



อิทธิพลของการไหลแบบหมุนวนต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาแก๊สหุงต้มแรงดันสูง โดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Effect of swirling flow on combustion behavior of a high-pressure cooking stove using computational fluid dynamics

มานะ วิชางาม¹ อนิรุตต์ มัทธจักร^{1*} ธนรัฐ ศรีวีระกุล¹ เสฏฐวรรธ สุจริตภวัตสกุล² และ สุทธิศักดิ์ พงศ์ธนาพาณิช³

¹ห้องปฏิบัติการการประยุกต์ใช้ลำเจ็ทและการเผาไหม้ (Combustion and Jet Application Research Laboratory, CJARL)

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 85 ถนนสกลมารุค ต.เมืองศรีโค อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

²ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (MTEC)

114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

³วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนประชากรราษฎร์ 1

แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการไหลแบบหมุนวนของการฉีดแก๊สบนหัวเตาแก๊สแรงดันสูงต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาแก๊สหุงต้มแรงดันสูงโดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) ซึ่งแบบจำลองถูกสร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม Fluent 6.3 โดยได้ทำการศึกษาและสร้างขอบเขตพื้นที่ของแบบจำลองในลักษณะ 3 มิติ (3D - Model) ที่มีขนาดเท่ากับเตาแก๊สใช้งานจริง โดยผลที่ได้จากแบบจำลองจะถูกยืนยันผลด้วยการทดลองโดยการวัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆ รอบหัวเตาและภาชนะ จากแบบจำลองพบว่า เตาแก๊สประหยัดพลังงานที่มีเปลวไฟไหลแบบหมุนวน (swirl energy-saving gas stove, SESS) มีอุณหภูมิ ความเร็ว และ heat flux สูงกว่าเตาแก๊สประหยัดพลังงานแบบเดิมที่มีเปลวไฟไหลตามแนวรัศมี (radius energy-saving gas stove, RESS) โดย SESS มีอุณหภูมิ ความเร็ว และ heat flux สูงสุดเท่ากับ 1,455 K, 1.83 m/s และ 28.39 kW/m² ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า SESS มีพฤติกรรมการเผาไหม้และการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะดีกว่า RESS จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ SESS ดีกว่า RESS โดยแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน 5.75% เมื่อเทียบกับการทดลอง

คำหลัก: การไหลแบบหมุนวน, พฤติกรรมการเผาไหม้, การถ่ายเทความร้อน, เตาแก๊สแรงดันสูง, พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Abstract

The objective of this research is to study the effect of swirling flow on combustion behavior of a high-pressure cooking stove using computational fluid dynamics (CFD). The simulation model was created using Fluent 6.3 in 3D-model at the same size of the energy-saving cooking stove. The simulation results from CFD was verified by measuring the temperature around the burner head and a container. From the simulation, the temperature, velocity of hot gas and heat flux of the swirl energy-saving gas stove (SESS) were higher than those of the radius energy-saving gas stove (RESS). The maximum temperature, velocity of hot gas and heat flux of SESS were 1,455 K, 1.83 m/s and 28.39 kW/m², respectively. It was implied that the combustion characteristic and heat transfer to the container of the SESS is better than that of RESS. It affected to the higher thermal efficiency of SESS compared with RESS. The simulation model was good agreement with the measurement, which the error was less than 5.75% at all cases.



Keywords: Swirling flow, the combustion phenomena, heat transfer, high-pressure cooking stove, 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

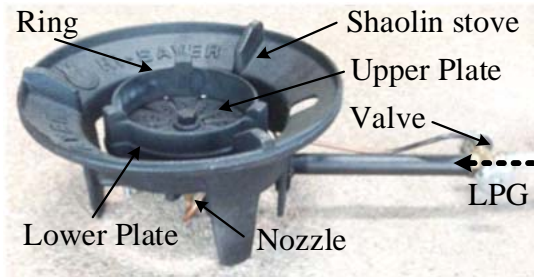
เมื่อประมาณ 50 ปีก่อนได้มีการนำวิธีวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) มาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมการบินเป็นครั้งแรกทั้งในด้านการพัฒนา การออกแบบ และการผลิตเครื่องบิน [4] หลังจากนั้นเป็นต้นมาก็ได้มีการนำ CFD มาประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ มากมายรวมถึงงานเกี่ยวกับการเผาไหม้ในเตาประเภทต่างๆ [5-6] พบว่าให้ผลที่สอดคล้องกับการทดลองและเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนา การออกแบบ และการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเป็นอย่างมาก เพราะข้อดีของ CFD นอกจากจะช่วยให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลองแล้ว CFD ยังสามารถแสดงข้อมูลเป็นแถบสีหรือแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของของไหลภายในเตาทำให้ทราบและเข้าใจพฤติกรรมที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี

ในปี ค.ศ. 2014, Boggavarapu และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาเตา KB ที่ใช้แก๊ส LPG และ PNG เป็นเชื้อเพลิงทั้งการทดลองและ CFD ในรูปแบบ 3 มิติ โดยพิจารณาการไหลแบบคงที่ (Steady state) และมีการเผาไหม้ อีกทั้งยังแสดงข้อมูลในรูปแบบแถบสีและทิศทางการ

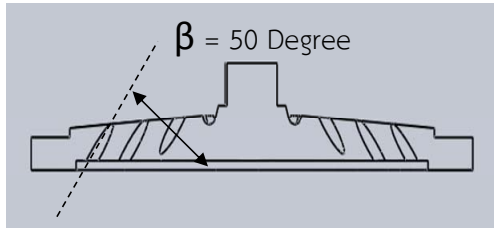
เคลื่อนที่ของของไหลที่เกิดขึ้นขณะเผาไหม้จึงทำให้เข้าใจถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นเป็นอย่างดี ในงานวิจัยนี้ยังได้สร้างแบบจำลองที่มีวงแหวนล้อมรอบบริเวณเหนือหัวเตาแก๊สด้วย ซึ่งพบว่า การติดตั้งวงแหวนนี้ทำให้มีอุณหภูมิบริเวณเหนือหัวเตาเพิ่มขึ้น เมื่อนำมาลองจริงโดยติดตั้งวงแหวนที่ตำแหน่งเดียวกับการจำลองพบว่าเตาแก๊สมีประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) เพิ่มขึ้นจริง จากเดิม 47% เป็น 49.5% เมื่อใช้ LPG และจาก 47% เป็น 57% เมื่อใช้ PNG ซึ่งเป็นผลมาจากการถ่ายเทความร้อนสู่กันภาชนะได้ดีกว่า แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีผลการทดลองมายืนยันกับผล 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]

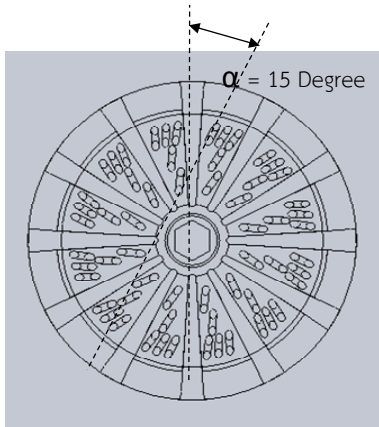
ซึ่งในปี พ.ศ. 2559 อนิรุตต์ และคณะ [8] ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สประหยัดพลังงาน โดยได้นำหลักการของการไหลแบบหมุนวน (swirling flow) ของ Tamir A. และคณะ [9] มาพัฒนา η_{th} ของ RESS แต่ด้วยข้อจำกัดของลักษณะทางกายภาพของ RESS ที่ไม่สามารถกำหนดมุมเงย (β) และมุมเอียง (α) ของรูหัวเผาให้เท่ากับงานวิจัยของ Tamir A. และคณะ [9] ได้จึงได้กำหนด β และ α ของรูหัวเตาเท่ากับ 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%



รูปที่ 1 Energy-saving cooking burner [8].



a) ด้านข้าง



b) ด้านบน

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

ต่อมา ค.ศ. 2017 Wichangarm และคณะ [10, 11] ได้นำ mass flow rate และ mass fraction ของ โพรเพน บิวเทน ไนโตรเจน และออกซิเจน ที่ได้จาก งานวิจัยของ มานะ และคณะ [10] มากำหนดเป็น mass flow inlet ของแบบจำลองที่มีการเผาไหม้กรณีที่ไม่มีการเผาไหม้ที่ปากเตาด้านบนและทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จาก CFD เปรียบเทียบกับการทดลอง จากการวิเคราะห์พบว่า อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของ RESS ที่ได้จากการจำลองมีความสอดคล้องกับการทดลอง จากการจำลอง RESS มีอุณหภูมิและความเร็วสูงสุดเป็น 1,286 K และ 6.7 m/s ตามลำดับ โดยมีค่าคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิเฉลี่ยไม่เกิน 5.46% ที่ทุกความดัน LPG และยังพบว่าผลจาก

แบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถอธิบายพฤติกรรมเผาไหม้ของเชื้อเพลิงใน RESS ได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ [11] ยังไม่มีการศึกษาการถ่ายเทความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้สู่ภาชนะ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาต่อเนื่องโดยจำลองพฤติกรรมเผาไหม้ของ SESS เพื่อศึกษาอิทธิพลของ swirl flow ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ ความเร็ว และ heat flux ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะ นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบผลของการจำลอง RESS และการทดลองอีกด้วย

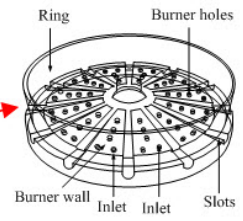
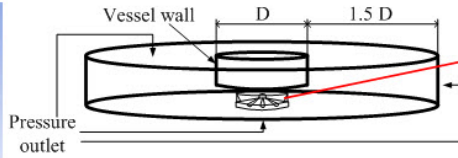
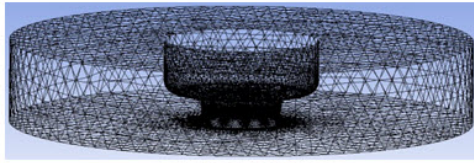
2. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการจำลองพฤติกรรมเผาไหม้ของ SESS ในกรณีที่มีภาชนะที่ปากเตาด้านบน รวมถึงทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองของ RESS สำหรับ SESS กำหนดมุมของรูหัวเผาในแบบจำลองเท่ากับงานวิจัยของ อนิรุตต์ และคณะ [8] คือ β และ α ของรูหัวเผาเท่ากับ 50° และ 15° ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2

2.1 พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

การศึกษาค้นคว้ามีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของ RESS และ SESS กรณีที่มีภาชนะที่ปากเตาด้านบน โดยใช้ CFD กับแบบจำลอง 3 มิติ โดยพิจารณาการไหลแบบคงที่ (Steady state) และมีการเผาไหม้โดยใช้ Fluent 6.3 กริดที่ใช้ในการคำนวณจะสร้างโดย GAMBIT สำหรับขอบเขตพื้นที่และกริดที่ใช้ในการคำนวณ แสดงดังรูปที่ 3(a) ซึ่งกริดที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้านี้เป็นกริดรูปทรงสามเหลี่ยมสี่ด้าน (Tetrahedral Grid)

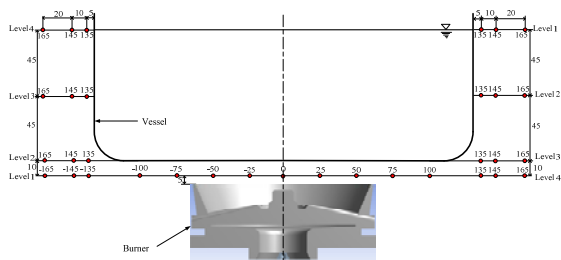
ในการศึกษาค้นคว้านี้จะใช้แบบจำลองความปั่นป่วน (Turbulences model) แบบ Standard k- ϵ สมการการเผาไหม้แบบ eddy dissipation combustion model เนื่องจากงานนี้เป็นงานที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ซึ่งมีความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยงานวิจัยนี้ใช้สมการการแผ่รังสีความร้อน (Radiation model) แบบ Discrete Ordinates (DO) model รวมถึงพิจารณาแรงโน้มถ่วงของโลกและแรงลอยตัวแบบ Buoyancy Effects



(a) รูปที่ 3 Model ที่ใช้ในการศึกษา (b) กริดที่ใช้ในการศึกษา (c) เงื่อนไขขอบเขต (d) หัวเตา

รูปที่ 3(b) แสดงเงื่อนไขขอบเขต โดยกำหนดอากาศรอบๆ หัวเตาเป็น Pressure outlet ภาชนะเหนือหัวเตาใช้ขนาดเท่ากับหม้อที่ใช้ในการทดลองจริง คือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) 260 mm และมีความสูงเท่ากับระดับน้ำในหม้อที่ใช้ในการทดลองคือ 90 mm กำหนดให้ผนังหม้อมีอุณหภูมิคงที่เท่ากับ 395 K เท่ากับงานวิจัยของ Boggavarapu และคณะ [7] งานวิจัยนี้กำหนดระยะห่างจากผนังหม้อเท่ากับ 1.5D สำหรับผนังของหัวเตาแสดงดังรูปที่ 3(c) กำหนดเป็น wall และกำหนดรูหัวเตาเป็น mass flow inlet ซึ่ง mass flow rate และ mass fraction ของ โพรเพน บิวเทน ไนโตรเจน และออกซิเจนที่ได้จากความดันแก๊ส LPG เท่ากับ 0.2 bar

การพิจารณาการลู่เข้าของคำตอบจะพิจารณาจากเศษตกค้าง (residual) เท่ากับ 10^{-6} ผลเฉลยไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีจำนวนรอบการทำซ้ำเพิ่ม และระบบเข้าสู่สภาพสมดุล เพื่อเก็บผลการกระจายอุณหภูมิของการเผาไหม้แอลพีจีที่ได้จากการทดลอง แล้วเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองโดยโปรแกรม Fluent 6.3 ในการทดลองจะทำการบันทึกอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ตามรูปที่ 4 ด้วย data logger ที่มีค่าความถูกต้อง ± 1 K ต่อเข้ากับ type-K Thermocouple โดยทำการทดลอง 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 4 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ

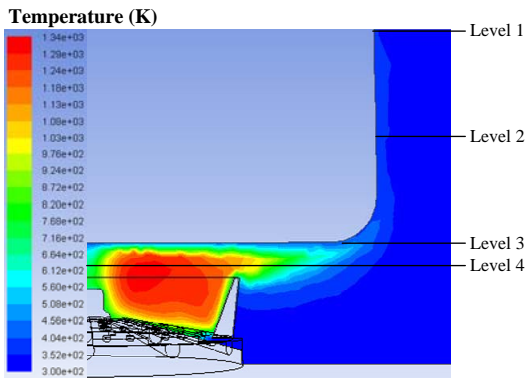
3. ผลการคำนวณและการวิเคราะห์

รูปที่ 5 แสดงลักษณะเปลวไฟจากการทดลอง และเปลวไฟจากแบบจำลองแบบ 3 มิติ ของ RESS ที่ความดัน LPG เท่ากับ 0.2 bar จากรูปถ่ายเปลวไฟในรูปที่ 5(a) เปลวไฟจะครอบคลุมด้านนอกของภาชนะ โดยจะเปล่งแสงที่ตำแหน่งกึ่งกลางห้องเผาไหม้ซึ่งจะบ่งบอกถึงอุณหภูมิที่สูงและมีการเผาไหม้ที่รุนแรง โดยจะสามารถยืนยันผลกับแถบสีอุณหภูมิจาก CFD ในรูปที่ 5(b) รูปที่ 5(b) แสดงการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งระนาบกึ่งกลางเตา พบว่าอุณหภูมิสูงจะอยู่ห้องเผาไหม้บริเวณภายในวงแหวน โดยมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 1,334 K เมื่อพิจารณาบริเวณกึ่งกลางเตาพบว่า เปลวไฟจะไม่กระจายออกด้านนอกเพราะมีวงแหวนล้อมรอบ ซึ่งวงแหวนนี้มีส่วนช่วยในการป้องกันการสูญเสียความร้อนโดยสังเกตได้จากด้านนอกวงแหวนจะมีอุณหภูมิที่ต่ำ เมื่อพิจารณาเปลวไฟที่ได้จาก CFD จะคล้ายกับเปลวไฟที่ได้จากการทดลอง



(a) การทดลอง

รูปที่ 5 เปลวไฟของ RESS ที่ความดัน LPG เท่ากับ 0.2 bar

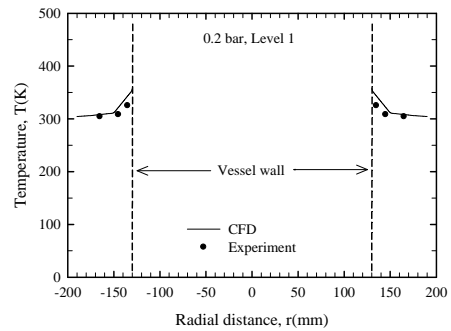


(b) CFD

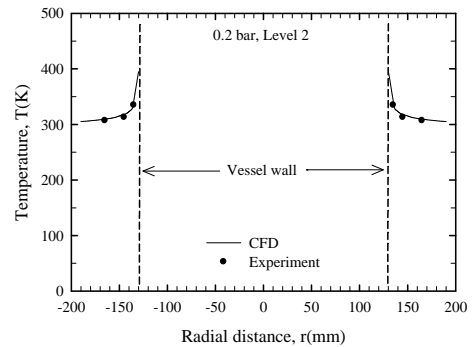
รูปที่ 5 เปลวไฟของ RESS ที่ความดัน LPG เท่ากับ 0.2 bar (ต่อ)

รูปที่ 6 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ จากการทดลองและ CFD ของ RESS ที่ความดัน LPG เท่ากับ 0.2 bar ที่สัมพันธ์กับ Level ต่างๆ ในรูปที่ 4 และรูปที่ 5(b) พบว่า อุณหภูมิที่ได้จาก CFD มีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดีกับการทดลองโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนทุกตำแหน่งไม่เกิน 5.75% ที่ Level 4 จะมีอุณหภูมิต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ Level 3, 2 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งเป็นพฤติกรรมปกติของเปลวไฟ โดยอุณหภูมิจะลดลงเมื่อมีระยะทางจากห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้น ดังเช่น Level 4 ของการศึกษาครั้งนี้ และบริเวณใกล้ภาชนะจะมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณห่างจากผิวภาชนะออกมาดังแสดงใน Level 3, 2 และ 1

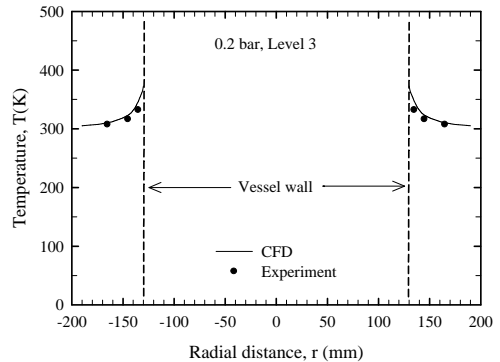
รูปที่ 7 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ Level 4 จากการจำลองเตา SESS และเตา RESS ที่ระนาบกึ่งกลางเตา พบว่ารูปร่างของกราฟจะเป็นรูป M-shape เหมือนกันทั้งสองเตา เมื่อพิจารณาตามแนวนอนหรือแนวแกน x พบว่าระยะทางของการกระจายอุณหภูมิตามแนวรัศมีของเตา SESS จะแคบกว่าเตา RESS เพราะผลของการไหลแบบ swirling flow จะทำให้เปลวไฟไหลมารวมกันที่บริเวณกึ่งกลางห้องเผาไหม้ได้ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 8 และเมื่อพิจารณาตามแนวตั้งหรือแนวแกน y พบว่าอุณหภูมิบริเวณกึ่งกลางห้องเผาไหม้ของเตา SESS จะสูงกว่าเตา RESS เพราะผลของการไหลแบบ swirling flow ที่นอกจากจะทำให้เปลวไฟไหลมารวมกันที่บริเวณกึ่งกลางห้องเผาไหม้ได้ดีกว่าแล้วยังส่งผลให้อุณหภูมิบริเวณดังกล่าวเพิ่มขึ้นด้วย โดยเตา SESS และเตา RESS จะมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1,455 K และ 1,334 K ตามลำดับ



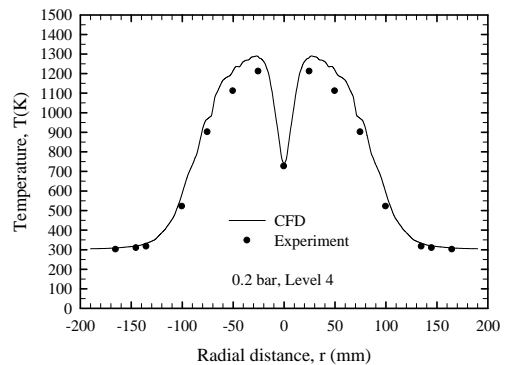
(a) Level 1



(b) Level 2

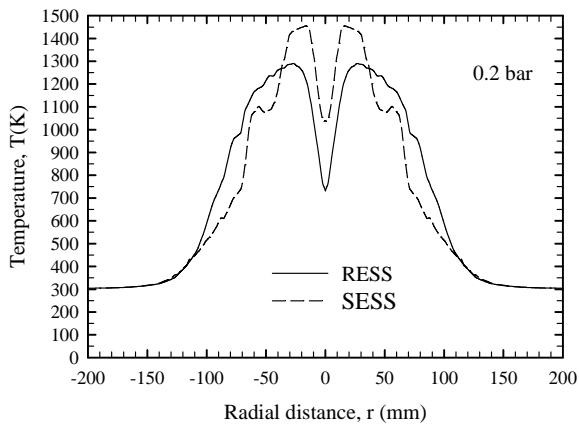


(c) Level 3

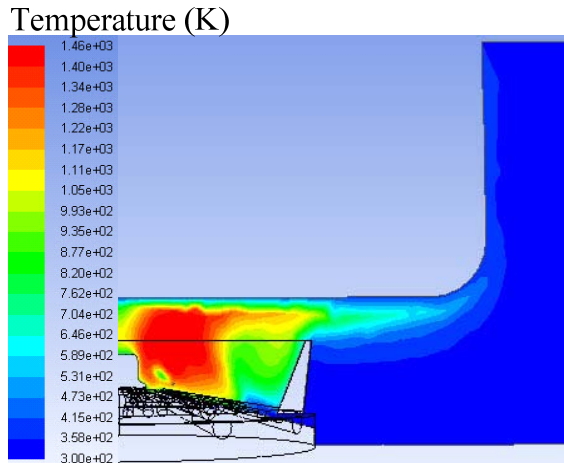


(d) Level 4

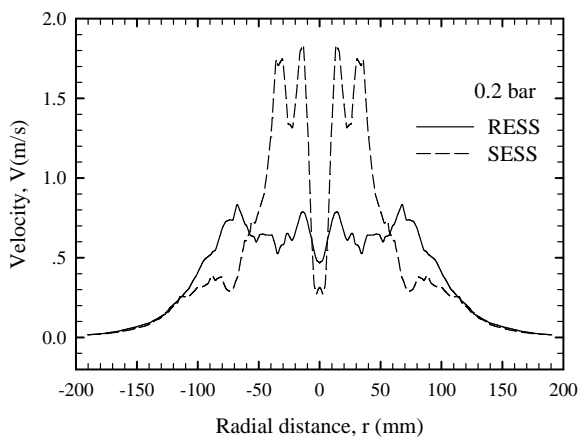
รูปที่ 6 การกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ จากการทดลองและ CFD ของ RESS ที่ความดัน LPG เท่ากับ 0.2 bar



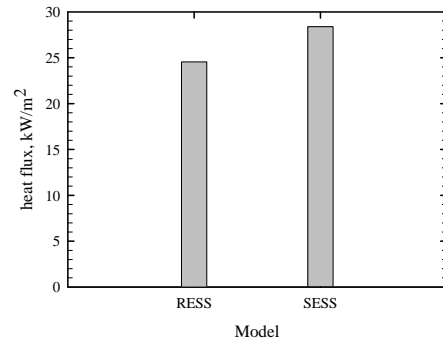
รูปที่ 7 การกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ Level 4 จากการจำลอง SESS และ RESS



รูปที่ 8 เส้นแสดงรูปร่างของอุณหภูมิของเตา SESS



รูปที่ 9 การกระจายความเร็วที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ Level 4 จากการจำลองเตา SESS และเตา RESS



รูปที่ 10 heat flux ที่ภาชนะ จากการจำลองเตา SESS และเตา RESS

รูปที่ 9 แสดงการกระจายความเร็วที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ Level 4 จากการจำลองเตา SESS และเตา RESS ที่ระนาบกึ่งกลางเตา เมื่อพิจารณาตามแนวนอนหรือแนวแกน x พบว่าระยะทางของการกระจายความเร็วตามแนวรัศมีของเตา SESS จะแคบกว่าเตา RESS เพราะผลของการไหลแบบ swirling flow จึงทำให้ความเร็วของเปลวไฟไหลมารวมกันที่บริเวณกึ่งกลางห้องเผาไหม้ได้ดีกว่าและเมื่อพิจารณาตามแนวตั้งหรือแนวแกน y พบว่าความเร็วของเตา SESS จะสูงกว่าเตา RESS เพราะผลของการไหลแบบ swirling flow ที่นอกจากจะทำให้ความเร็วของเปลวไฟไหลมารวมกันที่บริเวณกึ่งกลางห้องเผาไหม้ได้ดีกว่าแล้วยังส่งผลให้ความเร็วบริเวณดังกล่าวสูงกว่าด้วย โดย SESS และ RESS จะมีความเร็วสูงสุดประมาณ 1.83 m/s และ 0.83 m/s ตามลำดับ

รูปที่ 10 แสดง heat flux ที่ภาชนะ จากการจำลองเตา SESS และเตา RESS พบว่า heat flux ของเตา SESS และเตา RESS จะเท่ากับ 28.39 kW/m² และ 24.55 kW/m² ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลของ swirling flow

ผลการศึกษาครั้งนี้ยังมีความสอดคล้องกับผลการศึกษาของ อนิรุตต์ และคณะ [8] ที่พบว่า SESS มี η_{th} เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ RESS ที่เงื่อนไขการทดสอบเดียวกัน และผลจากการศึกษาครั้งนี้เกี่ยวกับการกระจายตัวของอุณหภูมิ การกระจายความเร็วของเปลวไฟ และ heat flux อาจเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ SESS สูงกว่า RESS

4. สรุปและเสนอแนะ

จากการศึกษาการจำลองพฤติกรรมเผาไหม้ของเตา SESS ในกรณีที่มีภาชนะที่ปากเตาด้านบน รวมถึงทำ



การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองเตา RESS สามารถสรุปได้ดังนี้

1. เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิจากการทดลองและ CFD พบว่าอุณหภูมิที่ได้จาก CFD มีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดีกับการทดลองโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนทุกตำแหน่งไม่เกิน 5.75%

2. เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของ SESS กับ RESS พบว่า SESS มีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1,455 K ในขณะที่ RESS มีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1,334 K

3. เมื่อเปรียบเทียบความเร็วของ SESS กับ RESS พบว่า SESS มีความเร็วสูงสุดประมาณ 1.8327 m/s ในขณะที่ RESS มีความเร็วสูงสุดประมาณ 0.8318 m/s

4. เมื่อเปรียบเทียบ heat flux ของ SESS กับ RESS พบว่า SESS มี heat flux สูงขึ้น 15.64%

5. η_{th} ของ SESS ที่สูงกว่า RESS (จากงานวิจัยของ อนิรุตต์ และคณะ [8]) เนื่องจากการไหลของเปลวไฟแบบ swirling flow ที่ส่งเสริมให้อุณหภูมิ ความเร็ว และ heat flux มีค่าสูงขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 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: 97-111.

[2] S. Jugjai, S. Tia, and W. Treweaksirn (2001), Thermal Efficiency improvement of an LPG gas cooker by a swirling central flame. International Journal of energy research 25 657–764.

[3] H.S. Zhen, C.W. Leung, T.T. Wong (2014), Improvement of domestic cooking flames by utilizing swirling flows. International Journal of Fuel 119 153–156.

[4] Versteeg, H.K. and Malalasekera, W. (1995), An Introduction to Computational Fluid Dynamics

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

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

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

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

[8] อนิรุตต์ มัทธจุจักร์, นฤพนธ์ ติตมา และอดิศร แยมยวน (2559). การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สประหยัดพลังงานโดยการไหลแบบหมุนวน. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12 (ENETT 12).

[9] Tamir A., Elperin I. and Yotzer S., (1992) Performance Characteristics of A Gas Burner with A Swirl Central Flame, Energy, Vol. 14, No. 5, pp. 347-362.

[10] มานะ วิชางาม, อนิรุตต์ มัทธจุจักร์, ธนรัฐ ศรีวีระกุล และเสกฐนวรรธ สุจริตภวัตสกุล (2559), การจำลองพฤติกรรมการไหลในเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดพลังงาน. ประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30 (ME-NETT 30)

[11] Mana Wichangarm, Anirut Matthujak, Thanarath Sriveerakul, Sedthawatt Sucharitpwatskul and Sutthisak Phongthanapanich. (2017), Simulation Study of LPG Cooking Burner. Recent Trend in Science and Engineering Research International Conference (TiSERIC 2017)