



การส่งเสริมพฤติกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สในหัวพ่นไฟวัสดุพุน
ชนิดสลับทิศทางการไหลของไอคืออย่างป็นจ้งหะด้วยวัสดุพุนตัวเปล่งรังสี
ENHANCEMENT OF COMBUSTION BEHAVIOR ON GAS CYCLIC
FLOW REVERSAL POROUS BURNER USING THE POROUS EMITTER

นิตติพงศ์ ดีบ้านโสภ, วาปี ศรีปัญญา, พิพัฒน์ อมตฉายา และ บัณฑิต กฤตาคม*

ห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนาในเทคโนโลยีของวัสดุพุน

(Development In Technology Of Porous Materials Research Laboratory: DITO-Lab)

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

744 ถ.สุรนารายณ์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

โทร 044-233-073 โทรสาร 044-233-074 E-mail: earth_6552@hotmail.com และ bundit.kr@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและเปรียบเทียบพฤติกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สในวัสดุพุนชนิดสลับทิศทางการไหลของไอคืออย่างป็นจ้งหะที่มีการติดตั้งวัสดุพุนตัวเปล่งรังสี (CFRE) กับการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สในวัสดุพุนชนิดการไหลทิศทางเดียว (OWFC) และการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สในวัสดุพุนชนิดสลับทิศทางการไหลของไอคืออย่างป็นจ้งหะแต่ไม่มีวัสดุพุนตัวเปล่งรังสี (CFRC) ห้องเผาไหม้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (d_p) และความยาว (X) เท่ากับ 160 และ 300 mm. ตามลำดับ ใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง อัตราส่วนสมมูล (Φ) ทุกสภาวะการทดลองกำหนดให้คงที่ป็น 0.4 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของไอ (V_{mix}) 14 m³/hr แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงชั้นความหนาของ วัสดุพุนตัวเปล่งรังสี (H_{PE}) จะศึกษา 2 ขนาด คือ 25 และ 50 mm. ช่วงเวลาที่ใช้ในการสลับทิศทางการไหล (t_{hp}) คือ 60 วินาที พฤติกรรมการเผาไหม้ที่ทำการศึกษางานวิจัยนี้ ประกอบไปด้วย โครงสร้างทางอุณหภูมิ (T) องค์ประกอบแก๊สไอเสีย (CO และ NOx) และประสิทธิภาพการเผาไหม้ (η_{comb}) จากการทดลองพบว่า ระดับ T ของ CFRE มีค่าสูงกว่า CFRC และ OWFC ทำให้ปริมาณ CO และ NOx ของ CFRE มีค่าต่ำสุดและสูงสุด ส่งผลให้สามารถแสดง ค่า η_{comb} ในกรณีอิทธิพลของ H_{PE} จะได้ว่า เมื่อ $H_{PE} = 25$ mm จะให้ T สูงกว่า ปริมาณ CO ต่ำกว่า และ NOx สูงกว่า รวมทั้ง η_{comb} มากกว่า กรณี $H_{PE} = 50$ mm ทุกเงื่อนไขการทดลองในงานวิจัยนี้ คือ 87% ที่สภาวะ $H_{PE} = 25$ mm, $t_{hp} = 60$ s และ $V_{mix} = 14$ m³/hr

คำหลัก: วัสดุพุนตัวเปล่งรังสี, การสลับทิศทางการไหล, เชื้อเพลิงแก๊ส

Abstract

The purpose for this project is to construct and to compare the combustion behavior between a gas cyclic flow reversal combustion in porous burner with porous emitter (CFRE) to the one way flow combustion (OWFC) and a cyclic flow reversal combustion without porous emitter (CFRC). The combustion chamber has dimension of 160 mm in diameter (d_p) and 300 mm in length (X). The liquefied petroleum gas (LPG) is used as fuel with kept the equivalent ratio (Φ) of 0.4 in all experimental conditions. The volumetric premixed gas (V_{mix}) is varied in the range of 14 m³/hr. The



thickness of porous emitter (H_{PE}) is studied by 2 case: 25 and 50 mm. Three half-period (t_{hp}) of both CFRC and CFRE, i.e., 60 s, are examined. The combustion behavior studied in the present project are the temperature profile (T), the content of exhaust gas (CO and NOx) and the combustion efficiency (η_{comb}). The results show that the level of T of CFRE gives higher than CFRC and OWFC resulting to the quantity of CO and NOx of CFRE become the lowest and the highest, respectively. In the case of $H_{PE} = 25$ mm, there are a higher T, a lower CO and a higher NOx as well as a greater η_{comb} in comparison with the case of $H_{PE} = 50$ mm. For the influence of t_{hp} and V_{mix} , it is found that the value of T tend to increase, the CO is decreased and NOx is slightly increased as increasing both t_{hp} and V_{mix} leading to the trend of η_{comb} is increased. Thus, the maximum η_{comb} of CRFE in all experimental condition of the present study yield 87% at $H_{PE} = 25$ mm, $t_{hp} = 60$ s และ $V_{mix} = 14$ m³/hr.

Keywords: Porous emitter, Cyclic flow reversal combustion, Gas fuel.

1. บทนำ

หัวพ่นไฟหรือหัวเผาแบบวัสดุพรุน (Gas porous burner) ที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงมีการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในหลายวัตถุประสงค์ [1] การทำให้กระดาษแห้ง (Paper drying) การเคลือบเงากระดาษ (Paper finishing) ใช้ในงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ การอบ และการทำให้เส้นใยแห้ง (Baking and textile drying) การผลิตไอน้ำในหม้อต้มน้ำทางอุตสาหกรรม การหล่อหลอมเหล็ก หรือแม้แต่การสร้างความอบอุ่นภายในบ้านเรือน (Domestic radiant heater) ก็มีการใช้ประโยชน์จากหัวเผาชนิดนี้ โดยข้อดีที่โดดเด่นของหัวเผาแก๊สวัสดุพรุนมีสองข้อหลัก ๆ คือ มีความสามารถในการแผ่รังสีได้สูง และปลดปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้ในปริมาณที่ต่ำ ด้วยข้อดีดังกล่าวจึงเป็นเหตุผลให้นักวิจัยและวิศวกรจำนวนมากศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนา และใช้ประโยชน์จากวัสดุพรุน ค.ศ. 1997 Echigo [5] ได้ทำการศึกษา การเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สในวัสดุพรุนที่มีการสลับทิศทางการไหลอย่างเป็นจังหวะของไอตี (Cyclic flow reversal combustion, CFRC) แทนการไหลแบบทิศทางเดียวพบว่า CFRC สามารถแก้ปัญหาความเร็วของไอตีที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้ให้มีช่วงกว้างขึ้นได้ และช่วย

แก้ปัญหาการเป่าดับ (Blow off) ของเปลวไฟในกรณีที่ไอตีไหลแบบทิศทางเดียวได้ และนำไปสู่การเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่ำ ๆ ได้ Jugjai และ Chuenchit [6] ได้ทำการติดตั้งภาวะหรืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเข้าไปในห้องเผาไหม้แบบ CFRC พร้อมทั้งศึกษาทดลองเปรียบเทียบระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สในวัสดุพรุนที่มีการไหลแบบทิศทางเดียว (One way flow combustion OWFC) กับ CFRC จากผลการทดลองจะพบว่าอุณหภูมิ OWFC สูงกว่า แต่อุณหภูมิทางด้านเข้าและออกจากห้องเผาไหม้ของ CFRC นั้นจะสูงกว่า และสิ่งที่น่าสนใจก็คือ สามารถเผาไหม้ที่ค่า $\Phi = 0.33$ Hanamura และคณะ [9] ได้มีการนำเสนอการประยุกต์ใช้ CFRC เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าในรูปแบบการจำลองทางคณิตศาสตร์ จากการศึกษา Hanamura และคณะ [9] เสนอแนะว่า การเผาไหม้สามารถเกิดขึ้นได้ที่สภาวะ Φ ต่ำมาก ๆ ถึง 0.017 Jugjai และ Nungniyom [10] ได้ทำการติดตั้งกลุ่มท่อหน้า (Tube bank) ไว้บริเวณตรงกลางของห้องเผาไหม้ และศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สในวัสดุพรุนที่มีการไหลแบบทิศทางเดียว (OWFC) กับการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สในวัสดุพรุนที่มีการสลับทิศ

ทางการไหล (CFRC) จากการทดลองพวกเขาพบว่า การเผาไหม้เกิดขึ้นที่สภาวะอัตราส่วนสมมูล Φ เท่ากับ 0.65 สาเหตุที่ใช้ค่า Φ สูง เนื่องจากการเผาไหม้ภายในวัสดุพอร์นมีการสูญเสียความร้อนให้กับกลุ่มท่อน้ำ

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวพ่นไฟเชื้อเพลิงแก๊สที่กล่าวมาข้างต้น จะพบว่างานวิจัยโดยส่วนใหญ่จะมีรูปแบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สในวัสดุพอร์นที่มีการไหลของไอดีแบบทิศทางเดียว OWFC ซึ่งลักษณะการจ่ายเชื้อเพลิงจะมีทิศทางการจ่ายแตกต่างกัน เพื่อให้สามารถเกิดการเผาไหม้ได้กับเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่ำกว่า ขอบเขตการเผาไหม้ปกติ หนึ่งในเทคนิคที่นิยม และประสบความสำเร็จ คือ การสลับทิศทางการไหลของไอดีอย่างเป็นจังหวะ CFRC ในวัสดุพอร์น

ดังนั้นคณะผู้จัดทำงานวิจัยจึงมีแนวคิดที่จะประยุกต์รูปแบบการเผาไหม้ที่มีการสลับทิศทางการไหลของไอดีอย่างเป็นจังหวะ (CFRC) ร่วมกับการติดตั้งวัสดุพอร์นตัวเปล่งรังสี (PE) ที่ด้านขอบทางเข้า และทางออกของเตาเผาวัสดุพอร์น เพราะวัสดุพอร์นตัวเปล่งรังสี (PE) จะทำหน้าที่ดูดซับความร้อนของไอเสียได้ดีกว่าวัสดุพอร์นที่เป็นเนื้อเดียวกัน และนำไปใช้ในการอุ่นไอดีก่อนเกิดการเผาไหม้ในจังหวะต่อไปอย่างเต็มประสิทธิภาพ คณะผู้จัดทำงานวิจัยจึงขียนิยามรูปแบบการเผาไหม้แบบใหม่นี้ว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สในวัสดุพอร์นที่มีการสลับทิศทางการไหลด้วยวัสดุพอร์นตัวเปล่งรังสี (Cyclic flow reversal combustion with porous emitter, CFRE)

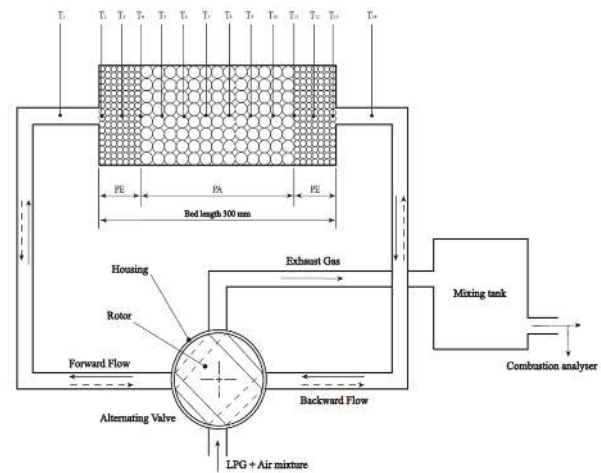
2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์การทดลอง

รูปที่ 1 แสดงขนาดห้องเผาไหม้ของชุดทดลอง การเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สในวัสดุพอร์นชนิดสลับทิศทางการไหลของไอดีอย่างเป็นจังหวะด้วยวัสดุพอร์นตัวเปล่งรังสี (Cyclic flow reversal combustion with porous emitter, CFRE) โดยมีการติดตั้งวัสดุพอร์นชนิด คือ วัสดุพอร์นตัวดูดซับ (Porous Absorber, PA)

และวัสดุพอร์นตัวเปล่งรังสีความร้อน (Porous Emitter, PE)

จากห้องเผาไหม้ของรูปที่ 1 เมื่อนำมาทำการทดลอง จะแสดงแผนผังการทดลองไว้ในรูปที่ 2 ดังนั้นอุปกรณ์การทดลอง CFRE สามารถแบ่งได้ 4 ส่วนส่วนประกอบสำคัญดังนี้ ส่วนที่ 1 เป็นอุปกรณ์ ผสมไอดี (Premixed combustible gases) ส่วนที่ 2 เป็นวาล์วสลับทิศทางการไหล (Alternating valve) ส่วนที่ 3 เป็นห้องเผาไหม้ (Combustor) และส่วนที่ 4 เป็นถังพักไอเสีย (Mixing exhaust tank)



รูปที่ 1 ห้องเผาไหม้ที่มีการติดตั้งวัสดุพอร์นชั้น PE

2.2. วิธีการทดลอง

ในการทดลองจะมีรูปแบบการจ่ายเชื้อเพลิงที่ทำการศึกษา 3 รูปแบบได้แก่ OWFC, CFRC และ CFRE กำหนดให้การไหลของไอดีในทิศทางตามเข็มนาฬิกาเรียกว่า Forward flow ในขณะที่ทิศทางการไหลวนเข็มนาฬิกาเรียกว่า Backward flow

2.2.1 การทดลองแบบ OWFC

อ้างอิงจากรูปที่ 2 จะมีวิธีการทดลองดังนี้ เริ่มจากติดตั้งวัสดุพอร์นชนิดหินตุ้ปลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 30 mm ซึ่งมีค่าความพรุน (Porosity, ϵ) คือ 0.354 เข้าไปในห้องเผาไหม้ ขั้นตอนแรกปรับวาล์วให้อยู่

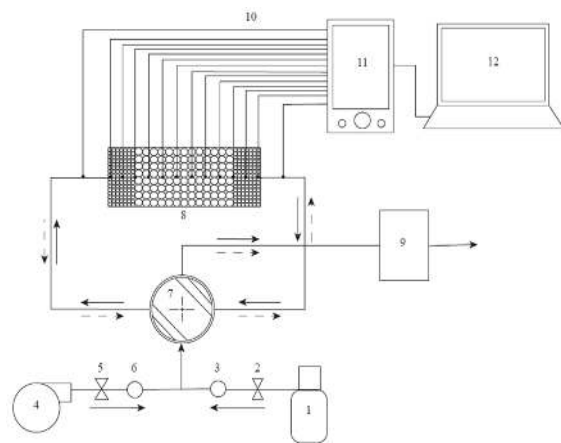
ในตำแหน่งการไหลทิศทางการไหลตามเข็มนาฬิกา (Forward flow) ทำการจ่ายไอดี ที่ผสมระหว่างอากาศกับ LPG เข้าสู่ห้องเผาไหม้ จุดไฟด้วยหัวพันไฟผ่านช่อง Pilot flame รอจนไฟติด จะสังเกตเห็นได้จาก Data logger คู่มือที่ Thermocouples ตัวที่ 2 จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้น ปิดช่อง Pilot flame ทำการปรับ และจ่ายอากาศกับ LPG เข้าสู่ห้องเผาไหม้ด้วยอัตราส่วนสมมูล (Equivalent ratio, Φ) คือ 0.4 และอัตราการไหลเชิงปริมาตรของไอดี (Volumetric flow rate, V_{mix}) คือ $14 \text{ m}^3/\text{h}$ เพื่อตรวจสอบพฤติกรรมการเผาไหม้ของแก๊สไอเสีย และอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของอุปกรณ์การทดลอง แก๊สไอเสียจะถูกตรวจวัดเพื่อสังเกตปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ออกซิเจน (O_2) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย (Exhaust analyzer) ที่ด้านทางออกของถังพักไอเสีย (Mixing exhaust tank) สำหรับ การวัดอุณหภูมิจะใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K (K-Type thermocouples) จำนวน 14 ตำแหน่ง ประกอบไปด้วยเทอร์โมคัปเปิลจำนวน 12 ตำแหน่ง ติดตั้งตลอดความยาวในแนวแกนบริเวณกึ่งกลางภายในห้องเผาไหม้ และอุณหภูมิของไอดีก่อนเข้าและออกจากห้องเผาไหม้ ด้านละ 1 ตำแหน่ง ดังแสดงรายละเอียดการวัดอุณหภูมิในรูปที่ 2 อุณหภูมิทั้งหมดนี้จะถูกบันทึกด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) และประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ต่อไป

2.2.2 การทดลองแบบ CFRC

ในขั้นตอนแรกจะเหมือนกันกับแบบ OWFC รอจนวัสดุพอร์นบริเวณที่ติดไฟในห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงกว่า $600 \text{ }^\circ\text{C}$ เพื่อให้เกิดการติดไฟด้วยตัวเองของไอดีก่อนที่จะทำการสลับทิศทางการไหลของไอดี เมื่อทำการสลับทิศทางการไหลของไอดี ทิศทางการไหลจะเป็นแบบทวนเข็มนาฬิกา (Backward Flow) และช่วงเวลาที่ใช้ในการสลับทิศทางการไหลของไอดี (Half-period, t_{hp}) คือ 60 วินาที

2.2.3 การทดลองแบบ CFRE

ในการทดลองแบบ CFRE จะเหมือนกันกับแบบ CFRC แต่จะต่างกันที่บริเวณปลายของห้องเผาไหม้ทั้งสองข้างมีการติดตั้งวัสดุพอร์นตัวเปล่งรังสี (Porous Emitter, PE) ชนิดหินตุ้ปลา จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 15 mm และค่าความพรุน (Porosity, ϵ) เท่ากับ 0.303 โดยความหนาของชั้น PE (H_{PE}) ที่จะทำการศึกษา คือ 25 และ 50 mm



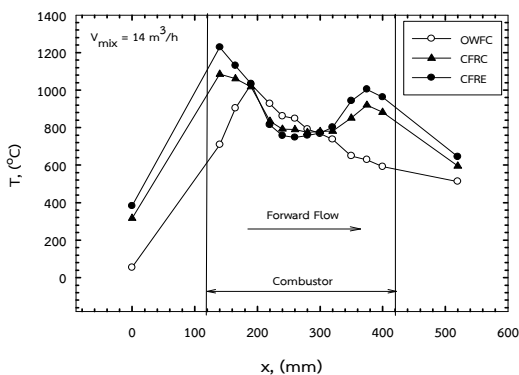
รูปที่ 2 แผนผังอุปกรณ์การทดลอง

3. ผลการทดลอง

3.1 อิทธิพลของรูปแบบการจ่ายเชื้อเพลิง

จากรูปที่ 3 แสดงอิทธิพลของรูปแบบการจ่ายเชื้อเพลิงรูปแบบต่าง ๆ ที่มีผลต่อโครงสร้างทางอุณหภูมิ (Temperature profile, T) ที่สภาวะอัตราการไหลเชิงปริมาตรของไอดี (V_{mix}) เท่ากับ $14 \text{ m}^3/\text{h}$ รูปแบบการจ่ายเชื้อเพลิงหรือไอดีที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้จะมี 3 รูปแบบ ได้แก่ การเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบ OWFC, CFRC และ CFRE ซึ่งการเผาไหม้แบบ CFRE นั้นจะขอนำเอากรณี $H_{PE} = 25 \text{ mm}$ มาเป็นตัวเปรียบเทียบ จากการทดลองพบว่าค่า T ของการเผาไหม้แบบ CFRE มีแนวโน้มสูงกว่าการเผาไหม้แบบ CFRC และ OWFC เนื่องจากการเผาไหม้แบบ CFRE จะมีวัสดุพอร์นตัวเปล่งรังสีเข้ามาทำหน้าที่ส่งเสริมการกักเก็บและแลกเปลี่ยนพลังงานกับไอเสียเกิดการอุ่นไอดีทำให้อุณหภูมิทางเข้าของไอดียกตัวสูงขึ้นกว่าแบบอื่น ๆ ด้วยเหตุนี้ อุณหภูมิ

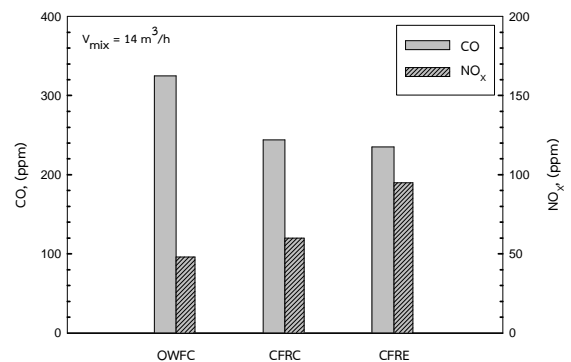
การเผาไหม้ของรูปแบบ CFRE จึงสูงกว่ารูปแบบอื่น ๆ อย่างชัดเจน แต่หากเปรียบเทียบการไหลสลับทิศทาง (CFRC และ CFRE) กับทิศทางเดียว (OWFC) จะได้ข้อสังเกตว่า การจ่ายเชื้อเพลิงแบบสลับทิศทางการไหล ทั้ง 2 รูปแบบ (CFRC และ CFRE) นั้น มีระดับค่า T ที่สูงกว่า โดยเฉพาะที่บริเวณทางออกของเตาเผา ซึ่งจะเห็นว่า OWFC จะมีอุณหภูมิตกลงมาก เนื่องจากไม่มีการกักเก็บหรือกระบวนการหมุนเวียนความร้อนอยู่ตรงบริเวณทางออก ซึ่งจะสอดคล้องกับปริมาณ CO ที่เกิดขึ้นในรูปที่ 4 กล่าวคือ กรณีการไหลแบบสลับทิศทางทั้ง 2 รูปแบบ (CFRC และ CFRE) มีค่า CO ต่ำกว่า OWFC ตามการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าและระดับ NO_x ของการจ่ายเชื้อเพลิงแบบ CFRC และ CFRE จะมีค่าสูงกว่า OWFC เช่นกัน ตามกลไกการเกิด NO_x แบบ Thermal NO_x ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion efficiency, η_{comb}) อ้างอิงปริมาณ O₂ หมายถึง หากมี O₂ มากจะเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์มีค่า η_{comb} ต่ำ ดังนั้นจากรูป 5 ปริมาณ O₂ ของ CFRE มีค่าน้อยที่สุด จึงส่งผลให้ค่า η_{comb} มีค่าสูงสุดเช่นกัน และสามารถเรียงลำดับค่า η_{comb} ตามรูปแบบการจ่ายเชื้อเพลิงจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ CFRE > CFRC > OWFC



รูปที่ 3 อิทธิพลของรูปแบบการจ่ายเชื้อเพลิงต่อ T

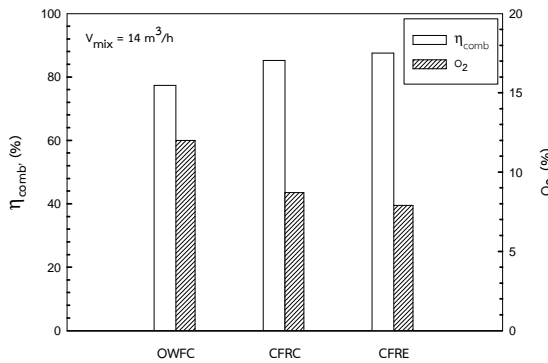
3.2 อิทธิพลของความหนาชั้น PE (H_{PE})

จากรูปที่ 6 แสดงอิทธิพลของความหนาชั้น PE (H_{PE}) ที่มีผลต่อโครงสร้างทางอุณหภูมิ (T) เป็นการทดลองที่สภาวะ t_{hp} = 60 s และ V_{mix} = 14 m³/h จากการทดลองพบว่า เมื่อติดตั้ง H_{PE} = 25 mm ค่า T จะมีแนวโน้มสูงขึ้น ถ้าเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งวัสดุพอรุน PE (H_{PE} = 0 mm) เพราะเมื่อเตาเผามีวัสดุพอรุนตัวเปล่งรังสี จะช่วยในการอุ่นไอดี แต่ถ้าความหนาของชั้น PE เพิ่มขึ้นเป็น H_{PE} = 50 mm กลับพบว่าระดับค่า T มีแนวโน้มลดลงอย่างเด่นชัด สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ เพราะเมื่อมีความหนาเพิ่มมากขึ้น วัสดุพอรุน PE จะทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวสะสมพลังงานมากกว่าตัวแลกเปลี่ยนความร้อน จึงทำให้อุณหภูมิมีแนวโน้มลดต่ำลง ซึ่งจะสอดคล้องกับปริมาณ CO ดังแสดงในรูปที่ 7 กล่าวคือที่ระดับ H_{PE} = 25 mm นั้น มีค่าต่ำที่สุด เพราะการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ แต่ถ้าเพิ่มระดับ H_{PE} = 50 mm ค่า CO จะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนปริมาณของ NO_x ก็จะมีค่าสูงสุดที่ H_{PE} = 25 mm ตามกลไกการเกิด NO_x แบบ Thermal NO_x ดังนั้น η_{comb} จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อติดตั้ง H_{PE} = 25 mm แต่จะลดลงเมื่อ H_{PE} = 50 mm ดังแสดงในรูปที่ 8 อธิบายได้ ตามปริมาณ O₂ ต่ำสุด คือ เกิดขึ้นในกรณี H_{PE} = 25 mm ทำให้เมื่อคำนวณหาค่า η_{comb} จะได้ค่า η_{comb} สูงสุด เมื่อ H_{PE} = 25 mm ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ O₂ ต่ำสุดที่ H_{PE} = 25 mm



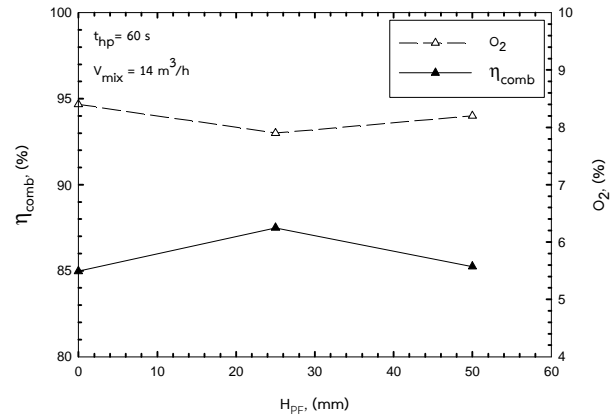
รูปที่ 4 อิทธิพลของรูปแบบการจ่ายเชื้อเพลิง

ต่อ CO และ NO_x

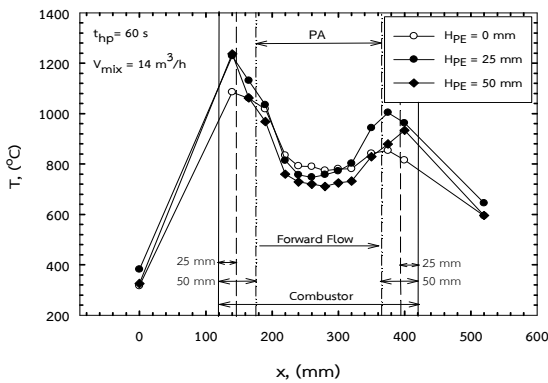


รูปที่ 5 อิทธิพลของรูปแบบการจ่ายเชื้อเพลิง

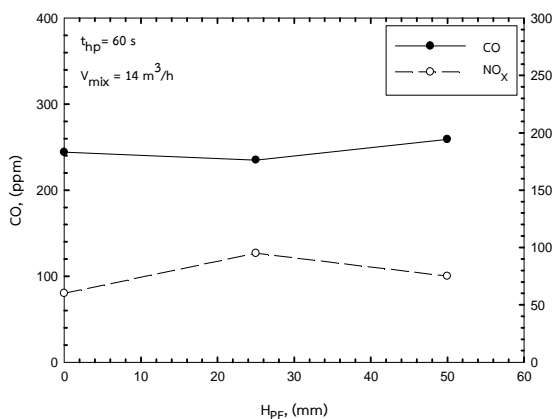
ต่อ η_{comb} และ O₂



รูปที่ 8 อิทธิพลของ H_{PE} ต่อ η_{comb} และ O₂



รูปที่ 6 อิทธิพลของ H_{PE} ต่อ T



รูปที่ 7 อิทธิพลของ H_{PE} ต่อ CO และ NO_x

4. สรุปผลการทดลอง

4.1. โครงสร้างอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของการจ่ายเชื้อเพลิงแบบ CFRE สูงกว่าการจ่ายเชื้อเพลิงแบบ CFRC และแบบ OWFC สำหรับปริมาณแก๊สไอเสีย ค่า CO จะลดลง และ NO_x จะเพิ่มขึ้น เมื่อเปลี่ยนรูปแบบการจ่ายเชื้อเพลิงจากแบบ OWFC มาเป็นแบบ CFRC และแบบ CFRE ตามลำดับ ส่งผลให้ค่า η_{comb} เรียงลำดับจากมากไปหาน้อยตามรูปแบบการจ่ายเชื้อเพลิง ได้ดังนี้ CFRE > CFRC > OWFC

4.2. อุณหภูมิสูงสุด และโครงสร้างอุณหภูมิโดยเฉลี่ย รวมไปถึง η_{comb} ของการจ่ายเชื้อเพลิงแบบ CFRE จะมีค่าสูงสุดเมื่อ H_{PE} = 25 mm ดังนั้น CO และ NO_x ที่ H_{PE} = 25 mm จะมีปริมาณสูงสุด และต่ำสุดตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่ามีปริมาณแก๊สไอเสียมีแนวโน้มใกล้เคียง ทุก ๆ H_{PE}

4.3. โครงสร้างอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของการจ่ายเชื้อเพลิงแบบ CFRE จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะบริเวณทางออกของห้องเผาไหม้ เมื่อ t_{hp} เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ η_{comb} มีแนวโน้มสูงขึ้น สำหรับปริมาณ CO จะมีแนวโน้ม

ลดลงตาม t_{hp} ส่วน NO_x จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อ t_{hp} เพิ่มขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ คณะผู้ทำ
งานวิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รอง
ศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ อมตฉายา และรอง
ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต กฤตาคม อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
ที่ได้กรุณาเป็นที่ปรึกษาในการดำเนินงาน ได้ให้คำแนะนำ
ตรวจสอบ และช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอา
ใจใส่ ทำให้ผู้ทำงานวิจัยนี้ได้รับความรู้ความเข้าใจในการ
ดำเนิน การศึกษาอย่างถูกต้อง นอกจากนี้คณะผู้ทำ
ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ที่ได้ช่วยแนะนำ สั่งสอน สิ่งที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อ
การทำงานวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] บัณฑิต กฤตาคม. (2554). หัวพันไฟอุตสาหกรรม
และการประยุกต์ใช้วัสดุพอรินในหัวพันไฟ. วารสาร
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม, ปีที่ 12 หน้า 76-
87.
- [2] R. Echigo, Y. Yoshizawa, K. Hanamura and T.
Tomimura. (1986). Analytical and experimental
studies on radiative propagation in porous
media with internal heat generation, Proceeding
of the 8th International Heat Transfer
Conference, pp. 827-832.
- [3] K. Hanamura and R. Echigo. (1991). An
analysis of flame stabilization mechanism in
radiation burners, *Warme-und Stoffubertragung*,
Vol.26, pp. 377-383.
- [4] บัณฑิต กฤตาคม. (2009). คุณลักษณะการแผ่รังสี
ของหัวเผาไหม้วัสดุพอรินแบบเซรามิกชนิดเซลล์าร์เปิด,
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่ง

ประเทศไทยครั้งที่ 23, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่,
4-7 พ.ย. 2552.

- [5] R. Echigo, J. G. Hoffmann, H. Yoshida and S.
Tada. (1997). Experimental study on combustion
in porous media with a reciprocating flow, The
collected papers of ryozo Echigo, Vol.2, pp. 1-
181.
- [6] S. Jugjai and C. Chuenchit. (2000). A Study of
Energy Conversion by a Porous Combustor-Heat
Exchanger with Cyclic Flow Reversal
Combustion, *International Energy Journal*, Vol. 2,
No. 2, pp. 95-104.
- [7] S. Jugjai and A. Somjetlertharoen. (1999).
Multimode heat transfer in cyclic flow reversal
combustor in a porous medium, *International
Journal of Energy Research*, Vol. 23, No. 3, pp.
183-206.
- [8] S. Jugjai, S. Wongveera, T. Teawchaiitiporn,
K. Limbworesin. (2001) The Surface Combustor-
heater with Cyclic Flow Reversal Combustion,
Experimental Thermal and Fluid Science, Vol.
25, No. 3-4, pp. 183-192.
- [9] Hanamura, K., Kumano, T., and Iida, Y.,
(2005). Electric Power Generation by Super-
adiabatic Combustion in Thermoelectric Porous
Element, *Energy*, Vol. 30, pp. 347-
357.
- [10] S. Jugjai and V. Nunngiyom. (2009). Cyclic
operation of porous combustor-heater (PCH),
Fuel, Vol. 88, No. 3, pp. 553-559.
- [11] สำเร็จ จักรใจ. (2547). การเผาไหม้, กรุงเทพฯ,
สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [12] วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2553). หมวดหมู่:หิน,
[Online]: <http://th.wikipedia.org/wiki>