

การพัฒนาเสถียรภาพเปลวไฟของหัวนำเผา
Improving the flame stability of the pilot burner

รักshit นันทันติ
วชรพล เกษศิริโยธิน
วัชรสิน ตั้งผจงวิวัฒน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การพัฒนาเสถียรภาพเปลวไฟของหัวนำเผา
Improving the flame stability of the pilot burner

รักshit นันทันติ
วชรพล เกษศิริโยธิน
วัชรสิน ตั้งผจงวิวัฒน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

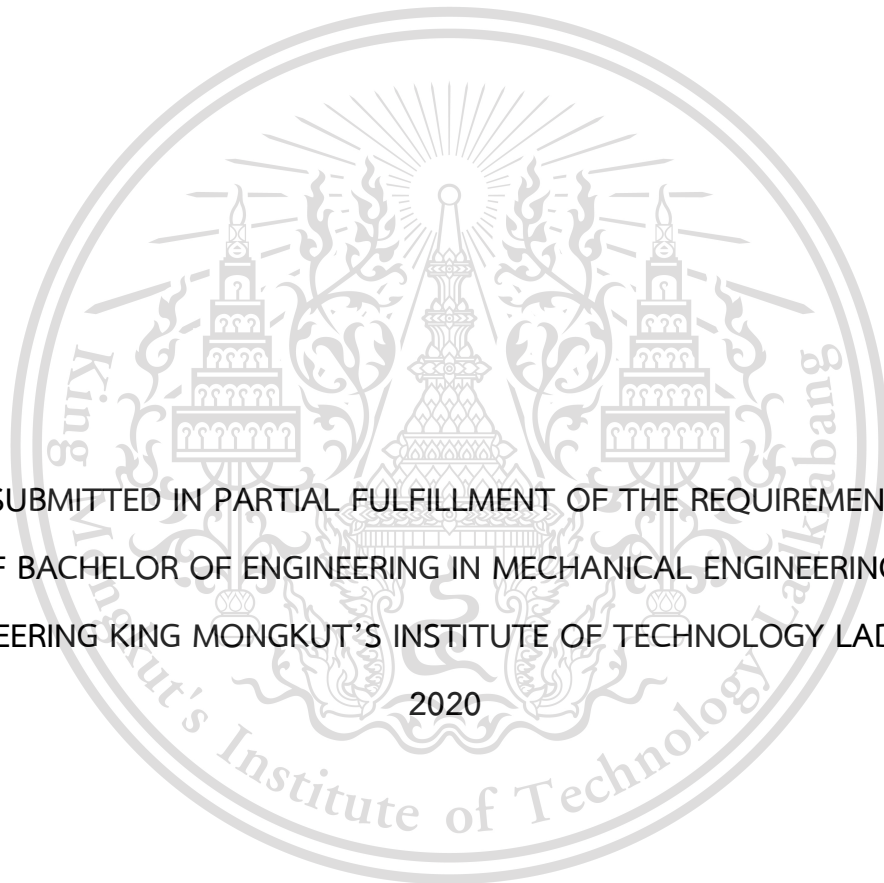
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Improving the flame stability of the pilot burner

Raksit Nanthatanti

Watcharapon Ketsiriyothin

Watcharasin Tangpajongwiwat



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING FACULTY
OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาความเสถียรภาพเปลวไฟของหัวนำเผา

Improving the flame stability of the pilot burner


ผู้จัดทำ

1. รัชชิต นันทตันติ รหัสประจำตัว 60010852

2. วชรพล เกษศิริโยธิน รหัสประจำตัว 60010882

3. วัชรสิน ตั้งผจงวิวัฒน์ รหัสประจำตัว 60010919




อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร.จรรุวัตร เจริญสุข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การพัฒนาเสถียรภาพเปลวไฟของหัวนำเผา

รักษิต นันทันติ 60010852

วชรพล เกษศิริโยธิน 60010882

วัชรสิน ตั้งผจงวิวัฒน์ 60010919

รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข

อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอถึงการพัฒนาความเสถียรภาพและความปลอดภัยของหัวนำเผาเชื้อเพลิงผสมLPG-อากาศเพื่อใช้ในการนำการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งสามารถใช้ได้กับหม้อไอน้ำซึ่งขอบเขตของการศึกษาจะต้องออกแบบหัวนำเผาให้มีความเหมาะสมกับเตาเผาขนาด 1 MW และทำการศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการทำงานของหัวนำเผาแบบเดิมก่อนโดยการทดลองจุดหัวนำเผาเพื่อวิเคราะห์และเก็บข้อมูลตัวแปรที่เกี่ยวข้องการลุกติดไฟของเชื้อเพลิงผสม ทั้งตัวแปรต้นที่เป็นอากาศและเชื้อเพลิงแก๊สแอลพีจี ซึ่งสามารถควบคุมและปรับค่าได้ อีกทั้งตัวแปรตามที่เกิดขึ้นหลังจากการจุดเชื้อเพลิงผสมเช่นอุณหภูมิของเปลวไฟและปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ หลังจากการทดลองหาค่าตัวแปรก็จะทำการออกแบบหัวนำเผาแบบใหม่ ตามค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่ทำให้หัวนำเผามีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัยเพิ่มขึ้นจากแบบเดิมเพื่อนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Improving the flame stability of the pilot

Raksit Nanthatanti 60010852

Wacharapon Ketsiriyotin 60010882

Watcharasin Tangpajongwiwat 60010919

Assoc.Prof.Dr.Jaruwat Charoensuk Advisor

ABSTRACT

This thesis proposes to improve the flame stability and safety of LPG-air Pilot burner for use in solid fuel combustion applications. It was suitable for a 1 MW furnace. The influence of the operating condition on the performance of the traditional burner was investigated. The experiment was conducted to analyze and collect data on combustion parameters of mixed fuel. Both the original flowrate of air and LPG gas, which can be controlled and adjusted. In addition, dependent variables, such as flame temperature and carbon monoxide content, are also used. After testing for the parameters, a new burner design will be designed according to the optimum parameters that increase the efficiency and safety of the conventional pilot burner for further industrial use.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการเรียนวิชา PROJECT ให้นักศึกษาได้นำความรู้ ความสามารถในภาคทฤษฎีมาทำการปฏิบัติการ เป็นการเพิ่มพูนความรู้ ความสามารถ และประสบการณ์ ให้แก่นักศึกษาได้เป็นอย่างดี

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ดีก็เพราะความกรุณาที่ให้ความช่วยเหลือของ รศ.ดร.จรรวูตร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษา จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ที่ได้ให้ความรู้และเป็นที่ปรึกษาตลอดระยะเวลาที่ได้ทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณคณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำเพิ่มเติม และช่วยให้ความรู้ จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สมบูรณ์

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ช่วงเหลือแก้ไขให้คำแนะนำ รวมทั้งเมตตา ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ซึ่งมีส่วนช่วยเหลือให้นักศึกษาเข้าใจปัญหานั้น ขอขอบคุณเพื่อนพี่น้องนักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่าง ๆ จนสมบูรณ์

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีมาจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

รักชิต นันทันติ

วชรพล เกษศิริโยธิน

วัชรสิน ตั้งผจงวิวัฒน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

บทคัดย่อ.....	i
ABSTRACT.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
สารบัญตาราง.....	vi
สารบัญภาพ.....	vii
รายการสัญลักษณ์คำย่อ.....	xi
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์และความมุ่งหมายการศึกษา.....	1
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์.....	4
2.1 ทฤษฎีการเผาไหม้.....	4
2.1.1 สตอยชิโอเมตรีของการเผาไหม้ (Combustion Stoichiometry).....	4
2.1.2 การหาค่าปริมาณอากาศส่วนเกิน.....	5
2.1.3 ประเภทของเปลวไฟ.....	6
2.1.4 ลักษณะของเปลวไฟเฉียงคงที่ (Kinematic balance for a steady oblique flame).....	8
2.1.5 กายภาพของเปลวไฟเจ็ท (Jet flame physical).....	9
2.1.6 สหสัมพันธ์ความเร็วเปลวไฟแบบราบเรียบ.....	11

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีลาดกระบัง ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.7 การหาค่าความเร็วเปลวไฟแบบปั่นป่วน.....	12
2.2 ทฤษฎีของการไหลในท่อ.....	13
2.2.1 การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow).....	13
2.3 หัวเผา (Burner).....	14
2.4 หลักการทำงานของ Pressure gauge, Rotameter.....	15
2.5 มลพิษจากการเผาไหม้.....	17
บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบ.....	20
3.1 การคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องขวางการไหล.....	20
3.2 การคำนวณความยาวเปลวไฟ.....	21
3.3 การคำนวณความเร็วเปลวไฟ.....	23
3.4 การออกแบบหัวนำเผา.....	25
3.5 การทดลองผลหัวนำเผาแบบเดิมก่อนการเปรียบเทียบหัวนำเผาที่ออกแบบใหม่.....	26
3.5.1 การเก็บค่าและวิธีการหาค่าปริมาณของอากาศ.....	26
3.5.2 การเก็บค่าปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้.....	27
3.5.3 การหาค่า A/F Ratio.....	27
บทที่ 4 อุปกรณ์และเงื่อนไขการทดลอง.....	29
4.1 สร้างแผงควบคุมการไหลท่อลมและแก๊ส LPG.....	29
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	31
4.3 การสร้างหัวนำเผาต้นแบบใหม่.....	35
4.4 เงื่อนไขการทดลอง.....	41
บทที่ 5 ผลการทดลองและอภิปราย.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.2 ความสามารถในการเผาไหม้ของหัวนำเผาเดิมเมื่อมีการติดตั้งกับเตาเผา.....	47
บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	50
6.1 การเปรียบเทียบลักษณะและสีของเปลวไฟของหัวนำเผาแต่ละแบบที่อัตราส่วนผสมเดียวกัน	50
6.2 ความสามารถในการเผาไหม้ของหัวนำเผาเดิมเมื่อมีการติดตั้งกับเตาเผา.....	52
6.3 ข้อเสนอแนะ	53
บรรณานุกรม.....	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 สำหรับเชื้อเพลิงต่างๆที่เผาไหม้ในอากาศ= 1.0 และ ที่ 1 atm	23
ตารางที่ 2 ค่า $\Phi M, BM, B2$	23
ตารางที่ 3 เงื่อนไขการทดลองและพารามิเตอร์ควบคุมต่างๆ.....	42
ตารางที่ 4 แสดงค่าความสัมพันธ์ของเชื้อเพลิงและอัตราการใช้ของอากาศ โดยปรับค่าอัตราส่วนสมมูล ในช่วงที่มีค่าน้อยกว่า 1 On Lean side	44
ตารางที่ 5 ผลการทดลองเปรียบเทียบลักษณะเปลวไฟของหัวนำเผาเมื่อไม่ได้ติดตั้งหัวนำเผากับเตาเผา.....	46
ตารางที่ 6 ผลการทดลอง ระหว่างอัตราส่วนอากาศและเชื้อเพลิงของหัวนำเผาเดิมเมื่อติดตั้งกับเตาเผาโดยไม่จ่ายอากาศสำหรับเผาไหม้หลัก.....	48



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ

บทที่ 1

รูปที่ 1.1 ผังการดำเนินงานโครงการงาน	3
--	---

บทที่ 2

รูปที่ 2.1 ลักษณะเปลวไฟส่วนผสมไว้ล่วงหน้า (Premixed flames)	7
รูปที่ 2.2 ลักษณะเปลวไฟส่วนผสมไม่ได้ผสมไว้ล่วงหน้า (Non Premixed flames).....	7
รูปที่ 2.3 ลักษณะของเปลวไฟเฉียดคงที่	8
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของการกระจายตัวเปลวไฟแบบราบเรียบ	9
รูปที่ 2.5 รูปแบบของเขม่าและโครงสร้างเปลวไฟแบบเจ็ทราบเรียบ	10
รูปที่ 2.6 (a) ท่อหัวนำเผา (b) ความเร็วเปลวไฟแบบราบเรียบ.....	12

บทที่ 3

รูปที่ 3.1 ความยาวเปลวไฟแบบราบเรียบ ณ ทางออกของท่อหัวนำเผาแบบผสมล่วงหน้า.....	24
รูปที่ 3.2 CAD 3D ชิ้นส่วน Pilot Burner.....	25
รูปที่ 3.3 CAD 3D แสดงแผ่นขวางการไหลส่วนผสมเชื้อเพลิงอากาศของชิ้นส่วน Pilot Burner	26
รูปที่ 3.4 CAD 3D ของ Pilot Burner เมื่อประกอบเสร็จสมบูรณ์	26
รูปที่ 3.5 รูปแสดงช่วงอัตราส่วนผสมอากาศ	28

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ที่จะใช้ในการต่อระบบควบคุมการจ่ายอากาศและเชื้อเพลิง LPG	29
รูปที่ 4.2 แผงควบคุมแก๊ส LPG ก่อนเข้าหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส.....	30
รูปที่ 4.3 อุปกรณ์ Thermocouple Type K.	31
รูปที่ 4.4 ช่องส่องกล้องตรวจจับภาพการลุกติดไฟ.....	32
รูปที่ 4.5 รูปเปลวไฟที่จับภาพได้.....	32
รูปที่ 4.6 โบลเวอร์.....	33
รูปที่ 4.7 Flue Gas Analyzer เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้.....	34
รูปที่ 4.8 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ T9 และ flue gas analyzer.....	35
รูปที่ 4.9 ชั้นส่วนหัวนำเผาชั้นที่ 1.....	36
รูปที่ 4.10 ชั้นส่วนหัวนำเผาชั้นที่ 2.....	36
รูปที่ 4.11 ชั้นส่วนหัวนำเผาชั้นที่ 3.....	36
รูปที่ 4.12 ชั้นส่วนหัวนำเผาชั้นที่ 4.....	37
รูปที่ 4.13 ชั้นส่วนหัวนำเผาชั้นที่ 5.....	37
รูปที่ 4.14 ชั้นส่วนหัวนำเผาชั้นที่ 6.....	37
รูปที่ 4.15 ชั้นส่วนหัวนำเผาแบบประกอบสมบูรณ์.....	38
รูปที่ 4.16 ตลับเก็บอากาศ.....	39
รูปที่ 4.17 เชื่อมแหวนรองน็อตเข้ากับปลายท่อ	39
รูปที่ 4.18 การเชื่อมต่อส่งเชื้อเพลิงเข้ากับตลับเก็บอากาศ.....	40
รูปที่ 4.19 หัวนำเผาแบบประกอบสมบูรณ์	40
รูปที่ 4.20 ชั้นส่วนหัวนำเผาแบบประกอบสมบูรณ์พร้อมใช้งาน	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 6

รูปที่ 6.1 สีและลักษณะเปลวไฟที่ได้จากหัวนำเผาใหม่ เจ็อนไซที่ใช้ที่ ลม Primary air $0.025 \text{ m}^3/\text{sec}$ ที่มีค่า อัตราการไหลเชื้อเพลิง $5 \text{ Lit}/\text{mins}$ และ อัตราการไหลของอากาศ $182.46 \text{ Lit}/\text{mins}$ ที่ค่า% Percent excess air 40%51

รูปที่ 6.2 สีและลักษณะเปลวไฟที่ได้จากหัวนำเผาเดิมค่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิง LPG $10 \text{ lit}/\text{mins}$ และค่า อัตราการไหลอากาศเป็น $131.062 \text{ Lits}/\text{mins}$ โดยไม่มีการใส่ค่า Primary air.....51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รายการสัญลักษณ์คำย่อ

\emptyset Equivalent ratio

Q อัตราการไหลเชิงปริมาตร (m^3/s)

Re Reynold number

ρ ความหนาแน่นของไหล (kg/m^3)

V ความเร็วการไหล (m/s)

D ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)

μ absolute viscosity (kg/ms)

C_d drag coefficient

A_f พื้นที่หน้าตัดของลูกลอย Rotameter (m^2)

V ปริมาตรของลูกลอย Rotameter (m^3)

K_R ค่าคงที่ของมิเตอร์

S_L ความเร็วเปลวไฟ (m/s)

T_u อุณหภูมิส่วนผสมที่ไม่ติดไฟ (K)

V_u ความเร็วการไหลส่วนผสมที่ไม่ติดไฟ (m/s)

L_f ความยาวของเปลวไฟ (m)

Y_F Fuel mass fraction

A_f Air fuel ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันทั่วโลกกำลังเผชิญกับปัญหาด้านทรัพยากรธรรมชาติที่ลดน้อยลงอย่างต่อเนื่องอันเกิดจากปัจจัยหลายด้าน ทั้งการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ และการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร ปัจจุบันมีการใช้ทรัพยากรด้านพลังงานอย่างฟุ่มเฟือย จึงส่งผลให้ทรัพยากรที่มีอยู่ลดน้อยลงไปเรื่อยๆ การเลือกใช้พลังงานจากแหล่งใหม่จึงเป็นหนึ่งในทางเลือกที่เหมาะสม สำหรับการนำพลังงานจากชีวมวลของหม้อต้มไอน้ำเป็นแหล่งพลังงานใหม่นั้นมีความน่าสนใจทั้งในแง่ของเศรษฐกิจและในแง่ของสิ่งแวดล้อม แต่ในแง่ของประสิทธิภาพของการให้พลังงานนั้นยังคงมีความสามารถต่ำกว่าแหล่งพลังงานอื่น อุปกรณ์หัวนำเผา pilot burner เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเริ่มจุดติดไฟของเชื้อเพลิง ในระดับอุตสาหกรรมอุปกรณ์นี้ยังคงมีปัญหาในการใช้งานอยู่บ่อยครั้ง ทั้งปัญหาการไม่ลุกติดไฟตามช่วงเวลาที่ต้องการ ปัญหาการเผาไหม้ไม่สม่ำเสมอ ปัญหาการสะสมของเชื้อเพลิงแก๊ส LPG เนื่องจากการไม่ลุกติดไฟในช่วงเวลาที่ต้องการ ปัญหาการอุดตันของเชื้อเพลิงชีวมวล และปัญหาความเสื่อมสภาพอื่นๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ ซึ่งปัญหาเหล่านี้ที่กล่าวมาข้างต้นนั้นส่งผลกระทบต่อการทำงาน, ประสิทธิภาพและอาจส่งผลในเรื่องความปลอดภัยโดยรวมของระบบหม้อไอน้ำ ดังนั้นหม้อไอน้ำต้องมีระบบการจุดเชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิม

1.2 วัตถุประสงค์และความมุ่งหมายการศึกษา

- 1) ปรับปรุงหัวนำเผา Pilot burner ให้มีการจุดติดเชื้อเพลิงแอลพีจีและมีการเผาไหม้สม่ำเสมอ
- 2) ปรับปรุงหัวนำเผา Pilot burner ให้มีมลพิษจากการเผาไหม้ลดน้อยลง
- 3) ปรับปรุงแนวท่อส่งอากาศและเชื้อเพลิงแก๊สแอลพีจี เพื่อป้องกันการรั่วไหลของเชื้อเพลิงแก๊สแอลพีจี
- 4) ติดตั้งระบบตรวจสอบการจุดติดของเชื้อเพลิงแอลพีจีได้ เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพและเพื่อหลีกเลี่ยงการทำงานที่ไม่ปกติของหัวเผา Pilot burner

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) หัวนำเผามีการจุดติดเชื้อเพลิงและมีการเผาไหม้สม่ำเสมอ
 - 2) หัวนำเผามีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้น
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ซึ่งใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้ง 2) หัวนำเผามีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้น

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- 3) ไม่มีการรั่วไหลของอากาศและเชื้อเพลิงแอลพีจี
- 4) สามารถควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงแอลพีจีในอัตราที่เหมาะสมได้

1.4 ขอบเขตการศึกษา

- 1) ใช้เชื้อเพลิงแอลพีจีในการจุดติดเปลวไฟและผงชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงหลักในการเผาไหม้
- 2) ใช้ Thermocouple และ กล้องจับภาพในการตรวจสอบการลุกของเปลวไฟ
- 3) ใช้วัสดุทนไฟชนิด ceramic paste จุดจุดที่ต่ออุปกรณ์ตรวจวัดการลุกเปลวไฟและหัวเทียน

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

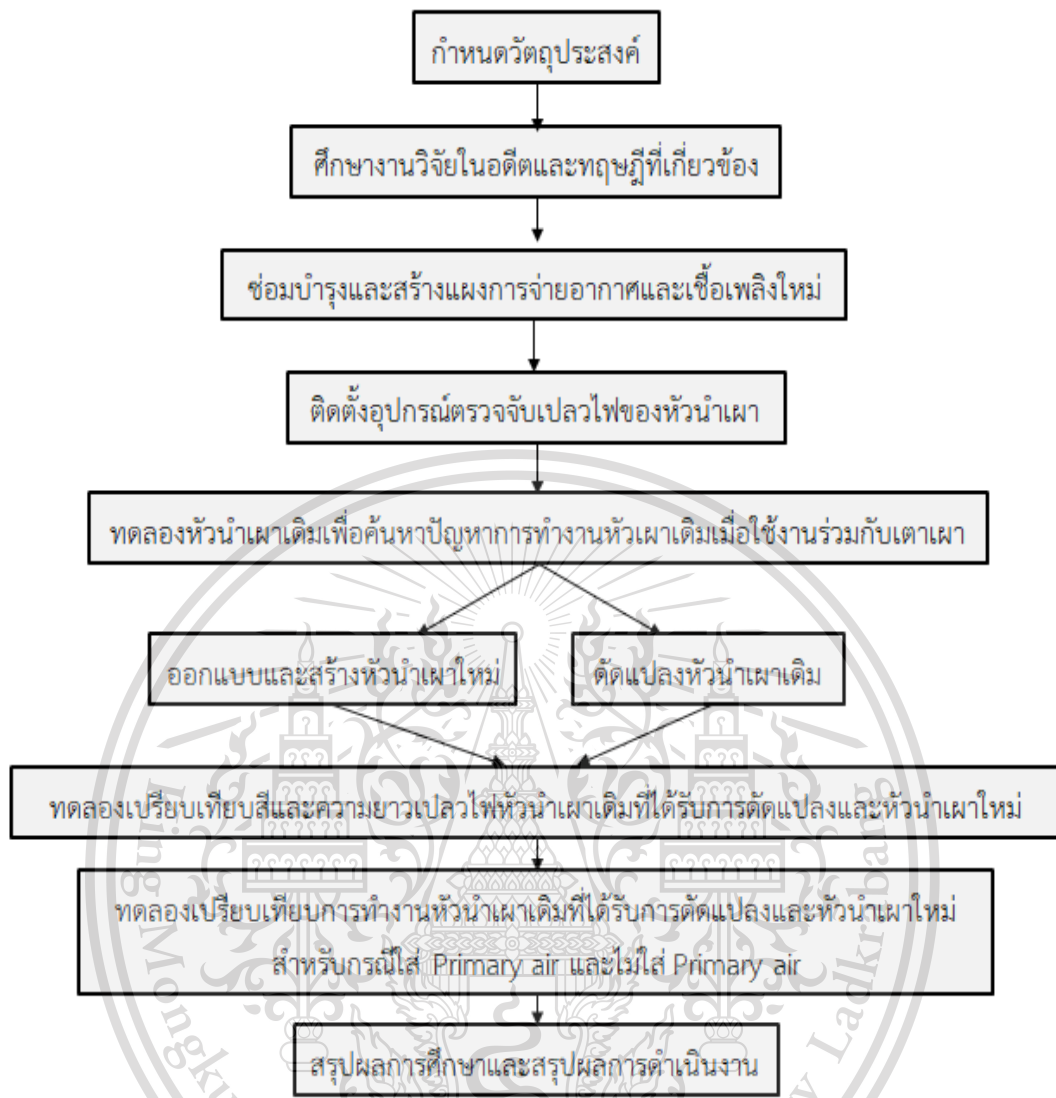
ในการศึกษาระบบนำร่องระบบจุดระเบิดและระบบตรวจจับเปลวไฟต้องมีการวางแผนการดำเนินงานดังรูปแสดงที่ 1.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 1.1 ผังการดำเนินงานโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทรรศน์

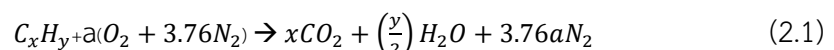
2.1 ทฤษฎีการเผาไหม้

การเผาไหม้ (Combustion) เป็นปฏิกิริยา ออกซิเดชันระหว่างเชื้อเพลิงหรือสารที่สามารถเผาไหม้กับ โมเลกุลของออกซิไดเซอร์ ซึ่งปกติคือออกซิเจนจากอากาศ โดยสารที่สามารถเผาไหม้ได้ในเชื้อเพลิงคือ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และกำมะถัน (S) เป็นต้น ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงภายในเวลาอันรวดเร็ว ปัจจัยการติดไฟ(Ignition)ที่ดี เกิดจากองค์ประกอบ 3 อย่างทำปฏิกิริยาเคมีได้อย่างเหมาะสมคือ

- มี ออกซิเจน(Oxygen)ในอากาศที่เพียงพอต่อการดำเนินปฏิกิริยา
- มี ความร้อน (Heat) ที่เพียงพอต่อการเพิ่มอุณหภูมิต่อวัสดุ ถึงอุณหภูมิจุดติดไฟ (Ignition Temperature)
- มีเชื้อเพลิง(Fuel) หรือมี วัสดุที่ติดไฟได้ (combustible material) ที่มีความสามารถในการลามของเปลวไฟ

2.1.1 สตอยชิโอเมตรีของการเผาไหม้ (Combustion Stoichiometry)

การเผาไหม้ที่ Stoichiometry เป็นการคำนวณปริมาณออกซิไดเซอร์ ที่พอดีในการเผาไหม้ อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นถ้าปริมาณออกซิไดเซอร์ มากกว่าที่สภาวะ Stoichiometry นั้นหมายถึงการเผาไหม้นั้นมีส่วนผสมของอากาศ ต่อเชื้อเพลิงแบบบาง (fuel lean) ในทางกลับกัน เมื่อมีปริมาณออกซิไดเซอร์น้อยกว่าที่สภาวะ Geometry หมายถึงมีส่วนผสมของอากาศ ต่อเชื้อเพลิงแบบหนา (fuel rich) การหาความสัมพันธ์แบบ stoichiometry ทำได้ โดยการเขียนสมการการเผาไหม้ สำหรับเชื้อเพลิงที่เป็น Hydrocarbon (CxHy)



เมื่อ $a = \frac{x+y}{4}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สัดส่วนของปริมาณออกซิเจนในอากาศ นิยมพิจารณา ให้อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ เป็นอากาศแห้ง ประกอบไปด้วย ออกซิเจน 21 % โดยปริมาตร และไนโตรเจน 79 %โดยปริมาตร นั่นคือค่าแต่ละโมลของออกซิเจน มีไนโตรเจน 3.76 โมลซึ่งเราสามารถหาอัตราส่วนของปริมาณออกซิเจนในอากาศ โดย

$$A/F_{stoic} = \frac{M_{air}}{M_{fuel}} \quad (2.2)$$

อัตราส่วนสมมูล (Equivalent ratio, ϕ) เป็นค่าที่ใช้บ่งบอกว่าส่วนผสมระหว่างอากาศ กับเชื้อเพลิงเป็นแบบ Stoichiometry หนาหรือบาง ซึ่งมีนิยาม

$$\phi = \frac{A/F_{stoic}}{(A/F)} = \frac{(F/A)}{(F/A)_{stoichiometric}} \quad (2.3)$$

จากนิยามเราจะเห็นได้ว่าสำหรับค่าส่วนผสมหนา (fuel rich) มีค่า $\phi > 1$ สำหรับส่วนผสมบาง (Fuel lean) จะมีค่า $\phi < 1$ และสำหรับ Stoichiometric จะมีค่า $\phi = 1$ ซึ่งค่าอัตราส่วนสมมูลนั้นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง % Stoichiometric air ซึ่งจะบ่งบอกถึง ปริมาณที่บอกให้ทราบว่า ปริมาณอากาศ ที่ใช้จริงในการเผาไหม้ คิดเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณอากาศตามค่าทฤษฎี ซึ่งมีค่าความสัมพันธ์กับอัตราส่วนสมมูลดังนี้

$$\% \text{Stoichiometric air} = \frac{100\%}{\phi} \quad (2.4)$$

2.1.2 การหาค่าปริมาณอากาศส่วนเกิน

สำหรับวิธีการหาปริมาณอากาศส่วนเกินทำได้ 2 วิธี

-การวัดปริมาณอากาศ ที่เข้าไปทำปฏิกิริยาการเผาไหม้จริง (A/F_{ac})

-การวัดปริมาณออกซิเจนที่หลงเหลือจากการเผาไหม้ ที่ทางออกของการเผาไหม้และนำมาคำนวณย้อนกลับ ไปเป็น ปริมาณอากาศที่เหลือ จากการเผาไหม้ ซึ่งพิจารณาว่าอากาศส่วนนี้เป็นอากาศที่จ่ายเกินความต้องการโดยทั่วไปการ

บอกค่าปริมาณอากาศส่วนเกินมักบอกเป็น % excess air และเปอร์เซ็นต์อากาศทางทฤษฎี % Theoretical air ค่า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\%EA = \left(\frac{A/F_{ac} - A/F_{th}}{A/F_{th}} \right) \times 100\% \quad (2.5)$$

และค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (%excess air) คือปริมาณที่บอกให้ทราบว่าอากาศส่วนเกินกี่เปอร์เซ็นต์เทียบกับทฤษฎี

$$\%excess\ air = \frac{(1-\phi)\%}{\phi} \times 100\% \quad (2.6)$$

2.1.3 ประเภทของเปลวไฟ

2.1.3.1 เปลวไฟส่วนผสมได้ผสมกันไว้ล่วงหน้า (Premixed flames)

เชื้อเพลิงและออกซิไดซ์ผสมกันเป็นเนื้อเดียวกันก่อนปฏิกิริยาการเผาไหม้เกิดขึ้น โดยมีลักษณะเปลวไฟ 2 รูปแบบ คือ

2.1.3.1.1 เปลวไฟส่วนผสมได้ผสมกันล่วงหน้าแบบราบเรียบ (Laminar premixed flames)

มักใช้กับอุปกรณ์เผาไหม้ที่ต้องการ ถ่ายเทพลังงานความร้อนที่อัตราสูง เช่น เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ (Spark ignition engine, SI engine) โดยลักษณะเปลวไฟชนิดนี้มีข้อดี ที่ปราศจากควัน และ เกิดออกไซด์ของไนโตรเจน(NOx)ที่มีคุณสมบัติเป็นก๊าซพิษในปริมาณที่น้อย แต่ก็มีข้อเสีย คือหากเกิดการเผาไหม้ไม่เสถียร จะมีเชื้อเพลิงและอากาศที่ไม่เผาไหม้สะสมในห้องเผาไหม้เมื่อมีประกายไฟอาจเกิดระเบิดได้

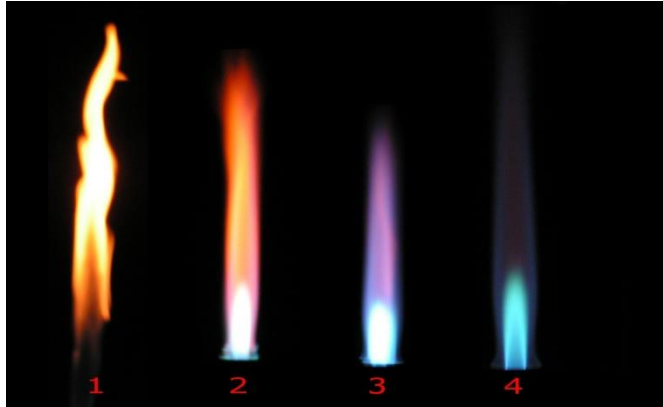
2.1.3.1.2 เปลวไฟส่วนผสมได้ผสมกันล่วงหน้าแบบปั่นป่วน (Turbulent premixed flames)

ความปั่นป่วนเพิ่มกระบวนการผสมซึ่งจะช่วยเพิ่มการเผาไหม้ให้มีความเสถียรมากกว่าการเผาไหม้ส่วนผสมล่วงหน้าแบบราบเรียบ อีกทั้งเปลวไฟชนิดนี้ยังมีผลต่อการปลดปล่อยความร้อนเนื่องจากความปั่นป่วนทำให้เกิดการเร่งการผสมที่รุนแรงมากผ่านด้านหน้าของเปลวไฟ อย่างไรก็ตามผลกระทบของเปลวไฟชนิดนี้ในเงื่อนไขเฉพาะบางประการจะทำให้เกิดการขยายตัวของผลิตภัณฑ์และการเพิ่มความหนืดทำให้อาจทำให้เกิดการยืดขยายแนวการเกิดปฏิกิริยาส่วนผสมสามารถย้อนกลับไปเป็นการผสมแบบราบเรียบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

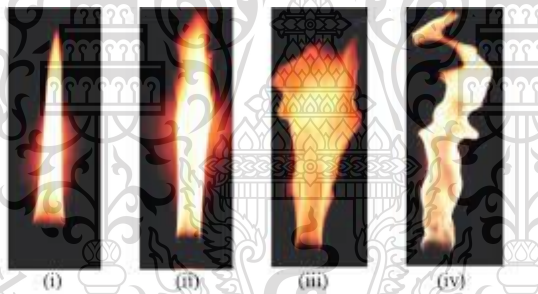
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.1 ลักษณะเปลวไฟส่วนผสมไวล่งหน้า (Premixed flames) เมื่อเพิ่มการผสมล่งหน้าจากซ้ายไปขวา. จาก *Combustion Theory premixed and diffusion flames (part 1)*.

2.1.3.2 เปลวไฟที่ไม่ได้ผสมกันล่งหน้า (Non Premixed flames)

เชื้อเพลิงและสารออกซิไดเซอร์สัมผัสกันระหว่างกระบวนการเผาไหม้



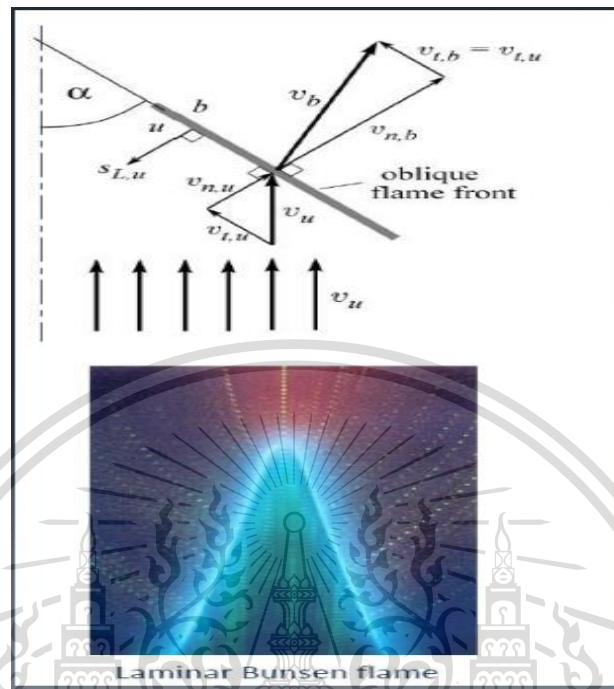
รูปที่ 2.2 ลักษณะเปลวไฟส่วนผสมไม่ได้ผสมไวล่งหน้า (Non Premixed flames) จาก *Combustion Theory premixed and diffusion flames (part 1)*.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.4 ลักษณะของเปลวไฟเอียงคงที่ (Kinematic balance for a steady oblique flame)



รูปที่ 2.3 ลักษณะของเปลวไฟเอียงคงที่จาก *Combustion Theory premixed and diffusion flames (part 1)*.

- เวกเตอร์ความเร็วตั้งฉากระนาบเปลวไฟ (normal component)

$$(\rho v_n)_u = (\rho v_n)_b \quad (2.7)$$

- เวกเตอร์ความเร็วตามแนวเส้นสัมผัส (tangential component)

$$v_{t,u} = v_{t,b} \quad (2.8)$$

- ที่สภาวะ Steady state ความเร็วของการเผาไหม้มีค่าเท่ากับความเร็วการไหลของส่วนผสมที่ไม่ติดไฟที่ตั้งฉากระนาบเปลวไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน: $S_{L,u} = v_{n,u} = v_u \sin \alpha$ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน (2.9) ถ้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.5 กายภาพของเปลวไฟเจ็ท (Jet flame physical)

ลักษณะสำคัญของไฟเจ็ทคือ เชื้อเพลิงพุ่งตามแกนของเปลวไฟและมีการกระจายตัวตามแนวรัศมีออกด้านนอก ขณะที่ตัวออกซิไดเซอร์มีการกระจายตัวแบบเข้าข้างใน

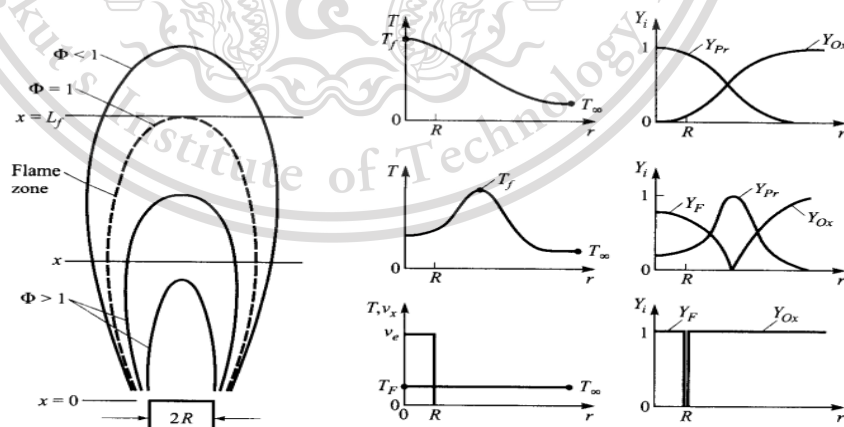
พื้นผิวของเปลวไฟโดยปกติแล้วเป็นตัวบ่งบอกว่าเชื้อเพลิงและออกซิไดเซอร์มีการรวมตัวกันที่สัดส่วนตามทฤษฎี (Stoichiometric proportion)

แม้ว่าเชื้อเพลิงและออกซิไดเซอร์จะถูกใช้ในการเผาไหม้ไปแล้วแต่ค่าอัตราส่วนสมมูล (Equivalent ratio, ϕ) ยังคงมีความหมายอยู่ตรงเท่าที่ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ยังมีความสัมพันธ์กับค่าเฉพาะของ อัตราส่วนสมมูล ผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ที่พื้นผิวเปลวไฟมีการกระจายตัวในแนวรัศมีทั้งด้านนอกด้านใน

สำหรับเปลวไฟที่มีการระบายอากาศมากเกินไป (Overventilated flame) ที่จุดที่มีออกซิไดเซอร์เพียงพอที่จะให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง โดยที่แกน ความยาวเปลวไฟ (L_f) สามารถหาได้ที่ตำแหน่งแกนเปลวไฟดังนี้

$$\phi (r=0, x=L_f)=1 \quad (2.10)$$

ขอบเขตที่เกิดปฏิกิริยาเคมีนั้นค่อนข้างแคบดังรูปที่ 2.4 จุดอุณหภูมิสูงเกิดขึ้นที่ตำแหน่งรูปร่างแหวนจนถึงปลายเปลวไฟโดยเมื่อมีการทดลองนำแผ่นโลหะมาวางตั้งฉากกับเปลวไฟตำแหน่งนี้ พบว่าแผ่นโลหะมีลักษณะที่ร้อนและมีการลุกไหม้เกิดขึ้น



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของการกระจายตัวเปลวไฟแบบราบเรียบ จาก *An Introduction to combustion: Concepts and Application*, 2nd ed, โดย Stephen Turns, 2000. Singapore: McGraw-Hill

Companies. เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

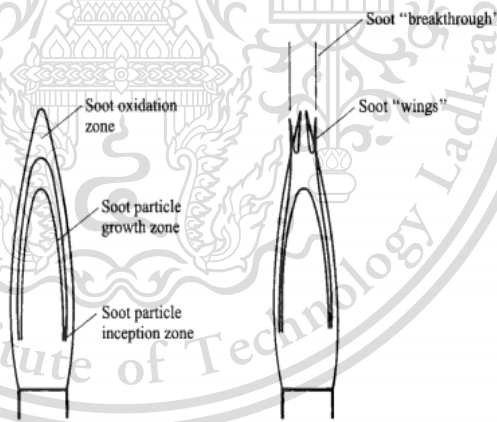
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โครงสร้างถัดขึ้นไปของเปลวไฟนั้นมีแก๊สในสัดส่วนที่เพียงพอที่จะเกิด แรงลอยตัว (buoyant Forces) ที่มีความสำคัญในการเร่งการไหลและทำให้เกิดการบีบเปลวไฟให้แคบ เมื่อ steam line เข้าใกล้กันจนทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้น อีกทั้งความแคบของการไหลนี้ทำให้เชื้อเพลิงพุ่งด้วย gradients dY_F/dr นั้นหมายความว่ามีการกระจายตัวมากขึ้น

ผลกระทบของทั้งสองเหตุการณ์ทำให้ความยาวเปลวไฟจากหัวฉีดเชื้อเพลิงทรงกลมมีแนวโน้มทำให้เกิดการดับได้ ดังนั้นทฤษฎีพื้นฐานนั้นหลีกเลี่ยง Buoyancy fortuitously นั้นสามารถคาดเดาความยาวเปลวไฟที่มีเหตุผลที่ดีสำหรับกายภาพหัวจ่ายทั้งแบบทรงกลมและเหลี่ยม

สำหรับเปลวไฟของสารประกอบ Hydrocarbon นั้นมักจะมีสีเปลวไฟสีส้มหรือสีเหลือง และมีเขม่าก่อดำสะสมขึ้นเมื่อมีการใช้งานที่ระยะเวลาหนึ่ง โดยจะก่อดำที่ตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาและเกิดการใช้เมื่อเขม่าหลุดเข้าไปในตำแหน่ง Oxidizing ดังรูปที่ 2.5 แสดงเขม่ามีการก่อดำขึ้นและทะลุออกจากตำแหน่ง Simple jet flame ซึ่งมักจะขึ้นอยู่กับประเภทของเชื้อเพลิงและ Residence time ของเปลวไฟ นั้นหมายถึงไม่ใช่เขม่าทุกแบบจะก่อดำขึ้น บางครั้ง Oxidized เกิดระหว่างช่วงอุณหภูมิสูงๆ

ในกรณี wings soot อาจเกิดขึ้นจากเขม่าทะลุผ่านเปลวไฟที่หมายถึงควัน



รูปที่ 2.5 รูปแบบของเขม่าและโครงสร้างเปลวไฟแบบเจ็ทราบเรียบจาก *An Introduction to combustion: Concepts and Application. 2nd ed*, โดย Stephen R.Turns, 2000. Singapore: McGraw-Hill Companies.

ลักษณะสุดท้ายของ laminar jet diffusion flame คือ ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเปลวไฟและคุณสมบัติเริ่มต้น สำหรับหัวจ่ายทรงกลมความยาวเปลวไฟไม่ขึ้นกับความเร็วต้นหรือเส้นผ่านศูนย์กลางแต่ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเชิงปริมาตรเริ่มต้น (Q_F) เมื่อ $Q_F = V_e A$

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความผันแปรของ V_e และ $R = 0$ มีผลต่อความยาวเปลวไฟโดยตรง โดยไม่คำนึงถึงผลกระทบจากการถ่ายเทความร้อนของสารตั้งต้น ดังนั้นความยาวเปลวไฟเมื่อ $R = 0$ และ คือ $Y_F = Y_{F,stoich}$

$$L_f \approx \frac{3}{8\pi} \left(\frac{Q_F}{D_{YF}} \right) \quad (2.11)$$

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความยาวเปลวไฟนั้นแปรผันตามของอัตราการใช้เชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังแปรผันกับ Stoichiometric fuel mass fraction ความสัมพันธ์เหล่านี้บ่งชี้ว่า เชื้อเพลิงต้องการอากาศที่น้อยในการเผาไหม้ให้สมบูรณ์เพื่อให้ได้เปลวไฟที่มีความยาวเปลวไฟสั้นๆ S_L

2.1.6 สหสัมพันธ์ความเร็วเปลวไฟแบบราบเรียบ

ความสัมพันธ์สำหรับความเร็วเปลวไฟแบบลามินาร์ S_L โดย Metghalchi และ Keck [14]

กำหนด S_L สำหรับส่วนผสมของเชื้อเพลิงและอากาศที่หลากหลายในช่วงอุณหภูมิและความดันโดยทั่วไป เงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนอง หัวนำเผา

$$S_L = S_L (T_u/T_{u,ref})^\gamma \left(\frac{P}{P_{ref}} \right)^\beta \quad (2.16)$$

โดยได้ว่า

$$S_L = S_{L,REF} \quad (2.17)$$

และ $T_u > \approx 350 K$

เงื่อนไขการอ้างอิงที่กำหนดโดย $T_{u,ref} = 298 K, P_{ref} = 1 atm$ at $T_{u,ref}$ constant

$$S_{L,ref} = B_M + B_2(\phi - \phi_M)^2 \quad (2.18)$$

$$\gamma = 2.18 - 0.8(\phi - 1) \quad (2.19)$$

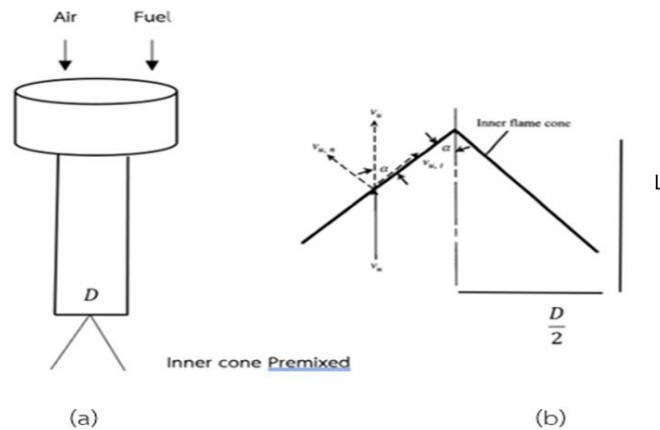
$$\beta = -0.16 + 0.22(\phi - 1) \quad (2.20)$$

$S_{L,ref}$ จะใช้ในการอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบ S_L ต่อไปนี้บทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.6 (a) ท่อหัวนำเผา (b) ความเร็วเปลวไฟแบบราบเรียบ *An Introduction to combustion: Concepts and Application. 2nd ed,* โดย Stephen R.Turns, 2000. Singapore: McGraw-Hill Companies.

จาก รูปที่ 2.6 แสดงถึงลักษณะการออกของเปลวไฟแบบราบเรียบของหัวนำเผาผสมกันร่วมน้ำ (Premixed) โดยจะเป็นการผสมกันก่อนของ เชื้อเพลิง (Fuel) และ อากาศ (Air) เป็นรูปคล้ายสามเหลี่ยมหน้าจั่ว เมื่อทำการแบ่งครึ่งจะได้สามเหลี่ยมมุมฉาก ซึ่งมุมจะสามารถหาความสัมพันธ์จากมุม α โดยใช้วิธีสามเหลี่ยมตรีโกณมิติ

2.1.7 การหาค่าความเร็วเปลวไฟแบบปั่นป่วน

การหาค่าความเร็วเปลวไฟแบบปั่นป่วนทำได้โดยหาจากผล ของความหนืดของการไหลแบบปั่นป่วนสูงขึ้นตามความแรงของ กระแสไหลหมุนวนที่ทำให้เกิดความเร็วในแนวสัมผัสมากขึ้น เป็นการ เพิ่มแรงหนีศูนย์กลาง ทำให้บริเวณการไหลวนขยายตัวออกตามแนว รัศมีและมีขนาดใหญ่ขึ้นตามความยาว นั้นหมายความว่าบริเวณที่เกิด การผสมกันได้มีขนาดใหญ่ขึ้นนั่นเอง ถ้ามีความเป็นTurbulent viscosity ratio มากขึ้นก็จะทำให้บริเวณนั้นเกิดการผสมกันดีขึ้น และสามารถวัดการผสมของทั้งห้องเผาไหม้เฉลี่ยของทั้งหัวนำเผา

Turbulent viscosity ratio

เพื่อที่จะวัดการผสมภายในเราจะใช้ค่า Turbulent viscosity ratio ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความหนืดของการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Viscosity, turb μ) กับความหนืดของการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Viscosity, lam μ) เป็นค่าดัชนีที่วัดการผสม ดังสมการต่อไปนี้

$$\beta = \frac{\mu_{turb}}{\mu_{laminar}} \quad (2.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่า ค่าความเร็วเปลวไฟแบบ Turbulent Flame คำนวณได้จากอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$V = \frac{m_{fuel}}{\rho A} \quad (2.22)$$

โดยค่าความหนาแน่นอากาศ คือ 1.2 Kg/m^3

2.2 ทฤษฎีของการไหลในท่อ

2.2.1 การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynold number) ของการไหลจะเป็นตัวชี้วัด ซึ่งบ่งชี้ถึงอัตราส่วนของแรงเฉื่อย (ซึ่งจะสัมพันธ์กับการพาของของไหล) ต่อแรงเนื่องจากความหนืด

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2.23)$$

เมื่อ ρ คือความหนาแน่นของไหลมีหน่วยเป็น kg/m^3

V คือความเร็วการไหลมีหน่วยเป็น m/s

D คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อมีหน่วยเป็น m

μ คือความหนืดสัมบูรณ์ (absolute viscosity) มีหน่วยเป็น kg/(m.s)

ในการทดลองเราจะสังเกตได้ว่า ค่า Reynold ต่ำกว่าค่าหนึ่งที่เราเรียกว่า ค่าวิกฤติ

Re_{crit} นั้นการไหลจะมีลักษณะราบเรียบ ซึ่งแต่ละชั้นของของไหลจะมีค่าความเป็นระเบียบ ซึ่งเป็นการไหล

แบบ Laminar Flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่เห็นได้ชัดเป็นอย่างยิ่ง และสงวนลิขสิทธิ์ไว้ทุกประการ

ยุ่งเหยิง (Completed Turbulent Flow)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ถ้า Reynold number มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2000 ($Re \leq 2000$) ของไหลนั้นจะมีลักษณะการไหลแบบ Laminar flow

ถ้า Reynold number มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 4000 ($Re \geq 4000$) ของไหลนั้นจะมีลักษณะการไหลแบบ Turbulent flow

ซึ่งกรณีการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) จะทำให้การผสมเชื้อเพลิงและอากาศที่มีการคลุกเคล้าดีกว่าการไหลในกรณีแบบราบเรียบ (Laminar Flow) ทำให้ส่วนผสมเชื้อเพลิงและอากาศนั้นมีการจุดติดไฟที่ง่ายขึ้น

2.3 หัวเผา (Burner)

หัวเผาเป็นอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่ป้อนเชื้อเพลิง มาผสมกับอากาศ จากนั้นจึงจุดติดไฟก่อให้เกิดการเผาไหม้ ในกรณีหม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงแข็งทั่วไปจะไม่มีการใช้หัวเผา เนื่องจากมีเชื้อเพลิงที่หลากหลาย จึงมีการแบ่งชนิดของหัวเผาตามชนิดของเชื้อเพลิงได้ 2 กลุ่มหลักได้แก่ หัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส และหัวเผาเชื้อเพลิงเหลว

2.3.1 หัวเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊ส (Gas fuel burner)

หัวเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊ส คือหัวเผาที่ออกแบบมาสำหรับใช้ในการสันดาปเชื้อเพลิงแก๊ส สามารถแบ่งหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส ตามขั้นตอนในการผสมเชื้อเพลิงแก๊สกับอากาศได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆคือ

- 1) หัวเผาเชื้อเพลิงแก๊สแบบผสมเชื้อเพลิงกับอากาศก่อนป้อนเข้าเผาไหม้ (Premix gas burner)

หัวเผาลักษณะนี้จะมีห้องผสมเชื้อเพลิงแก๊สให้เข้ากันกับอากาศ เพื่อที่จะให้เชื้อเพลิงแก๊สและอากาศมีการผสมคลุกเคล้าได้ดีก่อนที่จะมีการเริ่มเผาไหม้

- 2) หัวเผาเชื้อเพลิงแก๊สแบบผสมกันภายในหัวเผา (Nozzle-mix gas burner)

หัวเผาลักษณะนี้จะจ่ายเชื้อเพลิงก๊าซและอากาศเข้าเผาไหม้ทันทีพร้อมกันที่บริเวณด้านหน้าหัวเผา

2.3.2 หัวเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลว (Liquid fuel burner)

หัวเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวหรือน้ำมัน (Liquid fuel burner) ทุกประเภทจะมีขั้นตอนการทำงานที่สำคัญเหมือนกัน 2 ขั้นตอน คือ Filming ซึ่งเป็นขั้นตอนทำให้น้ำมันก่อตัวเป็นแผ่นฟิล์มบางมากๆ (Oil film) และ

Disintegration คือขั้นตอนทำให้น้ำมันบางที่เกิดจากขั้นตอนแรกแตกกระจายเป็นอนุภาคเล็กๆ (Oil droplet) รัศมี

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยอาศัยความไม่เสถียรที่มีอยู่ในตัวของแผ่นน้ำมันบางเองหรือโดยใช้ของไหลอื่นมาทำให้แตกตัวสำหรับหัวเผาเชื้อเพลิงเหลวหรือน้ำมันสามารถแบ่งได้ 3 ลักษณะ คือ

1) หัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้ความดันน้ำมัน (Pressure atomized burner)

หัวเผาแบบพ่นฝอยโดยใช้ความดันน้ำมัน อาศัยความดันของน้ำมันเพื่อฉีดเป็นฝอย หัวเผาแบบนี้เหมาะสำหรับหม้อน้ำขนาดใหญ่ เช่น ในเรือเดินสมุทรและเครื่องจักรผลิตไฟฟ้า

2) หัวเผาแบบพ่นฝอยใช้น้ำหรืออากาศ (Steam or air atomized burner)

หัวเผาแบบพ่นฝอยใช้น้ำหรืออากาศ หรือเรียกหัวเผาแบบไหลคู่ (Twin-fluid atomized burner) เป็นหัวเผาใช้ลมหรือน้ำเพื่อฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้เป็นฝอยหลักการการทำงานคือ น้ำมันไหลผ่านในท่อขนาดเล็กซึ่งวางเรียงตัวกันอยู่ด้านในของท่อใหญ่ โคนมีอากาศหรือน้ำภายใต้ความดันสูงไหลผ่านในท่อด้านนอก ที่ปลายท่อทั้งสอง น้ำมันและอากาศหรือน้ำ จะถูกเป่าให้กระทบกันจึงทำให้น้ำมันแตกตัวเป็นฝอยเล็กๆ

3) หัวเผาแบบใช้แรงเหวี่ยงของถ้วยหมุน (Rotary cup burner)

หัวเผาแบบใช้แรงเหวี่ยงของถ้วยหมุน อาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อกระจายน้ำมันให้เป็นฝอย การทำงานของหัวเผาชนิดนี้คือ น้ำมันถูกป้อนทางท่อด้านในของกรวยที่กำลังหมุนรอบแกนด้วยความเร็วรอบประมาณ 3,500-4,000 รอบต่อนาที ทำให้น้ำมันถูกเหวี่ยงชนผนังด้านในถ้วยแล้วออกเป็นแผ่นบาง และถูกสับตัดออกจากถ้วย ทำให้เป็นฝอยละเอียด จากนั้นจึงระเหยเป็นไอ และติดไฟทันที หัวเผาแบบนี้เหมาะใช้กับน้ำมันที่มีความหนืดสูง เช่น น้ำมันเตา เป็นต้น

2.4 หลักการทำงานของ Pressure gauge, Rotameter

2.4.1 หลักการทำงานของ Pressure gauge

Pressure gauge เป็นอุปกรณ์ใช้ความดัน โดยใช้หลักการของงานของหลอดปรอทตรง ซึ่งเป็นหลอดที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงรีและงอเป็นสวนโค้งของวงกลม ปลายด้านหนึ่งของหลอดเป็นปลายปิดต่อเข้ากับเข็มตรวจวัดตำแหน่งและระยะการเคลื่อนที่ ปลายอีกด้านหนึ่งเป็นปลายเปิดต่อเข้ากับสิ่งที่ต้องการวัดความดัน เมื่อหลอดได้รับคราบน้ำมันหรือความดันภายในหลอดมากกว่าความดันภายนอก หลอดจะเกิดความเครียดขึ้นและพยายามยืดหัวออกให้ตรงทำให้ปลายข้างที่ปิดเคลื่อนที่โดยการเคลื่อนที่นี้เปลี่ยนแปลงตามความดันที่ได้รับ และเมื่อความดันลดลงหลอดจะเคลื่อนที่กลับเข้าสู่ตำแหน่งเดิม

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.2 หลักการ Rotameter

Rotameter เป็นอุปกรณ์ใช้วัดอัตราการไหลของไหลโดยอาศัยการไหลผ่านท่อปิดซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดไม่สม่ำเสมอ (Tapered Tube) ซึ่งผ่านในท่อดังกล่าวจะบรรจุฟลูว (Float) ไว้ภายในโดยหลักการทำงานคืออาศัยความสมดุลของแรงที่กระทำต่อฟลูวเมื่อมีของไหลไหลผ่านท่อกกล่าวคือ แรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity, F_G) แรงลอยตัว (Buoyancy, F_B) มีค่าน้อยมากเมื่อวัดค่าอยู่ในอากาศ) และแรงต้านการไหล (Drag, F_D) ซึ่งสามารถแสดงดังสมการ

$$\sum F_y = 0 \quad (2.24)$$

$$F_D + F_B - F_G = 0 \quad (2.25)$$

หรือ

$$C_d \frac{\rho_{fluid} v^2 A_f}{2} + \rho_{fluid} V_g - \rho_{float} V_g = 0 \quad (2.26)$$

ดังนั้น

$$Q = A_a(y) \sqrt{\frac{2(\rho_{float} - \rho_{fluid}) V_g}{\rho_{fluid} C_d A_f}} = K_R A_a(y) \quad (2.27)$$

จากสมการข้างต้นจะได้ สมการแสดงอัตราการไหลของของไหลเมื่อไหลผ่านท่อซึ่งมีความสัมพันธ์กับพื้นที่หน้าตัดของวงแหวนระหว่างท่อและฟลูว ซึ่งจะแปรผันตามระดับความสูงของฟลูวเมื่ออัตราการไหลเปลี่ยนไปโดยที่

C_d คือ ค่า drag coefficient

A_f คือพื้นที่หน้าตัดของลูกลอย

$A_a(y)$ คือพื้นที่หน้าตัดของวงแหวนระหว่างท่อและฟลูวซึ่งแปรผันตามระดับความสูง y

v คือปริมาตรของลูกลอย Rotameter

K_R คือค่าคงที่ของมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5 มลพิษจากการเผาไหม้

2.5.1 มลพิษ

มลพิษทางอากาศเป็นเรื่องที่วิตกกังวลของทุกประเทศทั่วโลก กิจกรรมของมนุษย์โดยเฉพาะงานอุตสาหกรรม การผลิต การขนส่ง เครื่องยนต์กลไกต่างๆ มลพิษปฐมภูมิ ได้แก่ มลพิษที่ถูกปล่อยออกโดยตรงสู่บรรยากาศ สำหรับการเผาไหม้มวลผลิตภัณฑ์ของการเผาไหม้เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนและออกซิเจนที่สมบูรณ์ออกมาเป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ในความเป็นจริงแล้วการเผาไหม้ปกติ อากาศจะเป็นแหล่งให้ออกซิเจน และหากเชื้อเพลิงมีโมเลกุลของสารอื่นประกอบอยู่ด้วย อีกทั้งการเผาไหม้เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์แบบตาม ทฤษฎี จึงมีการเกิดของสารประกอบอื่นๆ ด้วยหากปล่อยออกสู่บรรยากาศโดยตรง มลพิษที่สำคัญ ได้แก่

- 1.อนุภาคจุลสาร - เขม่าถ่าน ชี๊ถั่วลอย อนุภาคแขวนลอยในก๊าซอื่นๆ
- 2.ออกไซด์ของไนโตรเจน-NO.
- 3.สารประกอบไฮโดรคาร์บอน-PAH,aldehydes,benzene
- 4.คาร์บอนมอนอกไซด์
- 5.ออกไซด์ของกำมะถัน -SO.
- 6.ไดออกซินและฟูราน
- 7.ก๊าซเรือนกระจก - CO₂, N₂O ,CH₄
- 8.กลิ่นและเสียง

2.5.2 ผลกระทบของมลพิษ

ตัวอย่างผลกระทบที่มีต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เช่น ส่งผลกระทบต่อกาเปลี่ยนแปลงทางลบของสภาวะสิ่งแวดล้อมทางอากาศการเพิ่มขึ้นของปัญหาหมอกควัน ฝุ่น บังปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ส่องมายังพื้นดิน ทัศนวิสัยลดลง และมีผลกระทบต่อสภาพบรรยากาศโลกโดยรวม ส่งผลต่อการเพิ่มอัตราการเจ็บป่วยและการเสียชีวิตของมนุษย์ที่ได้รับทั้งทางตรงและทางอ้อมในระยะสั้นและระยะยาว เป็นอันตรายต่อเหล่าพืชพันธุ์ไม้ พื้นที่ป่า ท้องทุ่ง แนวปะการัง และแหล่งนิเวศวิทยาอื่นๆ เนื่องจากมีสารพิษเป็นจำพวกSO₂ PAN, C₂H₄ เป็นอันตรายต่อระบบสังเคราะห์แสงของพืช (Phytotoxics)

การตกสัมผัสหรือฝังตัวขอมลพิษบนพื้นผิวส่งปลุกสร้าง อนุสรณ์สถาน วัสดุต่างๆที่ทำให้เสื่อมคุณภาพและการสึกกร่อนได้ คุไม่สวยงาม หากจะกำจัดหรือทำความสะอาด บุรณะปรับปรุง ก็ต้องเสียค่าใช้จ่ายและเวลา อีกตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเนื่องจากเกิดขึ้นในพื้นที่จากมลพิษของการเผาไหม้ คือ ผลจากการทำปฏิกิริยาระหว่างออกไซด์ของไนโตรเจนกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนถูก พิจารณาว่าเป็นสาเหตุการเกิดหมอกทางโฟโตเคมี (photochemical smog) โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดโอโซน O₃, ที่เหลือเจือปนสารพิษอื่น ๆ กลายเป็นฝุ่นละอองลอยทุติยภูมิ (secondary aerosol)ออกมารวมกับอนุภาคจุลสาร และฝุ่นละ อองอากาศ หมอกทางโฟโต

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เคมี มีลักษณะเป็นกลุ่มหมอกละอองลอยสี น้ำตาลหรือเหลืองคล้ำมักก่อตัวในบริเวณที่มีอากาศนิ่งเคลื่อนที่เหนือเมืองใหญ่ๆที่มีการจราจรหนาแน่น เช่น เชียงใหม่ กรุงเทพฯ ลอนดอน ลอสแอนเจลิส หมอกทางโฟโตเคมีจะทำให้เมื่อนัยน์ตาระคายเคือง ทำลายความนุ่มของเนื้อเยื่อปอดของมนุษย์ ทำให้หายใจถี่ เหนื่อยล้าปวดศีรษะ อาเจียน มีปัญหาเกี่ยวกับระบบหายใจเป็นโรคหืดหอบได้

2.5.3 การเกิดมลพิษจากการเผาไหม้

2.5.3.1 อนุภาคจุลสาร

อนุภาคจุลสาร (particulate matter) จากการเผาไหม้ ประกอบด้วย อนุภาคเขม่า(soot)เศษเถ้าลอย (fly ash) และฝุ่นผงขนาดเล็กอื่นๆ ที่เกิดขึ้นจากโมเลกุลเชื้อเพลิงที่ไม่ถูกเผาไหม้หรือถูกเผาไหม้เพียงบางส่วนในเปลวไฟชนิดแพร่ผสม และในเปลวไฟชนิดผสมก่อน ที่ไม่สมบูรณ์ หรือบริเวณที่ส่วนผสมบาง หรือหนาเกินไปต่อ การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ หรืออาจเกิดจากการบีบอัดของเปลวไฟที่ผนังห้องเผาไหม้ อนุภาคจุลสารเหล่านี้มีส่วนประกอบของ อนุภาคเขม่า อินทรีย์สาร ซัลเฟต และกลุ่มออกไซด์ของโลหะในรูปเศษเถ้า มีขนาดและรูปร่างต่างกันไปในช่วงเล็กมาก 10 nm เป็นทรงจนถึงขนาดใหญ่ 2000 nm

ส่วนใหญ่จะมีขนาดอยู่ในช่วง 100 - 500 nm มีรูปร่างเกาะเป็นก้อนไม่ปกติ(irregular)ความเข้มข้นเชิงมวลและเชิงจำนวนจะมีค่าสูงมาก อนุภาคเขม่าจากการเผาไหม้คือ อนุภาคคาร์บอนที่มีส่วนของไฮโดรเจนด้วยอย่างน้อย 19 โดยมวล คิดเป็นสูตรเคมีอย่างง่าย คือ C_8H เขม่าจึงไม่ใช่ถ่านหรือคาร์บอนบริสุทธิ์ มักเกิดในบริเวณที่ส่วนผสมเชื้อเพลิงหนาเสมอ ซึ่งเป็นธรรมดาของกลไกการเผาไหม้ที่มีส่วนผสมของเชื้อเพลิงและออกซิไดเซอร์จะไม่สม่ำเสมอทั้งหมดทั้งนี้เพราะขึ้นกับกลไกการผสมหรือความปั่นป่วน และสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ เขม่าเกิดได้ง่ายในเปลวไฟชนิดแพร่ผสมมากกว่าเปลวไฟชนิดผสมก่อน

2.5.3.2 คาร์บอนมอนอกไซด์

คาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ มีสาเหตุมาจากหลายประการเช่น สภาวะการเผาไหม้แบบส่วนผสมหนาเกินไป การผสมคลุกเคล้ากันไม่ดีพอ ปริมาณอากาศไม่เพียงพอ นอกจากนี้ ยังมีสาเหตุมาจากสภาพการเผาไหม้ภายใต้อุณหภูมิต่ำก่อนข้างสูงจนทำให้เกิดการแตกสลายตัวของคาร์บอนไดออกไซด์มาเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ได้

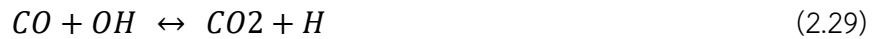


คาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นมีเวลาสั้นเกินไปในโซนการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้เนื่องจากต้องระบายก๊าซไอเสียออกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าทันที อุณหภูมิ และความดันลดลงอย่างทันทีทันใด ดังนั้น CO จะอยู่ในสภาวะสมดุลบางมากกว่าที่จะอยู่ในสภาวะไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สมดุลอย่างสมบูรณ์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจาก CO เป็น CO_2 เกิดขึ้นไม่เต็มที่ เพราะถูกจำกัดด้วยการแย่งเข้าทำปฏิกิริยาของ OH กับ H



ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์สามารถควบคุมได้จากอัตราส่วนสมมูล หรือปริมาณออกซิเจนในปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่นและเป็นพิษต่อร่างกายอย่างมาก จนอาจทำให้เสียชีวิตได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในบริเวณที่มีความเข้มข้นของก๊าซสูง เมื่อร่างกายได้รับ CO ในระดับต่ำ จะทำให้ ร่างกาย สมอง และกล้ามเนื้อ ได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ ปฏิกิริยาตอบสนองของร่างกายจะช้าลงและขาดการตัดสินใจที่ดี เมื่อร่างกายรับก๊าซชนิดนี้เข้าไปในปริมาณมากๆ สามารถทำให้เสียชีวิตได้เหมือนอย่างเช่นที่เคยเป็นข่าวจากการติดเครื่องยนต์ของรถยนต์อยู่กับที่เป็นเวลานานๆ ในที่บริเวณอับการระบายอากาศไม่ดีพอ หรือโดยการรั่วของ CO เข้าไปในห้องโดยสารของรถยนต์

2.5.3.3 สารประกอบไฮโดรคาร์บอน

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้มีที่มาจากเชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น โดยกระบวนการเหล่านี้คือ (i) การที่เชื้อเพลิงหลุดรอดจากการเผาไหม้ (ii) การแตกสลายตัวของเชื้อเพลิง และ (iii) การทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนบางส่วน สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ได้เกิดจากการเผาไหม้มีส่วนประกอบเป็นพวกกลุ่มพาราฟิน โอลิฟิน และอะโรมาติก ที่พบตามปกติสาเหตุที่ทำให้เกิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจากระบบการเผาไหม้ เนื่องมาจากหลายสาเหตุ เช่นคุณภาพการเผาไหม้ไม่ดี การจุดไม่ติด (misfire) การผสมกันไม่ดี ส่วนผสมบางหรือหนาเกินไป เกิดการดับของเปลวไฟในบริเวณที่มีการยืดของเปลวไฟ (Flame stretching) ที่มากเกินไปตามระดับความเข้มข้นของความปั่นป่วนที่สูงมาก จนทำให้แนวเปลวไฟขาด ส่งผลให้เชื้อเพลิงบางส่วนหลุดลอดผ่านแนวเปลวไฟออกไปโดยไม่เกิดการติดไฟ เหตุอีกประการหนึ่ง คือ การบีบดับของเปลวเพลิง (Flame quenching) เกิดจากการลดลงของอุณหภูมิเปลวไฟจนดับไปเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนสูงเฉพาะบริเวณ โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่องเล็กๆ ในห้องเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำมาก เมื่อเทียบกับอุณหภูมิเปลวไฟ เช่น ผนังห้องเผาไหม้ ช่องที่อยู่ระหว่างผิวด้านในกระบอกสูบโดยนับจากหัวลูกสูบ ลงมาถึงตำแหน่งแหวนลูกสูบ ช่องระหว่างแหวนลูกสูบ ช่องที่ร่องเกลียวสำหรับหัวเทียนบนฝาสูบเครื่องยนต์ ช่องระหว่างเขี้ยวหัวเทียน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีสาเหตุเพิ่มเติม คือ การซึมซับไฮโดรคาร์บอน ในเศษกากเขม่าและคราบน้ำมันเครื่องในห้องเผาไหม้ที่ความดันสูง ทำให้ไม่ถูกเผาไหม้เมื่อมีการระบาย ไฮโดรเจน ความดันลดลง ก็จะระเหยและถูกระบายออกมาสู่บรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

3.1 การคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องขวางการไหล

เพื่อให้การไหลของส่วนผสมเชื้อเพลิงแอลพีจีและอากาศมีการไหลในสภาพความปั่นป่วนทำให้เชื้อเพลิงมีการผสมกับอากาศได้ดี ซึ่งการผสมกันได้ดีส่งผลถึงการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้น มลพิษจากการเผาไหม้ลดลงและทำให้การทำงานของหัวเผามีความเสถียรที่มากขึ้น

จาก

$$Q = AVQ$$

$$Q = AVQ = \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)V$$

$$VD = \frac{4Q}{\pi D}$$

(3.1)

เมื่อ Q คืออัตราการไหลเชิงปริมาตรมีหน่วยเป็น m^3/s

V คือความเร็วการไหลมีหน่วยเป็น m/s

D คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในช่องการไหลมีหน่วยเป็น m

A คือพื้นที่หน้าตัดการไหลมีหน่วยเป็น (m^2)

จาก Reynold number $Re = \frac{\rho VD}{\mu}$

แทนค่า VD จากสมการ (3.1)

$$Re = \frac{\rho}{\mu} \left(\frac{4Q}{\pi D}\right) VD$$

การไหลเป็น Turbulent เมื่อค่า $Re \geq 4000$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\text{ดังนั้น} \quad D \leq \frac{\rho}{\mu} \left(\frac{4Q}{\pi} \right) \frac{1}{(4000)} \quad (3.2)$$

เมื่อ ρ คือความหนาแน่นของไหลมีหน่วยเป็น kg/m^3

V คือความเร็วการไหลมีหน่วยเป็น m/s

D คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในช่องการไหลมีหน่วยเป็น m

μ คือความหนืดสัมบูรณ์ (absolute viscosity) มีหน่วยเป็น kg/(m.s)

กำหนดให้ ค่าความหนาแน่นแก๊สแอลพีจีที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสคือ 1.898 Kg/m^3

ค่าความหนืดสัมบูรณ์ $0.788 \times 10^{-6} \text{ Kg/(m.s)}$

ค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของส่วนผสมแก๊สแอลพีจีกับอากาศเป็น $0.002267707 \text{ m}^3/\text{s}$

ดังนั้น

$$D \leq \frac{1.898}{0.788 \times 10^{-6}} \left(\frac{4(0.002267707)}{\pi} \right) \frac{1}{(4000)}$$

$$D \leq 1.738$$

ดังนั้นหมายความว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องขวางการไหลต้องมีขนาดที่ไม่เกิน 1.738 เมตร

3.2 การคำนวณความยาวเปลวไฟ

การคำนวณขนาดช่องขวางการไหลที่ทำให้ความยาวเปลวไฟมีความยาวไปถึงตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์อ่านค่าอุณหภูมิที่ทำหน้าที่ตรวจสอบการลุกไหม้ของเปลวไฟ โดยตัวอุปกรณ์การวัดอุณหภูมิได้ติดตั้งที่ฐานรองรับหัวนำเผาเดิมที่มีระยะห่างจากปลายหัวนำเผาที่ระยะ 36 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยการคำนวณจะใช้สมการการคำนวณความยาวเปลวไฟแบบที่ turbulent diffusion flame เนื่องจาก
 คำนวณตำแหน่งเปลวไฟจากแบบหัวเผาเดิมที่มีค่าอัตราส่วนสมมูล (Equivalent ratio, ϕ) = 1 เมื่อ ϕ ($r=0$,
 $x=L_f$)=1 จะเป็นจุดที่มีการเผาไหม้สมบูรณ์และมีอุณหภูมิเปลวไฟสูงที่สุด

ดังนั้นจะได้สมการที่ทำหน้าที่การหาความยาวเปลวไฟดังนี้

$$L_f \approx \frac{3}{8\pi} \left(\frac{Q_F}{D x Y_F} \right) D$$

ดังนั้น

$$D \approx \frac{3}{8\pi} \left(\frac{Q_F}{L_f x Y_F} \right) \quad (3.3)$$

เมื่อ D คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในช่องการไหลมีหน่วยเป็น m

Q_F คืออัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิงมีหน่วยเป็น m^3/s

L_f คือความยาวของเปลวไฟมีหน่วยเป็น m

Y_F คือ Fuel mass fraction ไม่มีหน่วย

กำหนดให้

อัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิงเป็น 5 ลิตร/นาที

ความยาวเปลวไฟที่ต้องการคือ 36 มิลลิเมตรโดยวัดจากตำแหน่งปลายท่อหัวนำเผาไปถึงจุดติดไฟ

Fuel mass fraction คือ $\frac{1}{A_{F+1}}$ เมื่อ AF ratio เป็น 15.52 มีค่าเท่ากับ 0.0605

ดังนั้น

$$D \approx \frac{3}{8\pi} \left(\frac{5/(1000 \times 60)}{\frac{36}{1000} \times (0.0605)} \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D \approx 0.00465 \text{ เมตร}$$

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ดังนั้นเพื่อให้หัวนำเผาสร้างเปลวไฟที่มีความยาวเปลวไฟที่ยาว 36 มิลลิเมตรที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิง 5 ลิตร/นาที่ นั้นต้องใส่แผ่นขวางการไหลที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4.65 มิลลิเมตร สำหรับการไหลแบบ turbulent diffusion flame

3.3 การคำนวณความเร็วเปลวไฟ

การคำนวณความเร็วเปลวไฟจากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า C₃H₈ มีความเร็วเปลวไฟของ C₃H₈ อยู่ที่ SL(cm/s)= 44 cm/s

ตารางที่ 1 สำหรับเชื้อเพลิงต่างๆที่เผาไหม้ในอากาศ= 1.0 และ ที่ 1 atm

เชื้อเพลิง	SL (cm/s)
CH ₄	40
C ₂ H ₂	136
C ₂ H ₄	67
C ₂ H ₆	43
C ₃ H ₈	44
H ₂	210

ตารางที่ 2 ค่า Φ_M, B_M, B_2

Fuel	Φ_M	$B_M(\frac{cm}{s})$	$B_2(\frac{cm}{s})$
Methanol	1.11	36.92	-140.51
Propane	1.08	34.22	-138.65
Iso octane	1.13	26.32	-84.72
RMFD-303	1.13	27.58	-78.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถูกห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วเปลวไฟ ที่ 298 K และ 1 atm โดย ข้อมูลจากตารางที่ 2 ใช้สมการ (2.18),(2.19) และ (2.18)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$B_M = 34.22 \text{ cm/s}, B_2 = -138.65 \text{ cm/s}, \Phi_M = 1.08, \text{ sto}i = 1$$

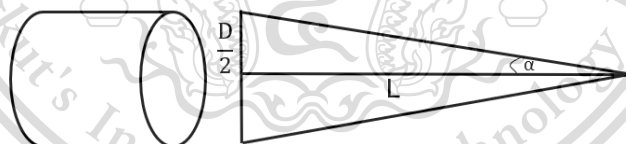
$$S_{L,ref} = B_M + B_2(\Phi - \Phi_M)^2$$

$$S_{L,ref} = 34.22 + -138.65(1 - 1.08)^2 = 33.33 \text{ cm/s}$$

จากสมการที่(2.13) ถ้าต้องการให้มุมเปลวไฟมีมุมประมาณ 30 องศา

$$S_{L,ref} = S_L \text{ เท่ากับส่วนประกอบของ } V_{n,u} = V_u \sin \alpha$$

V_u ความเร็วก่อนการเผาไหม้จะได้ประมาณ 66.66 cm/s



รูปที่ 3.1 ความยาวเปลวไฟแบบราบเรียบ ณ ทางออกของท่อหัวนำเผาแบบผสมล่วงหน้า

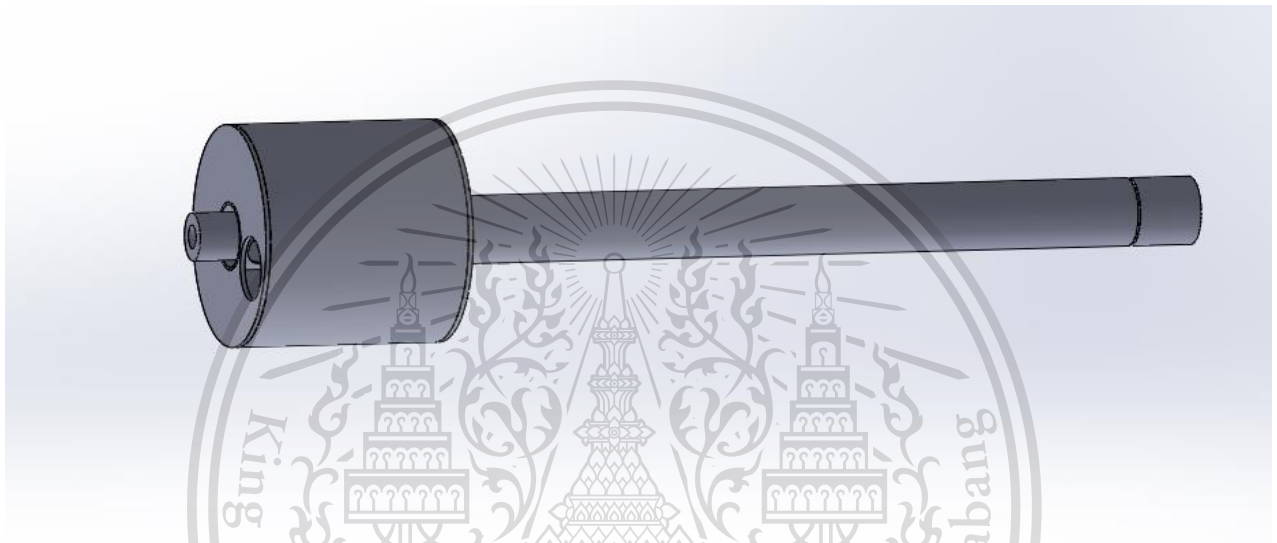
L คือความยาวของเปลวไฟแบบราบเรียบ จากการใช่วิธีการ สามเหลี่ยมตรีโกณมิติเพื่อคำนวณสามารถนำค่า D คือเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อทางออกหัวนำเผา ที่ได้ทำการหามาดูเปรียบเทียบกับแนวโน้มของความยาวเปลวไฟแบบราบเรียบ โดยความยาวของเปลวไฟที่ออกมาจากหัวนำเผาเพื่อนำไปเป็นข้อมูลต่อไปในการทดลองหัวนำเผาข้างนอกเตาเผา เพื่อดูลักษณะเปลวไฟเงื่อนไขต่างๆที่ใช้อัตราส่วนผสมอากาศกับLPGที่แตกต่างกันไปหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.4 การออกแบบหัวนำเผา

แนวคิดการออกแบบ Pilot burner ที่ต้องการให้เชื้อเพลิงและอากาศมีการผสมกันอย่างเพียงพอก่อนมีการเผาไหม้ที่ปลายหัวเผา โดยการเพิ่มตลับเก็บสะสมอากาศเพื่อให้มีการจ่ายอากาศที่จะต้องใช้ผสมกับเชื้อเพลิง LPG ภายในท่อหัวเผาต่อเนื่อง และหัวเผาต้องมีขนาดที่พอดีกับช่องติดตั้งหัวเผาเดิมและมีระยะความยาวไปถึงตำแหน่งจุดระเบิดเดิมด้วย



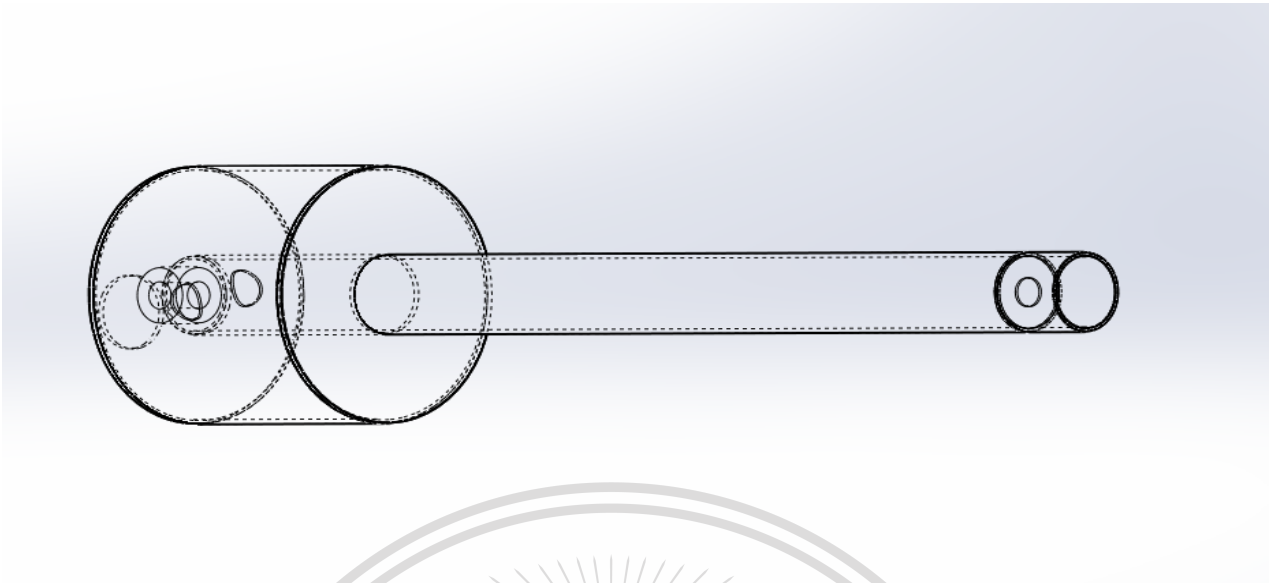
รูปที่ 3.2 CAD 3D ชิ้นส่วน Pilot Burner

อีกทั้งการออกแบบต้องการให้ฐานเปลวไฟเกิดขึ้นภายในท่อหัวเผาที่ระยะห่างจากปลายหัวเผาเหมาะสมที่ทำให้เกิดการลุกไหม้แบบปั่นป่วน และต้องการให้มีการกักเก็บเปลวไฟจากลม Primary air ที่เติมให้กับกระบวนการเผาไหม้ของ Burner ดังนั้นจึงมีการออกแบบให้ที่ปลายหัวนำเผามีแผ่นขวางการไหลของส่วนผสมเชื้อเพลิงและอากาศ

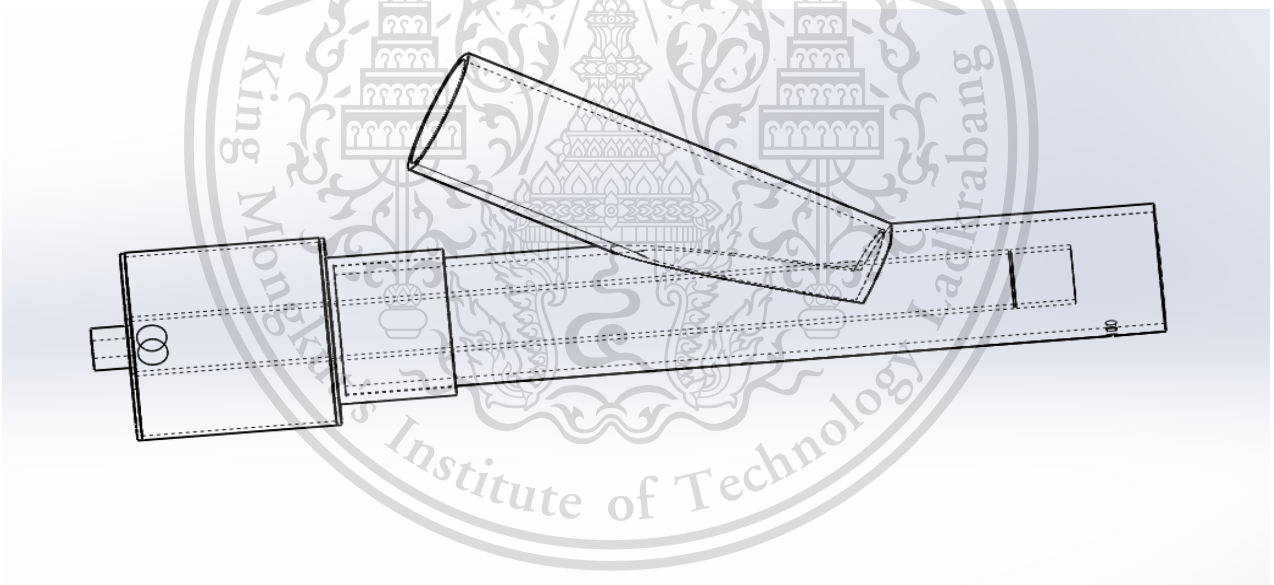
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.3 CAD 3D แสดงแผ่นขวางการไหลส่วนผสมเชื้อเพลิงอากาศของชิ้นส่วน Pilot Burner



รูปที่ 3.4 CAD 3D ของ Pilot Burner เมื่อประกอบเสร็จสมบูรณ์

3.5 การทดลองผลหัวน้ำเผาแบบเดิมก่อนการเปรียบเทียบหัวน้ำเผาที่ออกแบบใหม่

3.5.1 การเก็บค่าและวิธีการหาค่าปริมาณของอากาศ

ในการเก็บค่าปริมาณของอากาศใช้ Anemometer ในการวัด ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดความเร็วลม โดยวิธีการวัดอากาศจะวัดที่ทางเข้าของแบบจำลอง ค่าที่ได้จากเครื่อง Anemometer คือค่า Speed หรือความเร็วลม หากการเก็บข้อมูลค่าไม่ว่า 5 ค่าต่อครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อความแม่นยำของข้อมูล จากนั้นแทนค่าในสูตรเพื่อหาอัตราการไหลของอากาศ (Flow rate)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Flow rate = Speed x Area (พื้นที่หน้าตัด) (1)

โดยอัตราการไหล (Flow rate) มีค่าเท่ากับปริมาตรของอากาศต่อหนึ่งหน่วยเวลา
หลังจากได้ปริมาตรของอากาศแล้ว จะนำค่านี้แทนในสูตรเพื่อหาน้ำหนักของอากาศ

$$M = VD \quad (2)$$

เมื่อ M แทนมวล V แทนปริมาตร และ D แทนความหนาแน่น โดยค่า D ของอากาศมีค่าเท่ากับ 1164 g/m³ ทำให้ทราบค่าของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ โดยน้ำหนัก

3.5.2 การเก็บค่าปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้

ในการวัดผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้จะใช้เครื่อง Gas Analyzer ในการวัด โดยทำการเก็บค่า ออกซิเจน (O₂) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และอุณหภูมิ

3.5.3 ขั้นตอนการหาค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F)

เนื่องจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์สารตั้งต้นจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และ น้ำ (H₂O) เนื่องจากเราใช้แก๊ส LPG (Liquid fined Petroleum gas) ซึ่งมีสูตรทางเคมีที่ประกอบไปด้วย โพรเพนเหลว C₃H₈ 70 Percent และบิวเทน C₄H₁₀ 30 Percent และได้ปฏิกิริยาการเผาไหม้



ในการทำปฏิกิริยาโดยที่อากาศมีออกซิเจน 23% โดยน้ำหนักและไนโตรเจน 78% โดยน้ำหนักจะได้อากาศที่ใช้ป้อนคือ

$$\text{ปริมาณอากาศ} = 5.45 \cdot (32 + (3.76 \cdot 28)) = 748.176 \text{ kg และ ปริมาณเชื้อเพลิง}$$

$$\text{ปริมาณเชื้อเพลิง} = (0.7 \cdot 44) + (0.3 \cdot 58) = 48.2 \text{ kg}$$

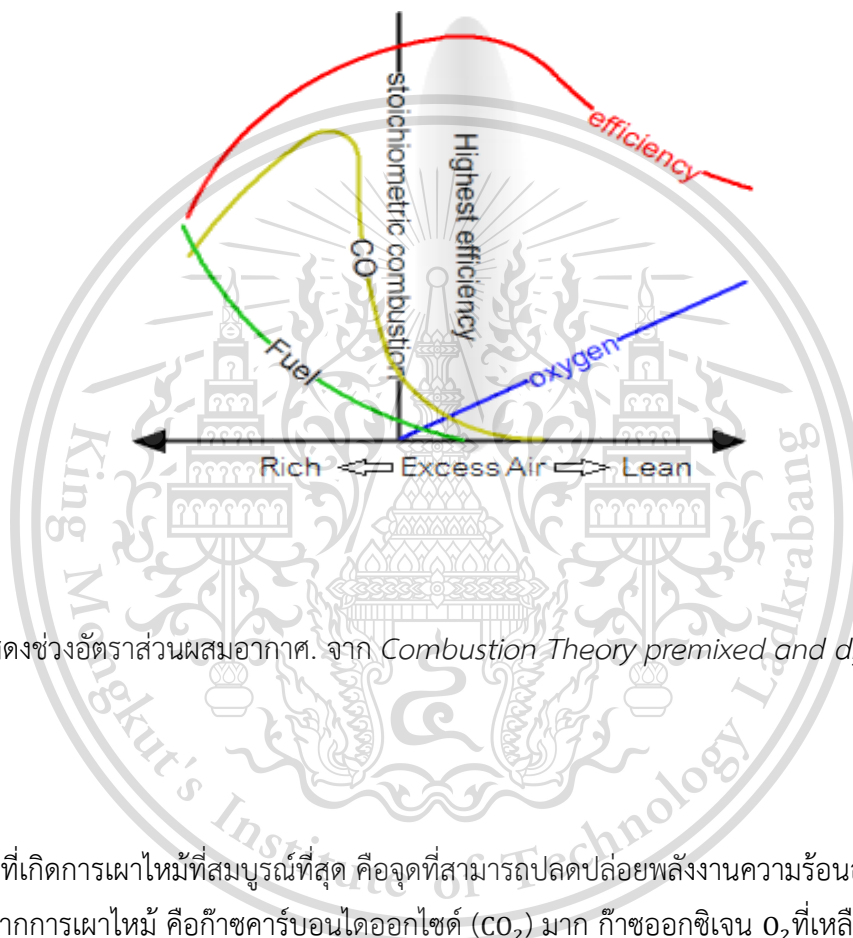
$$\text{ดังนั้นได้ว่าอัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิง} = \frac{\text{ปริมาณอากาศ}}{\text{ปริมาณเชื้อเพลิง}} = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} = \frac{748.176}{48.20} = 15.52:1$$

จึงได้ค่า A/F Ratio = 15.52 ดังนั้นถ้า LPG เหลว 1 กรัม ต้องป้อนอากาศเข้าไปในการเผาไหม้ 15.52 กรัม ตามทฤษฎีได้ว่า

เอกสารนี้เป็น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะใช้กราฟ Stoichiometric Combustion ช่วยในการวิเคราะห์เพื่อหาค่า A/F การคำนวณว่า Ratio ที่เกิดการเผาไหม้ที่เกือบสมบูรณ์มากที่สุด ซึ่งกราฟจะแสดงอากาศและเชื้อเพลิงได้จากการเผาไหม้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นอยู่กับ การเผาไหม้รูปแบบต่างๆ ได้แก่การเผาไหม้ที่มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงพอดีกัน (ideal) การเผา

ไหม้ที่มีอัตราส่วนอากาศมากกว่าเชื้อเพลิง (lean) และการเผาไหม้ที่มีอัตราส่วนอากาศน้อยกว่าเชื้อเพลิง (rich) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กันดังกราฟ Stoichiometric Combustion จาก

กราฟแสดงให้เห็นว่า ณ จุดที่เป็น มีการเผาไหม้แบบ Ideal ผลิตรถยนต์ที่ได้จะมีก๊าซออกซิเจน O_2 และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) น้อย และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มากที่สุด ส่วนที่เป็นการเผาไหม้แบบ Rich จะมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สูงมาก และการเผาไหม้แบบ Lean จะพบ ก๊าซออกซิเจน O_2 หลงเหลือมาก



รูปที่ 3.5 รูปแสดงช่วงอัตราส่วนผสมอากาศ. จาก *Combustion Theory premixed and diffusion flames* (part 1).

ดังนั้นจุดที่เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ที่สุด คือจุดที่สามารถปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมามากที่สุดที่ได้จากการเผาไหม้ คือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มาก ก๊าซออกซิเจน O_2 ที่เหลือจากการเผาไหม้จะต้องมีน้อย และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) น้อย เมื่อเราได้จุดที่ตรงตามหรือใกล้เคียงจุดที่เป็น Stoichiometric แล้วจะนำมาคำนวณหาค่า A/F Ratio ที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

อุปกรณ์และเงื่อนไขการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสร้างระบบ Pneumatic system ของการไหลท่อลมและแก๊ส LPG และการสร้าง Pilot burner ใหม่ โดยแสดงขั้นตอนการสร้างในขั้นตอนต่างๆ รวมทั้งอธิบายอุปกรณ์ในการทดลอง เงื่อนไขในการทดลองและวิธีการทดลอง

4.1 สร้างแผงควบคุมการไหลท่อลมและแก๊ส LPG

วางระบบของท่อลมของ Pilot burner เพื่อจ่ายอากาศและเชื้อเพลิงเข้าผสมกันที่ห้องผสมผ่านอุปกรณ์ที่ควบคุมอัตราการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงแก๊ส โดยแสดงทั้งการอัตราการไหลเชิงปริมาตรของท่ออากาศ และแก๊ส LPG ไปที่ เส้นวาล์ว โรตاميเตอร์ (Rotameter) และ แสดงความดันของท่อไปที่ Pressure Gauge โดยระบบ เพื่อช่วยการเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น



รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ที่จะใช้ในการต่อระบบควบคุมการจ่ายอากาศและเชื้อเพลิง LPG

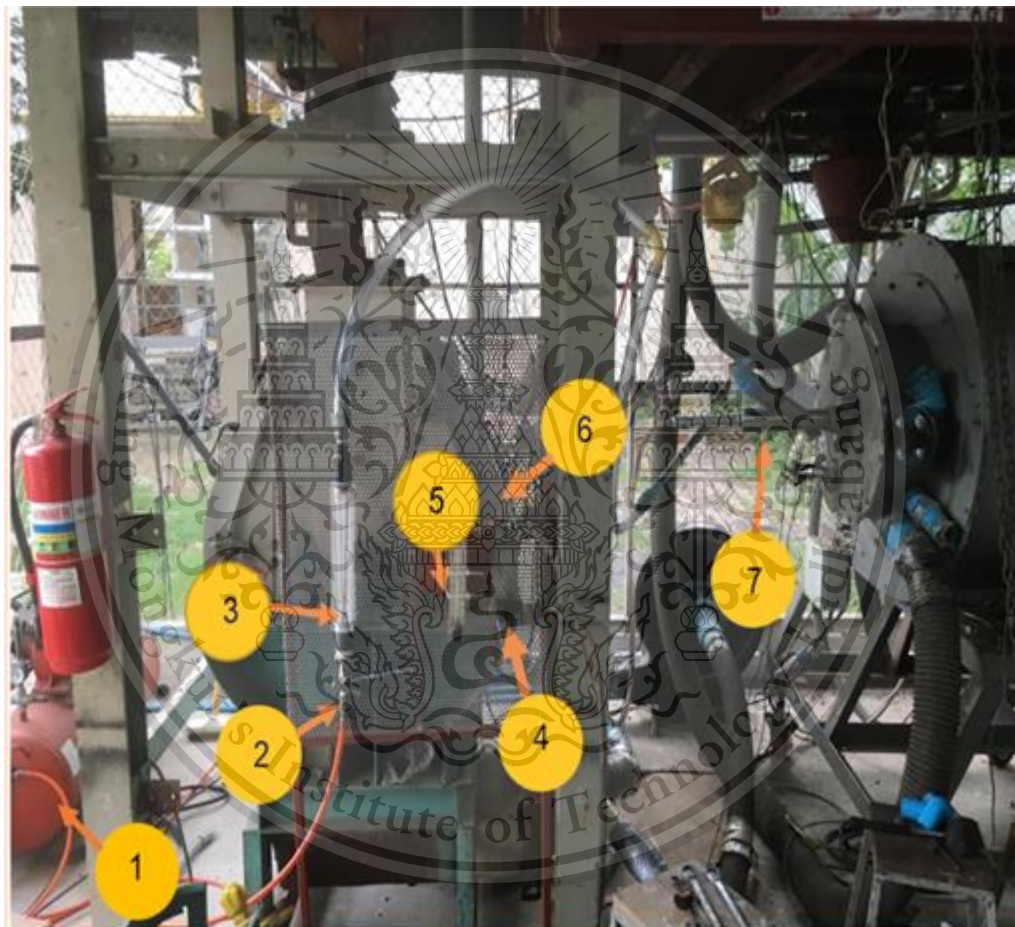
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การควบคุมการจู่ระเบิดของหัวนำเผาเชื้อเพลิงแก๊สจะถูกส่งจากตัว Header โดยมี Ball valve เป็นตัวควบคุมเพื่อเปิดวาล์วให้แก๊สไปยัง Rotameter เพื่อวัดอัตราการไหลของแก๊ส และวัดแรงดันโดย Pressure gauge ที่ถังบรรจุก๊าซเชื้อเพลิงแก๊สเข้าทางเดินแก๊ส 2 ทางก่อนเข้าอุปกรณ์วัดอัตราการไหลที่เชื่อมต่อกับท่อสายยางแก๊สและท่อทองแดงเนื่องจากกรณีที่ถังบรรจุก๊าซถึงแรกเริ่มหมด ทำให้การจ่ายเชื้อเพลิงแก๊สไม่ต่อเนื่องจึงต้องการสลับไปใช้แก๊สเชื้อเพลิงถังที่ 2 ทันทีเพื่อรักษาความเสถียรเปลวไฟจากการจ่ายเชื้อเพลิงแก๊สที่ต่อเนื่อง อีกทั้งใช้ Solenoid valve ซึ่งจะใช้ไฟฟ้าในการสั่งการเปิดปิดวาล์ว หรือใช้วาล์วปิดเปิดแก๊สแบบปกติ เพื่อปิดหรือเปิดการจ่ายแก๊สเชื้อเพลิง ในกรณีที่ Solenoid valve มีการชำรุดเสียหาย



รูปที่ 4.2 แผงควบคุมแก๊ส LPG ก่อนเข้าหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อุปกรณ์ชุดควบคุมการจ่ายอากาศและเชื้อเพลิงแก๊ส LPG

1. ป้อนลมจ่ายอากาศ
2. Ball valve
3. Rota meter ยี่ห้อ Nitto รุ่น K200 Model 2013 ช่วงการทำงาน 1-10 l/min
4. Solenoid valve SCXE238A001 24 V
5. Flow meter
6. Gate valve
7. Pilot burner

4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.2.1 อุปกรณ์ตรวจสอบการจุดติดของเปลวไฟ

1) Thermocouple

ในการบันทึกค่าอุณหภูมิจะเก็บค่าอุณหภูมิ T9 ที่ติดตั้งบนตำแหน่งหัวนำเผาโดยใช้ thermocouple type K เชื่อมต่อกับหน่วยแสดงผล YOKOGAWA รุ่น XL100 และเก็บบันทึกผลเมื่อการเผาไหม้เข้าสู่ภาวะคงที่



รูปที่ 4.3 อุปกรณ์ Thermocouple Type K จาก การปรับปรุงการผสมและการเผาไหม้จากหัวฉีด ดัดแปลงในหัวเผาแอลพีจีแบบผสมล่วงหน้า, โดย ภาณุเพ็ญ สภิตานากุล, 2560, วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2) กล้องตรวจจับเปลวไฟ

แม้ว่าจะมีการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิอย่าง Thermocouple ไว้สำหรับวัดอุณหภูมิเปลวไฟแล้ว แต่ในกรณีที่เปลวไฟดับ แม้ว่าอุณหภูมิที่วัดได้จะมีอุณหภูมิสูง ก็จะมีอุณหภูมิที่ลดลงอย่างช้าๆจนทำให้เกิดความเข้าใจผิดว่า ไฟยังติดอยู่ จึงต้องมีกล้องไว้ตรวจสอบว่าเปลวไฟยังคงลุกอยู่



รูปที่ 4.4 ช่องส่องกล้องตรวจจับภาพการลุกติดไฟ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 4.5 รูปเปลวไฟที่จับภาพได้อ่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.2 โบลเวอร์

โบลเวอร์เป็นเครื่องมืออเนกประสงค์ที่ทำงานโดยการเคลื่อนที่ของอากาศด้วยความเร็วและสามารถกำหนดทิศทางตามที่เราต้องการใช้เป่าลม โดยจุดประสงค์ของการติดตั้งอุปกรณ์ชิ้นนี้คือต้องการทดสอบความเสถียรของเปลวไฟหัวนำเผาโดยใช้การเป่ารบกวนหัวนำเผาโดยจำลองอิทธิพลของการไหลของอากาศเผาไหม้หลักที่มีผลต่อการติดการดับของหัวนำเผา



รูปที่ 4.6 โบลเวอร์. จาก การปรับปรุงการผสมและการเผาไหม้จากหัวฉีด ดัดแปลงในหัวเผาแอลพีจีแบบผสม ล่วงหน้า, โดย ภรณ์เพ็ญ ลภีรัตนากุล, 2560, วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์ คุรุภัณฑ์บัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

4.2.3 Flue Gas Analyzer เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้

เป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบว่าแก๊สที่ปล่อยออกมาที่ปล่อง มีประสิทธิภาพการเผาไหม้มากหรือน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถวัดได้ออกมาในรูปของตัวเลข ทำให้ไม่ต้องใช้การคาดคะเนอีกต่อไป และนอกจากจะบอกค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้แล้ว ยังบอกค่าอื่น ๆ ได้ เช่น %O₂, %CO, %CO₂ (cal) เป็นต้น ทำให้เราทราบถึงประสิทธิภาพในการปรับ burner ได้ เช่น ถ้า %O₂ มากเกินไป จะทำให้เปลืองเชื้อเพลิงมาก หรือถ้า %CO, %CO₂ มากเกินไป ก็จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น เหมาะอย่างยิ่งกับการวัดประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (Boiler) และเตาเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.7 Flue Gas Analyzer เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้. จาก การปรับปรุงการผสมและการเผาไหม้จาก หัวฉีด ดัดแปลงในหัวเผาแอลพีจีแบบผสมล่วงหน้า, โดย ภรณ์เพ็ญ ลภีรัตน์กุล, 2560, วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ดุสิตสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

4.2.4 หัวเทียน

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการจุดระเบิดส่วนผสมเชื้อเพลิงแก๊สและอากาศให้ลุกติดไฟภายในหัวนำเผาโดยใช้ระบบการจุดระเบิดโดยการทำงานหัวเทียน

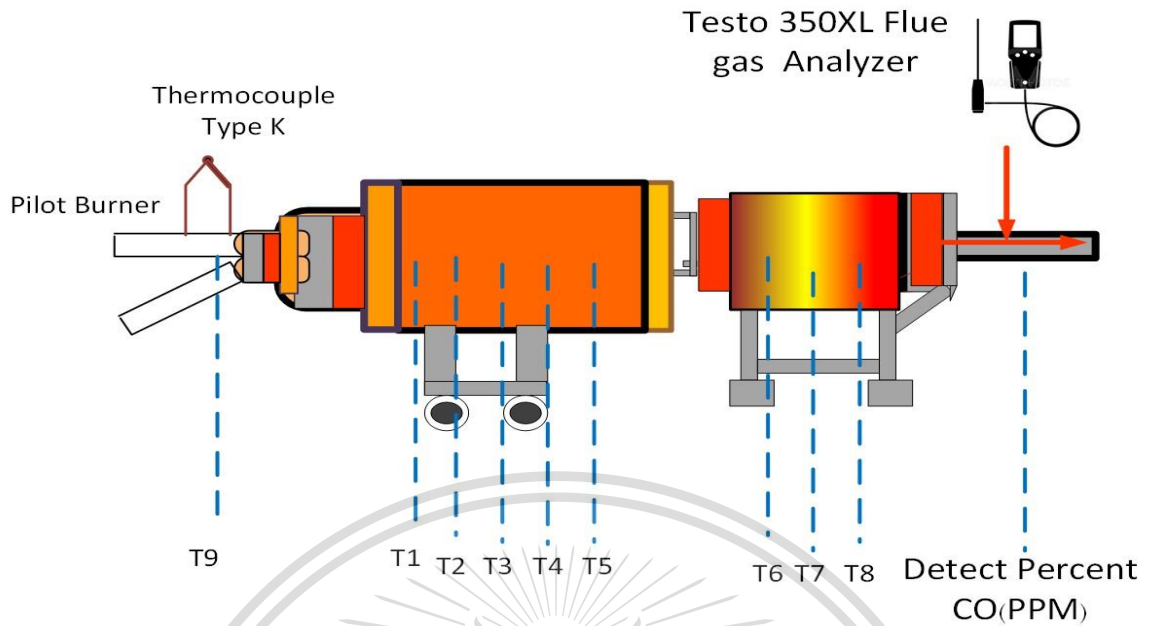
4.2.5 แผงควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิง LPG และ อากาศ

เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการควบคุมความเสถียรการลุกไหม้ของหัวเผาด้วยการคงอัตราการไหลของเชื้อเพลิงแก๊ส LPG และปรับอัตราการไหลของอากาศ ตามอัตราการผสมเชื้อเพลิงอากาศตามทฤษฎีการเผาไหม้เพื่อรักษาความปลอดภัยในการจุดระเบิดในกรณีที่มีการรั่วไหลหรือการตกค้างของเชื้อเพลิงแก๊ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.8 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับเปลวไฟ T9 และ flue gas analyzer

4.3 การสร้างหัวนำเผาต้นแบบใหม่

4.3.1 วัสดุอุปกรณ์

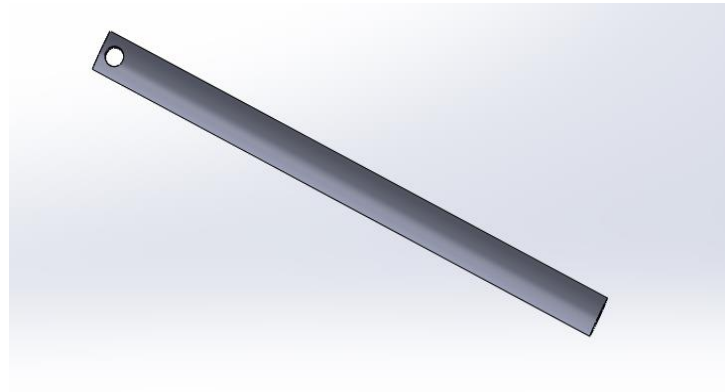
- 1) แผ่นเหล็กหนา 2 มม.
- 2) ท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 27 มม.
- 3) ท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 88.2 มม.
- 4) แหวนรองน็อตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 27 มม
- 5) ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 มม
- 6) กาวดินน้ำมันอีพอกซี
- 7) หัว Nozzle ทองเหลือง เจาะรู 0.1 มม

4.3.2 ขั้นตอนในการสร้างหัวนำเผาใหม่

- 1) วาดแบบ 3D model แต่ละชิ้นส่วน
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.9 ชิ้นส่วนหัวนำเผาชิ้นที่ 1



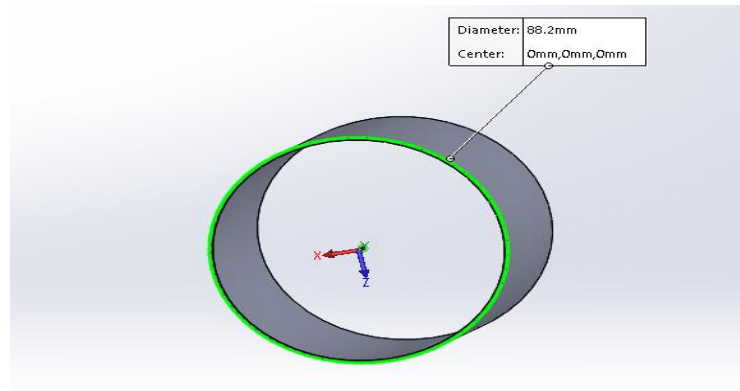
รูปที่ 4.10 ชิ้นส่วนหัวนำเผาชิ้นที่ 2

รูปที่ 4.11 ชิ้นส่วนหัวนำเผาชิ้นที่ 3

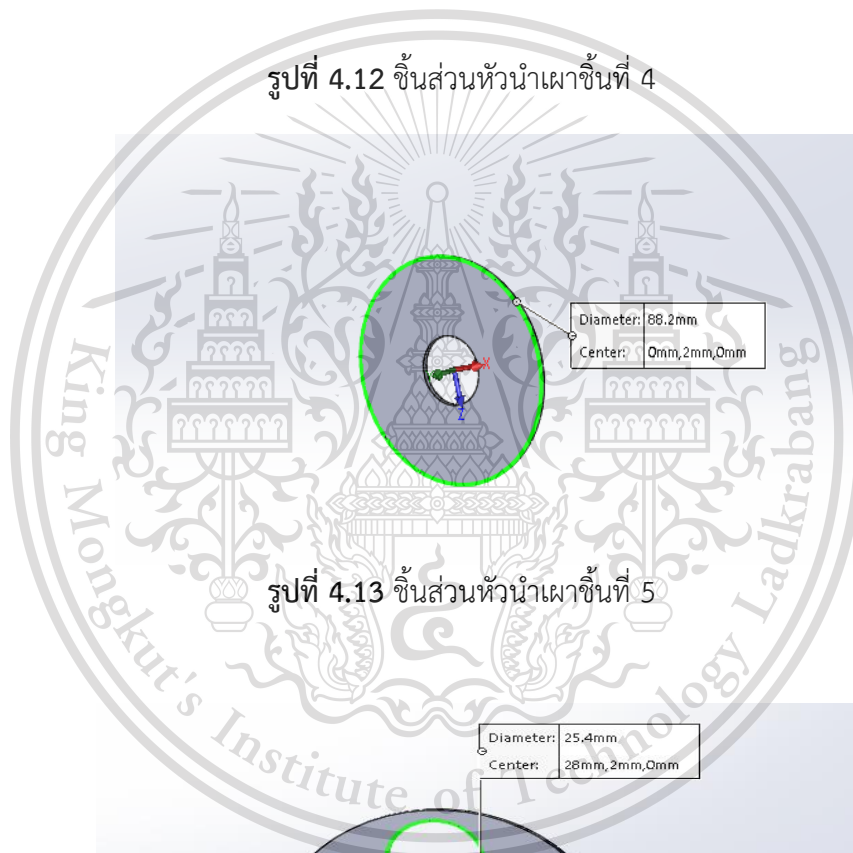
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

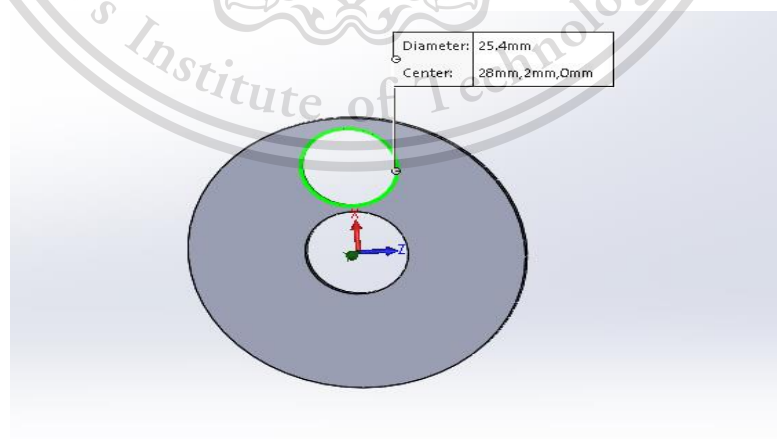
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.12 ชั้นส่วนหัวนำเผ่าชั้นที่ 4



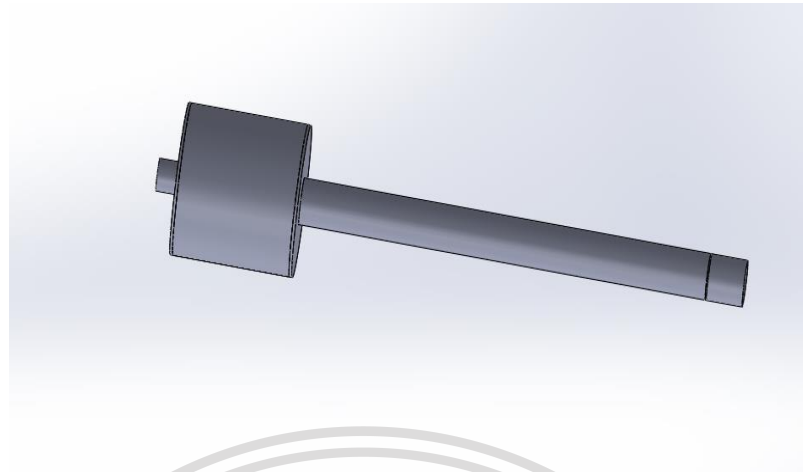
รูปที่ 4.13 ชั้นส่วนหัวนำเผ่าชั้นที่ 5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.14 ชั้นส่วนหัวนำเผ่าชั้นที่ 6
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.15 ชิ้นส่วนหัวนำเผาแบบประกอบสมบูรณ์

- 2) ทำแบบสั่งผลิตและบอกขนาดของแต่ละชิ้นส่วน
- 3) เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตหัวเผาให้พร้อม
- 4) นำแผ่นเหล็กหนา 2 มม. ใช้หัว Plasma เจาะแล้ว โดยเจาะ 2 ตำแหน่ง ตำแหน่งแรกเป็นช่องสำหรับติดตั้ง Nozzle ท่อเหลืองฉีดแก๊สขนาด Diameter 27 มม. และตำแหน่งที่สองเป็นช่องสำหรับท่ออากาศ Diameter 25.4 มม.
- 5) ทำตลับเก็บอากาศโดยนำเหล็กทรงกระบอกที่มี Diameter นอก 101.6 mm ยาว 50.8 มม. มาต่อเข้ากับ แผ่นวงกลมที่เจาะแล้วโดยการนำมาเชื่อมติดกันทั้ง 2 ด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.16 ตลับเก็บอากาศ

- 6) นำท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 27 มม. ยาว 376.6 มม. มาเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40.51 มม. ใช้แหวน
 ลองน็อตมาเชื่อมติดที่ปลายท่อแล้วใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 27 มม. ยาว 25.4 มม. มาเชื่อมประกบแหวน
 ลองน็อตอีกด้าน



รูปที่ 4.17 เชื่อมแหวนรองน็อตเข้ากับปลายท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

7) ประกอบท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 27 มม. กับตลับเก็บอากาศโดยการเชื่อม



รูปที่ 4.18 การเชื่อมท่อส่งเชื้อเพลิงเข้ากับตลับเก็บอากาศ



รูปที่ 4.19 หัวนำเผาแบบประกอบสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาหรือข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- 8) ประกอบท่อ PVC กับตลับเก็บอากาศที่ช่องอากาศโดยใช้กาวดินน้ำมันอีพ็อกซียึดไว้เพื่อสวมยึดกับท่อสายยาง
อากาศจากแผงควบคุมการจ่ายอากาศและเชื้อเพลิงแก๊ส
- 9) ทาสีกันสนิมและตรวจเช็คการรั่วของแก๊สให้เรียบร้อย



รูปที่ 4.20 ชิ้นส่วนหัวนำเผาแบบประกอบสมบูรณ์พร้อมใช้งาน

4.4 เงื่อนไขการทดลอง

เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้ จึงทำการทดลองเปรียบเทียบหัวนำเผาเดิมและหัวนำเผาใหม่ โดยการปรับอัตราการไหลของอากาศและแก๊ส LPG ที่มีผลต่อลักษณะของเปลวไฟที่ทางออกของหัวเผา โดยจะทำการทดลองเปรียบเทียบหัวเผาเก่าที่มี Swirler กับหัวเผาใหม่ที่สร้างที่ใช้แผ่นขวางการไหลแทน Swirler

ชุดอุปกรณ์การทดลอง

1. อุปกรณ์ชุดควบคุมการจ่ายอากาศและเชื้อเพลิงแก๊ส LPG
5. กล้องตรวจจับเปลวไฟ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- | | |
|---|----------------------|
| 2. หัวเผาเก่าที่ติดตั้ง Swirler | 6. โบลเวอร์ |
| 3. หัวเผาใหม่ติดตั้งแผ่นขวางการไหลแทน Swirler | 7. Swirler |
| 4. Thermocouple | 8. Flue Gas Analyzer |

โดยรายละเอียดเงื่อนไขการทดลองและพารามิเตอร์ควบคุมต่างๆที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การทดลองแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เงื่อนไขการทดลองและพารามิเตอร์ควบคุมต่างๆ

วัตถุประสงค์ที่ศึกษา	เงื่อนไขสัดส่วนอากาศ	เงื่อนไข LPG	การบันทึกผล
เพื่อศึกษาลักษณะเปลวไฟที่ออกมาของหัวเผาเดิมและหัวเผาใหม่ที่ไม่มี Swirler ข้างนอกเตาเผา โดยใช้อัตราส่วนผสมอากาศกับLPGที่แตกต่างกัน	1.อากาศ 0% 20% 40% 60% 80% 100% Stoichiometric Combustion	อัตราการไหลที่ 5 ลิตร/นาที่ และอัตราการไหลที่ 10 ลิตร/นาที่	1.ลักษณะเปลวไฟ 2.สีของเปลวไฟ
เพื่อเปรียบเทียบตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิ(T9)หัวเผาเดิมภายในเตาเผา ณ ขณะอุ่นเตา โดยใช้อัตราส่วนผสมอากาศกับLPGที่แตกต่างกัน	1.อากาศ 0% 20% 40% 60% 80% 100% Stoichiometric Combustion	อัตราการไหลที่ 5 ลิตร/นาที่ และอัตราการไหลที่ 10 ลิตร/นาที่	1.อุณหภูมิ 2.ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์
เพื่อเปรียบเทียบตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิ(T9)หัวเผาเดิมภายในเตาเผา ณ ขณะอุ่นเตาและ ขณะเติมอากาศ Primary Air ให้การเผาไหม้หลักของเตาเผา โดยใช้อัตราส่วนผสมอากาศกับLPGที่แตกต่างกัน	1.อากาศที่ 0% 20% 40% 60% 80% 100% Stoichiometric Combustion 2.Primary Air อัตรา 1500 ลิตร/นาที่	อัตราการไหลที่ 5 ลิตร/นาที่ และอัตราการไหลที่ 10 ลิตร/นาที่	1.อุณหภูมิ 2.ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

ผลการทดลองและอภิปราย

5.1 การเปรียบเทียบลักษณะและสีของเปลวไฟของหัวนำเผาแต่ละแบบที่อัตราส่วนสมมูลเดียวกัน

ในหัวข้อนี้จะจะเป็นจะเป็นการเปรียบเทียบสีและลักษณะของเปลวไฟของหัวนำเผารุ่นดั้งเดิมและหัวนำเผารุ่นใหม่ที่ได้สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วโดยการเปรียบเทียบจะเทียบที่อัตราส่วนสมมูลค่าเดียวกัน โดยที่จะคงอัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิง LPG ที่ 5 L/min และ ที่ 10 L/min แล้วปรับอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศตาม % อากาศส่วนเกินที่ 0% 20% 40% 60% 80% และ 100% เพื่อศึกษาอิทธิพลของอากาศที่มีผลต่อสีและลักษณะของเปลวไฟ โดยการสังเกตจะเป็นในลักษณะตาเปล่า เนื่องจากเปลวไฟที่ออกมาที่ทางออกของหัวนำเผาแบบผสมกัน ล่วงหน้าในความเป็นจริงแล้วจะมีลักษณะเป็นเปลวไฟแบบปั่นป่วน โดยการใช้การเทียบจากลักษณะจากความเร็วเปลวไฟราบเรียบ โดยการใช้ข้อมูลที่ได้จากคำนวณในเบื้องต้น บทที่ 3 นำมาหาความยาวของเปลวไฟของหัวนำเผารุ่นใหม่

Q คืออัตราการไหลเชิงปริมาตรมีหน่วยเป็น m^3/s

v_u คือความเร็วการไหลมีหน่วยเป็น m/s

D คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในช่องการไหลมีหน่วยเป็น m

A คือพื้นที่หน้าตัดของท่อทางหัวนำเผา m^2

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \text{ โดยที่ } D = 0.00465 \text{ m} \text{ จะได้ } A = 1.698 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Q = 238.857 L/min = $3.98 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ ใช้เงื่อนไขในการทดลอง ของตารางที่ 4 การทดลองครั้งที่ 5 เนื่องจากมีความเสถียรที่สุดจากค่าที่ได้ทดลอง

$$v_u = \frac{Q}{A}$$

$$v_u = \frac{3.98 \times 10^{-3}}{1.698 \times 10^{-5}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ได้ $v_u = 234.44 \text{ m/s}$

$$S_{L,T} = \frac{\dot{m}}{\rho A}$$

ρ ความหนาแน่นอากาศ 1.2 kg/ m^3 , \dot{m} จากตารางที่ 4 ได้ 0.00745 kg/s

ได้ $S_{L,T} = 365.62 \text{ m/s}$

จากลักษณะเปลวไฟที่ปั่นป่วนที่ออกมาจะมีลักษณะคล้ายเปลวไฟราบเรียบ จึงสามารถนำวิธีคิดแบบ สามเหลี่ยมตรีโกณมิติในบทที่ 3 นำมาคิดเพื่อที่จะนำมาหาค่า L_t ความยาวเปลวไฟแบบปั่นป่วน กำหนดให้มุมของเปลวไฟแบบปั่นป่วนที่สังเกตจากการทดลองจะได้ประมาณในช่วง มุม 15° องศาโดยเฉลี่ย

$$L_t = \frac{\frac{D}{2}}{\tan 15^\circ}$$

$$L_t = \frac{\frac{0.00465}{2}}{\tan 15^\circ}$$

ได้ความยาว $L_t = 8.67 \times 10^{-3} \text{ m}$ หรือเท่ากับ 8.67 mm

ตารางที่ 4 แสดงค่าความสัมพันธ์ของเชื้อเพลิงและอัตราการไหลของอากาศ โดยปรับค่าอัตราส่วนสมมูล ในช่วงที่มีค่าน้อยกว่า 1 On Lean side

โดยป้อนก๊าซที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิง LPG มีค่าเท่ากับ 5 Litre/mins โดยการทดลองทำการทดลองตั้งแต่ 0-100 % Excess air คือ 0 20 40 60 80 100 Percent Excess air

LPG flow rate (kg/s)	equivalent ratio	Q LPG (L/mins)	Q air (Liter/mins)	Q total	Q total(m ³ /s)
0.0004745	0.975476778	5	131.0624482	136.0624482	0.002267707
0.0004745	0.815562594	5	156.7609594	161.7609594	0.002696016
0.0004745	0.700695281	5	182.4593059	187.4593059	0.003124322
0.0004745	0.614188425	5	208.1582287	213.1582287	0.003552637
0.0004745	0.546695852	5	233.8564929	238.8564929	0.003980942
0.0004745	0.497493313	5	256.9851118	261.9851118	0.004366419

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากสังเกตได้ว่าเมื่อเปลวไฟเปลี่ยนจากแบบราบเรียบเป็นแบบปั่นป่วนจะมีความเร็วที่เพิ่มมากขึ้นและอัตราการไหลสูงขึ้นเมื่อทำการเป่าลม ทำให้ห้องเผาไหม้สูญเสียความดัน เกิดการไหลแบบหมุนวนมากขึ้น มีการกระจายตัวของอุณหภูมิห้องเผาไหม้สูงขึ้น

เมื่อพิจารณาดารงที่ 3 ที่เป็นผลการทดลองลักษณะเปลวไฟ ระหว่างอัตราส่วนอากาศและเชื้อเพลิงเมื่อไม่ได้ติดตั้งหัวนำเผากับเตาเผา พบว่ามีความแตกต่างกันของสีและลักษณะของเปลวไฟของหัวนำเผาแต่ละแบบอย่างชัดเจน โดยหัวนำเผาใหม่จะมีสีเปลวไฟที่เป็นสีเหลืองจนไปถึงสีฟ้าจางๆซึ่งแตกต่างจากของหัวนำเผาแบบเดิมที่มีสีค่อนข้างส้มและเหลือง ซึ่งหัวนำเผาเก่าจะต้องเพิ่มการไหลของอากาศจนถึงอัตราส่วนสมมูลที่ 0.5 จึงจะได้สีเปลวไฟที่เป็นสีฟ้า และความยาวของเปลวไฟหัวนำเผาใหม่จะมีความยาวเปลวไฟที่สั้นกว่าความยาวของหัวนำเผาเดิม เพราะการเผาไหม้ของหัวนำเผาแบบใหม่นี้มีความสามารถในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าการเผาไหม้ของหัวเผาแบบเดิม อีกทั้งเนื่องจากการผสมกันที่ดีของเชื้อเพลิง LPG และอากาศก่อนการเผาไหม้(Premixed)และความเป็นการไหลแบบปั่นป่วนจากการไหลผ่านช่องขวงการไหลขนาดเล็กด้วย ทำให้ได้ฐานการติดไฟของเปลวไฟที่ลึกเข้าไปในปลายท่อทำให้เห็นลักษณะเปลวไฟที่มีความยาวที่สั้นกว่าความยาวเปลวไฟแบบดั้งเดิม และเมื่อพิจารณาเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินที่มากขึ้นเรื่อยๆพบว่าทั้งลักษณะความยาวเปลวไฟของทั้งหัวนำเผาเก่าและหัวนำเผาใหม่มีความยาวเปลวไฟที่ยาวขึ้นเพราะการเพิ่มอัตราการไหลของส่วนผสมเชื้อเพลิง LPG และอากาศมีผลทำให้ฐานการติดไฟของเปลวไฟมีการขยับตัวยาวออกไปมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 5 ผลการทดลองเปรียบเทียบลักษณะเปลวไฟของหัวนำเผาเมื่อไม่ได้ติดตั้งหัวนำเผากับเตาเผา

LPG Flowrate (L/min)	AIR Flowrate (L/min)	AF Ratio	Equivalent Ratio	ลักษณะเปลวไฟ หัวเผาใหม่	ลักษณะเปลวไฟ หัวเผาเดิม
5	131.062	15.686	1	สีฟ้าอมส้ม เปลวไฟสั้น	สีส้ม เปลวไฟยาว
5	156.761	18.82363	0.833333333	สีฟ้า เปลวไฟสั้น	สีส้ม เปลวไฟยาว
5	182.459	21.96	0.714285714	สีฟ้า เปลวไฟสั้น	สีส้ม เปลวไฟยาว
5	208.158	25.523	0.625	สีฟ้า เปลวไฟสั้น	สีส้ม เปลวไฟยาว
5	233.856	28.5491	0.555555556	สีฟ้า เปลวไฟสั้นมาก	สีส้มอมฟ้า เปลวไฟยาว
5	256.985	31.372	0.5	สีฟ้า เปลวไฟสั้นมาก	สีฟ้า เปลวไฟสั้น
10	262.125	15.686	1	สีส้ม เปลวไฟยาว	สีส้ม เปลวไฟยาว
10	313.522	18.82363	0.833333333	สีฟ้าอมส้ม เปลวไฟยาว	สีส้ม เปลวไฟยาว
10	364.92	21.96	0.714285714	สีฟ้า เปลวไฟยาว	สีส้ม เปลวไฟยาว
10	416.316	25.523	0.625	สีฟ้า เปลวไฟยาว	สีส้ม เปลวไฟยาว
10	467.713	28.5491	0.555555556	สีฟ้า เปลวไฟยาว	สีส้มอมฟ้า เปลวไฟยาว
10	513.97	31.372	0.5	สีฟ้า เปลวไฟยาว	สีฟ้า เปลวไฟสั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.2 ความสามารถในการเผาไหม้ของหัวนำเผาเดิมเมื่อมีการติดตั้งกับเตาเผา

ในหัวข้อนี้จะจะเป็นจะเป็นการตรวจสอบความสามารถในการเผาไหม้ของหัวนำเผาเดิม โดยที่จะคงอัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิง LPG ที่ 5 L/min และ ที่ 10 L/min แล้วปรับอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศตาม % อากาศส่วนเกินที่ 0% 20% 40% 60% 80% และ 100% โดยจะมีการทดลองการเผาไหม้ภายในเตาเผาทั้งแบบไม่จ่ายอากาศสำหรับการเผาไหม้หลัก(Primary air)และแบบไม่จ่ายอากาศสำหรับการเผาไหม้หลัก เพื่อศึกษาอิทธิพลของอากาศเผาไหม้หลักที่มีผลต่อการทำงานของหัวนำเผาเดิม

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4 ผลการทดลอง ระหว่างอัตราส่วนอากาศและเชื้อเพลิงของหัวนำเผาเดิมเมื่อติดตั้งกับเตาเผาโดยไม่จ่ายอากาศสำหรับเผาไหม้หลัก พบว่ามีการติดจุดไฟที่ง่ายแต่มีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าที่ต่ำ และพบว่าอุณหภูมิของเตาเผาที่ตำแหน่งติดตั้งหัวเผานั้นมีอุณหภูมิที่ลดลงเรื่อยๆจากการเพิ่มอากาศส่วนเกินและปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ยังมีค่าที่ลดลง

เมื่อพิจารณาตารางที่ 5 ผลการทดลอง ระหว่างอัตราส่วนอากาศและเชื้อเพลิงของหัวเผาเดิม เมื่อติดตั้งกับเตาเผาโดยจ่ายอากาศสำหรับเผาไหม้หลัก พบว่ามีการติดจุดไฟที่ยากขึ้นโดยได้มีการพยายามสั่งการจุดระเบิดหลายครั้งเพื่อพยายามให้หัวนำเผาติดไฟแต่เมื่อมีการติดไฟแล้วการเผาไหม้กลับไม่เสถียร สำหรับปริมาณแก๊ส CO มีค่าที่สูง

แม้ว่ามีการเติมอากาศเผาไหม้หลักทำให้การเผาไหม้มีความสมบูรณ์ขึ้นคาดว่าอาจเกิดจากสารตั้งต้นการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยาการเผาไหม้สมบูรณ์ก็ถูกพัดพาโดยลมเผาไหม้หลัก ซึ่งแม้ว่าลมเผาไหม้หลักจะช่วยเพิ่มการเผาไหม้เชื้อเพลิงหลักที่เป็นฝุ่นผงชีวมวล ทำให้การเผาไหม้หลักมีความสมบูรณ์มากขึ้นแต่ก็ทำให้การเผาไหม้หัวเผาไม่สมบูรณ์ด้วยเช่นกัน และพบว่าอุณหภูมิของเตาเผาที่ตำแหน่งติดตั้งหัวเผานั้นมีอุณหภูมิที่ลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญจากการเพิ่มอากาศส่วนเกินและการจ่ายอากาศสำหรับเผาไหม้หลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 6 ผลการทดลอง ระหว่างอัตราส่วนอากาศและเชื้อเพลิงของหัวนำเผาเดิมเมื่อติดตั้งกับเตาเผาโดยไม่จ่ายอากาศสำหรับเผาไหม้หลัก

%Excess Air	Q LPG (L/min)	Q air (Liter/min)	equivalent ratio	Q total (m ³ /s)	Velocity(m/s)	Temp (C)	%CO (ppm)
0	5	131.0624482	1	0.002267707	2.856690127	611	119
20	5	156.7609594	0.8333333333	0.002696016	3.396241518	660	52
40	5	182.4593059	0.714285714	0.003124322	3.935789453	528	97
60	5	208.1582287	0.625	0.003552637	4.475349486	510	152
80	5	233.8564929	0.555555556	0.003980942	5.014895692	474	226
100	5	256.9851118	0.5	0.004366419	5.500491079	543	166
0	10	262.1248964	1	0.004535415	5.713380255	370	124
20	10	313.5219187	0.8333333333	0.005392032	6.792483037	337	121
40	10	364.9186118	0.714285714	0.006248644	7.871578905	302	192
60	10	416.3164574	0.625	0.007105274	8.950698972	277.3	129
80	10	467.7129858	0.555555556	0.007961883	10.02979138	425	166
100	10	513.9702236	0.5	0.008732837	11.00098216	337	114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 7 ผลการทดลอง ระหว่างอัตราส่วนอากาศและเชื้อเพลิงของหัวนำเผาเดิมเมื่อติดตั้งกับเตาเผาและมีการจ่ายลมหลัก (Primary air) ร่วมด้วย

%Excess Air	Q LPG (L/min)	Q air (L/min)	Q Primary air(L/min)	equivalent ratio	Q total (Liter/min)	Temp(C)	%CO (ppm)
0	5	131.06	1500	0.975	1636.06	250	621
20	5	156.76	1500	0.816	1661.76	240	665
40	5	182.46	1500	0.701	1687.46	433	173
60	5	208.16	1500	0.614	1713.16	417	154
80	5	233.85	1500	0.546	1738.85	358	260
100	5	256.98	1500	0.497	1761.98	370	215
0	10	262.12	1500	0.975	1772.12	305	411
20	10	313.52	1500	0.815	1823.52	298.6	482
40	10	364.92	1500	0.701	1874.92	405.7	551
60	10	416.32	1500	0.614	1926.32	380	519
80	10	467.71	1500	0.546	1977.71	332	575
100	10	513.97	1500	0.497	2023.97	181	517

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 6

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นการปรับปรุงหัวนำเผา(Pilot burner) ให้มีความเสถียรในการเผาไหม้เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการทำงานของหัวนำเผาขณะที่มีการใช้งานร่วมกับเตาเผา โดยการเผาไหม้จะต้องมีความสมบูรณ์มากขึ้น มีอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงขึ้น และมีมลพิษที่เกิดขึ้นหลังการเผาไหม้ลดลง ภายใต้การสันนิษฐานว่าการผสมก่อนเผาไหม้(Premix) ของเชื้อเพลิงแอลพีจีกับอากาศ และการกระทำการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) มีส่วนทำให้การหัวนำเผาไหม้เผาไหม้ความสมบูรณ์และความเสถียรเปลวไฟมากขึ้น

ซึ่งการทดลองจะมีการทดลองดูเปลวไฟด้วยตาเปล่าภายนอกเตาเผา และ แบบวัดค่าอุณหภูมิการเผาไหม้และมลพิษ CO ของหัวเผาเมื่อมีการติดตั้งหัวนำเผากับเตาเผาเพื่อตรวจสอบความสามารถการทำงานร่วมกันหัวเผาและเตาเผา เพื่อลดอันตรายจากการทำงานอันไม่พึงประสงค์ของหัวเผาจะก่อให้เกิดอุบัติเหตุที่ร้ายแรงได้ ซึ่งสาเหตุเหล่านั้นมักเกิดจากทั้ง การดับของหัวเผาในขณะที่มีการใช้งานร่วมกับเตาเผา การที่เชื้อเพลิงหลักที่เป็นเชื้อเพลิงฝุ่นผงชีวมวลมีการสะสมเนื่องจากการไม่สามารถเผาไหม้ให้หมดไปในช่วงการทำงานของเตาเผา และการเกิดมลพิษที่ได้จากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่มีความเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

6.1 การเปรียบเทียบลักษณะและสีของเปลวไฟของหัวนำเผาแต่ละแบบที่อัตราส่วนผสมค่าเดียวกัน

การเปรียบเทียบสีและลักษณะของเปลวไฟของหัวนำเผารุ่นดั้งเดิมและหัวนำเผารุ่นใหม่ที่ได้สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยการเปรียบเทียบจะเทียบที่อัตราส่วนผสมค่าเดียวกัน โดยที่จะคงอัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิง LPG ที่ 5 L/min และ ที่ 10 L/min แล้วปรับอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศตาม % อากาศส่วนเกินที่ 0% 20% 40% 60% 80% และ 100% เพื่อศึกษาอิทธิพลของอากาศที่มีผลต่อสีและลักษณะของเปลวไฟ โดยการสังเกตจะเป็นในลักษณะตาเปล่า

จากการทดลองพบว่ามีความแตกต่างกันของสีและลักษณะของเปลวไฟของหัวนำเผาแต่ละแบบอย่างชัดเจน โดยหัวเผาใหม่จะมีสีเปลวไฟที่เป็นสีฟ้า ดังรูปที่ 6.1 ซึ่งแตกต่างจากของหัวเผาแบบเดิมที่มีสีค่อนข้างเป็นส้มเหลือง ดังรูปที่ 6.2 ซึ่งหัวเผาเก่าจะต้องเพิ่มการไหลของอากาศจนถึงอัตราส่วนผสมที่ 0.5 จึงจะได้สีเปลวไฟที่เป็นสีฟ้า และ ความยาวของเปลวไฟหัวเผาใหม่จะมีความยาวเปลวไฟที่สั้นกว่าความยาวของหัวเผาเดิม เพราะการเผาไหม้ของหัว

นำเผาแบบใหม่มีความสามารถในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าการเผาไหม้ของหัวนำเผาแบบเดิม อีกทั้งเนื่องจากการผสมกันที่ดีของเชื้อเพลิง LPG และอากาศก่อนการเผาไหม้ (Premixed) และความเป็นกรไหลแบบปั่นป่วนจากการไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่จะนำไปใช้ This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

เปลวไฟที่มีความยาวที่สั้นกว่าความยาวเปลวไฟแบบดั้งเดิม และเมื่อพิจารณาเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินที่มากขึ้นเรื่อยๆพบว่าทั้งลักษณะความยาวเปลวไฟของทั้งหัวนำเผาเก่าและหัวนำเผาใหม่มีความยาวเปลวไฟที่ยาวขึ้นเพราะการเพิ่มอัตราการไหลของส่วนผสมเชื้อเพลิง LPG และอากาศมีผลทำให้ฐานการติดไฟของเปลวไฟมีการขยับตัวยาวออกไปมากขึ้น



รูปที่ 6.1 สีและลักษณะเปลวไฟที่ได้จากหัวนำเผาใหม่ เงื่อนไขที่ใช้ที่ ลม Primary air $0.025 \text{ m}^3/\text{sec}$ ที่มีค่าอัตราการไหลเชื้อเพลิง $5 \text{ Lit}/\text{mins}$ และ อัตราการไหลของอากาศ $182.46 \text{ Lit}/\text{mins}$ ที่ค่า % Percent excess air 40%



รูปที่ 6.2 สีและลักษณะเปลวไฟที่ได้จากหัวนำเผาเดิมค่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิง LPG $10 \text{ lit}/\text{mins}$ และค่า

อัตราการไหลอากาศเป็น $131.062 \text{ Lits}/\text{mins}$ โดยไม่มีการใส่ค่า Primary air

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6.2 ความสามารถในการเผาไหม้ของหัวนำเผาเดิมเมื่อมีการติดตั้งกับเตาเผา

การตรวจสอบความสามารถในการเผาไหม้ของหัวนำเผารุ่นดั้งเดิม โดยที่จะคงอัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิง LPG ที่ 5 L/min และ ที่ 10 L/min แล้วปรับอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศตาม % อากาศส่วนเกินที่ 0% 20% 40% 60% 80% และ 100% โดยจะมีการทดลองการเผาไหม้ภายในเตาเผาทั้งแบบไม่จ่ายอากาศสำหรับการเผาไหม้หลัก(Primary air)และแบบไม่จ่ายอากาศสำหรับการเผาไหม้หลัก เพื่อศึกษาอิทธิพลของอากาศเผาไหม้หลักที่มีผลต่อการทำงานของหัวนำเผาเดิม

6.2.1 ความสามารถในการเผาไหม้ของหัวนำเผาเดิมโดยปราศจากอิทธิพลของการจ่ายอากาศเผาไหม้หลัก

เมื่อพิจารณาตารางที่ 3 ผลการทดลอง ระหว่างอัตราส่วนอากาศและเชื้อเพลิงของหัวเผาเดิมเมื่อติดตั้งกับเตาเผาโดยไม่จ่ายอากาศสำหรับเผาไหม้หลัก พบว่ามีการติดจุดไฟที่ง่ายแต่มีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ค่าที่ต่ำ และพบว่าอุณหภูมิของเตาเผาที่ตำแหน่งติดตั้งหัวนำเผานั้นมีอุณหภูมิที่ลดลงเรื่อยๆจากการเพิ่มอากาศส่วนเกินและปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ยังมีค่าที่ลดลง

6.2.2 ความสามารถในการเผาไหม้ของหัวนำเผาเดิมภายใต้อิทธิพลของการจ่ายอากาศเผาไหม้หลัก

จากผลการทดลอง ระหว่างอัตราส่วนอากาศและเชื้อเพลิงของหัวนำเผาเดิมเมื่อติดตั้งกับเตาเผาโดยจ่ายอากาศสำหรับเผาไหม้หลัก พบว่ามีการติดจุดไฟที่ยากขึ้นโดยได้มีการพยายามสั่งการจุดระเบิดหลายครั้งเพื่อพยายามให้หัวนำเผาติดไฟแต่เมื่อมีการติดไฟแล้วการเผาไหม้กลับไม่มีความเสถียรภาพของเปลวไฟ ซึ่งเมื่อเปลวไฟดับต้องมีการเปิดพัดลมดูดอากาศเพื่อป้องกันอันตรายจากการสะสมของเชื้อเพลิงที่ยังไม่เผาไหม้ซึ่งจะทำให้เกิดระเบิดได้ เพื่อให้เชื้อเพลิงตกค้างเหล่านั้นออกไปหมดก่อนจึงจะสามารถจุดหัวเผาได้อีกครั้ง สำหรับปริมาณแก๊ส CO มีค่าที่สูงแม้ว่ามีการเติมอากาศเผาไหม้หลักทำให้การเผาไหม้มีความสมบูรณ์ขึ้นคาดว่าอาจเกิดจากสารตั้งต้นการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ไม่ได้ทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ให้เสร็จสมบูรณ์ก็ถูกพัดพาโดยลมเผาไหม้หลัก ซึ่งแม้ว่าลมเผาไหม้หลักจะช่วยเพิ่มการเผาไหม้เชื้อเพลิงหลักที่เป็นฝุ่นผงชีวะมวล ทำให้การเผาไหม้หลักมีความสมบูรณ์มากขึ้นแต่ก็ทำให้การเผาไหม้หัวเผาไม่สมบูรณ์ด้วยเช่นกัน และพบว่าอุณหภูมิของเตาเผาที่ตำแหน่งติดตั้งหัวเผานั้นมีอุณหภูมิที่ลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญจากการเพิ่มอากาศส่วนเกินและการจ่ายอากาศสำหรับเผาไหม้หลัก

จากการทดลองความสามารถของหัวนำเผาเดิมเมื่อติดตั้งเตาเผานั้น จะต้องมีการอุ่นหัวเผา(Preheat)ก่อนการใช้งาน จากเมื่อพิจารณาตารางที่ 4 พบว่าที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง LPG และ อากาศ ที่เหมาะสมในการอุ่นเตาเผา ก่อนส่งลมหลัก (Primary air) สำหรับกระบวนการเผาไหม้หลักของเตาเผา คืออัตราการไหลเชื้อเพลิง LPG ที่ 5 ลิตร/นาที่ และ อากาศที่ 131.062 ลิตร/นาที่ เพราะให้อุณหภูมิหัวเผาที่ 611 องศาเซลเซียส ซึ่งมากกว่าอุณหภูมิการลุกติดไฟของเชื้อเพลิง LPG ที่ราว 550 องศาเซลเซียส อีกทั้งยังคงใช้อัตราการไหลของเชื้อเพลิง LPG และ อากาศที่ต่ำทำให้ประหยัดในการใช้จ่ายเชื้อเพลิงและอากาศ แต่ก็ยังพบว่าหัวนำเผาเดิมยังคงมีปัญหาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์แม้จะมีการเติมอากาศจากการเผาไหม้หลักอยู่

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6.3 ข้อเสนอแนะ

6.3.1 จากการทดลองการทำงานของหัวนำเผาตั้งเดิมและหัวเผาใหม่จากการสังเกตเปลวไฟด้วยตาเปล่านั้น แม้ว่าจะสามารถหาข้อสรุปความแตกต่างของลักษณะเปลวไฟทั้งความยาวเปลวไฟ และสีของเปลวไฟ ของหัวนำเผาแต่ละแบบได้แล้วนั้น แต่การสังเกตด้วยตาเปล่าในที่ที่มีแสงสว่างรบกวน อาจทำให้การสังเกตเกิดความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงการทำการทดลองแบบใหม่โดยอาจทำในสถานที่ที่มีแสงรบกวนที่น้อยเพื่อให้การสังเกตมีความง่ายและมีความถูกต้องมากขึ้น และเพื่อให้ความเสถียรของเปลวไฟของหัวเผาใหม่มีมากขึ้นอาจจะทำการดัดแปลงช่องลอดผ่านของแผ่นขวางการไหล เช่น Swirler ที่ทำให้ส่วนผสมมีความปั่นป่วนมากขึ้นซึ่งอาจส่งผลให้การทำงานของหัวเผาใหม่สามารถทำงานที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิง LPG สูงๆได้

6.3.2 การอุดรอยรั่วไฟฟ้าด้วย Ceramic paste พบว่ามีปัญหาในเรื่องของความชื้นที่ตัว Ceramic paste ทำให้การส่งการจุดระเบิดหัวเทียนมีการรบกวน ซึ่งอาจนำไปสู่อุบัติเหตุทางไฟฟ้าได้ ดังนั้นควรใช้วัสดุที่ไม่นำไฟฟ้าและไม่มี ความชื้นในการอุดช่องว่างระหว่างขั้วหัวเทียน เพื่อให้การทำงานของหัวนำเผามีความปลอดภัยมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

- [1] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2016). *ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับท่อเผาทิ้ง*. สืบค้น 27 ตุลาคม 2563, จาก <http://www.php.diw.go.t>
- [2] กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. *มลพิษทางอากาศ*. สืบค้นจากสืบค้น 27 ตุลาคม 2563, จาก <https://datacenter.deqp.go.th>
- [3] ชินภัทร ชูระการ. (2558). *การพัฒนาหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลในหม้อน้ำอุตสาหกรรม*. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] จิตติชญาพร สุรเดช,ณัฐวัตร ลีลาจินดาไกรฤกษ์,ธรรมชัย จิตต์วัฒน์รัตน์.(2556). *หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดฝุ่น*. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [5] ฉัญดร ออกกะลา. (2553). *กลศาสตร์ของไหล*. นครปฐม: คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน.
- [6] บัณฑิต กฤดาคม.(2554). *หัวพ่นไฟอุตสาหกรรมและการประยุกต์ใช้วัสดุในหัวพ่นไฟ*. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จัดพิมพ์ วารสาร วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย สยาม ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 ลำดับที่ 22 มกราคม - มิถุนายน 2554
- [7] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, นิธิยา รัตนานพนธ์. (2555). *Turbulent flow / การไหลแบบปั่นป่วน*. สืบค้น 25 ตุลาคม 2563,จาก<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1005/turbulent-flow>
- [8] ภรณ์เพ็ญ ลภีรัตนากุล. (2560). *การปรับปรุงการผสมและการเผาไหม้จากหัวฉีด ดัดแปลงในหัวเผาแอลพีจีแบบผสมล่วงหน้า*. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [10] ยุวศรี ต่ายคำ.(2553). *มลพิษทางอากาศ (Air Pollution)*. สืบค้นจากสืบค้น 27 ตุลาคม 2563, จาก <https://www.scimath.org/article-chemistry>

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

[11] สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย. การวัดอัตราไหลของของเหลว *Flow rate measurement*.

สืบค้น 27 ตุลาคม 2563, จาก <http://somsak.me.engr.tu.ac.th>

[12] ยูริกะ มิคามิ, ศุภวิชญ์ บุญอนันต์, สิริวัฒน์ ชูแก้ว (2559) การศึกษาการเผาไหม้และการปลดปล่อยมลพิษของหัวเผาวัสดุพจนทรงกระบอกเจาะรูที่ประยุกต์ใช้ร่วมกับการป้อนอากาศแบบหมุนควงวิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[13] Combustion Theory premixed and diffusion flames (part 1)

[14] Stephen Returns. (2000). An Introduction to combustion: Concepts and Application. 2nd ed . Singapore: McGraw-Hill Companies.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.