

พฤติกรรมการเผาไหม้ของหัวเผาวัสดุพรุน The combustion behavior of porous media burner

อารุท ลปิริตนากุล^{1*} จารุวัตร เจริญสุข²

^{1,2} สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถ.ฉลองกรุง เขต
ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทร 0-2737-3000 E-mail: umkmitl39@hotmail.com

Arwut Lapirattanakun^{1*}, Jarruwat Charoensuk²

^{1,2} Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok
10520, Thailand

Tel: 0-2737-3000 E-mail: umkmitl39@hotmail.com

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ทำการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของก๊าซ LPG ที่เกิดขึ้นภายในวัสดุพรุนในแง่ของสมรรถนะเบื้องต้นอันได้แก่ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (η_c) และองค์ประกอบของก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่ามากกว่า 99 % และอุณหภูมิภายในหัวเผาวัสดุพรุนที่มีค่ามากกว่า 1000°C ความเข้มข้นของ CO ของก๊าซไอเสียมีค่าต่ำ ซึ่งเห็นถึงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างค่อนข้างสมบูรณ์โดยคาดว่าจะเกิดจากของผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ถูกอุ่น (preheating) ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นมีค่าอยู่ในช่วง 720-950°C หัวเผาวัสดุพรุนมีพฤติกรรมการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิเปลวไฟค่อนข้างต่ำ (Low flame temperature) อยู่ในช่วง 1050 - 1100 °C ส่งผลให้ปริมาณ NO_x ที่ได้จากการเผาไหม้มีปริมาณต่ำอยู่ในช่วง 35 -55 ppm ที่มาตรฐาน 6% O₂ และช่วงของการเผาไหม้มีช่วงค่อนข้างยาว (Long flame temperature) โดยมีความยาวประมาณ 100 mm จึงส่งผลให้ปริมาณ CO ที่ได้จากการเผาไหม้มีปริมาณต่ำอยู่ในช่วง 30-150 ppm ที่มาตรฐาน 6% O₂ นอกจากนี้ยังพบว่าการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นค่อนข้างเสถียรไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ยอุณหภูมิมีค่ามากกว่า 1000 °C

คำสำคัญ: หัวเผาวัสดุพรุน /การเผาไหม้ / วัสดุพรุน

¹ Corresponding author

Abstract

This study investigated the combustion of LPG in a porous media in terms of preliminary performance such as; combustion efficiency and gas emissions. The experimental results showed that the combustion efficiency of more than 99% can be achieved and the temperature within porous burner that it is up to 1000°C. Low CO concentration of exhausted gas suggested a complete combustion which may occur due to preheating of air-fuel mixer, ranged from 720-950°C. Combustion within a porous media burner has a feature of relatively low flame temperature varying between 1050-1100 °C. It affects on NO_x emission varying between 35-55 ppm (at 6% O₂). Furthermore, long flame temperature of about 100mm height also affects on CO emission varying between 30-150 ppm (at 6% O₂). The combustion is quite stable with the temperature well above 1000°C.

Keyword: Porous media burner / combustion / Porous media

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมต่างๆภายในประเทศเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ทำให้พลังงานที่ใช้กันอยู่เริ่มลดน้อยลง จึงทำให้หลายๆหน่วยงานทั้งทางภาครัฐและภาคเอกชนได้พยายามแก้ไขปัญหาวิกฤตพลังงานนี้ด้วยการรณรงค์การใช้พลังงานทดแทนมากขึ้น เช่นการพยายามใช้แหล่งพลังงานธรรมชาติที่มีอยู่ในประเทศ ได้แก่ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานลม พลังงานคลื่นและพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น นอกจากรูปแบบของพลังงานทดแทนที่กล่าวมานี้แล้วนั้น ยังมีเทคโนโลยีอีกด้านหนึ่งซึ่งเป็นพลังงานทดแทนอีกทางเลือกหนึ่งที่มีแนวโน้มที่จะมีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์ในอีกไม่กี่ปีข้างหน้า นั่นคือ เทคโนโลยีด้านเซลล์เชื้อเพลิง โดยข้อดีของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับความสนใจเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกใหม่สำหรับอนาคต ก็คือ เซลล์เชื้อเพลิงสามารถผลิตไฟฟ้าได้โดยมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบผลิตไฟฟ้าในปัจจุบัน เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมน้อย ลดการเกิดก๊าซที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม เช่น คาร์บอนมอนนอกไซด์ ซัลเฟอร์ออกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ ซึ่งในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาระบบของเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อให้สามารถผลิตพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ด้วยการติดตั้ง reformer เข้าไปในระบบเพื่อช่วยในการอุ่นก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนก่อนเข้าทำปฏิกิริยา ทำให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยแหล่งพลังงานความร้อนที่ป้อนให้กับ reformer ได้มาจากการติดตั้งเตาเผาไหม้เพิ่มเข้าไปในระบบ ซึ่งรูปแบบของการติดตั้งทั้ง reformer และ เตาเผาไหม้เข้าไปในระบบของเซลล์เชื้อเพลิงนั้น ทำได้โดยการติดตั้ง reformer ไว้ภายในเตาเผาไหม้หรือติดตั้งไว้ภายนอกเตาเผาไหม้ก็ได้แล้วแต่ความเหมาะสม ขึ้นอยู่กับสมรรถนะของเตาเผาไหม้ที่ทำได้ [1,2] โดยเตาเผาไหม้ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปส่วนใหญ่เป็นเตาเผาไหม้ประเภท free flame ซึ่งข้อเสียของเตาเผาไหม้จำพวกนี้คือ ผลิตพลังงานความร้อนได้ไม่เสถียร (เกิดการแกว่งของอุณหภูมิสูง) การปรับเปลี่ยนอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงส่งผลต่อสมรรถนะของเตาเผาไหม้อย่างมาก อีกทั้งยังมีอัตราการเกิดมลพิษสูงอีกด้วย ซึ่งจากข้อเสียดังกล่าวเมื่อนำเตาเผาไหม้มาติดตั้งเข้ากับระบบของเซลล์เชื้อเพลิงแล้ว จะทำให้เกิด thermal stress กับ reformer ส่งผลอุปกรณ์เกิดความเสียหายได้ [3] โดยจากการศึกษาพบว่าทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดปัญหาดังกล่าวได้คือการนำหัวเผาวัสดุพรุน (Porous media burner) มาติดตั้งเข้ากับระบบของเซลล์เชื้อเพลิงแทนเตาเผาไหม้เดิมที่ใช้กันอยู่ (Conventional combustor) ด้วยเหตุผลที่ว่าหัวเผาวัสดุพรุนนั้น มีการเผาไหม้ที่เสถียรคือการปรับเปลี่ยนสัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงไม่ค่อยส่งผลกระทบต่อการทำงานของหัวเผาไหม้ อัตราการเกิดมลพิษต่ำและลดอัตราการแพร่ของอากาศเข้าสู่เชื้อเพลิง ซึ่งช่วยให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงเกิดขึ้นช้าลงได้ นอกจากนี้ด้วยคุณลักษณะเด่นของวัสดุพรุนจะส่งผลให้เกิด Super adiabatic flame ซึ่งเป็นการผสมผสานกันระหว่างกลไกการถ่ายเทความร้อนทั้งการนำความร้อน การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนเข้าไว้ด้วยกัน ช่วยทำให้การเผาไหม้เกิดได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้น [4,5,6,7] โดยหัวเผาวัสดุพรุนที่มีใช้อยู่ในขณะนี้มียู้อยู่ด้วยกันสองรูปแบบคือ หัวเผาวัสดุพรุนแบบ single stage และแบบ multi-stage ซึ่งจาก

การค้นคว้าพบว่าหัวเผาแบบ single stage นั้นไม่สามารถควบคุมปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นตามระดับความสูงของเตา ส่งผลให้ถ้าติดตั้ง reformer ไว้ภายในหัวเผา จะทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ได้เนื่องจากปริมาณความร้อนสูงเกินไป ซึ่งแตกต่างจากหัวเผาวัสดุพรุนแบบ multi - stage ที่สามารถควบคุม Combustion zone ที่เกิดขึ้นตามระดับความสูงของเตาได้ โดยควบคุมจากปริมาณอากาศที่ป้อนให้กับเชื้อเพลิงในแต่ละระดับความสูงของเตาเผาไหม้ [3] จึงทำให้ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ภายในเตาเผาไหม้ ดังนั้นโครงการนี้ จะเน้นด้านการพัฒนาหัวเผาวัสดุพรุนแบบ multi-stage โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถนะและพฤติกรรมของหัวเผานี้ ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่อง โดยจะนำผลการทดลองที่ได้มาปรับปรุงและพัฒนาหัวเผาวัสดุพรุนเพื่อนำไปใช้กับระบบของเซลล์เชื้อเพลิงต่อไป

2.องค์ประกอบเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ คือ LPG โดยในการทดลองจะก๊าซหุงต้มของการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ซึ่งองค์ประกอบของ LPG นี้ประกอบด้วย โพรเพน (C_3H_8) 60 mol% และบิวเทน (C_4H_{10}) 40% โดยมีค่าความร้อน (HHV) เท่ากับ 45.6 MJ/kg (ที่มา: การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย) ซึ่งจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของ LPG มีก๊าซไฮโดรคาร์บอนเป็นส่วนประกอบหลัก ไม่มีองค์ประกอบของ ไนโตรเจนและซัลเฟอร์

3.วิธีการทดลอง

รูปที่ 1 แสดงชุดทดสอบพฤติกรรมการเผาไหม้และสมรรถนะเบื้องต้นของหัวเผาวัสดุพรุนโดยใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง โดยหัวเผาวัสดุพรุนนี้ถูกสร้างขึ้นให้มีการเผาไหม้แบบ non-premixed ซึ่งมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหัวเผาประมาณ 4 นิ้ว สูง 35 mm โดยสามารถแบ่งหัวเผาออกได้เป็นสามส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนที่เป็นห้องผสม (Mixing zone) กันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ส่วนที่สองและส่วนที่สามจะเป็นส่วนของห้องเผาไหม้ ซึ่งในการทดลองจะแบ่งอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ออกเป็นสี่ส่วน โดยจ่ายอากาศเข้าหัวเผาในส่วนที่หนึ่งที่บริเวณตะแกรงกระจายเชื้อเพลิง (Fuel distributor) และส่วนที่สองที่ระดับความสูง 100 mm จากตะแกรงกระจายเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 1 ส่วนการป้อนเชื้อเพลิงเข้าหัวเผาจะใช้หัวฉีดเป็นอุปกรณ์ในการป้อนเชื้อเพลิง และทำการติดตั้งระบบจุดระเบิดที่บริเวณระหว่างรอยต่อของหัวเผาส่วนที่สองและส่วนที่สาม โดยใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิงในการจุดและอุ่นหัวเผา

ในการทดลองทำการปรับอัตราการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงให้สอดคล้องกับเงื่อนไขการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยใช้ บั้มลมเป็นต้นกำลังในการทำให้เกิดอัตราการไหลของอากาศและใช้ Flow meter เป็นอุปกรณ์ในการวัดและควบคุมอัตราการไหลของอากาศ และในการควบคุมอัตราการไหลของเชื้อเพลิงจะใช้ Flow meter เป็นอุปกรณ์ในการวัดและควบคุมอัตราการไหลเช่นเดียวกัน ส่วนในการบันทึกค่าอุณหภูมิจะบันทึกอุณหภูมิทั้งหมด 4 ระดับความสูงดังรูปที่ 1

ทุกๆ 5 นาทีโดยใช้ Thermocouple type K และใช้ Data logger เป็นอุปกรณ์ในการบันทึกผล นอกจากนี้เมื่ออุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงตัวทำ

ในการหาสมรรถนะของหัวเผาจะนำค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้(η_c) มาเป็นดัชนีในการชี้วัดสมรรถนะของหัวเผา โดยสามารถคำนวณได้จาก

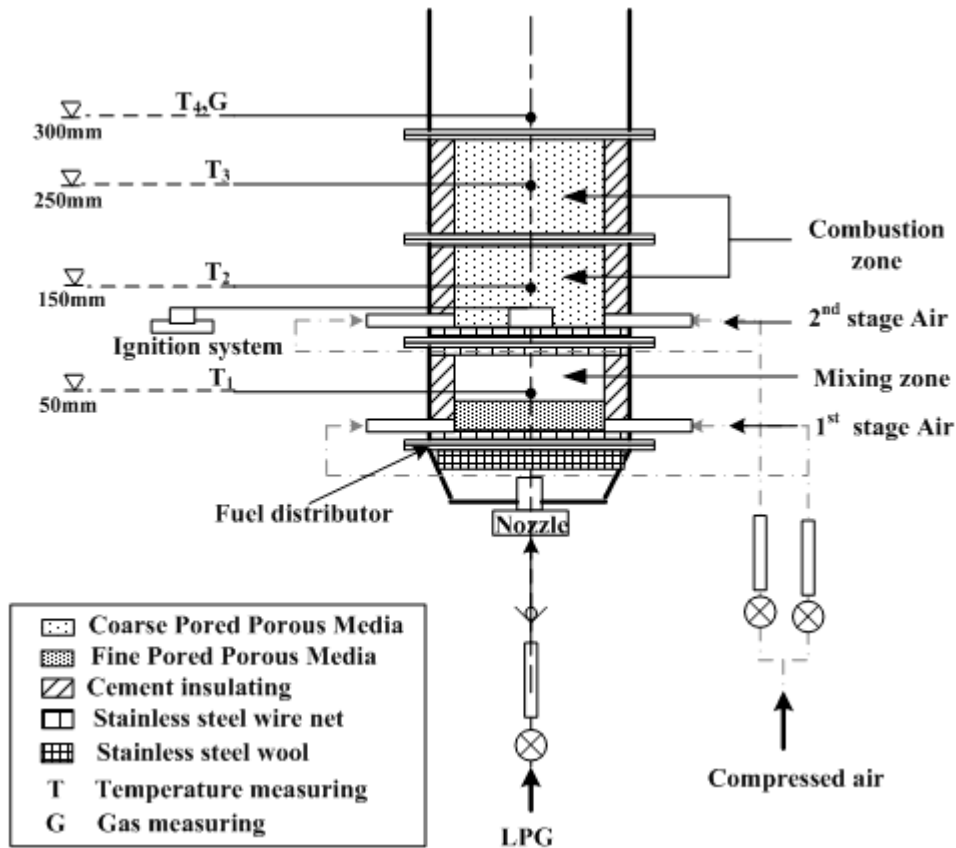
- ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตานิยามได้ด้วยสมการดังนี้

$$\eta_c = \left[\frac{(E_F - E_{fg})}{E_F} \right] \times 100 \% \quad (1)$$

วัดก๊าซไอเสียโดยใช้เครื่องวัดก๊าซ วัดที่บริเวณท่อทางออกดังรูปที่ 1

E_F = ปริมาณความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าเตาเผาไหม้ (MW)

E_{fg} = ปริมาณความร้อนที่สูญเสียไปกับคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในก๊าซเสีย (MW)



รูปที่ 1 แสดงชุดทดลองหัวเผาวัสดุพอร์น

ตารางที่ 1 ตารางแสดงเงื่อนไขการทดลอง

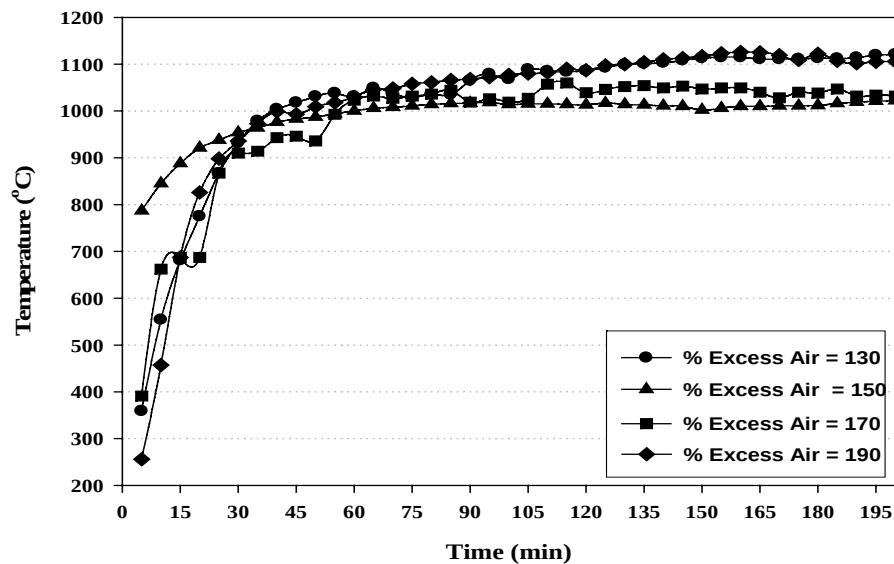
Run No.	Energy input (kw)	Flow rate of 1 st stage air (SCFH)	Flow rate of 2 nd stage air (SCFH)	Excess Air (%)
1	3	150	105	130
2		150	125	150
3		150	150	170
4		150	170	190

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

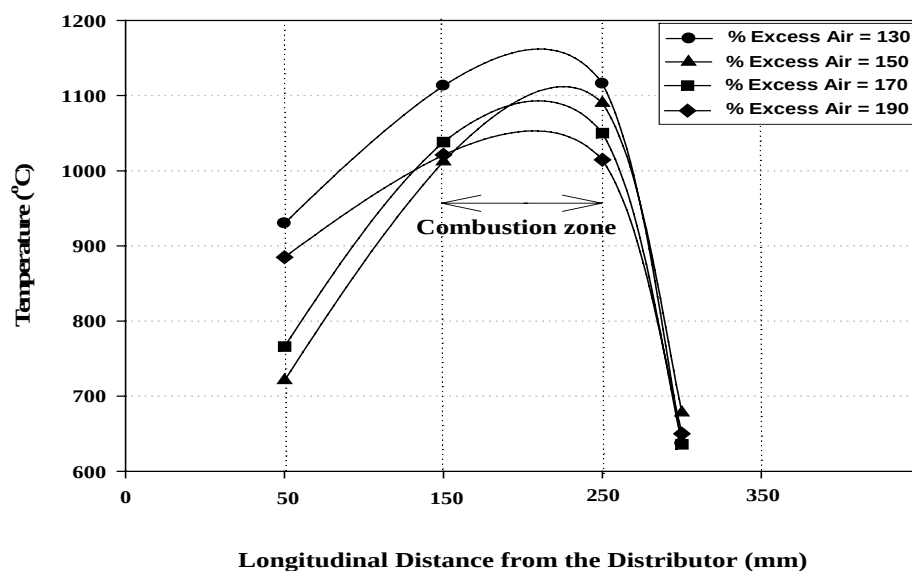
ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาสมรรถนะเบื้องต้นของหัวเผาวัสดุพูน รวมถึงพฤติกรรมการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในหัวเผา โดยทำการคงที่พลังงานความร้อนที่ป้อนให้กับหัวเผา (kw) ไว้เท่ากับ 3 kw และคงที่ปริมาณอากาศในชั้นที่หนึ่งที่ย้ายให้กับหัวเผาเท่ากับ 150 SCFH (Standard Cubic Foot per Hour) ตามลำดับ และทำการปรับเปลี่ยน

ปริมาณอากาศชั้นที่สองเท่ากับ 105 125 150 และ 170 SCFH ตามลำดับ ซึ่งในการทดลองจะใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิงในการจุดเตาและอุ่นเตา บันทึกอุณหภูมิตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองเมื่ออุณหภูมิการเผาไหม้เข้าสู่สภาวะคงตัวจึงเริ่มบันทึกก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้

4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในหัวเผาวัสดุพูน



รูปที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของก๊าซเผาไหม้ที่ระดับความสูง 150mm จากตะแกรงกระจายเชื้อเพลิง



รูปที่ 3 แสดงการกระจายอุณหภูมิตามระดับความสูง

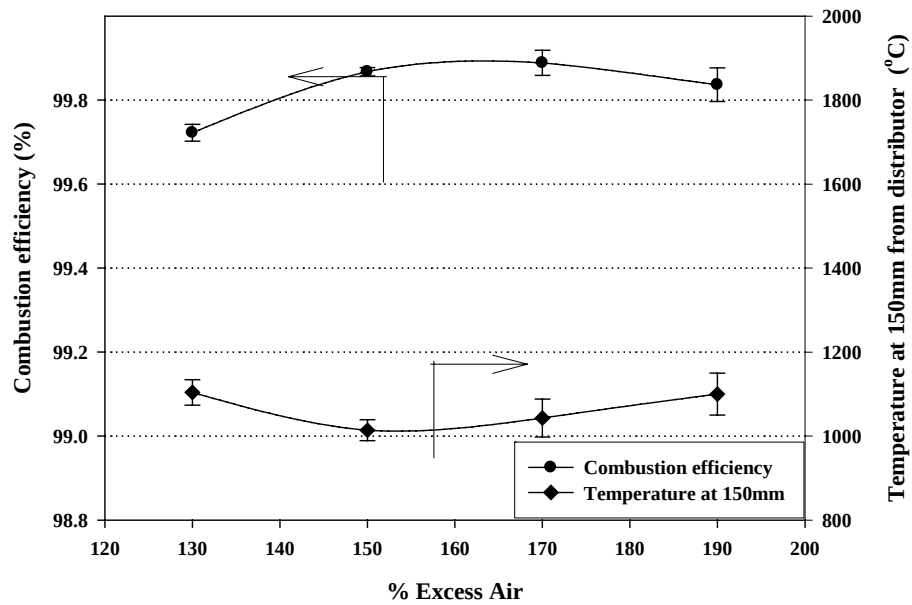
รูปที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของก๊าซเผาไหม้ที่ระดับความสูง 150mm จากตะแกรงกระจายเชื้อเพลิง โดยในการทดลองทำการปรับเปลี่ยนปริมาณอากาศส่วนเกินในช่วง 130-190% ซึ่งจากการทดลองพบว่าแนวโน้มอุณหภูมิของก๊าซเผาไหม้ที่ระดับความสูง 150mm มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันในทุกเงื่อนไขการทดลอง โดยจากกราฟสามารถแบ่งช่วงของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นสองช่วง คือ ช่วงแรกคือช่วงก่อนเข้าสู่สภาวะคงที่ (ช่วงเวลา 5 ถึง 60 นาที) พบว่าอุณหภูมิก๊าซร้อนแปรผันตรงกับเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้และช่วงที่สองคือช่วงเข้าสู่สภาวะคงที่ (ช่วงเวลาตั้งแต่ 60 นาทีเป็นต้นไป) จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัวเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที ซึ่งในทุกเงื่อนไขการทดลองอุณหภูมิมีค่ามากกว่า 1000 °C โดยในช่วงที่สองนี้เป็นคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุพูนคือมีการเผาไหม้ที่ค่อนข้างเสถียร[4] เนื่องมาจากเกิดสภาวะสมดุลกันระหว่างการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนรวมกับการแผ่รังสีความร้อนและการพาความร้อน โดยที่กลไกการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนจะถ่ายเทความร้อนสู่ upstream ในขณะที่กลไกการพาความร้อนจะถ่ายเทความร้อนไปสู่ downstream จึงทำให้เกิดภาวะสมดุลกัน ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของก๊าซร้อนภายในหัวเผาค่อนข้างคงที่

รูปที่ 3 แสดงการกระจายอุณหภูมิตามระดับความสูง โดยในการทดลองพบว่าบริเวณที่เกิดการเผาไหม้ (combustion zone) อยู่ในช่วงระดับความสูงตั้งแต่ 150mm จนถึง 250mm จากตะแกรงกระจายเชื้อเพลิง โดยมีความยาวประมาณ 100 mm ซึ่งจะเห็นได้ว่าช่วงของการเผาไหม้มีช่วงค่อนข้างยาว (Long flame temperature) โดยในทุกเงื่อนไขการทดลองอุณหภูมิสูงสุดมีค่าอยู่ในช่วง 1050- 1100 °C ซึ่งอุณหภูมิเปลวไฟมีค่าค่อนข้างต่ำ (Low flame temperature) โดยคาดว่าจะเกิดจากการที่ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นถ่ายเทความร้อน

ส่วนหนึ่งให้กับวัสดุพูน นอกจากนี้ยังพบว่าที่เงื่อนไขเดียวกันอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความสูงจนถึงที่ระดับความสูง 250mm จากตะแกรงกระจายเชื้อเพลิง จากนั้นอุณหภูมิจะมีค่าต่ำลงเมื่อเข้าสู่บริเวณท่อทางออก โดยอุณหภูมิเริ่มต้นในทุกเงื่อนไขการทดลองที่ระดับความสูง 50 mm จากตะแกรงกระจายเชื้อเพลิงมีค่าสูงอยู่ในช่วง 720-950 °C โดยคาดว่าจะเกิดจากของผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ถูกอุ่น(preheating)ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้เกิดการเผาไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งกลไกการอุ่นของผสมนี้เป็นคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุพูน [4] โดยเกิดขึ้นจากการที่เมื่อก๊าซร้อนจากการเผาไหม้ไหลผ่านวัสดุพูน วัสดุพูนจะทำหน้าที่ดูดซับเอนทาลปีส่วนหนึ่งจากก๊าซร้อนไว้แล้วถ่ายเทความร้อนทั้งการนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนจากบริเวณ downstream ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการเผาไหม้ (combustion zone) ไปสู่บริเวณ upstream ซึ่งเป็นบริเวณที่ของผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงกำลังพัดผ่าน ดังนั้นเมื่อของผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงที่มีอุณหภูมิต่ำไหลผ่าน จึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนสู่ของผสม ซึ่งเป็นสาเหตุให้ของผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิสูงขึ้น

เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วง Combustion zone ส่วนใหญ่จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น คาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากการเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกิน ซึ่งก็คือการเพิ่มพจน์ของการพา มีผลทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของอากาศและเชื้อเพลิงที่กำลังเผาไหม้จากระดับความสูง 150mm เคลื่อนตัวไปเผาไหม้ต่อที่ระดับความสูง 250mm จากตะแกรงกระจายเชื้อเพลิง จึงส่งผลให้อุณหภูมิที่ระดับความสูง 250mm จากตะแกรงกระจายเชื้อเพลิงมีค่าสูงขึ้น

4.2 ประสิทธิภาพการเผาไหม้และอุณหภูมิภายในหัวเผาวัสดุพูน

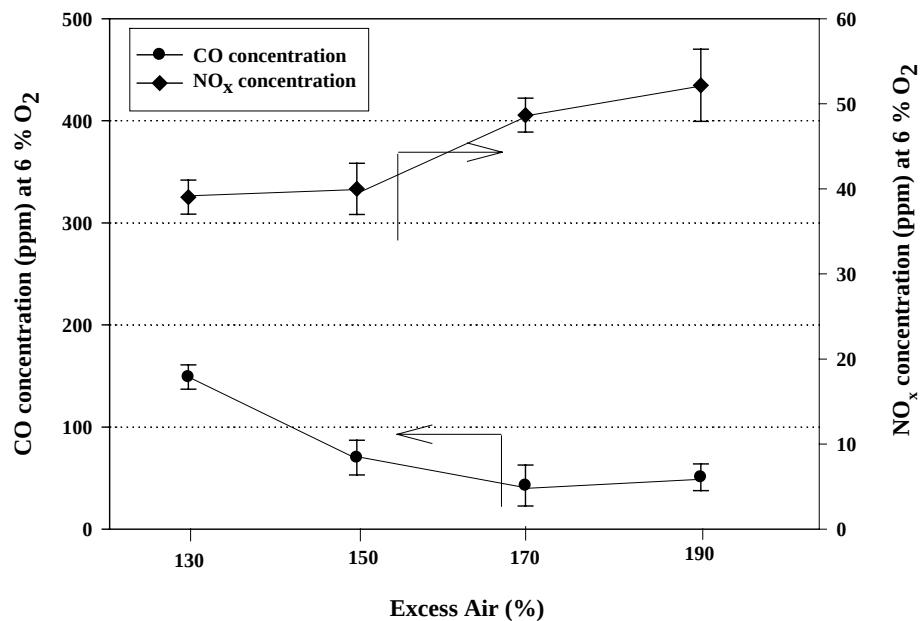


รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเผาไหม้และอุณหภูมิภายในหัวเผาวัสดุพูน

รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเผาไหม้และอุณหภูมิภายในหัวเผาวัสดุพูน โดยจากผลการทดลองพบว่าในทุกเงื่อนไขการทดลองประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่ามากกว่า 99 % สอดคล้องกับอุณหภูมิภายในหัวเผาวัสดุพูนที่มีค่ามากกว่า 1000°C ซึ่ง

แสดงให้เห็นถึงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างค่อนข้างสมบูรณ์โดยคาดว่าจะเกิดจากของผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ถูกอุ่น (preheating) ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้เกิดการเผาไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.3 องค์ประกอบของก๊าซไอเสีย



รูปที่ 5 แสดงปริมาณ CO และ NO_x ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้

รูปที่ 5 แสดงอิทธิพลของอากาศส่วนเกินที่มีผลต่อปริมาณ CO และ NO_x ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ โดยทำการปรับเปลี่ยนปริมาณอากาศส่วนเกินในช่วง 130-190 % ซึ่งหมายถึงการปรับเปลี่ยนพจน์การพาของของผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ (Convection of air and fuel steam) โดยจากกราฟจะเห็นได้ว่าปริมาณ CO มีค่าต่ำอยู่ในช่วง 30-150 ppm ที่มาตรฐาน 6% O₂ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างค่อนข้างสมบูรณ์ โดยคาดว่าน่าจะเกิดจากของผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ถูกอุ่น (preheating) ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้เกิดการเผาไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวได้วิจารณ์ไว้ข้างต้น) โดยสามารถพิจารณาได้จากอุณหภูมิที่ระดับความสูง 50mm จากตะแกรงกระจายเชื้อเพลิงดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 720-950 °C นอกจากนี้อีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ปริมาณ CO มีปริมาณต่ำคือ การที่ช่วงของการเผาไหม้มีช่วงค่อนข้างยาว (Long flame temperature) โดยมีความยาวประมาณ 100 mm ดังแสดงในรูปที่ 3 จึงทำให้เป็นการเพิ่มระยะเวลาการเผาไหม้ ส่งผลให้ปริมาณ CO ที่ได้จากการเผาไหม้มีปริมาณต่ำ อีกทั้งยังพบว่าปริมาณ CO มีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณอากาศส่วนเกิน โดยคาดว่าเกิดจากการเคลื่อนตัวของอากาศและเชื้อเพลิงที่กำลังเผาไหม้จากระดับความสูง 150mm เคลื่อนตัวไปเผาไหม้ต่อที่ระดับความสูง 250mm จากตะแกรงกระจายเชื้อเพลิง โดยพิจารณาจากรูปที่ 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิในเงื่อนไขเดียวกันมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความสูง เมื่อมีการเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกิน (พจน์ของการปามีค่าเพิ่มขึ้น) โดยคาดว่าน่าจะส่งผลให้ระยะเวลาในการเผาไหม้มีค่าเพิ่มขึ้น จึงทำให้ปริมาณ CO มีค่าลดลงตามลำดับ

ส่วนปริมาณ NO_x ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้พบว่า มีค่าต่ำอยู่ในช่วง 35-55 ppm ที่มาตรฐาน 6% O₂ เนื่องจากการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นเป็นการเผาไหม้ที่อุณหภูมิเปลวไฟมีค่าต่ำ (Low flame temperature) โดยพิจารณาจากรูปที่ 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิสูงสุดมีค่าไม่เกิน 1200 °C ทำให้ไม่มีโอกาสเกิด Thermal NO_x เนื่องจาก NO_x ประเภทนี้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง (> 1300 °C) และด้วยเหตุที่ LPG เป็นเชื้อเพลิงที่ไม่มีองค์ประกอบของไนโตรเจนจึงทำให้ ไม่มีโอกาสเกิด fuel NO_x เช่นเดียวกัน ดังนั้นปริมาณ NO_x ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้จึงมีปริมาณต่ำ ซึ่งปริมาณ NO_x ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่คาดว่าจะเกิดขึ้นมาจาก prompt NO_x เพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็น NO_x ที่เกิดขึ้นมาจากการทำปฏิกิริยากันในระหว่างไฮโดรคาร์บอนกับไนโตรเจนในของผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ โดยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งโดยปกติ NO_x ประเภทนี้มีปริมาณต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณ NO_x มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกิน เนื่องจากการเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินเป็นการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนในอากาศ จึงทำให้โอกาสที่จะเกิด prompt NO_x มีเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ

4.สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นการศึกษาสมรรถนะเบื้องต้นของหัวเผาวัสดุพูน รวมถึงพฤติกรรมของการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในหัวเผา ซึ่งจากทดลองพบว่า

1. หัวเผาที่มีพฤติกรรมของการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิเปลวไฟค่อนข้างต่ำ (Low flame temperature) อยู่ในช่วง 1050-1100 °C ส่งผลให้ปริมาณ NO_x ที่ได้จากการเผาไหม้มีปริมาณต่ำ
2. ช่วงของการเผาไหม้มีช่วงค่อนข้างยาว (Long flame temperature) โดยมีความยาวประมาณ 100 mm จึงส่งผลให้ปริมาณ CO ที่ได้จากการเผาไหม้มีปริมาณต่ำ
3. ประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่ามากกว่า 99 % สอดคล้องกับอุณหภูมิภายในหัวเผาวัสดุพูนที่มีค่ามากกว่า 1000°C ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์โดยคาดว่าน่าจะเกิดจากของผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ถูกอุ่น (preheating) ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยมีอุณหภูมิประมาณ 720-950 °C
4. การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นค่อนข้างเสถียรไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ยอุณหภูมิมีค่ามากกว่า 1000 °C
5. อัตราการเกิดมลพิษของหัวเผาวัสดุพูนมีค่าต่ำ โดยปริมาณ CO และ ปริมาณ NO_x มีปริมาณต่ำอยู่ในช่วง 30-150 ppm และ 35-55 ppm ที่มาตรฐาน 6% O₂ ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยและนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครที่ช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Michael, P., Arpad, H., Martin, P. and Dennis, P., 2004. Integrated module for solid oxide fuel cell systems. United States Patent. US 6,749,958 B2.
- [2] Kelley, M. and Grover, T., 2003. Solid-oxide fuel cell system having an integrated air supply system. United States Patent. US 6,608,463 B1.
- [3] Senetor, J., Towler, P. and Harness, R., 2002. Multi-state combustion for fuel processing for use with fuel cell. United States Patent. US 6,342,197 B1.
- [4] Howell, J.R., Hall, M.J. and Ellzey, J.L., 1996. Combustion of hydrocarbon fuels within porous inert media. Prog. Energy Combust. Sci. Vol. 22. pp. 121-145.
- [5] Hsu, P., Evans, F. and Howell, J.R., 1993. Experimental and Numerical Study of Premixed Combustion with Non-

homogeneous Porous Ceramic. Combustion Science Technology. Vol. 90. pp. 149-172.

- [6] Jugjai, S., Wongpanit, N., Laoketkan, T. and Nokkaew, S., 2002. The combustion of liquid fuels using a porous medium. Experimental Thermal and Fluid Science. Vol. 26. pp. 15-23
- [7] Kaplan, M. and Hall, M.J., 1995. The Combustion of Liquid Fuels within a Porous Media Radiant Burner. Experimental Thermal and Fluid Science. Vol. 11. pp. 13-20