

การจำลองพฤติกรรมการไหลของเตาแก๊สแรงดันสูงชนิดประหยัดแก๊ส โดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Simulation of Flow Characteristic in A Gas-saving High-pressure Gas Stove by Computational Fluid Dynamics

จิตินันท์ ปัญพวงษ์¹ อนิรุตต์ มัทธจักร^{*1} มานะ วิชางาม¹ ธนรัฐ ศรีวีระกุล¹ และ เสฏฐวรรธ สุจริตวัฒสกุล²

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

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

²ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (MTEC)

114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

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

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาพฤติกรรมการไหลของส่วนผสมของแก๊ส LPG กับอากาศของเตาแก๊สแรงดันสูงชนิดประหยัดแก๊สด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) ใช้โปรแกรมในการจำลองพฤติกรรมการไหลและใช้โปรแกรม Solid works version 2013 ในการสร้างแบบจำลอง จะใช้วิธีการจำลองการไหลแบบปั่นป่วนและไม่มีปฏิกิริยาการเผาไหม้เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยได้ทำการศึกษาและสร้างขอบเขตพื้นที่ของแบบจำลองในลักษณะ 3 มิติ (3D - Model) ที่มีขนาดเท่ากับเตาแก๊สแรงดันสูงชนิดประหยัดแก๊สที่ใช้จริง ซึ่งทำการศึกษาที่ความดัน 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 bar จากผลการศึกษาพบว่า ความดันมีผลต่อความเร็วในตำแหน่งต่างๆ ของหัวเตาแก๊สความดันที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ความเร็วของแก๊สในตำแหน่งต่างๆ เพิ่มขึ้น พฤติกรรมการไหลสำหรับแบบจำลองและแบบทดลองมีความคล้ายคลึงกัน ผลจากแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถอธิบายพฤติกรรมการไหลของเชื้อเพลิงในเตาแก๊สแรงดันสูงชนิดประหยัดแก๊สได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังพบว่า ผลที่ได้จากการจำลองสามารถนำไปออกแบบหัวเตาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้น

คำหลัก: พฤติกรรมการไหล, LPG, เตาแก๊สหัวตัมแรงดันสูงแบบประหยัดแก๊ส, พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Abstract

This article presents a study of the flow characteristic of mixture between liquefied petroleum gas (LPG) and air in a gas-saving high-pressure stove by computational fluid dynamics (CFD). The CFD was used to simulate the flow characteristic and Solid works 2013 was used to create simulation model. 3D-model of boundary, the turbulent flow model and no combustion were used for this simulation. The 3D-model boundary of simulation model was similar to the stove. Effect of gas pressures at 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 and 1.2 bar were investigated. From results, it was found that the mixture velocity at the burner head depended on the gas pressure at nozzle exit. The mixture velocity at burner head increased, when the gas pressure increased. The flow characteristic from CFD was similar to experimental result. The CFD result can be used to clarify the flow characteristic of the stove. In addition, this result can be applied to design stove head for improving the thermal efficiency of the stove in near future.

Keywords: The flow characteristic, LPG, Gas-saving high-pressure stove, Computational fluid dynamics

1. บทนำ

จากสถิติในการใช้พลังงานของกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2560 [1] พบว่า ความต้องการใช้พลังงานจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมภายในประเทศไทยมีมากขึ้น โดยเฉพาะแก๊สปิโตรเลียมเหลว หรือ แก๊สแอลพีจี (Liquefied Petroleum Gas, LPG) แก๊สปิโตรเลียมเหลวมีส่วนประกอบคือโพรเพน (Propane) และบิวเทน (Butane) หรืออย่างใดอย่างหนึ่งคือ เนื่องจากแก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด เผาไหม้ได้สมบูรณ์และสะดวกต่อการใช้งานจึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ทั้งในครัวเรือน ร้านอาหาร อุตสาหกรรม รถยนต์ และอื่นๆ การใช้แก๊ส LPG ของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2556-2560 [1] พบว่า มีการใช้ LPG มีมากที่สุดในภาคครัวเรือน คิดเป็น 35% รองลงมา คือ ปิโตรเคมีซึ่งมีการใช้เป็นสัดส่วนคิดเป็น 32% ใช้ในรถยนต์คิดเป็น 22% และภาคอุตสาหกรรมคิดเป็น 10% ตามลำดับ เนื่องจากการใช้พลังงานในภาคครัวเรือนมีมากและเป็นสิ่งที่อยู่ใกล้ตัวผู้บริโภคมากที่สุด ดังนั้นหากสามารถลดการใช้แก๊ส LPG ในครัวเรือนได้จะเป็นการลดความสิ้นเปลืองและการนำเข้าแก๊ส LPG ในประเทศลงได้ ดังนั้น ในปี ค.ศ. 1996 Jugjai และ Sanijai [2] ได้ปรับปรุงเตาแก๊สทุ้มให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้นโดยใช้ความร้อนที่ออกมาจากไอเสียมาอุ่นอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้ (Preheat) จากหลักการนี้ทำให้เกิดการคิดค้นเตาต้นแบบเตาแก๊สประสิทธิภาพสูง (Porous Radiant Recirculated Burner, PRRB) เนื่องจากเตาแก๊สที่ใช้อยู่เป็นเตาแก๊สที่ไม่เหมาะสมที่ใช้สำหรับงานอุตสาหกรรม

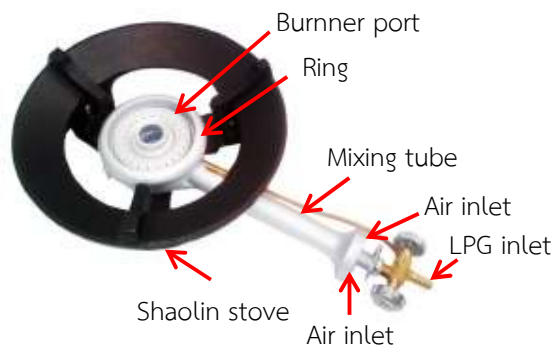
ในปี พ.ศ. 2544 ณัฐภูมิ รัชสิมันตุชาติ [3] ได้พัฒนาเตาแก๊สขนาด KB-10 ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้นได้โดยเฉลี่ยประมาณ 12% คิดเป็นอัตราการประหยัดโดยเฉลี่ยประมาณ 30% เมื่อเปรียบเทียบกับเตา KB-10 ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป

ในปี ค.ศ. 2009 Namkhat และคณะ [4] ศึกษาพฤติกรรมการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรก ของเตาแก๊สทุ้ม เปรียบเทียบระหว่างโมเดลกับการทดลองโดยทดลอง 2 แบบ คือ hot test กับ cold test พบว่า primary aeration กรณี ของ hot test ต่ำกว่า cold test ประมาณ 22% ดังนั้นในการออกแบบหัวเตาจึงควรคำนึงถึงอุณหภูมิจากการเผาไหม้ด้วย

ในปี ค.ศ. 2016 Wichangarm และคณะ [5] ได้ศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหล ในเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดพลังงานโดยใช้วิธี CFD โดยได้ทำการศึกษาและสร้างขอบเขตพื้นที่ของแบบจำลองในลักษณะ 3 มิติ (3D - Model) ที่มีขนาดเท่ากับเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดพลังงานที่ใช้งานจริงพบว่า ผลที่ได้จากการจำลองสามารถอธิบายพฤติกรรมการไหลของเชื้อเพลิงในเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี

ปัจจุบันเตาชนิด KB ได้ถูกพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่องโดยการปรับปรุงดัดแปลงส่วนต่างๆ ของเตาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน โดยบริษัท ธนായ อุตสาหกรรมจำกัด [6] ได้ผลิตเตา LPG แรงดันสูง ขนาดเทียบเท่าเตา KB-5 ซึ่งเป็นเตาแรงดันสูงชนิดประหยัดเชื้อเพลิงแก๊สดังแสดงในรูปที่ 1 โดยยังไม่มีการศึกษาใดที่อธิบายถึงสาเหตุที่ทำให้เตาแก๊สดังกล่าวมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนดีกว่าเตาแก๊ส KB ทั่วไป

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลของห้องผสม (mixing tube) ด้วยวิธีการจำลองทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ นำไปสู่การเข้าใจถึงสาเหตุที่ทำให้เตาชนิดดังกล่าวมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงรวมถึงการนำไปสู่การพัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่อไป

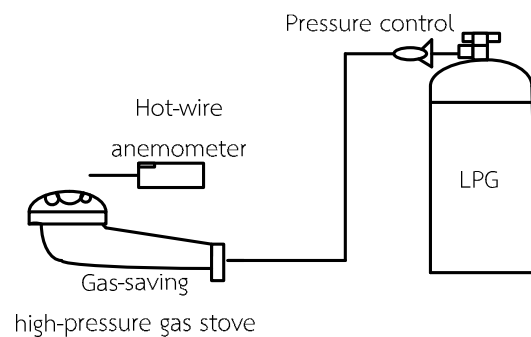


รูปที่ 1 เตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดเชื้อเพลิง
ยี่ห้อแอปปี้แก๊ส รุ่น S-5

2 วิธีการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการจำลองพฤติกรรมการไหลของเตาแก๊สแรงดันสูงชนิดประหยัดแก๊สโดยไม่มีการเผาไหม้ในงานวิจัยนี้แบ่งเป็นสองส่วนคือ การทดลองและการจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ มีขั้นตอนดังนี้

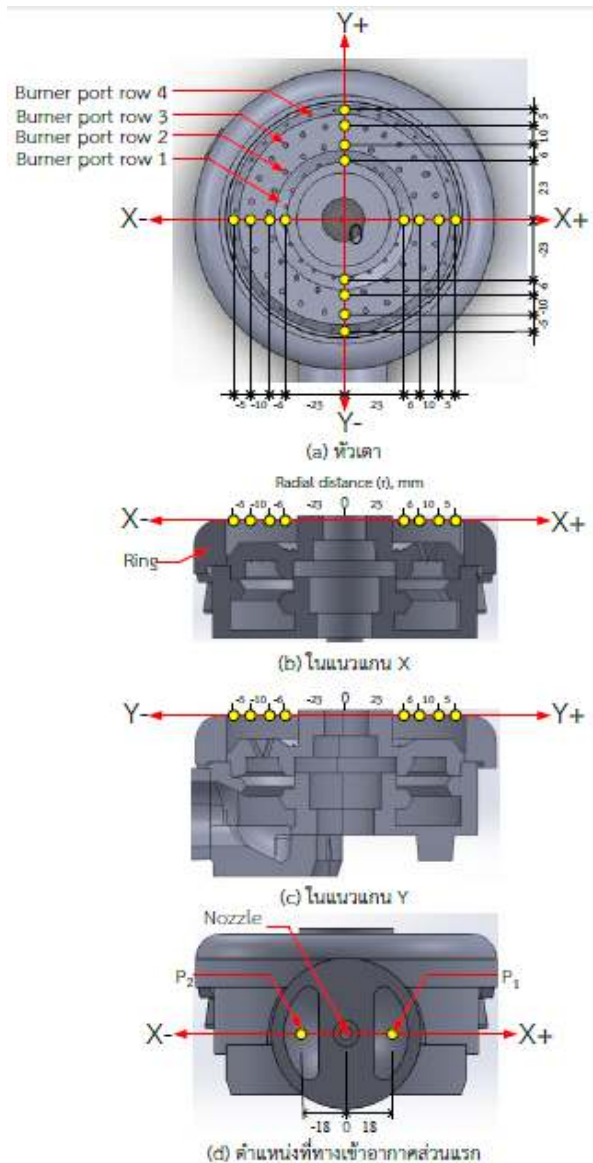
2.1 การทดลอง



รูปที่ 2 แผนภาพการทดลอง

รูปที่ 2 แสดงแผนภาพการทดลอง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยหัวเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดเชื้อเพลิงยี่ห้อแอปปี้แก๊ส รุ่น S-5, แก๊สแอลพีจี (LPG), ตัวปรับความดัน (Pressure control) และอุปกรณ์วัดความเร็วของอากาศ (Hot-wire anemometer) ยี่ห้อ testo-435 โดยมีความคลาดเคลื่อน ± 0.03 m/s หรือ 5% ของค่าที่อ่านได้ ในการทดลองเริ่มโดยการเปิดแก๊สจากถังที่ความดันต่างๆ

โดยที่ไม่มีการจุดไฟ เพื่อเก็บและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองและนำไปกำหนดเงื่อนไขขอบเขตใน CFD แล้วนำผลที่ได้จาก CFD เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองในการทดลองนี้ทำการเก็บข้อมูลความเร็วของแก๊สที่ไหลในเตาที่ตำแหน่งต่างๆดังแสดงในรูปที่ 3 ด้วย Hot-wire anemometer วัดความเร็วที่หัวเตาโดยทำการทดลอง 3 ครั้ง โดยการหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเร็วเมื่อเทียบผลจากการทดลองกับผลที่ได้จาก CFD หาได้จากสมการที่ 1



รูปที่ 3 ตำแหน่งในการวัดความเร็ว

$$\%error = \frac{(Exp - CFD) * 100}{Exp} \quad (1)$$

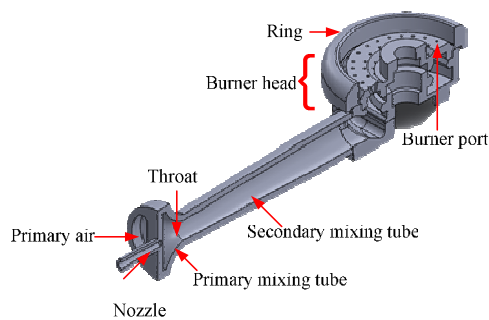
เมื่อ %error คือ เปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อน

Exp คือ ข้อมูลจากการทดลอง

CFD คือ ข้อมูลจาก CFD

2.2 พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

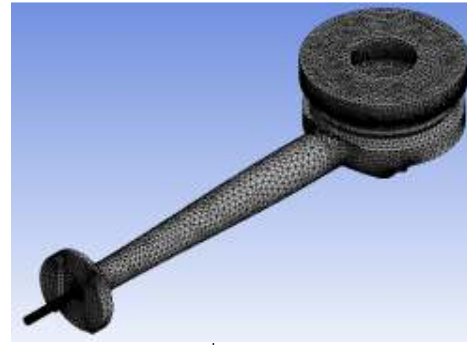
การกำหนดขอบเขตพื้นที่ ในการศึกษาที่ผสม (mixing tube) ของเตาชนิดแรงดันสูงชนิดประหยัดแก๊ส ได้สร้างแบบจำลองสามมิติโดยใช้โปรแกรม Solid works ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยข้อมูลหัวเตาขนาดรู Burner port และจำนวนรู แสดงดังตารางที่ 1



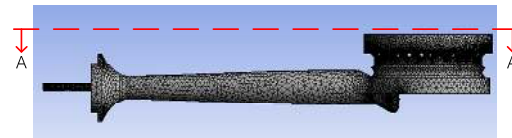
รูปที่ 4 ส่วนประกอบของเตา

ตารางที่ 1 ข้อมูลหัวเตาแก๊สแรงดันสูงที่ใช้ในการศึกษา

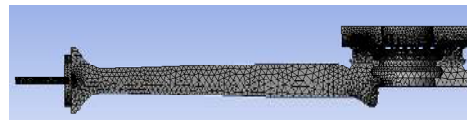
ชื่อ	รายการ	ค่า	จำนวน
Burner port row 1	เส้นผ่าศูนย์กลาง	1.5 mm	20 รู
	มุมเอียง	45 degree	
	ตำแหน่ง	±23 mm	
Burner port row 2	เส้นผ่าศูนย์กลาง	2 mm	19 รู
	มุมเอียง	15 degree	
	ตำแหน่ง	±29 mm	
Burner port row 3	เส้นผ่าศูนย์กลาง	2 mm	26 รู
	มุมเอียง	116 degree	
	ตำแหน่ง	±39 mm	
Burner port row 4	เส้นผ่าศูนย์กลาง	1.5 mm	26 รู
	มุมเอียง	135 degree	
	ตำแหน่ง	±44 mm	



(a) กริดที่ใช้ในการศึกษา



(b) ด้านข้าง

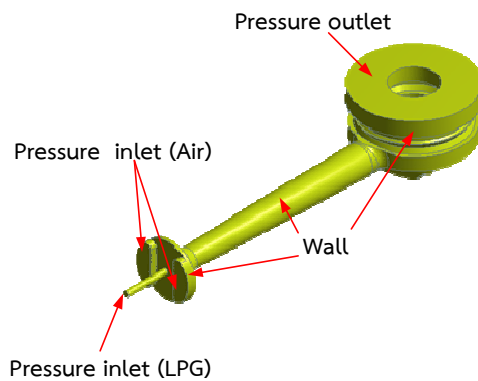


(c) ภาคตัด A-A

รูปที่ 5 กริดที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ใช้การจำลองกริดรูปทรงหน้าตัดแบบสามเหลี่ยม (Tetrahedral Grid) มีจำนวนอีลิเมนต์ประมาณ 2,000,000 อีลิเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 5 แบบจำลองความปั่นป่วนเลือกใช้แบบ RNG K-ε แบบจำลองนี้เป็นการแก้ไขปัญหาในของไหลที่มีสถานะเป็นแก๊ส ดังนั้นแบบจำลองความปั่นป่วนจึงนำมาวิเคราะห์ร่วมกับ species transport model ซึ่งเป็นการไหลแบบผสมและไม่มีการทำปฏิกิริยากัน และไม่มีการเผาไหม้ซึ่งกันและกัน ทั้งนี้จึงได้ผลการทดลองที่เปรียบเทียบกับผลการทดลองแบบ cold test

รูปที่ 6 แสดงเงื่อนไขขอบเขตการคำนวณโดยปากเตาด้านบนกำหนดเป็น Pressure outlet บริเวณผิวรอบๆเตา กำหนดเป็น wall และบริเวณ Primary air กำหนดเป็น Pressure inlet (Air) เงื่อนไขขอบเขตทางเข้าในส่วนของ LPG กำหนดเป็น Pressure inlet (LPG) เท่ากับ 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, และ 1.2 bar



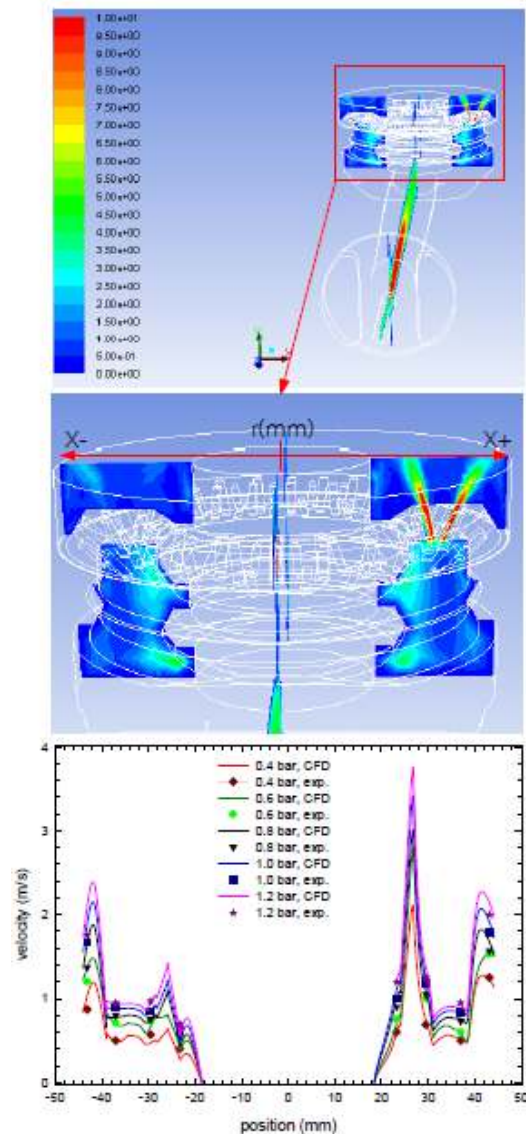
รูปที่ 6 เงื่อนไขขอบเขตการคำนวณ

3. ผลจากการศึกษา

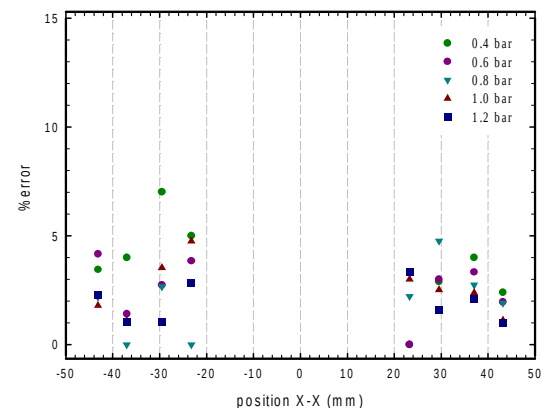
3.1 การเปรียบเทียบความเร็วบริเวณหัวเตาในแนวแกน X

รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของของผสม (mixture) ที่ตำแหน่งต่างๆ ในแนวแกน X เมื่อพิจารณาที่ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของหัวเตาออกไปบริเวณขอบของเตาด้านนอก ในแนวแกน X+ พบว่า ความเร็วที่ตำแหน่งระยะห่างจากจุดศูนย์กลาง 26 mm จะพุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในทุกๆ ความดันเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ตรงกับรูหัวเตาทำให้ได้รับอิทธิพลจากการไหลของของผสม (mixture) จาก Burner port row 1 และ 2

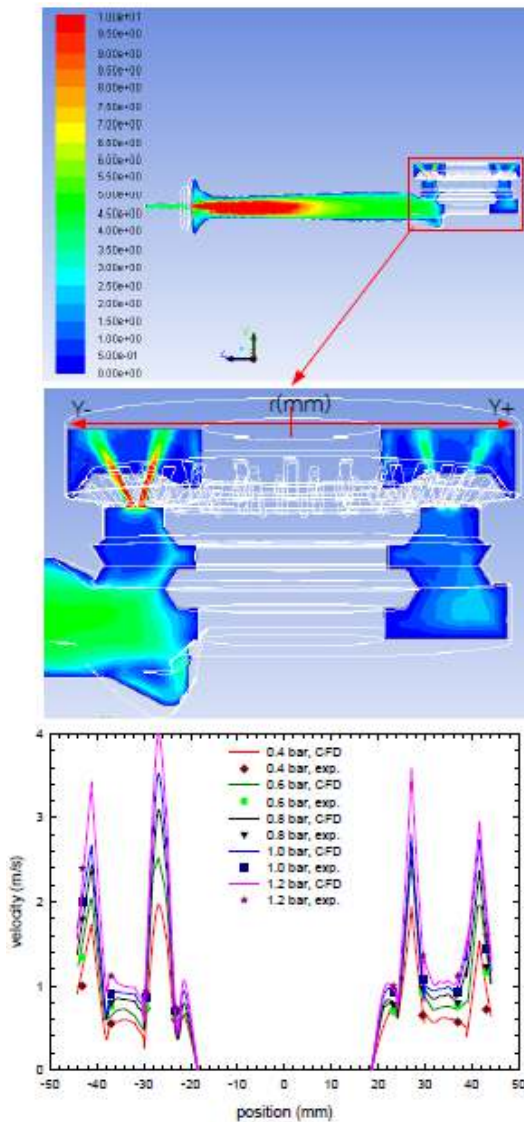
จากนั้นความเร็วที่ตำแหน่งระยะห่างจากจุดศูนย์กลาง 41 mm จะพุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในทุกๆ ความดันเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ตรงกับรูหัวเตาทำให้ได้รับอิทธิพลจากการไหลของของผสม (mixture) จากรู Burner port row 3 และ 4 เมื่อพิจารณาในแนวแกน X- พบว่า มีลักษณะเช่นเดียวกับแกน X+ และเมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งใดๆ พบว่า ความเร็วของผสมจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความดันของแก๊ส LPG เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรก (Primary air) จึงสามารถดูดอากาศไปยังหัวเตามากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ความเร็วที่ได้จากการจำลอง CFD จะมีค่าใกล้เคียงกับความเร็วที่ได้จากการวัดที่ทุกตำแหน่งโดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 7% โดยส่วนใหญ่จะมีค่าไม่เกิน 5% ดังแสดงในรูป 8 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเร็วที่หัวเตาด้านบนในแนวแกน X



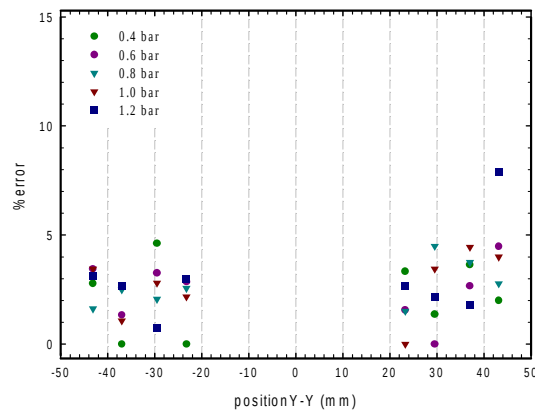
รูปที่ 7 การเปรียบเทียบความเร็วของของผสม (mixture) ที่ตำแหน่งต่างๆในแนวแกน X



รูปที่ 8 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเร็วที่หัวเตาด้านบนในแนวแกน X



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบความเร็วของของผสม (mixture) ที่ตำแหน่งต่างๆในแนวแกน Y



รูปที่ 10 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเร็วที่หัวเตาด้านบนในแนวแกน Y

3.2 การเปรียบเทียบความเร็วบริเวณหัวเตาในแนวแกน Y

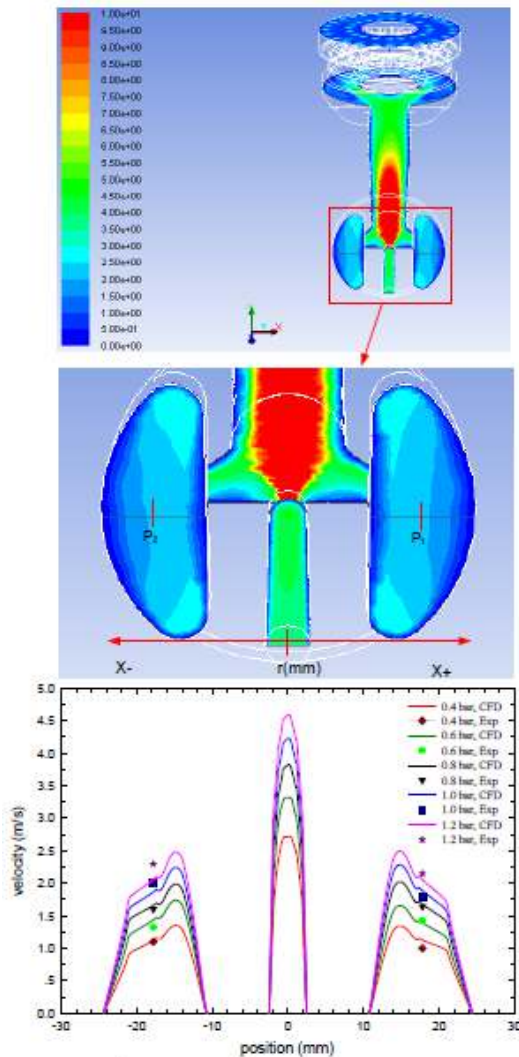
รูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของของผสม (mixture) ที่ตำแหน่งต่างๆ ในแนวแกน Y เมื่อพิจารณาที่ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของหัวเตาออกไปบริเวณขอบของเตาด้านนอก ในแนวแกน Y+ พบว่าความเร็วที่ตำแหน่งระยะห่างจากจุดศูนย์กลาง 26 mm จะพุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในทุกๆ ความดันเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ตรงกับรูหัวเตาทำให้ได้รับอิทธิพลจากการไหลของของผสม (mixture) จาก Burner port row 1 และ 2

จากนั้นความเร็วที่ตำแหน่งระยะห่างจากจุดศูนย์กลาง 41 mm จะพุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในทุกๆ ความดันเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ตรงกับรูหัวเตาทำให้ได้รับอิทธิพลจากการไหลของของผสม (mixture) จาก Burner port row 3 และ 4 เมื่อพิจารณาในแนวแกน Y- พบว่า มีลักษณะเช่นเดียวกับแกน Y+ และเมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งใดๆ พบว่า ความเร็วของผสมจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความดันของแก๊ส LPG เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเกิดการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรก (Primary air) จึงสามารถดูดอากาศไปยังหัวเตามากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ความเร็วที่ได้จากการจำลอง CFD จะมีค่าใกล้เคียงกับความเร็วที่ได้จากการวัดที่ทุกตำแหน่งโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 8% โดยส่วนใหญ่จะมีค่าไม่เกิน 5% ดังแสดงในรูปที่ 10 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเร็วที่หัวเตาด้านบนในแนวแกน Y

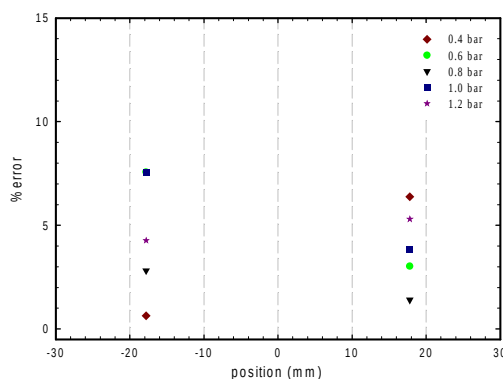
3.3 การเปรียบเทียบความเร็วบริเวณ ทางเข้าอากาศส่วนแรก

รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของอากาศส่วนแรกที่ทางเข้าห้องผสมพบว่า เมื่อความดันแก๊ส LPG เพิ่มสูงขึ้น ความเร็วของอากาศส่วนแรก (Primary air) จะมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากเกิดจากการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรก (Primary air) จึงสามารถดูดอากาศมากขึ้น โดยความเร็วของอากาศส่วนแรกที่ได้จาก CFD มีค่าใกล้เคียงกับความเร็วของอากาศส่วนแรกที่ได้

การทดลองโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 8% ดังแสดงในรูปที่ 12



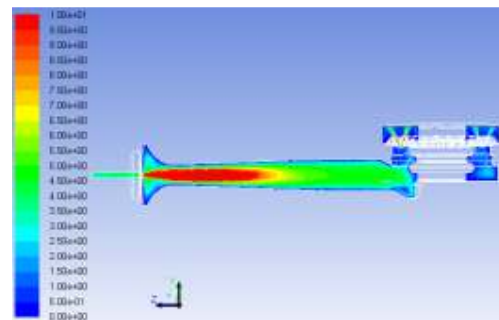
รูปที่ 11 การเปรียบเทียบความเร็วของอากาศส่วนแรกที่ทางเข้าห้องผสม



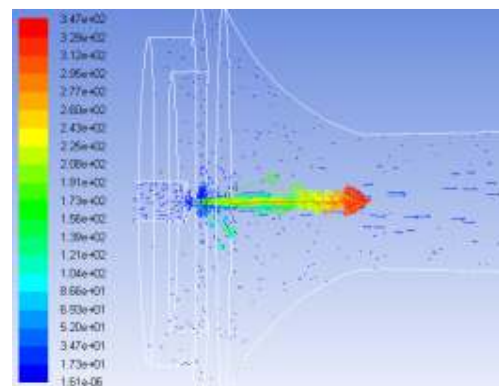
รูปที่ 12 เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนของความเร็วที่ตำแหน่งต่างๆ บริเวณ Primary air

3.4 พฤติกรรมการไหลภายในท่อผสม

รูปที่ 13 และ 14 แสดงแถบสีแสดงความเร็ว (m/s) และ เวกเตอร์ความเร็ว (m/s) ที่ระนาบกึ่งกลางเตา ตามลำดับ พบว่า ของไหลบริเวณหัวฉีด (Nozzle) มีความเร็วสูงกว่าความเร็วตำแหน่งอื่นๆ เนื่องจากแก๊สเชื้อเพลิงแรงดันสูงที่ปล่อยจากถังไหลตามท่อไปยังหัวฉีดที่มีพื้นที่หน้าตัดน้อยเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการเผาไหม้ แก๊สเชื้อเพลิงที่ออกจากหัวฉีดมีความเร็วสูงสามารถเหนี่ยวนำอากาศบริเวณอากาศส่วนแรก (Primary air) ให้เข้าไปผสมเชื้อเพลิงในท่อผสมและบริเวณหัวเตาพบว่าการไหลด้วยความเร็วสูงในรูซึ่งบ่งบอกถึงลักษณะการไหลภายในท่อที่มีการไหลแบบปั่นป่วนซึ่งเป็นลักษณะของของผสม (mixing) ที่ดี



รูปที่ 13 แถบสีแสดงความเร็ว (m/s) ที่ระนาบกึ่งกลางเตา



รูปที่ 14 เวกเตอร์ความเร็ว (m/s) ที่ระนาบกึ่งกลางเตา

4.สรุป

ผลการจำลองพฤติกรรมการไหลของเตาแก๊สแรงดันสูงชนิดประหยัดแก๊สโดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณมีตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาคือ ความดันของ LPG ที่หัวฉีดซึ่งทำการศึกษาที่ 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 bar พบว่า

1. เมื่อเพิ่มความดัน LPG ที่หัวฉีดส่งผลให้การเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกและความเร็วของของผสมที่บริเวณปากเตาด้านบนมีค่าเพิ่มขึ้น

2. ความเร็วของของผสมจะมีค่าสูงขึ้น

3. ผลจากการจำลอง (CFD) มีความสอดคล้องกับผลการทดลอง (Exp) โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 8%

4. จากพฤติกรรมการไหลสามารถอธิบายพฤติกรรมการไหลของเชื้อเพลิงในเตาแก๊สแรงดันสูงชนิดประหยัดแก๊สได้ถูกต้อง

5. CFD สามารถใช้จำลองพฤติกรรมการไหลในท่อของเตาแก๊สแรงดันสูงชนิดประหยัดแก๊สได้อย่างถูกต้อง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2560, ข้อมูลพลังงาน , [Energy Database], URL: <http://www.eppo.go.th/>
- [2] 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, 1996.

[3] ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ., 2544. การประยุกต์ใช้วัสดุพูนเพื่อการประหยัดพลังงานในเตาแก๊สหุงต้ม.

2544.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[4] Namkhat, A., Jugjai, S., 2009. Primary air entrainment characteristics for a self-aspirating burner. *Energy*, vol. 35, 2010, pp. 1701-1708.

[5] Wichangarm, M., Matthujak, A., Sriveerakul, T., & Sucharitpawatskul, S., 2016. Simulation of flow characteristics in an energy-saving high-pressure gas stove. *30th Conference of Mechanical Engineering Network Thailand (MENETT 30)*

[6] ธ น า ย ง อุ ต ส า ท กร ร ม , 2558, URL: <http://happygas2000.com/about.htm>