



การจำลองพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาแก๊สแรงดันสูง ร่วมกับภาชนะก้นโค้งและภาชนะก้นแบน
ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Simulation of the Combustion Behavior of High Pressure Gas Stove Together with Curved
Bottom and Flat Bottom Containers using Computational Fluid Dynamics

ภัทรารวรรณ ชิมชม อนิรุตต์ มัทธูจาร์* ณัฐพล ชูจิตร และ ธนรัฐ ศรีวีระกุล

Phattharawan Chimchom, Anirut Matthujak*, Natthaphon Chuchitr and Thanarath Sriveerakul

ห้องปฏิบัติการการประยุกต์ใช้ลำเจ็ทและการเผาไหม้

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Combustion and Jet Application Research Laboratory, CJARL

Department of Mechanical Engineering, Ubon Ratchathani University

*E-mail : Anirut.m@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาแก๊สแรงดันสูง ร่วมกับภาชนะก้นโค้งและภาชนะก้นแบน ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) ในการจำลองจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Fluent 6.3 โดยใช้แบบจำลอง 3 มิติ (3D model) ที่มีขนาดเท่ากับหัวเตาที่ใช้จริง รวมถึงขนาดและลักษณะของภาชนะ โดยพฤติกรรมการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจะถูกแสดงผลในรูปของอุณหภูมิและความเร็ว และจากแบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้อธิบายและแสดงผลลักษณะการเผาไหม้ได้อย่างชัดเจน สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการเลือกใช้ภาชนะที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงรูปร่างของภาชนะและการใช้งาน จะทำให้ปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจีลดลง

คำสำคัญ : เตาแก๊สแรงดันสูง รูปร่างภาชนะ พฤติกรรมการเผาไหม้ พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Abstract

This paper aims to study the combustion behavior of high-pressure gas stove together with curved bottom containers and flat bottom containers using computational fluid dynamics (CFD). Fluent 6.3 created the simulation model in 3D-model at the same size of the real burner. Including the size and nature of the container the resulting combustion behavior, the combustion behavior they revealed by temperature contour and a velocity vector. From this generated model, the combustion characteristics they are clearly explained and displayed. Could be applied for choosing the right container taking into account the shape of the container and its use will reduce the amount of LPG gas usage.

Keywords : High-Pressure Gas Stove, Container Shape, Combustion Behavior, Computational Fluid Dynamics.



บทนำ

เตาแก๊สหุงต้มเป็นอุปกรณ์ในครัวเรือนที่เป็นที่นิยมใช้งานกันอย่างกว้างขวางทั้งในประเทศไทยและในกลุ่มประเทศที่กำลังพัฒนา เนื่องจากใช้งานง่าย ปลอดภัย และราคาไม่แพง แต่ด้วยปัญหาด้านพลังงานและด้านมลพิษซึ่งเป็นที่ทราบกันดี จึงทำให้มีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาเตาแก๊สให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้นและลดการปล่อยมลพิษอย่างต่อเนื่อง โดยมีนักวิจัยพยายามทำการพัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สอย่างแพร่หลาย ซึ่ง วสันต์ (2548) ได้ทำการศึกษาโดยใช้เตาแก๊ส KB-10 จากแบบทั่วไป (CB) ซึ่งมีเปลวไฟไหลตามรัศมี มาเป็นแบบหมุนวน (Swirl Burner, SB) และนำมาประกอบเข้ากับโครงสร้างที่มีการหมุนเวียนความร้อน (Porous Radiant Recirculated Burner, PRRB) โดยทดลองร่วมกับภาชนะก้นโค้ง ภาชนะก้นแบน และกระทะ พบว่า หัวเตาแบบ CB มีระยะห่างระหว่างหัวเตากับก้นภาชนะ (H) ที่เหมาะสมอยู่ที่ 63 mm (2.5 in) ในทุก ๆ รูปร่างภาชนะโดยประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th}) สูงสุดของภาชนะก้นโค้ง ภาชนะก้นแบน และกระทะ อยู่ที่ร้อยละ 33.24, 35.83 และ 31.01 ตามลำดับ และเมื่อเปลี่ยนเป็น PRRB(SB) ซึ่งมีระยะ H ของแต่ละภาชนะไม่เท่ากัน โดยภาชนะก้นโค้ง H = 127 mm (5 in) มี η_{th} สูงสุดร้อยละ 45.02 ภาชนะก้นแบน H = 165 mm (6.5 in) มี η_{th} สูงสุดร้อยละ 44.27 และกระทะ H = 114.3 mm (4.5 in) มี η_{th} สูงสุดร้อยละ 43.38 ซึ่งพบว่า η_{th} ของ PRRB(SB) เพิ่มขึ้นในทุก ๆ ภาชนะ เนื่องจากอิทธิพลของการหมุนเวียนความร้อนและปริมาณ CO ต่ำสุดของ PRRB(SB) ของทุก ๆ ภาชนะ โดยภาชนะก้นโค้งมี CO = 72.72 ppm ภาชนะก้นแบนมี CO = 140.3 ppm และ PRRB(SB) มีการประหยัดพลังงาน (%Energy Saving) สูงสุดของภาชนะก้นโค้ง ภาชนะก้นแบน และกระทะ ที่ร้อยละ 30.65, 25.13 และ 26.476 ตามลำดับ ต่อมา จารุณี (2549) ได้ทำการพัฒนาเตาแก๊สขนาด KB-5 ทั่วไป (Conventional Burner, CB) มาเป็นแบบหมุนวน (Swirl Burner, SB) ใช้ควบลูกแก้ววัสดุพอร์ (Porous Radiant Recirculated Burner, PRRB) โดยอาศัยหลักการหมุนเวียนความร้อน ทำการทดลองกับภาชนะ 2 แบบ คือ ภาชนะก้นแบน (หม้อ) และภาชนะก้นโค้ง (กระทะ) พบว่า เมื่อใช้หม้อเป็นภาชนะก้นแบน พบว่า η_{th} , CO และ NO_x สูงสุดของ PRRB (SB) คือ ประมาณร้อยละ 60, 159 ppm และ 202 ppm ตามลำดับ และเมื่อใช้กระทะเป็นภาชนะ พบว่า η_{th} , CO และ NO_x สูงสุดของ PRRB (SB) คือ ประมาณร้อยละ 40 ที่ 162 ppm และ 159 ppm ตามลำดับ และ Sutar et al. (2020) ได้ทำการทดลองเพื่อหาความเหมาะสมของขนาดภาชนะในการประกอบอาหาร ร่วมกับเตาแก๊สแอลพีจีขนาดเล็ก โดยมีการเลือกใช้ภาชนะขนาดแตกต่างกัน และใช้เปลวไฟ 3 รูปแบบ คือ ไฟสูง ไฟปานกลาง และไฟต่ำ ซึ่งจากการทดลอง พบว่า การเลือกใช้ภาชนะที่เหมาะสมกับวัตถุดิบ ปริมาณ โดยคำนึงถึงขนาดของภาชนะและขนาดของหัวเตาทำให้ปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจีลดลง และในการทดลองนี้ภาชนะก้นโค้งจะดีกว่าภาชนะก้นแบนที่มีขนาดเท่ากันในการใช้กับเตาขนาดเล็ก เนื่องจากภาชนะก้นโค้งมีพื้นที่ในการรับความร้อนที่มากกว่า ทำให้สามารถลดปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจีลง

ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาทำให้ทราบว่ารูปทรงของภาชนะมีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน และภาชนะที่นิยมใช้ในกระบวนการกลั่นน้ำมันมักถูกออกแบบให้มีลักษณะเฉพาะเป็นก้นโค้งรูปทรงคล้ายลูกจันทร์ และเตาที่ใช้ในปัจจุบันอาจยังไม่เหมาะสม จึงได้มีแนวคิดในการพัฒนาเตาให้มีความเหมาะสมต่อลักษณะของภาชนะ รวมถึงลักษณะการใช้งานในกระบวนการผลิต เพื่อให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้น โดย Montgomery (2001) ได้นำวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Method, RSM) เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์และสถิติ ที่เป็นประโยชน์ในการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ปัญหาซึ่งแสดงผลตอบสนองต่อผลจากตัวแปรต่าง ๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจุดหรือความเหมาะสมต่อผลนั้น ซึ่ง RSM เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพกับกระบวนการที่มีความซับซ้อน ทำให้ง่ายในการจัดการและการอธิบายผล เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น และสามารถใช้สำหรับการปรับให้เหมาะสมหลายวัตถุประสงค์ RSM หรือ Metamodels เป็นแบบจำลองทางสถิติที่ใกล้เคียงกับผลลัพธ์ของระบบ แนวคิดคือการออกแบบให้มีจำนวนจำกัด และสร้างฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่สามารถทำนายพฤติกรรมของตัวแปรตอบสนองได้ RSM เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการใช้งานการออกแบบทางวิศวกรรม เนื่องจากความเรียบง่ายเมื่อตัวแปรการออกแบบมีจำนวนน้อย



และการตอบสนองไม่เป็นเชิงเส้นมาก แสดงให้เห็นว่า RSM เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ตามแบบจำลอง โดย Hatami and Heydari (2021) ได้ทำการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนสำหรับหัวเตาหมุนวนในแนวสัมผัสสำหรับเตาหมุนของ Luleh Gostar of Esfarayen (LGE) ของอุตสาหกรรมท่อเหล็ก เพื่อประหยัดพลังงานและลดการปล่อยมลพิษ โดยปรับปรุงกระบวนการเผาไหม้ในเตาเผา มีพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวกระจายอากาศ (DD), ระยะห่างระหว่างช่อง (CS) และความยาวท่อทางเข้าเชื้อเพลิง (L) ได้รับการพิจารณาและปรับให้เหมาะสมโดยวิธีการตอบสนองพื้นผิว (RSM) ถูกนำมาใช้ในการจำลองด้วย ANSYS-Fluent ซึ่งผลการสร้างแบบจำลองยืนยันว่าวิธีการที่ใช้มีความแม่นยำ และต่อมา Sayyar and Davani (2021) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการบังคับกระแสสวนต่อปฏิกิริยาของเปลวไฟที่ไม่ผสมล่วงหน้า โดยใช้ CFD ในห้องเผาไหม้ทรงกระบอกที่มีเกลียวภายใน โดยใช้วิธีการตอบสนองพื้นผิว (RSM) ในการเพิ่มประสิทธิภาพความเสถียรของเปลวไฟและการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเปลวไฟ ซึ่งมีพารามิเตอร์ทางเรขาคณิต 2 แบบที่แตกต่างกันของเกลียว ได้แก่ ความกว้างและระยะพิทช์ที่ต่างกันไป และผลต่อการสร้างกระแสและการผสมภายในห้องผสมจะถูกตรวจสอบเพื่อหาเลขเรย์โนลด์ส์ต่าง ๆ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพโดยรวมของการเผาไหม้สามารถปรับปรุงได้โดยการปรับเปลี่ยนความกว้างและระยะห่างของเกลียว และ Brandão et al. (2021) ได้ทำการพัฒนากระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงสำหรับการจัดการของเสียที่เป็นฟีนอลิกที่เกิดจากออกซิเดชันทางความร้อนโดยใช้การบำบัดด้วยความร้อนแบบสัมผัสโดยตรง (DiCTT) สำหรับการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ โดยการสร้างแบบจำลองและการปรับผลลัพธ์ให้เหมาะสม ด้วยการใช้เทคนิค Computational Fluid Dynamics (CFD), Response Surface Method (RSM) และ Artificial Neural Network (ANN) ซึ่งเทคนิคเหล่านี้แสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มที่ดีในการทำนายการเสื่อมสภาพของสารปนเปื้อนและในการเพิ่มประสิทธิภาพกลไกประเภทนี้

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สอย่างแพร่หลาย โดยการนำเทคโนโลยีวัสดุพรุนมาประยุกต์ใช้ (Jugjai et al., 2001; Makmool et al., 2007) ซึ่งทำการศึกษาโดยการนำวัสดุพรุน (Porous media) มาประยุกต์ใช้เพื่อลดการสูญเสียความร้อนของแก๊สไอเสียจากการพาความร้อน (Convection) และการสูญเสียพลังงานความร้อนของเปลวไฟจากการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) เนื่องจากวัสดุพรุนมีลักษณะเด่น คือ เป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตร (Surface area to volume ratio) ที่สูง จึงสามารถที่เปลี่ยนพลังงานกลับไปกลับมาระหว่างเอนทาลปีของแก๊สและการแผ่รังสีความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงถือได้ว่าวัสดุพรุนเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ที่มีประสิทธิภาพสูง

เทคนิคต่อมาที่นิยมใช้คือการปรับเปลี่ยนลักษณะรูทางออกของหัวเตา ซึ่ง Tamir et al. (1989) ได้ทำการศึกษาโดยการปรับเปลี่ยนเตาแก๊สแบบทั่วไป (Conventional Burner, CB) ให้เป็นเตาแก๊สแบบหมุนวน (Swirl Burner, SB) ซึ่งทำให้เกิดผลดีต่อการเผาไหม้และการถ่ายเทความร้อน เนื่องจากเพิ่มระยะเวลาในการผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศ จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้น เพิ่มระยะเวลาและพื้นที่ผิวสัมผัสในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างเปลวไฟกับกันภาชนะ ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และเพิ่มการดึงอากาศส่วนที่สอง (Secondary air) เข้ามาช่วยทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น โดยเป็นหลักการที่เน้นปรับปรุงการไหลของอากาศส่วนที่สอง (Secondary air) ที่ใช้ในการเผาไหม้และปรับเปลวไฟให้เหมาะสม ทำได้โดยการปรับเปลี่ยนรูทางออกของเตาแก๊สหันท้มให้มีมุมเอียง (Inclination angle, β) เท่ากับ 26 องศา และมุมเอียง (Swirl angle, α) เท่ากับ 15 องศา ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากเดิมเฉลี่ยร้อยละ 6 และทำการศึกษาโดยมุ่งเน้นพัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ส โดยมีวิธีเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน 3 วิธี คือ การลดการสูญเสียความร้อน การอุ่นอากาศ และการปรับปรุงลักษณะการฉีดแก๊ส โดยทั้ง 3 วิธีทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 15, 11 และ 6 ตามลำดับ

ในปัจจุบันมีเทคนิคหนึ่งที่ได้ได้รับความสนใจคือ การนำวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ ปรับปรุง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา (Boggavarapu et al.,



2014; Cadavid et al., 2014; Wichangarm et al., 2020; Matthujak et al., 2021) ซึ่งเป็นวิธีการพัฒนาหัวเตาที่กำลังได้รับความนิยมนมากขึ้น เนื่องด้วยข้อดีของ CFD คือ สามารถแสดงพฤติกรรมการไหลและการเผาไหม้ได้อย่างชัดเจน ดังนั้นจึงสะดวกในการปรับปรุงเตาแก๊สให้มีพฤติกรรมเผาไหม้และการถ่ายเทความร้อนจากเปลวไฟไปยังภาชนะให้เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้มีค่าสูงขึ้น และ CFD ช่วยให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในด้านการทดลองด้วย

อย่างไรก็ตามยังไม่มียังงานวิจัยใดนำเตาแก๊สแรงดันสูง (EB-10) ดังแสดงในภาพที่ 1 มาศึกษาวิจัยร่วมกับภาชนะก้นโค้งและภาชนะก้นแบน ดังนั้น บทความนี้จึงมีแนวคิดในการจำลองพฤติกรรมเผาไหม้ของเตาแก๊สแรงดันสูง มาศึกษาวิจัยร่วมกับภาชนะก้นโค้งและภาชนะก้นแบน เพื่อศึกษาพฤติกรรมเผาไหม้ของเตา กรณีใช้งานกับภาชนะรูปร่างแตกต่างกัน คือ ภาชนะก้นโค้ง และภาชนะก้นแบน เพื่อนำไปสู่การออกแบบลักษณะการฉีดแก๊สของหัวเตาที่เหมาะสมกับรูปร่างของภาชนะต่อไป



ภาพที่ 1 เตาแก๊สแรงดันสูง (EB-10)

วิธีการวิจัย

ในการจำลองพฤติกรรมการไหลและการเผาไหม้ของเตาแก๊สแรงดันสูง ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ANSYS FLUENT เวอร์ชัน 15.0 รูปแบบการจำลอง 3 มิติ (3D-Model) โดยพิจารณาการไหลแบบคงที่ (Steady state) จะแบ่งการจำลองออกเป็น 2 ส่วน (2 Parts) ส่วนที่ 1 คือ การจำลองพฤติกรรมภายในเตาโดยไม่มีการเผาไหม้ (Part 1) และส่วนที่ 2 คือ การจำลองพฤติกรรมเผาไหม้บริเวณรูทางออกของหัวเตารวมถึงบริเวณผิวของภาชนะโดยมีการเผาไหม้ (Part 2) ดังแสดงในภาพที่ 2 และเงื่อนไขขอบเขต ได้แสดงในภาพที่ 3

1. การจำลองพฤติกรรมภายในเตา กรณีไม่มีการเผาไหม้ (Part 1)

ตารางที่ 1 แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของตัวแปรการไหล โดยใช้ค่าจริงหรือใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองในการตั้งค่า เพื่อให้สามารถนำแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองได้ โดยมีการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตการจำลองพฤติกรรมภายในเตาโดยไม่มีการเผาไหม้ (Part 1)

ตารางที่ 1 เงื่อนไขขอบเขตการจำลองพฤติกรรมการไหลภายในเตา กรณีไม่มีการเผาไหม้ (Part 1)

Boundary Conditions and Models	Selected Values
Inlet Boundary Conditions	Air Inlet Gauge Pressure = 0 Pa LPG Inlet Gauge Pressure = 4 psi
Outlet Boundary Condition	Pressure Outlet (Air Outlet Gauge Pressure = 0 Pa)
Solver Type	Pressure-based
Time	Steady-state
Near-wall Treatment Method	Standard Wall Function
Turbulence Model	RNG $k-\epsilon$ Model
Other Model(s)	Species Transport

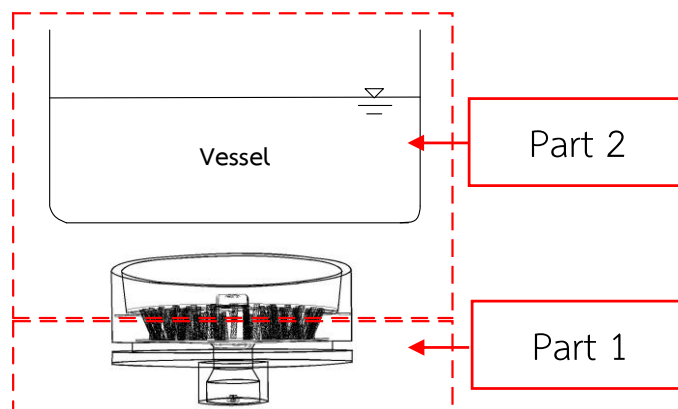
Boundary Conditions and Models	Selected Values
Propane: Butane	70 : 30
Operating Condition	Operating Pressure = 1 atm

2. การจำลองพฤติกรรมเผาไหม้บริเวณรูทางออกของหัวเตารวมถึงบริเวณผิวของภาชนะ กรณีมีการเผาไหม้ (Part 2)

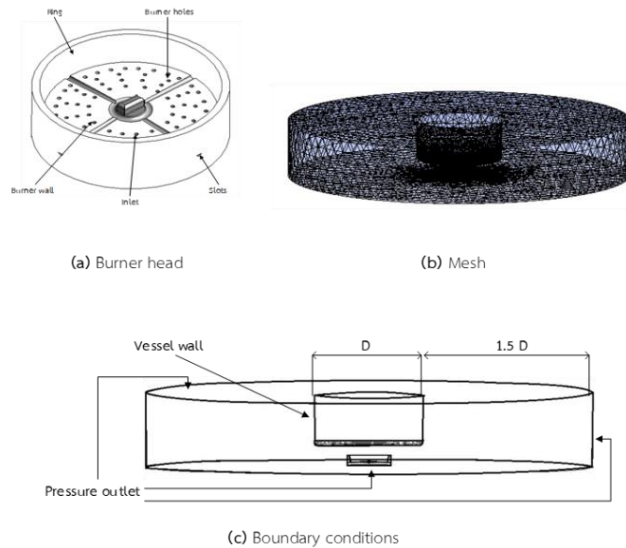
ในส่วนนี้คือการจำลองพฤติกรรมเผาไหม้ (Part 2) ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) แบบจำลอง 3 มิติ (3D-Model) โดยพิจารณาการไหลแบบคงที่ (Steady state) และมีการเผาไหม้ ซึ่งกำหนดขอบเขตเงื่อนไข ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เงื่อนไขขอบเขตของการจำลองพฤติกรรมเผาไหม้ (Part 2)

Boundary Conditions and Models	Selected Values
Inlet Boundary Conditions	Mass Flow Inlet (from Part 1) Mass Fractions of C_3H_8 , C_4H_{10} , N_2 and O_2 (from Part I) Air Inlet Gauge Pressure = 0 Pa
Outlet Boundary Condition	Pressure Outlet (Air Outlet Gauge Pressure = 0 Pa)
Solver Type	Pressure-based
Time	Steady-state
Near-wall Treatment Method	None
Turbulence Model	Standard $k-\epsilon$ Model
Radiation Model	Discrete Ordinates (DO) Radiation Model
Combustion Model	Eddy Dissipation Model
Operating Condition	Operating Pressure = 1 atm



ภาพที่ 2 บริเวณที่ใช้ในการศึกษาของแบบจำลองพฤติกรรมไหลและการเผาไหม้ของเตาแก๊สแรงดันสูง



ภาพที่ 3 กริดที่ใช้ในการศึกษา และเงื่อนไขขอบเขตการคำนวณของเตาแก๊สแรงดันสูง

ผลการวิจัย

1. การปรับปรุงหัวเตาด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD)

ผลการจำลอง CFD ของเตาแบบดั้งเดิม มีความสอดคล้องกับผลการทดลอง และการจำลองด้วย CFD สามารถอธิบายพฤติกรรมต่าง ๆ ของเตาแบบดั้งเดิมได้อย่างชัดเจน ทำให้มั่นใจได้ว่าสามารถนำไปพัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาได้ จึงมีแนวคิดที่จะทำการพัฒนาและปรับปรุงหัวเตาแบบดั้งเดิม (Conventional Burner, CB) และทำการปรับเปลี่ยนลักษณะของภาชนะที่ใช้ในแบบจำลองให้มีรูปร่าง ขนาด รวมถึงระยะห่างระหว่างหัวเตากับกันภาชนะ ตามลักษณะจริงกระบวนการสกัดน้ำมันกฤษณาที่ใช้ในโรงงาน โดยการนำวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Method, RSM) ซึ่งรวบรวมเทคโนโลยีทางสถิติและคณิตศาสตร์ที่เป็นประโยชน์สำหรับการพัฒนา ปรับปรุง และเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ นอกจากนี้ยังมีการใช้งานที่จำเป็นในการออกแบบ พัฒนา และกำหนดสูตรผลิตภัณฑ์ใหม่และการปรับปรุงการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ และในการทำนายผลของมุม ซึ่งได้จากการกำหนดค่ามุมด้วยการออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design, CCD) เป็นหนึ่งในวิธีการหาพื้นผิวผลตอบที่นิยมใช้เพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้ผลตอบเป็นไปตามเป้าหมาย หรือสร้างตัวแบบในลักษณะของโพลีโนเมียลดีกรี 2 (Second-order or Quadratic model) จากงานวิจัยต่าง ๆ พบว่าแผนการทดลองนี้จะมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน และมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแผนการทดลองอื่น ๆ ที่ใช้ศึกษาตัวแบบโพลีโนเมียลดีกรี 2 แบบแผนการทดลอง CCD มีข้อดีหลายประการ 1. เหมาะที่สุดในการศึกษาสมการโพลีโนเมียลดีกรี 2 (2 Second-order mode) ในการศึกษาปัจจัยเชิงปริมาณ (Quantitative factor) 2. มีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง เนื่องจากมีค่า Resolution ให้เลือกได้ครอบคลุมทุกค่า ดังนั้น ในการพัฒนาและปรับปรุงหัวเตา จึงได้นำวิธีการออกแบบ Central Composite Design (CCD) มาใช้ในการออกแบบ นอกจากนี้การออกแบบการทดลองแบบ CCD การวิเคราะห์ผลทางสถิติ และวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) ถูกกระทำโดยใช้โปรแกรม Design-Expert software (Version 10.0.3, Stat-Ease, Inc.) โดยได้นำปัจจัยที่มีนัยสำคัญ 2 ปัจจัย ได้แก่ มุมเงย (Inclination angle, β) และมุมเอียง (Swirl angle, α) ซึ่งกำหนดค่ามุมสูงสุดและต่ำสุดบริเวณรูทางออกของหัวเตาที่สามารถทำได้ในแบบจำลอง CFD ดังแสดงในตารางที่ 3



การพัฒนาและปรับปรุงหัวเตาโดยการนำ RSM มาทำนายผลของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบดั้งเดิม ทำให้ได้มุมเงย (Inclination angle, β) และมุมเอียง (Swirl angle, α) ของหัวเตาต่างกัน รูปแบบ 10 ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 รายละเอียดของมุมเงย (Inclination angle, β) และมุมเอียง (Swirl angle, α) สูงสุดและต่ำสุดบริเวณรูทางออกของหัวเตาที่สามารถทำได้ในแบบจำลอง CFD ของเตาแก๊สแรงดันสูง

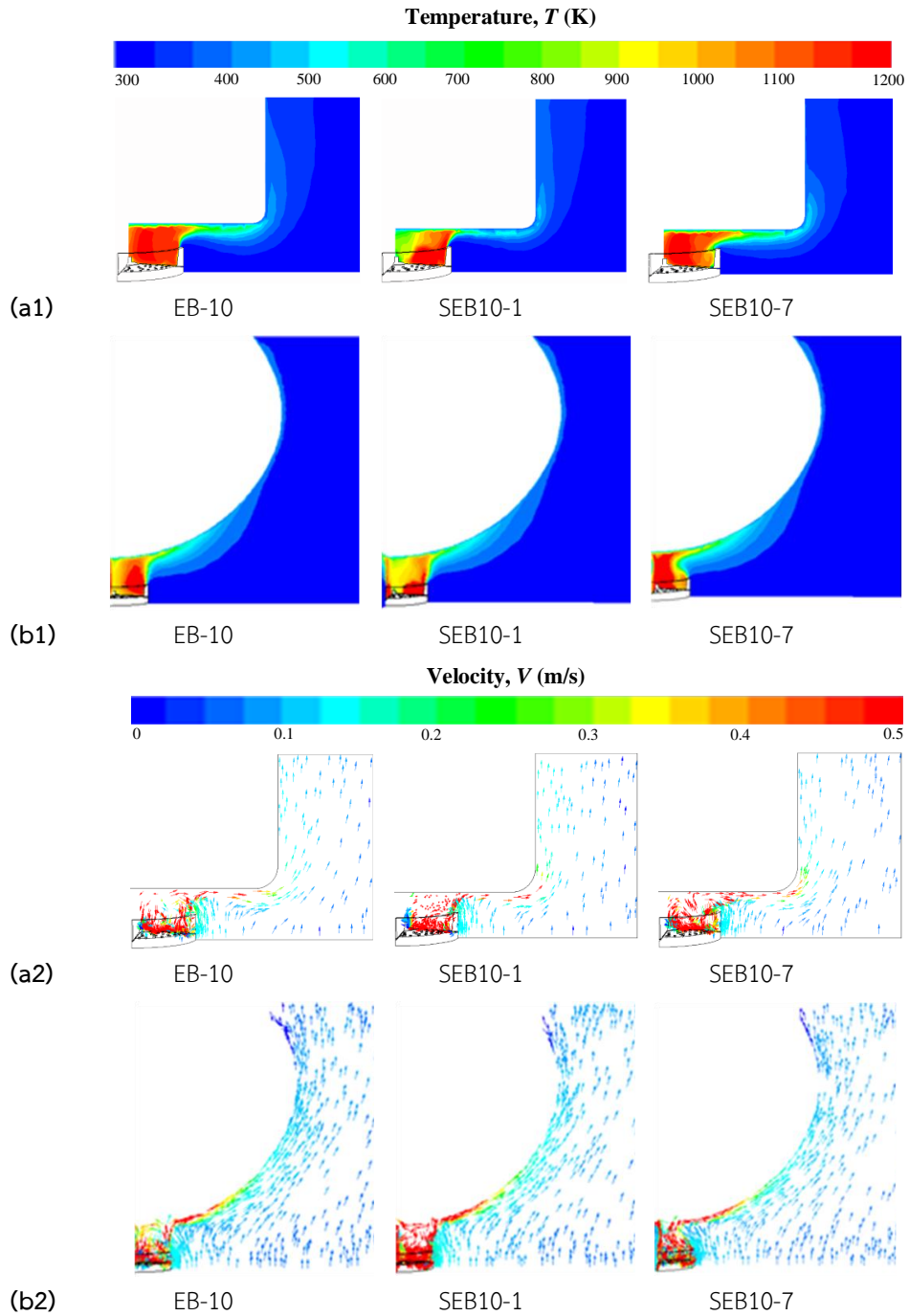
Burner	Inclination angle, β		Swirl angle, α	
	min	max	min	max
EB-10	68	85	0	24

ตารางที่ 4 รายละเอียดของมุมเงย (Inclination angle, β) และมุมเอียง (Swirl angle, α) ของเตาแก๊สแรงดันสูงที่ได้จาก Response Surface Method (RSM)

Burner	Inclination angle, β	Swirl angle, α
EB-10	85	0
SEB10-1	68	24
SEB10-2	89	12
SEB10-3	85	24
SEB10-4	77	29
SEB10-5	77	12
SEB10-6	77	5
SEB10-7	68	0
SEB10-8	65	12
SEB10-9	68	15

2. ผลการจำลองพฤติกรรมเผาไหม้ของเตาแก๊สแรงดันสูง EB-10 กรณีรูปร่างภาชนะแตกต่างกัน

การเปรียบเทียบแถบสีอุณหภูมิและเวกเตอร์ความเร็วของหัวเตาแบบดั้งเดิม (Conventional Burner, CB) กับหัวเตาที่มีการไหลแบบหมุนวน (Swirl Burner, SB) ที่ระนาบกึ่งกลาง โดยพิจารณาที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Fuel rate, Q_f) เดียวกันที่ 30 kW จากแบบจำลองพฤติกรรมเผาไหม้ของเตา EB-10 ตามรูปแบบของหัวเตาทั้ง 10 รูปแบบ ดังตารางที่ 4 กรณีรูปร่างภาชนะแตกต่างกัน คือ ภาชนะก้นแบน และภาชนะก้นโค้ง พบว่า เตาที่ทำการปรับทิศทางการไหลของแก๊สที่ส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนไปยังภาชนะก้นแบน คือเตา SEB1-10 และสำหรับภาชนะก้นโค้ง คือ เตา SEB10-7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เตาแต่ละรูปแบบมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานกับภาชนะที่รูปร่างแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 4 โดยความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สจะถ่ายเทให้แก่ภาชนะด้วยวิธีการพาความร้อนของไอเสียและการแผ่รังสีความร้อนของเปลวไฟ โดยปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทไปยังภาชนะจะเปลี่ยนแปลงตามขนาดหรือรูปร่างพื้นที่ผิวด้านก้นภาชนะ ถ้าพื้นผิวด้านก้นภาชนะมีมาก การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดี ส่วนความร้อนที่ถ่ายเทไปยังด้านข้างภาชนะ เป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการพาความร้อนของไอเสียและการแผ่รังสีความร้อนของไอเสีย



ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบแถบสีอุณหภูมิและเวกเตอร์ความเร็วของเตาแก๊สแรงดันสูง EB-10
(a) ภาชนะก้นแบน (b) ภาชนะก้นโค้ง



อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาแก๊สแรงดันสูง EB-10 ในกรณีรูปร่างภาชนะแตกต่างกัน ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) สามารถสรุปได้ดังนี้

1. แบบจำลองสามารถใช้ในการอธิบายพฤติกรรมการไหลและการเผาไหม้ของเตาแก๊สแรงดันสูง EB-10 ได้อย่างชัดเจน
2. เตาที่ทำให้การปรับทิศทางของไหลของแก๊สที่ส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนไปยังภาชนะก้นโค้ง คือ เตา SEB10-7 และภาชนะก้นแบน คือ เตา SEB10-1
3. ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทไปยังก้นภาชนะจะเปลี่ยนแปลงตามขนาดหรือรูปร่างพื้นที่ผิวด้านก้นภาชนะ ถ้าพื้นที่ผิวด้านก้นภาชนะมีมากการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดี
4. การเลือกใช้ภาชนะที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงรูปร่างของภาชนะและการใช้งาน ทำให้ปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจีลดลง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย จากหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.) ประจำปีงบประมาณ 2563 (Flagship 2563)

เอกสารอ้างอิง

- จารุณี จาบกลาง. (2549). *การพัฒนาเตาแก๊สหุงต้มประสิทธิภาพสูงชนิดมีการหมุนเวียนความร้อน* [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี].
- วสันต์ โยคเสนะกุล (2548). *หัวเผาเชื้อเพลิงแก๊สที่มีการหมุนเวียนความร้อนและการไหลแบบหมุนวน* [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี].
- Boggavarapu, P., Ray, B. and Ravikrishna, R. V. (2014). Thermal Efficiency of LPG and PNG-fired burners: Experimental and numerical studies. *Fuel*, 116, 709-715.
- Brandão, Y. B., Dias, F. F. S., Oliveira, D. C., Zaidan, L. E. M. C., Teodosio, J. R., Oliveira, J. G. C. and Benachour, M. (2021). Unconventional advanced oxidation technique: Evaporation liquid rate and phenolic compounds degradation evaluation and modelling/optimization process with CFD, RSM and ANNs. *Fuel*, 300, 120967.
- Cadavid, F. J. Cadavid, Y., Amell, A. A., Arrieta, A. E. and Echavarría, J. D. (2014). Numerical and experimental methodology to measure the thermal efficiency of pots on electrical stoves. *Energy*, 73, 258-263.
- Hatami, M. and Heydari, A. (2021). Thermal optimization for the tangential swirl burner at the rotary furnace of steel pipe industry to save energy and reduce emissions. *Alexandria Engineering Journal*, 61(9), 6675-6694.
- Jugjai, S., Tia, S. and Rungsimuntuchart, N. (2001). Experimental study on high efficiency heat-recirculating gas burners based on the porous medium technology. *Asian J Energy Environ*, 3(4), 169-198.
- Makmool, U., Jugjai, S., Tia, S., Vallikul, P. and Fungtammasan, B. (2007). Performance and analysis by particle image velocimetry (PIV) of cooker-top burners in Thailand. *Energy*, 32 (10), 1986-1995.



- Matthujak, A., Wichangarm, M., Sriveerakul, T., Sucharitpwatskul, S. and 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, 101466.
- Montgomery, D.C. (2001). *Design and analysis of experiments*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Sayyar, A. and Davani A. (2021). Numerical optimization of flame stability in a swirl combustion chamber with helical tapes. *Thermal Science and Engineering Progress*, 22, 100815.
- Sutar, K. B., Kumar, M., Patel, M. K., Kumar, A. and Mokashi, S. R. (2020). Experimental investigation on pot design and efficiency of LPG Utilization for some domestic cooking processes. *Energy for Sustainable Development*, 56, 67-72.
- Tamir, A. Elperin, L. and Yotzer, S. (1989). Performance characteristics of a gas burner with a swirling central flame. *Energy*, 14 (7), 373-382.
- Wichangarm, M., Matthujak, A., Sriveerakul, T., Sucharitpwatskul, S. and Phongthanapanich, S. (2020). Investigation on thermal efficiency of LPG cooking burner using computational fluid dynamics. *Energy*, 203, 117849.