

การพัฒนาเตาแก๊ซหุงต้มแบบวงแหวนวัสดุพรุนที่มีระบบอุ่นและเหนี่ยวนำอากาศด้วยตัวเอง Development of a self-aspirating, preheated air, annular, porous medium burner (APMB)

อุษา มากมูล^{1*}, อาชวินเพชรสังคุณ², วสันต์ โยคเสนะกุล², และ สำเร็จ จักรใจ²

¹สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (บางขุนเทียน)

49 ซอยเทียนทะเล 25 ถนนบางขุนเทียน-ชายทะเล แขวงท่าข้าม เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150

²ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องยนต์และการเผาไหม้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

*ติดต่อ: E-mail: usa.mak@kmutt.ac.th, โทรศัพท์ 0-2470-7429 โทรสาร 0-2452-3455

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการออกแบบและพัฒนาเตาแก๊ซหุงต้มแอลพีจีที่มีระบบการหมุนเวียนความร้อนเพื่ออุ่นอากาศส่วนแรกโดยใช้วัสดุพรุน ชุดเตาประกอบด้วยหัวเผาวัสดุพรุนแบบวงแหวน (APMB) ที่ถูกติดตั้งในชุดอุ่นอากาศที่อาศัยวัสดุพรุนในการหมุนเวียนความร้อน (Porous Radiant Re-circulated Heater, PRRH) เพื่อส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนให้มีประสิทธิภาพทางความร้อนที่สูงยิ่งขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำไปใช้งานในภาคครัวเรือนและอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมแทนที่เตาแก๊ซหุงต้มแอลพีจี ชนิด KB-10แบบทั่วไป ซึ่งมีประสิทธิภาพทางความร้อนโดยเฉลี่ยต่ำกว่า 35% หัวเผา APMB ประกอบด้วยเม็ดหินอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตรเรียงซ้อนกันแบบสุ่มภายในห้องเผาไหม้แบบวงแหวน ในขณะที่ชุดวัสดุพรุนเวียนเปลี่ยนความร้อน PRRHประกอบด้วยชั้นตะแกรงเหล็กสแตนเลส ซึ่งถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนสำหรับทำหน้าที่เป็นส่วนรับความร้อนและส่วนแผ่รังสีความร้อน เตาสามารถทำงานได้ดีในช่วงความร้อนป้อนตั้งแต่ 21 กิโลวัตต์ จนถึง 44 กิโลวัตต์ โดยมีค่าประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดเท่ากับ 56.61% ส่งผลให้เกิดการประหยัดก๊าซแอลพีจีมากกว่า 35% เมื่อเทียบกับเตาแก๊ซหุงต้มแบบทั่วไป นอกเหนือจากนั้น เตาเผาวัสดุพรุนนี้มีการปลดปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตาม การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ยังอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูงเนื่องจากการเหนี่ยวนำอากาศเพื่อการเผาไหม้ที่ยังไม่เพียงพอ ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาต่อไป

คำหลัก:เตาเผาวัสดุพรุน; หัวเผาแบบวงแหวน; เตาเผาที่เหนี่ยวนำอากาศด้วยตัวเอง; การอุ่นอากาศ; การหมุนเวียนความร้อน

Abstract

This research is a design and development of a self-aspirating LPG burner by introducing a concept of heat recirculation combustion by using porous medium technology. Porous media is applied to be both a combustor and a heat recirculation unit. The combustor, which is a self-aspirating annular porous medium burner (APMB), is integrated with the Porous Radiant Re-circulated Heater (PRRH) in order to further enhance thermal efficiency. This novel design is proposed to be used in household sector and Small and Medium-sized Enterprises (SMEs), replacing the using of the KB-10 conventional radial flow burner (CB), which has relatively low thermal efficiency of less than 35%. The APMB is formed by an annular packed bed of 15 mm-diameter alumina spheres. While the PRRH is fabricated with stainless steel wire mesh, assembled as absorber and emitter units for creating a self-recirculation of heat from combustion gases to the combustion air. The burner can be operated with

firing rate (FR) varying from 21 to 44 kW. Thermal efficiency of the APMB integrated with PRRH reaches 56.61% as the maximum value. It is increased about 19.02% on average, hence, the energy consumption is reduced by 35.57% compared with the CB one. Moreover, it is due to the advantage of combustion within porous media likes a matrix-stabilized flame, level of NO_x emission is relatively low. However, CO emission of the APMB with PRRH is relatively high throughout the range of FR used because of insufficient combustion air. These results show that using a combination of the porous combustor and the PRRH significantly improve thermal efficiency. However, a continuous improvement of secondary air entrainment is needed to reduce the amount of co emission.

Keywords: A self-aspirating burner, annular porous medium burner, Porous radiant recirculated heater (PRRH), heat recirculation combustion, low NO_x combustion.

1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่เป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะก๊าซปิโตรเลียมเหลวหรือแอลพีจี (Liquefied petroleum gas, LPG) ที่มีส่วนผสมของโพรเพนและบิวเทนซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในครัวเรือน ร้านอาหารและอุตสาหกรรม[1] ด้วยเหตุผลที่ว่าแก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดเผาไหม้ได้สมบูรณ์และสะดวกต่อการใช้งานและเนื่องด้วยสถานการณ์ของโลกในปัจจุบันที่พลังงานมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นผู้ใช้พลังงานทุกภาคส่วนต้องช่วยกันประหยัดและใช้พลังงานที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ดังนั้นนักประดิษฐ์หรือนักวิจัยในปัจจุบันจึงมีความพยายามในการที่จะคิดค้นและพัฒนาเทคโนโลยีหรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงานหรือการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้สูงขึ้น ทั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ผลิตความร้อนต่างๆ เช่น เตาแก๊สหุงต้มซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรมซึ่งในอดีต มีความพยายามที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สให้สูงขึ้น เช่นการเปลี่ยนรูปแบบการไหลของเปลวไฟให้เกิดการหมุนวน (swirling flow)[2] และนำหลักการหมุนเวียนความร้อนมาประยุกต์ใช้งานโดยใช้วัสดุพรุน (porous medium)[3] เนื่องจากวัสดุพรุนมีลักษณะเด่นคือสามารถเป็นได้ทั้งตัวรับความร้อนและตัวแผ่รังสีความร้อน โดยจะนำความร้อนจากการเผาไหม้มาทำการอุ่นอากาศส่วนแรก (primary air) ก่อนที่จะผสมกับเชื้อเพลิงซึ่งจะช่วยทำให้เตาแก๊สหุงต้มมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้นและอีกหนึ่งลักษณะเด่นของวัสดุพรุนคือมีสัดส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง[4] ซึ่งส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนทั้งสามโหมด คือการนำ (conduction) การพา (convection)

และการแผ่รังสี (radiation) ซึ่งจากลักษณะดังกล่าวทำให้การเผาไหม้ภายในวัสดุพรุนนั้นช่วยส่งเสริมการเผาไหม้ภายในตัวเองจากบริเวณท้ายน้ำ (downstream) ไปยังด้านต้นน้ำ (upstream) ทำให้ความเร็วในการเผาไหม้ (burning velocity) เพิ่มขึ้น การเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้นและส่งผลให้เกิดเปลวไฟแบบซูเปอร์อะเดียบาติก (super adiabatic flame) คือให้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงกว่าการเผาไหม้แบบปกติ[5] อีกทั้งยังส่งผลให้ความเข้มของการเผาไหม้ (combustion intensity) สูงขึ้น ทำให้สามารถออกแบบขนาดห้องเผาไหม้ให้มีขนาดเล็กลงได้เนื่องจากความเข้มของการแผ่รังสีในห้องเผาไหม้สูง ดังนั้นอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จึงสูงสม่ำเสมอขยายช่วงการทำงานให้สามารถเผาไหม้ที่สภาวะเจือจางมากขึ้นหรือสามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่ำที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้โดยหัวเผาทั่วไปซึ่งงานวิจัยที่มีการนำข้อดีของวัสดุพรุนมาใช้ร่วมกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG คือ Jugjai และคณะ[7] ได้ทำการออกแบบและพัฒนาเตา SPMB (self-aspirating porous medium burner) เพื่อการนำมาใช้ทดแทนเตาก๊าซทั่วไป (conventional free flame burner, CB) ซึ่งแม้ว่าเตา CB จะมีจุดเด่นหลายประการ เช่น มีโครงสร้างที่ง่าย หาซื้อได้ทั่วไป ราคาถูก และสะดวกในการใช้งาน แต่เตา CB มีข้อเสียที่สำคัญคือให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ต่ำประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ โดยผลที่ได้จากการทดสอบพบว่าเตา SPMB ให้ประสิทธิภาพการแผ่รังสี (radiation efficiency) สูงและช่วงการทำงานของเตา SPMB ค่อนข้างกว้าง คือสามารถทำงานได้ดีโดยใช้ความร้อนป้อนได้ตั้งแต่ 23 ถึง 61 กิโลวัตต์ตักจากงานวิจัยข้างต้น แม้ว่าเตา SPMB จะมีข้อได้เปรียบเตา CB อยู่หลายประการ แต่ก็ยังพบว่าเปลวไฟจากการเผาไหม้ของเตา

SPMB มีสีส้มและมีลักษณะของเปลวไฟที่ยาว ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณอากาศทุติยภูมิ (secondary air) ไม่เพียงพอในการเผาไหม้ จึงเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร

จากปัญหาดังกล่าว จึงนำมาสู่การปรับปรุงและพัฒนาเตา SPMB ให้มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยการพยายามเพิ่มปริมาณอากาศทุติยภูมิ ให้เข้ามาช่วยในการเผาไหม้ให้มากขึ้นด้วยการออกแบบหัวเผาเป็นแบบวงแหวน (annular packed bed) เพื่อให้สามารถเหนี่ยวนำอากาศทุติยภูมิเข้าบริเวณแกนกลางเตา เพื่อช่วยในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น เพื่อให้เกิดความเป็นไปได้ที่จะผลักดันไปประยุกต์ใช้กับภาคอุตสาหกรรม หรือใช้ในครัวเรือนทั่วไปได้ในอนาคตเนื่องจากนั้นจะทำการเพิ่มสมรรถนะของเตาด้วยการเพิ่มชุดหมุนเวียนความร้อนเพื่อช่วยในการอุ่นอากาศส่วนแรกสำหรับการเผาไหม้ เพื่อส่งเสริมการเผาไหม้และให้มีประสิทธิภาพทางความร้อนที่ดียิ่งขึ้น

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 การออกแบบเตาวัสดุพอร์นแบบวงแหวน APMB

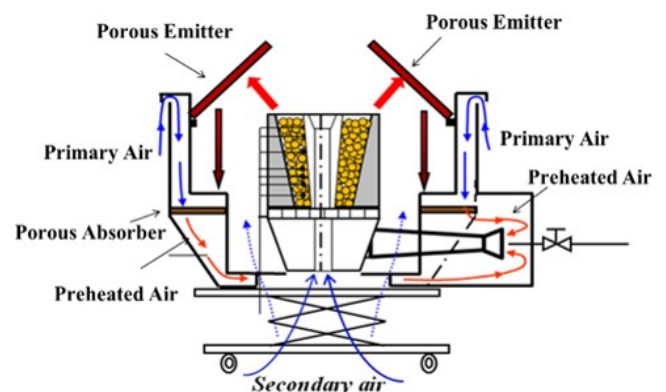
เตาที่ทำการออกแบบใหม่ในงานวิจัยนี้ถูกเรียกว่าเตาวัสดุพอร์นแบบวงแหวน (Annular Porous Medium Burner, APMB) โดยสภาวะที่ใช้ในการออกแบบอ้างอิงจากสภาวะการทำงานเตา SPMB ที่มีรูปทรงแบบทรงกระบอก [7] กำหนดให้พื้นที่การไหลและความดันตกคร่อมของเตาเท่าเดิมเพื่อที่จะใช้ช่วงการทดสอบอัตราป้อนความร้อน (firing rate, FR) เดียวกัน แต่มีการออกแบบหัวเผาไหม้ให้มีรูปทรงแบบวงแหวน (annular packed bed) เพื่อให้สามารถเหนี่ยวนำอากาศทุติยภูมิเข้าบริเวณกลางเตาที่เป็นรูกลวงไว้เพื่อช่วยในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ทำการประเมินหาขนาดและความสูงของหัวเผา (L) โดยใช้สมการความสัมพันธ์ของ J.R. Sodre and J.A.R. Parise [8] และกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเตาแบบวงแหวน (D) และใช้ค่าความดันตกคร่อม (ΔP) ที่ได้จากการวัดจากเตาแก๊สทั่วไปชนิด KB-10 และใช้ท่อผสมเชื้อเพลิงกับอากาศ (mixing tube) และหัวฉีดเชื้อเพลิง (fuel injector) เดียวกัน ใช้เม็ดหินกลม Al_2O_3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตรเป็นวัสดุพอร์น (porous medium) จัดเรียงตัวแบบสุ่มซึ่งการคำนวณขนาดของเม็ดหินอ้างอิงจากสมการของ Ergun [9, 10] และค่า Peclet number (Pe) [11]

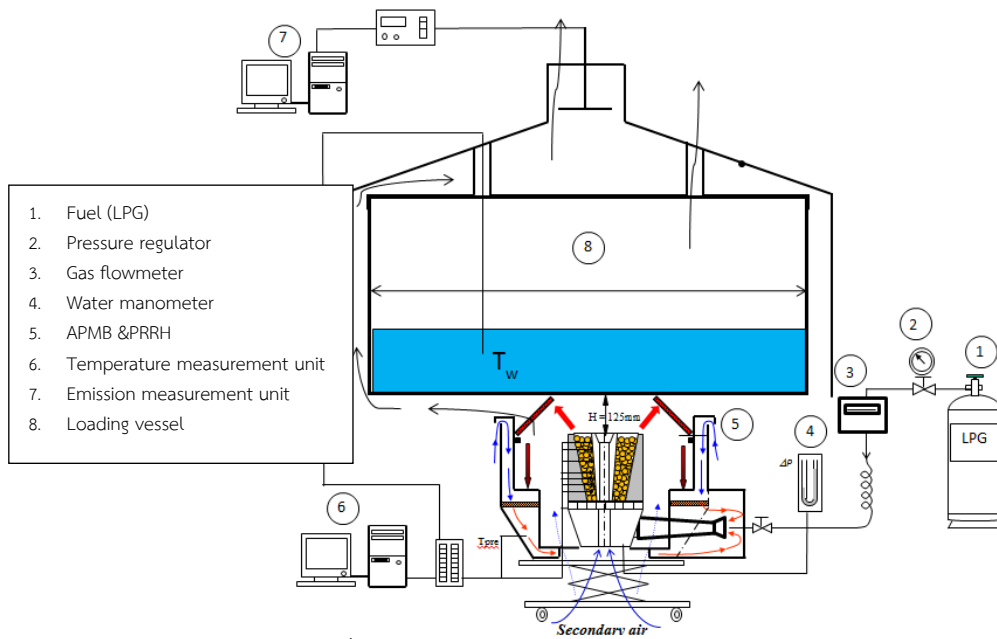
ในการทดลอง เตา APMB จะถูกประกอบรวมเข้ากับอุปกรณ์อุ่นอากาศโดยอาศัยการหมุนเวียนรังสีความร้อน โดยวัสดุพอร์น (Porous Radiant Re-circulated Heater, PRRH) ดังแสดงในรูปที่ 1 เพื่อทำหน้าที่อุ่นอากาศส่วนแรกก่อนเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิง LPG อุปกรณ์ PRRH ประกอบด้วยวัสดุพอร์นสองชุดซึ่งทำมาจากตะแกรงสแตนเลส โดยวัสดุพอร์นชุดแรกเรียกว่าวัสดุพอร์นแผ่รังสี (emitting porous medium) ทำหน้าที่สะสมความร้อนจากไอเสียและเปลวไฟและแผ่รังสีให้กับวัสดุพอร์นชุดที่สองเพื่อดูดซับและสะสมความร้อน (absorbing porous medium) แล้วถ่ายเทสู่อากาศเย็นที่ไหลผ่านเข้ามาจากด้านข้างของ PRRH ทำให้อากาศร้อนขึ้น (preheated air) ก่อนที่จะถูกดูดผ่านทางท่อผสมเพื่อนำไปผสมกับเชื้อเพลิงก่อนเข้าไปเผาไหม้ในชั้นวัสดุพอร์นต่อไป

2.2. วิธีการทดสอบสมรรถนะของเตา

รูปที่ 2 แสดงแผนภาพชุดทดลองสมรรถนะของเตาอ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบของ European standard EN 203-1:1995 [12] เพื่อทดสอบหาค่าประสิทธิภาพทางความร้อนและการปลดปล่อยก๊าซไอเสียคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) โดยใช้วิธีการต้มน้ำจนอุณหภูมิถึง $90^\circ C$ เพื่อป้องกันการเดือดและลดการสูญเสียมวลของน้ำไปกับไอน้ำและใช้หม้อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 920 มิลลิเมตร ความสูงหม้อ 800 มิลลิเมตร ใช้ในการทดสอบ 100 กิโลกรัม โดยกำหนดให้ความสูงของกันหม้อเท่ากับ 125 มิลลิเมตร วัดจากตำแหน่งปากทางออกของหัวเผา APMB



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงหลักการทำงานของหัวเผา APMB ร่วมกับอุปกรณ์อุ่นอากาศโดยอาศัยการหมุนเวียนรังสีความร้อนโดยวัสดุพอร์น (Porous Radiant Re-circulated Heater, PRRH)



รูปที่ 2 ชุดทดสอบสมรรถนะของหัวเผา APMB ร่วมกับ PRRH

ทำการบันทึกอุณหภูมิน้ำและวัดการปลดปล่อยก๊าซไอเสียที่ทางปากปล่องดักเก็บไอเสีย (hood) นอกเหนือจากนั้น จะทำการวัดอุณหภูมิภายในหัวเผาเพื่อศึกษาโครงสร้างการเผาไหม้ในชั้นวัสดุพรุนเพื่อให้เกิดความเข้าใจในคุณลักษณะการเผาไหม้ของเตา APMB ที่ส่งผลต่อสมรรถนะของเตาอีกด้วย

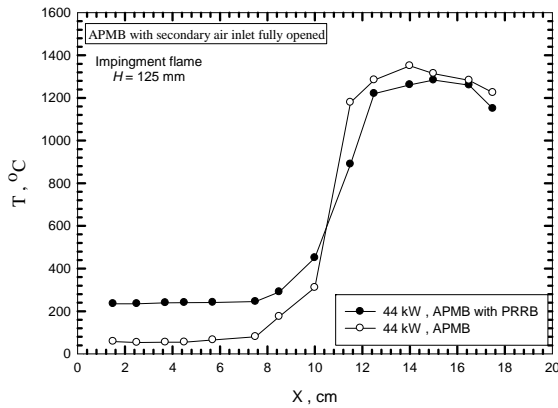
ระบบจ่ายเชื้อเพลิงแก๊สซึ่งใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG ในการทดสอบ มีอุปกรณ์ที่สำคัญคือหม้อต้มระเหยแก๊ส (vaporizer) เพื่อควบคุมการระเหยของแก๊สผสมให้มีอัตราส่วนคงที่ตลอดช่วงของการทดลองใช้หัวปรับความดันแก๊ส (gas pressure regulator) สำหรับปรับความดันเชื้อเพลิงแก๊สที่ป้อนเข้าไปในเตาเผา โดยวัดปริมาณการไหลของแก๊สโดยใช้เครื่องวัดปริมาตรแก๊ส (gas flow meter) และใช้ DATA LOGGER รุ่น EQ 600 ในการเก็บบันทึกค่าอุณหภูมิ ณ เวลาใดๆ ซึ่งจะต่อฟ่วงไปแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ ในการวัดอุณหภูมิจากการทดลองจะทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล Type B มีช่วงการวัดตั้งแต่ 400 ถึง 1,700 °C และความคลาดเคลื่อน ± 1 °C จำนวน 9 ตำแหน่ง และ Type N ที่มีช่วงการวัดตั้งแต่ 0 ถึง 1260 °C และความคลาดเคลื่อน ± 2.2 °C จำนวน 5 ตำแหน่ง สำหรับวัดอุณหภูมิภายในวัสดุพรุนโดยเทอร์โมคัปเปิลเหล่านี้จะต่อเข้ากับ Data logger เพื่อเก็บข้อมูลและส่งไปแสดงผลที่คอมพิวเตอร์ส่วนแก๊สไอเสียที่ถูกปลดปล่อยจากการเผาไหม้ภายใน packed bed จะถูกนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณของก๊าซ CO₂,

O₂, CO, และ NO_x ในลักษณะไอเสียแห้ง (dry basis) ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเผาไหม้ (exhaust analyzer) ของ MESSTECHNIK EHEIM รุ่น Visit-01L ที่ใช้ Electrochemical sensor โดยมีช่วงการวัด 0 - 10,000 ppm และ 0 - 4,000 ppm สำหรับ CO และ NO_x ตามลำดับ และมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ ± 5 ppm ใช้மானอมิเตอร์ที่มีค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.5 mmH₂O วัดค่าปริมาณความดันตกคร่อมของเตาเผาวัสดุพรุนผ่านรูที่ถูกเจาะบริเวณห้องผสม

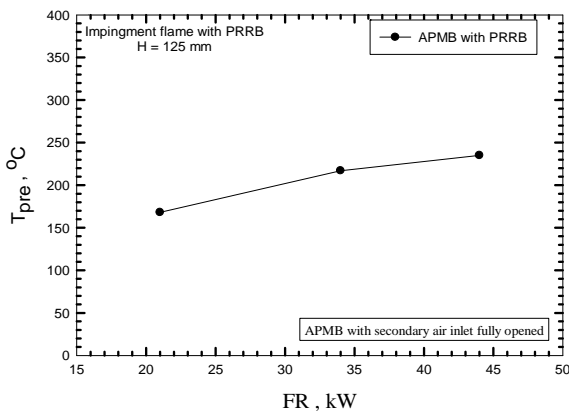
3. ผลการทดลอง

3.1 อิทธิพลชุดหมุนเวียนความร้อน PRRH ต่อโครงสร้างอุณหภูมิภายในเตา APMB

รูปที่ 3 เปรียบเทียบโครงสร้างอุณหภูมิภายในเตา APMB ระหว่างมีและไม่มีชุด PRRH ที่ความดันป้อน 44 กิโลวัตต์ แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของชุดหมุนเวียนความร้อน PRRH ที่ส่งผลกระทบอย่างชัดเจนต่อการเผาไหม้ของเตา APMB กล่าวคือ เตา APMB ที่มีระบบอุ่นอากาศ PRRH จะให้อุณหภูมิที่ด้าน upstream สูงกว่าแบบที่ไม่มี การอุ่นอากาศ เนื่องจากอากาศส่วนแรกถูกทำให้อุ่นขึ้นก่อนเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงดังแสดงในรูปที่ 4 แต่อย่างไรก็ตาม กลับให้อุณหภูมิสูงสุดภายในชั้นวัสดุพรุนมีค่าต่ำกว่าระบบที่ไม่มี การอุ่นอากาศสันนิษฐานว่ามีสาเหตุเนื่องมาจากเมื่ออุณหภูมิภายในระบบสูงขึ้นจะทำให้อากาศเกิดการขยายตัวและมีความหนืดมากขึ้นส่งผลให้



รูปที่ 3 อิทธิพลของชุดหมุนเวียนความร้อน PRRH ต่อโครงสร้างอุณหภูมิกายในเตา APMB

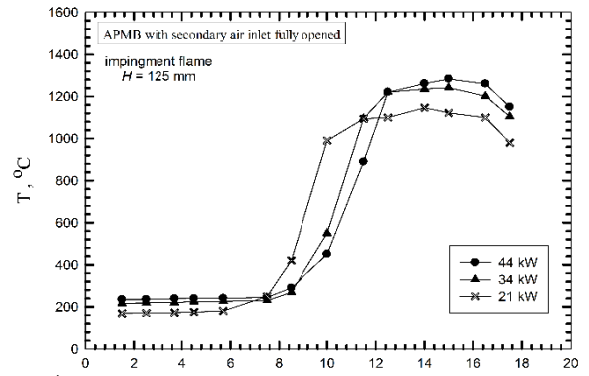


รูปที่ 4 อิทธิพลของ PRRH ต่ออุณหภูมิกายร้อนอากาศส่วนแรกของเตา APMB ที่ค่า FR ต่างๆ

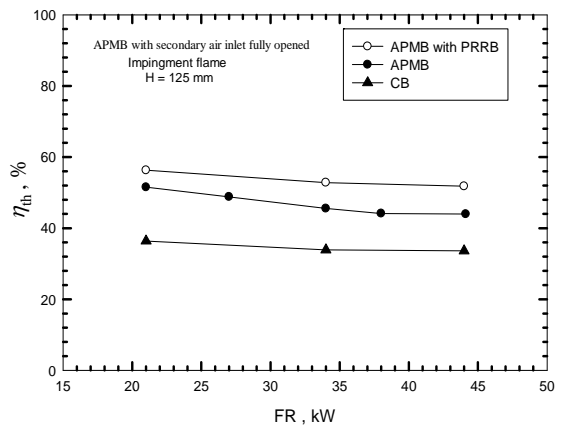
การเหนี่ยวนำอากาศจากภายนอกเพื่อเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงลดลง และส่งผลให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และให้อุณหภูมิกายในเตาจึงต่ำกว่าแบบที่ไม่มี PRRH

3.2 อิทธิพลอัตราป้อนเชื้อเพลิงต่อโครงสร้างอุณหภูมิและสมรรถนะของเตา APMB

รูปที่ 5 เปรียบเทียบโครงสร้างอุณหภูมิกายในชั้นวัสดุพูนของเตา APMB แบบที่มีระบบอุ่นอากาศ PRRH ที่อัตราป้อนเชื้อเพลิง (FR) ต่างๆ ซึ่งพบว่าเปลวไฟสามารถติดและเสถียรได้ดีในชั้นวัสดุพูนที่ทุกค่า FR ที่ทดสอบ และเมื่อ FR เพิ่มขึ้น อุณหภูมิสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น และตำแหน่งเปลวไฟหรือ reaction zone เคลื่อนที่ไปทางด้านท้ายน้ำมากขึ้นเนื่องจากความเร็วของของผสมเชื้อเพลิงกับอากาศมากขึ้น นอกเหนือจากนั้นพบว่าเมื่อ FR เพิ่มขึ้นที่ตำแหน่งต้นน้ำจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของการอุ่นอากาศดังแสดงในรูปที่ 3 คืออุณหภูมิอากาศส่วนแรกสูงขึ้นเมื่อ FR สูงขึ้นซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 168 ถึง 235 องศาเซลเซียสเนื่องจากการหมุนเวียน



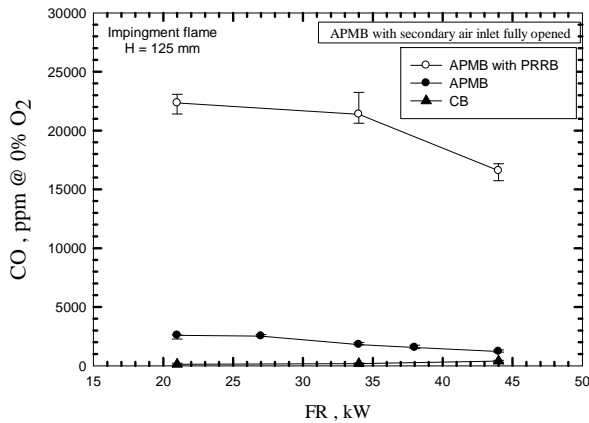
รูปที่ 5 อิทธิพลของค่า FR ต่อโครงสร้างอุณหภูมิกายในเตา APMB ชนิดที่มี PRRH



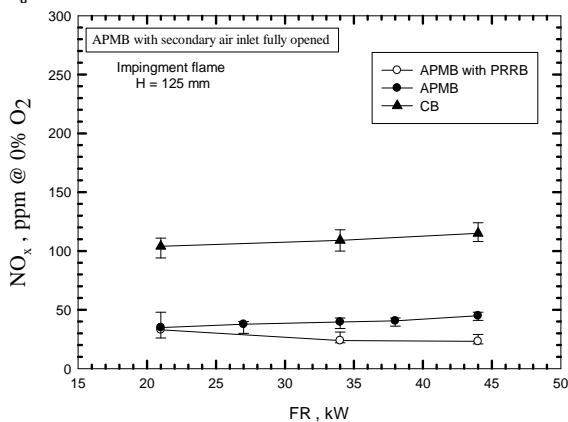
รูปที่ 6 อิทธิพลของค่า FR ต่อประสิทธิภาพทางความร้อน

ความร้อนจากไอเสียที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นตามค่า FR ที่ป้อนเข้าระบบ

รูปที่ 6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพทางความร้อนของเตา APMB แบบที่มีและไม่มีระบบอุ่นอากาศ (PRRH) รวมถึงเตาแบบทั่วไป (CB) ชนิด KB-10 ที่อัตราป้อนความร้อนต่างๆ จากกราฟพบว่าสำหรับเตาทุกชนิดที่ทดสอบ ประสิทธิภาพทางความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อ FR มากขึ้นเนื่องจากการสูญเสียความร้อนไปกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบของเตาพบว่า เตา APMB ที่มีชุด PRRH ให้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุด ที่ทุกอัตราป้อนความร้อนที่ทดสอบโดยเตา CB ให้ประสิทธิภาพทางความร้อนต่ำที่สุดจากผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าด้วยข้อดีของระบบ PRRH ที่มี การหมุนเวียนความร้อนสูงช่วยส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนและตัวโครงสร้างของ PRRH เองยังช่วยป้องกันการสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีไปกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเตาแบบไม่มี PRRH จึงให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าถึงแม้วัสดุพูนในเตา

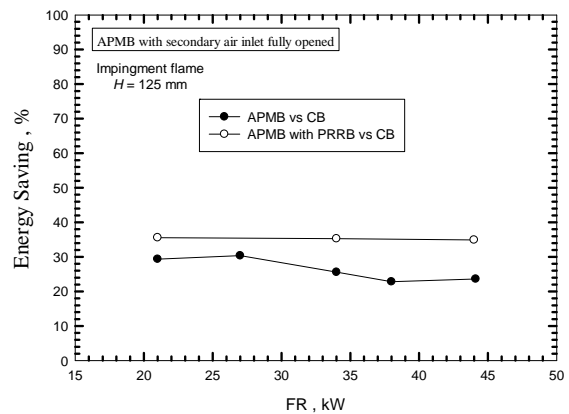


รูปที่ 7 อิทธิพลของค่า FR ต่อการปลดปล่อยก๊าซ CO



รูปที่ 8 อิทธิพลของค่า FR ต่อการปลดปล่อยก๊าซ NO_x

APMB เองก็ช่วยส่งเสริมการเผาไหม้ทำให้ประสิทธิภาพดีอยู่แล้วคือมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 51.53% แต่เมื่อนำไปทำงานร่วมกับชุดPRRHยิ่งช่วยเสริมประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้นไปอีกโดยมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 56.61%อย่างไ้ก็ตาม เตา APMB ที่มีระบบอุ่นอากาศPRRHปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สูงกว่าเตาแบบอื่นๆและสูงกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้มาก ดังแสดงในรูปที่ 7 ทั้งนี้เนื่องจากระบบการทำงานของPRRHซึ่งทำหน้าที่เป็นระบบอุ่นอากาศส่วนแรกจึงทำให้อากาศร้อนขึ้นขยายตัวและมีความหนืดมากขึ้นส่งผลต่อการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงได้ลดลงจึงทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์อีกทั้งโครงสร้างของPRRH ที่ไม่เอื้อต่อการเข้ามาของอากาศส่วนที่สองจึงทำให้การปลดปล่อยCO ของAPMBที่มีชุดอุ่นอากาศPRRH มีค่าสูงซึ่งต้องปรับปรุงในอนาคตและเช่นเดียวกันการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และอุณหภูมิเปลวไฟต่ำจึงส่งผลต่อการปลดปล่อยNO_x ของเตาAPMB ที่มีPRRHต่ำกว่าเตาอื่นๆ (รูปที่8) ที่ทุกๆค่าFRอย่างไรก็ตามการปลดปล่อยNO_xของเตาAPMB ที่มีชุดPRRH



รูปที่ 9 ค่าการประหยัดพลังงานที่อัตราป้อนเชื้อเพลิง

ต่างๆ

ไม่เพิ่มสูงขึ้นตาม FR ที่สูงขึ้นถึงแม้จะให้อุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงกว่าที่ FR ต่ำๆ เนื่องจากข้อดีของวัสดุพอร์ซันที่กระจายการเผาไหม้ให้สม่ำเสมอจึงควบคุมการเกิด NO_x ไม่ให้สูงขึ้นตามอุณหภูมิภายในเตาที่เพิ่มขึ้น

3.3 การประหยัดพลังงาน

รูปที่ 9 แสดงอัตราการประหยัดพลังงานของเตา APMB แบบที่มีและไม่มีชุด PRRH เมื่อเปรียบเทียบกับเตา CB พบว่าเตา APMB ที่มี PRRH ให้การประหยัดพลังงานสูงที่สุดเนื่องจากข้อดีของชุดอุ่นอากาศPRRH ที่มีการหมุนเวียนความร้อนและส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนจากตัววัสดุพอร์ซัน โดยอัตราประหยัดสูงสุดเท่ากับ 35.57 % เมื่อเทียบกับเตา CB ซึ่งชุด PRRH สามารถเพิ่มอัตราการประหยัดจาก APMB ที่ให้อัตราประหยัดสูงสุดเดิมไว้ที่ 30.3 %ได้มากขึ้นถึง 5.2 % ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการส่งเสริมความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากการหมุนเวียนความร้อนเพื่ออุ่นอากาศส่วนแรกให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นและยังเพิ่มประสิทธิภาพการแผ่รังสีความร้อนของชุด PRRH และลดการสูญเสียสู่สิ่งแวดล้อม แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อ FR มีค่ามากขึ้นอัตราการประหยัดพลังงานมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากเกิดการสูญเสียความร้อนจากการพาไปกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

การเพิ่มขึ้นของอัตราการประหยัดพลังงานจากการใช้เตาก๊าซหุงต้มแอลพีจี นอกจากจะส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการลดอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้แก่ CO₂ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนแล้ว การประหยัดการใช้ก๊าซแอลพีจียังส่งผลต่อต้นทุนในการประกอบอาหารในครัวเรือนหรือต้นทุนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมที่ลดลงอีกด้วย

4. สรุปผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาเผาไหม้วัสดุพูนแบบวงแหวน (APMB) ที่มีระบบการหมุนเวียนความร้อนเพื่ออุ่นอากาศส่วนแรกโดยใช้วัสดุพูน (PRRH) หัวเผาที่มีรูทางเข้าของอากาศส่วนที่สองตรงกลางเตาเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้นและทำงานด้วยหลักการเหนี่ยวนำอากาศด้วยตัวเอง มีการออกแบบโดยยึดหลักการทำงานของเตาเผาแบบทั่วไปชนิด KB-10 ผลการทดสอบสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

4.1 เตาเผาวัสดุพูนแบบวงแหวน (APMB) ให้การเผาไหม้ที่เสถียรภายในชั้นวัสดุพูนโดยมีช่วงการทำงานค่อนข้างกว้าง ตั้งแต่ 21 กิโลวัตต์ถึง 44 กิโลวัตต์

4.2 เตา APMB ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเตา CB เนื่องจากข้อดีของการแผ่รังสีของวัสดุพูนโดยมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 51.53% และให้อัตราประหยัดพลังงานสูงถึง 30.34 % เมื่อเทียบกับ CB

4.3 การนำเตา APMB ไปทดสอบร่วมกับระบบอุ่นอากาศ (PRRH) พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ถึง 56.61% และให้อัตราประหยัดพลังงานเพิ่มสูงถึง 35.57 % และ 5.2% เมื่อเทียบกับ CB และเตา APMB ที่ไม่มี PRRH ตามลำดับ

4.4 เตา APMB ที่ทำงานร่วมกับ PRRH ให้การปลดปล่อย CO สูงกว่าเตา CB เนื่องจากโครงสร้างของ PRRH ที่ไม่เอื้อต่อการเข้าของอากาศแต่ก็ยังมีช่วงการทำงานบางช่วงที่ต่ำกว่ามาตรฐานและยอมรับได้โดยค่าเฉลี่ยการปลดปล่อย CO อยู่ที่ 1200 - 2,500 ppm ขึ้นอยู่กับ FR

4.5 เตา APMB ทั้งแบบที่มีและไม่มีชุดอุ่นอากาศ PRRH ปลดปล่อย NO_x ต่ำกว่าเตา CB และเตา APMB ที่มีชุดอุ่นอากาศ PRRH ปลดปล่อย NO_x ลดลงเมื่ออัตราป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้นเนื่องจากข้อดีของการเผาไหม้ในชั้นวัสดุพูน โดยการปลดปล่อย NO_x ของเตา APMB อยู่ในช่วง 35 ppm ถึง 45 ppm และเตา APMB ที่มีชุด PRRH ปลดปล่อย NO_x อยู่ในช่วง 23.17 ppm ถึง 23.5 ppm ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการเผาไหม้และเครื่องยนต์ (Combustion and Engine Research Laboratory, CERL) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม

เกล้าธนบุรี โดยได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ (NRU)

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Energy policy and planning office, 2011. Energy database. Thailand: Ministry of energy, <http://www.eppo.go.th/info/index.html>. เข้าดูเมื่อ 20 มี.ค. 2559.
- [2] Tamir, A., Elperin, T. and Yotzer, S., 1989. "Performance characteristics of a gas burner with a swirling central flame", energy, vol. 14, pp. 373-382.
- [3] Weinberg, F.J., 1986. "Heat - recirculating burners: principles and some recent developments", combustion science and technology, vol. 121, pp. 3-22.
- [4] Mital, R., Gore, J.P., and Viskanta, R. 1997. "A study of the structure of submerged reaction zone in porous ceramic radiant burner" Combustion and flame, vol. 111(3): pp. 175-184.
- [5] Takeno, T. and Sato, K., 1979, "An excess enthalpy theory", combustion science and technology, vol. 20, pp. 73-79.
- [6] Sathe, S.B., Kulkarni, H.R., Peck, R.E. and Tong, T.W., 1990. "An experimental and theoretical study of porous radiant burner performance", Twenty-third symposium (international) on combustion, The combustion institute, Pittsburgh, pp. 1011-1018.
- [7] Jugjai, S. and Yoksenakul, W., 2010. A self-aspirating porous burner (SPB) with matrix stabilized flame for small and medium scale enterprises (SMEs), the 1st Tsme international conference on mechanical engineering, Ubon Ratchathani, Thailand.
- [8] Sodre JR., Parise JAR., 1998. Fluid flow pressure drop through an annular bed of spheres with wall effects, Experimental thermal and fluid science, vol. 17, pp. 265-275.



[9] Ergun, S., 1952. "Fluid flow through packed columns", Chemical engineering progress, vol. 48, pp. 1179-1184.

[10] Di Felice, R. and Gibilaro, L.G., 2004. "Wall effects for the pressure drop in fixed beds", Chemical engineering science, vol. 59, pp. 3037-3040.

[11] Babkin, VS., Korzhavin, AA. and Bunev, VA., 1991. Propagation of premixed gaseous explosion flames in porous media, Combustion and flame, vol. 87, pp. 182-190.

[12] European committee for standardization, Specification for gas heated catering equipment-part 2: safety requirements, en 203-1:1995.