

การศึกษาการเผาไหม้และการปลดปล่อยมลพิษของหัวเผาวัสดุพรุนทรงกระบอก
เจาะรูที่ประยุกต์ใช้รวมกับการป้อนอากาศแบบหมุนควง

THE STUDY OF COMBUSTION AND EMISSION FOR HOLLOWED POROUS
BURNER WITH SWIRLED AIR INLET



ยูริกะ มิคามิ
ศุภวิชญ์ บุญอนันต์
สิริวัฒน์ ชูแก้ว

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การศึกษาการเผาไหม้และการปลดปล่อยมลพิษของหัวเผาวัสดุพรุนทรงกระบอก
เจาะรูที่ประยุกต์ใช้ร่วมกับการป้อนอากาศแบบหมุนควง

THE STUDY OF COMBUSTION AND EMISSION FOR HOLLOWED POROUS
BURNER WITH SWIRLED AIR INLET



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE STUDY OF COMBUSTION AND EMISSION FOR HOLLOWED POROUS
BURNER WITH SWIRLED AIR INLET



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
2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2559

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการเผาไหม้และการปลดปล่อยมลพิษของหัวเผาวัสดุพรุนทรงกระบอกเจาะรูที่
ประยุกต์ใช้ร่วมกับการป้อนอากาศแบบหมุนควง

THE STUDY OF COMBUSTION AND EMISSION FOR HOLLOWED POROUS BURNER
WITH SWIRLED AIR INLET

ผู้จัดทำ

1. นางสาว ยูริกะ มิคามิ รหัสประจำตัว 56010994
2. นาย ศุภวิชญ์ บุญอนันต์ รหัสประจำตัว 56011249
3. นาย สิริวัฒน์ ชูแก้ว รหัสประจำตัว 56011326

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.จากรัฐ เจริญสุข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการเผาไหม้และการปลดปล่อยมลพิษของหัวเผาวัสดุพรมทรงกระบอกเจาะรูที่ประยุกต์ใช้
ร่วมกับการป้อนอากาศแบบหมุนควง

นางสาวยุริกะ	มิกามิ	56010994
นายศุภวิชญ์	บุญอนันต์	56011249
นายสิริวัฒน์	ชูแก้ว	56011326
รศ.ดร.จารุวัตร	เจริญสุข	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2559		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาหัวเผาวัสดุพรมซึ่งมีพื้นฐานมาจากการใช้งานหัวเผาแบบผสมกันมาก่อนสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกส์ วัสดุพรมที่ใช้ในการทดสอบทำมาจากอะลูมิน่า มีลักษณะคล้ายฟองน้ำ ขึ้นรูปเป็นลักษณะทรงกระบอกเจาะรู โดยวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้เมื่อมีการนำหลักการหมุนควงของอากาศมาประยุกต์ใช้ ในการทดสอบได้ปรับเปลี่ยนอัตราการไหลแอลพีจี 1 , 1.5, และ 2 L/min ภายใต้การควบคุมปริมาณอากาศส่วนเกิน 64.25 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณการป้อนอากาศส่วนที่หนึ่ง 100%, 120% และ 150% นั้นหมายความว่าอากาศส่วนที่สองจะต้องป้อน 64.25%, 44.25%, และ 14.25% ตามลำดับ และบันทึกลักษณะเปลวไฟที่มองเห็น การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ตามระดับความสูงจากปากหัวเผาขึ้นไป ปริมาณก๊าซไอเสียได้แก่เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนหลังการเผาไหม้ ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ และออกไซด์ของไนโตรเจน จากการทดลองพบว่าอิทธิพลของการป้อนอากาศส่วนที่สองแบบหมุนควงทำให้เปลวไฟมีเสถียรภาพมากขึ้น เปลวไฟมีลักษณะสั้นลง และการเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น โดยวัดจากปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีค่าต่ำกว่าการป้อนอากาศส่วนที่สองแบบไม่หมุนควง โดยค่า swirl number 0.3 จะให้ค่าปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ต่ำกว่า swirl number 0.8 และปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนจะสูงกว่าการป้อนอากาศส่วนที่สองแบบไม่หมุนควงที่ปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่ง 100%, 120% และมีแนวโน้มลดลง โดยจะมีค่าต่ำกว่าที่ปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่ง 150% เนื่องจากอุณหภูมิของห้องเผาไหม้ที่สูงขึ้นแต่มีการกระจายตัวของอุณหภูมิในแนวรัศมีที่ดีทำให้เกิดจุดความร้อนสูงน้อยลง

THE STUDY OF COMBUSTION AND EMISSION FOR HOLLOWED POROUS BURNER WITH SWIRLED AIR INLET

Yurika Mikami 56010994

Supawit Boonanan 56011249

Siriwat Chukaew 56011326

Assoc.Prof. Dr.Jaruwat Charoensuk Advisor

Year 2016

ABSTRACT

Performance assessment of premixed LPG burner applied with porous media for ceramics industry was carried out experimentally with alumina foam stabilizer being carved into holed (hollowed) cylinder. Tests were carried out to study combustion efficiency when swirl flow was applied. LPG was injected at 1, 1.5 and 2 L/min under 64.25 percent of total excess air. The proportion of primary air equal to 100%, 120% and 150% of stoichiometric requirement was used. This make the proportion of secondary air equal to 64.25%, 44.25% and 14.25% respectively. By comparing combustion performance, visual flame, temperature distribution along the height of combustor, O₂, emissions were detected. The result showed influence of secondary air intake with swirl flow causing a stable, shorter flame with higher combustion efficiency as CO was lower than the case with secondary air intake without swirl flow. CO release from porous combustion with swirl flow at swirl number 0.3 was lower than those with swirl number 0.8. NO_x from porous combustion with swirl flow at swirl number 0.3 was higher than those without swirl flow at proportion of primary air 100% and 120% of total air. However, NO_x from porous combustion with swirl flow at swirl number 0.3 was lower than those without swirl flow at proportion of primary air 150% of total air because the higher temperature and better heat distribution in radial direction of combustion chamber make a high temperature area reducing.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่างๆ เสมอมาจาก รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่เอื้อเพื่อให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้ และขอบคุณพี่ภรณ์เพ็ญ ลภีรัตนากุล และพี่ตฤชฐพร แก้วสุก ที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ ในการทำโครงการนี้

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



นางสาวยุริกะ มิคามิ
นายศุภวิชญ์ บุญอนันต์
นายสิริวัฒน์ ชูแก้ว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
รายการสัญลักษณ์คำย่อ.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1.1 ก๊าซปิโตรเลียมเหลว.....	4
2.1.1.1 คุณสมบัติทางเคมี.....	4
2.1.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพ.....	4
2.1.1.2.1 จุดเดือดและสภาวะวิกฤต.....	4
2.1.1.2.2 ความถ่วงจำเพาะ.....	5
2.1.1.2.3 ช่วงการลุกไหม้.....	5
2.1.1.2.4 อุณหภูมิของการจุดติดไฟ.....	5
2.1.1.2.5 อุณหภูมิของเปลวไฟ.....	5
2.1.1.2.6 ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้.....	5

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.1.2.7 ค่าความร้อนของการเผาไหม้	6
2.1.1.2.8 สี กลิ่น และการละลาย.....	6
2.1.2 การเผาไหม้	6
2.1.2.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเผาไหม้.....	8
2.1.2.2 เสถียรภาพเปลวไฟ	8
2.1.2.3 เปลวไฟผสมก่อนแบบลามินาร์	10
2.1.3 วัสดุพอรุน.....	10
2.1.4 อุณหภูมิการเผาไหม้	11
2.1.5 Swirler	12
2.1.6 มลพิษจากการเผาไหม้	13
2.1.6.1 ออกไซด์ของไนโตรเจน.....	13
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 การคำนวณและการทดลอง	19
3.1 เงื่อนไขการทดลอง	19
3.1.1 ชุดอุปกรณ์การทดลอง.....	19
3.1.2 เงื่อนไขการทดลอง	20
3.2 อุปกรณ์การทดลอง.....	22
3.2.1 ห้องเผาไหม้.....	22
3.2.2 หัวเผาวัสดุพอรุน	23
3.2.3 ระบบป้อนเชื้อเพลิงและอากาศ	23
3.2.4 หัวฉีดเชื้อเพลิง	25
3.2.5 แผ่นสร้างกระแสอากาศหมุนควง.....	26
3.2.6 อุปกรณ์การวัดและบันทึกผล.....	27
3.2.6.1 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล	27
3.2.6.2 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.6.3 อุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซไอเสีย	28
3.2.6.4 เกจวัดความดัน	29
3.2.6.5 อุปกรณ์ปรับแต่งแรงดัน	29
3.2.6.6 อุปกรณ์บันทึกลักษณะเปลวไฟ	30
3.3 การคำนวณสำหรับการทดลอง.....	32
3.3.1 อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง.....	33
3.3.2 ปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งและส่วนที่สอง	33
3.3.3 ค่า Swirl number.....	34
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 อิทธิพลของปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งต่อการเผาไหม้วัสดุพูน	36
4.2 อิทธิพลของอัตราการไหลของเชื้อเพลิงต่อการเผาไหม้วัสดุพูน.....	44
4.3 อิทธิพลของการป้อนอากาศส่วนที่สองแบบหมุนควง.....	52
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	62
5.1 การศึกษาอิทธิพลต่างๆ และเปรียบเทียบการเผาไหม้หัวเผาวัสดุพูนเมื่อจ่ายอากาศส่วนที่สองแบบหมุนควงและแบบไม่หมุนควง.....	62
5.1.1 อิทธิพลของปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งต่อการเผาไหม้วัสดุพูน.....	63
5.1.2 อิทธิพลของอัตราการไหลของเชื้อเพลิงต่อการเผาไหม้วัสดุพูน.....	63
5.1.3 อิทธิพลของการป้อนอากาศส่วนที่สองแบบหมุนควง	63
5.2 ข้อเสนอแนะจากการทดลอง.....	64
เอกสารอ้างอิง	65
ภาคผนวก.....	67
ภาคผนวก ก. การคำนวณสำหรับการทดลอง	68

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องป้อนสู่ห้องเผาไหม้.....	69
ภาคผนวก ข. ภาพฉายของแผ่นสร้างกระแสน้ำอากาศหมุนควง.....	75



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติของซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) และอะลูมินา (Al_2O_3).....	11
2.2 สรุปการพิจารณาเลือกเงื่อนไขในการทดลอง	18
3.1 เงื่อนไขการทดลองและพารามิเตอร์ควบคุมต่างๆ ของการทดลอง	21
3.2 รายละเอียดการตั้งค่ากล้องถ่ายภาพ	31
3.3 สรุปการคำนวณค่า Swirl number.....	34
3.4 เงื่อนไขเชื้อเพลิงและปริมาณอากาศที่ใช้สำหรับทดลองจากการคำนวณ	35
4.1 ลักษณะเปลวไฟเมื่อปรับเปลี่ยนการจ่ายปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่ง.....	37
4.2 ลักษณะเปลวไฟเมื่อปรับเปลี่ยนอัตราการใช้เชื้อเพลิง	45
4.3 ลักษณะของเปลวไฟเปรียบเทียบหัวเผาแบบไมล์ Swirler และใส่ Swirl number 0.3, 0.8.....	53
4.4 สรุปผลการทดลองของอิทธิพลต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษา.....	60
ก.1 ปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลองที่อัตราการใช้เชื้อเพลิงต่างๆ.....	72

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงโปรไฟล์ความเร็วขณะเกิดเปลวไฟย้อนกลับ	9
2.2 แสดงโปรไฟล์ความเร็วขณะเกิดเปลวไฟหลุดลอย	9
2.3 Swirler แบบ Axial-type และ Radial-type.....	12
2.4 กระบวนการเกิด NO _x ประเภทต่างๆ.....	13
2.5 แนวโน้มการเกิด Thermal NO _x	14
2.6 กระบวนการเกิด Fuel NO _x	15
3.1 ไดอะแกรมแสดงชุดการทดลองสำหรับการทดลองที่มีการออกแบบให้ช่องป้อนอากาศส่วนที่สอง ก่อให้เกิดการป้อนอากาศแบบหมุนควง	20
3.2 โครงสร้างห้องเผาไหม้.....	22
3.3 หัวเผาวัสดุพูนแบบเจาะรู.....	23
3.4 ไดอะแกรม ก.) ระบบป้อนเชื้อเพลิงและ ข.) อากาศ	24
3.5 หลักการทำงานของหัวฉีดเชื้อเพลิงที่ถูกปรับแต่งแล้ว.....	25
3.6 ส่วนประกอบของหัวฉีดที่ได้รับการพัฒนาแล้ว	26
3.7 แผนผังกระแสอากาศหมุนควงที่อัตราการหมุนควงเท่ากับ ก.) 0.8 และ ข.) 0.3	26
3.8 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (โรตاميเตอร์).....	27
3.9 เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค และหน่วยแสดงผล YOKOGAWA XL100.....	28
3.10 เครื่องวัดก๊าซไอเสีย Testo รุ่น 350 XL	28
3.11 เกจวัดความดัน.....	29
3.12 อุปกรณ์ปรับแรงดันก๊าซแอลพีจี.....	30
3.13 อุปกรณ์ปรับแรงดันสำหรับอากาศ.....	30
3.14 Nikon Model D3200.....	31
4.1 การกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อปรับเปลี่ยนการจ่ายปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่ง.....	40
4.2 ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจน เมื่อปรับเปลี่ยนการจ่ายปริมาณอากาศส่วน ที่หนึ่ง	43
4.3 การกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของเชื้อเพลิง	48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจน เมื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของเชื้อเพลิง	51
4.5 การกระจายตัวของอุณหภูมิเปรียบเทียบหัวเผาแบบไมไล่ Swirler และไล่ Swirl number 0.3, 0.8	56
4.6 ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจนเปรียบเทียบหัวเผาแบบไมไล่ Swirler และไล่ Swirl number 0.3, 0.8	59
ข.1 Swirl number 0.3	74
ข.2 Swirl number 0.8	75



รายการสัญลักษณ์คำย่อ

A	พื้นที่ทางออกของหัวเผา, m^2 (ตารางเมตร)
A/F	สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง
F/A	สัดส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ
d_m	เส้นผ่านศูนย์กลางประสิทธิผล, m (เมตร)
D	เส้นผ่านศูนย์กลางหัวเผา, m (เมตร)
EA	เปอร์เซ็นต์ปริมาณอากาศส่วนเกิน, % (เปอร์เซ็นต์)
h	เอนทาลปีจำเพาะ, kJ/kg (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
H	เอนทาลปี, KJ (กิโลจูล)
LHV	ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง, kJ/kg (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
m	มวล, kg (กิโลกรัม)
\dot{m}	อัตราการไหลเชิงมวล, kg/s (กิโลกรัมต่อวินาที)
MW	มวลโมเลกุล, kg (กิโลกรัม)
ppi	ค่าความหนาแน่นช่องว่าง (pore density), ppi (ช่องต่อความยาวหนึ่งนิ้ว)
P	ความดันก๊าซ, kPa (กิโลปาสคาล)
R	ค่าคงที่ก๊าซ, $kJ/K\text{-kmol}$ (กิโลจูลต่อเคลวิน-กิโลโมล) ($8.314\text{ kJ/K}\text{-kmol}$)
q	อัตราการเผาไหม้หรืออัตราการให้ความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่, kW/m^2 (กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร)
Q	อัตราการเผาไหม้หรืออัตราการให้ความร้อน, kW (กิโลวัตต์)
r	ระยะตามแนวรัศมีเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเผา, m (เมตร)
S_L	ความเร็วเปลวไฟลามินาร์, m/s (เมตรต่อวินาที)
T	อุณหภูมิ, K (เคลวิน)
u_n	ความเร็วส่วนผสม, m/s (เมตรต่อวินาที)
\dot{V}	อัตราการไหลเชิงปริมาตร, m^3/s (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
X	สัดส่วนโดยปริมาตรหรือสัดส่วนโดยโมล
z	ระยะตามแนวแกนจากขอบบนของหัวเผา, m (เมตร)

รายการสัญลักษณ์คำย่อกรีก

ε	ค่าความพรุน (porosity)
Φ	อัตราส่วนสมมูล
α	ครึ่งหนึ่งของมุมโคไซน์ของเปลวไฟแบบลามินาร์, ° (องศา)
λ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของก๊าซไอเสีย, W/m-K (วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน)
λ_A	อัตราส่วนอากาศสัมพัทธ์
ρ	ความหนาแน่นของก๊าซ, kg/m ³ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
η_{th}	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

รายการสัญลักษณ์ย่อ

air	อากาศ
cal	ข้อมูลจากการคำนวณ
flue	ก๊าซไอเสีย
fuel	เชื้อเพลิง
LPG	ก๊าซแอลพีจี
mea	ข้อมูลจากการวัด
O ₂	ก๊าซออกซิเจน
premixed	ส่วนผสมเชื้อเพลิงและอากาศส่วนที่ 1
prod	สารผลิตภัณฑ์
react	สารตั้งต้น
Stoi	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันหัวเผาที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกซึ่งเป็นแบบผสมกันมาก่อน (Premixed burner) มีเปลวไฟยาว และเกิดเป็นเปลวไฟแบบแพร่ (Diffuse flame) ที่ส่วนปลายของเปลวไฟ โดยเฉพาะในย่านอัตราการไหลเชื้อเพลิงสูง เกิดจากเชื้อเพลิงเผาไหม้ไม่หมด ทำให้การกระจายอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ไม่สม่ำเสมอ เป็นสาเหตุของการเกิดมลพิษ

จากการศึกษาบทความที่วิจัยเกี่ยวกับหัวเผาวัสดุพูน พบว่าเปลวไฟที่เกิดจากหัวเผาวัสดุพูนมีอัตราการเผาไหม้ (Burning rate) สูงกว่าเปลวไฟอิสระ (Free flame) ให้อัตราการหรือแรงกว้าง เนื่องจากโครงสร้างวัสดุพูนทำให้เกิดการหมุนเวียนภายใน (Self-recuperation) และกระจายตัว (Dispersion) ของความร้อน ในปี พ.ศ.2558 ได้มีการนำเอาวัสดุพูนมาประยุกต์ใช้ซึ่งวัสดุพูนที่ใช้ในการทดลองทำมาจากอะลูมินาทรงกระบอก พบว่าหัวเผาวัสดุพูนมีการเผาไหม้ที่เสถียรในช่วงอัตราการไหลเชื้อเพลิงที่ 1.5-3 ลิตรต่อนาที โดยไม่มีการยกตัวของเปลวไฟจากฐาน ปริมาณมลพิษต่ำกว่าหัวเผาแบบเดิม ต่อมาได้มีการศึกษาอิทธิพลของรูปร่างวัสดุพูนต่อสมรรถนะการเผาไหม้ของหัวเผา พบว่าด้วยโครงสร้างของวัสดุพูนทรงกระบอกแบบเจาะรูที่รูปร่างขวางช่องทางการไหลน้อยกว่าทำให้สามารถเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่งเข้าสู่ท่อผสมได้ดีกว่าหัวเผาทรงกระบอกตัน อย่างไรก็ตามวัสดุพูนทรงกระบอกแบบเจาะรูจะมีปรากฏการณ์เปลวไฟหลุดลอย (Lifted off) เกิดขึ้น ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำลง เนื่องจากบริเวณที่เกิดเปลวไฟหลุดลอยจะมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเล็ดลอดจากบริเวณเผาไหม้เป็นสาเหตุของการเกิดมลพิษ จึงเป็นสาเหตุให้นำตัวสร้างกระแสมวนควง (Swirler) มาประยุกต์ใช้กับหัวเผาวัสดุพูน โดยใช้การไหลแบบหมุนควงของอากาศเพื่อช่วยให้การผสมผสานระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงดีขึ้นและส่งผลให้เปลวไฟสั้นลงและทำให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาอิทธิพลจากการป้อนอากาศส่วนที่หนึ่งที่มีผลต่อสมรรถนะการเผาไหม้หัวเผาวัสดุพูนแบบประยุกต์ใช้กับการหมุนควง

1.2.2 ศึกษาอิทธิพลจากการเพิ่มอัตราการไหลของเชื้อเพลิง LPG ที่มีผลต่อสมรรถนะการเผาไหม้หัวเผาวัสดุพูนแบบประยุกต์ใช้กับการหมุนควง

1.2.3 ศึกษาอิทธิพลของการป้อนอากาศส่วนที่สองแบบหมุนควงที่มีผลต่อสมรรถนะการเผาไหม้หัวเผาวัสดุพูนแบบประยุกต์ใช้กับการหมุนควง

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 การนำหลักการการหมุนควงของอากาศมาใช้ ช่วยทำให้อากาศกับเชื้อเพลิงผสมกันได้ดีขึ้น คาดว่าการจ่ายอากาศส่วนที่สองแบบหมุนควงจะส่งผลให้เปลวไฟมีลักษณะสั้นลง เนื่องจากการเข้าผสมในลักษณะเฉือน จะทำให้เกิดการคลุกเคล้าระหว่างปริมาณคาร์บอนที่เหลือจากการเผาไหม้ในวัสดุพูนกับอากาศ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงขึ้น

1.3.2 คาดว่าหัวเผาวัสดุพูนที่จ่ายอากาศส่วนที่สองแบบหมุนควงจะมีสมรรถนะการเผาไหม้ที่ดีกว่าและอุณหภูมิในห้องเผาไหม้กระจายตัวได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับหัวเผาวัสดุพูนที่จ่ายอากาศส่วนที่สองแบบไม่หมุนควง

1.3.3 การปรับเปลี่ยนปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งน่าจะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการเผาไหม้

1.3.4 อัตราส่วนระหว่างอากาศส่วนที่หนึ่ง (ผสมก่อนเผาไหม้) และอากาศส่วนที่สอง (ผสมหลังการเผาไหม้แบบหมุนควง) มีผลต่อเสถียรภาพการเผาไหม้ของหัวเผา

1.3.5 มุมการจ่ายอากาศแบบหมุนควงส่งผลต่อเสถียรภาพการเผาไหม้ของหัวเผา

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1.4.1 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองเป็นเชื้อเพลิง LPG ที่ประกอบด้วย โพรเพน 70% และบิวเทน 30% ต่อ LPG 1 โมล

1.4.2 อากาศที่ใช้ในการทดลองมีปริมาตรอากาศส่วนเกิน(Percent excess air) 64.25% ของปริมาตรอากาศตามทฤษฎี

1.4.3 กำหนดให้อากาศส่วนแรกเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยผ่านท่อ Premixed และอากาศส่วนที่สองเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยผ่านการหมุนควง

1.4.4 วัสดุพูนที่นำมาใช้กับหัวเผาเป็นวัสดุพูนทรงกระบอกเจาะรูตรงกลาง ทำมาจากอะลูมินา โดยวัสดุพูนมีขนาดรูพูนเท่ากับ 15 ppi

1.4.5 ศึกษาอิทธิพลของการหมุนควงที่ค่า Swirl Number เท่ากับ 0.3 และ 0.8

1.4.6 ผลการทดลองวิเคราะห์จากอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ ปริมาณออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้ และความยาวของเปลวไฟ

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

- 1.5.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับหัวเผาวัสดุพูน การเผาไหม้ และ Swirler จากงานวิจัยในอดีต
- 1.5.2 ศึกษาและสอบเทียบเครื่องมือวัด
- 1.5.3 ศึกษาและกำหนดตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะการเผาไหม้ของหัวเผาวัสดุพูน
- 1.5.4 ติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองรวมทั้งเตรียมเครื่องมือวัดในการทดลอง
- 1.5.5 ทำการทดลองและบันทึกผลการทดลอง
- 1.5.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง
- 1.5.7 จัดทำข้อมูล สรุปผลการทดลอง และเขียนรายงานการศึกษา

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ทราบถึงพฤติกรรมการเผาไหม้ของหัวเผาวัสดุพูน เมื่อมีการใช้ Swirler ในการป้อนอากาศส่วนที่สอง รวมถึงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเผาไหม้กับหัวเผาวัสดุพูนที่ไม่มี Swirler
- 1.6.2 ทำให้การใช้พลังงานในการเผาไหม้เกิดประโยชน์สูงสุด



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ก๊าซปิโตรเลียมเหลว

ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied petroleum gas, L.P.G) [1], [3] คือ ก๊าซไฮโดรคาร์บอน 4 ชนิด ได้แก่ โพรเพน โพรพิลีน บิวเทน และบิวทีน อย่างไรก็ตามอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างผสมกัน โดยทั่วไปนั้นก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีส่วนประกอบหลักคือ โพรเพนและบิวเทน การขนส่งก๊าซแอลพีจีทำโดยการบรรจุในถังภายใต้ความดันและแอลพีจีจะกลายเป็นไอ ภายใต้ความดันบรรยากาศปกติ

2.1.1.1 คุณสมบัติทางเคมี

ก๊าซแอลพีจีประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน ซึ่งได้แก่ คาร์บอน (C) 3 อะตอม และคาร์บอน (C) 4 อะตอม ใน 1 โมเลกุล ไฮโดรคาร์บอนกลุ่มนี้ประกอบด้วย

โพรเพน	Propane	C_3H_8
โพรพิลีน	Propylene	C_3H_6
บิวเทน	Butane	C_4H_{10}
บิวทีลีน	Butylene	C_4H_8

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นส่วนผสมของก๊าซแอลพีจี อาจแบ่งได้เป็นสองกลุ่ม คือ ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated Hydrocarbon) และไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Unsaturated Hydrocarbon) โดยกลุ่มไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว ได้แก่ โพรเพน (Propane), นอร์มัลบิวเทน (N-Butane), ไอโซบิวเทน (iso-Butane) ส่วนกลุ่มไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว ได้แก่ โพรพิลีน (Propylene), นอร์มัลบิวทีลีน (N-Butylene), ไอโซบิวทีลีน (iso-Butylene)

2.1.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

2.1.1.2.1 จุดเดือด และสภาวะวิกฤติ

ที่อุณหภูมิปกติและความดันบรรยากาศ แอลพีจีนั้นจะมีสถานะเป็นก๊าซ เนื่องจากแอลพีจีมีจุดเดือดต่ำมาก คือ โพรเพน จุดเดือดเท่ากับ $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$ นอร์มัลบิวเทน เท่ากับ $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ไอโซบิวเทน เท่ากับ $-11.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ เว้นแต่จะถูกอัดให้เป็นของเหลวภายใต้ความดันหรือนำลงไปแช่เย็น โดยค่าความดันที่ทำให้เป็นของเหลวคือ ค่าความดันไอของแอลพีจี

2.1.1.2.2 ความถ่วงจำเพาะ

ค่าความถ่วงจำเพาะของก๊าซแอลพีจีจะแสดงเป็นอัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของก๊าซกับอากาศที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน ที่อุณหภูมิ 15.50 °C ที่ความดันบรรยากาศ โพรเพนในสถานะก๊าซ มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.5 บิวเทนเท่ากับ 2.0 เห็นได้ว่าก๊าซแอลพีจีนั้นจะหนักกว่าอากาศ

2.1.1.2.3 ช่วงการลุกไหม้ (Flammability Limits in Air)

เมื่อพิจารณาแอลพีจีในสถานะก๊าซ ก๊าซที่สันดาปได้จะมีช่วงที่จุดไฟแล้วลุกไหม้ได้เพียงช่วงเดียว เมื่อมีช่วงส่วนผสมกับอากาศอยู่ในปริมาณที่พอเหมาะ ช่วงการลุกไหม้จะแสดงค่าเป็นอัตราส่วนร้อยละปริมาตรก๊าซต่ออากาศ ค่าด้านความเข้มข้นสูงของช่วงการลุกไหม้ จะเรียกค่านั้นว่าค่าขอบบนทางด้านต่ำเรียกว่าค่าขอบล่าง ก๊าซแอลพีจีจะลุกไหม้ได้ก็ต่อเมื่อมีก๊าซผสมอยู่ในอากาศ 2-9% หากมีก๊าซแอลพีจีผสมอยู่กับอากาศสูงหรือต่ำกว่าช่วงนี้ ส่วนผสมนั้นจะไม่เกิดการลุกไหม้

2.1.1.2.4 อุณหภูมิของการจุดติดไฟ (Ignition Temperature)

เมื่อค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิให้กับเชื้อเพลิงจนเลยอุณหภูมิค่าหนึ่งแล้ว เชื้อเพลิงจะเริ่มลุกไหม้เอง แม้ว่าจะไม่มีสาเหตุของการติดไฟ โดยอุณหภูมิต่ำสุดที่เกิดการลุกไหม้เองตามธรรมชาติ เรียกว่าอุณหภูมิของการจุดติดไฟ ซึ่งอุณหภูมิจุดติดไฟของโพรเพน คือ 460 - 580 °C ส่วนบิวเทน คือ 410 - 550 °C

2.1.1.2.5 อุณหภูมิของเปลวไฟ (Flame Temperature)

เปลวไฟที่ได้มาจากการเผาไหม้ก๊าซแอลพีจีนั้นมีอุณหภูมิสูงมาก โดยโพรเพนมีอุณหภูมิของเปลวไฟในอากาศ 1,930 °C และบิวเทน 1,900 °C

2.1.1.2.6 ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ (Air Requirement)

ก๊าซออกซิเจนเป็นก๊าซที่ผสมอยู่ในอากาศ 21% โดยปริมาตร เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ ดังนั้นปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าห้องเผาไหม้ต้องเป็นปริมาณที่แน่นอน หากเผาไหม้ก๊าซแอลพีจีอย่างสมบูรณ์ทั้งหมดจะกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เขียนเป็นสมการเคมีได้ดังนี้



จากสมการเหล่านี้จะเห็นว่า ปริมาณออกซิเจนที่จำเป็นต่อการเผาไหม้สมบูรณ์จะเป็น 5 เท่า หากเป็นโพรเพน และ 6.5 เท่า หากเป็นบิวเทน ดังนั้นในการเผาไหม้โพรเพนอย่างสมบูรณ์ 1 ลูกบาศก์เมตร ต้องใช้อากาศ 24 ลูกบาศก์เมตร ส่วนบิวเทน 1 ลูกบาศก์เมตร ต้องใช้อากาศ 31 ลูกบาศก์เมตร เพราะในอากาศมีปริมาณออกซิเจนประมาณ 21%

2.1.1.2.7 ค่าความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of Combustion)

ค่าความร้อนของการเผาไหม้ของก๊าซแอลพีจี แสดงถึงปริมาณความร้อนที่เกิดจากการนำก๊าซแอลพีจีหนึ่งหน่วยปริมาตรมาเผาไหม้ที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิปกติ 25 °C

2.1.1.2.8 สี กลิ่น และการละลาย

แอลพีจีนั้นไม่มีสี กลิ่น ทางด้านบริษัทผู้ผลิตก๊าซแอลพีจีจึงต้องเติมสารประกอบที่เป็นสารพวกเมอร์แคปแทนที่มีกลิ่นเหม็น เพื่อให้ผู้ใช้รู้เมื่อเกิดการรั่วของก๊าซ

ก๊าซแอลพีจีนั้นมีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลาย สามารถทำให้อุปกรณ์ต่างๆที่ทำมาจากยางธรรมชาติเสียคุณสมบัติได้

2.1.2 การเผาไหม้

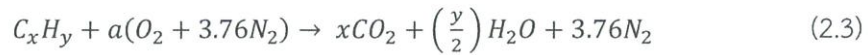
การเผาไหม้ (combustion) [3] เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างโมเลกุลของเชื้อเพลิงกับโมเลกุลของออกซิโดเซอร์ ซึ่งโดยทั่วไปคือ ออกซิเจนในอากาศที่สถานะก๊าซแบบเนื้อเดียวกันเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงภายในเวลาอันรวดเร็วและเป็นปฏิกิริยาที่มีความซับซ้อนและขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพและทางเคมีของสภาวะตั้งต้น ปฏิกิริยาการเผาไหม้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีปัจจัยครบทั้งสามอย่าง ได้แก่ สารตั้งต้นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ

- 1.) เชื้อเพลิง
- 2.) ออกซิโดเซอร์
- 3.) สภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้อย่างต่อเนื่องสมบูรณ์ เช่น มีแหล่งความร้อนประกายไฟ หรือ การสร้างสภาวะกดดันให้มีความดันสูงอุณหภูมิสูง เพื่อจุดติดไฟ

เปลวไฟ (flame) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการเผาไหม้ คือบริเวณต่างๆที่เกิดปฏิกิริยาเคมีการคายความร้อน (Exothermic chemical reaction) อย่างรวดเร็ว โดยการเผาไหม้สามารถให้เปลวไฟได้สองแบบคือเปลวไฟแบบผสมกันมาก่อน (Premixed flame) และเปลวไฟแบบแพร่ (diffusion flame) แต่ละแบบอาจจำแนกได้เป็นเปลวไฟแบบอยู่นิ่ง (stationary flame) และเปลวไฟลุกลามเคลื่อนที่ (propagating flame) และเปลวไฟต้องมีความเร็วในการเผาไหม้ (burning velocity) อาจเป็นความเร็วการเผาไหม้แบบราบเรียบ (Laminar burning velocity) หรือความเร็วการเผาไหม้แบบปั่นป่วน (Turbulent burning velocity) ซึ่งปฏิกิริยาการเผาไหม้เกิดขึ้นในอัตราเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ พื้นที่ผิวสัมผัสของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนและอุณหภูมิของการเข้าทำปฏิกิริยา เป็นต้น

สตอยชิโอเมตรีของการเผาไหม้ (Stoichiometry combustion) เป็นการคำนวณปริมาณออกซิโดเซอร์ที่พอดีในการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ดังนั้นถ้าปริมาณออกซิโดเซอร์มากกว่าสตอยชิโอเมตริก

หมายความว่า การเผาไหม้นั้นมีส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงแบบบาง (Lean mixture) ในทางกลับกัน เมื่อมีปริมาณออกซิไดเซอร์น้อยกว่าสตอยชิโอเมตริกหมายความว่าส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงแบบหนา (Rich mixture) การหาความสัมพันธ์แบบสตอยชิโอเมตริกทำได้โดยการเขียนสมการเผาไหม้สำหรับเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนสามารถหาได้ดังนี้



เมื่อ
$$a = \frac{x+y}{4}$$

สัดส่วนของปริมาณออกซิเจนในอากาศซึ่งมักนิยมพิจารณาให้อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เป็นอากาศแห้งประกอบไปด้วย ออกซิเจน 21% โดยปริมาตรและไนโตรเจน 79% โดยปริมาตร นั่นคือแต่ละโมลของออกซิเจนมีไนโตรเจน 3.76 โมล การหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎีสามารถหาได้จาก

$$(A/F)_{stoi} = \left(\frac{m_{air}}{m_{fuel}}\right)_{stoi} = \frac{4.76 MW_{air}}{1 MW_{fuel}} \quad (2.4)$$

นอกจากนี้ยังมีปริมาณที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ดังนี้

อัตราส่วนสมมูล (Equivalent ratio, Φ) เป็นค่าที่บ่งบอกส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงซึ่งสามารถหาได้จาก

$$\Phi = \frac{(A/F)_{stoi}}{(A/F)_{actual}} = \frac{(F/A)_{actual}}{(F/A)_{stoi}} \quad (2.5)$$

เมื่อ

$\Phi > 1$ ส่วนผสมหนา

$\Phi < 1$ ส่วนผสมบาง

$\Phi = 1$ ส่วนผสมพอดี

เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (Percent excess air) เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินเป็นปริมาณบ่งบอกให้ทราบว่าปริมาณอากาศส่วนเกินที่เปอร์เซ็นต์โดยคิดจากอากาศทางทฤษฎีที่มีค่าเท่ากับ 100

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

2.1.2.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเผาไหม้

1.) ปริมาณอากาศที่เพียงพอต่อการเผาไหม้ (Sufficient air to combustion) ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงให้สมบูรณ์จำเป็นต้องมีสัดส่วนของอากาศหรือออกซิเจนที่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาเผาไหม้โดยปริมาณอากาศที่น้อยที่สุดที่สามารถทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์เรียกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎี

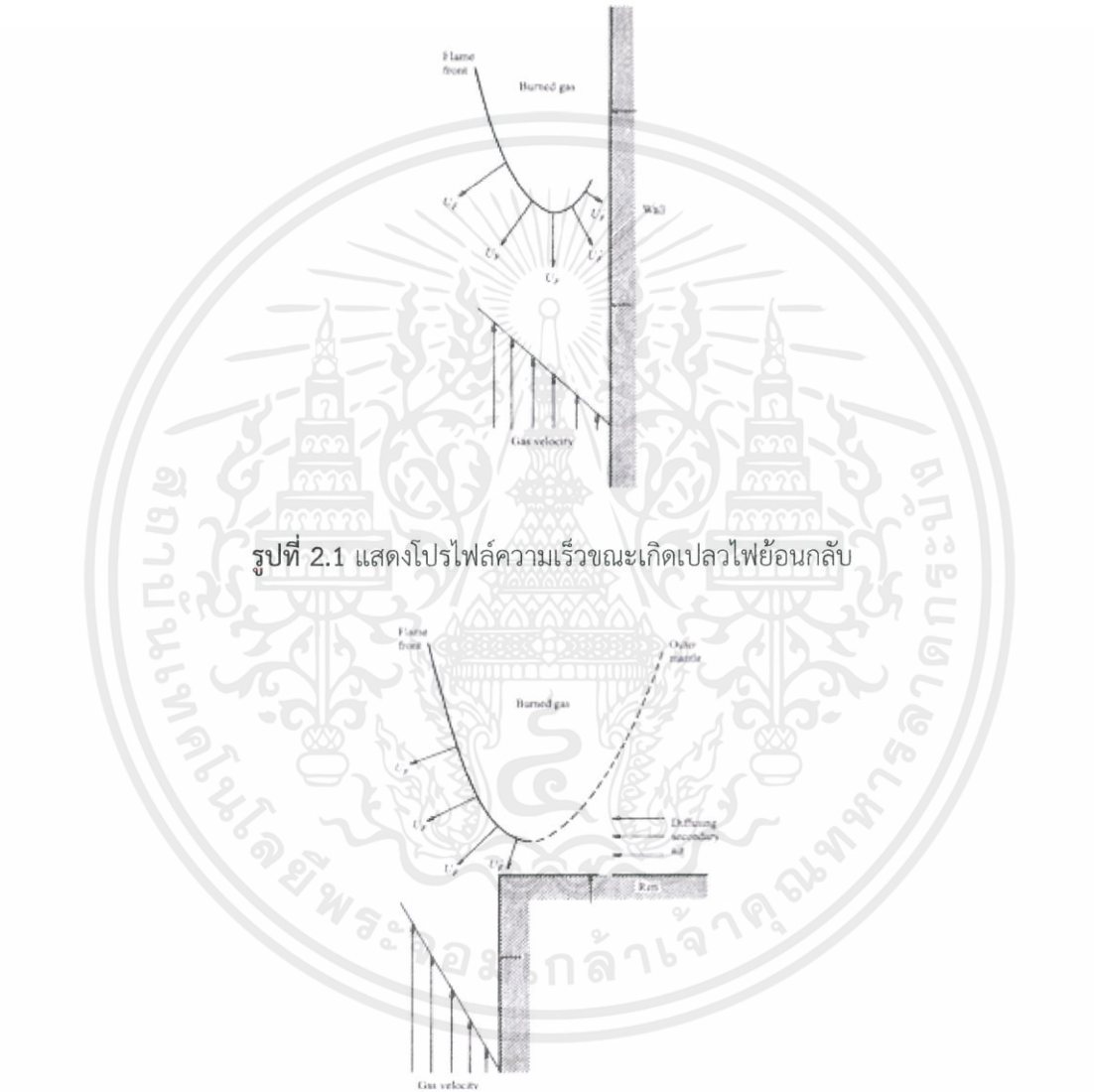
2.) ระยะเวลาในการเผาไหม้ (Burning time) เนื่องจากในการทำปฏิกิริยาจำเป็นต้องอาศัยเวลาเพื่อที่จะทำให้ได้ปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ซึ่งหาระยะเวลาในการเผาไหม้ไม่เพียงพอจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงต่ำและนับว่าเป็นการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงด้วย

3.) ความปั่นป่วนระหว่างการเผาไหม้ (Turbulent) เนื่องจากในการเผาไหม้นั้นเป็นการทำปฏิกิริยาของเชื้อเพลิงและออกซิเจนในอากาศซึ่งหากระหว่างการเผาไหม้มีความปั่นป่วนเกิดขึ้นจะทำให้เกิดการคลุกเคล้ากันอย่างดีของเชื้อเพลิงและออกซิเจนทำให้โอกาสที่ออกซิเจนจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงและเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มีมากขึ้น

2.1.2.2 เสถียรภาพเปลวไฟ (Flame stability)

สิ่งสำคัญที่ควรหลีกเลี่ยงในการออกแบบหัวเผาก๊าซ คือปรากฏการณ์เปลวไฟย้อนกลับ (flash back) และเปลวไฟหลุดลอย (lift off) เปลวไฟย้อนกลับคือปรากฏการณ์ที่เปลวไฟลามไปในท่อผสมโดยไม่ดับซึ่งไม่เพียงสร้างความรำคาญเท่านั้นแต่ยังเป็นสาเหตุของการระเบิดที่อันตรายอย่างมาก เนื่องมาจากการขยายปริมาตรของก๊าซและเปลวไฟหลุดลอยคือปรากฏการณ์ที่เกิดช่องว่างระหว่างฐานของเปลวไฟและท่อ แต่ในขณะที่เดียวกันก็ยังเกิดการเผาไหม้อยู่ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เมื่อก๊าซผสมไหลออกจากช่องระหว่างเปลวไฟกับท่อและทำให้จุดติดไฟยาก ถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดีส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำลง หลักการของทั้งสองปรากฏการณ์นี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของความเร็วเปลวไฟแบบลามินาร์ในแต่ละกรณี จากรูปที่ 2.1 แสดงถึง โปรไฟล์เวกเตอร์ของเปลวไฟย้อนกลับ โดยมากมักเกิดขึ้นระหว่างการหรี่หรือหยุดการป้อนเชื้อเพลิง ทำให้ความเร็วของเปลวไฟมีมากกว่าอัตราการไหลของผสมส่งผลให้เปลวไฟลามไปยังต้นทางมากกว่าที่จะดับ ดังนั้นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องได้แก่ ชนิดของเชื้อเพลิง อัตราส่วนผสม อัตราการไหลและลักษณะทางกายภาพของหัวเผา เป็นต้น

เราสามารถกล่าวได้ว่าปรากฏการณ์เปลวไฟหลุดลอยนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของเปลวไฟและอัตราการไหลบริเวณขอบของหัวเผาคือเมื่อพิจารณาให้เปลวไฟมีเสถียรภาพที่ขอบของหัวเผาที่อัตราการไหลต่ำ ฐานของเปลวไฟจะอยู่ติดกับหัวเผา แต่เมื่อเพิ่มอัตราการไหล จะสังเกตพบว่ามุมของโคนเปลวไฟมีขนาดเล็กลงและเริ่มออกห่างจากหัวเผาเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าเปลวไฟหลุดลอย ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และถ้าเพิ่มอัตราการไหลให้สูงขึ้นต่อไป จะให้เกิดการเป่าดับ ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น



รูปที่ 2.1 แสดงโปรไฟล์ความเร็วขณะเกิดเปลวไฟย้อนกลับ

รูปที่ 2.2 แสดงโปรไฟล์ความเร็วขณะเกิดเปลวไฟหลุดลอย

2.1.2.3 เปลวไฟผสมก่อนแบบลามินาร์ (Laminar premixed flame)

คือปรากฏการณ์การเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซภายใต้อุณหภูมิสูงของส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงและออกซิไดเซอร์ที่ผสมจนเป็นเนื้อเดียวกันก่อนจะมีการเผาไหม้เกิดขึ้น ซึ่งเรียกว่าเปลวไฟผสมก่อนแบบลามินาร์สามารถพบเห็นได้ทั่วไปยกตัวอย่างเช่น เตาแก๊สตามบ้าน เปลวไฟก๊าซชนิดผสมกันมาก่อนนี้สามารถแบ่งออกเป็นสองแบบคือ แบบอยู่กับที่ (Stationary flame) และแบบลามเคลื่อนที่ (Propagating flame) โดยจำแนกจากวิธีป้อนส่วนผสมเข้าสู่บริเวณเปลวไฟ ซึ่งสามารถวิเคราะห์พฤติกรรมของเปลวไฟได้จากความเร็วของเปลวไฟแบบลามินาร์ (Laminar flame speed, s_L) ซึ่งคือความเร็วสัมพัทธ์ของเปลวไฟที่ลามเข้าหาส่วนผสมเมื่อเทียบกับ ความเร็วของส่วนผสม มีความสำคัญมากในการออกแบบอุปกรณ์การเผาไหม้เชื้อเพลิงแสดงดังสมการ

$$S_L = v_u \sin \alpha \quad (2.7)$$

เมื่อ v_u คือความเร็วการไหลของส่วนผสม

จากสมการทำให้เราทราบถึงปรากฏการณ์สำคัญของเปลวไฟ

ก๊าซแบบผสมก่อนได้เป็นอย่างดี ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กรณีดังนี้

1.) กรณีเปลวไฟนิ่งอยู่กับที่

ดังนั้น $S_L = v_u$ และมีทิศทางตั้งฉากกับแนวเปลวไฟ ดังนั้นการทำให้เปลวไฟหยุดลามและอยู่นิ่งกับที่ได้ั้นต้องปรับความเร็วการไหลของส่วนผสมจนมีค่า เท่ากับค่าความเร็วของเปลวไฟของส่วนผสมนั่นเอง

2.) กรณีเปลวไฟลามเคลื่อนที่เข้าหาส่วนผสม เพราะความเร็วในการไหลของ ส่วนผสมต่ำเกินไป หรือ $S_L > v_u$ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าเปลวไฟย้อนกลับ (Flash back)

3.) กรณีเปลวไฟลามเคลื่อนที่เข้าหาสารผลิตภัณฑ์ เนื่องจากความเร็วในการไหล ของส่วนผสมมากเกินไป หรือ $|S_L| < |v_u|$ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าเปลวไฟเป่าดับ (Blow off)

2.1.3 วัสดุพอรุน

วัสดุพอรุน [4] คือ วัสดุที่มีช่องว่างปะปนอยู่ในเนื้อวัสดุที่เป็นของแข็ง วัสดุพอรุนตามธรรมชาติ เช่น เนื้อเยื่อปอดมนุษย์ หินทราย และรังผึ้ง สมบัติที่สำคัญของวัสดุพอรุนคือ มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนสูง อีกทั้งวัสดุพอรุนเป็นของแข็งที่มีค่าการนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนสูง แต่วัสดุพอรุนที่เหมาะสมกับงานเผาไหม้ ต้องทำมาจากวัสดุที่มีความต้านทานอุณหภูมิสูง ทนทานต่อการแตกร้าวเนื่องจากการยึดหรือหดของโครงสร้าง ซึ่งซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) และ อะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) เป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมในการนำไปใช้เป็นหัวเผาวัสดุพอรุน โดยจะมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) และ อะลูมินาออกไซด์ (Al₂O₃)

สมบัติ	หน่วย	SiC	Al ₂ O ₃
ความร้อนสูงสุด	°C	1650	1900
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (α)	10 ⁻⁶ K ⁻¹	4-5	8
ค่าการนำความร้อนที่ 20 °C (λ)	W m ⁻¹ K ⁻¹	80-150	20-30
ค่าการนำความร้อนที่ 1000 °C (λ)	W m ⁻¹ K ⁻¹	20-50	5-6
ค่าความจุความร้อน	J g ⁻¹ K ⁻¹	0.7-0.8	0.9-1
อุณหภูมิต่อการขยายตัวหนึ่งหน่วย ($R = \frac{(\frac{\sigma}{E})}{\alpha}$)	K	230	100
ค่าความร้อนต่อการขยายตัวหนึ่งหน่วย ($R' = R \cdot \lambda$)	10 ⁻³ W m ⁻¹	23	3
สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีรวมที่ 2000K	-	0.9	0.28

จากข้อดีดังกล่าว ทำให้มีงานวิจัยจำนวนมากประยุกต์ใช้หลักการของวัสดุพูนในการเผาไหม้ เนื่องจากวัสดุพูนจะช่วยทำให้เกิดการหมุนเวียนความร้อนภายในระบบ ทำให้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงกว่าการเผาไหม้แบบปกติที่สภาวะเดียวกัน อีกทั้งมีค่าความเร็วในการเผาไหม้ ความเข้มของการเผาไหม้และความเข้มของการแผ่รังสีความร้อนที่สูง ทำให้สามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่ำๆ ซึ่งไม่สามารถเผาไหม้ในอุปกรณ์เผาไหม้แบบปกติได้

2.1.4 อุณหภูมิการเผาไหม้

ในขณะที่เกิดการเผาไหม้อุณหภูมิของเปลวไฟจะได้อุณหภูมิความร้อนที่คายออกมา[5] ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้เพื่อให้สารตั้งต้นเกิดการเปลี่ยนสภาพเป็นผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิดังกล่าวจึงมีค่าขึ้นอยู่กับค่าความร้อน (heating value) หรือเอนทาลปีของสารตั้งต้นและอัตราส่วนของเชื้อเพลิงและอากาศ ซึ่งความสัมพันธ์ของเอนทาลปีระหว่างสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์มีดังนี้

$$\sum_P(nMh_f)_{T_2} = \sum_R(nMh_f) + \Delta Q \quad (2.8)$$

เมื่อ

ΔQ คือ ความร้อนที่สูญเสียระหว่างปฏิกิริยา

$\Sigma_P(nMh_f)_{T_2}$ คือ เอนทาลปีรวมของผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิใดๆ

$\Sigma_R(nMh_f)$ คือ เอนทาลปีรวมของสารตั้งต้น

h_f คือ เอนทาลปีของการเกิด

n คือ จำนวนโมลของสารแต่ละชนิด

2.1.5 Swirler

เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่ฉีดอากาศให้หมุนควง การหมุนควงเป็นเกลียวจะส่งผลต่อการเผาไหม้ซึ่งการหมุนควงนี้จะช่วยการผสมผสานของอากาศและเชื้อเพลิงดีขึ้น Swirler [2] สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ดังนี้ Axial-swirler และ Radial-swirler ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 Swirler แบบ Axial-type และ Radial-type

อากาศที่ไหลผ่าน Swirler จะมีลักษณะเป็น 2 ทิศทาง คือ การไหลตามแนวแกนและการไหลตามแนวเส้นสัมผัส ส่งผลให้เส้นทางการไหลแบบเชื่อมอนุภาคของการไหลมีรูปร่างเป็นเกลียว การไหลเช่นนี้ส่งผลกระทบต่อสนามการไหล ซึ่งหากการไหลมีการหมุนควงที่รุนแรงเกินไปจะส่งผลทำให้เปลวไฟไม่มีเสถียรภาพ ในทางกลับกันหากมีน้อยเกินไปก็ไม่ทำให้เกิดการไหลแบบหมุนควงและส่งผลทำให้เปลวไฟไม่มีเสถียรภาพ ซึ่งการหมุนดังกล่าวสามารถคำนวณเป็นค่า Swirl number หรืออัตราชนิดบอกระดับการหมุนควงเพื่อดังสมการต่อไปนี้

$$S_N = \frac{\int_{R_h}^{R_n} \bar{u} \bar{w} r^2 dr}{\int_{R_h}^{R_n} R_n \bar{u}^2 r dr} \quad (2.9)$$

เมื่อ

S_N คือ ค่า Swirl Number

\bar{u} คือ ค่าเฉลี่ยของความเร็วตามแนวแกน

\bar{w} คือ ความเร็วในแนวเส้นสัมผัส

R_n คือ รัศมีรอบนอกของ Swirler

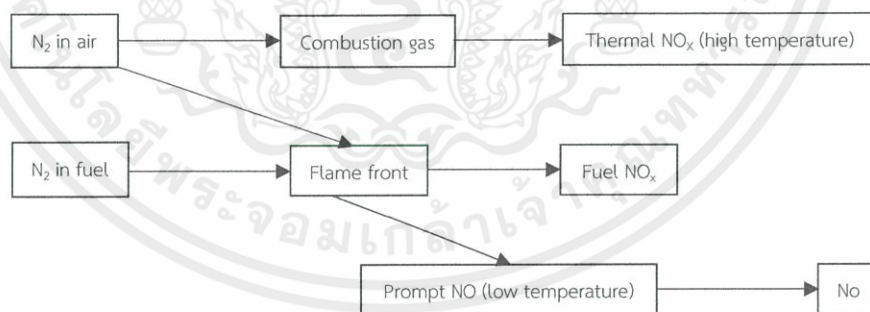
R_h คือ รัศมีรอบในของ Swirler

โดยค่า Swirl Number < 0.5 เรียกว่า การหมุนวนอ่อน (Low Swirl) และ Swirl Number > 0.5 คือช่วงการหมุนวนแบบแรง (High Swirl)

2.1.6 มลพิษจากการเผาไหม้

2.1.6.1 ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x)

ในการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง มักเกิดออกไซด์ของไนโตรเจน โดยทั่วไปการเกิดออกไซด์ของไนโตรเจน หรือ NO_x [5] อาจเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัย สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่ Thermal NO_x , Prompt NO_x และ Fuel NO_x ซึ่งปัจจัยและบริเวณการเกิด NO_x ประเภทต่างๆ โดยแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กระบวนการเกิด NO_x ประเภทต่างๆ

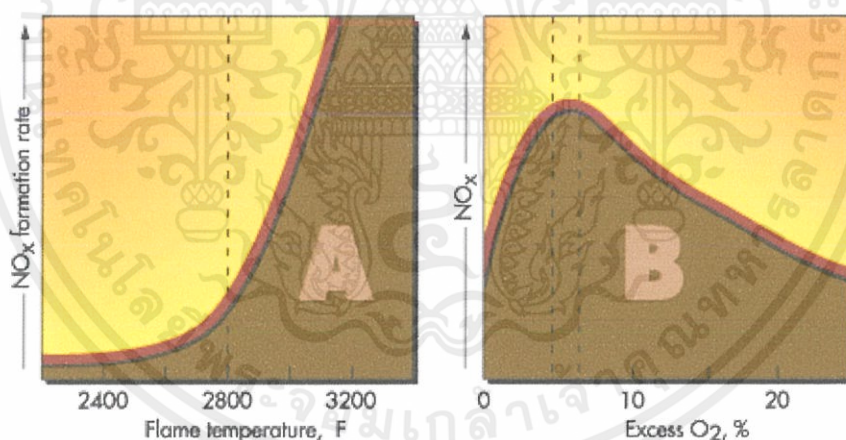
ประเภทของ NO_x

1.) Thermal NO_x

เกิดจากกระบวนการออกซิเดชันของโมเลกุลไนโตรเจนที่อยู่บริเวณแหล่งกำเนิดก๊าซไอเสียที่มีอุณหภูมิสูงตั้งแต่ 1100°C ขึ้นไป โดยกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิก๊าซไอเสียและระยะเวลาในท้องเผาไหม้นั้นเหมาะสม ซึ่ง 3 ปฏิกิริยาย่อยที่ทำให้เกิด Thermal NO_x ได้แก่



โดยทั้ง 3 ปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้เรียกว่า Zeldovich mechanism การลดการเกิด NO_x ในขั้นต้น ทำได้โดยการปรับปรุงท้องเผาไหม้ให้มีความยาวลดลงเพื่อช่วยลดระยะเวลาในการเผาไหม้ แต่จะส่งผลให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ เนื่องจากผลิตภัณฑ์อุณหภูมิไม่ถึงตามที่ต้องการ นอกจากนี้รูปที่ 2.5 ยังแสดงให้เห็นว่าการเผาไหม้โดยทั่วไป Thermal NO_x มีแนวโน้มการเกิดสูงที่ปริมาณอากาศส่วนเกินประมาณ 5-8 เปอร์เซ็นต์

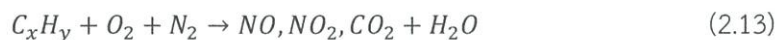


รูปที่ 2.5 แนวโน้มการเกิด Thermal NO_x

2.) Prompt NO_x

เกิดจากโมเลกุลไนโตรเจนในอากาศทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงที่แตกตัวเป็นส่วนเหลือ เช่น C, CH และ CH_2 ซึ่งมักจะเกิดขึ้นในช่วงที่อุณหภูมิยังไม่สูงหรือระยะแรกของการไหม้ เกิดเป็นสารประกอบ

ไนโตรเจน เช่น NH (Nitrogen monohydride), HCN (Hydrogen cyanide) เป็นต้น ซึ่งเป็นสารประกอบที่พร้อมเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และกลายเป็น NO_x โดยมีรูปแบบการเกิดปฏิกิริยาดังนี้

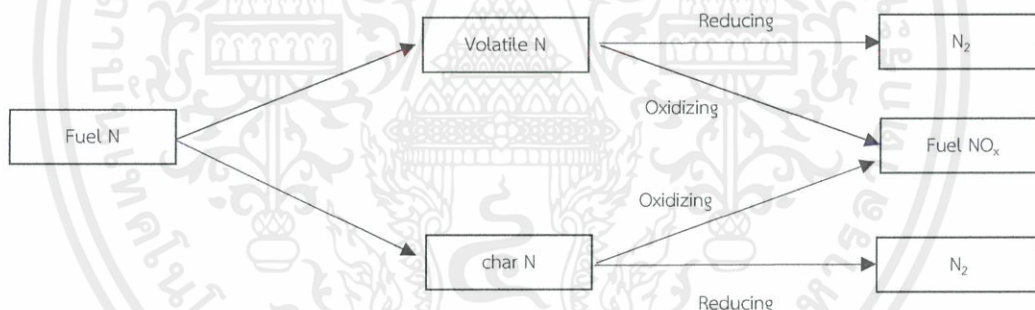


3.) Fuel NO_x

NO_x สองประเภทแรกเกิดจากไนโตรเจนที่อยู่ในอากาศ แต่ NO_x ประเภทนี้จะเกิดขึ้นเฉพาะการเผาไหม้ที่เชื้อเพลิงมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ จึงเป็นมลพิษที่เกิดที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งและน้ำมัน ซึ่งมีโอกาสเกิดน้อยในการเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยมีรูปแบบการเกิดปฏิกิริยาดังนี้



เมื่อ R_x คือเชื้อเพลิง โดย NO_x ประเภทนี้มีลักษณะการเกิด 2 ลักษณะ คือเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารระเหยไนโตรเจน (Volatile nitrogen species) และเกิดจากการเผาไนโตรเจนที่อยู่ในชาร์ (Char) โดยกระบวนการเกิด Fuel NO_x ทั้ง 2 ลักษณะแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กระบวนการเกิด Fuel NO_x

จากกระบวนการเกิด NO_x ประเภทต่างๆ ทำให้ทราบว่า การเกิด NO_x ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น นอกจากอุณหภูมิและปริมาณอากาศส่วนเกินดังในรูปที่ 2.5 ชนิดของเชื้อเพลิงก็มีผลเช่นเดียวกัน หากใช้เชื้อเพลิงที่ติดไฟง่าย ปริมาณ NO_x จะค่อนข้างสูง เนื่องด้วยอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้มีค่าสูง นอกจากนี้การอุ่นอากาศก่อนการเผาไหม้ก็ทำให้ NO_x มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน โดยส่วนใหญ่เป็น Thermal NO_x

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.) Byeong Yu, Sung – Min Kum, Chang – Eon Lee, Seungro Lee [6] ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบการปลดปล่อยมลพิษและประสิทธิภาพทางความร้อนของวัสดุพรม 3 ประเภท ได้แก่ Metal Fiber (MF), Ceramics (CM) และ Stainless steel fin (SF) โดยถูกนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Condensing Boiler) เมื่อทดลองที่ภายใต้อัตราส่วนสมมูล และค่าความสามารถของหัวเผาที่ค่าต่างๆ พบว่า Metal Fiber มีค่าการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำที่สุด แต่มีค่าการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนและประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุด ส่วน Stainless steel fin มีค่าการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด แต่มีค่าการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนและประสิทธิภาพทางความร้อนต่ำที่สุด กล่าวคือ ยิ่งค่าความพรมของหัวเผา ยิ่งน้อย (ค่าความพรม : $SF < CM < MF$) ค่าการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จะยิ่งสูงขึ้น และประสิทธิภาพทางความร้อนจะยิ่งต่ำลง

2.) Huaibin Gao, Zhiguo Qu, Xiangbo Feng, Wengquan Tao [7] ศึกษาการเผาไหม้แบบผสมกันมาก่อนของมีเทนกับอากาศ โดยใช้อะลูมินา (Al_2O_3) ในรูปแบบต่างกัน (แบบโฟม, แบบเม็ด และ แบบรังผึ้ง) พบว่า อุณหภูมิเปลวไฟของอะลูมินารูปแบบโฟมต่ำกว่ารูปแบบเม็ดและรังผึ้งที่ความเร็วเปลวไฟเดียวกัน ซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะการถ่ายเทความร้อนของอะลูมินาที่มีลักษณะการถ่ายเทในแนวรัศมี

3.) P.H. Bouma, L.P.H. De Goey [8] ศึกษาการเผาไหม้แบบผสมกันมาก่อนแบบบางของมีเทนกับอากาศ โดยใช้หัวเผาวัสดุพรมแบบเซรามิกส์พบว่า อุณหภูมิก๊าซไอเสียลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญในแนวรัศมี การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์มีค่าต่ำกว่า เมื่อเทียบกับการเผาไหม้สมบูรณ์แบบเปลวไฟอิสระ

4.) A. Laphirattanakul, P. Laphirattanakul, J. Charoensuk [9] ศึกษาและทดลองปรับปรุงสมรรถนะการเผาไหม้ โดยเปรียบเทียบระหว่างหัวเผาแบบเดิมกับหัวเผาวัสดุพรม ซึ่งวัสดุพรมที่ใช้ในการทดลองทำมาจากอะลูมินาทรงกระบอก มีความหนาแน่นความพรม 10 ppi ค่าความพรม 0.9 และค่าการนำความร้อนที่ 4-5 W/m.K ที่อุณหภูมิ 1,000 °C พบว่าหัวเผาวัสดุพรมมีการเผาไหม้เสถียรในช่วงอัตราการไหลเชื้อเพลิง 1.5-3 L/min โดยไม่มีการยกตัวของเปลวไฟจากฐาน วัดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ และออกไซด์ของไนโตรเจน ได้ในปริมาณต่ำกว่าหัวเผาแบบเดิม

5.) A. Laphirattanakul, P. Laphirattanakul, J. Charoensuk [10] ศึกษาและเปรียบเทียบสมรรถนะการเผาไหม้ระหว่างหัวเผาทำจากอะลูมินาทรงกระบอกตัน และทรงกระบอกเจาะรู พบว่าหัวเผาวัสดุพรมรูปทรงกระบอกเจาะรู มีเปอร์เซ็นต์การผสมกันของอากาศและเชื้อเพลิงก่อนการเผา

ใหม่สูงกว่ารูปทรงกระบอกตัน เนื่องจากไม่มีโครงสร้างวัสดุพูนขวางช่องทางการไหล โดยย่านการเผาไหม้ที่เสถียรอยู่ในช่วงอัตราการไหลของเชื้อเพลิง 1.5-3 L/min เท่านั้น เมื่ออัตราการไหลอยู่ในช่วง 3.5-5 L/min เปลวไฟจะเกิดการยกตัว และอุณหภูมิของหัวเผาทรงเจาะรู มีค่าสูงกว่าตลอดย่านการใช้งาน

6.) A. Laphirattanakul, P. Laphirattanakul, J. Charoensuk [11] ศึกษาเสถียรภาพของเปลวไฟ ของการเผาไหม้แบบผสมกันมาก่อน ของเชื้อเพลิง LPG ในโรงงานเซรามิกส์ เมื่อประยุกต์ใช้หัวเผาวัสดุพูนที่มีความหนาแน่นความพูนต่างกัน ในช่วงอัตราการไหลของเชื้อเพลิง 1-5 L/min โดยใช้วัสดุพูนทรงกระบอกที่ทำมาจากอะลูมิน่า มีความหนาแน่นความพูน 15 และ 20 ppi พบว่าวัสดุพูนที่มีขนาดรูเล็กกว่าจะเกิดความดันตกสูงกว่า ซึ่งทำให้เกิดการเผาไหม้แบบเชื้อเพลิงหนา จากการสังเกตเปลวไฟ พบว่าวัสดุพูนที่มีค่าความพูน 20 ppi ไม่สามารถดับเปลวไฟไว้ได้ โดยเฉพาะที่อัตราการไหลสูงๆ ในกรณีที่มีวัสดุพูนมีค่าความพูน 15 ppi เปลวไฟมีเสถียรภาพในวัสดุพูนในช่วงอัตราการไหล 1-3 L/min สังเกตจากความสว่างในวัสดุพูน โดยการหมุนเวียนความร้อนทั้งการแผ่รังสีและการนำความร้อนทำให้เกิดเสถียรภาพของเปลวไฟภายในวัสดุพูน

7.) P. Laphirattanakul [3] ศึกษาเปรียบเทียบคุณลักษณะของหัวฉีดและสมรรถนะการเผาไหม้ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง โดยได้ออกแบบหัวฉีด LPG ภายใต้วัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มอัตราการเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่ เนื่องจากหัวเผา LPG ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ทั่วไปเป็นแบบเปลวไฟผสมกันมาก่อน ที่ใช้หลักการฉีดเชื้อเพลิงเพื่อเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่งเข้าสู่ห้องผสม โดยอาศัยหลักการสมดุลสปริงกับความดันของก๊าซที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของวาล์วเข้ามาประยุกต์ใช้ พบว่าลักษณะลำเจ็ทของหัวฉีดที่ได้รับการพัฒนามีมุมการฉีดที่กว้างและเงาของเชื้อเพลิงที่จางกว่า ส่งผลให้มีการเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่งที่ดีกว่า นอกจากนี้พบว่าหัวฉีดที่มีค่าความแข็งสปริงน้อย จะเหนี่ยวนำอากาศได้ดีกว่าในช่วงอัตราการไหลเชื้อเพลิง 1.5-3 L/min แต่ในช่วงอัตราการไหลเชื้อเพลิง 3.5-4.5 L/min ค่าความแข็งสปริงมากจะเหนี่ยวนำอากาศได้ดีกว่า และจากการทดลองสมรรถนะการเผาไหม้พบว่าหัวฉีดที่ปรับปรุงแล้ว เปลวไฟจะมีเสถียรภาพมากกว่า ให้อุณหภูมิเปลวไฟที่สูงและปริมาณมลพิษที่น้อยกว่า ส่วนการทดลองเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลอากาศส่วนที่สอง พบว่าทำให้เกิดการพัดพามากขึ้น และหากเพิ่มอากาศส่วนที่สองในปริมาณมากเกินไปจะส่งผลให้อุณหภูมิไอเสียลดลง นอกจากนี้พบว่าหัวฉีดที่ได้รับการพัฒนาแล้วมีประสิทธิภาพในย่านอัตราการไหลเชื้อเพลิง 1.5-4.5 L/min ค่อนข้างดีโดยเฉพาะหัวฉีดกรณีค่าคงที่สปริง 0.57 N/mm

8.) Ishak M.s.a., Mohammad Nazi Mohd Jaarfar, Wan Zaidi Wan Omar [12] ศึกษาเชิงตัวเลขถึงอิทธิพลของการหมุนควงของอากาศที่ป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ซึ่งมีผลต่อการกระจาย

อุณหภูมิของเปลวไฟโดยทำการปรับเปลี่ยน Swirl number (SN) ในช่วง 0.366-1.427 พบว่าเมื่อ Swirl numbers สูงขึ้นจะส่งผลให้การกระจายตัวของอุณหภูมิดีขึ้นทั้งการกระจายในแนวรัศมีและแนวแกนตามระดับความสูงของห้องเผาไหม้

9.) P. Laphirattanakul [5] นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีวัสดุพอร์ซเลนร่วมกับหัวเผาแบบมีการผสมมาก่อนการเผาไหม้ สำหรับใช้ในกระบวนการอบเซรามิกส์พบว่า กรณีที่หัวเผาวัสดุพอร์ซเลนทรงกระบอกตันที่สภาวะการเผาไหม้มีเสถียรภาพ อุณหภูมิของส่วนผสมมีค่าสูงกว่า 200 °C เสมอ แต่โครงสร้างการขวางช่องทางการไหลของวัสดุพอร์ซเลนทำให้มีการเหนี่ยวนำอากาศน้อยกว่าหัวเผาตันแบบ โดยการปรับเปลี่ยนโครงสร้างเป็นรูปทรงกระบอกเจาะรูตรงกลางไม่ส่งผลต่อการเหนี่ยวนำอากาศอย่างมีนัยยะสำคัญ แต่กลับพบว่าวัสดุพอร์ซเลนทรงกระบอกเจาะรูทำหน้าที่เป็นที่ยึดฐานเปลวไฟได้ดี เนื่องจากมีการถ่ายเทความร้อนไปสู่ส่วนผสมได้ดี และเมื่อพิจารณาปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ พบว่าเกรเดียนต์อุณหภูมิสูงในห้องเผาไหม้เกิดขึ้นไกลจากหัวเผามากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณอากาศเนื่องจากอิทธิพลของการพา นอกจากนี้ยังพบว่าหากเพิ่มอิทธิพลของการพามากเกินไปจะส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น ส่วนไนโตรเจนออกไซด์เพิ่มขึ้นตามปริมาณอากาศ

ตารางที่ 2.2 สรุปการพิจารณาเลือกเงื่อนไขในการทดลอง

พารามิเตอร์ที่พิจารณา	ค่าที่ดีที่สุด	ลักษณะเด่นที่พบ
ชนิดหัวเผา	หัวเผาวัสดุพอร์ซเลน	เกิดเสถียรภาพเปลวไฟที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 1.5-3 ลิตรต่อนาที
รูปทรงของหัวเผาวัสดุพอร์ซเลน	ทรงกระบอกเจาะรู	มีอัตราการเหนี่ยวนำอากาศก่อนการเผาไหม้สูงแต่เกิดเปลวไฟแบบแฟร์
ค่าความพอร์ซ	15 รูต่อความยาวหนึ่งนิ้ว	มีความดันตกคร่อมต่ำ และ เปลวไฟมีเสถียรภาพที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 1-3 ลิตรต่อนาที
การป้อนอากาศส่วนที่สอง	ป้อนอากาศที่มีการหมุนควง	ทำให้เกิดการกระจายอุณหภูมิในห้องเผาไหม้
อัตราการไหลเชื้อเพลิง	1-2 ลิตรต่อนาที	ให้เปลวไฟที่มีเสถียรภาพ

บทที่ 3

การคำนวณและการทดลอง

3.1 เงื่อนไขการทดลอง

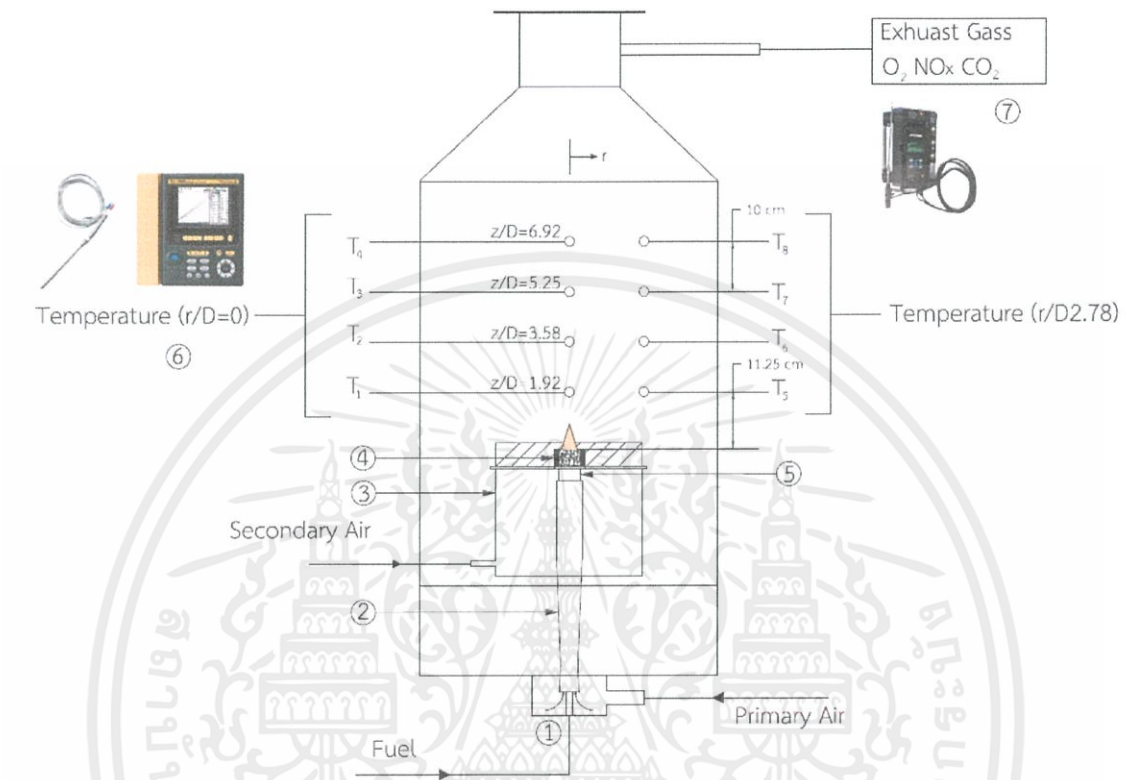
เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และความมุ่งหมายในงานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นศึกษาสมรรถนะการเผาไหม้จากกลไกการถ่ายเทความร้อนและการกระจายตัวอุณหภูมิของก๊าซไอเสียจากวัสดุพรุนที่อยู่ในห้องเผาไหม้และปริมาณมลพิษ แต่ด้วยโครงสร้างของวัสดุพรุนซึ่งมีขนาดค่อนข้างเล็กทำให้มีข้อจำกัดในการวัดการถ่ายเทความร้อนภายในวัสดุพรุน จึงมีการอ้างอิงการกระจายตัวอุณหภูมิในวัสดุพรุนจากงานวิจัยในอดีต จากการศึกษาของงานวิจัยย้อนหลังพบว่าการศึกษาการกระจายตัวอุณหภูมิภายในวัสดุพรุนของงานวิจัยที่นำมาใช้อ้างอิง มีการทดลองที่เงื่อนไขอากาศต่อเชื้อเพลิงแบบบาง ($\Phi = 0.6$) ดังนั้นในงานวิจัยสำหรับปริญญาโทฉบับนี้จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาที่เงื่อนไขดังกล่าวเช่นเดียวกัน เพื่อกำหนดเป็นมาตรฐานของการทดลอง โดยในการป้อนอากาศจะมีการแยกเป็นสองส่วนโดยส่วนแรกจะถูกป้อนผสมกับเชื้อเพลิงในสัดส่วนที่กำหนดก่อนการเผาไหม้ และส่วนที่สองจะถูกป้อนโดยให้มีลักษณะของการหมุนควงเข้าสู่บริเวณเหนือวัสดุพรุน และการเผาไหม้เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ที่ถูกควบคุมเพื่อบันทึกผลการกระจายตัวอุณหภูมิและปริมาณก๊าซไอเสีย ซึ่งการทดลองจะปรับเปลี่ยน สัดส่วนของอากาศส่วนแรกต่อส่วนที่สอง อัตราการไหลของเชื้อเพลิง และ อัตราการหมุนควงของการป้อนอากาศส่วนที่สอง ที่แตกต่างกันด้วย

3.1.1 ชุดอุปกรณ์การทดลอง

รูปที่ 3.1 แสดงไดอะแกรมชุดทดลองสำหรับการทดลองที่มีการออกแบบให้ช่องป้อนอากาศส่วนที่สองก่อให้เกิดการป้อนอากาศแบบหมุนควง โดยอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จะถูกควบคุมโดยการป้อนผ่านอุปกรณ์วัดอัตราการไหล ซึ่งอากาศจะถูกแบ่งเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกจะป้อนเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ และส่วนที่สองจะมีถูกป้อนเหนือวัสดุพรุน

ในการบันทึกผลจะมีในส่วนของ การกระจายตัวของอุณหภูมิ และปริมาณก๊าซไอเสีย โดยการกระจายตัวของอุณหภูมิจะถูกบันทึกค่าทั้งหมดสองแกน ได้แก่การกระจายอุณหภูมิตามระดับความสูง ($0 < z/D < 6.92$) ที่ระยะแกนกลางของหัวเผา ($r/D=0$) จำนวน 4 จุด และการกระจายอุณหภูมิตามระดับความสูง ($0 < z/D < 6.92$) ที่ระยะห่างจากแนวแกนกลางตามแนวรัศมีของหัวเผา ($r/D=2.78$) อีกจำนวน 4

จุด โดยการวัดอุณหภูมิบริเวณแนวรัศมีนี้ทำขึ้นเพื่อสังเกตคุณลักษณะการกระจายตัวอุณหภูมิตามแนวรัศมีของหัวเผาในกรณีต่างๆ



รูปที่ 3.1 ไดอะแกรมแสดงชุดการทดลองสำหรับการทดลองที่มีการออกแบบให้ช่องป้อนอากาศส่วนที่สองก่อให้เกิดการป้อนอากาศแบบหมุนควง

1. หัวฉีดเชื้อเพลิง
2. ท่อผสม
3. กล่องสำหรับติดตั้งแผ่นสร้างอากาศหมุนควง
4. บริเวณส่วนบนของหัวเผาซึ่งเป็นวัสดุพอร์ซเลน
5. หัวเผา
6. เทอร์โมคัปเปิลและอุปกรณ์อ่านค่า
7. จุดตรวจวัดก๊าซไอเสียและเครื่องวัดก๊าซ

3.1.2 เงื่อนไขการทดลอง

โดยรายละเอียดเงื่อนไขการทดลองและพารามิเตอร์ควบคุมต่างๆที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การทดลองแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการทดลองและพารามิเตอร์ควบคุมต่างๆ ของการทดลอง

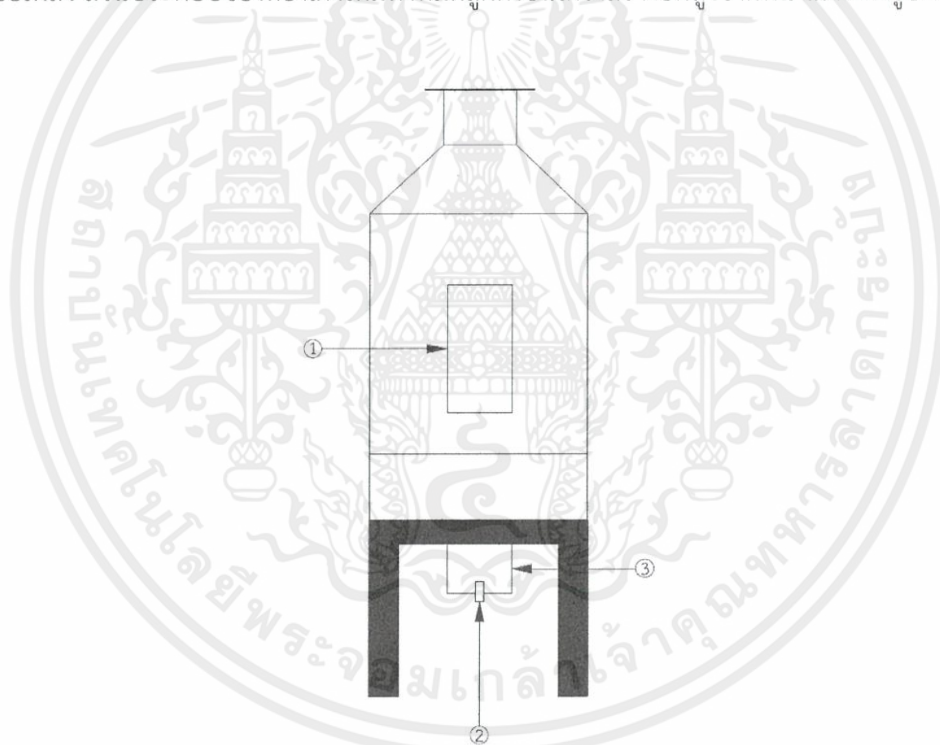
วัตถุประสงค์ที่ศึกษา	เงื่อนไขสัดส่วนอากาศ	เงื่อนไขเชื้อเพลิง	เงื่อนไขอัตราการหมุนควง	การบันทึกผล
เพื่อศึกษาอิทธิพลจากการจ่ายอากาศส่วนที่หนึ่ง ที่มีผลต่อสมรรถนะการเผาไหม้	อากาศส่วนที่หนึ่งเท่ากับ 100%, 120% และ 150% ของอากาศทั้งหมดโดยที่ %Excess air = 64.25	อัตราการไหลเชื้อเพลิง ที่ 1, 1.5, 2 ลิตรต่อนาที ที่ความดันใช้งาน 0.5 บาร์ เทียบเท่าอัตราการเผาไหม้ 1.6, 2.6 และ 3.8 kW	อัตราการหมุนควงที่ Swirl number เท่ากับ 0.3 และ 0.8 และการบ่อนอากาศสวนที่สองแบบไม่มีการหมุนควง	การบันทึกผล 1. ลักษณะเปลวไฟ 2. การกระจายอุณหภูมิตามระดับความสูงในห้องเผาไหม้ 3. ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ในก๊าซไอเสีย
เพื่อศึกษาอิทธิพลจากการเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิง LPG ที่มีผลต่อสมรรถนะการเผาไหม้	อากาศส่วนที่หนึ่งเท่ากับ 100%, 120% และ 150% ของอากาศทั้งหมดโดยที่ %Excess air = 64.25	อัตราการไหลเชื้อเพลิง ที่ 1, 1.5, 2 ลิตรต่อนาที ที่ความดันใช้งาน 0.5 บาร์ เทียบเท่าอัตราการเผาไหม้ 1.6, 2.6 และ 3.8 kW	อัตราการหมุนควงที่ Swirl number เท่ากับ 0.3 และ 0.8 และการบ่อนอากาศสวนที่สองแบบไม่มีการหมุนควง	การบันทึกผลเปลวไฟ 1. ลักษณะเปลวไฟ 2. การกระจายอุณหภูมิตามระดับความสูงในห้องเผาไหม้ 3. ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ในก๊าซไอเสีย
เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของผลต่ออัตราการเผาไหม้และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเผาไหม้กับหัวเผาวัสดุพูนที่ไม่มี Swirler ผลต่อสมรรถนะการเผาไหม้	อากาศส่วนที่หนึ่งเท่ากับ 100%, 120% และ 150% ของอากาศทั้งหมดโดยที่ %Excess air = 64.25	อัตราการไหลเชื้อเพลิง ที่ 1, 1.5, 2 ลิตรต่อนาที ที่ความดันใช้งาน 0.5 บาร์ เทียบเท่าอัตราการเผาไหม้ 1.6, 2.6 และ 3.8 kW	อัตราการหมุนควงที่ Swirl number เท่ากับ 0.3 และ 0.8 และการบ่อนอากาศสวนที่สองแบบไม่มีการหมุนควง	การบันทึกผลเปลวไฟ 1. ลักษณะเปลวไฟ 2. การกระจายอุณหภูมิตามระดับความสูงในห้องเผาไหม้ 3. ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ในก๊าซไอเสีย

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดอุปกรณ์ต่างๆที่ปรากฏในไดอะแกรม หัวข้อที่ 3.1

3.2.1 ห้องเผาไหม้

ห้องเผาไหม้ที่ใช้ในการทดสอบการเผาไหม้เป็นถังทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 58 เซนติเมตร สูง 88 เซนติเมตร บุผนังด้วยฉนวนเซรามิกส์ (ceramics fiber) ความหนา 1 นิ้วตัวถังโดยเชื่อมต่อกับส่วนบนที่มีลักษณะทรงกรวยทำหน้าที่ลดขนาดห้องเผาไหม้เพื่อลำเลียงแก๊สไอเสียผ่านท่อขนาด 4 นิ้ว ด้านหน้าติดตั้งชุดบานพับสี่เหลี่ยมประกบกับกระจกทนความร้อนสำหรับสังเกตลักษณะเปลวไฟ ภายในจะมีกล่องสำหรับป้อนอากาศส่วนที่สองซึ่งกล่องจะประกอบไปด้วยสองส่วนได้แก่ กล่องรับอากาศและแผ่นสร้างอากาศหมุนควง ส่วนกล่องด้านล่างเป็นส่วนประกอบแยกกับห้องเผาไหม้ ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งที่ใช้ในการเผาไหม้ให้เป็นไปตามเงื่อนไขการทดลอง โดยอากาศส่วนที่หนึ่งซึ่งใช้สำหรับการเผาไหม้จะถูกป้อนผ่านกล่องดังกล่าว และผ่านเข้าสู่ท่อผสมด้วยการเหนี่ยวนำของเชื้อเพลิง ส่วนประกอบของห้องเผาไหม้ทั้งหมดถูกตั้งบนโครงสร้างยกสูงจากพื้น แสดงดังรูปที่ 3.2

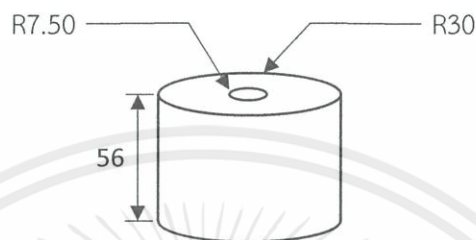


รูปที่ 3.2 โครงสร้างห้องเผาไหม้

1. ช่องส่งแก๊สเปลวไฟ
2. หัวฉีดเชื้อเพลิง
3. อากาศ

3.2.2 หัวเผาวัสดุพูน

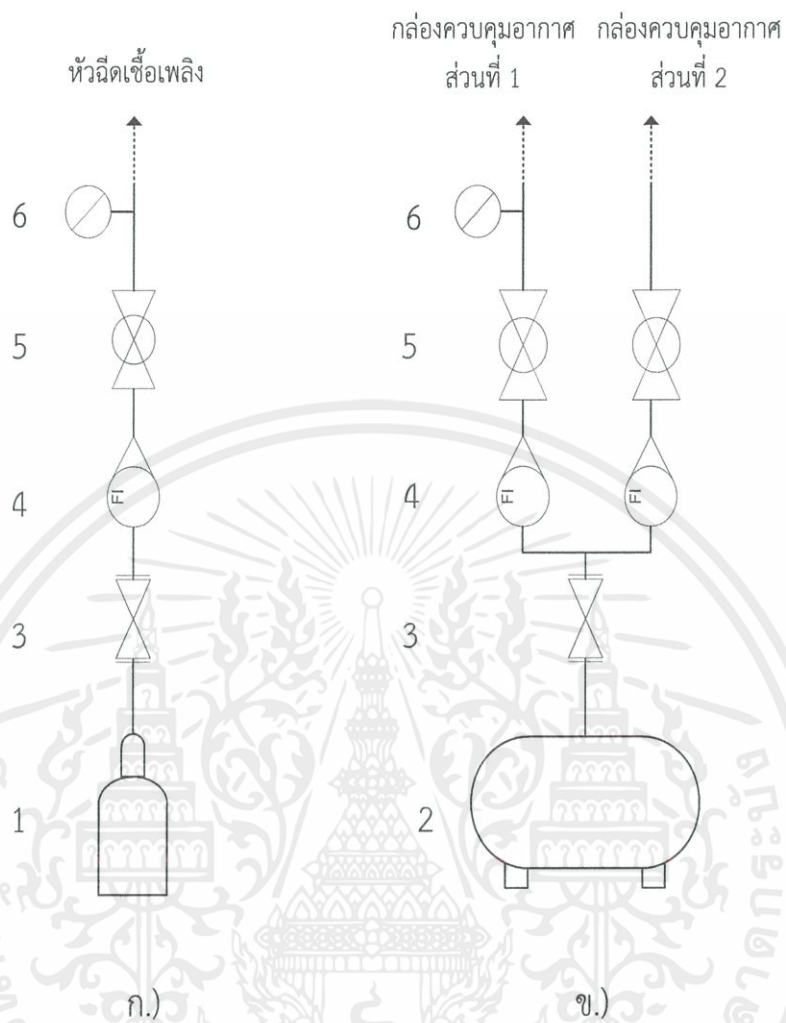
ในการทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้สำหรับหัวเผาวัสดุพูนเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกสำนักงานวิจัยนี้ได้ศึกษาหัวเผาวัสดุพูนทรงกระบอกสูง 56 มิลลิเมตร และมีการเจาะรูตรงกลางขนาด 15 มิลลิเมตร ซึ่งทำมาจากอลูมินามีความหนาแน่นช่องว่างเท่ากับ 15 ช่องต่อความยาวหนึ่งนิ้ว (ppi) แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 หัวเผาวัสดุพูนแบบเจาะรู

3.2.3 ระบบป้อนเชื้อเพลิงและอากาศ

รูปที่ 3.4 แสดงระบบการป้อนเชื้อเพลิงและอากาศ โดยในส่วนของระบบเชื้อเพลิงประกอบด้วยหน่วยแอลพีจี โรตารีเมเตอร์ วาล์วปรับอัตราการไหลและเกจวัดความดัน อุปกรณ์ในระบบป้อนเชื้อเพลิงถูกติดตั้งเพื่อปรับแต่งอัตราการไหลให้ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดดังตารางเงื่อนไขการ ในขณะที่ยังระบบอากาศติดตั้งเพื่อป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ประกอบด้วยปั๊มลม วาล์วปรับความดัน โรตารีเมเตอร์ ซึ่งระบบอากาศจะถูกนำมาใช้ในการควบคุมอากาศในการเผาไหม้ โดยจะแบ่งเป็นสองส่วนประกอบด้วย ส่วนที่ใช้สำหรับควบคุมอากาศส่วนที่หนึ่ง ซึ่งเป็นอากาศที่จะเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ และส่วนที่ใช้สำหรับควบคุมอากาศส่วนที่สอง ซึ่งเป็นอากาศที่จะเข้าไปผสมกับแก๊สร้อนหลังการเผาไหม้โดยการป้อนอากาศส่วนนี้จะมีการป้อนในลักษณะที่มีการหมุนควง โดยมีสมมติฐานที่ว่า การจ่ายอากาศที่มีลักษณะหมุนควงเข้าไปผสมกับแก๊สร้อนหลังการเผาไหม้ จะทำให้เกิดการผสมกันระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงที่ไม่เกิดการเผาไหม้ในการเผาไหม้ส่วนแรกผสมกันดีขึ้น และทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้นด้วย

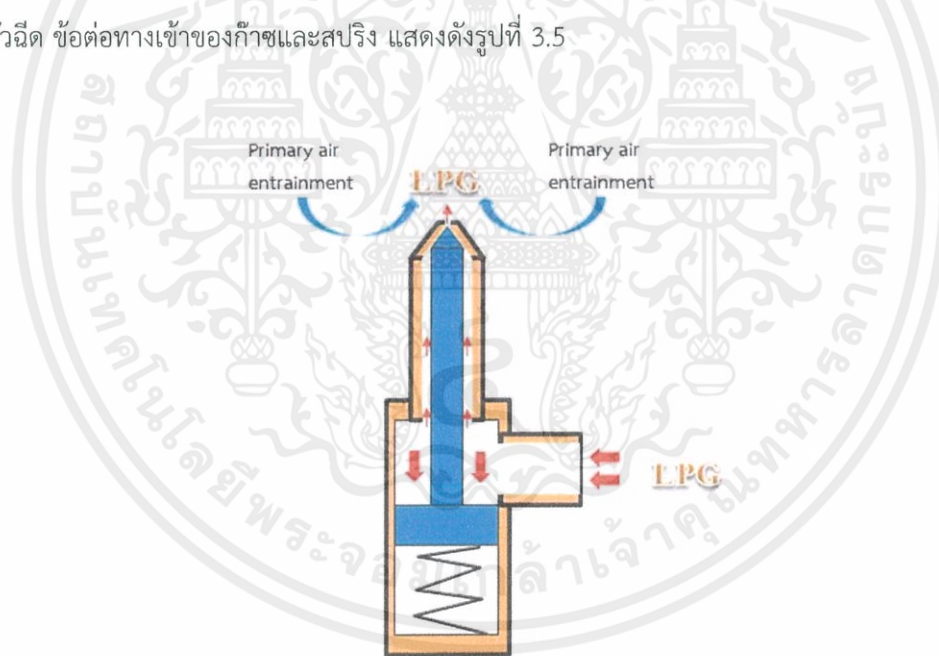


รูปที่ 3.4 ไดอะแกรม ก.) ระบบป้อนเชื้อเพลิงและ ข.) อากาศ

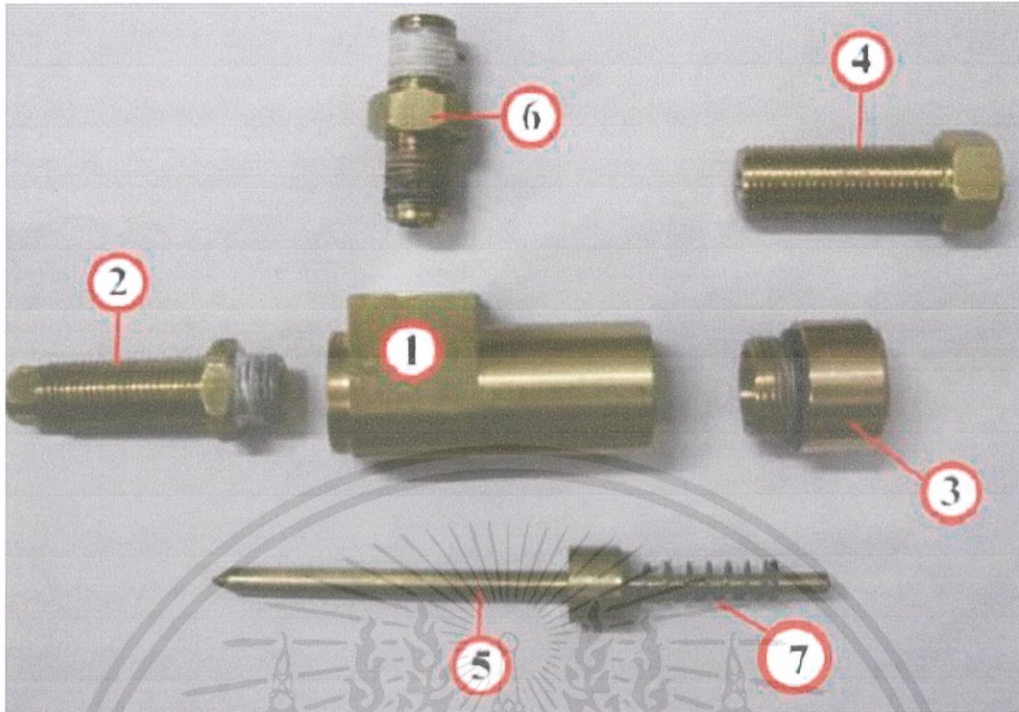
- | | |
|--------------------------|-------------------------|
| 1. หน่วย/ถัง แอลพีจี | 4. โรตารีเมเตอร์ |
| 2. ป้อนลม | 5. วาล์วปรับอัตราการไหล |
| 3. อุปกรณ์ปรับแต่งแรงดัน | 6. เกจวัดความดัน |

3.2.4 หัวฉีดเชื้อเพลิง

หัวฉีดที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ถูกพัฒนาขึ้นจากหัวฉีดแบบทางออกรูปวงกลม (Circular nozzle) อ้างอิงจากงานวิจัย [3] หัวฉีดได้ถูกปรับแต่งโดยนำหลักการสมดุคของสปริงที่สัมพันธ์กับพื้นที่ทางออกของเชื้อเพลิงมาประยุกต์ใช้ โดยที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงต่ำ พื้นที่ทางออกของหัวฉีดจะอยู่ในลักษณะที่แคบ เนื่องจากแรงดันของเชื้อเพลิงสามารถเอาชนะแรงต้านของสปริงแต่ถูกกดเป็นระยะเพียงเล็กน้อย จึงส่งผลให้เชื้อเพลิงไหลด้วยความเร็วที่สูง และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างนี้จะมีส่วนช่วยให้ลำเจ็ทของเชื้อเพลิงสามารถแทรกได้ระยะไกลขึ้น กล่าวคือมีความสามารถในการรักษาโมเมนตัม ซึ่งทั้งสองปัจจัยดังกล่าวจะมีส่วนทำให้สามารถเหนี่ยวนำอากาศเข้าสู่ห้องผสมได้มากกว่าหัวฉีดที่ไม่ได้รับการพัฒนา ช่วยให้มีการเผาไหม้ที่ดีและทำให้อุณหภูมิเปลวไฟสูงขึ้น เกิดเปลวไฟที่มีเสถียรภาพและสามารถลดการใช้ก๊าซ แอลพีจี ลง ได้อีกด้วย โดยสาเหตุที่นำหัวฉีดเชื้อเพลิงที่ถูกปรับแต่งมาใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อเพิ่มความสามารถในการเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่ง เนื่องจากการวางกรอบด้วยวัสดุพูนในบริเวณส่วนบนของหัวเผาจะส่งผลให้เกิดความดันตกรวมที่สูงขึ้น จึงทำให้อากาศถูกเหนี่ยวนำเข้าสู่ท่อผสมได้น้อยลงและการเผาไหม้วัสดุพูนเกิดขึ้นอย่างไม่มีเสถียรภาพ โดยแผนผังหลักการทำงานของหัวฉีดแสดงดังรูปที่ และโครงสร้างของหัวฉีดประกอบไปด้วย เสื้อหัวฉีด ปลายหัวฉีด ขนาด 1.4 มิลลิเมตร ฝาปิดท้ายหัวฉีด ตัวปรับระยะสปริง เข็มหัวฉีด ข้อต่อทางเข้าของก๊าซและสปริง แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 หลักการทำงานของหัวฉีดเชื้อเพลิงที่ถูกปรับแต่งแล้ว[3]



รูปที่ 3.6 ส่วนประกอบของหัวฉีดที่ได้รับการพัฒนาแล้ว ประกอบด้วย

- | | |
|---------------------|-------------------------|
| 1. เสือหัวฉีด | 5. เข็มหัวฉีด |
| 2. ปลายหัวฉีด | 6. ข้อต่อทางเข้าของก๊าซ |
| 3. ฝาปิดท้ายหัวฉีด | 7. สปริง |
| 4. ตัวปรับระยะสปริง | |

3.2.5 แผ่นสร้างกระแสอากาศหมุนควง

ในงานวิจัยนี้กำหนดเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบในส่วนของอัตราการหมุนควงเป็น 2 ค่า ซึ่งจะเท่ากับอัตราการหมุนควงของอาคารจากการคำนวณที่ Swirl Number (SN) = 0.3 และ 0.8



ก.)

ข.)

รูปที่ 3.7 แผ่นสร้างกระแสอากาศหมุนควงที่อัตราการหมุนควงเท่ากับ ก.) 0.8 และ ข.) 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 อุปกรณ์การวัดและบันทึกผล

3.2.6.1 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล

ในการทดลองได้มีการวัดอัตราการไหลอยู่ 2 ส่วนด้วยกันคือ การวัดอัตราการไหลเชื้อเพลิง โดยจะเชื่อมต่อกับถังก๊าซแอลพีจี และใช้โรตาริเตอร์ขนาด 10 L/min ในการควบคุมเพื่อป้องกันเข้าสู่หัวฉีดเชื้อเพลิง ส่วนที่สองคือใช้วัดอัตราการไหลอากาศ จะเชื่อมต่อกับปั๊มลมและวาล์วลดความดันและใช้โรตาริเตอร์ขนาด 200 SCFH จำนวน 2 ชุด เนื่องจากต้องมีการควบคุมปริมาณอากาศทั้งในส่วนของอากาศส่วนที่หนึ่ง และอากาศส่วนที่สอง



รูปที่ 3.8 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (โรตาริเตอร์)

3.2.6.2 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ

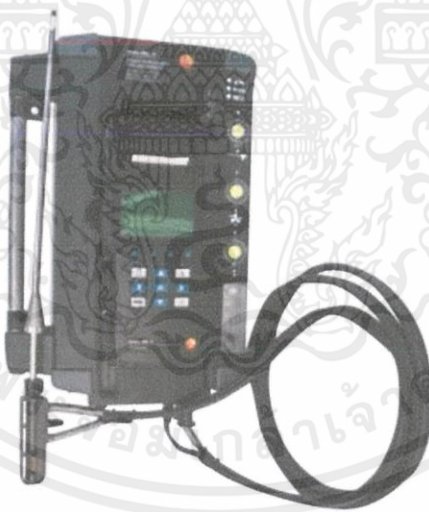
อ้างอิงรูปที่ 3.1 ในการบันทึกค่าอุณหภูมิจะเก็บบันทึกทั้งหมด 8 ตำแหน่ง โดยตำแหน่งแรกอยู่ที่ระดับสูงกว่าหัวเผา 11.5 เซนติเมตร และสูงขึ้นอีกตำแหน่งละ 10 เซนติเมตรจากตำแหน่งก่อนหน้า โดยในการติดตั้งจะติดตั้งในแนวกลางของห้องเผาไหม้ จำนวน 4 ตำแหน่ง (T1 ถึง T4) และติดตั้งในตำแหน่งแนวรัศมีห่างจากจุดกึ่งกลางของห้องเผาไหม้ อีก 4 ตำแหน่ง (T5 ถึง T8) ซึ่งในการตรวจวัดน้ำโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค เชื่อมต่อกับหน่วยแสดงผล YOKOGAWA รุ่น XL100 และเก็บบันทึกผลเมื่อการเผาไหม้เข้าสู่สภาวะคงที่



รูปที่ 3.9 เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค และหน่วยแสดงผล YOKOGAWA XL100

3.2.6.3 อุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซไอเสีย

จุดตรวจวัดก๊าซจะวัดที่บริเวณทางออกของห้องเผาไหม้ในรูปที่ 5.1 ซึ่งตรวจวัดและบันทึกผลเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนหลังการเผาไหม้ ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และสารประกอบไนโตรเจนออกไซด์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดได้แก่เครื่องวัดก๊าซ Testo รุ่น 350 XL



รูปที่ 3.10 เครื่องวัดก๊าซไอเสีย Testo รุ่น 350 XL

3.2.6.4 เกจวัดความดัน

เกจวัดความดันใช้สำหรับอ่านค่าความดันเพื่อปรับอัตราการไหลให้สอดคล้องกับเงื่อนไขการทดลอง ซึ่งความดันใช้งานของเชื้อเพลิงและอากาศจะถูกคงที่ไว้ที่ 0.5 และ 2 บาร์เกจ ตามลำดับ เกจวัดความดันที่ใช้ในระบบเชื้อเพลิงและอากาศมีย่านตรวจวัดตั้งแต่ 0 ถึง 4 บาร์



รูปที่ 3.11 เกจวัดความดัน

3.2.6.5 อุปกรณ์ปรับแต่งแรงดัน (Pressure Regulator)

อุปกรณ์ปรับแต่งแรงดันในการทดลองนี้แบ่งออกเป็นสำหรับเชื้อเพลิงและอากาศแสดงดังรูปที่ 3.11 และ 3.12 ตามลำดับโดยอุปกรณ์นี้มีหน้าที่ปรับลดความดันจากหน่วยบรรจุที่มีความดันสูง (ถังเชื้อเพลิงและบีมลม) ให้เหมาะสมกับการใช้งานก่อนเข้าสู่ระบบ เพื่อความสะดวกในการปรับค่าและยืดอายุการใช้งานอุปกรณ์อื่นๆในระบบ โดยช่วงการใช้งานอุปกรณ์ปรับแรงดัน LPG มีค่า 0 ถึง 40 บาร์สำหรับขาเข้า และ 1 ถึง 6 บาร์ สำหรับขาออก ในขณะที่อากาศมีช่วงการใช้งานตั้งแต่ 0 ถึง 10 บาร์



รูปที่ 3.12 อุปกรณ์ปรับแรงดันก๊าซแอลพีจี



รูปที่ 3.13 อุปกรณ์ปรับแรงดันสำหรับอากาศ

3.2.6.6 อุปกรณ์บันทึกลักษณะเปลวไฟ

ในการบันทึกลักษณะเปลวไฟได้ใช้กล้องถ่ายรูป Nikon Model 3200 สำหรับบันทึกผลการทดลอง โดยรายละเอียดการตั้งค่าแสดงดังตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 Nikon Model D3200

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดการตั้งค่ากล้องถ่ายภาพ

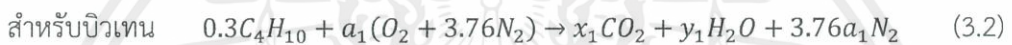
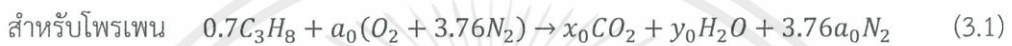
Nikon Model 3200	
รายละเอียดการตั้งค่า	ค่าใช้งาน
Exposure time	1/2.5s
Resolution	4608x3072 พิกเซล
F number	3.5
ISO	400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การคำนวณสำหรับการทดลอง

ในการทดสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหัวเผาวัสดุพูนจะต้องจ่ายอากาศเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงสองส่วน ซึ่งหัวข้อนี้จะนำเสนอทฤษฎีคำนวณรวมถึงแสดงการคำนวณภายใต้เงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการทดลองทั้งหมด และแสดงการคำนวณพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆสำหรับการเลือกใช้วัสดุอีกด้วย

ก่อนการทดลองจำเป็นต้องทราบข้อมูลเบื้องต้นและคุณสมบัติเกี่ยวกับก๊าซเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบเป็นอันดับแรก โดยในการทดสอบทั้ง 2 ส่วน ผู้วิจัยได้ใช้เชื้อเพลิงแอลพีจี ที่มีส่วนผสมเป็นโพรเพน (C_3H_8) ในสัดส่วน 70% โดยปริมาตร และบิวเทน (C_4H_{10}) ในสัดส่วน 30% โดยปริมาตร เขียนเป็นสมการทางเคมีของการเผาไหม้ที่สโตยชิโอเมตริกได้ดังนี้

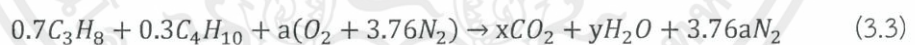


เมื่อ x_0, x_1 คือ โมลของ CO_2 ในสารผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ของโพรเพนและบิวเทน

y_0, y_1 คือ โมลของ H_2O ในสารผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ของโพรเพนและบิวเทน

a_0, a_1 คือ โมลของอากาศสำหรับการเผาไหม้สำหรับเงื่อนไขสโตยชิโอเมตริกของโพรเพนและบิวเทน

เมื่อนำสมการ (3.1) และ (3.2) มาเขียนรวมกันจะได้สมการเผาไหม้ที่สโตยชิโอเมตริกสำหรับแอลพีจีดังสมการที่ (3.3)



เมื่อดุลสมการจะได้ค่า $x=3.3$ $y=4.3$ และสามารถคำนวณ $a=5.45$ โดยแอลพีจีมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 48.2 g/mol และอากาศมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 28.85 g/mol ดังนั้นสามารถคำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงได้ตามสมการที่ (3.4)

$$(AF)_{stoi} = \left(\frac{m_{air}}{m_{fuel}} \right)_{stoi} = \frac{4.76 \times 5.45}{1} \text{ mol} \frac{28.85 \text{ g}}{48.2 \text{ g}} = 15.528 \quad (3.4)$$

ในการทดลองได้กำหนดให้มีการป้อนเชื้อเพลิงที่อัตราการไหล 1-2 L/min ผ่านโรตاميเตอร์ และให้มีการเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่งจากโมเมนตัมของเชื้อเพลิงที่ฉีดผ่านหัวฉีดที่มีการปรับปรุงคุณลักษณะการเหนี่ยวนำอากาศ เพื่อให้ผลการทดลองถูกแสดงอยู่ในมาตรฐานเดียวกับผลงานตีพิมพ์นานาชาติและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลที่จำเป็นในการแสดงผลการทดลองสำหรับหัวข้อนี้ได้แก่ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง ปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งและส่วนที่สอง ค่า Swirl number โดยรายละเอียดการคำนวณแสดงในหัวข้อย่อยดังต่อไปนี้

3.3.1 อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง

ในการทดลองผู้วิจัยได้กำหนดให้มีการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลแอลพีจีผ่านโรตاميเตอร์ทั้งหมด 3 ค่า ได้แก่ 1, 1.5 และ 2 L/min ที่ความดันใช้งาน 0.5 บาร์ เนื่องจากก๊าซแอลพีจีเป็นของไหลอัดตัวได้ ความหนาแน่นจึงมีการเปลี่ยนแปลงตามความดันที่เกิดขึ้นในท่อเมื่อปรับอัตราการไหลเชื้อเพลิงแล้ว จากการสมมติให้ก๊าซแอลพีจีประพฤติตัวเหมือนก๊าซอุดมคติจะสามารถหาความหนาแน่นได้ดังนี้

$$\rho_{LPG} = \frac{P}{RT} \quad (3.5)$$

การหาอัตราการไหลเชิงมวลของแอลพีจี

$$\dot{m}_{fuel} = \dot{V}_{LPG} \times \rho_{LPG} \quad (3.6)$$

3.3.2 ปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งและส่วนที่สอง

ในการทดลองได้กำหนดปริมาณอากาศทั้งหมดที่อากาศส่วนเกิน(%excess air) = 64.25% โดยจะแบ่งจ่ายให้ส่วนที่หนึ่งและส่วนที่สอง โดยจ่ายอากาศส่วนที่หนึ่ง 100%, 120% และ 150% นั้นหมายความว่าอากาศส่วนที่สองจะต้องจ่าย 64.25%, 44.25%, และ 14.25% ตามลำดับ ที่ความดันอากาศ 2 บาร์ สมมติให้อากาศประพฤติตัวเหมือนก๊าซอุดมคติจะสามารถหาอัตราส่วนสมมูลได้ดังนี้

$$\%excess\ air = \frac{1-\phi}{\phi} \times 100\% \quad (3.7)$$

การหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ใช้จริง

$$\phi = \frac{AF_{stoi}}{AF_{act}} \quad (3.8)$$

การคำนวณอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่สัมพันธ์กับอัตราส่วนสมมูลภายใต้การปรับเปลี่ยนอัตราการไหลเชื้อเพลิง

$$\dot{m}_a = \frac{(AF)_{stoi}}{\phi} x \dot{m}_f \quad (3.9)$$

เมื่อสมมติให้อากาศประพฤติตัวเหมือนก๊าซอุดมคติจะสามารถคำนวณหาค่าความหนาแน่นได้จากสมการที่ (3.5) และปริมาณอากาศทั้งหมดที่ต้องใช้จากสมการที่ (3.6)

3.3.3 ค่า Swirl number

ในการทดลองได้กำหนดค่าการหมุนวนของอากาศที่อัตราการหมุนควงต่ำและสูง โดยกำหนดค่า Swirl number เท่ากับ 0.3 และ 0.8 ซึ่งค่า swirl number < 0.5 เรียกว่า อัตราการหมุนควงต่ำ (Low Swirl) สำหรับ Swirl Number > 0.5 คือ ช่วงอัตราการหมุนควงสูง (High Swirl) สามารถคำนวณเป็นค่า Swirl number หรืออัตราชั้นบอกระดับการหมุนควงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$S_N = \frac{2}{3} \tan \alpha \frac{1-R^3}{1-R^2} \quad (3.10)$$

เมื่อ

S_N คือ ค่า Swirl Number

α คือ มุมของใบ Swirl

R คือ อัตราส่วนระหว่างรัศมีจากจุดกึ่งกลางถึงทางออกของ Swirler (R_c) กับรัศมีทั้งหมดของ Swirl (R_i)

ตารางที่ 3.3 สรุปการคำนวณค่า Swirl Number

Swirl Number	R	มุมของใบ Swirl
0.8	0.5	45
0.3		24

ตารางที่ 3.4 เงื่อนไขเชื้อเพลิงและปริมาณอากาศที่ใช้สำหรับทดลองจากการคำนวณ

อัตราการไหลเชื้อเพลิง (L/min)	ความดันใช้งาน (bar)	ปริมาณอากาศที่ขาดทั้งหมด 64.25 %excess air (SCFH)	ความดันใช้งาน (bar)	ปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่ง		ปริมาณอากาศส่วนที่สอง	
				%volume	SCFH	%volume	SCFH
1	0.5	22.03	2	100	13.41	64.25	8.62
				120	16.09	44.25	5.94
				150	20.12	14.25	1.91
1.5	0.5	33.12	2	100	20.16	64.25	12.96
				120	24.20	44.25	8.92
				150	30.25	14.25	2.87
2	0.5	44.20	2	100	26.91	64.25	17.29
				120	32.29	44.25	11.91
				150	40.36	14.25	3.84

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 อิทธิพลของปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งต่อการเผาไหม้วัสดุพูน


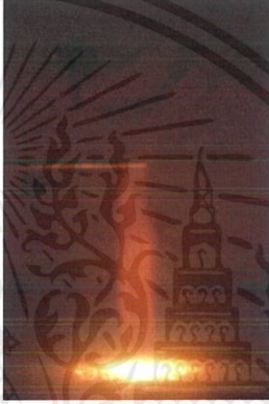

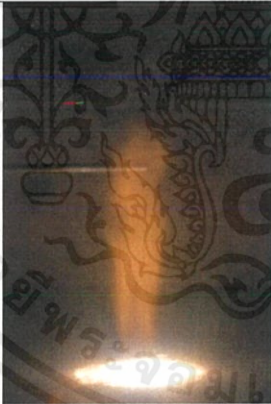


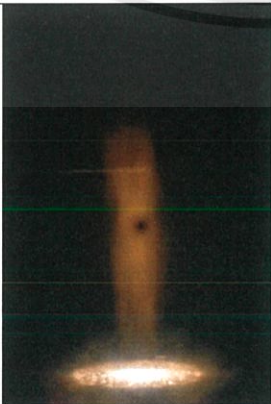
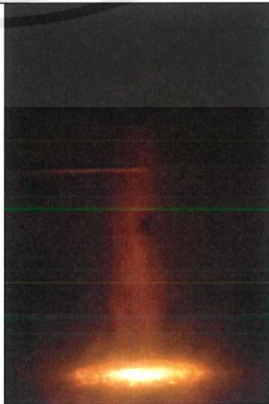

ในหัวข้อนี้ได้นำเสนออิทธิพลของปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งต่อสมรรถนะการเผาไหม้ กล่าวคือ การทดลองการเผาไหม้วัสดุพูนที่ปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งแตกต่างกัน โดยในการทดลองนั้นจะทดลองที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 64.25% โดยป้อนอากาศส่วนที่หนึ่ง 100%, 120% และ 150% นั้นหมายความว่าอากาศส่วนที่สองจะต้องป้อน 64.25%, 44.25%, และ 14.25% ตามลำดับ ภายใต้เงื่อนไขอัตราการไหลเชื้อเพลิง 1, 1.5 และ 2 ลิตรต่อนาที

เมื่อพิจารณาที่ลักษณะของเปลวไฟดังตารางที่ 4.1 พบว่าสีของเปลวไฟเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินมากขึ้นและเปลวไฟมีลักษณะสั้นลงเมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่ง โดยสังเกตได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งมีอิทธิพลต่อการเผาไหม้สมบูรณ์มากกว่าปริมาณอากาศส่วนที่สอง

เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ดังรูปที่ 4.1 พบว่าอุณหภูมิในห้องเผาไหม้จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่ง และส่งผลต่อความร้อนในห้องเผาไหม้ ซึ่งความร้อนนั้นเกิดจากการถ่ายเทแบบการพาเนื่องจากส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศส่วนที่หนึ่งมีความเร็วสูง ทำให้ความร้อนถูกถ่ายเทออกมาจากวัสดุพูนกับก๊าซไอเสียมากขึ้น

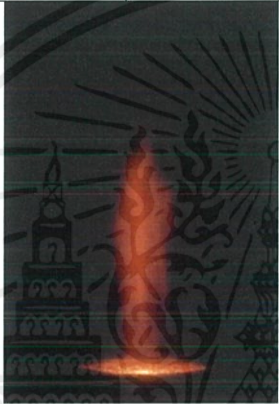




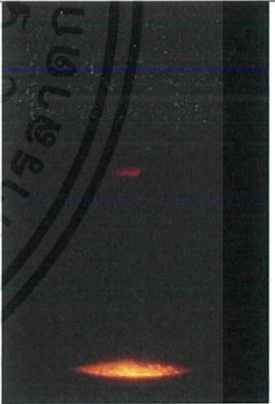
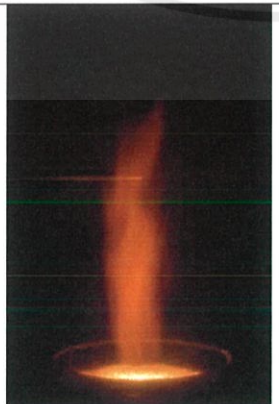
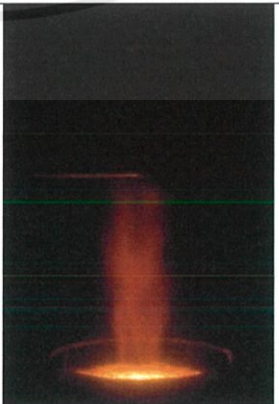
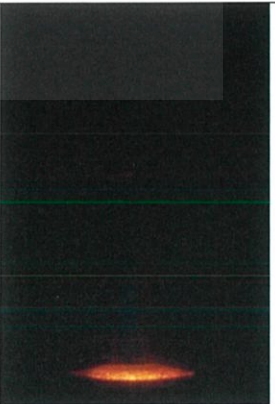
จากการพิจารณาก๊าซไอเสียดังรูปที่ 4.2 จะพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่ง ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์จะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากปฏิกิริยาการเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น ส่วนปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิในห้องเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้น แต่อุณหภูมิกระจายตัวได้ไม่ดี

ตารางที่ 4.1 ลักษณะเปลวไฟเมื่อปรับเปลี่ยนการจ่ายปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่ง

Swirl Number	อัตราการไหลเชื้อเพลิง (L/min)	อากาศที่ป้อนจากปริมาณอากาศส่วนเกิน 64.25%					
		1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd
		100%	64.25%	120%	44.25%	150%	14.25%
No swirl	1						
	1.5						
	2						


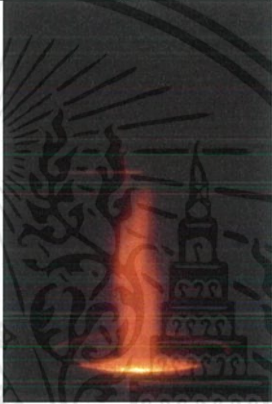
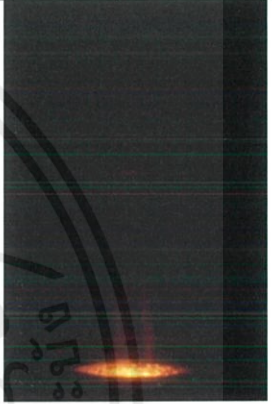


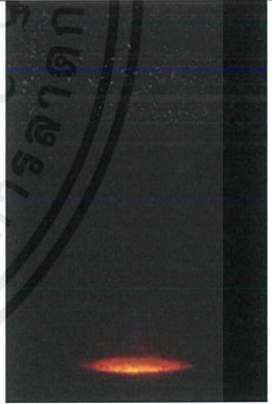
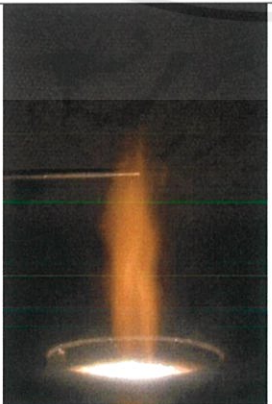
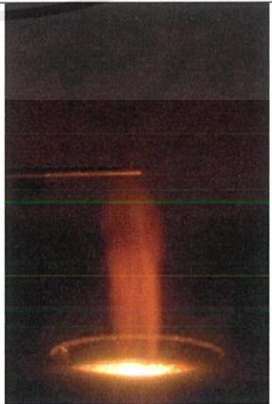
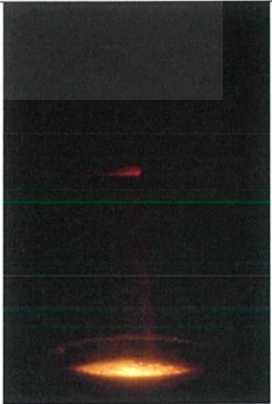
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

Swirl Number	อัตราการไหลเชื้อเพลิง (L/min)	อากาศที่ป้อนจากปริมาณอากาศส่วนเกิน 64.25%					
		1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd
		100%	64.25%	120%	44.25%	150%	14.25%
Swirl 0.3	1						
	1.5						
	2						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

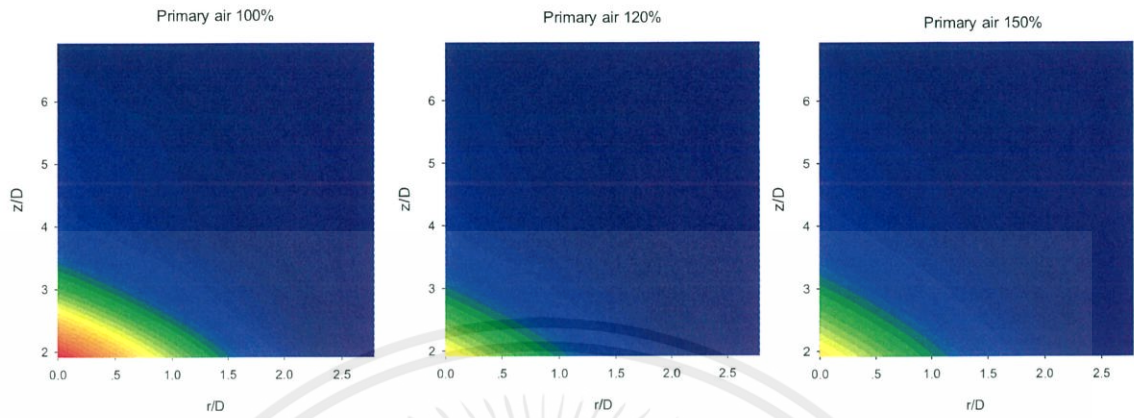
ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

Swirl Number	อัตราการไหลเชื้อเพลิง (L/min)	อากาศที่ป้อนจากปริมาณอากาศส่วนเกิน 64.25%					
		1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd
		100%	64.25%	120%	44.25%	150%	14.25%
Swirl 0.8	1						
	1.5						
	2						

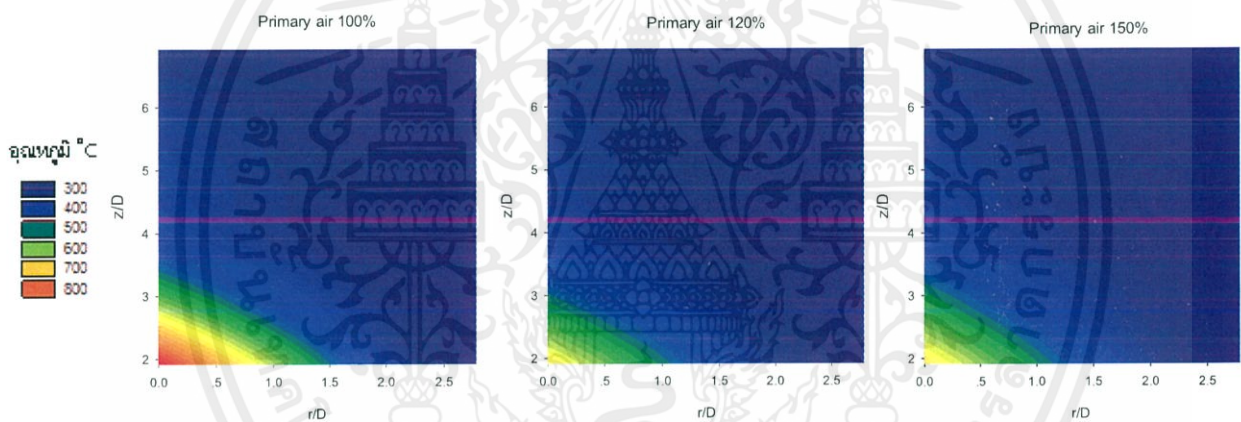
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No Swirl

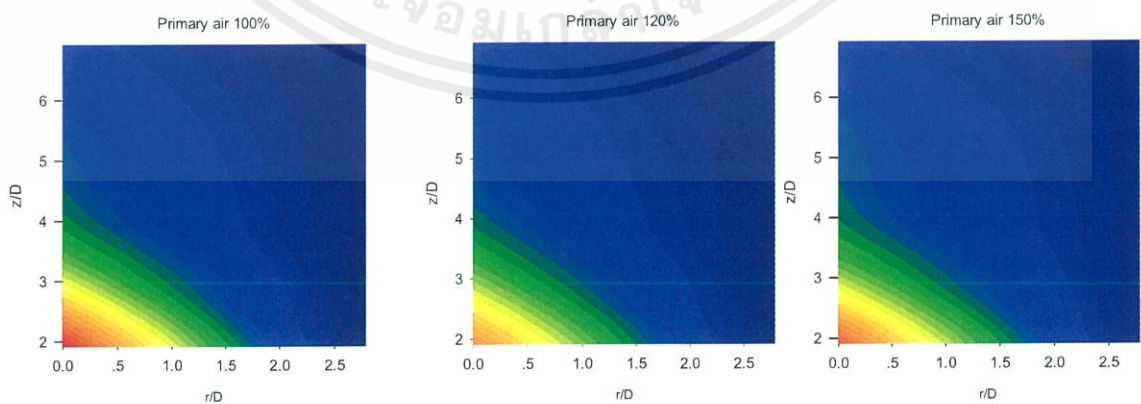
LPG 1 U/min



LPG 1.5 U/min



LPG 2 U/min

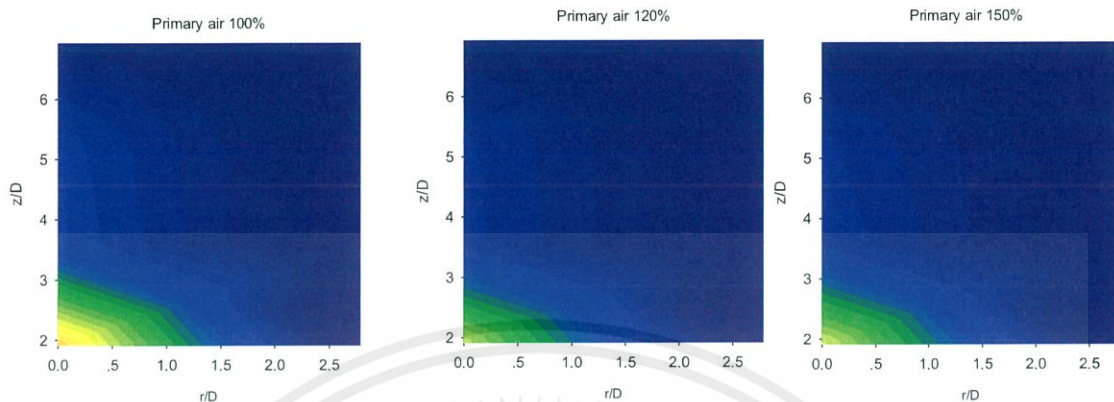


รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อปรับเปลี่ยนการจ่ายปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่ง

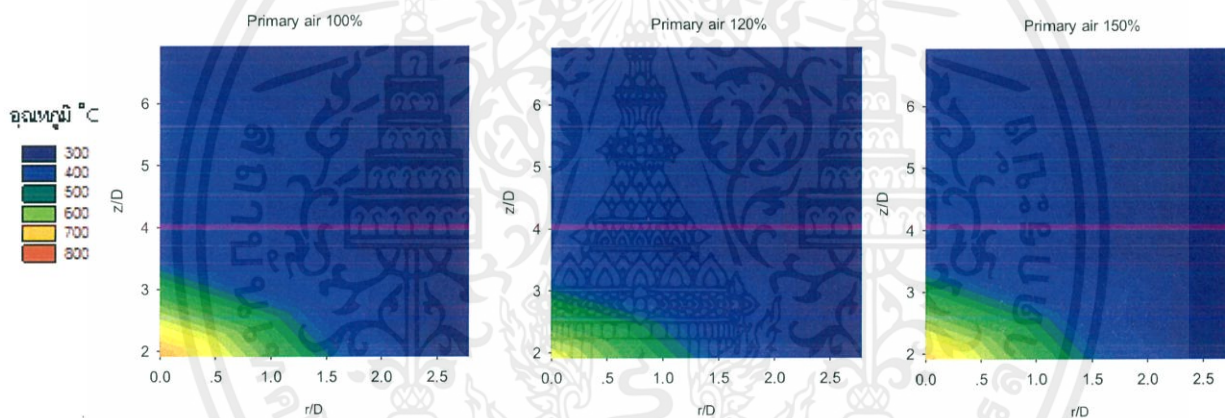
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Swirl Number 0.3

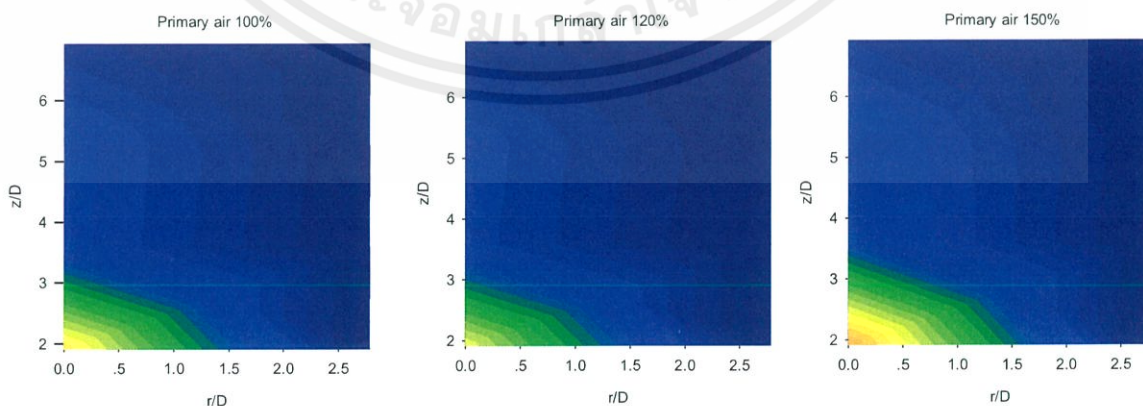
LPG 1 V/min



LPG 1.5 V/min



LPG 2 V/min

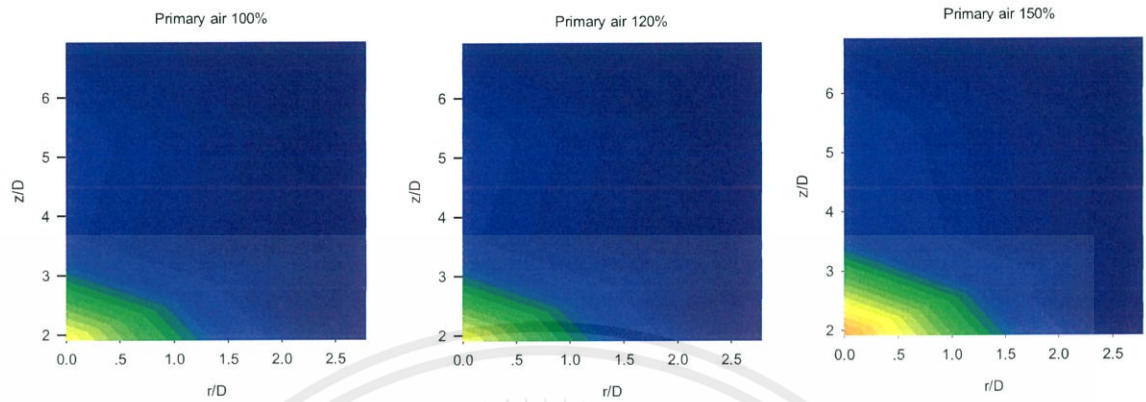


รูปที่ 4.1 (ต่อ)

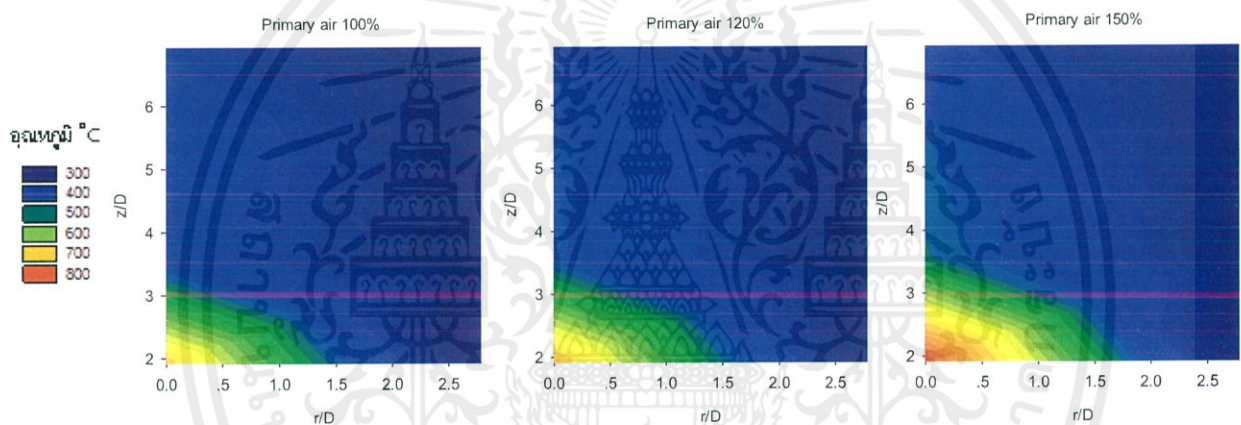
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Swirl Number 0.8

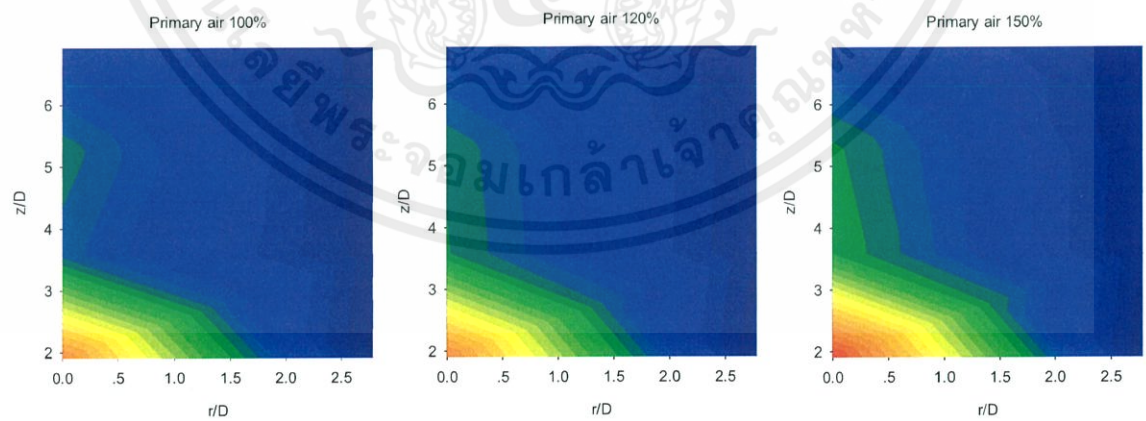
LPG 1 U/min



LPG 1.5 U/min

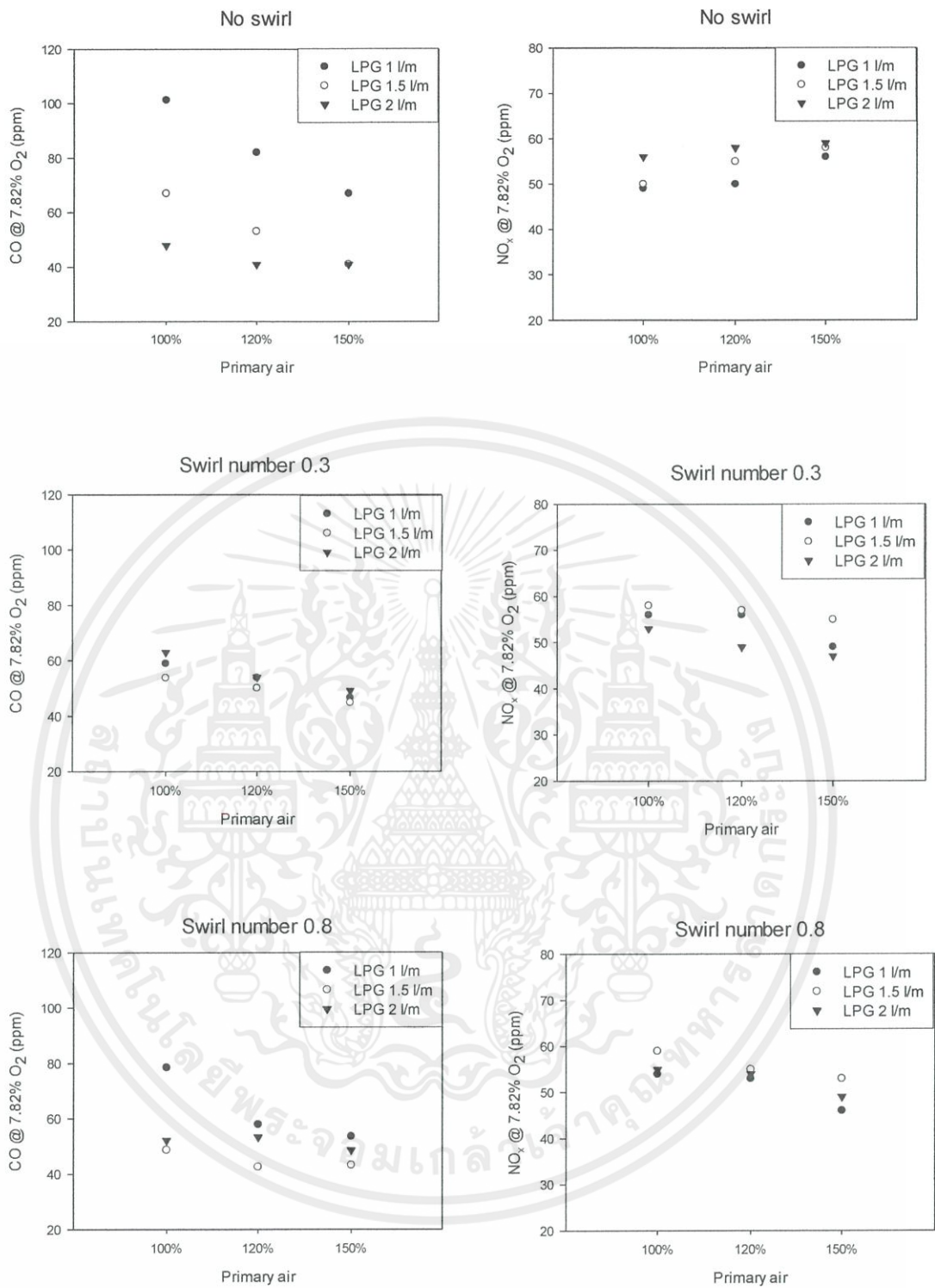


LPG 2 U/min



รูปที่ 4.1 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจน เมื่อปรับเปลี่ยนการจ่ายปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 อิทธิพลของอัตราการไหลของเชื้อเพลิงต่อการเผาไหม้วัสดุพรุณ


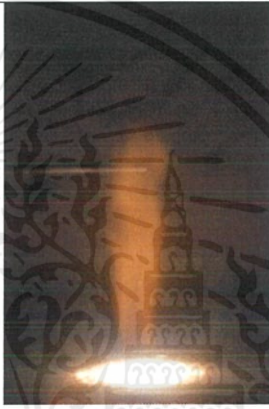




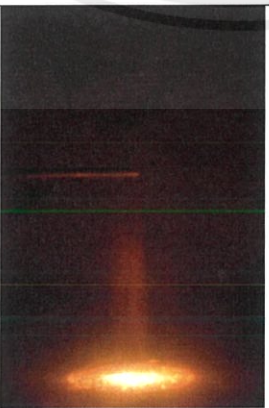
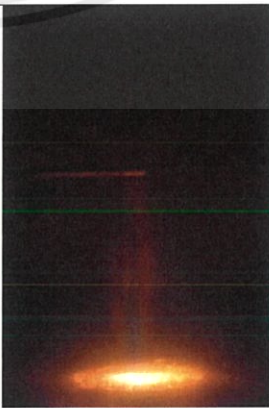

ในหัวข้อนี้ได้นำเสนออิทธิพลของอัตราการไหลของเชื้อเพลิงต่อสมรรถนะการเผาไหม้ กล่าวคือการทดลองการเผาไหม้วัสดุพรุณที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงแตกต่างกัน โดยในการทดลองนั้นเลือกเงื่อนไขอัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ 1, 1.5, และ 2 ลิตรต่อนาที ทดลองที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 64.25% ภายใต้เงื่อนไขการป้อนอากาศส่วนที่หนึ่ง 100%, 120% และ 150% นั้นหมายความว่าอากาศส่วนที่สองจะต้องป้อน 64.25%, 44.25%, และ 14.25% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาลักษณะของเปลวไฟดังตารางที่ 4.2 พบว่าเปลวไฟมีความยาวสั้นลงเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของเชื้อเพลิง ซึ่งจากการสังเกตลักษณะของแสงที่เปล่งออกจากวัสดุพรุณพบว่า วัสดุพรุณจะเปล่งแสงสว่างมากขึ้น แสดงถึงการถ่ายเทความร้อนที่มากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเผาไหม้ที่ดีขึ้นและเปลวไฟมีแนวโน้มที่เกิดการแพร่กระจายในวัสดุพรุณได้มากขึ้น

เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ดังรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของเชื้อเพลิงจะส่งผลให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้น โดยสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนที่ปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งเท่ากับ 150% จากปริมาณอากาศที่ต้องป้อนทั้งหมด 164.25% โดยปริมาตร และเมื่อพิจารณาคอนทัวร์อุณหภูมิในห้องเผาไหม้จะเห็นว่าอิทธิพลของการเพิ่มอัตราการไหลของเชื้อเพลิงส่งผลต่อความร้อนในห้องเผาไหม้ ซึ่งความร้อนนั้นเกิดจากการถ่ายเทแบบการพาเนื่องจากส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศส่วนที่หนึ่งมีความเร็วสูงขึ้น ทำให้ความร้อนถูกถ่ายเทออกมาจากวัสดุพรุณกับก๊าซไอเสียมากขึ้น และการเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิง ทำให้ปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้น


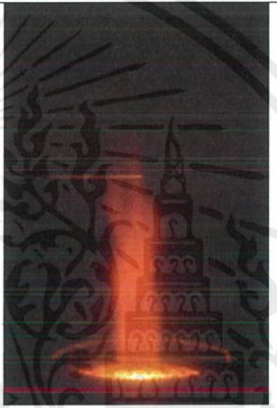
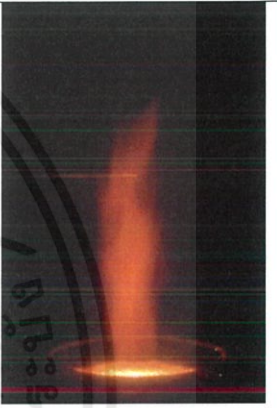


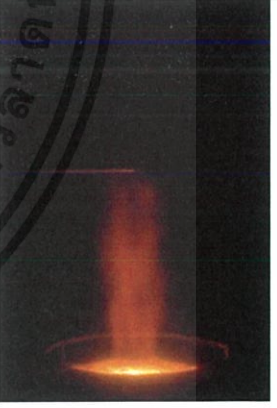
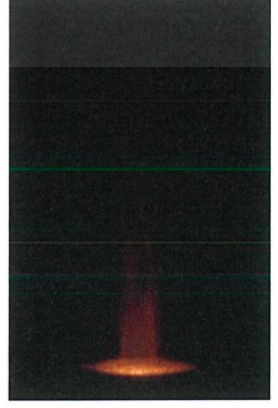
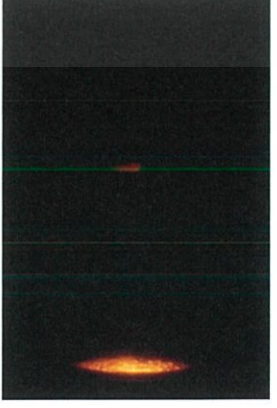
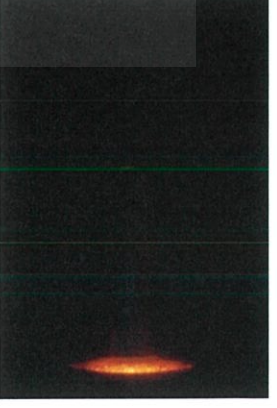
จากการพิจารณาก๊าซไอเสียดังรูปที่ 4.4 จะพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของเชื้อเพลิง ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์จะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้การกระจายความร้อนที่วัสดุพรุณเกิดขึ้นทั่วทั้งโดเมนของวัสดุพรุณ ด้วยเหตุนี้จะทำให้อุณหภูมิของก๊าซผสมใกล้เคียงกับอุณหภูมิจุดติดไฟ จึงส่งผลให้เชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ได้ดีขึ้น แต่ที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิง 2 ลิตรต่อนาที จะพบว่าปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มสูงขึ้น ส่วนปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิในห้องเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้น แต่อุณหภูมิกระจายตัวได้ไม่ดี

ตารางที่ 4.2 ลักษณะเปลวไฟเมื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของเชื้อเพลิง

Swirl Number	อากาศที่ป้อนจาก ปริมาณอากาศ ส่วนเกิน 64.25%		อัตราการไหลเชื้อเพลิง (L/min)		
	1 st	2 nd	1	1.5	2
No Swirl	100%	64.25%			
	120%	44.25%			
	150%	14.25%			


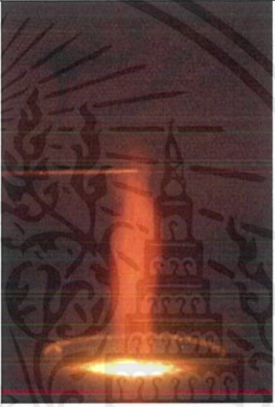

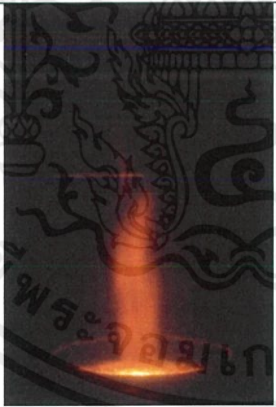

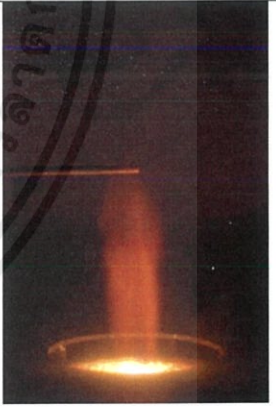
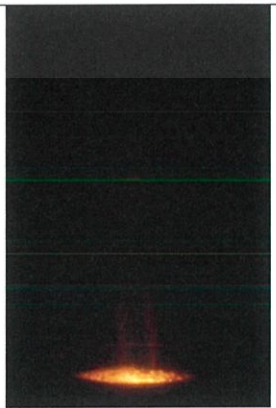
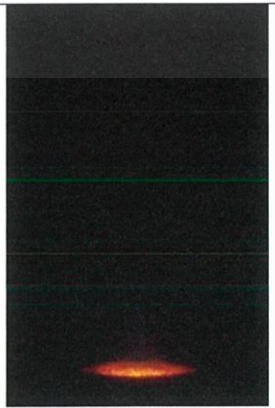
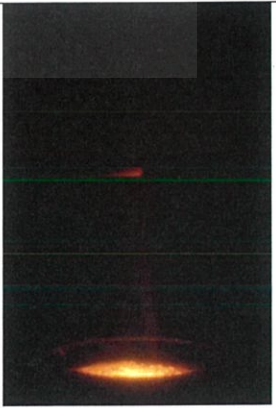
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

Swirl Number	อากาศที่ป้อนจาก ปริมาณอากาศ ส่วนเกิน 64.25%		อัตราการไหลเชื้อเพลิง (L/min)		
	1 st	2 nd	1	1.5	2
0.3	100%	64.25%			
	120%	44.25%			
	150%	14.25%			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

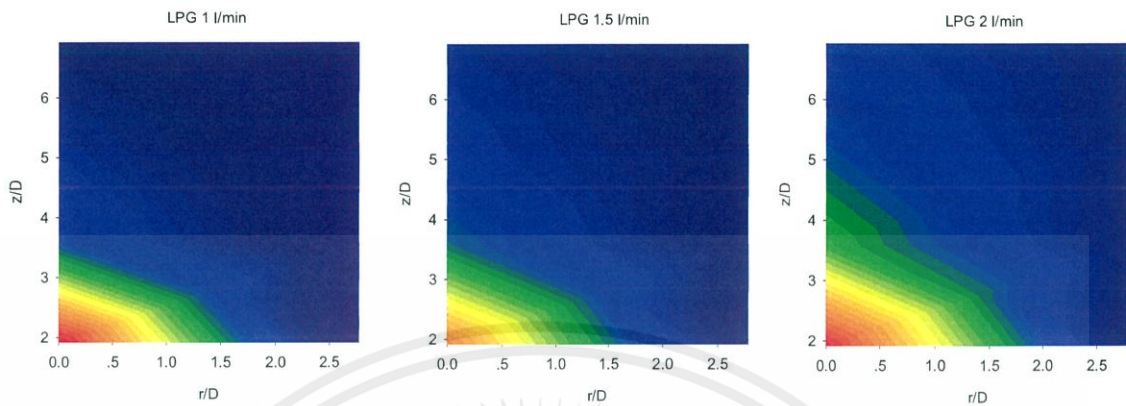
ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

Swirl Number	อากาศที่ป้อนจาก ปริมาณอากาศ ส่วนเกิน 64.25%		อัตราการไหลเชื้อเพลิง (L/min)		
	1 st	2 nd	1	1.5	2
0.8	100%	64.25%			
	120%	44.25%			
	150%	14.25%			

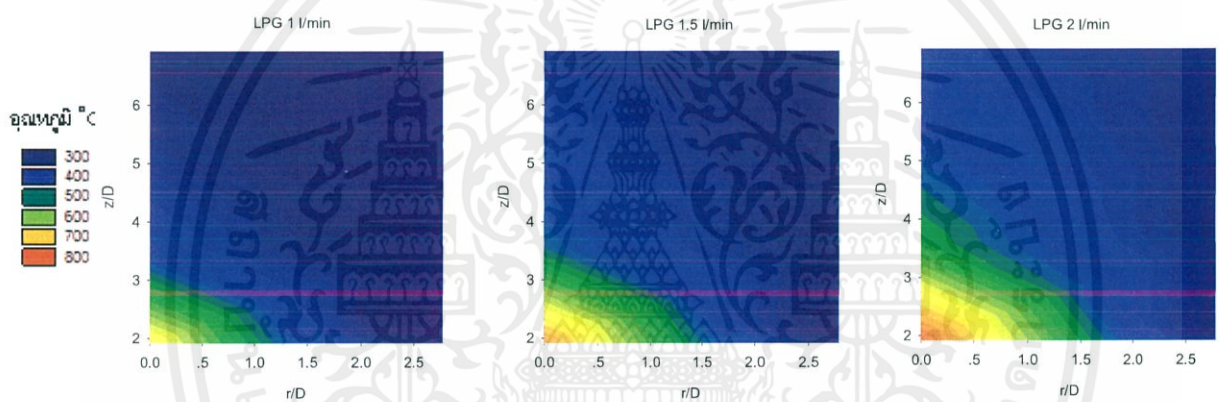
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No Swirl

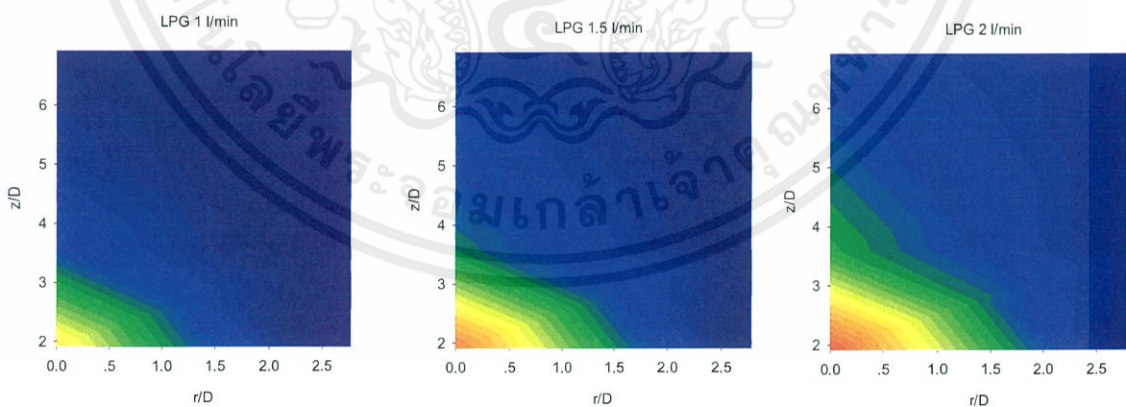
Percent Primary air 100% from 164.25%



Percent Primary air 120% from 164.25%



Percent Primary air 150% from 164.25%

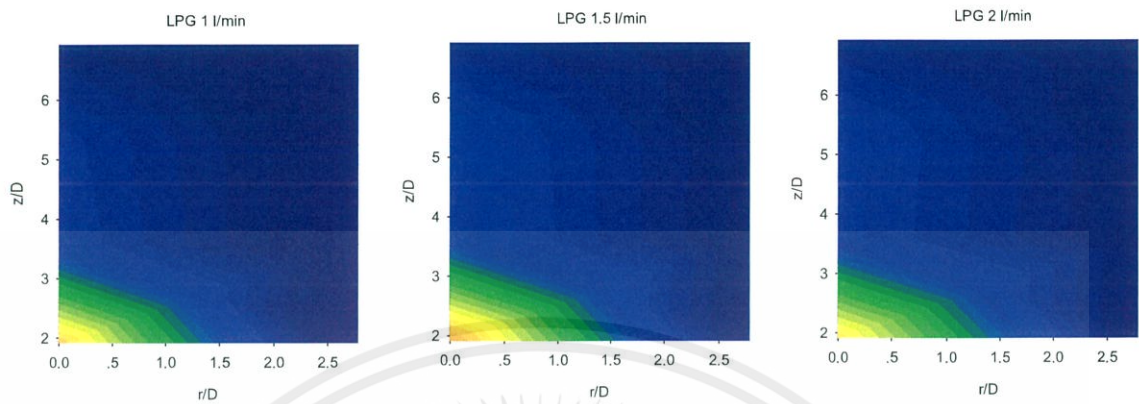


รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของเชื้อเพลิง

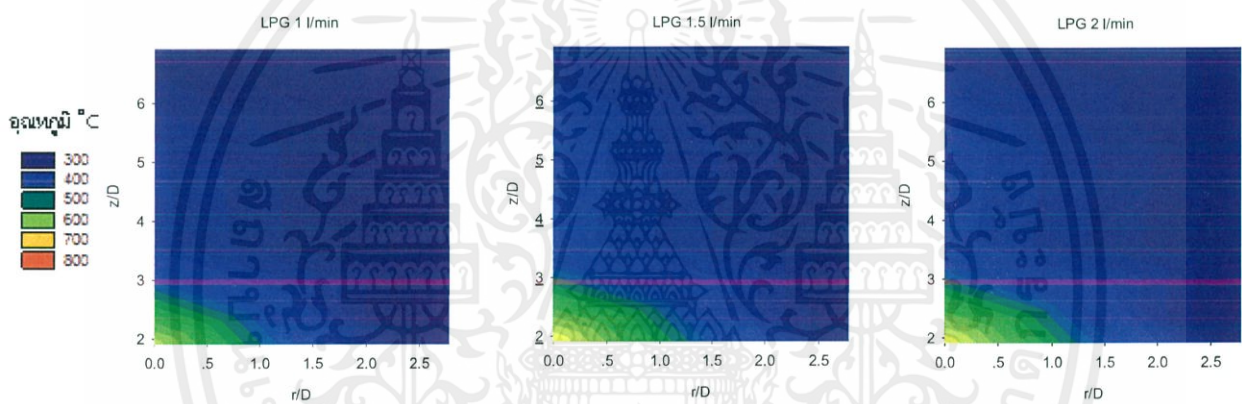
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Swirl Number 0.3

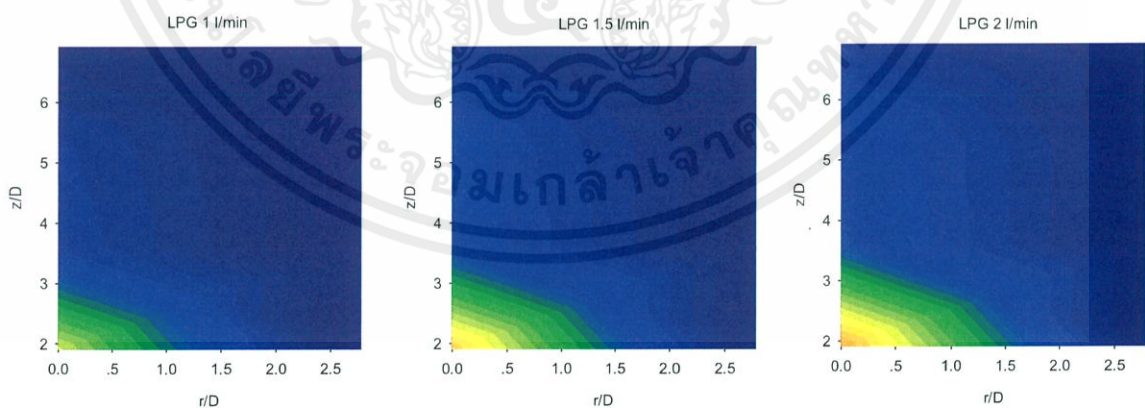
Percent Primary air 100% from 164.25%



Percent Primary air 120% from 164.25%



Percent Primary air 150% from 164.25%

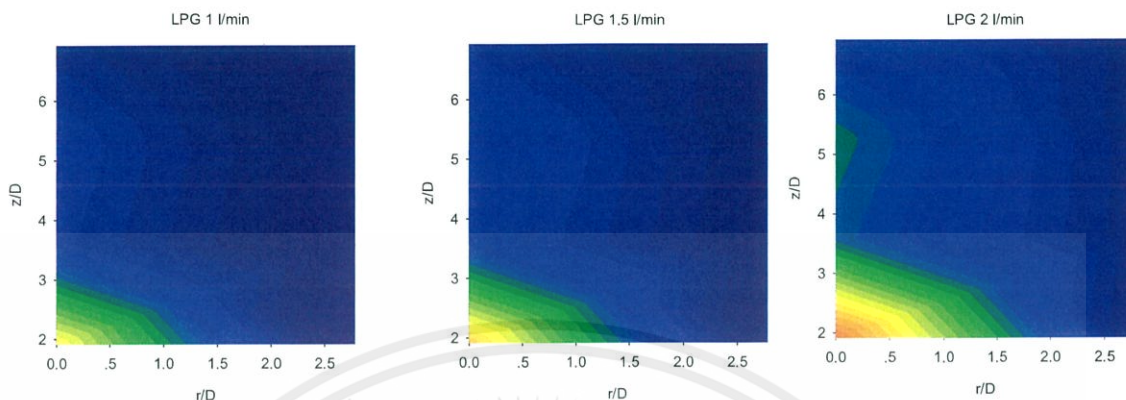


รูปที่ 4.3 (ต่อ)

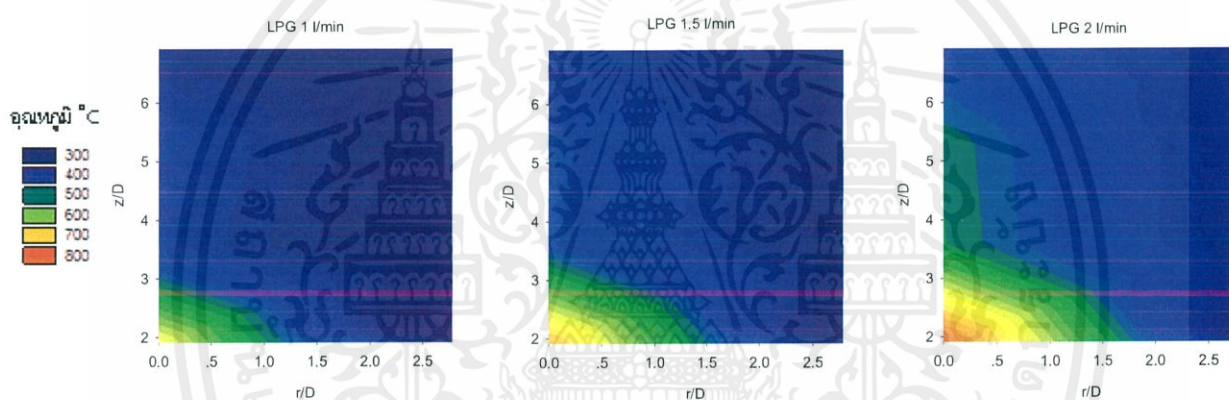
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Swirl Number 0.8

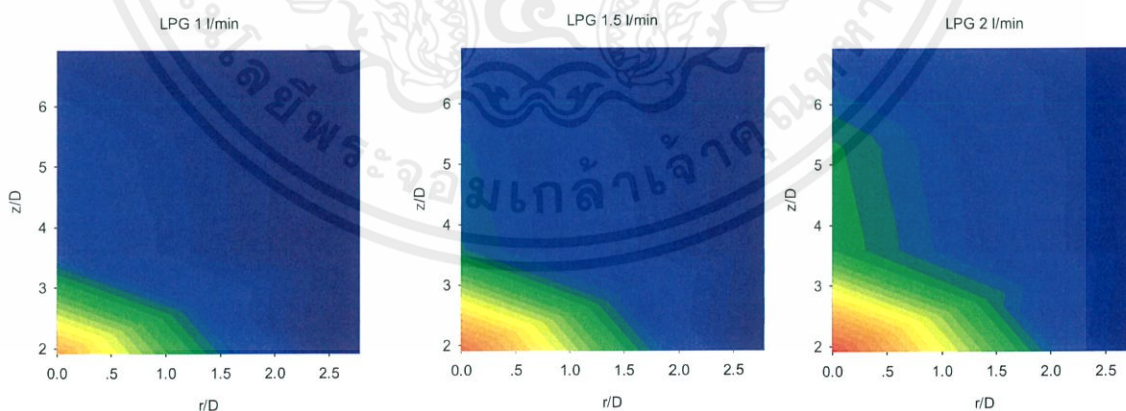
Percent Primary air 100% from 164.25%



Percent Primary air 120% from 164.25%

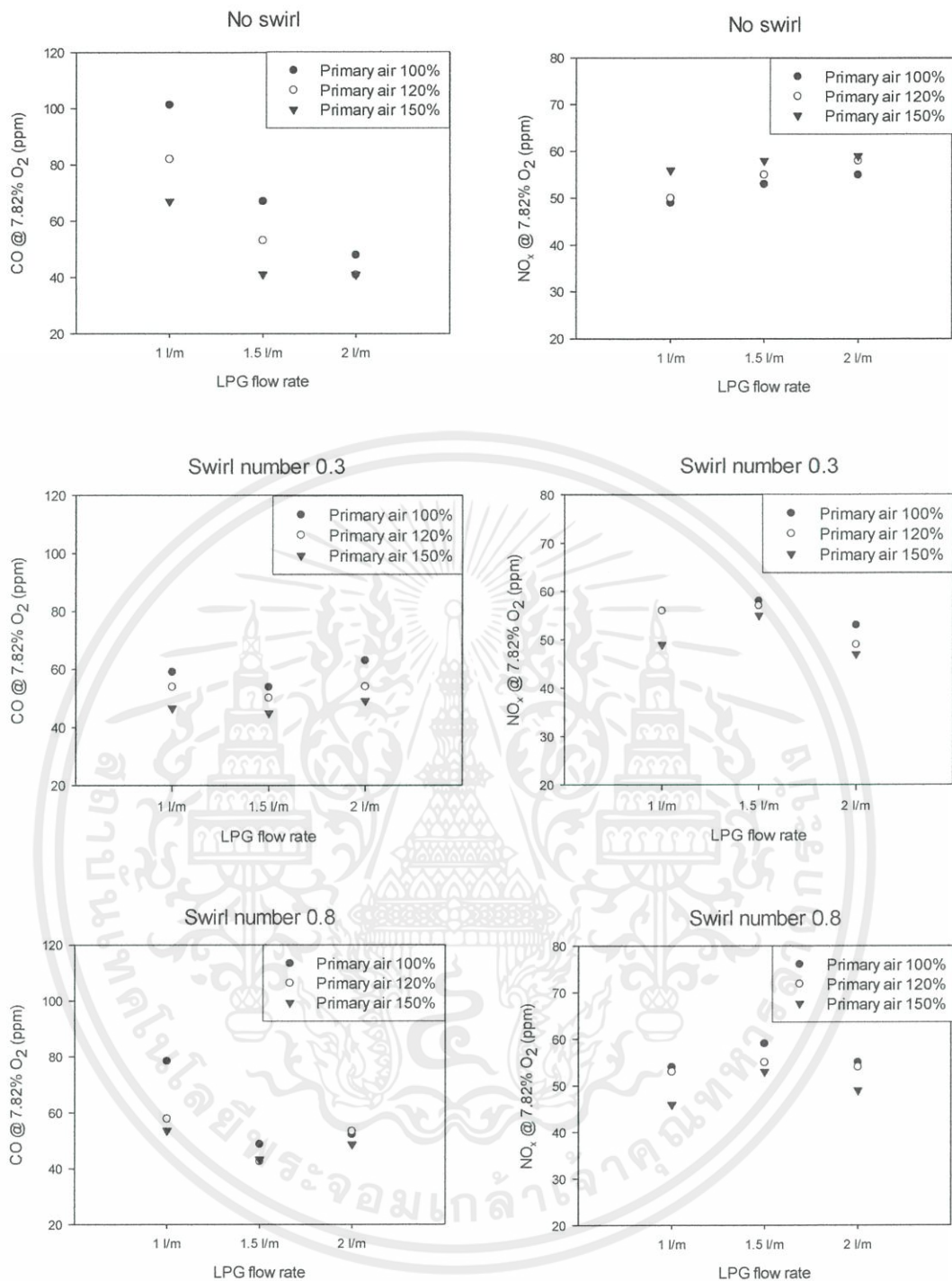


Percent Primary air 150% from 164.25%



รูปที่ 4.3 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจน เมื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของเชื้อเพลิง

4.3 อิทธิพลของการป้อนอากาศส่วนที่สองแบบหมุนควง

ในหัวข้อนี้ได้นำเสนออิทธิพลของการป้อนอากาศส่วนที่สองแบบหมุนควงต่อสมรรถนะการเผาไหม้ กล่าวคือการทดลองการเผาไหม้วัสดุพูนโดยป้อนอากาศส่วนที่สองแบบไม่มีการหมุนควง และการป้อนอากาศส่วนที่สองแบบหมุนควงที่อัตราการหมุนควงเท่ากับ 0.3 และ 0.8 โดยทดลองที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 64.25% ภายใต้เงื่อนไขสัดส่วนของอากาศเท่ากันและอัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ 1,1.5 และ 2 ลิตรต่ออนาที



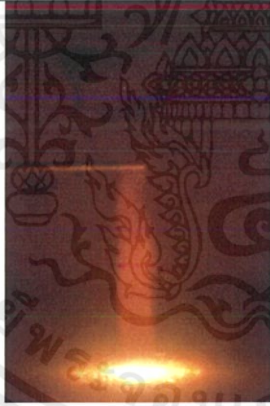

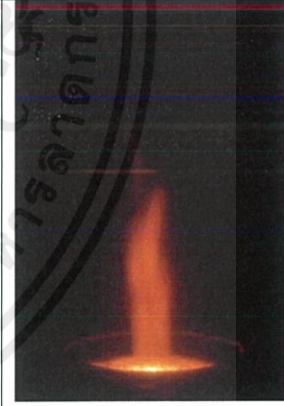

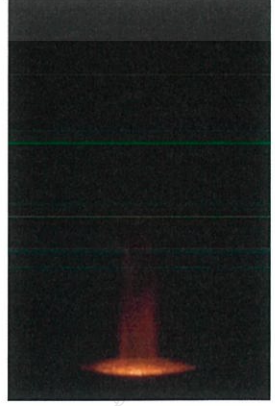
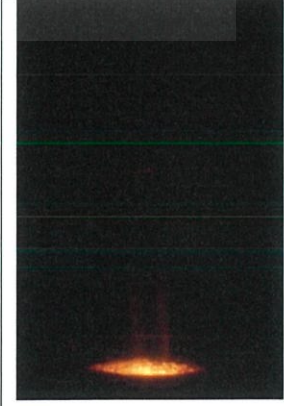
เมื่อพิจารณาลักษณะของเปลวไฟดังตารางที่ 4.3 พบว่าเปลวไฟมีลักษณะสั้นลง ซึ่งสามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า เมื่อป้อนอากาศส่วนที่สองแบบหมุนควง แต่เมื่อเปรียบเทียบกรณีการป้อนอากาศส่วนที่สองแบบหมุนควงของอากาศที่อัตราการหมุนควงเท่ากับ 0.3 กับ 0.8 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยที่อัตราการหมุนควงของอากาศเท่ากับ 0.8 ลักษณะของเปลวไฟจะสั้นกว่าเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ดังรูปที่ 4.5 จากคอนทัวร์อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ พบว่าการป้อนอากาศส่วนที่สองแบบหมุนควงจะทำให้การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ดีขึ้น โดยลักษณะของคอนทัวร์แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิจะมีการกระจายตัวสูงขึ้นในแนวรัศมีของห้องเผาไหม้

สืบเนื่องจากผลวิจัยของ Ishak M. s. a และคณะ พบว่าที่อัตราการไหลของอากาศเดียวกัน การป้อนอากาศแบบหมุนควงโดยที่มีอัตราการหมุนควงสูงกว่า จะมีความสามารถในการทำให้เปลวไฟสั้นลงและการกระจายตัวของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ได้ดีกว่า เนื่องจากการไหลแบบหมุนควงของอากาศจะทำให้เกิดการพาความร้อนในแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหลของเชื้อเพลิงกระจายตัวไปสู่ด้านผนังของห้องเผาไหม้ เมื่อนำผลการวิจัยของ Ishak M. s. a มาพิจารณาร่วมกับผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้ จึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่า อากาศส่วนที่สองซึ่งมีลักษณะเป็นอากาศหมุนควงนั้น เมื่อป้อนเข้าสู่พื้นที่การเผาไหม้จะทำให้เกิดการพาความร้อนจากเปลวไฟ แพร่กระจายในแนวรัศมีของห้องเผาไหม้และอากาศหมุนควงนั้นยังส่งผลให้เกิดการขยายตัวของเปลวไฟตามแนวรัศมีซึ่งด้วยเหตุนี้จึงทำให้เปลวไฟสั้นลง

จากการพิจารณาก๊าซไอเสียดังรูปที่ 4.6 จะพบว่าเมื่อมีการป้อนอากาศส่วนที่สองแบบหมุนควงปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์จะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการป้อนอากาศส่วนที่สองแบบหมุนควงนี้จะทำให้เกิดการผสมและเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ระหว่างอากาศและสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่หลุดมาจากบริเวณเผาไหม้ ทำให้ปฏิกิริยาการเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น ส่วนปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ดีขึ้น ทำให้เกิดจุดความร้อนสูงน้อยลงเป็นผลให้โอกาสการเกิดออกไซด์ของไนโตรเจนลดลง




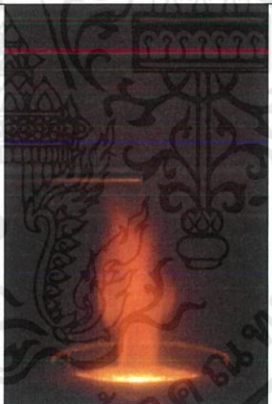
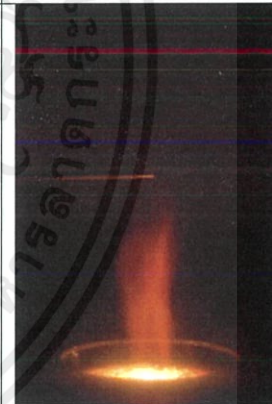
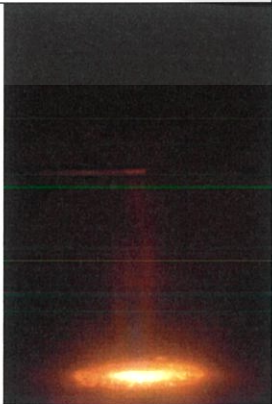
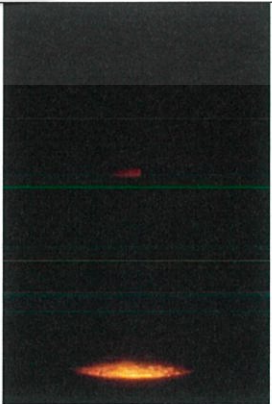
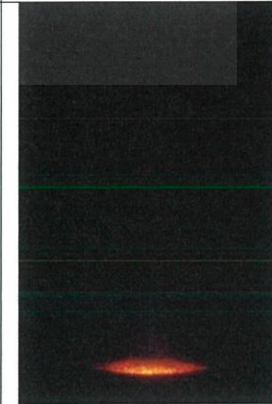
ตารางที่ 4.3 ลักษณะเปลวไฟเปรียบเทียบหัวเผาแบบไม่ใส่ Swirler และใส่ Swirl Number 0.3,0.8

อัตราการไหลเชื้อเพลิง (L/min)	1 st air (%)	2 nd air (%)	No swirl	0.3	0.8
	1	100	64.25		
120		44.25			
150		14.25			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า




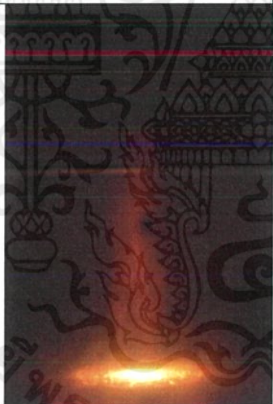


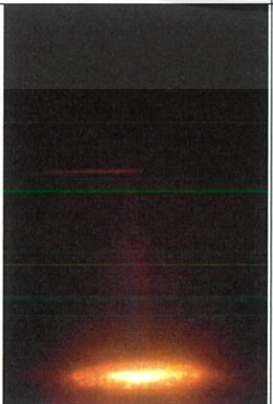
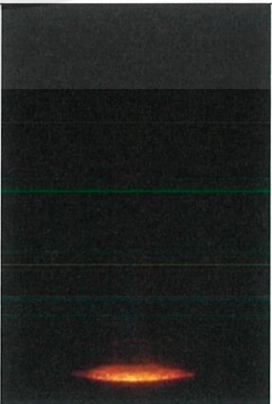
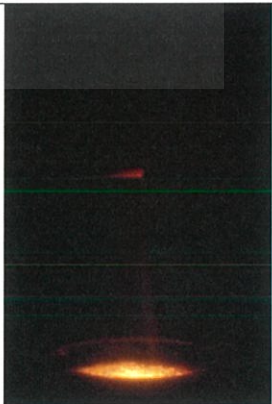
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

อัตราการไหลเชื้อเพลิง (L/min)	1 st air (%)	2 nd air (%)	No swirl	0.3	0.8
	100	64.25			
1.5	120	44.25			
150		14.25			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

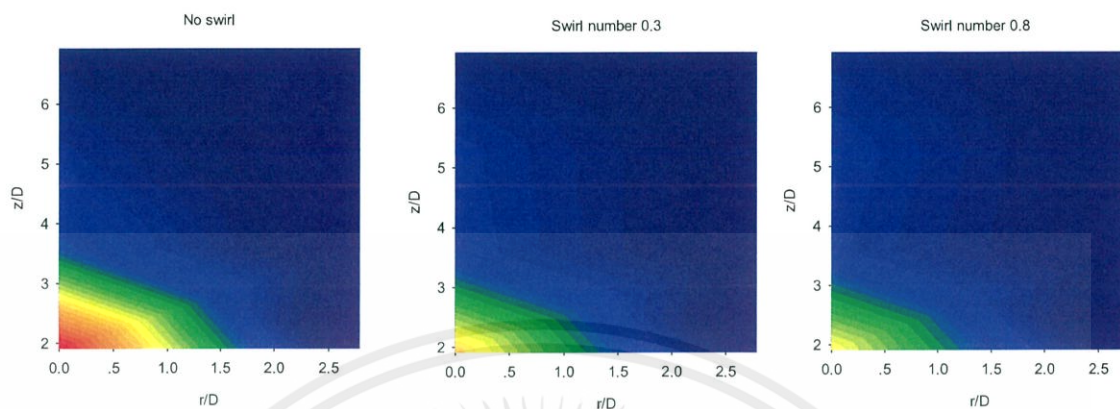
ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

อัตราการไหลเชื้อเพลิง (L/min)	1 st	2 nd	No swirl	0.3	0.8
	air (%)	air (%)			
2	100	64.25			
	120	44.25			
	150	14.25			

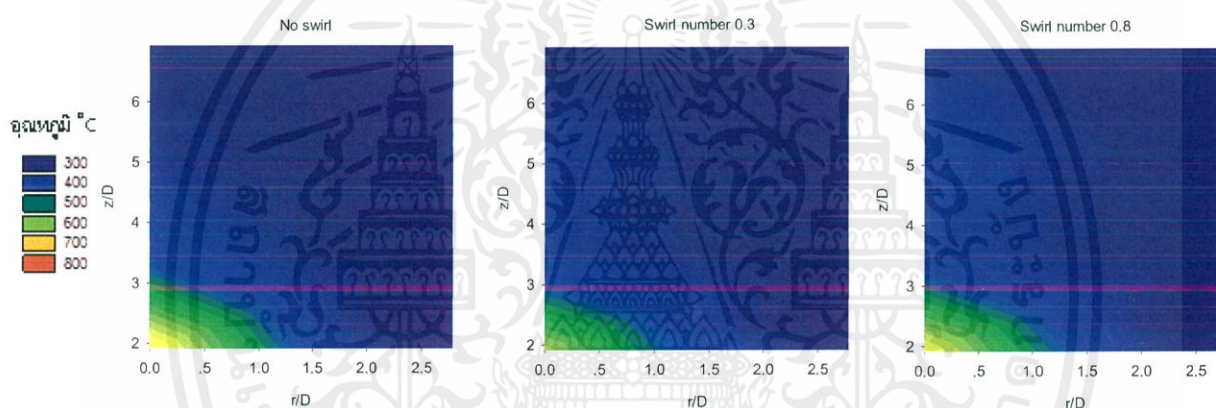
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LPG 1 L/min

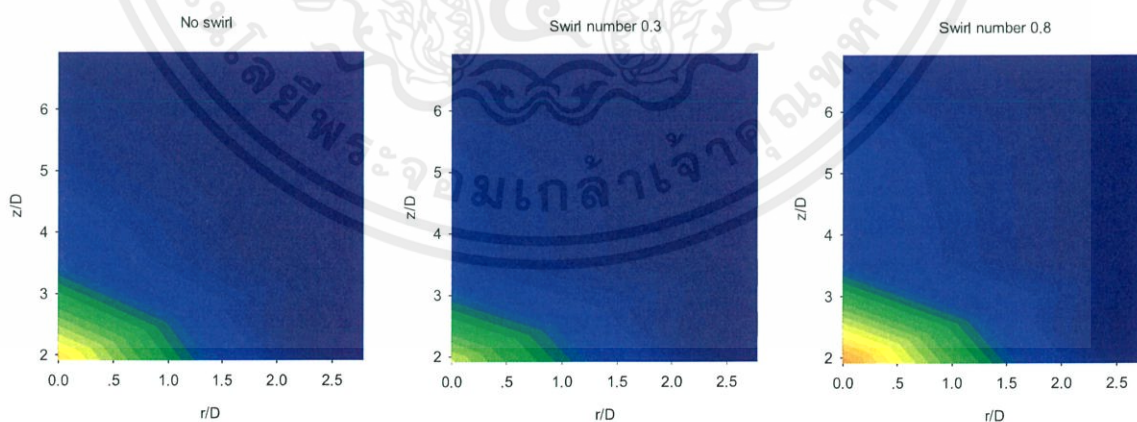
Percent Primary air 100% from 164.25%



Percent Primary air 120% from 164.25%



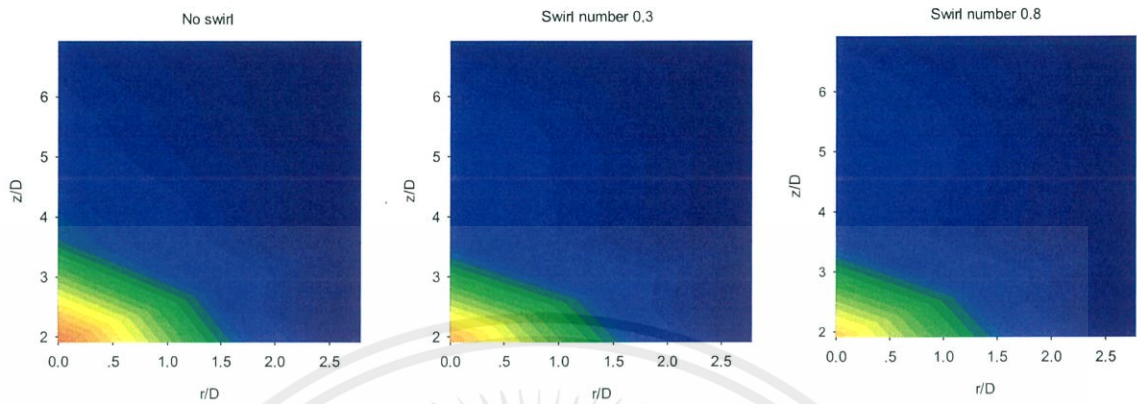
Percent Primary air 150% from 164.25%



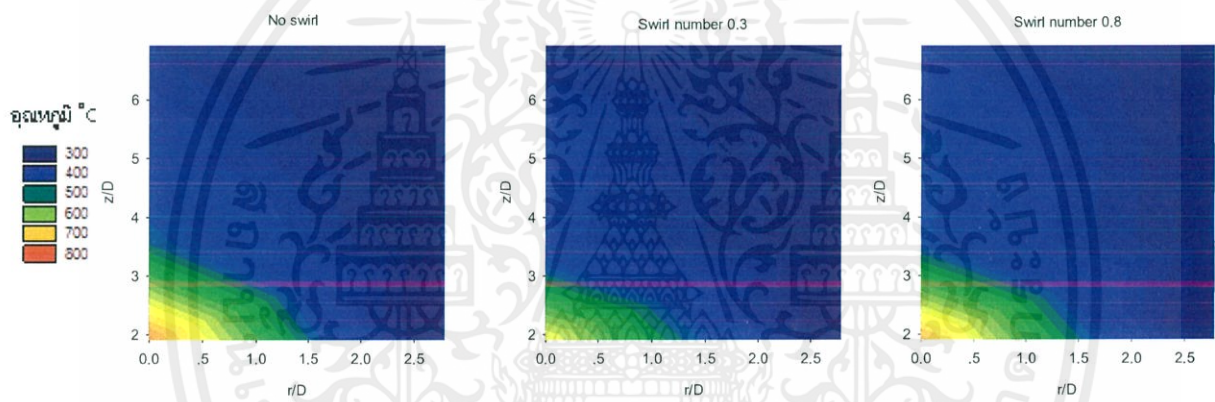
รูปที่ 4.5 การกระจายตัวของอุณหภูมิเปรียบเทียบหัวเผาแบบไม่ใส่ Swirler และ
ใส่ Swirl Number 0.3, 0.8

LPG 1.5 L/min

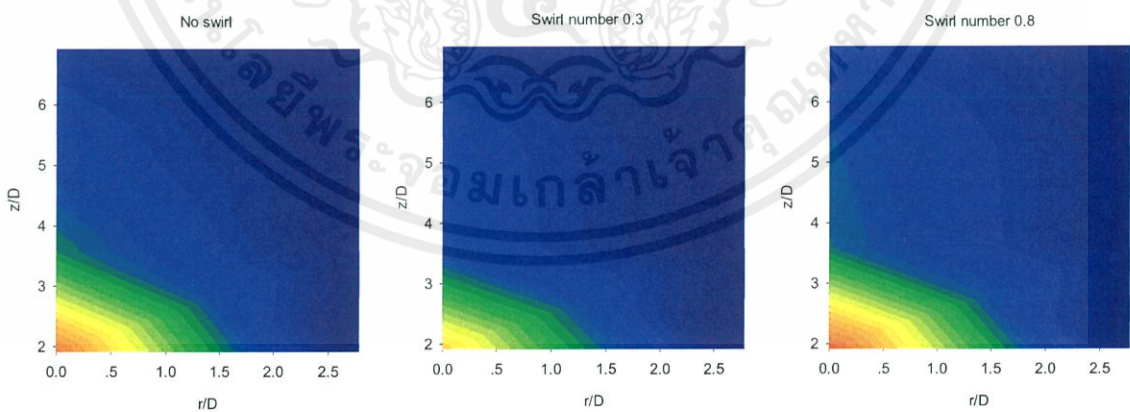
Percent Primary air 100% from 164.25%



Percent Primary air 120% from 164.25%



Percent Primary air 150% from 164.25%

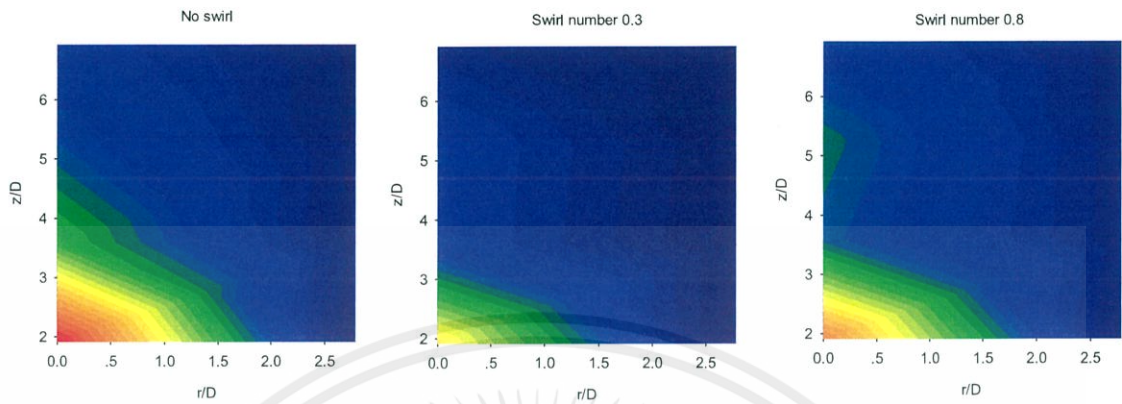


รูปที่ 4.5 (ต่อ)

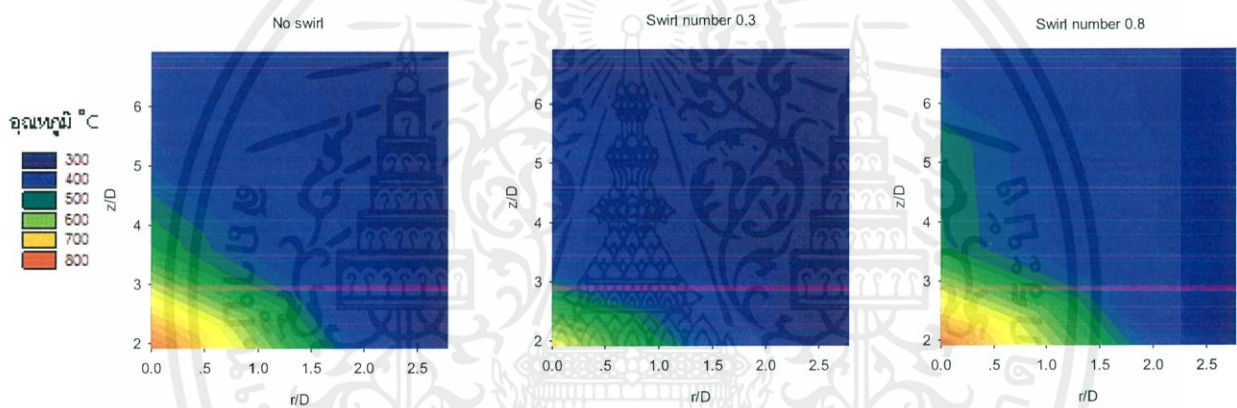
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LPG 2 L/min

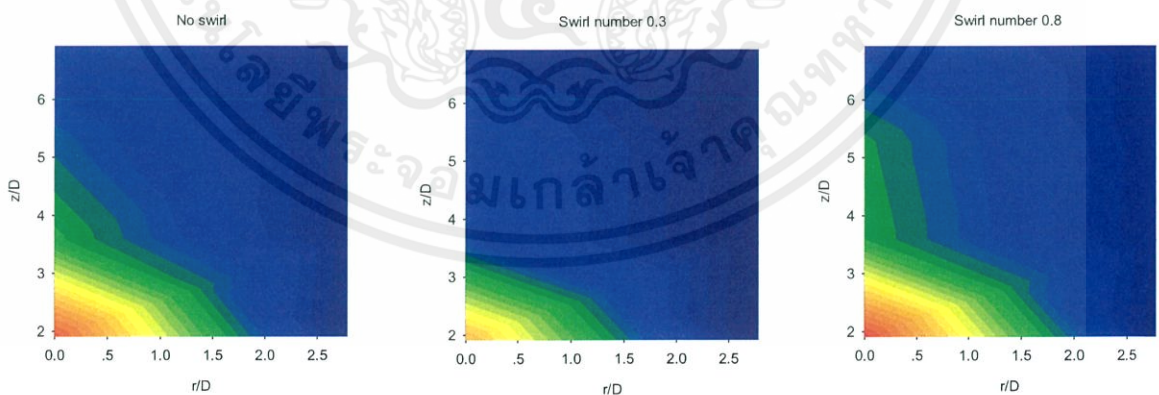
Percent Primary air 100% from 164.25%



Percent Primary air 120% from 164.25%

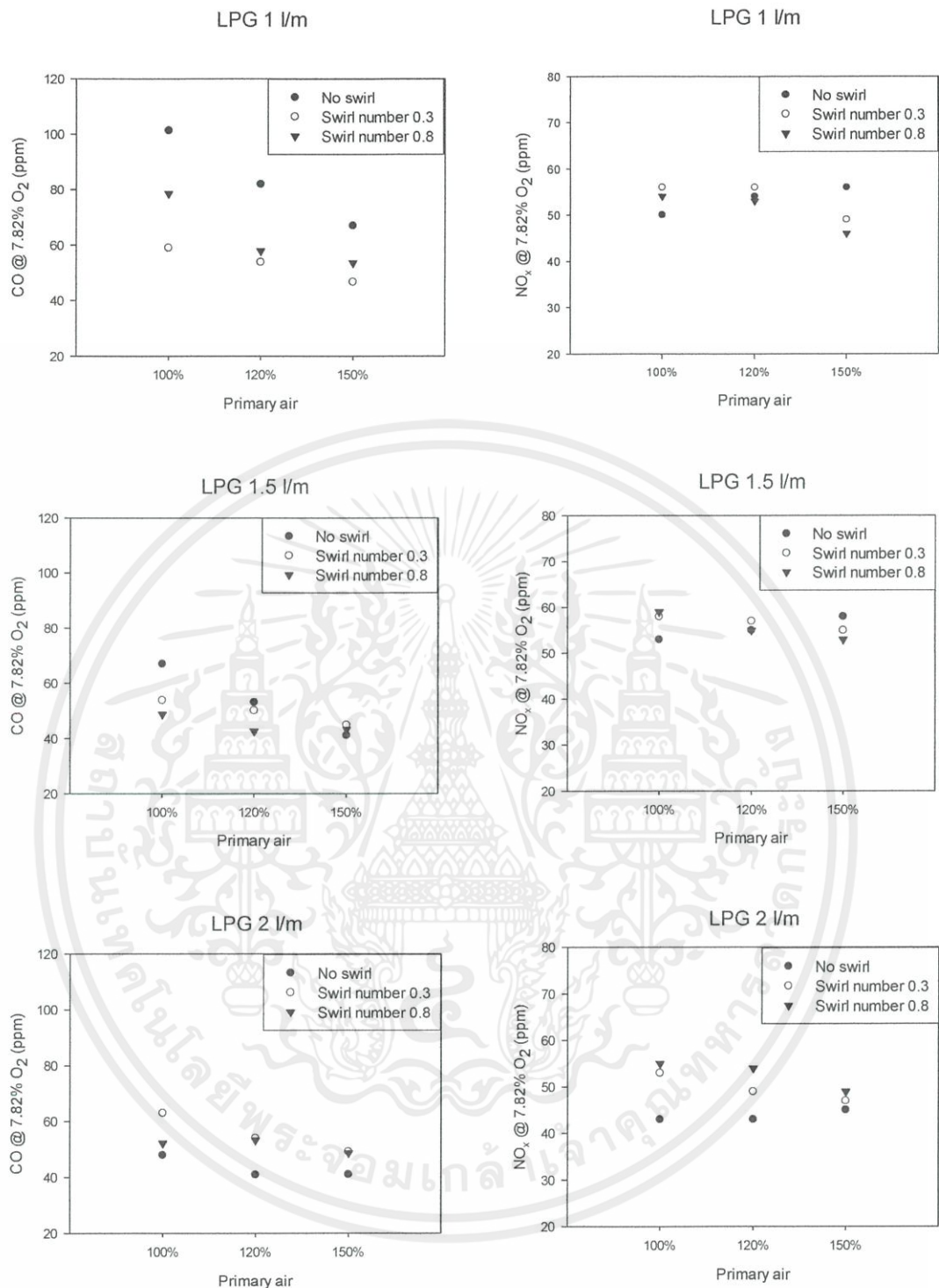


Percent Primary air 150% from 164.25%



รูปที่ 4.5 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจนเปรียบเทียบหัวเผา

แบบไม่ใส่ Swirler และ ใส่ Swirl Number 0.3, 0.8

ตารางที่ 4.4 สรุปผลการทดลองของอิทธิพลต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษา

เงื่อนไข	ลักษณะเปลวไฟที่สังเกตเห็น	อุณหภูมิในห้องเผาไหม้	มลพิษ
อิทธิพลของปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่ง	เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่ง -เปลวไฟสั้นลงและเป็นสีน้ำเงินมากขึ้น แสดงถึงการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้น	เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่ง -อุณหภูมิห้องเผาไหม้สูงขึ้นเนื่องจากการพาความร้อนจากรังสีความร้อนเพิ่มมากขึ้น	เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่ง -ปริมาณ CO มีปริมาณลดลง เนื่องจากเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น -ปริมาณ NO _x เพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิกระจายตัวได้ไม่ดี
อิทธิพลของอัตราการใช้เชื้อเพลิง	เมื่อเพิ่มอัตราการใช้เชื้อเพลิง -เปลวไฟสั้นลงและมีแนวโน้มกระจายในวัสดุพูนมากขึ้น	เมื่อเพิ่มอัตราการใช้เชื้อเพลิง -อุณหภูมิห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนถูกถ่ายเทมากกับเอเซียมากขึ้น	เมื่อเพิ่มอัตราการใช้เชื้อเพลิง -ปริมาณ CO มีปริมาณลดลง เนื่องจากเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น -ปริมาณ NO _x เพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิกระจายตัวได้ไม่ดี

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

เงื่อนไข	ผลของสมรรถนะการเผาไหม้			มลพิษ
	ลักษณะเปลวไฟที่สังเกตเห็น	อุณหภูมิในห้องเผาไหม้	เมื่อใส่ Swirler	
อิทธิพลของการป้อนอากาศส่วนที่สอง แบบหมุนควง	เมื่อใส่ Swirler -เปลวไฟสั้นลง	เมื่อใส่ Swirler -อุณหภูมิของห้องเผาไหม้กระจายตัวได้ดี ขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับหัวเผาที่ไม่ ใช้ Swirler โดยจะเห็นได้ชัดชัดจากแนว ริศมี	เมื่อใส่ Swirler -ปริมาณ CO และ NOx มีปริมาณลดลง เนื่องจากมีการเผาไหม้ที่ดีขึ้นและการ กระจายตัวของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ดี มากขึ้น	

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การทดลองนี้มุ่งเน้นปรับปรุงการกระจายตัวของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ให้เกิดขึ้นอย่างคงที่และสม่ำเสมอ มีการเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น ลดการเกิดมลพิษต่างๆ ด้วยการประยุกต์ใช้การจ่ายอากาศแบบหมุนควงกับหัวเผาวัสดุพูน ภายใต้สันนิษฐานว่าการหมุนควงของอากาศจะทำให้เชื้อเพลิงกับอากาศผสมกันได้ดีขึ้น

การทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากลไกการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณหัวเผาซึ่งมีการเผาไหม้ส่วนต่างๆ ในห้องเผาไหม้ เปรียบเทียบระหว่างการจ่ายอากาศส่วนที่สองแบบหมุนควงกับแบบไม่หมุนควง โดยสันนิษฐานว่าการเผาไหม้จะสมบูรณ์มากขึ้นและการกระจายตัวของอุณหภูมิบริเวณต่างๆ ในห้องเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอมากขึ้น ครอบคลุมไปถึงการศึกษาลักษณะของเปลวไฟ การกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อเปลี่ยนอัตราการหมุนควง โดยการทดลองได้บันทึกผลการกระจายตัวของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้และปริมาณมลพิษภายในห้องเผาไหม้ที่ถูกควบคุมบรรยากาศ ส่วนเงื่อนไขการทดลอง ผู้วิจัยมีความจำเป็นต้องศึกษาการเผาไหม้ในย่านอัตราส่วนผสมแบบบาง เพื่อสร้างความเชื่อมโยงกับงานวิจัยที่มีมาก่อนหน้านี้

5.1 การศึกษาอิทธิพลต่างๆ และเปรียบเทียบการเผาไหม้หัวเผาวัสดุพูนเมื่อจ่ายอากาศส่วนที่สองแบบหมุนควงและแบบไม่หมุนควง

หัวข้อนี้ทดลองที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 64.25% โดยแบ่งเป็นปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งและปริมาณอากาศส่วนที่สองทั้งหมด 3 ค่า คือ อากาศส่วนที่หนึ่ง 100%, 120% และ 150% นั้นหมายความว่าอากาศส่วนที่สองจะต้องจ่าย 64.25%, 44.25%, และ 14.25% ตามลำดับ และอัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ 1, 1.5 และ 2 ลิตรต่ออนาที สังเกตคุณลักษณะของก๊าซไอเสียบริเวณรอบนอกของโดเมนวัสดุพูน ได้แก่ การกระจายตัวของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจน รวมถึงลักษณะเปลวไฟที่สังเกตเห็น โดยแบ่งเงื่อนไขการศึกษาตามวัตถุประสงค์การทดลองดังนี้

5.1.1 อิทธิพลของปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งต่อการเผาไหม้วัสดุพูน

ภายใต้การจ่ายอากาศส่วนที่หนึ่งทั้งหมด 3 ค่า ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงเดียวกัน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งเปลวไฟจะมีลักษณะสั้นลงและอุณหภูมิในห้องเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการผสมกันของอากาศส่วนที่หนึ่งกับเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้มากขึ้น ทำให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพดี

เมื่อพิจารณาปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งแบบไม่หมุนควงจะมีแนวโน้มลดลง โดยลดลงประมาณ 20% เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งเนื่องจากการเผาไหม้ที่ดีขึ้น ในขณะที่ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นประมาณ 5% โดยมีค่าไม่โดยรวมเกิน 60 ppm เนื่องจากอุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงขึ้นแต่กระจายตัวได้ไม่ดี

5.1.2 อิทธิพลของอัตราการไหลของเชื้อเพลิงต่อการเผาไหม้วัสดุพูน

ภายใต้การอัตราการไหลเชื้อเพลิงทั้งหมด 3 ค่า ที่ปริมาณอากาศส่วนเกินและปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งและส่วนที่สองโดยปริมาตรเดียวกัน โดยจ่ายอากาศส่วนที่หนึ่งแบบไม่หมุนควงพบว่า เมื่อเพิ่มอัตราการไหลเชื้อเพลิงเปลวไฟจะมีลักษณะสั้นลงเนื่องจากเปลวไฟแพร่ในวัสดุพูนมากขึ้นและอุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงขึ้นจากการถ่ายเทความร้อนแบบพา

เมื่อพิจารณาปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลเชื้อเพลิงจะมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้การกระจายความร้อนที่วัสดุพูนเกิดขึ้นทั่วทั้งโดเมนของวัสดุพูนด้วยเหตุนี้จะทำให้อุณหภูมิของก๊าซผสมใกล้เคียงกับอุณหภูมิจุดติดไฟ จึงส่งผลให้เชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ได้ดีขึ้น แต่ที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิง 2 ลิตรต่อนาที จะพบว่าปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศส่วนที่หนึ่งไม่เพียงพอ ทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยาหลุดจากบริเวณเผาไหม้ ส่วนปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยมีค่าสูงสุดไม่เกิน 60 ppm เนื่องจากมีจุดที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

5.1.3 อิทธิพลของการป้อนอากาศส่วนที่สองแบบหมุนควง

ภายใต้การจ่ายอากาศส่วนที่หนึ่งทั้งหมด 3 ค่า ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงเดียวกัน พบว่าเมื่อจ่ายอากาศส่วนที่สองแบบหมุนควง โดยจ่ายผ่าน Swirler ที่มีค่า Swirl number 0.3 และ 0.8 จะทำให้เปลวไฟมีลักษณะสั้นกว่าการจ่ายอากาศแบบไม่หมุนควงและการกระจายตัวอุณหภูมิในห้องเผาไหม้จะกระจายได้ดีกว่าอย่างเห็นได้ชัดในแนวรัศมี โดยที่ Swirl Number 0.3 จะทำให้อุณหภูมิโดยเฉลี่ยในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้น 10-20°C และ Swirl Number 0.8 จะทำให้อุณหภูมิโดยเฉลี่ยในห้องเผาไหม้

เพิ่มขึ้น 15-25°C ซึ่งที่ค่า Swirl number 0.8 เปลวไฟจะสั้นที่สุดและมีการกระจายตัวของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ที่ต่ำ

เมื่อพิจารณาปริมาณมลพิษพบว่าเมื่อจ่ายอากาศส่วนที่สองแบบหมุนควงจะมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำกว่าแบบไม่หมุนควงเนื่องจากอากาศและเชื้อเพลิงผสมกันได้ดีขึ้นและมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่ง ซึ่งปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์จะเรียงจากค่าน้อยไปมากได้เป็น Swirl number $0.3 < \text{Swirl number} < 0.8 < \text{Without Swirler}$ ส่วนปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ดีขึ้น ทำให้เกิดจุดความร้อนสูงน้อยลงเป็นผลให้โอกาสการเกิดออกไซด์ของไนโตรเจนลดลง แต่เมื่อจ่ายอากาศส่วนที่สองแบบไม่หมุนควงจะทำให้ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนเพิ่มขึ้น โดยรวมแล้วจะมีปริมาณไม่เกิน 60 ppm

5.2 ข้อเสนอแนะจากการทดลอง

5.2.1 จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิจะกระจายตัวสม่ำเสมอในห้องเผาไหม้เมื่ออัตราการหมุนควงของการป้อนอากาศส่วนที่สองมาก และปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์จะมีค่าต่ำเมื่อป้อนปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งมาก ดังนั้น ควรนำผลที่ได้จากการทดลองที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 1.5 ลิตรต่อนาที ปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่ง 150% จากปริมาณอากาศส่วนเกิน 64.25% และการป้อนอากาศส่วนที่สองที่ค่า Swirl number 0.8 ไปใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ เนื่องจากการกระจายตัวของอุณหภูมิของห้องเผาไหม้ที่สม่ำเสมอ ปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจนต่ำ

5.2.2 ควรทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่ง โดยกำหนดปริมาณอากาศส่วนเกิน 64.25% และเลือกปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งตั้งแต่ 100% ขึ้นไป เพราะเปลวไฟมีความเสถียร อย่างน้อย 5 ค่า เพื่อให้เห็นแนวโน้มที่ชัดเจนและละเอียดมากขึ้น

5.2.3 ควรทำการศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของเชื้อเพลิง โดยกำหนดค่าอัตราการไหลในช่วง 1-2 ลิตรต่อนาที อย่างน้อย 5 ค่า เพื่อให้เห็นแนวโน้มที่ชัดเจนและละเอียดมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน. คุณสมบัติของก๊าซปิโตรเลียมเหลว. สืบค้นเมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน, 2559, ชื่อเว็บไซต์: <http://www.doeb.go.th>
- [2] ศิวะ จันทรเอี่ยม. การจำลองการเผาไหม้ของหัวเผาไมโครแก๊สเทอร์ไบน์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2555.
- [3] P. Laphirattanakul. **Mixing and Combustion Improvement by Modified Nozzle on a Premixed LPG Burner.** Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand. 2012
- [4] K. Wongwatcharaphon. **High Performance Porous Burner.** Princess of Naradhiwas University. 2013
- [5] P. Laphirattanakul. **Performance Assesment on Porous Media Adopted for LPG Partially-Premixed Burner.** Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand. 2017
- [6] Byeong Yu, Sung-Min Kum, Chang-Eon Lee, Seungro Lee. **Combustion Characteristics and Thermal Efficiency for Premixed Porous Media Types of Burners.** Inha University and Halla University. 2013.
- [7] Huaibin Gao, Zhiguo Qu, Xiang Feng, Wengquan Tao. **Combustion of Methane/Air Mixtures in a Two-Layer Porous Burner: A Comparison of Alumina Foams, Beads, and Honeycombs.** Xi'an Jiaotong University. 2014.
- [8] P.H. Bouma, L.P.H. De Goey. **Premixed Combustion on Ceramic Foam Burners.** Eindhoven University of Technology. 1999.
- [9] A. Laphirattanakul, P. Laphirattanakul, J. Charoensuk. **Performance Improvement of the LPG Burner of Ceramics Industry.** การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11 จังหวัดชลบุรี. 2015.
- [10] A. Laphirattanakul, P. Laphirattanakul, J. Charoensuk. **Effect of Porous Geometry on the Performance of the LPG Burner of Ceramics Industry.** การประชุมวิชาการ

เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29 จังหวัดนครราชสีมา. 2015.

- [11] A. Laphirattanakul, P. Laphirattanakul, J. Charoensuk. **An Influence of Pore Density on Flame Stabilization for LPG Porous Burner.** The 6th TSME International Conference on Mechanical Engineering. 2015.
- [12] Ishak M.s.a., Mohammad Nazi Mohd Jaarfar, Wan Zaidi Wan Omar. **Numerical Analysis of Effect of Preheat and Swirl of Inlet Air on Temperature Profile in Canister Burner.** Faculty of Engineering, University Technology Malaysia. 2015.





ภาคผนวก

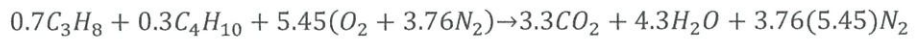
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สํหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้

สมการเคมีในการทดลอง



มวลโมเลกุลของ LPG (M)



เช่น การทดลองนี้ใช้ LPG ที่ประกอบด้วยโพรเพน (C_3H_8) 70% และบิวเทน (C_4H_{10}) 30% ของ LPG 1 โมล สามารถคำนวณหามวลโมเลกุลของ LPG ได้ดังนี้

มวลโมเลกุลของโพรเพน (C_3H_8)

$$M = (3 \times 12) + (8 \times 1) = 44$$

มวลโมเลกุลของบิวเทน (C_4H_{10})

$$M = (4 \times 12) + (10 \times 1) = 58$$

มวลโมเลกุลของ LPG ($0.7C_3H_8 + 0.3C_4H_{10}$)

$$M = \frac{(0.7 \times 44) + (0.3 \times 58)}{0.7 + 0.3} = 48.2$$

อัตราส่วนผสม (Φ)

$$\% \text{excess air} = \frac{1 - \Phi}{\Phi} \times 100\%$$

เมื่อ $\%excess\ air$ = ปริมาณอากาศส่วนที่เกินจากทฤษฎี

เช่น การทดลองนี้ใช้ปริมาณอากาศส่วนเกิน 64.25% สามารถคำนวณหาอัตราส่วนสมมูลได้ดังนี้

$$64.25\% = \frac{1-\Phi}{\Phi} \times 100\%$$

$$\Phi = 0.6088$$

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (AF)

$$AF = \frac{m_a}{m_f} = \frac{4.76\ MW_{air}}{1\ MW_{fuel}}$$

และ

$$\Phi = \frac{AF_{stoi}}{AF_{act}}$$

เมื่อ

MW_{air} = มวลโมเลกุลของอากาศ

(ในที่นี้ใช้มวลโมเลกุลเท่ากับ 28.85)

MW_{fuel} = มวลโมเลกุลของเชื้อเพลิง

(ในที่นี้ใช้เชื้อเพลิง LPG มวลโมเลกุลเท่ากับ 48.2)

AF_{stoi} = อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎี

AF_{act} = อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ใช้จริง

เช่น จากการทดลองสามารถคำนวณหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจากสมการการเผาไหม้ตามทฤษฎีได้ดังนี้

$$AF_{stoi} = \frac{4.76 \times 5.45 \times 28.85}{1 \times 48.2} = 15.528$$

ความหนาแน่นของแก๊ส (ρ)

$$\rho = \frac{P}{RT}$$

เมื่อ

P = ความดันแก๊ส (kg/m^3)

T = อุณหภูมิของแก๊ส (K)

R = ค่าคงที่ของแก๊ส ($\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$)

จากสมการสามารถคำนวณค่าความหนาแน่นของแก๊สได้ดังนี้

$$\text{LPG} : \rho = 0.9561 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Air} : \rho = 2.3397 \text{ kg/m}^3$$

อัตราไหลเชิงมวล (\dot{m})

$$\dot{m} = \rho \dot{V}$$

เมื่อ

$$\rho = \text{ความหนาแน่นแก๊ส (kg/m}^3\text{)}$$

$$\dot{V} = \text{อัตราการไหลแก๊ส (m}^3\text{/s)}$$

เช่น จากการทดลองคำนวณอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงที่อัตราการไหล 1 L/min ได้ดังนี้

$$\dot{m}_f = 0.9561 \times \frac{10^{-3}}{60} = 1.59 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$$

เมื่อทราบอัตราการไหลเชิงมวลของ LPG แล้ว สามารถคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศที่ต้องป้อนให้เชื้อเพลิง ได้ดังนี้

$$AF_{act} = \frac{AF_{stoi}}{\phi} = \frac{15.528}{0.6088} = 25.506$$

$$\dot{m}_a = (AF) \dot{m}_f = 25.506 \times 1.59 \times 10^{-5} = 4.055 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

$$\dot{V}_a = \frac{\dot{m}_a}{\rho} = \frac{4.055 \times 10^{-4}}{2.3397} = 0.1733 \text{ l/s}$$

การแปลงหน่วยของอัตราการไหล (\dot{V})

$$\dot{V}(\text{scfh}) = 127.1328 \dot{V}(\text{l/s})$$

เช่น นำค่าอัตราการไหลของอากาศที่คำนวณได้จากสมการ (3.3) มาแปลงหน่วยจาก l/s เป็น scfh ได้ดังนี้

$$\dot{Q}(\text{scfh}) = 127.1328(0.1733) = 22.03 \text{ scfh}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ว่า ที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิง LPG เท่ากับ 1 L/min จะต้องป้อนอากาศเข้าไปผสมด้วยอัตราการไหล 22.08 scfh เพื่อให้ได้ %excess air = 64.25%

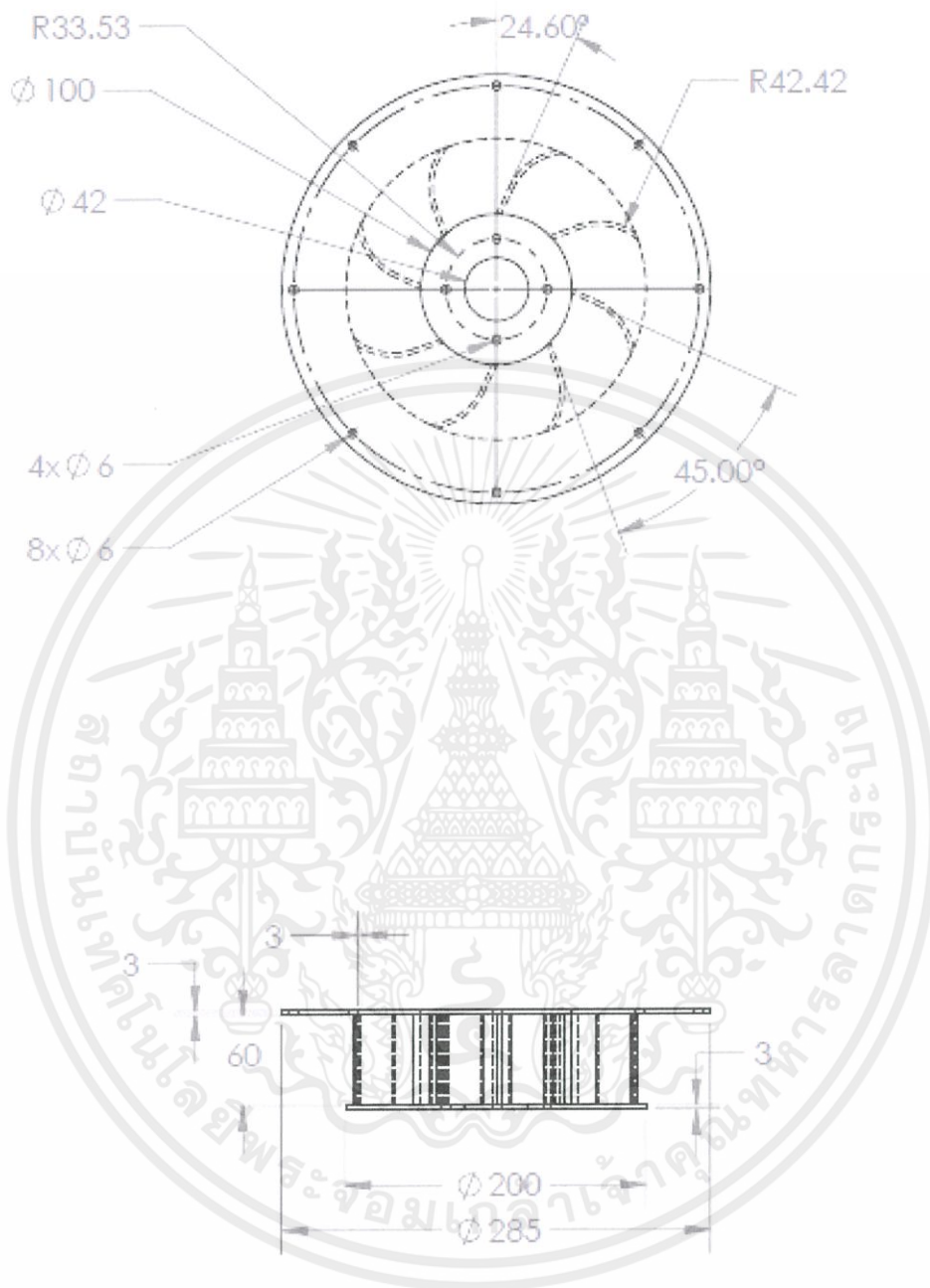
ตารางที่ ก.1 ปริมาณอากาศที่ใช้ในการทดลองที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงต่างๆ

LPG flow rate (L/min)	Pressure (bar)	Total air (SCFH) at 64.25 %excess air	Pressure (bar)	Primary air		Secondary air	
				%volume	SCFH	%volume	SCFH
1	0.5	22.03	2	100	13.41	64.25	8.62
				120	16.09	44.25	5.94
				150	20.12	14.25	1.91
1.5	0.5	33.12	2	100	20.16	64.25	12.96
				120	24.20	44.25	8.92
				150	30.25	14.25	2.87
2	0.5	44.20	2	100	26.91	64.25	17.29
				120	32.29	44.25	11.91
				150	40.36	14.25	3.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

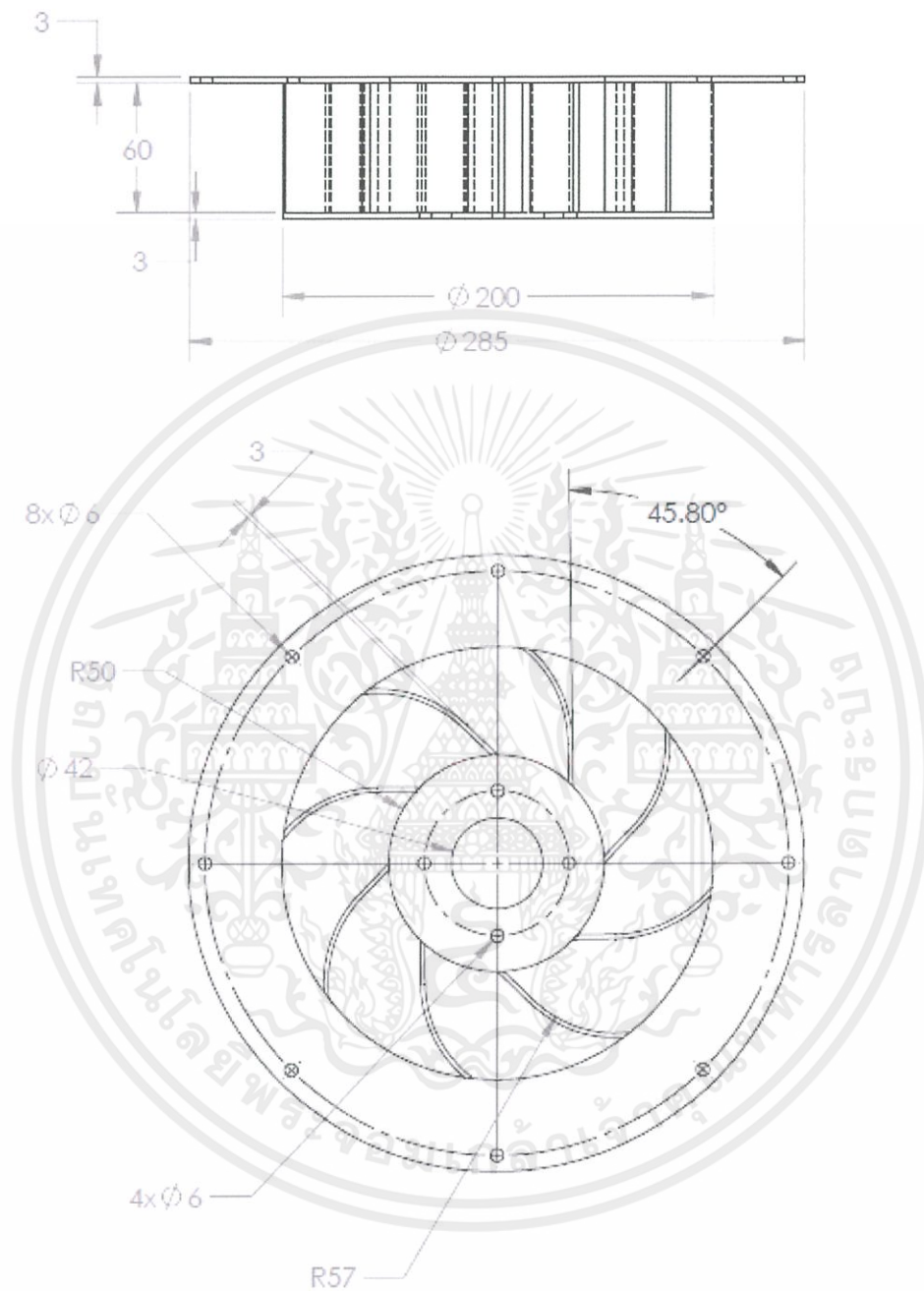


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 Swirl number 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.2 Swirl number 0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้