AEC-16

อิทธิพลของรูปทรงวัสดุพรุนที่ส่งผลต่อสมรรถนะของหัวเผาแอลพีจีในอุตสาหกรรมเซรามิกส์
Effect of porous geometry on the performance of the LPG burner of ceramics industry

อาวุธ ลภิรัตนากูล*,[1] ภรณ์เพ็ญ ลภิรัตนากูล[2] และ จารุวัตร เจริญสุข[2]

[1,*] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 10530
[2,3] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
* ติดต่อ: โทรศัพท์: 029 883 655 ต่อ 3106
E-mail: umkmitl39@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาหัวเผาวัสดุพรุนซึ่งมีพื้นฐานมาจากการใช้งานหัวเผาแบบผสมกันมาก่อนสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกส์ วัสดุพรุนที่ใช้ในการทดสอบทำมาจากอะลูมิน่า มีลักษณะคล้ายฟองน้ำ ขึ้นรูปเป็นลักษณะทรงกระบอกตันและทรงกระบอกเจาะรู โดยวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาอิทธิพลของรูปทรงของวัสดุพรุนที่มีผลต่อสมรรถนะการเผาไหม้ของหัวเผา ในแง่การเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่งรวมถึงควบคุมสมรรถนะการเผาไหม้ให้เหมาะสมในการอบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ ในการทดสอบได้ปรับเปลี่ยนอัตราการไหลแอลพีจีในย่าน 1.5-5 L/min ภายใต้การควบคุมปริมาณอากาศส่วนเกิน 20 เปอร์เซ็นต์ และบันทึกลักษณะเปลวไฟที่มองเห็น การกระจายตัวอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ตามระดับความสูงจากปากหัวเผาขึ้นไป ปริมาณก๊าซไอเสียได้แก่เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนหลังการเผาไหม้ ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และสารประกอบไนโตรเจนออกไซด์ นอกจากนี้ยังวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การผสมก่อนเพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของรูปทรงอีกด้วย จากการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของหัวเผาวัสดุพรุนรูปทรงกระบอกตันกับรูปทรงกระบอกเจาะรูพบว่า หัวเผาวัสดุพรุนรูปทรงกระบอกเจาะรูมีเปอร์เซ็นต์การผสมกันของอากาศและเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้สูงกว่ารูปทรงกระบอกตัน เนื่องจากการลดส่วนของโครงสร้างวัสดุพรุนที่ขวางช่องการไหล ในส่วนสมรรถนะการเผาไหม้พบว่าย่านการเผาไหม้ที่มีเสถียรภาพของหัวเผาทั้งสองอยู่ในช่วงอัตราการไหล 1.5-3 L/min เท่านั้น โดยเมื่อเพิ่มอัตราการไหลให้อยู่ในช่วง 3.5-5 L/min เปลวไฟเกิดการยกตัวและอยู่ในบริเวณผิวของวัสดุพรุน และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิสูงสุดพบว่าอุณหภูมิของหัวเผาทรงกระบอกเจาะรูมีค่าสูงกว่าทรงกระบอกตันตลอดย่านการใช้งาน เนื่องจากเปลวไฟที่ออกมาจากส่วนกลางวัสดุพรุนเป็นเปลวไฟแบบแพร่ ส่วนปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์มีค่าต่ำอยู่ในช่วง 10-35 ppm และ 5-35 ppm ตามมาตรฐาน O2 เท่ากับ 6 % ตามลำดับ

คำหลัก: วัสดุพรุน; รูปทรงวัสดุพรุน; หัวเผาแอลพีจี; การเหนี่ยวนำอากาศ; การเผาไหม้

Abstract

Performance assessment of premixed LPG burner applied with porous media for ceramics industry was carried out experimentally. Alumina foam was carved into bulked and holed (hollowed) cylinder. It was so as to study an effect of difference geometry on combustion performance, especially effect on primary air entrainment. LPG was injected through range of 1.5-5 L/min under 20 percent of total excess air. By comparing combustion performance, visual flame, temperature distribution along the height of combustor, O2, CO and NO_x were detected. Furthermore, percent premixed from premixed tube was also analyzed. The result showed that percent premixed of holed cylinder porous was higher due to flow blockage reduction of central part of the medium. Flame stability was found only within 1.5 – 3 L/min of LPG on both porous burners. Flame was lifted and

detached from porous media when flow rate was increased. Temperature was detected higher on holed porous burner as a result of long diffused flame. Moreover, both CO and NO_x were lower than 35.

Keywords: Porous media; Porous geometry; LPG burner; Air entrainment; Combustion

1. บทนำ

กระบวนการอบผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์เป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนจากการเผาไหม้เป็นแหล่งพลังงานหลัก ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ การเผาไหม้ควรจะต้องเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ให้อุณหภูมิตามเงื่อนไขกระบวนการอบที่เหมาะสม มีการกระจายอุณหภูมิตลอดห้องเผาไหม้ในย่านเท่าๆ กัน รวมถึงให้มลพิษต่ำ โดยหัวเผาที่ใช้อยู่ในอุตสาหกรรมปัจจุบันเป็นหัวเผาแอลพีจีแบบผสมกันมาก่อน (Premixed combustion) ซึ่งเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่งด้วยตัวเอง (Self-entrainment) โดยจากการเผาไหม้ที่พบในอุสาหกรรมพบว่าหัวเผาชนิดนี้ให้เปลวไฟแบบแพร่ (Diffused flame) และไม่มีเสถียรภาพโดยเฉพาะในย่านการใช้งานเชื้อเพลิงต่ำ เนื่องจากมีการเหนี่ยวนำอากาศไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้ ทำให้มีความเข้มข้นของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์รวมถึงสารประกอบไนโตรเจนออกไซด์อยู่ในเกณฑ์สูง ในขณะที่ปริมาณอากาศเหนี่ยวนำจะเพียงพอก็ต่อเมื่อถูกใช้ในย่านอัตราการไหลสูงๆ ซึ่งเจ็ทมีความเร็วเพียงพอที่จะเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่งในปริมาณที่เหมาะสม ภายหลังจึงได้มีการวิจัยพัฒนาหัวฉีดเชื้อเพลิงให้มีการเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่งมากขึ้นโดยใช้ความสัมพันธ์ของหลักการสมดุลระหว่างสปริงต่อแรงดันเชื้อเพลิงที่กดลงบนฐานซึ่งเชื่อมต่อกับเข็มหัวฉีด โดยที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงต่ำทางออกเชื้อเพลิงจะมีลักษณะเป็นรูปวงแหวน (Annular exit) ทำให้ลำเจ็ทที่พุ่งออกมามีรูปแบบที่มีโครงสร้างซับซ้อนแตกต่างจากเจ็ทที่ได้จากหัวฉีดที่มีทางออกเป็นรูปวงกลม (Circular exit) ส่งผลให้เกิดการเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่งได้มากขึ้น ส่วนในย่านอัตราการไหลเชื้อเพลิงสูง เจ็ทเชื้อเพลิงมีความเร็วสูงสามารถเหนี่ยวนำอากาศได้ดี [1-4] มีการเผาไหม้อย่างมีเสถียรภาพที่ย่านอัตราการไหลเชื้อเพลิงต่ำรวมถึงมีปริมาณมลพิษลดลง

จากนั้นได้มีการนำหัวเผาดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ร่วมกับวัสดุพรุนโดยที่ยังคงใช้หัวฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากพัฒนาในงานวิจัยที่แล้ว สาเหตุที่นำวัสดุพรุนมาใช้เนื่องจากเปลวไฟที่เกิดจากหัวเผาวัสดุพรุนมีอัตราการเผาไหม้ (Burning rate) ที่สูงกว่าเปลวไฟอิสระ (Free flame) และให้ย่านการหรี่เร่งที่กว้าง สามารถเผาไหม้ในเงื่อนไขที่มีปริมาณอากาศส่วนเกินสูงหรือเผาร่วมกับเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่ำได้ดี เนื่องจากโครงสร้างวัสดุพรุนทำให้เกิดการหมุนเวียนภายใน (Self-recuperation) และกระจายตัว (Dispersion) ของความร้อน ผ่านรูปแบบการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 รูปแบบได้แก่ การนำ (Conduction) การพา (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation) โดยความร้อนจะถูกถ่ายเทจากผลิตภัณฑ์สู่สารตั้งต้นภายในโพรงช่องว่างและผ่านส่วนที่เป็นของแข็ง ซึ่งการบังคับไหลแบบกระจายตัวของสารผสมตั้งต้น (Reactants) จะยิ่งช่วยเพิ่มศักยภาพของการแพร่และถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางทั้ง 2 เฟสได้ดี นอกจากนี้ความร้อนจากการเผาไหม้ภายในวัสดุพรุนยังถ่ายเทผ่านการแผ่รังสีและอุ่นเชื้อเพลิงก่อนไหลผ่านเข้าบริเวณที่มีการเผาไหม้อีกด้วย [5-6] อีกคุณสมบัติที่ทำให้วัสดุพรุนถูกนำมาศึกษาคือมีความสามารถในการรักษาเสถียรภาพการเผาไหม้ (Flame Stabilization) โดยลดโอกาสการเกิดปรากฏการณ์เปลวไฟหลุดลอย (Lift off) และเปลวไฟย้อนกลับ (Flash back) เนื่องจากโครงสร้างภายในที่มีเป็นลักษณะเป็นโครงข่ายของวัสดุพรุนจะช่วยชะลอความเร็วของก๊าซที่ไหลสู่บริเวณที่มีการเผาไหม้ ทำให้ความเร็วของเปลวไฟ (Flame speed) เพิ่มขึ้นเพื่อสร้างสมดุลระหว่างความเร็วทั้งสองซึ่งมีทิศทางตรงกันข้าม ส่งผลให้ฐานของเปลวไฟถูกดักอยู่ในวัสดุพรุนและลดการหลุดลอยในที่สุด นอกจากนี้การกระจายตัวที่ดีของความร้อนภายในวัสดุพรุนเนื่องมาจากการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 โหมด ทำให้ลดบริเวณที่มีความร้อนสูง (hot spot) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสารประกอบไนโตรเจนออกไซด์ที่เกิดจากความร้อน (Thermal NO_x) และการหมุนเวียนภายในของก๊าซไอเสียช่วยให้ของผสมที่เผาไหม้ไม่หมดเกิดการเผาไหม้ซ้ำ เป็นการลดมลพิษประเภทคาร์บอนมอนอกไซด์อีกด้วย

จากผลการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างหัวเผาวัสดุพรุนและหัวเผาแบบไม่มีวัสดุพรุนสำหรับใช้งานในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ในงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าหัวเผาวัสดุพรุนช่วยลดอิทธิพลจากการพัดพาที่เป็นสาเหตุทำให้

เปลวไฟหลุดออกจากปากของหัวเผาในย่านอัตราการไหลสูง อีกทั้งยังช่วยให้มีการกระจายอุณหภูมิในห้องเผาไหม้สม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังสามารถตรวจจับปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และสารประกอบไนโตรเจนออกไซด์ได้ในปริมาณที่ต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด แต่อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณการเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่งมีค่าลดลงเนื่องจากโครงสร้างวัสดุพรุนที่ขวางช่องการไหล [7]

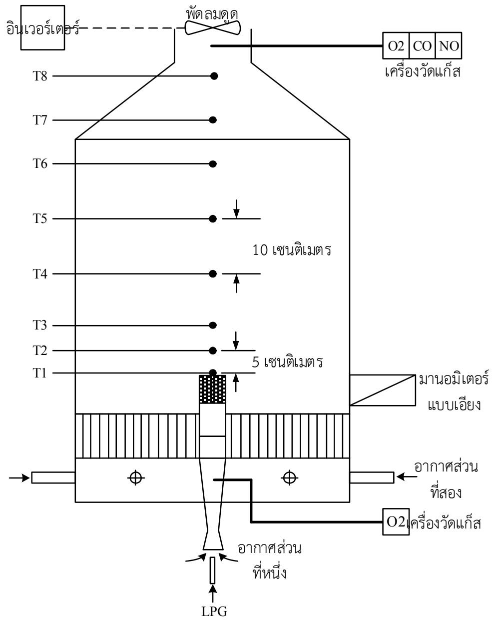
จากปัญหาการเหนี่ยวนำอากาศที่ต่ำลง ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาอิทธิพลของรูปทรงหัวเผาวัสดุพรุนที่ส่งผลต่อสมรรถนะการเผาไหม้ในแง่การเหนี่ยวนำอากาศ โดยการทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้แบ่งเป็นวัสดุพรุนทรงกระบอกตันและทรงกระบอกเจาะรู ภายใต้สมมติฐานการลดรูปทรงที่ขวางช่องทางการไหลจะช่วยส่งผลให้เจ็ทเหนี่ยวนำอากาศสู่ท่อผสมได้ดีขึ้น รวมถึงช่วยให้สมรรถนะการเผาไหม้ดีขึ้นด้วย โดยผลการทดลองจะนำเสนอเปอร์เซ็นต์การผสมกันมาก่อน (Percent premixed) ลักษณะเปลวไฟที่สังเกตเห็นได้ การกระจายตัวอุณหภูมิตามระดับความสูงในห้องเผาไหม้ รวมถึงปริมาณมลพิษได้แก่ เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนหลังการเผาไหม้ ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และสารประกอบไนโตรเจนออกไซด์

2. อุปกรณ์และเงื่อนไขการทดลอง

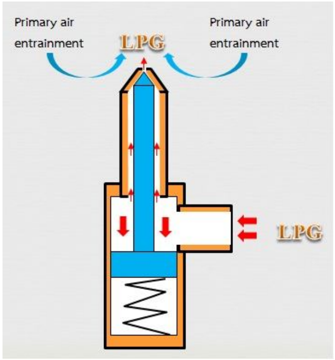
2.1 อุปกรณ์การทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้

การทดสอบการเผาไหม้ของหัวเผาวัสดุพรุนในงานวิจัยนี้มีพื้นฐานมาจากกระบวนการอบในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ดังนั้นจึงมีการควบคุมเงื่อนไขตามการใช้งานจริง โดยรูปที่ 1 แสดงชุดทดสอบที่ใช้ในการตรวจวัดสมรรถนะการเผาไหม้เพื่อเปรียบเทียบระหว่างหัวเผาวัสดุพรุนที่มีรูปทรงแตกต่างกัน ในการทดสอบ เชื้อเพลิงแอลพีจีจะถูกป้อนผ่านหัวฉีดที่ถูกพัฒนาอ้างอิงจากงานวิจัยที่ผ่านมา [4] เพื่อให้มีปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งเหมาะสมต่อการเผาไหม้ และอากาศส่วนที่สองจะถูกป้อนทางท่อบริเวณฐานห้องเผาไหม้ที่ติดตั้งตามเส้นรอบวง อากาศจะผ่านแผงจัดเรียงการไหลก่อนเข้าสู่บริเวณที่มีการเผาไหม้เพื่อจำลองสภาวะบรรยากาศ นอกจากนี้ภายในถูกควบคุมให้มีความดัน 1 บรรยากาศด้วยพัดลมดูด (Blower) ที่เชื่อมต่อกับอินเวอร์เตอร์เพื่อปรับรอบการหมุน

หัวฉีดที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ถูกพัฒนาขึ้นจากหัวฉีดแบบทางออกรูปวงกลม (Circular nozzle) อ้างอิงจากงานวิจัย [4-7] ซึ่งได้ถูกปรับแต่งโดยนำหลักการสมดุลของสปริงที่สัมพันธ์กับพื้นที่ทางออกของเชื้อเพลิงมาประยุกต์ใช้ โดยสามารถเหนี่ยวนำอากาศเข้าสู่ห้องผสมได้มากกว่าหัวฉีดที่ไม่ได้รับการพัฒนา แสดงหลักการทำงานดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 ไดอะแกรมชุดทดสอบการเผาไหม้



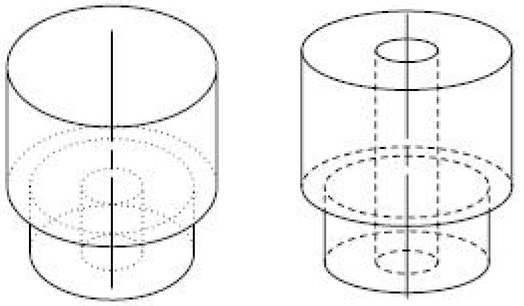
รูปที่ 2 ไดอะแกรมหัวฉีดเชื้อเพลิงที่ถูกปรับแต่ง

ในการบันทึกผลอุณหภูมิจะเก็บบันทึกทั้งหมด 8 ตำแหน่งตามระดับความสูงบริเวณจุดศูนย์กลางของห้องเผาไหม้ โดยตำแหน่งแรกอยู่ที่ระดับติดกับหัวเผาและสูงขึ้นอีกตำแหน่งละ 5 เซนติเมตรจากตำแหน่งก่อนหน้าจนถึงตำแหน่ง T3 เพื่อบันทึกอุณหภูมิบริเวณหัวเผาโดยละเอียด จากนั้นตำแหน่ง T4 จะห่างจาก T3 เป็นระยะ 10 เซนติเมตรจนถึง T8 แสดงดังรูป 1 ซึ่งในการตรวจวัดทำโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิดเคเชื่อมต่อกับหน่วยแสดงผล YOKOGAWA รุ่น XL100 ความคลาดเคลื่อนการวัด ±1°C และเก็บบันทึกผลเมื่อการเผาไหม้เข้าสู่สภาวะคงที่ จุด

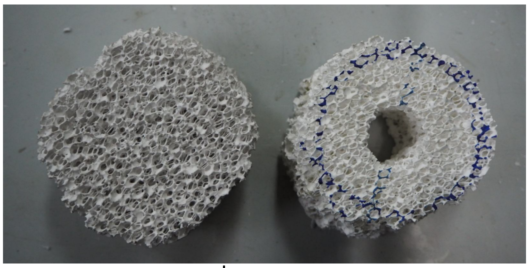
ตรวจวัดแก็สมีอยู่ด้วยกัน 2 จุด ได้แก่จุดตรวจวัดเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนบริเวณท่อผสมเพื่อนำมาคำนวณปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่ง อีกจุดได้แก่บริเวณทางออกของห้องเผาไหม้ ซึ่งตรวจวัดและบันทึกผลเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนหลังการเผาไหม้ ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และสารประกอบไนโตรเจนออกไซด์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดได้แก่เครื่องวัดแก็ส Testo รุ่น 350 XL ความคลาดเคลื่อนการวัด 0.3% สำหรับออกซิเจนและ 5% สำหรับก๊าซชนิดอื่นๆ

2.2 หัวเผาและวัสดุพรุน

ในการศึกษาอิทธิพลจากรูปทรงวัสดุพรุนที่แตกต่างกันที่ส่งผลต่อสมรรถนะการเผาไหม้ ใช้พรุนที่ทำมาจากอะลูมิน่า (Al_2O_3) มีลักษณะภายในเป็นโครงข่ายคล้ายฟองน้ำ ความหนาแน่นความพรุน 10 ppi (pore per inch) ค่าความพรุน 0.9 และค่าการนำความร้อน 4-5 W/m K ที่อุณหภูมิ 1000 °C โดยนำมาแกะเป็นรูปร่างทรงกระบอกตันและทรงกระบอกเจาะรูตรงกลางเพื่อให้สะดวกต่อการครอบแทนที่หัวเผาเดิม โดยรูปทรงแสดงดังรูปที่ 3 และวัสดุพรุนแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 รูปทรงวัสดุพรุนที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4 วัสดุพรุน

2.3 เงื่อนไขการทดลอง

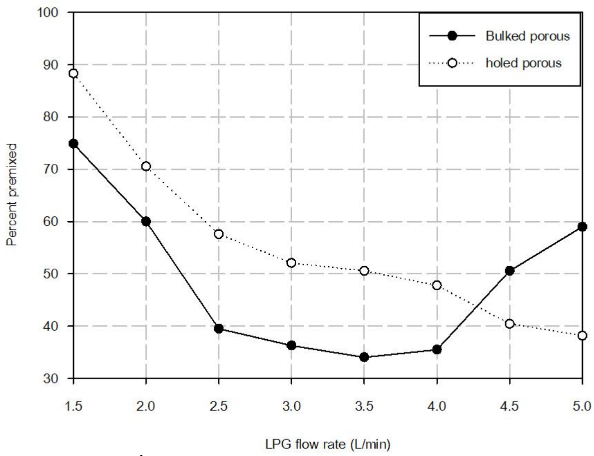
เชื้อเพลิงแอลพีจีถูกป้อนผ่านหัวฉีดเชื้อเพลิงในย่านอัตราการไหล 1.5 – 5 L/min เพิ่มขึ้นทีละ 0.5 L/min เพื่อบันทึกผล อากาศส่วนที่หนึ่งจะถูกเหนี่ยวนำจากบรรยากาศ ในขณะที่อากาศส่วนที่สองจะถูกป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยคำนวณหาอัตราการไหลเชิงปริมาตรเพื่อควบคุมปริมาณอากาศทั้งหมดให้สัมพันธ์กับอากาศส่วนเกิน 20 เปอร์เซ็นต์

3. ผลการทดลอง

ในการศึกษาอิทธิพลจากรูปทรงของหัวเผาวัสดุพรุนที่แตกต่างกันต่อสมรรถนะการเผาไหม้ ได้ปรับเปลี่ยนอัตราการไหลเชื้อเพลิงตั้งแต่ 1.5 – 5 L/min โดยคงที่ปริมาณอากาศส่วนเกินโดยรวมไว้ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ทุกๆ ย่านอัตราการไหล

3.1 เปอร์เซ็นต์อากาศผสมก่อน

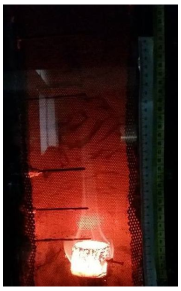
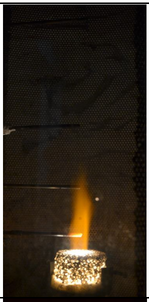
เปอร์เซ็นต์อากาศผสมก่อนในรูปที่ 5 ได้จากการคำนวณจากเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนบริเวณท่อผสมที่ได้จากการเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่งด้วยตัวเองของลำเจ็ทเชื้อเพลิง พบว่าหัวเผาวัสดุพรุนแบบเจาะรูมีเปอร์เซ็นต์การผสมก่อนที่สูงกว่าหัวเผาทรงกระบอกตัน เนื่องจากการลดเนื้อวัสดุพรุนออกซึ่งเป็นโครงสร้างที่ขวางช่องการไหลก๊าซ ทำให้ความดันคร่อมระหว่างผิววัสดุพรุนทั้ง 2 ด้านลดลงและเหนี่ยวนำอากาศได้มากขึ้น



รูปที่ 5 เปอร์เซ็นต์การผสมกันมาก่อน

3.2 ลักษณะเปลวไฟ

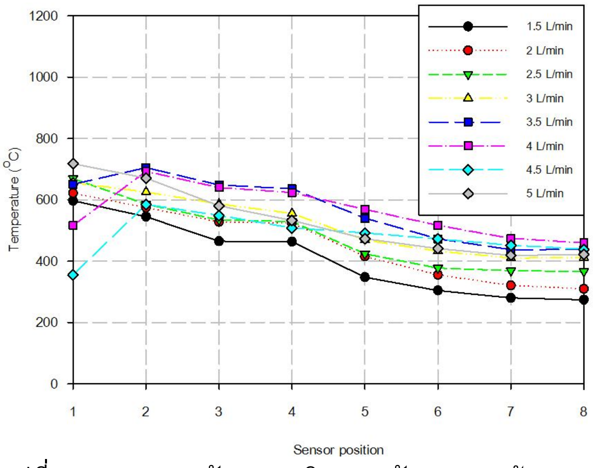
ลักษณะเปลวไฟที่นำมาวิเคราะห์ได้แก่สี ความยาวและความมีเสถียรภาพในการเผาไหม้ของวัสดุพรุน ซึ่งนิยามจากสภาวะที่วัสดุพรุนมีลักษณะร้อนแดงเนื่องจากเปลวไฟที่ติดอยู่ภายในช่องว่าง จากการทดสอบหัวเผาวัสดุพรุนทั้ง 2 ชนิดพบว่าพบว่ามีการเผาไหม้ภายในช่องว่างของวัสดุพรุนซึ่งทำให้เกิดลักษณะร้อนแดงโดยเฉพาะตั้งแต่อัตราการไหล 1.5 – 3 L/min โดยเมื่อ

อัตราการไหลเชื้อเพลิง	หัวเผาวัสดุพรุนทรงกระบอกตัน	หัวเผาวัสดุพรุนทรงกระบอกเจาะรู
1.5 L/min		
2.5 L/min		
3 L/min		
3.5 L/min		
4 L/min		
5 L/min		

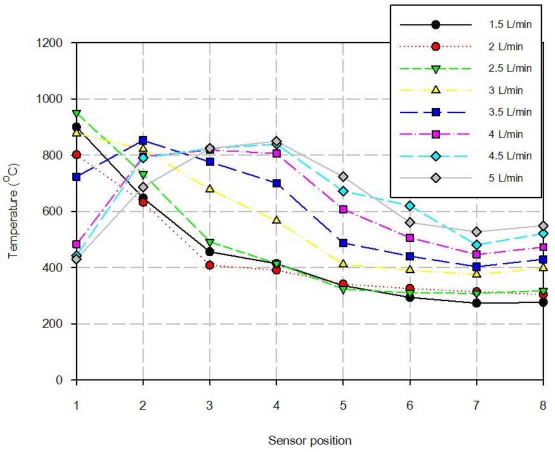
รูปที่ 6 ลักษณะเปลวไฟ

เพิ่มอัตราการไหลทำให้อิทธิพลของการพัดพาเพิ่มสูงขึ้น ประกอบกับความเข้มข้นเชื้อเพลิงที่มากขึ้นและอากาศส่วนที่สองเหนี่ยวนำผ่านวัสดุพรุนได้ยาก เปลวไฟจึงติดอยู่บริเวณผิวของวัสดุพรุนซึ่งเป็นเปลวไฟแบบแพร่

เมื่อพิจารณาวัสดุพรุนทรงกระบอกเจาะรู สังเกตเห็นว่าเปลวไฟส่วนหนึ่งมีการเผาไหม้อยู่ภายในวัสดุพรุน อีกส่วนหนึ่งพุ่งออกจากรูตรงกลางของทรงกระบอกและเผาไหม้กับอากาศส่วนที่สองตลอดย่านการใช้งาน โดยที่ย่านอัตราการไหลเชื้อเพลิงสูงๆ พบเปลวไฟเป็นสีน้ำเงินบริเวณโคน แสดงถึงการเผาไหม้ที่ค่อนข้างสมบูรณ์



รูปที่ 7 การกระจายตัวอุณหภูมิตามระดับความสูงห้องเผาไหม้ของหัวเผาวัสดุพรุนรูปทรงกระบอกตัน

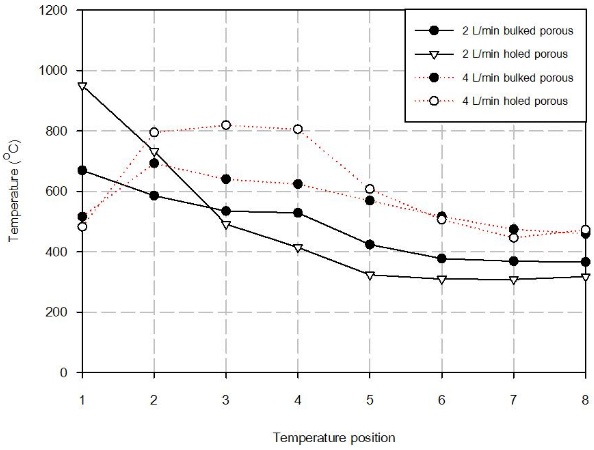


รูปที่ 8 การกระจายตัวอุณหภูมิตามระดับความสูงห้องเผาไหม้ของหัวเผาวัสดุพรุนรูปทรงกระบอกเจาะรู

3.3 การกระจายตัวอุณหภูมิ

รูปที่ 7 และ 8 แสดงการกระจายตัวอุณหภูมิตามระดับความสูงของห้องเผาไหม้ของหัวเผาทรงกระบอกตันและทรงกระบอกเจาะรู ตามลำดับ จากการสังเกตพบว่าระดับอุณหภูมิจากหัวเผาทั้งสองเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการไหลเชื้อเพลิง ในขณะที่เมื่อสังเกตอุณหภูมิสูงสุดของแต่ละอัตราการไหลพบว่าอุณหภูมิสูงสุดของหัวเผาวัสดุพรุนตั้งแต่ที่อัตราการไหลที่ 3.5 L/min เลื่อนไปยังตำแหน่ง T2 และ T3 ตามปริมาณอัตราการไหลเชื้อเพลิง โดยที่ตำแหน่ง T1 พบอุณหภูมิต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด สาเหตุเนื่องมาจากความเร็วก๊าซผสมเพิ่มสูงขึ้น ทำให้อิทธิพลของการพัดพาส่งผลให้เกิดเป็นปรากฏการณ์เปลวไฟหลุดลอย โดยการพัดพานี้ส่งผลต่อระดับอุณหภูมิของหัวเผาวัสดุพรุนแบบเจาะรูมากกว่า เนื่องจากการไหลบริเวณตรงกลางไม่มีวัสดุกีดขวาง ความเร็วก๊าซผสมจึงสูงกว่าบริเวณโดยรอบ

เมื่อพิจารณาหัวเผาวัสดุพรุนทั้ง 2 รูปทรงที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่าอุณหภูมิที่ได้จากหัวเผาวัสดุพรุนทรงกระบอกเจาะรูมีค่าสูงกว่าเนื่องจากเป็นการตรวจวัดอุณหภูมิจากเปลวไฟโดยตรง นอกจากนี้ยังมีโอกาสหลุดลอยมากกว่าหัวเผาแบบทรงกระบอกตันอีกด้วย โดยสังเกตที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 4 L/min พบว่ามีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในตำแหน่ง T1 และ T2 มากกว่ารวมถึงอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ตำแหน่ง T3 นอกจากนี้ยังพบว่าหัวเผาวัสดุพรุนแบบทรงกระบอกตันให้การกระจายอุณหภูมิตลอดห้องเผาไหม้ที่สม่ำเสมอกว่าทรงกระบอกเจาะรู

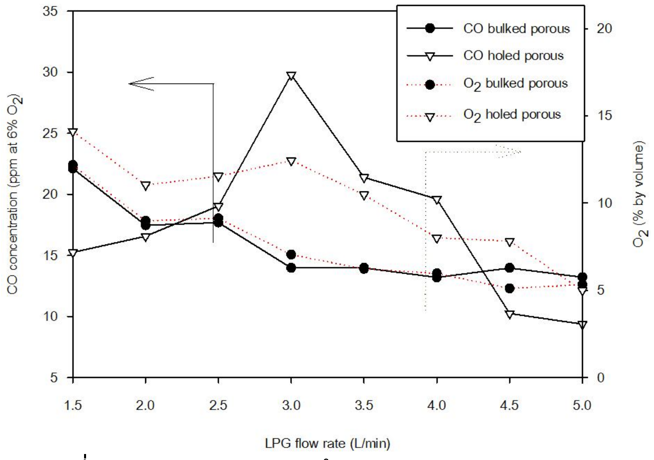


รูปที่ 9 เปรียบเทียบการกระจายตัวอุณหภูมิของหัวเผาวัสดุพรุนทั้ง 2 รูปทรงที่อัตราการไหล 2 และ 4 L/min

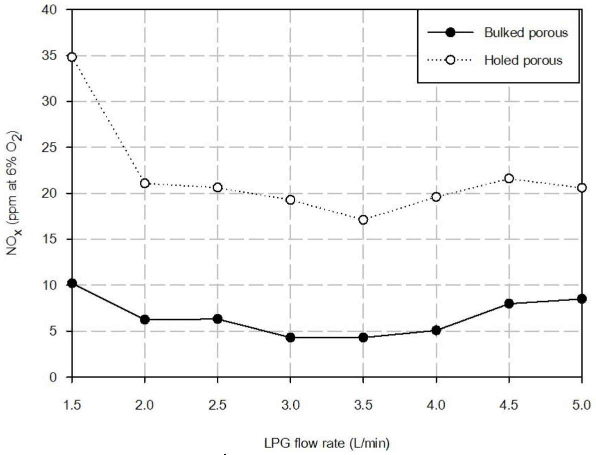
3.4 มลพิษหลังการเผาไหม้

รูปที่ 10 แสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ความเข้มข้นออกซิเจน 6% และเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนหลัง

การเผาไหม้ พบว่าหัวเผาทั้ง 2 รูปทรงมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่า 35 ppm ตลอดย่านการใช้งาน ในขณะที่หัวเผาทรงกระบอกเจาะรูมีคาร์บอนมอนอกไซที่สูงกว่าทรงกระบอกตันในช่วงย่าน 2.5 – 4 L/min สอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนหลังการเผาไหม้ที่เพิ่มสูงขึ้นในย่านดังกล่าว



รูปที่ 10 ปริมาณ CO (เส้นทึบ) และ O2 (เส้นประ) หลังการเผาไหม้



รูปที่ 11 ปริมาณ NO_x

ในขณะที่เมื่อพิจารณาปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ที่ออกซิเจน 6% ดังแสดงในรูปที่ 11 พบว่าวัสดุพรุนทรงกระบอกตันให้ปริมาณต่ำกว่าทรงกระบอกเจาะรูอย่างชัดเจน เนื่องมาจากการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในวัสดุพรุนที่สม่ำเสมอกว่า ทำให้ไม่เกิดบริเวณที่มีความร้อนสูงซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ก่อให้เกิดสารประกอบไนโตรเจนออกไซด์จากความร้อน

จากการทดลองสมรรถนะการเผาไหม้ทั้งหมดพบว่าหัวเผาวัสดุพรุนแบบทรงกระบอกเจาะรูให้สมรรถนะการเผาไหม้ที่เป็นการผสมกันระหว่างคุณสมบัติของหัวเผาแบบไม่ใส่วัสดุพรุนกับวัสดุพรุนทรงกระบอกตัน โดยสังเกตจากการให้เปลวไฟที่ยาว ในขณะเดียวกันเปลวบางส่วนยังคงมีการเผาไหม้อยู่ภายในช่องวัสดุพรุนและเกิดการหมุนเวียนความร้อนในวัสดุ นอกจากจะทำให้ได้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงกว่าวัสดุพรุนทรงกระบอกตันแล้วยังมีการกระจายอุณหภูมิที่สม่ำเสมอกว่าหัวเผาแบบไม่ใส่วัสดุพรุนอีกด้วย [7]

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้ของหัวเผาเชื้อเพลิงแอลพีจีแบบผสมกันมาก่อนสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ เปรียบเทียบระหว่างหัวเผาวัสดุพรุนที่มีรูปทรงแตกต่างกันได้แก่ ทรงกระบอกตันและทรงกระบอกเจาะรูตรงกลาง เพื่อศึกษาอิทธิพลที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงต่างๆ ภายใต้ปริมาณอากาศส่วนเกินเดียวกัน ซึ่งการทดสอบหัวเผาวัสดุพรุนมุ่งเน้นการเพิ่มสมรรถนะการเผาไหม้ สร้างเสถียรภาพและลดปริมาณมลพิษ โดยพิจารณาลักษณะเปลวไฟที่มองเห็น การกระจายตัวของอุณหภูมิตามระดับความสูงของห้องเผาไหม้และปริมาณก๊าซในไอเสียได้แก่ ออกซิเจนหลังการเผาไหม้ คาร์บอนมอนอกไซด์และสารประกอบไนโตรเจนออกไซด์

จากผลการทดสอบพบว่าโครงสร้างของวัสดุพรุนทรงกระบอกเจาะรูมีผลทำให้เหนี่ยวนำอากาศส่วนที่หนึ่งเข้าสู่ท่อผสมได้ดีกว่าหัวเผาทรงกระบอกตัน เนื่องจากรูปทรงที่ขวางช่องการไหลน้อยกว่า อีกทั้งยังเป็นการลดความดันตกคร่อมระหว่างผิววัสดุพรุนทั้ง 2 ด้านอีกด้วย

หัวเผาวัสดุพรุนทั้ง 2 รูปทรงมีให้ย่านการทำงานที่มีเสถียรภาพอยู่ในช่วง 1.5 – 3 L/min เท่านั้น เนื่องจากที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงสูงทำให้ความเร็วก๊าซผสมสูงขึ้นตาม ส่งผลให้อิทธิพลของการพัดพาเพิ่มสูงขึ้น ประกอบกับความเข้มข้นเชื้อเพลิงที่มากขึ้นและอากาศส่วนที่สองเหนี่ยวนำผ่านวัสดุพรุนได้ยาก จึงทำให้เปลวไฟจึงติดอยู่บริเวณผิวของวัสดุพรุนซึ่งเป็นเปลวไฟแบบแพร่

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิ พบว่าหัวเผาวัสดุพรุนรูปทรงกระบอกเจาะรูให้ระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าเนื่องจากเซนเซอร์ตรวจวัดได้อุณหภูมิของเปลวไฟ ในขณะที่รูปทรงกระบอกตันให้การกระจายอุณหภูมิที่สม่ำเสมอมากกว่า

ปริมาณมลพิษที่เกิดจากหัวเผาวัสดุพรุนทรงกระบอกตันมีค่าต่ำกว่าทรงกระบอกเจาะรู เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุพรุนช่วยในการกระจายและหมุนเวียนก๊าซร้อนอยู่ภายใน

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายใต้โครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก ร่วมกับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อีกทั้งขอขอบคุณอาจารย์และนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครที่ช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และบริษัท Happy one ที่เอื้อเฟื้อชุดหัวเผาที่ใช้ในการทดสอบ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] P. Laphirattanakul. 2012, “Mixing and Combustion Improvement by Modified Nozzle on a Premixed LPG Burner”, Faculty of Engineering, King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang, Thailand.

[2] P. Laphirattanakul and J. Charoensuk. 2011, “The development of LPG burner in ceramics industry: part 1”, The 25th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand.

[3] A. Laphirattanakul and J. Charoensuk. 2011, “The study of capable in LPG turn up/down of semi-automatic LPG burner in ceramics industry: part 2”, The 25th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand.

[4] A. Laphirattanakul, P. Laphirattanakul and J. Charoensuk. 2012, “Comparison of conventional and developed LPG burner operating: fuel jet shape and burner performance”, The 26th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand.

[5] Mujeebu, M.A., Abdullah, M.Z., Abubakar, A.Z., Mohamad, A.A., Abdulah, M.K. (2009), Combustion in porous media and its applications – A comprehensive survey, Journal of Environmental Management, Vol. 90, pp. 2287-2312.

[6] Wood, S., Harris, A.T. (2008), Porous burners for lean-burner applications, Progree in Energy and Combustion Science, Vol. 34, pp. 667-684.

[7] Laphirattanakul, A., Laphirattanakul, P., Charoensuk, J. (2015), Performance Improvement of the LPG Burner of Ceramics Industry, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11