

การศึกษาอิทธิพลของแหวนต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนสู่หม้อของเตาแก๊ส KB-5 โดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

พัฒน์พงษ์ แก้วโพธิ์ และ มานะ วิฆางาม*

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น
150 ถนนศรีจันทร์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

รับบทความ 5 พฤศจิกายน 2565 แก้ไขบทความ 23 พฤษภาคม 2566 ตอรับบทความ 29 มิถุนายน 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของแหวนต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนสู่หม้อของเตาแก๊ส KB-5 โดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ และการทดลอง ซึ่งแบบจำลองถูกสร้างขึ้นโดยโปรแกรม ANSYS 21 ในรูปแบบ 3 มิติ โดยศึกษาอิทธิพลของแหวนต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนสู่หม้อ การถ่ายเทความร้อนสู่หม้อของเตาที่มีแหวน คือ Model B และ Model C เปรียบเทียบกับเตาแบบดั้งเดิมที่ไม่มีแหวนคือ Model A และทำการวิเคราะห์ผลลัพธ์ ความร้อนรวมจากการจำลองและประสิทธิภาพเชิงความร้อนจากการทดลอง จากการศึกษาพบว่าผลลัพธ์ความร้อนรวมจากแบบจำลองและประสิทธิภาพเชิงความร้อนทดลองของเตาที่มีแหวนทั้งสองเตาดีกว่าเตาที่ไม่มีแหวน โดย ผลลัพธ์ความร้อนรวมของ Model C มีค่าสูงสุดเท่ากับ 24.40 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร รองลงมาคือ Model B และ Model A มีผลลัพธ์ความร้อนรวมเท่ากับ 21.42 และ 18.32 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ หรือ Model C และ Model B มีผลลัพธ์ความร้อนรวมเพิ่มขึ้น 24.92 และ 14.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ Model A และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ Model C มีค่าสูงสุดเท่ากับ 45.80 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ Model B และ Model A มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 42.40 และ 39.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หรือ Model C และ Model B มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น 14.52 และ 7.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ Model A ซึ่งแสดงว่าเตาที่มีแหวน (Model C) มีสมรรถนะในการถ่ายเทความร้อนสู่หม้อดีที่สุด

คำสำคัญ : แหวน; เตาแก๊ส KB-5; พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ; การถ่ายเทความร้อน

A Study on Effect of Ring on Behavior of Heat Transfer to Pot of KB-5 Cooking Stove by Computational Fluid Dynamics

Pattanapong Kaewpho and Mana Wichangarm*

Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen campus
150 Srichan Road Muang, Khankaen 40000

Received 5 November 2022; Revised 23 April 2023; Accepted 29 June 2023

Abstract

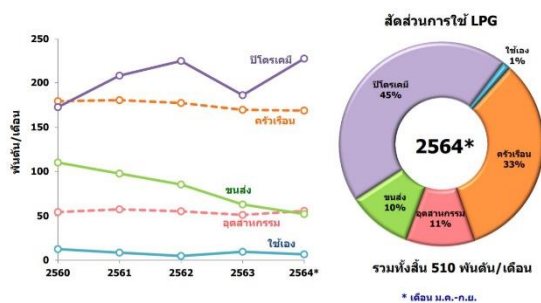
The objective of this research is to study the effect of the ring on the behavior of heat transfer to the pot of a KB-5 cooking stove by computational fluid dynamics and experiments. The simulation model was using ANSYS 21 in 3D-model. The effect of the ring on heat transfer behavior to the pot was investigated. Heat transfer to the pot of the stove with ring, being Model B and Model C, was compared with the original stove, the stove without ring (Model A), using total heat flux from simulation and thermal efficiency from experiment. In this study, it was found that the total heat flux from simulation and the thermal efficiency from the experiment of two stoves with rings were better than those of stoves without rings. Model C has the highest total heat flux of 24.40 kW/m^2 , followed by Model B and Model A with total heat fluxes of 24.42 and 18.32 kW/m^2 , respectively. Model C and Model B have a total heat flux increase of 24.92 and 14.47% , respectively, compared to Model A. Model C has the highest thermal efficiency of 45.80% , followed by Model B and Model A with thermal efficiency of 42.40 and 39.15% , respectively. Model C and Model B have a thermal efficiency increase of 14.52 and 7.67% , respectively, compared to Model A. Thus, heat transfer to the pot of the stove with a ring (Model C) has the highest performance.

Keywords : Ring; KB-5 Cooking Stove; Computational Fluid Dynamics; Heat Transfer

* Corresponding Author. Tel.: +66 4323 4756, E-mail Address: mana.wi@rmuti.ac.th

1. บทนำ

การประกอบอาหารสำหรับบริโภคในครัวเรือนของประเทศไทยนิยมใช้เชื้อเพลิงหลายรูปแบบ เช่น ฟืน ถ่านไม้ ไฟฟ้า แก๊สแอลพีจี แก๊สชีวมวล เป็นต้น ในกรณีของการใช้แก๊สแอลพีจี (Liquefied Petroleum Gas, LPG) เป็นเชื้อเพลิงนั้น เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางเพราะมีความสะดวก ใช้งานง่าย มีความปลอดภัย เป็นต้น จากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้หลายปีที่ผ่านมามีการใช้ LPG ในภาคครัวเรือนสูงเป็นอันดับต้นๆ ของปริมาณการใช้ LPG รวมในประเทศไทย Energy Policy and Planning office (EPPO) Ministry of Energy [1] ดังแสดงในรูปที่ 1 ดังนั้นหากลดการใช้ LPG ในส่วนของภาคครัวเรือนได้จะช่วยลดการปนเปื้อนการใช้ LPG ในประเทศไทยได้ การใช้ LPG กับอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงจะช่วยลดปริมาณการใช้ LPG ได้ ซึ่งอุปกรณ์ที่สำคัญในการใช้ LPG ประกอบอาหารในครัวเรือนคือเตาแก๊ส หากเตาแก๊สมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงจะช่วยประหยัด LPG ได้ ซึ่งเตาแก๊สที่นิยมใช้ในครัวเรือน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 สถิติการใช้ปริมาณ LPG ในประเทศไทย [1]

จากเหตุผลดังกล่าวทำให้นักวิจัยหลายกลุ่มพยายามที่จะพัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนเตาแก๊สอย่างต่อเนื่อง อาทิ Jugjai and Sanitjai [2] ได้ทำการศึกษาดูแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนใน Porous Radiant Recirculated Burner (PRRB) โดยแนวคิดเป็นการออกแบบสำหรับเตาใน

อนาคต Makmool et al. [3] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพและการวิเคราะห์โดย PIV ของเตาในประเทศไทย Rungsimuntuchat [4] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้วัสดุพูนเพื่อประหยัดพลังงานในเตาแก๊สหุงต้ม Sudarno et al. [5] ทำการศึกษาผลขององค์ประกอบ EMBER เกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา LPG Khan and Saxena [6] ศึกษาประสิทธิภาพของเตา LPG โดยใช้หัวเตาแบบต่าง ๆ Tamir et al. [7] ศึกษาและปรับปรุงเปลวไฟในการปรุงอาหารโดยใช้เปลวไฟแบบหมุนวน Wichangarm et al. [8] ทำการศึกษาโดยการจำลองพฤติกรรมการไหลในเตาแก๊สแบบประหยัดพลังงาน Punchapong et al. [9] ศึกษาโดยการจำลองพฤติกรรมการไหลของเตาชนิดประหยัดแก๊สโดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Matthujak et al. [10] ศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาแก๊สเวอร์ติคอลลอร์ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Chimchom et al. [11] ศึกษาโดยการจำลองพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาแก๊ส S-10 ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Wichangarm et al. [12] ศึกษาโดยการจำลองการเผาไหม้ของเตา LPG Matthujak et al. [13] ศึกษาอิทธิพลของการไหลแบบหมุนวนต่อการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาประหยัดพลังงาน Wichangarm et al. [14] ศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา LPG โดยใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Aroonjarattham [15] ศึกษาพารามิเตอร์ของเตาแก๊สต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน เป็นต้น จากการศึกษาที่กล่าวมาข้างต้นจะมีทั้งการศึกษาโดยการทดลอง การศึกษาโดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ และการศึกษาโดยการทดลองร่วมกับพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ซึ่งพบว่าการศึกษาแต่ละวิธีสามารถพัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สให้สูงขึ้นได้ทั้งสิ้น แต่การศึกษาโดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณนั้นนอกจากจะให้ผลที่สอดคล้องกับการทดลองแล้วยังสามารถแสดงในรูปของแถบสีอุณหภูมิเวกเตอร์ความเร็ว หรือพาทไลน์ความเร็ว เป็นต้น ซึ่งทำ

ให้เห็นพฤติกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน เป็นประโยชน์อย่างมากในการพัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ส

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องของ Matthujak et al. [10], Matthujak et al. [13], Wichangarm et al. [14] และ Wichangarm et al. [16] ที่ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมเผาไหม้ พฤติกรรมการไหลของเตา LPG ซึ่งศึกษาโดยวิธีการทดลองร่วมกับวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ พบว่าผลที่ได้จากวิธีการทดลองมีความสอดคล้องกับวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสามารถคาดการณ์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้ โดยพิจารณาจากการถ่ายเทความร้อนสู่หม้อเหนือหัวเตาในรูปแบบของ พลักซ์ความร้อนรวม โดยพบว่าเตาที่มีการถ่ายเทความร้อนสู่หม้อได้ดีที่สุดในแบบจำลองส่งผลให้แนวโน้มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาในการทดลองดีที่สุดด้วย

จากการศึกษา Wichangarm et al. [14] ที่ศึกษาผลของแหวนต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ส และการถ่ายเทความร้อนสู่หม้อโดยวิธีการทดลองและวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ พบว่าเตาแก๊สที่มีแหวนครอบหุ้มเผาไหม้จะมีการถ่ายเทความร้อนดีขึ้นหรือมี พลักซ์ความร้อนรวมสูงขึ้น และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้นเมื่อเทียบกับเตาแก๊สที่ไม่มีแหวนครอบหุ้มเผาไหม้เพราะแหวนที่ครอบหุ้มเผาไหม้นอกจากจะช่วยในการประกอบเปลวไฟสู่กันหม้อแล้ว ยังช่วยป้องกันการสูญเสียความร้อนจากการเผาไหม้ที่ห้องเผาไหม้ด้วย และเป็นที่ทราบดีว่าเตาแต่ละเตาก็จะมีลักษณะทางกายภาพที่ต่างกัน ดังนั้นแหวนที่จะนำมาครอบหุ้มเผาไหม้ของเตาก็จะแตกต่างกันออกไป การออกแบบแหวนจึงสำคัญ

ดังนั้น บทความวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของแหวนต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตา KB-5 โดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณร่วมกับการทดลอง



รูปที่ 2 เตาแก๊ส KB-5

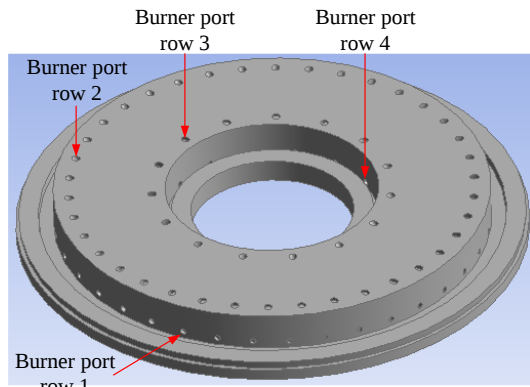
2. ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของแหวนต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาแก๊ส KB-5 โดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณร่วมกับการทดลอง เตาแก๊ส KB-5 ที่นำมาศึกษามีจำนวนรูหัวเผา 4 แถว รูหัวเผาแถวที่ 1 (Burner port row 1) เป็นรูหัวเผาที่อยู่บนสุด มีจำนวนรูหัวเผา 38 รู แต่ละรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร รูหัวเผาแถวที่ 2 (Burner port row 2) มีจำนวนรูหัวเผา 38 รู แต่ละรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร รูหัวเผาแถวที่ 3 (Burner port row 3) มีจำนวนรูหัวเผา 15 รู แต่ละรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร และรูหัวเผาแถวที่ 4 (Burner port row 4) มีจำนวนรูหัวเผา 15 รู แต่ละรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3 ก)

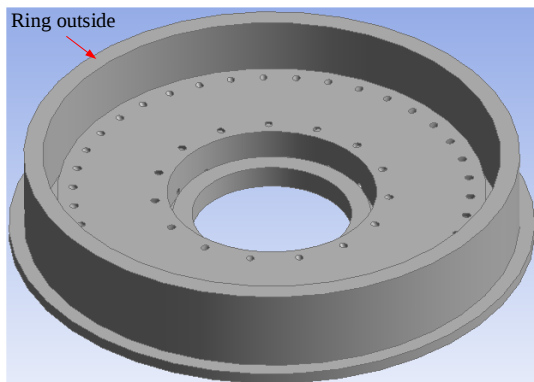
ในการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนสู่หม้อของเตาแก๊ส KB-5 จะทำการศึกษาหัวเตาแก๊สที่ต่างกัน 3 รูปแบบคือ

1. Model A คือหัวเตาแบบดั้งเดิม (ไม่มีแหวน) ดังแสดงในรูปที่ 3 ก)
2. Model B คือหัวเตาที่มีแหวนครอบด้านนอก (Ring outside) ซึ่งแหวนครอบด้านนอก มีความสูง 25 มิลลิเมตร หนา 8 มิลลิเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่สามารถสวมเข้ากับหัวเตาได้พอดี ดังแสดงในรูปที่ 3 ข)
3. Model C คือหัวเตาที่มีแหวนครอบด้านนอก (Ring outside) และแหวนครอบด้านใน (Ring inside) ซึ่งแหวนครอบด้านนอก มีขนาดเท่ากับแหวนครอบของ

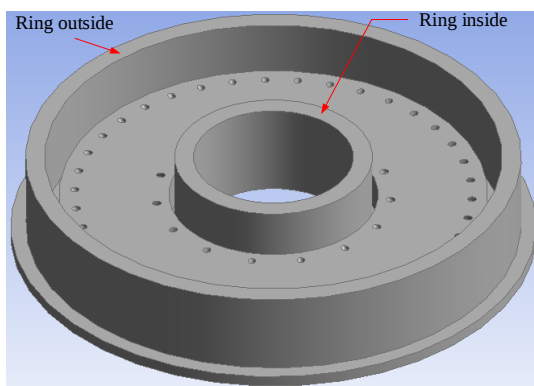
Model B ในส่วนแหวนรอบด้านใน มีความสูง 25 มิลลิเมตร หนา 8 มิลลิเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่สามารถสวมเข้ากับช่องอากาศส่วนที่สองได้พอดี ดังแสดงในรูปที่ 3 ค)



ก) หัวเตาดั้งเดิม (Model A)



ข) หัวเตาที่มีแหวนรอบด้านนอก (Model B)

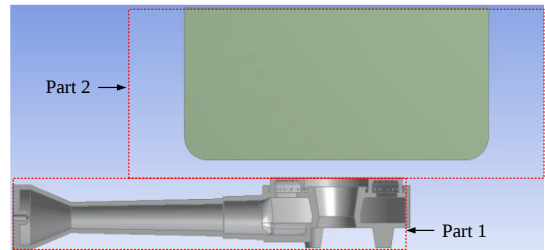


ค) หัวเตาที่มีแหวนรอบด้านนอกและด้านใน (Model C)

รูปที่ 3 หัวเตาแบบต่างๆ

2.1 พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งการวิเคราะห์โดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) ออกเป็น 2 ส่วน คือ Part 1 และ Part 2 ดังแสดงในรูปที่ 4 เหมือนการศึกษาของ Chimchom et al. [11], Matthujak et al. [13] และ Wichangarm et al. [14]



รูปที่ 4 การแบ่งขอบเขตพื้นที่การศึกษา

2.1.1 CFD Part 1

การศึกษาวิจัย CFD Part 1 เป็นการจำลองในรูปแบบ 3 มิติ (3-D Model) และพิจารณาการไหลแบบคงที่ (Steady State) โดยไม่มีการเผาไหม้ ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อนำผลอัตราการไหลเชิงมวล (Mass Flow Rate) และอัตราส่วนเชิงมวล (Mass Fraction) ของ โพรเพน บิวเทน ออกซิเจน และไนโตรเจน ไปกำหนดในเงื่อนไขขอบเขตของ Part 2 ความน่าเชื่อถือหรือความถูกต้องของการจำลอง Part 1 นี้จะยืนยันผลของความเร็วที่ตำแหน่งต่างๆ บริเวณทางออกของรูหัวเผาจากแบบจำลองและการทดลอง เหมือนงานวิจัยของ Wichangarm et al. [14] สำหรับขอบเขตพื้นที่ของของไหลภายในเตาแก๊ส KB-5 จะสร้างในรูปแบบ 3 มิติ (3D-Model) ที่มีขนาดเท่ากับเตาจริง

รูปที่ 5 แสดงกริดและเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ในการศึกษา Part 1 โดยเงื่อนไขขอบเขตทางเข้าของ LPG กำหนดเป็น Pressure inlet (LPG) ความดัน LPG เท่ากับ 0.4 บาร์ เท่ากับความดันของ LPG ที่ใช้ในการทดลอง บริเวณด้านข้างทางเข้า LPG (Primary air) กำหนดเป็น Pressure inlet (air) ความดันอากาศ เท่ากับความดันบรรยากาศ ผนังเตา กำหนดเป็น Wall

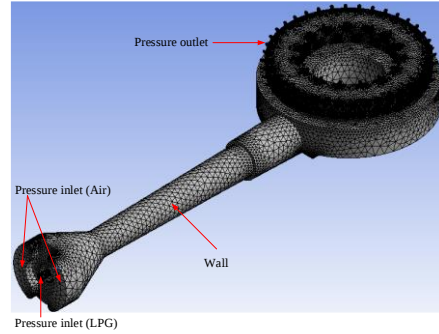
และรูหัวเผาทางออก กำหนดเป็น Pressure outlet (air) ความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ แบบจำลองความปั่นป่วนแบบ RNG k- ϵ Model คำนวณร่วมกับสมการ Species transport และเงื่อนไขอื่นดังแสดงในตารางที่ 1

จากการศึกษาจำนวนกริดที่เหมาะสมกับการศึกษาใน Part 1 ซึ่งทำการศึกษากิริยรูปทรงสามเหลี่ยมสี่ด้าน (Tetrahedral grid) ที่มีความละเอียดแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 856,358, 959,788, 1,125,536, 1,545,661 และ 1,842,325 อิลิเมนต์ และเมื่อเทียบผลการจำลองกับการทดลอง พบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 6.68, 6.24, 5.70, 5.68 และ 5.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การศึกษาครั้งนี้เลือกใช้กริดที่มีความละเอียด 1,125,536 อิลิเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 5

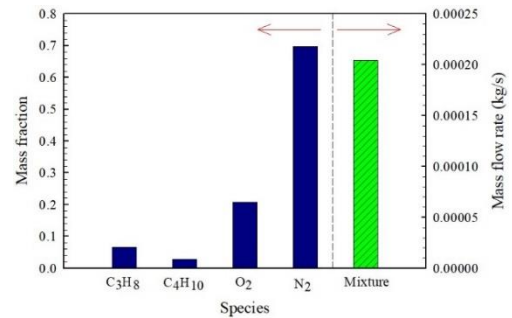
ตารางที่ 1 เงื่อนไขการคำนวณ CFD Part 1

Condition			Model
Inlet	Boundary Condition	LPG gauge pressure inlet = 0.4 bar Air gauge pressure inlet = 0 bar	
Outlet	Boundary Condition	Air gauge pressure outlet = 0 bar	
Solver			Pressure Base
Time			Steady State
Turbulence Model			RNG k- ϵ Model
Other			Species transport

เมื่อทำการคำนวณโดย CFD เหมือนการศึกษาของ Chimchom et al. [11], Matthujak et al. [13] และ Wichangarm et al. [14] จะได้อัตราการไหลเชิงมวล (Mass Flow Rate) และ อัตราส่วนเชิงมวล (Mass Fraction) ของส่วนผสมที่ออกจากรูหัวเผาที่ความดัน LPG เท่ากับ 0.4 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ 6 และข้อมูลนี้จะนำไปป้อนในเงื่อนไขขอบเขตของ CFD Part 2 ในหัวข้อ 2.1.2



รูปที่ 5 กริดและเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ในการศึกษา Part 1



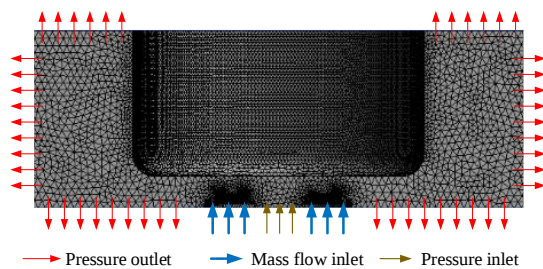
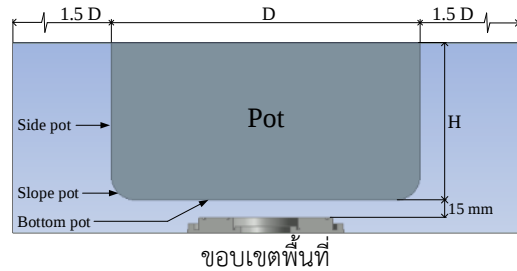
รูปที่ 6 อัตราการไหลเชิงมวล (Mass Flow Rate) และ อัตราส่วนเชิงมวล (Mass Fraction) ของส่วนผสมที่ออกจากรูหัวเผาที่ความดันแก๊ส 0.4 บาร์

2.1.2 CFD Part 2

การศึกษาวิจัย CFD Part 2 เป็นการจำลองในรูปแบบ 3 มิติ (3-D Model) และพิจารณาการไหลแบบคงที่ (Steady State) โดยมีการเผาไหม้ ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อศึกษา การกระจายอุณหภูมิ การกระจายความเร็ว และการถ่ายเทความร้อนสู่หม้อ ไบวโคระห์เพื่อหา รูปทรงของแหวนที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ส KB-5

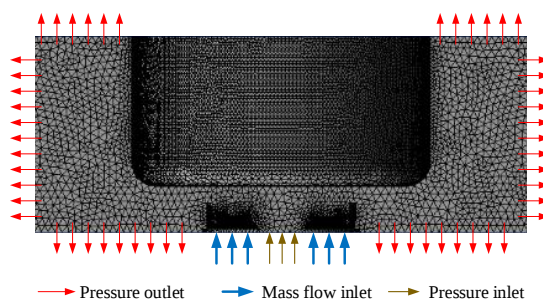
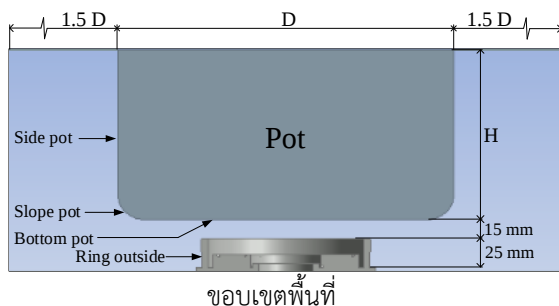
ความน่าเชื่อถือหรือความถูกต้องของการจำลอง Part 2 นี้จะยืนยันผลของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ บริเวณห้องเผาไหม้จากแบบจำลองและการทดลอง เหมือนงานวิจัยของ Wichangarm et al. [14] จากการศึกษาจำนวนกริดที่เหมาะสมกับการศึกษาใน Part 2 ซึ่งทำการศึกษากิริยรูปทรงสามเหลี่ยมสี่ด้าน (Tetrahedral grid) ที่มีความละเอียดแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 976,363, 1,273,419, 1,502,664, 1,647,691 และ

1,914,726 อิลลิเมนต์ และเมื่อเทียบผลการจำลองกับการทดลอง พบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 6.41, 6.15, 5.48, 5.42 และ 5.39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การศึกษาครั้งนี้เลือกใช้กริดที่มีความละเอียด 1,502,664 อิลลิเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 7 ก)



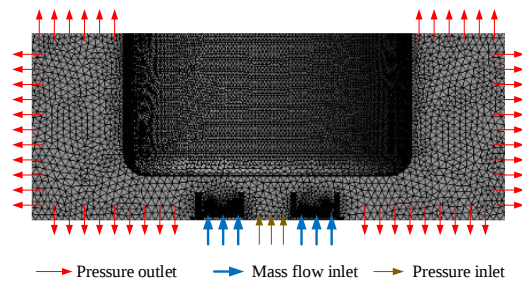
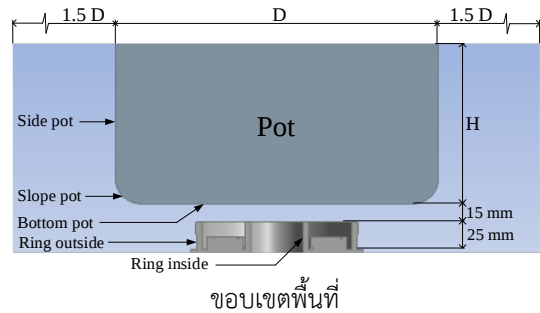
กริดและเงื่อนไขขอบเขต

ก) Model A



กริดและเงื่อนไขขอบเขต

ข) Model B



กริดและเงื่อนไขขอบเขต

ค) Model C

รูปที่ 7 ขอบเขตพื้นที่ กริดและเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ในการศึกษา Part 2

สำหรับของเขตพื้นที่ของของไหลบริเวณหัวเตาและบริเวณหม้อเหนือหัวเตา จะสร้างในรูปแบบ 3 มิติ (3D-Model) ที่มีขนาดเท่ากับเตาและหม้อเหนือหัวเตาจริง โดย Model A วางหม้อสูง 15 มิลลิเมตรจากระดับหัวเตา เท่ากันทั้งการทดลองและ CFD ดังแสดงในรูปที่ 7 ก) Model B วางหม้อสูง 15 มิลลิเมตรจากระดับวงแหวน โดยแหวนจะวางที่ความสูงระดับเดียวกับรูหัวเตา เท่ากันทั้งการทดลองและ CFD ดังแสดงในรูปที่ 7 ข) และ Model C วางหม้อสูง 15 มิลลิเมตรจากระดับวงแหวน โดยแหวนจะวางที่ความสูงระดับเดียวกับรูหัวเตา เท่ากันทั้งการทดลองและ CFD ดังแสดงในรูปที่ 7 ค)

รูปที่ 7 แสดงขอบเขตพื้นที่ กริดและเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ในการศึกษา Part 2 โดยเงื่อนไขขอบเขตทางเข้าของอัตราการไหลเชิงมวล (Mass Flow Rate) และอัตราส่วนเชิงมวล (Mass Fraction) ของ โพรเพน บิวเทน ออกซิเจน และไนโตรเจน (ทางออกของรูหัวเตา)

กำหนดเป็น Mass Flow Inlet of Mixture ที่ได้จาก Part 1 บริเวณด้านข้างทางเข้าของอากาศส่วนที่สอง (Secondary air) กำหนดเป็น Pressure inlet (air) ความดันอากาศเท่ากับความดันบรรยากาศ อากาศรอบๆ หัวเตาและหม้อ กำหนดเป็น Pressure outlet (air) ความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ ผนังเตา กำหนดเป็น Wall (Steel) และผนังหม้อ กำหนดเป็น Wall (Aluminum) เนื่องจากปัญหาของการจำลองของงานวิจัยนี้คล้ายกับการศึกษาของ Chimchom et al. [11], Matthujak et al. [13] และ Wichangarm et al. [14] ที่เลือกใช้แบบจำลองความปั่นป่วนเป็นแบบ Standard k- ϵ Model ซึ่งพฤติกรรมกรเผาไหม้ พฤติกรรมการไหลต่างๆ รวมถึงขนาดของเตาที่ศึกษามีความใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แบบจำลองความปั่นป่วนแบบ Standard k- ϵ Model คำนวณร่วมกับสมการ การเผาไหม้แบบ Eddy Dissipation Model และเงื่อนไขอื่นดังแสดงในตารางที่ 2

เงื่อนไขขอบเขตและกริดที่ใช้ในการคำนวณ สำหรับ CFD Part 2 เป็นกริดรูปทรงสามเหลี่ยมสี่ด้าน (Tetrahedral Grid) ทั้ง 3 Model ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่ง Model A, Model B และ Model C มีกริดจำนวน 1,502,664, 1,645,723, และ 1,721,451 อิลิเมนต์ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 7

สำหรับเงื่อนไขขอบเขตของ CFD Part 2 เหมือนการศึกษาของ Matthujak et al. [13] และ Wichangarm et al. [14] โดยกำหนดให้ขอบเขตพื้นที่ของอากาศรอบๆ หัวเตาและหม้อเหนือหัวเตา กำหนดเป็น Pressure Outlet หม้อเหนือหัวเตาเป็นกำหนดเป็นหม้ออะลูมิเนียมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) เท่ากับ 260 มิลลิเมตร และมีความสูง (H) เท่ากับระดับน้ำในหม้อที่ใช้ในการทดลอง เท่ากับ 130 มิลลิเมตร กำหนดให้ผนังหม้อมีอุณหภูมิคงที่เท่ากับ 395 เคลวิน งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ของ LPG ในห้องเผาไหม้ ซึ่งได้กำหนดระยะห่างจากผนังหม้อเท่ากับ 1.5 D

สำหรับผนังหม้อและผนังหัวเตา กำหนดเป็น Wall รูหัวเผา กำหนดเป็น Mass Flow Inlet สำหรับ Mass Fraction ของ C_3H_8 , C_4H_{10} , N_2 และ O_2 และ Mass Flow Rate ของ Mixture (แอลพีจีผสมอากาศ) ได้จากผลการคำนวณ CFD Part 1 ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งคำนวณร่วมกับเงื่อนไขของการคำนวณอื่น ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เงื่อนไขการคำนวณ CFD Part 2

Condition		Model
Inlet Condition	Boundary	Mass Flow Inlet of Mixture (From CFD Part 1)
Inlet Condition	Boundary	Mass Fraction of C_3H_8 , C_4H_{10} , N_2 and O_2 (From CFD Part 1)
Outlet Condition	Boundary	Pressure Outlet (Air Gauge, Pressure Outlet = 0 Pa)
Solver		Pressure Base
Time		Steady State
Turbulence Model		Standard k- ϵ Model
Radiation Model		Discrete Ordinates (DO) Radiation Model
Combustion Model		Eddy Dissipation Model

สมการที่ใช้ในการคำนวณในการศึกษานี้ ประกอบด้วย ANSYS [17]

สมการอนุรักษ์มวล ดังสมการที่ (1)

$$\frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

สมการอนุรักษ์พลังงาน ดังสมการที่ (2)

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} + \epsilon \sigma (T_s^4 - T_\infty^4) = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + q'' \quad (2)$$

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม ดังสมการที่ (3)

$$\rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} + \rho w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (3)$$

สมการการเผาไหม้

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้สมการการเผาไหม้ชนิด

Eddy Dissipation Combustion Model ดังสมการที่ (4)

$$R_{i,r} = v_{i,r}' M_{w,i} A_p \frac{\varepsilon}{k} \min_R \frac{YR}{v_{R,r}' M_{W,R}}$$

$$R_{i,r} = v_{i,r}' M_{w,i} A B p \frac{\varepsilon}{k} \frac{\sum_p Y_p}{\sum_j v_{j,r}'' M_{W,j}} \quad (4)$$

สมการการแผ่รังสีความร้อน ดังสมการที่ (5)

$$\nabla \cdot (I(\vec{r}, \vec{s}) \vec{s}) + (a + \sigma_s) I(\vec{r}, \vec{s}) = a n^2 \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(\vec{r}, \vec{s}') \Phi(\vec{s}, \vec{s}') d\Omega' \quad (5)$$

สมการพลั๊กซ์ความร้อน ANSYS [17] และ Matthujak et al. [10] ดังสมการที่ (6-9)

$$q_{flux} = \frac{q_{total}}{A_{total}} = \frac{q_{bottompot} + q_{slopepot} + q_{sidepot}}{A_{total}} \quad (6)$$

$$q_{bottompot} = \frac{kA(T_1 - T_2)}{\Delta_x} + \varepsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \quad (7)$$

$$q_{slopepot} = 2\pi LK \left(\frac{T_{in} - T_{out}}{\ln(r_{in} - r_{out})} \right) \quad (8)$$

$$q_{sidepot} = 2\pi LK \left(\frac{T_{in} - T_{out}}{\ln(r_{in} - r_{out})} \right) \quad (9)$$

โดยที่

$q'' = \dot{W}_A \Delta H$ หมายถึง พลังงานที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีต่อหน่วยปริมาตรของของไหล

$\alpha = \frac{k}{\rho c}$ หมายถึง ค่าสภาพการแพร่กระจายความร้อน

ρ หมายถึง ความหนาแน่น

k หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

c หมายถึง ค่าความจุความร้อนจำเพาะ

R หมายถึง อัตราโมลาร์ของ Arrhenius

v' หมายถึง สัมประสิทธิ์สตรอยของสารตั้งต้น

M หมายถึง มวลโมเลกุล

k หมายถึง พลังงานจลน์แบบปั่นป่วน

ε หมายถึง อัตราการกระจายตัว

v'' หมายถึง สัมประสิทธิ์สตรอยของสารผลิตภัณฑ์

A หมายถึง ค่าคงที่ในการทดลองเท่ากับ 4.0

B หมายถึง ค่าคงที่ในการทดลองเท่ากับ 0.5

Y หมายถึง เศษส่วนมวล (Mass Fraction)

I หมายถึง Radiation Intensity (แปรผันตามตำแหน่งและทิศทาง)

$\vec{r}$ หมายถึง ตำแหน่งเวกเตอร์

$\vec{s}$ หมายถึง ทิศทางของเวกเตอร์ในระบบพิกัดแกน

$\vec{s}'$ หมายถึง การกระจายตัวของเวกเตอร์ในระบบพิกัดแกน

a หมายถึง สัมประสิทธิ์การดูดซับ

σ_s หมายถึง สัมประสิทธิ์การกระจายตัว

n หมายถึง ดัชนีการหักเหแสง

T หมายถึง อุณหภูมิ

Φ หมายถึง Phase Function

Ω'	หมายถึง Solid Angle
q_{flux}	หมายถึง ฟลักซ์ความร้อน, วัดต่อตารางเมตร
q_{total}	หมายถึง ค่าการถ่ายเทความร้อนทั้งหมด, วัดต่อ
$q_{bottompot}$	หมายถึง ค่าการถ่ายเทความร้อนบริเวณก้นหม้อ, วัดต่อ
$q_{slopepot}$	หมายถึง ค่าการถ่ายเทความร้อนบริเวณส่วนโค้งของหม้อ, วัดต่อ
$q_{sidepot}$	หมายถึง ค่าการถ่ายเทความร้อนบริเวณส่วนโค้งของหม้อ, วัดต่อ
A_{total}	หมายถึง ผลรวมพื้นที่หน้าตัดของหม้อทั้งหมด, ตารางเมตร
A	หมายถึง พื้นที่หน้าตัด, เมตร
Δx	หมายถึง ความหนาของผนังหม้อ, เมตร
L	หมายถึง ความสูงของระดับน้ำในหม้อ, เมตร
ε	หมายถึง ค่าการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุ
σ	หมายถึง ค่าคงที่ของสเตฟาน, $W/m^2 \cdot K^4$
T	หมายถึง อุณหภูมิ, เคลวิน
r	หมายถึง รัศมีของหม้อ, เมตร
K	หมายถึง ค่าการนำความร้อนของวัสดุ, วัดต่อตารางเมตร-เคลวิน

คิดผลฟลักซ์ฟลักซ์ความร้อนรวมของการถ่ายเทความร้อนโดยพิจารณาการนำ และแผ่รังสีความร้อน สำหรับพื้นที่ผิวของหม้อที่ใช้ในการคำนวณของ Model A, Model B และ Model C จะใช้พื้นที่ด้านล่างของหม้อ (Bottom pot) ส่วนโค้งของหม้อ (Slope pot) และด้านข้างของหม้อ (Side pot) ดังแสดงในรูปที่ 7ก), 7ข) และ 7ค) ตามลำดับ

2.1.3 การทดลอง

รูปที่ 8 แสดงไดอะแกรมการทดลอง เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน การทดสอบ

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สในการศึกษาวิจัยนี้จะใช้มาตรฐานเยอรมัน DIN-EN 203-2 German standards and technical rules [18] ซึ่งใช้หลักการต้มน้ำ (Water boiling test) ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้

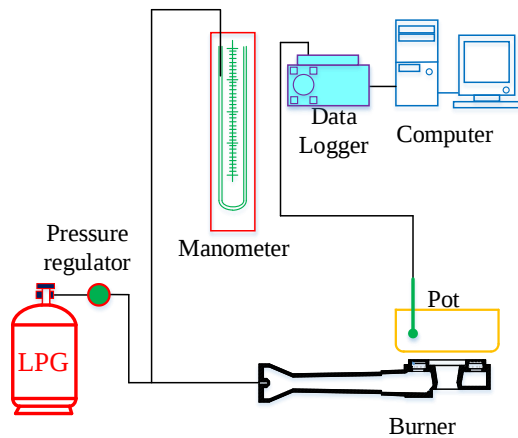
1. อุณหภูมิให้ร้อนโดยใช้เวลาประมาณ 15 นาที
 2. เลือกขนาดหม้อ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 26 เซนติเมตร เติมน้ำปริมาณ 6.1 กิโลกรัม ลงในหม้อ พร้อมทั้งวัดและบันทึกอุณหภูมิน้ำก่อนต้ม
 3. นำหม้อดังกล่าวตั้งบนเตา จุดไฟที่หัวเตา ปรับความดันแก๊สแอลพีจีเท่ากับ 0.4 บาร์ พร้อมทั้งจับเวลา
 4. ทำการต้มน้ำจากอุณหภูมิเริ่มต้นจนกระทั่งถึง 90 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการบันทึกค่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทดสอบ
 5. ในการศึกษานี้จะทำการทดลองทั้งหมด 3 กรณี คือ 1. กรณีที่ไม่มีแหวน (เตาดั้งเดิม) 2. กรณีที่มีแหวนครอบเฉพาะด้านนอก (Ring Outside) และ 3. กรณีที่มีแหวนครอบทั้งด้านนอกและด้านใน (Ring Outside and Ring Inside) แต่ละกรณีทดสอบที่ความดันแก๊สแอลพีจี 0.4 บาร์ เพื่อความถูกต้องของข้อมูลในแต่ละกรณีจะทำการทดสอบ 3 ซ้ำ และทำการทดสอบที่สภาพแวดล้อมเดียวกัน
- สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ส ดังสมการที่ (10)

$$\eta_{th} = \frac{m_{water} \times Cp_{water} \times (363 - T_{water,i})}{\dot{m}_g \times LHV_{xt}} \quad (10)$$

โดยที่

η_{th}	หมายถึง ประสิทธิภาพเชิงความร้อน, เปอร์เซนต์
m_{water}	หมายถึง มวลของน้ำ, กิโลกรัม
Cp_{water}	หมายถึง ค่าความจุความร้อนของน้ำ, กิโลจูลต่อกิโลกรัม เคลวิน

$T_{water,i}$	หมายถึง อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น, เคลวิน
$\dot{m}_g$	หมายถึง อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊ส, กิโลกรัมต่อวินาที
LHV	หมายถึง ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง, กิโลจูลต่อกิโลกรัม
t	หมายถึง เวลาที่ใช้ในการทดลอง, วินาที



รูปที่ 8 ไดอะแกรมการทดลอง

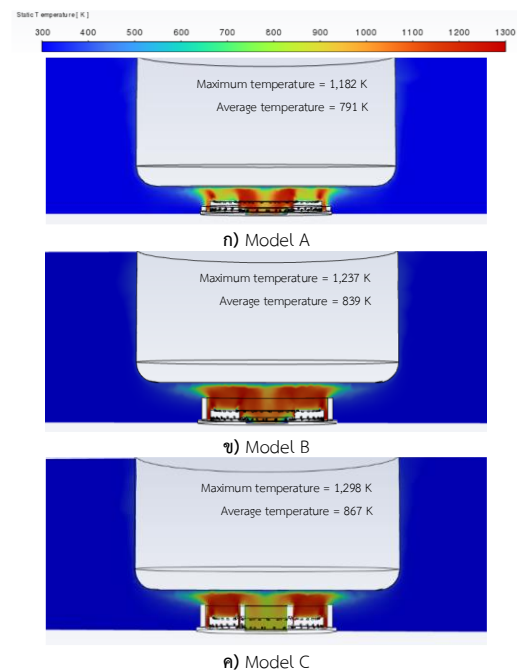
3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

รูปที่ 9 แสดงเค้าโครงของอุณหภูมิจาก CFD ของเตาแบบต่างๆ

จากรูปที่ 9 ก) Model A ซึ่งเป็นหัวเตาแบบดั้งเดิมที่ไม่มีแหวนครอบหัวเตา พบว่า อุณหภูมิสูงจะกระจายตัวบริเวณอากาศส่วนที่สอง (Secondary Air) เนื่องจากไม่มีแหวนครอบห้องเผาไหม้ จึงทำให้เปลวไฟที่มีอุณหภูมิสูงที่พุ่งออกจากรูหัวเตา เมื่อพุ่งชนหม้อเหนือหัวเตาแล้วจะเกิดการม้วนตัวลงมาที่บริเวณช่องของอากาศส่วนที่สองและฟุ้งกระจายออกด้านนอกห้องเผาไหม้ ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนบริเวณดังกล่าว ซึ่ง Model A มีอุณหภูมิเฉลี่ยและอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 791 เคลวิน และ 1,182 เคลวิน ตามลำดับ

จากรูปที่ 9 ข) Model B ซึ่งมีแหวนครอบด้านนอกของห้องเผาไหม้ พบว่า อุณหภูมิสูงจะกระจายตัวบริเวณห้องเผาไหม้และมีบางส่วนกระจายตัวที่ช่อง

อากาศส่วนที่สอง เนื่องจากแหวนครอบด้านนอกของเผาไหม้จึงทำให้เปลวไฟที่มีอุณหภูมิที่พุ่งออกจากรูหัวเตา เมื่อพุ่งชนหม้อเหนือหัวเตาแล้วจะเกิดการม้วนตัวในห้องเผาไหม้และมีบางส่วนม้วนตัวลงมาที่ช่องอากาศส่วนที่สอง ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนบริเวณช่องอากาศส่วนที่สอง แต่เปลวไฟไม่ฟุ้งกระจายออกด้านนอกห้องเผาไหม้เหมือน Model A เนื่องจากมีแหวนครอบห้องเผาไหม้ด้านนอกคอยประคองเปลวไฟ ซึ่ง Model B มีอุณหภูมิเฉลี่ยและอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 839 เคลวิน และ 1,237 เคลวิน ตามลำดับ หรือ Model B มีอุณหภูมิเฉลี่ยและอุณหภูมิสูงสุดเพิ่มขึ้น 5.72 เปอร์เซ็นต์ และ 4.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ Model A



รูปที่ 9 เส้นเค้าโครงของอุณหภูมิ

จากรูปที่ 9 ค) Model C ซึ่งเป็นแบบที่มีแหวนครอบทั้งด้านนอกและด้านในของห้องเผาไหม้ พบว่า อุณหภูมิที่สูงจะกระจายตัวบริเวณห้องเผาไหม้เท่านั้น เนื่องจากแหวนครอบรอบนอกและด้านในของห้องเผาไหม้ จึงทำให้เปลวไฟที่มีอุณหภูมิที่สูงที่พุ่งออกจาก

รูหัวเผา เมื่อชนหม้อเหนือหัวเตาแล้วจะเกิดการมันตัวลงมาที่ห้องเผาไหม้ แต่เปลวไฟไม่พุ่งกระจายออกด้านนอกห้องเผาไหม้และช่องอากาศส่วนที่สอง เหมือน Model A และ Model B เนื่องจากมีแหวนครอบห้องเผาไหม้ด้านนอกและด้านในห้องเผาไหม้ครอบเปลวไฟ ซึ่ง Model C มีอุณหภูมิเฉลี่ยและอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 867 เคลวิน และ 1,298 เคลวิน ตามลำดับ หรือ Model B มีอุณหภูมิเฉลี่ยและอุณหภูมิสูงสุดเพิ่มขึ้น 8.76 เปอร์เซ็นต์ และ 8.93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ Model A

รูปที่ 10 แสดงพาทไลน์ความเร็วจาก CFD ของเตาแบบต่างๆ พบว่าแหวนครอบห้องเผาไหม้มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของเปลวไฟในห้องเผาไหม้ โดย Model A พฤติกรรมของเปลวไฟที่พุ่งด้วยความเร็วสูงจากรูหัวเผาไปชนกับหม้อเหนือหัวเตาจากนั้นความเร็วกระจายตัวเป็นบริเวณกว้าง เนื่องจากไม่มีแหวนประกอบความเร็วของเปลวไฟทั้งด้านนอกและด้านในห้องเผาไหม้ ทำให้พาทไลน์ความเร็วของ Model A ไม่สมมาตรดังแสดงในรูปที่ 10 ก) โดย Model A มีความเร็วเฉลี่ยและความเร็วสูงสุดเท่ากับ 0.47 เมตรต่อวินาที และ 1.62 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ Model B พฤติกรรมการพุ่งของเปลวไฟที่พุ่งด้วยความเร็วสูงจากรูหัวเผาไปชนกับหม้อเหนือหัวเตาจากนั้นจะมันตัวบริเวณเหนือห้องเผาไหม้ และไม่กระจายออกด้านข้าง เนื่องจากมีแหวนประกอบความเร็วของเปลวไฟด้านนอกและความเร็วของเปลวไฟบางส่วนย้อนกลับไปทางช่องอากาศส่วนที่สองเนื่องจากไม่มีแหวนด้านใน ทำให้พาทไลน์ความเร็วของ Model B ไม่สมมาตรดังแสดงในรูปที่ 10 ข) โดย Model B มีความเร็วเฉลี่ยและความเร็วสูงสุดเท่ากับ 0.72 เมตรต่อวินาที และ 1.75 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ หรือ Model B มีความเร็วเฉลี่ยและความเร็วสูงสุดเพิ่มขึ้น 34.73 เปอร์เซ็นต์ และ 7.43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ Model A แต่ Model C พฤติกรรมการพุ่งของเปลวไฟที่พุ่งด้วยความเร็วสูง ไปชนกับหม้อเหนือหัวเตาจากนั้นจะมันตัว

บริเวณเหนือห้องเผาไหม้ และไม่กระจายออกด้านข้าง เนื่องจากมีแหวนประกอบความเร็วของเปลวไฟด้านนอก และไม่มีส่วนที่ย้อนไปทางช่องอากาศส่วนที่สอง เนื่องจากอิทธิพลของแหวนด้านในที่ช่วยในการประกอบความเร็วของเปลวไฟนั่นเอง ทำให้พาทไลน์ความเร็วของ Model C มีความสมมาตรดังแสดงในรูปที่ 10 ค) โดย Model C มีความเร็วเฉลี่ยและความเร็วสูงสุดเท่ากับ 0.95 เมตรต่อวินาที และ 1.94 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ หรือ Model B มีความเร็วเฉลี่ยและความเร็วสูงสุดเพิ่มขึ้น 50.52 เปอร์เซ็นต์ และ 16.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ Model A

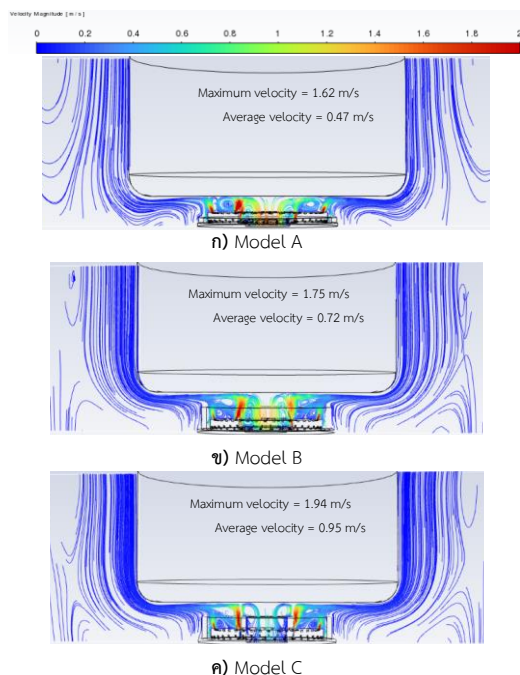
รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) และฟลักซ์ความร้อนรวม (Total Heat Flux) ของเตา Model A, Model B และ Model C ที่ความดันแอลพีจี 0.4 บาร์ พบว่าฟลักซ์ความร้อนรวมซึ่งเป็นค่าที่ได้จาก CFD ซึ่งใช้สำหรับประเมินการถ่ายเทความร้อนสู่หม้อ และใช้สำหรับการคาดการณ์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา การคาดการณ์ด้านการถ่ายเทความร้อนสู่หม้อ โดยคาดการณ์จาก ฟลักซ์ความร้อนรวม พบว่า Model C มีฟลักซ์ความร้อนรวมสูงที่สุดเท่ากับ 24.40 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร รองลงมาคือ Model B และ Model A ซึ่งมี ฟลักซ์ความร้อนรวมเท่ากับ 21.42 และ 18.32 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ฟลักซ์ความร้อนรวมของ Model A ที่ต่ำกว่า Model B และ Model C อาจเกิดจากระยะหัวเผาถึงกันหม้อที่ต่างกันจึงอาจทำให้การเผาไหม้ของ Model A ไม่สมบูรณ์อาจเกิดจาก combustion residence time จึงส่งผลต่ออุณหภูมิของการเผาไหม้ต่ำกว่า Vlachos et al. [19] และ Chander et al. [20] จึงทำให้ฟลักซ์ความร้อนรวมของ Model A ต่ำกว่า Model B และ Model C

จากผลของการถ่ายเทความร้อนที่ได้จาก CFD ทำให้คาดการณ์ล่วงหน้าว่า Model C มีแนวโน้มที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาสูงกว่า Model A และ Model B เนื่องจาก Model C มีฟลักซ์ความร้อน

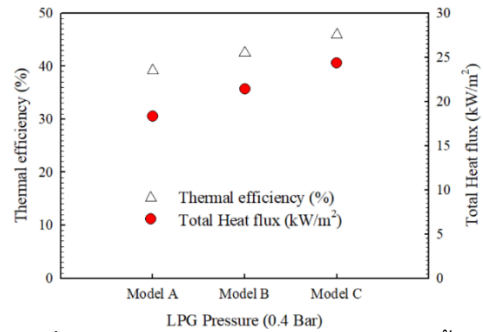
รวมสูงที่สุดหรือมีการถ่ายเทความร้อนสู่หม้อดีที่สุดใน ส่วนของประสิทธิภาพเชิงความร้อน ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดลอง พบว่า Model C มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 45.80 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ Model B และ Model A ซึ่งมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนประมาณ 42.40 และ 39.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความสอดคล้องกับผลการคำนวณล่วงหน้าจาก CFD ว่า Model C มีแนวโน้มที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาสูงกว่า Model A และ Model B เนื่องจาก Model C มีฟลักซ์ความร้อนรวมสูงที่สุด

ในการศึกษานี้ นอกจากผลการถ่ายเทความร้อนที่ได้จาก CFD มีความสอดคล้องกับผลการทดลอง ประสิทธิภาพเชิงความร้อน แล้วยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Matthujak et al. [10], Matthujak et al. [13], Wichangarm et al. [14] และ Wichangarm et al. [16] ที่กล่าวถึงเตาที่มีการถ่ายเทความร้อนสู่หม้อได้ดีที่สุดในแบบจำลอง ส่งผลให้มีแนวโน้มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาในการทดลองดีที่สุดในที่สุดด้วย



รูปที่ 10 พาทไลน์ความเร็ว



รูปที่ 11 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) และฟลักซ์ความร้อนรวม (Total Heat Flux) ของเตา Model A, Model B และ Model C ที่ความดันแอลพีจี 0.4 บาร์

4. สรุป

1. ฟลักซ์ความร้อนรวมของ Model C มีค่าสูงสุดเท่ากับ 24.40 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร รองลงมาคือ Model B และ Model A มีฟลักซ์ความร้อนรวมเท่ากับ 21.42 และ 18.32 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ หรือ Model C และ Model B มีฟลักซ์ความร้อนรวมเพิ่มขึ้น 24.92 และ 14.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ Model A

2. ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ Model C มีค่าสูงสุดเท่ากับ 45.80 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ Model B และ Model A มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 42.40 และ 39.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หรือ Model C และ Model B มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น 14.52 และ 7.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ Model A

จากการเปรียบเทียบพฤติกรรมการกระจายอุณหภูมิ พฤติกรรมการกระจายความเร็ว และการถ่ายเทความร้อน ของเตาที่ไม่มีหม้อและเตาที่มีหม้อพบว่า เตาที่ไม่มีหม้อ (Model A) ไม่สามารถควบคุมเปลวไฟที่กระจายสู่ด้านนอกห้องเผาไหม้ได้เนื่องจากไม่มีหม้อคอยประครองเปลวไฟทำให้เปลวไฟไม่ค่อยเสถียรและเกิดการสูญเสียความร้อนเป็นอย่างมาก เตาที่มีหม้อด้านนอก (Model B) สามารถควบคุมเปลวไฟได้

ดีกว่า Model A เนื่องจากมีแหวนประครองเปลวไฟด้านนอกแต่ยังมีเปลวไฟบางส่วนย้อนกลับไปทางช่องอากาศ ส่วนที่สองเนื่องจากไม่มีแหวนด้านใน และเตาที่มีแหวนด้านนอกและด้านใน (Model C) สามารถควบคุมเปลวไฟได้ดีกว่า Model A และ Model B เนื่องจากอิทธิพลของแหวนด้านนอกสามารถควบคุมเปลวไฟที่จะกระจายสู่ด้านบนห้องเผาไหม้ได้ และอิทธิพลของแหวนด้านในที่ช่วยในการควบคุมเปลวไฟที่จะกระจายไปที่ช่องอากาศส่วนที่สองได้ทำให้ Model C มีเปลวไฟที่ค่อนข้างเสถียรมากกว่า Model A และ Model B

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Energy Policy and Planning office (EPPO) Ministry of Energy. (2021). Energy statistics of Thailand 2021. [Online]. Available: http://www.eppo.go.th/images/Energy-Statistics/energyinformation/Energy_Statistics/00All.pdf
- [2] S. Jugjai and S. Sanitjai, "Parametric Studies of Thermal Efficiency in a Proposed Porous Radiant Recirculated Burner (PRRB): A Design Concept for the Future Burner," *International Energy Journal*, vol. 18, no. 2, pp. 97-111, Dec. 1996.
- [3] U. Makmool, S. Jugjai and S. Tia, P. Vallikul and B. Fungtammasan, "Performance and analysis by particle image velocimetry (PIV) of cooker-top burners in Thailand," *Energy*, vol. 32, no. 10, pp. 1986-1995, 2007.
- [4] N. Rungsimuntuchat, "Application of Porous Medium for Energy Saving in Gas Cooker," M. Eng thesis, Department of Mechanical Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand, 2011.
- [5] S. Sudarno, S. Soeparman, S. Wahyidi and A.S. Widodo, "Effect of the EMBER Element in Increasing the Efficiency of Liquefied Petroleum Gas Stoves," *Journal of Applied Engineering Science*, vol. 19(2021)2, pp. 375-382, 2021.
- [6] M.Y. Khan and A. Saxena, "Performance of LPG Cooking Stove Using Different Design Of Burner Heads," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 2, no.2, pp. 656-659, July. 2013.
- [7] A. Tamir, I. Elperin and S. Yotzer, "Performance Characteristics of a Gas Burner with a Swirling Central Flame," *Energy*, vol. 14, no.7, pp. 373-382, 1989.
- [8] M. Wichangarm, A. Matthujak, T. Sriveerakul and S. Sucharitpwatskul, "Simulation of Flow Characteristics in an Energy-saving High-pressure gas Stove," in *Proceeding of 30th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, Songkla, Thailand, 2016, Paper no. CST0027.
- [9] T. Punchapong, A. Matthujak, M. Wichangarm, T. Sriveerakul and S. Sucharitpwatskul, "Simulation of Flow Characteristics in a Gas-saving High-pressure gas Stove by Computational Fluid Dynamics," in *Proceeding of 31st*

- Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, Nakhonnayok, Thailand, 2017, Paper no. CST09.
- [10] A. Matthujak, T. Chanakul, M. Wichangarm, T. Sriveerakul, B. Chanthamas, S. Sucharitpwatskul and S. Sucharitpwatskul, "A Study on Influence of Swirl Angle of Burner Port on Behavior of Heat Transfer to a Vessel of High-pressure Cooking Stove by Computational Fluid Dynamics" *RMUTP Research Journal*, Vol. 14, No. 1, January-June 2020, pp.70-81, 2020.
- [11] P. Chimchom, A. Matthujak, M. Wichangarm, T. Sriveerakul, and S. Sucharitpwatskul, "Simulation on Combustion Behavior of Gas-saving Burner S-10 by Computational Fluid Dynamics" *RMUTP Research Journal*, Vol. 14, No. 1, January-June 2020, pp.165-176, 2020.
- [12] M. Wichangarm, A. Matthujak, T. Sriveerakul, S. Sucharitpwatskul and S. Phongthanapanich, "Simulation Study of LPG Cooking Burner," *International Journal of Engineering & Technology*, vol. 7, no.3.7, pp. 142-144, 2018.
- [13] A. Matthujak, M. Wichangarm, T. Sriveerakul, S. Sucharitpwatskul and S. Phongthanapanich, "Numerical investigation on the influence of swirling flow to thermal efficiency enhancement of an LPG-energy saving burner," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 28 (2021), 101466, 2021.
- [14] M. Wichangarm, A. Matthujak, T. Sriveerakul, S. Sucharitpwatskul and S. Phongthanapanich, "Investigation on thermal efficiency of LPG cooking burner using computational fluid dynamics," *Energy*, vol. 203, 15 July 2020, 117849, 2020.
- [15] P. Aroonjarattham, "The Parametric Studied of High Pressure Gas Burner Affect Thermal Efficiency," *Engineering Journal*, vol. 20(3), pp. 33-48, 2016.
- [16] M. Wichangarm, A. Matthujak, T. Sriveerakul, S. Sucharitpwatskul and S. Phongthanapanich, "A study on effect of swirling flow on behavior of heat transfer to vessel of high-pressure cooking stove by computational fluid dynamics," in *Proceeding of 33th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, Udonthani, Thailand, 2019, Paper no. AEC-003.
- [17] ANSYS, *Ansys Fluent Theory Guide*. Canonsburg, Pennsylvania: ANSYS, Inc., 2013.
- [18] German standards and technical rules. 1997. p. 17. DIN EN 203-2: Gas-heated catering equipment.
- [19] D.G. Vlachos, L.D. Schmidt, and R. Aris, "Ignition and extinction of flames near surfaces: Combustion of H₂ in air," *AIChE Journal*, vol. 40, no.6, pp. 1055-1018, 1994.
- [20] S. Chander, and A. Ray, "An experimental and numerical study of stagnation point heat transfer for methane/air laminar flame impinging on a flat surface," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51(2008), pp. 3595-3607, 2008.