



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาห้องเผาไหม้และระบบการเผาไหม้ในเครื่องยนต์กังหันก๊าซ
ขนาดเล็กเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงความร้อนต่ำ

Development of combustor and combustion system in Micro
Gas Turbine Engine for Electrical Generative for
Low-Calorific Value Fuel.

รศ.ดร. จารุวัตร เจริญสุข
นางสาวตฤษฐพร แก้วสุก

RdH
A 338ก
2554

เลขที่.....
เลขทะเบียน 137714
รับเดือน ปี 17 ก.ค. 2558

b. 12697448
i.

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ	การพัฒนาห้องเผาไหม้และระบบการเผาไหม้ในเครื่องยนต์กังหัน ก๊าซขนาดเล็กเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงความร้อนต่ำ		
แหล่งเงิน	งบประมาณรายได้		
ประจำปีงบประมาณ	2557	จำนวนเงินที่ได้รับการอุดหนุน	60,000 บาท
ระยะทำการวิจัย	1 ปี	ตั้งแต่	1 ตุลาคม 2556 ถึง 30 กันยายน 2557
ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ	รศ.ดร. จารุวัตร เจริญสุข		
หน่วยงานต้นสังกัด	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์		
ผู้ร่วมโครงการวิจัย	นางสาวตฤณพร แก้วสุก		
หน่วยงานต้นสังกัด	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้หัวเผาไหม้ชนิดวัสดุพอร์ซเลนและการปรับปรุงหัวฉีดเชื้อเพลิงให้มีความเหมาะสมสำหรับการใช้เชื้อเพลิงก๊าซที่มีค่าความร้อนต่ำเพื่อนำไปใช้ในเครื่องยนต์กังหันก๊าซขนาดเล็ก โดยการใช้ก๊าซหุงต้มผสมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อเป็นตัวอย่างของเชื้อเพลิงก๊าซค่าความร้อนต่ำ ในการศึกษาได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างหัวเผาที่ไม่มีวัสดุพอร์ซเลนและหัวเผาที่มีการนำวัสดุพอร์ซเลนมาประยุกต์ใช้ ซึ่งการทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ศึกษาการเหนี่ยวนำของการอากาศส่วนที่หนึ่ง โดยการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในห้องผสมของอากาศและเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ภายใต้ย่านการทำงานเดียวกัน คือปรับอัตราการไหลของก๊าซหุงต้มที่ 2 L/min และ 3 L/min ซึ่งในย่านอัตราการไหลของก๊าซหุงต้มดังกล่าวจะปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตั้งแต่อย่าน 1 L/min จนถึง 5 L/min สำหรับการทดลองส่วนที่สองคือการศึกษาการเผาไหม้ซึ่งสังเกตความยาว สี และรูปแบบของเปลวไฟรวมถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิตามระดับความสูงภายใต้เงื่อนไขอัตราการไหลเชื้อเพลิงเดียวกันกับการศึกษาส่วนที่หนึ่งและยังมีการปรับอัตราการไหลของอากาศส่วนที่สอง 100 SCFH และ 200 SCFH เพื่อศึกษาผลกระทบต่อการเผาไหม้ จากการทดลองพบว่าในส่วนที่หนึ่งหัวเผาที่ไม่มีวัสดุพอร์ซเลนมีอัตราการเหนี่ยวนำอากาศที่มากกว่าหัวเผาแบบมีวัสดุพอร์ซเลน อุณหภูมิในการเผาไหม้ของหัวเผาวัสดุพอร์ซเลนต่ำกว่าหัวเผาที่ไม่มีวัสดุพอร์ซเลน หัวเผาที่ไม่มีวัสดุพอร์ซเลนนั้นลักษณะของเปลวไฟมีสีฟ้าและสั้นในย่านอัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีที่ต่ำเท่านั้นในขณะที่เปลวไฟที่ได้จากการใช้หัวเผาที่มีวัสดุพอร์ซเลนนั้นให้เปลวไฟที่สั้นเช่นกันรวมถึงวัสดุพอร์ซเลนยังทำหน้าที่กักเก็บความร้อนและเป็น Flame holder เพื่อให้การเผาไหม้ดำเนินไปอย่างต่อเนื่องจึงทำให้เปลวไฟมีเสถียรภาพมากกว่าหัวเผาที่ไม่มีวัสดุพอร์ซเลน เมื่อทำการเปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศส่วนที่สอง 200 SCFH ส่งผลให้อุณหภูมิลดลง

คำหลัก: หัวเผาวัสดุพอร์ซเลน ก๊าซปิโตรเลียมเหลว การเหนี่ยวนำอากาศ การผสมกันก่อนเผาไหม้

Research Title: Development of combustor and combustion system in Micro Gas Turbine Engine for Electrical Generative for Low-Calorific Value Fuel.

Researcher: Assoc. Prof. Dr. Jarruwat Charoensuk

Faculty: Engineering **Department:** Mechanical Engineering

Abstract

This thesis to discuss on performance assessment of porous burner firing fuel low heating value for micro gas turbine engine. This low-calorific fuel is produced by mixing the liquid petroleum gas (LPG) with carbon dioxide (CO_2). For this study, comparison was made on performance between the burner with and without porous flame holder. There are two essential performances aspects being focused, the first aspect is primary air entrainment of burner by measuring the percentage of oxygen in mixing chamber for premixed combustion while adjusting LPG flow rate at 2, 3 and 4 L/min. At each LPG flow rate, adjustment of CO_2 flow rate from 1-5 L/min were made the second aspect concerns with combustion performance such as visible flame feature and temperature distribution. All experiment were conducted with secondary air flow rate of 100 and 200 SCFH . In order to evaluate the effect of secondary air. From experiments. it is found the burner without porous has higher primary air entrainment and higher flue gas temperature but it has shorter and stable flame length in the range low flow rate of LPG at 2 L/min. In addition, porous serve as flame holder for retain heat to help maintain stable combustion.

Keywords: porous burner, liquid petroleum gas, Primary air entrainment, Gas turbine, Premixed combustion

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งเงินทุนอุดหนุนการวิจัย จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 ทำให้งานวิจัยดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยคำแนะนำ ความช่วยเหลือ และการชี้แนะแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. จารูวัตร เจริญสุข

ขอขอบคุณอาจารย์ อาวุธ ลภีรัตนากุล ที่คอยช่วยเหลือให้คำแนะนำที่ดีจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครที่ทำให้ปัญหาที่เกิดขึ้นผ่านไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณนางสาวภรณ์เพ็ญ ลภีรัตนากุล ที่ให้การช่วยเหลือในการทำงานวิจัยรวมทั้งการทำการทดลองต่างๆในการทำวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบคุณนักศึกษาวิศวกรรมเครื่องกล กลุ่มงานวิจัยนี้ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครที่ช่วยเหลือในการสร้างชุดทดลองและช่วยเหลือในการเก็บผลการทดลองจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ บิตา มารดา ที่ให้การสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนและทำวิจัยของผู้วิจัยรวมถึงเป็นกำลังใจและให้คำปรึกษาในการฟันฝ่าปัญหาและอุปสรรคต่างๆเสมอมาและขอขอบคุณผู้ที่ให้การสนับสนุนทุกท่านที่มีได้เอื้อนามมา ณ ที่นี้ด้วย

ถ้าปราศจากบุคคลเหล่านี้ งานวิจัยฉบับนี้คงไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ขออำนาจคุณพระศรีรัตนตรัยอำนวยการพรความสุขสวัสดิ์จึงมีแต่ทุกท่าน

รศ.ดร. จารูวัตร เจริญสุข
นางสาวตฤณพร แก้วสุก

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	II
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีพื้นฐาน	
2.1.1 การเผาไหม้.....	6
2.1.2 การเผาไหม้ทางทฤษฎี.....	6
2.1.3 เชื้อเพลิงก๊าซ.....	8
2.1.4 คุณสมบัติของก๊าซแอลพีจี.....	8
2.1.5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเผาไหม้.....	9
2.1.6 หัวฉีด.....	10
2.1.7 เจ็ท.....	10
2.1.8 เสถียรภาพเปลวไฟ.....	12
2.1.9 วัสดุพอรัน.....	13
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบ	
3.1 เชื้อเพลิงแอลพีจีผสมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....	19
3.2 อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงแอลพีจีผสมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....	22
3.3 ปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่ง.....	21
3.4 ปริมาณอากาศส่วนที่สอง.....	22
3.5 เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 การคำนวณหาค่าความพรุนของวัสดุพรุน.....	24
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
4.1 ระบบการทดลองและอุปกรณ์.....	25
4.2 ส่วนประกอบของหัวฉีด.....	26
4.3 หัวเผาวัสดุพรุน.....	26
4.4 การวัดอุณหภูมิ.....	27
4.5 การวัดก๊าซ.....	28
4.6 วิธีการทดลอง.....	28
บทที่ 5 ผลการทดลอง	
5.1 ลักษณะของเปลวไฟ.....	31
5.2 การกระจายตัวของอุณหภูมิ.....	39
5.3 การกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อปรับเปลี่ยนอากาศส่วนที่สอง.....	42
5.4 การเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่ง.....	45
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	47
6.1.1 การศึกษาการเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่งของหัวฉีด.....	47
6.1.2 การศึกษาสมรรถนะการเผาไหม้.....	47
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	48
บทที่ 7 สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย.....	49
บรรณานุกรม.....	51
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก แบบขึ้นส่วนต่างๆ	
ภาคผนวก ข สรุปค่าใช้จ่ายดำเนินโครงการวิจัย	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของแอลพีจี.....	9
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของ ซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) อะลูมินาออกไซด์ Al_2O_3 และเซอร์โคเนียออกไซด์ (ZrO_2).....	15
ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงลักษณะของเปลวไฟของหัวเผาที่ไม่มีวัสดุพอรุนที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงต่างๆ...31	
ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงลักษณะของเปลวไฟของหัวเผาที่มีวัสดุพอรุนที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงต่างๆ.....35	



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
รูปที่ 2.1 สัญลักษณ์ของหัวฉีดและดีฟิวเซอร์.....	10
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเจ็ทที่พุ่งชนพื้นผิวระนาบ.....	11
รูปที่ 2.3 รูปแบบการกระจายตัวของความเร็วและระดับความปั่นป่วนที่ปากทางออกหัวฉีด.....	11
รูปที่ 2.4 แสดงโปรไฟล์ความเร็วขณะเกิดเปลวไฟย้อนกลับ.....	13
รูปที่ 2.5 แสดงโปรไฟล์ความเร็วขณะเกิดเปลวไฟหลุดลอย.....	13
รูปที่ 2.6 วัสดุพอรุนตามธรรมชาติ ก) ไม้ ข) เนื้อเยื่อปลอดมนุษย์ ค) หินทราย ง) ริงผึ้ง.....	14
รูปที่ 2.7 (a) หัวฉีดเชื้อเพลิงแบบ 3 หัว (b) หัวฉีดเชื้อเพลิงแบบหัวเดียว.....	16
รูปที่ 2.8 (a) การเกิดปฏิกิริยาเมื่อ Premixed 30% (b) การเกิดปฏิกิริยาเมื่อ Non-premixed....	17
รูปที่ 4.1 a. อุปกรณ์การทดลองส่วนที่ไม่มีการเผาไหม้ b. ชุดทดสอบอุปกรณ์เตาเผาไหม้.....	25
รูปที่ 4.2 ส่วนประกอบของหัวฉีดเชื้อเพลิง.....	26
รูปที่ 4.3 หัวเผาวัสดุพอรุนแบบทรงกระบอกเจาะรู.....	27
รูปที่ 4.4 ไดอะแกรมแสดงจุดตรวจวัด.....	27
รูปที่ 4.5 Data logger แสดงผลของอุณหภูมิ.....	28
รูปที่ 4.6 เครื่องวัดก๊าซ.....	28
รูปที่ 4.7 แผนผังการศึกษาสมรรถนะการเผาไหม้.....	29
รูปที่ 5.1 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของหัวเผาที่ไม่มีวัสดุพอรุนโดยใช้อัตราการไหลก๊าซแอลพีจี ที่ 2 L/min.....	39
รูปที่ 5.2 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของหัวเผาที่ไม่มีวัสดุพอรุนโดยใช้อัตราการไหลก๊าซแอลพีจี ที่ 3 L/min.....	40
รูปที่ 5.3 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของหัวเผาที่ไม่มีวัสดุพอรุนโดยใช้อัตราการไหลก๊าซแอลพีจี ที่ 4 L/min.....	40
รูปที่ 5.4 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของหัวเผาวัสดุพอรุนโดยใช้อัตราการไหลก๊าซแอลพีจี ที่ 2 L/min.....	41
รูปที่ 5.5 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของหัวเผาวัสดุพอรุนโดยใช้อัตราการไหลก๊าซแอลพีจีที่ 3 L/min.....	41
รูปที่ 5.6 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของหัวเผาวัสดุพอรุนโดยใช้อัตราการไหลก๊าซแอลพีจีที่ 4 L/min.....	42
รูปที่ 5.7 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของหัวเผาที่ไม่มีวัสดุพอรุนโดยใช้อัตราการไหลก๊าซแอลพีจี ที่ 2 L/min.....	42
รูปที่ 5.8 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของหัวเผาที่ไม่มีวัสดุพอรุนโดยใช้อัตราการไหลก๊าซแอลพีจี ที่ 3 L/min.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.9 แสดงการกระจายตัวของอนุภาคของหัวเผาแบบไม่มีวัสดุพอร์นโดยใช้อัตราการไหลก๊าซ แอลพีจีที่ 4 L/min.....	43
รูปที่ 5.10 แสดงการกระจายตัวของอนุภาคของหัวเผาแบบมีวัสดุพอร์นโดยใช้อัตราการไหลก๊าซ แอลพีจีที่ 2 L/min.....	44
รูปที่ 5.11 แสดงการกระจายตัวของอนุภาคของหัวเผาแบบมีวัสดุพอร์นโดยใช้อัตราการไหลก๊าซ แอลพีจีที่ 3 L/min.....	44
รูปที่ 5.12 แสดงการกระจายตัวของอนุภาคของหัวเผาแบบมีวัสดุพอร์นโดยใช้อัตราการไหลก๊าซ แอลพีจีที่ 4 L/min.....	45
รูปที่ 5.13 แสดงการเหนี่ยวนำอากาศเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ของหัวเผาแบบไม่มีวัสดุ พอร์น.....	45
รูปที่ 5.14 แสดงการเหนี่ยวนำอากาศเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ของหัวเผาแบบมีวัสดุ พอร์น.....	46
รูปที่ 7.1 ชุดทดลอง.....	49
รูปที่ 7.2 ชุดป้อนเชื้อเพลิง.....	50
รูปที่ 7.3 หัวเผาเชื้อเพลิง 2 แบบ.....	50
รูปที่ ก.1 ส่วนประกอบของชุดทดลอง.....	54
รูปที่ ก.2 ห้องเผาไหม้.....	55
รูปที่ ก.3 ห้องผสม.....	56
รูปที่ ก.4 หัวฉีด.....	57
รูปที่ ก.5 เข็มหัวฉีด.....	58
รูปที่ ก.6 เสื้อหัวฉีด.....	59
รูปที่ ก. 7 ฝาปิดท้ายหัวฉีด.....	60
รูปที่ ก. 8 ตัวปรับระยะเข็ม.....	61
รูปที่ ก.9 แผ่นจัดระเบียบการไหลของอากาศ.....	62
รูปที่ ก.10 ทางเข้าสำหรับอากาศส่วนที่ 2.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากสถานการณ์ราคาที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็วที่ผ่านมาทำให้ประเทศต้องจัดหาพลังงานทดแทนเพื่อใช้ทดแทนแหล่งพลังงานที่ได้จากฟอสซิล อาทิเช่น ปิโตรเลียม, ก๊าซธรรมชาติและถ่านหินซึ่งภาครัฐมีมาตรการและนโยบายที่สนับสนุนให้มีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะการใช้พลังงานทดแทนที่ผลิตได้จากภายในประเทศประกอบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานลม, พลังน้ำ, ชีวมวล, ก๊าซชีวภาพ, ชยะและเชื้อเพลิงชีวภาพ ซึ่งนโยบายด้านพลังงานที่เน้นไปในทางสนับสนุนการนำพลังงานทดแทนมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ 2555-2564) ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน[1] ซึ่งมุ่งเป้าไปที่การใช้พลังงานจากชีวมวลจากผลผลิตทางการเกษตรเป็นส่วนใหญ่เนื่องจากประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมจึงทำให้มีชีวมวลที่เป็นวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก

เครื่องยนต์กังหันก๊าซเป็นเทคโนโลยีการแปรรูปพลังงานจากเชื้อเพลิงเหลวหรือก๊าซ ให้กลายเป็นพลังงานกลชนิดหนึ่ง ซึ่งได้มีการนำมาใช้มากขึ้นในโรงงานผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมเนื่องจากข้อได้เปรียบทางด้านประสิทธิภาพและการปลดปล่อยมลพิษที่ต่ำกว่าเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าแบบเดิม เช่น ในระบบเตาเผาไหม้ที่ใช้ร่วมกับหม้อต้มไอน้ำและกังหันไอน้ำเพียงอย่างเดียว

ในปัจจุบันเครื่องยนต์กังหันแก๊สขนาดเล็กได้มีการศึกษาวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง[3-8] ตั้งแต่การศึกษาออกแบบจนถึงการสร้างเครื่องยนต์กังหันแก๊สขนาดเล็กต้นแบบเพื่อใช้ในการทดสอบโดยมีเป้าหมายเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์กังหันแก๊สขนาดเล็กเพื่อสามารถนำไปใช้ได้จริงสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าในระดับชุมชนเนื่องจากเครื่องยนต์กังหันแก๊สขนาดเล็กนั้นเป็นเครื่องยนต์ที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยเหตุเพราะเครื่องยนต์กังหันแก๊สมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าและสามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลากหลายเช่น ก๊าซธรรมชาติ, โพรเพน, ดีเซล, ก๊าซสังเคราะห์จากชีวมวล เป็นต้น ซึ่งก๊าซสังเคราะห์ที่ได้จากวัสดุชีวมวลซึ่งมีค่าความร้อนต่ำนั้นมาใช้แทนเชื้อเพลิงในปัจจุบันได้อีกทั้งตอบสนองเป้าหมายการใช้พลังงานในระดับชุมชน

ในการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ในเครื่องยนต์แก๊สเทอร์โบนั้นเราจำเป็นต้องทำให้อยู่ในรูปของก๊าซเชื้อเพลิง (Gasifier) หรือก๊าซสังเคราะห์ (Synthetic gas) ซึ่งเป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากเป็นก๊าซสังเคราะห์ที่ได้มาจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) ซึ่งเป็นระบบการเผาไหม้ในเครื่องแก๊สซิไฟเออร์ (Gasifier) โดยควบคุมอากาศไหลเข้าในปริมาณจำกัด ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะได้ก๊าซเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบเป็นก๊าซติดไฟคือ มีเทน (CH_4), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ไฮโดรเจน (H_2) และไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ

ที่ผ่านมาในกลุ่มวิจัยเครื่องยนต์กังหันก๊าซของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังนั้นได้มีการวิจัยโดยการฉีดก๊าซหุงต้มผสมกับก๊าซไนโตรเจนเพื่อลดค่าความร้อนให้ใกล้เคียงกับค่าความร้อนของก๊าซสังเคราะห์จากวัสดุชีวมวล[4]แต่ไม่ประสบความสำเร็จเนื่องจากเปลวไฟเกิดการหลุดลอยระหว่างการเผาไหม้เนื่องจากหัวฉีดเชื้อเพลิงที่ใช้ใช้นั้นไม่ใช่หัวฉีดเชื้อเพลิงสำหรับเชื้อเพลิงความร้อนต่ำโดยตรงดังนั้นสำหรับงานวิจัยนี้มีเป้าหมายมุ่งเน้นในการศึกษาการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้โดยใช้เชื้อเพลิงก๊าซจากชีวมวลซึ่งมีค่าความร้อนต่ำในเครื่องยนต์กังหันก๊าซขนาดเล็ก โดยใช้ก๊าซหุงต้มผสมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แทนก๊าซสังเคราะห์ที่ได้จากวัสดุชีวมวลเพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตพลังงานในระยะยาวของประเทศตลอดจนนำไปสู่ระดับชุมชน แต่ปัญหาที่สำคัญนั้นคือก๊าซเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่ำนั้นเมื่อนำมาใช้ในการเผาไหม้ทำให้ต้องจ่ายก๊าซเข้าสู่ห้องเผาไหม้ในปริมาณมากกว่าเชื้อเพลิงที่ความร้อนสูง อาทิเช่น แก๊ส NGV (Natural Gas for Vehicles) และ แก๊ส LPG (Liquefied Petroleum Gas) ทำให้เกิดปัญหาในการควบคุมการเผาไหม้ให้มีประสิทธิภาพและมีเสถียรภาพ[2] และจากการศึกษาที่ผ่านมาได้พบว่าการเผาไหม้นั้นอาศัยปัจจัยหลัก ได้แก่ เชื้อเพลิงและอากาศ ซึ่งในการเผาไหม้นั้นจะมีเกิดการมีเสถียรภาพนั้นการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสม สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้เชื้อเพลิงแก๊สที่มีค่าความร้อนต่ำโดยจำลองจากการนำแก๊สหุงต้มผสมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตราส่วน 40% LPG 60% CO₂ จากงานวิจัยที่ผ่านมาปรากฏว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จะส่งผลต่อความมีเสถียรภาพของเปลวไฟ และไม่สามารถลดค่าความร้อนของแก๊สหุงต้มให้ลดลงเทียบเท่ากับค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแก๊สจากชีวมวลได้ ซึ่งจากในอดีตจนถึงปัจจุบัน แม้จะมีผู้วิจัยค้นพบกรรมวิธีในการเพิ่มเสถียรภาพของการเผาไหม้อยู่หลายวิธี แต่จากการคำนึงถึงงบประมาณและช่วงเวลาจำกัด กลุ่มผู้วิจัยจึงเลือกการใช้วัสดุพ่นที่ติดตั้งกับหัวเผาเชื้อเพลิงเนื่องจากเป็นกรรมวิธีที่ใช้ต้นทุนต่ำโดยคำนึงถึงการช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้การเผาไหม้อีกทั้งยังช่วยลดมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ประยุกต์ใช้หัวเผาไหม้ชนิดวัสดุพ่น และปรับปรุงหัวฉีดเชื้อเพลิง ให้มีความเหมาะสมสำหรับการใช้เชื้อเพลิงก๊าซที่มีค่าความร้อนต่ำในเครื่องยนต์กังหันก๊าซขนาดเล็ก

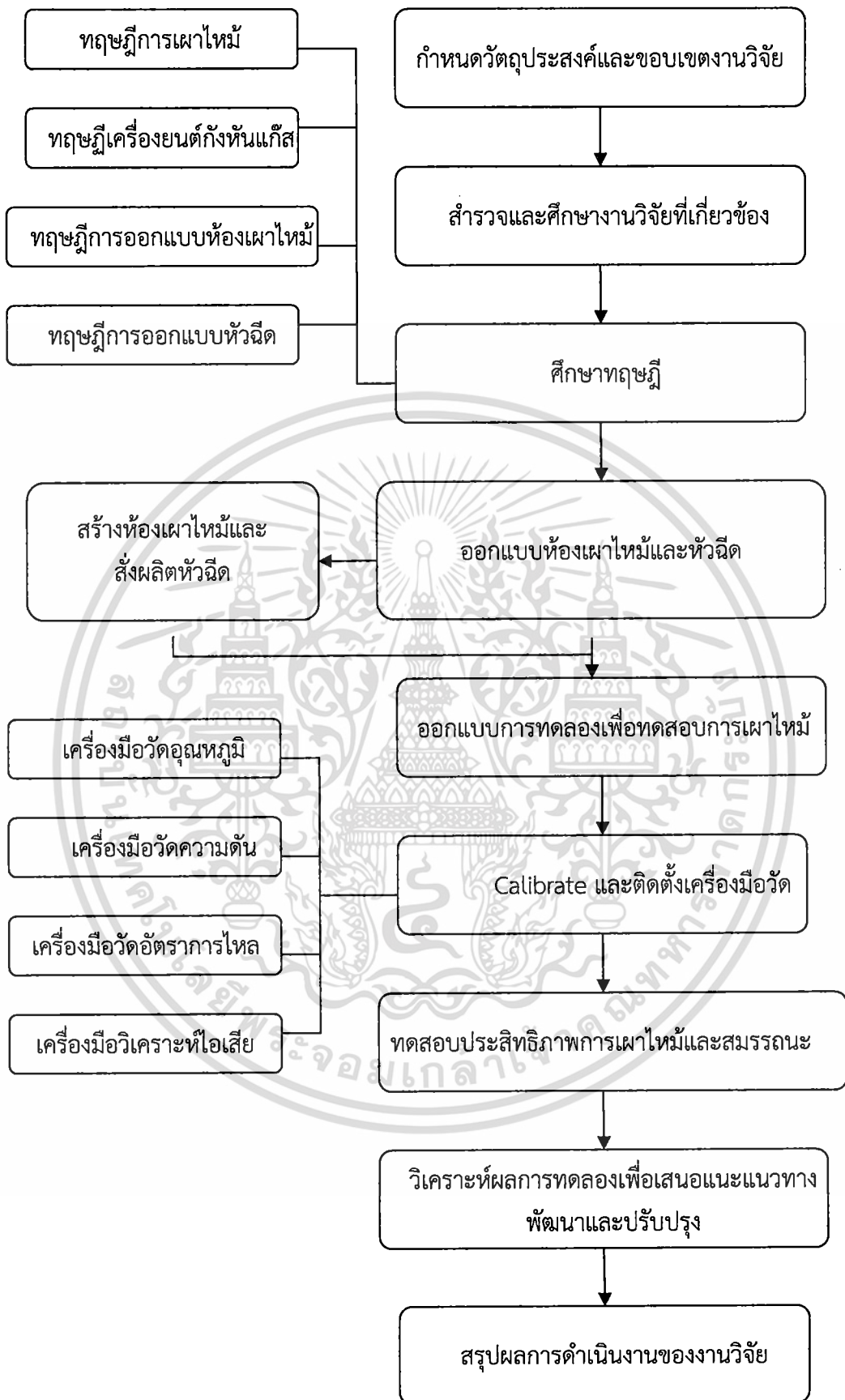
1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการสร้างชุดทดลองเพื่อศึกษาการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้โดยการใช้หัวฉีดเชื้อเพลิงสำหรับเชื้อเพลิงค่าความร้อนต่ำซึ่งมีวัสดุพ่นร่วมด้วย
2. ปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเพื่อสังเกตความเสถียรของเปลวไฟและลักษณะการเผาไหม้
3. เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่ำโดยที่จะใช้ก๊าซหุงต้มผสมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อัตราส่วน 40:60
4. ทำการผสมเชื้อเพลิงกับอากาศก่อนการเผาไหม้

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. กำหนดหัวข้อ, วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย
2. สืบค้นและศึกษางานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง
3. ศึกษาทฤษฎีการเผาไหม้ หลักการออกแบบห้องเผาไหม้และหัวฉีดเชื้อเพลิงรวมถึงหลักการคำนวณและแบบจำลองการไหลในรูปแบบต่างๆที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย
4. ออกแบบห้องเผาไหม้และหัวฉีดเชื้อเพลิงที่มีความเหมาะสมสำหรับเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่ำและทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อสังเกตพฤติกรรมที่เกิดขึ้นรวมถึงการแก้ปัญหาของการออกแบบที่ทราบจากผลการจำลอง
5. สร้างห้องเผาไหม้ต้นแบบหัวฉีดเชื้อเพลิงเพื่อทำการทดสอบการเผาไหม้ก่อนการสั่งผลิต
6. Calibrate และติดตั้งชุดเครื่องมือวัด
7. ทำการทดสอบประสิทธิภาพและสมรรถนะของการเผาไหม้ตามเงื่อนไขที่กำหนด
9. วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อพัฒนาและปรับปรุง
10. สรุปผลการดำเนินโครงการ





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้หัวเผาที่เหมาะสมสำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงค่าความร้อนต่ำสำหรับฉีดเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ที่สามารถเหนี่ยวนำอากาศก่อนการเผาไหม้อย่างเพียงพอ ทำให้เปลวไฟมีความเสถียรในย่านการใช้งาน
2. นำความรู้ที่ได้ในการศึกษาพฤติกรรมของการไหลและพฤติกรรมของการเผาไหม้ของเครื่องยนต์กังหันแก๊สขนาดเล็กมาประยุกต์ใช้ ในกรณีที่มีการใช้ก๊าซชีวภาพในภาคครัวเรือน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1.1 การเผาไหม้ [3],[5],[11],

การเผาไหม้ (combustion) เป็นปฏิกิริยาเคมีระหว่างโมเลกุลของเชื้อเพลิงกับโมเลกุลของออกซิเจน ซึ่งปฏิกิริยาเคมีระหว่างโมเลกุลของเชื้อเพลิงกับโมเลกุลของออกซิเจนจากอากาศที่สถานะก๊าซแบบเนื้อเดียวกันเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงภายในเวลาอันรวดเร็วและเป็นปฏิกิริยาที่มีความซับซ้อนและขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพและทางเคมีของสภาวะตั้งต้น ปฏิกิริยาการเผาไหม้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีปัจจัยครบทั้งสามอย่าง ได้แก่ สารตั้งต้นที่เข้าทำปฏิกิริยา คือ

1. เชื้อเพลิง

2. ออกซิเจน

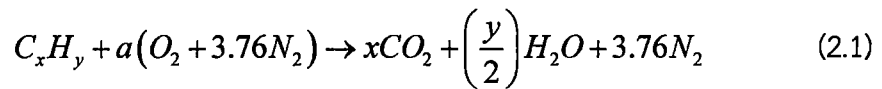
3. สภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้อย่างต่อเนื่องสมบูรณ์ เช่น มีแหล่งความร้อนประกายไฟ หรือ การสร้างสภาวะกดดันให้ความดันสูงอุณหภูมิสูง เพื่อจุดติดไฟ

เปลวไฟ (flame) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการเผาไหม้ คือบริเวณบางๆที่เกิดปฏิกิริยาเคมีการคายความร้อน (Exothermic chemical reaction) อย่างรวดเร็ว โดยการเผาไหม้สามารทำให้เปลวไฟได้สองแบบคือเปลวไฟแบบผสมกันมาก่อน (Premixed flame) และเปลวไฟแบบแพร่ (diffusion flame) แต่ละแบบอาจจำแนกได้เป็นเปลวไฟแบบอยู่นิ่ง (stationary flame) และเปลวไฟลุกลามเคลื่อนที่ (propagating flame) และเปลวไฟต้องมีความเร็วในการเผาไหม้ (burning velocity) อาจเป็นความเร็วการเผาไหม้แบบราบเรียบ (Laminar burning velocity) หรือความเร็วการเผาไหม้แบบปั่นป่วน (Turbulent burning velocity) ซึ่งปฏิกิริยาการเผาไหม้เกิดขึ้นในอัตราเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนและอุณหภูมิของการเข้าทำปฏิกิริยา เป็นต้น

การศึกษาเกี่ยวกับการเผาไหม้จำเป็นต้องมีความเข้าใจในพื้นฐานทางอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) จลศาสตร์เคมี (Chemical kinetics) กระบวนการขนถ่าย (Transport phenomena) และกลศาสตร์ของไหล (fluid mechanics) ซึ่งเป็นศาสตร์พื้นฐาน 4 สาขาที่สำคัญเพื่ออธิบายปรากฏการณ์เกี่ยวกับการเผาไหม้

2.1.2 การเผาไหม้ทางทฤษฎี (Stoichiometry combustion)

เป็นการคำนวณปริมาณออกซิเจนที่พอดีในการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ดังนั้นถ้าปริมาณออกซิเจนมากกว่าสตอยชิโอเมตริกหมายความว่าเผาไหม้นั้นมีส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงแบบบาง (Lean mixture) ในทางกลับกันเมื่อมีปริมาณออกซิเจนน้อยกว่าสตอยชิโอเมตริกหมายความว่าส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงแบบหนา (Rich mixture) การหาความสัมพันธ์แบบสตอยชิโอเมตริกทำได้โดยการเขียนสมการเผาไหม้ สำหรับเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนสามารถหาได้ดังนี้



เมื่อ

$$a = \frac{x+y}{4}$$

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

$$(A/F)_{stoi} = \left(\frac{m_{air}}{m_{fuel}}\right)_{stoi} = \frac{4.76 MW_{air}}{1 MW_{fuel}} \quad (2.2)$$

นอกจากนี้ยังมีปริมาณที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ดังนี้

- อัตราส่วนสมมูล (Equivalent ratio, Φ) เป็นค่าที่บ่งบอกส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$\Phi = \frac{(A/F)_{stoi}}{(A/F)_{actual}} = \frac{(F/A)_{actual}}{(F/A)_{stoi}} \quad (2.3)$$

เมื่อ

$\Phi > 1$ ส่วนผสมหนา

$\Phi < 1$ ส่วนผสมบาง

$\Phi = 1$ ส่วนผสมพอดี

- เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (Percent excess air) เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินเป็นปริมาณบ่งบอกให้ทราบว่าปริมาณอากาศส่วนเกินกี่เปอร์เซ็นต์โดยคิดจากอากาศทางทฤษฎีที่มีค่าเท่ากับ 100

$$\%excess\ air = \frac{(1-\Phi)}{\Phi} \times 100\% \quad (2.4)$$

2.1.3 เชื้อเพลิงก๊าซ [5],[11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อเพลิงก๊าซนิยมใช้ในอุตสาหกรรมและชีวิตประจำวันทั่วไปเนื่องจากมีความสะดวกและสะอาดในการนำมาใช้ เชื้อเพลิงแก๊สมีหลายประเภทและที่มาจากหลากหลายแหล่ง

- ก๊าซปิโตรเลียมเหลว

ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied petroleum gas, LPG) ประกอบด้วยก๊าซไฮโดรคาร์บอน 2-3 ชนิดหลักๆ ได้แก่ อีเทน, โพรเพนและบิวเทน รวมถึงก๊าซเหลวจากกระบวนการกลั่น เอธิลีน โพรพิลีนและบิวทิลีน ก๊าซเหล่านี้ได้มาจากกระบวนการกลั่นแยกน้ำมันปิโตรเลียมหรือการกลั่นแยก ก๊าซจากโรงกลั่นน้ำมันหรือโรงแยกก๊าซธรรมชาติ ก๊าซปิโตรเลียมบริสุทธิ์ไม่มีสีไม่มีกลิ่น ในการผลิต จำหน่ายมีการเติมสารประกอบที่มีกลิ่นลงไป ก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีสภาพเป็นก๊าซที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศมีความหนาแน่นหนักกว่าอากาศเมื่อถูกกดอัดด้วยความดันประมาณ 7 บาร์จะมีสภาพเป็นของเหลวเพื่อสะดวกต่อการกักเก็บและขนส่ง

- ก๊าซธรรมชาติ ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนชนิดต่างๆ โดยมีมีเทนเป็นหลัก ที่เหลือเป็น องค์ประกอบส่วนน้อย ซึ่งก๊าซธรรมชาติมักถูกพบบริเวณหินพูนเหนือแหล่งน้ำมันและถูกอัดด้วยความดันสูงอยู่ใต้ดิน สามารถนำมาใช้โดยการอัดและหล่อเย็นจนกระทั่งสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ตัวหนักๆกลายเป็นของเหลวจากนั้นจึงแยกก๊าซธรรมชาติแห้งความดันสูงส่งต่อไปตามท่อเพื่อใช้งาน

- ก๊าซสังเคราะห์ (synthetic gas หรือ producer gas) เกิดจากการกักอากาศหรือใส่อากาศ ที่มีปริมาณน้อยกว่าปริมาณที่ต้องการตามทฤษฎีในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ผ่านไปยังชั้นเชื้อเพลิงแข็ง ร้อนๆซึ่งอาจจะเป็นถ่านหิน ไม้ฟืน เศษวัสดุทางการเกษตร ที่กำลังเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง 500 องศาเซลเซียสขึ้นไปในอุปกรณ์ชนิดนี้ โครงสร้างโมเลกุลของเชื้อเพลิงแข็งสลายตัวได้ออกมาเป็นสารระเหย โมเลกุลเบา ก๊าซสังเคราะห์มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน ไฮโดรเจน และ ไนโตรเจน ถ้าใช้ออกซิเจนแทนอากาศจะทำให้ได้ก๊าซสังเคราะห์ที่มีค่าความร้อนเพิ่มขึ้น กระบวนการผลิตก๊าซสังเคราะห์ทำไปเพื่อแปลงสภาพเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงที่สะอาดและสะดวกต่อการใช้งาน

2.1.4 คุณสมบัติของก๊าซแอลพีจี

ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน ที่มีส่วนประกอบของคาร์บอน C3 และ C4 ใน 1 โมเลกุล ไฮโดรคาร์บอนกลุ่มนี้ประกอบด้วย

โพรเพน	(propane)	C_3H_8
โพรพิลีน	(propylene)	C_3H_6
บิวเทน	(butane)	C_4H_{10}
บิวทิลีน	(butylene)	C_4H_8

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ปรากฏอยู่ในส่วนผสมของก๊าซปิโตรเลียมเหลว อาจแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ พวุกไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (saturated hydrocarbon) และไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (unsaturated hydrocarbon)

- คุณสมบัติทางกายภาพ

เมื่อพิจารณาในสถานะของเหลว เนื่องจากแอลพีจีนั้นมีจุดเดือดต่ำมาก คือโพรเพน - 42 °C บิวเทน -0.5 °C ไอโซบิวเทน -11.72 °C ดังนั้นจะมีจุดเดือดและมีสถานะเป็นก๊าซที่ความดันบรรยากาศที่อุณหภูมิห้อง สำหรับการนำมาใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นบรรยากาศเว้นแต่จะถูกอัดอยู่ภายในถัง ค่าความดันที่ทำให้เป็นของเหลวคือความดันของแอลพีจีเอง

เมื่อพิจารณาในสถานะก๊าซช่วงการลุกไหม้ก๊าซที่เผาไหม้ได้มีช่วงส่วนผสมกับอากาศเพียงช่วงเดียวที่จุดไฟและลุกไหม้ได้เพราะอากาศผสมอยู่ในปริมาณที่พอเหมาะช่วงการลุกไหม้จะแสดงค่าเป็นร้อยละของปริมาตรก๊าซต่ออากาศ ค่าความเข้มข้นสูงสุดของการลุกไหม้เรียกว่าขอบบน ส่วนค่าต่ำสุดเรียกว่าขอบล่าง แอลพีจีเป็นของผสมระหว่างโพรเพนกับบิวเทน โดยโพรเพนมีช่วงลุกไหม้ 9.5-2.4% ในอากาศและบิวเทนมีช่วงการลุกไหม้ 8.4-1.8% ถ้าส่วนผสมมากหรือน้อยกว่านี้จะไม่ติดไฟ

- ค่าความร้อนของการเผาไหม้

ค่าความร้อนของการเผาไหม้คือปริมาณความร้อนที่เกิดจากการนำเอาก๊าซแอลพีจี 1 หน่วยน้ำหนัก หรือ 1 หน่วยปริมาตรมาทำการเผาไหม้ที่ความดันและอุณหภูมิปกติ

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของแอลพีจี [5]

description	Units	LPG
Ignition temperature	$^{\circ}C$	450
Flameability Limit	%	2.1-9.5
Stoichiometry Air-Fuel ratio	-	15.7
Flame Temperature	$^{\circ}C$	1,990
Heat of combustion , HHV	MJ / m^2	2.5×10^7
Heat of combustion , LHV	MJ / m^2	2.3×10^7

2.1.5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเผาไหม้

- ปริมาณอากาศที่เพียงพอต่อการเผาไหม้ (Sufficient air to combustion) ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงให้สมบูรณ์จำเป็นต้องมีสัดส่วนของอากาศหรือออกซิเจนที่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาเผาไหม้โดยปริมาณอากาศที่น้อยที่สุดที่สามารถทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์เรียกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎี

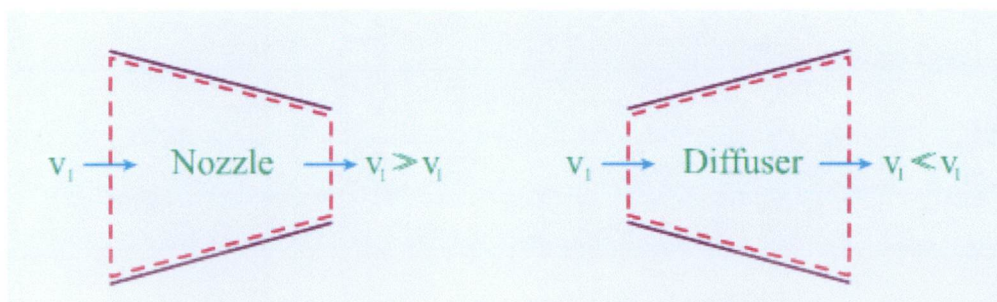
- ระยะเวลาในการเผาไหม้ (Burning time) เนื่องจากในการทำปฏิกิริยาจำเป็นต้องอาศัยเวลาเพื่อที่จะทำให้ได้ปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ซึ่งหากระยะเวลาในการเผาไหม้ไม่เพียงพอจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงต่ำและนับว่าเป็นการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงด้วย

- ความปั่นป่วนระหว่างการเผาไหม้ (Turbulent) เนื่องจากในการเผาไหม้นั้นเป็นการทำปฏิกิริยาของเชื้อเพลิงและออกซิเจนในอากาศซึ่งหากระหว่างการเผาไหม้มีความปั่นป่วนเกิดขึ้นจะทำให้เกิดการคลุกเคล้ากันอย่างดีของเชื้อเพลิงและออกซิเจนทำให้โอกาสที่ออกซิเจนจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงและเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มีมากขึ้น

2.1.6 หัวฉีด (Injection) [4]

หัวฉีดเป็นอุปกรณ์ที่ใช่เพื่อเพิ่มความเร็วของสารทำงานส่วนดีฟิวเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะการทำงานตรงข้ามกับหัวฉีดคือจะทำให้สารทำงานที่ไหลผ่านอุปกรณ์ชนิดนี้มีความเร็วลดลง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีฟิวเซอร์ได้ถูกออกแบบมาเพื่อเพิ่มความดันให้แก่ของไหลโดยการเปลี่ยนรูปพลังงานจลน์ให้อยู่ในรูปความดันของของไหลสำหรับสัญลักษณ์ของหัวฉีดดีฟิวเซอร์เป็นดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สัญลักษณ์ของหัวฉีดและดีฟิวเซอร์

การพิจารณาตัวแปรต่างๆ ในสมการอนุรักษ์พลังงานสำหรับการทำงานของหัวฉีดและมีหลักเกณฑ์ดังนี้

$\dot{Q} \cong 0$ อัตราการถ่ายโอนระหว่างอุปกรณ์ที่เป็นหัวฉีดกับสิ่งแวดล้อม มักจะมีปริมาณต่ำมา แม้ว่าอุปกรณ์จะไม่มีการทำงานก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากสารทำงานจะไหลผ่านอุปกรณ์อย่างรวดเร็วการถ่ายโอนความร้อนจึงเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งโดยปกติจะไม่นำพลังงานส่วนนี้มาพิจารณาหรืออาจกล่าวได้ว่ากระบวนการในหัวฉีดเป็นกระบวนการแอดิเอแบติก

$\dot{W} \cong 0$ ในการทำงานของหัวฉีดไม่มีพลังงานในรูปงาน (Work) ใด เกี่ยวข้องในกระบวนการ $\Delta ke \neq 0$ ผลจากการทำงานของหัวฉีดจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างมาก นั่นคือการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ในระหว่างกระบวนการย่อมจะสูงตามไปด้วย และการเปลี่ยนแปลงพลังงานส่วนนี้ถือว่าเกิดจากหลักในการทำงานของอุปกรณ์

$\Delta pe \cong 0$ เนื่องจากระดับทางเข้าและทางออกของอุปกรณ์หัวฉีดจะต่างกันเพียงเล็กน้อย หรือไม่ต่างกันเลย ดังนั้นจึงไม่มีการคิดผลจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์

2.1.7 เจ็ต (Jet)

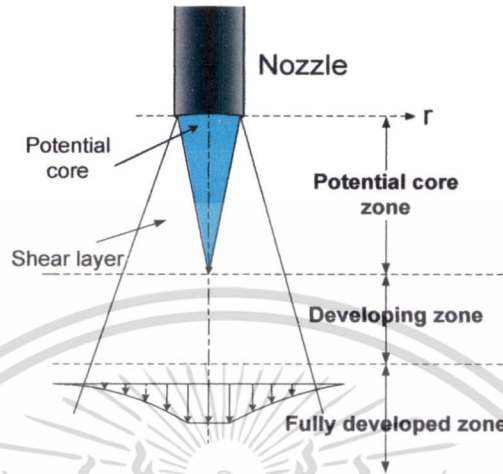
เจ็ต คือ ของไหลที่มีความเร็วพุ่งออกจากหัวฉีดสู่ของไหลที่อยู่รอบๆ โดยที่บริเวณแกนกลางของเจ็ตจะมีความเร็วสูงสุด และความเร็วของเจ็ตจะลดลงอย่างต่อเนื่องในแนวแกนรัศมีของหน้าตัดเจ็ต โดยปกติแล้ว โครงสร้างของเจ็ตอิสระสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

- Potential core zone เป็นบริเวณที่เจ็ตเริ่มออกจากหัวฉีด มีความเร็วของเจ็ตคงที่เกือบเท่ากับความเร็วที่ปากทางออกของหัวฉีดหลังจากที่เจ็ตพุ่งออกจากหัวฉีดเนื่องจากแรงหนืดที่เกิดจากผลต่างของความเร็วระหว่างเจ็ตกับของไหลที่หยุดนิ่งอยู่รอบๆ ทำให้บริเวณส่วนของ Potential core ของเจ็ตมีขนาดเล็กกลวงและของไหลบริเวณรอบเจ็ตถูกดูดให้มีความเร็วเพิ่มขึ้นหน้าตัดของเจ็ตจึงขยายตัวกว้างขึ้นตามระยะที่ห่างจากปากทางออกบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วในหน้าตัดเจ็ตจาก Potential core จนถึงบริเวณที่ของไหลหยุดนิ่งอยู่กับที่เรียกว่า Shear layer ยิ่งห่างจากปากทางออกหัวฉีด ความหนาของ Shear layer จะเพิ่มขึ้นและ Potential core จะลดลง

- Developing zone เป็นช่วงที่ Potential core หดไปและเป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของความเร็วภายในเจ็ตโดยความเร็วภายในเจ็ตจะค่อยๆ ลดลงและมีการขยายตัวของหน้าตัดเจ็ตในแนวแกนรัศมี ค่าความแปรปรวน (Turbulent intensity) ที่แกนของเจ็ตจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นในช่วงนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

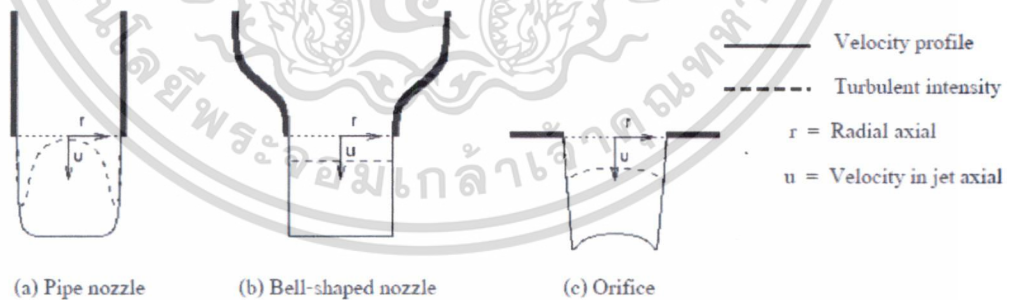
- Fully developed zone เป็นบริเวณต่อจาก Developing zone ของเจ็ทที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วภายในเจ็ทอย่างสมบูรณ์แล้วในบริเวณนี้โมเมนตัมของเจ็ทจะยังคงลดลงเมื่อห่างออกมาจากหัวฉีดมากขึ้น



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเจ็ทที่พุ่งชนพื้นผิวระนาบ

- ชนิดของหัวฉีดเจ็ท

รูปที่ 2.2 แสดงการกระจายความเร็ว (Velocity profile) และระดับความปั่นป่วน (Turbulent intensity) ของเจ็ทที่ตำแหน่งปากทางออกของหัวฉีด 3 แบบที่นิยมใช้ทั่วไป จากรูปพบว่าชนิดของหัวฉีดเจ็ทจะมีผลต่อโครงสร้างของเจ็ทของไหลที่ฉีดออกมา



รูปที่ 2.3 รูปแบบการกระจายตัวของความเร็วและระดับความปั่นป่วนที่ปากทางออกหัวฉีด

กรณีหัวฉีดแบบ Pipe nozzle เจ็ทของไหลจะถูกฉีดออกจากท่อยาวที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ การกระจายตัวของความเร็วที่ปากทางออกจะมีลักษณะเหมือนกับการกระจายความเร็วของของไหลในท่อ ดังแสดงในรูป 2.3(a) ส่วนระดับความปั่นป่วนจะค่อนข้างสูงบริเวณใกล้ขอบท่อของท่อ

กรณีหัวฉีดแบบ Bell-shaped nozzle เจ็ทของไหลจะถูกฉีดออกจากหัวฉีดที่มีลักษณะคล้ายระฆังที่มีการเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดก่อนเจ็ทไหลออกจากปากทางออกจึงมีผลทำให้การ

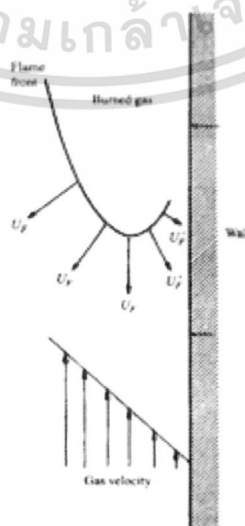
กระจายตัวของความเร็วที่ปากทางออกค่อนข้างที่จะสม่ำเสมอ และระดับความปั่นป่วนที่ปากทางออกเจ็ทค่อนข้างต่ำและสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูป 2.3(b)

กรณีหัวฉีดแบบOrifice เจ็ทของไหลจะถูกฉีดออกจากรูเจ็ทที่เจาะบนแผ่นบาง ที่ปากทางออกเจ็ทความเร็วบริเวณใกล้ขอบเจ็ทจะสูงกว่าบริเวณกลางเจ็ทและเจ็ทของไหลจะมีความเร็วเพิ่มขึ้นในบริเวณใกล้ปากทางออก เกิดปรากฏการณ์ Vena contract เนื่องจากทำให้พื้นที่หน้าตัดของเจ็ทที่ออกจากปากทางออกลดลง ในกรณีนี้ระดับความปั่นป่วนที่ปากทางออกจะค่อนข้างสูงและสม่ำเสมอเมื่อเทียบกับหัวฉีดแบบอื่น ดังแสดงในรูป 2.3(c)

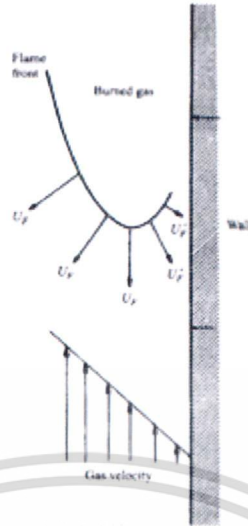
2.1.8 เสถียรภาพเปลวไฟ (Flame stability)

สิ่งสำคัญที่ควรหลีกเลี่ยงในการออกแบบหัวเผาก๊าซ คือปรากฏการณ์เปลวไฟย้อนกลับและเปลวไฟหลุดลอย (lift off) เปลวไฟย้อนกลับคือปรากฏการณ์ที่เปลวไฟลามไปในท่อผสมโดยไม่ดับซึ่งไม่เพียงสร้างความรำคาญเท่านั้นแต่ยังเป็นสาเหตุของการระเบิดเนื่องมาจากการขยายปริมาตรของก๊าซและเปลวไฟหลุดลอยคือปรากฏการณ์ที่เกิดช่องว่างระหว่างฐานของเปลวไฟและท่อ แต่ในขณะเดียวกันก็ยังสามารถเผาไหม้อยู่ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เมื่อก๊าซผสมไหลออกจากช่องระหว่างเปลวไฟกับท่อและทำให้จุดติดไฟยาก ถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดีหลักการของทั้งสองปรากฏการณ์นี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของความเร็วเปลวไฟแบบลามินาร์ในแต่ละกรณี จากรูปที่ 2.4 แสดงถึง โพรไฟล์เวกเตอร์ของเปลวไฟย้อนกลับ โดยมากมักเกิดขึ้นระหว่างการหรี่หรือหยุดการป้อนเชื้อเพลิง ทำให้ความเร็วของเปลวไฟมีมากกว่าอัตราการไหลของผสมส่งผลให้เปลวไฟลามไปยังต้นทางมากกว่าที่จะดับ ดังนั้นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องได้แก่ ชนิดของเชื้อเพลิง อัตราส่วนผสม อัตราการไหลและลักษณะทางกายภาพของหัวเผา เป็นต้น

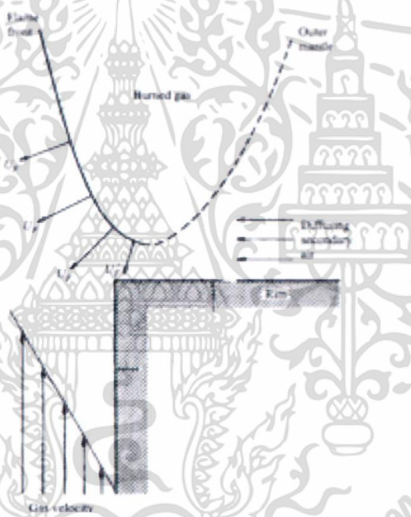
เราสามารถกล่าวได้ว่าปรากฏการณ์เปลวไฟหลุดลอยนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของเปลวไฟและอัตราการไหลบริเวณขอบของหัวเผาคือเมื่อพิจารณาให้เปลวไฟมีเสถียรภาพที่ขอบของหัวเผาที่อัตราการไหลต่ำ ฐานของเปลวไฟจะอยู่ติดกับหัวเผา แต่เมื่อเพิ่มอัตราการไหล จะสังเกตเห็นว่ามุมของโคนเปลวไฟมีขนาดเล็กลงและเริ่มออกห่างจากหัวเผาเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าเปลวไฟหลุดลอย ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และถ้าเพิ่มอัตราการไหลไปเรื่อยๆจะทำให้เกิดการเป่าดับ ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงโปรไฟล์ความเร็วขณะเกิดเปลวไฟย้อนกลับ



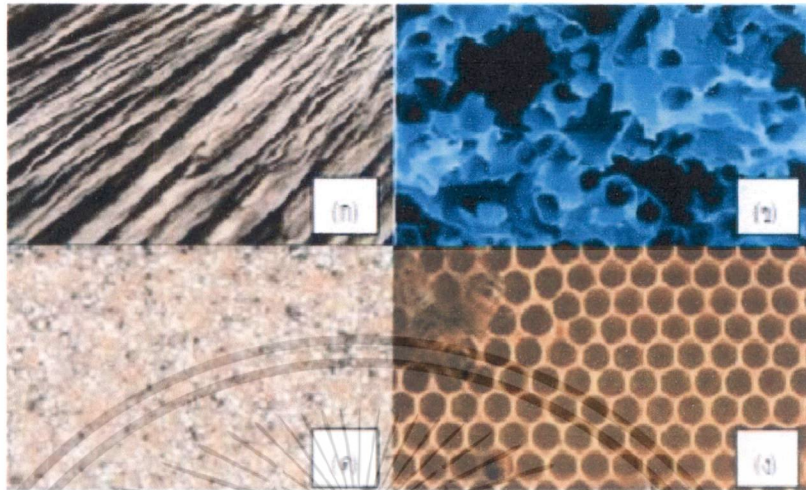
รูปที่ 2.5 แสดงโปรไฟล์ความเร็วขณะเกิดเปลวไฟหลุดลอย

2.1.9 วัสดุพอรุน [12]

วัสดุพอรุนคือของแข็งที่ภายในเนื้อวัสดุมีช่องว่างหรือรูพอรุนที่เชื่อมต่อกันเป็นโครงข่าย วัสดุพอรุนตามธรรมชาติเช่นไม้เนื้อเยื่อปอดของมนุษย์หินทรายและรังผึ้ง (แสดงดังรูปที่2.6) สมบัติที่สำคัญของวัสดุพอรุนคือมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง (Area to volume ratio) ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนสูงอีกทั้งวัสดุพอรุนเป็นของแข็งที่มีค่าการนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนสูงทำให้วัสดุพอรุนสามารถเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนได้ดีระหว่างความร้อนในรูปของการพาและการแผ่รังสีจึงกล่าวได้ว่าวัสดุพอรุนเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ที่มีประสิทธิภาพสูงและมีขนาดกะทัดรัดอย่างไรก็ตามแม้ว่าวัสดุพอรุนจะมีอยู่มากมายหลายชนิดแต่วัสดุพอรุนที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ต้องทำมาจากวัสดุที่มีความต้านทานอุณหภูมิสูง (High temperature resistant) และมีอายุการใช้งานยาวนานสามารถทนทานต่อการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่กร้าวเนื่องจากการยืดหรือหดของโครงสร้างวัสดุพูนในช่วงเริ่มทำงาน (Startup) และช่วงดับเตา (Shutdown)



รูปที่ 2.6 วัสดุพูนตามธรรมชาติ ก) ไม้ ข) เนื้อเยื่อปลอดมนุษย์ ค) หินทราย ง) รังผึ้ง

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของ ซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) อะลูมินาออกไซด์ Al₂O₃ และเซอร์โคเนียออกไซด์ (ZrO₂), [8]



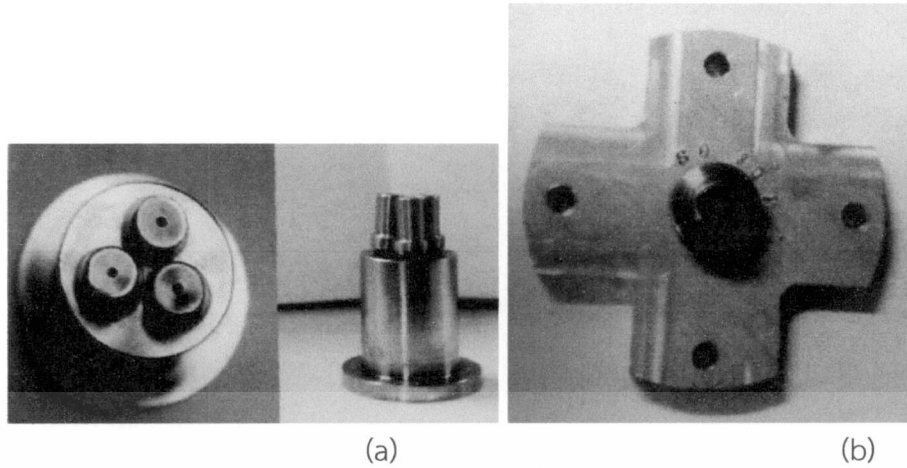
Type	CF 200 Series	CF 400 Series	CF 600 Series
Metrial	Al ₂ O ₃	SiC	ZrO ₂
Working Temperature	< 1,100°C	< 1,450°C	< 1,700°C
Physical Properties	Porosity %	80-90	80-90
	Compression Strength (Room Temp.)	≥ 1.0 MPa	≥ 1.0 MPa
	Volume Density	< 0.5 g/cm ³	< 0.5 g/cm ³
	Thermal Shock Resistance	800°C-room temp 5 times	1,100°C-room temp 5 times
Main Chemical Content	Al ₂ O ₃	65-75%	32-35%
	SiC	-	65-75%
	SiO ₂	10-15%	3-8%
	ZrO ₂	-	-
	Others	10-12%	0-5%
Dimension	Round Shape	diameter: Ø10-Ø300 mm	diameter: Ø10-Ø120 mm
	Square: length	10-600 mm	10-320 mm
	Thickness	10-50 mm	10-50 mm
Pore Size	ppi	8-60 ppi	8-60 ppi
	mm	0.1-50mm	0.1-50mm
Application	Non-Ferrous Alloy	Cast Iron Industry	Cast Steel Industry and investment casting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กนกกาญจน์ ว่องวัชรพร[6] การเผาไหม้ภายในหัวเผาวัสดุนั้นเกิดขึ้นในโพรงของเนื้อของแข็ง ขณะเกิดการเผาไหม้จะมีการถ่ายเทความร้อนระหว่างเนื้อก๊าซและเนื้อของแข็งทำให้เกิดการเผาไหม้ ในลักษณะที่มีการหมุนเวียนความร้อนภายในการอุ่นส่วนผสมด้วยความร้อนจากก๊าซไอเสียก่อนการเผาไหม้ทำได้โดยอาศัยโครงสร้างของวัสดุพอร์นโดยไม่ต้องมีการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มเติมการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นนั้นมีประสิทธิภาพสูงอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ได้มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิการเผาไหม้แบบเดียแบบติก (Adiabatic flame temperature) ทำให้สามารถเผาไหม้ส่วนผสมที่เจือจางที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ด้วยหัวเผาบรรยากาศเปิดทั่วไปทำให้ค่าการปลดปล่อยมลภาวะทั้งไนโตรเจนออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำ โดยวัสดุพื้นฐานที่ได้รับการนิยมนำไปผลิตเป็นหัวเผาวัสดุพอร์นในปัจจุบันมี 3 ชนิด คือ ซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) อะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) และเซอร์โคเนียออกไซด์ (ZrO_2) ซึ่งการจะเลือกวัสดุใดไปใช้งานนั้นยังต้องตัดสินใจจากปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการเผาไหม้ เนื่องจากรูปร่างและคุณสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุพื้นฐานส่งผลโดยตรงกับโครงสร้างทางความร้อนของระบบการเผาไหม้ซึ่งควรมีการศึกษาและวิเคราะห์อิทธิพลของชนิดวัสดุพอร์นด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นำร่องก่อนการออกแบบใช้งานจริงก่อนก็จะทำให้ได้หัวเผาวัสดุพอร์นที่เหมาะสมต่อการใช้งานที่สุดอย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าหัวเผาวัสดุพอร์นมีข้อได้เปรียบมากมายเมื่อเปรียบเทียบกับหัวเผาบรรยากาศเปิดทั่วไป แต่ในแง่ของการใช้งานเชิงปฏิบัติยังมีข้อควรระวังอยู่บ้างเนื่องจากการเผาไหม้ที่ได้มีความเร็วในการเผาไหม้สูงในกรณีการเผาไหม้ส่วนผสมมีค่าเข้าใกล้ส่วนผสมทางทฤษฎี (Near stoichiometric mixture) จะควบคุมการเผาไหม้ได้ยากเนื่องจากเสี่ยงต่อการเกิดการย้อนกลับของเปลวไฟดังนั้นในกรณีที่ต้องการที่จะใช้หัวเผาวัสดุพอร์นเผาไหม้ที่ส่วนผสมดังกล่าวอาจจะต้องมีการพิจารณาการเผาไหม้ที่มีความปลอดภัยสูงชนิดไม่มีการผสมมาก่อน (Non-premixed combustion) แทน

เจตนิพิฐ ดวงมารดาและคณะ[7] ทำการพัฒนาหัวฉีดสำหรับใช้เชื้อเพลิงความร้อนต่ำโดยใช้ก๊าซหุงต้มผสมกับก๊าซไนโตรเจนเพื่อเป็นตัวอย่างของเชื้อเพลิงค่าความร้อนต่ำโดยทำการทดลองหาอัตราส่วนผสมของแก๊สหุงต้มและก๊าซไนโตรเจนเพื่อให้ได้ค่าความร้อนต่ำอยู่ในช่วงของค่าความร้อนต่ำของก๊าซชีวภาพที่มีก๊าซมีเทนเป็นส่วนผสมโดยค่าความร้อนที่ต้องการนั้นประมาณ 9,000-20,000 kJ/kg หัวฉีดนั้นจะทำขึ้นใหม่ 2 แบบคือแบบมีหัวเดียวและมีสามหัว โดยใช้เกณฑ์ของกระแสลำเจ็ทที่ออกจากหัวฉีดมีความเร็วเท่าเดิม ในการทดลองจะทำการทดลองใน 2 กรณีนั้นคือนอกห้องเผาไหม้เพื่อดูสีของเปลวไฟ, ความยาวของเปลวไฟและความเสถียรของเปลวไฟ จากนั้นทำการทดลองในห้องเผาไหม้ โดยอัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ใช้คือ 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 SCFH เมื่อนำก๊าซหุงต้มมาผสมกับก๊าซไนโตรเจนจะทำให้ค่าความร้อนลดลงได้ต่ำสุด 28,222.85 kJ/kg ที่อัตราการไหลของก๊าซหุงต้ม 30 SCFH ไนโตรเจน 45 SCFH เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของก๊าซหุงต้ม 46,607 kJ/kg ซึ่งพบว่าค่าความร้อนต่ำลดลงไป 18,384.15 kJ/kg คิดเป็น 39.45% และจากการทดลองพบว่าหัวฉีดแบบ 1 หัวนั้นมีประสิทธิภาพดีที่สุดและให้เปลวไฟที่เสถียรมากกว่าหัวฉีดแบบ 3 หัว



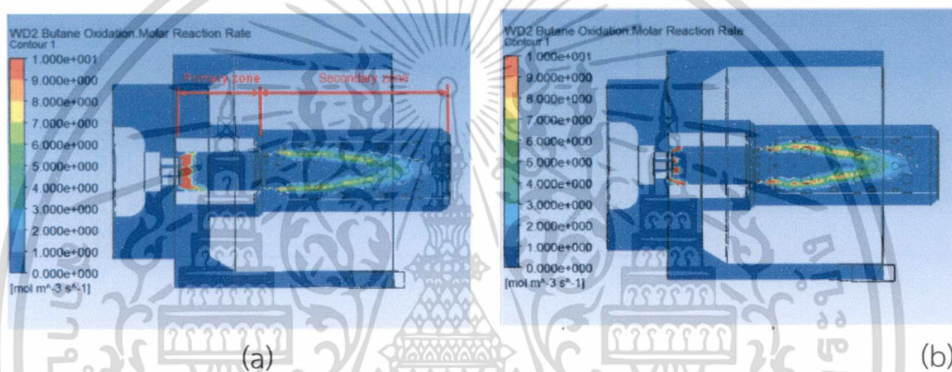
รูปที่ 2.7 (a) หัวฉีดเชื้อเพลิงแบบ 3 หัว (b) หัวฉีดเชื้อเพลิงแบบหัวเดียว

พิริยท ทองเต็ม^๑ หัวเผาวัสดุพรุน (porous burner) มีข้อดีที่เหนือกว่าหัวเผาที่ให้เปลวไฟอิสระทั่วไปกล่าวคือก่อให้เกิดการอุ่นไอดีตามธรรมชาติภายในวัสดุพรุนได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงให้อัตราการเผาไหม้ที่สูงให้การเผาไหม้ในสภาวะไอดีบางมากได้และปลดปล่อยปริมาณมลพิษ CO และ NOx ต่ำจึงได้รับความนิยมใช้งานแพร่หลายมากขึ้นอย่างไรก็ตามหัวเผาวัสดุพรุนส่วนใหญ่เป็นแบบผสมกันมาก่อน (premixed porous burner) ทำให้มีข้อจำกัดในการใช้งานเกี่ยวกับความปลอดภัยที่ต่ำในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาและพัฒนาหัวเผาวัสดุพรุนแบบไม่มีการผสมเชื้อเพลิงกับอากาศมาก่อน (nonpremixed porous burner) เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานให้สูงขึ้นหัวเผาวัสดุพรุนประกอบด้วยวัสดุพรุนสองส่วน คือ porous burner (PB) ทำหน้าที่กระจายเชื้อเพลิงให้ไหลเต็มหน้าตัดก่อนที่จะไปผสมกับอากาศแล้วเข้าไปเผาไหม้ใน porous emitter (PE) ต่อไป หัวเผาวัสดุพรุนตามการศึกษานี้สามารถทำงานได้ทั้งในแบบ premixed และ nonpremixed ขึ้นอยู่กับการปรับระยะห่างระหว่างวัสดุพรุนทั้งสองชนิด ถ้าวัสดุพรุนทั้งสองชนิดติดกันระยะห่างระหว่างวัสดุพรุนมีค่าเท่ากับศูนย์ (XPB = 0 มม) หัวเผาจะทำงานแบบ nonpremixed และจะเป็นแบบ premixed เมื่อวัสดุพรุนทั้งสองอยู่ห่างกันเพราะช่องว่างที่เกิดขึ้นจะทำหน้าที่เป็นห้องผสม (mixing chamber) ในการทดลองจะศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่สำคัญได้แก่ ค่าอัตราส่วนสมมูล (equivalence ratio) อัตราการเผาไหม้ (firing rate) ระยะห่างระหว่างวัสดุพรุนที่มีผลต่อการเผาไหม้ในวัสดุพรุน การปลดปล่อยแก๊ส CO และ NOx ที่ทางออกของหัวเผาและประสิทธิภาพการแผ่รังสีความร้อน (radiation efficiency) เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองคือแก๊สหุงต้ม ผลการทดลองพบว่าหัวเผาวัสดุพรุนแบบ nonpremixed ให้ขอบเขตการเผาไหม้ (flammability limit) ที่กว้างโดยมีค่าอัตราส่วนสมมูลอยู่ในช่วง 0.23-0.99 ปลดปล่อยปริมาณ CO ประมาณ 120 ppm และให้ปริมาณ NOx ต่ำใกล้เคียงกับหัวเผาวัสดุพรุนแบบ premixed คือประมาณ 110 ppm อย่างไรก็ตามหัวเผาวัสดุพรุนแบบ nonpremixed ให้ประสิทธิภาพในการแผ่รังสี ความร้อนสูงกว่าถึง 3-13% เมื่อเทียบกับแบบ premixed ที่เงื่อนไขทดลองเดียวกัน

สุวัชชัย กิจสำราญกุล^[10] ได้ศึกษาและพัฒนาหัวฉีดแบบผสมอากาศก่อนการเผาไหม้ (Premixed Combustion) สำหรับเครื่องยนต์กังหันก๊าซต้นแบบ เนื่องจากหัวฉีดแบบเดิมนั้นมีปัญหาต้องใช้อากาศภายนอกมาผสมกับก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) โดยทำการพัฒนาโดยการฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่ช่องทางเดินแก๊สด้วยความเร็วสูงมีลักษณะเป็นเจ็ทปั๊ม (Jet Pump) ทำให้เกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหนี่ยวนำอากาศเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิง ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของปริมาณอากาศที่นำไปผสมก่อนการเผาไหม้โดยการกำหนดระยะระหว่างหัวฉีดเชื้อเพลิงกับห้องผสม (Mixing Chamber) ที่ระยะ 0 mm, 5 mm, 10 mm อัตราการไหลของเชื้อเพลิง 0.042 จนถึง 0.110 kg/min และอัตราการไหลอากาศ 2.7, 4.0, 5.5, และ 7.0 kg/min ทั้งนี้เชื้อเพลิงจะคลุกเคล้ากับอากาศส่วนหนึ่งในห้องผสมก่อนถูกปล่อยเข้าไปสู่หัวเผาที่ติดตั้งอยู่ในห้องเผาไหม้เดิมซึ่งการพัฒนานี้ต้องการให้เปลวไฟมีเสถียรภาพและเผาไหม้หมดภายในช่วงความยาวของห้องเผาไหม้เดิม การจำลองการเผาไหม้โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำให้เข้าใจปรากฏการณ์ได้ดีขึ้นโดยสังเกตเห็นการเผาไหม้ในช่วงแรกของห้องเผาไหม้สำหรับกรณีที่เหมาะสมอากาศก่อนการเผาไหม้ หลังจากการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์ Premix จะลดลงเมื่ออัตราการป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้น ความยาวและสีของเปลวไฟจะดีขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์ Premix มากขึ้นและอัตราการเหนี่ยวนำเพิ่มมากขึ้นเมื่อปรับระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับทางเข้าห้องเผาไหม้และการเผาไหม้ใน Primary zone นั้นดีขึ้น



รูปที่ 2.8 (a) การเกิดปฏิกิริยาเมื่อ Premixed 30% (b) การเกิดปฏิกิริยาเมื่อ Non-premixed

อาวุธ สภิตานากุล[12] งานวิจัยนี้ทำการศึกษาพฤติกรรมของการเผาไหม้ของก๊าซ LPG ที่เกิดขึ้นภายในหัวฉีดพ่นในแง่ของสมรรถนะเบื้องต้น ได้แก่ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (η) และองค์ประกอบของก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่ามากกว่า 99% และอุณหภูมิภายในหัวเผาหัวฉีดพ่นมีค่ามากกว่า 1000 °C ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ (CO) ของก๊าซไอเสีย มีค่าต่ำชี้ให้เห็นถึงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างค่อนข้างสมบูรณ์โดยคาดว่าน่าจะเกิดจากของผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ถูกอุ่น (preheating) ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นมีค่าอยู่ในช่วง 720-950 °C หัวเผาหัวฉีดพ่นมีพฤติกรรมของการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิเปลวไฟค่อนข้างต่ำ (Low flame temperature) อยู่ในช่วง 1050-1100 °C ส่งผลให้ปริมาณ NOx ที่ได้จากการเผาไหม้มีปริมาณต่ำอยู่ในช่วง 35-55 ppm ที่มาตรฐาน 6% O₂ และช่วงของการเผาไหม้มีช่วงค่อนข้างยาว (Long flame temperature) โดยมีความยาวประมาณ 100 mm จึงส่งผลให้ปริมาณ CO ที่ได้จากการเผาไหม้มีปริมาณต่ำอยู่ในช่วง 30-150 ppm ที่มาตรฐาน 6% O₂ นอกจากนี้ยังพบว่า การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นค่อนข้างเสถียรไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ยอุณหภูมิมีค่ามากกว่า 1000 °C

สำหรับงานวิจัยที่เสนอขอการสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้จะเป็นการใช้องค์ความรู้ด้านการออกห้องเผาไหม้และหัวฉีดสำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงค่าความร้อนต่ำโดยการใช้ก๊าซหุงต้มกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แทนเชื้อเพลิงก๊าซสังเคราะห์จากวัสดุชีวมวลเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟค่อนข้างต่ำ (Low flame temperature) อยู่ในช่วง $1050 - 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ส่งผลให้ปริมาณ NO_x ที่ได้จากการเผาไหม้มีปริมาณต่ำอยู่ในช่วง $35 - 55\text{ ppm}$ ที่มาตรฐาน $6\% \text{ O}_2$ และช่วงของการเผาไหม้มีช่วงค่อนข้างยาว (Long flame temperature) โดยมีความยาวประมาณ 100 mm จึงส่งผลให้ปริมาณ CO ที่ได้จากการเผาไหม้มีปริมาณต่ำอยู่ในช่วง $30-150\text{ ppm}$ ที่มาตรฐาน $6\% \text{ O}_2$ นอกจากนี้ยังพบว่า การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นค่อนข้างเสถียรไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ยอุณหภูมิมีค่ามากกว่า $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$

สำหรับงานวิจัยที่เสนอขอการสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้จะเป็นการใช้องค์ความรู้ด้านการออกห้องเผาไหม้และหัวฉีดสำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงค่าความร้อนต่ำโดยการใช้ก๊าซหุงต้มกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แทนเชื้อเพลิงก๊าซสังเคราะห์จากวัสดุชีวมวลเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องยนต์แก๊สเทอร์โบชาร์จขนาดเล็กมาใช้ให้เหมาะสมกับเงื่อนไขการทำงาน ขอบเขตและวัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้ โดยปัจจุบันทางทีมวิจัยได้ศึกษาพบว่าห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ต้นแบบนั้นมีการออกแบบที่ไม่เหมาะสมทำให้เกิดความดันสูญเสียในห้องเผาไหม้มากเกินไปและประสิทธิภาพในการเผาไหม้ได้ไม่ดีเท่าที่ควร อีกทั้งเปลวไฟที่ออกจากหัวฉีดไม่เสถียรเกิดการดับในขณะการเผาไหม้เนื่องจากความเร็วของเชื้อเพลิงที่ออกจากหัวฉีดมากเกินไปทำให้การผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศไม่ดีพอและจากการศึกษาจากงานวิจัยต่างๆเกี่ยวกับหัวเผาวัสดุพอร์ซเลนเนื่องจากมีข้อดีที่เหนือกว่าหัวเผาที่ให้เปลวไฟอิสระทั่วไปกล่าวคือก่อให้เกิดการอุ่นไอดีตามธรรมชาติภายในวัสดุพอร์ซเลนได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงให้อัตราการเผาไหม้ที่สูงให้การเผาไหม้ในสภาวะไอดีบางมากๆได้ มีอุณหภูมิการเผาไหม้สูงกว่าการเผาไหม้แบบปกติที่สภาวะเดียวกันนอกจากนี้ความเร็วในการเผาไหม้ (Burning Velocity) สูงขึ้นค่าความเข้มของการเผาไหม้สูง (High combustion intensity) รวมถึงค่าความเข้มของการแผ่รังสีความร้อนที่สูงขึ้นและยังสามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่ำๆซึ่งไม่สามารถเผาไหม้ในอุปกรณ์การเผาไหม้แบบปกติได้ (Conventional burner) ทำให้สามารถออกแบบเตาที่มีขนาดกะทัดรัดช่วยลดต้นทุนและพื้นที่ในการติดตั้งและปลดปล่อยปริมาณมลพิษ CO และ NO_x ต่ำ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะนำวัสดุพอร์ซเลนมาประยุกต์ใช้ร่วมกับหัวฉีดเชื้อเพลิงเพื่อพัฒนาและศึกษาสมรรถนะของการเผาไหม้, ลักษณะของการเผาไหม้และผลกระทบต่อความเสถียรของเปลวไฟ รวมทั้งคุณลักษณะต่างๆที่ส่งผลต่อการเผาไหม้เพื่อให้การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ใช้เชื้อเพลิงให้เกิดความคุ้มค่าและก่อให้เกิดมลพิษน้อยที่สุด

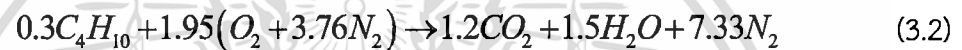
บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

ในการทดสอบสมรรถนะของหัวเผาโดยใช้แก๊สแอลพีจีผสมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ประยุกต์นำเอาวัสดุพูนมาใช้เพื่อรักษาเสถียรภาพการเผาไหม้ ดังนั้นการนำข้อมูลมาวิเคราะห์อย่างมีประสิทธิภาพจึงต้องอาศัยการคำนวณที่ถูกต้องและใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริง โดยในหัวข้อนี้จะนำเสนอการคำนวณในส่วนต่างๆ ทั้งเชื้อเพลิงและย่านการทดสอบและเงื่อนไขวัสดุพูน

3.1 เชื้อเพลิงแอลพีจีผสมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

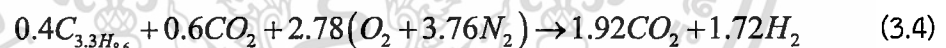
LPG เป็นเชื้อเพลิงที่มีโพรเพนและบิวเทนเป็นองค์ประกอบอยู่ 70 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ สามารถเขียนเป็นสมการทางเคมีได้ดังนี้



นำสมการ 3.1 และ 3.2 มารวมกัน



ในการศึกษานั้นจะใช้เชื้อเพลิงแอลพีจี 40 % และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 60 % สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



$$\therefore C_{3.3}H_{8.6} \text{ จำนวน 1 โมล จะมีปริมาณเท่ากับ } 0.4 \times 48.2 \frac{\text{g}}{\text{mole}} \times \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}} = 0.045 \text{ kg}$$

$$\therefore \text{อากาศจำนวน 1 โมล จะมีปริมาณเท่ากับ } \frac{(2.78 \times 32) + (10.45 \times 28)}{1000} = 0.38 \text{ kg}$$

นำไปแทนในสูตรอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี

$$A/F_{\text{stoi}} = \frac{\dot{m}_{\text{air}}}{\dot{m}_{\text{fuel}}} = \frac{0.38}{0.045} = 8.35 \quad (3.5)$$

3.2 อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงแอลพีจีผสมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (\dot{m}_{fuel})

เนื่องจากเชื้อเพลิงจัดเป็นก๊าซที่สามารถอัดตัวได้และสมมติให้ประพฤติตัวเหมือนก๊าซอุดมคติ จึงสามารถหาความหนาแน่นได้ดังนี้

$$\rho_{fuel} = \frac{P}{RT}$$

การหาอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงสามารถหาได้จาก [12]

$$\dot{m}_{fuel} = \dot{V} \left(\frac{m^3}{s} \right) \times \sqrt{\frac{\rho_{air}}{\rho_{LPG+CO_2}}} \times \rho_{LPG+CO_2} \quad (3.6)$$

เช่นที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงเท่ากับ 8 L/min สามารถคำนวณหาความหนาแน่นและอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงได้ดังนี้

$$\rho_{fuel} = \frac{2.1}{\left(\frac{8.314}{45.12} \right) \times (29.45 + 273.15)} = 0.038$$

$$\dot{m}_{fuel} = \left(8 \frac{L}{min} \times \frac{m^3}{1000L} \times \frac{min}{60s} \right) \times \sqrt{\frac{1.2}{0.038}} \times 0.038 = 0.00016$$

ในการศึกษาต้องการความร้อนที่ได้จากหัวฉีด 10 kW ดังนั้นจะต้องใช้ปริมาณเชื้อเพลิง คิดได้จากสมการ

$$Q = \dot{m}_{fuel} \times LHV \quad (3.6)$$

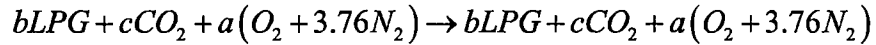
โดยปริมาณค่าความร้อนเชื้อเพลิงมีค่าเป็น $45.8 \times 10^3 \text{ kW}$ หากต้องการปริมาณความร้อน 10 kW จะต้องใช้เชื้อเพลิง

$$\dot{m}_{fuel} = \frac{Q}{LHV} = \frac{10}{45.8 \times 10^3} = 2.18 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

และเนื่องจากเครื่องมือที่ใช้วัดอัตราการไหลที่ใช้ในการทดสอบเป็นการวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตร รวมถึงก๊าซแอลพีจีจัดอยู่ในประเภทของไหลอัดตัวได้ ความหนาแน่นจึงมีการเปลี่ยนแปลงตามความดัน จึงสามารถคำนวณอัตราการไหลเชิงปริมาตรที่ใช้งานได้ตามทฤษฎีของก๊าซอุดมคติ ดังนี้

3.3 ปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่ง (\dot{m}_{air1})

เมื่อพิจารณาอากาศที่ผสมกับเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ในห้องผสม (mixing tube) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



จากสมการที่ สามารถเขียนเศษส่วนโมลของออกซิเจนได้ดังนี้

$$X_{O_2} = \frac{a}{a+b+c+3.76a}$$

เมื่อนำมาจัดรูปจะได้เศษส่วนโมลของออกซิเจนต่อเชื้อเพลิงเป็น

$$\frac{a}{(b+c)} = \left(\frac{X_{O_2}}{1-4.76X_{O_2}} \right)$$

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริงของแอลพีจีสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\frac{\dot{m}_{air1}}{\dot{m}_{fuel}} = \frac{a4.76}{b} \times \frac{MW_{air}}{MW_{fuel}} = \left(\frac{X_{O_2}}{1-X_{O_2}4.76} \right) \times 4.76 \times \frac{MW_{air}}{MW_{fuel}} = A / F_{premixed} \quad (3.9)$$

ดังนั้นอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศส่วนที่หนึ่ง จะได้เป็น

$$\therefore \left(\frac{X_{O_2}}{1-X_{O_2}4.76} \right) \times 4.76 \times \frac{MW_{air}}{MW_{fuel}} \times \dot{m}_{fuel} = \dot{m}_{air1} \quad (3.10)$$

เช่น ที่ปริมาณความร้อน 10 kW สามารถวัดเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในห้องผสมได้ 19.75% จะคำนวณอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศส่วนที่หนึ่ง ได้ดังนี้

$$\left(\frac{0.1975}{1-(0.1975 \times 4.76)} \right) \times 4.76 \times \frac{28.84}{45.68} \times 4.37 \times 10^{-5} = 4.1 \times 10^{-4} \frac{kg}{s}$$

ปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงในห้องผสม ($A / F_{Premixed}$)

คำนวณได้จากสมการที่ (3.10)

$$\left(\frac{0.1975}{1 - (0.1975 \times 4.76)} \right) \times 4.76 \times \frac{28.84}{52.4} = \frac{4.1 \times 10^{-4}}{4.37 \times 10^{-5}} = 9.39$$

เปอร์เซ็นต์การผสมก่อนการเผาไหม้ (Premixed percentage)

$$\%Premixed = \frac{A / F_{Premixed}}{A / F_{stoi}} \times 100\% \quad (3.11)$$

เช่น ที่ปริมาณความร้อน 10 kW มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงผสมก่อน 9.39:1 จะคำนวณเปอร์เซ็นต์การผสมก่อน ได้ดังนี้

$$\%Premixed = \frac{9.39}{15.63} \times 100\% = 60.08\%$$

3.4 ปริมาณอากาศส่วนที่สอง (\dot{m}_{air_2})

ปริมาณอากาศส่วนที่สองสามารถคำนวณอัตราการไหลเชิงมวล ได้ดังนี้

$$\dot{m}_{air_2} = \left[\dot{V} \frac{ft^3}{hr} \times \frac{0.028m^3}{ft^3} \times \frac{hr}{3600s} \right] \times \rho_{air} \quad (3.12)$$

เช่นอากาศส่วนที่สอง 50 SCFH

$$\dot{m}_{air_2} = \left[50 \frac{ft^3}{hr} \times \frac{0.028m^3}{ft^3} \times \frac{hr}{3600s} \right] \times 1.2 = 0.000466 \frac{kg}{s}$$

ปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง (A / F_{actual})

$$A / F_{actual} = \frac{\dot{m}_{air_1} + \dot{m}_{air_2}}{\dot{m}_{fuel}} \quad (3.13)$$

3.5 เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน(%EA)

ในการหาเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินสามารถคำนวณได้ 2 วิธี ดังนี้

- **วิธีที่ 1** การคำนวณเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินจากการนำอากาศที่ถูกเหนี่ยวนำส่วนที่หนึ่ง (อ่านได้จากเครื่องวัดก๊าซ) บริเวณจุดวัดก๊าซก่อนการเผาไหม้ ร่วมกับอากาศส่วนที่สอง (อ่านค่าจากFlow meter)

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

$$\%EA = \frac{(1-\Phi)}{\Phi} \times 100\% \quad (3.14)$$

เช่น ปริมาณความร้อน 2 kW มีอัตราการไหลอากาศส่วนที่สอง 50 SCFH สามารถคำนวณปริมาณอากาศส่วนเกิน ได้ดังนี้

$$\Phi = \frac{15.63}{20.05} = 0.78$$

$$\%EA = \frac{(1-0.78)}{0.78} \times 100\% = 28.24\%$$

- **วิธีที่ 2** การคำนวณอากาศส่วนเกินจากเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนที่วัดได้บริเวณจุดวัดก๊าซหลังการเผาไหม้(Reaction zone) ด้วยเครื่องวัดก๊าซ
- สมการการเผาไหม้เมื่อพิจารณาให้มีอากาศส่วนเกินสามารถเขียนได้ดังนี้



ดังนั้น ปริมาณออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้ ($X_{O_2@reaction}$) สามารถคำนวณได้จาก

$$X_{O_2@reaction} = \frac{x}{3.3+x+3.76(5.45+x)} \quad (\text{dry basis}) \quad (3.15)$$

จึงทำให้

$$x = \frac{23.79 X_{O_2@reaction}}{1 - 4.76 X_{O_2@reaction}} \quad (3.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (3.16) ทำให้สามารถหาอัตราส่วนปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงจาก

$$A/F_{actual} = \frac{(5.45 + x)4.76}{1} \times \frac{MW_{air}}{MW_{LPG}} \quad (3.17)$$

จากนั้นนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินได้ตามสมการ (3.14) ซึ่งการหาเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินของหัวฉีดแต่ละชนิด จากทั้ง 2 วิธีควรมีค่าเท่ากันภายใต้เงื่อนไขอัตราการใช้เชื้อเพลิงและอัตราการใช้อากาศส่วนที่สองเดียวกัน

3.6 การคำนวณหาค่าความพรุนของวัสดุพรุน

ค่าความพรุนของวัสดุพรุนที่ใช้ในการทดสอบหาได้จาก

$$\phi = \frac{V_v}{V_T} \quad (3.18)$$

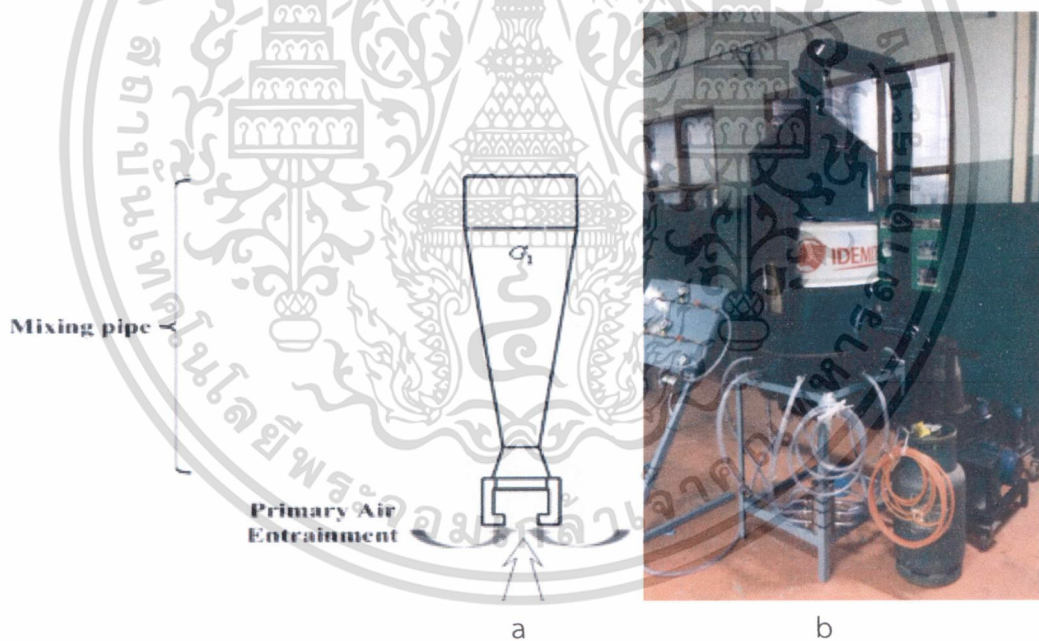
เมื่อ V_v = ปริมาตรของช่องว่างในเนื้อวัสดุพรุน (m^3)
 V_T = ปริมาตรรวมทั้งหมดของชิ้นวัสดุพรุน (m^3)

บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในการทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้ของหัวเผาที่ใช้ในอุตสาหกรรมประยุกต์ร่วมกับวัสดุพูน เป็นการทดสอบการเผาไหม้แบบผสมกันมาก่อนโดยใช้แอลพีจีผสมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็น เชื้อเพลิงและบันทึกผลการทดสอบเปรียบเทียบกันระหว่างหัวเผาที่ไม่มีวัสดุพูนและมีวัสดุพูนเพื่อ ศึกษากลไกการเผาไหม้

4.1 ระบบการทดลองและอุปกรณ์

ในการศึกษาจะทำการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้จะเริ่มต้นจากการรับของผสมระหว่างเชื้อเพลิง และอากาศส่วนที่หนึ่งที่ออกมาจากท่อผสม เพื่อทำปฏิกิริยาและเกิดการเผาไหม้ โดยของผสมจะ เหนี่ยวนำอากาศส่วนที่สองอีกครั้งในบริเวณนี้เพื่อให้เกิดเงื่อนไขการเผาไหม้ที่เหมาะสม ดังนั้นอุปกรณ์ ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย หัวเผาวัสดุพูน (ไม่มีวัสดุพูนในกรณีที่เปรียบเทียบการเผาไหม้กับ เงื่อนไขการใช้งานปกติ) และส่วนของห้องเผาไหม้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่ามากเมื่อเทียบ กับบริเวณที่เกิดการเผาไหม้ เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อการเผาไหม้และการวัดก๊าซไอเสีย



รูปที่ 4.1 a. อุปกรณ์การทดลองส่วนที่ไม่มีการเผาไหม้ b. ชุดทดสอบอุปกรณ์เตาเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ส่วนประกอบของหัวฉีดเชื้อเพลิง

หัวฉีดเชื้อเพลิงเป็นหัวฉีดที่ได้รับการศึกษาว่าสามารถสร้างเจ็ทเชื้อเพลิงที่มีการเหนียวนำอากาศส่วนที่หนึ่งได้ในปริมาณมากและก่อให้เกิดการเผาไหม้ที่มีความเสถียร ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องทางออกเชื้อเพลิง 1.4 มิลลิเมตร

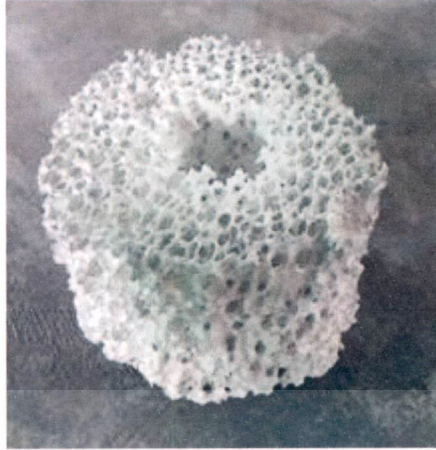


รูปที่ 4.2 ส่วนประกอบของหัวฉีดเชื้อเพลิง

การปรับอัตราการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงจะถูกทำให้สอดคล้องกับเงื่อนไขการทดลอง ซึ่งการให้อากาศไหลเข้าไปในหัวเผาโดยใช้แรงดูดจากการไหลของแก๊สเชื้อเพลิง และใช้ Flow meter (0-400 SCFH) เป็นอุปกรณ์ในการวัดและควบคุมอัตราการไหลของอากาศ ส่วนในการควบคุมอัตราการไหลของเชื้อเพลิงจะใช้ Flow meter (0-5 L/min.) เป็นอุปกรณ์ในการวัดและควบคุมอัตราการไหล

4.3 หัวเผาวัสดุพูน

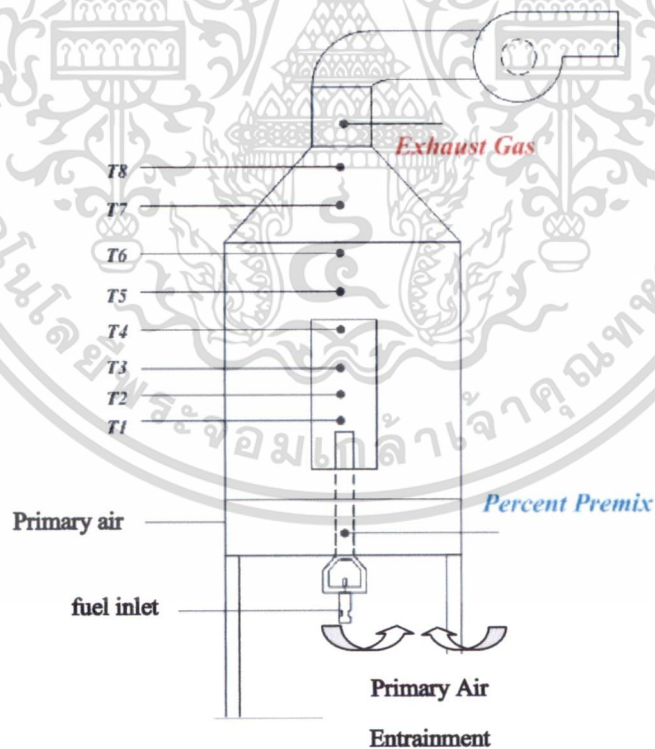
ในการทดลองจะมีการเปรียบเทียบการเผาไหม้ระหว่างหัวเผาลักษณะปกติที่ไม่มีวัสดุร่วมกับหัวเผาที่ถูกพัฒนาโครงสร้างร่วมกับวัสดุพูน โดยคาดว่าวัสดุพูนจะทำให้การเผาไหม้ที่มีรวมถึงช่วยรักษาเสถียรภาพของเปลวไฟเมื่อมีการใช้งานในย่านอัตราการไหลเชื้อเพลิงต่ำ โดยวัสดุพูนที่ใช้ในการทดลองถูกออกแบบให้สามารถสวมลงบนหัวเผาแบบปกติและมีช่องตรงกลางเพื่อลดการอันของเปลวไฟ ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 หัวเผาวัสดุพรุนแบบทรงกระบอกเจาะรู

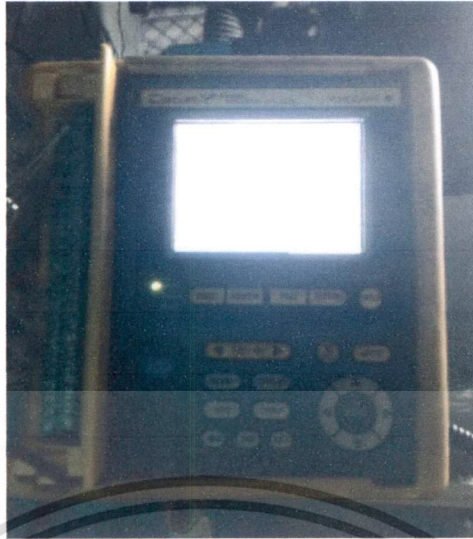
4.4 การวัดอุณหภูมิ

ในการทดลองทำการวัดอุณหภูมิภายในเตาเผาที่ระดับความสูงจากแผ่นกระจายของผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศ ที่ระดับความสูง 0.10 m. จากแผ่นกระจายของผสมระหว่างเชื้อเพลิงและ โดยใช้ (Thermocouple type K) ต่อเข้ากับ Temperature indicator เป็นอุปกรณ์ในการบันทึกผล



รูปที่ 4.4 ไดอะแกรมแสดงจุดตรวจวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 Data logger แสดงผลของอุณหภูมิ

4.5 การวัดก๊าซ

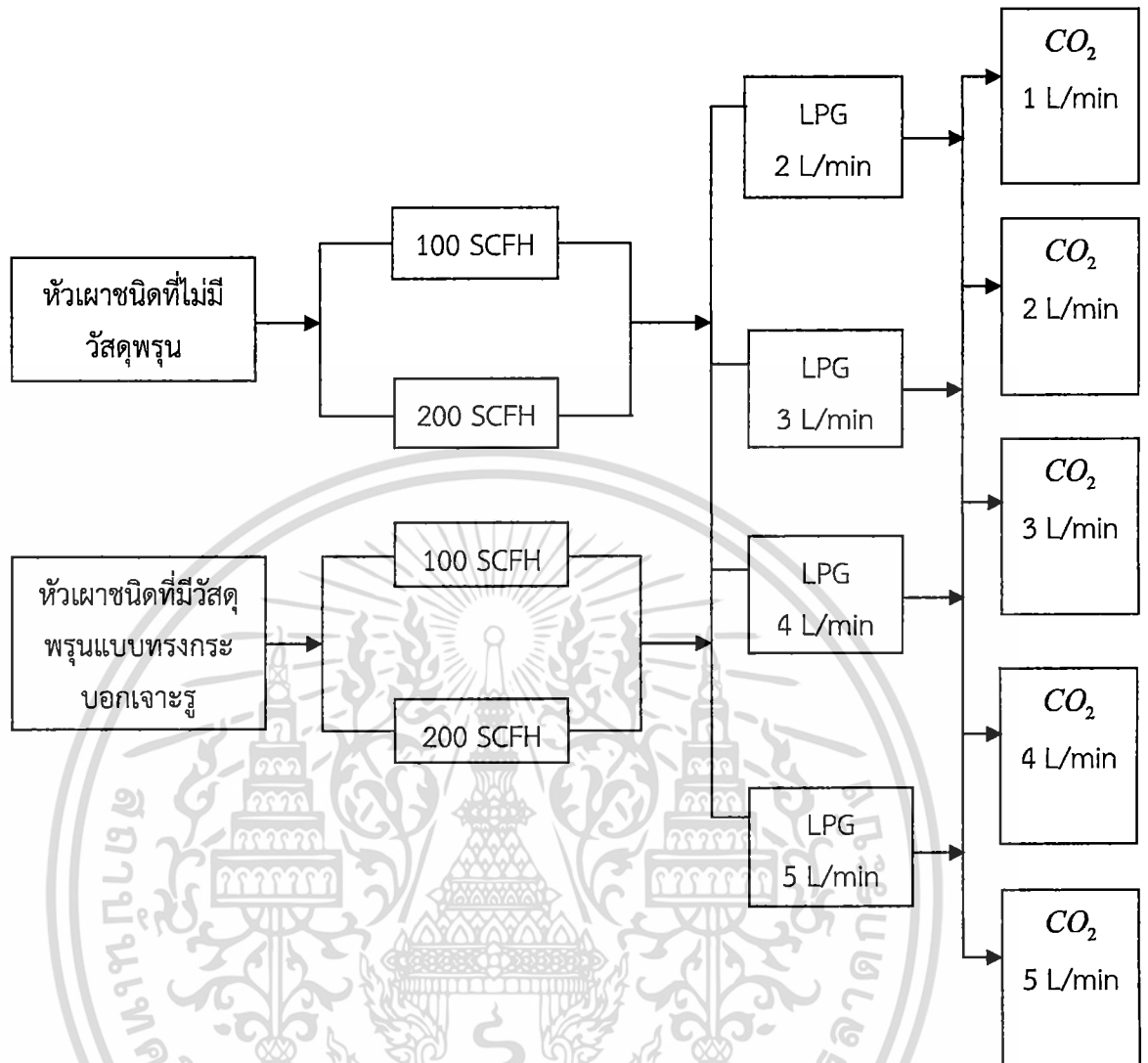
การวัดมลพิษใช้เครื่องมือวัดไอเสียของ Testo รุ่น 350 XL ดังแสดงในรูปที่ 4.7 เพื่อวัดปริมาณออกซิเจนของผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศในห้องผสม ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และทำการวัดปริมาณไอเสียบริเวณปล่องทางออกโดยก๊าซไอเสียที่ทำการบันทึกประกอบไปด้วย O_2 , CO , NO_x ซึ่งระยะเวลาในการเก็บบันทึกจะทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 30 นาที โดยทุกค่าของข้อมูลถูกเก็บที่เงื่อนไขสภาวะคงตัวเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพการเผาไหม้



รูปที่ 4.6 เครื่องวัดก๊าซ

4.6 วิธีการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แผนผังการศึกษาสมรรถนะการเผาไหม้

สำหรับการทดลองจะแบ่งการศึกษาสมรรถนะของการเผาไหม้เนื่องมาจากอิทธิพลของการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลเชื้อเพลิง การศึกษาอิทธิพลของการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลเชื้อเพลิง ในการทดลองนี้ทำได้โดยปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของแอลพีจีเริ่มจากที่ 2-5 L/min และทำการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตั้งแต่ 1-5 L/min และปรับอัตราการไหลของอากาศส่วนที่สองที่ 100 และ 200 SCFH ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการเผาไหม้ของหัวเผาที่ไม่มีวัสดุพอรุนและหัวเผาที่มีวัสดุพอรุนแบบทรงกระบอกเจาะรู ดังแสดงในรูปที่ 4.8

4.6.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งหัวเผาก๊าซแอลพีจีโดยเริ่มจากหัวเผาที่ไม่มีวัสดุพอรุน
2. ป้อนเชื้อเพลิงพร้อมทำการจุดหัวเผาเพื่ออุ่นห้องเผาไหม้เป็นเวลา 10 นาที
3. ป้อนเชื้อเพลิงอย่างช้าๆเริ่มจากป้อนแอลพีจีที่ 2 L/min และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1 L/min จากนั้นทำการป้อนอากาศส่วนที่สอง 100 SCFH
4. สังเกตและถ่ายภาพของเปลวไฟ

5. ปลดปล่อยให้การเผาไหม้ดำเนินไปจนกระทั่งอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่และเก็บบันทึกผลโดยจะเก็บค่าอุณหภูมิ T1-T8 ดังรูปที่ 4.4 และทำการบันทึกค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในห้องผสมและบริเวณทางออกของไอเสีย

6. ทำการเทียบท่อดีปริมาณไอเสียบริเวณทางออกของไอเสียเพื่อวัดค่าปริมาณไอเสีย

7. คงค่าอัตราการไหลของแอลพีจีที่ 2 L/min ทำการปรับอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2 L/min จนถึง 5 L/min จากนั้นทำตามข้อที่ 4 ถึง 6

8. ปรับอัตราการไหลของแอลพีจี 3 L/min และปรับอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1-5 L/min และรักษ้อัตราการไหลของอากาศส่วนที่สอง 100 SCFH เช่นเดิม จากนั้นทำตามข้อที่ 4 ถึง 6 ตามลำดับ

9. ปรับอัตราการไหลแอลพีจีที่ 4 L/min และปรับอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1-5 L/min และรักษ้อัตราการไหลของอากาศส่วนที่สอง 100 SCFH เช่นเดิม จากนั้นทำตามข้อที่ 4 ถึง 6 ตามลำดับ

10. ปรับอัตราการไหลแอลพีจีที่ 5 L/min ปรับอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1-5 L/min และรักษ้อัตราการไหลของอากาศส่วนที่สอง 100 SCFH เช่นเดิม จากนั้นทำตามข้อที่ 4 ถึง 6 ตามลำดับ

11. ทำตามข้อ 3-10 โดย ปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศส่วนที่สอง 200 SCFH

12. ติดตั้งหัวเผาที่มีวัสดุพูนแบบทรงกระบอกเจาะรูแล้วทำตามข้อที่ 2 ถึง 11 ตามลำดับ

บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์การทดลอง

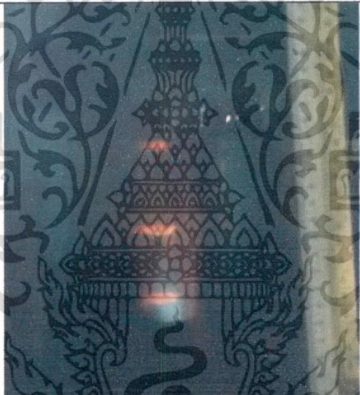



ในบทนี้จะกล่าวถึงผลจากการทดสอบหัวเผาซึ่งจะแบ่งเป็น 2 ประเภทนั่นคือหัวเผาที่ไม่มีวัสดุพอร์นและหัวเผาที่มีวัสดุพอร์นแบบทรงกระบอกเจาะรู โดยใช้ก๊าซแอลพีจีผสมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นเชื้อเพลิง และสังเกตลักษณะของเปลวไฟ, การกระจายตัวอุณหภูมิตามระดับความสูงและปริมาณมลพิษในก๊าซไอเสีย ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์และไนโตรเจน โดยหัวเผาวัสดุพอร์นแบบทรงกระบอกเจาะรูถูกพัฒนาขึ้นจากทรงกระบอกตัน ภายใต้สมมุติฐานว่าการเจาะรูจะช่วยลดความดันตกคร่อมวัสดุพอร์น และทำให้มีการเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่งของหัวฉีดเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้สมรรถนะดีขึ้น

5.1 ลักษณะของเปลวไฟ

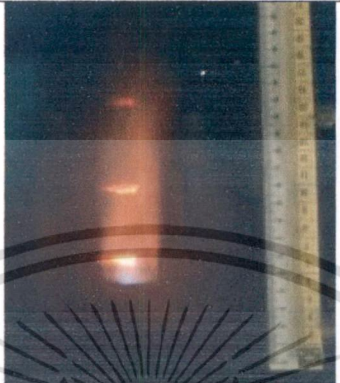
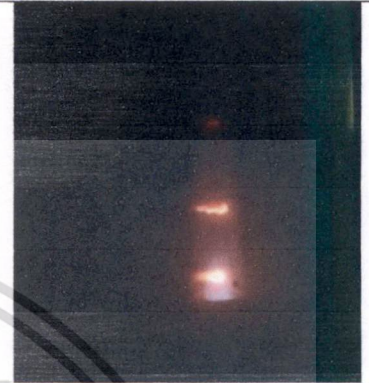


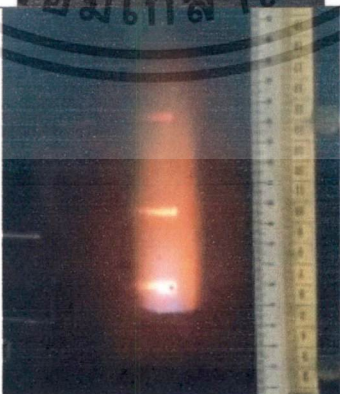

ตารางที่ 5.1 แสดงลักษณะของเปลวไฟของหัวเผาที่ไม่มีวัสดุพอร์นที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงต่างๆ

หัวเผชนิดที่ไม่มีวัสดุพอร์น			
อัตราการไหล LPG (L/min)	อัตราการไหล CO ₂ (L/min)	ลักษณะเปลวไฟโดยใช้อากาศ ส่วนที่สอง 100 SCFH	ลักษณะเปลวไฟโดยใช้อากาศ ส่วนที่สอง 200 SCFH
2	1		
	2		

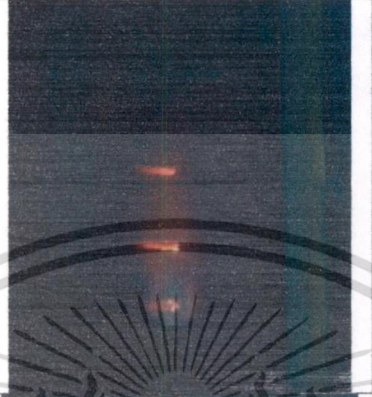
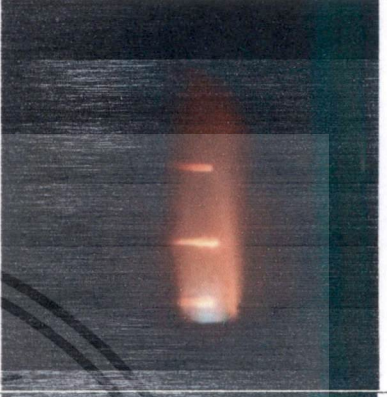
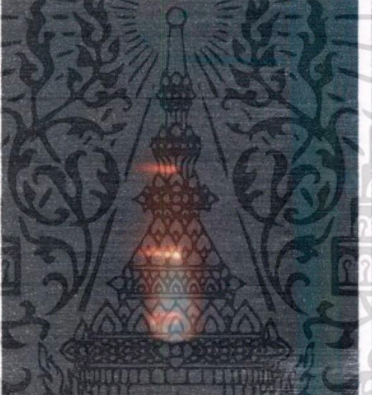
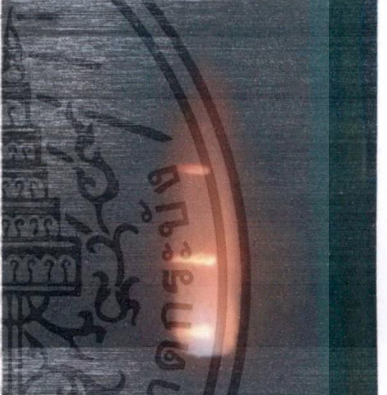

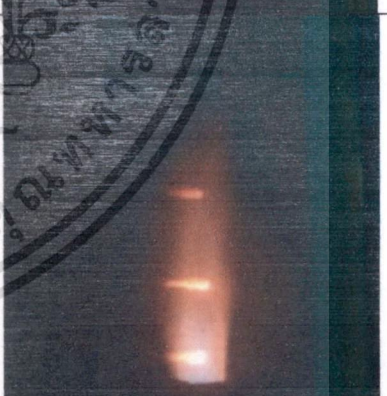
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวเผาชนิดที่ไม่มีวัสดุพอรุน			
อัตราการไหล LPG (L/min)	อัตราการไหล CO_2 (L/min)	ลักษณะเปลวไฟโดยใช้อากาศส่วนที่สอง 100 SCFH	ลักษณะเปลวไฟโดยใช้อากาศส่วนที่สอง 200 SCFH
2	3		
	4	เปลวดับ	เปลวดับ
	5	เปลวดับ	เปลวดับ
3	1		
	2		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



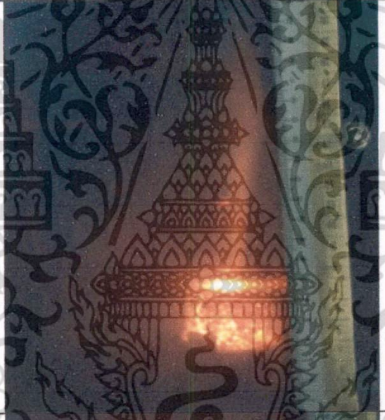
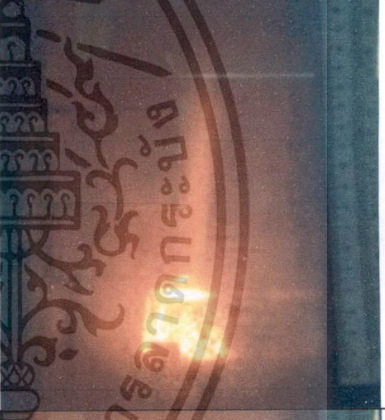
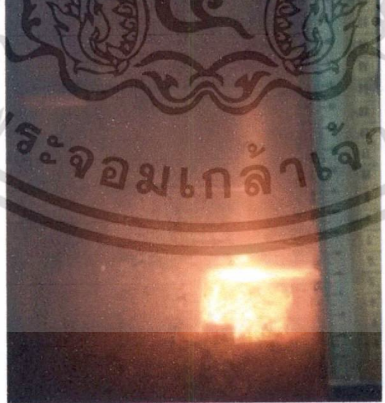

หัวเผาชนิดที่ไม่มีวัสดุพรุน			
อัตราการไหล LPG (L/min)	อัตราการไหล CO ₂ (L/min)	ลักษณะเปลวไฟโดยใช้อากาศ ส่วนที่สอง 100 SCFH	ลักษณะเปลวไฟโดยใช้อากาศ ส่วนที่สอง 200 SCFH
	3		
3	4		
	5		
4	1		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

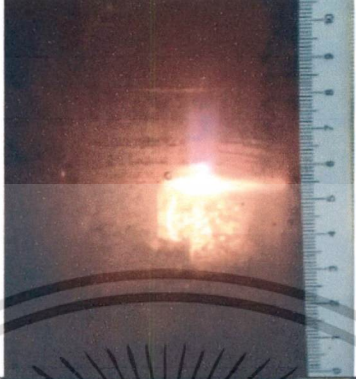




หัวเผาชนิดที่ไม่มีวัสดุพอรุน			
อัตราการไหล LPG (L/min)	อัตราการไหล CO_2 (L/min)	ลักษณะเปลวไฟโดยใช้อากาศส่วนที่สอง 100 SCFH	ลักษณะเปลวไฟโดยใช้อากาศส่วนที่สอง 200 SCFH
	2		
4	3		
	4		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



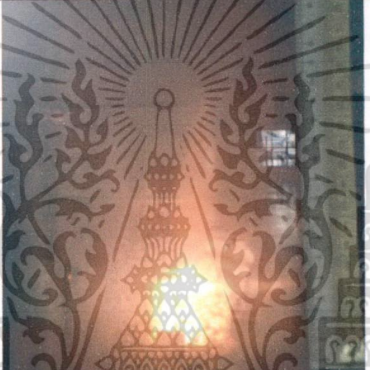


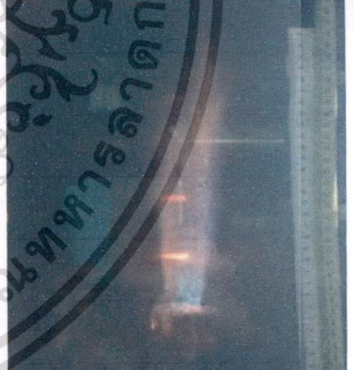


ตารางที่ 5.2 แสดงลักษณะของเปลวไฟของหัวเผาที่มีวัสดุพอร์นที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงต่างๆ

หัวเผาชนิดที่มีวัสดุพอร์น			
อัตรา การไหล LPG (L/min)	อัตราการไหล CO_2 (L/min)	ลักษณะเปลวไฟโดยใช้อากาศส่วน ที่สอง 100 SCFH	ลักษณะเปลวไฟโดยใช้อากาศส่วน ที่สอง 200 SCFH
	1		
2	2		
	3		

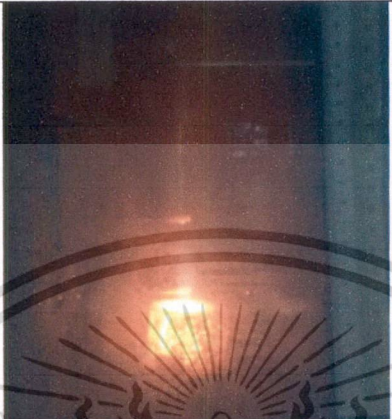
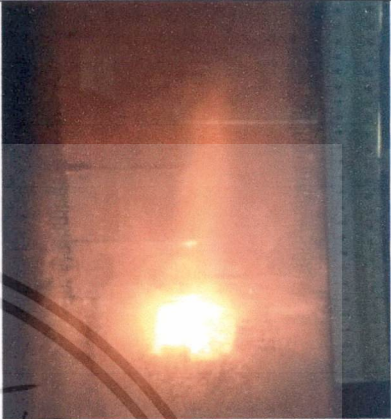
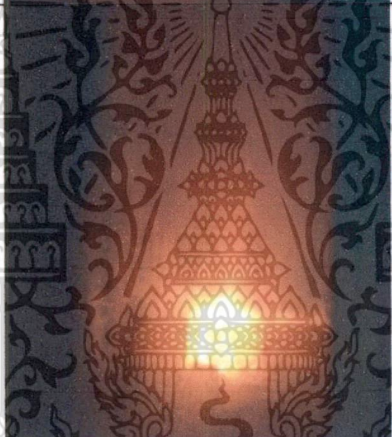
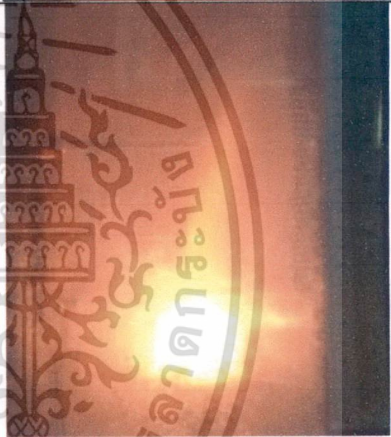
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวเผาชนิดที่มีวัสดุพอร์น			
อัตราการไหล LPG (L/min)	อัตราการไหล CO_2 (L/min)	ลักษณะเปลวไฟโดยใช้อากาศ ส่วนที่สอง 100 SCFH	ลักษณะเปลวไฟโดยใช้อากาศ ส่วนที่สอง 200 SCFH
2	4		เปลวดับ
3	3		
	3		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวเผาชนิดที่มีวัสดุพอรุน			
อัตราการไหล LPG (L/min)	อัตราการไหล CO ₂ (L/min)	ลักษณะเปลวไฟโดยใช้อากาศ ส่วนที่สอง 100 SCFH	ลักษณะเปลวไฟโดยใช้อากาศ ส่วนที่สอง 200 SCFH
3	4		
	5		
4	1		
	2		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวเผาชนิดที่มีวัสดุพอรุน			
อัตรา การไหล LPG (L/min)	อัตราการไหล CO_2 (L/min)	ลักษณะเปลวไฟโดยใช้อากาศส่วน ที่สอง 100 SCFH	ลักษณะเปลวไฟโดยใช้อากาศส่วน ที่สอง 200 SCFH
4	3		
	4		

ในหัวข้อนี้ได้พิจารณาลักษณะของเปลวไฟซึ่งประกอบด้วยสีและความยาวของเปลวไฟที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า (สีฟ้าและสีส้ม) ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะเปลวไฟของหัวเผาที่ไม่มีวัสดุพอรุนโดยปรับอากาศส่วนที่หนึ่งที่ 100 SCFH และ 200 SCFH และทำการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของเชื้อเพลิงดังแสดงในตาราง จากการสังเกตพบว่าในกรณีที่จ่ายอากาศส่วนที่สอง 200 SCFH นั้นให้เปลวไฟที่ดี เปลวไฟมีความแข็งแรงและมีความเสถียรภาพมากกว่ากรณีจ่ายอากาศส่วนที่สอง 100 SCFH และจะสังเกตว่าที่อัตราการไหลแอลพีจี 2 L/min และอัตราการไหล CO_2 3 L/min

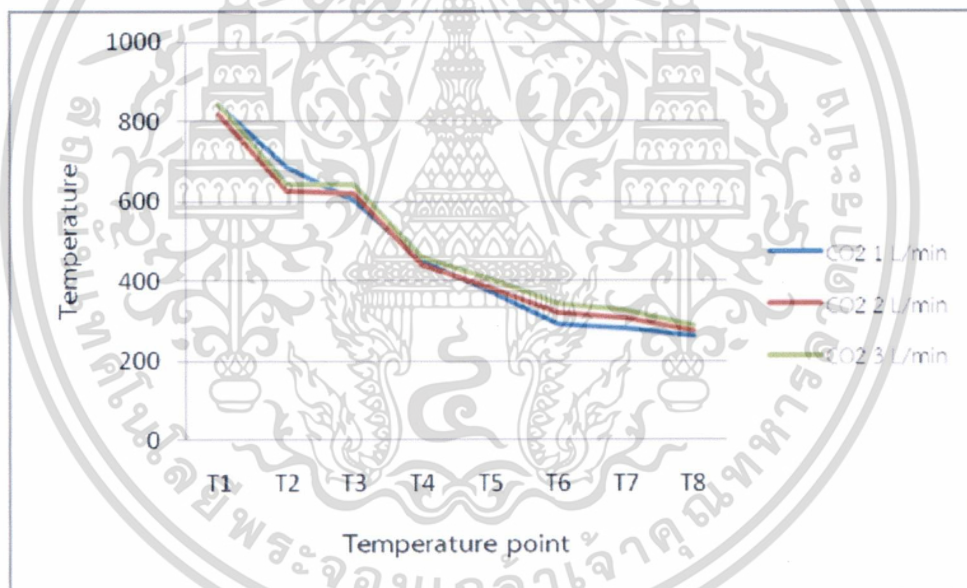
ในตารางที่ 5.1 เมื่อสังเกตเปลวไฟของหัวเผาที่มีวัสดุพอรุนโดยจะทำการจ่ายอากาศส่วนที่สอง 100 และ 200 SCFH ตามลำดับ จากการทดลองจะสังเกตว่าในหัวเผาที่มีวัสดุพอรุนนั้นเปลวไฟจะมีความสั้นกว่ากรณีหัวเผาที่ไม่มีวัสดุพอรุนบริเวณวัสดุพอรุนจะร้อนแดงโดยมีการเผาไหม้ภายในช่องว่างของวัสดุพอรุน ทำให้วัสดุพอรุนมีลักษณะเป็นสีส้ม รวมถึงมีเปลวไฟพุ่งออกมาจากรุกกลางวัสดุพอรุน โดยที่อัตราการไหลแอลพีจีที่ 2 L/min และอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 4 L/min อากาศส่วนที่สอง 100 SCFH จะให้เปลวไฟที่มีเสถียรภาพดีโดยสังเกตจากเปลวไฟมีสีฟ้าพุ่งออกมาจากรุกกลางวัสดุพอรุนและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

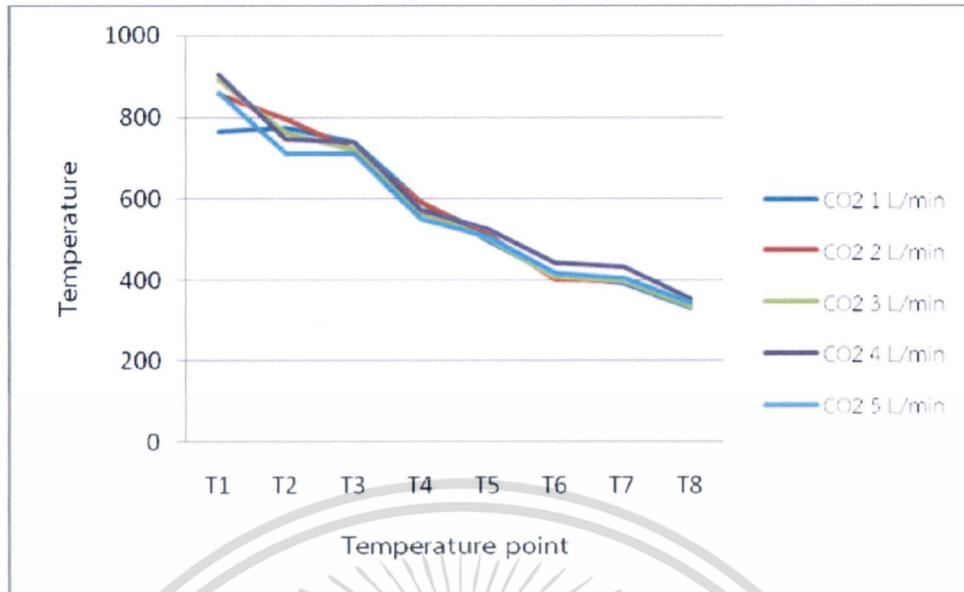
เปลวไฟเส้นแสดงให้เห็นว่าวัสดุพรมมีคุณสมบัติขัดเซพพฤติกรรมกการยกตัวของฐานเปลวไฟที่นำไปสู่ปรากฏการณ์หลุดลอย (Lift off) เมื่ออัตราการไหลเชื้อเพลิงสูงขึ้น ทำให้หัวเผาวัสดุพรมสามารถทำงานได้ในย่านอัตราการไหลที่กว้างกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับหัวเผาแบบไม่มีวัสดุพรม

5.2 การกระจายตัวของอุณหภูมิ

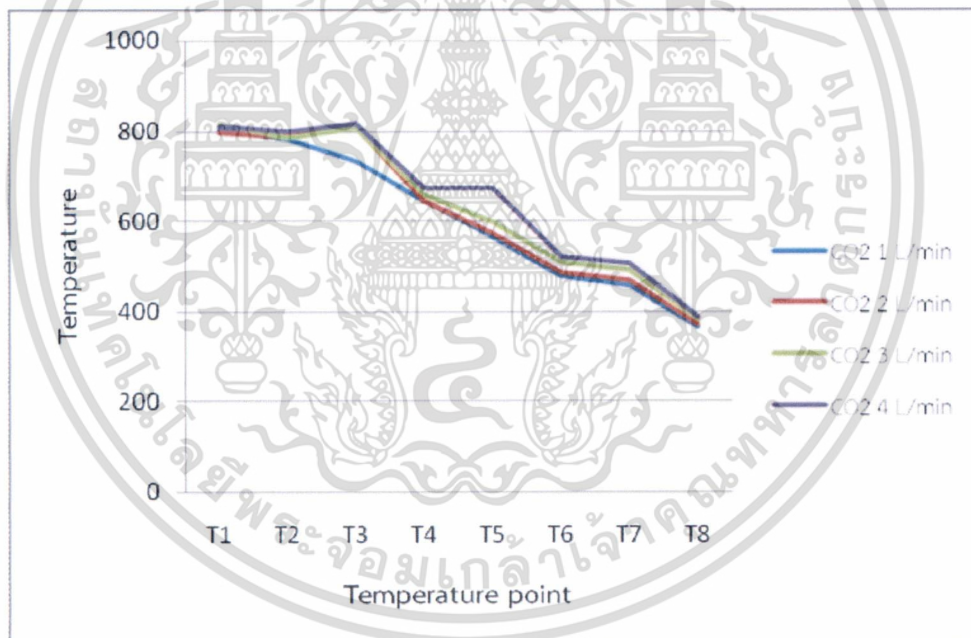
จากรูปที่ 5.1-5.3 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของหัวเผาแบบไม่มีวัสดุพรมและรูปที่ 5.4-5.6 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของหัวเผาวัสดุพรม ตามระดับความสูงตั้งแต่ 0 - 82 เซนติเมตร จากระดับปากหัวเผา ซึ่งแบ่งเป็นตำแหน่ง T1-T8 จากการทดลองพบว่าจากการทดลองพบว่าเมื่อปรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ส่งผลกับอุณหภูมิแต่ละตำแหน่งภายในเตาเผาจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิในตำแหน่ง T1 โดยมีค่าสูงกว่าตำแหน่ง T2 - T8 ตามลำดับในทุกๆ อัตราการไหลของเชื้อเพลิง โดยมีแนวโน้มลดลงตามระดับของความสูงและเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิระหว่างหัวเผาสองชนิดนั้นจะเห็นว่าหัวเผาแบบไม่มีวัสดุพรมจะมีอุณหภูมิสูงกว่าหัวเผาแบบที่มีวัสดุพรมทุกอัตราการไหล



รูปที่ 5.1 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของหัวเผาที่ไม่มีวัสดุพรมโดยใช้อัตราการไหลก๊าซแอลพีจีที่ 2 L/min

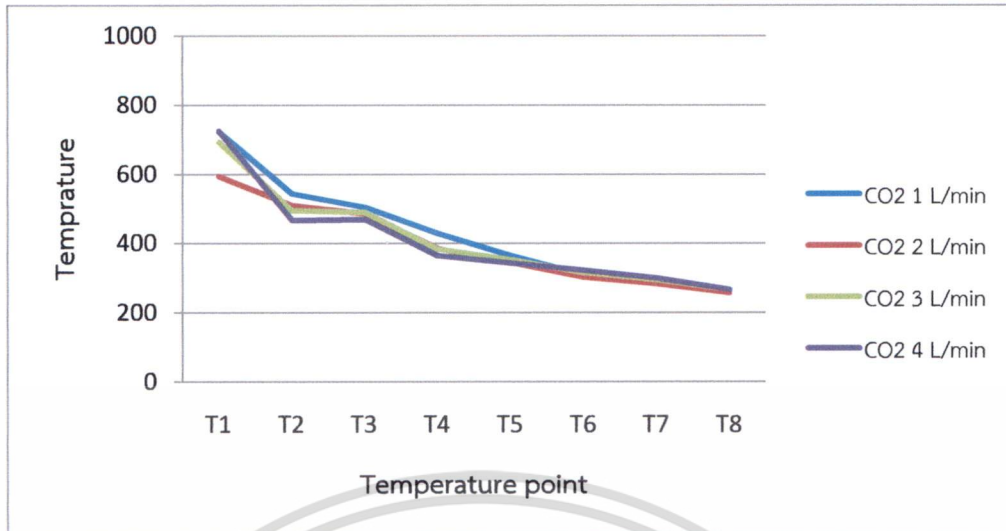


รูปที่ 5.2 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของหัวเผาที่ไม่มีวัสดุพูนโดยใช้อัตราการไหลก๊าซแอลพีจีที่ 3 L/min

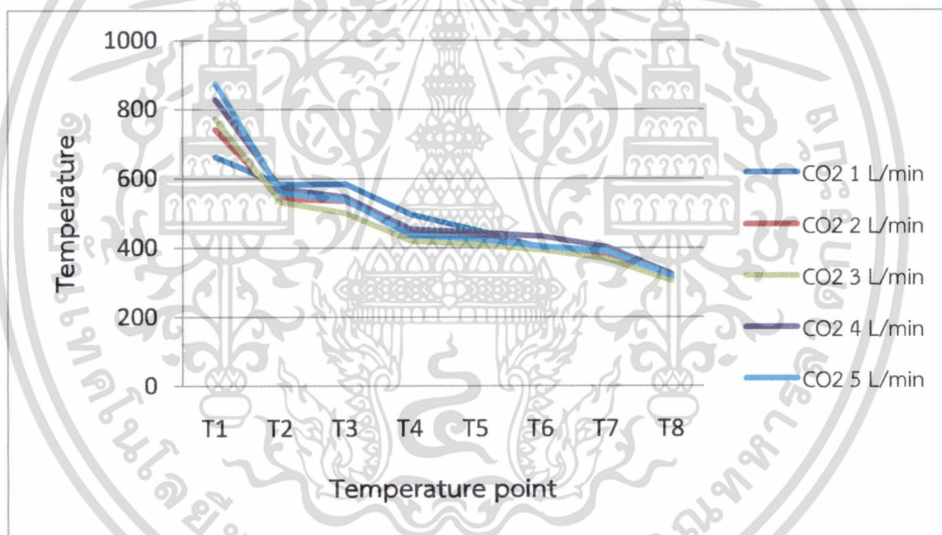


รูปที่ 5.3 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของหัวเผาที่ไม่มีวัสดุพูนโดยใช้อัตราการไหลก๊าซแอลพีจีที่ 4 L/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

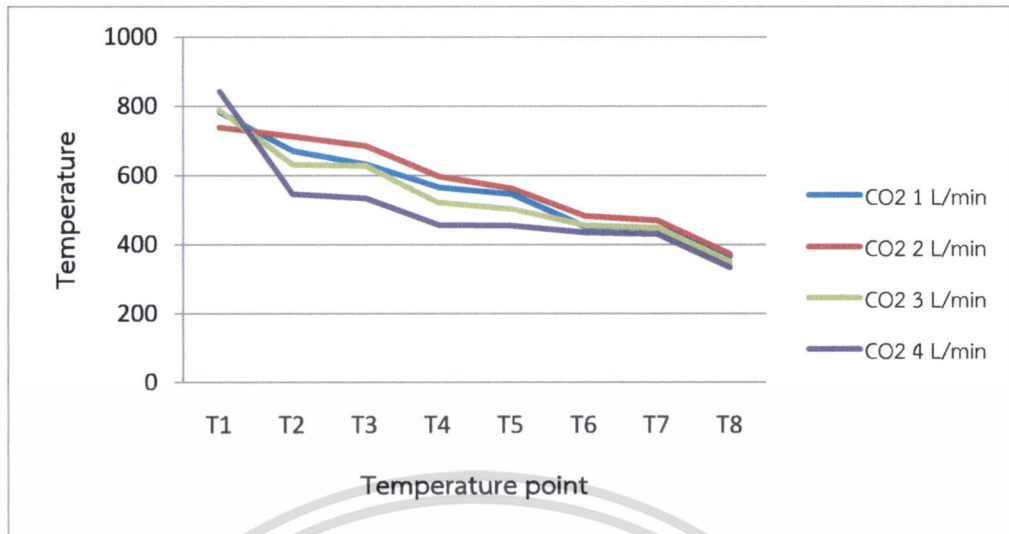


รูปที่ 5.4 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของหัวเผาวัสดุพูนโดยใช้อัตราการไหล
ก๊าซแอลพีจีที่ 2 L/min



รูปที่ 5.5 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของหัวเผาวัสดุพูนโดยใช้อัตราการไหล
ก๊าซแอลพีจีที่ 3 L/min

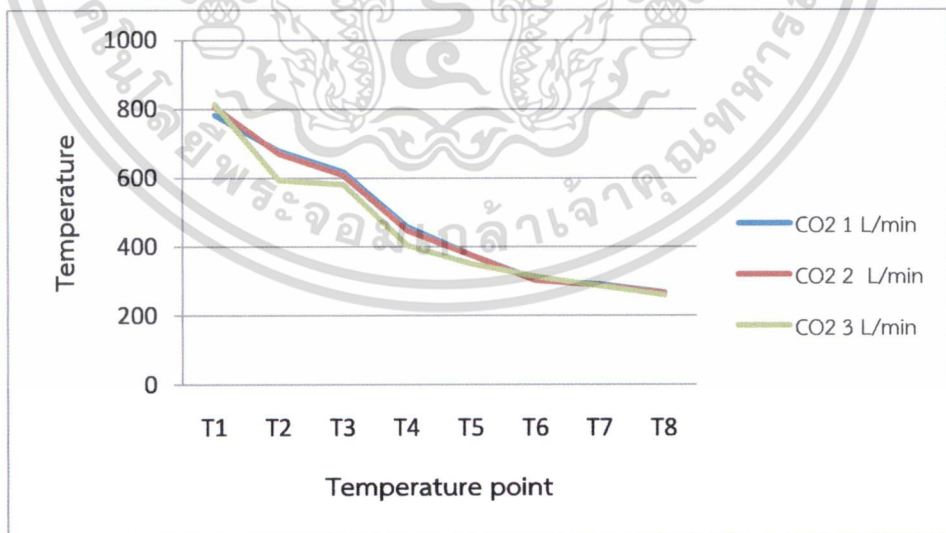
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของหัวเผาวัสดุพูนโดยใช้อัตราการไหลก๊าซแอลพีจีที่ 4 L/min

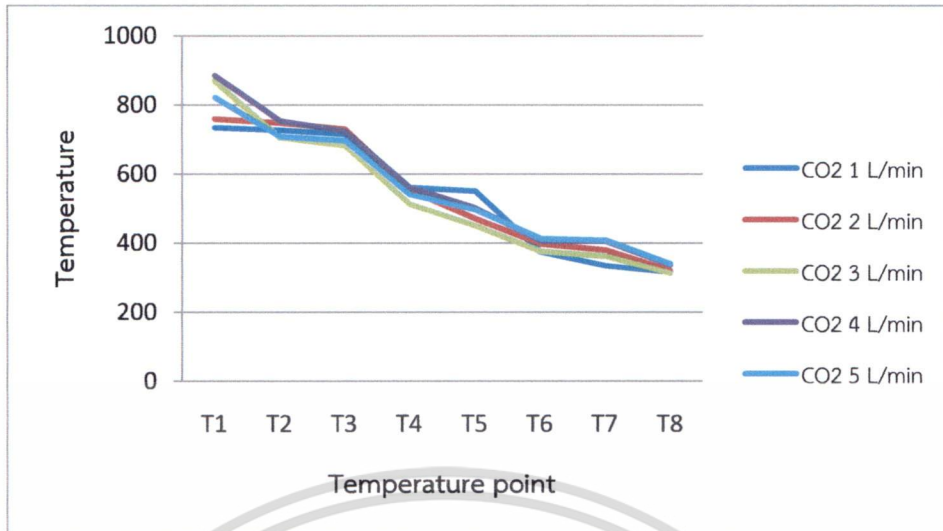
5.3 การกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อปรับเปลี่ยนอากาศส่วนที่สอง

จากรูปที่ 5.7 - 5.12 พิจารณาอิทธิพลของการปรับเปลี่ยนอากาศส่วนที่สองที่ส่งผลกระทบต่อการเผาไหม้และการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผา จากการทดลองเมื่อทำการปรับอากาศส่วนที่สองที่ 200 SCFH ซึ่งพบว่าการกระจายตัวอุณหภูมิลดลงเล็กน้อยทั้งสองกรณี สามารถกล่าวได้ว่าอากาศส่วนที่หนึ่งจากการเหนี่ยวนำของเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยหลักต่อการกระจายอุณหภูมิ ในขณะที่อากาศส่วนที่สองแทบไม่ทำให้เกิดกาเปลี่ยนแปลงมากนัก

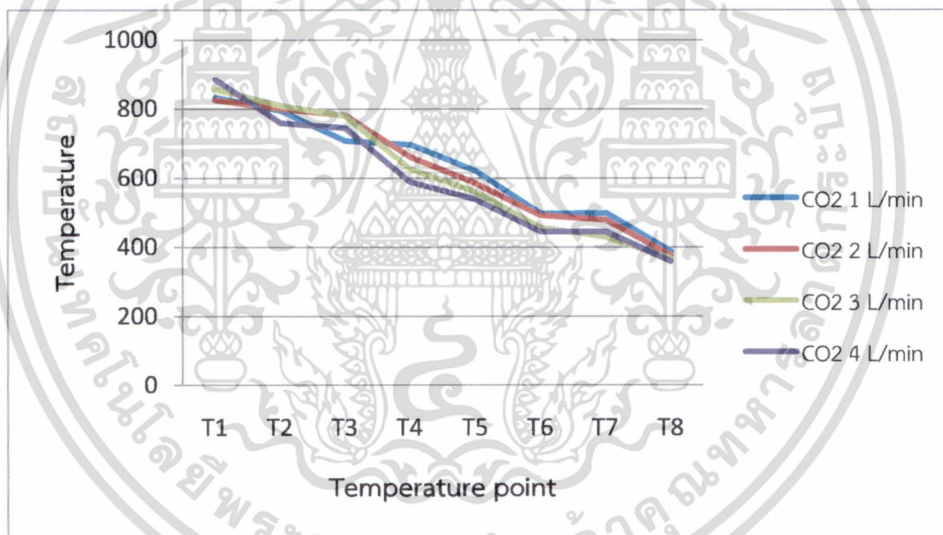


รูปที่ 5.7 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของหัวเผาที่ไม่มีวัสดุพูนโดยใช้อัตราการไหลก๊าซแอลพีจีที่ 2 L/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

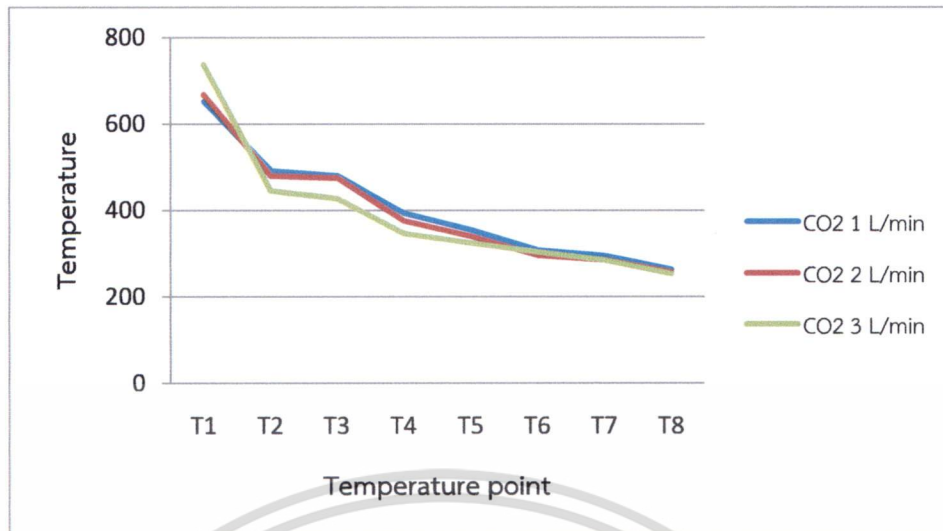


รูปที่ 5.8 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของหัวเผาที่ไม่มีวัสดุพูนโดยใช้อัตราการไหล
ก๊าซแอลพีจีที่ 3 L/min

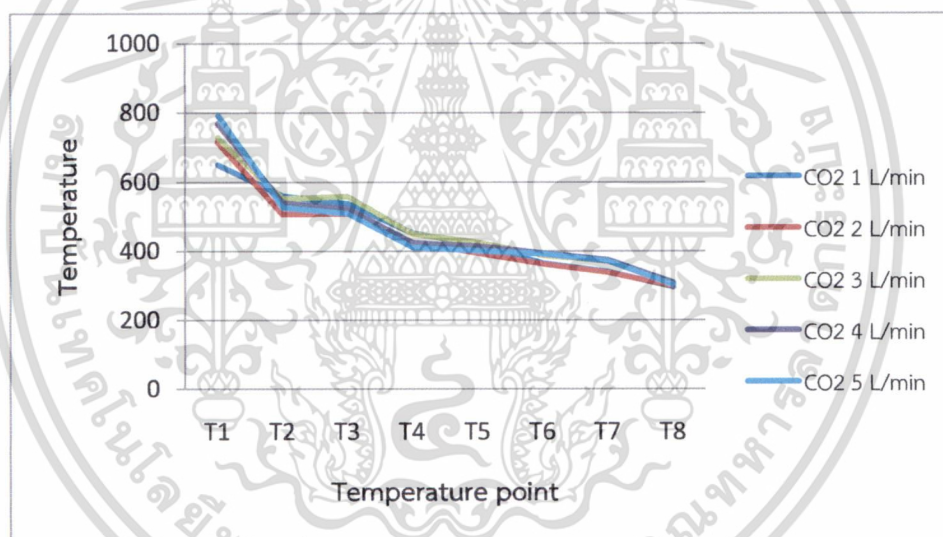


รูปที่ 5.9 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของหัวเผาแบบไม่มีวัสดุพูนโดยใช้อัตราการไหล
ก๊าซแอลพีจีที่ 4 L/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

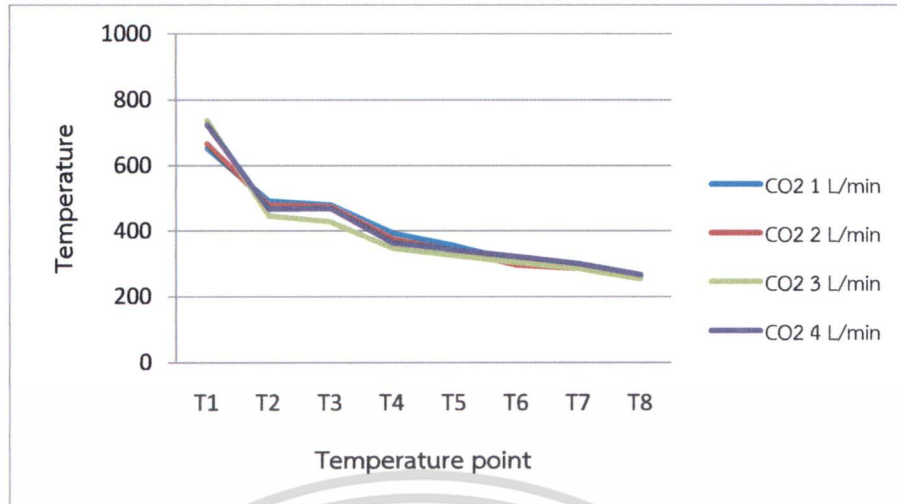


รูปที่ 5.10 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของหัวเผาแบบมีวัสดุพอรุนโดยใช้อัตราการไหล
ก๊าซแอลพีจีที่ 2 L/min



รูปที่ 5.11 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของหัวเผาแบบมีวัสดุพอรุนโดยใช้อัตราการไหล
ก๊าซแอลพีจีที่ 3 L/min

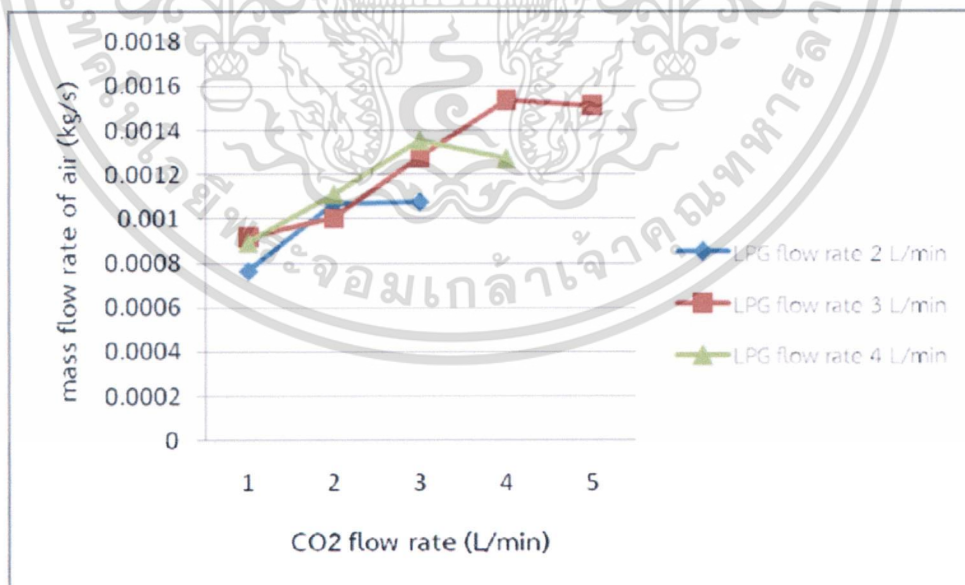
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของหัวเผาแบบมีวัสดุพอรุนโดยใช้อัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีที่ 4 L/min

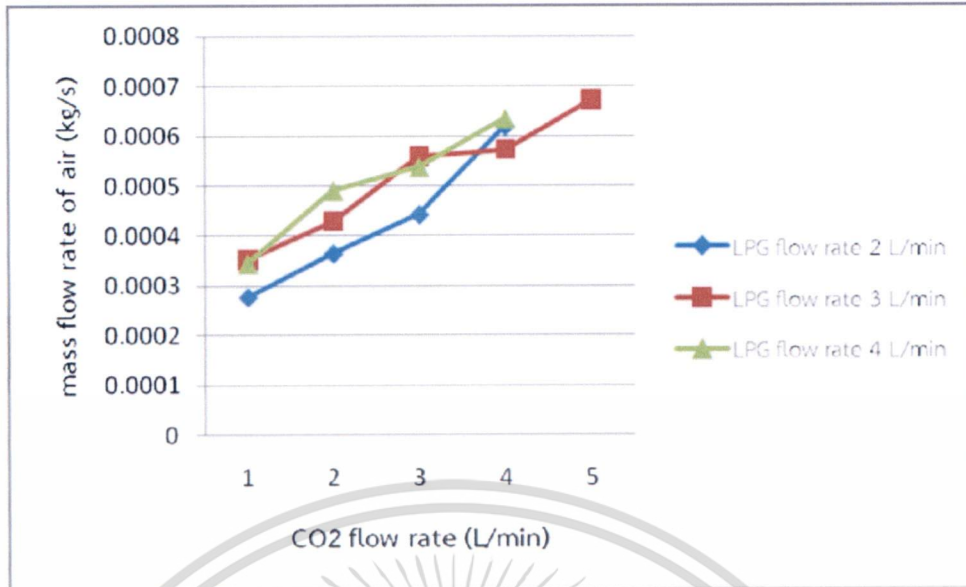
5.4 การเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่ง

จากรูปที่ 5.13 และรูปที่ 5.14 เป็นการเปรียบเทียบอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศส่วนที่หนึ่งของหัวเผาทั้งสองชนิด กรณีที่ได้จากการคำนวณ จากการพิจารณาจากกราฟพบว่าหัวเผาแบบไม่มีวัสดุพอรุนจะสามารถเหนี่ยวนำอากาศได้มากกว่าหัวเผาแบบมีวัสดุพอรุนในช่วงอัตราการไหลของก๊าซแอลพีจี 2 และ 3 L/min เมื่ออัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการการเหนี่ยวนำลดลงซึ่งตรงข้ามกับหัวเผาแบบมีวัสดุพอรุนการเหนี่ยวนำอากาศจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการไหล



รูปที่ 5.13 แสดงการเหนี่ยวนำอากาศเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ของหัวเผาแบบไม่มีวัสดุพอรุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 แสดงการเหนี่ยวนำอากาศเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ของหัวเผาแบบมีวัสดุพรุน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้หัวเผาใหม่ชนิดวัสดุพูน และปรับปรุงหัวฉีดเชื้อเพลิง ให้มีความเหมาะสมสำหรับการใช้เชื้อเพลิงก๊าซที่มีค่าความร้อนต่ำในเครื่องยนต์กังหันก๊าซขนาดเล็ก โดยการใช้หัวเผาสองชนิดคือ แบบไม่มีวัสดุพูนและแบบมีวัสดุพูนเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการเผาไหม้ภายใต้สถานการณ์การทำงานเดียวกันซึ่งจะแบ่งการศึกษาเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งคือการศึกษาการเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่งและส่วนที่สองคือการศึกษาสมรรถนะการเผาไหม้

6.1.1 การศึกษาการเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่งของหัวฉีด

โดยศึกษาเปรียบเทียบการเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่งของหัวเผาทั้งกรณีที่มีวัสดุพูนและไม่มีวัสดุพูน ภายใต้การปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของเชื้อเพลิง จากทดลองสามารถสรุปได้ว่า หัวเผาที่ไม่มีวัสดุพูนสามารถเหนี่ยวนำอากาศได้ดีกว่าหัวเผาแบบมีวัสดุพูนในช่วงของอัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีที่ 2 และ 3 L/min และจะลดลงเมื่ออัตราการไหลของแอลพีจีสูงขึ้นซึ่งตรงกันข้ามกับหัวเผาแบบมีวัสดุพูนจะมีอัตราการเหนี่ยวนำของอากาศเพิ่มขึ้นตามอัตราการไหล

6.1.2 การศึกษาสมรรถนะการเผาไหม้

ในการศึกษาสมรรถนะการเผาไหม้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น การศึกษาอิทธิพลจากการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของเชื้อเพลิง และการศึกษาอิทธิพลจากการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศส่วนที่สอง โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเปลวไฟและการกระจายอุณหภูมิในห้องเผาไหม้จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

6.1.2.1 การศึกษาอิทธิพลจากการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลเชื้อเพลิง

1. เปลวไฟกรณีหัวเผาแบบไม่มีวัสดุพูนจะมีความเสถียรภาพดี กล่าวคือเปลวไฟมีสีฟ้าและสั้นในช่วงอัตราการไหลของแอลพีจีที่ 2 L/min ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 3 L/min เท่านั้นเมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลของแอลพีจีเปลวไฟจะยาวขึ้นและมีสีฟ้าอมส้ม

2. เปลวไฟกรณีหัวเผาแบบมีวัสดุพูนเปลวไฟจะอมอยู่รอบๆวัสดุพูนและอยู่ตรงกลางวัสดุพูน โดยสังเกตจากวัสดุพูนจะมีสีส้มเปลวไฟที่ได้จากหัวเผานี้มีความเสถียรภาพดีที่อัตราการไหลแอลพีจี 2 L/min และอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 4 L/min เมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลของแอลพีจีจะให้เปลวไฟที่ดีและสั้นกว่าหัวเผาแบบไม่มีวัสดุพูนซึ่งสอดคล้องกับผลของการเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่ง

3. พิจารณาการกระจายอุณหภูมิหัวเผาแบบไม่มีวัสดุพูนกับหัวเผาแบบมีวัสดุพูน พบว่าอุณหภูมิของหัวเผาแบบไม่มีวัสดุพูนนั้นจะสูงกว่าหัวเผาแบบมีวัสดุพูนและค่อยๆลดลงตามระดับความสูงในขณะที่หัวเผาแบบมีวัสดุพูนอุณหภูมิจุดที่ 1 เข้าสู่จุดที่สองจะลดลงอย่างรวดเร็วจากนั้นจะค่อยๆลดลงตามระดับความสูง

6.1.2.2 การศึกษาอิทธิพลจากการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลอากาศส่วนที่สอง

เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลอากาศส่วนที่สองพบว่าในกรณีของหัวเผาแบบไม่มีวัสดุพอรุน นั้นส่งผลน้อยมากเมื่อเทียบกับหัวเผาแบบมีวัสดุพอรุน กล่าวคือเมื่อสังเกตเปลวไฟ ซึ่งเปลวไฟจะมีสีฟ้า และสั้นกว่าเดิม

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาชิ้นนี้สามารถศึกษาในย่านอัตราการไหลที่ไม่สูงมากนักเนื่องจากเกิดการไหลย้อนกลับของเชื้อเพลิงเมื่อปรับอัตราการไหลเชื้อเพลิงเกิน 5 L/min จำเป็นต้องปรับขนาดของวาล์วกันกลับและขนาดของรูหัวฉีดให้มีขนาดใหญ่ขึ้น
2. ช่วงการวัดอุณหภูมิควรทำให้มีขนาดพอดีกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเทอร์โมคัปเปิล เพื่อป้องกันการรั่วจากอากาศภายนอกเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ส่งผลให้อุณหภูมิคลาดเคลื่อน
3. ปล่องสำหรับการวัดไอเสียควรมีความยาวเพิ่มขึ้นเนื่องจากหัวเผาแบบไม่มีวัสดุพอรุนเมื่อเพิ่มอัตราการไหลที่ 4 L/min เป็นต้นไปจะมีเปลวไฟที่ยาวลามขึ้นไปปล่องวัดไอเสีย ซึ่งหากทำการวัดอุณหภูมิ ผลที่ได้จะเป็นค่าของอุณหภูมิเปลวไฟ
4. หากนำวัสดุพอรุนไปประยุกต์ใช้เครื่องยนต์กังหันแก๊สจำเป็นต้องใช้เป็นซิลิกา เนื่องจากมีความแข็งแรงมากกว่าจะไม่ทำให้เกิดการแตกหักง่าย

บทที่ 7

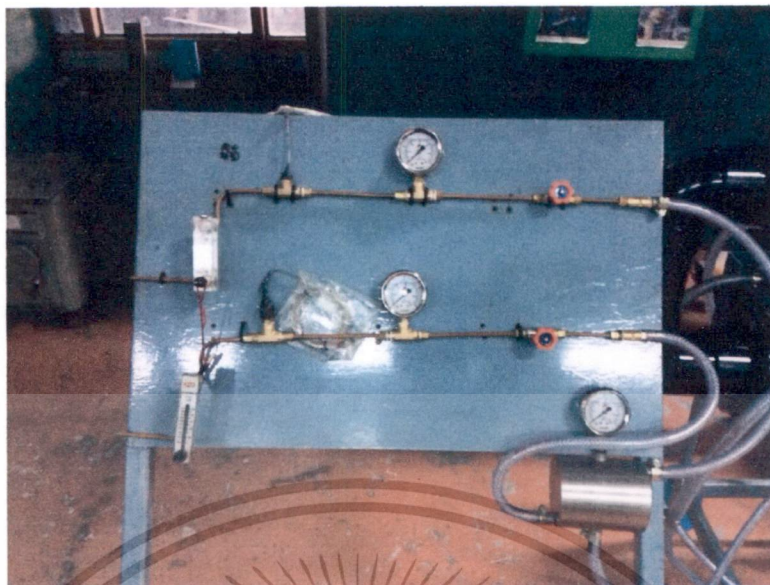
สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

จากศึกษาที่ผ่านมาได้มีการสร้างชุดทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมและลักษณะของการเผาไหม้สำหรับเชื้อเพลิงค่าความต่ำโดยการนำก๊าซแอลพีจีผสมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อง่ายต่อการศึกษาดังนั้นผลผลิตที่ได้จากการวิจัยนั้นคือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากยานการศึกษาต่างๆซึ่งกล่าวไว้ในบทที่ 5 ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการพัฒนาและวิจัยในลำดับต่อไปและในอนาคต ในส่วนของชุดทดลองแสดงดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 7.1 ชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.2 ชุดปั๊มเชื้อเพลิง



รูปที่ 7.3 หัวเผาเชื้อเพลิง 2 แบบ

บรรณานุกรม

- [1] <http://www.dede.go.th> "แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25 % ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564)" [ออนไลน์] มิถุนายน 2556 เข้าถึงได้จาก <http://www.dede.go.th/dede/images/stories/aedp25.pdf>
- [2] H.Arthur Lefebvre (1993). Gas Turbine Combustion. Braun-Brumfield.United States of America.
- [3] Charles E. Baukal, Jr. 2001. The John Zink Combustion handbook. United states of America: CRC Press.
- [4] Rathakrishnan, E. 2010. Applied Gas Dynamics. Singapore: Wiley
- [5] Turns, S.R. 1996. An introduction to combustion concept and applications. Singapore: McGraw-Hill.
- [6] กนกกาญจน์ ว่องวัชรพร, 2556. หัวเผาวัสดุพูนสมรรถนะสูง. บทความวารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรราชนครินทร์, ปีที่ 5 (ฉบับที่ 1), 109-123.
- [7] เจษนิพัทธ์ ดวงมารดา ทวีริย์ ทยานอก ฉัญญาพร หินทรวงค์, 2554. "การพัฒนาหัวฉีดเพื่อใช้เชื้อเพลิงความร้อนต่ำสำหรับเครื่องยนต์กังหันก๊าซ" ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [8] ตัวกรองเซรามิกซ์. <http://www.acme-inter.com> .19 ตุลาคม, 2557
- [9] ภรณ์เพ็ญ ลภีรัตนากุล, 2555. การปรับปรุงการผสมและการเผาไหม้จากหัวฉีดดัดแปลงในหัวเผาแอลพีจีแบบผสมล่วงหน้า. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [10] สุวัชชัย กิจสำราญกุล, 2555. การพัฒนาหัวฉีดแบบผสมอากาศก่อนการเผาไหม้สำหรับเครื่องยนต์กังหันก๊าซต้นแบบ. บทความวิชาการการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8.
- [11] สำเร็จ จักรใจ, 2547. การเผาไหม้. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

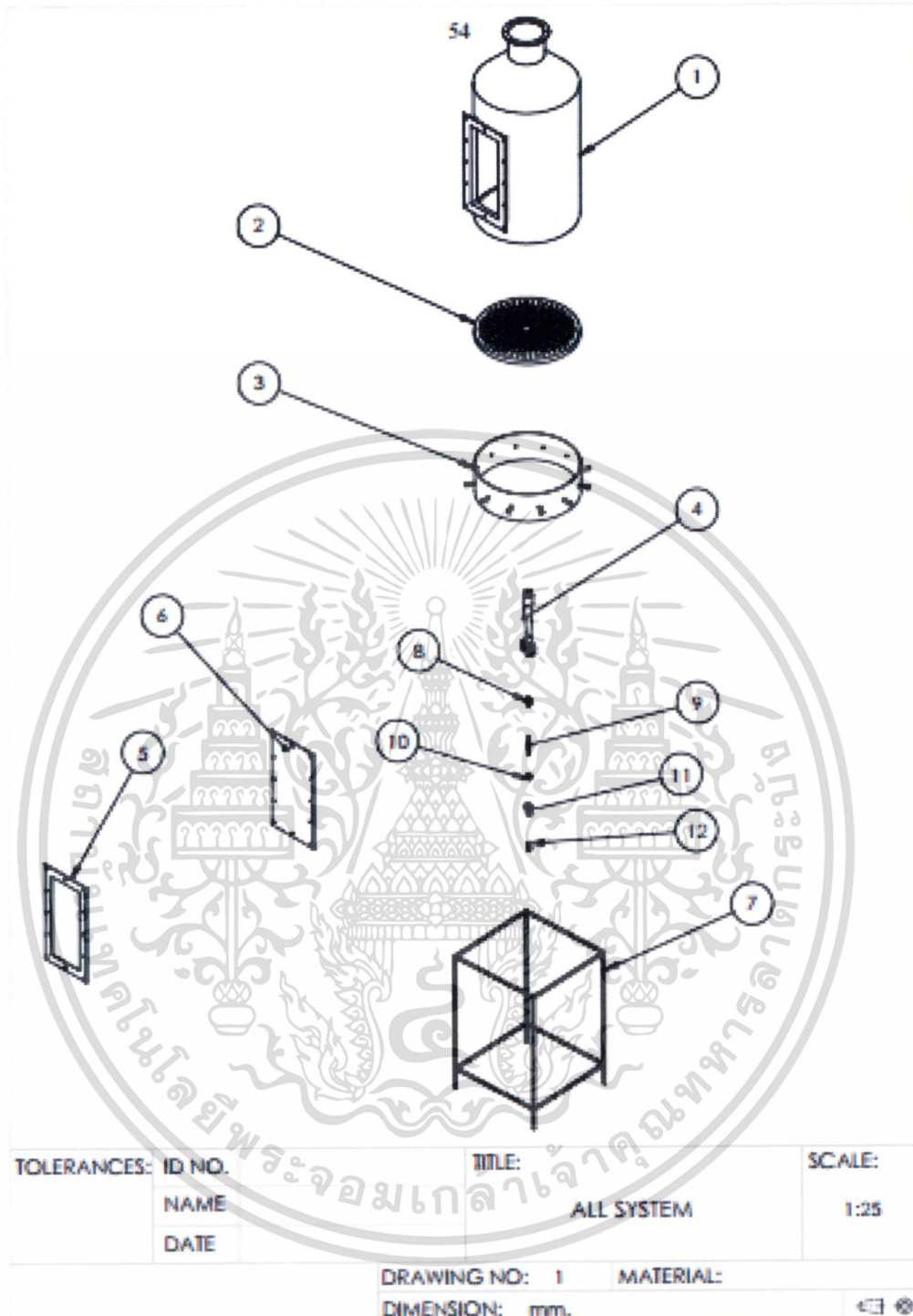
[12] อาวุธ ลภีรัตน์ากุล, 2551. สมรรถนะเชิงความร้อนของเตาเผาไหม้แบบวัสดุพูนที่มีการจ่ายอากาศเป็นชั้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

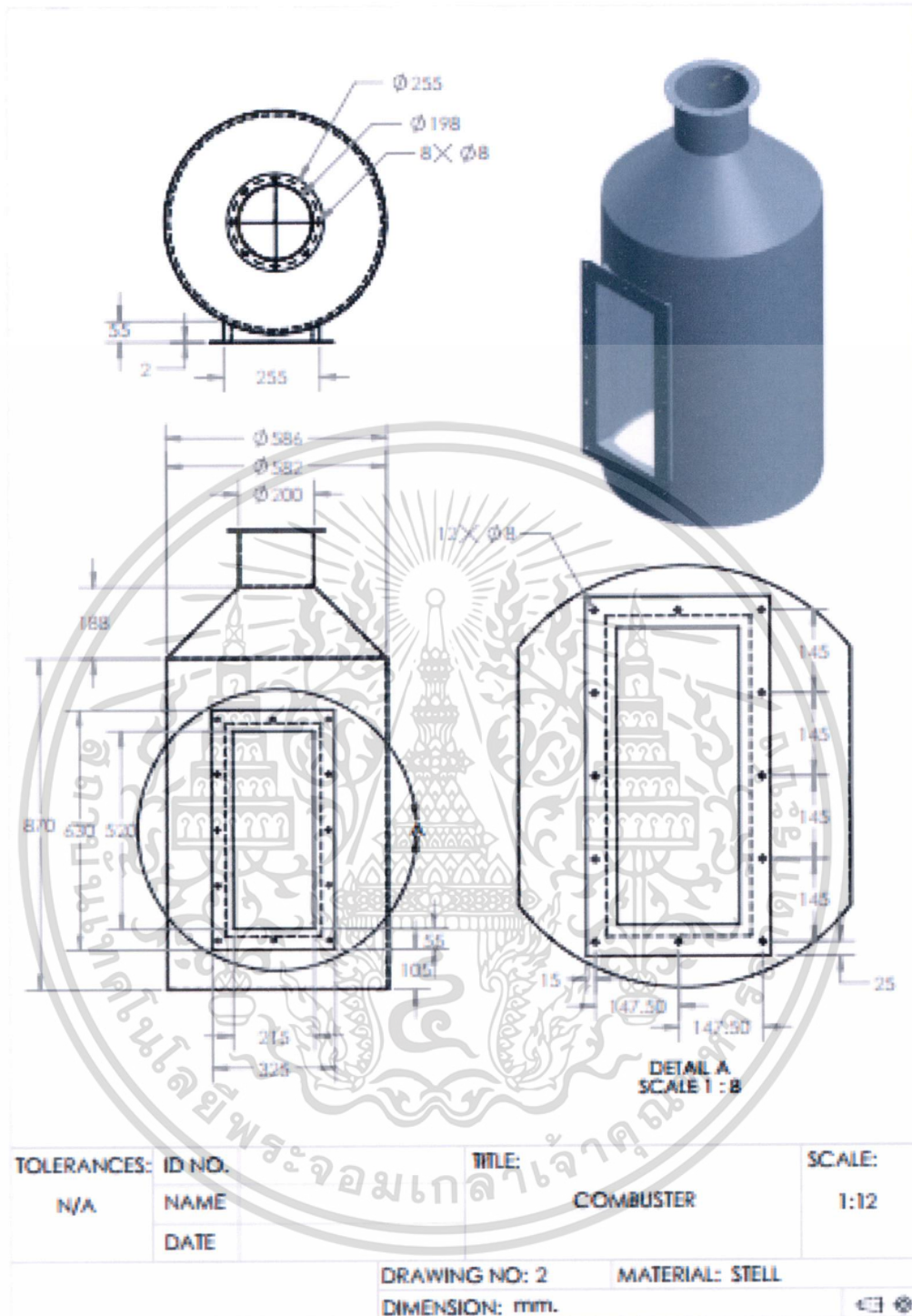


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



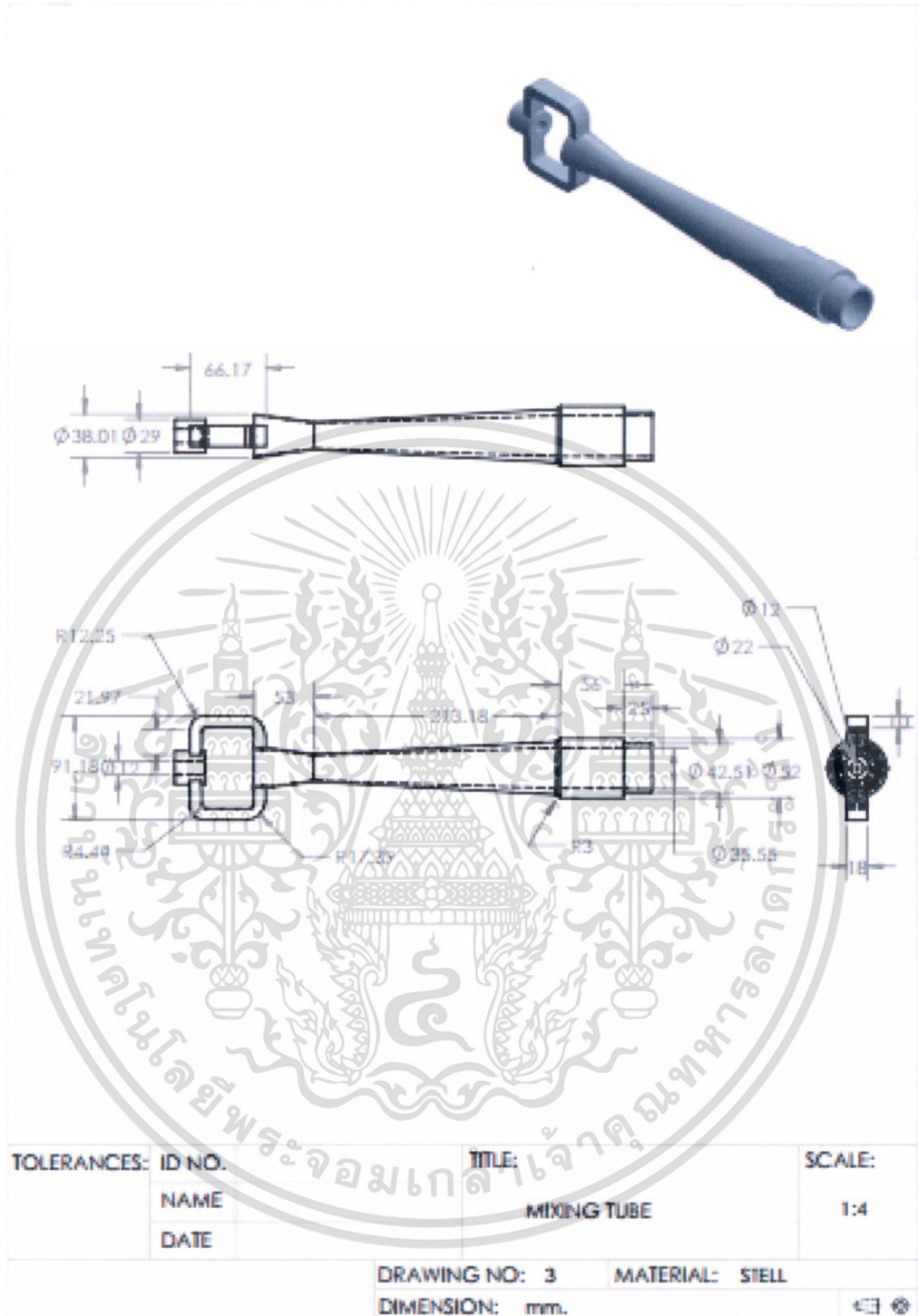
รูปที่ ก.1 ส่วนประกอบของชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 ห้องเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



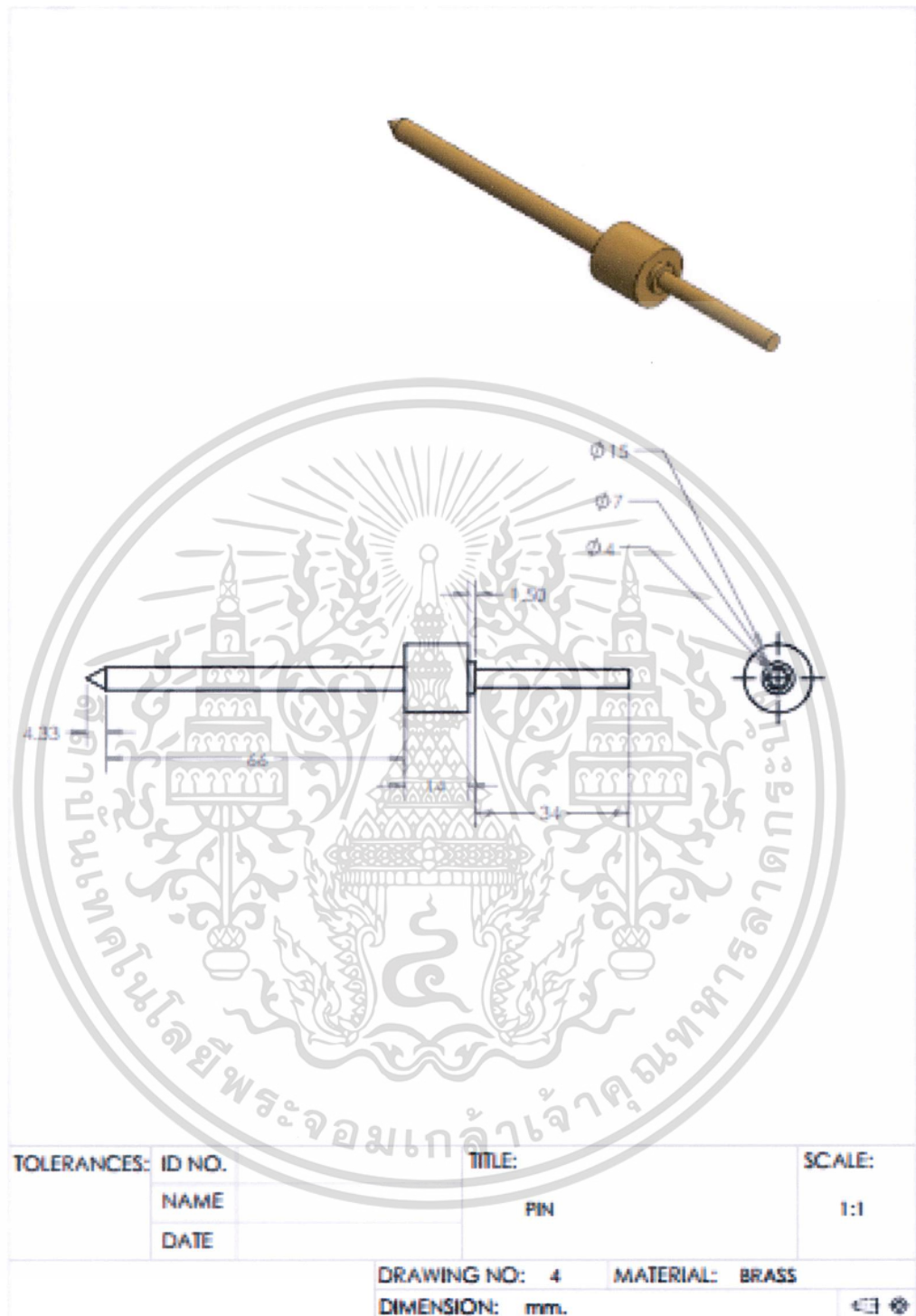
รูปที่ ก.3 ท่อนผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



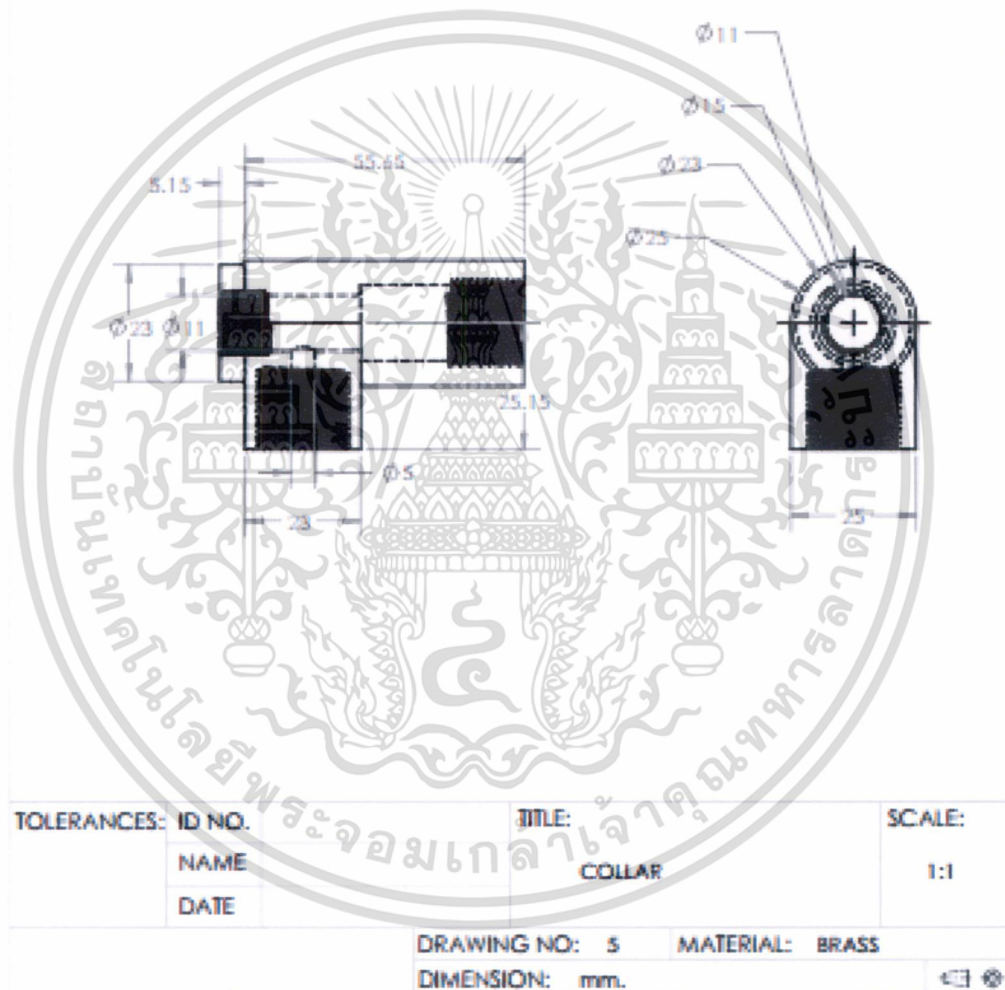
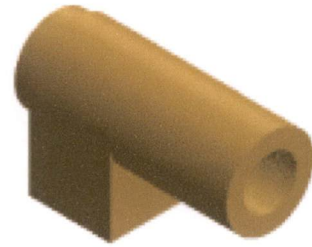
รูปที่ ก.4 หัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



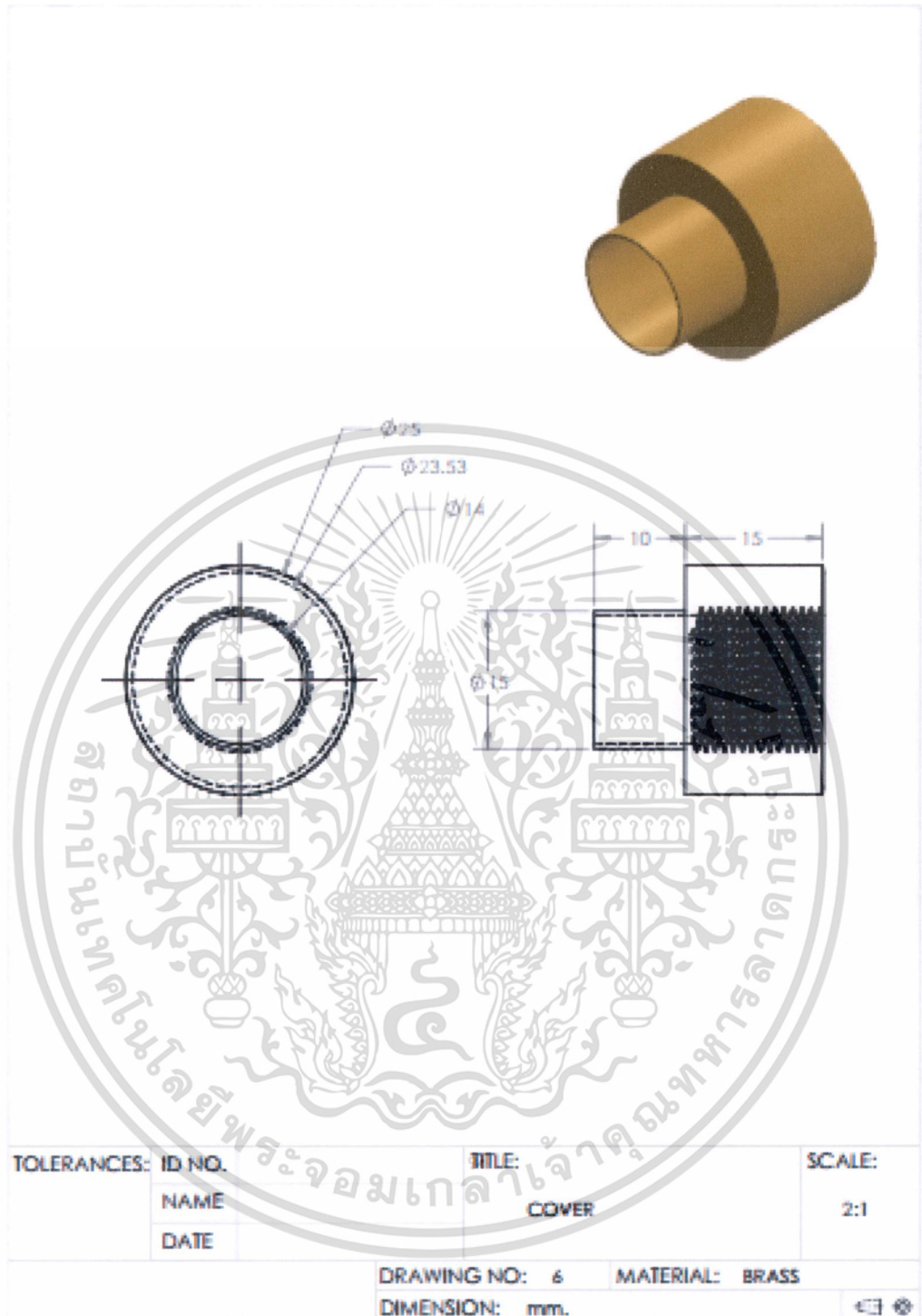
รูปที่ ก.5 เข็มหัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



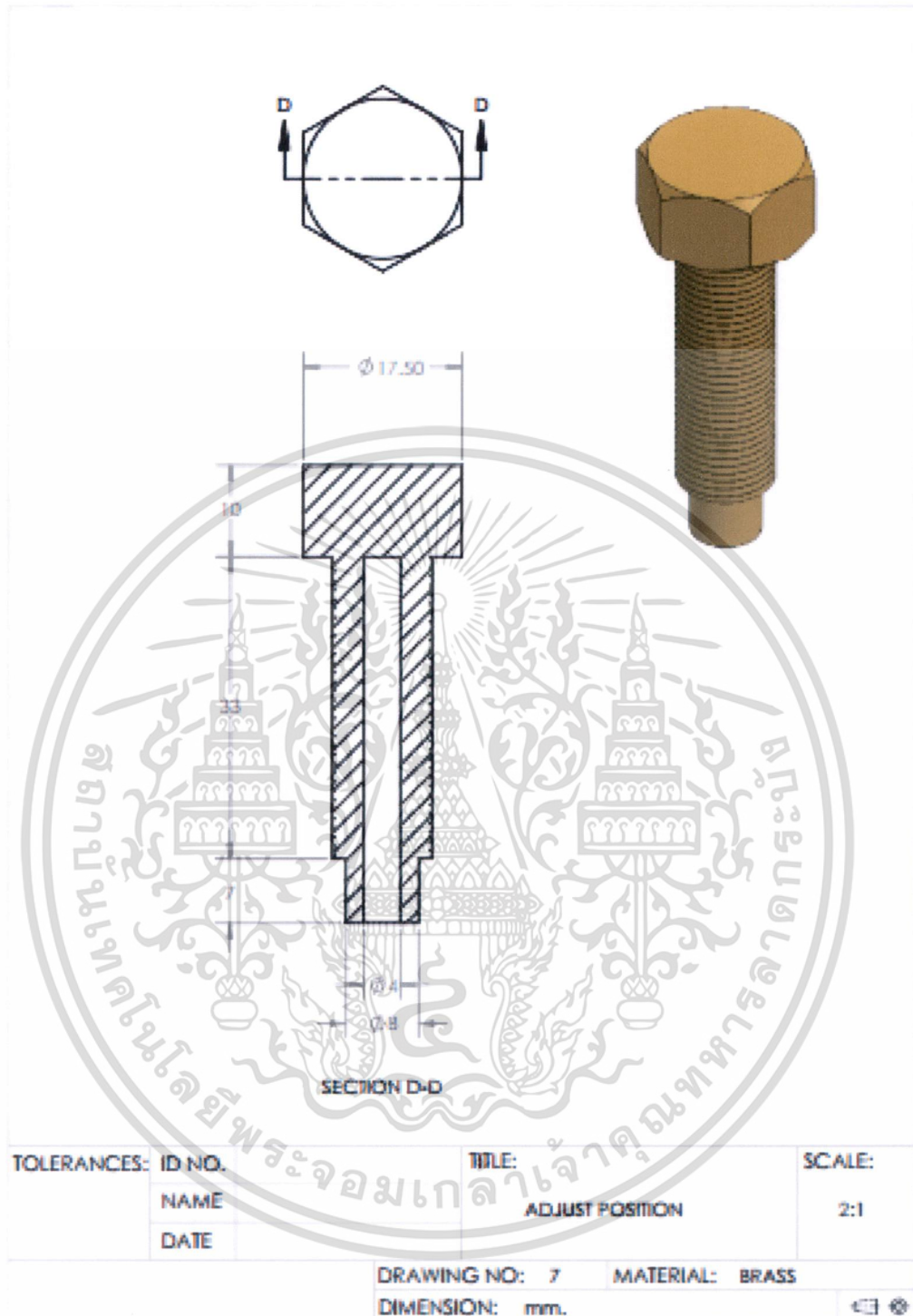
รูปที่ ก.6 เสื้อหัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



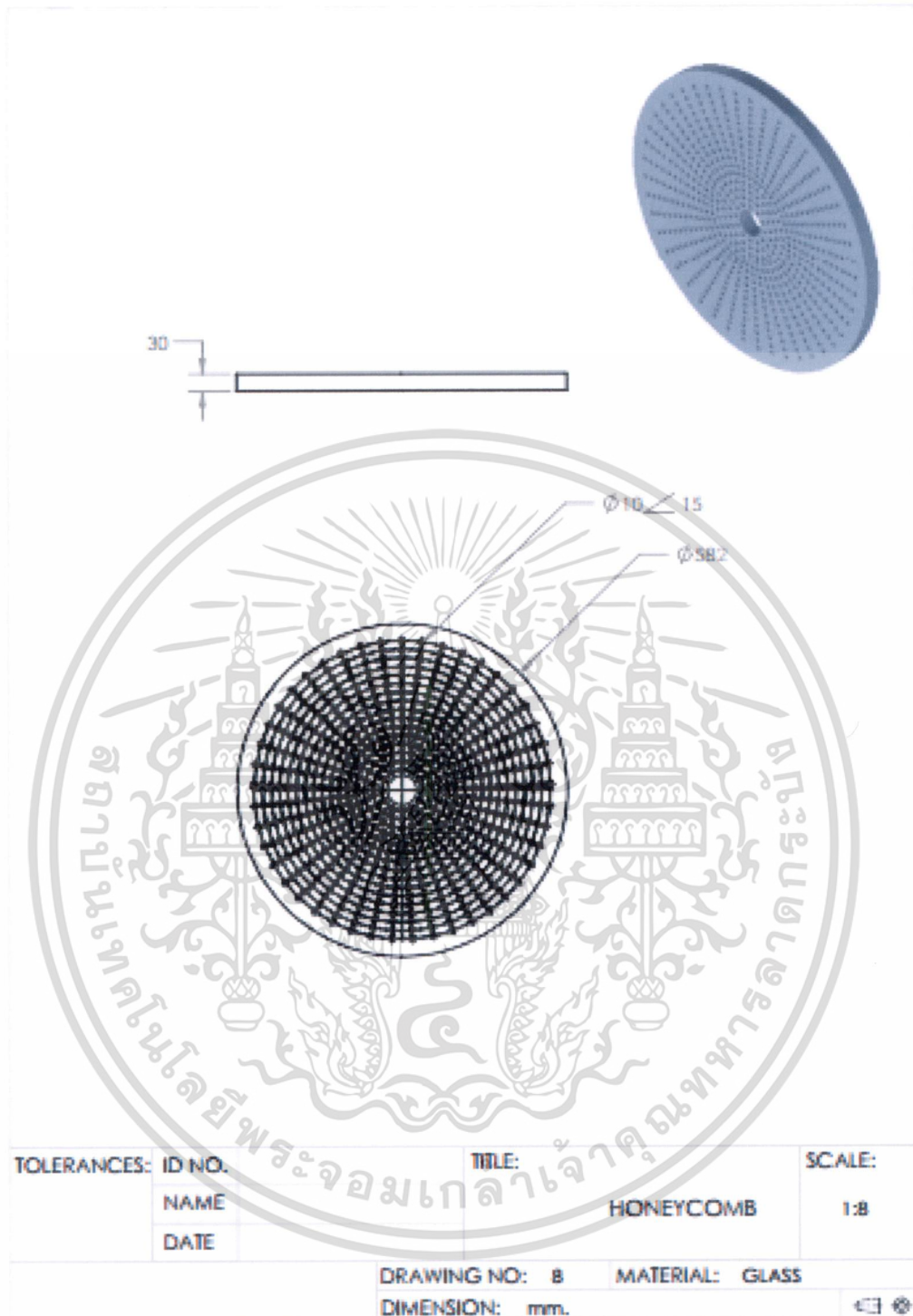
รูปที่ ก. 7 ฝาปิดท้ายหัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



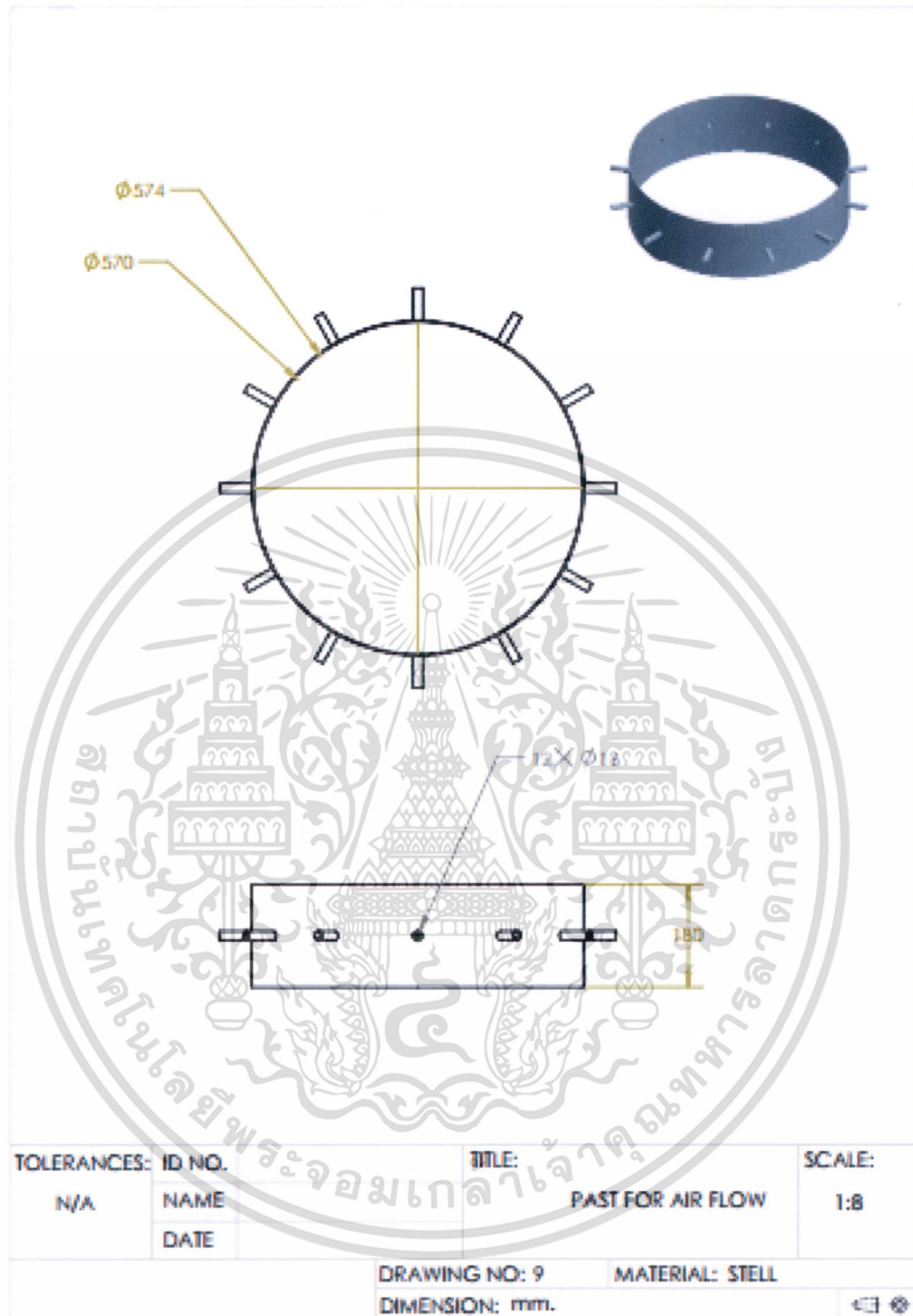
รูปที่ ก. 8 ตัวปรับระยะเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.9 แผ่นจัดระเบียบการไหลของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.10 ทางเข้าสำหรับอากาศส่วนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
สรุปค่าใช้จ่ายดำเนินโครงการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งบประมาณรายจ่าย
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ขอเบิกเงิน รายได้ หมวด เงินอุดหนุน
รวมใบสำคัญ 15 ฉบับ

งานวิจัย พัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีค่าใช้จ่ายในโครงการวิจัยของ รศ.ดร. จารุวัตร เจริญสุข เรื่อง การพัฒนาห้องเผาไหม้และระบบการเผาไหม้ในเครื่องยนต์กังหันก๊าซขนาดเล็กเพื่อการผลิต กระแสไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงความร้อนต่ำ

ลำดับที่	รายการ	จำนวน ใบสำคัญ	จำนวนที่ขอเบิก
1	ใบเสร็จรับเงิน เลขที่ IV5701341	1	8,678.77
2	ใบเสร็จรับเงิน เลขที่ IV5701369	1	8,669.14
3	ใบเสร็จรับเงิน เลขที่ IV5701408	1	8,457.80
4	ใบเสร็จรับเงิน เลขที่ IV5701426	1	8,190.85
5	ใบเสร็จรับเงิน เลขที่ 08456	1	1,284.00
6	ใบเสร็จรับเงิน เลขที่ 122695	1	8,890.00
7	ใบเสร็จรับเงิน เลขที่ 08474	1	5,136.00
8	ใบเสร็จรับเงิน เลขที่ S57-13068	1	500.00
9	ใบเสร็จรับเงิน เลขที่ POS-57-06-18-008	1	749.00
10	ใบเสร็จรับเงิน เลขที่ IV570600064	1	1,605.00
11	ใบเสร็จรับเงิน เลขที่ 098/4819	1	4,003.94
12	ใบเสร็จรับเงิน เลขที่ 110/5495	1	1,000.00
13	ใบเสร็จรับเงิน เลขที่ 2046/102283	1	856.00
14	ใบเสร็จรับเงิน เลขที่ 061/3020	1	374.50
15	ใบเสร็จรับเงิน เลขที่ IV570700059	1	1,605.00
	(หกหมื่นบาทถ้วน)	15	60,000.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติคณะผู้วิจัย

- หัวหน้าโครงการวิจัย

รศ.ดร.จรรูวัตร เจริญสุข (Assoc. Prof. Dr. Jaruwat Charoensuk)

ดำรงตำแหน่ง รองศาสตราจารย์ วิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประวัติการศึกษา

- วศ.บ. (เกียรตินิยมอันดับ2) วิศวกรรมเครื่องกล สจล. ปี พ.ศ. 2534
- Ph.D. (Mech. Eng.) Imperial College, University of London, United Kingdom, January 1996

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ : Combustion และ Computational Fluid Dynamics

ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- การพัฒนาเครื่องยนต์กังหันก๊าซขนาดเล็กเพื่อเป็นต้นกำลังงานกล สำหรับห้องปฏิบัติการ วิศวกรรมเครื่องกล ทุนสนับสนุนวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ในปี พ.ศ. 2543-2545
- โครงการ การพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปี พ.ศ. 2544-2547
- โครงการ การประยุกต์ใช้น้ำมันพืชใช้แล้วในเครื่องยนต์กังหันก๊าซขนาดเล็ก คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ปีงบประมาณ 2553

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ตีพิมพ์

- Abbas T., Charoensuk J., Costen P. and Lockwood F.C., The performance of pulverised-coal frame in a simulated combined cycle unit, Combustion and Frame, Vol.3, No.1, p.111-123,1997.
- Jaruwat Charoensuk, Arwut Lapidattanakul, On flame stability, temperature distribution and burnout of air-staged porous media combustor firing LPG with different porosity and excess air, Applied Thermal Engineering, 2011 doi:10.1016/j.applthermaleng.2011.04.042 Key: citeulike:9373703.
- Vuthipong Junkree and Jaruwat Charoensuk, H₂SO₄ Acid Dew Point Temperature Estimation to Avoid Corrosion on Heat Recovery Equipments In a Natural Gas Fired Power Plant, Proceeding of the 11th International Colloquium on Environmentally Preferred Advanced Power Generation, February 8-10, 2011, Costa Mesa, California, USA.
- Dachdanai Boonchaui, Kittipass Wasinarom, Monthol Chamsab and Jaruwat Charoensuk, Computational investigation of quantitative entropy generation in centrifugal compressors with different exit beta angle, The Second TSME International Conference on Mechanical Engineering, 19-21 October, 2011, Krabi.

- ภาณุมาศ อรุณเดชาวัฒน์, จารุวัตร เจริญสุข “การปรับปรุงห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ กังหันก๊าซชนิดส่วนผสมอากาศเชื้อเพลิงหนา-บางสำหรับเชื้อเพลิงก๊าซที่มีค่าความร้อนต่ำ”, วิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 50, สิงหาคม-พฤศจิกายน 2546
- กิตติภาส วศินารมณ, นีวัฒน์ ภูเจริญ และ จารุวัตร เจริญสุข “การวิเคราะห์ทางความร้อน และการประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์กังหันก๊าซขนาดเล็ก” การประชุมวิชาการเครือข่าย วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, 4-7 พฤศจิกายน 2552 จังหวัดเชียงใหม่
- มณฑล ฉ่ำทรัพย์, เดชดนัย บุญช่วย, กิตติภาส วศินารมณ, จารุวัตร เจริญสุข “มุมมองเข้าสู่ที่ ส่งผลต่อสมรรถนะกังหันแก๊สแนวรัศมี”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกล แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25 (ME-NETT 25), 19 ตุลาคม 2554, รหัสบทความ TSF 17
- เดชดนัย บุญช่วย, กิตติภาส วศินารมณ, มณฑล ฉ่ำทรัพย์, จารุวัตร เจริญสุข “อิทธิพล ความยาวของ Splitter Blade ในคอมเพรสเซอร์แบบแรงเหวี่ยงสำหรับเครื่องยนต์กังหัน แก๊สขนาดเล็ก”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25 (ME-NETT 25), 20 ตุลาคม 2554, รหัสบทความ TSF 19

ผลงานที่กำลังดำเนินการ

- หัวหน้าโครงการ: การพัฒนาข้อมูลสัมประสิทธิ์ทางอากาศพลศาสตร์ของกระสุนปืนใหญ่ ขนาด 105 mm. ด้วยการจำลองทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ
- ที่ปรึกษาโครงการ: การพัฒนาและทดสอบสมรรถนะหัวเผาก๊าซสำหรับ Cracking furnace บริษัท SCG Chemicals จำกัด
- การพัฒนาเครื่องยนต์กังหันก๊าซขนาดเล็ก เพื่อเป็นต้นกำลังงานกล สำหรับห้องปฏิบัติการ วิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ที่อยู่ติดต่อได้สะดวก

เลขที่ 3/2 หมู่ 2 ถนน ฉลองกรุง แขวง ลาดกระบัง เขต ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
รหัสไปรษณีย์ 10520
โทรศัพท์ 02-326-4197 โทรสาร 02-326-4198 มือถือ 081-617-7658
E-mail kcjaruw@kmitl.ac.th

- ผู้ร่วมวิจัย

นางสาวตฤษฐพร แก้วสุก (Miss Tritthaporn Kaewsook) นักศึกษาระดับปริญญาโท

ประวัติการศึกษา

- วศ.บ วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปีการศึกษา 2554
- ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ในระดับ วศ.ม วิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หมายเลขบัตรประชาชน 1909900132238

ที่อยู่ติดต่อได้สะดวก

ห้อง 203 The Diamonds Place เลขที่ 6 ซ.เชื่อมสัมพันธ์ 13 ถ.เชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่ม
ราย เขตหนองจอกกรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10530
โทรศัพท์ 08-9468-9858 E-mail sodaznum@gmail.com