา



รูปที่ 4.11 สเกลวัดความยาวเปลวไฟและฐานเปลวไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 Liftoff distance (L_l)

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองที่ขนาดรู LPG = 3 mm.

Flow rate(Hz)	Mass flow rate, air(kg/s)	Mass flow rate LPG (kg/s) (calculation)	Mass flow rate LPG (kg/s) (test)	Flame length (cm.)	Liftoff distance (cm.)
20	0.124	0.0079	0.0259	25	2.5
25	0.151	0.0097	0.0605	28	2.5
30	0.182	0.0117	0.0822	26	3
35	0.215	0.0138	0.0951	40	4
40	0.248	0.0159	0.1081	41	4
45	0.277	0.0178	0.1254	41	4
50	0.308	0.0198	0.1427	45	4

จากตาราง เมื่อเพิ่มอัตราการไหลอากาศและเชื้อเพลิงพบว่า ระยะของเปลวไฟมีความยาวเพิ่มขึ้นเมื่อวัดจากปากหัวฉีดถึงปลายเปลวไฟจาก 25 cm. ถึง 45 cm. และระยะฐานของเปลวไฟเพิ่มขึ้นจากเริ่มต้นที่ 2.5 cm. จนถึงอัตราการไหลสูงสุดมีความยาวที่ 4 cm. แต่การเกิด Liftoff ของหัวฉีดจะเป็นลักษณะที่ไม่สมมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กัน ซึ่งเกิดจากการออกแบบที่ให้ส่วนผสมไหลเข้าด้านข้างเพียงด้านเดียว ผลที่ได้คือ ฐานเปลวไฟจะลอยมากที่สุดเป็นด้านเดียวกับท่อผสมที่ไหลเข้าหัวฉีด ดังรูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองที่ขนาดรู LPG = 4.5 mm.

Flow rate(Hz)	Mass flow rate(kg/s)	Mass flow rate LPG (kg/s) (calculation)	Mass flow rate LPG (kg/s) (test)	Flame length (cm.)	Liftoff distance (cm.)
20	0.124	0.0079	0.0389	23	3.5
25	0.151	0.0097	0.0519	25	3.5
30	0.182	0.0117	0.0735	30	3.5
35	0.215	0.0138	0.0908	35	3.5
40	0.248	0.0159	0.1038	37	3.5
45	0.277	0.0178	0.1211	37	3.5
50	0.308	0.0198	0.1384	39	3.5

จากการทดลองโดยการเปลี่ยนขนาดหัวฉีดจาก 3 cm. เป็น 4.5 cm. ผลที่ได้จะคล้ายกันต่างกันที่ความยาวของเปลวไฟและระยะของฐานเปลวไฟที่สั้นลง

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองที่ขนาดรู LPG = 6 mm.

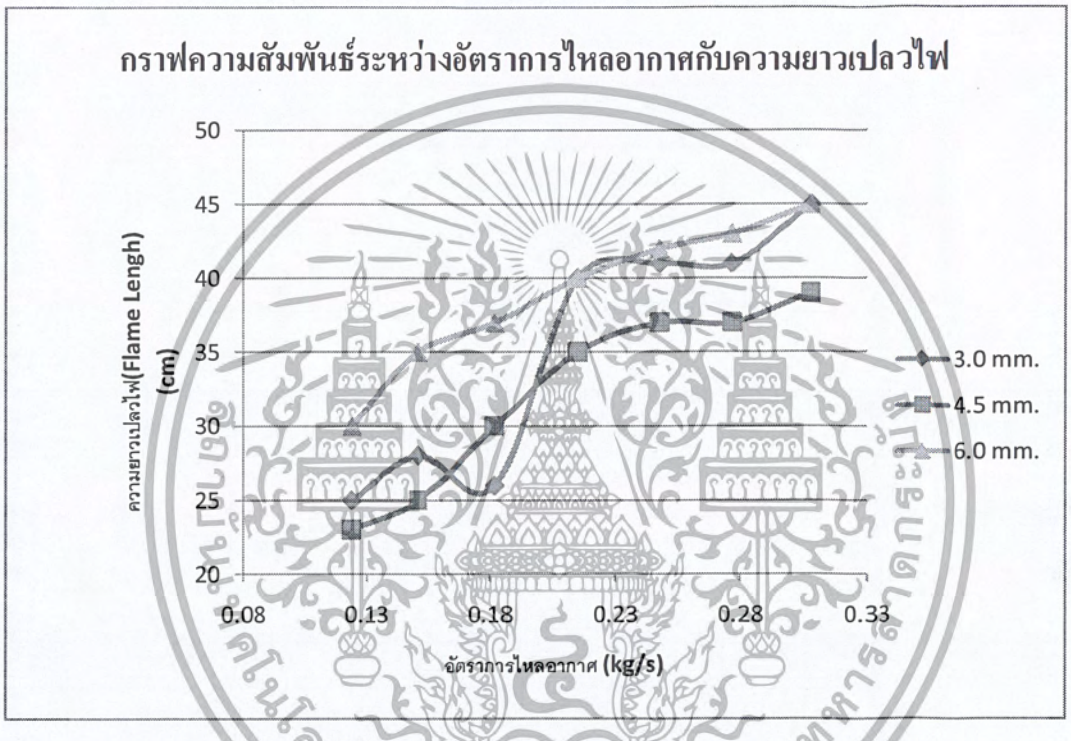
Flow rate(Hz)	Mass flow rate(kg/s)	Mass flow rate LPG (kg/s) (calculation)	Mass flow rate LPG (kg/s) (test)	Flame length (cm.)	Liftoff distance (cm.)
20	0.124	0.0079	0.0475	30	5
25	0.151	0.0097	0.0605	35	5
30	0.182	0.0117	0.0778	37	5
35	0.215	0.0138	0.0951	40	5
40	0.248	0.0159	0.1081	42	5
45	0.277	0.0178	0.1254	43	5
50	0.308	0.0198	0.1600	45	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพบว่าได้ผลที่คล้ายๆกับขนาดหัวฉีดที่ผ่านมา แต่ฐานและระยะเปลวไฟจะยาวขึ้นกว่าขนาดของหัวฉีดเดิม โดยฐานเปลวไฟจะยาวถึง 4.5 cm. และฐานเปลวไฟจะยาวถึง 5 cm.

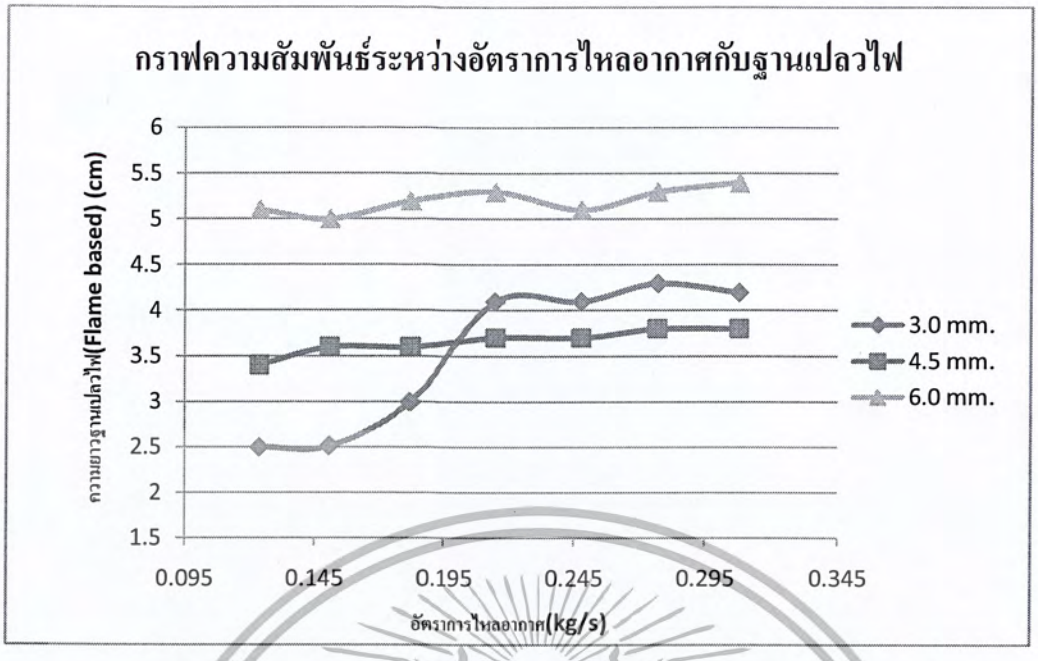
โดยที่ Liftoff distance คือระยะฐานเปลวไฟจากปากหัวฉีด

Flame length คือระยะของลำเปลวไฟ



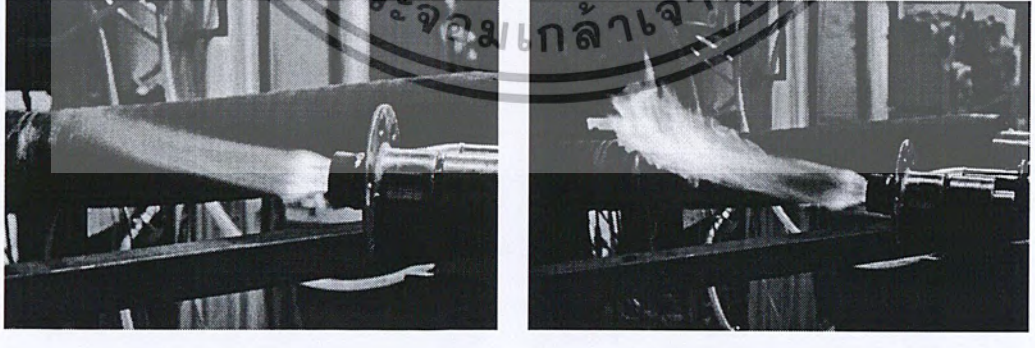
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความยาวเปลวไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับฐานของเปลวไฟ

จากตารางและกราฟพบว่าที่ขนาดรูของ LPG = 4.5 mm. มีความยาวฐานและเปลวไฟสั้นที่สุดโดยที่อัตราการไหลโดยมวลของอากาศคงที่แต่เปลี่ยนแปลงที่อัตราการไหลของ LPG ผลที่ได้นั้นอาจเกิดจากอัตราส่วนเชื้อเพลิงที่แตกต่างกันซึ่งหัวฉีดแต่ละขนาดจะมีการปรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงทุกครั้ง หรือเกิดจากความเร็วของเชื้อเพลิงที่ออกจากหัวฉีดที่แตกต่างกัน เริ่มจากขนาด 3 mm. ที่มีขนาดเล็กความเร็วที่ออกมาจากหัวฉีดสูงเวลาของการคลุกเคล้ากับอากาศน้อยส่วนผสมอาจไม่พอดีเมื่อเพิ่มขนาดหัวฉีดความเร็วที่ออกจากหัวฉีดก็ต่ำลง เวลาในการคลุกเคล้ากันก็เพิ่มขึ้น โดยที่ขนาดที่ 4.5 mm. จะมีเวลาคลุกเคล้าที่พอดี แต่ที่ขนาด 6 mm. อาจจะมีส่วนผสมที่หนาเกินไปดังนั้นจึงนำข้อมูลนี้ใช้ในการทดลองในห้องเผาไหม้ต่อไป



รูปที่ 4.15 เปลวไฟที่ได้จากท่อ Mixing chamber โดยใช้หัวฉีดขนาด 4.5 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองเผาไหม้แก๊ส LPG ในห้องเผาไหม้

เมื่อเริ่มทำการทดลองโดยการฉีดแก๊สและจุดระเบิด พบว่าเกิดการเผาไหม้ที่บริเวณ Air inlet ซึ่งเป็นทางเข้าของอากาศจาก Compressor ซึ่งสาเหตุที่เกิดขึ้นอาจมีอยู่หลายสาเหตุ แต่ที่คาดไว้อาจเกิดจากเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดไปนั้นมีบางส่วนถูกเหนี่ยวนำเข้าไปในท่อผสม และบางส่วนที่ไหลย้อนออกไปที่ส่วนของ Air inlet ซึ่งเมื่อจุดระเบิดให้เกิดการเผาไหม้ เปลวไฟก็ได้ลุกไหม้ที่ส่วนของ Air inlet ซึ่งมีเชื้อเพลิงที่อาจคลุกเคล้ากับอากาศจนเกิดส่วนผสมที่พอดีดังนั้นจึงได้เปลี่ยนแบบของที่ผสมเป็นแบบท่อตรง

รูปที่ 4.16 ท่อผสมแบบท่อตรง

เมื่อไม่สามารถใช้ลมจาก Compressor ที่ผ่าน Heat recovery ได้จึงต้องดัดแปลงท่อผสมโดยการตัดเอาส่วนโค้งรูปตัวยูออกแล้วนำส่วนทางเข้าอากาศต่อกับทางเข้า Premixed chamber เป็นลักษณะของท่อตรง และรับอากาศที่ต่อสายยางจาก Pump Compressor ผ่าน Rota meter วัดอัตราการไหลอากาศ และปิดรูวงกลมในส่วนของ Air inlet ซึ่งผลที่ได้สามารถแก้ปัญหาเปลวไฟเผาไหม้นอกห้องเผาไหม้ได้

4.4 การพัฒนาหัวฉีดเชื้อเพลิง LPG

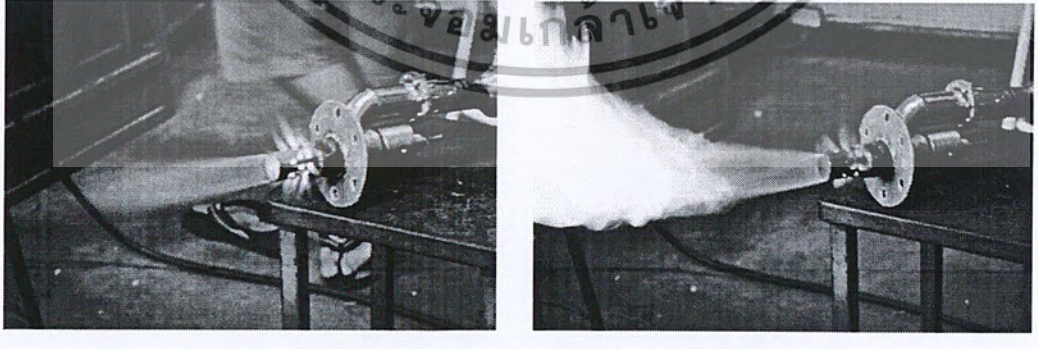
การเผาไหม้นอกห้องเผาไหม้เป็นวิธีการที่ดีกว่าในห้องเผาไหม้เพราะสามารถสังเกตลักษณะของเปลวไฟได้ทั้งหมด แต่มีข้อเสียคือสภาพแวดล้อมจะแตกต่างกับห้องเผาไหม้มากทั้งอุณหภูมิความดันและความเร็วของอากาศ อาจไม่สามารถเอามาเปรียบเทียบกันได้ แต่สิ่งที่ต้องคำนึงอย่างหนึ่งคืออากาศในการเหนี่ยวนำให้เกิดเปลวไฟมีมากจนอาจทำให้เกิด liftoff ดังนั้นฐานเปลวไฟจึงมีความสำคัญมากกับการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ จึงต้องพิจารณาความเสถียรของฐานเปลวไฟ ซึ่งผลจากการทดลองจากตาราง 2.2 จะเห็นว่าเมื่ออัตราการไหลต่ำๆนั้น ฐานเปลวไฟจะสั้นแต่เมื่อเพิ่มอัตราการไหล ฐานของเปลวไฟจะยาวขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในการทดลองนั้นมีหลายครั้งที่เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของส่วนผสมจะเกิด liftoff โดยที่ฐานเปลวไฟจะลอยตัวอยู่สูงมากและดับไป เกิดจากความเร็วของส่วนผสมที่ถูกฉีดออกมานั้นมีความเร็วสูงเกินกว่าที่เปลวไฟจะรักษาสภาพการเผาไหม้เอาไว้ได้ จึงได้ทำการพัฒนาหัวฉีดให้ฐานเปลวไฟมีความเสถียรยิ่งขึ้น โดยการลดความเร็วจากปากหัวฉีดโดยการขยายรูและเจาะรูเพิ่ม และเพื่อรักษาฐานเปลวไฟจากการถูกอากาศพัดดับจาก Heat recovery จึงเชื่อมท่อสแตนเลสกับปลายหัวฉีดและเจาะรูรอบๆแทน เพียงพอที่จะเหนียวนำอากาศเข้าไปช่วยในการเผาไหม้และขยายปลายท่อสแตนเลสเพื่อลดความเร็วของส่วนผสมอีกครั้ง

รูปที่ 4.17 ฐานเปลวไฟที่จะหลุดจากหัวฉีด

ผลที่ได้สามารถช่วยให้ฐานเปลวไฟมีความเสถียรมากขึ้น ซึ่งความเสถียรของเปลวไฟยังช่วยในการเผาไหม้ให้สมบูรณ์มากขึ้นด้วย ถ้าหากเพิ่มอากาศเข้าไปช่วยการเผาไหม้ในขณะที่ฐานเปลวไฟยังลอยอยู่มากจะทำให้เปลวไฟดับไป เมื่อสามารถรักษาสภาพของฐานเปลวไฟไว้ได้เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของอากาศเข้าไปโดยที่เปลวไฟไม่ดับก็ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น



a.) b.)

รูปที่ 4.18 หัวฉีดที่ปรับปรุงฐานเปลวไฟแล้วที่อัตราการไหล 10 SCFH (a.) และอัตราการไหล 50 SCFH (b.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 หลักการออกแบบหัวฉีดน้ำมันปาล์ม

หัวฉีดน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทดลองถูกสร้างให้อยู่ในหลักการทางทฤษฎีของ Atomization Air blast เพราะใช้ความดันจากอากาศในการตัดเฉือนฟิล์มน้ำมัน เพื่อการเป็นหยดละออง โดยแบบของหัวฉีดนั้นมีอยู่หลายประเภทและมีข้อดี ข้อเสียของแต่ละแบบดังต่อไปนี้

ตาราง4.5 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย หัวฉีดแบบ อะตอมไมเซอร์แบบต่างๆ[7]

ประเภท	แบบ	ข้อดี	ข้อเสีย	ประยุกต์การใช้งาน
อะตอมไมเซอร์ความดัน	ออริฟิชแผ่นเรียบ	1.ง่าย,ราคาถูก 2.สเปรย์หนา	1.มุมสเปรย์แคบ 2.ได้สเปรย์แบบกรวยตัน	เครื่องยนต์ดีเซลล์, เครื่องยนต์เจ็ท
	ความดัน –หมุนวน	1.ง่าย,ราคาถูก 2.มุมสเปรย์กว้าง	1.ต้องการความดันสูงมาก 2.มุมสเปรย์แปลไปตามความดันและความหนาแน่นอากาศ	เครื่องยนต์กังหันก๊าซ ,เตาเผาอุตสาหกรรม
	ดูเพล็กซ์	1.เหมือนกับความดัน-หมุนวน 2.ความเป็นละอองดีบนช่วงกว้างของอัตราการไหล	1.มุมสเปรย์แคบเมื่ออัตราการไหลเพิ่ม	ห้องเผาไหม้กังหันก๊าซ
	ออริฟิชคู่	1.ความเป็นละอองดี 2.มุมสเปรย์คงที่	1.ซับซ้อนในการออกแบบ 2.ทางผ่านของเหลวเล็กมากอาจจะเกิดการอุดตัน	ใช้อย่างแพร่หลายกับอากาศยานและเครื่องยนต์กังหันก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะตอมไมเซอร์โรตารี่	แผ่นหมุน (Spinning disk)	1.เกิดละอองเสมอกัน(Unifrom) 2.คุณภาพละอองอิสระจากอัตราการไหล	1.ให้รูปแบบสเปรย์ 360 องศา	สเปรย์ดายอิ้ง ,สเปรย์ในเกษตรกรรม
	ถ้วยหมุน(Rotary cup)	1.ใช้กับของเหลวคล้ายโคนได้	1.ต้องการอากาศเป่ารอบแนวเส้นรอบวง	สเปรย์ดายอิ้ง
อะตอมไมเซอร์แบบใช้อากาศช่วย	แบบผสมภายใน	1.ให้ละอองดี 2.ทางผ่านของเหลวใหญ่ป้องกันการอุดตัน 3.ใช้กับของเหลวความหนืดสูงได้	1.ของเหลวสามารถย้อนกลับเข้าท่ออากาศได้ 2.ต้องมีเครื่องมือวัด 3.ต้องการอากาศหรือก๊าซความดันสูงจากการภายนอก	เตาเผา อุตสาหกรรม, เครื่องยนต์กังหันก๊าซ
	แบบผสมภายนอก	1.เหมือนกับการผสมภายใน 2.มีโครงสร้างป้องกันของเหลวย้อนกลับเข้าท่ออากาศ	1.ต้องการแหล่งจ่ายอากาศหรือก๊าซจากภายนอก	เหมือนกับการผสมภายใน
อะตอมไมเซอร์	เจ็ทเรียบ(Plain jet)	1.ให้การเกิดละอองที่ดี 2.ง่าย,ราคาถูก	1.มุมสเปรย์แคบ 2.ประสิทธิภาพการทำละอองด้อยกกว่าแบบพรีฟิล์มมิ่ง	เครื่องยนต์กังหันก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบแอร์บลาซท์	พรีฟิล์มมิ่ง (Prefilming)	1.ละอองดีโดยเฉพาะเมื่อความดันสูง 2.มุมสเปรย์กว้าง	1.เกิดละอองไม่ดีที่ความเร็วอากาศต่ำๆ	เครื่องยนต์กังหันก๊าซสำหรับอุตสาหกรรมและอากาศยาน
อะตอมไมเซอร์แบบอิเล็คโตรสแตติก		1.ละอองละเอียด	1.ใช้เมื่ออัตราการไหลสูงๆไม่ได้	สเปรย์สี ,สเปรย์ในงานพิมพ์
อะตอมไมเซอร์แบบอัลตราโซนิก		1.ละอองละเอียด 2.ความเร็วสเปรย์ต่ำ	1.ใช้เมื่ออัตราการไหลสูงๆไม่ได้	สเปรย์ในด้านการแพทย์

เมื่อพิจารณาจากความเหมาะสมและประโยชน์จาการนำไปใช้แล้ว จะพบว่าอะตอมไมเซอร์แบบแอร์บลาซท์ แบบเจ็ทเรียบ (Plain jet) มีความเหมาะสมแก่การทำหัวฉีดน้ำมันปาล์ม เพราะจะทำให้เกิดละอองที่ดี ใช้หลักการออกแบบที่ไม่ซับซ้อนและมีค่าใช้จ่ายโดยรวมที่ไม่สูงมากนัก แต่การที่มีมุมละอองที่ค่อนข้างแคบ จะไม่ก่อให้เกิดปัญหามากนัก เพราะภายในช่องทางเข้าห้องเผาไหม้ในเครื่องยนต์ชุดปัจจุบันมีความกว้างของช่องที่ไม่กว้างมากนัก คือมีช่องทางเข้าของหัวฉีดเพียงแค่20cm. ปัญหามุมสเปรย์ที่แคบจึงไม่ก่อให้เกิดปัญหามามากนัก อีกทั้งการที่มุมสเปรย์แคบจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาการมีหยดน้ำมันตกค้างอยู่บริเวณผนังของห้องเผาไหม้ด้วย โดยหลักการทางทฤษฎีที่ในมาใช้ในหัวฉีดของโครงงานนี้คือ

4.5.1 การแยกสลายของหยด(Breakup of drops)

การเกิดเป็นละอองเป็นผลจากปฏิกิริยาต่อกันระหว่างของเหลวและอากาศหรือก๊าซโดยรอบซึ่งกระบวนการเกิดละอองดังกล่าวนี้ จะเกิดขึ้นต่อเนื่องหลายครั้ง ทำให้เกิดการแยกตัวของหยดขนาดใหญ่จนกระทั่งขึ้นสุดท้ายของกระบวนการแยกตัว

$$P_l = P_A + P_\sigma = constant \tag{4.1}$$

สำหรับหยดทรงกลม

$$P_\sigma = \frac{4\sigma}{D} \tag{4.2}$$

โดย P_l คือ ความดันภายในที่ตำแหน่งต่างๆบนผิวของหยด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

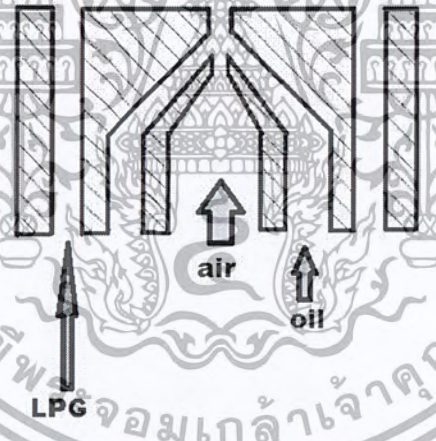
P_A คือความดันอากาศพลศาสตร์ภายนอก

P_σ คือความดันตึงผิว

ภายใต้สภาวะสมดุล ความดันภายในที่ตำแหน่งต่างๆบนผิวหยด P_l มีเพียงพอที่จะสมดุลความดันอากาศพลศาสตร์ภายนอก P_Aและความดันตึงผิว P_σ

จากสมการ (4.1) หยดพยายามที่จะรักษาสมดุลการเปลี่ยนแปลงความดันของอากาศที่ทุกๆจุดบนผิวพื้น ด้วยการเปลี่ยนแปลง P_σ ชดเชยให้สอดคล้องกัน เพื่อรักษาให้ P_lยังมีค่าคงที่อย่างไรก็ตาม กรณีที่ P_Aมีค่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับ P_σ ดังนั้นเมื่อ P_Aเปลี่ยนไปทำให้ไม่สามารถชดเชยได้ด้วย P_σ ในสถานการณ์เช่นนี้ ความดันภายนอก P_A จะทำให้หยดยืดออกเพื่อเป็นการลด P_σ กระทั่งในที่สุดจะทำให้เกิดการแยกตัวของหยดไปเป็นหยดที่เล็กลง โดยหยดที่เล็กลงเหล่านี้ จะทำให้ค่าความดันตึงผิวสูงขึ้นดังสมการที่เป็นการรักษาให้ P_lยังมีค่าคงที่

4.5.2 หลักการทำงานของหัวฉีด



รูปที่ 4.19 แผนภาพจำลองโครงสร้างหัวฉีดที่ใช้ในโครงงานนี้

หลักการทำงานของหัวฉีดแบบ Atomization Air-Blast แบบ Pain jet ที่โครงงานนี้ได้สร้างขึ้น โดยหัวฉีดถูกออกแบบให้สามารถจ่ายทั้งน้ำมันปาล์มและก๊าซหุงต้มLPG แต่ไม่ได้ไหลช่องทางเดียวกัน โดยในการจ่ายเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มนั้นจะอาศัยหลักทฤษฎีของ Atomization Air blast ในการฉีดเชื้อเพลิงโดยจะมีโครงสร้างเป็นแบบ 2ชุดซ้อนกัน หัวฉีดชุดแรกเป็นท่อลำเลียงอากาศทำหน้าที่บังคับทิศทางการไหลของอากาศ และเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับอากาศที่ปลายหัวฉีด ส่วนหัวฉีดอีกชุดจะลำเลียงน้ำมันปาล์มซึ่งจะอยู่ด้านนอกทำหน้าที่ลำเลียงเชื้อเพลิง โดยเชื้อเพลิงจะไหลเข้ามาเป็นฟิล์มบางๆขวางทางเดินของรูอากาศที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลายหัวฉีดชุดแรก อากาศที่มีความเร็วสูงจะไหลผ่านฟิล์มเชื้อเพลิง เหนี่ยวนำให้เชื้อเพลิงเกิดการแตกตัวเป็นฝอยละอองและผ่านรูNozzleที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแค่ 0.3 cm จะทำให้เชื้อเพลิงมีพลังงานจลน์มากขึ้นและเคลื่อนที่เป็นละอองฝอยเล็กๆต่อไป โดยปากทางออกของLPG จะอยู่รอบๆของปากทางน้ำมันปาล์ม โดยกระจายอยู่รอบๆทั้งหมด 6รู และรูมีขนาด 0.3 cm เช่นกัน เพื่อลดความเร็วของฐานเปลวไฟไม่ลอย เพื่อเป็นการเลี้ยงฐานลำเปลวไฟให้นิ่งและไม่ให้ดับตัวลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

5.1 บทนำ

เมื่อได้แบบอุปกรณ์ที่ดีและเหมาะสมแก่การใช้งานกับเครื่องยนต์กังหันก๊าซชุดปัจจุบันและได้พัฒนาหัวฉีด LPG ที่ใช้ร่วมกับน้ำมันพืช ลำดับต่อไปก็จะทำการทดลองว่าอุปกรณ์ที่ได้ศึกษาและออกแบบมานั้นใช้งานได้จริงหรือไม่ ถ้าใช้ได้จริงตรงไปตามวัตถุประสงค์ของโครงงานหรือไม่

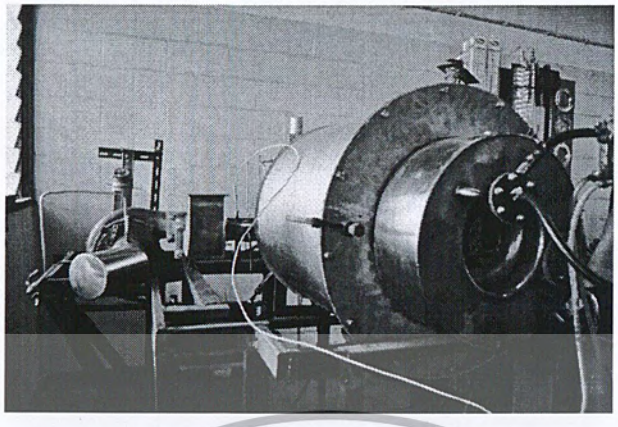
ในบทนี้กล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์และวิธีการทดลองสำหรับการฉีดร่วมกันของแก๊สLPG และน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว โดยการทดลองจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่

• ส่วนที่หนึ่ง การทดลองภายนอกห้องเผาไหม้ : เป็นการทดสอบฉีดน้ำมันพืชนอกห้องเผาไหม้ มีจุดประสงค์เพื่อให้ได้ค่าสัดส่วนอัตราการไหลน้ำมันพืชและอากาศซึ่งค่าสัดส่วนนี้มีผลต่อการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ โดยสามารถสังเกตจากลักษณะของละอองน้ำมันที่ฉีดออกมาในการทดสอบได้

• ส่วนที่สอง การทดสอบภายในห้องเผาไหม้ : แบ่งเป็นการทดสอบโดยใช้เชื้อเพลิง LPGอย่างเดียวในการเผาไหม้ และการทดสอบโดยใช้เชื้อเพลิง LPGร่วมกับน้ำมันพืชในการเผาไหม้ด้วยมีจุดประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเครื่องยนต์จากการใช้หัวฉีดใหม่ที่ได้ออกแบบมาการทดสอบโดยใช้เชื้อเพลิงLPG อย่างเดียวในการเผาไหม้เพื่อจะรู้อุณหภูมิและความดันเมื่อมีการจ่ายเชื้อเพลิงและอากาศในปริมาณมากสุดและได้เป็นค่าสูงสุดของ เครื่องยนต์ที่สามารถทำได้ การทดสอบโดยใช้เชื้อเพลิง LPGร่วมกับน้ำมันพืชในการเผาไหม้ด้วย เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เมื่อมีการใช้น้ำมันพืชร่วม โดยใช้ค่าสภาวะสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้จากการทดสอบโดยใช้เชื้อเพลิงLPGอย่างเดียวในการเผาไหม้แล้วจึงเริ่มการฉีดน้ำมันพืช

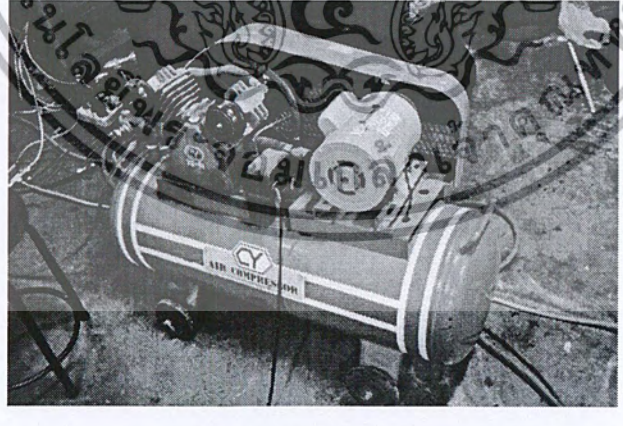
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 อุปกรณ์การทดลอง



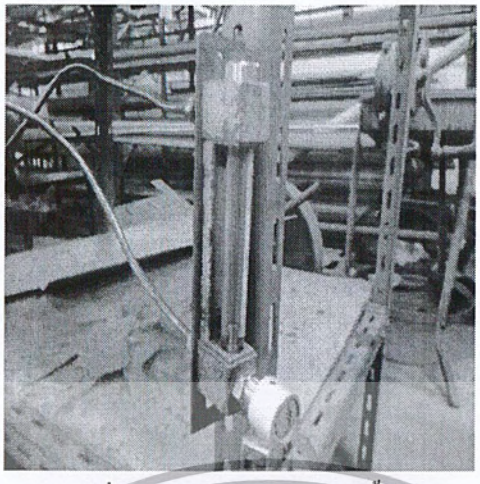
รูปที่ 5.1 ชุดเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์

รูปที่ 5.2 ชุดหัวฉีดเชื้อเพลิง

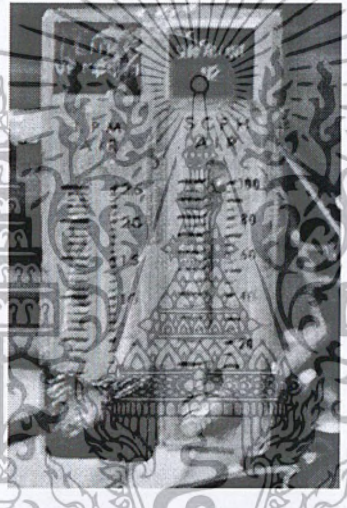


รูปที่ 5.3 อุปกรณ์จ่ายอากาศ

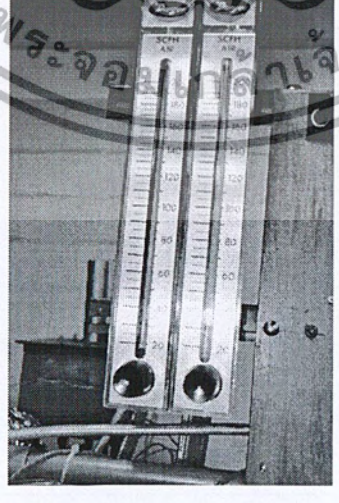
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 มาตรวัดอัตราการไหลน้ำมัน



รูปที่ 5.5 มาตรวัดอัตราการไหลLPG

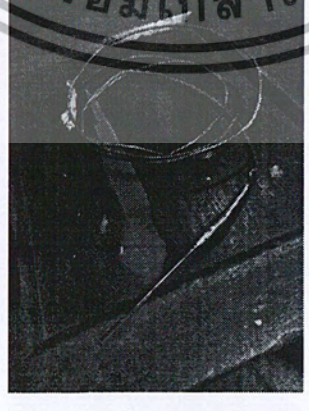


รูปที่ 5.6 มาตรวัดอัตราการไหลอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

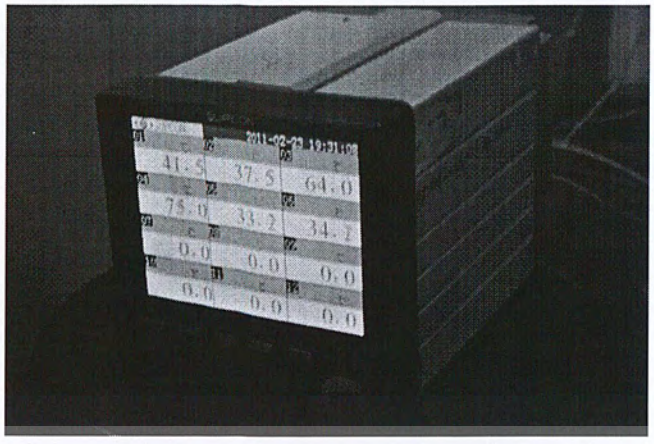
รูปที่ 5.7 ถังความดัน

รูปที่ 5.8 ถังแก๊ส 2 ถัง

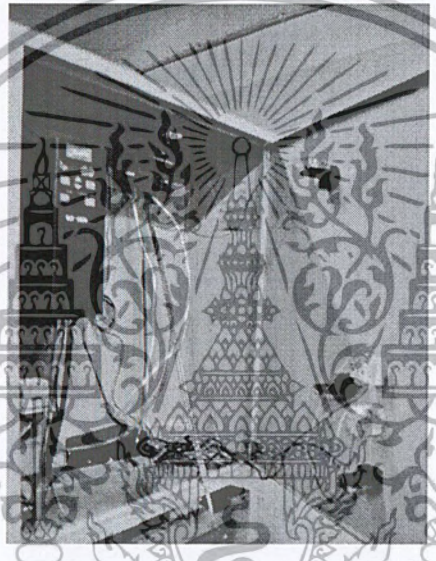


รูปที่ 5.9 เทอร์โมคัปเปิล Type K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 อุปกรณ์อ่านค่าอุณหภูมิ Data Rogger



รูปที่ 5.11 ชุดควบคุมรอบ Blower และชุดจุดระเบิด

5.3 วิธีการทดลอง

5.3.1 การทดลองภายนอกห้องเผาไหม้: การทดสอบหาสัดส่วนอัตราการไหลน้ำมันและอากาศภายนอกห้องเผาไหม้

การทดลองชุดที่สองเป็นการหาสัดส่วนอัตราการไหลน้ำมันและอากาศ โดยเป็นการทดสอบภายนอกเพื่อให้ได้เห็นลักษณะของฝอยละอองที่ฉีดออกมา เพราะในการฉีดน้ำมันเพื่อให้ช่วยให้เกิดเผาไหม้นั้น น้ำมันต้องระเหยแล้วคายพลังงานความร้อนออกมา นอกจากอุณหภูมิห้องเผาไหม้ต้องสูงพอ ขนาดของฝอยละอองก็มีส่วน ฝอยละอองน้ำมันต้องมีขนาดเล็ก เพื่อให้ใช้พลังงานความร้อนน้อยลงในการระเหย โดยพลังงานความร้อนที่ละอองน้ำมันให้ออกมาต้องมากกว่าที่ละอองดูดซับใช้ในการระเหย จึงต้องทดสอบเพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูลักษณะละอองน้ำมันที่อัตราการไหลต่างๆจากภายนอกก่อน เพื่อในการฉีดเข้าห้องเผาไหม้นั้นละอองน้ำมันมีความเป็นฝอยละอองเพียงพอ โดยส่วนที่หนึ่งจะให้อัตราการไหลอากาศคงที่แล้วปรับอัตราการไหลน้ำมัน ส่วนที่สองให้อัตราการไหลน้ำมันคงที่แล้วปรับอัตราการไหลอากาศ

1.ขั้นเตรียมชุดถังน้ำมัน: เทน้ำมันพืชลงในถังความดัน ต่อท่อจากถังความดันเข้ารูน้ำมันที่ตัวหัวฉีด ต่อสายลมจากคอมแพลสเซอร์เข้าที่ตัวถังน้ำมัน ปิดวาล์วน้ำมัน เปิดลมอัดเข้าตัวถังความดันให้ได้ความดันประมาณ 4 Bar

1.1 เตรียมฉากรับละอองน้ำมัน โดยวางตั้งฉากห่างจากปลายหัวฉีดประมาณ 15 cm

รูปที่ 5.12 ชุดทดลองฉีดน้ำมันปาล์ม

2.เริ่มการทดลอง

ส่วนที่หนึ่ง : อัตราการไหลอากาศคงที่แล้วปรับอัตราการไหลน้ำมัน

2.1.1 ปรับอัตราการไหลอากาศคงที่ไว้ 80 scfh เปิดวาล์วน้ำมัน เริ่มอัตราการไหลน้ำมันที่ 100 ml/min ให้หัวฉีดฉีดละอองน้ำมันใส่ฉากรับประมาณ 10 วินาที บันทึกผลโดยการถ่ายภาพทั้งลำละอองน้ำมันและน้ำมันบนฉากรับ

2.1.2 ปรับอัตราการไหลน้ำมันให้เพิ่มขึ้นจาก 100 ml/min จนถึง 500 ml/min โดยเพิ่มทีละ 100 ml/minแล้วบันทึกผลเหมือนในข้อ 2.1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่สอง : อัตราการไหลน้ำมันคงที่แล้วปรับอัตราการไหลอากาศ

2.2.1 ปรับอัตราการไหลน้ำมันคงที่ไว้ 300 ml/min เริ่มเปิดอัตราการไหลอากาศที่ 50 scfh ให้หัวฉีดฉีดละอองน้ำมันใสฉากรับประมาณ 10 วินาที บันทึกผลโดยการถ่ายภาพทั้งลำละอองน้ำมัน และน้ำมันบนฉากรับ

2.2.2 ปรับอัตราการไหลอากาศให้เพิ่มขึ้นจาก 50 scfh จนถึง 100 scfh โดยเพิ่มทีละ 10 scfh แล้วบันทึกผลเหมือนในข้อ 2.2.1

5.3.2 การทดสอบภายในห้องเผาไหม้ : การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์โดยใช้เชื้อเพลิง LPG อย่างเดียวในการเผาไหม้

การทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ ใช้เชื้อเพลิงเป็น LPG อย่างเดียวในการเผาไหม้ เพื่อดูผลจากการใช้หัวฉีดเชื้อเพลิงที่ได้ออกแบบมาใหม่ต่อประสิทธิภาพในการเผาไหม้ จะได้ผลเป็นอุณหภูมิและความดัน ทุกช่วงการจ่ายเชื้อเพลิงตั้งแต่เริ่มจนถึงระดับสุดท้าย ซึ่งในระดับสุดท้ายจ่ายเชื้อเพลิงและอากาศในปริมาณมากสุด ผลอุณหภูมิและความดันที่ได้ จะเป็นค่าสูงสุดของเครื่องยนต์ที่สามารถทำได้

1.ขั้นตอนการเตรียมเครื่องยนต์

1.1 เช็คการทำงานของสวิตถ์วาล์วLPG

1.2 เช็คการทำงานของตัว ignition ที่หัวเทียน

1.3 ตั้งระดับการไหลของLPG ที่วาล์ว โดยวาล์ว1ระดับ1ให้ไหล 10 scfh, วาล์ว1ระดับ2ให้ไหล 20 scfh, วาล์ว 1 ระดับ 3 ให้ไหล 40scfh, วาล์ว2ระดับ1ให้ไหล 10 scfh และวาล์ว 2 ระดับ 2 ให้ไหล 20 scfh

1.4 ติดตั้งเทอร์โมคับเปิลที่จุดต่างๆ

1.5 เปิดอัตราการไหลอากาศหัวจุดระเบิด 80 scfh

1.6 เปิดอัตราการไหลอากาศชุดหัวฉีดอันที่ 1 ที่ 80 scfh

1.7 เปิดอัตราการไหล Blower ที่ 20 Hz

2.ขั้นตอนการ START: ทำการ Spark ตัว Ignition กดสวิตถ์แก๊สสำหรับการจุดระเบิด ดูอุณหภูมิที่data loger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดก่อนเข้าห้องเผาไหม้ ถ้าการSTARTสำเร็จ อุณหภูมิจุดนี้จะต้องสูงขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิคงที่ให้ปิดวาล์วแก๊ส แล้วเปิด Blower ไล่แก๊ส ทำการSTART ใหม่อีกครั้ง แล้วค่อยเข้าสู่ขั้นตอนให้เครื่องทำงาน

3.ขั้นตอนให้เครื่องทำงาน

3.1 เปิดสวิตถ์วาล์ว1ให้อัตราการไหลแก๊สเป็น 10 scfh ดูที่data loger อุณหภูมิที่จุดหลังห้องเผาไหม้จะเพิ่มขึ้นค่อยเพิ่มอัตราการไหลอากาศของหัวฉีด จนอุณหภูมิที่จุดหลังห้องเผาไหม้เริ่มคงที่ บันทึกอุณหภูมิที่จุดหลังห้องเผาไหม้ หลังเทอร์ไบน์ ความดันหลังห้องเผาไหม้ หลังเทอร์ไบน์ และ อัตราการไหลอากาศหัวฉีด

3.2 ทำการเปิดสวิตถ์วาล์ว1 ให้อัตราการไหลแก๊สเป็น 20 scfh เพิ่มBlower เป็น 25 Hz เพื่อช่วยการเผาไหม้ดูที่data loger ค่อยเพิ่มอัตราการไหลอากาศของหัวฉีด จนอุณหภูมิที่จุดหลังห้องเผาไหม้เริ่มคงที่ บันทึกผลเหมือนข้อ 3.1

3.3 ทำการเปิดสวิตถ์วาล์ว1 ให้อัตราการไหลแก๊สเป็น 30 scfh เพิ่มBlower เป็น 30 Hz ดูที่data loger ค่อยเพิ่มอัตราการไหลอากาศของหัวฉีด จนอุณหภูมิที่จุดหลังห้องเผาไหม้เริ่มคงที่ บันทึกผลเหมือนข้อ 3.1

3.4 ทำการเปิดสวิตถ์วาล์ว1 ให้อัตราการไหลแก๊สเป็น 40 scfh เพิ่มBlower เป็น 35 Hz ดูที่data loger ค่อยเพิ่มอัตราการไหลอากาศของหัวฉีด จนอุณหภูมิที่จุดหลังห้องเผาไหม้เริ่มคงที่ บันทึกผลเหมือนข้อ 3.1

3.5 ทำการเปิดสวิตถ์วาล์ว1 ให้อัตราการไหลแก๊สเป็น 50 scfh เพิ่มBlower เป็น 40 Hz ดูที่data loger ค่อยเพิ่มอัตราการไหลอากาศของหัวฉีด จนอุณหภูมิที่จุดหลังห้องเผาไหม้เริ่มคงที่ บันทึกผลเหมือนข้อ 3.1

3.6 ทำการเปิดสวิตถ์วาล์ว1 ให้อัตราการไหลแก๊สเป็น 60 scfh เพิ่มBlower เป็น45 Hz ดูที่data loger ค่อยเพิ่มอัตราการไหลอากาศของหัวฉีด จนอุณหภูมิที่จุดหลังห้องเผาไหม้เริ่มคงที่ บันทึกผลเหมือนข้อ 3.1

3.7 ทำการเปิดสวิตถ์วาล์ว1 ให้อัตราการไหลแก๊สเป็น 70 scfh เพิ่มBlower เป็น 50 Hz ดูที่data loger ค่อยเพิ่มอัตราการไหลอากาศของหัวฉีด จนอุณหภูมิที่จุดหลังห้องเผาไหม้เริ่มคงที่ บันทึกผลเหมือนข้อ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.3 การทดสอบภายในห้องเผาไหม้: การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับLPG ในการเผาไหม้ในการเผาไหม้

การทดลองชุดนี้เป็นการทดลองฉีดน้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับLPG โดยมีวัตถุประสงค์ดูผลของการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ เมื่อมีการใช้น้ำมันพืชช่วยให้การเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ดีขึ้นหรือไม่ โดยให้เครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ทำงานจนถึงระดับสุดท้าย ความดันและอุณหภูมิสูงสุดที่ได้จากผลการทดลองข้อ 4.3.3 แล้วจึงทำการฉีดน้ำมัน

1.ขั้นตอนติดตั้งชุดถังน้ำมัน : เท่น้ำมันพืชลงในถังความดัน ต่อท่อจากถังความดันเข้ารูน้ำมันที่ตัวหัวฉีด ต่อสายลมจากคอมแพลสเซอร์เข้าที่ตัวถังน้ำมัน ปิดวาล์วน้ำมัน เปิดลมอัดเข้าตัวถังความดันให้ได้ความดันประมาณ 4 Bar

2.ทำการเตรียมและให้เครื่องยนต์ทำงานตามข้อ 4.3.1 โดยใช้สัดส่วน LPG และอากาศจากผลการทดลอง บันทึกอุณหภูมิที่จุดหลังห้องเผาไหม้ หลังเทอร์ไบน์ ความดันหลังห้องเผาไหม้ หลังเทอร์ไบน์ เพื่อใช้เป็นค่าเปรียบเทียบเมื่อได้ฉีดน้ำมันพืช

3.เปิดวาล์วน้ำมัน ฉีดอัตราการไหลน้ำมันที่ 100 ml/min บันทึกอุณหภูมิที่จุดหลังห้องเผาไหม้ หลังเทอร์ไบน์ความดันหลังห้องเผาไหม้ หลังเทอร์ไบน์

4.ปรับอัตราการไหลน้ำมันเพิ่มทีละ 100 ml/min บันทึกผลเหมือนข้อ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ผลการทดลอง

6.1 บทนำ

โครงงานนี้ได้ศึกษาการเพิ่มการประสิทธิภาพการเผาไหม้โดยการใช้น้ำมันพืชในการเพิ่มอุณหภูมิหลังการเผาไหม้ พร้อมทั้งใช้การผสม อากาศ-เชื้อเพลิง ก่อนการเผาไหม้ เพื่อเป็นการทำให้เปลวไฟที่ได้จากการเผาไหม้นั้นเสถียรภาพและเป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยจะทำการเปรียบเทียบผลของการเผาไหม้ในแบบปัจจุบันที่เป็นการเผาไหม้แบบธรรมดา ที่ไม่มีการผสมอากาศ-เชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ กับการมีท่อผสมอากาศ-เชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ โดยตัวแปรที่จะเก็บค่า คือลักษณะเปลวไฟที่ต่างกัน และอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ซึ่งจะส่งผลต่ออุณหภูมิหลังการเผาไหม้ และประสิทธิภาพของการเผาไหม้ พร้อมทั้งศึกษาผลของการฉีดน้ำมันปาล์มร่วมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้

6.2 ผลของการฉีดน้ำมันปาล์มร่วมที่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิห้องเผาไหม้

ในการศึกษาการฉีดน้ำมันปาล์มร่วมด้วยในการเผาไหม้นั้นเพื่อหวังให้อุณหภูมิจากการเผาไหม้เพิ่มขึ้นจากพลังงานความร้อนของน้ำมันปาล์ม โดยในการทดลองนั้นจะทดลองนอกห้องเผาไหม้และภายในห้องเผาไหม้

6.2.1 ทดลองนอกห้องเผาไหม้

อัตราปริมาณของอากาศต่อเชื้อเพลิงมีผลอย่างมากต่อการกระจายของละอองละอองโดยเชื้อเพลิงต้องมีอากาศที่มีความดันที่เหมาะสมไหลผ่านเพราะเมื่ออากาศที่มีแรงดันสูงเท่าไหร่ ก็จะหมายถึงการตัดเฉือนอนุภาคของหยดน้ำมันให้แตกตัวเป็นละอองมากเท่านั้น ซึ่งการทดลองนอกห้องเผาไหม้นี้ เพื่อหาอัตราส่วนผสมของการน้ำมันปาล์ม-อากาศ ที่ฉีดออกมาแล้วให้ลักษณะของลำเชื้อเพลิงที่เหมาะสมแก่การติดตั้งภายในเครื่องยนต์กังหันก๊าซชุดนี้ โดยลักษณะที่ต้องการคือ

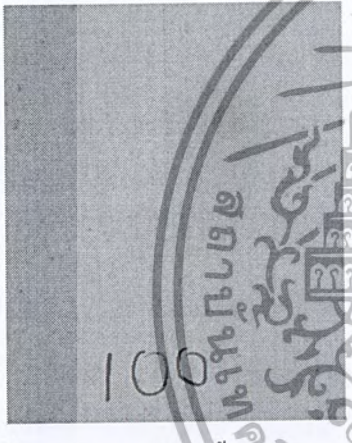
1. มุมละอองต้องมีขนาดที่เหมาะแก่การติดตั้งภายในตัวเครื่อง ต้องไม่กว้างเกินหรือแคบเกินไป คือมุมละอองต้องอยู่ภายในช่องของปูนทนไฟขนาด 10cm.
2. ฉีดเชื้อเพลิงออกมาได้เป็นละอองละเอียดมากที่สุด เพื่อง่ายต่อการจุดติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองโดยหาปริมาณอากาศต่ำสุดที่ทำให้น้ำมันปาล์มสามารถเป็นฝอยละอองได้ พบว่าปริมาณอากาศ 80 SCFH เป็นปริมาณอากาศที่ต่ำสุดที่น้ำมันจะเป็นฝอยละอองได้ในอัตราการไหลน้ำมันต่ำๆแต่ในอัตราการไหลน้ำมันที่มากขึ้น พบว่าน้ำมันจะเกิดเป็นหยดและไม่ค่อยแตกตัวเป็นฝอยละออง

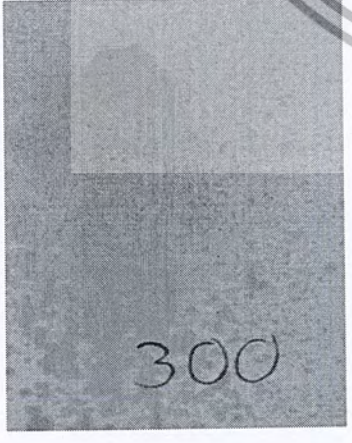
6.2.1.1 ผลการทดสอบเพื่อหาสัดส่วนอัตราน้ำมันที่เหมาะสมที่สุดในหัวฉีด

ทำการทดสอบที่อัตราการไหลอากาศต่ำสุดที่ทำให้น้ำมันปาล์มเป็นละอองได้คือ 80 scfh การทดลองนี้จึงยึดอัตราการไหลอากาศคงที่ 80 scfh แล้วปรับอัตราการไหลน้ำมัน เริ่มอัตราการไหลน้ำมันที่ 100 ml/min แล้วปรับอัตราการไหลน้ำมันให้เพิ่มขึ้นจาก 100 ml/min จนถึง 500 ml/min โดยเพิ่มทีละ 100 ml/min

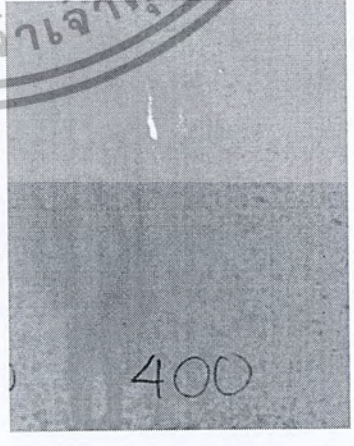


รูปที่6.1 อัตราการไหลน้ำมัน 100 ml/min

รูปที่6.2 อัตราการไหลน้ำมัน 200 ml/min

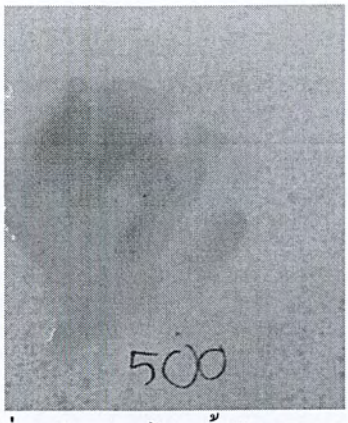


รูปที่6.3 อัตราการไหลน้ำมัน 300 ml/min



รูปที่6.4อัตราการไหลน้ำมัน 400 ml/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

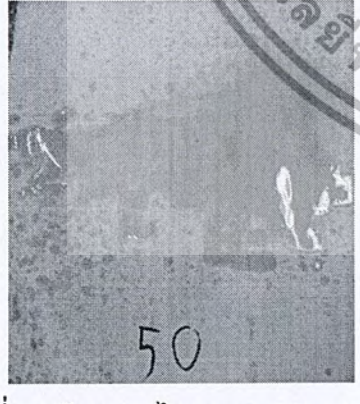


รูปที่6.5อัตราการไหลน้ำมัน 500 ml/min

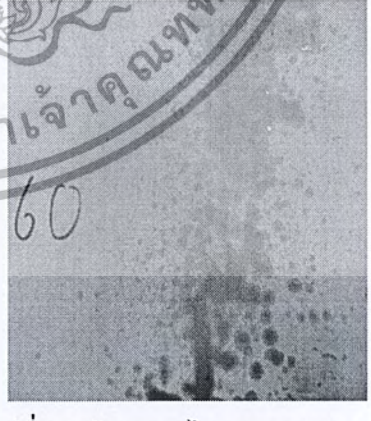
ในการทดลองที่ปริมาณอากาศ 80 SCFH พร้อมด้วยอัตราการไหลน้ำมันปาล์มที่ 100 200 300 400 และ 500 ml/min พบว่า ยิ่งเพิ่มปริมาณอากาศมากขึ้น จะทำให้น้ำมันปาล์มเป็นฝอยละอองได้ดียิ่งขึ้น โดยพบว่าที่อัตราการไหลที่น้ำมัน 300 ml/min จะให้ลำเชื้อเพลิงที่เป็นฝอยละอองมากที่สุดแต่พบว่าก็ยังมีหยดน้ำมันไหลหยดอยู่ที่ปลายหัวฉีด จึงสันนิฐานว่าน่าจะเกิดจากความดันอากาศที่เข้าไปตัดเฉือนฟิล์มน้ำมัน ยังไม่เพียงพอ ทำให้เกิดน้ำมันบางส่วนที่ไม่ถูกอากาศตัดเฉือน จึงเกิดหยดน้ำมันไหลที่ปากหัวฉีด จึงนำมาสู่การทดลองเพื่อหาปริมาณอากาศที่จะทำให้เกิดการฉีดเป็นละอองที่สุดและไม่มีหยดไหลตรงปากทางหัวฉีด

6.2.1.2 ผลการทดสอบเพื่อหาสัดส่วนอากาศที่ดีที่สุดในอัตราการไหลน้ำมัน300 ml/min

เมื่อทราบแล้วว่าอัตราการไหลน้ำมันที่ 300 ml/min เป็นอัตราการไหลน้ำมันที่เหมาะสมที่สุดของหัวฉีดชุดนี้จะจ่ายได้ จึงคงที่อัตราการไหลน้ำมันไว้ที่ 300 ml/min แล้วปรับอัตราการไหลอากาศให้เพิ่มขึ้นจาก 50 scfh จนถึง 100 scfh โดยทดลองเพิ่มอากาศทีละ 10 scfh ได้ผลดังนี้

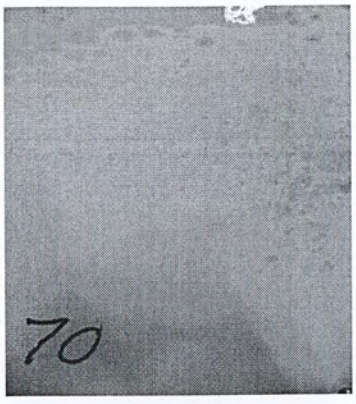


รูปที่ 6.6 อัตราการไหลอากาศ 50 scfh

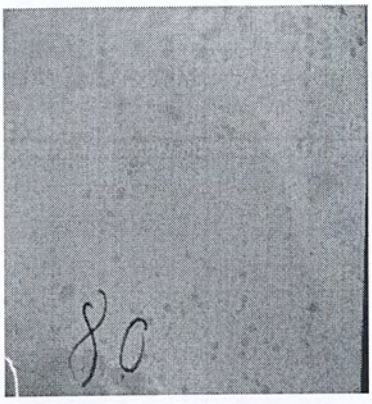


รูปที่ 6.7 อัตราการไหลอากาศ 60 scfh

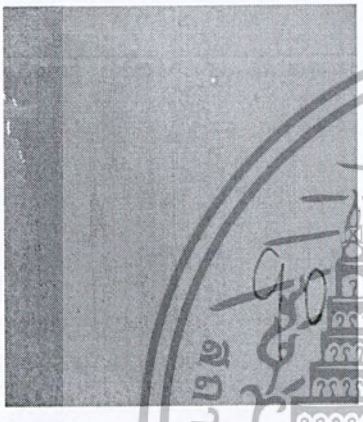
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่6.8 อัตราการไหลอากาศ 70 scfh



รูปที่6.9 อัตราการไหลอากาศ 80 scfh



รูปที่6.10 อัตราการไหลอากาศ 90 scfh

รูปที่ 6.11อัตราการไหลอากาศ 100 scfh

จากการทดลองที่อัตราการไหลน้ำมันปาล์ม 300 ml/min และหาอัตราการไหลอากาศที่เหมาะสม พบว่าที่อัตราการไหลอากาศ 100 scfh จะให้ลำเชื้อเพลิงเป็นละอองเล็กและละเอียดที่สุด และไม่เกิดหยดน้ำมันไหลตรงปากทางหัวฉีด

6.2.2 การทดลองภายในห้องเผาไหม้

การทดสอบภายในห้องเผาไหม้เพื่อดูประสิทธิภาพการเผาไหม้จริงภายในเครื่องยนต์เมื่อใช้อุปกรณ์ทั้งหมดที่ได้ศึกษาและสร้างขึ้นมา โดยได้ผลการทดลองดังนี้

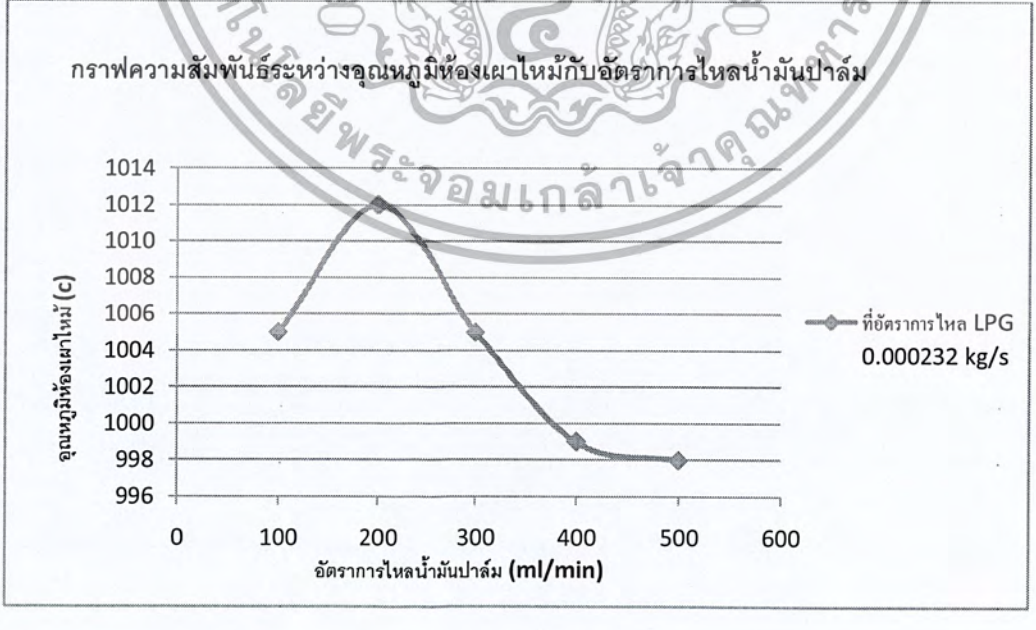
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่6.1ผลการทดลองภายในการเผาไหม้ LPG เพียงอย่างเดียว

Q (อัตราการไหล LPG)		Primary Air		Secondary Air					
Q LPG (SCFH)	Q LPG (kg/s)	SCFH	Kg/s	Hz	Kg/s	T_2 (°C)	T_3 (°C)	P_2(Pa)	P_3(Pa)
10	0.000032	200	0.001856	30	0.0	118	458	100294	101960
20	0.000063	200	0.001856	40		111	451	100686	104802
30	0.000095	210	0.001949	45	0.052752	79	488	100686	105194
40	0.000127	350	0.003249	50	0.053832	68	704	100784	107056
50	0.000159	380	0.003527	50	0.075077	79	505	100882	108232
60	0.000191	380	0.003527	50	0.075077	70	944	100980	108820
70	0.000232	400	0.003711	50	0.091352	65	950	101274	111956

ตารางที่6.2 ผลการทดลองเมื่อมีการจ่ายน้ำมันร่วมด้วยกับLPG

Palm oil (LPM)	Injector air		T_2(°C)	T_3(°C)
	SCFH	Kg/s		
100	45	0.000417	53	970
200	51	0.000473	54	1012
300	54	0.000501	57	1005
400	54	0.000501	65	999
500	54	0.000501	68	998



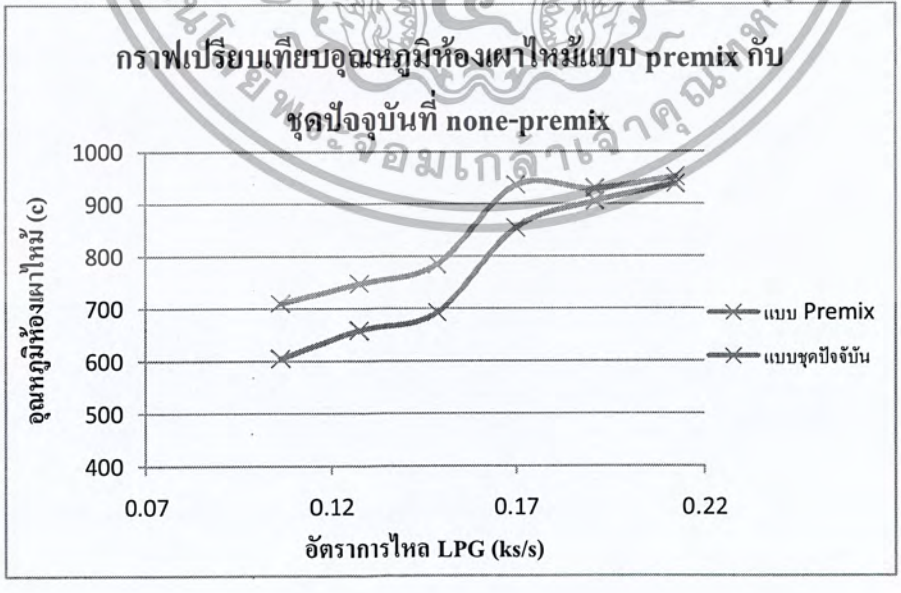
รูปที่ 6.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการจ่ายน้ำมันปาล์มที่มีผลต่ออุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 6.12 จะพบว่า ภายหลังที่หยุดการเพิ่มเชื้อเพลิงLPGโดยอัตราการไหลของเชื้อเพลิงLPGคงที่อยู่ที่ 0.000232 kg/s จนอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิเกือบจะคงที่ โดยอยู่ที่ประมาณ 950 ^{o}C ที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มต่ำๆที่ 100ml/min จะทำให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงขึ้น และจะสูงที่สุดในช่วงอัตราการไหลน้ำมันปาล์มที่ 200ml/min คืออุณหภูมิสูงถึง1,012 ^{o}C และเมื่อเพิ่มอัตราการจ่ายน้ำมันปาล์มอีก จะพบว่าจะอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ก็จะลดลงเรื่อยๆ ซึ่งสันนิษานว่า น่าจะเกิดจากการที่ระบบต้องสูญเสียพลังงานความร้อนส่วนหนึ่งให้กับน้ำมันปาล์มที่เพิ่มปริมาณเข้ามา เพื่อช่วยในการทำให้น้ำมันปาล์มระเหยเป็นไอ ซึ่งจะช่วยในการจุดติด จึงทำให้ระบบมีอุณหภูมิลดลงซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ จึงสรุปได้ว่าในเครื่องยนต์กังหัสแก๊สชุดปัจจุบันนี้ หลังจากที่จ่ายเชื้อเพลิง LPG ในอัตราเต็มที่แล้วคือ 0.000232 kg/s แล้วเพิ่มอัตราการจ่ายน้ำมันปาล์มพบว่าจะสามารถจ่ายอัตราการไหลน้ำมันปาล์มได้สูงสุดที่200 ml/min ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิหลังการเผาไหม้สูงถึง1,012 ^{o}C ถ้าเพิ่มมากกว่านี้อุณหภูมิหลังจาการเผาไหม้จะลดลงเรื่อยๆซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ลดลงตามลำดับ

6.3 ผลของท่อ Premix chamber ที่มีผลต่ออุณหภูมิการเผาไหม้

การทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง LPG แบบรุ่นปัจจุบันที่ไม่มีการผสมอากาศ-เชื้อเพลิง ก่อนการเผาไหม้(none Premix) กับ การมีผสมอากาศ-เชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ (Premix) โดยเปรียบเทียบที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง LPG เดียวกัน จะได้กราฟแสดงอุณหภูมิจากการเผาไหม้เป็นดังกราฟต่อไปนี้



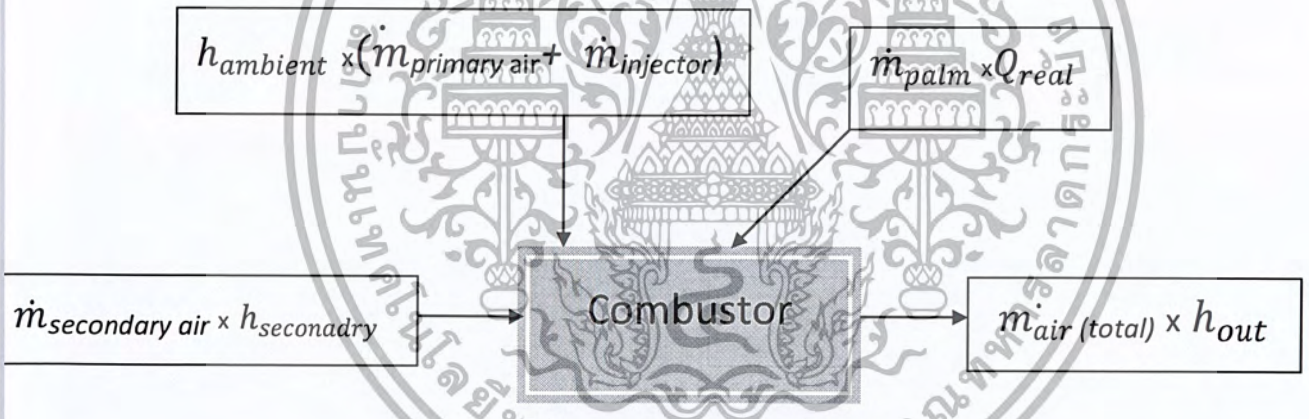
รูปที่6.13 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิห้องเผาไหม้ของการเผาไหม้แบบ premix และแบบ none premix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะพบว่าที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงเดียวกัน การเผาไหม้แบบ Premix จะมีอุณหภูมิจากการเผาไหม้ที่สูงกว่า ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ ซึ่งถ้าอากาศที่เป็นไอเสียจากการเผาไหม้นั้นมีอุณหภูมิ และความดันสูง จะส่งผลให้อากาศที่ไปกระทบตัวใบพัดของเครื่องยนต์มีพลังงานมากขึ้น ส่งผลให้รอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น และจะให้งานจากการเครื่องยนต์สูงขึ้นตามลำดับ

6.4 ประสิทธิภาพการเผาไหม้

ในการวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ โดยการวัดอุณหภูมิหลังการเผาไหม้ที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการฉีดน้ำมันปาล์มร่วมกับ LPG โดยจะทำการค่อยๆเพิ่มปริมาณการจ่ายน้ำมันปาล์มเมื่อ อัตราการจ่าย LPG เต็มกำลังแล้วคือที่ 0.000232 kg/sซึ่งในขณะนั้นอุณหภูมิจากการเผาไหม้จะคงที่อยู่ที่ประมาน 950 ^{O}C และสังเกตอุณหภูมิการเผาไหม้ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อมีการเริ่มจ่ายน้ำมันปาล์ม และคำนวณออกมาเป็นประสิทธิภาพการเผาไหม้ จากสูตรดังนี้



รูปที่ 6.14 แผนภาพจำลองพลังงานความร้อนทั้งหมดภายในห้องเผาไหม้

$$\dot{m}_{air\ (total)} \times h_{out} = \dot{m}_{secondary\ air} \times h_{seconadry} + h_{ambient} \times (\dot{m}_{primary\ air} + \dot{m}_{injector}) + \dot{m}_{palm} \times Q_{real}$$

จะได้

$$\dot{m}_{palm} \times Q_{real} = (\dot{m}_{air\ (total)} \times h_{out}) - h_{ambient} \times (\dot{m}_{primary\ air} + \dot{m}_{injector}) - (\dot{m}_{secondary\ air} \times h_{seconadry})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_{out} = \dot{m}_{palm} \times Q_{real}$$

$$Q_{in} = \dot{m}_{palm} LHV_{palm}$$

$$\eta_t = \frac{Qout}{Qin}$$

โดยที่ Q_{real} คือพลังงานความร้อนจริงที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันปาล์ม

h_{out} คือ Enthalpy ของอากาศภายในห้องเผาไหม้ หลังจากเผาไหม้น้ำมันปาล์มร่วมด้วย

โดย $h_{seconadry}$ วัดแบบ Stagnation

$$h_{out} = h_s + \frac{v_{out}}{2}$$

โดย $v_{out} = \frac{\dot{m}_{air\ (total)}}{\rho A}$

$h_{ambient}$ คือ Enthalpy of air at 35°C

$h_{seconadry}$ คือ Enthalpy ของอากาศภายในห้องเผาไหม้ 45 °C ที่มี $v_{secondary}$ =9.18 m/s โดย $h_{seconadry}$ วัดแบบ Stagnation

$$h_{seconadry} = h_s + \frac{v_{secondary}}{2}$$

$$\dot{m}_{air\ (total)} = \dot{m}_{primary\ air} + \dot{m}_{secondary\ air} + \dot{m}_{injector\ air}$$

$\dot{m}_{primary\ air}$ อัตราการไหลอากาศที่จ่ายให้ภายใน *Premix Chamber* เพื่อ premix เชื้อเพลิง LPG ก่อนการเผาไหม้

$\dot{m}_{secondary\ air}$ คืออัตราการไหลอากาศสูงสุดภายในห้องเผาไหม้ มีค่าเท่ากับ 0.091352008 kg/s

$\dot{m}_{injector\ air}$ คืออัตราการไหลอากาศภายในหัวฉีดน้ำมันปาล์มเพื่อทำให้เกิด Atomization เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการจ่ายน้ำมันปาล์มร่วมกับLPG

ตาราง 6.3 ผลของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เพิ่มขึ้น

Palm oil (ml/min)	T_f(°C)	η_t(%)
100	970	0.60
200	1015	1.06
300	1005	0.73
400	999	0.71
500	987	0.70

จากตาราง 6.3 พบว่าในชุดทดลองหัวฉีดน้ำมันปาล์มชุดนี้ อัตราการไหลน้ำมันปาล์มที่เหมาะสมที่สุดคือ 200 ml/min ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิภายหลังห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้นจาก 950 °C เป็น 1,012 °C คิดเป็นประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เพิ่มขึ้นเป็น 1.06 % ซึ่งเปอร์เซ็นการเผาไหม้ที่เพิ่มขึ้นที่สูงสุดของการทำวิจัยหัวฉีดน้ำมันปาล์มชุดนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

วิจารณ์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. ความดันหลังห้องเผาไหม้ เพิ่มขึ้นน้อยมากจนแถบจะกล่าวได้ว่าไม่ได้เพิ่มขึ้นเลย น่าจะมาจากปัญหาทางโครงสร้าง เพราะเครื่องยนต์กังหันก๊าซชุดปัจจุบันนี้มีการเปลี่ยนแปลงทางอุปกรณ์หลายอย่างพร้อมกัน ซึ่งอาจทำให้ระบบยังไม่เสถียร และอาจมีข้อผิดพลาดขณะทำการติดตั้งอุปกรณ์ โดยปัญหาความดันหลังการเผาไหม้ไม่เพิ่ม สันนิธานว่าน่าจะเกิดการรั่วของประเก็นรอยต่อภายในห้องเผาไหม้ชั้นในกับชั้นนอกที่เป็นชั้นของไอเสียที่วกกลับมาอุ่นไอดี หรือ Heat Recovery (HR) ที่มีความดันต่ำกว่าไอเสียภายในห้องเผาไหม้ จึงเกิดการรั่วและไหลออกไปในชั้นของไอเสีย HR ทำให้ไอเสียที่ไปดันTurbine มีความดันตกอย่างมาก ส่งผลให้Turbine ไม่หมุนและCompressor ไม่สามารถเลี้ยงตัวเองได้ ทำให้ในการทดลองต้องเปิดเครื่องอัดอากาศBlower อยู่ตลอดเวลา ไม่สามารถเข้าสู่วัฏจักรแก๊สเทอร์ไบน์ได้ โดยข้อเสนอแนะคือ ควรจะแก้ไขการติดตั้งอุปกรณ์Heat Recovery ใหม่โดยประเก็นรอยต่อในแต่ละชั้นควรมีการแก้ไขและติดตั้งให้แน่นหนากว่านี้ เพื่อไม่ให้เกิดการรั่วไหลอากาศภายในห้องเผาไหม้
2. การเผาไหม้แย่ลงเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันปาล์ม

โดยปัญหานี้มีการสันนิธานว่าน่าจะเกิดจากหลายสาเหตุดังนี้

2.1 อากาศภายในห้องเผาไหม้ไม่เพียงพอ เพราะที่อัตราการจ่าย LPG สูงสุดที่จ่ายได้นั้น ปริมาณอากาศก็สูงสุดเท่าที่อุปกรณ์Blower จะอัดอากาศให้ได้ ซึ่ง ณ ขณะนั้น ลักษณะลำเปลวไฟเริ่มออกเป็นสีส้มและยาวไปถึงตัวTurbine แสดงถึงการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งอากาศไม่เพียงพอต่อเชื้อเพลิงที่เพิ่มมากขึ้น และยิ่งCompressor ไม่สามารถเลี้ยงตัวเองได้ด้วย ต้องอาศัยแต่Blower ในการอัดอากาศเพียงอย่างเดียว ทำให้อากาศไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้

2.2 อากาศภายในหัวฉีด ความดันไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการAtomization ซึ่งจะสังเกตได้จากตอนที่จ่ายปริมาณน้ำมันปาล์มปริมาณสูงสุดคือ 500 ml/min ละอองที่ออกจากปลายหัวฉีดจะไม่เป็นฝอยมากนัก และเกิดหยดน้ำมันไหลออกจากปลายหัวฉีดเป็นระยะข้อเสนอแนะคืออาจจะเปลี่ยนอุปกรณ์จ่ายอากาศที่มีกำลังมากกว่านี้ เพื่อเพิ่มการอัดอากาศที่จะเข้าไปตัดเฉือนฟิล์มน้ำมันให้เป็นละอองได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เกิดหยดน้ำมันไหลออกจากปลายหัวฉีด น่าจะมาจากโครงสร้างที่ระยะระหว่างปลายหัวฉีดอากาศกับปลายหัวฉีดน้ำมันปาล์มมีระยะห่างมากเกินไป ช่องทางเดินน้ำมันตรงทางออกยังบีบเป็นทรง Nozzleไม่พอ น้ำมันจึงไหลออกในปริมาณมากทำให้มีน้ำมันบางส่วนไม่ได้ถูกตัดเฉือนโดยอากาศ เกิดหยดไหลออกตรงปากทาง ข้อเสนอแนะคือปรับโครงสร้างให้บริเวณทางออกของน้ำมันแคบลงกว่าเดิมเพื่อเป็นการลดปริมาณน้ำมันที่ไหลออกเยอะเกินความดันอากาศจะตัดเฉือนได้หมด

3. เปลวไฟจากหัวฉีดที่ผ่านการpremix จากชุดอุปกรณ์Premix chamber จะเป็นเปลวไฟที่ไม่เสถียรและเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ในอัตราการจ่ายเชื้อเพลิง LPG สูงๆ เปลวไฟสีส้ม ลำยาว และฐานเปลวไฟลอยน่าจะมาจากอากาศที่เข้าไปPremix ยังไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ที่อัตราเชื้อเพลิงมากๆ ข้อเสนอแนะคือเพิ่มปริมาณอากาศที่เข้าไปpremix ให้มากขึ้นและแก้ไขปากทางออกLPG ให้ใหญ่ขึ้นตามความเหมาะสมเพื่อลดความเร็วเปลวไฟไม่ให้สูงเกินไป ซึ่งจะพอแก้ไขปัญหาฐานเปลวไฟลอยได้

4. Rotameter ที่ใช้วัดอากาศมีสเกลที่ไม่เพียงพอในการอ่านค่าปริมาณอากาศ ทำให้การคำนวณ Air- Fuel Ratio ผิดไปจากทางทฤษฎีมาก และการอ่านค่าปริมาณเพื่อเอามาใช้คำนวณค่าต่างๆผิดเพี้ยนไปมาก ข้อเสนอแนะคือเปลี่ยนRotameter ที่มีสเกลอ่านค่าได้มากกว่านี้

จากปัญหาข้างต้นส่วนใหญ่จะมาจากปริมาณอากาศในปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ไม่เพียงพอจึงเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ถึงแม้จะมีปั๊มอากาศเพิ่มเข้ามา ก็เพียงแค่ช่วยให้ปริมาณอากาศมากขึ้นแต่ไม่ทำให้อากาศมีความดันเพิ่ม จึงควรเปลี่ยนปั๊มอากาศที่มีกำลังมากกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] นาตยา เจริญสุข. “การพัฒนาชุดอุ่นเชื้อเพลิงแบบหัวเผาร่วมสาหรับหัวเผาน้ามันปาล์ม” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2549

[2] สุรชัย จึงจตุพรชัย “การพัฒนาหัวเผาน้ามันปาล์มใช้แล้ว” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.2546

[3] เกษมศิลป์ อ่อนทอง “การพัฒนาหัวเผาน้ามันพืชใช้แล้วด้วยเทคนิควัสดุพรุน” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2553

[4] กิตติภาส วศินารมณ์ “การวิเคราะห์ทางความร้อนและการจาลองเชิงตัวเลขของห้องเผาไหม้เครื่องยนต์กังหันก๊าซขนาดเล็ก(200กิโลวัตต์) ” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2553

[5] พิพัฒน์พงศ์ วัฒนวันยู สัมพันธ์ ไชยเทพ และ อภิวันท์ พลชัย “ การออกแบบห้องเผาไหม้แบบต่อเนื่องโดยใช้ไขมันปาล์มบริสุทธิ์เป็นเชื้อเพลิง” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[6] เกรียงไกร เผือกพิบูลย์ ,ธมนต์ อู่ไพบูรณ์ ,ธเรศ แสงงาม และนัฐวุฒิ ขาปู่ “ การศึกษาผลกระทบของการฉีดน้ำมันพืชร่วมกับก๊าซหุงต้มในเครื่องยนต์กังหันแก๊สขนาดเล็ก’ วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2552

[7] ธนพล พู่จิตร์กานนท์ “ Atomization”วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2544

[8] Bruce R. Munson , Donald F. Young , Theodore H. Okiishi , “Fundamentals of Fluid Mechanics 5th edition” Wiley Asia student edition

[9] Stephen R. Turns “An Introduction to Combustion concepts and application 2nd ” McGrawHill

[10] มณฑล ฉ่ำทรัพย์, นิวัฒน์ ภู่เจริญ และจารุวัตร เจริญสุข “การศึกษาและวิเคราะห์กังหันแก๊สเทอร์ไบน์แนวรัศมีขนาดเล็กเพื่อผลิตกำลังที่ 200kW” สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] นาตยา เจริญสุข. "การพัฒนาชุดอุ่นเชื้อเพลิงแบบหัวเผาร่วมสาหรับหัวเผาน้ามันปาล์ม" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2549

[2] สุรชัย จึงจตุพรชัย "การพัฒนาหัวเผาน้ามันปาล์มใช้แล้ว" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.2546

[3] เกษมศิลป์ อ่อนทอง "การพัฒนาหัวเผาน้ามันพืชใช้แล้วด้วยเทคนิควัสดุพรุน" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2553

[4] กิตติภาส วศินารมณ์ "การวิเคราะห์ทางความร้อนและการจาลองเชิงตัวเลขของห้องเผาไหม้เครื่องยนต์กังหันก๊าซขนาดเล็ก(200กิโลวัตต์) " วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2553

[5] พิพัฒน์พงศ์ วัฒนวันยู สัมพันธ์ ไชยเทพ และ อภิวันท์ พลชัย " การออกแบบห้องเผาไหม้แบบต่อเนื่องโดยใช้ไขมันปาล์มบริสุทธิ์เป็นเชื้อเพลิง" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[6] เกรียงไกร เผือกพิบูลย์ ,ธมนต์ อู่ไพบูรณ์ ,ธเรศ แสงงาม และนัฐวุฒิ ขาปู่ " การศึกษาผลกระทบของการฉีดน้ำมันพืชร่วมกับก๊าซหุงต้มในเครื่องยนต์กังหันแก๊สขนาดเล็ก" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2552

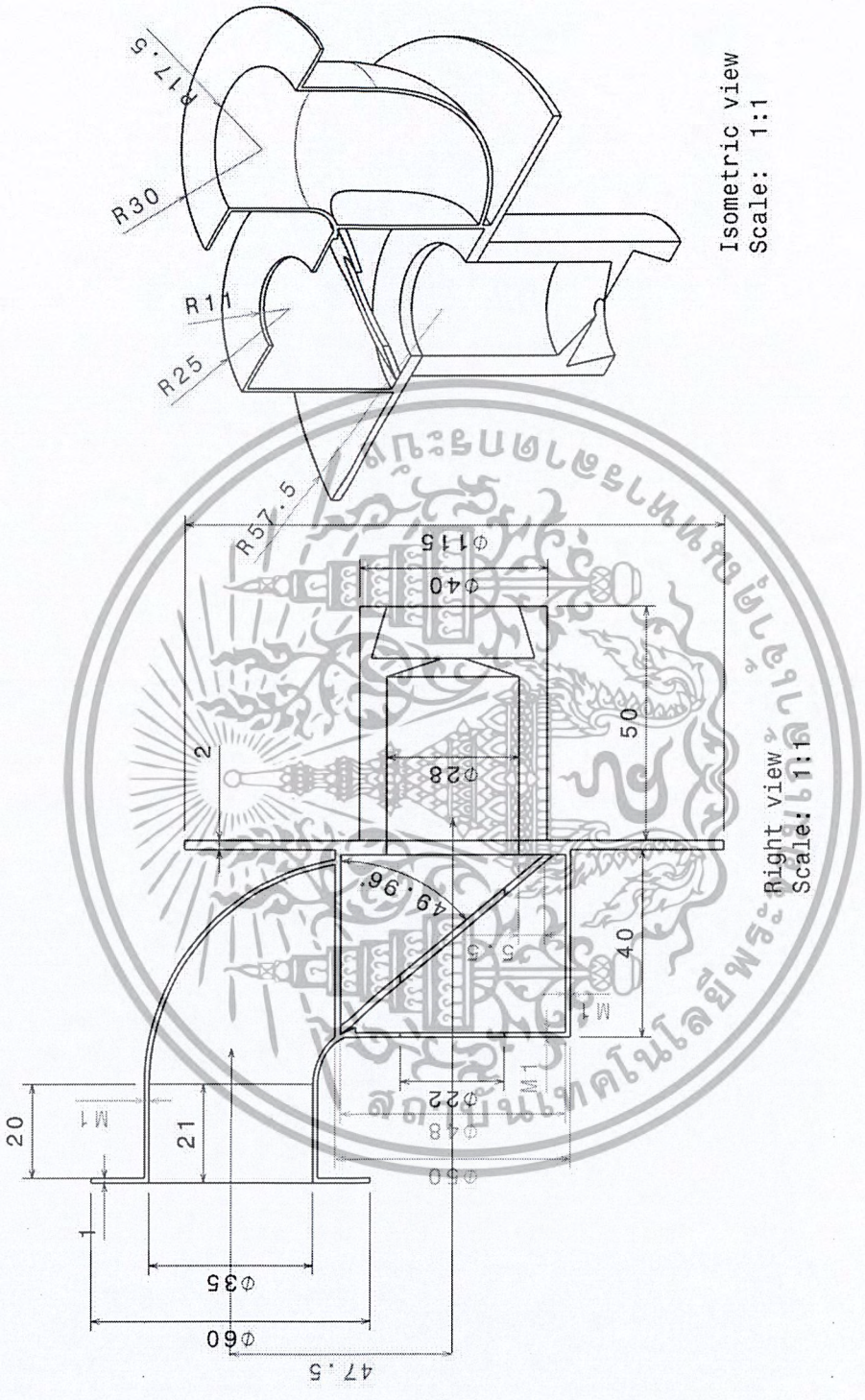
[7] ธนพล พู่จิตร์กานนท์ " Atomization"วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2544

[8] Bruce R. Munson , Donald F. Young , Theodore H. Okiishi , "Fundamentals of Fluid Mechanics 5th edition" Wiley Asia student edition

[9] Stephen R. Turns "An Introduction to Combustion concepts and application 2nd " McGrawHill

[10] มณฑล ฉ่ำทรัพย์, นิวัฒน์ ภู่เจริญ และจารุวัตร เจริญสุข "การศึกษาและวิเคราะห์กังหันแก๊สเทอร์ไบน์แนวรัศมีขนาดเล็กเพื่อผลิตกำลังที่ 200kW" สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

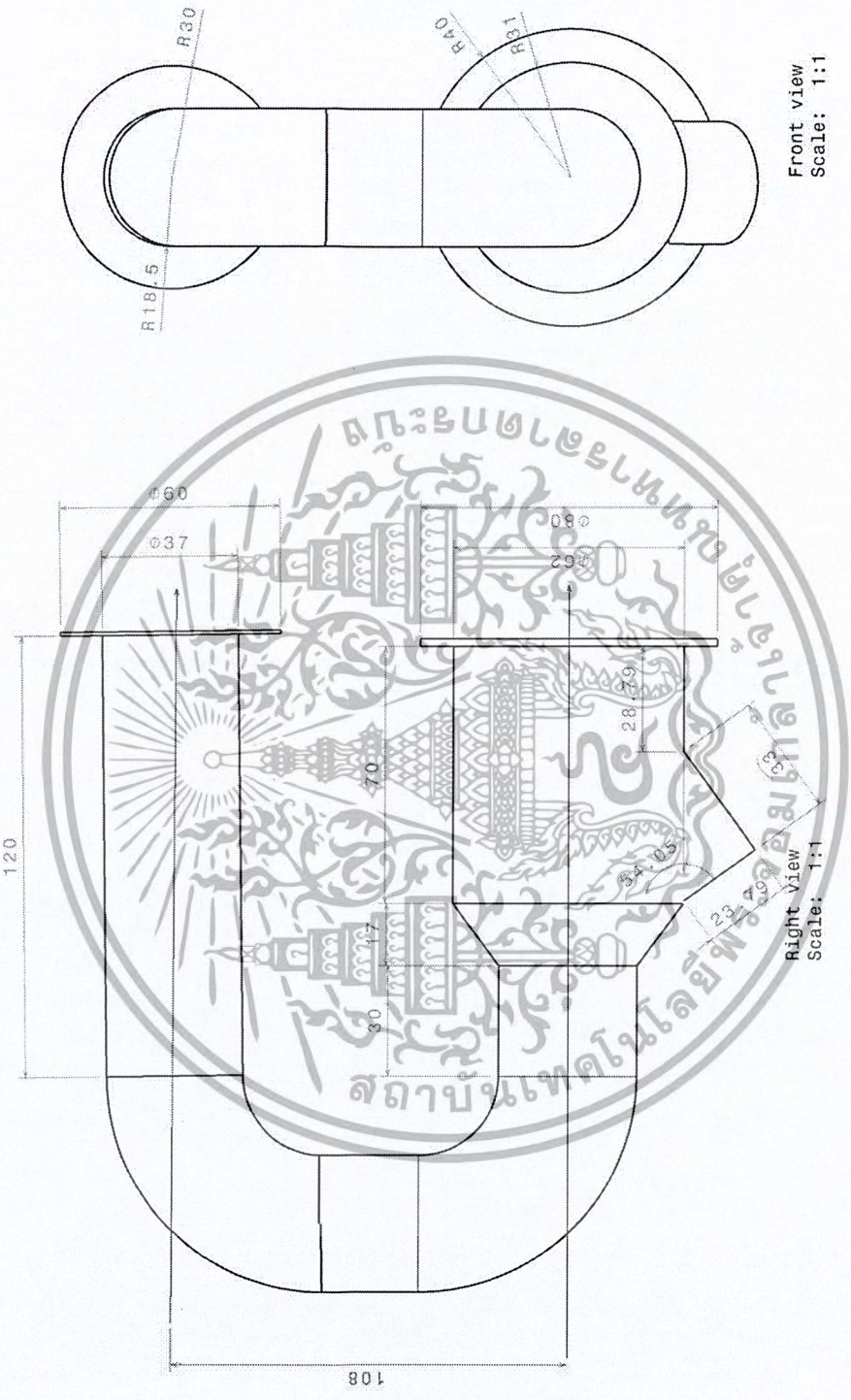


รูปที่ 1 Premixed chamber (cross section)

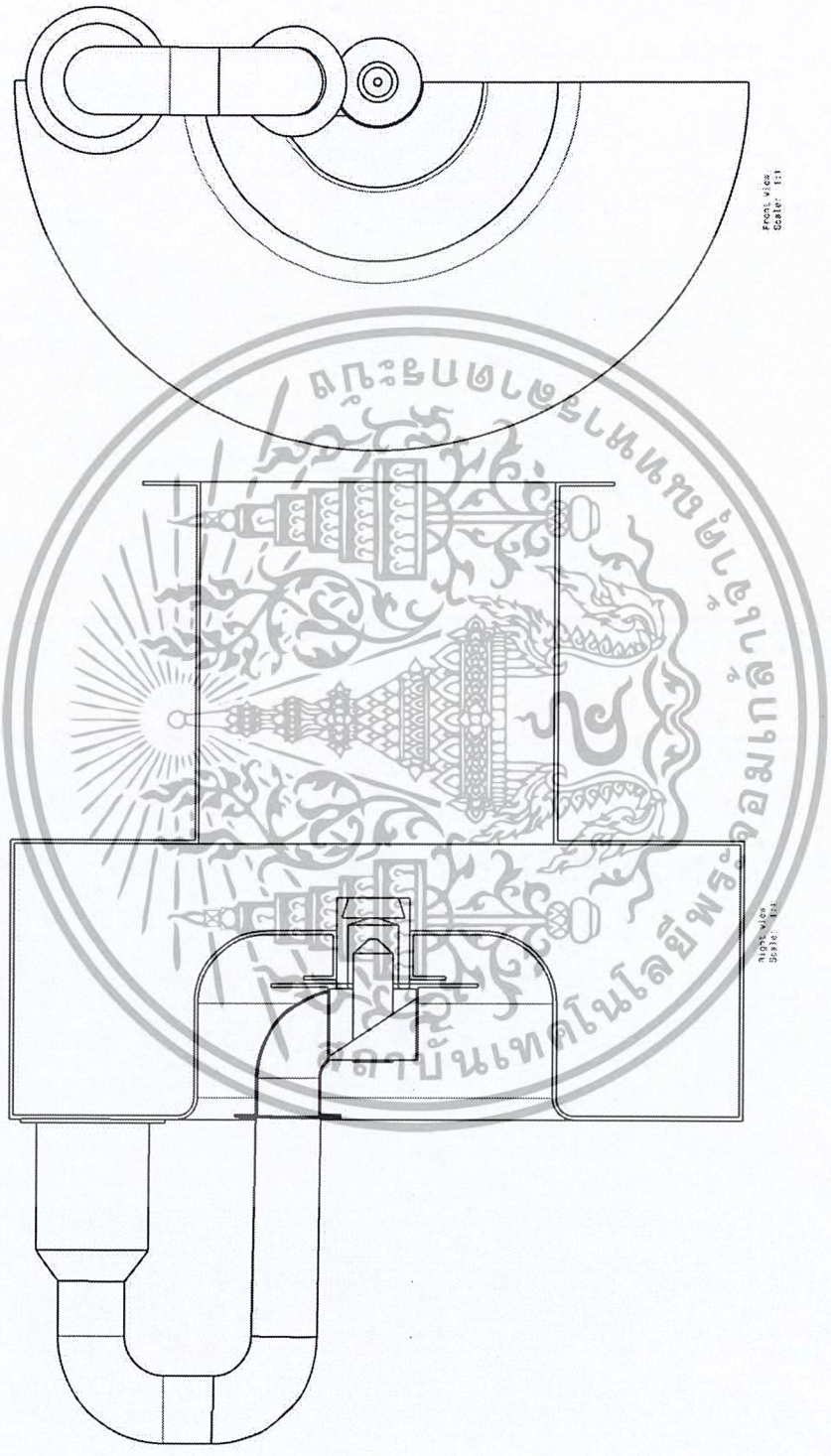
ภาคผนวก

แบบสั่งผลิตสำหรับหัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 Mixing throat

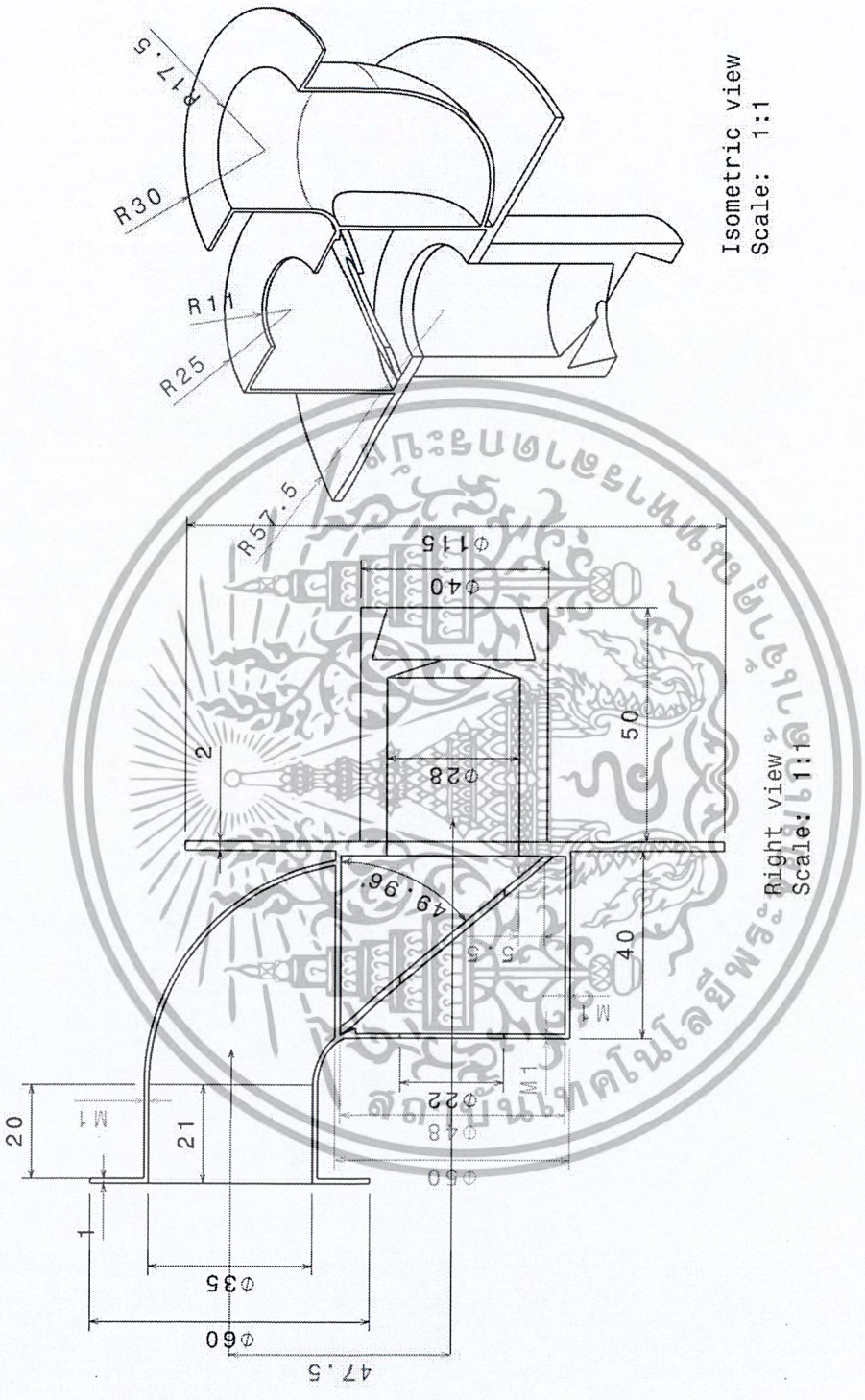


รูปที่ 3 ภาพประกอบหัวฉีดกับตัวเครื่องยนต์ (Air inlet)

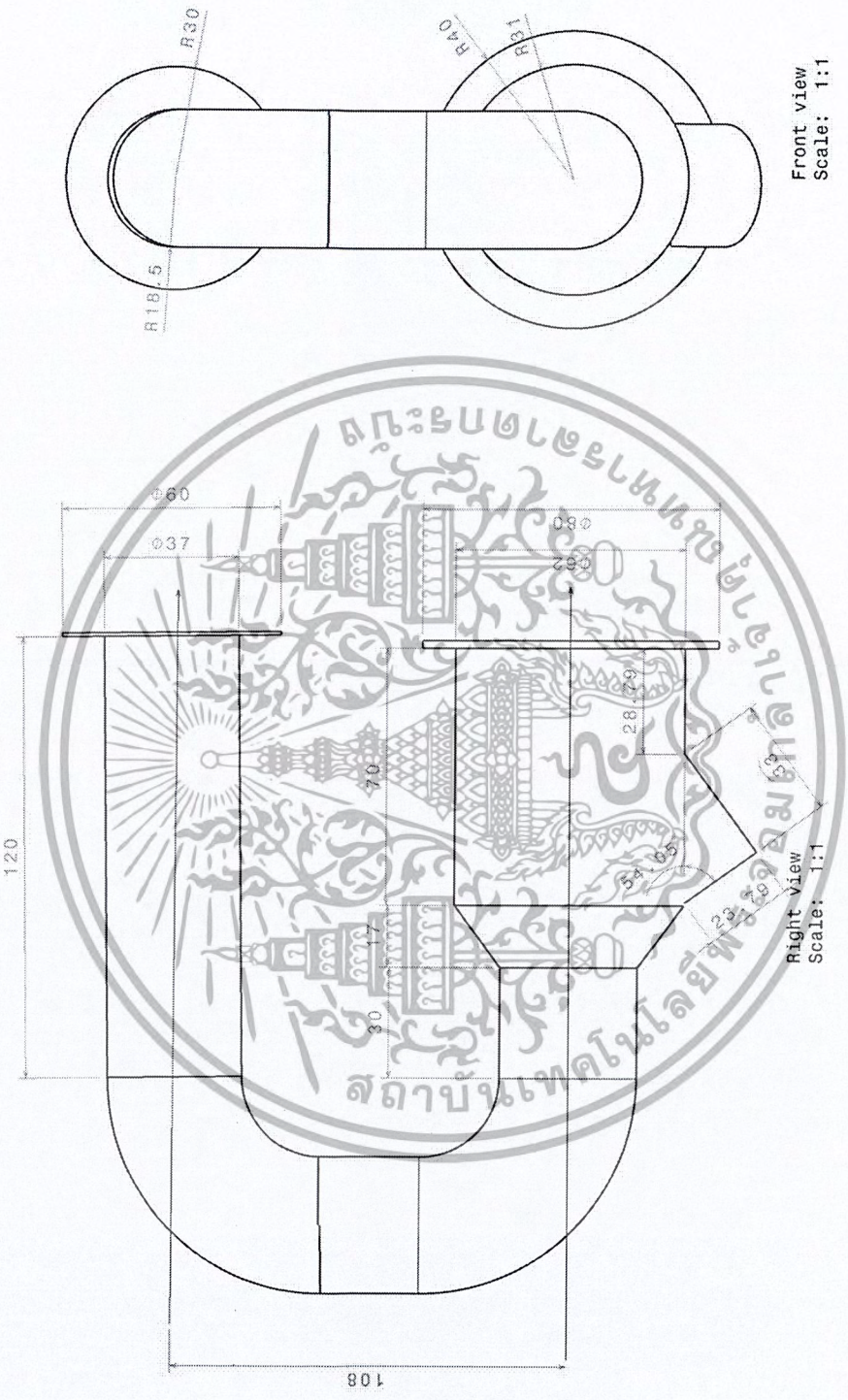
ภาคผนวก

แบบสั่งผลิตสำหรับหัวฉีด

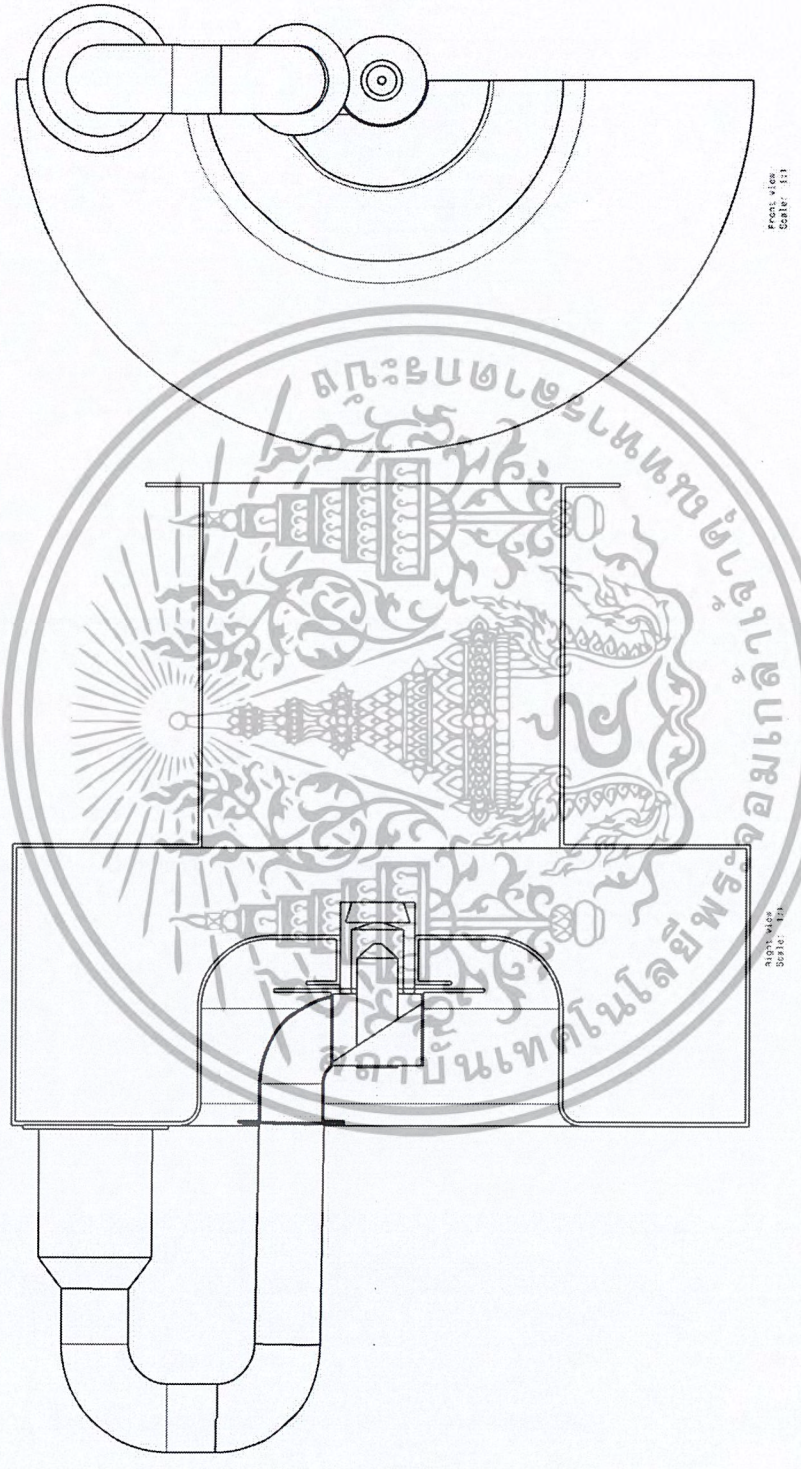
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 Premixed chamber (cross section)



รูปที่ 2 Mixing throat



รูปที่ 3 ภาพประกอบหัวฉีดกับตัวเครื่องยนต์ (Air inlet)

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์/ คำย่อ	ชื่อ/ความหมาย
A	พื้นที่หน้าตัดของการไหล (m^2)
AF	อัตราส่วนของมวลระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง
FA	อัตราส่วนของมวลระหว่างเชื้อเพลิง
cp	ค่าความร้อนจาเพาะ , kJ/kg
Ft	แรงขับดัน ,N
H	เอนทาลปี , kJ/kg
h_{fg}	ค่าความร้อนแฝงในการระเหยของน้ำที่ 25 $°C$ มีค่าเท่ากับ 2,440 kJ/kg
HHV	higher heating value หรือ Gross calorific (gross C.V.) , kJ/kg
LHV	lower heating value หรือ Net calorific (Net C.V.) , kJ/kg
LHV_{palm}	lower heating value หรือ Net calorific (Net C.V.) , kJ/kg
m_{fuel}, m f	อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง , kg /s
m_{H_2O}	มวลของน้ำ, kg
m_{fuel}	มวลของเชื้อเพลิง , kg
$m_{air\ (total)}$	อัตราการไหลอากาศทั้งหมด , kg/s
$m_{\ injector\ air}$	อัตราการไหลอากาศภายในหัวฉีดน้ามันปาล์ม เพื่อทาให้เกิดAtomization เกิดขึ้น , kg/s
$m_{\ primary}$ air	อัตราการไหลอากาศที่จ่ายให้ภายใน Premix Chamberเพื่อ premix เชื้อเพลิง LPG ก่อนการเผาไหม้ , kg/s
$m_{\ secondary\ air}$	อัตราการไหลอากาศสูงสุดภายในห้องเผาไหม้
m_{palm}	อัตราการไหลมวลน้ามันปาล์ม, kg/s
P_A	ความดันอากาศพลศาสตร์ภายนอก, Pa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_l	ความดันภายในที่ตาแหน่งต่างๆบนผิวของหยด,Pa
P_o	ความดันสแตกเนชั่น ,Pa
P_σ	ความดันตึงผิว, Pa
Q	ค่าความร้อน , J หรือ kJ
Q	การไหลเชิงปริมาตร, m^3/s
Q_{in}	พลังงานที่ให้กับระบบ , J หรือ kJ
Qout	พลังงานที่ออกจากระบบ , J หรือ kJ
Re	เรย์โนล์ดนัมเบอร์
T_0	อุณหภูมิสแตกเนชั่น ,K
T_i	อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ , $^\circ C$
T_f	อุณหภูมิภายหลังมีการเผาไหม้, $^\circ C$
v	ความเร็วการไหลของของไหล, m/s
U	ความเร็วเฉลี่ยของของไหล , m/s
U_4	ความเร็วของก๊าซไอเสีย ,m/s
W	งาน , J หรือ kJ
W_{net}	งานสุทธิ , J หรือ kJ
η_t	ประสิทธิภาพทางความร้อน
γ	ค่าคงที่ของอากาศ = 1.4
ρ	ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m^3
$\mathbf{\Phi}$	อัตราส่วนสมมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคาย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์/ คำย่อ	ชื่อ/ความหมาย
A	พื้นที่หน้าตัดของการไหล (m^2)
AF	อัตราส่วนของมวลระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง
FA	อัตราส่วนของมวลระหว่างเชื้อเพลิง
cp	ค่าความร้อนจาเพาะ , kJ/kg
Ft	แรงขับดัน ,N
H	เอนทาลปี , kJ/kg
h_{fg}	ค่าความร้อนแฝงในการระเหยของน้าที่ 25 °C มีค่าเท่ากับ 2,440 kJ/kg
HHV	higher heating value หรือ Gross calorific (gross C.V.) , kJ/kg
LHV	lower heating value หรือ Net calorific (Net C.V.) , kJ/kg
LHV_{palm}	lower heating value หรือ Net calorific (Net C.V.) , kJ/kg
m_{fuel}, m f	อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง , kg /s
m_{H_2O}	มวลของน้า, kg
m_{fuel}	มวลของเชื้อเพลิง , kg
$m_{air\ (total)}$	อัตราการไหลอากาศทั้งหมด , kg/s
$m_{\ injector\ air}$	อัตราการไหลอากาศภายในหัวฉีดน้ามันปาล์ม เพื่อทาให้เกิดAtomization เกิดขึ้น , kg/s
$m_{\ primary}$ air	อัตราการไหลอากาศที่จ่ายให้ภายใน Premix Chamberเพื่อ premix เชื้อเพลิง LPG ก่อนการเผาไหม้ , kg/s
$m_{\ secondary\ air}$	อัตราการไหลอากาศสูงสุดภายในห้องเผาไหม้
m_{palm}	อัตราการไหลมวลน้ามันปาล์ม, kg/s
P_A	ความดันอากาศพลศาสตร์ภายนอก, Pa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_l	ความดันภายในที่ตาแหน่งต่างๆบนผิวของหยด,Pa
P_o	ความดันสแตกเนชั่น ,Pa
P_σ	ความดันตึงผิว, Pa
Q	ค่าความร้อน , J หรือ kJ
Q	การไหลเชิงปริมาตร, m^3/s
Q_{in}	พลังงานที่ให้กับระบบ , J หรือ kJ
Qout	พลังงานที่ออกจากระบบ , J หรือ kJ
Re	เรย์โนล์ดนัมเบอร์
T_0	อุณหภูมิสแตกเนชั่น ,K
T_i	อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ , $^\circ C$
T_f	อุณหภูมิภายหลังมีการเผาไหม้, $^\circ C$
v	ความเร็วการไหลของของไหล, m/s
U	ความเร็วเฉลี่ยของของไหล , m/s
U_4	ความเร็วของก๊าซไอเสีย ,m/s
W	งาน , J หรือ kJ
W_{net}	งานสุทธิ , J หรือ kJ
η_t	ประสิทธิภาพทางความร้อน
γ	ค่าคงที่ของอากาศ = 1.4
ρ	ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m^3
Φ	อัตราส่วนสมมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้