

อิทธิพลของลวดตาข่ายสแตนเลสต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้ม
แบบ Vertical port

Effect of stainless steel wire mesh on the thermal efficiency of vertical port gas
cooking stove

อนิรุตต์ มัทธจักร^{*}, บงกช บุญเพชร, อมรพันธุ์ แสงส่อง และ วีรยุทธ จันทะโยทา

¹ ห้องปฏิบัติการการประยุกต์ใช้ลำเจ็ทและการเผาไหม้ (CJARL) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ตำบลเมืองศรีโค อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

*E-mail: Anirut.M@ubu.ac.th Tel: 0-4535-3309

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือนแบบ Vertical port ที่มีปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจี (Liquefied Petroleum Gas, LPG) สูงสุดไม่เกิน 5.78 kW ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2312-2549 โดยทำการศึกษาอิทธิพลของขนาดของวัสดุพอร์นที่ทำมาจากลวดตาข่ายสแตนเลสบนหัวเตาต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน โดยการทดสอบต้มน้ำตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2312-2549 และทำการตรวจวัดมลพิษที่เกิดจากเผาไหม้ นอกจากนี้ยังศึกษาอิทธิพลของ Firing rate และขนาดของภาชนะต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนอีกด้วย จากการทดลองพบว่า ลวดตาข่ายสแตนเลสขนาด 16 mpi เป็นขนาดที่มีความเหมาะสมที่สุดที่ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุด และเมื่อ Firing rate เพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะมีค่าต่ำลง อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อภาชนะมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเกิดขึ้นจากลวดตาข่ายสแตนเลสขนาด 16 mpi Firing rate เท่ากับ 0.89 และหม้อขนาด 32 cm ซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงถึงร้อยละ 77.06 และมีการปลดปล่อย CO และ NO_x สูงสุดไม่เกิน 600 ppm และ 80 ppm ตามลำดับ ในทุกกรณี

คำหลัก: ลวดตาข่ายสแตนเลส, ประสิทธิภาพเชิงความร้อน, เตาแก๊สหุงต้มแบบ Vertical ports, มลพิษ

Abstract

The objective of this research is to improve the thermal efficiency of vertical port gas stove, which consumes the highest amount of Liquefied Petroleum Gas (LPG) not excess 5.78 kW, in accordance with Thai Industrial Standard 2312-2549 (TIS. 2312-2549). In this study, effect of porous media made from stainless steel wire mesh installed on stove head on the thermal efficiency of the stove was investigated. The thermal efficiency and pollutant emission of the gas stove were investigated by boiling test based upon TIS 2312-2549. Moreover, effect of firing rate and container sizes on thermal efficiency and pollutant emission was also studied. From the experimental results, it was found that mesh size of 16 mpi was the most suitable caused the highest thermal efficiency. The firing rate increased, the thermal efficiency decreased. However, the thermal efficiency increased when the container size increased. The maximum

thermal efficiency of 77.06 % was obtained from the wire mesh of 16 mpi, the pot of 32 cm and the firing rate of 0.89 kW. The CO and NOx emission were not more than 600 ppm and 80 ppm, respectively, in all cases.

Keywords: Stainless steel wire mesh, thermal efficiency, vertical port cooking stove, pollutant emission.

1. บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกประสบปัญหาสถานการณ์วิกฤติ ด้านพลังงานที่มีแนวโน้มทวีความรุนแรงมากขึ้นทุกปี จากสถิติการใช้พลังงานของกระทรวงพลังงาน [1] พบว่า ประเทศไทยมีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่เป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะ แก๊สปิโตรเลียมเหลว หรือ แอลพีจี (Liquefied Petroleum Gas, LPG) จากสถิติปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจีของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2553-2557 พบว่า ภาคครัวเรือนใช้แก๊สแอลพีจีคิดเป็นร้อยละ 31 ในขณะที่ภาคขนส่งหรือรถยนต์ใช้แก๊สแอลพีจีคิดเป็นร้อยละ 25 ซึ่งจากปัญหาวิกฤติด้านพลังงานดังกล่าวข้างต้น ก็ส่งผลกระทบต่อแก๊สแอลพีจีเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาคครัวเรือน หรืออุตสาหกรรมด้านอาหารที่ต้องใช้เตาแก๊สหุงต้มเป็นแหล่งให้ความร้อนในเตาแก๊สหุงต้ม ซึ่งการถ่ายเทความร้อนในเตาแก๊สหุงต้มจะเป็นลักษณะของเปลวไฟพุ่งชน (Impinging flame jet) ซึ่งจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูง [2] และต้องใช้แก๊สแอลพีจีค่อนข้างมาก ซึ่งเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือนมีการเผาไหม้แบบเปิด (Open combustion) จึงไม่สามารถนำความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้มาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากเปลวไฟไปยังภาชนะถูกจำกัดด้วยการพาความร้อน (Convection) เป็นส่วนใหญ่ ทั้งยังมีการสูญเสียความร้อนเป็นจำนวนมากไปกับแก๊สไอเสียโดยการพาความร้อน (Convection) และสูญเสียความร้อนของเปลวไฟจากแผ่รังสีความร้อน (Radiation) อีกด้วย ซึ่งทำให้เตาแก๊สหุงต้มที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงมีงานวิจัยเพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มอย่างต่อเนื่อง อาทิ ในปี ค.ศ. 1996 S.Jugjai และ

S.Sanijai [3] ได้ปรับปรุงเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือนให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น โดยใช้หลักหมุนเวียนความร้อนของแก๊สไอเสียนำไปอุ่นอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ (Preheat) จากหลักการนี้เองทำให้เกิดแนวความคิดของเตาดันแบบเตาแก๊สประสิทธิภาพสูง (Porous Radiant Recirculated Burner, PRRB) แต่เนื่องจากหัวเตาแก๊สที่อยู่บนหัวเตาขนาดเล็กไม่เหมาะสมกับการใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

ต่อมา ญัฐวดี รังสีมันตุชาติ [4] จึงขยายขนาดให้ใหญ่ขึ้นโดยใช้กับหัวเตาแก๊สขนาด KB-10 พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้นได้โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 12 และคิดเป็นอัตราการประหยัดโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 30 เมื่อเปรียบเทียบกับเตา KB-10 ทั่วไป และได้ปรับปรุงหัวเผาให้เปลวไฟที่พุ่งออกมามีลักษณะของการหมุนวนสู่ศูนย์กลาง พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้นได้โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 20 เมื่อเปรียบเทียบกับเตาแบบ Swirl burner ที่ยังไม่ได้มีการประกอบเข้ากับโครงสร้างที่ออกแบบไว้ และเมื่อเปรียบเทียบกับเตา KB-10 ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้นได้โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 30 และคิดเป็นอัตราการประหยัดโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 51

ถึงแม้ว่ามีการวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มแอลพีจี [2-4] แต่งานวิจัยส่วนใหญ่จะเน้นหนัก หรือสนใจศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สแรงดันสูงหรือตามท้องตลาดเรียกว่า เตาหัวฟู หรือ เตา KB ซึ่งเป็นเตาแก๊สที่มีใหญ่กว่าเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือน เช่น เตาแก๊ส KB-5, KB-8 และ KB-10 ซึ่งเป็นเตาที่มีการใช้แก๊สแอลพีจีสูงกว่า 5.78 kW

ต่อหัวเตา ในขณะที่เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2312-2549 [5] ซึ่งเป็นเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้ตามครัวเรือน มีปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจีสูงสุด 5.78 กิโลวัตต์ ต่อ 1 หัวเตา โดยมีการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนอย่างจริงจังน้อยมาก ทั้งที่เป็นเตาแก๊สหุงต้มแอลพีจีที่ใช้ในทุกครัวเรือนและยังใช้ในอุตสาหกรรมอาหารขนาดเล็ก อาทิ ร้านอาหารต่างๆ ไปอีกด้วย

ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีแนวความคิดในการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนตามมาตรฐาน มอก. 2312-2549 แบบ Vertical port โดยทำการศึกษาหาคุณสมบัติของวัสดุพรุน (Porous media) ชนิดลวดตาข่ายสแตนเลส (Stainless steel wire mesh) นั่นคือขนาดรูต่อความยาว 1 นิ้ว (Mesh size มีหน่วยเป็น mesh per inch, mpi) ที่เหมาะสม ที่ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มแบบ Vertical port มีค่าเพิ่มขึ้นและปลอดภัยต่อผู้ใช้เป็นอย่างดี

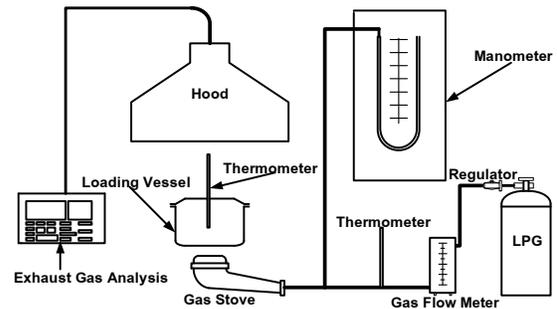
2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

รูปที่ 1 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนตามมาตรฐาน มอก. 2312-2549 ซึ่งใช้หลักการ Boiling test เริ่มจากการอุ่นหัวเตาให้ร้อนเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำน้ำที่ซึ่งมวล 2.7 kg ในหม้อเบอร์ขนาด 22 cm พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิน้ำก่อนต้ม ปรับอัตราการไหลของแก๊สตามต้องการแล้วบันทึกค่าไว้เพื่อนำไปหาค่าอัตราการเผาไหม้ นำหม้อที่ใส่น้ำแล้วตั้งบนเตาพร้อมทั้งจับเวลา และวัดอุณหภูมิของน้ำด้วย ต้มจนกระทั่งน้ำมีอุณหภูมิถึง 90 °C แล้ววัดค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งหาได้จากเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำและอัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิง แล้วนำมาคำนวณหาดังสมการที่ 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 m คือ มวลของน้ำที่ใช้ในการทดสอบ (kg)
 C คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (MJ/kg·K)
 t_1 คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ (K)
 t_2 คือ อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ (K)
 V คือ ปริมาณของแก๊สที่ใช้ทดสอบ (m^3)
 Q คือ LHV_{LPG} ที่ความดัน 101.3 kPa (MJ/ m^3)
 t_g คือ อุณหภูมิของแก๊สที่ใช้ทดสอบ (°C)
 B คือ ความดันบรรยากาศขณะทดสอบ (kPa)
 P_m คือ ความดันของแก๊สที่ใช้ทดสอบ (kPa)
 S คือ ความดันของไอน้ำอิ่มตัวที่ t_g °C (kPa)

โดยทำการทดสอบ 3 ซ้ำในแต่ละกรณีเพื่อความถูกต้องของข้อมูล ในการศึกษานี้จะทำการเปลี่ยนขนาดของลวดตาข่ายสแตนเลสทั้งหมด 7 ports ของหัวเตาดังรูปที่ 2 โดยทำการศึกษา mesh size ทั้งหมด 3 ขนาดคือ 14, 16 และ 18 mpi



รูปที่ 1 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

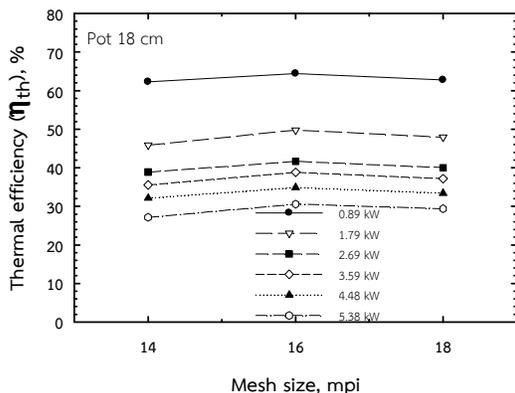


รูปที่ 2 ลักษณะหัวเตาแบบ Vertical port

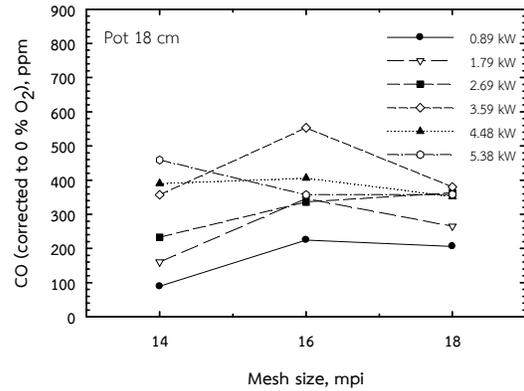
3. ผลการทดลอง

3.1 อิทธิพลของขนาดลวดตาข่ายสแตนเลส

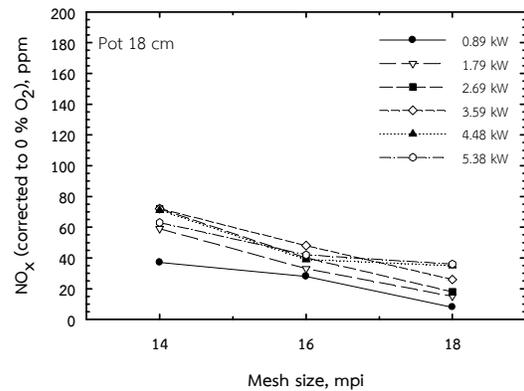
รูปที่ 3 แสดงอิทธิพลของขนาดลวดตาข่ายสแตนเลส (Mesh size) ต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) ที่ Firing rate ต่างๆ โดยทดสอบกับหม้อ 18 cm เมื่อพิจารณาที่ Firing rate (Fr) เท่ากับ 0.89 kW (เมื่อ Fr มีค่าเท่ากับ $V \times Q$) พบว่า η_{th} มีค่าสูงที่สุดเมื่อใช้ลวดตาข่ายสแตนเลส (Wire mesh) เท่ากับ 16 mpi และเป็นในลักษณะเดียวกันที่ทุก Fr นั้นแสดงว่า wire mesh เท่ากับ 16 mpi เป็นขนาดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำมาใช้ติดตั้งกับเตาแบบ Vertical port ซึ่งขนาดเดิมที่ติดตั้งมากับเตา Vertical port มาตรฐาน (Conventional burner, CB) จะใช้ขนาด 14 mpi ทั้งนี้ในการทดสอบได้ลองเปลี่ยนขนาด Wire mesh ลดลงเป็น 12 mpi และทำการทดสอบพบว่าเกิดการเป่าดับ (Blow off) ที่ทุกเงื่อนไขการทดลอง จึงไม่สามารถทดสอบได้ และเมื่อพิจารณาที่ทุก wire mesh พบว่า เมื่อ Fr เพิ่มขึ้น η_{th} จะมีค่าลดลง อาจเนื่องมาจากปริมาณความร้อน (Firing rate) ที่มากขึ้น ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ แต่กลับเพิ่มปริมาณความร้อนสูญเสีย (Heat loss) ให้สูงขึ้น โดย η_{th} สูงสุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 64 ที่ wire mesh เท่ากับ 16 mpi และ Fr เท่ากับ 0.89 kW



รูปที่ 3 อิทธิพลของขนาดลวดตาข่ายสแตนเลส (Mesh size) ต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) ที่ Firing rate ต่างๆ โดยทดสอบกับหม้อ 18 cm



รูปที่ 4 อิทธิพลของขนาดลวดตาข่ายสแตนเลส (Mesh size) ต่อปริมาณ CO ที่ Firing rate ต่างๆ โดยทดสอบกับหม้อ 18 cm



รูปที่ 5 อิทธิพลของขนาดลวดตาข่ายสแตนเลส (Mesh size) ต่อปริมาณ NO_x ที่ Firing rate ต่างๆ โดยทดสอบกับหม้อ 18 cm

รูปที่ 4 แสดงอิทธิพลของขนาดลวดตาข่ายสแตนเลส (Mesh size) ต่อปริมาณ CO ที่ Firing rate ต่างๆ โดยทดสอบกับหม้อ 18 cm เมื่อพิจารณาพบว่า ปริมาณ CO มีลักษณะเดียวกันคือ มีค่าสูงที่สุดที่ Wire mesh เท่ากับ 16 mpi สำหรับทุก Fr (ยกเว้น Fr เท่ากับ 5.38 kW) ถึงแม้ว่าที่ Wire mesh นี้จะให้ η_{th} สูงที่สุดก็ตาม อาจเนื่องมาจากที่ Wire mesh เท่ากับ 16 mpi ได้รับการถ่ายเทความร้อนไปยังภาชนะ จึงทำให้ได้รับอิทธิพลของ Quenching effect สูงที่สุดส่งผลให้ปริมาณ CO มีค่าสูง ในขณะที่ Fr เท่ากับ 5.38 kW ปริมาณ CO มีค่าต่ำสุดที่ Wire mesh เท่ากับ 16 mpi อาจเนื่องมาจากที่ Fr นี้ เปลว

ไฟมีลักษณะยาวและสั้นกันหม้อ 18 cm มาก จึงทำให้พฤติกรรมการเผาไหม้แตกต่างจาก Fr อื่น ซึ่งเปลวไฟไม่สั้นกันหม้อ 18 cm จนเกินไป แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณ CO ก็ไม่ได้มีค่าสูงเกิน 560 ppm สำหรับทุกกรณี

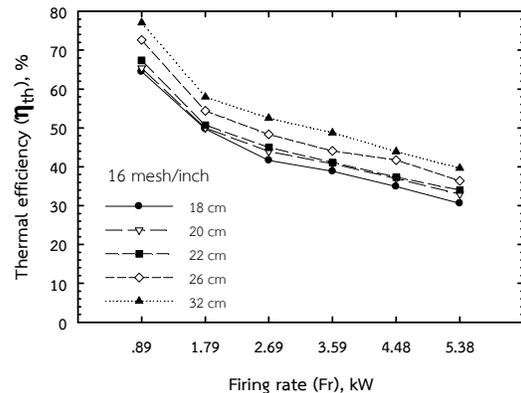
รูปที่ 5 แสดงอิทธิพลของขนาดลวดตาข่ายสแตนเลส (Mesh size) ต่อปริมาณ NO_x ที่ Firing rate ต่างๆ โดยทดสอบกับหม้อ 18 cm เมื่อพิจารณาพบว่า NO_x มีค่าต่ำมาก โดยมีค่าไม่เกิน 75 ppm ที่ทุกสภาวะและมีค่าใกล้เคียงกันทุกกรณี

3.2 อิทธิพลของขนาดภาชนะ

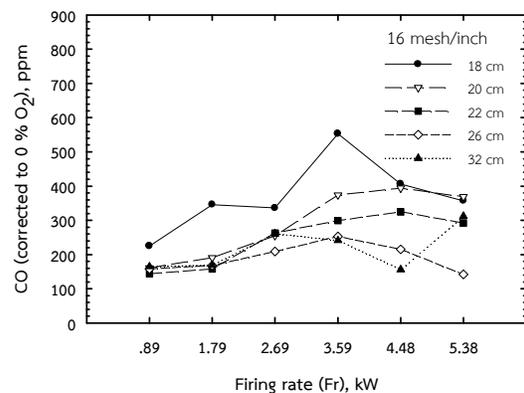
รูปที่ 6 แสดงอิทธิพลของขนาดภาชนะต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) ที่ Firing rate ต่างๆ เมื่อใช้ Wire mesh 16 mpi พบว่า เมื่อ Firing rate มีค่าเพิ่มขึ้น η_{th} มีค่าลดลง ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันสำหรับภาชนะทุกขนาด เนื่องจากปริมาณความร้อน (Fr) ที่มากขึ้นไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ แต่กลับเพิ่มปริมาณความร้อนสูญเสีย (Heat loss) ให้สูงขึ้นและเมื่อพิจารณา Firing rate เดียวกันพบว่า เมื่อหม้อขนาดใหญ่ขึ้นจะมี η_{th} สูงขึ้น เนื่องจาก พื้นที่ในการรับความร้อนสูงขึ้น โดยหม้อ 32 cm มี η_{th} สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 77.06 รองลงมาคือ หม้อ 26, 22, 20 และ 18 cm มีค่าเท่ากับร้อยละ 72.60, 67.36, 65.35 และ 64.43 ตามลำดับ

รูปที่ 7 แสดงอิทธิพลของภาชนะต่อปริมาณ CO ที่ Firing rate ต่างๆ เมื่อใช้ wire mesh 16 mpi พบว่า ปริมาณ CO มีค่าเพิ่มขึ้นแล้วลดลงเมื่อ Firing rate เพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันของทุกภาชนะ อาจเนื่องมาจากความสามารถในการระบายไอเสียออกจากบริเวณเผาไหม้ได้ทันหม้อแย่งเมื่อ Fr ถึงค่าๆ หนึ่ง โดยจะสังเกตพบว่า ปริมาณ CO ที่จุดสูงสุดของหม้อแต่ละขนาดจะเกิดขึ้นที่ Fr ต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณ CO ที่เกิดขึ้นกับหม้อขนาดเล็กจะมีแนวโน้มสูงกว่าที่เกิดขึ้นกับหม้อขนาดใหญ่ที่ทุก Fr อาจเนื่องมาจากเวลาในการเผาไหม้ที่

เกิดขึ้นกับหม้อขนาดเล็กมีค่าน้อยเกิดไปที่จะทำให้เกิดไกลเปลี่ยนแปลงหรือกลไกลเผาไหม้ CO เป็น CO₂ เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยปริมาณ CO ที่เกิดขึ้นมีค่าไม่เกิน 560 ppm ที่ทุกกรณี

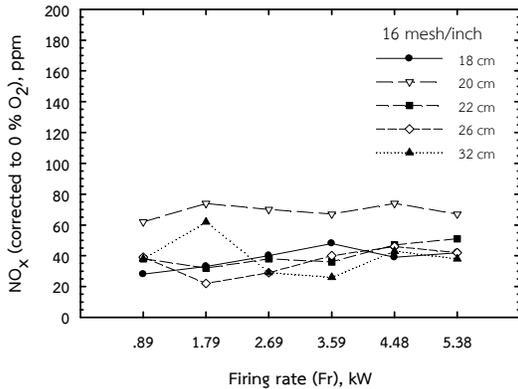


รูปที่ 6 อิทธิพลของขนาดภาชนะต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) ที่ Firing rate ต่างๆ เมื่อใช้ Wire mesh 16 mpi



รูปที่ 7 อิทธิพลของขนาดภาชนะต่อปริมาณ CO ที่ Firing rate ต่างๆ เมื่อใช้ Wire mesh 16 mpi

รูปที่ 8 แสดงอิทธิพลของขนาดภาชนะต่อปริมาณ NO_x ที่ Firing rate ต่างๆ เมื่อใช้ Wire mesh 16 mpi พบว่า NO_x มีค่าต่ำมาก โดยมีค่าไม่เกิน 75 ppm ที่ทุกสภาวะและมีค่าใกล้เคียงกันทุกกรณี



รูปที่ 8 อิทธิพลของขนาดภาชนะต่อปริมาณ NO_x ที่ Firing rate ต่างๆ เมื่อใช้ Wire mesh 16 mpi

4. สรุป

จากการศึกษาอิทธิพลของขนาด wire mesh ต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนแบบ vertical port พบว่า เมื่อ Fr สูงขึ้น η_{th} มีค่าลดลง ในขณะที่ เมื่อขนาดของหม้อใหญ่ขึ้น η_{th} ของเตา มีค่าเพิ่มขึ้น โดย Wire mesh ขนาด 16 mpi เป็นขนาดที่เหมาะสมกว่า กว่าขนาด 14 mpi (ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานที่ติดมากับเตา) และ 18 mpi โดยทำให้เตามี η_{th} สูงที่สุดที่ร้อยละ 77.06 ที่ Fr และหม้อเท่ากับ 0.89 และ 32 cm ตามลำดับ และมีการปลดปล่อยปริมาณ CO และ NO_x ของเตามีค่าสูงสุดไม่เกิน 600 ppm และ 80 ppm ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณนายจิระวุฒิ ประกอบดี นักศึกษาปริญญาโท ห้องปฏิบัติการการประยุกต์ใช้ลำเจ็ท และการเผาไหม้ (CJARL) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลอง และคำแนะนำตลอดการทำงานวิจัย โดยงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, (2557). ข้อมูลพลังงาน, [Energy Database], Available online: <http://www.eppo.go.th/>
- [2] Dong, L.L., Cheung, C.S. and Leung, C.W. (2002). Heat Transfer from an Impinging Premixed Butane/Air Slot Flame Jets, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 45, pp. 972-992
- [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.
- [4] ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ, “การประยุกต์ใช้วัสดุพอร์นเพื่อการประหยัดพลังงานในเตาแก๊สหุงต้ม, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544
- [5] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (Thai Industrial Standard, TIS) มอก. 2312-2549: เตาหุงต้มในครัวเรือนใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลว, เล่ม 126 (ตอนพิเศษ 40ง)