ผลของแผ่นครอบบังลมต่อการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะของเตาแก๊ส KB-5 โดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Effect of wind shield on heat transfer to pot of KB-5 cooking stove by computational fluid dynamics

มานะ วิชางาม[1*] และ พัฒนพงษ์ แก้วโพธิ์[1]

Mana Wichangarm[1*] and Pattanapong Kaewpho[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของแผ่นครอบบังลมต่อการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะของเตาแก๊ส KB-5 โดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณและการทดลอง ซึ่งแบบจำลองถูกสร้างขึ้นโดยโปรแกรม ANSYS 21 โดยศึกษาผลของแผ่นครอบบังลม 3 รูปแบบ คือ model B (แผ่นครอบบังลมรูปทรงกระบอก), model C (แผ่นครอบบังลมรูปทรงกรวยปลายตัดคว่ำ) และ model D (แผ่นครอบบังลมรูปทรงกรวยปลายตัดหงาย) เปรียบเทียบกับ model A (เตาดั้งเดิมที่ไม่มีแผ่นครอบบังลม) ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและผลการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะในรูปแบบของฟลักซ์ความร้อนรวม จากการศึกษาพบว่า model C ใช้แผ่นครอบบังลมรูปทรงกรวยปลายตัดคว่ำที่ช่วยให้เปลวไฟไหลมารวมกันที่กึ่งกลางห้องเผาไหม้ก่อนจะไหลไปยังหม้อจึงส่งผลให้ model C มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนและฟลักซ์ความร้อนรวมสูงที่สุด โดย model C มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 46.18 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ model B, model D และ model A มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 43.62, 41.52 และ 39.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หรือ model C มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น 5.54, 10.09 และ 15.22 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับ model B, model D และ model A ตามลำดับ และ model C มีฟลักซ์ความร้อนรวมสูงสุดเท่ากับ 24.73 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร รองลงมาคือ model B, model D และ model A มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 22.18, 20.96 และ 18.32 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร หรือ model C มีฟลักซ์ความร้อนรวมเพิ่มขึ้น 10.31, 15.24 และ 25.93 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับ model B, model D และ model A ตามลำดับ

คำสำคัญ: แผ่นครอบบังลม เตาแก๊ส KB-5 พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ การถ่ายเทความร้อน

Abstract

The objective of this research was to study effect of wind shield on heat transfer to pot of KB-5 cooking stove by computational fluid dynamics and experiment. The simulation model was created by ANSYS 21. Heat transfer to pot of stove with wind shield being, model B (cylindrical wind shield), model C (inverted cone wind shield) and model D (upturned cone wind shield) were compared with KB-5 original stove model A (without wind shield). Analyze the thermal efficiency and heat transfer to pot on total heat flux was conducted. The results showed that model C is inverted cone wind shield allows

[1] คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

[1] Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan, Khonkaen campus

[*] Corresponding author. E-mail: mana.wi@rmuti.ac.th

Received: March 21, 2023; Revised: May 5, 2023; Accepted: May 23, 2023

the flame to flow together in the center of the combustion chamber before flowing to pot, thus causing model C had the highest thermal efficiency and total heat flux. model C had the highest thermal efficiency of 46.18%, followed by model B, model D and model A with thermal efficiency of 43.62, 41.52 and 39.15%, respectively, or model C increased in thermal efficiency by 5.54, 10.09 and 15.22% compared to model B, model D and model A, respectively. model C had the highest total heat flux of 24.73 kW/m^2, followed by model B, model D and model A with thermal efficiency of 22.18, 20.96 and 18.32 kW/m^2, respectively, or model C had total heat flux increase of 10.31, 15.24 and 25.93% compared to model B, model D and model A, respectively.

Keywords: wind shield, KB-5 cooking stove, computational fluid dynamics, heat transfer

บทนำ

เตาแก๊สแอลพีจี คือเตาหุงต้มที่ใช้แก๊สปิโตรเลียม (liquefied petroleum gas, LPG) เป็นเชื้อเพลิง นิยมนำมาประกอบอาหารในครัวเรือนอย่างแพร่หลายในทุกวันนี้ (Wichangarm, Matthujak, Sriveerakul, Sucharitpwatskul, & Phongthanapanich, 2020) เตาแก๊สแอลพีจีที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง นอกจากจะช่วยประหยัดแก๊สแอลพีจีแล้ว ยังช่วยลดมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้แก๊สแอลพีจี อีกด้วย (Wichangarm, Matthujak, Sriveerakul, Sucharitpwatskul, & Phongthanapanich, 2019) ทำให้นักวิจัยหลายกลุ่มพยายามพัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สให้สูงขึ้น ด้วยรูปแบบและวิธีที่ต่างกัน สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ 1) วิธีการทดลอง 2) วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (computational fluid dynamics, CFD) กลุ่มที่พัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนเตาแก๊สแอลพีจีด้วยวิธีการทดลอง อาทิ Tamir, Elperin, & Yotzerx (1988) ศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สที่ใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแบบดั้งเดิมและเตาที่มีการไหลแบบหมุนวน พบว่าเตาที่มีการไหลแบบหมุนวนมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเตาแบบดั้งเดิมประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ Khongsanthear, & Krittacom (2012) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนโดยทำการออกแบบและสร้างเตาแก๊สที่ใช้วัสดุพรุนชนิดผสม จากนั้นนำผลการทดลองไปเปรียบเทียบกับเตาแก๊สที่ใช้วัสดุพรุนชนิดเซรามิกส์รังผึ้ง และเตาแก๊สชนิดหัวฟู่ จากการศึกษาพบว่าเตาแก๊สที่ใช้วัสดุพรุนชนิดผสมมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 61 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่หัวเตาแก๊สที่ใช้วัสดุพรุนชนิดเซรามิกส์รังผึ้งและเตาแก๊สชนิดหัวฟู่ มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 51 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ Jenjit (2010) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนโดยทำการออกแบบและสร้างฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพรุน ซึ่งอาศัยหลักการหมุนเวียนความร้อนจากไอเสียของแก๊สหุงต้มกลับมาใช้ในการอุ่นอากาศก่อนถูกเผาไหม้ จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อติดตั้งฝาครอบส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นประมาณ 3-7 เปอร์เซ็นต์ Aroonjarattham (2015) ศึกษาผลของมุมของรูหัวเตาของพอร์ตด้านในมุมของรูหัวเตาของพอร์ตด้านนอก จำนวนรูหัวเตาของพอร์ตด้านนอก และจำนวนรูหัวเตาของพอร์ตด้านในต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สแรงดันสูง

จากนั้นทำการทดลองหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยใช้มาตรฐาน (TIS 2312-2549) จากการศึกษาพบว่ามุมของรูหัวเตาของพอร์ตด้านใน มุมของรูหัวเตาของพอร์ตด้านนอก จำนวนรูหัวเตาของพอร์ตด้านนอกและจำนวนรูหัวเตาของพอร์ตด้านใน มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา Wae-hayee, Yeranee, Suksuwan, & Nuntadusit (2021) ศึกษาผลของระยะห่างหัวเตากับแผ่นเพลทเหนือหัวเตาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนของเตา KB-5 ที่ใช้แก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง จากการศึกษาพบว่าความสูงของแผ่นเพลทมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน ซึ่งการปรับระยะความสูงให้เหมาะสมจะช่วยประหยัดแก๊สแอลพีจีได้ เป็นต้น

กลุ่มที่พัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนเตาแก๊สด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ อาทิ Wichangarm, Matthujak, Sriveerakul, & Sucharitpwatskul (2016) ทำการจำลองพฤติกรรมการไหลของเตาแก๊สแบบประหยัดโดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ในรูปแบบ 3 มิติ ความดันแก๊ส LPG ที่หัวฉีดเท่ากับ 1, 1.50, 2, 2.50 และ 3 บาร์ โดยไม่มีการเผาไหม้ ซึ่งทำการวิเคราะห์ผลจากการจำลองเปรียบเทียบกับผลการทดลอง จากการวิเคราะห์พบว่าผลจากการจำลองมีความสอดคล้องกับการทดลองเป็นอย่างดี และแบบจำลองสามารถอธิบายพฤติกรรมการไหลในเตาแก๊สได้ Wichangarm, Matthujak, Sriveerakul, Sucharitpwatskul, & Phongthanapanich (2018) ทำการจำลองพฤติกรรมการไหลและการเผาไหม้ของเตาแก๊สแบบประหยัดพลังงานด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ในรูปแบบ 3 มิติ กรณีที่มีการเผาไหม้และนำผลที่ได้จากการจำลองเปรียบเทียบกับผลการทดลอง จากการวิเคราะห์พบว่าอุณหภูมิที่ได้จากการจำลองและการทดลองมีความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน 5.86 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าแบบจำลองสามารถอธิบายพฤติกรรมการไหลของของไหลและพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาแก๊สได้ Matthujak, Wichangarm, Sriveerakul, Sucharitpwatskul, & Phongthanapanich (2021) ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของการไหลแบบหมุนวนต่อการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สประหยัดพลังงาน โดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ จากการศึกษาพบว่าการไหลแบบหมุนวนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สได้เมื่อเปรียบเทียบกับการไหลแบบดั้งเดิม และผลจากการจำลองมีความสอดคล้องกับการทดลองเป็นอย่างดี Boggavarapu, Ray, & Ravikrishna (2014) ศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาที่ใช้แอลพีจี และพีเอ็นจีเป็นเชื้อเพลิง โดยศึกษาทั้งวิธีการทดลองและวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในรูปแบบ 3 มิติ จากการศึกษาพบว่าแบบจำลองสามารถอธิบายพฤติกรรมการไหลของของไหลบริเวณหัวเตาและพฤติกรรมการเผาไหม้ทำเข้าใจพฤติกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังพบว่าแผ่นครอบบังลมที่ครอบห้องเผาไหม้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สได้เมื่อเปรียบเทียบกับเตาแก๊สแบบดั้งเดิมที่ไม่มีแผ่นครอบบังลมครอบห้องเผาไหม้ เป็นต้น

จากการศึกษาของ Matthujak et al. (2020); Wichangarm, Matthujak, Sriveerakul, Sucharitpwatskul, & Phongthanapanich (2020); (Matthujak, Wichangarm, Sriveerakul, Sucharitpwatskul, & Phongthanapanich (2021) ที่ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาแก๊สที่ใช้แอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงโดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณร่วมกับการทดลอง จากการศึกษาพบว่าวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

มีความสอดคล้องกับผลการทดลองเป็นอย่างดี เมื่อทำการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะจากแบบจำลองในรูปแบบของฟลักซ์ความร้อนรวม พบว่าเตาที่มีฟลักซ์ความร้อนรวมในแบบจำลองสูงที่สุดส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการทดลองสูงที่สุดด้วย หรืออาจกล่าวได้ว่าเตาที่มีฟลักซ์ความร้อนรวมสูงที่สุดในแบบจำลองสามารถคาดการณ์ว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการทดลองสูงที่สุดด้วย

นอกจากนี้ Wichangarm, Matthujak, Sriveerakul, Sucharitpwatskul, & Phongthanapanich (2020) ยังได้ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของแผ่นครอบบังลมของเตาประหยัดพลังงานต่อการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะโดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ พบว่าแผ่นครอบบังลมที่ครอบห้องเผาไหม้สามารถเพิ่มฟลักซ์ความร้อนรวมและเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สได้เมื่อเปรียบเทียบกับเตาแก๊สแบบดั้งเดิมที่ไม่มีแผ่นครอบบังลมครอบห้องเผาไหม้ และผลจากการจำลองมีความสอดคล้องกับการทดลองเป็นอย่างดี

แต่เป็นที่ทราบดีว่าเตาแต่ละแบบมีรูปร่างที่แตกต่างกันแผ่นครอบบังลมที่ใช้จึงต้องมีรูปร่างที่แตกต่างกันด้วย เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาการออกแบบแผ่นครอบบังลมที่เหมาะกับเตาจึงสำคัญ และเป็นที่ทราบดีว่าข้อดีอย่างหนึ่งของวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณคือ สามารถลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลองได้ นอกจากนี้ยังแสดงผลในรูปของแถบสีต่าง ๆ ทำให้เข้าในพฤติกรรมที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี (Tawonwan, & Wansao, 2016) แต่จากการศึกษาที่ผ่านมายังไม่พบว่ามีการศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ส KB-5 เมื่อรูปทรงของแผ่นครอบบังลมเปลี่ยนไปโดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณร่วมกับการทดลอง จากข้อดีของวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ และรูปทรงของแผ่นครอบบังลมที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะและประสิทธิภาพเชิงความร้อนดังที่กล่าวมาข้างต้น เพื่อออกแบบรูปทรงของแผ่นครอบบังลมที่เหมาะกับเตาแก๊ส KB-5 ดังนั้นการศึกษาวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ส KB-5 เมื่อรูปทรงของแผ่นครอบบังลมเปลี่ยนไปโดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณร่วมกับการทดลอง เพื่ออธิบายพฤติกรรมการเผาไหม้และพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะในรูปแบบของแถบสีแสดงอุณหภูมิ (contours of temperature) เวคเตอร์ความเร็ว (velocity vector) และเส้นทางการไหลของอุณหภูมิ (pathlines of temperature) ที่ช่วยในการอธิบายผลได้อย่างชัดเจน เพื่อนำไปสู่การออกแบบแผ่นครอบบังลมที่เหมาะกับเตาแก๊ส KB-5 และนำไปสู่การพัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ส KB-5 ต่อไปในอนาคต

วิธีการศึกษา

1. รูปร่างของแผ่นครอบบังลมที่ทำการศึกษา

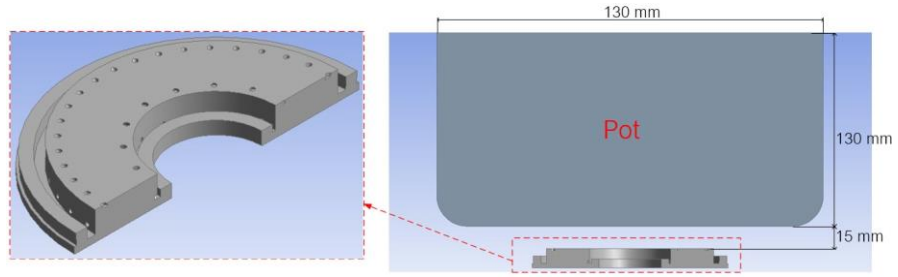
การศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ส KB-5 แบบดั้งเดิม (ไม่มีแผ่นครอบบังลมครอบห้องเผาไหม้) model A ดัง (Figure 1a) และแบบใหม่ที่มีแผ่นครอบบังลมครอบห้องเผาไหม้เตาแก๊ส KB-5 ที่ต่างกัน 3 รูปแบบ โดยหลักการในการออกแบบแผ่นครอบบังลม คือ เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะและประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ในกรณีที่เปลวไฟพุ่งตรงไปยังภาชนะเหนือหัวเตา คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบแผ่นครอบบังลม model B ซึ่งเป็นแผ่นครอบบังลมรูปทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่สามารถสวมเข้ากับหัวเตาได้พอดีและมีความสูง 40 มิลลิเมตร ซึ่งเท่ากับหนึ่งในสามของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวเตา ดัง (Figure 1b)

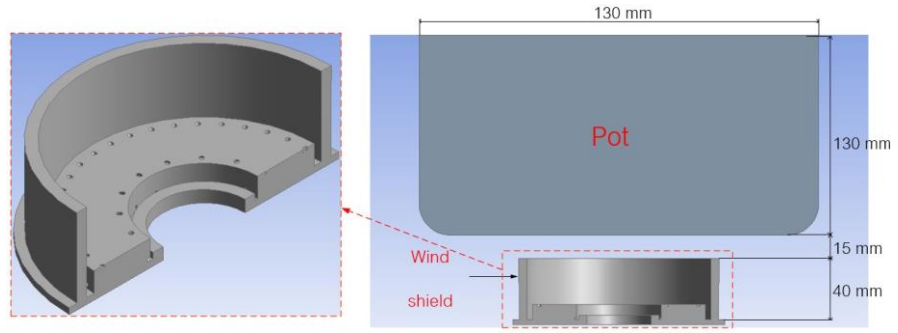
เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะและประสิทธิภาพเชิงความร้อน ในกรณีที่เปลวไฟถูกบังคับให้ไหลมารวมกันที่กึ่งกลางห้องเผาไหม้ก่อนจะพุ่งขึ้นไปยังภาชนะเหนือหัวเตา คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบแผ่นครอบบังลม model C ซึ่งเป็นแผ่นครอบบังลมรูปทรงกรวยปลายตัดคว่ำ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่างที่สามารถสวมเข้ากับหัวเตาได้พอดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านบนเท่ากับ 50 มิลลิเมตร และมีความสูง 40 มิลลิเมตร เท่ากับหนึ่งในสามของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวเตา ดัง (Figure 1c) และเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะและประสิทธิภาพเชิงความร้อน ในกรณีที่เปลวไฟอิสระ (ไม่ถูกบังคับให้ไหลมารวมกันที่กึ่งกลางห้องเผาไหม้ก่อนจะพุ่งขึ้นไปยังภาชนะเหนือหัวเตา) คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบแผ่นครอบบังลม model D ซึ่งเป็นแผ่นครอบบังลมรูปทรงกรวยปลายตัดหงาย ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่างที่สามารถสวมเข้ากับหัวเตาได้พอดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านบนเท่ากับ 150 มิลลิเมตร และมีความสูง 40 มิลลิเมตร เท่ากับหนึ่งในสามของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวเตา ดัง (Figure 1d)

2. พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

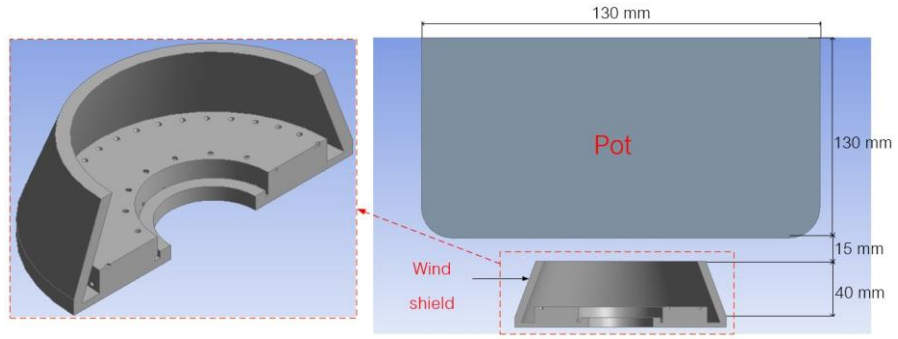
การจำลองโดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ การกำหนดขอบเขตพื้นที่และเงื่อนไขขอบเขต ในการศึกษาวิจัยนี้เป็นแบบจำลอง 3 มิติ (3D - model) สร้างขึ้นโดยโปรแกรม ANSYS 21 ดัง (Figure 2) โดยกำหนดอากาศและของไหลรอบ ๆ หัวเตาและหม้อเป็น pressure outlet หม้อที่วางเหนือเตามีขนาดเท่ากับหม้อที่ใช้ในการทดลองจริงคือหม้อเบอร์ 26 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) เท่ากับ 260 มิลลิเมตร ความสูงของหม้อเท่ากับระดับน้ำที่เติมในหม้อตอนทดลองคือ 130 มิลลิเมตร กำหนดอุณหภูมิผนังหม้อในแบบจำลองเท่ากับ 395 เคลวิน (Boggavarapu, Ray, & Ravikrishna, 2014) กำหนดระยะห่างของผนังหม้อกับอากาศแวดล้อมเท่ากับ 1.5D กำหนดผนังหัวเตาเป็น wall (steel) กำหนดผนังหม้อเป็น wall (aluminum) และกำหนดรูหัวเผาซึ่งเป็นรูที่แอลพีจีผสมกับอากาศพุ่งเข้าสู่ห้องเผาไหม้เป็น mass flow rate ซึ่ง mass flow rate และค่าต่าง ๆ เช่น mass fraction ของโพรเพน บิวเทน ไนโตรเจน และออกซิเจน ที่ความดันแก๊สแอลพีจี เท่ากับ 0.4 บาร์ ได้มาจากงานวิจัยของ (Wichangarm, & Matthujak, 2022) เมชที่ใช้เป็นเมชรูปทรงสามเหลี่ยมสี่ด้าน (tetrahedral grid) จำนวนเท่ากับ 1,569,874 อิลิเมนต์ ซึ่งบริเวณหัวเตา เปลวไฟใต้ภาชนะและภาชนะจะมีการกำหนดเมชที่ค่อนข้างถี่กว่าบริเวณอื่นเนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ดัง (Figure 3) งานวิจัยนี้พิจารณาการไหลแบบคงที่ (steady state) สมการปั่นป่วน standard k-epsilon สมการการเผาไหม้ Eddy dissipation combustion model สมการการแผ่รังสีความร้อน discrete ordinates model สมการแรงโน้มถ่วงของโลกและแรงลอยตัว buoyancy effects และพิจารณาการลู่เข้าของคำตอบจากเศษตกค้าง 10^{-6} และผลเฉลยไม่เปลี่ยนเมื่อจำนวนรอบการทำซ้ำเพิ่ม รวมทั้งระบบเข้าสู่สมดุลมวล



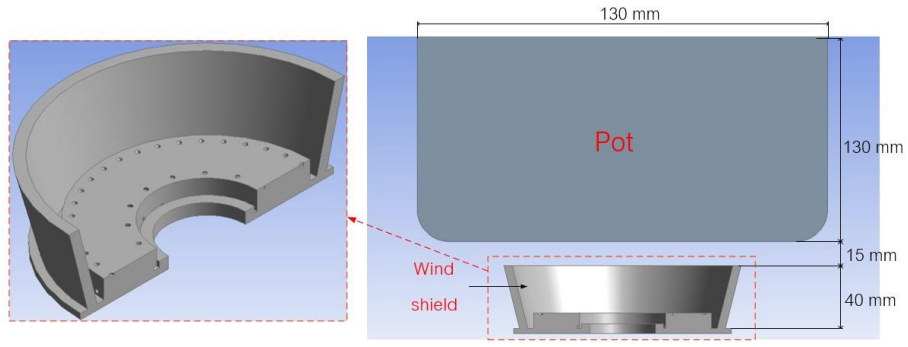
(a) Model A



(b) Model B



(c) Model C



(d) Model D

Figure 1 Various wind shields of high efficiency cooking stove.

เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะและประสิทธิภาพเชิงความร้อน ในกรณีที่เปลวไฟถูกบังคับให้ไหลมารวมกันที่กึ่งกลางห้องเผาไหม้ก่อนจะพุ่งขึ้นไปยังภาชนะเหนือหัวเตา คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบแผ่นครอบบังลม model C ซึ่งเป็นแผ่นครอบบังลมรูปทรงกรวยปลายตัดคว่ำ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่างที่สามารถสวมเข้ากับหัวเตาได้พอดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านบนเท่ากับ 50 มิลลิเมตร และมีความสูง 40 มิลลิเมตร เท่ากับหนึ่งในสามของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวเตา ดัง (Figure 1c) และเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะและประสิทธิภาพเชิงความร้อน ในกรณีที่เปลวไฟอิสระ (ไม่ถูกบังคับให้ไหลมารวมกันที่กึ่งกลางห้องเผาไหม้ก่อนจะพุ่งขึ้นไปยังภาชนะเหนือหัวเตา) คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบแผ่นครอบบังลม model D ซึ่งเป็นแผ่นครอบบังลมรูปทรงกรวยปลายตัดหงาย ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่างที่สามารถสวมเข้ากับหัวเตาได้พอดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านบนเท่ากับ 150 มิลลิเมตร และมีความสูง 40 มิลลิเมตร เท่ากับหนึ่งในสามของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวเตา ดัง (Figure 1d)

2. พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

การจำลองโดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ การกำหนดขอบเขตพื้นที่และเงื่อนไขขอบเขต ในการศึกษาวิจัยนี้เป็นแบบจำลอง 3 มิติ (3D - model) สร้างขึ้นโดยโปรแกรม ANSYS 21 ดัง (Figure 2) โดยกำหนดอากาศและของไหลรอบ ๆ หัวเตาและหม้อเป็น pressure outlet หม้อที่วางเหนือเตามีขนาดเท่ากับหม้อที่ใช้ในการทดลองจริงคือหม้อเบอร์ 26 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) เท่ากับ 260 มิลลิเมตร ความสูงของหม้อเท่ากับระดับน้ำที่เติมในหม้อตอนทดลองคือ 130 มิลลิเมตร กำหนดอุณหภูมิผนังหม้อในแบบจำลองเท่ากับ 395 เคลวิน (Boggavarapu, Ray, & Ravikrishna, 2014) กำหนดระยะห่างของผนังหม้อกับอากาศแวดล้อมเท่ากับ 1.5D กำหนดผนังหัวเตาเป็น wall (steel) กำหนดผนังหม้อเป็น wall (aluminum) และกำหนดรูหัวเผาซึ่งเป็นรูที่แอลพีจี ผสมกับอากาศพุ่งเข้าสู่ห้องเผาไหม้เป็น mass flow rate ซึ่ง mass flow rate และค่าต่าง ๆ เช่น mass fraction ของ โพรเพน บิวเทน ไนโตรเจน และออกซิเจน ที่ความดันแก๊สแอลพีจี เท่ากับ 0.4 บาร์ ได้มาจากงานวิจัยของ (Wichangarm, & Matthujak, 2022) เมชที่ใช้เป็นเมชรูปทรงสามเหลี่ยมสี่ด้าน (tetrahedral grid) จำนวนเท่ากับ 1,569,874 อิลิเมนต์ ซึ่งบริเวณหัวเตา เปลวไฟใต้ภาชนะ และภาชนะจะมีการกำหนดเมชที่ค่อนข้างถี่กว่าบริเวณอื่น เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ดัง (Figure 3) งานวิจัยนี้พิจารณาการไหลแบบคงที่ (steady state) สมการปั่นป่วน standard k-epsilon สมการการเผาไหม้ Eddy dissipation combustion model สมการการแผ่รังสีความร้อน discrete ordinates model สมการแรงโน้มถ่วงของโลกและแรงลอยตัว buoyancy effects และพิจารณาการลู่เข้าของคำตอบจากเศษตกค้าง 10^{-6} และผลเฉลยไม่เปลี่ยนเมื่อจำนวนรอบการทำซ้ำเพิ่ม รวมทั้งระบบเข้าสู่สมดุลมวล

ในส่วนนี้จะยกตัวอย่างขอบเขตพื้นที่ เงื่อนไขขอบเขต และเมช ดัง (Figure 2-3) ของ model A เท่านั้น ในส่วนของ model B, model C และ model D ไม่ได้แสดงรูปภาพ แต่มีลักษณะของ ขอบเขตพื้นที่

เงื่อนไขขอบเขต และเมช เหมือนกันกับ model A ต่างกันตรงที่มีแผ่นครอบบังลมเท่านั้น ในส่วนของการตั้งค่าต่าง ๆ ของการคำนวณก็มีการตั้งค่าเหมือน model A

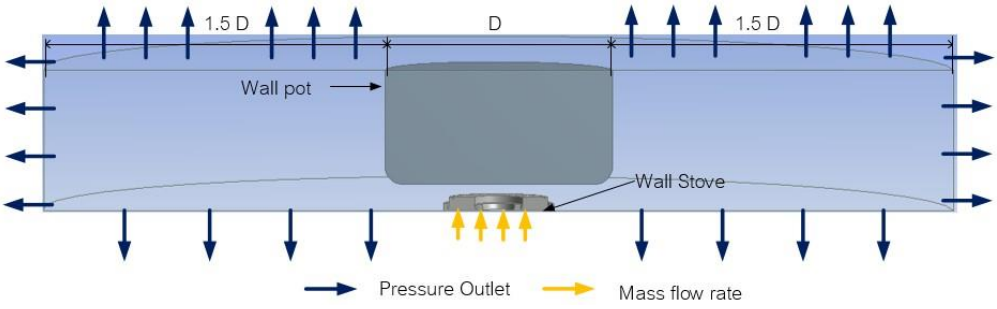


Figure 2 Computational domain and boundary conditions.

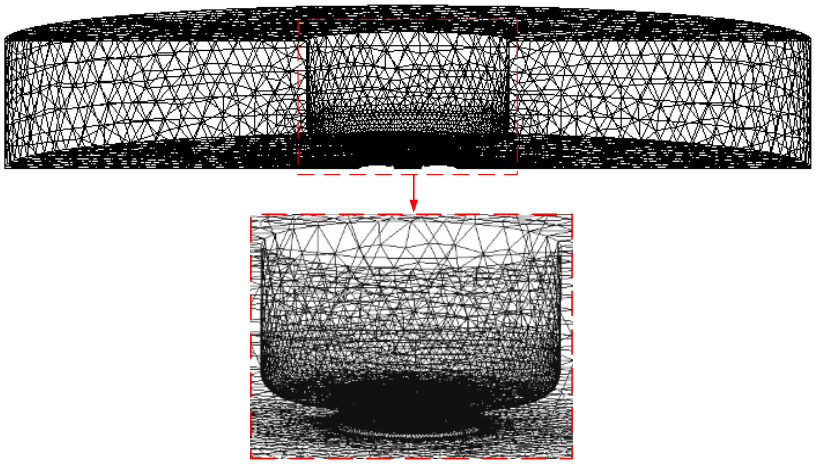


Figure 3 Mesh.

สมการที่ใช้ในการคำนวณในการศึกษานี้ประกอบด้วย (ANSYS, 2013) สมการอนุรักษ์มวลสมการอนุรักษ์พลังงาน และสมการอนุรักษ์โมเมนตัม หรือเรียกรวม ๆ ว่าสมการควบคุม ซึ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในทางวิศวกรรม สมการอนุรักษ์มวลจากหลักการที่ว่า มวลไม่สามารถสูญหายไหน ดังนั้นปริมาณของมวลที่ไหลเข้าและออกจากบริเวณควบคุมนี้จะเท่ากัน ในที่นี้ทำการพิจารณา 3 แกน คือ แกน x แกน y และแกน z และพิจารณาความหนาแน่น (ρ) ดังสมการ (1)

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

สมการอนุรักษ์พลังงาน เมื่อพิจารณางานและพลังงานที่เกิดขึ้นกับบริเวณควบคุมจะพิจารณาพลังงานที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีต่อหน่วยปริมาตรของของไหล $q'' = \dot{W}_A \Delta H$ โดยที่ $\alpha = \frac{k}{\rho c}$ ค่าสภาพการแพร่กระจายความร้อน k หมายถึงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และ c หมายถึงค่าความจุความร้อนจำเพาะ ดังสมการ (2)

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

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม เมื่อพิจารณามวลของการไหลเล็ก ๆ ใน 3 แกน คือ แกน x แกน y และแกน z ดังสมการ (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

ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้สมการเผาไหม้ Eddy dissipation combustion model ซึ่งทำการิจารณาอัตราโมล่าร์ของ Arrhenius (R), สัมประสิทธิ์สตรอยของสารตั้งต้น (v'), มวลโมเลกุล (M), ความหนาแน่น (ρ), พลังงานจลน์แบบปั่นป่วน (k), อัตราการกระจายตัว (ε), สัมประสิทธิ์สตรอยของสารผลิตภัณฑ์ (v''), ค่าคงที่ในการทดลองเท่ากับ 4.0 (A), ค่าคงที่ในการทดลองเท่ากับ 0.5 (B), และเศษส่วนมวล (mass fraction) (Y) ดังสมการ (4)

$$R_{i,r} = v'_{i,r} M_{w,i} A\rho \frac{\varepsilon}{k} \min_R \frac{YR}{v'_{R,r} M_{W,R}}$$
$$R_{i,r} = v'_{i,r} M_{w,i} AB\rho \frac{\varepsilon}{k} \frac{\sum_P Y_P}{\sum_j^N v''_{j,r} M_{W,j}} \quad (4)$$

สมการการแผ่รังสีความร้อน

ในการศึกษาวิจัยนี้พิจารณาสมการการแผ่รังสีความร้อนเนื่องจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้จะมีการแผ่รังสีความร้อนด้วย ดังนั้นสมการการแผ่รังสีความร้อนจึงสำคัญ ซึ่งทำการพิจารณา radiation intensity (แปรผันตามตำแหน่งและทิศทาง) (I), ตำแหน่งเวคเตอร์ ($\vec{r}$), ทิศทางของเวคเตอร์ในระบบพิกัดแกน ($\vec{s}$), การกระจายตัวของเวคเตอร์ในระบบพิกัดแกน ($\vec{s}'$), สัมประสิทธิ์การดูดซับ (a), สัมประสิทธิ์การกระจายตัว (σ_s), ดัชนีการหักเหแสง (n),อุณหภูมิ (T), phase function (Φ) และ solid angle (Ω') ดังสมการ (5)

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

สมการฟลักซ์ความร้อนรวม (ANSYS, 2013) และ (Matthujak et al., 2020)

ในการศึกษาวิจัยนี้พิจารณาสมการฟลักซ์ความร้อนรวม เนื่องจากมีการพิจารณาการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะ ดังนั้นสมการฟลักซ์ความร้อนรวมจึงสำคัญ ซึ่งทำการพิจารณา ฟลักซ์ความร้อน (q_{flux}) มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร, การถ่ายเทความร้อนรวม (q_{total}) มีหน่วยเป็น วัตต์, การถ่ายเทความ

ร้อนบริเวณก้นภาชนะ ($q_{bottompot}$)มีหน่วยเป็น วัตต์, การถ่ายเทความร้อนบริเวณส่วนโค้งของภาชนะ ($q_{slopepot}$) มีหน่วยเป็น วัตต์, การถ่ายเทความร้อนบริเวณส่วนโค้งของภาชนะ ($q_{sidepot}$) มีหน่วยเป็น วัตต์, ผลรวมพื้นที่หน้าตัดของภาชนะทั้งหมด (A_{total}) มีหน่วยเป็น เมตร, ผลรวมพื้นที่หน้าตัดของภาชนะทั้งหมด, พื้นที่หน้าตัด (A) มีหน่วยเป็น เมตร, ความหนาของผนังภาชนะ (Δx) มีหน่วยเป็น เมตร, ความสูงของระดับน้ำในภาชนะ (L) มีหน่วยเป็น เมตร, การแผ่รังสีความร้อนของวัสดุ (ε), ค่าคงที่ของสเตฟาน (σ) มีหน่วยเป็น $W/m^2\text{-}K^4$, อุณหภูมิ (T) มีหน่วยเป็น เคลวิน, รัศมีของภาชนะ (r) มีหน่วยเป็น เมตร และการนำความร้อนของวัสดุ (K) มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อเมตร เคลวิน ดังสมการ (6-9)

$$q_{flux} = \frac{q_{total}}{A_{total}} = \frac{q_{bottompot} + q_{slopepot} + q_{sidepot}}{A_{total}} \tag{6}$$

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

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

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

3. การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ก่อนการทดสอบทำการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน ดัง (Figure 4) และไม่เปลี่ยนแปลงตำแหน่งของอุปกรณ์ตลอดการทดสอบ เพื่อขจัดสิ่งสกปรก คราบต่าง ๆ ออกจากเตา ก่อนการทดสอบต้องจุดเตาโดยเปิดวาล์วควบคุมความดันแก๊สแอลพีจีที่ตำแหน่งสูงสุดโดยใช้เวลา 15 นาที แล้วปล่อยให้เตาเย็นลง ห้องที่ทำการทดสอบต้องมีอากาศถ่ายเทได้ดี ไม่มีลมพัด การทดสอบเริ่มจาก

1. ทำการอุ่นเตาแก๊ส KB-5 โดยการเผาเชื้อเพลิงโดยไม่มีภาชนะบนหัวเตาเป็นเวลา 15 นาที

2. ชั่งน้ำหนักน้ำเพื่อใช้ในการทดสอบ 6.10 กิโลกรัม ใส่ในหม้ออะลูมิเนียม

3. ปรับความดันแก๊สแอลพีจีที่ 0.4 บาร์

4. นำหม้อที่ใส่น้ำตั้งบนเตา พร้อมทั้งบันทึกอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำและเริ่มจับเวลา

5. ต้มน้ำจนกระทั่งน้ำในหม้อมีอุณหภูมิ 363 เคลวิน พร้อมทั้งบันทึกเวลาที่ใช้ในการทดสอบ

ซึ่งการทดลองดังกล่าวเป็นไปตามมาตรฐานเยอรมัน DIN-EN 203-2 (German Standards and Technical Rules, 1997) เพื่อความถูกต้องของข้อมูลในแต่ละกรณีจะทำการทดสอบที่สภาพแวดล้อมเดียวกัน

และทำการทดสอบกรณีละ 3 ซ้ำ การควบคุมอัตราการไหลของแก๊สแอลพีจีใช้ U-tube manometer ที่มีความละเอียด 1 มิลลิเมตร ที่มีค่าความคลาดเคลื่อน ±0.5 มิลลิเมตร การวัดอุณหภูมิของน้ำในหม้อใช้ thermocouple K-type ที่มีค่าความคลาดเคลื่อน ±1.1 องศาเซลเซียส การบันทึกข้อมูลใช้ data logger และการประมวลผลใช้ computer

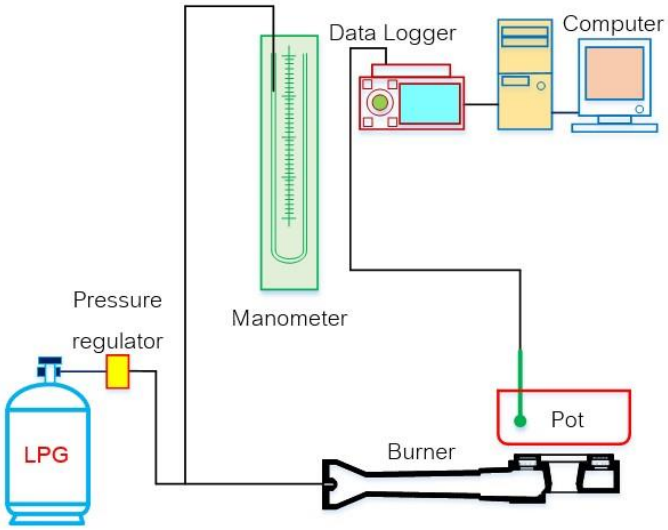


Figure 4 Diagram of the experiment.

สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา ซึ่งทำการพิจารณาประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์, มวลของน้ำ (m_{water}) มีหน่วยเป็น กิโลกรัม, ค่าความจุความร้อนของน้ำ ($Cp_{,water}$) มีหน่วยเป็น กิโลจูลต่อกิโลกรัมเคลวิน, อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น ($T_{water,i}$) มีหน่วยเป็นเคลวิน, อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊ส ($\dot{m}_g$) มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อวินาที, ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (LHV) มีหน่วยเป็น กิโลจูลต่อกิโลกรัม และเวลาที่ใช้ในการทดลอง (t) มีหน่วยเป็น วินาที โดยเป็นสมการที่ใช้สำหรับคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สตามมาตรฐานเยอรมัน DIN-EN 203-2 (German Standards and Technical Rules, 1997) ดังสมการ (10)

$$\eta_{th} = \frac{m_{water} \text{x} Cp_{,water} \text{x} (363 - T_{water,i})}{\dot{m}_g \text{x} LHV \text{x} t} \qquad (10)$$

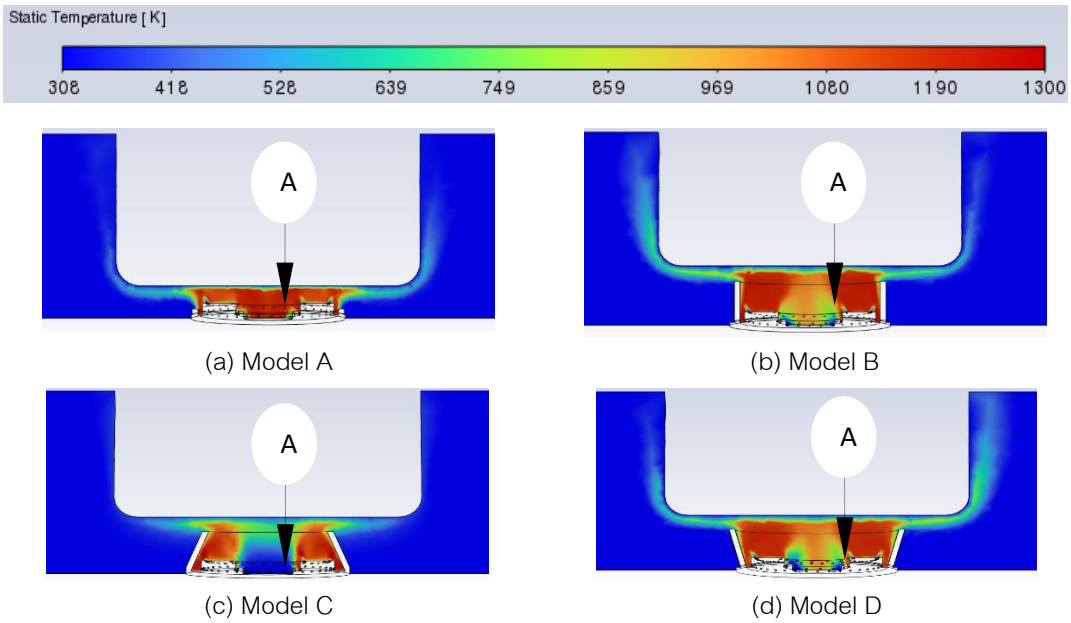
ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการยืนยันผลกับการทดองโดยใช้ thermocouple K-type วัดอุณหภูมิเปลวไฟที่ตำแหน่งต่าง ๆ บริเวณเหนือหัวเตา เช่นเดียวกับการศึกษาของ Matthujak, Wichangarm, Sriveerakul, Sucharitpwatskul, & Phongthanapanich (2021) พบว่าผลการจำลองและผลการทดลองมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงสุดไม่เกิน 5.35 เปอร์เซ็นต์ จาก (Figure 5a) แสดงแถบสีของอุณหภูมิที่ระนาบกึ่งกลางเตาของ model A ซึ่งไม่มีแผ่นครอบบังลม

ครอบหัวเตา พบว่า บริเวณห้องเผาไหม้จะมีอุณหภูมิที่สูงเมื่อเปลวไฟพุ่งชนภาชนะเหนือหัวเตา เปลวไฟส่วนหนึ่งจะสัมผัสกับก้นภาชนะจากนั้นจะไหลสู่ส่วนโค้งและด้านข้างของภาชนะเพื่อถ่ายเทความร้อนของเปลวไฟสู่ภาชนะก่อนจะลอยสู่บรรยากาศ และเปลวไฟส่วนที่เหลือจะม้วนตัวลงและไหลออกไปที่ช่องของอากาศส่วนที่สอง (A) ซึ่งมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง (สังเกตจากแถบสีแสดงอุณหภูมิ) ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนเป็นอย่างมาก ในขณะที่ทำการทดลองอุณหภูมิแวดล้อมเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส หรือ 308 เคลวิน จึงกำหนดอุณหภูมิอากาศแวดล้อมรอบเตาในแบบจำลองเท่ากับ 308 เคลวิน ในผลการจำลองจึงทำให้อากาศแวดล้อมประมาณ 308 เคลวิน แต่ภายในห้องเผาไหม้จะมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศแวดล้อมเพราะได้รับอิทธิพลของการเผาไหม้เชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ และอุณหภูมิค่อยๆ ลดลงเมื่อระยะทางจากห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้น

จาก (Figure 5b-d) แสดงแถบสีของอุณหภูมิที่ระนาบกึ่งกลางเตาของ model B, model C และ model D ตามลำดับ ซึ่งมีแผ่นครอบบังลมรูปทรงที่ต่างกันครอบห้องเผาไหม้ พบว่า พฤติกรรมการกระจายตัวของอุณหภูมิของเปลวไฟคล้ายกันคือเปลวไฟอุณหภูมิสูงที่พุ่งออกจากรูหัวเผาจะพุ่งชนกับก้นภาชนะที่วางเหนือหัวเตา เปลวไฟบางส่วนพุ่งชนแผ่นครอบบังลมทำให้เปลวไฟไม่กระจายออกสู่ด้านนอก เปลวไฟส่วนหนึ่งจะสัมผัสกับก้นภาชนะจากนั้นจะไหลสู่ส่วนโค้งและด้านข้างของภาชนะเพื่อถ่ายเทความร้อนของเปลวไฟสู่ภาชนะก่อนจะลอยสู่บรรยากาศ และเปลวไฟอีกส่วนหนึ่งจะม้วนตัวลงมาที่ช่องของอากาศส่วนที่สอง (A) แต่อุณหภูมิของเปลวไฟที่ออกไปทางช่องอากาศส่วนที่สองจะต่ำกว่า model A (สังเกตจากแถบสีของอุณหภูมิ) เมื่อพิจารณา (Figure 5c) (model C) เกี่ยวกับอุณหภูมิของเปลวไฟที่ไหลออกไปทางช่องอากาศส่วนที่สองจะพบว่า model C มีน้อยที่สุด (สังเกตจากแถบสีของอุณหภูมิ) เนื่องจากรูปทรงของแผ่นครอบบังลมเป็นรูปทรงกรวยตัดคว่ำจึงทำให้เปลวไฟเมื่อพุ่งชนกับภาชนะเหนือหัวเตาและแผ่นครอบบังลมแล้วทำให้เปลวไฟเกิดการม้วนตัวภายในห้องเผาไหม้ได้ดีกว่าแผ่นครอบบังลมแบบทรงกระบอก (model B) และแผ่นครอบบังลมทรงกรวยตัดปลายหงาย (model D) (สังเกตจากแถบสีของอุณหภูมิ) นอกจากนี้ยังพบว่าแผ่นครอบบังลมยังช่วยลดการฟุ้งกระจายของเปลวไฟบริเวณห้องเผาไหม้และบริเวณใกล้เคียง ทำให้ลดการการสูญเสียความร้อนบริเวณดังกล่าวค่อนข้างมาก

จาก (Figure 6a) แสดงเวคเตอร์ความเร็วที่ระนาบกึ่งกลางเตาของ model A ซึ่งไม่มีแผ่นครอบบังลมครอบหัวเตา พบว่า เมื่อเกิดการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ ทำให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงกว่าบริเวณรอบ ๆ อากาศที่อุณหภูมิสูงจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้จะลอยขึ้นที่สูงทำให้อากาศบริเวณรอบ ๆ ซึ่งมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ นอกจากนี้เมื่อสังเกตจาก (Figure 6a) พบว่าอากาศร้อนภายในห้องเผาไหม้ที่เคลื่อนที่ไปชนกับภาชนะเหนือหัวเตา อากาศร้อนบางส่วนจะม้วนตัวและเคลื่อนที่ออกไปทางช่องอากาศส่วนที่สอง ดัง (Figure 6a) A ด้วยความเร็วที่ค่อนข้างสูง (สังเกตจากเวคเตอร์ความเร็ว) ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนบริเวณดังกล่าว



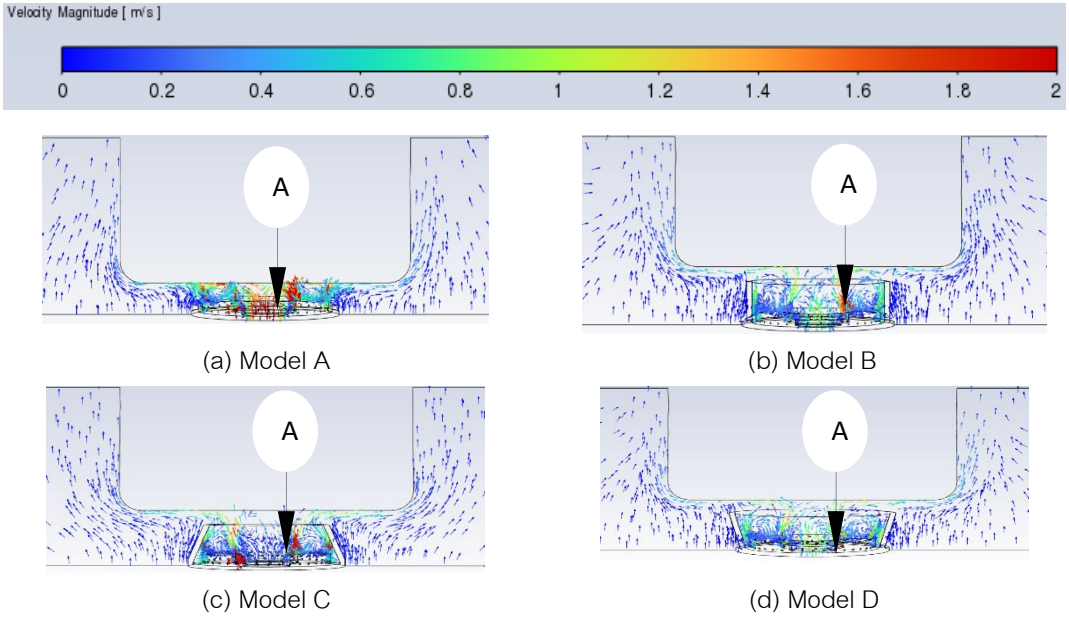
(a) Model A (b) Model B

(c) Model C (d) Model D

Figure 5 Contours of temperature.

จาก (Figure 6a) แสดงเวคเตอร์ความเร็วที่ระนาบกึ่งกลางเตาของ model A ซึ่งไม่มีแผ่นครอบบังลมครอบหัวเตา พบว่า เมื่อเกิดการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ ทำให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงกว่าบริเวณรอบ ๆ อากาศที่อุณหภูมิสูงจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้จะลอยขึ้นที่สูงทำให้อากาศบริเวณรอบ ๆ ซึ่งมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ นอกจากนี้เมื่อสังเกตจาก (Figure 6a) พบว่าอากาศร้อนภายในห้องเผาไหม้ที่เคลื่อนที่ไปชนกับภาชนะเหนือหัวเตา อากาศร้อนบางส่วนจะม้วนตัวและเคลื่อนที่ออกไปทางช่องอากาศส่วนที่สอง ดัง (Figure 6a) A ด้วยความเร็วที่ค่อนข้างสูง (สังเกตจากเวคเตอร์ความเร็ว) ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนบริเวณดังกล่าว

จาก (Figure 6b-d) แสดงเวคเตอร์ความเร็วที่ระนาบกึ่งกลางเตาของ model B, model C และ model D ตามลำดับ ซึ่งมีแผ่นครอบบังลมรูปทรงที่ต่างกันครอบห้องเผาไหม้ พบว่า พฤติกรรมการกระจายตัวของความเร็วของอากาศคล้ายกันคือ ความเร็วของอากาศภายในแผ่นครอบบังลมจะเกิดการม้วนตัวก่อนที่จะเคลื่อนที่ไปชนกับภาชนะเหนือหัวเตา นอกจากนี้เมื่อสังเกตจาก (Figure 6c) (model C) พบว่าอากาศส่วนที่สองจะเคลื่อนที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้ เนื่องจากรูปทรงของแผ่นครอบบังลมที่เป็นรูปทรงกรวยตัดคว่ำที่ส่งผลให้อากาศร้อนเกิดการม้วนตัวในห้องเผาไหม้และดูดอากาศส่วนที่สองได้ดีกว่า แต่ model B และ model D ยังพบว่ามีอากาศร้อนบางส่วนจากห้องเผาไหม้มีการเคลื่อนที่ออกไปทางช่องอากาศส่วนที่สอง เนื่องจากผลของรูปทรงของแผ่นครอบบังลมที่ส่งผลให้การม้วนตัวของอากาศร้อนในห้องเผาไหม้และการดูดอากาศส่วนที่สองไม่ดีเท่าที่ควร ดัง (Figure 6b & d) ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนบริเวณดังกล่าวนี้



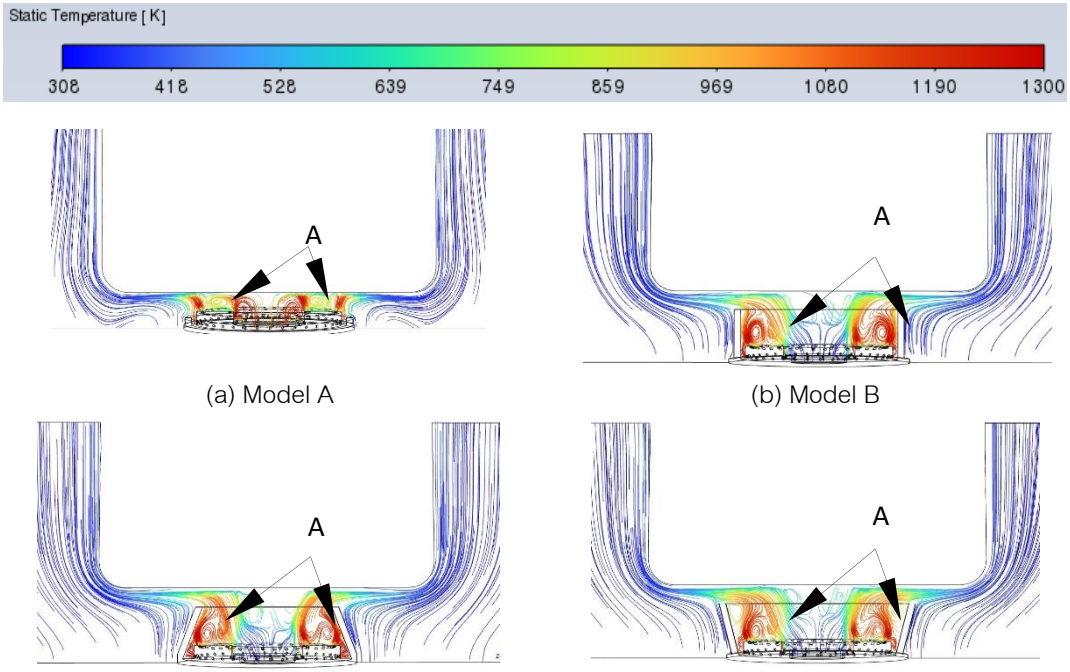
(a) Model A (b) Model B

(c) Model C (d) Model D

Figure 6 Velocity vector.

จาก (Figure 7a) แสดงเส้นทางการไหลของอุณหภูมิที่ออกจากรูหัวเตาของ model A ซึ่งไม่มีแผ่นครอบบังลมครอบห้องหัวเตา พบว่า เปลวไฟอุณหภูมิสูงที่พุ่งออกจากรูหัวเผาจะพุ่งชนกับก้นภาชนะที่วางเหนือหัวเตาทำให้เกิดการม้วนตัวที่บริเวณห้องเผาไหม้ (A) เปลวไฟส่วนหนึ่งจะสัมผัสกับก้นภาชนะจากนั้นจะไหลสู่ด้านข้างภาชนะเพื่อถ่ายเทความร้อนของเปลวไฟสู่ภาชนะก่อนลอยสู่บรรยากาศ และเปลวไฟอีกส่วนหนึ่งจะม้วนตัวลงมาที่ช่องของอากาศส่วนที่สอง ซึ่งอุณหภูมิค่อนข้างสูง (สังเกตจากสีของเส้นทางการไหลของอุณหภูมิ) นอกจากนี้ยังพบว่ามีการฟุ้งกระจายของเปลวไฟบริเวณห้องเผาไหม้และบริเวณใกล้เคียงอีกด้วย ทำให้สูญเสียความร้อนบริเวณดังกล่าวค่อนข้างมาก

จาก (Figure 7b-d) แสดงเส้นทางการไหลของอุณหภูมิที่ออกจากรูหัวเตาของ model B, model C และ model D ตามลำดับ ซึ่งมีแผ่นครอบบังลมครอบห้องเผาไหม้ พบว่า พฤติกรรมการไหลของเปลวไฟจะคล้ายกันคือ เปลวไฟอุณหภูมิสูงที่พุ่งออกจากรูหัวเผาจะพุ่งชนกับก้นภาชนะที่วางเหนือหัวเตา เปลวไฟบางส่วนพุ่งชนแผ่นครอบบังลมทำให้เกิดการม้วนตัวที่บริเวณห้องเผาไหม้ (A) เปลวไฟส่วนหนึ่งจะสัมผัสกับก้นภาชนะจากนั้นจะไหลสู่ด้านข้างภาชนะเพื่อถ่ายเทความร้อนของเปลวไฟสู่ภาชนะก่อนลอยสู่บรรยากาศ และเปลวไฟอีกส่วนหนึ่งจะม้วนตัวลงมาที่ช่องของอากาศส่วนที่สอง แต่อุณหภูมิของเปลวไฟที่ออกไปทางช่องอากาศส่วนที่สองจะต่ำกว่า model A (สังเกตจากสีของเส้นทางการไหลของอุณหภูมิ) นอกจากนี้ยังพบว่าแผ่นครอบบังลมยังช่วยลดการฟุ้งกระจายของเปลวไฟบริเวณห้องเผาไหม้และบริเวณใกล้เคียง ทำให้ลดการการสูญเสียความร้อนบริเวณดังกล่าวค่อนข้างมาก



(a) Model A (b) Model B

Figure 7 Pathlines of temperature.

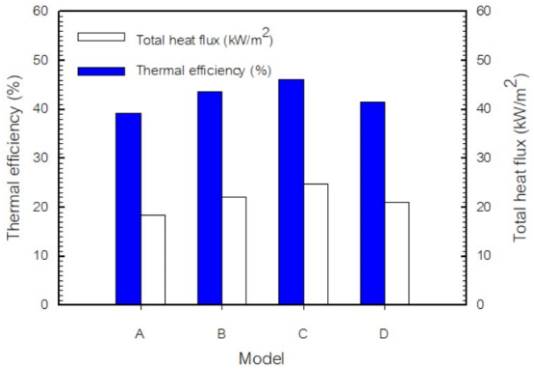


Figure 8 Comparison between thermal efficiency and total heat flux of model A, model B, model C and model D.

จาก (Figure 8) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อน (thermal efficiency) และฟลักซ์ความร้อนรวม (total heat flux) ของเตา model A, model B, model C และ model D เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพเชิงความร้อนซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดลอง พบว่า model C ซึ่งเป็นเตาที่มีแผ่นครอบบังลมครอบห้องเผาไหม้ที่มีรูปทรงกรวยปลายตัดคว่ำมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุด เท่ากับ 46.18 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจาก model C มีแผ่นครอบบังลมรูปทรงกรวยปลายตัดคว่ำครอบหัวเตาจึงทำให้เปลวไฟไหลมารวมตรงกึ่งกลางห้องเผาไหม้ก่อนจะพุ่งไปยังกึ่งกลางก้นภาชนะที่อยู่เหนือหัวเตา จึงส่งผลให้ model C มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุด รองลงมาคือ model B, model D และ model A ซึ่งมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนประมาณ 43.62, 41.52 และ 39.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาฟลักซ์ความร้อนรวม ซึ่งฟลักซ์ความร้อนรวมเป็นค่าที่ได้จาก CFD ซึ่งใช้สำหรับการประเมินประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา และการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะ โดย model C มีการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะดีที่สุดคือมีฟลักซ์ความร้อนรวมประมาณ 24.73 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร รองลงมาคือ model B, model D และ model A ซึ่งมีฟลักซ์ความร้อนรวมประมาณ 22.18, 20.96 และ 18.32 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ เนื่องจาก model C มีแผ่นครอบบังลมรูปทรงกรวยปลายตัดคว่ำครอบหัวเตาจึงทำให้เปลวไฟไหลมารวมตรงกึ่งกลางห้องเผาไหม้ก่อนจะพุ่งไปยังกึ่งกลางก้นภาชนะที่อยู่เหนือหัวเตา ซึ่งพฤติกรรมการไหลของเปลวไฟสอดคล้องกับ (Figure 7c) ที่ได้จากแบบจำลอง โดยจะสังเกตได้ว่าพฤติกรรมการไหลของเปลวไฟของ model C จะค่อนข้างแตกต่างจาก model B และ model D คือเปลวไฟอุณหภูมิสูงจากห้องเผาไหม้จะพุ่งชนกับแผ่นครอบบังลมที่มีลักษณะรูปทรงกรวยปลายตัดคว่ำ จึงทำให้เปลวไฟอุณหภูมิสูงเกิดการม้วนตัวภายในห้องเผาไหม้ ดัง (Figure 7c) (ตำแหน่ง A) ข้อดีของการม้วนตัวของเปลวไฟนี้คือทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนของเปลวไฟอุณหภูมิสูงในห้องเผาไหม้ ทำให้เปลวไฟที่ออกจากห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงตามไปด้วย และเนื่องจาก model C มีแผ่นครอบบังลมรูปทรงกรวยปลายตัดคว่ำจึงทำให้เปลวไฟอุณหภูมิสูงจากห้องเผาไหม้ไหลมารวมกันที่บริเวณกึ่งกลางห้องเผาไหม้ก่อนที่จะไหลไปยังก้นภาชนะ ส่วนโค้งภาชนะ และด้านข้างของภาชนะ ทำให้เปลวไฟมีเวลาสัมผัสกับภาชนะได้นานกว่า model A, model B และ model D ถึงแม้ model B และ model D จะเกิดการม้วนตัวในห้องเผาไหม้ ดัง (Figure 7b & d) (ตำแหน่ง A) คล้ายกับ model C แต่ด้วยลักษณะทางกายภาพของรูปทรงแผ่นครอบบังลมที่เป็นรูปทรงกระบอกและรูปทรงกรวยปลายตัดหงาย ดัง (Figure 7b & d) ตามลำดับ ที่ไม่สามารถบังคับให้เปลวไฟไหลมารวมกันที่กึ่งกลางห้องเผาไหม้ได้ ดังนั้นด้วยรูปทรงของแผ่นครอบบังลมจึงส่งผลให้ model C มีฟลักซ์ความร้อนรวมสูงที่สุด ผลของฟลักซ์ความร้อนรวม มีความสอดคล้องกับผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน และสอดคล้องกับการศึกษาของ Wichangarm, Matthujak, Sriveerakul, Sucharitpwatskul, & Phongthanapanich (2019); Wichangarm, Matthujak, Sriveerakul, Sucharitpwatskul, & Phongthanapanich (2020); Matthujak, Wichangarm, Sriveerakul, Sucharitpwatskul, & Phongthanapanich (2021) ที่กล่าวว่ารูปทรงของแผ่นครอบบังลมที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงในแบบจำลองเมื่อนำมาสร้างและทดสอบจริงจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าแผ่นครอบบังลมที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำกว่า

สรุป

จากการศึกษาผลของรูปทรงแผ่นครอบบังลมต่อการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะของเตาแก๊ส KB-5 โดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ พบว่า model C มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 46.18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าสูงขึ้น 17.96 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบ model A และ model C มีฟลักซ์ความร้อนรวมสูงสุดเท่ากับ 24.73 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าสูงขึ้น 34.99 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับ model A นอกจากนี้ในแบบจำลองยังพบว่า model C

มีการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะเหนือหัวเตาได้ดีกว่า model A, model B และ model D จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ model C มีค่าสูงสุด จากการศึกษาผลของรูปทรงแผ่นครอบบังลมต่อการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะของเตาแก๊ส KB-5 โดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ซึ่งพบว่า model C ที่มีแผ่นครอบบังลมรูปทรงกรวยปลายตัดคว่ำ เนื่องจากรูปทรงกรวยปลายตัดคว่ำช่วยป้องกันเปลวไฟไหลออกไปยังช่องอากาศส่วนที่สองและสามารถควบคุมการไหลของเปลวไฟในห้องเผาไหม้ให้ไหลมารวมที่กึ่งกลางห้องเผาไหม้ก่อนที่เปลวไฟจะไหลไปถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะเหนือหัวเตาได้ดีกว่าแผ่นครอบบังลมรูปทรงอื่น การที่เปลวไฟไหลไปรวมกันที่กึ่งกลางห้องเผาไหม้มีข้อดีคือเปลวไฟที่ไหลจากห้องเผาไหม้จะพุ่งชนกึ่งกลางภาชนะเหนือหัวเตาทำให้เพิ่มเวลาและเพิ่มพื้นที่เปลวไฟสัมผัสกับภาชนะจึงส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะและมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุด โดยผลการศึกษาที่ได้มีความสอดคล้องกันทั้งแบบจำลองและการทดลอง นับว่าวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณมีศักยภาพสูงสามารถนำไปต่อยอดพัฒนาแผ่นครอบบังลมเตาโดยศึกษาจำลองรูปทรงแผ่นครอบบังลมเตาลักษณะอื่น ๆ เพื่อให้เตามีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงขึ้นต่อไป

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ANSYS. (2013). *Ansys fluent theory guide*. Canonsburg, Pennsylvania: ANSYS.

Aroonjarattham, P. (2015). The parametric studied of high pressure gas burner affect thermal efficiency. *Engineering Journal*, *20*(3), 33-48.

Boggavarapu, P., Ray, B., & Ravikrishna, R. V. (2014). Thermal efficiency of LPG and PNG-fired burners: Experimental and numerical studies. *Fuel*, *116* (2014), 709-175.

German Standards and Technical Rules. (1997). *DIN EN 203-2: Gas-heated catering equipment*. German technical standard.

Jenjit, J. (2010). *Thermal efficiency improvement at household cooking burner by porous radiant recalculated cover* (Master's thesis). Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani.

Khongsanthear, V., & Krittacom, B. (2012). Domestic gas stove using combined porous material. *Proceeding of ME-NETT 26th Conferences* (AEC 2058). Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi.

Matthujak, A., Wichangarm, M., Sriveerakul, T., Sucharitpwatskul, S., & Phongthanapanich, S. (2021). Numerical investigation on the influences of swirling flow to thermal efficiency enhancement of an LPG-energy saving burner. *Case Studies in Thermal Engineering*, *28*(2021), 101466.

Matthujak, A., Chanakul, T., Wichangarm, M., Sriveerakul, T., Chanthamas, B., Sucharitpwatskul, S., & Phongthanapanich, S. (2020). 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*, *14*(1), 70-81.

Tamir, A., Elperin, I., & Yotzerx, S. (1988). Performance characteristics of a gas burner with a swirling central flame. *Energy*, *14*(7), 373-382.

Tawonwan, T., & Wansao, C. (2016). A study of behavior of the air flow through circular cylinder rows in the low speed wind tunnel with computational fluid dynamics technique. *RMUTSB Academic Journal*, *4*(1), 32-45.

Wae-hayee, M., Yeranee, K., Suksuwan, W., & Nuntadusit, C. (2021). Effect of burner-to-plate distance on heat transfer rate in a domestic stove using LPG. *Case Studies in Thermal Engineering*, *28*(2021), 101418.

Wichangarm, M., & Matthujak, A. (2022). Simulation on flow behavior KB-5 burner using computational fluid dynamics. *Proceeding of the 5th National Conference on Science, Technology and Innovation: Technology, Creative Innovation and Entrepreneurship* (pp. 357-364). Bangkok: Rajamangala University of Technology Phra Nakhon.

Wichangarm, M., Matthujak, A., Sriveerakul, T., Sucharitpwatskul, S., & Phongthanapanich, S. (2020). Investigation on thermal efficiency of LPG cooking burner using computational fluid dynamics. *Energy*, *203*(2020), 117849.

Wichangarm, M., Matthujak, A., Sriveerakul, T., Sucharitpwatskul, S., & Phongthanapanich, S. (2019). A study on effect of swirling flow on behavior of heat transfer to vessel of high pressure cooking stove by computational fluid dynamics. *Proceeding of ME-NETT 33rd Conferences* (AEC003). Mahasarakham: Mahasarakham University.

Wichangarm, M., Matthujak, A., Sriveerakul, T., Sucharitpwatskul, S., & Phongthanapanich, S. (2018). Simulation study of LPG cooking burner. *International Journal of Engineering & Technology*, *7*(3.7), 142-144.

Wichangarm, M., Matthujak, A., Sriveerakul, T., & Sucharitpwatskul, S. (2016). Simulation of flow characteristics in an energy-saving high-pressure gas stove. *Proceeding of ME-NETT 30th Conferences* (CST0027). Songkhla: Prince of Songkla University.