

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23
4 – 7 พฤศจิกายน 2552 จังหวัดเชียงใหม่

หัวเผาวัสดุพรุนแบบจ่ายของผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศเป็นชั้นและหัวเผาวัสดุ พรุนแบบจ่ายอากาศเป็นชั้น

Fuel and Air Mixture Staged Porous Burner versus Air Staged Porous Burner

อาวุธ ลภีรัตนากุล^{1*} จารุวัตร เจริญสุข²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ถ.เชื่อมสัมพันธ์ เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530 โทร 0-2988-3655

E-mail: umkmittl39@hotmail.com

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทร 0-2737-3000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ ของก๊าซ LPG ที่เกิดขึ้นภายใน หัวเผาวัสดุพรุนแบบจ่ายของผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงเป็นชั้นแบบผสมก่อน ในแง่ของ สมรรถนะของเตาเผาไหม้อันได้แก่ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (η_c) องค์ประกอบของก๊าซไอเสีย ที่เกิดจากการเผาไหม้และการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายใน หัวเผา โดยได้ทำการปรับเปลี่ยนอากาศส่วนเกินเป็น 110 % 150% และ 180% ตามลำดับ และทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับหัวเผาวัสดุพรุนแบบจ่ายอากาศเป็นชั้น จากการทดลองพบว่าการกระจายอุณหภูมิตลอดความสูงของหัวเผา ไม่ค่อยสม่ำเสมอ โดยอุณหภูมิมีค่าอยู่ในช่วง 850-1268 °C ประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่าอยู่ในช่วง 99.87-99.93 % สอดคล้องกับปริมาณ CO ที่มีค่าประมาณ 29-698 ppm นอกจากนี้พบว่าหัวเผาวัสดุพรุนแบบจ่ายของผสมเป็นชั้นนี้ สามารถเพิ่มอุณหภูมิสูงสุดมีค่าสูงถึง 1268°C ซึ่งมากกว่าหัวเผาแบบจ่ายอากาศเป็นชั้น และคาดว่าจะสามารถควบคุม อุณหภูมิภายในหัวเผาให้เพิ่มขึ้นหรือลดลง สอดคล้องตามภาระทางความร้อนที่เพิ่มขึ้นภายในหัวเผาได้ อีกทั้งหัวเผา วัสดุพรุนชนิดนี้ยังสามารถผลิตอุณหภูมิได้สูง ในขณะที่ปริมาณ NO_x ที่ได้จากการเผาไหม้มีค่าต่ำ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 24-29 ppm ที่ 6% O_2 แต่ทั้งนี้ทางผู้วิจัยยังคงต้องทำการทดสอบหาเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมต่อไป

คำหลัก: หัวเผาวัสดุพรุนที่มีการจ่ายของผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศเป็นชั้น/ วัสดุพรุน/ อากาศส่วนเกิน

Abstract

This study investigated the combustion of LPG in a premixed-fuel and air mixture staged porous burner in terms of performance, such as; combustion efficiency gas emissions and temperature distribution at different excess air from 110%, 150% to 180% and then comparing result with an air staged porous burner. The experimental results showed that temperature distribution along height of burner are unstable, which ranged from 850-1268 °C. Combustion efficiency is between 99.87-99.93% corresponding to CO concentration, ranged from 29-698 ppm. Moreover, fuel and air mixture staged porous burner can be

achieved a high temperature about 1268 °C that it is above value than achieved with air staged porous burner. High temperature can be executing while NO_x concentration was low value, ranged from 24-29 ppm. The fuel and air mixture staged porous burner was expected that can be controlled peak temperature along height of burner corresponding to increasing of heat load with in burn, which researcher must be further improved to find an optimum operating condition in the future.

Keyword: Fuel and air mixture staged porous burner/ Porous media/ Excess air

1. บทนำ

ปัญหาภาวะโลกร้อนกำลังเป็นปัญหาใหญ่ของโลกเราในปัจจุบัน ซึ่งสาเหตุหลักของปัญหานี้เกิดมาจากมลพิษที่มนุษย์ก่อขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับเทคโนโลยีสะอาดเพื่อลด ปัญหาดังกล่าว โดยหนึ่งในเทคโนโลยีดังกล่าวคือเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งเป็นระบบที่สามารถผลิตพลังงานได้แต่มีมลพิษต่ำ โดยปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบของเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อให้สามารถผลิตพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ด้วยการติดตั้ง เตาปฏิกรณ์ในการสังเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจนและอนุภาคนอกซิเจนก่อนเข้าทำปฏิกิริยาภายในเซลล์เชื้อเพลิงซึ่งแหล่งพลังงานความร้อนที่ป้อนให้กับเตาปฏิกรณ์ได้มาจากการติดตั้งหัวเผาเพิ่มเข้าไปในระบบ โดยหัวเผาที่ติดตั้งในระบบควรเป็นหัวเผา ที่มีการกระจายอุณหภูมิใน หัวเผา มีความสม่ำเสมอ เกิดขึ้นในบริเวณที่กว้างและมีมลพิษต่ำ ซึ่งหัวเผา วัสดุพอร์นแบบหลายชั้น เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาติดตั้งเข้ากับระบบของเซลล์เชื้อเพลิง เนื่องจากการเผาไหม้ที่เสถียรเกิดขึ้นในบริเวณที่กว้าง และสามารถควบคุมอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นได้ ส่งผลให้อัตราการเกิด Thermal NO_x มีปริมาณลดลง [1] โดยได้มีการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกี่ยวกับหัวเผาวัสดุพอร์นที่มีการจ่ายของผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงเป็นชั้น [2,3,] พบว่าสามารถควบคุมอุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้นได้ ส่งผลให้อัตราการเกิด Thermal NO_x มีปริมาณลดลง นอกจากนี้ที่ผ่านมามีงานวิจัยได้ทำการปรับปรุงและพัฒนาหัวเผา วัสดุพอร์น แบบจ่ายอากาศเป็นชั้น ซึ่งทำการทดสอบ โดยได้ศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้อง

[4] ซึ่งจากการทดสอบพบว่า เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ก่อนช่วงสม่าเสมอที่บริเวณ downstream มีค่าอุณหภูมิล้อมอยู่ในช่วง 900-1100 °C แต่ อุณหภูมิจะมีค่าต่ำในช่วง 600 – 1000 °C ในบริเวณที่มีการจ่ายอากาศเข้าสู่หัวเผา คาดว่าเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณอากาศเย็นที่ป้อนเข้าสู่เตาเผาไหม้ส่งผลให้การเผาไหม้เกิดการชะล อตัว อีกทั้งข้อจำกัดอีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญคือ ถ้าหัวเผาต้องรับภาระทางปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้น เช่นการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มภายในหัวเผา หัวเผานั้นจะไม่สามารถเพิ่มหรือลดอุณหภูมิให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของภาระทางความร้อนได้ ด้วยเหตุนี้เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ทางทีมวิจัยจึงได้ทำการพัฒนาหัวเผาวัสดุพอร์นให้มีการจ่ายของผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศเป็นชั้นแบบผสมก่อน โดยคาดว่าหัวเผาวัสดุพอร์นนี้จะสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในหัวเผาให้เพิ่มขึ้นหรือลดลง สอดคล้องตามภาระที่เพิ่มขึ้นภายในหัวเผาได้

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ ทำการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของก๊าซ LPG ที่เกิดขึ้นภายในหัวเผาแบบวัสดุพอร์นที่มีการจ่าย ของผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับ อากาศเป็นชั้น ในแง่ของสมรรถนะความร้อนอันได้แก่ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (η_c) การกระจายอุณหภูมิและปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้น (CO และ NO_x) โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอากาศส่วนเกินที่มีผลต่อสมรรถนะของ หัวเผาและได้ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับหัวเผาวัสดุพอร์นแบบจ่ายอากาศเป็นชั้น

2. องค์ประกอบเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ก๊าซหุงต้มของการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ประกอบด้วย โพรเพน (C_3H_8) 60 mol% และบิวเทน (C_4H_{10}) 40% โดยมีค่าความร้อน (LHV) เท่ากับ 45.6 MJ/kg (ที่มา: การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย) ซึ่งมีก๊าซไฮโดรคาร์บอนเป็นส่วนประกอบหลัก ไม่มีองค์ประกอบของ ไนโตรเจนและซัลเฟอร์

3. วิธีการทดลอง

รูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะของหัวเผาวัสดุพูนทั้งสองประเภท โดยหัวเผาวัสดุพูนแบบจ่ายของผสมเป็นขั้นนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาจากหัวเผาแบบจ่ายอากาศเป็นเป็นขั้น ดังนั้นขนาดของหัวเผาจึงมีขนาดเท่ากัน คือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm ความสูง 30 cm ซึ่งหัวเผาวัสดุพูนทั้งสองแบบนี้ถูกสร้างขึ้นให้มีการเผาไหม้แบบผสมก่อน (premixed)

หัวเผาวัสดุพูนแบบจ่ายอากาศเป็นขั้นนี้แสดงในรูป (1a) จะแบ่งอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ออกเป็นสองส่วน โดยอากาศส่วนที่หนึ่งจะถูกจ่ายเพื่อผสมกับเชื้อเพลิงก่อนป้อนเข้าสู่ หัวเผา อากาศส่วนที่สองถูกป้อนเข้าหัวเผาที่ระดับความสูง 0 mm. จากตะแกรงกระจายเชื้อเพลิง ส่วนหัวเผาวัสดุพูนแบบจ่ายของผสมเป็นขั้นนี้แสดงในรูป (1b) จะแบ่งของผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าสู่หัวเผา ออกเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่ง ถูกกำหนดให้เป็นการผสมแบบหนา (อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.5) จะถูกป้อนเข้าหัวเผาที่บริเวณกันหัวเผา ส่วนที่สองถูกกำหนดให้เป็นการผสมแบบบาง (อัตราส่วนสมมูลอยู่ในช่วง 0.207-0.283) ซึ่งถูกป้อนเข้าหัวเผาที่ระดับความสูง 100 mm. จาก

ตะแกรงกระจายเชื้อเพลิง นอกจากนี้หัวเผาทั้งสองจะทำการติดตั้งระบบจุดระเบิดที่ระดับความสูง 100 mm. จากตะแกรงกระจายเชื้อเพลิงและใช้แอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงในการจุดและอุ่นหัวเผา

ทดลองหัวเผาทั้งสองประเภท เหมือนกัน คือการปรับอัตราการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงให้สอดคล้องกับเงื่อนไขการทดลอง โดยใช้ปั๊มลมเป็นต้นกำลังในการทำให้เกิดอัตราการไหลของอากาศและใช้ Flow meter (0-300 L/m) เป็นอุปกรณ์ในการวัดและควบคุมอัตราการไหลของอากาศและในการควบคุมอัตราการไหลของเชื้อเพลิงจะใช้ Flow meter (0-5 L/m) เป็นอุปกรณ์ในการวัดและควบคุมอัตราการไหลเช่นเดียวกัน บันทึกอุณหภูมิทั้งหมด 10 ระดับความสูงทุกๆ 5 นาทีโดยใช้ Thermocouple type K และใช้ Data logger เป็นอุปกรณ์ในการบันทึกผล เมื่ออุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงตัววัดก๊าซไอเสียที่บริเวณท่อทางออกที่ ได้แก่ O_2 , CO_2 , CO และ NO_x เพื่อหาค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ (η_c)

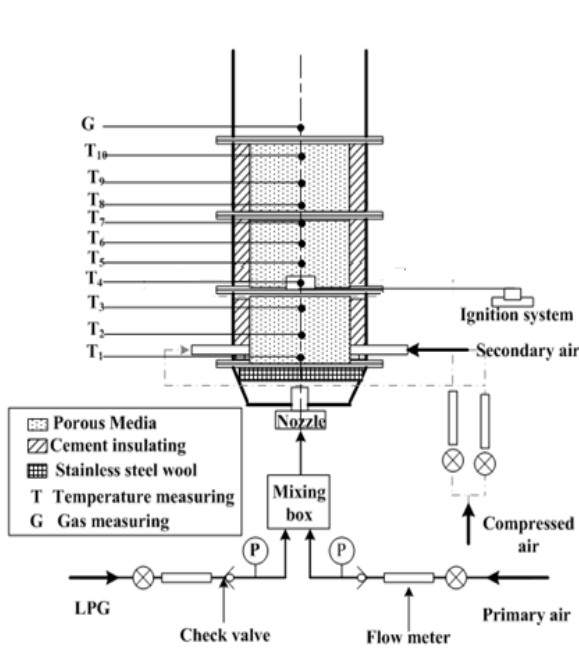
ในการหาสมรรถนะของ หัวเผา จะนำค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ (η_c) มาเป็นดัชนีในการชี้วัดสมรรถนะของหัวเผา โดยสามารถคำนวณได้จาก

- ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของ หัวเผานิยามด้วยสมการดังนี้

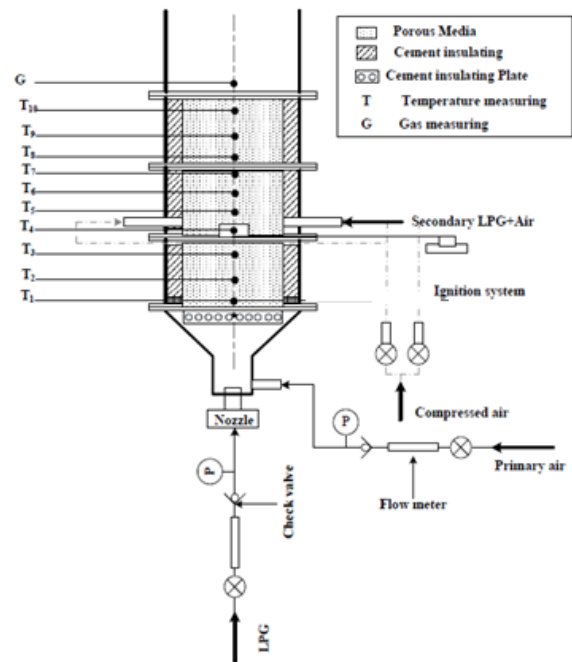
$$\eta_c = \left[\frac{Q_{fuel} - Q_{loss,co}}{Q_{fuel}} \right] \times 100 \quad (1)$$

Q_{fuel} คือ ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

$Q_{loss,co}$ คือ ปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากการที่ CO ไม่ถูกเผาไหม้เป็น CO_2



(a) Air-staged Porous burner (AsPB)



(b) Fuel and air Mixture-staged Porous burner (MsPB)

รูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะของหัวเผาวัสดุพรุนทั้งสองประเภท

ตารางที่ 1 ตารางแสดงเงื่อนไขการทดลอง

Energy input (kw)	Optional	%EA	Volume flow rate (L/min)					
			1 st staged			2 nd staged		
			Air	Fuel	Ø	Air	Fuel	Ø
3 kw	Fuel and Air	110	17	1.5	1.5	92	1.5	0.283
	Mixture staged	150	17	1.5	1.5	113	1.5	0.231
	Porous Burner	180	17	1.5	1.5	128	1.5	0.203
	Air staged	110	4	3	-	106	-	-
	Porous Burner	150	4	3	-	106	-	-
	Porous Burner	180	4	3	-	106	-	-

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามระดับความสูงภายในหัวเผาวัสดุพรุน

รูปที่ 2(a-b) แสดงอิทธิพลของอากาศส่วนเกินที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามระดับความสูง โดย

ในการทดลองได้ทำการปรับเปลี่ยนอากาศส่วนเกินเป็น 110% 150% และ 180% ตามลำดับ

รูปที่ 2a แสดงอิทธิพลของอากาศส่วนเกินที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามระดับความสูง ภายในหัวเผาวัสดุพรุนแบบจ่ายของผสมเป็นขั้น ซึ่งจากรูปจะเห็น

ได้ว่า กรณีอากาศส่วนเกิน 150% และ 180% มีบริเวณของการเผาไหม้ ขยับลึกไปทาง downstream มากกว่ากรณีอากาศส่วนเกินเท่ากับ 110 % ซึ่งการปลดปล่อยพลังงานจะอยู่บริเวณกึ่งกลางหัวเผา โดยมีอุณหภูมิการเผาไหม้สูงที่สุดมีค่าประมาณ 1268°C ในขณะที่กรณีอากาศส่วนเกิน 150 % อุณหภูมิการเผาไหม้มีค่าต่ำในช่วงระดับความสูง 0-150 mm จากแผนกระจายของผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง จากนั้นอุณหภูมิการเผาไหม้มีค่าสูงขึ้นจนมีค่าอุณหภูมิสูงที่สุดในช่วงตั้งแต่ระดับความสูง 150mm เป็นต้นไป โดยมีค่าอุณหภูมิสูงที่สุดเท่ากับ 1195°C ส่วนกรณีอากาศส่วนเกิน 180 % พบว่ามีค่าอุณหภูมิการเผาไหม้สูง ค่อนข้างสม่ำเสมอในช่วงระดับความสูง 100-250 mm จากแผนกระจายของผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง แต่อุณหภูมิเฉลี่ยค่อนข้างต่ำ โดยมีค่าประมาณ 1100°C

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดความสูงของหัวเผา อันเกิดจากการปรับเปลี่ยนปริมาณอากาศส่วนเกินดังกล่าว เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับทฤษฎีการไหลแบบปั่นป่วนที่ความเร็วของการหมุนวน (Eddy velocity) แปรตามความเร็วเฉลี่ยของระบบ ก็จะทำให้มีความน่าสนใจที่จะนำทฤษฎีนี้มาใช้อธิบาย กล่าวคือ เมื่อทำการเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกิน จะส่งผลให้ความเร็วของการหมุนวน (Eddy velocity) ที่เกิดขึ้นที่บริเวณด้านหลังของเม็ดอลูมินา มีค่าเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้อัตราการผสม (Mixing rate) กันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศและก๊าซไอเสียที่มีอุณหภูมิสูงมีค่าสูงขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินยังส่งผลให้พจน์ของการพา (Convection term) มีค่าเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย ปัจจัยทั้งสองนี้ส่งผลต่อการกระจายอุณหภูมิต่างกัน กล่าวคืออัตราการผสมจะสัมพันธ์กับอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ปลดปล่อยความร้อน ณ บริเวณนั้นๆ แต่การพาจะเลื่อนบริเวณของการทำปฏิกิริยาขึ้นด้านบนให้มีระยะห่างจากฐานเตาออกไป ดังนั้นเมื่อพิจารณารูปที่ 2a พบว่าอัตราการผสม (Mixing rate) มีอิทธิพลต่อทั้งอากาศส่วนเกิน 150% และ 180% แต่เนื่องจากทั้งสองกรณี มีปริมาณอากาศมาก ซึ่งเป็นการเพิ่มภาวะ

ให้กับปริมาณความร้อนที่ผลิตได้ จึงทำให้อุณหภูมิมีค่าลดลงมากกว่ากรณี 110% ส่วนในกรณีอากาศส่วนเกิน 110% มีอัตราการไหลของอากาศน้อยกว่ากรณีอื่น ซึ่งอัตราการผสม (Mixing rate) และพจน์ของการพา (Convection term) มีค่าต่ำกว่า จึงทำให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิในช่วงบริเวณกึ่งกลางหัวเผาสูงสุด

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลของการกระจายอุณหภูมิระหว่างหัวเผาทั้งสองประเภทดังแสดงในรูป 1b พบว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวเผาวัสดุพูนแบบจ่ายอากาศเป็นชั้น มีความสม่ำเสมอมากกว่าหัวเผาแบบจ่ายของผสมเป็นชั้น อีกทั้งอุณหภูมิเฉลี่ยในกรณีอากาศส่วนเกิน 150 และ 180 % มีค่าสูงกว่า ทั้งนี้เพราะว่าระยะเวลาในการเผาไหม้มีไม่เพียงพอ เนื่องจากตำแหน่งที่ป้อนของผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศเข้าหัวเผาอยู่ที่บริเวณกึ่งกลางเตา รวมถึงการเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกิน ยังส่งผลให้พจน์ของการพามีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนเมื่อพิจารณากรณีอากาศส่วนเกินเท่ากับ 110 % พบว่าหัวเผาแบบจ่ายของผสมเป็นชั้นสามารถเพิ่มอุณหภูมิสูงสุดได้มากกว่าหัวเผาแบบจ่ายอากาศเป็นชั้น ซึ่งถ้านำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมาติดตั้งภายในหัวเผาแบบจ่ายของผสมเป็นชั้นนี้ (ซึ่งเป็นการเพิ่มภาวะให้กับหัวเผา) หัวเผาประเภทนี้จะสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในหัวเผาให้เพิ่มขึ้นหรือลดลง สอดคล้องตามภาวะที่เพิ่มขึ้นภายในหัวเผาได้ ซึ่งจะไม่สามารถทำได้เลยในหัวเผาแบบจ่ายอากาศเป็นชั้น แต่ทั้งนี้ทางผู้วิจัยยังคงต้องทำการทดสอบหาเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสม เพื่อให้ได้การกระจายตัวของอุณหภูมิสม่ำเสมอ

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากการเผาไหม้สูงสุดจากการทดลองกับอุณหภูมิอะเดียแบติกที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งพบว่า หัวเผาแบบจ่ายของผสมเป็นชั้นมี อุณหภูมิที่ได้จากการเผาไหม้สูงกว่าอุณหภูมิอะเดียแบติก เนื่องจากวัสดุพูนที่ใส่เข้าไปในหัวเผานั้นมีส่วนช่วยให้อุณหภูมิการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นมีความเป็นเนื้อเดียวกันตลอดหน้าตัดของ วัสดุพูนจึงทำให้ความร้อนส่วนหนึ่งถูกป้อนกลับมาสู่ของผสมระหว่าง

อากาศและเชื้อเพลิงที่อยู่บริเวณ Upstream ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นจึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ซึ่งพฤติกรรมเช่นนี้ถูกเรียกว่าในหมุ่กวีวิจัยว่า excess enthalpies หรือ super adiabatic flame temperature [5] ส่วนกรณีอากาศส่วนเกินเท่ากับ 110% พบว่าอุณหภูมิสูงสุดที่ได้จากการเผาไหม้ภายในหัวเผาแบบจ่ายอากาศเป็นชั้น มีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิอะเดียแบติก คาดว่าเกิดจากการที่เกิดการปลดปล่อยพลังงานภายในออกมาสู่ระบบน้อย เนื่องจากพลังงานจลน์ของความปั่นป่วนมีค่าต่ำกว่ากรณีอื่น

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลอุณหภูมิสูงสุดระหว่างหัวเผาทั้งสองประเภทพบว่า มีเฉพาะกรณีอากาศส่วนเกินเท่ากับ 110% หัวเผาแบบจ่ายของผสมเป็นชั้นมีค่าอุณหภูมิสูงสุดมากกว่าหัวเผาแบบจ่ายอากาศเป็นชั้น ส่วนกรณีอากาศส่วนเกินอื่นๆ อุณหภูมิสูงสุดมีค่าต่ำกว่า ทั้งนี้เหตุผลผู้วิจัยได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น

ตารางที่ 2 แสดง การเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดที่ได้จากการเผาไหม้กับอุณหภูมิอะเดียแบติกที่ได้จากการคำนวณ

Excess Air (%)	Peak Flame Temperature (°C) Within <i>AsPB</i>	Peak Flame Temperature (°C) Within <i>MsPB</i>	Adiabatic Flame Temperature (°C)
110	1,100	1,268	1,211
150	1,250	1,195	1,046
180	1,180	1,139	952

4.2 ปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้

รูปที่ 3 แสดงอิทธิพลของอากาศส่วนเกินที่มีผลต่อปริมาณก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าอากาศส่วนเกินมีอิทธิพลต่อปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้น โดยเมื่อพิจารณารูปที่ 3a เมื่อเปรียบเทียบหัวเผาทั้งสองกรณีพบว่า ทุกเงื่อนไขการทดลองความเข้มข้นของคาร์บอนมอนนอกไซด์ของหัวเผาแบบจ่ายของผสมเป็นชั้นมีค่ามากกว่าหัวเผาแบบจ่ายอากาศเป็นชั้น คาดว่า

เนื่องจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ มีระยะเวลาในการเผาไหม้สั้นที่ ทั้งนี้เหตุผลผู้วิจัยได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น ส่วนเมื่อพิจารณาหัวเผาแบบจ่ายของผสมเป็นชั้นพบว่า ปริมาณ CO ลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อทำการเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกิน โดยปริมาณ CO มีค่าสูงสุดเท่ากับ 698 ppm ที่ 110% อากาศส่วนเกิน และลดลงเหลือประมาณ 25 และ 32 ppm ที่ 150% และ 180% อากาศส่วนเกิน ตามลำดับ เหตุที่เป็นเช่นนี้คาดว่า ที่อากาศส่วนเกินเท่ากับ 110% อัตราการคลุกเคล้าระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงและก๊าซไอเสียที่มีอุณหภูมิสูงมีค่าต่ำ เกิดการเผาไหม้ไม่ดี ส่งผลให้ปริมาณ CO ที่เกิดขึ้นมีค่าสูง แต่เนื่องจากปริมาณอากาศน้อย จึงทำให้อุณหภูมิที่เกิดขึ้นมีค่าสูง ซึ่งในขณะที่กรณีอากาศส่วนเกินเท่ากับ 150 และ 180% อัตราการคลุกเคล้าระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงและก๊าซไอเสียที่มีอุณหภูมิสูงมีค่าสูง ปริมาณ CO ที่เกิดขึ้นจึงมีค่าต่ำ แต่ด้วยปริมาณอากาศที่เกินพอดีมีค่าสูง จึงทำให้เป็นการเพิ่มภาระให้กับปริมาณความร้อน ส่งผลให้อุณหภูมิที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยดังแสดงในรูป 2

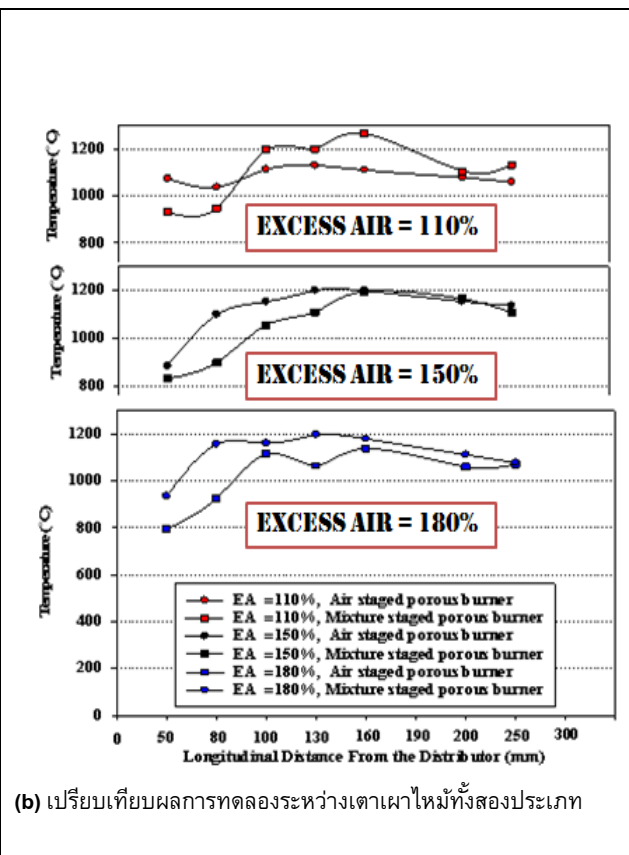
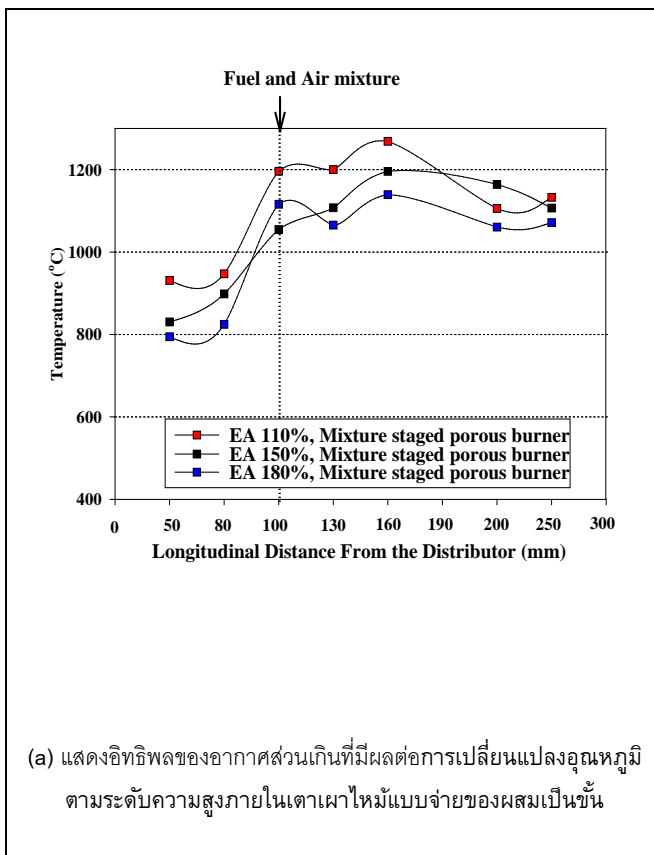
ในขณะที่ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ รูปที่ 3b พบว่าปริมาณ NO_x ที่เกิดขึ้น เกิดจาก Prompt NO_x (ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างก๊าซไฮโดรคาร์บอนกับไนโตรเจนในอากาศ) เนื่องจากไม่มีไนโตรเจนในองค์ประกอบของเชื้อเพลิงและปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ โดยเมื่อพิจารณาที่หัวเผาแบบจ่ายอากาศเป็นชั้น พบว่า ปริมาณ NO_x มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกิน โดยคาดว่าเมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกิน ส่งผลให้ปริมาณก๊าซไนโตรเจนในอากาศมีปริมาณสูงขึ้น จึงทำให้โอกาสที่จะเกิด Prompt NO_x มากขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้ปริมาณ NO_x มีปริมาณสูงขึ้น ซึ่งกรณีปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 180% มีปริมาณ NO_x มากที่สุดเท่ากับ 65 ppm ที่มาตรฐาน O₂ 6% และมีปริมาณน้อยที่สุดเท่ากับ 43 ppm ที่มาตรฐาน O₂ 6% ที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 110% ตามลำดับ ส่วนกรณีหัวเผาแบบจ่ายของผสมเป็นชั้น พบว่า ปริมาณ

NO_x มีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกิน เนื่องจากอัตราการเกิด Prompt NO_x ต่ำลง เพราะการเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินจะส่งผลให้ อัตราการผสมเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ดี คาดว่า ก๊าซไฮโดรคาร์บอนลดลง เพราะทำปฏิกิริยาต่อ กลายเป็น CO และกลายเป็น CO₂ สังเกตจากการลดลงของก๊าซ CO เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกิน โดยมีปริมาณน้อยสุดเท่ากับ 24 ppm ที่มาตรฐาน O₂ 6% ที่ปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 180% นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ NO_x ระหว่าง หัวเผาทั้งสองกรณีพบว่า กรณีหัวเผาแบบจ่ายของผสมเป็นชั้น ปริมาณ NO_x มีปริมาณน้อยกว่า เนื่องจาก อัตราการเกิด Prompt NO_x ลดลงเช่นเดียวกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าหัวเผาวัสดุพอรอนชนิดนี้สามารถผลิตอุณหภูมิได้สูง ในขณะที่ ปริมาณ NO_x ที่ได้จากการเผาไหม้มีค่าต่ำ ซึ่งถือว่าเป็น ข้อดีอีกประการหนึ่งของหัวเผานี้

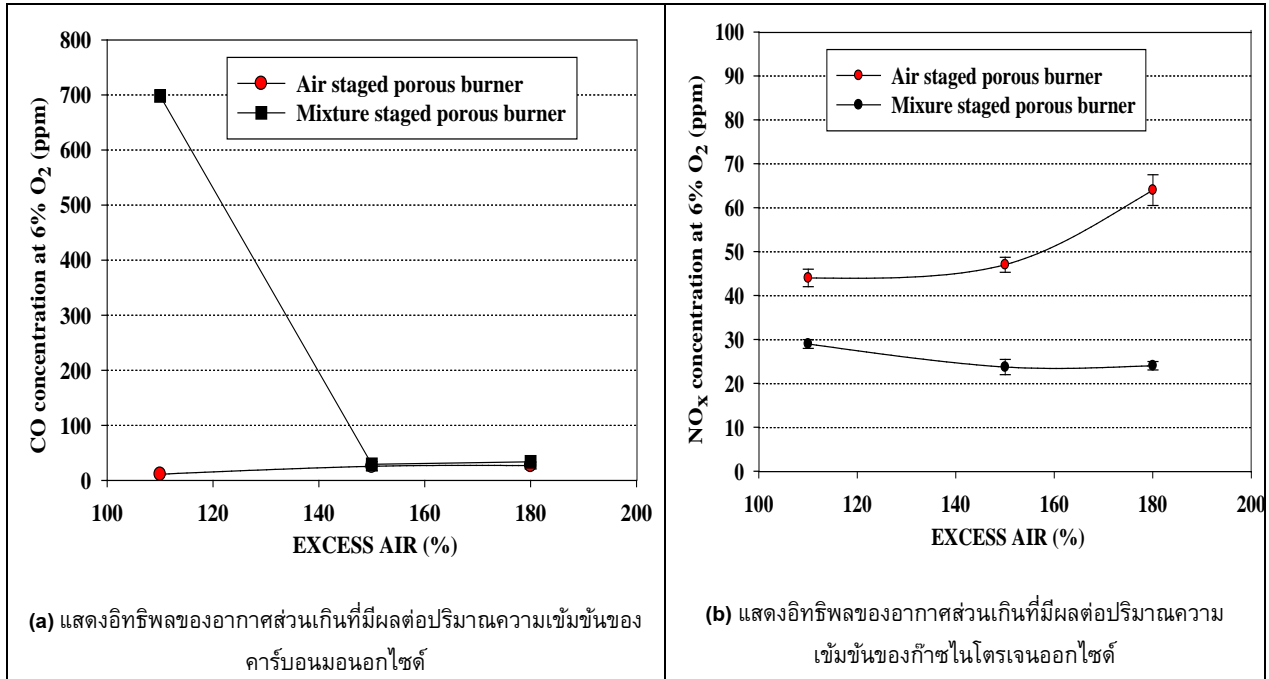
4.3 ประสิทธิภาพการเผาไหม้

รูปที่ 4 แสดงอิทธิพลของอากาศส่วนเกินที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินใน หัวเผาแบบจ่ายอากาศเป็นชั้น ประสิทธิภาพการเผาไหม้มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน โดยประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่ามากกว่า 99% ขณะที่ ในกรณี หัวเผาแบบจ่ายของผสมเป็นชั้น ประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่าต่ำกว่า โดย ประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่าสูงที่สุดและต่ำที่สุดเท่ากับ 99.93% และ 98.37 ที่อากาศส่วนเกินเท่ากับ 150% และ 110% ตามลำดับ

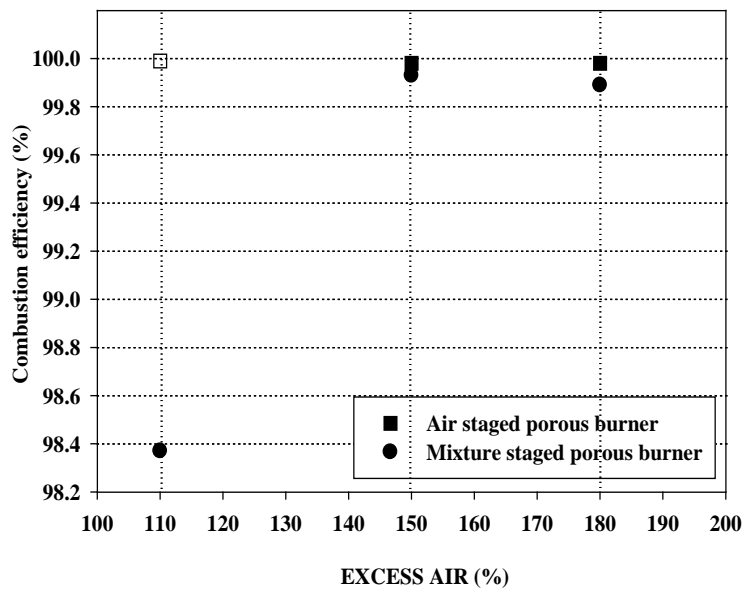
เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพการเผาไหม้พบว่า สอดคล้องกับปริมาณ CO ดังแสดงในรูปที่ 3a ซึ่งสาเหตุในการเปลี่ยนแปลงแนวโน้มของปริมาณ CO ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.2



รูปที่ 2 แสดงอิทธิพลของอากาศส่วนเกินที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามระดับความสูง



รูปที่ 3 แสดงปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้น



รูปที่ 4 แสดงอิทธิพลของอากาศส่วนเกินที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้

5.สรุปผลการทดลอง

หัวเผาวัสดุพูนแบบจ่ายของผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศเป็นขั้นได้ถูกพัฒนาขึ้นมาจากหัวเผาวัสดุพูนแบบจ่ายอากาศเป็นขั้น เพื่อแก้ไขปัญหาการควบคุมอุณหภูมิ ในกรณีที่หัวเผาต้องรับภาระทางปริมาณความ

ร้อนเพิ่มขึ้น โดยการควบคุมอุณหภูมิให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของภาระทางความร้อนได้ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า

1. ประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่าอยู่ในช่วง 99.87-99.93% สอดคล้องกับปริมาณ CO ที่มีค่าประมาณ 29-

698 ppm การกระจายอุณหภูมิตลอดความสูงของหัวเผา ไม่ค่อยสม่ำเสมอ โดยอุณหภูมิมีค่าอยู่ในช่วง 850-1268 °C

2. หัวเผาวัสดุพอร์นแบบจ่ายของผสมเป็นชั้นนี้ สามารถเพิ่มอุณหภูมิสูงสุดได้มากกว่าหัวเผาแบบจ่ายอากาศเป็นชั้นและคาดว่าจะสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในหัวเผาให้เพิ่มขึ้นหรือลดลง สอดคล้องตามภาระทางความร้อนที่เพิ่มขึ้นภายในหัวเผาได้ อีกทั้งหัวเผาวัสดุพอร์นชนิดนี้ยังสามารถผลิตอุณหภูมิได้สูง ในขณะที่ปริมาณ NO_x ที่ได้จากการเผาไหม้มีค่าต่ำ แต่ทั้งนี้ทางผู้วิจัยยังคงต้องทำการทดสอบหาเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (mtec) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยและ นักศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครที่ช่วยให้งานวิจัยนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

7.1 บทความจากวารสาร (Journal)

- [1] 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.
- [2] Janet, L. E. and Rakesh, G. (1995). EMISSIONS OF CO AND NO FROM A TWO STAGE POROUS MEDIA BURNER, Combustion Science and Technology, Volume 107, Issue 1 - 3 , pp 81 – 91.

7.2 รายงาน

- [3] Chaffin, C. (1991). Reduction of NO_x emissions using the technique of two-stage combustion within porous inert media, M.S. Thesis, The thermal fluid group, Dept. of Mechanical Engineering, The university of Texas, Austin

7.3 บทความจากเอกสารประกอบการประชุม (Proceedings)

- [4] อวรุท ลภีรัตน์นากุลและจารุวัตร เจริญสุข (2551). เตาเผาไหม้วัสดุพอร์น Part 2: อิทธิพลของอากาศส่วนเกิน , การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22 , มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จังหวัดกรุงเทพฯ.
- [5] Tekeno, T., Sato, K. and Hase, K, (1981).A theoretical study on an excess enthalpy flame, paper presented in *Eighteenth International Symposium on combustion*, Canada.