

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20 - 22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำหลักการเผาไหม้วัสดุพรุนมาประยุกต์ใช้กับ
เตาแก๊สที่ใช้ในครัวเรือน
Study on the possibility of utilizing the porous media combustion concept in
cooking stove application

นายมกร ลักขณา¹ และ นายชลภัทร ตันประดิษฐ์^{2*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

เลขที่ 833 ถนนพระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

* ติดต่อ: โทรศัพท์: 0-2287-9600 ต่อ 2279 โทรสาร: 0-2287-9653

E-mail: cholapatr_tan@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบหาสมรรถนะของเตาแก๊สแบบไม่มีวัสดุพรุนและมีชั้นวัสดุพรุนขอบเขตการศึกษาประกอบด้วยอุณหภูมิเปลวไฟ อัตราความร้อนที่ได้ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะและประสิทธิภาพเชิงความร้อน ชนิดของวัสดุพรุนที่ใช้มี 3 ชนิดคือหินสีดำ ขาว และเศษโลหะซึ่งทั้งหมดมีค่าความพรุนเท่ากับ 0.5 การเผาไหม้เป็นแบบเชื้อเพลิงผสมอากาศกันก่อนเผาไหม้และใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง ทดสอบอัตราส่วนสมมูล (ϕ) ตั้งแต่ 0.65 – 1.64 กำหนดให้มีภาระความร้อนเท่ากับ 211 kW จากการทดสอบพบว่าอุณหภูมิเปลวไฟเฉลี่ยของการเผาไหม้วัสดุพรุนหินสีดำและสีขาวสูงกว่าการเผาไหม้ปกติคิดเป็นร้อยละ 24 และ 16 ตามลำดับ โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 980 °C สำหรับวัสดุพรุนหินสีดำ อีกทั้งยังพบว่าสามารถขยายค่า ϕ ได้ถึง 0.16 – 0.65 คิดเป็นร้อยละ 50 ของช่วงทดสอบ ในช่วงค่า ϕ นี้มีการเผาไหม้แบบปกติไม่สามารถติดไฟได้แต่สำหรับการเผาไหม้แบบมีวัสดุพรุนยังพบว่าสามารถผลิตอัตราความร้อนออกมาได้เฉลี่ยประมาณ 0.5 kW และมีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะต่ำกว่าการเผาไหม้แบบปกติคิดเป็นร้อยละ 42 โดยเฉลี่ย ซึ่งมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.16 kg / kW - hr ที่ ϕ เท่ากับ 0.16 ส่วนประสิทธิภาพทางความร้อนนั้นเพิ่มสูงขึ้นประมาณร้อยละ 12 โดยการเผาไหม้วัสดุพรุนชนิดหินสีดำและสีขาวมีค่าสูงสุดประมาณร้อยละ 50 ที่ ϕ เท่ากับ 0.16 แต่เมื่อเทียบที่ค่า ϕ ในช่วง 0.65 – 1.64 การเผาไหม้แบบปกติมีสมรรถนะดีกว่าแบบมีวัสดุพรุนเล็กน้อย ดังนั้นจากผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าเตาแก๊สแบบมีวัสดุพรุนมีสมรรถนะดีกว่าที่ค่า ϕ ต่ำกว่า 0.65

คำสำคัญ: การเผาไหม้ เตาแก๊ส วัสดุพรุน

Abstract

This study aims to evaluate the performance of cooking stoves with and without porous layers. The scope of the evaluation consists of flame temperature, obtained heat power, specific fuel consumption rate, and thermal efficiency. Three types of porous materials namely black gravel, white gravel, and metal scrap are used. The porosity of all materials is constant about 0.5. The combustion system is pre-mixed type, in which LPG are used as fuel. The evaluation was done at equivalent ratio (ϕ) of 0.65 – 1.64, while heat load was determined to be 211 kJ. The evaluation results shows that the average flame temperature in black and white gravel cases is higher than in the normal case 24% and 16%, respectively, with the highest temperature of 980°C in the case of black-gravel porous materials. In addition, the value of ϕ could be extended to 0.16-0.65, which is accounted to 50% of the evaluation range. In this range of ϕ , it is found that there is no flame in the normal combustion, but it can produce heat of 0.5 kW in average in the combustion with porous materials. Moreover, the specific fuel consumption rate is 42% lower than in normal combustion, with 0.16 kg/kW-hr at $\phi = 0.16$ as the lowest value. The thermal efficiency also increases 12%, with the highest number of 50.00% at $\phi = 0.16$ when black-gravel and white-gravel porous materials are used. However, when ϕ is between 0.65 – 1.64, the normal combustion has higher performance than the combustion with porous materials. From the evaluation results, it is concluded that the cooking stoves with porous materials layers have higher performance when ϕ is lower than 0.65.

Keywords: Combustion, Cooking Stove, Porous Medium

1. บทนำ

ในปัจจุบันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้มีปริมาณลดลงไป และอาจหมดไปในที่สุด จึงได้มีการวิจัยทางด้านพลังงานทดแทนแต่อาจไม่ทันและเพียงพอต่อความต้องการกับประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงต้องค้นคว้าวิธีการอื่นๆ เพื่อช่วยให้ใช้เชื้อเพลิงในปริมาณที่ลดลงแต่คุณภาพยังคงเดิมหรืออาจเพิ่มขึ้น ปัจจุบันนี้การวิจัยเรื่องการเผาไหม้วัสดุพอรุณก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการพัฒนาอุปกรณ์เผาไหม้ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและใช้เชื้อเพลิงลดลงโดย Yoshizawa และ Echico [1] ได้ทำการศึกษาถึงผลของการแผ่รังสีในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้วัสดุพอรุณเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อนและพลังงานที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานการแผ่

รังสีความร้อน Pantangi และคณะ [2] ได้ทำการรวบรวมข้อมูลการศึกษางานวิจัยของนักวิจัยท่านอื่นๆ ที่เกี่ยวกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในวัสดุพอรุณ รวมถึงการอธิบายของกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงก๊าซภายในวัสดุพอรุณและการบ่งชี้ถึงคุณลักษณะของความแตกต่างของวัสดุที่นำมาเป็นโครงสร้างความพอรุณ Kumar และคณะ [3] ได้วิเคราะห์สมรรถนะของเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้วัสดุพอรุณ ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ มลพิษ และค่าใช้จ่ายพลังงานสำหรับเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้วัสดุพอรุณและไม่ใช้วัสดุพอรุณต่อมาสำเร็จ จักรใจ และวสันต์ โยคเสนะกุล [4] ได้มีการพัฒนาเตาแก๊สหุงต้มให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น โดยได้ทำการพัฒนาหัวเผาจากแบบทั่วไปมาเป็นหัวเผาแบบหมุนวน นอกจากนั้นยังใช้หลักการการหมุนเวียนความร้อนเข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ

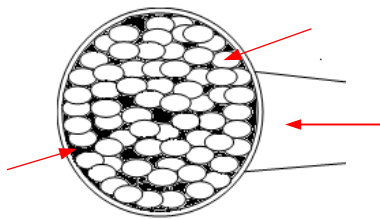
เชิงความร้อน (η_{th}) โดยใช้วัสดุพอรุนเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งจะนำเอาความร้อนจากไอเสียมาอุ่นอากาศส่วนแรกผสมกับเชื้อเพลิงทำให้มีอุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้นสำเร็จ จักรใจ และณัฐวุฒิ รังสิมันต์ชาติ [5] ศึกษาการนำวัสดุพอรุนมาประยุกต์ใช้เพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้ม ดังนั้นในการศึกษานี้เป็นการศึกษาขั้นพื้นฐานของการนำวัสดุพอรุนมาประยุกต์กับเตาแก๊สหุงต้มทั่วไปเพื่อพิจารณาถึงความเป็นไปได้และความเหมาะสมเพื่อนำไปสู่การพัฒนาเตาแก๊สที่ใช้ตามครัวเรือนอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ส่วนนี้เป็นทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาซึ่งประกอบด้วยสมการการเผาไหม้ อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ และอัตราส่วนสมมูล โดยมีสมมุติฐานของการศึกษาดังนี้ 1) อากาศประกอบด้วยก๊าซ O_2 ร้อยละ 21 และ N_2 ร้อยละ 79 และเป็นก๊าซในอุดมคติ 2) ก๊าซหุงต้มประกอบด้วย C_3H_8 ร้อยละ 40 และ C_4H_{10} ร้อยละ 60 และเป็นก๊าซในอุดมคติ 3) เชื้อเพลิงกับอากาศมาผสมกันก่อนเข้าเผาไหม้

2.1 การคำนวณหาค่าความพอรุน (ε)

การคำนวณค่าความพอรุนนั้นสามารถหาได้ตั้งสมการที่ (1) และพิจารณาได้ดังรูปที่ 1



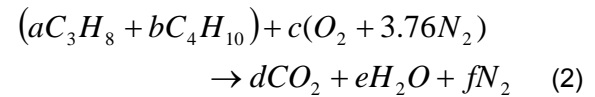
รูปที่ 1 วัสดุพอรุนและช่องว่างของความพอรุน

$$\varepsilon = \frac{V - nV_s}{V} \quad (1)$$

โดย V คือปริมาตรทรงกระบอกที่ใส่วัสดุพอรุน V_s และ n คือปริมาตรของวัสดุ และจำนวนวัสดุที่นำมาเป็นวัสดุพอรุน

2.2 สมการสตอยคิโอเมตรีของการเผาไหม้

สมการการเผาไหม้ทางทฤษฎีของก๊าซหุงต้มแสดงได้ตั้งสมการที่ (2)



โดยที่ a, b คือสัดส่วนผสมของก๊าซโพรเพนและก๊าซบิวเทน ตามลำดับ ส่วน c คือจำนวนโมลอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ และ d, e, f คือโมลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และไนโตรเจน ตามลำดับ เมื่อทำการสมดุลเคมีแล้วจะสามารถคำนวณปริมาณอากาศและปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ สมบูรณ์สามารถแสดงได้ตั้งสมการที่ (3) และ (4)

$$m_a = (32 \times c) + (3.76 \times 28 \times c) \quad (3)$$

$$m_f = (44 \times a) + (58 \times b) \quad (4)$$

โดยที่ m_a และ m_f คือมวลอากาศและมวลเชื้อเพลิง จากนั้นสามารถคำนวณหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (AF_{stoi}) ได้ตั้งสมการที่ (5)

$$AF_{stoi} = \frac{m_a}{m_f} \quad (5)$$

ทำนองเดียวกันกับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงของการเผาไหม้จริง (AF_{act}) ซึ่งแสดงได้ตั้งสมการที่ (6)

$$AF_{act} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} \quad (6)$$

โดยที่ \dot{m}_a และ \dot{m}_f คืออัตราการไหลมวลของอากาศและเชื้อเพลิงตามลำดับ ในการปฏิบัติจริงนั้นสามารถวัดได้จากเครื่องมือวัดอัตราการไหลและคำนวณได้จากสมการที่ (7) และ (8)

$$\dot{m}_a = \rho_a \dot{V}_a \quad (7)$$

$$\dot{m}_f = \rho_f \dot{V}_f \quad (8)$$

โดยที่ ρ_a และ ρ_f คือความหนาแน่นของอากาศและเชื้อเพลิง โดยที่ \dot{V}_a และ \dot{V}_f คืออัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศและเชื้อเพลิง ตามลำดับ ความหนาแน่นของอากาศและเชื้อเพลิงนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (9) และ (10)

$$P_a = \rho_a R_a T_a \quad (9)$$

$$P_f = \rho_f R_f T_f \quad (10)$$

โดยที่ P_a และ P_f คือความดันบรรยากาศ และความดันเชื้อเพลิง และ T_a และ T_f คืออุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิเชื้อเพลิงก่อนเผาไหม้ตามลำดับ ส่วน R_a และ R_f คือค่าคงที่ของอากาศมีค่าเท่ากับ 0.287 kJ/kg.K และเชื้อเพลิง ส่วน R_f หาได้จากสมการที่ (11)

$$R_f = \frac{R_u}{M_f} \quad (11)$$

โดยที่ $R_u = 8.314 \text{ kJ / kmol.K}$ และ M_f คือมวลโมเลกุลเชื้อเพลิง จากนั้นสามารถหาค่าอัตราส่วนสมมูล (ϕ) ได้ดังสมการที่ (12)

$$\phi = \frac{AF_{stoi}}{AF_{act}} \quad (12)$$

การคำนวณหาอัตราความร้อนที่น้ำได้รับดังสมการ (13)

$$\dot{Q} = \frac{dQ}{dt} = mc_p \frac{dT}{dt} = \frac{m_w c_{pw} (T_2 - T_1)}{t_2 - t_1} \quad (13)$$

โดยที่ \dot{Q} คืออัตราความร้อนที่น้ำได้รับ m_w คือมวลของน้ำ c_{pw} คือความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของน้ำ T_1 และ T_2 คืออุณหภูมิของน้ำก่อนและหลังต้ม $t_2 - t_1$ คือเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำ ดังนั้นสามารถหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) ได้ดังสมการที่ (14)

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_f (LHV)} \quad (14)$$

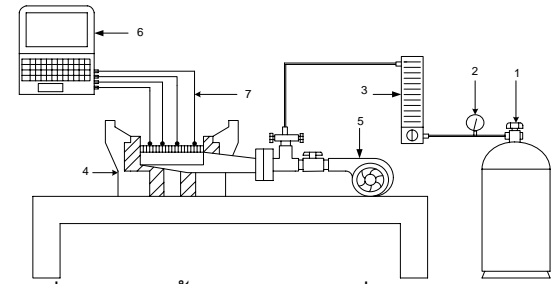
โดยที่ LHV คือค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

3. อุปกรณ์ที่ใช้และวิธีการทดสอบ

ส่วนนี้นำเสนอถึงอุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบ การติดตั้ง รวมไปถึงวิธีการทดสอบ ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้และสภาวะการทดสอบ

ในการทดสอบนี้มีอุปกรณ์และเครื่องมือที่จำเป็นซึ่งถูกติดตั้งในชุดทดสอบสามารถพิจารณาได้ดังรูปที่ 2

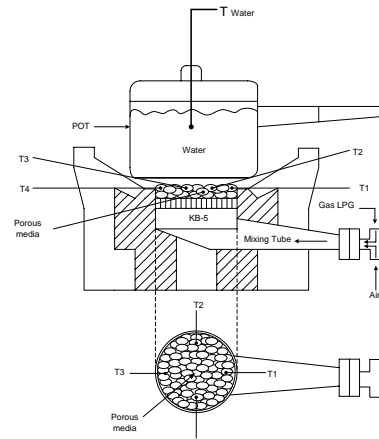


รูปที่ 2 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดชุดทดสอบ

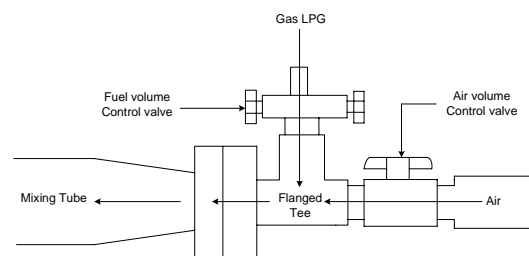
จากรูปที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆตามหมายเลขดังนี้ 1) ถังเชื้อเพลิง 2) เกจวัดความดัน 3) เครื่องวัดอัตราการไหลของเชื้อเพลิง 4) เตาแก๊สหุงต้ม KB-5 5) เครื่องเป่าลม 6) เครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ 7) Thermocouple Type K



รูปที่ 3 วัสดุพอร์น หินสีดำ สีขาวและเศษโลหะ



รูปที่ 4 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 5 ชุดอุปกรณ์การผสมอากาศกับเชื้อเพลิง

ตารางที่ 1 สภาวะการทดสอบ

แบบที่	ไม่มีวัสดุพูน	วัสดุพูนหิน ควอตซ์สีน้ำนม ($\mathcal{E} = 0.500$)	วัสดุพูนหิน เชิร์ตดำ ($\mathcal{E} = 0.500$)	วัสดุพูน เศษฝอยโลหะ ($\mathcal{E} = 0.900$)
เงื่อนไข				
ความดัน เชื้อเพลิง (kPa)	50	50	50	50
อัตราการไหล ของเชื้อเพลิง (L/min)	2-5	0.5-5	0.5-5	0.5-5
ความเร็วลม (m/s)	10	10	10	10
อัตราส่วน สมมูล (ϕ)	0.65-1.64	0.16-1.64	0.16-1.64	0.16-1.64

3.2 ขั้นตอนการทดสอบ

เริ่มจากตรวจสอบอุปกรณ์และเครื่องมือบันทึกผลทุกชิ้นให้อยู่ในตำแหน่งที่พร้อมใช้งาน เทววัสดุพุนดังรูปที่ 3 ลงบนหัวเตาแก๊ส จากนั้นวางตำแหน่ง Thermocouple เข้าไปตรงตำแหน่งที่กำหนดไว้ทั้งหมด 4 ตำแหน่งดังรูปที่ 4 เปิดถังเชื้อเพลิงและปรับความดันให้คงที่ตามค่าที่กำหนดไว้ เปิดเครื่องเป่าลมมาผสมที่ห้องผสมดังรูปที่ 5 เชื้อเพลิงตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ตามสภาวะดังตารางที่ 1 ดัดไฟเพื่อทดสอบการเผาไหม้ รอจนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาคงที่ บันทึกผลอุณหภูมิภายในเตา หลังจากนั้นจับเวลาในการต้มตั้งแต่อุณหภูมิ 30 °C ถึง 80 °C บันทึกเวลาที่ใช้

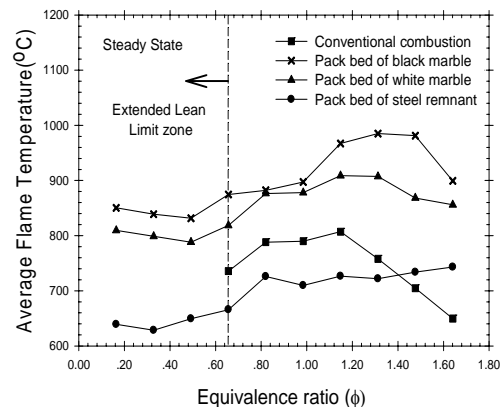
4. ผลการทดสอบและวิจารณ์

การรายงานผลนี้แบ่งออกเป็น 4 ส่วนด้วยกัน ส่วนที่หนึ่งคือการเปรียบเทียบอุณหภูมิการเผาไหม้ ส่วนที่สองคือการเปรียบเทียบอัตราความร้อน ส่วนที่สามคือการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการเผาไหม้ และส่วนสุดท้ายคือการเปรียบเทียบการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงซึ่งจะถูกรายงานผลดังต่อไปนี้

4.1 อุณหภูมิเฉลี่ยของเปลวไฟ

จากรูปที่ 6 พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยเปลวไฟ (T_{avg}) ที่ใช้วัสดุพูนชนิดหินสีดำมีค่าสูงสุด 980 °C ที่ ϕ เท่ากับ 1.3 โดย T_{avg} ทุกสภาวะของวัสดุพูนชนิดหินสีดำ หินสีขาวเศษฝอยโลหะ และไม่มีวัสดุพูน

เท่ากับ 926 873.35 718.20 และ 747.63 °C ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะหินสีดำนั้นอาจมีคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายกับวัสดุดำซึ่งส่งผลให้มีการดูดซับความร้อนได้สูงกว่าหินสีอื่น ๆ ทำให้ภายในชั้นวัสดุพูนที่เป็นหินสีดำนั้นมีความร้อนสูงมากจึงเป็นผลให้อุณหภูมิเปลวไฟที่อยู่ภายในวัสดุพูนนั้นสูง อีกทั้งยังพบว่า การเผาไหม้แบบมีวัสดุพูนไม่ว่าจะเป็นชนิดไหนก็ตามนั้นช่วยขยายช่วงการติดไฟได้ออกไปได้ถึง 0.16 คิดเป็นร้อยละ 50 ของช่วงการทดสอบทั้งหมด และ T_{avg} ที่ถูกขยายช่วงออกไปของหินสีดำ หินสีขาว และเศษฝอยโลหะเท่ากับ 843.87 788.17 และ 637.36 °C ตามลำดับ ซึ่งยังคงมีอุณหภูมิสูงพอที่จะนำไปใช้งานต่อไปได้ นับว่าเป็นลักษณะเด่นของการเผาไหม้วัสดุพูนที่มีความสามารถในการเผาไหม้ได้ในสภาวะที่ใช้ปริมาณเชื้อเพลิงน้อยมาก

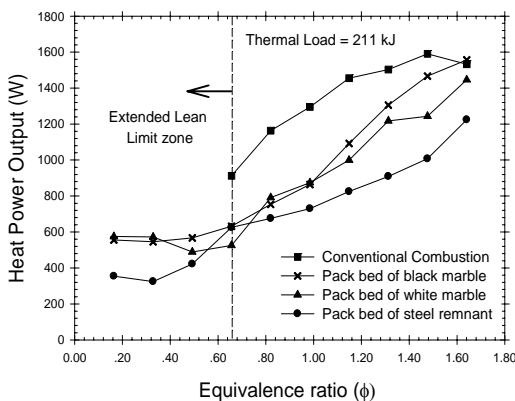


รูปที่ 6 อุณหภูมิเฉลี่ยเปลวไฟที่ค่า ϕ ต่าง ๆ

4.2 อัตราความร้อนที่ได้

จากรูปที่ 7 พบว่าอัตราความร้อนที่น้ำได้รับ (\dot{Q}) โดยเฉลี่ยตลอดช่วง ϕ การเผาไหม้แบบไม่มีวัสดุพูนและมีวัสดุพูนชนิด หินสีดำ หินสีขาว และเศษฝอยโลหะมีค่าเท่ากับ 1,350 1,095.60 1,013.96 และ 856.57 วัตต์ ตามลำดับ โดยการเผาไหม้แบบไม่มีวัสดุพูนนั้นได้สูงสุดประมาณ 1,590.60 วัตต์ ที่ ϕ เท่ากับ 1.5 โดยที่อัตราความร้อนที่น้ำได้รับจากการเผาไหม้แบบไม่มีวัสดุพูนนั้นสูงกว่าการเผาไหม้แบบมีวัสดุพูนทุกชนิด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในการ

น้ำนั้นใช้เวลาในการทำความร้อนให้ได้ภาวะความร้อนตามที่กำหนดไว้คือ 211 kJ สันนิษฐานว่าเป็นผลมาจากกลไกการถ่ายเทความร้อน จากการสังเกตพบว่าเปลวไฟได้มีการขยายตัวกระจายรอบๆ ภาชนะทำให้ผิวที่สัมผัสความร้อนนั้นมากกว่าการเผาไหม้แบบมีวัสดุพอรุนซึ่งเปลวไฟจะอยู่ภายในรูของชั้นวัสดุพอรุนเท่านั้นจึงทำให้ผิวสัมผัสความร้อนได้น้อยกว่าการเผาไหม้แบบปกติ ในส่วนของช่วงที่ถูกขยายออกของ ϕ การเผาไหม้แบบมีวัสดุพอรุนชนิดหินสีดำ หินสีขาว และเศษฝอยโลหะพบว่ยังคงสามารถทำภาวะความร้อนได้อีกคิดเป็น \dot{Q} เฉลี่ยตลอดช่วงเท่ากับ 555.96 545.47 และ 366.93 วัตต์ จากผลการทดสอบเบื้องต้นทำให้ทราบว่า การเผาไหม้แบบมีวัสดุพอรุนมีบทบาทมากสำหรับการเผาไหม้ที่ค่าอัตราส่วนสมมูลต่ำและยังคงมีเปลวไฟเกิดขึ้น

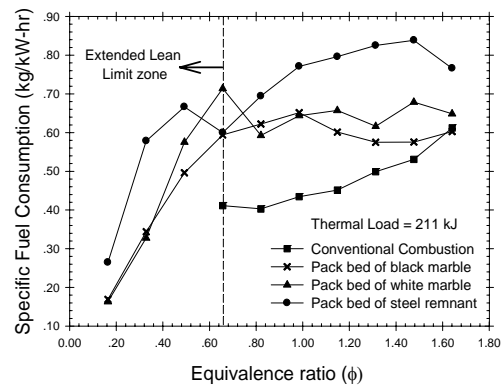


รูปที่ 7 อัตราความร้อนที่ได้ที่ค่า ϕ ต่างๆ

4.3 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

จากรูปที่ 8 พบว่าความสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) เฉลี่ยตลอดช่วงของ ϕ ระหว่าง 0.65 – 1.64 ของการเผาไหม้แบบไม่มีวัสดุพอรุนและมีวัสดุพอรุนชนิด หินสีดำ หินสีขาว และเศษฝอยโลหะมีค่าเท่ากับ 0.48 0.60 0.65 และ 0.75 kg/kW-hr ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะ \dot{Q} ของการเผาไหม้วัสดุพอรุนนั้นต่ำกว่าการเผาไหม้แบบปกติซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 7 ส่งผลให้ที่ ϕ เดียวกันมี SFC สูงกว่าการเผาไหม้แบบปกติ ในส่วนของช่วง ϕ ที่ถูก

ขยายออก 0.5 0.33 และ 0.16 พบว่า SFC เฉลี่ยตลอดช่วงของการเผาไหม้แบบไม่มีวัสดุพอรุนและมีวัสดุพอรุนชนิด หินสีดำ หินสีขาว และเศษฝอยโลหะมีค่าเท่ากับ 0.336 0.355 และ 0.503 kg/kW-hr ตามลำดับ และที่ SFC ต่ำสุดเท่ากับ 0.17 และ 0.16 kg/kW-hr สำหรับใช้หินสีดำ และสีขาวเป็นวัสดุพอรุนตามลำดับ

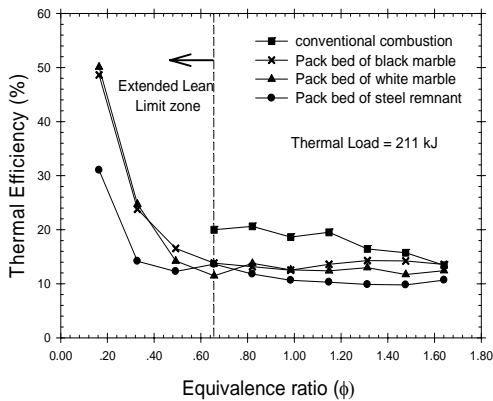


รูปที่ 8 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ค่า ϕ ต่างๆ

4.4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th})

จากรูปที่ 9 พบว่าการเผาไหม้แบบไม่มีวัสดุพอรุนและแบบมีวัสดุพอรุนชนิดหินสีดำ หินสีขาว และเศษฝอยโลหะมี η_{th} เฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 17.40 13.60 12.50 และ 11.00 ตามลำดับ เห็นได้ว่า η_{th} แบบปกติจะสูงกว่าเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เป็นเพราะกำลังความร้อนที่ได้ของการเผาไหม้วัสดุพอรุนนั้นน้อยกว่าในช่วง ϕ 0.65 – 1.64 แต่ในทางกลับกันสำหรับส่วนที่ ϕ ขยายออกมาพบว่า η_{th} ของการเผาไหม้วัสดุพอรุนทุกชนิดมีค่าสูงกว่าการเผาไหม้แบบปกติ โดยที่ หินสีดำ หินสีขาว และเศษฝอยโลหะมีค่าเท่ากับร้อยละ 29.65 29.68 และ 19.16 ตามลำดับ อีกทั้งยังพบว่าหินสีดำและสีขาวมี η_{th} ถึงร้อยละ 48.62 และ 50.10 ตามลำดับ ที่ ϕ เท่ากับ 0.16 จากผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าการเผาไหม้แบบมีวัสดุพอรุนนั้นมี η_{th} สูงที่การเผาไหม้อยู่ที่สภาวะเสถียรส่วนผสมเชื้อเพลิงอากาศนั้นเจือจางมากๆ เนื่องจากอาศัยพลังงานที่ถูกกักเก็บและสะสมไว้ภายในชั้นวัสดุพอรุน

จึงทำให้มีพลังงานจำนวนหนึ่งยังคงสามารถช่วยให้เกิดการเผาไหม้ได้และมีอุณหภูมิสูงอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 9 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ค่า ϕ ต่างๆ

5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

การสรุปผลการศึกษาที่ได้ทั้งหมดถูกนำมาเรียบเรียงและรายงานดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1) T_{avg} เปลวไฟของการเผาไหม้วัสดุพอรุนสูงกว่าการเผาไหม้แบบปกติคิดเป็นร้อยละ 20 โดยเฉลี่ย และการเผาไหม้วัสดุพอรุนหินสีดำมี T_{avg} สูงสุดเท่ากับ 980 องศาเซลเซียสที่ ϕ เท่ากับ 1.3

5.1.2) ในช่วง ϕ 0.65 – 1.64 อัตราความร้อนที่น้ำได้รับของการเผาไหม้แบบปกติสูงกว่าการเผาไหม้แบบมีวัสดุพอรุน คิดเป็นร้อยละ 25 โดยเฉลี่ย โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1,590.60 วัตต์ ที่ ϕ เท่ากับ 1.5 ในส่วนของช่วงที่ ϕ ลดต่ำลงถึง 0.16 การเผาไหม้แบบปกติไม่สามารถติดไฟได้แต่สำหรับการเผาไหม้แบบมีวัสดุพอรุนยังพบว่าสามารถผลิตอัตราความร้อนออกมาได้ประมาณ 500 วัตต์

5.1.3) ในช่วง ϕ 0.16 – 0.65 การเผาไหม้แบบมีวัสดุพอรุนทุกชนิดมีค่า SFC น้อยกว่าการเผาไหม้แบบปกติในช่วง ϕ 0.65 – 1.64 คิดเป็นร้อยละ 42 โดยเฉลี่ย โดยมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.16 kg/kW-hr ที่ ϕ 0.16 ของการเผาไหม้วัสดุพอรุนชนิดหินสีดำและสีขาว แต่เมื่อเทียบในช่วง ϕ 0.65 – 1.64 การเผาไหม้แบบปกติมี SFC น้อยกว่า

5.1.4) ใน ϕ 0.16 – 0.65 การเผาไหม้แบบมีวัสดุพอรุนทุกชนิดมี η_{th} เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 12 จากการเผาไหม้แบบปกติ โดยที่การเผาไหม้วัสดุพอรุนชนิดหินสีดำและสีขาวมีค่าสูงสุดประมาณร้อยละ 50 ที่ ϕ 0.16 แต่เมื่อเทียบในช่วง ϕ 0.65 – 1.64 การเผาไหม้แบบปกติมี η_{th} สูงกว่าการเผาไหม้แบบมีวัสดุพอรุนเพียงเล็กน้อย

5.1.5) การเผาไหม้แบบมีวัสดุพอรุนนั้นช่วยขยายขีดจำกัดการเผาไหม้ที่สภาวะเจือจางออกถึงร้อยละ 50 ของช่วงที่ใช้ทดสอบปกติ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1) เงื่อนไขการทดลองกับการใช้งานจริงอาจไม่สอดคล้องกัน

5.2.2) จากผลการทดสอบนั้น รูปแบบการใช้วัสดุพอรุนในลักษณะนี้อาจไม่เหมาะสมกับการใช้งานจริง คงต้องมีการดัดแปลงหรือปรับปรุงเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานจริงได้ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ผู้วิจัยและทีมงานขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Yoshizawa, Y., Echico, R. and Tomimura, T., "A Study on a High Performance Radiant Heater", Proceedings of the 2nd ASME/JSME Thermal Engineering Joint Conference, Vol.5, pp. 317-323, 1987.
- [2] Pantangi, V.K. and Mishra, S.C., "Combustion of Gaseous Hydrocarbon Fuels within Porous Media – A Review", Advances in Energy Research, 2006.
- [3] Pantangi, V.K., Kumar K., Mishra, S.C., and Sahoo N., "Performance Analysis of Domestic LPG Cooking Stoves with Porous Media",

International Energy Journal, Vol. 8, pp. 139-144, 2007.

[4] วสันต์ โยคเสนะกุล และ สำเร็จ จักรใจ, “เตาแก๊สประสิทธิภาพสูงชนิดหมุนเวียนความร้อนโดยวัสดุพอรุน”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19, 2548

[5] ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ, “การประยุกต์ใช้วัสดุพอรุนเพื่อการประหยัดพลังงานในเตาแก๊สหุงต้ม, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544