

การศึกษาการประยุกต์ใช้งานฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุนร่วมกับเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน A study on Application of Porous Radiant Recirculated Cover to Household Cooking Burner

อนิรุตต์ มัทธูจักษ์ และ จรินทร์ เจนจิตต์

ห้องปฏิบัติการการประยุกต์ใช้ลำฟุ้งและการเผาไหม้ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ต.บ้านศรีโค อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

E-mail: Anirut.Mat@gmail.com, A.Matthujak@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้ฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุน (Porous Radiant Recirculated Cover, PRRC) ร่วมกับภาชนะหุงต้มในครัวเรือนชนิดต่างๆ โดยทำการติดตั้งและทดสอบร่วมกับเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน (Household cooking burner, HB) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2312-2549 ด้วยวิธีต้มน้ำ (Boiling test) เพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th}) และทำการตรวจวัดมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ จากการศึกษาพบว่า การใช้งานภาชนะหุงต้มต่างชนิดกับฝาครอบชนิดวัสดุพรุนมีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้มในครัวเรือน คือ 1) เตาที่ติดตั้ง PRRC(EP4+AP4) เมื่อใช้งานร่วมกับหม้อเบออร์ 16 cm มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 26; 2) เตาที่ติดตั้ง PRRC(EP4+AP4), PRRC(EP0+AP0), และ PRRC(EP0+AP4) เมื่อใช้งานร่วมกับหม้อเบออร์ 18 cm มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 24; 3) เตาที่ติดตั้ง PRRC(EP4+AP0) เมื่อใช้งานร่วมกับหม้อเบออร์ 22 cm มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 54 และ 4) เตาที่ติดตั้ง

PRRC(EP4+AP0) เมื่อใช้งานร่วมกับกระทะ 33 cm มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 36 และจากการตรวจวัดมลพิษที่เกิดขึ้นพบว่า การติดตั้งฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุนทุกๆ แบบเมื่อใช้งานร่วมกับภาชนะหุงต้มทุกชนิดจะทำให้ปริมาณ CO และ NO_x สูงสุดไม่เกิน 320 ppm และ 110 ppm ตามลำดับ

Abstract

The objective of this research is to study the application of Porous Radian Recirculated Cover (PRRC) to household cooking burner. The PRRC was equipped and tested on the household cooking burner (HB) to evaluate the thermal efficiency and pollutant emission based on Industrial Standard TIS 2312-2549. The water boiling test was conducted in this experiment. The results show that the thermal efficiency (η_{th}) vary when using different type of household cooking containers as follows: 1) The burner equipped with PRRC(EP4+AP4) when using a 16 cm pot gave the highest thermal efficiency of 26

%.

2) The burner equipped with PRRC(EP4+AP4), PRRC(EP0+AP0) and PRRC(EP0+AP4) when using a 18 cm pot gave the highest thermal efficiency of 24 %.

3) The burner equipped with PRRC(EP4+AP0) when using a 22 cm pot gave the highest thermal efficiency of 54 %.

4) The burner equipped with PRRC(EP4+AP0) when using a 33 cm pan gave the highest thermal efficiency of 36 %.

In term of pollutant emission, the highest level of CO and NO_x emission did not exceed 320 ppm and 110 ppm respectively for all cases.

1. บทนำ

เนื่องจากปัญหาสถานการณ์วิกฤติด้านพลังงานของโลกที่มีแนวโน้มทวีความรุนแรงมากขึ้นทุกปี จากสถิติการใช้พลังงานของกระทรวงพลังงาน [1] พบว่าปี 2552 ประเทศไทยมีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่เป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมอย่างกว้างขวางและมีปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.2 เมื่อเทียบกับปี 2551 โดยเฉพาะแก๊สแอลพีจี (Liquefied petroleum gas, LPG) ภาคครัวเรือนมีสัดส่วนการบริโภคคิดเป็นร้อยละ 59 ของปริมาณการบริโภคทั้งประเทศ ดังนั้นหากต้องการลดการใช้พลังงานแก๊สแอลพีจีเตาแก๊สควรได้รับความสนใจก่อนเป็นอันดับแรก แต่เตาแก๊สที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันนั้นมีการเผาไหม้ในลักษณะเปิด [2] ทำให้ไม่สามารถนำความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้มาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่

ดังนั้น จึงมีการศึกษาวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th}) ซึ่งส่งผลให้

ลดการใช้พลังงานและการปล่อยมลพิษของเตาแก๊ส หุงต้มอย่างต่อเนื่อง เริ่มจากการพัฒนาเตาแก๊สแรงดันสูง ซึ่งที่มีปริมาณการใช้แก๊สมากกว่า 5.78 KW ต่อหัวเตา โดยงานวิจัยของ S.Jugjai และคณะ [3 -6] ได้วิจัยและพัฒนาเตาแก๊สแรงดันสูง โดยเริ่มจากการออกแบบและสร้างเตาต้นแบบ Porous Radiant Recirculated Burner (PRRB) ซึ่งใช้หลักการหมุนเวียนความร้อนจากไอเสียนำไปอุ่นอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ (Preheat) และปรับปรุงหัวเตาจากเดิม (Conventional burner, CB) พัฒนาให้เป็นแบบหมุนวน (Swirl burner, SB) นอกจากนั้นยังศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับระยะห่างระหว่างหัวเตาแก๊สกับก้นภาชนะ (H/d) พบว่า สามารถเพิ่ม η_{th} เตาแก๊ส KB-10 เฉลี่ยประมาณร้อยละ 12 และหากปรับปรุงหัวเผาให้เป็นแบบ (Swirl burner, SB) สามารถเพิ่ม η_{th} ให้สูงขึ้นได้ โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 20 และเตาแก๊ส KB-5 มาใช้ควบคู่กับ Porous Radiant Recirculated Burner (PRRB) พบว่า η_{th} สูงสุดของเตาเฉลี่ยร้อยละ 60 เมื่อเทียบกับเตาแก๊สทั่วไป แต่การวิจัยนี้ให้ความสนใจเฉพาะเตาแรงดันสูงคือ KB-5 และ KB-10 รวมทั้งการพัฒนาประสิทธิภาพดังกล่าวเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ อาทิ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเตาที่ใช้งานอยู่เดิม และขีดจำกัดด้านการใช้งานจริงร่วมกับภาชนะต่างๆ รวมทั้งปัญหาด้านสิทธิบัตร

ดังนั้น จรินทร์ เจนจิตต์ และคณะ [7, 8] จึงได้ออกแบบและสร้างฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพอร์ซัน (Porous Radiant Recirculated Cover, PRRC) โดยนำหลักการหมุนเวียนความร้อน [9] มาประยุกต์ใช้ร่วมกับเตาแก๊สแรงดันต่ำตามมาตรฐาน มอก. 2312-

2549 [10] พบว่า สามารถเพิ่ม η_{th} ให้สูงขึ้นประมาณร้อยละ 12 นอกจากนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของวัสดุพอร์นที่ติดตั้งในฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพอร์น พบว่า เตาแก๊สที่ติดตั้งวัสดุพอร์นขนาด 20 mesh/inch ใน PRRC ที่ตำแหน่ง Emitting porous medium (EP) และ Absorbing porous medium (AP) จำนวน 4 แผ่น โดยเขียนสัญลักษณ์เป็น PRRC(EP4+AP4) มีค่า η_{th} สูงที่สุดร้อยละ 48 โดยมีปริมาณ CO และ NO_x มีค่าสูงสุดไม่เกิน 124 ppm และ 120 ppm ตามลำดับ และหากเพิ่มหรือลดจำนวนวัสดุพอร์นที่ติดตั้งใน PRRC เป็น PRRC(EP2+ AP2) และ PRRC(EP6+ AP6) พบว่า η_{th} สูงสุดมีค่าลดลงเป็นร้อยละ 38 และ 32 ตามลำดับ แต่ในการใช้งานเตาแก๊สจริงในชีวิตประจำวันนั้น ภาชนะที่นำมาใช้งานจะไม่ใช้เพียงขนาดเดียวอย่างที่ใช้ทดสอบในทุกงานวิจัยเท่านั้น แต่จะต้องมีการใช้งานในหลายขนาดหรือหลายรูปร่าง ซึ่งยังไม่มีมีการรายงานหรือกล่าวถึง

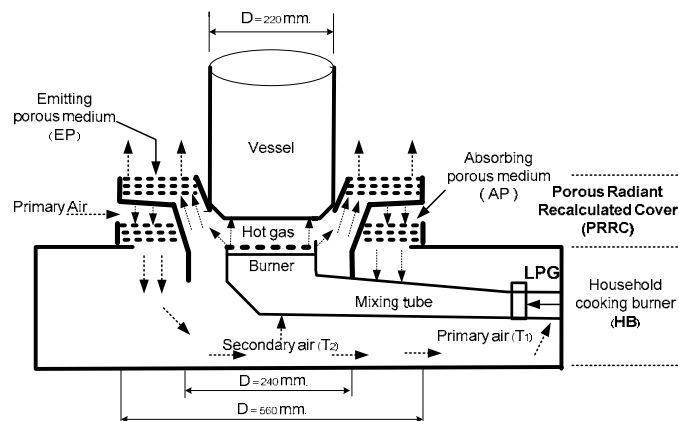
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลของการนำฝาครอบ PRRC มาประยุกต์ใช้จริงร่วมกับภาชนะหุงต้มชนิดต่างๆ คือ หม้อเบอร์ 16 cm, 18 cm, 22 cm และกระทะ 33 cm โดยทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตารวมทั้งการปล่อยมลพิษที่เกิดขึ้น ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2312-2549

2 ฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพอร์น (Porous Radiant Recirculated Cover, PRRC)

รูปที่ 1 แสดงการติดตั้งฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพอร์น (Porous Radiant Recirculated Cover, PRRC) ร่วมกับเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนทั่วไป ซึ่ง

แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักที่สามารถแยกชิ้นส่วนออกจากกันได้ คือ ส่วนล่างจะเป็นเตาแก๊สหุงต้มแอลพีจีในครัวเรือนมาตรฐาน (Household cooking burner, HB) ทั่วไป ส่วนบนเป็นฝาครอบเตาแบบวัสดุพอร์น (Porous Radiant Recirculated Cover, PRRC) ที่ได้รับการออกแบบและสร้างขึ้น โดยมีหลักการทำงานคือ เมื่อแก๊สความดันต่ำที่ใช้งานปกติถูกพ่นออกจากรูพ่นแก๊สเข้าไปในท่อผสม อากาศส่วนแรก (Primary air) ที่อยู่บริเวณใกล้ๆ จะถูกชักนำผ่านช่องอากาศส่วนแรกเข้าไปในท่อผสมพร้อมๆ กับแก๊ส โดยอาศัยหลักการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างแก๊สและอากาศ โดยรอบ ด้วยวิธีการดังกล่าวอากาศส่วนแรกจะมีค่าประมาณร้อยละ 50 – 70 ของปริมาณอากาศที่จำเป็นเพื่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ จากนั้นส่วนผสมของอากาศส่วนแรกและแก๊สจะไหลผ่านรูพ่นแก๊สและถูกจุดประกายไฟ ด้วยวิธีที่เหมาะสม เช่น ใช้เปลวล่อ (Pilot flame) หรือการ Spark ในขณะที่เดียวกันอากาศส่วนที่สอง (Secondary air) จะถูกชักนำเข้ามาจากด้านข้างเปลวไฟและจากด้านล่างหัวเผา ซึ่งทำให้เป็นช่องว่างไว้ระหว่างหัวเผาข้างในกับวงนอก ทั้งนี้ โดยอาศัยการถ่ายเทโมเมนตัม และแรงลอยตัวของแก๊สร้อนที่จะขยายตัวและลอยสูงขึ้น ช่วยทำให้อากาศโดยรอบที่เย็นกว่าถูกดูดเข้ามาผสมกับเปลวไฟได้มากขึ้นและส่งผลให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น เมื่อไอเสียร้อนจากการเผาไหม้ไหลผ่าน Emitting porous medium (EP) ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งวัสดุพอร์นชุดนี้ จะทำหน้าที่ดูดซับพลังงานความร้อนจากแก๊สร้อนหรือแก๊สไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้แล้วเปลี่ยนให้เป็นการแผ่รังสีความร้อนสู่ Absorbing porous medium (AP) วัสดุพอร์นชุดนี้ จะทำหน้าที่เป็นตัวเก็บความร้อนที่

ได้จากการแผ่รังสีความร้อนจาก Emitting porous medium ทำให้อากาศเย็นที่จะใช้ในการเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งเป็นการอุ่นอากาศ (Preheat) ก่อนการเผาไหม้นั้นเอง ในระบบการเผาไหม้ที่มีการหมุนเวียนความร้อนด้วยการอุ่นอากาศก่อนการเผาไหม้ด้วยหลักการดังกล่าวนี้จะส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สสูงขึ้น ซึ่งเป็นการประหยัดแก๊สสูงต้มนั้นเอง



รูปที่ 1 การติดตั้งฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพอรุส (Porous Radiant Recirculated Cover, PRRC)

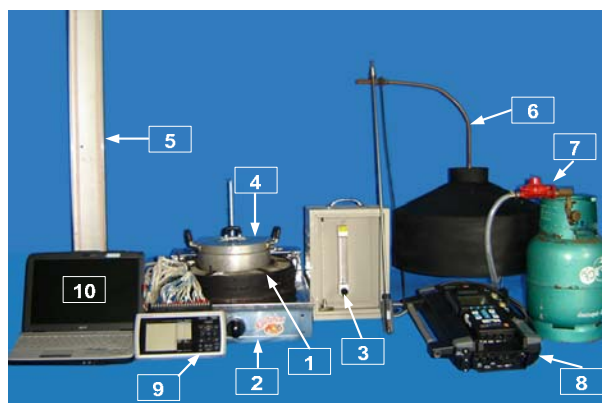
3 อุปกรณ์การทดลอง

การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการศึกษานี้ใช้การทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 2312-2549 ซึ่งมีอุปกรณ์การทดลองตามมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งประกอบไปด้วย

1) ฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพอรุส Porous Radiant Recirculated Cover (PRRC) ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น

- 2) เตาแก๊สหลักที่เฟลมรุ่น AT-502 แบบหัวเดียว
- 3) Gas flow meter ใช้ยี่ห้อ Nitto รุ่น K-2012
- 4) ภาชนะที่ใช้ในการทดสอบ
- 5) U-tube manometer
- 6) อุปกรณ์ดักแก๊สไอเสีย (Hood)
- 7) ถังแก๊สและหัวปรับความดัน
- 8) Exhaust gas analyzer (Testo รุ่น 350 – XL)
- 9) Data logger และ Thermocouple type K
- 10) คอมพิวเตอร์ที่ใช้ประเมินผลข้อมูล

โดยการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th}) ตามมาตรฐาน มอก. 2312-2549 หาได้จากสมการที่ 1



รูปที่ 2 อุปกรณ์การทดลองตามมาตรฐาน มอก. 2312-2549

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

เมื่อ m คือ มวลของน้ำที่ใช้ในการทดสอบ (kg)

C คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (MJ/kg·K)

t_1 คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ (°C)

t_2 คือ อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ (°C)

V คือ ปริมาณของแก๊สที่ใช้ทดสอบ (m³)

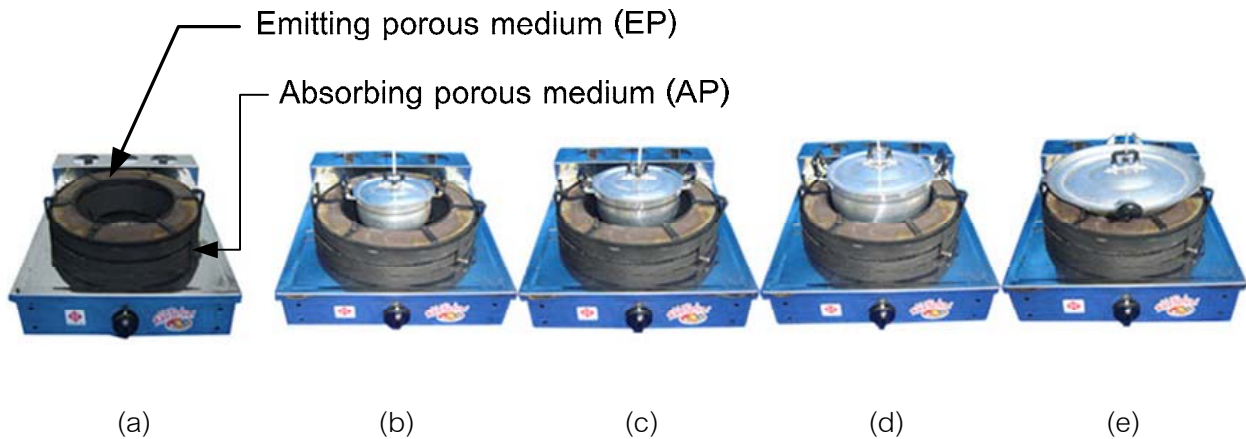
Q คือ LHV_{LPG} (MJ/m³) ที่ความดัน 101.3 kPa

t_g คือ อุณหภูมิของแก๊สทดสอบ (°C)

B คือ ความดันบรรยากาศขณะทดสอบ (kPa)

P_m คือ ความดันของแก๊สทดสอบ (kPa)

S คือ ความดันของไอน้ำอิ่มตัวที่ t_g °C (kPa)



รูปที่ 3 การใช้งานฝาครอบ PRRC กับภาชนะหุงต้ม (a) ไม่มีภาชนะหุงต้ม (b) หม้อเบอร์ 16 cm (c) หม้อเบอร์ 18 cm (d) หม้อเบอร์ 22 cm (e) กระทะ 33 cm

4. ผลการทดลอง

ในการศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้ฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุน (Porous Radiant Recirculated Cover, PRRC) แบบต่างๆ ร่วมกับภาชนะหุงต้ม คือ หม้อเบอร์ 16 cm, เบอร์ 18 cm, เบอร์ 22 cm และกระทะ 33 cm ตามลำดับ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th}) รวมทั้งการปล่อยมลพิษ ซึ่งในการทดลองใช้วัสดุพรุนที่ทำมาจากตาข่ายสแตนเลส (Wire mesh) ขนาด 20 Mesh/inch คิดเป็น Porosity เท่ากับ 0.76 ตัดให้เป็นวงกลมวางซ้อนทับกันจำนวน 4 แผ่นที่ Emitting porous medium (EP4) และ Absorbing porous medium (AP4) ซึ่งใช้สัญลักษณ์เป็น PRRC(EP4+AP4) และหากฝาครอบ PRRC ไม่มีการ

ติดตั้งวัสดุพรุนจะมีสัญลักษณ์ คือ PRRC(EP0+AP0) ดังแสดงในรูปที่ 3

จากรูปที่ 4(a) แสดงอิทธิพลของชนิดภาชนะ เมื่อใช้งานร่วมกับเตาที่ติดตั้ง PRRC(EP0+AP0) เมื่อพิจารณาที่หม้อเบอร์ 16 cm พบว่า η_{th} มีค่าลดลงเล็กน้อยเกือบคงที่ เมื่อปริมาณความร้อนที่ป้อนเข้าเตาหรือ Firing rate เพิ่มสูงขึ้น (Fr คือ อัตราการไหลของแก๊สคูณกับค่าความร้อนของแก๊ส : $m^3_g \times LHV_{LPG}$) เนื่องจากปริมาณความร้อนที่เพิ่มขึ้นไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์มากขึ้นเท่าที่ควร แต่ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนไปกับสถานะแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสังเกตได้ดังรูปที่ 5(a) จากอุณหภูมิอากาศ Primary air ที่มีค่าลดลงเกือบคงที่ เมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้น และเป็นไปในแนวทางเดียวกันสำหรับหม้อเบอร์ 18 cm, เบอร์ 22 cm, และกระทะ 33 cm ตามลำดับ และหาก

พิจารณา Firing rate ต่างๆ พบว่า เตาที่ติดตั้ง PRRC(EPO+AP0) เมื่อใช้งานร่วมกับกระทะ 33 cm จะมี η_{th} สูงที่สุด รองลงมาคือ หม้อเบอ 22 cm, เบอ 18 cm, และเบอ 16 cm ซึ่ง η_{th} สูงที่สุดมีค่าประมาณร้อยละ 34, 31, 24 และ 24 ตามลำดับ และหากพิจารณา รูปที่ 5(a) เตาที่ติดตั้ง PRRC(EPO+AP0) พบว่า การ Preheat ของอากาศ Primary air (T_1) ตลอดช่วง Firing rate มีอุณหภูมิสูงสุดไม่เกิน 40 °C เมื่อใช้งานร่วมกับทุกภาชนะ เนื่องจากเตาที่ติดตั้ง PRRC(EPO+AP0) ไม่มีการติดตั้งวัสดุพอรุนที่ Emitting porous medium และ Absorbing porous medium จึงไม่มีกลไกเกิดการ Preheat อากาศที่ชัดเจน

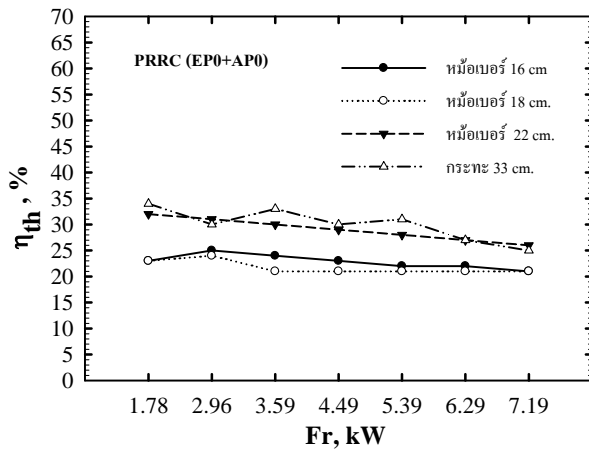
เมื่อพิจารณา รูปที่ 4(b) เตาที่ติดตั้ง PRRC(EPO+AP4) เมื่อพิจารณาที่หม้อเบอ 16 cm, เบอ 18 cm และกระทะ 33 cm พบว่า มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับการใช้งานร่วมกับเตาที่ติดตั้ง PRRC(EPO+AP0) ดังรูปที่ 4(a) ถึงแม้ว่าเมื่อพิจารณา รูปที่ 5(b) อุณหภูมิ Primary air (T_1) จะมีค่าสูงขึ้นกว่า รูปที่ 5(a) ก็ตาม อุณหภูมิที่สูงขึ้นนั้นเนื่องมาจากการที่ติดตั้ง PRRC(EPO+AP4) จะมีวัสดุพอรุน Absorbing porous medium (AP4) จึงเกิดการรับรังสีความร้อนจากผนังกันของฝาครอบและเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนจึงทำให้เกิดการ Preheat ของอากาศ Primary air ตลอดช่วง Firing rate ดังรูปที่ 5(b) แต่เตาที่ติดตั้ง PRRC(EPO+AP4) ไม่มีวัสดุพอรุน Emitting porous medium (EPO) จึงไม่มีการเก็บกักความร้อนที่ดี รวมถึงช่องว่างระหว่างภาชนะกับฝาครอบ PRRC มีความกว้างมากขึ้นสำหรับภาชนะขนาดเล็กจึงทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนไปกับสภาวะแวดล้อมเพิ่ม

สูงขึ้น และเมื่อพิจารณาที่หม้อเบอ 22 cm พบว่า η_{th} มีแนวโน้มลดลงเมื่อ Firing rate เพิ่มสูงขึ้น ด้วยเหตุผลเดียวกันกับหม้อเบอ 16 cm เมื่อพิจารณาเตาที่ติดตั้ง PRRC(EPO+AP4) เมื่อใช้งานร่วมกับหม้อเบอ 22 cm จะมี η_{th} สูงที่สุด รองลงมาคือ กระทะ 33 cm, หม้อเบอ 18 cm, และเบอ 16 cm ซึ่ง η_{th} สูงสุดมีค่าประมาณร้อยละ 48, 30, 24 และ 22 ตามลำดับ

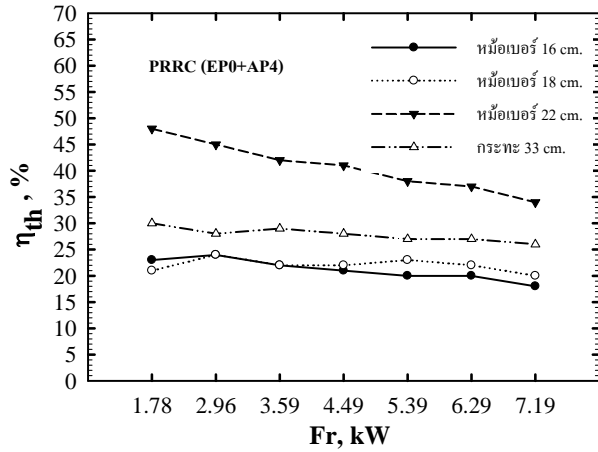
เมื่อพิจารณา รูปที่ 4(c) เตาที่ติดตั้ง PRRC(EP4+AP0) เมื่อพิจารณาที่หม้อเบอ 16 cm, เบอ 18 cm, และกระทะ 33 cm พบว่า มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับเตาที่ติดตั้ง PRRC(EPO+AP4) ด้วยเหตุผลเดียวกัน ถึงแม้ว่าจะเกิดการ Preheat ของอากาศ Primary air (T_1) ตลอดช่วง Firing rate ดังรูปที่ 5(c) ก็ตาม และเมื่อพิจารณาที่หม้อเบอ 22 cm พบว่า ในช่วง Firing rate เท่ากับ 1.78 kW ถึง 3.59 kW ค่า η_{th} มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะมีค่าสูงสุดประมาณร้อยละ 54 ที่ Firing rate เท่ากับ 5.59 kW เนื่องจากมีการ Preheat ของอากาศ Primary air (T_1) ที่มีค่าสูงดังรูปที่ 5(c) จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้นและเมื่อ Firing rate เพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 5.59 kW พบว่า η_{th} มีแนวโน้มเริ่มลดลง เนื่องจากปริมาณความร้อนที่เพิ่มขึ้นไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์มากขึ้นเท่าที่ควรและอาจมีไอเสียบางส่วนตกค้างภายในจึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่แย่งจากการที่ไอเสียบางส่วนเข้าไปผสม และเมื่อพิจารณาเตาที่ติดตั้ง PRRC(EP4+AP0) เมื่อใช้งานร่วมกับหม้อเบอ 22 cm จะมี η_{th} สูงที่สุด รองลงมาคือ กระทะ 33 cm, หม้อเบอ 16 cm, และเบอ 18 cm ซึ่ง η_{th} สูงที่สุดมีค่าประมาณร้อยละ 54, 36, 24 และ 23 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณารูปที่ 4(d) เตาที่ติดตั้ง PRRC(EP4+AP4) พบว่า มีพฤติกรรมคล้ายกับการ เตาที่ติดตั้ง PRRC(EP4+AP0) ซึ่งการมี Emitting porous medium และ Absorbing porous medium จะทำให้มีกลไกการหมุนเวียนความร้อนที่สมบูรณ์ จึงทำให้อุณหภูมิของ Primary air (T_1) มีค่าสูงขึ้น ซึ่ง

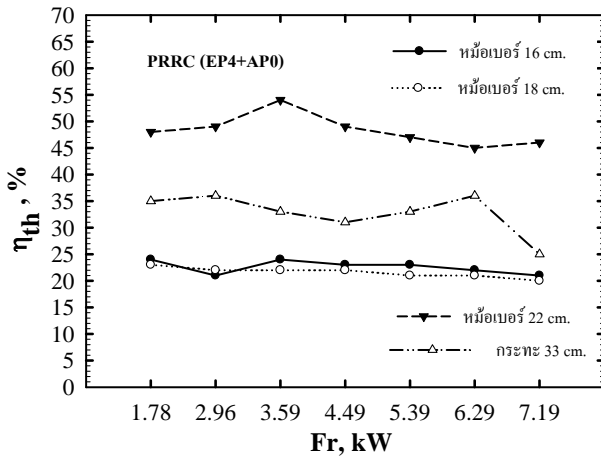
แตกต่างกับรูปที่ 5(c) และเมื่อพิจารณาเตาที่ติดตั้ง PRRC(EP4+AP4) เมื่อใช้งานร่วมกับหม้อเบอ์ 22 cm จะมี η_{th} สูงที่สุด รองลงมาคือ กระทะ 33 cm, หม้อเบอ์ 18 cm, และเบอ์ 16 cm ซึ่ง η_{th} สูงที่สุดมี ค่าประมาณร้อยละ 48, 35, 24 และ 25 ตามลำดับ



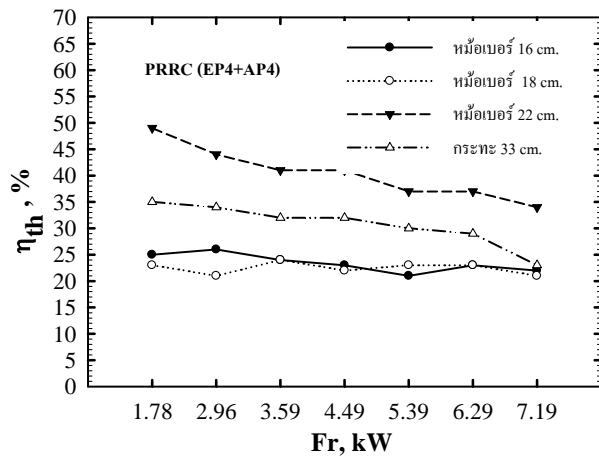
(a) PRRC(EP0+AP0)



(b) PRRC(EP0+AP4)

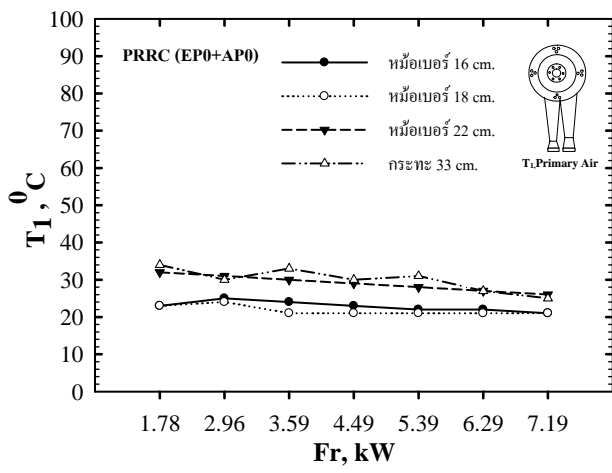


(c) PRRC(EP4+AP0)

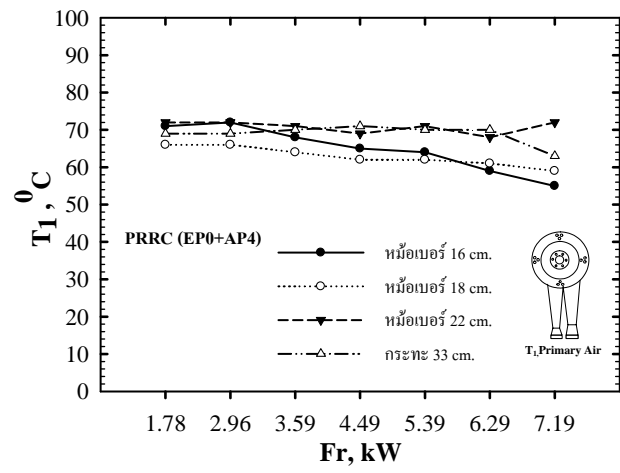


(d) PRRC(EP4+AP4)

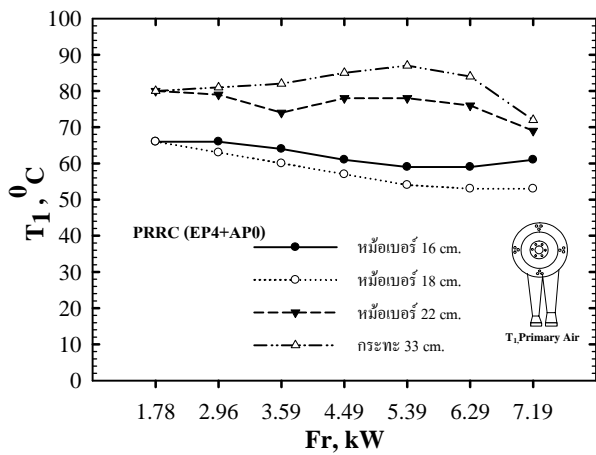
รูปที่ 4 อธิพลของภาชนะชนิดต่างๆ เมื่อใช้ร่วมกับฝาดรอบ PRRC แบบต่างๆ



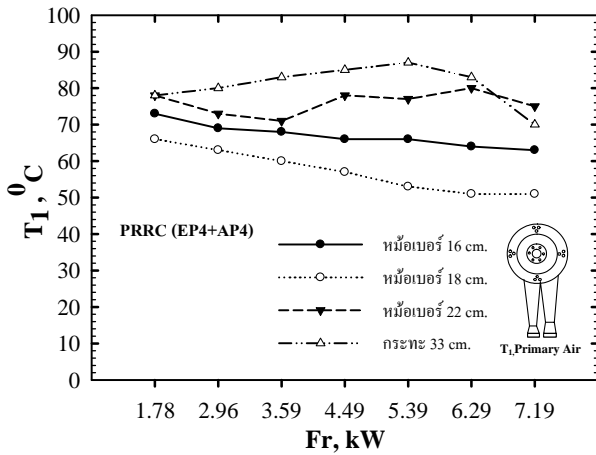
(a) PRRC(EP0+AP0)



(b) PRRC(EP0+AP4)



(c) PRRC(EP4+AP0)

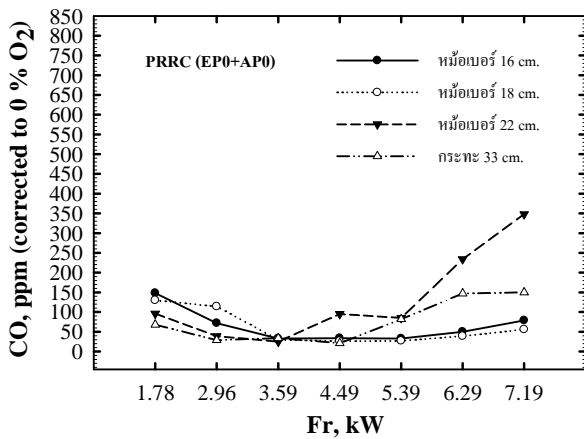


(d) PRRC(EP4+AP4)

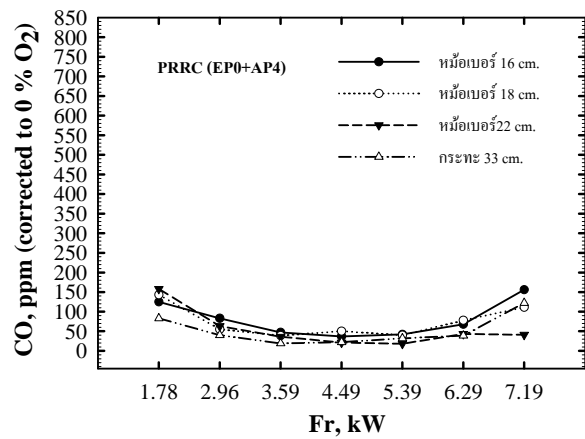
รูปที่ 5 อิทธิพลของ Firing rate ต่ออุณหภูมิ Primary air (T₁)

จากรูปที่ 6 แสดงปริมาณ CO ของภาชนะชนิดต่างๆ เมื่อใช้ร่วมกับ ฝาครอบ PRRC แบบต่างๆ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 6(a) ที่หม้อเบออร์ 16 cm พบว่าปริมาณ CO มีค่าลดลงเมื่อ Firing rate เพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่ง Firing rate เท่ากับ 4.49 อาจเนื่องมาจากเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้นจนกระทั่ง 4.49 kW ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้น แต่เมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้นกว่า 4.49 kW พบว่า ปริมาณ CO มีปริมาณ

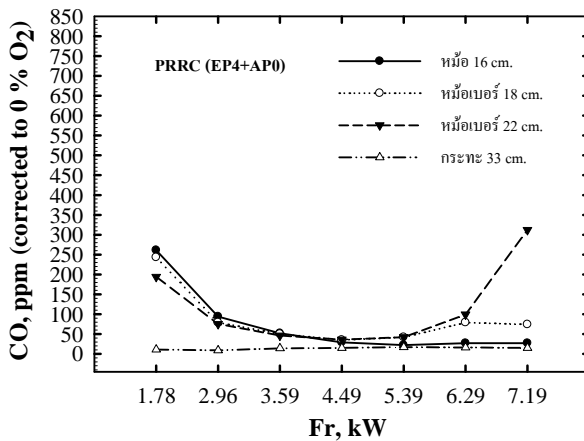
เพิ่มมากขึ้น อาจเนื่องมาจาก Firing rate เพิ่มมากขึ้น อาจทำให้การระบายไอเสียแยกลงจึงทำให้ไอเสียบางส่วนตกค้างและผสมกับไอดีจึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์มากขึ้น และเมื่อพิจารณาหม้อเบออร์ 18 cm, เบออร์ 22 cm และกระทะ 33 cm พบว่าปริมาณ CO มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับหม้อเบออร์ 16 cm โดยมีปริมาณ CO สูงสุดไม่เกิน 350 ppm ตลอดช่วง Firing rate ที่เพิ่มสูงขึ้นของทุกภาชนะ



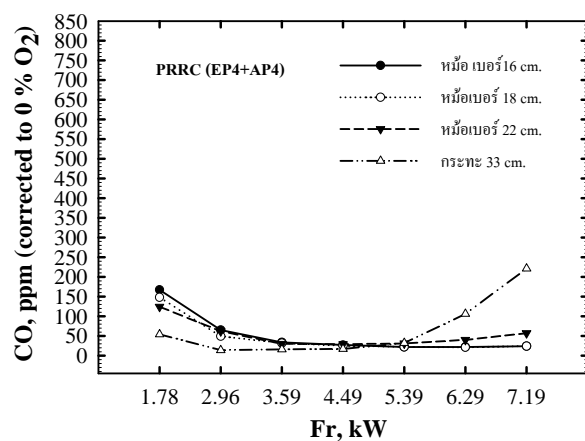
(a) PRRC(EP0+AP0)



(b) PRRC(EP0+AP4)



(c) PRRC(EP4+AP0)



(d) PRRC(EP4+AP4)

รูปที่ 6 ปริมาณ CO ของภาชนะชนิดต่างๆ เมื่อใช้ร่วมกับ ฝาครอบ PRRC แบบต่างๆ

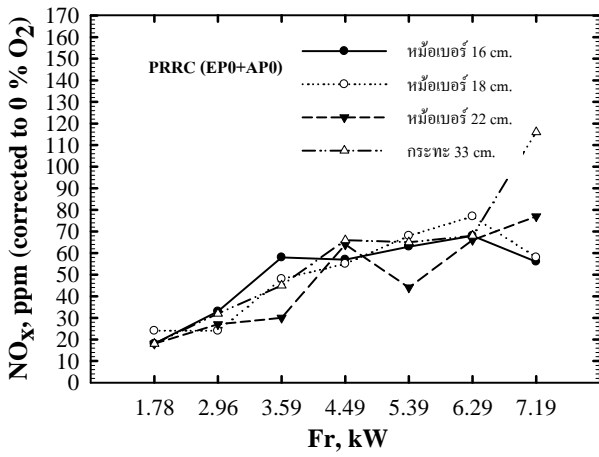
เมื่อพิจารณารูปที่ 6(b) พบว่า ปริมาณ CO มีแนวโน้มเดียวกับรูปที่ 6(a) ของทุกภาชนะ แต่ปริมาณ CO ที่เกิดขึ้นมีค่าสูงสุดไม่เกิน 200 ppm ที่ทุก Firing rate ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเตาที่ติดตั้งฝาครอบ PRRC(EP0+AP4) ซึ่งมีวัสดุพอร์น Absorbing porous medium (AP4) เพียงอย่างเดียวสามารถลดปริมาณ CO ลงได้เมื่อใช้งานร่วมกับทุกภาชนะเมื่อเทียบกับ PRRC(EP0+AP0) ซึ่งไม่มีการติดตั้งวัสดุพอร์น

เมื่อพิจารณารูปที่ 6(c) พบว่า ปริมาณ CO มีแนวโน้มเดียวกับรูปที่ 6(a) และ (b) ของทุกภาชนะซึ่งเตาที่ติดตั้งฝาครอบ PRRC(EP4+AP0) จะมีปริมาณ CO สูงสุดไม่เกิน 350 ppm เมื่อใช้งานร่วมกับทุกภาชนะหุงต้ม และเมื่อพิจารณารูปที่ 6(d) พบว่า ปริมาณ CO มีแนวโน้มเดียวกับรูปที่ 6(a) และ (b) ของทุกภาชนะ อาจเนื่องจากเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้น ซึ่งการติดตั้งฝาครอบ PRRC(EP4+AP4) ที่มีวัสดุพอร์น Emitting porous

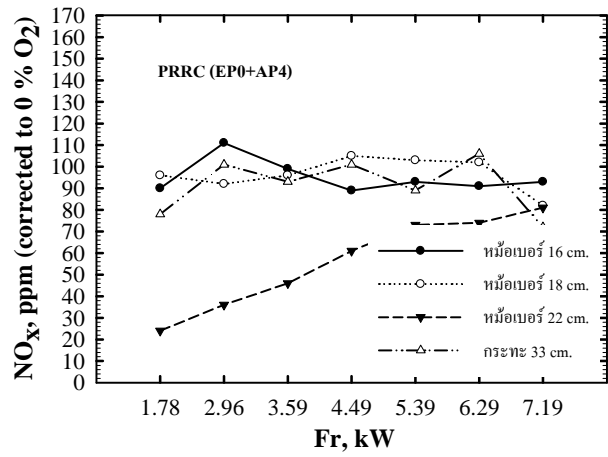
medium (EP4) และ Absorbing porous medium (AP4) ส่งผลให้มีการ Preheat ของอากาศ Primary air (T_1) ที่เหมาะสมจึงทำให้การเผาไหม้เกิดควม สมบูรณ์ ดังรูปที่ 5(d) ดังนั้นปริมาณ CO จึงมี ค่าสูงสุดไม่เกิน 200 ppm

จากรูปที่ 7 แสดงปริมาณ NO_x ของภาชนะ ชนิดต่างๆ เมื่อใช้ร่วมกับฝาครอบ PRRC แบบต่างๆ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 7(a) เตาที่ติดตั้ง PRRC(EP0+AP0) เมื่อใช้งานร่วมกับภาชนะชนิดต่างๆ พบว่า ปริมาณ

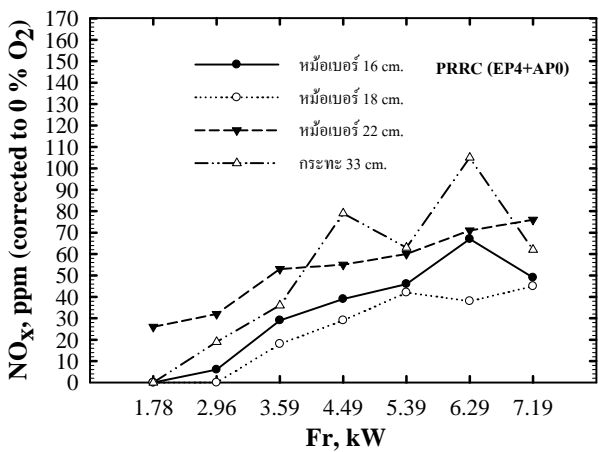
NO_x จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้น ซึ่ง สอดคล้องกับปริมาณ CO ในรูปที่ 6(a) และเมื่อ พิจารณาเตาที่ติดตั้ง PRRC(EP0+AP4) , PRRC(EP4+AP0) และ PRRC(EP4+AP4) เมื่อใช้ งานร่วมกับภาชนะทุกชนิด พบว่า มีแนวโน้มไปใน ทิศทางเดียวกันเตาที่ติดตั้ง PRRC(EP0+AP0) โดย ปริมาณ NO_x สูงสุดของเตาที่ใช้งานร่วมกับทุกภาชนะ ที่ติดตั้งฝาครอบ PRRC มีปริมาณ NO_x สูงสุดไม่เกิน 120 ppm



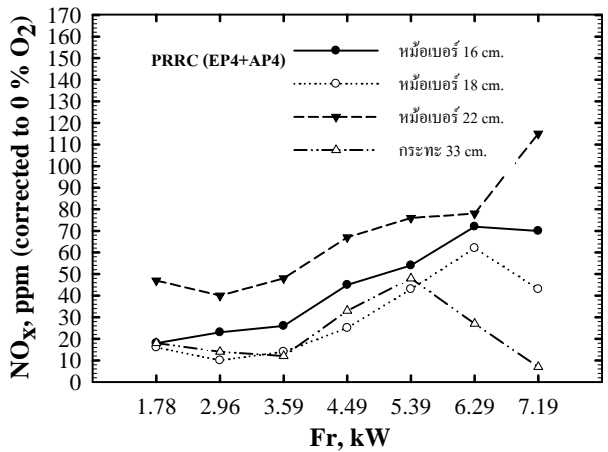
(a) PRRC(EP0+AP0)



(b) PRRC(EP0+AP4)



(c) PRRC(EP4+AP0)



(d) PRRC(EP4+AP4)

รูปที่ 7 ปริมาณ NO_x ของภาชนะชนิดต่างๆ เมื่อใช้ร่วมกับฝาครอบ PRRC แบบต่างๆ

5. สรุป

จากการศึกษาการประยุกต์ใช้ฝาครอบเตา แก๊สชนิดวัสดุพรุน (Porous Radiant Recirculated Cover, PRRC) แบบต่างๆ ร่วมกับภาชนะหุงต้มในครัวเรือนชนิดต่างๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สามารถใช้ฝาครอบ PRRC ทุกแบบ ร่วมกับภาชนะหุงต้มชนิดต่างๆ ได้โดยไม่ต้องดัดแปลงหรือปรับปรุงเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2 การประยุกต์ใช้งานฝาครอบ PRRC จะมีความเหมาะสมกับการใช้งานร่วมกับภาชนะแต่ละชนิด สรุปได้ดังนี้

- หม้อเบอร์ 16 cm เหมาะกับการใช้งานร่วมกับ PRRC(EP4+AP4) ซึ่งทำให้ η_{th} สูงสุดเท่ากับร้อยละ 26 และมีการปลดปล่อยมลพิษ CO และ NO_x ไม่เกิน 170 ppm และ 75 ppm ตามลำดับ

- หม้อเบอร์ 18 cm เหมาะกับการใช้งานร่วมกับ PRRC(EP4+AP4), PRRC(EPO+AP0) และ PRRC(EPO+AP4) ซึ่งทำให้ η_{th} สูงสุดเท่ากับร้อยละ 24 และมีการปลดปล่อยมลพิษ CO และ NO_x ไม่เกิน 150 ppm และ 110 ppm. ตามลำดับ

- หม้อเบอร์ 22 cm เหมาะกับการใช้งานร่วมกับ PRRC(EP4+AP0) ซึ่งทำให้ η_{th} สูงสุดเท่ากับร้อยละ 54 และมีการปลดปล่อยมลพิษ CO และ NO_x ไม่เกิน 320 ppm และ 80 ppm ตามลำดับ

- กระทะ 33 cm เหมาะกับการใช้งานร่วมกับ PRRC(EP4+AP0) ซึ่งทำให้ η_{th} สูงสุดเท่ากับร้อยละ 36 และมีการปลดปล่อยมลพิษ CO และ NO_x ไม่เกิน 20 ppm และ 110 ppm ตามลำดับ

5.3 ฝาครอบ PRRC(EP4+AP0) จะมีความเหมาะสมมากที่สุดเมื่อนำไปใช้งานในชีวิตประจำวัน เนื่องจากเมื่อใช้งานร่วมกับภาชนะทุกชนิดสามารถให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง ถึงแม้ว่า เมื่อนำภาชนะบางชนิดมาใช้งานร่วมแล้วจะทำให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนไม่สูงที่สุดก็ตาม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (สณพ.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย และ ดร.บัณฑิต กฤตาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่อง Exhaust gas analyzer นายมหิดล สารีบุตร และนายวิษณุ สารทอง นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ช่วยเหลือในการทำการทดลองและรวบรวมข้อมูล รวมถึงขอขอบคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทุกท่านที่ให้คำแนะนำเสนอแนะ

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน ข้อมูลพลังงาน, [Energy Database], Available online: <http://www.eppo.go.th/infor/index.html> , เข้าดูเมื่อวันที่ 24/01/2553, 2547
- [2] L.L. Dong, C.S. Cheung, and C.W. Leung “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] S. Jugjai and S. Sanijai “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] ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ “การประยุกต์ใช้วัสดุพอร์นเพื่อการประหยัดพลังงานในเตาแก๊สหุงต้ม” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 1-82, 2544

[5] วสันต์ โยคเสนะกุล “หัวเผาเชื้อเพลิงแก๊สที่มีการหมุนเวียนความร้อนและการไหลแบบหมุนวน” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 1-88, 2548

[6] จารุณี จาบกลาง “การพัฒนาเตาแก๊สหุงต้มประสิทธิภาพสูงชนิดมีการหมุนเวียนความร้อน” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 1-104, 2549

[7] จรินทร์ เจนจิตต์ และ อนิรุตต์ มัทธูจักษ์ “การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนโดยฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพอร์น” การ

ประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่, 2552

[8] จรินทร์ เจนจิตต์ และ อนิรุตต์ มัทธูจักษ์ “อิทธิพลของวัสดุพอร์นที่ติดตั้งในฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพอร์นต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน” การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จังหวัดเพชรบุรี, 2553

[9] F. Weinberg “Heat-Recirculation Burners: Principles and Some Recent Developments” Combustion Science and Technology, vol. 121, pp. 3-22, 1996

[10] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (Thai Industrial Standard, TIS) มอก. 2312-2549: (2550). เตาหุงต้มในครัวเรือนใช้กับก๊าซปิโตรเลียมเหลว, เล่ม 126 (ตอนพิเศษ 40ง)