

อิทธิพลของวัสดุพรุนที่ติดตั้งในฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุนต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน

Effect of Porous Medium Installed in Porous Radiant Recirculated Cover on Thermal Efficiency of Household Cooking Burner

จรินทร์ เจนจิตต์ อนิรุตต์ มัทธูจักษ์ *

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ถ.วาริน-เดชอุดม อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190 โทร (045) 353-309 โทรสาร : (045) 353-308
E-mail, lex-66@hotmail.com, Anirut.Mat@gmail.com, A.Matthujak@ubu.ac.th

Jarin Jenjit Anirut Matthujak *

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University
Ubon Ratchathani 34190 Thailand Tel: (045) 353-309 Fax: (045) 353-308
E-mail, lex-66@hotmail.com, Anirut.Mat@gmail.com, A.Matthujak@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th}) ของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2312-2549 โดยทำการออกแบบและสร้างฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุน (Porous Radiant Recirculated Cover, PRRC) โดยอาศัยหลักการการหมุนเวียนความร้อนภายในวัสดุพรุนมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบเตาแก๊สหุงต้มที่ได้รับการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยใช้ฝาบังลมของกระทรวงพลังงานและเตาแก๊สหุงต้มมาตรฐาน และศึกษาอิทธิพลของวัสดุพรุนที่ติดตั้งใน Emitting porous medium (EP) และ Absorbing porous medium (AP) ต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้ม รวมถึงตรวจวัดมลพิษที่เกิดขึ้น จากการทดสอบพบว่า เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนทั่วไปมีค่า η_{th} สูงสุดร้อยละ 41 ขณะที่เตาแก๊สที่ติดตั้งฝาบังลมของกระทรวงพลังงานมีค่า η_{th} สูงสุดร้อยละ 39 และเตาแก๊สที่ติดตั้ง PRRC (EP4+ AP4) มีค่า η_{th} สูงสุดร้อยละ 48 ซึ่งคิดเป็นการประหยัดร้อยละ 14.58 นอกจากนี้ยังพบว่า หากเพิ่มหรือลดความพรุนของวัสดุพรุนที่ติดตั้งใน PRRC เป็น PRRC (EP2+ AP2) และ PRRC (EP6+ AP6) ค่า η_{th} สูงสุดมีค่าลดลงเป็นร้อยละ 38 และ 32 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า การติดตั้ง PRRC

(EP4+AP4) ที่เหมาะสม ไม่เพียงแต่ทำให้มีค่า η_{th} สูงขึ้นเท่านั้น ยังส่งผลให้มีการปลดปล่อยมลพิษต่ำลง โดยมีปริมาณ CO และ NO_x มีค่าสูงสุดไม่เกิน 124 ppm และ 120 ppm ตามลำดับ

คำสำคัญ: เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน, ประสิทธิภาพเชิงความร้อน, ฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุน, การประหยัด

Abstract

The purpose of this study is to improve the thermal efficiency (η_{th}) of household cooking burner (HB) based on Thai Industrial Standard 2312-2549. In this study, porous radiant recirculated cover (PRRC) was designed and manufactured based on heat-recirculating combustion in porous media. In this study, the thermal efficiency of the HB, the HB assembled with LPG flame protector designed by Ministry of Energy (LPG-FP) and the HB assembled with PRRC are compared. The effect of porous media installed in PRRC on thermal efficiency of household cooking burner is also investigated. Beside, the emissions from each burner are revealed. From the experiment, it was found that the highest thermal efficiency of HB, the HB

assembled with LPG-FP and the HB assembled with PRRC (EP4+ AP4) were 41 %, 39 % and 48%, respectively. The porosity change of porous media installed in PRRC from suitable porosity (PRRC (EP4+ AP4)) to PRRC (EP2+ AP2) and PRRC (EP6+ AP6) affected to the thermal efficiency decrease to be 38 % and 32 %, respectively. Moreover, the suitable porosity (PRRC (EP4+ AP4)) affected to not only the higher thermal efficiency, but also the lower emission which is not more than 124 ppm for CO and 120 ppm for NO_x.

Keywords: Household cooking burner, Thermal efficiency, Porous radiant recirculated cover, Percentage energy saving.

1. บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกประสบปัญหาสถานการณ์วิกฤติด้านพลังงานที่มีแนวโน้มทวีความรุนแรงมากขึ้นทุกปี จากสถิติการใช้พลังงานของกระทรวงพลังงาน [1] พบว่า ประเทศไทยมีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่เป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะ แก๊สปิโตรเลียมเหลว หรือ แอลพีจี (Liquefied petroleum gas, LPG) จากสถิติการใช้ปริมาณการใช้แก๊ส LPG ของประเทศ ปี พ.ศ. 2538 – 2551 ภาคครัวเรือนใช้แก๊สแอลพีจีคิดเป็นร้อยละ 44 ในขณะที่ภาคขนส่งหรือรถยนต์ใช้แก๊สแอลพีจีคิดเป็นร้อยละ 16 ซึ่งจากปัญหาวิกฤติด้านพลังงานงานดังกล่าวข้างต้น ก็ส่งผลกระทบต่อแก๊สแอลพีจีเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาคครัวเรือน หรืออุตสาหกรรมร้านอาหารที่ต้องใช้เตาแก๊สหุงต้มเป็นแหล่งให้ความร้อนในการหุงต้ม ซึ่งการถ่ายเทความร้อนในเตาแก๊สหุงต้มจะเป็นลักษณะของเปลวไฟพุ่งชน (Impinging flame jet) ซึ่งจะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูง [2] แต่ต้องใช้ปริมาณแก๊สแอลพีจีค่อนข้างมาก ซึ่งเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนั้นมีการเผาไหม้ในลักษณะเปิด จึงไม่สามารถนำความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้มาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากเปลวไฟไปยังภาชนะถูกจำกัดโดยการพาความร้อน (Convection) เป็นส่วนใหญ่ ทั้งยังมีการสูญเสียความร้อนเป็นจำนวนมากไปกับแก๊สไอเสียโดยการพาความร้อน (Convection) และสูญเสียความร้อนของเปลวไฟจากการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) อีกด้วย ทำให้เตาแก๊สหุงต้มที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงมีการวิจัยเพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มอย่างต่อเนื่อง

โดยเริ่มแรก Jugjai และ Sanijai [3] ได้ปรับปรุงเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือนทั่วไปให้มีประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น โดยใช้หลักการหมุนเวียนความร้อนจากไอเสียนำไปอุ่นอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ (preheat) จากหลักการนี้เองทำให้เกิดแนวความคิดค้นเตาต้นแบบเตาแก๊สประสิทธิภาพสูง (Porous Radiant Recirculated Burner, PRRB) แต่เนื่องจากหัวเตาแก๊สที่ใช้อยู่นั้นเป็นหัวเตาขนาดเล็กไม่เหมาะสมกับการใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ [4] จึงได้วิจัยเตาแก๊สขนาด KB-10 พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้นได้โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 12 และคิดเป็นอัตราการประหยัดโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 30 เมื่อเปรียบเทียบกับเตา KB-10 ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป และได้ปรับปรุงหัวเตาให้เปลวไฟที่พุ่งออกมามีลักษณะของการหมุนวนเข้าสู่ศูนย์กลาง พบว่าสามารถเพิ่ม

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้นได้โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 20 เมื่อเปรียบเทียบกับเตาแบบ Swirl burner ที่ยังไม่ได้มีการประกอบเข้ากับโครงสร้างที่ออกแบบไว้ และเมื่อเปรียบเทียบกับเตา KB-10 ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป พบว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้นได้โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 30 และคิดเป็นอัตราการประหยัดโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 51

ต่อมา วสันต์ โยคเสนะกุล [5] ได้นำแนวทางจาก ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ [4] มาศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับระยะห่างระหว่างเตาแก๊สกับภาชนะ ระยะห่างทางออกของหัวเตา รวมไปถึงตำแหน่งที่เหมาะสมของหัวฉีดแก๊สที่อยู่ในเตาแก๊สหุงต้ม พบว่าหัวเตาแบบทั่วไป (Conventional burner) มีระยะห่างระหว่างหัวเตากับภาชนะ (H) ที่เหมาะสมอยู่ที่ 63.5 มม. (2.5 นิ้ว) ในทุกๆ รูปร่างภาชนะและเมื่อเปลี่ยนเป็น PRRB (SB) ซึ่งมีระยะความสูง (H) ของแต่ละภาชนะไม่เท่ากัน เนื่องจากอิทธิพลของการหมุนเวียนความร้อน

จารุณี จาบกลาง [6] ได้ศึกษาลักษณะคล้ายของ วสันต์ โยคเสนะกุล [5] โดยได้ทำการพัฒนาเตาแก๊ส KB-5 ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นโดยแบ่งการพัฒนาออกเป็นสองส่วนโดยส่วนแรกจะทำการพัฒนาหัวเตาจากแบบทั่วไป (CB) ซึ่งมีเปลวไฟไหลตามรัศมี มาเป็นแบบหมุนวน (Swirl burner, SB) ซึ่งจะให้ลักษณะของเปลวไฟหมุนวนเข้าสู่ศูนย์กลาง ส่วนที่สองทำการพัฒนาอีกขั้นหนึ่ง คือ นำเตาแก๊ส KB-5 มาใช้ควบคู่กับ Porous Radiant Recirculated Burner (PRRB) โดยอาศัยหลักการหมุนเวียนความร้อนจากไอเสียนำอุ่นอากาศส่วนแรกก่อนเผาไหม้ พบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตาเฉลี่ยร้อยละ 60 คิดเป็นการประหยัดร้อยละ 38 เมื่อเทียบกับเตาที่ใช้กันอยู่ทั่วไป

จากการวิจัยที่ผ่านมา [3-6] พบว่า การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มได้ให้ความสนใจเฉพาะเตาแรงดันสูงคือ KB-5 และ KB-10 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเตา 5 นิ้ว และ 10 นิ้ว ตามลำดับ ซึ่งเป็นเตาที่มีปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจีสูงกว่า 5.78 kW ต่อหัวเตา และการพัฒนาประสิทธิภาพดังกล่าวเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ อาทิ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเตาที่ใช้งานอยู่เดิม และขีดจำกัดด้านการใช้งานจริงร่วมกับภาชนะต่างๆ

ดังนั้น จรินทร์ เจนจิตต์และคณะ [7] จึงได้มีแนวความคิดในการออกแบบและสร้างฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุน Porous Radiant Recirculated Burner, PRRB โดยนำหลักการหมุนเวียนความร้อน [8] มาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2312-2549 [9] ที่มีปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจีสูงสุดไม่เกิน 5.78 kW ต่อหัวเตา (เตาแก๊สแรงดันต่ำ) ซึ่งฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุน PRRC ดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สจากเดิมสูงสุดร้อยละ 28 เพิ่มเป็นร้อยละ 40 แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองยังพบว่าฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุน PRRC นั้นยังไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเท่าที่ควร อันเนื่องมาจากการติดตั้งวัสดุพรุนที่ยังไม่เหมาะสม ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ศึกษาพัฒนาเพิ่มเติมโดยให้ความสนใจถึง อิทธิพลของวัสดุพรุนที่ติดตั้งภายใน PRRC ต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน อาทิ ค่าความพรุน (Porosity, ϕ) หรือความหนาเชิงแสง (Optical Thickness) ที่นำมาใช้ในการติดตั้งเป็น Emitting porous medium (EP) และ Absorbing porous medium (AP) ในฝาครอบเตา

แก๊สชนิดวัสดุพรุน PRRC ของเตาแก๊สหุงต้มที่ติดตั้ง PRRC และการปลดปล่อยมลพิษอีกด้วย

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th})

การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการศึกษาข้างต้น อังอิงการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 2312- 2549 (Thai Industrial Standard, TIS) [9] โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนหาได้จากค่าความร้อนสัมผัสที่น้ำได้รับต่อพลังงานความร้อนที่ใช้ใน ซึ่งใช้หลักการ Boiling test โดยมีรายละเอียดการทดสอบ คือ ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบดังแสดงในรูปที่ 1 ให้เรียบร้อย วางหม้ออะลูมิเนียมทดสอบบนเตาแก๊สแล้วติดเตา โดยเปิดเตาในอัตราการไหลแก๊สสูงสุด เป็นเวลา 15 นาทีเพื่ออุ่นเตาแก๊ส จากนั้นปิดเตาแล้วเปลี่ยนหม้อทดสอบซึ่งมีขนาดของหม้อทดสอบและมวลน้ำตามมาตรฐาน มอก. 2312-2549 [9] ให้เสร็จภายใน 3 นาทีวางหม้อทดสอบและเปิดเตาโดยปรับอัตราการไหลของแก๊สที่ Gas flow meter ตามสภาวะที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นต้มจนน้ำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจากอุณหภูมิเริ่มต้น เริ่มกวนน้ำด้วยก้านกวนจนอุณหภูมิสูงขึ้นจากเริ่มต้นเป็น 50 °C ให้ปิดแก๊สและทำการกวนต่อไปจนได้อุณหภูมิที่ 90 °C วัดค่าการใช้แก๊สระหว่างการทดสอบและค่าต่างๆ บันทึกผล นำค่าที่ได้จากการทดสอบ แทนลงในสูตรการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th} , %) ดังสมการที่ 1

$$\eta_{th, \%} = \left\{ \frac{m \times C \times (t_2 - t_1) \times \frac{273 + t_g}{298} \times \frac{101.3}{B + P_m - S}}{V \times Q} \right\} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ M คือ มวลของน้ำที่ใช้ในการทดสอบ (kg)

C คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.186×10^{-3} MJ/kg·K)

t_1 คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ (°C)

t_2 คือ อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ (°C)

V คือ ปริมาณของแก๊สที่ใช้ทดสอบ (m^3)

Q คือ LHV แก๊สทดสอบที่ใช้ (MJ/ m^3) ที่ความดัน 101.3 kPa

t_g คือ อุณหภูมิของแก๊สทดสอบ (°C)

B คือ ความดันบรรยากาศในขณะทดสอบ (kPa)

P_m คือ ความดันของแก๊สทดสอบ (kPa)

S คือ ความดันของไอน้ำอิ่มตัวที่ t_g °C (kPa)

วิธีการนี้จะได้อ่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงของหัวเตาหุงต้มจริง จะต้องมีการอุ่นเตาให้ร้อนก่อนการทดสอบทุกครั้ง ซึ่งสามารถลดความร้อนที่สูญเสียให้กับอุปกรณ์ประกอบเตา เช่น ท่อผสม ฐานตั้งภาชนะ ฯลฯ ให้น้อยลง

2.2 การประหยัดพลังงาน (% Energy saving)

การประหยัดพลังงานของเตาแก๊สหุงต้มสามารถหาได้จากสมการที่ 2 คือ

$$\% \text{ Energy saving} = \frac{\eta_{th,2} - \eta_{th,1}}{\eta_{th,2}} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ $\eta_{th,1}$ คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาตัวที่ 1

$\eta_{th,2}$ คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาตัวที่ 2

3. อุปกรณ์การทดลอง

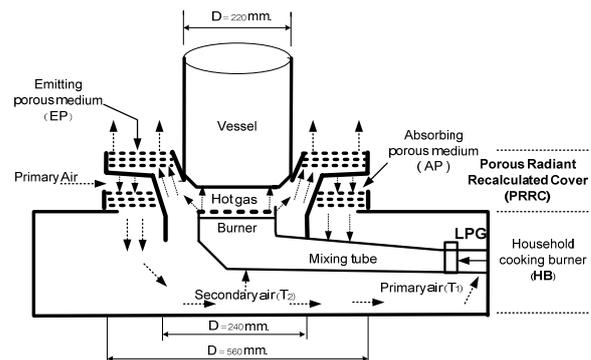
รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์ทดลองตามมาตรฐาน มอก. 2312-2549 (Thai Industrial Standard, TIS) [9] เพื่อใช้ในการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th} , %)



รูปที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

จากรูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย

1. เตาแก๊สแก๊สที่เปลวร้อน AT-502 แบบหัวเดี่ยว
2. Porous Radiant Recirculated Cover (PRRC)
3. Gas flow meter ใช้ยี่ห้อ Nitto รุ่น K-2012
4. ภาชนะที่ใช้ในการทดสอบ
5. U-tube manometer
6. อุปกรณ์ดักแก๊สไอเสียสำหรับเตาแก๊สประเภทหัวเดี่ยว
7. ถังแก๊สและหัวปรับความดัน (Pressure regulator)
8. Exhaust gas analyzer ยี่ห้อ Testo รุ่น 350 - XL
9. Data logger และ Thermocouple type K
10. คอมพิวเตอร์ที่ใช้เก็บและประเมินผลข้อมูล



รูปที่ 2 การติดตั้งฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุน (Porous Radiant Recirculated Cover, PRRC)

รูปที่ 2 แสดงการติดตั้งฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุน (Porous Radiant Recirculated Cover, PRRC) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ซึ่งสามารถแยกชิ้นส่วนออกจากกันได้ คือ ส่วนล่างจะเป็นเตาแก๊สหุงต้มแอลพีจีในครัวเรือนมาตรฐาน (Household cooking burner, HB) ทั่วไป ส่วนบนเป็นฝาครอบเตาแบบวัสดุพรุน (Porous Radiant

Recirculated Cover, PRRC) เมื่อแก๊สความดันต่ำที่ใช้งานปกติถูกพ่น ออกจากรูพ่นแก๊สเข้าไปในท่อผสม อากาศส่วนแรกที่อยู่บริเวณใกล้ๆ จะถูกชักนำผ่านช่องอากาศส่วนแรก (Primary air) เข้าไปในท่อผสม พร้อมๆ กับแก๊ส โดยอาศัยหลักการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างแก๊สและ อากาศโดยรอบ ด้วยวิธีการดังกล่าวอากาศส่วนแรกจะมีค่าประมาณ 50 – 70 % ของปริมาณอากาศที่จำเป็นเพื่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ จากนั้น ส่วนผสมของอากาศส่วนแรกและแก๊สจะไหลผ่านรูพ่นแก๊สและถูกจุด ประกายไฟ ด้วยวิธีที่เหมาะสม เช่น ใช้เปลวโล่ (Pilot flame) หรือการ spark ในขณะที่เดียวกันอากาศส่วนที่สอง(Secondary air) จะถูกชัก นำเข้ามาจากด้านข้างเปลวไฟและจากด้านล่างหัวเผา ซึ่งทำให้เป็น ช่องว่างไว้ระหว่างหัวเผาภายในกับวงนอก ทั้งนี้ โดยอาศัยการถ่ายเท โมเมนตัม และแรงลอยตัวของแก๊สร้อนที่จะขยายตัวและลอยสูงขึ้น ช่วย ทำให้อากาศโดยรอบที่เย็นกว่าถูกดูดเข้ามาผสมกับเปลวไฟได้มากขึ้น และส่งผลให้การเผาไหม้สมบูรณ์ดียิ่งขึ้น เมื่อไอเสียร้อนจากการเผา ไหม้ไหลผ่าน Emitting porous medium (EP) ดังแสดงในรูปที่ 2 โดย วัสดุพรุนชนิดนี้ จะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงแก๊สร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ ให้เป็นการแผ่รังสีความร้อนสู่ Absorbing porous medium (AP) วัสดุ พรุนชนิดนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวเก็บความร้อนที่ได้จากการแผ่รังสีความ ร้อนจาก Emitting porous medium ทำให้อากาศเย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้น เป็นการอุ่นอากาศ (Preheat) ในระบบการเผาไหม้ที่มีการหมุนเวียน ความร้อนด้วยอุณหภูมิก่อนการเผาไหม้ จากหลักการดังกล่าวมีผลทำ ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สสูงขึ้น และยังช่วยลดแก๊สสูญเสียได้ด้วย

4. ผลการทดลอง

4.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนระหว่างเตาแบบต่าง ๆ

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้ทดลองระหว่าง เตาแก๊สแบบมาตรฐาน (Household cooking burner, HB) เตาที่ติดตั้ง ฝาบังลมของกระทงพลังงาน (LPG flame protector, LPG-FP) และ เตาที่ติดตั้งฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุน (Porous Radiant Recirculated Cover, PRRC) ดังแสดงในรูปที่ 3 (a) (b) และ (c) ตามลำดับ โดยในการทดลองนี้ใช้วัสดุพรุนที่ทำมาจากตาข่ายสแตนเลส (Wire mesh) ขนาด 20 Mesh/inch ตัดให้เป็นวงกลมวางซ้อนทับกัน จำนวน 4 แผ่นที่ Emitting porous medium (EP4) และ Absorbing porous medium (AP4)

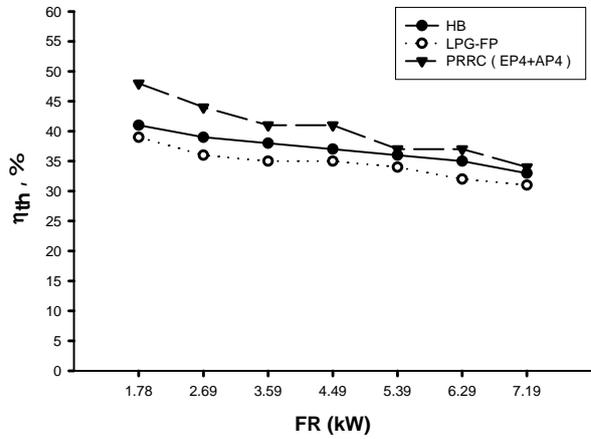


(a) (b) (c)

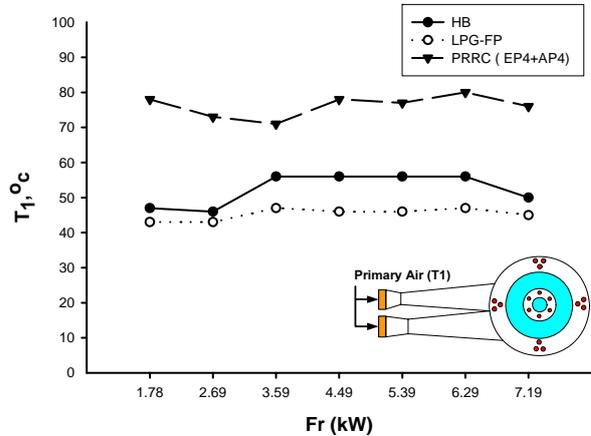
รูปที่ 3 (a) เตาแก๊สแบบมาตรฐาน (Household cooking burner, HB) (b) เตาที่ติดตั้งฝาบังลมกระทงพลังงาน (LPG-FP) และ (c) ฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุน (PRRC)

รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา แบบต่างๆ เมื่อพิจารณาเตา HB พบว่าปริมาณความร้อนที่ป้อนเข้าเตา หรือ Firing rate (FR คือ อัตราการไหลของแก๊สคูณกับค่าความร้อน

ของแก๊ส : $m'_g \times LHV_{LPG}$ สูงขึ้น η_{th} จะมีค่าลดลงโดยมีค่าสูงสุด ประมาณ 41 % ที่ Firing rate เท่ากับ 1.78 kW อันเนื่องมาจากเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้น ปริมาณความร้อนที่เพิ่มขึ้นไม่ได้นำไปใช้ ประโยชน์มากขึ้นเท่าที่ควร แต่ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนไปกับ สภาวะแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้น และจะเป็นไปในแนวทางเดียวกันสำหรับ LPG-FP และ PRRC (EP4+AP4) ดังรูป



รูปที่ 4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th} , %) ของเตาแบบต่างๆ



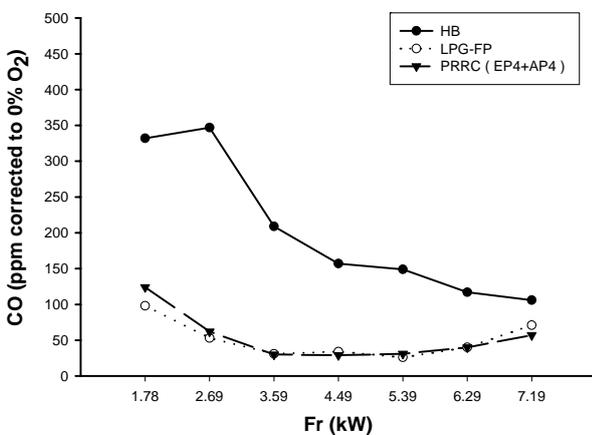
รูปที่ 5 อิทธิพลของ Firing rate ต่ออุณหภูมิ Primary air (T_1) ของเตาแบบต่างๆ

หากพิจารณา Firing rate ต่างๆ พบว่าเตาที่ติดตั้ง PRRC (EP4+AP4) จะ η_{th} สูงที่สุดโดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 48% รองลงมาคือ เตา HB และเตาที่ติดตั้ง LPG-FP โดยมี η_{th} โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 41% และ 39% ตามลำดับ เนื่องมาจากเตาที่ติดตั้ง PRRC (EP4+AP4) มีการหมุนเวียนความร้อนจากแก๊สไอเสียจึงทำให้ Primary air (T_1) มี อุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งก็คือการ Preheat อากาศก่อนเข้าไปเผาไหม้นั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งพบว่าอุณหภูมิ Primary air (T_1) ของเตาที่ติดตั้ง PRRC (EP4+AP4) จะมีอุณหภูมิสูงที่สุด เมื่อพิจารณาเตาที่ติดตั้ง LPG-FP จะพบว่า ระยะห่างระหว่างกันภาชนะและหัวเตามีระยะห่างกัน เกินไปที่ประมาณ 4 cm จึงทำให้เปลวไฟจะไม่สูงเพียงพอที่จะสัมผัสกับ

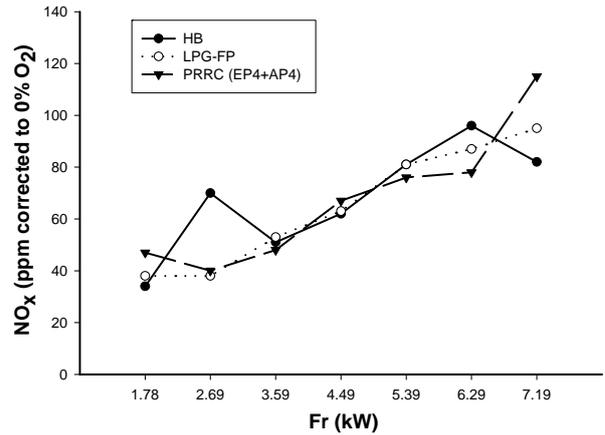
ภาชนะได้ ในขณะที่ระยะห่างระหว่างกันภาชนะกับหัวเตาของ เตา HB มีค่าประมาณ 2.5 cm นอกจากนี้ยังพบว่า อุณหภูมิ Primary air (T_1) ของเตาที่ติดตั้ง LPG-FP มีค่าต่ำกว่าเตา HB ดังแสดงในรูปที่ 5 อีกด้วย จึงส่งผลให้เตาที่ติดตั้ง LPG-FP มี η_{th} ต่ำกว่าเตา HB

รูปที่ 6 แสดงปริมาณ CO ของเตาแบบต่างๆ หากพิจารณาเตา HB จะพบว่า ปริมาณ CO จะมีค่าลดลงเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้นจึงทำให้ปริมาณ CO ลดต่ำลง เมื่อพิจารณาเตาที่ติดตั้ง PRRC (EP4+AP4) และ LPG-FP พบว่า ปริมาณ CO จะมีค่าลดลงเมื่อ Firing rate มีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่ง 3.59 kW หลังจากนั้น ปริมาณ CO จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้น แต่การติดตั้ง PRRC (EP4+AP4) และ LPG-FP จะกีดขวางการไหลของไอเสียที่ Firing rate สูงๆ และเมื่อพิจารณาปริมาณ CO ที่ Firing rate ต่างๆ พบว่า ปริมาณ CO ของเตา HB มีค่าสูงที่สุดประมาณ 350 ppm และสูงกว่า เตาที่ติดตั้ง PRRC (EP4+AP4) และ LPG-FP ซึ่งมีค่าสูงสุดประมาณ 135 ppm และ 100 ppm ตามลำดับ เนื่องจาก อุณหภูมิของ Primary air (T_1) ของเตาที่ติดตั้ง PRRC (EP4+AP4) มีค่าสูงกว่าเตา HB ดังแสดงในรูปที่ 5 จึงส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากกว่า ถึงแม้ว่าเตาที่ติดตั้ง LPG-FP จะมีอุณหภูมิของ Primary air (T_1) ต่ำกว่าเตา HB แต่เนื่องจาก ระยะห่างของกันภาชนะกับหัวเตาสูง ดังนั้นเปลวไฟจึงมีระยะเวลามากพอในการดึงดูดอากาศเพิ่มเติมเพื่อใช้ในการเผาไหม้ซึ่งจะเป็นการเผาไหม้แบบผสมกันระหว่างการเผาไหม้แบบ Premix ในช่วงแรกและเป็นการเผาไหม้แบบ Diffusion หลังจากนั้น

รูปที่ 7 แสดงปริมาณ NO_x ของเตาแบบต่างๆ เมื่อพิจารณาเตาแบบ HB พบว่า ปริมาณ NO_x จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้นจึงทำให้เกิด NO_x มากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ CO ในรูปที่ 6 และปริมาณ NO_x ของติดตั้ง PRRC (EP4+AP4) และ LPG-FP มีแนวโน้มเหมือนกัน โดยปริมาณ NO_x ของเตาทั้ง 3 แบบมีปริมาณที่ใกล้เคียงกันทุกๆ Firing rate ดังรูป



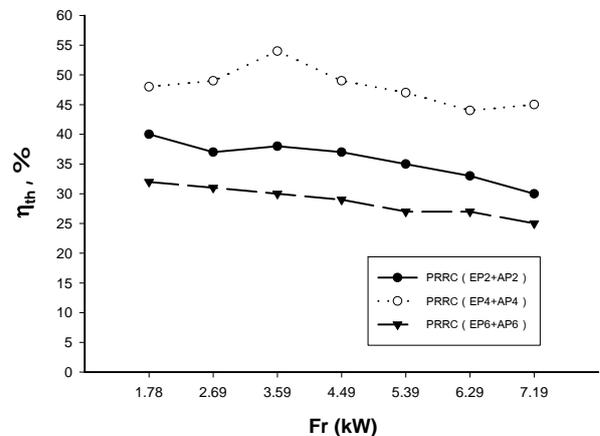
รูปที่ 6 ปริมาณ CO ของเตาแบบต่างๆ



รูปที่ 7 ปริมาณ NO_x ของเตาแบบต่างๆ

4.2 อิทธิพลของวัสดุพอรุนต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน

รูปที่ 8 แผ่น ที่ Emitting porous medium และ Absorbing porous medium เมื่อพิจารณาเตาที่ติดตั้ง PRRC (EP2+AP2) พบว่า η_{th} จะมีค่าลดลงเล็กน้อยค่อนข้างคงที่เมื่อ Firing rate เพิ่มสูงขึ้น อันเนื่องมาจากเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้น ปริมาณความร้อนที่เพิ่มขึ้นไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์มากขึ้นเท่าที่ควร แต่ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนไปกับสภาวะแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้น และเป็นไปในแนวทางเดียวกันสำหรับการติดตั้ง PRRC (EP4+AP4) และ (EP6+AP6) ดังรูป

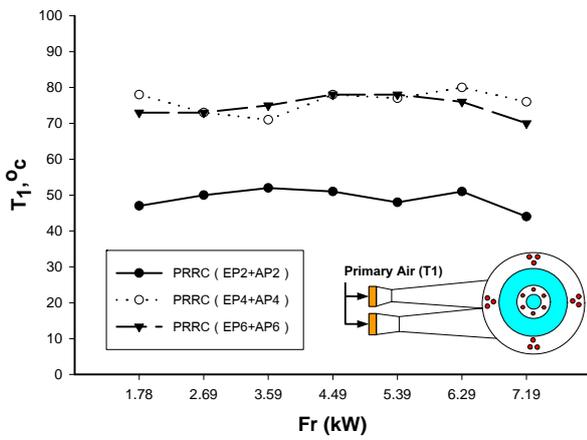


แสดงอิทธิพลของวัสดุพอรุนต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th} , %) โดยทำการเปรียบเทียบการติดตั้งตาข่ายสแตนเลส (wire mesh) ขนาด 20 Mesh/inch วางซ้อนทับกันที่ Emitting porous medium และ Absorbing porous medium เป็นจำนวน 2, 4 และ 6 แผ่น ซึ่งเตาที่ติดตั้ง PRRC (EP2+AP2) คือ มีการติดตั้ง wire mesh จำนวน 2

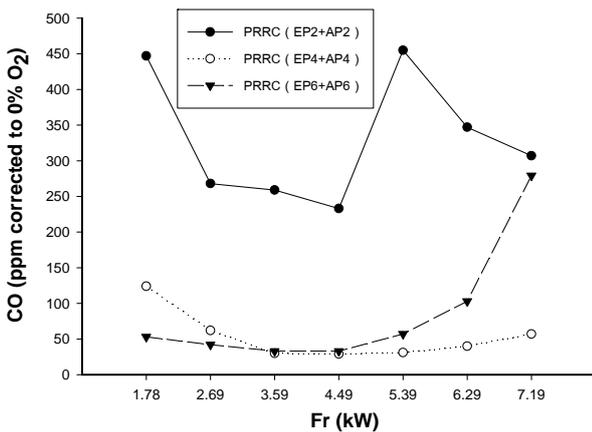
รูปที่ 8 อิทธิพลของวัสดุพอรุนต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th} , %) ของเตาที่ติดตั้ง PRRC กรณีต่างๆ

หากพิจารณา Firing rate ต่างๆ พบว่าเตาที่ติดตั้ง PRRC (EP4+AP4) จะ η_{th} สูงที่สุดโดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 48% รองลงมาคือ

การติดตั้ง PRRC (EP2+AP2) และ PRRC (EP6+AP6) โดยมี η_{th} โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 38% และ 32% ตามลำดับ เนื่องจากการติดตั้งวัสดุพูนจำนวน 4 แผ่นที่ EP และ AP จะส่งผลให้เกิดการหมุนเวียนความร้อนที่เหมาะสมที่สุดจึงทำให้เกิดการ Preheat อากาศ Primary air (T_1) สูงที่สุดที่ประมาณ 80 °C ดังแสดงในรูปที่ 9 อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่า อุณหภูมิ Primary air (T_1) ของการติดตั้ง PRRC (EP6+AP6) จะมีค่าสูงกว่าการติดตั้ง PRRC (EP2+AP2) แต่กลับไม่ทำให้ η_{th} สูงขึ้น อาจเนื่องมาจากความหนาที่มากขึ้นส่งผลให้ปริมาณ Primary air ที่ไหลผ่าน AP มีปริมาณน้อยลง จึงทำให้ปริมาณ Secondary air ที่ไม่ได้รับความร้อนจาก AP เข้าไปเผาไหม้มากขึ้น ซึ่งทำให้ผลของ Preheat ที่ Primary air ไม่ได้มีผลกับ η_{th} แต่กลับเป็น Secondary air ที่ไม่ได้รับความร้อนจึงส่งผลให้ η_{th} มีค่าต่ำลง



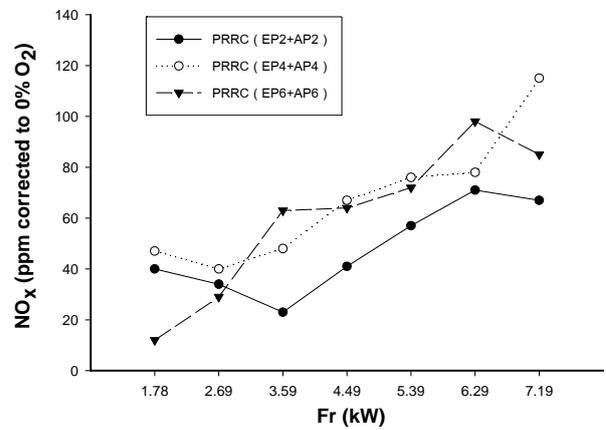
รูปที่ 9 อิทธิพลของ Firing rate ต่ออุณหภูมิ Primary air (T_1) ของเตาที่ติดตั้ง PRRC กรณีต่างๆ



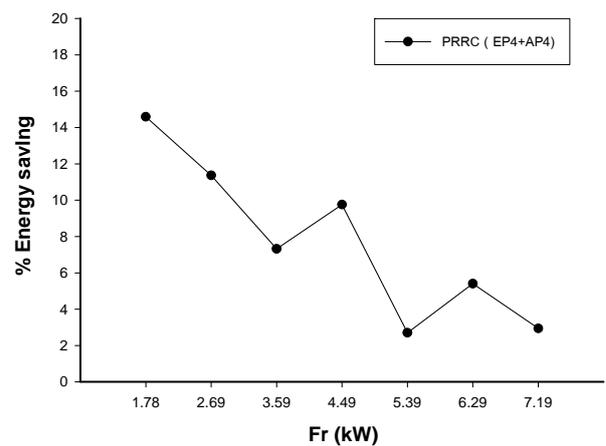
รูปที่ 10 ปริมาณ CO ของเตาที่ติดตั้ง PRRC แบบต่างๆ

รูปที่ 10 แสดงปริมาณ CO ของเตาที่ติดตั้ง PRRC แบบต่างๆ เมื่อพิจารณาเตาที่ติดตั้ง PRRC (EP2+AP2) พบว่า ปริมาณ CO มีค่าลดลงเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้นจนกระทั่ง Firing rate เท่ากับ 4.49 kW ซึ่งเมื่อ Firing rate เพิ่มมากขึ้น ปริมาณ CO ก็จะมีปริมาณมากขึ้น อาจเนื่องมาจากเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้นจนกระทั่ง 4.49 kW มีการเผาไหม้

ที่สมบูรณ์มากขึ้น แต่เมื่อ Firing rate สูงกว่า 4.49 kW อาจเกิดการกีดขวางการไหลของแก๊สไอเสียจึงอาจทำให้มีปริมาณแก๊สไอเสียตกค้างและเข้าไปผสมกับอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ และปริมาณของ CO ของกรณีเตาที่ติดตั้ง PRRC (EP4+AP4) และ (EP6+AP6) ก็มีแนวโน้มเดียวกัน หากพิจารณาที่ Firing rate ต่ำกว่า 4.49 kW พบว่า ปริมาณ CO ของกรณีเตาที่ติดตั้ง PRRC (EP2+AP2) มีค่าสูงสุด รองลงมาคือกรณีเตาที่ติดตั้ง PRRC (EP4+AP4) และ (EP6+AP6) ซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับประมาณ 450 ppm, 130 ppm และ 50 ppm ตามลำดับ แต่หากพิจารณาที่ Firing rate สูงกว่า 4.49 kW พบว่า ปริมาณ CO กรณีเตาที่ติดตั้ง PRRC (EP2+AP2) มีค่าสูงสุดประมาณ 450 ppm รองลงมาคือ กรณีเตาที่ติดตั้ง PRRC (EP4+AP4) และ (EP6+AP6) ซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับประมาณ 280 ppm และ 50 ppm ตามลำดับ ซึ่งต่างจาก Firing rate ต่ำกว่า 4.49 kW อาจเนื่องมาจาก เมื่อ Firing rate สูงขึ้น การติดตั้งวัสดุพูนที่มีความหนาเพิ่มขึ้นจะกีดขวางการระบายแก๊สไอเสีย จึงทำให้เกิดไอเสียตกค้างและแก๊สไอเสียดังกล่าวอาจเข้าไปผสมกับอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ซึ่งทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ต่ำลง



รูปที่ 11 ปริมาณ NOx ของเตาที่ติดตั้ง PRRC แบบต่างๆ



รูปที่ 12 การประหยัดพลังงานของเตาที่ติดตั้ง PRRC (EP4+AP4) กับเตา HB

รูปที่ 11 แสดงปริมาณ NOx ของเตาที่ติดตั้ง PRRC แบบต่างๆ เมื่อพิจารณาเตาที่ติดตั้ง PRRC (EP2+AP2) พบว่า ปริมาณ NOx จะมี

ค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้นทำให้ปริมาณ NO_x มีค่าสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ CO ในรูปที่ 10 และปริมาณ NO_x ของติดตั้ง PRRC (EP4+AP4) และ PRRC (EP6+AP6) มีแนวโน้มแนวก้น โดยปริมาณ NO_x ของเตาทั้ง 3 แบบมีปริมาณที่ใกล้เคียงกันทุกๆ Firing rate ดังรูป

รูปที่ 12 แสดงการประหยัดพลังงาน (% Energy saving) ของเตาที่ติดตั้ง PRRC (EP4+AP4) กับเตา HB โดยการคำนวณจากสมการที่ (2) ในที่นี้ไม่ได้แสดงการประหยัดของเตาที่มีการติดตั้ง LPG-FP และเตาที่ติดตั้ง PRRC (EP2+AP2) และ PRRC (EP6+AP6) เนื่องจากว่ามีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าเตา HB จากรูปที่ 12 พบว่า การประหยัดสูงสุดของเตาที่มีการติดตั้ง PRRC (EP4+AP4) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 14.58 % และการประหยัดจะลดลงเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้น เนื่องจากการสูญเสียความร้อนของเปลวไฟเพิ่มสูงขึ้น

4. สรุป

จากการศึกษาทดสอบโดยใช้หลักการ Boiling test ตามมาตรฐาน มอก. 2312-2549 สามารถสรุปได้ดังนี้

4.1 จากการออกแบบสร้างฝาคกรอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุน (Porous Radiant Recirculated Burner, PRRB) ที่นำมาประยุกต์ใช้ ติดตั้งกับเตาแก๊สห้องต้มในครัวเรือน ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 2312-2549 พบว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ส HB จากเดิมสูงสุด 41 % เพิ่มเป็นสูงสุด 48 % คิดเป็น Energy saving สูงสุดเท่ากับ 14.58 %

4.2 เตาที่มีการติดตั้ง PRRC (EP4+AP4) ทำให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 48 % เมื่อเปรียบเทียบกับการติดตั้ง PRRC (EP2+AP2) และ PRRC (EP6+AP6) ซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 38 % และ 32 % ตามลำดับ

4.3 เนื่องจากการติดตั้ง PRRC (EP4+AP4) ที่เหมาะสม จึงทำให้ปริมาณ CO และ NO_x มีค่าสูงสุดไม่เกิน 124 ppm และ 120 ppm ซึ่งมีปริมาณต่ำมาก ในขณะที่ปริมาณ CO ของ HB เตาที่ติดตั้ง LPB-FP เตาที่ติดตั้ง PRRC (EP2+AP2) และ PRRC (EP6+AP6) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 347 ppm, 140 ppm, 450 ppm และ 280 ppm ตามลำดับ และมีปริมาณ NO_x เท่ากับ 90 ppm, 120 ppm, 80 ppm และ 100 ppm ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (สนพ.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณ ดร.บัณฑิต กฤตาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่อง Exhaust gas analyzer และคำแนะนำ ขอขอบคุณ นายมหิตล สารีบุตร และนายวิษณุ สารทอง นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ช่วยเหลือในการทำการทดลองและรวบรวมข้อมูล รวมถึงขอขอบคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีทุกท่านที่ให้คำแนะนำเสนอแนะ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, ข้อมูลพลังงาน (Energy Database), Available online: 2547. <http://www.eppo.go.th/infor/index.html>
- [2] Dong, L.L., Cheung, C.S. and Leung, C.W. Heat Transfer from an Impinging Premixed Butane/Air Slot Flame Jets, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 45, pp.979-992, 2002.
- [3] Jugjai, S. and Sanijai, S., Parametric Studies of Thermal Efficiency in a Proposed Porous Radiant Recirculated Burner (PRRB) : A Design Concept for the Future Burner, Proceedings of RERIC International Energy Journal, Vol. 18, pp. 97-111, 1996.
- [4] ณัฐภูมิ รังสิมันตุชาติ, การประยุกต์ใช้วัสดุพรุนเพื่อการประหยัดพลังงานในเตาแก๊สห้องต้ม, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544.
- [5] วสันต์ โยคเสนะกุล, หัวเผาเชื้อเพลิงแก๊สที่มีการหมุนเวียนความร้อนและการไหลแบบหมุนวน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548.
- [6] จารุณี จาบกลาง, การพัฒนาเตาแก๊สห้องต้มประสิทธิภาพสูงชนิดมีการหมุนเวียนความร้อน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 1-104, 2549.
- [7] จรินทร์ เจนจิตต์ และอนิรุตต์ มัทธจักร์ “การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สห้องต้มในครัวเรือนโดยฝาคกรอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุน,” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, 4 – 7 พฤศจิกายน, จังหวัดเชียงใหม่, หน้า 7, 2552.
- [8] Weinberg, F. Heat-Recirculation Burners: Principles and Some Recent Developments, Combustion Science and Technology, Vol. 121, pp. 3-22, 1996.
- [9] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (Thai Industrial Standard, TIS) มอก. 2312-2549: เตาห้องต้มในครัวเรือนใช้กับก๊าซปิโตรเลียมเหลว, เล่ม 126 (ตอนพิเศษ 40ง) , 2550.
- [10] กระทรวงพลังงาน, เอกสารเผยแพร่: ฝาคกรอบแก๊สประสิทธิภาพสูง, 2551.