

การพัฒนาเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนโดยวัสดุพูนแบบลวดตาข่ายสแตนเลส

Development of Domestic Cooking Burner using

Stainless Wire - Mesh Porous Media

ไพลิน หาญขุนทด¹ จัตตพล ป้องกัน¹ สุรเดช สินจะโป๊ะ² บัณฑิต กฤดาคม² นิวัฒน์ เกตุชาติ^{3*}

¹ห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนาในเทคโนโลยีของวัสดุพูน (DiTo-Lab)

สาขาวิศวกรรมระบบราง คณะระบบรางและการขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

นครราชสีมา 30000

²สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

นครราชสีมา 30000

³สาขาวิศวกรรมพลังงานและการปรับอากาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา 30000

Pilin Hankhantod¹ Jattapon Pongkun¹ Suradech Sinjapo² Bundit Krittacom² Niwat Ketchat^{3*}

¹Development in Technology of Porous Medias Research Laboratory (DiTo-Lab)

Department of Railway Systems Engineering, Faculty of Railway Systems and Transportation,

Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, 30000

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Technology,

Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, 30000

³Department of Energy and Air Conditioning Engineering, Faculty of Engineering and Technology,

Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, 30000

*Corresponding author Email: niwat.ke@rmu.ac.th

(Received: July 16, 2025; Revised: August 6, 2025; Accepted: October 16, 2025)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน ที่มีปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจีสูงสุดไม่เกิน 5.78 kW ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2312-2549 โดยตาข่ายสแตนเลสจะถูกนำมาเรียงซ้อนกันเป็นหัวเตาและเรียกเตาแก๊สแบบใหม่นี้ว่า เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนวัสดุพูนแบบลวดตาข่ายสแตนเลส (SWB) จำนวนช่องว่างต่อหนึ่งนิ้วของตาข่ายสแตนเลส (PPI) ที่ทำการศึกษามี 3 ค่า ได้แก่ 8, 12 และ 16 อัตราการจ่ายเชื้อเพลิง (Q_F) มี 2 ค่า คือ 2 และ 3 kW และความหนาของชั้นตาข่ายสแตนเลส (H) มี 2 ขนาด คือ 1 และ 2 cm ผลการทดลองที่ได้จากหัวเตา SWB ทั้ง 6 รูปแบบ จะนำไปเปรียบเทียบกับหัวเตาแก๊สเชิงพาณิชย์ที่มีวางขายในท้องตลาด 2 ชนิด ได้แก่ เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนแบบเซรามิกสร้างผิว (PB) และแบบหัวฟู่ (RB) จากการทดลองพบว่าเตาแก๊สแบบ SWB สามารถต้มน้ำเดือดได้เร็วกว่าและมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) สูงกว่าเตาแก๊สแบบ PB และ RB ทุกเงื่อนไขการทดลอง หากเปรียบเทียบเฉพาะเตาแก๊สแบบ SWB พบว่าที่มี H = 1 cm จะมี η_{th} ใกล้เคียงกันกับกรณี H = 2 cm โดยที่เตาแก๊สแบบ

SWB08-01 (PPI=8) มีค่า η_{th} สูงที่สุดคือ 52.16 % ที่ $Q_F = 2$ kW นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณ CO และ NO_x ของเตาแก๊สแบบ SWB ทั้ง 6 รูปแบบ จะมีค่าที่ต่ำคือไม่เกิน 220 และ 45 ppm ตามลำดับ

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพเชิงความร้อน, เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน, ตาข่ายสแตนเลส, คาร์บอนมอนอกไซด์, ไนโตรเจนออกไซด์

ABSTRACT

This research aims to improve the thermal efficiency of domestic cooking burner, of which the highest amount of Liquefied Petroleum Gas (LPG) consumes not excess 5.78 kW, in accordance with Thailand Industrial Standard (TIS 2312-2549). Many plates of stainless wire - mesh were packed as the new cooking burner and was called stainless wire - mesh porous of domestic cooking burner (SWB). In the experiment, three pores per inch (PPI) of wire-mesh consisting of 8, 12 and 16 were conducted. Two fuel rates (Q_F) of 2 and 3 kW were conducted. Two thicknesses of stainless wire - mesh ($H = 1$ and 2 cm) were examined. The experimental results of six SWBs were compared with two conventional gas cooking burners, i.e., radial slotted gas burner (RB) and honeycomb porous ceramic burner (PB). From the experiment, it was found that the boiling time of water was faster than the level of thermal efficiency (η_{th}) in SWB was also higher than PB and RB in all experimental conditions. In comparison for SWB, the η_{th} of SWB at $H = 1$ cm had a similar to the case of $H = 2$ cm. The SWB constructed by the SWB08-01 (PPI=8), yielded the maximum level at 52.16 % at $Q_F = 2$ kW. In addition, remarkably, the levels of CO and NO_x of the six SWB were relatively low. The values will be low, not exceeding 220 and 45 ppm, respectively.

Keyword: Thermal efficiency, Domestic cooking burner, Stainless wire – mesh, Carbon monoxide, Nitrogen oxide.

1. บทนำ

เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนมีบทบาทสำคัญต่อความเป็นอยู่ในชีวิตประจำวันของคนไทยและนิยมใช้หุงต้มในครัวเรือนมากที่สุดเมื่อเทียบกับเตาแบบอื่น ๆ เช่น เตาถ่านหรือเตาไฟฟ้า ทั้งนี้เพราะมีลักษณะเด่น คือ โครงสร้างเรียบง่าย ราคาถูก ใช้งาน สะดวก เร่งไฟได้เร็วและมีช่วงการทำงานที่กว้างพอสมควร ทนทาน มีความปลอดภัยสูง [1] ซึ่งเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้ในประเทศไทยจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2312-2549 โดยเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน คือ แก๊ส

ปิโตรเลียมเหลว หรือ แอลพีจี (Liquefied petroleum gas, LPG) ที่เป็นส่วนผสมของโพรเพน (Propane) และบิวเทน (Butane) หรือเป็นอย่างหนึ่งอย่างใดก็ได้ จากความนิยมใช้อย่างแพร่หลายของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน จึงส่งผลให้มีการใช้แอลพีจีเพิ่มมากขึ้นทุกปี [2] ด้วยเหตุนี้จึงได้มีนักวิจัยหลายกลุ่มสนใจที่จะลดปริมาณการใช้แอลพีจีในภาคครัวเรือนโดยการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้ม เช่น การเผาไหม้โดยการหมุนเวียนความร้อน (Heat - Recirculating combustions) [3]-[7] การปรับปรุงเปลวไฟแบบเจ็ท (Flame Jets) [8]-[11]

การทำให้เกิดการหมุนวนของเปลวไฟ (Swirling flame) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนและลดการปล่อยมลพิษ [12]-[14] นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยหลายกลุ่มได้ประยุกต์ใช้วัสดุพอร์มาประกอบเป็นหัวเตา เช่น Pantangi และคณะ [15] ศึกษาคุณสมบัติของการเผาไหม้โดยใช้วัสดุพอร์ (ลูกบอลโลหะและเศษโลหะ) มาประกอบเป็นชุดหัวเผาทำการทดสอบตามมาตรฐาน IS 4246 : 2002 พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตาแก๊สวัสดุพอร์เป็น 73% ต่อมา Pantangi และคณะ [16] ศึกษาเตาวัสดุพอร์ (Porous radiant burner, PRB) ประกอบด้วยวัสดุพอร์สองชั้น ชั้นแรกเป็นโซนการเผาไหม้ที่สร้างขึ้นจากซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) และชั้นที่สองเป็นรูปแบบโซนการอุ่นความร้อนที่สร้างจากอลูมินาเม็ดกลม (Al_2O_3) ทดสอบโดยการต้มน้ำตามที่กำหนดใน BIS 4246: 2002 พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตา PRB เป็น 68% ซึ่งสูงกว่าเตาแก๊สหุงต้มแบบเดิม 3% ต่อมา Muthukumar และ Shyamkumar [17] ได้นำแนวทางของ .Pantangi และคณะ [16] มาพัฒนาต่อโดยทำการเปลี่ยนวัสดุพอร์ชั้นที่สองในโซนการอุ่นความร้อนจากอลูมินาเม็ดกลมมาใช้เซรามิก (ความพอร์ 40%) ความหนา 10 mm โซนการเผาไหม้ใช้ SiC ที่มีความพอร์ 80%, 85% และ 90% ทดสอบโดยใช้วิธีต้มน้ำที่อธิบายไว้ใน BIS: 4246:2002 พบว่ามีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดประมาณ 75% ซึ่งสูงกว่าเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนแบบเดิม (โลหะ) ที่มีใช้ในท้องตลาดอินเดีย 10% Conepo และคณะ [18] ได้ประยุกต์ใช้วัสดุพอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สในครัวเรือนโดยการออกแบบและสร้างเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนแบบวัสดุพอร์ชนิดเซลล์รูเปิด ที่ทำมาจากเซรามิกชนิดคอร์ติไรท์ ทดสอบโดย Boiling test ตามมาตรฐาน มอก. 2312-2549 พบว่าเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนแบบวัสดุพอร์ชนิดเซลล์รูเปิด มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดประมาณ 55.12% ในปีต่อมา Phetsaen และคณะ [19] ได้นำแนวทางของ Conepo และคณะ [18] มาสร้างเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนแบบใหม่เพื่อหาแนวทางเพิ่ม

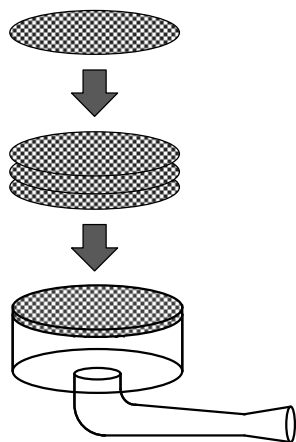
ประสิทธิภาพเชิงความร้อน โดยทำการออกแบบและสร้างหัวเตาแก๊สแบบวัสดุพอร์ชนิดโลหะเซลล์รูเปิด (Metal open-cellular Porous Media burner, MOB) ที่ทำมาจากนิเกิล-โครม (Ni-Cr) พบว่าเตาแก๊สแบบ MOB มีค่า η_{th} สูงสุดเท่ากับ 60% ต่อมา Makmool และคณะ [20] ได้พัฒนาหัวเผาให้ความร้อนแบบแผ่รังสีโดยใช้วัสดุพอร์ชนิดโพรเซรามิกที่ทำมาจากอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) พบว่าสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและรองรับการใช้เชื้อเพลิงร่วมระหว่างก๊าซหุงต้ม ไบโอดีเซล และ E85 อุณหภูมิการเผาไหม้สูงกว่า 750 ถึง 900°C และการปลดปล่อย CO ต่ำกว่า 2,000 ppm Makalingam และคณะ [21] ได้ออกแบบหัวเผาวัสดุพอร์ PRB-PSM ที่มีโครงสร้างสองชั้นเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ ผลการทดลองพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ และลดการปล่อย CO และ NO_x ได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับเตาเผาทั่วไป

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นถึงแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูง แต่ก็ยังมีข้อเสีย คือ วัสดุพอร์ที่นำมาทำเป็นหัวเตา (ลูกบอลโลหะ และ เศษโลหะ) มีการจัดเรียงตัวของวัสดุพอร์ยังมีรูปแบบไม่แน่นอน [13] วัสดุพอร์ที่นำมาสร้างเป็นหัวเตามีความเปราะแตกหักง่ายในการใช้งานจริงจึงยากต่อการดูแลรักษา [14], [15] วัสดุพอร์ที่นำมาทำเป็นหัวเตาเปราะแตกหักง่ายและไม่มีขายในประเทศจะต้องนำเข้าจากต่างประเทศจึงมีที่ราคาแพง [18]-[21] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มีแนวคิดพัฒนาเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนแบบใหม่โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน ซึ่งจะทำการออกแบบและสร้างหัวเตาให้มีการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าตรงกลางหัวเตาจะทำให้อุณหภูมิกระจายตัวสม่ำเสมอทั่วทั้งเตา และใช้ตาข่ายสแตนเลสมาเรียงซ้อนกันเป็นหัวเตา เนื่องจากคุณสมบัติการทนอุณหภูมิ และทนการกัดกร่อนได้ดี โดยนิยามเตาแก๊สแบบนี้ว่าเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนวัสดุพอร์แบบลวดตาข่ายสแตนเลส (Stainless wire - mesh porous of domestic cooking burner, SWB)

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 การออกแบบหัวเตา SWB

แนวคิดในการออกแบบหัวเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนวัสดุพอร์นแบบลวดตาข่ายสแตนเลสแสดงในรูปที่ 1 โดยมีหลักการคือ หากนำตาข่ายสแตนเลสมาวางซ้อนกันหลายๆ แผ่น จะเกิดเป็นวัสดุพอร์น (Porous media) ซึ่งมีลักษณะเด่นเช่นเดียวกับวัสดุพอร์นทั่ว ๆ ไป คือ สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับความร้อน (Absorber) และตัวแปลงรังสีความร้อน (Emitter) จึงสามารถใช้เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 1 แนวคิดในการออกแบบหัวเตา SWB

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบเตาแก๊สในครัวเรือน 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนแบบหัวฟู (Radial slotted ports cooking burner, RB) เป็นแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุดในครัวเรือน ดังแสดงในรูปที่ 2 (ก) 2) เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนแบบเซรามิกสร้างผึ้ง (Porous ceramic cooking burner, PB) ซึ่งเหมาะกับการใช้ในกรณี ปิ้ง ย่าง ทำงานโดยอาศัยการแผ่รังสีความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) และ 3) เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนวัสดุพอร์นแบบลวดตาข่ายสแตนเลส (Stainless wire - mesh porous of domestic cooking burner, SWB) ดังแสดงในรูปที่ 2 (ค) ซึ่งเป็นเตาแก๊สที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ โดยนิยามชื่อเรียกและคำย่อของเตาแก๊สและการกำหนดชื่อเรียกของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน

วัสดุพอร์นแบบลวดตาข่ายสแตนเลส แสดงในรูปที่ 3 และตารางที่ 1 ตามลำดับ



(ก) RB



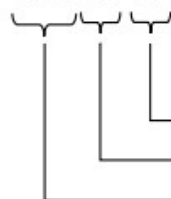
(ข) PB



(ค) SWB

รูปที่ 2 ลักษณะเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้ในการทดลอง

SWBXX-YY



ความหนาของวัสดุพอร์น
ขนาดของ PPI
ชนิดเตาแก๊ส

รูปที่ 3 นิยามชื่อเรียกและคำย่อของเตาแก๊ส

ตารางที่ 1 การกำหนดชื่อเรียกของเตาแก๊สหุงต้มใน
ครัวเรือนวัสดุพูนแบบลวดตาข่ายสแตนเลส

แบบที่	ชื่อเรียก	PPI	ความหนา (cm)
1	SWB08-01	8	01
2	SWB12-01	12	01
3	SWB16-01	16	01
4	SWB08-02	8	02
5	SWB12-02	12	02
6	SWB16-02	16	02

การเลือกใช้ขนาดของตาข่ายสแตนเลสในงานวิจัยนี้
จะพิจารณาจากเลขเพคเลต (Peclet number, Pe) ซึ่งเป็นตัวแปรไร้มิติที่เป็นอัตราส่วนระหว่างการพาความร้อนกับการนำความร้อนของของไหลนั้นมีการคำนวณ
ออกแบบตามสมการที่ 1 นอกจากนี้ในการใช้งานเลขเพค
เลตกับการเผาไหม้ของวัสดุพูนพบว่า หาก $Pe > 65$
เปลวไฟจะสามารถเกิดการเสถียรได้ภายในตัวของวัสดุ
พูน แต่ถ้า $Pe < 65$ เปลวไฟจะไม่สามารถเสถียรหรือจุด
ติดได้ อย่างไรก็ตามในกรณี $Pe < 65$ กลับทำหน้าที่เป็น
ตัวอุ่นไอดี (Preheat) ที่มีประสิทธิภาพสูง สำหรับการ
เลือกใช้ขนาดของตาข่ายสแตนเลสในงานวิจัยนี้ จะ
พิจารณาจาก Pe ดังแสดงในตารางที่ 2

$$Pe = \frac{S_L d_m C_p \rho_m}{k} \quad (1)$$

เมื่อ

Pe คือ Peclet number [-]

C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะ [$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$]

d_m คือ เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล [-]

k คือ ค่าการนำความร้อน [$\text{W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$]

S_L คือ ความเร็วของเปลวไฟที่เป็นการไหล

แบบราบเรียบ [m/s]

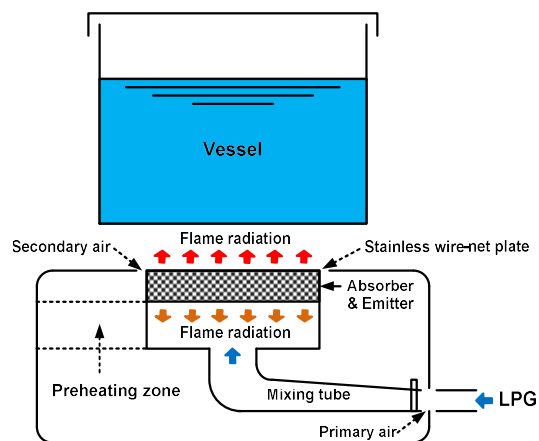
ρ_m คือ ค่าความหนาแน่นของผสมระหว่างแก๊ส

กับอากาศ [kg.m^{-3}]

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของตาข่ายสแตนเลส เกรด
SUS304

Pores per inch (PPI)	Wire-mesh diameter (mm)	Pitch (mm)	Peclet number (Pe)
8	0.61	2.57	230
12	0.61	1.51	135
16	0.61	0.98	88

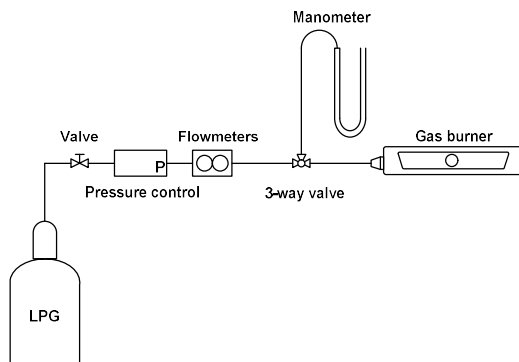
รูปที่ 4 แสดงหลักการทำงานของเตาแก๊สหุงต้มใน
ครัวเรือนวัสดุพูนแบบลวดตาข่ายสแตนเลส ที่ทำหน้าที่
เป็นตัวรับรังสี (Emitter) ตาข่ายสแตนเลสได้รับความร้อน
จากเปลวไฟ (Flame) การแผ่รังสีจะแผ่ออกไปทุกทิศทุกทาง
โดยเฉพาะสองด้านที่สำคัญ คือการแผ่รังสีไปด้านบน ซึ่ง
หมายถึงจะส่งความร้อนไปยังก้นภาชนะและอีกด้านหนึ่งจะ
แผ่รังสีลงด้านล่างมายังส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิง (LPG)
และอากาศส่วนแรก (Primary air) ดังนั้นส่วนผสมนี้เมื่อไหล
เข้ามาจนถึงวัสดุพูนจะเกิดการอุ่นหรือเพิ่มอุณหภูมิให้
สูงขึ้น ก่อนเข้าสู่การเผาไหม้ เรียกบริเวณนี้ว่า ช่วงการอุ่น
ความร้อน (Preheating zone) ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงได้มี
แนวคิดที่จะสร้างเตาแก๊สหุงต้มแบบใหม่ที่มีค่าประสิทธิภาพ
เชิงความร้อนสูงขึ้น โดยนิยามเรียกว่า เตาแก๊สหุงต้มใน
ครัวเรือนวัสดุพูนแบบลวดตาข่ายสแตนเลส (SWB)



รูปที่ 4 แผนผังเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน
วัสดุพูนแบบลวดตาข่ายสแตนเลส

2.2 การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน

การหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th}) ของเตาแก๊สหุงต้มตามมาตรฐาน DIN EN 203-2, EN 203-1: 1992 หรือ EN 203-2: 1995 ต่างก็ใช้หลักการทดสอบโดยการต้มน้ำ (Boiling test) ทั้งสิ้น โดยในประเทศไทยได้กำหนดวิธีการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน โดยใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2312-2549 ซึ่งใช้หลักการ Boiling test เช่นกัน แต่สำหรับในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การทดสอบตามมาตรฐานของเยอรมัน คือ DIN EN 203-2 ซึ่งแผนผังการทดสอบได้แสดงไว้ในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การทดสอบหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน

เนื่องจากเป็นมาตรฐานที่ทำการทดสอบง่าย แต่มีความน่าเชื่อถือสูงและ มีรายละเอียดการทดสอบ คือก่อนการทดสอบต้องติดตั้งแหล่งจ่ายแก๊สเข้ากับอุปกรณ์ควบคุมความดันแก๊ส มาตรฐานวัดปริมาณแก๊ส มาตรฐานวัดความดันแก๊ส และเตาแก๊สให้เรียบร้อย ขั้นแรกจุดไฟที่เตาโดยเปิดเตาในอัตราการใช้แก๊สสูงสุดเป็นเวลา 15 นาที จึงปิดเตา หลังจากนั้นวางหม้ออะลูมิเนียมซึ่งใส่น้ำพร้อมฟลิวเทอร์โมคัปเปิลบนเตาแก๊สติดเตาในอัตราการใช้แก๊สสูงสุด ต้มน้ำจากอุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 30°C ต้มจนมีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 90°C ให้ปิดแก๊สและวัดค่าการใช้แก๊สระหว่างการทดสอบ และค่าต่าง ๆ พร้อมทั้งบันทึกผลนำค่าที่ได้จากการทดสอบ แทนลงในสูตรการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนดังสมการที่ 2

$$\eta_{th} = \frac{m_{water} C_{p,water} (363 - T_{water,i})}{v \times LHV \times t} \quad (2)$$

เมื่อ

η_{th} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน [%]

$C_{p,water}$ คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ [$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$]

LHV คือ ค่าความร้อนทางต่ำของแก๊ส [kJ.m^{-3}]

$m_{water,i}$ คือ มวลของน้ำเข้า [kg]

T_{water} คือ อุณหภูมิน้ำ [K]

t คือ เวลาที่ใช้ในการต้มน้ำ [s]

v คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตร [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

2.3 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนที่ 1 ติดตั้งอุปกรณ์ทดลองโดยทำการต่อแหล่งจ่ายแก๊สเข้ากับอุปกรณ์ควบคุมความดันแก๊ส มาตรฐานวัดปริมาณแก๊ส มาตรฐานวัดความดันแก๊ส และเตาแก๊สที่ใช้ทดลองให้เรียบร้อย

ขั้นตอนที่ 2 ตรวจสอบการรั่วของแก๊สโดยการถอดสายจากแหล่งจ่ายแก๊สเพื่อไปต่อกับแหล่งจ่ายลมโดยปรับความดันที่ 1-2 บาร์ จากนั้นใช้แปลงทาสีจุ่มน้ำฟองสบู่ ทาบริเวณสายแก๊สและจุดเชื่อมต่อต่าง ๆ แล้วสังเกตจากฟองที่เกิดขึ้น ทำการทดสอบอีกครั้ง หรือจนมั่นใจว่าไม่มี การรั่ว แล้วย้ายสายจากแหล่งจ่ายลมมาต่อที่แหล่งจ่ายแก๊ส

ขั้นตอนที่ 3 ปรับอัตราการใช้แก๊สตามที่ต้องการ และจุดเตาให้ติดไฟเพื่อทำการอุ่นหัวเตาแก๊สด้วยการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยที่ไม่มีภาระทางความร้อน ใช้เวลาประมาณ 15 นาที

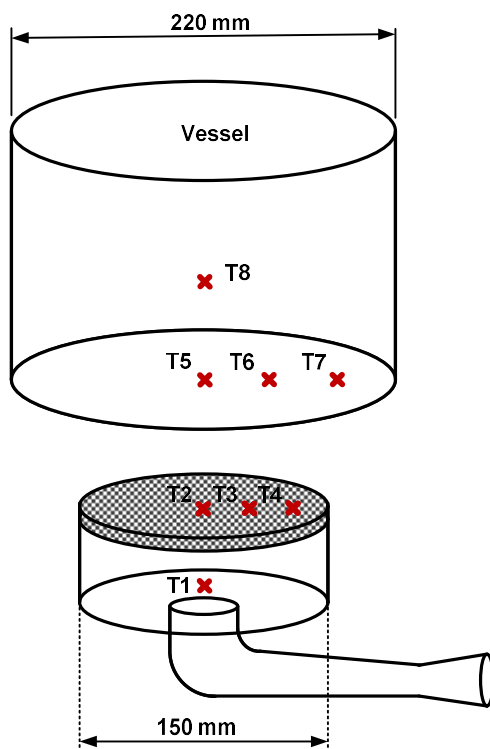
ขั้นตอนที่ 4 นำถังเชื้อเพลิงมาซึ่งเพื่อหาน้ำหนักก่อนการทดสอบ และติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลตามจุดที่ต้องการวัดดังนี้ (T1) คือ อุณหภูมิส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศ (T2) คือ อุณหภูมิหัวเตาดำแหน่งกึ่งกลาง (T3) คือ อุณหภูมิหัวเตาดำแหน่งห่างจากจุดกึ่งกลาง 3 cm และ (T4) คือ อุณหภูมิหัวเตาดำแหน่งห่างจากจุดกึ่งกลาง 6 cm (T5) คือ อุณหภูมิกันภาชนะตำแหน่งจุดกึ่งกลาง (T6) คือ อุณหภูมิกันภาชนะตำแหน่งห่างจากจุดกึ่งกลาง 3 cm

(T7) คือ อุณหภูมิแกนภาชนะตำแหน่งห่างจากจุดกึ่งกลาง 6 cm และ (T8) คือ อุณหภูมิน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 6

ขั้นตอนที่ 5 เติมน้ำ 2.70 kg ลงในหม้อทดสอบที่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 220 mm. แล้วปิดฝาพร้อมกับ ติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์เพื่อวัดอุณหภูมิน้ำก่อนนำไปต้ม

ขั้นตอนที่ 6 เริ่มทำการทดสอบจุดไฟที่เตาโดยมี อัตราการใช้แก๊สสูงสุดพร้อมกับจับเวลา ทำการต้มน้ำจาก อุณหภูมิเริ่มต้น 30°C จนน้ำมีอุณหภูมิใกล้จุดเดือด (ประมาณ 90°C) แล้วปิดเตาพร้อมหยุดเวลา นำถึงแก๊สซึ่ง อีกครั้งเพื่อหาปริมาณการใช้แก๊ส บันทึกค่าที่ได้ลงใน ตารางการทดลอง

ขั้นตอนที่ 7 ขณะทำการทดลองจะวัดแก๊สไอเสีย โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย (Exhaust gas analyzer) ยี่ห้อ Testo รุ่น M350 วัดแก๊สไอเสียที่เกิด จากการเผาไหม้



รูปที่ 6 ตำแหน่งที่ทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล

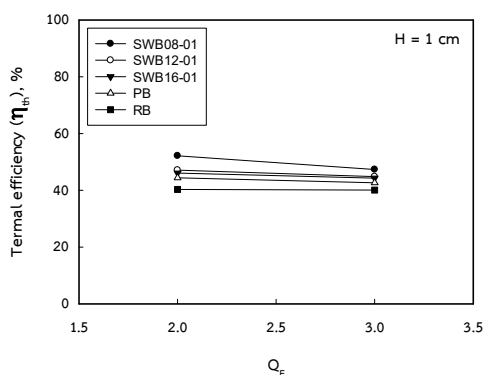
3. ผลการทดลอง

3.1 อิทธิพลของจำนวนช่องว่างต่อหนึ่งหน่วยนิ้ว (PPI)

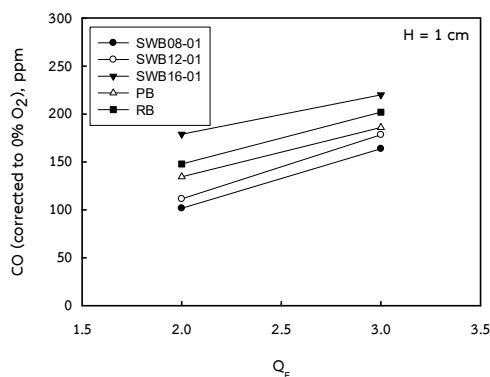
อิทธิพลของจำนวนช่องว่างต่อหนึ่งหน่วยนิ้ว (PPI) ต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) ที่ความหนาของชั้น ดาข่ายสแตนเลส (H) เท่ากับ 1 cm และอัตราการจ่าย เชื้อเพลิง (Q_F) เท่ากับ 2 และ 3 kW ของเตาแก๊ส 3 แบบ คือ SWB08-01 (PPI=8), SWB12-01 (PPI=12) และ SWB16-01 (PPI=16) ดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่า η_{th} จะมี แนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อค่า Q_F เพิ่มขึ้น อาจกล่าวได้ว่า ระดับ Q_F ที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้การเผาไหม้ที่มีความ รุนแรงขึ้น สามารถต้มน้ำเดือดได้เร็วขึ้น แต่ความร้อนที่ เกิดขึ้นจะมีการสูญเสียความร้อนไปกับสภาวะแวดล้อมที่ เพิ่มสูงขึ้น (Heat loss) ซึ่งเป็นเรื่องปกติสำหรับเตาแก๊ส หุ่นต้มในครัวเรือนทั่วไป จึงทำให้ค่า η_{th} ที่สภาวะ $Q_F = 3$ kW มีค่าลดลง นอกจากนี้หากพิจารณาที่ Q_F คงที่ใด ๆ พบว่า η_{th} มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นลดลง เมื่อ PPI มีค่าลดลง ซึ่ง แสดงให้เห็นว่า PPI เท่ากับ 8 เป็นขนาดที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการนำมาสร้างเป็นหัวเตา SWB และจะเห็นว่าเตา แก๊สแบบ SWB จะมีค่า η_{th} สูงกว่าเตาแก๊สแบบ PB และ RB เหตุผลนี้สามารถอธิบายได้ด้วยกลไกการแผ่รังสีความ ร้อนที่ออกมาจากแผ่นดาข่ายสแตนเลส ซึ่งไปช่วยอุ่น อุณหภูมิส่วนผสมในช่วงการอุ่นความร้อน ทำให้เตาแก๊ส แบบ SWB สามารถต้มน้ำเดือดได้เร็วกว่าเตาแก๊สแบบ PB และ RB จึงส่งผลให้ค่า η_{th} ของเตาแก๊สแบบ SWB มีค่า สูงกว่าเตาแก๊สแบบ PB และ RB โดยที่เตาแก๊ส SWB08- 01 จะมีค่า η_{th} สูงสุด คือ 52.12% ส่วนเตาแก๊สแบบ PB และ RB มีค่า η_{th} อยู่ที่ 44.41% และ 40.32% ตามลำดับ

อิทธิพลของจำนวนช่องว่างต่อหนึ่งหน่วยนิ้ว (PPI) ต่อปริมาณ CO ดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่าปริมาณ CO ของ เตาแก๊ส PB และ RB มีค่าใกล้เคียงกับเตาแก๊ส SWB (PPI = 8, 12 และ 16) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณ CO จะมี แนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตาม PPI ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจกล่าว ได้ว่าการเผาไหม้ของเตาแก๊ส SWB มีความสมบูรณ์ไม่ แตกต่างกัน และอยู่ในระดับที่ต่ำ คือ ไม่เกิน 220 ppm

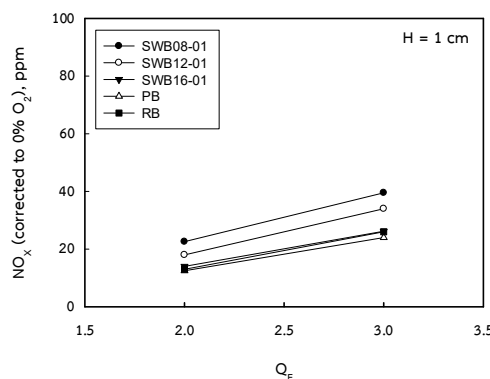
ทุกกรณี สำหรับปริมาณ NO_x พบว่าจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยและอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมาก โดยมีค่าไม่เกิน 45 ppm ทุกสภาวะและมีค่าใกล้เคียงกันทุกกรณีดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 7 อิทธิพลของ PPI ต่อ η_{th} ที่ $Q_F = 2$ และ 3 kW



รูปที่ 8 อิทธิพลของ PPI ต่อ CO ที่ $Q_F = 2$ และ 3 kW



รูปที่ 9 อิทธิพลของ PPI ต่อ NO_x ที่ $Q_F = 2$ และ 3 kW

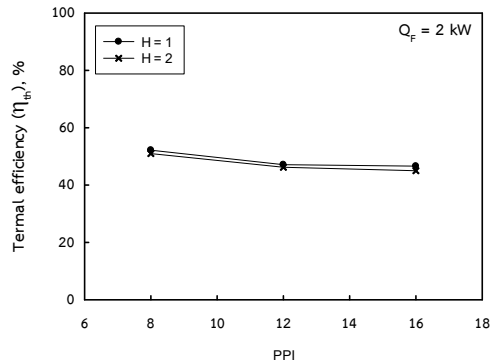
3.2 อิทธิพลของความหนาของชั้นตาข่ายสแตนเลส

อิทธิพลของความหนาของชั้นตาข่ายสแตนเลส (H)

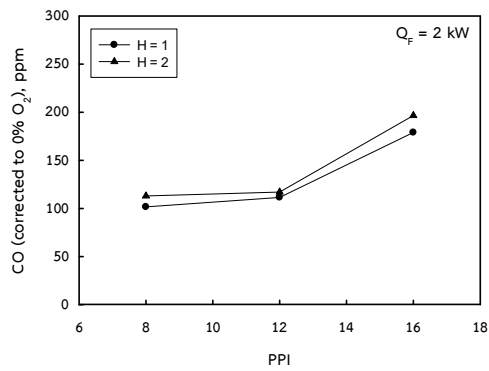
ต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) ที่อัตราการจ่ายเชื้อเพลิง (Q_F) เท่ากับ 2 kW และจำนวนช่องว่างต่อหนึ่งหน่วยนิ้ว (PPI) เท่ากับ 8, 12 และ 16 ดังแสดงในรูปที่ 10 พบว่า η_{th} จะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อค่า PPI เพิ่มขึ้น นอกจากนี้หากพิจารณาที่ความหนาของชั้นตาข่ายสแตนเลส (H) เท่ากับ 1 และ 2 cm ที่ PPI คงที่ใด ๆ พบว่า η_{th} จะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อ H เพิ่มขึ้น ซึ่งค่า η_{th} ของเตาแก๊ส SWB08-01 (H = 1 cm) และ SWB08-02 (H = 2 cm) คือ 52.12 % และ 51.22% ตามลำดับ เนื่องจากความหนาของชั้นวัสดุพูนที่เพิ่มขึ้นไม่สามารถดูดซับและแผ่รังสีความร้อนไปยังบริเวณอุ้งนไอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งอาจเกิดการกักเก็บความร้อน (Heat trapped) ภายในวัสดุพูนมากเกินไป แสดงให้เห็นว่าหัวเตาแบบ SWB นั้นไม่จำเป็นต้องมีความหนาของหัวเตาที่มากก็สามารถเผาไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะแตกต่างจากหัวเตาประเภทวัสดุพูนชนิดเซลล์ลูอาร์เปิด (เอกสารอ้างอิง 18-21) ที่จะต้องมีความหนาเฉลี่ยของหัวเตาที่ 3-5 cm จึงจะสามารถเผาไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อิทธิพลของความหนาของชั้นตาข่ายสแตนเลส (H) ต่อปริมาณ CO ดังแสดงในรูปที่ 11 พบว่าเตาแก๊ส SWB08-01 (H = 1 cm) และ SWB08-02 (H = 2 cm) จะมีปริมาณ CO ที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการเผาไหม้ของหัวเตาที่ทำการศึกษาล้วนมีความสมบูรณ์ไม่แตกต่างกัน และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่ามลพิษ CO กับหัวเตาประเภทวัสดุพูนชนิดเซลล์ลูอาร์เปิด (เอกสารอ้างอิง 18-21) จะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่หัวเตาแบบ SWB ไม่จำเป็นต้องใช้โครงสร้างที่หนาหรือหลายชั้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณ NO_x กลับพบสิ่งที่น่าสนใจ นั่นคือปริมาณ NO_x แทบจะไม่มีหรือเกิดขึ้นน้อยมากและอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมาก เมื่อเทียบกับปริมาณ NO_x ในหัวเตาประเภทวัสดุพูนชนิดเซลล์ลูอาร์เปิด (เอกสารอ้างอิง 18-21) โดยมีค่าสูงสุดไม่เกิน 25 ppm ทุกสภาวะและมีค่าใกล้เคียงกัน

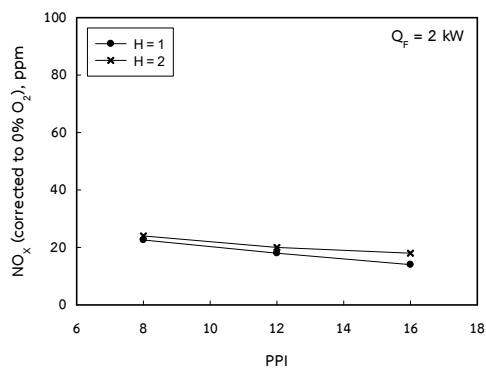
ทุกกรณี เนื่องจากกลไกการกระจายของอุณหภูมิที่
 สม่าเสมอของเตาแก๊สแบบ SWB ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 10 อิทธิพลของ H ต่อ η_{th} ที่ PPI = 8, 12 และ 16



รูปที่ 11 อิทธิพลของ H ต่อ CO ที่ PPI = 8, 12 และ 16

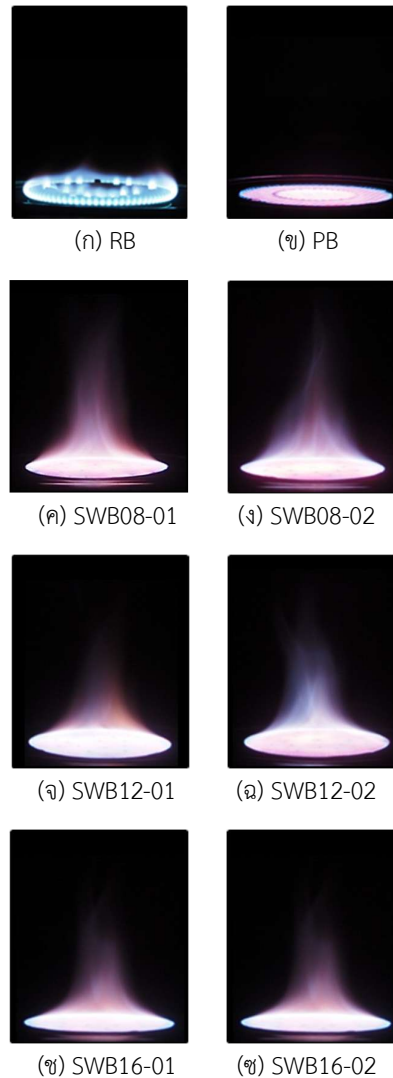


รูปที่ 12 อิทธิพลของ H ต่อ NO_x ที่ PPI = 8, 12 และ 16

3.3 ลักษณะเปลวไฟ

ลักษณะเปลวไฟที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้แสดงดังรูปที่

13



รูปที่ 13 ลักษณะเปลวไฟ

จากการสังเกตพบว่าลักษณะเปลวไฟของเตาแก๊ส
 แบบ RB (รูปที่ 13 (ก)) จะมีลักษณะเปลวไฟสีฟ้าอย่าง
 เด่นชัดและมีเปลวไฟพุ่งขึ้นเล็กน้อย ส่วนเปลวไฟของเตา
 แก๊สแบบ PB (รูปที่ 13 (ข)) จะมีลักษณะแบบไร้เปลวไฟ
 (Flameless) และไม่มีเปลวไฟพุ่งเป็นลำขึ้นไป สำหรับ
 เปลวไฟของเตาแก๊สแบบ SWB ทั้ง 6 รูปแบบ (รูปที่ 13

(ค) - (ข)) มีรูปร่างเปลวไฟเป็น 2 ส่วน กล่าวคือส่วนแรกที่มีผิวของวัสดุพอร์นจะเป็นลักษณะไร้ เปลวไฟ (Flameless) เช่นเดียวกับเตาแก๊สแบบ PB และมีลักษณะเป็นสีแดงกระจายทั่วทั้งแผ่นวัสดุพอร์น ขณะเดียวกันก็มีเปลวไฟอีกส่วนอยู่ด้านบนซึ่งมีลักษณะเป็นลำพุ่งขึ้นไป ด้วยเหตุนี้จึงอาจกล่าวได้ว่าลักษณะเปลวไฟของเตาแก๊สแบบ SWB เหมือนเป็นการรวมเอาเปลวไฟของเตาแก๊สแบบ RB และ PB เข้าด้วยกัน

4. สรุป

จากการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนวัสดุพอร์นแบบลดตาข่ายสแตนเลส (SWB) สามารถสรุปได้ดังนี้

เตาแก๊ส SWB ทั้ง 6 รูปแบบ มีการกระจายเปลวไฟโดยมีรูปร่างแบ่งเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนแรกที่มีผิวของวัสดุพอร์นจะเป็นลักษณะไม่มีเปลวไฟ (Flameless) เช่นเดียวกับเตาแก๊สแบบ PB และมีลักษณะเป็นสีแดงกระจายทั่วทั้งแผ่นวัสดุพอร์น นอกจากนี้ยังพบว่าเปลวไฟอีกส่วนอยู่ด้านบนซึ่งมีลักษณะเป็นลำพุ่งขึ้นไปคล้ายกับเตาแก๊สแบบ RB ด้วยเหตุนี้จึงอาจกล่าวได้ว่าลักษณะเปลวไฟที่สังเกตได้จากเตาแก๊ส SWB นั้น เหมือนเป็นการรวมเอาเปลวไฟเตาแก๊สแบบ PB และ RB เข้าด้วยกัน

เตาแก๊ส SWB มีค่า η_{th} สูงกว่าเตาแก๊สแบบ PB และ RB ทุกเงื่อนไขการทดลอง สำหรับ η_{th} จะมีค่าใกล้เคียงกัน ที่ $Q_F = 2$ และ 3 kW และ $H = 1$ (SWBXX-01) และ 2 cm (SWBXX-02) ทุกกรณี โดยที่เตาแก๊สแบบ SWB08-01 (PPI = 8) จะมี η_{th} สูงกว่า SWB12-01 (PPI=12) และ (SWB16-01) (PPI=16) ที่ 52.12%, 47.12% และ 46.07% ตามลำดับ ปริมาณ CO และ NO_x ของเตาแก๊ส SWB ทั้ง 6 รูปแบบ มีจะมีค่าที่ต่ำคือไม่เกิน 220 และ 45 ppm ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำวิจัยขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนาในเทคโนโลยีของวัสดุพอร์น (Development in

Technology of Porous Media Research Laboratory, DiTo-Lab) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เกี่ยวกับเครื่องมือวัด และสถานที่ในการทดลอง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ministry of Industry. (2024, July 1). Industrial product standards for domestic cooking burners using liquefied petroleum gas. [Online]. Available: <http://www.ratchakitcha.soc.go.th>.
- [2] Ministry of energy. (2024, July 1). Energy consumption data in Thailand [Online]. Available: <http://www.energy.go.th>.
- [3] F. Weinberg, "Heat-recirculating burners: Principles and some recent developments," *Combust. Sci. Technol.*, vol. 121, pp. 3–22, 1996.
- [4] S. Jugjai and N. Rungsimuntuchart, "High efficiency heat-recirculating domestic gas burners," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 26, pp. 581–592, 2002.
- [5] A. J. Barra and J. L. Ellzey, "Heat recirculation and heat transfer in porous burners," *Combust. Flame*, vol. 137, pp. 230–241, 2004.
- [6] J. Sunrui, D. Zhou, L. Jinsheng, M. Mingming and M. Xiaozhong, "Self-sustained stable combustion of off-gas from solid oxide fuel cell in a cone-shaped porous burner with preheaters," *Energy*, vol. 312, p. 133566, 2024.
- [7] E. F. Montoya, P. A. Masset, T. Schuller and L. Selle, "Speed-up drivers for enriched

- flames in porous media burners,” *Proc. Combust. Inst.*, vol. 40, p. 105666, 2024.
- [8] L. L. Dong, C. S. Cheung and C. W. Leung, “Heat transfer characteristics of a pair of impinging rectangular flame jets,” *J. Heat Mass Transfer*, vol. 125, pp. 1140–1146, 2003.
- [9] L. L. Dong, C. S. Cheung and C. W. Leung, “Heat transfer of three butane/air flame jets impinging on a flat plate,” *Int. J. Heat Mass Transfer*, vol. 46, pp. 113–125, 2003.
- [10] L. L. Dong, C. S. Cheung and C. W. Leung, “Heat transfer and wall pressure characteristics of twin premixed butane/air flame jets,” *J. Heat Mass Transfer*, vol. 47, pp. 489–500, 2004.
- [11] X. Q. Huang and C. W. Leung, “Thermal characteristics of premixed impinging circular laminar-flame jet with induced swirl,” *Appl. Energy*, vol. 83, pp. 401–411, 2006.
- [12] S. S. Hou, C. Y. Lee and T. H. Lin, “Efficiency and emissions of a new domestic gas burner with a swirling flame,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 48, pp. 1401–1410, 2007.
- [13] H. S. Zhen, C. W. Leung and T. T. Wong, “Improvement of domestic cooking flames by utilizing swirling flows,” *Fuel*, vol. 119, pp. 153–156, 2014.
- [14] W. Yoksenakul, “Gas burner with heat circulation and swirling flow,” M.Eng. thesis, Dept. Mech. Eng., King Mongkut’s Univ. of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand, 2005.
- [15] V. K. Pantangi, A. S. S. R. Karuna Kumar, S. C. Mishra and N. Sahoo, “Performance analysis of domestic LPG cooking stoves with porous media,” *Int. Energy J.*, vol. 8, pp. 139–144, 2007.
- [16] V. K. Pantangi, S. C. Mishra, P. Muthukumar and R. Reddy, “Studies on porous radiant burners for LPG (liquefied petroleum gas) cooking applications,” *Energy*, vol. 36, pp. 6074–6080, 2011.
- [17] P. Muthukumar and P. I. Shyamkumar, “Development of novel porous radiant burners for LPG cooking applications,” *Int. J. Fuel*, vol. 112, pp. 562–566, 2013.
- [18] J. Conepo, S. Chotikorn and W. Cokhuntad, “Domestic cooking burner of open cellular porous media,” B.Eng. thesis, Dept. Mech. Eng., Rajamangala Univ. of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, Thailand, 2010.
- [19] N. Phetsaen and M. Mingsaeng, “Open cellular metal porous media household gas stove domestic cooking burner,” B.Eng. thesis, Dept. Mech. Eng., Rajamangala Univ. of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, Thailand, 2011.
- [20] U. Makmool and N. Wongyao, “Design and development of an atmospheric radiant burner for hydrogen production fueled by ethanol,” in *Proc. 36th Conf. Mech. Eng. Network Thailand (ME-NETT)*, Nakhon Pathom, Thailand, 2021, pp. 92–99.
- [21] A. K. Makalingam, L. K. Kaushik and P. Muthukumar, “Experimental and numerical study of lean combustion of propane in divergent porous media burners,” *Sustain. Energy Technol. Assess.*, vol. 67, p. 103822, 2024.