การพัฒนาเตาแก๊สหุงต้มชนิด KB-10 โดยใช้วัสดุพรุนแบบเส้นใยโลหะ

Development of KB-10 Gas-Cooking Burner Using Metal Fibrous Type of Porous Media

สมลักษณ์ พรหมมณีจันทร์[1] ศุภฤกษ์ ชามงคลประดิษฐ์[2] และบัณฑิต กฤตาคม[1,*]

[1]ห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนาในเทคโนโลยีของวัสดุพรุน

(Development in Technology of Porous Materials Research Laboratory: DiTo-Lab)

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถนนสุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

[2]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยเขตขอนแก่น

150 ถ.ศรีจันทร์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000

*ติดต่อ: Someluck_P@yahoo.com และ bundit.kr@rmuti.ac.th, โทรศัพท์: 044-233-073, โทรสาร: 044-233-074

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนเตาแก๊สหุงต้ม KB-10 (Katsura-burner-10) ที่ใช้วัสดุพรุนแบบเส้นใยโลหะติดตั้งทดแทนวงแหวนรอบนอก ในขณะที่วงแหวนรอบในยังคงเป็นแบบทั่วไป เส้นใยโลหะที่ใช้ในการทดลองจะมีขนาดความกว้าง (W_P) 3 ขนาด ได้แก่ 0.3 mm, 0.5 mm และ 0.7 mm ซึ่งค่าความพรุน (ε_P) เป็น 0.957, 0.968 และ 0.989 ตามลำดับ แต่มีความหนาเฉลี่ยเท่ากันคือ 1 mm จะนิยามเตาแก๊สหุงต้มแบบใหม่นี้ว่า เตาแก๊สหุงต้ม KB-10 ชนิดเส้นใยโลหะที่วงแหวนนอก (MKB) นอกจากนี้ในการทดลองยังทำการเปรียบเทียบกับเตาแก๊สหุงต้มเชิงพาณิชย์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน (CCB) หม้อหุงต้มใช้ในการทดลองเป็นขนาด 30 cm และต้มน้ำปริมาณ (V_W) เท่ากับ 5 ลิตร ขั้นตอนการทดลองเพื่อหา η_{th} จะเป็นไปตามมาตรฐานเยอรมัน DIN-EN 203-2 อยู่ภายใต้อัตราการจ่ายเชื้อเพลิง (Q_F) 7 kW จากการทดลองพบว่าเตาแก๊สแบบ MKB สามารถต้มเดือดได้เร็วกว่าเตาแก๊สหุงต้มแบบ CCB รวมทั้งมีค่า η_{th} ที่สูงกว่า และยังพบว่า η_{th} จะสูงขึ้นตาม W_P ที่ลดลง ดังนั้น เตาแก๊สแบบ MKB-03 (W_p= 3 mm) ที่สภาวะ Q_F = 7 kW และ V_w = 5 ลิตร จะให้ η_{th} สูงที่สุดคือ 33.5 %

คำหลัก: เตาแก๊สหุงต้ม KB-10, วัสดุพรุนแบบเส้นไยโลหะ, ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

Abstract

This research aims to improve the thermal efficiency (η_{th}) of cooking-gas burner of Katsura-burner (KB-10) by replacing the metal fibrous type of porous media on the outer ring but the inner ring is still conventional burner. Three metal fibrous widths, i.e., 0.3 mm, 0.5 mm and 0.7 mm, having porosity of 0.957, 0.967 and 0.989 respectively, are examined while the average thick is kept at 1 mm. The new burner is defined by the metal fibrous KB-10 burner (MKB). Moreover, the experimental results are compared with the conventional cooking-gas burner (CCB). A size of the tested pot

has 30 cm and a volume of boiling water (V_W) is 5 Liter. The experimental procedure to estimate the η_{th} is based on the German standard of DIN-EN 203-2 under the condition of fuel rate (Q_F) at 7 kW. From the examination, it is found that the boiling time of MKB yields faster than the CCB and the η_{th} is also higher. In addition, the η_{th} is increased with W_P decreasing. Thus, the MKB-03 (W_P=3mm) at Q_F = 7 kW and M_W = 5 Liter give a maximum η_{th} that become 33.5%.
Keywords: KB-10 Gas-cooking burner, Metal fibrous type of porous media, Thermal efficiency

1. บทนำ

เตาแก๊สหุงต้มแอลพีจีมาตรฐาน (Conventional cooking burner, CCB) [1] เป็นเตาที่นิยมใช้หุงต้มกันแพร่หลายมากที่สุดในปัจจุบันเมื่อเทียบกับแบบอื่น ๆ เช่น เตาถ่าน หรือเตาไฟฟ้า ทั้งนี้เพราะมีลักษณะเด่นหลายประการ เช่น โครงสร้างเรียบง่าย ราคาถูก ใช้ง่าย เร่งไฟได้เร็ว สะดวก และมีช่วงการทำงานที่กว้างพอสมควร ทนทาน มีความปลอดภัยสูง เตาแก๊สหุงต้มแอลพีจีมาตรฐานดังกล่าวประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ สามอย่าง คือ ท่อผสม (Mixing tube) หัวเผา (Burner head หรือ Cap) และรูพ่นแก๊ส (Injector orifice) ท่อผสมส่วนใหญ่ทำจากเหล็กหล่อโดยได้รับการออกแบบให้มีลักษณะเป็นคอคอด (Throat) ใกล้กับบริเวณทางเข้าของแก๊ส และอากาศส่วนแรก เพื่อผลทางด้านพลศาสตร์ของการไหลในท่อ และจะมีมากกว่าหนึ่งท่อก็ได้แล้วแต่การออกแบบเพื่อผลของการปรับเปลี่ยนช่วงอัตราการไหลแก๊ส หรือค่า Turn-down ratio ของเตา หัวเผาส่วนใหญ่ทำจากทองเหลืองมีรูปร่างได้หลายแบบขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น อาจเป็นแผนวงกลมตัน (Cap) หรือเป็นวงแหวน (Circular ring) และจะมีจำนวนมากกว่าหนึ่งวงแหวนก็ได้ ที่ขอบวงแหวนด้านล่างตรงที่สัมผัสกับขอบท่อผสมทำเป็นบ่านูน และถูกเซาะร่องจำนวนหลายร่องในแนวรัศมีเพื่อทำหน้าที่เป็นรูกระจายแก๊ส (Burner port) และเปลวไฟที่ติดอยู่เหนือรูพ่นแก๊สให้กระทบอย่างสม่ำเสมอต่อภาชนะหุงต้มที่จะวางอยู่เหนือหัวเผา ด้วยโครงสร้างที่ง่าย และใช้งานสะดวกของเตาแก๊ส CCB แบบนี้จึงส่งผลให้มีการใช้แอลพีจีเพิ่มมากขึ้นทุกปี จากสถิติของกระทรวงพลังงานของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2556 [2] พบว่ามีการใช้เชื้อเพลิง LPG ในภาคอุตสาหกรรม ปิโตรเคมีร้อยละ 35 ภาคครัวเรือนคิดเป็นร้อยละ 32 ภาคขนส่ง หรือรถยนต์คิดเป็นร้อยละ 24 และภาค อุตสาหกรรมคิดเป็นร้อยละ 8

จากที่กล่าวมานั้น จะสังเกตได้ว่าภาคครัวเรือนมีการใช้แอลพีจีสูงอย่างต่อเนื่อง ยิ่งถ้าศึกษาให้ลึกลงไปจะพบว่าเตาแก๊สที่ใช้ปริมาณแอลพีจีมากจะเป็นเตาแก๊สที่มีรูปแบบการจ่ายแก๊สในความดันใช้งานสูง ๆ (มากกว่า 280 mmH_2O) หรือบางทีเรียกเตาแก๊สความดันสูงเหล่านี้ว่า Kutsura burner (KB) ด้วยเหตุนี้จึงได้มีนักวิจัยหลายกลุ่มสนใจที่จะลดปริมาณการใช้แอลพีจีของเตาแก๊ส KB ในภาคครัวเรือน โดยการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) ของเตาแก๊สหุงต้มในหลายรูปแบบหรือหลายวิธีการ [3-10] โดยอาศัยอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ ฝาครอบแก๊สประสิทธิภาพสูง ของกระทรวงพลังงาน การปรับปรุงลักษณะการฉีดแก๊สของหัวเตา โดยการปรับปรุงจากหัวเตาแบบเดิม เปลี่ยนมาเป็นการฉีดแก๊สแบบหมุนวน (Swirling flow) ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการหมุนวนของเปลวไฟก่อให้เกิดแรงเฉือนมีผลดีต่อการเผาไหม้ และการถ่ายเทความร้อนกล่าวคือ เพิ่มระยะเวลาในการผสมของเชื้อเพลิง และอากาศ เพิ่มเวลา และผิวสัมผัสในการสัมผัสของเปลวไฟกับภาชนะ ซึ่งทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ มากขึ้นรวมทั้งเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน นอกจากสองแนวทางนี้แล้ว การประยุกต์ใช้

เทคโนโลยีของวัสดุพรุนก็เป็นอีกวิธีที่นิยมนำมาใช้ เนื่องจากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) ให้สูงขึ้นได้อย่างชัดเจน ดังผลการศึกษาของนักวิจัยกลุ่มต่าง ๆ ดังนี้

ในปี พ.ศ.2544 (ค.ศ.2001) ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ [3] นำเอาเทคโนโลยีวัสดุพรุนมาประยุกต์ใช้ในการส่งเสริมประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) ของเตาแก๊สหุงต้ม KB-10 พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น 20% ต่อมาในปี พ.ศ.2548 (ค.ศ.2005) วสันต์ โยคเสนะกุล [4] นำแนวทางจาก ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ [3] มาพัฒนาต่อ โดยจะยังคงใช้เตาแก๊สขนาด KB–10 แต่ทำการดัดแปลงหัวเผาจาก CB เป็น SB แล้วนำมาประกอบเข้ากับโครงสร้างที่มีการหมุนเวียนความร้อนด้วยวัสดุพรุน (Porous radiant recirculated burner, PRRB) พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น 35.83% ส่งผลให้ในปีถัดมา คือ พ.ศ.2549 (ค.ศ.2006) จารุณี จาบกลาง [5] ได้ใช้หลักการวัสดุพรุนคล้าย ๆ กับงานวิจัยของวสันต์ โยคเสนะกุล [4] มาพัฒนาประสิทธิภาพของเตา KB-5 ได้ผลการทดลองคือ เตา KB-5 มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่นกัน ในปี ค.ศ. 2007 Pantangi และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาสมบัติการเผาไหม้ของเตาแก๊สโดยใช้ในวัสดุพรุน คือ ลูกบอลโลหะ และเศษโลหะมาประกอบเป็นชุดหัวเผาทำการทดสอบตามมาตรฐาน IS 4246: 2002 พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) สูงสุดของเตาแก๊สวัสดุพรุนเป็น 73%

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ถึงแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูง แต่ก็ยังมีข้อน่าสนใจที่สามารถจะพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นต่อไป โดยเฉพาะงานวิจัยของ Pantangi et al. [6] มีการใช้วัสดุพรุนที่ทำเป็นหัวเตาหลาย ๆ รูปแบบ และพบว่าหัวเตาแก๊สที่ใช้วัสดุพรุนประเภทเส้นใยโลหะนั้นสามารถทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) สูงที่สุด ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดปรับปรุงเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน KB-10 แบบใหม่โดยทำการออกแบบ และสร้างหัวเตาด้วยวัสดุพรุนแบบเส้นใยโลหะแทนวงแหวนรอบนอก (Outer ring) ของ KB-10 ส่วนวงแหวนด้านใน (Inner ring) ยังคงใช้แบบทั่วไปตามท้องตลาด (CCB) นอกจากนี้จะทำการเปรียบเทียบกับหัวเตาแก๊ส KB-10 ทั่ว ๆ ไป เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) ของเตาแก๊สหุงต้มแบบใหม่ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้ จะนำไปสู่การพัฒนา และผลิตเตาแก๊สที่ใช้งานจริงในภาคครัวเรือน รวมทั้งเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเลือกใช้เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนที่มีการประหยัดพลังงาน ราคาไม่สูง และส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานต่อไป

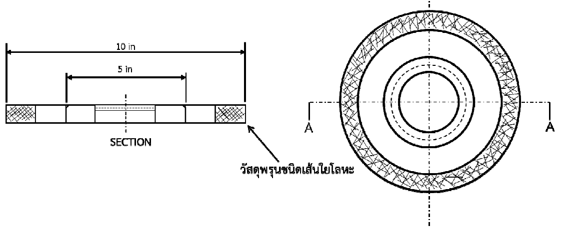
2. รายการสัญลักษณ์

CCB	Conventional cooking burner
CO	คาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm)
$C_{P,water}$	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg·K)
DIN	Deutsches Institut fur Notmung
KB	Katsura burner
LHV	ค่าความร้อนทางต่ำของแก๊สทดสอบที่ใช้ (MJ/m^3)
LPG	Liquidfied Petroleum Gas
V_w	ปริมาณของน้ำต้ม (Litre)
NO_x	ไนโตรเจนออกไซค์ (ppm)
Q_F	อัตราการจ่ายเชื้อเพลิง
t	เวลาที่ใช้ในการต้มน้ำ (s)
$T_{water,i}$	อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ (°C)
V	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊ส (m^3/s)
η_{th}	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)
ε_P	ค่าความพรุนของวัสดุพรุน

3. อุปกรณ์การ และวิธีทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

รูปที่ 1 แสดงแนวคิดในการพัฒนาเตาแก๊สหุงต้มชนิด KB-10 โดยใช้วัสดุพรุนชนิดเส้นใยโลหะเพื่อปรับปรุงลักษณะการฉีดแก๊สของหัวเตา รวมทั้งการอุ่นอากาศ กล่าวคือ จากลักษณะหัวเตาแก๊ส KB-10 ที่มีวงแหวน 2 วง คือ วงแหวนใน (Inner ring) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 5 นิ้ว และวงแหวนรอบนอก (Outer ring) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 10 นิ้ว ด้วยโครงสร้างแบบนี้หากไม่มีวงแหวนนอกจะกลายเป็นเตาแก๊ส KB-5 ดังนั้นในการปรับปรุงหัวเตาแก๊ส KB-10 จะไม่ได้ทำการปรับเปลี่ยนรูปแบบการพ่นแก๊สของวงแหวนใน ส่วนวงแหวนนอกจะทำการถอดออกแล้วทำการติดตั้งวัสดุพรุนแบบเส้นใยโลหะแทนก่อให้เกิดการอุ่นอากาศและเปลวไฟแบบแผ่รังสี (Radiant flame) จากลักษณะเปลวไฟทั้งสองรูปแบบนี้จะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น เนื่องจากวัสดุพรุนชนิดเส้นใยโลหะจะช่วยเพิ่มการนำความร้อน ขนะเดียวกันจะทำการแผ่รังสีความร้อน (Emitting) เพื่อเป็นการอุ่นอากาศ โดยเฉพาะ 2 ส่วนหลัก ๆ คือ ด้านบน และด้านล่างของหัวเตา เพื่อทำให้อุณหภูมิส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศที่ถูกจ่ายเข้ามาในหัวเผาเพิ่มขึ้น จึงทำให้อุณหภูมิของเปลวไฟเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



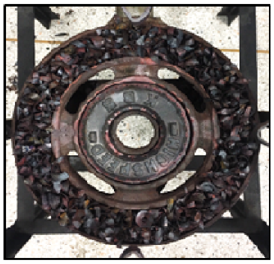
รูปที่ 1 ลักษณะหัวเตาแก๊ส KB-10 ที่ใช้วัสดุพรุนร่วมกับเปลวไฟแบบหมุนวน

รูปที่ 2 แสดงรายละเอียดการเปรียบเทียบลักษณะหัวเตาแก๊สแบบทั่วไป (CCB) กับหัวเตาแก๊สที่สร้างขึ้นใหม่ โดยจะนิยามเตาแก๊สแบบใหม่นี้ว่า เตาแก๊สหุงต้ม KB-10 ชนิดเส้นใยโลหะที่วงแหวนรอบนอก (The Metal Fibrous Type in Outer Ring of KB-10 Cooking-gas Burner, MKB) และจะเรียกชื่อของเตาแก๊สแบบ MKB ตามขนาดความกว้างของแผ่นเส้นใยโลหะที่มี 3 ขนาด คือ 03 05 และ 07 mm ดังนี้ MKB-03, MKB-05 และ MKB-07 ตามลำดับ

(ก) หัวเตาแก๊สแบบ CCB-00

(ข) หัวเตาแก๊สแบบ MKB-03

(ค) หัวเตาแก๊สแบบ MKB-05



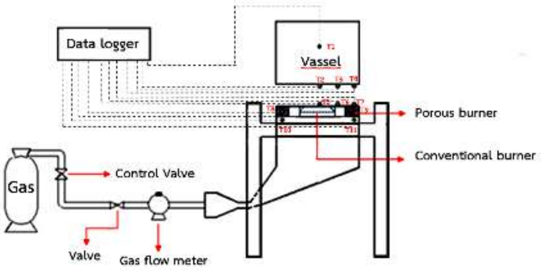
(ง) หัวเตาแก๊สแบบ MKB-07

รูปที่ 2 ลักษณะหัวเตาแก๊สที่ใช้ในการทดลอง

3.2 วิธีการทดลอง

รูปที่ 3 แสดงอุปะกรณ์และหลักการทำงานเพื่อหาค่าประสิทธิภาพณเชิงความร้อนเตาแก๊สหุงต้มในงานวิจัยนี้ โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้ ก่อนการทดสอบต้องติดตั้งแหล่งจ่ายแก๊สเข้ากับอุปกรณ์ควบคุมความดันแก๊ส มาตรวัดปริมาณแก๊ส มาตรวัดความดันแก๊ส และเตาแก๊สให้เรียบร้อย ขั้นแรกจุดไฟที่เตาโดยเปิดเตาในอัตรา

การใช้แก๊สสูงสุดเป็นเวลา 15 นาที จึงปิดเตา หลังจากนั้นวางหม้ออะลูมิเนียมซึ่งใส่น้ำตามที่กำหนดไว้ (V_W) คือ 5 ลิตร โดยน้ำมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 27 °C พร้อมฝาเทอร์โมคัปเปิลบนเตาแก๊ส หลังจากนั้นก็ทำการจ่ายแก๊สในอัตราที่กำหนด (Q_F) ไว้คือ 7 kW และทำการจุดติดไฟ ต้มน้ำจากอุณหภูมิเริ่มต้น ต้มจนน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 90°C ให้ปิดแก๊สและวัดค่าการใช้แก๊สระหว่างการทดสอบและค่าต่าง ๆ โดยในการทดลองใช้ เครื่องมือวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิลชนิด K เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data loger) รุ่น GL280 เครื่องมือวัดแก๊ส (Flow gas meter) เครื่องมือวัดปริมาณแก๊สไอเสีย รุ่น Testo 350-XL และเครื่องมือที่ใช้ในการถ่ายภาพเปลวไฟ กล้องดิจิตอล ยี่ห้อ Canon รุ่น EOS 6D



รูปที่ 3 แผนผังการทดลอง

3.3 การหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th})

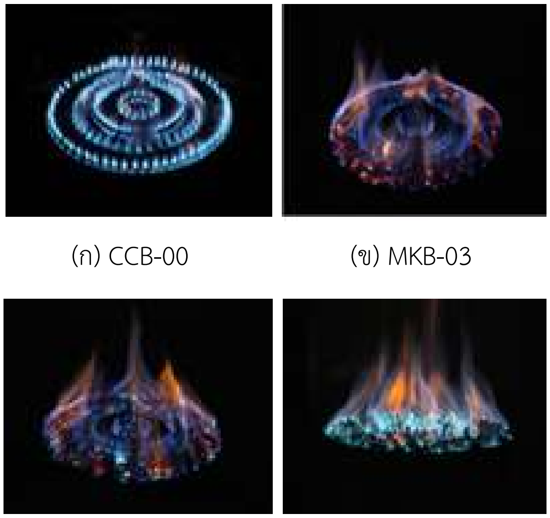
การหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มจะเป็นไปตามตามมาตรฐาน DIN EN 203-2 โดยค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะหาได้จากค่าความร้อนสำผัดที่น้ำได้รับ ด้วยวิธีการต้มน้ำ และคำนวนได้ดังนี้

$$\eta_{th} = \frac{V_{water} C_{p,water} \left(363 - T_{water,i}\right)}{V \times LHV \times t} \qquad (1)$$

4. ผลการทดลอง

4.1 ลักษณ์เปลวไฟของเตาแก๊สหุงต้ม

รูปที่ 4 แสดงลักษณะเปลวไฟของหัวเตาที่สภาวะอัตราการจ่ายเชื้อเพลิง Q_F = 7 kW จากการสังเกตลักษณะเปลวไฟทั้ง 4 รูปแบบได้แก่ CCB-00, MKB-03, MKB-05, และ MKB-07 พบว่า หัวเตาที่วงแหวนนอก (Outer ring) เป็นแบบ CCB คือ CCB-00 จะมีลักษณะพุ่งตรง เนื่องจากหัวเตาไม่มีมุมการจ่ายเชื้อเพลิงหมุนวน ส่วนเปลวไฟของหัวเตาที่มีการใช้เศษโลหะมาแทนวงแหวนนอก หรือเตาแก๊สที่ทำการพัฒนาขึ้นใหม่ทั้ง 3 หัว (MKB-03, MKB-05 และMKB-07) จะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่าลักษณะของเปลวไฟมีรูปทรงเป็นสามเหลี่ยมพุ่งขึ้นปะทะก้นภาชนะ



(ก) CCB-00 (ข) MKB-03

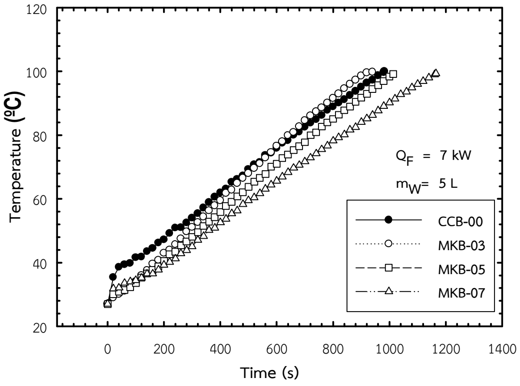
(ค) MKB-05 (ง) MKB-07

รูปที่ 4 ลักษณะของเปลวไฟ

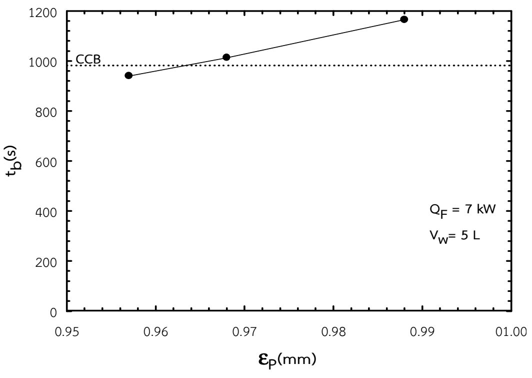
4.2 อุณหภูมิต้มเดือด (t_{boil})

รูปที่ 5 (ก) เป็นการแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กันระหว่างอุณหภูมิน้ำกับเวลาที่ใช้ในการทดลองของหัวเตาทั้ง 4 แบบ โดยในการทดสอบใช้น้ำปริมาณ (V_w) 5 L ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 27-29 °C และอัตราการจ่ายเชื้อเพลิง (Q_F) 7 kW จากการทดลองพบว่าหัวเตาแบบ MKB-03 (ε_P = 0.957) หรือที่มีค่าความพรุนน้อยที่สุดสามารถต้มน้ำเดือดได้เร็วกว่าหัวเตาที่มีค่าความพรุนสูง ๆ คือ MKB-05 (ε_P = 0.968) และ MKB-07 (ε_P = 0.989)

ยังพบอีกว่า MKB-03 สามารถต้มน้ำเดือดได้เร็วกว่าเตาแก๊ส CCB-00 ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป จากผลการทดลองที่ได้นี้สามารถอธิบายได้ด้วยคุณสมบัติการดูดซับความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุพรุนโดยเฉพาะที่กรณี MKB-03 (ε_P = 0.957) จะช่วยส่งเสริมอุณหภูมิการเผาไหม้ให้ดีมาก และสามารถส่งถ่ายความร้อนไปยังก้นภาชนะได้มากกว่าเตาแก๊สแบบ CCB-00 (เส้นประในรูปที่ 5.2 (ข)) แต่หากทำการพิจารณากรณีที่ค่าความพรุนสูงมากขึ้นไปกว่านี้ พบว่าใช้เวลาในการต้มน้ำเดือดนานมากกว่าหัวเตาแบบทั่วไป CCB-00 อธิบายได้ว่าวัสดุพรุนมีช่องว่างมากขึ้น เนื้อวัสดุพรุนน้อยลงทำให้ไม่สามารถกักเก็บพลังงานความร้อนไว้ได้ ส่งผลให้กลไกการแผ่รังสีความร้อนมีนัยสำคัญลดลงไปอย่างชัดเจน



(ก)

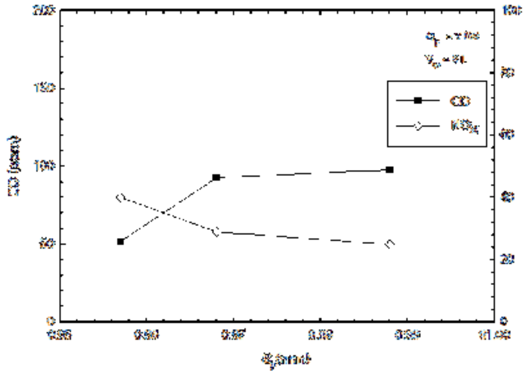


(ข)

รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง t_{boil} กับ ε_P

4.3 ปริมาณการปล่อยค่า CO และ NOx

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุน (ε_P) กับปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจน-ออกไซด์ (NO_x) เป็นการทดลองที่สภาวะอัตราการจ่ายเชื้อเพลิง (Q_F) 7 kW และปริมาณน้ำ (V_w) 5 L พบว่าปริมาณ CO มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม ε_P ที่เพิ่มขึ้น และ NO_x มีแนวโน้มลดลงตาม ε_P ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในแต่ละขนาด หรือค่าความพรุน (ε_P) ของเศษโลหะจะมีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เกิดขึ้นเมื่อค่า ε_P เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามปริมาณ CO และ NO_x ของหัวเตาทั้งหมด ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ

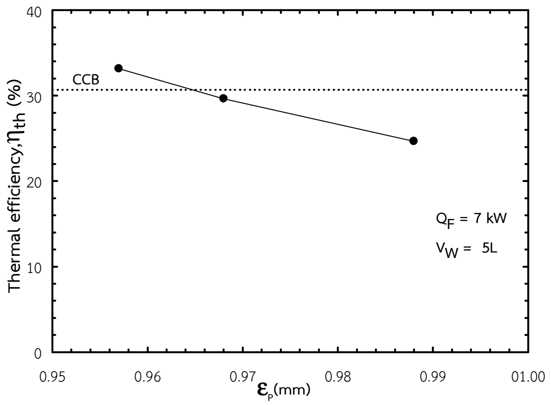


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง CO และ NO_x กับ ε_P

4.4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th})

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th}) กับค่า ε_P ของหัวเตาที่ทำการทดลอง ซึ่งอยู่ที่สภาวะอัตราการจ่ายเชื้อเพลิง (Q_F) 7 kW และปริมาณน้ำ (V_W) 5 L จากผลการทดลองพบว่า หัวเตาแบบ MKB-03 (ε_P = 0.957) มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) สูงกว่า MKB-05 (ε_P = 0.968) และ MKB-07 (ε_P = 0.989) และมีแนวโน้มลดลงตามค่าความพรุน (ε_P) ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังพบว่ากรณีหัวเตารูปแบบ MKB-03

(ε_P = 0.957) จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าหัวเตารูปแบบ CCB-00 ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป (กราฟเส้นประ) ตามเหตุผลที่ได้อธิบายไปในรูปที่ 5



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_{th} กับ ε_P

5. สรุป

จากการศึกษาเตาแก๊สหุงต้ม KB-10 (Katsura-burner-10) ที่ใช้วัสดุพรุนชนิดเส้นใยโลหะทดแทนวงแหวนรอบนอก และทำการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยวิธี Boiling test ตามมาตรฐานเยอรมัน DIN EN 203-2 สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ลักษณะเปลวไฟของหัวเตาแก๊สแบบ CCB-00 จะมีลักษณะพุ่งตรงเนื่องจากหัวเตาไม่มีมุมการจ่ายเชื้อเพลิงหมุนวน ส่วนเปลวไฟของหัวเตาแบบ MKB ทั้ง 3 หัวจะมีลักษณะของเปลวไฟมีรูปทรงเป็นสามเหลี่ยมพุ่งขึ้นปะทะก้นภาชนะ

2) เตาแก๊สแบบ MKB-03 (ε_P = 0.957) สามารถต้มน้ำเดือดได้เร็วกว่า MKB-05 (ε_P = 0.968) และ MKB-07 (ε_P = 0.989) ยังพบอีกว่าเตาแบบ MKB-03 สามารถต้มน้ำเดือดได้เร็วกว่าเตาแก๊ส CCB-00 อธิบายได้ด้วยคุณสมบัติการดูดซับความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุพรุน จะช่วยส่งเสริมอุณหภูมิการเผาไหม้ให้ดียิ่งขึ้น และสามารถส่งถ่ายความร้อนไปยังก้นภาชนะได้มากกว่าเตาแก๊สแบบ CCB-00

3) ปริมาณ CO มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม ε_P ที่เพิ่มขึ้น และ NO_x มีแนวโน้มลดลงตาม ε_P ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในแต่ละขนาดหรือค่าความพรุน (ε_P) ของเศษโลหะ จะมีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เกิดขึ้นเมื่อค่า ε_P เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามปริมาณ CO และ NO_x ของหัวเตาทั้งหมด ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ

4). ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) ของหัวเตาแบบ MKB-03 (ε_P = 0.957) มีค่า η_{th} สูงกว่า MKB-05 (ε_P = 0.968) และ MKB-07 (ε_P = 0.989) และมีแนวโน้มลดลงตามค่า ε_P ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังพบว่า MKB-03 (ε_P = 0.957) จะมี η_{th} สูงกว่า CCB-00

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้เขียนบทความวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (มทร. อีสาน) ที่ได้สนับสนุนอุปกรณ์การทดลองและสถานที่ในการทดลองในการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณ นายขจรศักดิ์ ทบนอก, นายณรงค์ฤทธิ์ แผนสมบูรณ์ และนายชญานนท์ ชินนอก นักศึกษาระดับปริญญาตรี ที่ช่วยทำงานวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงอุตสาหกรรม (2549). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเตาหุงต้มในครัวเรือนใช้กับก๊าซปิโตรเลียมเหลว*, URL: www. ratchakitcha.-soc.go.th/DATA/PDF/2550/E/040/17.PDF.

[2] กระทรวงพลังงาน (2556). *ข้อมูลการใช้พลังงานในประเทศไทย*, URL: www.energy.go.th.

[3] ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ (2544). *การประยุกต์ใช้วัสดุพรุนเพื่อการประหยัดพลังงานในเตาแก๊สหุงต้ม* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ

[4] วสันต์ โยคเสนะกุล (2548). *หัวเผาเชื้อเพลิงแก๊สที่มีการหมุนเวียนความร้อนและการไหลแบบหมุนวน*, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ

[5] จารุณี จาบกลาง (2549). *การพัฒนาเตาแก๊สหุงต้มที่มี ประสิทธิภาพสูงชนิดที่มีการหมุนเวียนความร้อน*, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ

[6] Pantangi V. K, A. S. S. R. Karuna Kumar, Subhash C. Mishra and Niranjan Sahoo. (2007). Performance Analysis of Domestic LPG Cooking Stoves with Porous Media, *International Energy Journal*, vol.8, pp.139-144.

[7] เทวา จะทารัมย์, สมทวี หิ่งห้อย และอัฐกานต์ เพ็ชรมาก. (2555). *การศึกษาอิทธิพลของคุณลักษณะ รูพ่นเชื้อเพลิงในเตาแก๊สหุงต้ม KB-10*, ปริญญานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, นครราชสีมา.

[8] ทศพล วรรณทะมาศ, พรทวี บริสุทธิ์ และณรงค์ฤทธิ์ วีระโห (2556). *อิทธิพลของคุณลักษณะรูพ่นแก๊สที่มีผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาแก๊สแบบ KB-5*, ปริญญานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาเทคโนโลยี ราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

[9] บัณฑิต กฤตาคม (2554). หัวพ่นไฟอุตสาหกรรม และการประยุกต์ใช้วัสดุในหัวพ่นไฟ, *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม*, ปีที่ 12, ฉบับที่ 1, หน้า 76-89.

[10] บัณฑิต กฤตาคม (2555). การเผาไหม้น้ำมันดีเซลในหัวพ่นไฟวัสดุพรุนชนิดเม็กลมอัดแน่นที่มีโครงสร้างแบบเนื้อเดียวและกึ่งเนื้อเดียว, *วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร*, ปีที่ 20, ฉบับที่ 3, หน้า 38-48.

[11] สาเริง จักรใจ (2547). *การเผาไหม้*, สานักพิมพ์ แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ

[12] กระทรวงพลังงาน (2551). เอกสารการเผยแพร่ฝาครอบแก๊สประสิทธิภาพสูง.

[13] Weinberg F. (1996). Heat-recirculating burners: Principles and some recent devolopments, *Combustion Science and Technology*, vol.121, pp.3-22.

[14] A.Tamir.Elperin.I.and Yotzer, S., (1992). Performance characteristics of a gas burner with a swirl central Flame, *Energy*, vol. 14, No. 5, pp. 347-362

การพัฒนาเตาแก๊สหุงต้มชนิด KB-10 โดยใช้วัสดุพรุนแบบเส้นใยโลหะ

Development of KB-10 Gas-Cooking Burner Using Metal Fibrous Type of Porous Media

สมลักษณ์ พรหมมณีจันทร์[1] ศุภฤกษ์ ชามงคลประดิษฐ์[2] และบัณฑิต กฤตาคม[1,*]

[1]ห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนาในเทคโนโลยีของวัสดุพรุน

(Development in Technology of Porous Materials Research Laboratory: DiTo-Lab)

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถนนสุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

[2]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยเขตขอนแก่น

150 ถ.ศรีจันทร์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000

*ติดต่อ: Someluck_P@yahoo.com และ bundit.kr@rmuti.ac.th, โทรศัพท์: 044-233-073, โทรสาร: 044-233-074

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนเตาแก๊สหุงต้ม KB-10 (Katsura-burner-10) ที่ใช้วัสดุพรุนแบบเส้นใยโลหะติดตั้งทดแทนวงแหวนรอบนอก ในขณะที่วงแหวนรอบในยังคงเป็นแบบทั่วไป เส้นใยโลหะที่ใช้ในการทดลองจะมีขนาดความกว้าง (W_P) 3 ขนาด ได้แก่ 0.3 mm, 0.5 mm และ 0.7 mm ซึ่งค่าความพรุน (ε_P) เป็น 0.957, 0.968 และ 0.989 ตามลำดับ แต่มีความหนาเฉลี่ยเท่ากันคือ 1 mm จะนิยามเตาแก๊สหุงต้มแบบใหม่นี้ว่า เตาแก๊สหุงต้ม KB-10 ชนิดเส้นใยโลหะที่วงแหวนนอก (MKB) นอกจากนี้ในการทดลองยังทำการเปรียบเทียบกับเตาแก๊สหุงต้มเชิงพาณิชย์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน (CCB) หม้อหุงต้มใช้ในการทดลองเป็นขนาด 30 cm และต้มน้ำปริมาณ (V_W) เท่ากับ 5 ลิตร ขั้นตอนการทดลองเพื่อหา η_{th} จะเป็นไปตามมาตรฐานเยอรมัน DIN-EN 203-2 อยู่ภายใต้อัตราการจ่ายเชื้อเพลิง (Q_F) 7 kW จากการทดลองพบว่าเตาแก๊สแบบ MKB สามารถต้มเดือดได้เร็วกว่าเตาแก๊สหุงต้มแบบ CCB รวมทั้งมีค่า η_{th} ที่สูงกว่า และยังพบว่า η_{th} จะสูงขึ้นตาม W_P ที่ลดลง ดังนั้น เตาแก๊สแบบ MKB-03 (W_p= 3 mm) ที่สภาวะ Q_F = 7 kW และ V_w = 5 ลิตร จะให้ η_{th} สูงที่สุดคือ 33.5 %

คำหลัก: เตาแก๊สหุงต้ม KB-10, วัสดุพรุนแบบเส้นไยโลหะ, ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

Abstract

This research aims to improve the thermal efficiency (η_{th}) of cooking-gas burner of Katsura-burner (KB-10) by replacing the metal fibrous type of porous media on the outer ring but the inner ring is still conventional burner. Three metal fibrous widths, i.e., 0.3 mm, 0.5 mm and 0.7 mm, having porosity of 0.957, 0.967 and 0.989 respectively, are examined while the average thick is kept at 1 mm. The new burner is defined by the metal fibrous KB-10 burner (MKB). Moreover, the experimental results are compared with the conventional cooking-gas burner (CCB). A size of the tested pot

has 30 cm and a volume of boiling water (V_W) is 5 Liter. The experimental procedure to estimate the η_{th} is based on the German standard of DIN-EN 203-2 under the condition of fuel rate (Q_F) at 7 kW. From the examination, it is found that the boiling time of MKB yields faster than the CCB and the η_{th} is also higher. In addition, the η_{th} is increased with W_P decreasing. Thus, the MKB-03 (W_P=3mm) at Q_F = 7 kW and M_W = 5 Liter give a maximum η_{th} that become 33.5%.
Keywords: KB-10 Gas-cooking burner, Metal fibrous type of porous media, Thermal efficiency

1. บทนำ

เตาแก๊สหุงต้มแอลพีจีมาตรฐาน (Conventional cooking burner, CCB) [1] เป็นเตาที่นิยมใช้หุงต้มกันแพร่หลายมากที่สุดในปัจจุบันเมื่อเทียบกับแบบอื่น ๆ เช่น เตาถ่าน หรือเตาไฟฟ้า ทั้งนี้เพราะมีลักษณะเด่นหลายประการ เช่น โครงสร้างเรียบง่าย ราคาถูก ใช้ง่าย เร่งไฟได้เร็ว สะดวก และมีช่วงการทำงานที่กว้างพอสมควร ทนทาน มีความปลอดภัยสูง เตาแก๊สหุงต้มแอลพีจีมาตรฐานดังกล่าวประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ สามอย่าง คือ ท่อผสม (Mixing tube) หัวเผา (Burner head หรือ Cap) และรูพ่นแก๊ส (Injector orifice) ท่อผสมส่วนใหญ่ทำจากเหล็กหล่อโดยได้รับการออกแบบให้มีลักษณะเป็นคอคอด (Throat) ใกล้กับบริเวณทางเข้าของแก๊ส และอากาศส่วนแรกเพื่อผลทางด้านพลศาสตร์ของการไหลในท่อ และจะมีมากกว่าหนึ่งท่อก็ได้แล้วแต่การออกแบบเพื่อผลของการปรับเปลี่ยนช่วงอัตราการไหลแก๊ส หรือค่า Turn-down ratio ของเตา หัวเผาส่วนใหญ่ทำจากทองเหลืองมีรูปร่างได้หลายแบบขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น อาจเป็นแผนวงกลมตัน (Cap) หรือเป็นวงแหวน (Circular ring) และจะมีจำนวนมากกว่าหนึ่งวงแหวนก็ได้ ที่ขอบวงแหวนด้านล่างตรงที่สัมผัสกับขอบท่อผสมทำเป็นบ่านูน และถูกเซาะร่องจำนวนหลายร่องในแนวรัศมีเพื่อทำหน้าที่เป็นรูกระจายแก๊ส (Burner port) และเปลวไฟที่ติดอยู่เหนือรูพ่นแก๊สให้กระทบอย่างสม่ำเสมอต่อภาชนะหุงต้มที่จะวางอยู่เหนือหัวเผา ด้วยโครงสร้างที่ง่าย และใช้งานสะดวกของเตาแก๊ส CCB แบบนี้จึงส่งผลให้มีการใช้แอลพีจีเพิ่มมากขึ้นทุกปี จากสถิติของกระทรวงพลังงานของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2556 [2] พบว่ามีการใช้เชื้อเพลิง LPG ในภาคอุตสาหกรรม ปิโตรเคมีร้อยละ 35 ภาคครัวเรือนคิดเป็นร้อยละ 32 ภาคขนส่ง หรือรถยนต์คิดเป็นร้อยละ 24 และภาค อุตสาหกรรมคิดเป็นร้อยละ 8

จากที่กล่าวมานั้น จะสังเกตได้ว่าภาคครัวเรือนมีการใช้แอลพีจีสูงอย่างต่อเนื่อง ยิ่งถ้าศึกษาให้ลึกลงไปจะพบว่าเตาแก๊สที่ใช้ปริมาณแอลพีจีมากจะเป็นเตาแก๊สที่มีรูปแบบการจ่ายแก๊สในความดันใช้งานสูง ๆ (มากกว่า 280 mmH_2O) หรือบางทีเรียกเตาแก๊สความดันสูงเหล่านี้ว่า Kutsura burner (KB) ด้วยเหตุนี้จึงได้มีนักวิจัยหลายกลุ่มสนใจที่จะลดปริมาณการใช้แอลพีจีของเตาแก๊ส KB ในภาคครัวเรือน โดยการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) ของเตาแก๊สหุงต้มในหลายรูปแบบหรือหลายวิธีการ [3-10] โดยอาศัยอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ ฝาครอบแก๊สประสิทธิภาพสูง ของกระทรวงพลังงาน การปรับปรุงลักษณะการฉีดแก๊สของหัวเตา โดยการปรับปรุงจากหัวเตาแบบเดิม เปลี่ยนมาเป็นการฉีดแก๊สแบบหมุนวน (Swirling flow) ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการหมุนวนของเปลวไฟก่อให้เกิดแรงเฉือนมีผลดีต่อการเผาไหม้ และการถ่ายเทความร้อนกล่าวคือ เพิ่มระยะเวลาในการผสมของเชื้อเพลิง และอากาศ เพิ่มเวลา และผิวสัมผัสในการสัมผัสของเปลวไฟกับภาชนะ ซึ่งทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ มากขึ้นรวมทั้งเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน นอกจากสองแนวทางนี้แล้ว การประยุกต์ใช้

เทคโนโลยีของวัสดุพรุนก็เป็นอีกวิธีที่นิยมนำมาใช้ เนื่องจากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) ให้สูงขึ้นได้อย่างชัดเจน ดังผลการศึกษาของนักวิจัยกลุ่มต่าง ๆ ดังนี้

ในปี พ.ศ.2544 (ค.ศ.2001) ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ [3] นำเอาเทคโนโลยีวัสดุพรุนมาประยุกต์ใช้ในการส่งเสริมประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) ของเตาแก๊สหุงต้ม KB-10 พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น 20% ต่อมาในปี พ.ศ.2548 (ค.ศ.2005) วสันต์ โยคเสนะกุล [4] นำแนวทางจาก ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ [3] มาพัฒนาต่อ โดยจะยังคงใช้เตาแก๊สขนาด KB–10 แต่ทำการดัดแปลงหัวเผาจาก CB เป็น SB แล้วนำมาประกอบเข้ากับโครงสร้างที่มีการหมุนเวียนความร้อนด้วยวัสดุพรุน (Porous radiant recirculated burner, PRRB) พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น 35.83% ส่งผลให้ในปีถัดมา คือ พ.ศ.2549 (ค.ศ.2006) จารุณี จาบกลาง [5] ได้ใช้หลักการวัสดุพรุนคล้าย ๆ กับงานวิจัยของวสันต์ โยคเสนะกุล [4] มาพัฒนาประสิทธิภาพของเตา KB-5 ได้ผลการทดลองคือ เตา KB-5 มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่นกัน ในปี ค.ศ. 2007 Pantangi และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาสมบัติการเผาไหม้ของเตาแก๊สโดยใช้ในวัสดุพรุน คือ ลูกบอลโลหะ และเศษโลหะมาประกอบเป็นชุดหัวเผาทำการทดสอบตามมาตรฐาน IS 4246: 2002 พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) สูงสุดของเตาแก๊สวัสดุพรุนเป็น 73%

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ถึงแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูง แต่ก็ยังมีข้อน่าสนใจที่สามารถจะพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นต่อไป โดยเฉพาะงานวิจัยของ Pantangi et al. [6] มีการใช้วัสดุพรุนที่ทำเป็นหัวเตาหลาย ๆ รูปแบบ และพบว่าหัวเตาแก๊สที่ใช้วัสดุพรุนประเภทเส้นใยโลหะนั้นสามารถทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) สูงที่สุด ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดปรับปรุงเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน KB-10 แบบใหม่โดยทำการออกแบบ และสร้างหัวเตาด้วยวัสดุพรุนแบบเส้นใยโลหะแทนวงแหวนรอบนอก (Outer ring) ของ KB-10 ส่วนวงแหวนด้านใน (Inner ring) ยังคงใช้แบบทั่วไปตามท้องตลาด (CCB) นอกจากนี้จะทำการเปรียบเทียบกับหัวเตาแก๊ส KB-10 ทั่ว ๆ ไป เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) ของเตาแก๊สหุงต้มแบบใหม่ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้ จะนำไปสู่การพัฒนา และผลิตเตาแก๊สที่ใช้งานจริงในภาคครัวเรือน รวมทั้งเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเลือกใช้เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนที่มีการประหยัดพลังงาน ราคาไม่สูง และส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานต่อไป

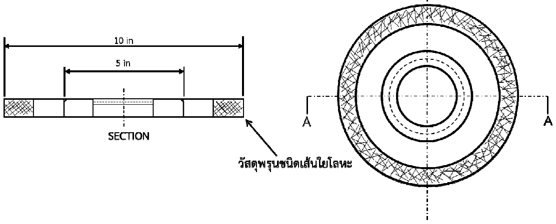
2. รายการสัญลักษณ์

CCB	Conventional cooking burner
CO	คาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm)
$C_{P,water}$	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg·K)
DIN	Deutsches Institut fur Notmung
KB	Katsura burner
LHV	ค่าความร้อนทางต่ำของแก๊สทดสอบที่ใช้ (MJ/m^3)
LPG	Liquidfied Petroleum Gas
V_w	ปริมาณของน้ำต้ม (Litre)
NO_x	ไนโตรเจนออกไซด์ (ppm)
Q_F	อัตราการจ่ายเชื้อเพลิง
t	เวลาที่ใช้ในการต้มน้ำ (s)
$T_{water,i}$	อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ (°C)
V	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊ส (m^3/s)
η_{th}	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)
ε_P	ค่าความพรุนของวัสดุพรุน

3. อุปกรณ์การ และวิธีทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

รูปที่ 1 แสดงแนวคิดในการพัฒนาเตาแก๊สหุงต้มชนิด KB-10 โดยใช้วัสดุพรุนชนิดเส้นใยโลหะเพื่อปรับปรุงลักษณะการฉีดแก๊สของหัวเตา รวมทั้งการอุ่นอากาศ กล่าวคือ จากลักษณะหัวเตาแก๊ส KB-10 ที่มีวงแหวน 2 วง คือ วงแหวนใน (Inner ring) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 5 นิ้ว และวงแหวนรอบนอก (Outer ring) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 10 นิ้ว ด้วยโครงสร้างแบบนี้หากไม่มีวงแหวนนอกจะกลายเป็นเตาแก๊ส KB-5 ดังนั้นในการปรับปรุงหัวเตาแก๊ส KB-10 จะไม่ได้ทำการปรับเปลี่ยนรูปแบบการพ่นแก๊สของวงแหวนใน ส่วนวงแหวนนอกจะทำการถอดออกแล้วทำการติดตั้งวัสดุพรุนแบบเส้นใยโลหะแทนก่อให้เกิดการอุ่นอากาศและเปลวไฟแบบแผ่รังสี (Radiant flame) จากลักษณะเปลวไฟทั้งสองรูปแบบนี้จะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น เนื่องจากวัสดุพรุนชนิดเส้นใยโลหะจะช่วยเพิ่มการนำความร้อน ขนะเดียวกันจะทำการแผ่รังสีความร้อน (Emitting) เพื่อเป็นการอุ่นอากาศ โดยเฉพาะ 2 ส่วนหลัก ๆ คือ ด้านบน และด้านล่างของหัวเตา เพื่อทำให้อุณหภูมิส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศที่ถูกจ่ายเข้ามาในหัวเผาเพิ่มขึ้น จึงทำให้อุณหภูมิของเปลวไฟเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



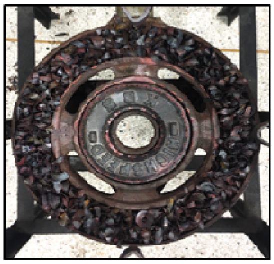
รูปที่ 1 ลักษณะหัวเตาแก๊ส KB-10 ที่ใช้วัสดุพรุนร่วมกับเปลวไฟแบบหมุนวน

รูปที่ 2 แสดงรายละเอียดการเปรียบเทียบลักษณะหัวเตาแก๊สแบบทั่วไป (CCB) กับหัวเตาแก๊สที่สร้างขึ้นใหม่ โดยจะนิยามเตาแก๊สแบบใหม่นี้ว่า เตาแก๊สหุงต้ม KB-10 ชนิดเส้นใยโลหะที่วงแหวนรอบนอก (The Metal Fibrous Type in Outer Ring of KB-10 Cooking-gas Burner, MKB) และจะเรียกชื่อของเตาแก๊สแบบ MKB ตามขนาดความกว้างของแผ่นเส้นใยโลหะที่มี 3 ขนาด คือ 03 05 และ 07 mm ดังนี้ MKB-03, MKB-05 และ MKB-07 ตามลำดับ

(ก) หัวเตาแก๊สแบบ CCB-00

(ข) หัวเตาแก๊สแบบ MKB-03

(ค) หัวเตาแก๊สแบบ MKB-05



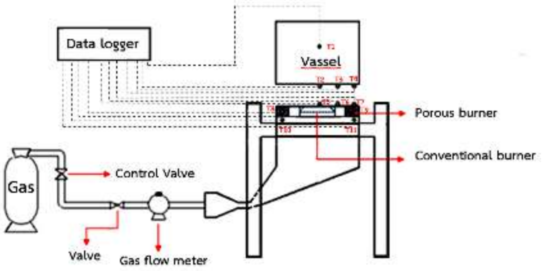
(ง) หัวเตาแก๊สแบบ MKB-07

รูปที่ 2 ลักษณะหัวเตาแก๊สที่ใช้ในการทดลอง

3.2 วิธีการทดลอง

รูปที่ 3 แสดงอุปะกรณ์และหลักการทำงานเพื่อหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเตาแก๊สหุงต้มในงานวิจัยนี้ โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้ ก่อนการทดสอบต้องติดตั้งแหล่งจ่ายแก๊สเข้ากับอุปกรณ์ควบคุมความดันแก๊ส มาตรวัดปริมาณแก๊ส มาตรวัดความดันแก๊ส และเตาแก๊สให้เรียบร้อย ขั้นแรกจุดไฟที่เตาโดยเปิดเตาในอัตรา

การใช้แก๊สสูงสุดเป็นเวลา 15 นาที จึงปิดเตา หลังจากนั้นวางหม้ออะลูมิเนียมซึ่งใส่น้ำตามที่กำหนดไว้ (V_W) คือ 5 ลิตร โดยน้ำมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 27 °C พร้อมฝาเทอร์โมคัปเปิลบนเตาแก๊ส หลังจากนั้นก็ทำการจ่ายแก๊สในอัตราที่กำหนด (Q_F) ไว้คือ 7 kW และทำการจุดติดไฟ ต้มน้ำจากอุณหภูมิเริ่มต้น ต้มจนน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 90°C ให้ปิดแก๊สและวัดค่าการใช้แก๊สระหว่างการทดสอบและค่าต่าง ๆ โดยในการทดลองใช้ เครื่องมือวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิลชนิด K เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data loger) รุ่น GL280 เครื่องมือวัดแก๊ส (Flow gas meter) เครื่องมือวัดปริมาณแก๊สไอเสีย รุ่น Testo 350-XL และเครื่องมือที่ใช้ในการถ่ายภาพเปลวไฟ กล้องดิจิตอล ยี่ห้อ Canon รุ่น EOS 6D



รูปที่ 3 แผนผังการทดลอง

3.3 การหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th})

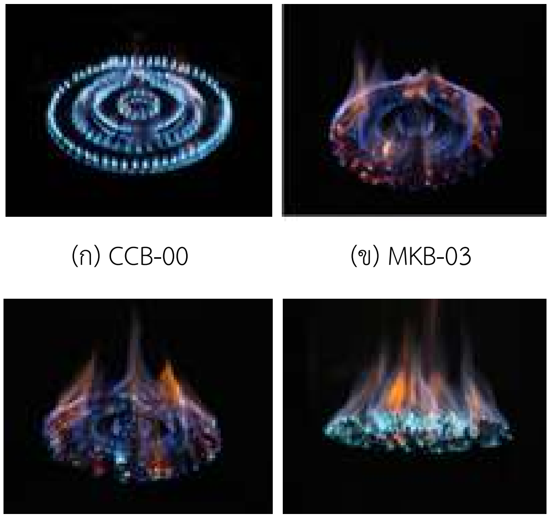
การหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มจะเป็นไปตามตามมาตรฐาน DIN EN 203-2 โดยค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะหาได้จากค่าความร้อนสำผัดที่น้ำได้รับ ด้วยวิธีการต้มน้ำ และคำนวนได้ดังนี้

$$\eta_{th} = \frac{V_{water} C_{p,water}\left(363 - T_{water,i}\right)}{V \times LHV \times t} \qquad (1)$$

4. ผลการทดลอง

4.1 ลักษณ์เปลวไฟของเตาแก๊สหุงต้ม

รูปที่ 4 แสดงลักษณะเปลวไฟของหัวเตาที่สภาวะอัตราการจ่ายเชื้อเพลิง Q_F = 7 kW จากการสังเกตลักษณะเปลวไฟทั้ง 4 รูปแบบได้แก่ CCB-00, MKB-03, MKB-05, และ MKB-07 พบว่า หัวเตาที่วงแหวนนอก (Outer ring) เป็นแบบ CCB คือ CCB-00 จะมีลักษณะพุ่งตรง เนื่องจากหัวเตาไม่มีมุมการจ่ายเชื้อเพลิงหมุนวน ส่วนเปลวไฟของหัวเตาที่มีการใช้เศษโลหะมาแทนวงแหวนนอก หรือเตาแก๊สที่ทำการพัฒนาขึ้นใหม่ทั้ง 3 หัว (MKB-03, MKB-05 และMKB-07) จะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่าลักษณะของเปลวไฟมีรูปทรงเป็นสามเหลี่ยมพุ่งขึ้นปะทะก้นภาชนะ



(ก) CCB-00 (ข) MKB-03

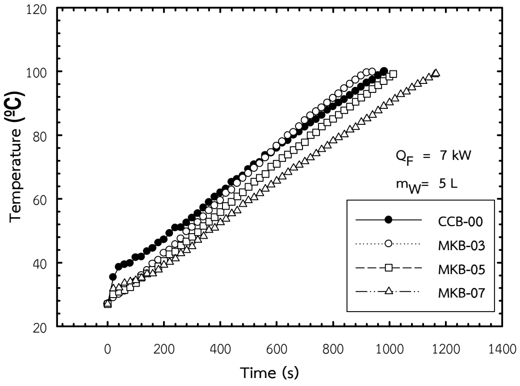
(ค) MKB-05 (ง) MKB-07

รูปที่ 4 ลักษณะของเปลวไฟ

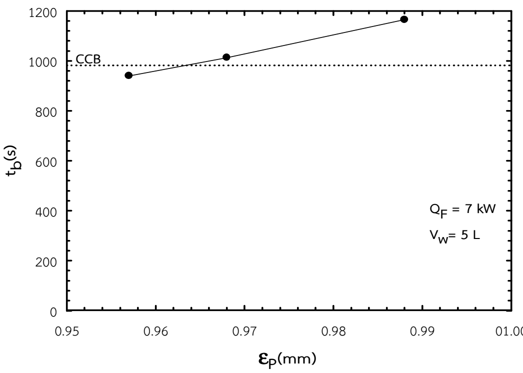
4.2 อุณหภูมิต้มเดือด (t_{boil})

รูปที่ 5 (ก) เป็นการแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กันระหว่างอุณหภูมิน้ำกับเวลาที่ใช้ในการทดลองของหัวเตาทั้ง 4 แบบ โดยในการทดสอบใช้น้ำปริมาณ (V_W) 5 L ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 27-29 °C และอัตราการจ่ายเชื้อเพลิง (Q_F) 7 kW จากการทดลองพบว่าหัวเตาแบบ MKB-03 (ε_P = 0.957) หรือที่มีค่าความพรุนน้อยที่สุดสามารถต้มน้ำเดือดได้เร็วกว่าหัวเตาที่มีค่าความพรุนสูง ๆ คือ MKB-05 (ε_P = 0.968) และ MKB-07 (ε_P = 0.989)

ยังพบอีกว่า MKB-03 สามารถต้มน้ำเดือดได้เร็วกว่าเตาแก๊ส CCB-00 ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป จากผลการทดลองที่ได้นี้สามารถอธิบายได้ด้วยคุณสมบัติการดูดซับความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุพรุนโดยเฉพาะที่กรณี MKB-03 (ε_P = 0.957) จะช่วยส่งเสริมอุณหภูมิการเผาไหม้ให้ดีมาก และสามารถส่งถ่ายความร้อนไปยังก้นภาชนะได้มากกว่าเตาแก๊สแบบ CCB-00 (เส้นประในรูปที่ 5.2 (ข)) แต่หากทำการพิจารณากรณีที่ค่าความพรุนสูงมากขึ้นไปกว่านี้ พบว่าใช้เวลาในการต้มน้ำเดือดนานมากกว่าหัวเตาแบบทั่วไป CCB-00 อธิบายได้ว่าวัสดุพรุนมีช่องว่างมากขึ้น เนื้อวัสดุพรุนน้อยลงทำให้ไม่สามารถกักเก็บพลังงานความร้อนไว้ได้ ส่งผลให้กลไกการแผ่รังสีความร้อนมีนัยสำคัญลดลงไปอย่างชัดเจน



(ก)

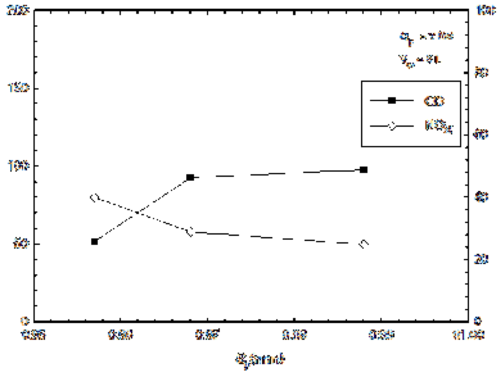


(ข)

รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง t_{boil} กับ ε_P

4.3 ปริมาณการปล่อยค่า CO และ NOx

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุน (ε_P) กับปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจน-ออกไซด์ (NO_x) เป็นการทดลองที่สภาวะอัตราการจ่ายเชื้อเพลิง (Q_F) 7 kW และปริมาณน้ำ (V_w) 5 L พบว่า ปริมาณ CO มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม ε_P ที่เพิ่มขึ้น และ NO_x มีแนวโน้มลดลงตาม ε_P ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในแต่ละขนาด หรือค่าความพรุน (ε_P) ของเศษโลหะจะมีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เกิดขึ้นเมื่อค่า ε_P เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณ CO และ NO_x ของหัวเตาทั้งหมด ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ

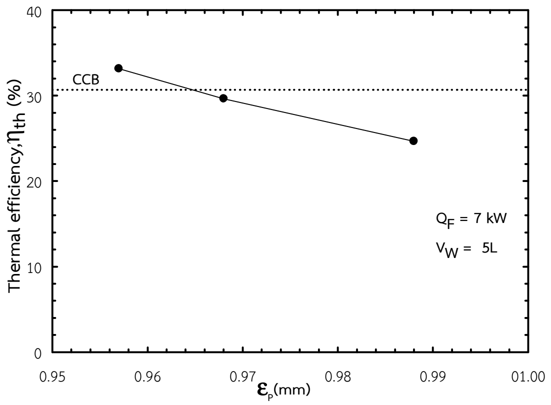


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง CO และ NO_x กับ ε_P

4.4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th})

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th}) กับค่า ε_P ของหัวเตาที่ทำการทดลอง ซึ่งอยู่ที่สภาวะอัตราการจ่ายเชื้อเพลิง (Q_F) 7 kW และปริมาณน้ำ (V_W) 5 L จากผลการทดลองพบว่า หัวเตาแบบ MKB-03 (ε_P = 0.957) มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) สูงกว่า MKB-05 (ε_P = 0.968) และ MKB-07 (ε_P = 0.989) และมีแนวโน้มลดลงตามค่าความพรุน (ε_P) ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังพบว่ากรณีหัวเตารูปแบบ MKB-03

(ε_P = 0.957) จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าหัวเตารูปแบบ CCB-00 ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป (กราฟเส้นประ) ตามเหตุผลที่ได้อธิบายไปในรูปที่ 5



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_{th} กับ ε_P

5. สรุป

จากการศึกษาเตาแก๊สหุงต้ม KB-10 (Katsura-burner-10) ที่ใช้วัสดุพรุนชนิดเส้นใยโลหะทดแทนวงแหวนรอบนอก และทำการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยวิธี Boiling test ตามมาตรฐานเยอรมัน DIN EN 203-2 สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ลักษณะเปลวไฟของหัวเตาแก๊สแบบ CCB-00 จะมีลักษณะพุ่งตรงเนื่องจากหัวเตาไม่มีมุมการจ่ายเชื้อเพลิงหมุนวน ส่วนเปลวไฟของหัวเตาแบบ MKB ทั้ง 3 หัวจะมีลักษณะของเปลวไฟมีรูปทรงเป็นสามเหลี่ยมพุ่งขึ้นปะทะก้นภาชนะ

2) เตาแก๊สแบบ MKB-03 (ε_P = 0.957) สามารถต้มน้ำเดือดได้เร็วกว่า MKB-05 (ε_P = 0.968) และ MKB-07 (ε_P = 0.989) ยังพบอีกว่าเตาแบบ MKB-03 สามารถต้มน้ำเดือดได้เร็วกว่าเตาแก๊ส CCB-00 อธิบายได้ด้วยคุณสมบัติการดูดซับความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุพรุน จะช่วยส่งเสริมอุณหภูมิการเผาไหม้ให้ดียิ่งขึ้น และสามารถส่งถ่ายความร้อนไปยังก้นภาชนะได้มากกว่าเตาแก๊สแบบ CCB-00

3) ปริมาณ CO มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม ε_P ที่เพิ่มขึ้น และ NO_x มีแนวโน้มลดลงตาม ε_P ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในแต่ละขนาดหรือค่าความพรุน (ε_P) ของเศษโลหะ จะมีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เกิดขึ้นเมื่อค่า ε_P เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณ CO และ NO_x ของหัวเตาทั้งหมด ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ

4). ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) ของหัวเตาแบบ MKB-03 (ε_P = 0.957) มีค่า η_{th} สูงกว่า MKB-05 (ε_P = 0.968) และ MKB-07 (ε_P = 0.989) และมีแนวโน้มลดลงตามค่า ε_P ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังพบว่า MKB-03 (ε_P = 0.957) จะมี η_{th} สูงกว่า CCB-00

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้เขียนบทความวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (มทร. อีสาน) ที่ได้สนับสนุนอุปกรณ์การทดลองและสถานที่ในการทดลองในการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณ นายขจรศักดิ์ ทบนอก, นายณรงค์ฤทธิ์ แผนสมบูรณ์ และนายชญานนท์ ชินนอก นักศึกษาระดับปริญญาตรี ที่ช่วยทำงานวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงอุตสาหกรรม (2549). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเตาหุงต้มในครัวเรือนใช้กับก๊าซปิโตรเลียมเหลว*, URL: www. ratchakitcha.-soc.go.th/DATA/PDF/2550/E/040/17.PDF.

[2] กระทรวงพลังงาน (2556). *ข้อมูลการใช้พลังงานในประเทศไทย*, URL: www.energy.go.th.

[3] ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ (2544). *การประยุกต์ใช้วัสดุพรุนเพื่อการประหยัดพลังงานในเตาแก๊สหุงต้ม* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ

[4] วสันต์ โยคเสนะกุล (2548). *หัวเผาเชื้อเพลิงแก๊สที่มีการหมุนเวียนความร้อนและการไหลแบบหมุนวน*, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ

[5] จารุณี จาบกลาง (2549). *การพัฒนาเตาแก๊สหุงต้มที่มี ประสิทธิภาพสูงชนิดที่มีการหมุนเวียนความร้อน*, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ

[6] Pantangi V. K, A. S. S. R. Karuna Kumar, Subhash C. Mishra and Niranjan Sahoo. (2007). Performance Analysis of Domestic LPG Cooking Stoves with Porous Media, *International Energy Journal*, vol.8, pp.139-144.

[7] เทวา จะทารัมย์, สมทวี หิ่งห้อย และอัฐกานต์ เพ็ชรมาก. (2555). *การศึกษาอิทธิพลของคุณลักษณะ รูพ่นเชื้อเพลิงในเตาแก๊สหุงต้ม KB-10*, ปริญญานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, นครราชสีมา.

[8] ทศพล วรรณทะมาศ, พรทวี บริสุทธิ์ และณรงค์ฤทธิ์ วีระโห (2556). *อิทธิพลของคุณลักษณะรูพ่นแก๊สที่มีผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาแก๊สแบบ KB-5*, ปริญญานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาเทคโนโลยี ราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

[9] บัณฑิต กฤตาคม (2554). หัวพ่นไฟอุตสาหกรรม และการประยุกต์ใช้วัสดุในหัวพ่นไฟ, *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม*, ปีที่ 12, ฉบับที่ 1, หน้า 76-89.

[10] บัณฑิต กฤตาคม (2555). การเผาไหม้น้ำมันดีเซลในหัวพ่นไฟวัสดุพรุนชนิดเม็กลมอัดแน่นที่มีโครงสร้างแบบเนื้อเดียวและกึ่งเนื้อเดียว, *วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร*, ปีที่ 20, ฉบับที่ 3, หน้า 38-48.

[11] สาเริง จักรใจ (2547). *การเผาไหม้*, สานักพิมพ์ แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ

[12] กระทรวงพลังงาน (2551). เอกสารการเผยแพร่ฝาครอบแก๊สประสิทธิภาพสูง.

[13] Weinberg F. (1996). Heat-recirculating burners: Principles and some recent devolopments, *Combustion Science and Technology*, vol.121, pp.3-22.

[14] A.Tamir.Elperin.I.and Yotzer, S., (1992). Performance characteristics of a gas burner with a swirl central Flame, *Energy*, vol. 14, No. 5, pp. 347-362