

การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน โดยการใช้วัสดุพรุน

Improvement of the Thermal Efficiency of a Household Cooking Burner Using a Porous Medium

จรินทร์ เจนจิตต์ และ อนิรุตต์ มัทธูจักษ์*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

*Email: Anirut.Mat@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th}) ของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2312-2549 โดยทำการออกแบบและสร้างฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุน (Porous Radiant Recirculated Cover, PRRC) โดยอาศัยหลักการการหมุนเวียนความร้อนภายในวัสดุพรุนมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบกับเตาแก๊สหุงต้มที่ได้รับการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยใช้ฝาบังลมของกระทรวงพลังงานและเตาแก๊สหุงต้มมาตรฐาน นอกจากนี้ยังศึกษาอิทธิพลของวัสดุพรุนที่ติดตั้งใน PRRC และศึกษาอิทธิพลของการติดตั้ง Emitting porous medium (EP) และ Absorbing porous medium (AP) ต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้ม รวมถึงตรวจวัดมลพิษที่เกิดขึ้นอีกด้วย จากการทดสอบพบว่า เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนทั่วไปมีค่า η_{th} สูงสุดร้อยละ 41 ขณะที่เตาแก๊สที่ติดตั้งฝาบังลมของกระทรวงพลังงานมีค่า η_{th} สูงสุดร้อยละ 39 และเตาแก๊สที่ติดตั้ง PRRC(EP4+AP4) มีค่า η_{th} สูงสุดร้อยละ 48 ซึ่งคิดเป็นการประหยัดร้อยละ 14.58 และพบว่า การติดตั้งวัสดุพรุนใน PRRC จากเดิม PRRC(EP4+AP4) เป็น PRRC(EP2+ AP2) และ PRRC(EP6+ AP6) ทำให้ η_{th} สูงสุดมีค่าลดลงเป็นร้อยละ 44 และ 32 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า การติดตั้ง EP เพียงอย่างเดียว (PRRC(EP4+AP0)) ทำให้ η_{th} มีค่าสูงขึ้นเป็นร้อยละ 55 คิดเป็นการประหยัดร้อยละ 30.19 และยังส่งผลให้มีการปลดปล่อยมลพิษต่ำลง โดยมีปริมาณ CO และ NO_x มีค่าสูงสุดไม่เกิน 320 ppm และ 120 ppm ตามลำดับ

คำสำคัญ : เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุน

Abstract

The purpose of this study was to improve the thermal efficiency (η_{th}) of a household cooking burner (HB) based on Thai Industrial Standard 2312-2549. A porous radiant recirculated cover (PRRC) was designed and manufactured based on heat-recirculating combustion in a porous medium. 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 were compared. The effect of the porous medium installed in PRRC, the effect of emitting porous medium (EP), and the effect of absorbing porous medium (AP) on the thermal efficiency of a household cooking burner were investigated. The emissions from each burner were also revealed. 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. This represents an energy saving of 14.58%. The modification of porous medium installed in PRRC from PRRC (EP4+ AP4) to PRRC (EP2+ AP2) and PRRC (EP6+ AP6) affected the thermal efficiency, causing a decrease 44% and 32% respectively. The installation of only emitting porous

medium [PRRC (EP4+AP0)] resulted in the highest thermal efficiency of 55%, an energy saving of 30.19%. Emission was not more than 320 ppm for CO and 120 ppm for NO_x.

Keywords: Household cooking burner, Thermal efficiency, Porous radiant recirculated cover

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 ซึ่งจากปัญหาวิกฤติด้านพลังงานดังกล่าวข้างต้น 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] ได้ปรับปรุงเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือนทั่วไปให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น โดยใช้หลักการหมุนเวียนความร้อนจากไอเสียนำไปอุ่นอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ (Preheat) จากหลักการนี้เองทำให้เกิดการคิดค้นเตาดันแบบเตาแก๊สประสิทธิภาพสูง (Porous Radiant Recirculated Burner, PRRB) แต่เนื่องจากหัวเตาแก๊สที่ใช้อยู่เป็นหัวเตาขนาด

เล็กไม่เหมาะสมกับการใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ดังนั้น ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ [4] จึงได้วิจัยเตาแก๊สขนาด KB-10 พบว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้นได้โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 12 คิดเป็นอัตราการประหยัดโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 30 เมื่อเปรียบเทียบกับเตา KB-10 ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป และได้ปรับปรุงหัวเผาให้เปลวไฟที่พุ่งออก (Conventional burner, CB) ให้มีลักษณะเป็นแบบหมุนวนเข้าสู่ศูนย์กลาง (Swirl burner, SB) พบว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้นได้โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 20 เมื่อเปรียบเทียบกับเตาแก๊สแบบ Swirl burner ที่ยังไม่ได้มีการประกอบเข้ากับโครงสร้างที่ออกแบบไว้ (Porous Radiant Recirculated Burner, PRRB) และเมื่อเปรียบเทียบกับเตา KB-10 ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป พบว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้นได้โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 30 และคิดเป็นอัตราการประหยัดโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 51

ต่อมา วสันต์ โยคเสนะกุล [5] ได้นำแนวทางจาก ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ มาศึกษาและวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับระยะห่างระหว่างหัวเตาแก๊สกับภาชนะ ตำแหน่งที่เหมาะสมของหัวฉีดแก๊สที่อยู่ในเตาแก๊สหุงต้ม จากการศึกษาพบว่า หัวเผาแบบทั่วไป (Conventional burner, CB) มีระยะห่างระหว่างหัวเผากับภาชนะ (H) ที่เหมาะสมอยู่ที่ 63.5 mm (2.5 in) ในทุกๆ รูปร่างภาชนะ และเมื่อเปลี่ยนเป็น PRRB(SB) ซึ่งมีระยะความสูง (H) ของแต่ละภาชนะไม่เท่ากัน เนื่องจากอิทธิพลของการหมุนเวียนความร้อน

จารุณี จาบกลาง [6] ได้ศึกษาลักษณะคล้ายของ วสันต์ โยคเสนะกุล โดยได้ทำการพัฒนาเตาแก๊ส KB-5 ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นโดยแบ่งการพัฒนาออกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกจะทำการพัฒนาหัวเผาจากแบบทั่วไป (Conventional burner, CB) ซึ่งมีเปลวไฟไหลตามรัศมีมาเป็นแบบหมุนวน (Swirl burner, SB) ซึ่งจะให้ลักษณะของเปลวไฟหมุนวนเข้าสู่ศูนย์กลาง ส่วนที่สองทำการพัฒนาอีกชั้นหนึ่งคือ นำเตาแก๊ส KB-5 มาใช้ควบคู่กับ PRRB (Porous Radiant Recirculated Burner) โดยอาศัยหลักการหมุนเวียนความร้อนจากไอเสียมาอุ่นอากาศส่วน

แรกก่อนเผาไหม้ พบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตาเฉลี่ยร้อยละ 60 คิดเป็นการประหยัดร้อยละ 38 เมื่อเทียบกับเตาที่ใช้กันอยู่ทั่วไป

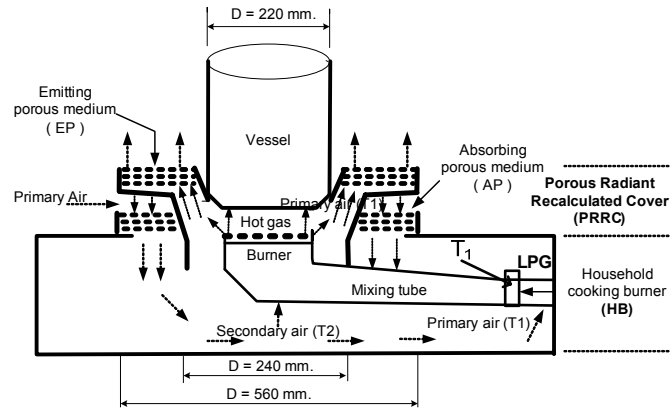
จากการวิจัยที่ผ่านมา พบว่า การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มได้ให้ความสนใจเฉพาะเตาแรงดันสูงคือ KB-5 และ KB-10 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเตา 5 นิ้ว และ 10 นิ้ว ตามลำดับ ซึ่งเป็นเตาแก๊สที่มีปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจีสูงกว่า 5.78 kW ต่อหัวเตาและการพัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนดังกล่าว เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ อาทิ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเตาที่ใช้งานอยู่เดิมและขีดจำกัดด้านการใช้งานจริงร่วมกับภาชนะต่างๆ เป็นต้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2312-2549 [7] ที่มีปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจีสูงสุดไม่เกิน 5.78 kW ต่อหัวเตา โดยนำหลักการหมุนเวียนความร้อน [8] มาประยุกต์ใช้ โดยการออกแบบ สร้างและทดสอบฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุน (Porous Radiant Recirculated Cover, PRRC) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2312-2549 และทำการเปรียบเทียบกับฝาบังลมของกระทรวงพลังงาน [9] นอกจากนี้ยังให้ความสนใจถึง อิทธิพลของวัสดุพรุนที่ติดตั้งภายใน PRRC อิทธิพลการติดตั้ง Emitting porous medium (EP) และ Absorbing porous medium (AP) ภายใน PRRC ต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนและการปลดปล่อยมลพิษอีกด้วย

2. หลักการทำงานของฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุน (Porous Radiant Recirculated Cover, PRRC)

การออกแบบฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุน (Porous Radiant Recirculated Cover, PRRC) นั้น อาศัยหลักการการหมุนเวียนความร้อน [9] และการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุพรุน [10] จากแนวทางในการออกแบบโดยอาศัยหลักการดังกล่าว จึงทำให้เกิดการหมุนเวียนความร้อนภายใน PRRC ดังแสดงในภาพที่ 1 จากภาพสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ซึ่งสามารถแยกชิ้นส่วนออกจากกันได้ คือ ส่วนล่างจะเป็นเตาแก๊สหุงต้มแอลพีจีในครัวเรือนมาตรฐาน (Household cooking burner, HB) ทั่วไป และส่วนบนเป็นฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุน (Porous Radiant Recirculated Cover, PRRC)

เมื่อแก๊สความดันต่ำที่ใช้งานปกติถูกพ่นออกจากรูพ่นแก๊สเข้าไปในท่อผสม อากาศส่วนแรก (Primary air) ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงจะถูกชักนำผ่านช่องอากาศส่วนแรก เข้าไปในท่อผสมพร้อมๆ กับแก๊ส โดยอาศัยหลักการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างแก๊สและอากาศโดยรอบ ด้วยวิธีการดังกล่าว อากาศส่วนแรกจะมีค่าประมาณ 50 – 70 % ของปริมาณอากาศที่จำเป็นเพื่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ จากนั้นส่วนผสมของอากาศส่วนแรกและแก๊สจะไหลผ่านรูพ่นแก๊ส และถูกจุดประกายไฟด้วยวิธีที่เหมาะสม เช่น ใช้เปลวล่อ (Pilot flame) หรือการ spark ทำให้เกิดการเผาไหม้กลายเป็นพลังงานความร้อน ในขณะที่เดียวกันอากาศส่วนที่สอง (Secondary air) จะถูกชักนำเข้ามาจากด้านข้างเปลวไฟและจากด้านล่างหัวเตา ซึ่งทำให้เป็นช่องว่างไว้ระหว่างหัวเตาในกับวงนอก ทั้งนี้โดยอาศัยการถ่ายเทโมเมนตัมและแรงลอยตัวของแก๊สร้อนที่จะขยายตัวและลอยสูงขึ้น ช่วยทำให้อากาศโดยรอบที่เย็นกว่าถูกดูดเข้ามาผสมกับเปลวไฟได้มากขึ้นและส่งผลให้การเผาไหม้สมบูรณ์ดียิ่งขึ้น



ภาพที่ 1 การติดตั้งฝาคอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุน (Porous Radiant Recirculated Cover, PRRC)

เมื่อไอเสียร้อนจากการเผาไหม้ไหลผ่าน Emitting porous medium (EP) ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งวัสดุพรุนชุดนี้ จะทำหน้าที่ดูดซับพลังงานความร้อนจากแก๊สร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ให้เป็นการแผ่รังสีความร้อนผ่านแผ่นกั้นสู่ Absorbing porous medium (AP) วัสดุพรุนชุดนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวเก็บความร้อนที่ได้จากการแผ่รังสีความร้อนจาก Emitting porous medium เมื่อเตาแก๊สดูดอากาศส่วนแรก (Primary air) ซึ่งในขั้นตอนนี้จะบังคับให้อากาศเย็นไหลผ่านด้านบนของ Absorbing porous medium (AP) จึงเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้อากาศเย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้น กลายเป็นอากาศร้อนและไหลเข้าสู่ห้องอุ่นอากาศ (Preheat) ซึ่งจากหลักการดังกล่าวมีผลทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สสูงขึ้น และยังช่วยลดแก๊สที่สูญเสียด้วย

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ทดลอง

ภาพที่ 2 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 2312-2549 (Thai Industrial Standard, TIS) เพื่อใช้ในการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th}) ซึ่งประกอบไปด้วย

1. เตาแก๊สเหล็กไฟลุ่มรุ่น AT-502 แบบหัวเดี่ยว
2. Porous Radiant Recirculated Cover (PRRC)
3. Gas flow meter (Nitto รุ่น K-2012)
4. ภาชนะที่ใช้ในการทดสอบ
5. U-tube manometer

6. อุปกรณ์ดักแก๊สไอเสีย
7. ถังแก๊สและหัวปรับความดัน
8. Exhaust gas analyzer (Testo รุ่น 350 - XL)
9. Data logger และ Thermocouple type K
10. คอมพิวเตอร์



ภาพที่ 2 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2 การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th})

การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการศึกษานี้ อ้างอิงการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 2312-2549 [7] โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนหาได้จากค่าความร้อนสัมผัสที่น้ำได้รับต่อพลังงานความร้อนที่ใช้ ซึ่งการทดสอบดังกล่าวใช้หลักการ Boiling test โดยมีรายละเอียดการทดสอบ คือ ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบดังภาพที่ 2 ให้เรียบร้อย วางหม้ออะลูมิเนียมทดสอบบนเตาแก๊สแล้วเปิดเตาแก๊ส เปิดเตาในอัตราการไหลแก๊สสูงสุดเป็นเวลา 15 นาที เพื่ออุ่นเตาแก๊ส จากนั้นปิดเตาแล้วเปลี่ยนหม้อทดสอบซึ่งมีขนาดของหม้อทดสอบและมวลน้ำตามมาตรฐาน มอก.

2312-2549 ให้เสรีภายใน 3 นาที วางหม้อทดสอบและเปิดเตาโดยปรับอัตราการไหลของแก๊สที่ Gas flow meter ตามสภาวะที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นต้มจนน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากอุณหภูมิเริ่มต้น เริ่มกวนน้ำด้วยก้านกวนจนอุณหภูมิสูงขึ้นจากเริ่มต้นเป็น 50 °C ให้ปิดแก๊สและกวนต่อไปจนได้อุณหภูมิที่ 90 °C วัดค่าการใช้แก๊สระหว่างการทดสอบและค่าต่างๆ บันทึกผล นำค่าที่ได้จากการทดสอบแทนลงในสูตรการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th}) ดังสมการที่ 1

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

เมื่อ

η_{th} คือ Thermal efficiency (%)

m คือ มวลของน้ำที่ใช้ในการทดสอบ (kg)

C คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.186×10^{-3}

MJ/kg·K)

t_1 คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำก่อนทดสอบ (°C)

t_2 คือ อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำหลังทดสอบ (°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 ความดันของไอน้ำอัมที่ t_g °C (kPa)

วิธีการนี้จะได้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของหัวเตาหุงต้มจริงต้องมีการอุ่นเตาให้ร้อนก่อนการทดสอบทุกครั้ง ซึ่งสามารถลดความร้อนที่

สูญเสียให้กับอุปกรณ์ประกอบเตา เช่น ท่อผสม ฐานตั้ง ภาชนะ ฯลฯ ให้น้อยลง

3.3 การประหยัดพลังงาน (% Energy saving)

การประหยัดพลังงานของเตาแก๊สหุงต้มสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 คือ

$$\% \text{ Energysaving} = \frac{\eta_{th,2} - \eta_{th,1}}{\eta_{th,2}} \% \quad (2)$$

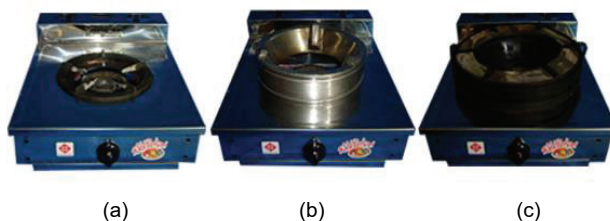
เมื่อ $\eta_{th,1}$ คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาตัวที่ 1 %, (เตา HB)

$\eta_{th,2}$ คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาตัวที่ 2 %, (เตาที่ติดตั้ง PRRC)

4. ผลการทดลอง

4.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนระหว่างเตาแบบต่างๆ

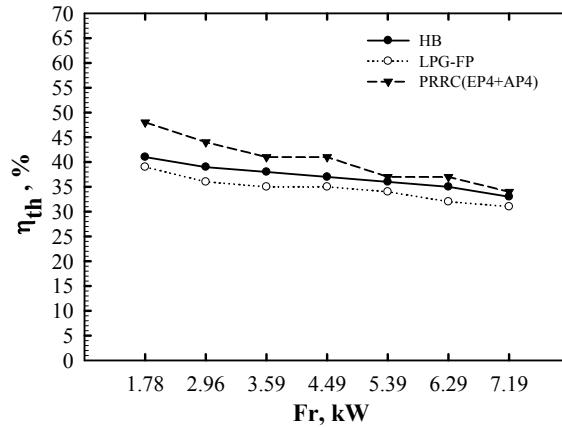
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้ทดลองระหว่างเตาแก๊สแบบมาตรฐาน (Household cooking burner, HB) เตาที่ติดตั้งฝาบังลมกระทวงพลังงาน (LPG flame protector, LPG-FP) และเตาที่ติดตั้งฝาครอบชนิดวัสดุพรุน (Porous Radiant Recirculated Cover, PRRC) ซึ่งแสดงในภาพที่ 3 (a), (b) และ (c) ตามลำดับ โดยในการทดลองใช้วัสดุพรุนที่ทำมาจากตาข่ายสแตนเลส (wire mesh) ขนาด 20 mesh/inch คิดเป็น Porosity เท่ากับ 0.76 ตัดให้เป็นวงแหวนวางซ้อนทับกันจำนวน 4 แผ่นที่ Emitting porous medium และ Absorbing porous medium (PRRC(EP4+ AP4))



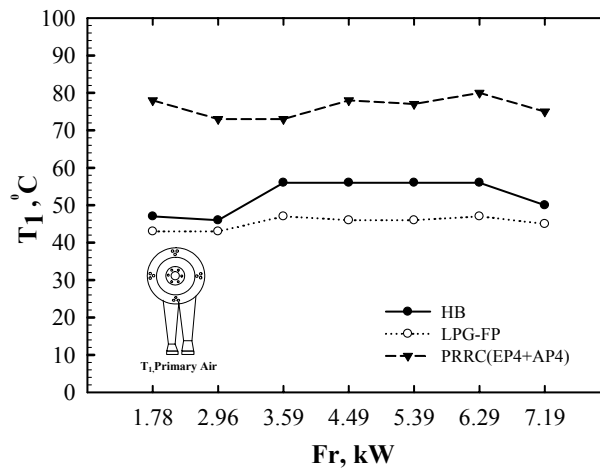
ภาพที่ 3 (a) เตาแก๊สแบบมาตรฐาน (Household cooking burner, HB) (b) เตาที่ติดตั้งฝาบังลมกระทวงพลังงาน (LPG-FP) และ (c) ฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุน (PRRC(EP4+AP4))

ภาพที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแบบต่างๆ เมื่อพิจารณาเตา HB พบว่าเมื่อปริมาณความร้อนที่ป้อนเข้าเตาหรือ Firing rate (Fr) คือ อัตราการไหลของแก๊สคูณกับค่าความร้อนของแก๊ส : $\dot{m}_g \times LHV_{LPG}$ จะมีค่าลดลงโดยมีค่าสูงสุดประมาณ 41 %

ที่ Firing rate เท่ากับ 1.78 kW อันเนื่องมาจากเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้น ปริมาณความร้อนที่เพิ่มขึ้นไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์มากขึ้นเท่าที่ควร แต่ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนไปกับสภาวะแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้น และเป็นไปในแนวทางเดียวกันสำหรับ LPG-FP และ PRRC(EP4+AP4) ดังภาพ



ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th} , %) ของเตาแบบต่างๆ

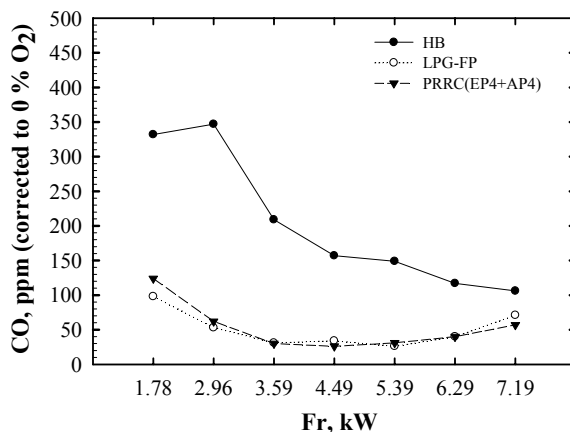


ภาพที่ 5 อิทธิพลของ Firing rate ต่ออุณหภูมิ Primaryair (T₁) ของเตาแบบต่างๆ

หากพิจารณา Firing rate ต่างๆ พบว่า เตาที่ติดตั้ง PRRC(EP4+AP4) จะมีค่า η_{th} สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 48% รองลงมาคือ เตา HB และเตาที่ติดตั้ง LPG-FP โดยมีค่า η_{th} สูงสุดเท่ากับ 41% และ 39% ตามลำดับ เนื่องจากเตาที่ติดตั้ง PRRC(EP4+AP4) มีการหมุนเวียนความร้อนจากแก๊สไอเสียจึงทำให้ Primary air (T₁) (ทำการวัดที่บริเวณทางเข้า Mixing tube ดังแสดงในภาพที่ 1) มี

อุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งนั่นก็ถือเป็นการ Preheat อากาศก่อนเข้าไปเผาไหม้มันเอง ดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งพบว่า อุณหภูมิ Primary air (T₁) ของเตาที่ติดตั้ง PRRC(EP4+AP4) มีค่าสูงที่สุด เมื่อพิจารณาเตาที่ติดตั้ง LPG-FP พบว่า ระยะห่างระหว่างกันภาชนะและหัวเตามีระยะห่างกันเกินไปประมาณ 4 cm ซึ่งเปลวไฟไม่สูงเพียงพอที่จะสัมผัสกันภาชนะได้ ในขณะที่ระยะห่างระหว่างกันภาชนะกับหัวเตา

HB มีค่าประมาณ 2.5 cm นอกจากนี้ยังพบว่า อุณหภูมิ HB ดังแสดงในภาพที่ 5 อีกด้วย จึงส่งผลให้เตาที่ติดตั้ง Primary air (T_1) ของเตาที่ติดตั้ง LPG-FP มีค่าต่ำกว่าเตา LPG-FP มีค่า η_{th} ต่ำกว่าเตา HB

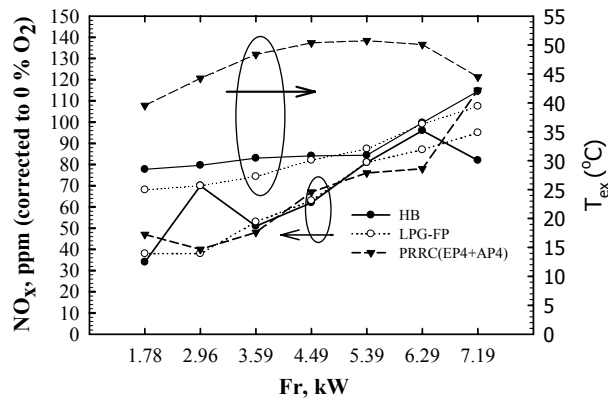


ภาพที่ 6 ปริมาณ CO ของเตาแบบต่างๆ

ภาพที่ 6 แสดงปริมาณ CO ของเตาแบบต่างๆ หากพิจารณาเตา HB พบว่า ปริมาณ CO จะมีค่าลดลงเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้นจึงทำให้ปริมาณ CO ลดต่ำลง เมื่อพิจารณาเตาที่ติดตั้ง PRRC(EP4+AP4) และ LPG-FP พบว่า ปริมาณ CO มีค่าลดลงเมื่อ Firing rate มีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่ง 3.59 kW หลังจากนั้น ปริมาณ CO จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้น แต่การติดตั้ง PRRC(EP4+AP4) และ LPG-FP จะกีดขวางการไหลของไอเสีย

เมื่อพิจารณาปริมาณ CO ที่ Firing rate ต่างๆ พบว่า ปริมาณ CO ของเตา HB มีค่าสูงสุดประมาณ 350 ppm และสูงกว่า เตาที่ติดตั้ง PRRC(EP4+AP4) และ LPG-FP

ซึ่งมีค่าสูงสุดประมาณ 135 ppm และ 100 ppm ตามลำดับ เนื่องมาจาก อุณหภูมิของ Primary air (T_1) ของเตาที่ติดตั้ง PRRC(EP4+AP4) มีค่าสูงกว่าเตา HB ดังแสดงในภาพที่ 5 จึงส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากกว่า ถึงแม้ว่าเตาที่ติดตั้ง LPG-FP จะมีอุณหภูมิของ Primary air (T_1) ต่ำกว่าเตา HB แต่เนื่องจากระยะห่างของกันภายในกับหัวเตาสูง ดังนั้นเปลวไฟจึงมีระยะเวลาพักพอในการดึงดูอากาศเพิ่มเติมเพื่อใช้ในการเผาไหม้ซึ่งจะเป็นการเผาไหม้แบบผสมกันระหว่างการเผาไหม้แบบ Premix ในช่วงแรกและเป็นการเผาไหม้แบบ Diffusion ในลำดับต่อมา



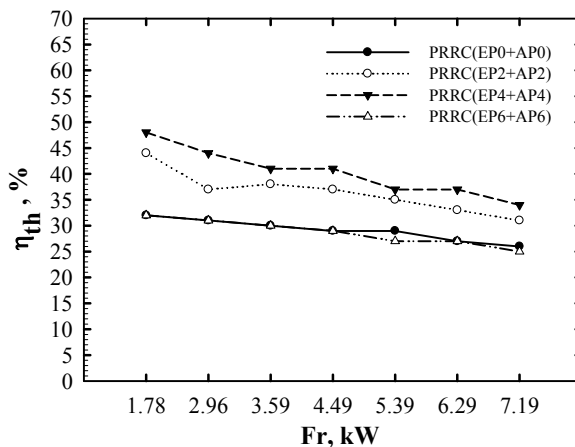
ภาพที่ 7 ปริมาณ NO_x และอุณหภูมิแก๊สไอเสีย (T_{ex}) ของเตาแบบต่างๆ

ภาพที่ 7 แสดงปริมาณ NO_x ของเตาแบบต่างๆ เมื่อพิจารณาเตาแบบ HB พบว่า ปริมาณ NO_x มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้นซึ่งสามารถยืนยันได้จากอุณหภูมิของแก๊สไอเสียที่เพิ่มสูงขึ้นจึงทำให้เกิด NO_x มากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ CO ในภาพที่ 6 และปริมาณ NO_x ของติดตั้ง PRRC(EP4+AP4) และ LPG-FP มีแนวโน้มคล้ายกัน โดยปริมาณ NO_x ของเตาทั้ง 3 แบบมีปริมาณที่ใกล้เคียงกันทุกๆ Firing rate ดังภาพ

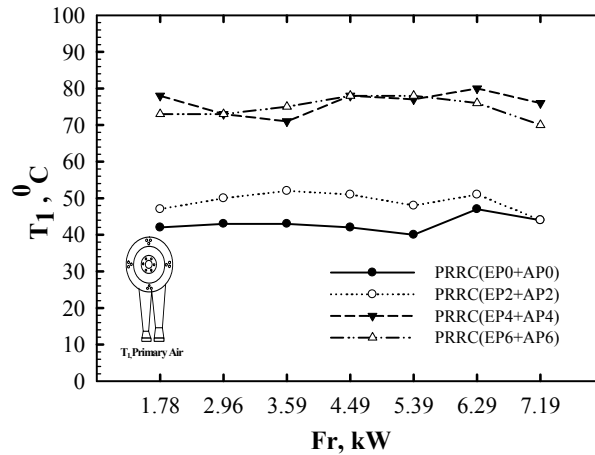
4.2 อิทธิพลของวัสดุพรุน

ภาพที่ 8 แสดงอิทธิพลของวัสดุพรุนต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th}) โดยทำการเปรียบเทียบการติดตั้งตาข่ายสแตนเลส (wire mesh) ขนาด 20 Mesh/inch วางซ้อนทับกันที่

Emitting porous medium (EP) และ Absorbing porous medium (AP) เป็นจำนวน 2, 4, 6 แผ่น และไม่มีการติดตั้งวัสดุพรุนที่ EP และ AP ซึ่งเตาที่ติดตั้ง PRRC(EP2+AP2) หมายถึง มีการติดตั้ง wire mesh จำนวน 2 แผ่น ที่ Emitting porous medium และ Absorbing porous medium เมื่อพิจารณาเตาที่ติดตั้ง PRRC(EP2+AP2) พบว่า η_{th} มีค่าลดลง เมื่อ Firing rate เพิ่มสูงขึ้น อันเนื่องมาจากเมื่อ Firing rate เพิ่มสูงขึ้น ปริมาณความร้อนที่เพิ่มขึ้นไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์มากขึ้นเท่าที่ควร แต่ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนไปกับสภาวะแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้น และเป็นไปในแนวทางเดียวกันสำหรับการติดตั้ง PRRC(EP0+AP0, PRRC(EP4+AP4) และ PRRC(EP6+AP6) ดังภาพที่ 8



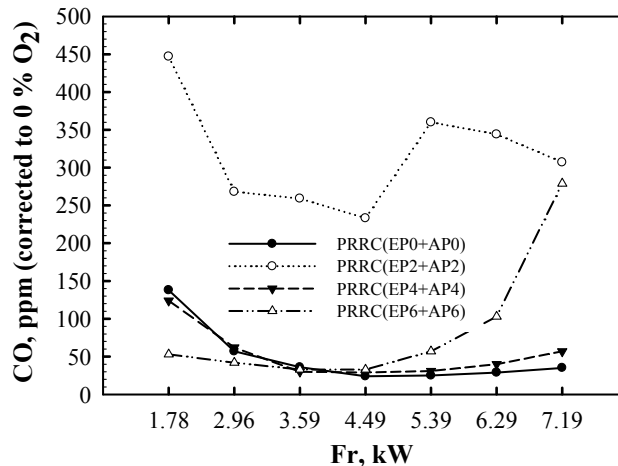
ภาพที่ 8 อิทธิพลของวัสดุพรุนต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th})



ภาพที่ 9 อิทธิพลของ Firing rate ต่ออุณหภูมิ Primary air (T₁) ของเตาที่ติดตั้ง PRRC กรณีต่างๆ

หากพิจารณาค่า Firing rate ต่างๆ พบว่า เตาที่ไม่มี การติดตั้ง EP และ AP (PRRC(EP0+AP0)) จะมี η_{th} ต่ำ ที่สุดเท่ากับ 32% ที่ Firing rate 7.19 kW เนื่องจากไม่มีการหมุนเวียนความร้อนจากแก๊สไอเสีย โดยพบว่าการ ติดตั้ง PRRC(EP4+AP4) จะมีค่า η_{th} สูงที่สุดโดยมี ค่าสูงสุดเท่ากับ 48% รองลงมาคือ การติดตั้ง PRRC(EP2+AP2) และ PRRC(EP6+AP6) โดยมีค่า η_{th} สูงสุดเท่ากับ 44% และ 32% ตามลำดับ เนื่องจากการ ติดตั้งวัสดุพอรุนจำนวน 4 แผ่นที่ EP และ AP จะส่งผลให้ เกิดการหมุนเวียนความร้อนที่เหมาะสมที่สุดจึงทำให้เกิด

การ Preheat ของอากาศ ทำให้อุณหภูมิของ Primary air (T₁) มีค่าสูงที่สุดประมาณ 80 °C ดังแสดงในภาพที่ 9 อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าอุณหภูมิ Primary air (T₁) ของการ ติดตั้ง PRRC(EP6+AP6) จะมีค่าสูงกว่าการติดตั้ง PRRC(EP2+AP2) แต่กลับไม่ทำให้ η_{th} สูงขึ้น อาจ เนื่องจากความหนาที่มากขึ้นส่งผลให้ปริมาณ Primary air ที่ไหลผ่าน AP มีปริมาณน้อยลง จึงทำให้ปริมาณ Secondary air ที่ไม่ได้รับความร้อนจาก AP เข้าไปเผาไหม้มากขึ้น ซึ่งทำให้ผลของ Preheat ที่ Primary air ไม่ได้ มีผลกับ η_{th} เท่าที่ควร

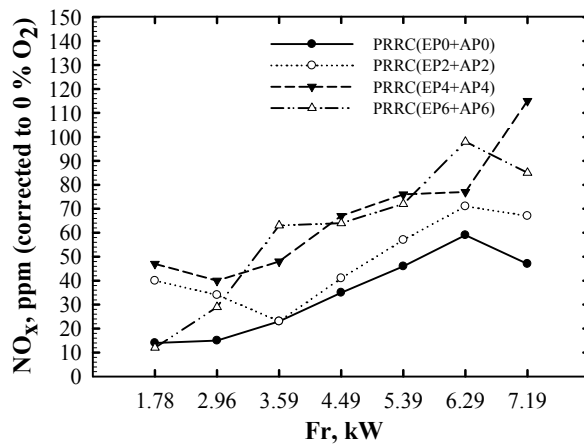


ภาพที่ 10 ปริมาณ CO ของเตาที่ติดตั้ง PRRC กรณีต่างๆ

ภาพที่ 10 แสดงปริมาณ CO ของเตาที่ติดตั้ง PRRC กรณีต่างๆ เมื่อพิจารณาเตาที่ติดตั้ง PRRC(EP2+AP2) พบว่า ปริมาณ CO มีค่าลดลงเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้น จนกระทั่ง Firing rate เท่ากับ 4.49 kW แต่หาก Firing rate เพิ่มขึ้นมากกว่า 4.49 kW ปริมาณ CO ก็จะมีปริมาณมากขึ้น อาจเนื่องมาจาก เมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้นจะมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้น แต่เมื่อ Firing rate สูงกว่า 4.49 kW อาจเกิดการกีดขวางการไหลของแก๊สไอเสียจึงอาจทำให้มีปริมาณแก๊สไอเสียตกค้างและเข้าไปผสมกับอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ โดยปริมาณของ CO ของกรณีเตาที่ติดตั้ง PRRC(EP0+AP0), PRRC(EP4+AP4) และ PRRC(EP6+AP6) ก็มีแนวโน้มเดียวกัน

หากพิจารณาที่ Firing rate ต่ำกว่า 4.49 kW พบว่า ปริมาณ CO ของกรณีเตาที่ติดตั้ง PRRC(EP2+AP2) มีค่าสูง

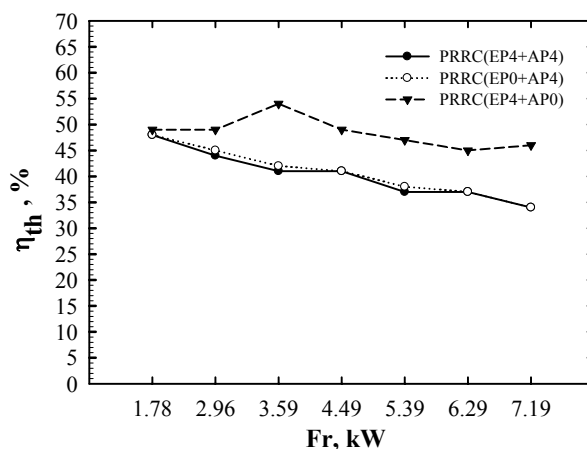
ที่สุด รองลงมาคือกรณีเตาที่ติดตั้ง PRRC(EP0+AP0), PRRC(EP4+AP4) และ PRRC(EP6+AP6) ซึ่งมีค่า สูงสุด เท่ากับ 450 ppm, 138 ppm, 130 ppm และ 280 ppm ตามลำดับ แต่หากพิจารณาที่ Firing rate สูงกว่า 4.49 kW พบว่า ปริมาณ CO กรณีเตาที่ติดตั้ง PRRC(EP2+AP2) มีค่า สูงที่สุดประมาณ 233 ppm รองลงมาคือ กรณีเตาที่ติดตั้ง PRRC(EP6+AP6, PRRC(EP4+AP4) และ PRRC(EP0+AP0) ซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 280 ppm, 57 ppm และ 35 ppm ตามลำดับ ซึ่งต่างจาก Firing rate ต่ำกว่า 4.49 kW อาจเนื่องมาจาก เมื่อ Firing rate สูงขึ้น การติดตั้งวัสดุพูนที่มีความหนามากขึ้นจะกีดขวางการระบาย แก๊สไอเสีย จึงทำให้เกิดไอเสียตกค้างและแก๊สไอเสีย ดังกล่าวอาจเข้าไปผสมกับอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ซึ่งทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ต่ำลง



ภาพที่ 11 ปริมาณ NO_x ของเตาที่ติดตั้ง PRRC กรณีต่างๆ

ภาพที่ 11 แสดงปริมาณ NO_x ของเตาที่ติดตั้ง PRRC แบบต่างๆ เมื่อพิจารณาเตาที่ติดตั้ง PRRC (EP2+AP2) พบว่า ปริมาณ NO_x จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากจึงทำให้

ปริมาณ NO_x เพิ่มขึ้น และปริมาณ NO_x ของเตาที่ติดตั้ง PRRC(EP0+AP0), PRRC(EP4+AP4) และ PRRC(EP6+AP6) มีแนวโน้มเดียวกัน โดยปริมาณ NO_x ของเตาทั้ง 4 แบบมีปริมาณที่ใกล้เคียงกันทุกๆ Firing rate ดังภาพ



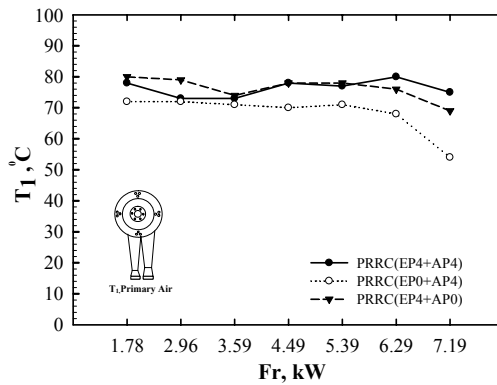
ภาพที่ 12 อิทธิพลของการติดตั้ง Emitting porous medium (EP) และ Absorbing porous medium (AP) ต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th} , %)

4.3 อิทธิพลของการติดตั้ง Emitting porous medium (EP) และ Absorbing porous medium (AP)

ภาพที่ 12 แสดงอิทธิพลของการติดตั้ง Emitting porous medium (EP) และ Absorbing porous medium (AP) ต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th}) โดยทำการเปรียบเทียบเตาที่มีการติดตั้งทั้ง Emitting porous medium และ Absorbing porous medium (PRRC(EP4+AP4)) และถอด EP ให้เหลือเพียง AP (PRRC(EP0+AP4)) และถอด AP ให้เหลือเพียง EP (PRRC(EP4+AP0)) เมื่อพิจารณา PRRC(EP4+AP0) พบว่า η_{th} มีค่าลดลง เมื่อ Firing rate มีค่าสูงขึ้น อันเนื่องมาจากเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้น ปริมาณความร้อนที่เพิ่มขึ้นไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์มากขึ้นเท่าที่ควร แต่ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนไปกับสภาวะแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้จากอุณหภูมิของ primary air (T_1) ที่ไม่ได้เพิ่มขึ้นสูงกว่าเดิมมากนักถึงแม้ว่า Firing rate จะสูงขึ้นก็ตามดังภาพที่ 13 และเป็นไปในแนวทางเดียวกันสำหรับการติดตั้ง PRRC(EP4+AP4) และ PRRC(EP0+AP4) ดังภาพ

หากพิจารณาที่ Firing rate ต่างๆ (ยกเว้นที่ 1.78 kW) พบว่า การติดตั้ง PRRC(EP4+AP0) จะมีค่า η_{th} สูงสุดที่ 54 % รองลงมาคือ การติดตั้ง PRRC(EP4+AP4) และ PRRC(EP0+AP4) ซึ่งมีค่าเท่ากันคือ 48 % อัน

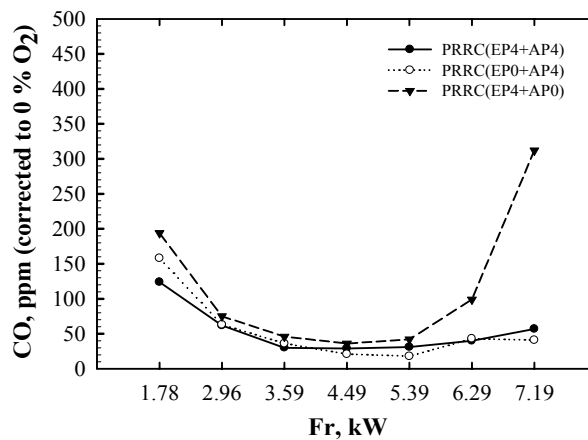
เนื่องมาจากการติดตั้งเพียง EP (PRRC(EP4+AP0)) จะเป็นการเก็บกักความร้อนของแก๊สไอเสีย ทำให้นำความร้อนทิ้งจากแก๊สไอเสียมาใช้ประโยชน์และเป็นการเพิ่มระยะเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแก๊สไอเสียกับสถานะก่อนที่แก๊สไอเสียจะไหลทิ้งออกไป ในขณะที่การไม่ติดตั้ง AP นั้น ช่วยให้อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ไหลเข้าไปในเตาได้สะดวกยิ่งขึ้น จึงมีปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เพียงพอทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น ถึงแม้ว่าจะไม่มีกลไกการอุ่นอากาศโดยวัสดุพอร์ซันก็ตาม แต่อากาศสามารถได้รับความร้อนจากผนังกระถางระหว่าง EP และ AP (ดังภาพที่ 1) ในขณะที่การติดตั้ง AP เพียงอย่างเดียว (PRRC(EP0+AP4)) นั้นจะไม่มีกักความร้อนจากแก๊สไอเสียเลยจึงทำให้ η_{th} มีค่าต่ำ ถึงแม้ว่าเตาที่มีการติดตั้ง PRRC(EP4+AP4) จะมีกลไกการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยวัสดุพอร์ซันก็ตาม แต่ η_{th} ไม่สูงที่สุดนั้นแสดงให้เห็นว่า ถึงแม้จะมีกลไกการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยวัสดุพอร์ซันที่ดี แต่ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้นั้นไม่มีปริมาณเพียงพอ สืบเนื่องมาจากการดึงดูดอากาศส่วนแรก (Primary air) ของหัวเตาที่บริเวณหัวฉีดนั้นต่ำจากการขวางการไหลของอากาศของ AP จึงส่งผลให้ η_{th} ไม่สูงเท่าที่ควร



ภาพที่ 13 อิทธิพลของ Firing rate ต่ออุณหภูมิ Primary air (T_1) ของเตาที่ติดตั้ง Emitting porous medium (EP) และ Absorbing porous medium (AP)

ภาพที่ 14 แสดงปริมาณ CO ของเตาที่ติดตั้ง Emitting porous medium (EP) และ Absorbing porous medium (AP) เมื่อพิจารณาเตาที่ติดตั้ง PRRC(EP4+AP0) พบว่า ปริมาณ CO มีค่าลดลงเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้นจนกระทั่ง Firing rate เท่ากับ 4.49 kW ซึ่งเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้นเกินกว่า 4.49 kW ปริมาณ CO ก็จะมีปริมาณน้อยลง อาจเนื่องมาจากเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้นจนกระทั่ง

4.49 kW มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้น แต่เมื่อ Firing rate สูงกว่า 4.49 kW เกิดปริมาณ CO สูงขึ้น แต่ไม่สามารถระบายทิ้งได้ทัน ซึ่งเกิดจากการกีดขวางการไหลของแก๊สไอเสียจึงอาจทำให้มีปริมาณแก๊สไอเสียตกค้างและเข้าไปผสมกับอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ โดยที่ปริมาณของ CO ของเตาที่ติดตั้ง PRRC(EP4+AP4) และ PRRC(EP0+AP4) ก็มีแนวโน้มเดียวกัน



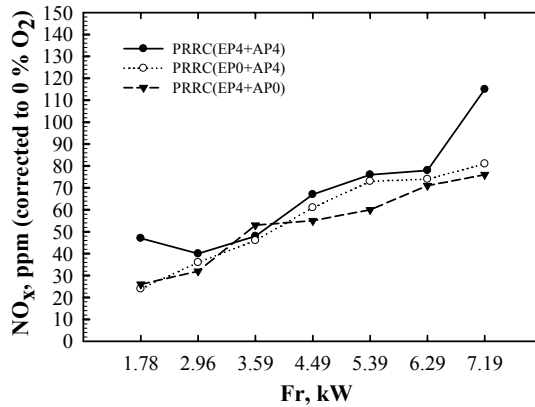
ภาพที่ 14 ปริมาณ CO ของเตาที่ติดตั้ง Emitting porous medium (EP) และ Absorbing porous medium (AP)

หากพิจารณาที่ Firing rate ต่ำกว่า 4.49 kW พบว่า ปริมาณ CO ของเตาที่ติดตั้ง PRRC(EP4+AP0) มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ เตาที่ติดตั้ง PRRC(EP0+AP4) และ PRRC(EP4+AP4) ซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับประมาณ 194 ppm, 158 ppm และ 124 ppm ตามลำดับ แต่หาก

พิจารณาที่ Firing rate สูงกว่า 4.49 kW พบว่า ปริมาณ CO ของเตาที่ติดตั้ง PRRC(EP4+AP0) มีค่าสูงที่สุด ประมาณ 312 ppm รองลงมาคือ เตาที่ติดตั้ง PRRC(EP0+AP4) และ PRRC(EP4+AP4) ซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับประมาณ 57 ppm และ 43 ppm ตามลำดับ ซึ่งต่าง

จาก Firing rate ต่ำกว่า 4.49 kW อาจเนื่องมาจาก เมื่อ Firing rate สูงขึ้น การติดตั้งวัสดุพรุนที่ EP จะมีผลต่อการเกิดขบวนการระบายแก๊สไอเสีย จึงทำให้เกิดไอเสียตกค้าง และแก๊สไอเสียดังกล่าวอาจเข้าไปผสมกับอากาศที่ใช้ใน

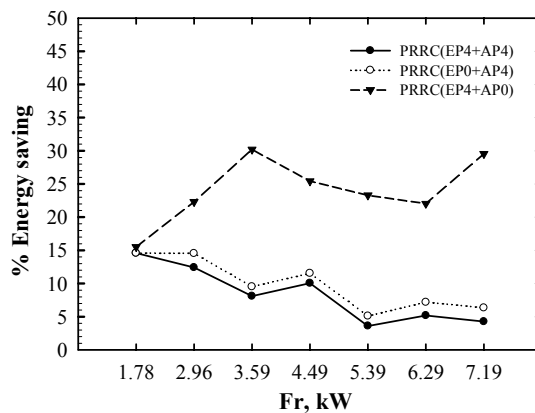
การเผาไหม้ซึ่งทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ต่ำลง ในขณะที่การไม่ติดตั้ง EP (PRRC(EP0+AP4)) จะมีการระบายไอเสียตกค้างได้ดีกว่า



ภาพที่ 15 ปริมาณ NO_x ของเตาที่ติดตั้ง Emitting porous medium (EP) และ Absorbing porous medium (AP)

ภาพที่ 15 แสดงปริมาณ NO_x ของเตาที่ติดตั้ง Emitting porous medium (EP) และ Absorbing porous medium (AP) เมื่อพิจารณาเตาที่ติดตั้ง PRRC (mEP4+AP0) พบว่า ปริมาณ NO_x จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้น เนื่องจาก เมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้น

จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากจึงทำให้ปริมาณ NO_x และปริมาณ NO_x ของติดตั้ง PRRC (EP4+AP4) และ PRRC (EP0+AP4) มีแนวโน้มเช่นกัน โดยปริมาณ NO_x ของเตาทั้ง 3 แบบมีปริมาณที่ใกล้เคียงกันทุกๆ Firing rate ดังภาพ



ภาพที่ 16 การประหยัดพลังงานของเตาที่ติดตั้ง PRRC เทียบกับเตา HB

ภาพที่ 16 แสดงการประหยัดพลังงานของเตาที่ติดตั้ง PRRC เทียบกับเตา HB โดยคำนวณจากสมการที่ (2) ในที่นี้ไม่ได้แสดงการประหยัดของเตาที่มีการติดตั้ง LPG-FP, PRRC (EP2+AP2) และ PRRC (EP6+AP6) เนื่องจากว่า

มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าเตา HB จากภาพที่ 4 พบว่า เตาที่มีการติดตั้ง PRRC (EP4+AP0) มีการประหยัดสูงสุดเท่ากับ 30.19 % ที่ Firing rate เท่ากับ 3.59 kW สำหรับเตาที่ติดตั้ง PRRC(EP0+AP4) และ

PRRC(EP4+AP4) มีการประหยัดสูงสุดเท่ากับ 14.58 % ที่ Firing rate เท่ากับ 1.78 kW ดังภาพ

5. สรุป

จากการศึกษาการประยุกต์ใช้วัสดุพรุนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สในครัวเรือน โดยการออกแบบสร้าง Porous Radiant Recirculated Cover (PRRC) ติดตั้งกับเตาแก๊สหุงต้มแบบมาตรฐาน (Household cooking burner, HB) และทำการทดสอบโดย Boiling test ตามมาตรฐาน มอก. 2312-2549 สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา HB มีค่าสูงสุดเท่ากับ 41 % แต่หากติดตั้งฝาบังลมของกระทวงพลังงาน (LPG flame protector, LPG-FP) จะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนลดลงเหลือเพียง 39 % โดยมีการปล่อย CO สูงสุดเท่ากับ 340 ppm และ 100 ppm ตามลำดับ และ NO_x สูงสุด เท่ากับ 100 ppm และ 100 ppm ตามลำดับ

5.2 การติดตั้งฝาครอบ PRRC ที่เหมาะสม คือ PRRC(EP2+AP2) และ PRRC(EP4+AP4) ทำให้เกิดกลไกการหมุนเวียนความร้อนจากแก๊สไอเสียสู่แก๊สไอดี ส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มเพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 44 % และ 48 % คิดเป็นการประหยัดพลังงานเท่ากับ 6.82 % และ 14.58 % ตามลำดับ และมีการปลดปล่อยมลพิษต่ำ แต่หากติดตั้ง PRRC ที่ไม่เหมาะสม อาทิ PRRC(EP0+AP0) และ PRRC(EP6+AP6) นอกจากไม่ช่วยส่งเสริมกลไกการหมุนเวียนความร้อนแล้วยังทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มมีค่าลดลงเป็น 32 % และ 32 % ตามลำดับ ดังอธิบายไว้แล้วในผลการทดลอง

5.3 การติดตั้ง Emitting porous medium (EP) เพียงอย่างเดียว (PRRC(EP4+AP0)) ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มมีค่าสูงสุดเท่ากับ 54 % คิดเป็นการประหยัดเท่ากับ 30.19 % โดยมีอัตราการปลดปล่อยมลพิษไม่เกิน 320 ppm และ 80 ppm สำหรับ CO และ NO_x ตามลำดับ และหากติดตั้ง Absorbing porous medium (AP) เพียงอย่างเดียว (PRRC(EP0+AP4)) ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 48 % คิดเป็นการประหยัด 14.58 % และมีการปลดปล่อยมลพิษไม่เกิน 160 ppm และ 85 ppm สำหรับ CO และ NO_x ตามลำดับ

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (สนพ.) และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณ ดร.บัณฑิต กฤตาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่อง Exhaust gas analyzer และคำแนะนำ ขอขอบคุณ นายมหิดล สารีบุตร และ นาย วิษณุ สารทอง นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี น.ส.นฤมล สังข์ขาว และ น.ส.ศันสนีย์ จงกรดี นักศึกษา แผนกเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ ที่ช่วยเหลือในการทำการทดลองและรวบรวมข้อมูล รวมถึงขอขอบคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2547. ข้อมูลพลังงาน. (Energy Database), Available online: <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. 1996. 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 รั้งสินตชาติ. 2544. การประยุกต์ใช้วัสดุพรุนเพื่อการประหยัดพลังงานในเตาแก๊สหุงต้ม. 2544.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [5] วสันต์ โยคเสนะกุล. 2548. หัวเผาเชื้อเพลิงแก๊สที่มีการหมุนเวียนความร้อนและการไหลแบบหมุนวน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

- [6] จารุณี จาบกลาง. 2549. การพัฒนาเตาแก๊สหุงต้มประสิทธิภาพสูงชนิดมีการหมุนเวียนความร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [7] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (Thai Industrial Standard, TIS) มอก. 2312-2549. 2550. เตาหุงต้มในครัวเรือนใช้กับก๊าซปิโตรเลียมเหลว, เล่ม 126 (ตอนพิเศษ 40ง)
- [9] กระทรวงพลังงาน. 2551. ฝาคอรอบแก๊สประสิทธิภาพสูง. เอกสารเผยแพร่.
- [8] Weinberg, F. 1996. "Heat-Recirculation Burners: Principles and Some Recent Developments". **Combustion Science and Technology**, Vol. 121, pp. 3-22, 1996.
- [10] สำเร็จ จักรใจ. 2547. การเผาไหม้. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.