



การเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สในหัวพ่นไฟวัสดุพ่นที่มีการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบกลุ่มท่อ
Combustion of Gas Fuel on Porous Burner Installed Tube Bank Heat Exchanger

สมภพ ลือพงศ์พัฒนะ และบัณฑิต กฤตาคม*

¹ห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนาในเทคโนโลยีของวัสดุพ่น

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา 30000

โทร 044-233000 ต่อ 3410 โทรสาร 044-233074 E-mail bundit.kr@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้ทดลองพฤติกรรมการไหม้ของหัวพ่นไฟวัสดุพ่นชนิดเชื้อเพลิงแก๊สที่มีการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบกลุ่มท่อ (Tube-bank heat exchanger) โดยอากาศเป็นสารทำงาน เชื้อเพลิงที่จ่ายเข้าสู่หัวพ่นไฟเป็นแบบที่มีการผสมเชื้อเพลิงระหว่างอากาศและแอลพีจี (Liquid Petroleum Gas, LPG) ก่อนเข้าสู่ระบบการไหม้ (Premixed-gas combustion) วัสดุพ่นที่เลือกใช้ในตัวพ่นไฟเป็นแบบเม็ดกลมอัดแน่นทำมาจากอะลูมินา-คอร์ดีไรท์ (Alumina-Cordierite, Al-Co) โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย (Average diameter, d) และค่าความพรุน (Porosity, ϕ) เท่ากับ 0.72 cm และ 0.395 ตามลำดับ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแบบกลุ่มท่อที่มีจำนวนแถวในแนวดิ่ง (N_v) และแถวในแนวนอน (N_h) เท่ากับ 3 และ 8 แถว ในการทดลองความเร็วเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิงแก๊สผสมก่อน (Volumetric premixed-gas velocity, V_{max}) ถูกส่งเข้ามาถึงหัวพ่นไฟในช่วงความเร็ว 5 - 30 m^3/h โดยพิจารณาอ้างอิงกับสถานะเสถียรของเปลวไฟ และแสดงค่าด้วยอัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิง (Equivalence ratio, Φ) จากการศึกษาพบว่าโครงสร้างทางอุณหภูมิ (Temperature profile, T) ตลอดความยาวของหัวพ่นไฟและค่าประสิทธิผล (Effectiveness, ϵ) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม Φ และ V_{max} แต่แนวโน้มของ T และ ϵ ลดลงเมื่ออัตราการไหลของอากาศผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Q_{Air}) เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าขอบเขตเสถียรภาพการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟแบบนี้มีค่า Φ อยู่ในช่วง 0.5 - 0.95 สำหรับปริมาณองค์ประกอบแก๊สไอเสีย (O_2 , CO_2 , CO และ NO_x) ที่ปล่อยออกมาอยู่ในเกณฑ์ต่ำเป็นที่ยอมรับได้

คำสำคัญ: หัวพ่นไฟวัสดุพ่น, อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบกลุ่มท่อ, แอลพีจี

1. บทนำ

หัวพ่นไฟหรือหัวเผาแผ่รังสีแบบวัสดุพ่น (Porous radiant burner) ที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง มีการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในหลายอุตสาหกรรม [1] ยกตัวอย่างเช่น ใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษ การทำให้กระดาษแห้ง (Paper drying) การเคลือบเงากระดาษ (Paper finishing) ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ การอบและการทำให้เส้นใยแห้ง (Baking and textile drying) การผลิตไอน้ำในหม้อต้มน้ำทางอุตสาหกรรม การหล่อ การหลอมเหล็ก หรือแม้แต่การสร้างความร้อนในบ้านเรือน (Domestic radiant heater) ก็มีการใช้ประโยชน์จากหัวเผาแบบนี้แล้ว ข้อดีที่โดดเด่นของหัวเผาแก๊สวัสดุพ่นมีสองข้อหลัก ๆ คือ มีความสามารถในการแผ่รังสีได้สูงและปลดปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้ในปริมาณที่ต่ำ ด้วยสาเหตุนี้จึงเป็นเหตุผลให้นักวิจัยและวิศวกรจำนวนมากมีความสนใจ และศึกษาเกี่ยวกับหัวเผาชนิดนี้ ทั้งด้วยวิธีการทดลองและทางทฤษฎีเพื่อที่จะพัฒนาสมรรถนะให้ดียิ่งขึ้น

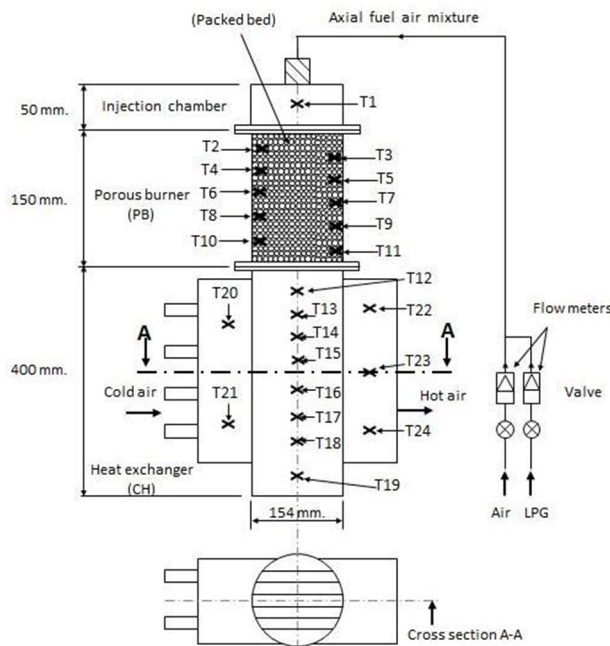
กลุ่มงานวิจัยภายใต้การนำของ Echigo [2-4] เป็นกลุ่มงานวิจัยแรกที่เสนอผลงานการเผาไหม้ในวัสดุพ่นทั้งการทดลองและทฤษฎี โดยพบว่าวัสดุพ่นจะช่วยส่งเสริมการเผาไหม้ให้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากการหมุนเวียนพลังงานด้วยการแผ่รังสี (Radiation recirculation) จากบริเวณเปลวไฟไปยังไอติผสม (Unburned gas mixture) ที่กำลังส่งมายังระบบ หลังจากนั้นได้มีนักวิจัยหลายกลุ่มศึกษาการใช้เทคโนโลยีของวัสดุพ่นร่วมกับการเผาไหม้อย่างมากมายทั้งด้วยการทดลอง [5,6] และด้วยวิธีทางทฤษฎี [7-9] ซึ่งผลการศึกษาของกลุ่มงานวิจัยต่าง ๆ เหล่านี้ ล้วนทำให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเผาไหม้ ในวัสดุพ่นได้ดียิ่งขึ้นรวมทั้งเสนอแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงในอุตสาหกรรม เมื่อเร็ว ๆ นี้ Krittacom และคณะ [10, 11] ได้ทำการทดลองและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาคุณลักษณะการแผ่รังสีของหัวเผาไหม้แบบวัสดุพ่นชนิดเซลล์รูเปิด การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบ การผสมเชื้อเพลิงก่อนเข้าสู่ระบบการเผาไหม้ (แก๊สมีเทนและอากาศ) การวัดรังสีที่แผ่ออกมาจากหัวเผา จะใช้เครื่องมือวัดชนิด ผิวหน้าสองสี (A two-color radiometry) จากการศึกษาของ Krittacom และคณะ [10,11] พบว่าสถานะเสถียรของการเผาไหม้ในช่วงอัตราส่วนสมมูลการเผาไหม้ประมาณ 0.48 ถึง 0.5 และการย้อนกลับของเปลวไฟ จะต่ำกว่า 0.62 สำหรับปริมาณการแผ่รังสีจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนสมมูลและอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงผสมก่อนหรือเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number, Re) ผลการเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณและการทดลองมีความสอดคล้องกันอย่างสมเหตุสมผล

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่าการศึกษาและการพัฒนาเกี่ยวกับหัวพ่นไฟหรือหัวเผาแผ่รังสี จะนิยมใช้วัสดุพ่นชนิดเซรามิกส์ที่มีโครงสร้างทางกายภาพที่มีค่าความพรุนสูง ๆ เช่น เซลล์รูเปิด (Open-cellular) โครงข่าย (Reticulated media) เส้นใย (Fibrous) เป็นต้น ซึ่งมีเหตุผลหลักคือความร้อนที่จะนำไปใช้งานจะต้องให้อยู่ในรูปของการแผ่รังสีความร้อน อย่างไรก็ตามในการประยุกต์ใช้งาน ความยาวของเปลวไฟ (Flame length) เป็นสิ่งที่ต้องการ เช่น การต้มน้ำในหม้อต้มน้ำอุตสาหกรรม การเผาขยะ เป็นต้น ซึ่งวัสดุพ่นที่มีค่าความพรุนสูง ๆ จะไม่มีเปลวไฟที่ลามออกไปจากหัวเผา แต่วัสดุพ่นที่มีค่าความพรุนต่ำ ๆ ได้แก่ เม็ดกลมอัดแน่น (Packed-bed sphere) แบบชิ้นส่วน (Discrete element) จะสามารถช่วยส่งเสริมให้เกิดการเผาไหม้ด้านนอกวัสดุพ่นได้ ส่งผลให้มีความยาวเปลวไฟเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้ ปรีชา ศรีสุวรรณและคณะ [12] ได้ทำการทดลองและสร้างหัวพ่นไฟวัสดุพ่นที่มีค่าความพรุนต่ำ ๆ โดยพัฒนามาจากงานวิจัยของ Krittacom และคณะ [10,11] เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมเผาไหม้และลักษณะเปลวไฟที่มีความยาว วัสดุพ่นที่เลือกใช้มีโครงสร้างเป็นแบบเม็ดกลมอัดแน่นและใช้แอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง จากการศึกษาพบว่า

เสถียรภาพการเผาไหม้ในการทดลองนี้มีค่า Φ อยู่ในช่วง 0.72 โครงสร้างทางอุณหภูมิมืดมีความยาวตลอดความยาวหัวพันไฟและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของ Φ และ V_{mix} สำหรับปริมาณ CO และ NO_x ที่ปล่อยออกมาจากหัวพันไฟวัสดุพอร์ซันนี้อยู่ในเกณฑ์ต่ำที่ยอมรับได้ ด้วยจุดเด่นของหัวพันไฟวัสดุพอร์ซันที่ใช้ค่าความพรุนต่ำ ๆ นี้ โดยเฉพาะจุดเด่นที่เปลวไฟมีโครงสร้างอุณหภูมิต่ำและยาวนาน ผู้เขียนบทความนี้จึงมีแนวคิดที่จะประยุกต์ใช้งานจากเปลวไฟที่มีความยาวนี้ โดยการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เป็นลักษณะกลุ่มท่อ (Tube banks) โดยใช้อากาศเป็นสารทำงานเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนจากหัวพันไฟ ซึ่งจะปรับปรุงและพัฒนาจากหัวพันไฟของปริชา ศรีสุวรรณ และคณะ [12] โดยยังคงใช้แอลพีจี (Liquefied Petroleum Gas, LPG) เป็นเชื้อเพลิง ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา จะเป็นประโยชน์ในการนำเอาความร้อน ไปใช้งานในลักษณะของการอบแห้ง (Drying) หรือลักษณะงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์การทดลอง ซึ่งแบ่งออกได้ 3 ขอบเขตที่สำคัญ ประกอบไปด้วย ขอบเขตที่หนึ่งเป็นส่วนที่ป้อนเชื้อเพลิง (Injection zone) หรือการจ่ายไอดีผสม (อากาศกับแก๊สแอลพีจี) เข้าสู่ชั้นวัสดุพอร์ซัน ขอบเขตที่สองเป็นการอุ่นไอดีหรือตำแหน่งการติดตั้งวัสดุพอร์ซัน (Porous burner zone, PB) ซึ่งวัสดุพอร์ซันที่เลือกใช้คือเซรามิกส์เม็ดกลมอัดแน่น เรียงตัวบรรจุอยู่ข้างในท่อสแตนเลส ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 104 mm หนา 2 mm เพื่อกันความร้อนสูญเสียสู่ภายนอก จึงหล่อปูนทนไฟ (Cement) หนา 2 mm ภายในท่อสแตนเลสตลอดช่วงที่มีการบรรจุ วัสดุพอร์ซัน (150 mm) และขอบเขตสุดท้ายคือการเผาไหม้และการแลกเปลี่ยนความร้อน (Combustion and Heat exchanger zone, CH) 154 mm



รูปที่ 1: แผนผังอุปกรณ์การทดลอง

จากส่วนประกอบทั้งหมดของหัวพันไฟแก๊สแบบนี้จะมีหลักการการทำงาน คือ เมื่อไอดี (อากาศผสมกับแอลพีจี) ไหลผ่าน Injection zone เข้าสู่ชั้นวัสดุพอร์ซันของ Porous burner zone ไอดีจะไหลผ่านชั้นวัสดุพอร์ซัน และจะมีระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้น หลังจากนั้นไอดีจะไหลลงมาสู่บริเวณทางออกของชั้นวัสดุพอร์ซันเข้าสู่ขอบเขตที่สามก่อให้เกิดการจุดติดไฟ (Ignition) และเผาไหม้ในที่สุด (Combustion zone) เปลวไฟ ที่เกิดขึ้นจะแผ่รังสีความร้อนย้อนกลับไปยังชั้นวัสดุพอร์ซันทำให้มีความร้อนหมุนเวียนภายในระบบเป็นวัฏจักรเกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องตราบที่มีเชื้อเพลิงป้อนมายังชั้นวัสดุพอร์ซัน ที่บริเวณที่เกิดการเผาไหม้และมีเปลวไฟนี้จะทำการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังนั้นขณะที่หัวพันไฟเกิดการเผาไหม้ก็ทำการจ่ายอากาศเย็น (Cold air) ไหลเข้า Heat exchanger เพื่อรับความร้อนจากการเผาไหม้และไหลออกจาก Heat exchanger จะได้อากาศร้อน (Heat air) ที่สามารถนำไปใช้งานต่าง ๆ ได้ตามวัตถุประสงค์ต่อไป

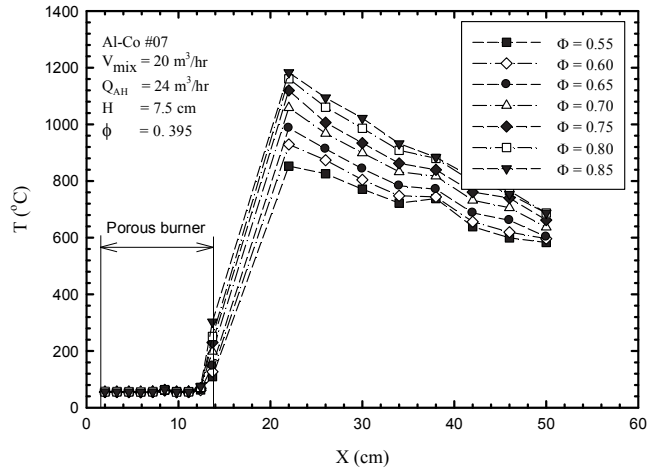
3. ผลการทดลอง

3.1 อิทธิพลของอัตราส่วนสมมูล

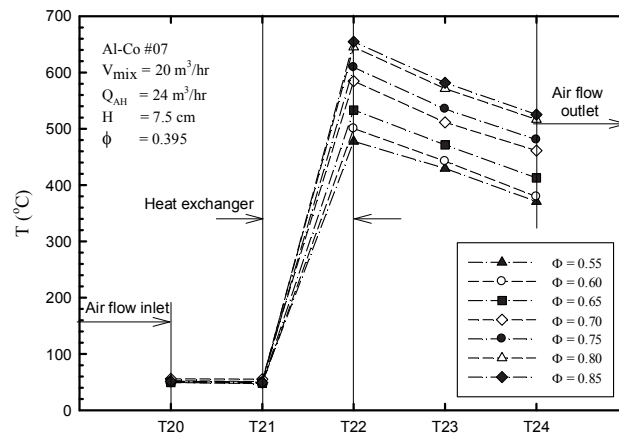
รูปที่ 2 แสดงอิทธิพลของอัตราส่วนสมมูล (Equivalenct ratio, Φ) ที่มีต่อโครงสร้างทางความร้อน ซึ่งแสดงอยู่ในรูปการกระจายตัวของอุณหภูมิตามแนวแกนตลอดความยาวของอุปกรณ์การทดลอง ในที่นี้ จะเรียกว่าโครงสร้างทางอุณหภูมิ (Temperature profile, T) โดยเป็นการทดลองที่สภาวะอัตราความเร็วเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิงแก๊สผสมก่อน (Volumetric premixed gas velocity, V_{mix}) เท่ากับ 20 m³/hr ความหนาของชั้นวัสดุพอร์ซัน (Porous matrix height, H) เท่ากับ 7.5 cm อัตราการจ่ายอากาศไหลเข้า อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Air flow rate into heat exchanger, Q_{AH}) เท่ากับ 24 m³/hr และมีค่าความพรุน (Porosity, ϕ) คือ 0.395 จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่า Φ จาก 0.55 ถึง

0.85 แนวโน้ม T จะเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้เป็นไปตามกายภาพการเผาไหม้จริง เนื่องจากระบบได้รับเชื้อเพลิงที่เพิ่มหรือปริมาณไอดีผสมที่หนาขึ้นย่อมทำให้การเผาไหม้มีความรุนแรงและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สำหรับกลไกการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้แสดงในรูปที่ 3 โดยเป็นการแสดงอิทธิพลของ Φ ต่ออุณหภูมิอากาศที่ทางเข้า (Inlet temperature, $T_{c,in}$) และที่ทางออก (Outlet temperature, $T_{c,out}$) โดยเป็นการทดลองที่สภาวะ $V_{mix} = 20 \text{ m}^3/\text{hr}$, $H = 7.5 \text{ cm}$, $Q_{AH} = 24 \text{ m}^3/\text{hr}$ และ $\phi = 0.395$ จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่า Φ จาก 0.55 ถึง 0.85 อุณหภูมิ $T_{c,out}$ จะเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดเนื่องจากอากาศได้รับพลังงานหรือความร้อนมากขึ้น จากเปลวไฟที่มีระดับอุณหภูมิสูงตามปริมาณ Φ เช่นกันที่เพิ่มขึ้น เป็นปรากฏการณ์ตามธรรมชาติของการเผาไหม้



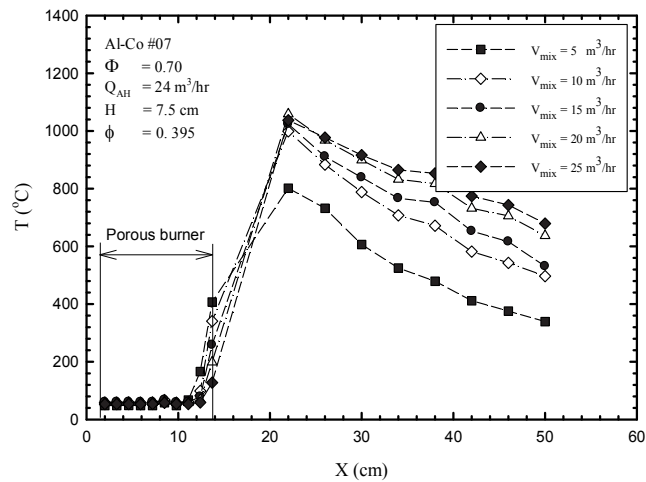
รูปที่ 2: อิทธิพลของ Φ ต่อ T



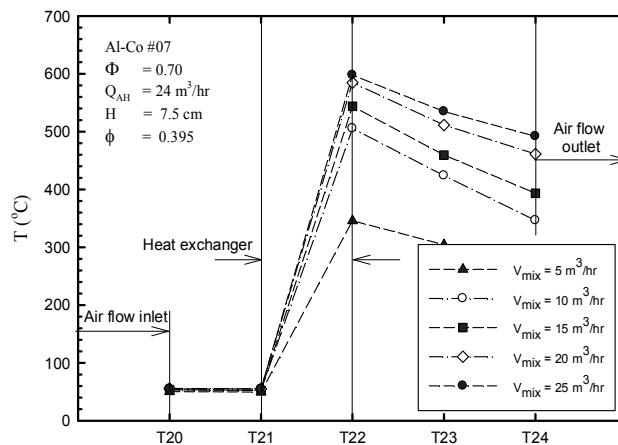
รูปที่ 3: อิทธิพลของ Φ ต่อ $T_{c,in}$ และ $T_{c,out}$

3.2 อิทธิพลของอัตราความเร็วเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิงแก่ผสมก่อน

รูปที่ 4 แสดงอิทธิพลของ V_{mix} ที่มีต่อ T โดยเป็นการทดลองที่สภาวะ $\Phi = 0.70$, $H = 7.5 \text{ cm}$, $Q_{AH} = 24 \text{ m}^3/\text{hr}$ และ $\phi = 0.395$ จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่า V_{mix} จาก 5 ถึง $25 \text{ m}^3/\text{hr}$ แนวโน้มของ T จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากระบบมีอัตราการได้รับเชื้อเพลิงที่เพิ่มหรือเชื้อเพลิงป้อนเข้าสู่ระบบเร็วและมากขึ้น ย่อมทำให้การเผาไหม้มีความรุนแรงและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิในการเผาไหม้มีค่าสูงตามไปด้วยส่วนอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนั้นได้แสดงในรูปที่ 5 เป็นอิทธิพลของ V_{mix} ที่มีต่อ $T_{c,in}$ และ $T_{c,out}$ โดยเป็นการทดลองที่สภาวะ $\Phi = 0.70$, $H = 7.5 \text{ cm}$, $Q_{AH} = 24 \text{ m}^3/\text{hr}$ และ $\phi = 0.395$ จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่า V_{mix} จาก 5 ถึง $25 \text{ m}^3/\text{hr}$ แนวโน้มของอุณหภูมิ $T_{c,out}$ จะเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดเนื่องจากอากาศได้รับพลังงานหรือความร้อนมากขึ้นจากเปลวไฟ เป็นปรากฏการณ์ตามธรรมชาติของการเผาไหม้



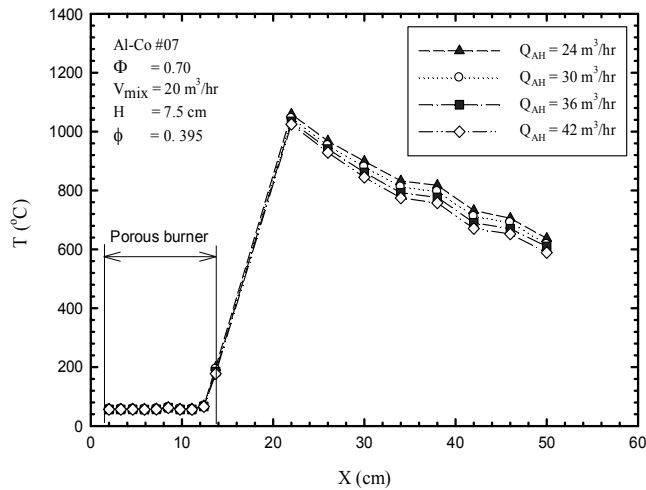
รูปที่ 4: อิทธิพลของ V_{mix} ต่อ T



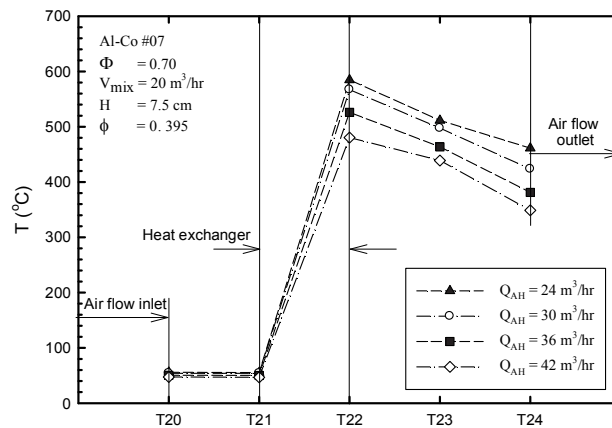
รูปที่ 5: อิทธิพลของ V_{mix} ต่อ $T_{c,in}$ และ $T_{c,out}$

3.3 อิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

รูปที่ 6 แสดงอิทธิพลของ Q_{AH} ที่มีต่อ T โดยเป็นการทดลองที่สภาวะ $\Phi = 0.70$, $V_{mix} = 20 \text{ m}^3/\text{hr}$, $H = 7.5 \text{ cm}$, และ $\phi = 0.395$ จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่า Q_{AH} จาก 24, 30, 36, และ $42 \text{ m}^3/\text{hr}$ ตามลำดับ แนวโน้มของ T จะลดลง เนื่องจากระบบมีอัตราการได้รับเชื้อเพลิงหรือเชื้อเพลิงป้อนเข้าสู่ระบบเท่าเดิมแต่อัตราการจ่ายอากาศผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีความเร็วเพิ่มขึ้นจึงสามารถนำ ความร้อนออกไปได้มากขึ้นส่งผลให้ T ลดลงเมื่อ Q_{AH} เพิ่มขึ้น ส่วนอุปกรณ์การแลกเปลี่ยนความร้อนได้ แสดงในรูปที่ 7 เป็นการแสดงอิทธิพลของ Q_{AH} ที่มีต่อ $T_{c,in}$ และ $T_{c,out}$ โดยเป็นการทดลองที่สภาวะ $\Phi = 0.70$, $V_{mix} = 20 \text{ m}^3/\text{hr}$, $H = 7.5 \text{ cm}$, และ $\phi = 0.395$ จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่า Q_{AH} จาก 24, 30, 36, และ $42 \text{ m}^3/\text{hr}$ ตามลำดับ แนวโน้มของอุณหภูมิ $T_{c,out}$ จะลดลงอย่างชัดเจนเนื่องจากระยะเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลงส่งผลให้อากาศได้รับพลังงานหรือความร้อนจากเปลวไฟลดลงเมื่อค่า Q_{AH} เพิ่มขึ้น



รูปที่ 6: อิทธิพลของ Q_{AH} ต่อ T



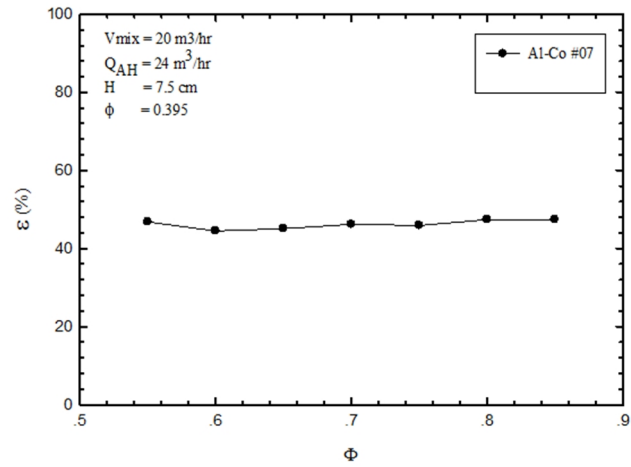
รูปที่ 7: อิทธิพลของ V_{mix} ต่อ $T_{c,in}$ และ $T_{c,out}$

3.4 ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

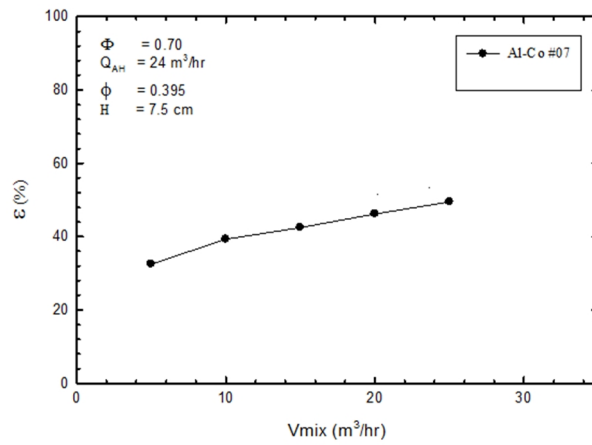
รูปที่ 8 แสดงอิทธิพลของอัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio, Φ) ที่มีต่อประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (ϵ) โดยเป็นการทดลองที่สภาวะ $V_{mix} = 20 \text{ m}^3/\text{hr}$ $H = 7.5 \text{ cm}$ และ $Q_{AH} = 24 \text{ m}^3/\text{hr}$ จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่า Φ แนวโน้มของ ϵ จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากระบบได้รับเชื้อเพลิงที่เพิ่มหรือปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่หนาขึ้นการเผาไหม้มีความรุนแรงและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ส่งผลให้ ϵ มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น

รูปที่ 9 แสดงอิทธิพลของ V_{mix} ที่มีต่อ ϵ โดยเป็นการทดลองที่สภาวะ $\Phi = 0.70$ $H = 7.5 \text{ cm}$ และ $Q_{AH} = 24 \text{ m}^3/\text{hr}$ จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่า V_{mix} แนวโน้มของ ϵ จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากระบบมีอัตราการได้รับเชื้อเพลิงที่เพิ่มหรือเชื้อเพลิงป้อนเข้าสู่ระบบเร็วมากขึ้น การเผาไหม้มีความรุนแรงและ สมบูรณ์ยิ่งขึ้น อากาศได้รับพลังงานหรือความร้อนมากขึ้นตามระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้น เมื่อค่า V_{mix} เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ ϵ เพิ่มขึ้นไปด้วย

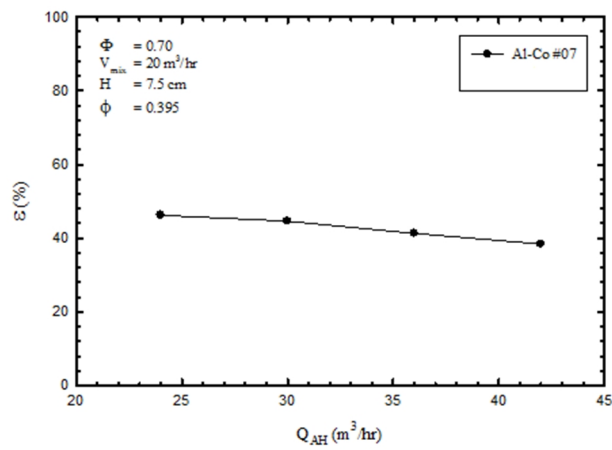
รูปที่ 10 แสดงอิทธิพลของ Q_{AH} ที่มีต่อ ϵ โดยเป็นการทดลองที่สภาวะ $\Phi = 0.70$ $V_{mix} = 20 \text{ m}^3/\text{hr}$, $H = 7.5 \text{ cm}$ และ $\phi = 0.395$ จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่า Q_{AH} จาก 24, 30, 36, และ $42 \text{ m}^3/\text{hr}$ ตามลำดับ แนวโน้มของ ϵ จะลดลงเนื่องจากระยะเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง ส่งผลให้อากาศได้รับพลังงานหรือความร้อนจากเปลวไฟลดน้อยลง เมื่อค่า Q_{AH} เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ ϵ ลดลงตามไปด้วย



รูปที่ 8: อิทธิพลของ Φ ต่อ ϵ



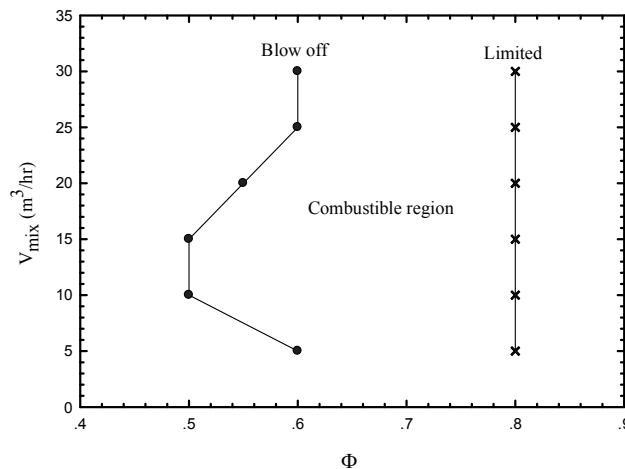
รูปที่ 9: อิทธิพลของ V_{mix} ต่อ ϵ



รูปที่ 10: อิทธิพลของ Q_{AH} ต่อ ϵ

3.5 ขอบเขตการเผาไหม้

สภาวะขอบเขตเปลวไฟเสถียร (Stability of combustion) ของหัวพ่นไฟวัสดุพอรอนชนิดเชื้อเพลิงแก๊สแบบเม็ดกลมอัดแน่นชนิดเซรามิกซ์ อะลูมินา-โคบอลต์ไธร์ (Al-Co) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 7 mm จะถูกกำหนดโดยขอบเขตการเป่าดับ (Blow off limit) คือปรากฏการณ์ที่เปลวไฟ (Flame) เคลื่อนตัวออกจาก ผิวด้านล่างของชั้นวัสดุพอรอนและจะดับ (Extinguishment) ในที่สุดโดยแสดงผ่านอัตราส่วนสมมูล (Φ) มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 ถึง 0.6 และช่วงประมาณ 0.5 ถึง 0.65 ถ้าเปลวไฟเคลื่อนตัวย้อนกลับหรือสวนทางกับทิศการจ่ายเชื้อเพลิงออกจากผิวด้านบนของชั้นวัสดุพอรอนแล้วเกิดการดับ จะเรียกว่าขอบเขตการย้อนกลับ (Flash back limit) ยังสรุปไม่ได้ เนื่องจากเป็นขีดจำกัดของอุปกรณ์การทดลอง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 11 การเผาไหม้หัวพ่นไฟวัสดุพอรอนชนิดเชื้อเพลิงแก๊ส มีขอบเขตการเผาไหม้ที่กว้าง เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเข้าไปในหัวพ่นไฟ ดังนั้นหากจะนำไปใช้งานจึงควรเลือกใช้หัวพ่นไฟที่มีขอบเขตการเผาไหม้ที่กว้างมากกว่าจะได้ไม่ต้องกังวลในเรื่องการดับหรือควบคุมเสถียรภาพของเปลวไฟ



4 สรุปผลการทดลอง

- 4.1 โครงสร้างทางอุณหภูมิ (T) ของหัวพ่นไฟชนิดนี้ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม Φ และ V_{mix} ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากระบบได้รับเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นทำให้การเผาไหม้มีความรุนแรงและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น แต่มีแนวโน้มลดลงตาม Q_{AH}
- 4.2 อุณหภูมิ $T_{c,out}$ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม Φ และ V_{mix} ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอากาศได้รับพลังงานหรือความร้อนมากขึ้นจากเปลวไฟที่ระดับอุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้ปริมาณ $T_{c,out}$ มีแนวโน้มลดลงเมื่อ Q_{AH} เพิ่มขึ้นเนื่องจากอากาศได้รับพลังงานหรือความร้อนจากเปลวไฟลดลง
- 4.3 แนวโน้มของ ϵ จะเพิ่มขึ้นตาม Φ และ V_{mix} ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอากาศได้รับพลังงานหรือ ความร้อนมากขึ้นจากเปลวไฟที่ระดับอุณหภูมิสูงขึ้น แต่มีแนวโน้มลดลงตาม Q_{AH} ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอากาศได้รับพลังงานหรือความร้อนจากเปลวไฟลดลง
- 4.4 ขอบเขตการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟวัสดุพอรอนชนิดเชื้อเพลิงแก๊สเม็ดกลมอัดแน่นชนิดเซรามิกซ์ ชนิด Al-Co #07 มีขอบเขตการเผาไหม้ที่กว้างมากสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานได้หลายประเภท

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณนายชัชวาลย์ จำปาบุรี นายศรารุช สีสันต์ และนายวันสันต์ ป้อมโรจน นักศึกษาปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมเครื่องกลซึ่งทำงานวิจัยภายในห้องปฏิบัติการวิจัยการ (DiTo-Lab) คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มทร.อีสาน ที่ได้ช่วยเก็บข้อมูลการทดลองบางส่วนจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

บรรณานุกรม

- [1] Baukal, C. E. and Schwartz, R. E., 2001, "The John Zink Combustion", Boca Raton, CRC Press.
- [2] Echigo, R., Yoshizawa, Y., Hanamura, K. and Tomimura, T., 1986, "Analytical and Experimental Studies on Radiative Propagation in Porous Media with Internal Heat Generation", Proceeding of the 8th International Heat Transfer Conference, 827-832.
- [3] Yoshizawa, Y., Ssaki, K. and Echigo, R., 1988, "Analytical Study of the Structure of Radiation Controlled Flame", International Journal Heat and mass Transfer, Vol. 31, 311-319.
- [4] Hanamura, K. and Echigo, R., 1991, "An Analysis of Flame Stabilization Mechanism in Radiation Burners", Wärme-und Stoffübertragung, Vol. 26, 377-383.
- [5] Khanna, V., Goel, R. and Ellzey, J. L., 1994, "Measurements of Emissions and Radiation for Methane Combustion within a Porous Medium Burner", Combustion Science and Technology, Vol. 99, 133-142.



- [6] Mital, R., Gore, J. P. and Viskanta, R., 1997, "A Study of the Structure of Submerged Reaction Zone in Porous Ceramic Radiant Burners", Combustion and Flame, Vol. 111, 175-184.
- [7] Pereira, J. C. E. and Zhou, X. Y., 1998, "Comparison of Combustion Model for Simulating the Premixed Combustion in Inert Porous Media", Fir and Materials, Vol. 22, 187-197.
- [8] Bouma, P. H. and De Goey, L. P. H., 1999, "Premixed Combustion on Ceramic Foam Burner", Combustion and Flame, Vol. 119, 133-143.
- [9] Leonardi, S. A., Viskanta, R. and Gore, J. P., 2001, "Radiation and Thermal Performance Measurements of a Metal Fiber Burner", JQSRT, Vol. 73, 491-501.
- [10] Krittacom, B. and Kamiuto, K., 2009, "Radiation Emission Characteristics of an Open-cellular Porous Burner", JSME Journal of Thermal Science and Technology, Vol.4 (1), 13-24.
- [11] บัณฑิต กฤตาคม, 2552, "คุณลักษณะการแผ่รังสีของหัวเผาไหม้วัสดุพูนแบบเซรามิกซ์ชนิดเซลูลาร์เปิด," การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 23 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่ 4-7 พฤศจิกายน 2552.
- [12] ปรีชา ศรีสุวรรณ, ธีธรรพ์ ขวรัฐสินธรณ์ และบัณฑิต กฤตาคม, 2555, "การประยุกต์ใช้หินตุ้ปลาเป็นวัสดุพูนชนิดเม็ดกลมอัดแน่นในหัวพ่นไฟวัสดุพูนเชื้อเพลิงแก๊ส," การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ 18-20 ธันวาคม 2555.