

การศึกษาอิทธิพลของการไหลแบบหมุนวนต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะของเตา แก๊สแรงดันสูงโดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

A study on effect of swirling flow on behavior of heat transfer to vessel of high- pressure cooking stove by computational fluid dynamics

มานะ วิชางาม¹, อนิรุตต์ มัทธูจักษ์^{1*}, ธนรัฐ ศรีวีระกุล¹, เสฏฐวรรช สุจริตภวัตสกุล² และ สุทธิศักดิ์ พงศ์ธนาพานิช³

¹ห้องปฏิบัติการการประยุกต์ใช้ลำเจ็ทและการเผาไหม้ (Combustion and Jet Application Research Laboratory, CJARL) ภาควิชา
วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 85 ถนนสกลมารค์ ต.เมืองศรีโค อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190
²ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (MTEC) 114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย
ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

³วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ
กรุงเทพมหานคร 10800

* ติดต่อ: E-mail Anirut.m@ubu.ac.th โทรศัพท์ 0-4535-3309, โทรสาร 0-4535-3308

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการไหลแบบหมุนวนของหัวเตาแก๊สที่มีมุมเอียง (Incline angle, β) และมุมเอียง (Swirl angle, α) ของรูหัวเตาแก๊สต่างกัน 3 รูปแบบต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะโดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) ซึ่งแบบจำลองถูกสร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม Fluent 6.3 โดยได้ทำการศึกษาและสร้างขอบเขตพื้นที่ของแบบจำลองในลักษณะ 3 มิติ (3D - Model) โดยทำการศึกษาอิทธิพลของการหมุนวนของหัวเตาแก๊สที่มีการไหลแบบหมุนวน (Swirl energy-saving gas stoves ,SESS) ที่มี β (I) และ α (S) 3 รูปแบบ คือ SESS-I50S03, SESS-I90S03 และ SESS-I98S09 เปรียบเทียบกับเตาแก๊สแบบที่มีการไหลในแนวรัศมีแบบดั้งเดิม (Radius energy-saving gas stove, RESS-I70S00) และทำการวิเคราะห์ผลของการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะในรูปแบบของอุณหภูมิ ความเร็ว และ Heat flux จากการวิเคราะห์พบว่า เตาแก๊สที่มีการหมุนวนทั้ง 3 หัวเตาจะสามารถถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะได้ดีกว่าเตาแก๊สที่มีการไหลในแนวรัศมีแบบดั้งเดิม โดย SESS-I50S03 ที่มีมุม β และ α ของรูหัวเตาเท่ากับ 50° และ 03° มีอุณหภูมิ ความเร็ว และ Heat flux สูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,438 K, 1.31 m/s, 27.32 kW/m² ตามลำดับ ในขณะที่มีค่าสูงกว่า RESS-I70S00 ที่ค่าเพียง 1,334 K, 0.83 m/s, 24.55 kW/m² ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่า SESS-I50S03 มีสมรรถนะในการถ่ายเทสู่ภาชนะดีที่สุด

คำหลัก: เตาแก๊สแรงดันสูง, การไหลแบบหมุนวน, การถ่ายเทความร้อน, พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Abstract

The objective of this research is to study effect of swirling flow of burner head on heat transfer behavior at the vessel wall using computational fluid dynamics (CFD). The simulation model was created using Fluent 6.3 in 3D-model. Heat transfer to the vessel of swirl energy-saving gas stoves

(SESS), being SESS-I50S03, SESS-I90S03 and SESS-I98S09, were compared with the radius energy-saving gas stove (RESS-I70S00) using temperature, velocity and heat flux. From the simulation, heat transfer to the vessel of three SESS stoves was better than that of RESS stove. Temperature, velocity and heat flux of SESS-I50S03 stove, $\beta = 50^\circ$ and $\alpha = 03^\circ$, were the highest value, which were 1,438 K, 1.31 m/s, 27.32 kW/m², respectively. While, the maximum temperature, velocity and heat flux of RESS-I70S00 stove were 1,334 K, 0.83 m/s, 24.55 kW/m², respectively. Thus, heat transfer to the vessel of SESS-I50S03 stove has the highest performance.

Keywords: High-pressure cooking stove, swirling flow, heat transfer, CFD.

1. บทนำ

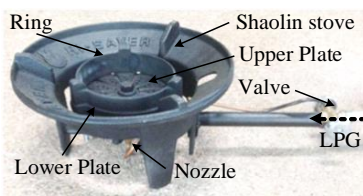
เตาแก๊สแอลพีจี (LPG) เป็นที่นิยมใช้ในครัวเรือนอย่างกว้างขวางเพราะว่าใช้งานง่าย มีความปลอดภัย และมีราคาถูก เตาแก๊ส LPG ที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงจะช่วยย่นระยะเวลาในการประกอบอาหาร นอกจากนี้จะช่วยลดการใช้แก๊ส LPG แล้วยังเป็นการลดมลพิษอีกทางหนึ่งด้วย ซึ่งนักวิจัยหลายกลุ่มก็ทราบข้อมูลนี้เป็นอย่างดีและพยายามที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ส LPG ให้สูงขึ้น นับจากอดีตที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ส LPG แต่การศึกษาจำนวนมากจะเป็นการศึกษาในเชิงการทดลอง [1-3] ทำให้ไม่ทราบถึงพฤติกรรมที่แท้จริงที่เกิดขึ้นภายในเตาแก๊ส LPG เพราะในระหว่างการเผาไหม้นั้น การไหลของอากาศหรือการไหลของของผสมภายในเตาไม่มีสีหรือเครื่องหมายพอที่จะแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของของไหลดังกล่าวจึงทำให้ยากต่อการเข้าใจพฤติกรรมของการเผาไหม้ในเตา รวมถึงข้อจำกัดด้านเครื่องมือวัดที่ไม่สามารถวัดความเร็วได้ทุกตำแหน่งจึงนับว่าเป็นข้อจำกัดของการทดลอง

เมื่อประมาณ 50 ปีก่อนได้มีการนำวิธีวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) มาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมการบินเป็นครั้งแรกทั้งในด้านการพัฒนา การออกแบบ และการผลิตเครื่องบิน [4] หลังจากนั้นเป็นต้นมาก็ได้มีการนำ CFD มาประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ มากมายรวมถึงงาน

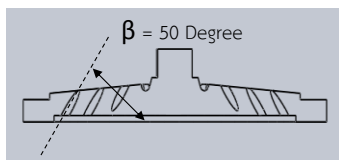
เกี่ยวกับการเผาไหม้ในเตาประเภทต่างๆ [5-6] พบว่าให้ผลที่สอดคล้องกับการทดลองและเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนา การออกแบบ และการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเป็นอย่างมาก เพราะข้อดีของ CFD นอกจากจะช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลองแล้ว CFD ยังสามารถแสดงข้อมูลเป็นแถบสีหรือแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของของไหลภายในเตาทำให้ทราบและเข้าใจพฤติกรรมที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี

ในปี ค.ศ. 2014, Boggavarapu และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาเตา KB ที่ใช้ liquefied petroleum gas (LPG) และ piped natural gas (PNG) เป็นเชื้อเพลิงทั้งการทดลองและ CFD ในรูปแบบ 3 มิติ โดยพิจารณาการไหลแบบคงที่ (Steady state) และมีการเผาไหม้ อีกทั้งยังแสดงข้อมูลในรูปแบบแถบสีและทิศทางการเคลื่อนที่ของของไหลที่เกิดขึ้นขณะเผาไหม้จึงทำให้เข้าใจถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นเป็นอย่างดี ในงานวิจัยนี้ยังได้สร้างแบบจำลองที่มีวงแหวนล้อมรอบบริเวณเหนือหัวเตาแก๊สด้วย ซึ่งพบว่าการติดตั้งวงแหวนนี้ทำให้มีอุณหภูมิบริเวณเหนือหัวเตาเพิ่มขึ้น เมื่อนำมาลองจริงโดยติดตั้งวงแหวนที่ตำแหน่งเดียวกับการจำลองพบว่าเตาแก๊สมี ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) เพิ่มขึ้นจริง จากเดิม 47% เป็น 49.5% เมื่อใช้ LPG และจาก 47% เป็น 57% เมื่อใช้ PNG ซึ่งเป็นผลมาจากการถ่ายเทความร้อนสู่กันภาชนะได้ดีกว่าแต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีการนำผลการทดลองมายืนยันกับผล CFD อย่างชัดเจน

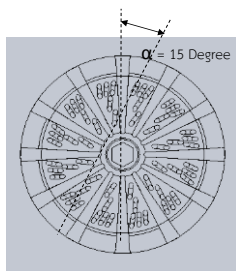
เมื่อประมาณ 10 ปีก่อนหน้านี้ประเทศไทยได้มีเตาแก๊ส LPG ขนาดเทียบเท่าเตาแก๊ส KB-5 ที่ให้ η_{th} สูงถึงประมาณ 45% [8] ซึ่งสูงกว่าเตา KB-5 ทั่วไปซึ่งมี η_{th} เพียงประมาณ 35% ซึ่งเตาชนิดนี้เรียกว่าเตาแก๊สประหยัดพลังงาน โดยเตาแก๊สประหยัดพลังงานแบบเดิมจะมีเปลวไฟไหลตามแนวรัศมี (radius energy-saving gas stove, RESS) ดังแสดงในรูปที่ 1 [8]



รูปที่ 1 Energy-saving cooking burner [8].



a) ด้านข้าง



b) ด้านบน

รูปที่ 2 เตาแก๊สประหยัดพลังงานที่มีเปลวไฟไหลแบบหมุนวน (swirl energy-saving gas stove, SESS) [8].

ซึ่งในปี พ.ศ. 2559 อนิรุตต์ และคณะ [8] ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สประหยัดพลังงาน โดยได้นำหลักการของการไหลแบบหมุนวน (swirling flow) ของ Tamir และคณะ [9] มาพัฒนา η_{th} ของ RESS แต่ด้วยข้อจำกัดของลักษณะทางกายภาพของ RESS ที่ไม่สามารถกำหนดมุมเงย (β) (มุมเงยคือมุมที่ทำมุมกับแนวนอน เมื่อมองจากด้านข้างของรูปที่ 2(a)) และมุมเอียง (α) (มุมเอียงคือมุมที่ทำมุมกับแนวตั้ง เมื่อมองจากด้านบนของรูปที่ 2(b)) ของรูหัวเผาให้เท่ากับ

งานวิจัยของ Tamir และคณะ [9] ได้ จึงได้กำหนด β และ α ของรูหัวเผาเท่ากับ 50° และ 15° ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2 (เตาแก๊สประหยัดพลังงานที่มีเปลวไฟไหลแบบหมุนวน (swirl energy-saving gas stove, SESS) เมื่อนำ η_{th} ไปเปรียบเทียบกับ RESS พบว่า SESS มี η_{th} เพิ่มขึ้นที่เงื่อนไขการทดสอบเดียวกัน โดย SESS มี η_{th} สูงสุดเท่ากับ 54.66% ในขณะที่ RESS มี η_{th} สูงสุดเท่ากับ 47.72% คิดเป็นการประหยัดพลังงาน เท่ากับ 9.23%

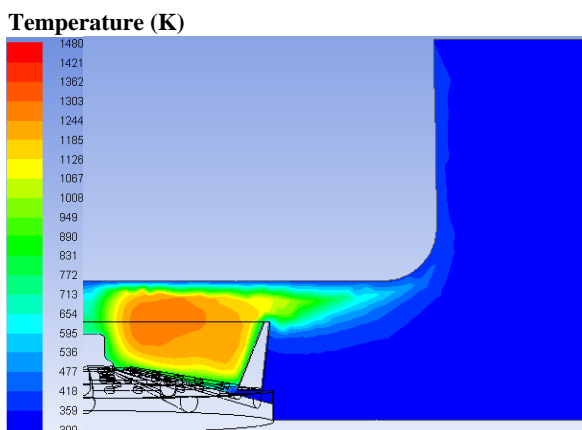
ในปี ค.ศ. 2018 Wichangarm และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาต่อเนื่องจากการศึกษาเกี่ยวกับการจำลองพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาแก๊สของงานวิจัยก่อนหน้านี้ [11 - 13] โดยได้มีการปรับ β และ α ของรูหัวเผาในแบบจำลองเป็น $\beta = 50^\circ$ และ $\alpha = 15^\circ$ ซึ่งเป็นมุมที่เท่ากับมุมของ [8] ที่ทำการศึกษาโดยการทดลอง จากนั้นการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการจำลองเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิ ความเร็ว และ heat flux พบว่า SESS มีค่าต่างๆ สูงกว่า RESS-I70S00 โดย SESS-I50S15 มีอุณหภูมิ ความเร็ว และ heat flux สูงสุดเท่ากับ 1,455 K, 1.83 m/s และ 28.39 kW/m² ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ [8] ที่พบว่า SESS มี η_{th} สูงกว่า RESS ดังนั้นจึงพอที่จะคาดการณ์จาก CFD ได้ว่าเตาที่มี β และ α ของรูหัวเผาที่ทำให้การกระจายอุณหภูมิ ความเร็ว และ heat flux สูงจะมีแนวโน้มให้ η_{th} สูงตามไปด้วย

ต่อมา ในปี ค.ศ. 2018 Wichangarm และคณะ [14] ได้ทำการศึกษาต่อเนื่องจากการศึกษาในปี 2018 [10] โดยมีการปรับมุมที่มี β และ α ต่างกัน 3 รูปแบบ คือ SESS-I50S15, SESS-I70S09 และ SESS-I90S15 จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับ RESS-I70S00 จากการวิเคราะห์พบว่าเตาแก๊สที่มีการหมุนวนทั้ง 3 หัวเตาสามารถถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะได้ดีกว่า RESS-I70S00 โดย SESS-I50S15 ให้ค่าอุณหภูมิ ความเร็ว และ heat flux สูงสุด

3. ผลการคำนวณและการวิเคราะห์

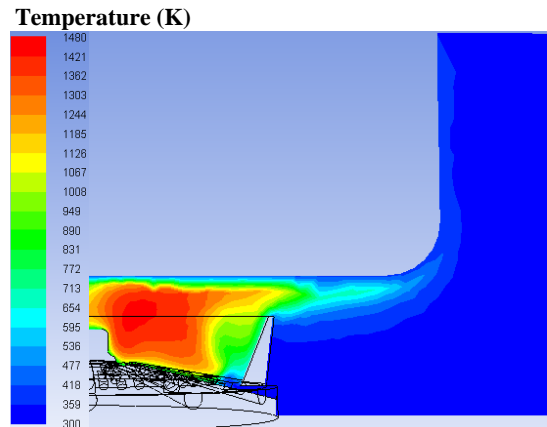
รูปที่ 4 แสดงเส้นเค้าโครงของอุณหภูมิจาก CFD ของหัวเตาแบบต่างๆ จากรูปที่ 4(a) RESS-I70S00 ซึ่งเป็นหัวเตาแบบดั้งเดิม พบว่าอุณหภูมิที่สูงจะกระจายตัวเป็นวงกว้างเพราะเป็นผลมาจากลักษณะการวางรูหัวเผาเป็นแบบกระจาย จากรูปที่ 4(b) SESS-I50S03, 4(c) SESS-I90S03 และ 4(d) SESS-I98S09 ตามลำดับ ซึ่งเป็นการวางมุม β และ α ที่ต่างกัน พบว่า อุณหภูมิสูงของ SESS-I50S03 จะลู่เข้าหาตำแหน่งกึ่งกลางห้องเผาไหม้มากกว่า SESS-I90S03 และ SESS-I98S09 เพราะ β ที่น้อยกว่าจึงทำให้เปลวไฟไหลมารวมกันที่กึ่งกลางห้องเผาไหม้ได้ดีกว่า ส่วน SESS-I90S03 และ SESS-I98S09 นั้นอุณหภูมิสูงจะไม่ลู่เข้าหาที่กึ่งกลางห้องเผาไหม้เพราะว่ามุมของรูหัวเผาที่ตั้งฉาก (90°) และเอียงเป็นมุมป้าน (98°) จึงทำให้ทิศทางของเปลวไฟลู่ออกด้านนอก ไม่พุ่งเข้าหาที่กึ่งกลางห้องเผาไหม้ ถึงแม้จะมี α ที่เท่ากันคือ 03°

เพื่อให้เห็นถึงอิทธิพลของมุม β และ α ต่อลักษณะการกระจายอุณหภูมิและการกระจายความเร็วของการเผาไหม้ งานวิจัยนี้จึงได้กำหนดระดับอ้างอิง (reference level) ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งใช้อุณหภูมิ และความเร็วที่ตำแหน่งขอบด้านบนของวงแหวนของหัวเตา

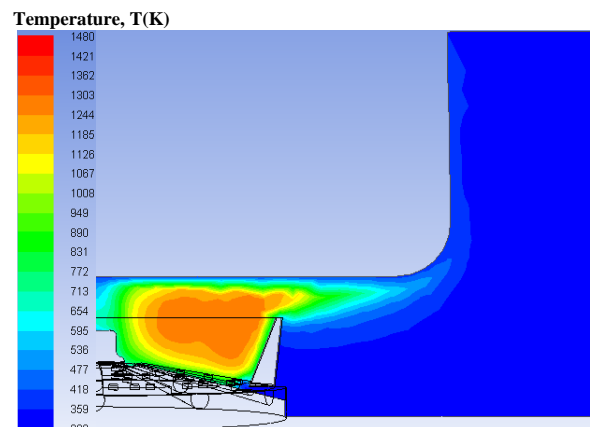


(a) RESS-I70S00

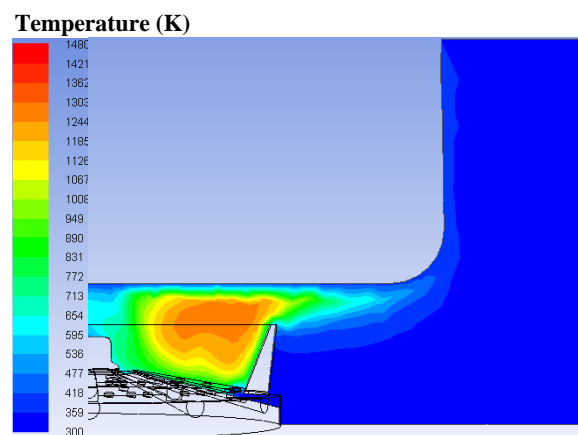
รูปที่ 4 เส้นเค้าโครงอุณหภูมิ



(b) SESS-I50S03

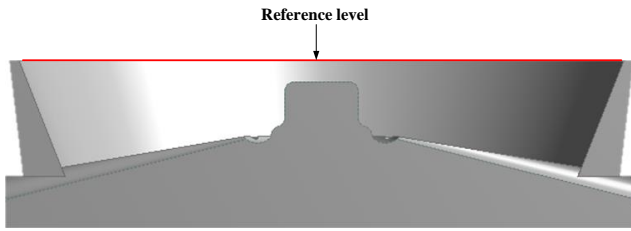


(c) SESS-I90S03



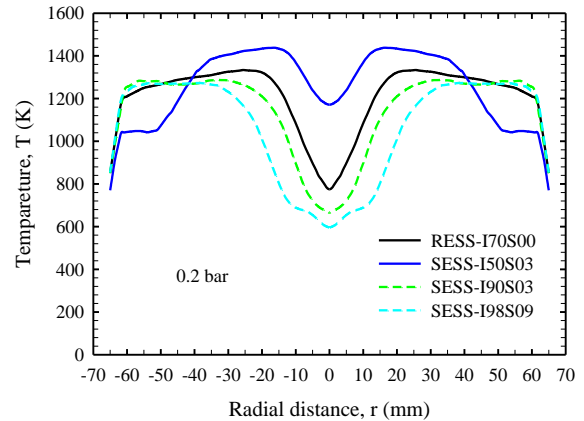
(d) SESS-I98S09

รูปที่ 4 เส้นเค้าโครงอุณหภูมิ (ต่อ)

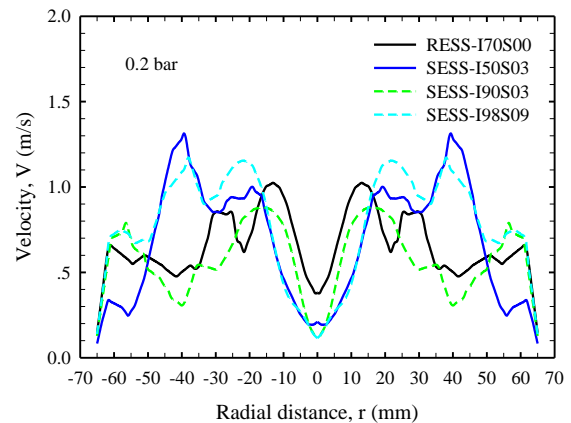


รูปที่ 5 ระดับอ้างอิง (Reference level)

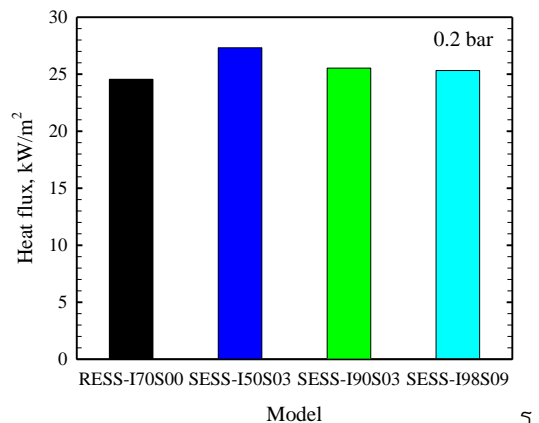
รูปที่ 6 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ระดับอ้างอิง (Reference level) จากการจำลอง พบว่ารูปร่างของอุณหภูมิจะเป็นรูป M-shape เหมือนกันทั้ง 4 หัวเตา เมื่อพิจารณาตามแนวนอนหรือแนวแกน x พบว่าระยะทางของการกระจายอุณหภูมิตามแนวรัศมีของหัวเตาที่มีการวางรูหัวเผาแบบหมุนวน SESS-I50S03 จะแคบกว่า RESS-I70S00, SESS-I90S03, และ SESS-I98S09 โดยเฉพาะ SESS-I50S03 จะแคบที่สุดตามด้วย RESS-I70S00, SESS-I90S03 และ SESS-I98S09 ตามลำดับ เนื่องจากการวางมุมของรูหัวเผาของ SESS-I50S03 ทำให้เปลวไฟไหลมารวมกันที่บริเวณกึ่งกลางห้องเผาไหม้ได้ดีกว่า RESS-I70S00, SESS-I90S03, และ SESS-I98S09 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4 และเมื่อพิจารณาตามแนวตั้งหรือแนวแกน y พบว่า อุณหภูมิบริเวณกึ่งกลางห้องเผาไหม้ของหัวเตาที่มีการวางรูหัวเผาแบบหมุนวน SESS-I50S03 จะสูงกว่า RESS-I70S00, SESS-I90S03, และ SESS-I98S09 เนื่องจากการวางมุม β รูหัวเผาแบบเอียง ทำให้เปลวไฟไหลมารวมกันที่บริเวณกึ่งกลางห้องเผาไหม้ได้ดีกว่า และการไหลแบบ Swirling flow ที่นอกจากจะทำให้เปลวไฟไหลมารวมกันที่บริเวณกึ่งกลางห้องเผาไหม้ได้ดีกว่าแล้วยังส่งผลให้อุณหภูมิบริเวณดังกล่าวเพิ่มขึ้นด้วย โดย SESS-I50S03 จะมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1,438 K ตามด้วย RESS-I70S00, SESS-I90S03 และ SESS-I98S03 จะมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1,334 K, 1,287 K และ 1,272 K ตามลำดับ



รูปที่ 6 การกระจายอุณหภูมิที่ระดับอ้างอิง (Reference level)



รูปที่ 7 การกระจายความเร็วที่ระดับอ้างอิง (Reference level)



รูปที่ 8 Heat flux ที่ลักษณะของหัวเตาแบบต่างๆ

รูปที่ 7 แสดงการกระจายความเร็วที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ระดับอ้างอิง (Reference level) จากการจำลอง เมื่อ

พิจารณาตามแนวนอนหรือแนวแกน x พบว่า ระยะทางของการกระจายความเร็วตามแนวรัศมีของ SESS-I50S03 จะแคบกว่าหัวเตาแบบอื่นๆ เนื่องจากการวางมุมของรูหัวเผาของ SESS-I50S03 ทำให้เปลวไฟไหลมารวมกันที่บริเวณกึ่งกลางห้องเผาไหม้ได้ดีกว่า และเมื่อพิจารณาตามแนวตั้งหรือแนวแกน y พบว่า ความเร็วของ SESS-I50S03 จะสูงกว่า หัวเตาแบบอื่นๆ โดย SESS-I50S03 จะมีความเร็วสูงสุดประมาณ 1.31 m/s ตามด้วย SESS-I98S09, RESS-I70S00 และ SESS-I90S03 จะมีความเร็วสูงสุดประมาณ 1.17 m/s, 1.02 m/s และ 0.83 m/s ตามลำดับ

รูปที่ 8 แสดง Heat flux ที่ภาชนะของหัวเตาแบบต่างๆ พบว่า Heat flux ของ SESS-I50S03 จะมี Heat flux สูงสุดประมาณ 27.32 kW/m² ตามด้วย SESS-I90S03, SESS-I98S09 และ RESS-I70S00 จะมี heat flux สูงสุดประมาณ 25.53 kW/m², 25.32 kW/m² และ 24.55 kW/m² ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลอุณหภูมิและความเร็วของการไหลดังแสดงในรูปที่ 6 และ 7 ซึ่งแสดงว่า หัวเตาแบบ SESS-I50S03 จะมีการถ่ายเทความร้อนสู่กันภาชนะได้ดีที่สุด จึงส่งผลให้มีแนวโน้มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเตาแบบนี้มีแนวโน้มสูงที่สุด และจะสังเกตได้ว่าถึงแม้อุณหภูมิและความเร็วของบาง β และ α ของรูหัวเผา จะน้อยกว่า RESS-I70S00 แต่ Heat flux จะสูงกว่า RESS-I70S00 เพราะว่าอิทธิพลของมุม α ของรูหัวเผานั่นเอง

4. สรุปและเสนอแนะ

จากการศึกษาการจำลองพฤติกรรมเผาไหม้ของ RESS และ SESS ในลักษณะการไหลที่มุม β และ α ของรูหัวเผาต่างๆ พบว่า

1. SESS-I50S03 จะมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 1,438 K ซึ่งมีค่าสูงขึ้น 7.79% เมื่อเทียบกับ RESS-I70S00

2. SESS-I50S03 จะมีความเร็วสูงสุดเท่ากับ 1.31 m/s ซึ่งมีค่าสูงขึ้น 57.83% เมื่อเทียบกับ RESS-I70S00

3. SESS-I50S03 จะมีความเร็วสูงสุดเท่ากับ 27.32 kW/m² ซึ่งมีค่าสูงขึ้น 11.28% เมื่อเทียบกับ RESS-I70S00

4. SESS-I50S03 มีสมรรถนะในการถ่ายเทความร้อนสู่กันภาชนะดีที่สุด จึงส่งผลให้มีโอกาสที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ SESS-I50S03 จะมีค่าสูงที่สุด ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับ SESS-I50S15 [10, 14] พบว่า SESS-I50S03 มีอุณหภูมิ ความเร็ว และ Heat flux ที่ต่ำกว่า SESS-I50S15 ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าหัวเตาชนิดนี้ SESS-I50S15 มีความเหมาะสมกว่า

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ให้ทุนสนับสนุน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Jugjai, S. and Sanijai, S., (1996). Parametric Studies of Thermal Efficiency in a Proposed Porous Radiant Recirculated Burner (PRRB): A Design Concept for the Future Burner, *Proceedings of RERIC International Energy Journal*, Vol. 18, pp. 97-111.
- [2] Jugjai, S., Tia S., and Treweasksirn, W. (2001). Thermal Efficiency improvement of an LPG gas cooker by a swirling central flame, *International Journal of energy research*, vol. 25, pp. 657-764.
- [3] Zhen, H.S., Leung, C.W. and Wong, T.T. (2014). Improvement of domestic cooking flames by utilizing swirling flows, *International Journal of Fuel*, 119, pp. 153-156.
- [4] Versteeg, H.K. and Malalasekera, W. (1995). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*

the Finite Volume Method, England, Longman Scientific and Technical.

[5] Govardhan, J., Rao, G.V.S. and Narasaiah, J. (2011). Experimental investigations and CFD study of temperature distribution during oscillating combustion in a crucible furnace, *International Journal of Energy and Environment*, Vol. 2(5), pp.783-796.

[6] Seyed Ehsan Hosseini, Ghobad Bagheri and Mazlan Abdul Wahid. (2014). Numerical investigation of biogas flameless combustion, *International Journal of Energy Conversion and Management*, 81, pp. 41–50.

[7] Prasad Boggavarapu, Baidurja Ray and Ravikrishna R.V. (2014). Thermal Efficiency of LPG and PNG-fired burners: Experimental and numerical studies, *International Journal of Fuel*, 116, pp. 709–715.

[8] อนิรุตต์ มัทธูจักษ์, นฤพนธ์ ติตมา และ อติศร แยมยวน (2559). การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สประหยัดพลังงานโดยการไหลแบบหมุนวน, *การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12 (ENETT 12)*, มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

[9] Tamir A., Elperin I. and Yotzer S., (1992). Performance Characteristics of A Gas Burner with A Swirl Central Flame, *Energy*, Vol. 14(5), pp. 347-362.

[10] มานะ วิชางาม, อนิรุตต์ มัทธูจักษ์, ธนรัฐ ศรีวีระกุล และ เสฏฐวรรธ สุจริตภวัตสกุล (2561). อิทธิพลของการไหลแบบหมุนวนต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาแก๊สสูงตัมแรงดันสูงโดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ, *ประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย*

ไทย ครั้งที่ 32 (ME-NETT 32), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา

[11] มานะ วิชางาม, อนิรุตต์ มัทธูจักษ์, ธนรัฐ ศรีวีระกุล และ เสฏฐวรรธ สุจริตภวัตสกุล (2559). การจำลองพฤติกรรมการไหลในเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดพลังงาน, *ประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30 (ME-NETT 30)*, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา

[12] Mana Wichangarm, Anirut Matthujak, Thanarath Sriveerakul, Sedthawatt Sucharitpwatskul and Sutthisak Phongthanapanich. (2017), Simulation Study of LPG Cooking Burner, paper presented in *Recent Trend in Science and Engineering Research International Conference (TISERIC 2017)*, Penang, Malaysia.

[13] Wichangarm M, Matthujak A, Sriveerakul T, Sucharitpwatskul S, and Phongthanapanich S. numerical study of combustion phenomena in the energy-saving cooking stove, *paper presented in Thai society of mechanical engineers international conference on mechanical engineering (TSME-ICoME) 2018*, Phuket, Thailand, pp 46-51

[14] อนิรุตต์ มัทธูจักษ์, มานะ วิชางาม, ธนรัฐ ศรีวีระกุล และ เสฏฐวรรธ สุจริตภวัตสกุล (2561). การศึกษาอิทธิพลของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบหมุนวนต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะโดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ, *การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 (ENETT 14)*, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จังหวัดนครนายก