

การศึกษาผลของการให้ความร้อนของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

ฐิตินันท์ ปัญจพงษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปีการศึกษา 2561 ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



STUDY ON THERMAL EFFECT OF GAS-SAVING HIGH-PRESSURE STOVE USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

TITINAN PANJAPONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING MAJOR IN MECHANICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING ACADEMIC YEAR 2018 CORYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY



ใบรับรองวิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยอุบราชธานี ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด โดยเทคนิคการไหลแบบหมุนวน

ผู้วิจัย นายฐิตินันท์ ปัญจพงษ์

คณะกรรมการสอบ

รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต กฤตาคม ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.ธนรัฐ ศรีวีระกุล กรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.อนิรุตต์ มัทธุจักร์ กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์) รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง) คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปีการศึกษา 2561

กิตกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่องนี้จะสำเร็จได้เนื่องจากความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.อนิรุตต์ มัทธุจักร์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานวิจัยเป็นอย่างดี มาโดยตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา รวมไปถึงการให้ทักษะในการทำงานวิจัยได้เป็นอย่างดี จึง ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

รวมทั้งขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธนรัฐ ศรีวีระกุล ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านข้อมูล ที่เกี่ยวข้องกับการจำลองการเผาไหม้และเอกสาร บทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต กฤตาคม ที่ให้ความกรุณาร่วมเป็นประธานกรรมการ สอบหัวข้อวิทยานิพนธ์และร่วมเป็นประธานกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ขอขอบคุณคณะครู-ผู้บริหาร วิทยาลัยเทคนิคหัวตะพานที่ให้คำแนะนำและข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ขอขอบพระคุณนาย มานะ วิชางาม นายถนัดกิจ ชะนะกุล และเพื่อน ๆ บัณฑิตศึกษาที่มีส่วนร่วมในการดำเนินงานวิจัยจน สำเร็จลุล่วง และที่สำคัญขอขอบพระคุณพ่อ-แม่ ครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจและสนับสนุนการทำ วิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

> ฐิตินันท์ ปัญจพงษ์ ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

เรื่อง	:	การศึกษาผลของการให้ความร้อนของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดด้วยวิธี
		พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ
ผู้วิจัย	:	ฐิตินันท์ ปัญจพงษ์
ชื่อปริญญา	:	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	:	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	1:	รองศาสตราจารย์ ดร.อนิรุตต์ มัทธุจักร์
คำสำคัญ	:	เตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด, พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ, การไหลแบบ
		หมุนวน

้วิทยานิพนธ์นี้มีจุดประสงค์เพื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สแรงดันสูง แบบประหยัดโดยเทคนิคการไหลแบบหมุนวนด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) ร่วมกับการ ทดลอง ซึ่งใช้โมเดลในรูปแบบการไหลแบบปั่นป่วน Standard k–ɛ คำนวณร่วมกับการเผาไหม้แบบ Eddy dissipation combustion model และทำการศึกษาอิทธิพลของความดันของแก๊สแอลพีจี การหมุนวนของหัวเตา ระยะความสูงระหว่างกันภาชนะกับหัวเตา และรูทางออกหัวหัวเตา ต่อ พฤติกรรมการเผาไหม้ จากการจำลอง CFD พบว่า แบบจำลองมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าร้อยละ และ 13.3 เมื่อเปรียบเทียบจากการวัดความเร็วและอุณหภูมิจากการทดลอง ตามลำดับ โดย แบบจำลองแสดงให้เห็นพฤติกรรมการไหล การเผาไหม้และการถ่ายเทความร้อนไปยังภาชนะได้อย่าง ชัดเจน และเมื่อความดันแก๊สแอลพีจีเพิ่มสูงขึ้น ความเร็วของอากาศส่วนแรกจะมีค่าสูงขึ้น ซึ่งมี ้ความเร็วสูงเท่ากับ 2.36 m/s ที่ความดัน 1.2 bar และเมื่อพิจารณาการการเผาไหม้ พบว่า อุณหภูมิ ้จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อความดันแก๊สแอลพีจีเพิ่มสูงขึ้น โดยจะมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 1320 K ที่ความดัน ้เท่ากับ 1.2 bar บริเวณกึ่งกลางของหัวเตา โดยลักษณะเปลวไฟที่ได้จากแบบจำลองมีลักษณะคล้ายกัน ้กับเปลวไฟที่ได้จากการทดลอง และเมื่อทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนพบว่า เมื่อความดันแก๊ส ้แอลพีจีเพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะมีค่าลดต่ำลง โดยมีค่าสูงเท่ากับร้อยละ 43.9 ที่ความ ดัน 0.6 bar นอกจากนี้ยังทำการศึกษาอิทธิพลของการหมุนวนด้วยการปรับมุมของหัวเตาแบบดังเดิม CB-I116-S00 ที่มีมุมเงย (Incline angle: β) เท่ากับ 116 องศา และมุมเอียง (Swirl angle: α) เท่ากับ 0 องศา ปรับเปลี่ยนเป็นเตา SB-1085-S15, SB-1090-S0, SB-1085-S00, SB-1116-S15 และ SB-1090-S15 จากแถบสีอุณหภูมิและเวคเตอร์ของความเร็ว พบว่า เตา SB-1116-S15 ให้ลักษณะการ เผาไหม้ที่เหมาะสม ซึ่งส่งผลให้มีค่าฟลักซ์ความร้อนสูงกว่าเตาในรูปแบบอื่น โดยมีค่าฟลักซ์ความร้อน เท่ากับ 6145.19 W/m² ซึ่งเมื่อระยะความสูงระหว่างหัวเตากับภาชนะเพิ่มสูงขึ้น ค่าฟลักความร้อนจะ มีค่าลดลง และเมื่อพิจารณารูทางออกของหัวเตา พบว่า ขนาดรู 2.0 mm จะให้ค่าฟลักความร้อนสูง ที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6301.13 W/m²

ABSTRACT

TITLE	: STUDY OF THERMAL EFFECT OF GAS-SAVING HIGH-PRESSURE
	STOVE USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS
AUTHOR	: TITINAN PANJAPONG
DEGREE	: MASTER OF ENGINEERING
MAJOR	: MECHANICAL ENGINEERING
ADVISOR	: ASSOC. PROF. ANIRUT MATTHUJAK, Ph.D.
KEYWORDS	: GAS-SAVING HIGH-PRESSURE STOVE, CFD, SWIRLING FLOW

The purpose of this thesis is to study thermal efficiency of gas-saving highpressure stove using swirling flow technique by computational fluid dynamics (CFD) with experiment. Standard $k-\epsilon$ turbulence model with an eddy dissipation combustion model was used for this simulation. Influence of LPG pressure, swirling flow of the burner, loading height and port diameter on combustion behaviors was investigated. From CFD, the simulation error was not less than 8% and 13.3% comparing with velocity and temperature measurement from experiments, respectively. Behaviors of flow, combustion and heat transfer to the vessel were obviously revealed. The velocity of primary air increased as the increasing LPG pressure, which the maximum velocity of primary air was 2.36 m/s at 1.2 bar. Considering combustion, combustion temperature increased as the increasing LPG pressure, which the maximum temperature was 1320 K at 1.2 bar and the middle of burner head. Flame structure obtained from CFD was similar to flame from experiment. From thermal efficiency testing, the thermal efficiency increased as the decreasing LPG pressure, which the maximum thermal efficiency was 43.9% at 0.6 bar. Moreover, influence of swirling flow by modifying conventional burner CB-I116-S00, being the incline angle (β) of 116° and the swirl angle (α) of 0°, to be SB-I085-S15, SB-I090-S0, SB-I085-S00, SB-I116-S15 and SB-I090-S15 was studied. From temperature contour and velocity vector, it was found that the SB-I116-S15 has the most suitable combustion. It affected to SB-I116-S15 having the highest heat flux, being 6145.19 W/m². Moreover, it was found that the heat flux decreased as the increasing loading height. The suitable port diameter of burner was 2.0 mm, which the heat flux was 6301.13 W/m^2 .

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมป	ระกาศ	ก
บทคัดย่อภา	ษาไทย	ข
บทคัดย่อภา	ษาอังกถษ	ค
สารบัญ		٩
สารบัญตาร	าง	្ត
สารบัญภาท	V	જ
คำอธิบายสั	ญลักษณ์และอักษรย่อ	ญ
บทที่ 1 บ	" ทนำ	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~
1	1 ความสำคัญและที่มาของการทำวิจัย	1
1	.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1	.3 ขอบเขตงานวิจัย	4
1	.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	4
1	.5 ระเบียบวิธีวิจัย	5
1	.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ท	ฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2	1 แก๊สปิโตรเลียมเหลว	6
2	.2 ปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี	6
2	.3 การจำแนกเตาแก้สหุงต้มในครัวเรือน	8
2	.4 โครงสร้างและการทำงานของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด	10
2	5 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน	11
2	.6 หลักการส่งเสริมการประหยัดพลังงานในระบบการเผาไหม้	11
2	7 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน	14
2	.8 การถ่ายเทความร้อนของเตาหุงต้มกับภาชนะ	16
2	.9 สมการที่ใช้ในการศึกษา	17
2	10 พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ	22
2	11 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28

สารบัญ (ต่อ)

ຈ

ע
หนา

บทที่ 3	ระเบียบวิธีวิจัย	
	3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	36
	3.2 การจำลองทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD)	37
	3.3 การทดลอง	46
บทที่ 4	ผลและการวิเคราะห์ผล	
	4.1 การศึกษาคุณภาพของเมช	54
	4.2 การศึกษาพฤติกรรมการไหลกรณีไม่มีการเผาไหม้	56
	4.3 การศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้และการไหลกรณีมีการเผาไหม้	63
	4.4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน	69
	4.5 อิทธิพลของรูปแบบหัวเตา	70
	4.6 อิทธิพลของระยะความสูงระหว่างก้นหม้อกับหัวเตา	80
บทที่ 5	สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
	5.1 สรุปผลการศึกษา	91
	5.2 ข้อเสนอแนะ	92
เอกสารอ้	ข้างอิง	95
ภาคผนว	ก	
	ก การคำนวณอัตราการป้อนเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพเชิงความร้อน	98
	ข ภาพการทดลอง	101
	ค บทความทางวิชาการ	104
ประวัติผู้วิจัย 121		

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ลักษณะหัวเผาและสภาวะการทำงานตาม [2, 15-18]	30
3.1	ขอบเขตเริ่มต้นการคำนวณ	39
3.2	เงื่อนไขของรูปแบบการจำลอง	43
4.1	ขอบเขตทางเข้า (Inlet) ของรูปแบบการจำลอง	62
4.2	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ความดันต่าง ๆ	70
4.3	รูปแบบเตาที่ใช้ในการศึกษาของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด	71
4.4	การกำหนดขนาดรูหัวเตา	87

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	สัดส่วนการใช้แก๊สแอลพีจี (LPG) ของประเทศไทยในปี 2557-2561	1
1.2	เตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด	3
1.3	หัวเตาที่มีการไหลแบบหมุนวน (Swirling flow)	3
2.1	ลักษณะเตาหุงต้มประเภทแรงดันต่ำ	8
2.2	ลักษณะเตาหุงต้มประเภทแรงดันสูง	9
2.3	ลักษณะเตาประหยัดแก๊สประเภทแรงดันสูง	10
2.4	โครงสร้างเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด	11
2.5	หลักการประหยัดพลังงานด้วยการหมุนเวียนความร้อนจากไอเสียมาสู่ไอดี	12
2.6	ความสัมพันธ์ระหว่าง Energy saving กับ T _{pre,air} ที่ค่าอุณหภูมิไอเสียต่าง ๆ กัน	14
2.7	เตาต้นแบบเตาแก๊สประสิทธิภาพสูงของ ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ	15
2.8	การถ่ายเทความร้อนของเตาหุงต้มให้แก่ก้นภาชนะ	17
2.9	การถ่ายเทความร้อนของเตาหุงต้มให้ด้านข้างภาชนะ	17
2.10	ปริมาตรควบคุมของของไหล 3 มิติเพื่อหาสมการอนุรักษ์	18
2.11	ปริมาตรควบคุมของของไหล 1 มิติเพื่อหาสมการอนุรักษ์	18
2.12	แบบจำลองการไหลของอากาศความเร็วสูงรอบกระสวยอวกาศ	23
2.13	เตาแก๊สประสิทธิภาพสูงของ วสันต์ โยเสนะกุล	31
2.14	ลักษณะหัวเตาแก๊สที่ใช้ในการทดลอง	33
2.15	(a) แถบสีแสดงอุณหภูมิ (b) เวคเตอร์แสดงความเร็ว ที่บริเวณหัวเตา	34
2.16	Periodic model ที่ใช้ในการศึกษา	35
3.1	แผนผังระเบียบวิธีวิจัย	36
3.2	ขอบเขตการจำลอง	37
3.3	การสร้างแบบจำลองเตาแรงดันสูงแบบประหยัดแก๊ส (Part 1)	38
3.4	การสร้าง Mesh (Part 1)	38
3.5	เงื่อนไขขอบเขตการคำนวณ (Part 1)	39
3.6	ตัวอย่างปริมาณ Mass fration ของ C3H8)	40
3.7	ตัวอย่างปริมาณ Mass fration ของ O2	40
3.8	การสร้างแบบจำลองเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดกรณีไม่มีหม้อ (Part 2)	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.9	การสร้างแบบจำลองเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดกรณีมีหม้อ (Part 2)	41
3.10	การสร้าง Mesh กรณีไม่มีหม้อ (Part 2)	42
3.11	การสร้าง Mesh กรณีมีหม้อ (Part 2)	42
3.12	เงื่อนไขขอบเขตกรณีที่ไม่มีหม้อ (Part 2)	43
3.13	เงื่อนไขขอบเขตกรณีที่มีหม้อ (Part 2)	43
3.14	ตัวอย่างปริมาณ Mass fraction ของ CO	45
3.15	ตัวอย่างปริมาณ Mass fraction ของ O ₂	45
3.16	ตัวอย่างอุณหภูมิของเปลวไฟ	45
3.17	เตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด	46
3.18	ถังบรรจุแก๊สแอลพีจี (LPG) ขนาด 48 kg	46
3.19	อุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure regulator)	47
3.20	อุปกรณ์วัดความเร็วของอากาศ (Hot-wire anemometer) ยี่ห้อ Testo-435	47
3.21	อุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Data Logger)	47
3.22	สายวัดอุณภูมิ (Thermocouple K-type)	48
3.23	นาฬิกาจับเวลาดิจิตอล	48
3.24	หม้อเบอร์ 26	48
3.25	อุปกรณ์การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนตามมาตรฐาน DIN EN 203-2	49
3.26	แผนภาพการวัดความเร็วบนหัวเตา	50
3.27	ตำแหน่งในการวัดความเร็ว (หน่วยเป็น mm)	50
3.28	แผนภาพการวัดอุณหภูมิ	52
3.29	ตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิเปลวไฟ (หน่วยเป็น mm)	53
3.30	ตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิเปลวไฟแบบมีหม้อ (หน่วยเป็น mm)	53
4.1	การเปรียบเทียบคุณภาพของเมชที่ความละเอียดต่าง ๆ ในกรณีไม่มีการเผาไหม้	54
4.2	พฤติกรรมการไหลภายในเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด	56
4.3	การเปรียบเทียบความเร็วของอากาศส่วนแรกที่ทางเข้าห้องผสม	56
4.4	พฤติกรรมการไหลภายในเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดบริเวณหัวเตา	58
4.5	การเปรียบเทียบความเร็วของของผสม (Mixture) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในแนวแกน X	60

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.6	การเปรียบเทียบความเร็วของของผสม (Mixture) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในแนวแกน Y	61
4.7	Mass fraction และ Mass flow rate ของส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ความดันแอลพีจี	62
	ต่าง ๆ	
4.8	พฤติกรรมของเปลวไฟในสภาวะเปิด	63
4.9	ลักษณะเปลวไฟที่ความดันต่าง ๆ	64
4.10	การกระจายตัวอุณหภูมิจากการทดลองและแบบจำลองที่ความดันต่าง ๆ	65
4.11	พฤติกรรมของเปลวไฟในกรณีมีภาชนะ	68
4.12	อุณหภูมิจากการทดลองและการจำลองที่ความดัน 0.6 bar แบบมีภาชนะ	69
4.13	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ความดันต่าง ๆ ของเตา CB	70
4.14	การกำหนดมุมเงยและมุมเอียงที่ใช้ในการศึกษา	71
4.15	แถบสีอุณหภูมิของเตารูปแบบต่าง ๆ ที่ความดันแอลพีจี 0.6 bar	72
4.16	เวคเตอร์ความเร็วของของไหล (Velocity vector of fluid) และความเร็วของอากาศ	75
	(Velocity of Mass fraction of air) ของเตารูปแบบต่าง ๆ ที่ความดันแอลพีจี 0.6 b	ar
4.17	ฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) บริเวณผิวหม้อจากการจำลองของหัวเตาต่าง ๆ ที่ความ	79
	ดัน 0.6 bar	
4.18	อิทธิพลของรูปแบบหัวเตาและความดันแอลพีจีต่อฟลักซ์ความร้อน	80
4.19	ความสูงของก้นหม้อ (Loading height)	80
4.20	แถบสีอุณหภูมิของ SB-I116-S15 ที่ Loading height ต่าง ๆ	81
4.21	อิทธิพลของ Loading height ต่อเวคเตอร์ความเร็วและความเร็วของอากาศของเตา	83
	แก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด	
4.22	ฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) บริเวณผิวหม้อจากการจำลองที่ความสูงจากหัวเตาถึง	86
	ก้นหม้อระดับต่าง ๆ	
4.23	อิทธิพลขนาดรูหัวเตาต่ออุณหภูมิ	88
4.24	อิทธิพลขนาดรูหัวเตาต่อความเร็ว	89
4.25	ฟลักซ์ความร้อนบริเวณผิวหม้อจากการจำลองที่ขนาดรูต่าง ๆ ที่ความดัน 0.6 bar	90
ข.1	การหาค่า Fring rate	102

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ข.2	การวัดความเร็วของของไหล (Part 1)	102
ข.3	การวัดอุณหภูมิเปลวไฟแบบไม่มีหม้อ (Part 2)	103
ข.4	การวัดอุณหภูมิเปลวไฟแบบมีหม้อ (Part 2)	103

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ

สัญลักษณ์และอักษรย่อ	ความหมาย
LPG	แก๊สเชื้อเพลิงปิโตรเลียมเหลว (Liquefied petroleum gas)
СВ	รูปแบบเตาแก๊สหุงต้มแบบดั้งเดิม (Conventional burner)
SB	รูปแบบเตาแก๊สหุงต้มแบบหมุนวน (Swirl burner)
CFD	วิธีทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational fluid
	dynamics)
C ₃ H ₈	สารประกอบโพรเพน (Propane)
C ₄ H ₁₀	สารประกอบบิวเทน (Butane)
CO	แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (Carbon monoxide)
CO ₂	แก๊สคาร์บอนำดนอกไซด์ (Carbon dioxide)
O ₂	แก๊สออกซิเจน (Oxygen)
N ₂	แก๊สไนโตรเจน (Nitrogen)
H ₂ O	น้ำ (Water)
α	มุมเอียง (Swirl angle)
β	มุมเงย (Incline angle)
A/F _{stoi}	อัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงแอลพีจี (LPG)
	ของการเผาไหม้สมบูรณ์ในทางทฤษฎี
η_{th}	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency)
<i>m</i> _{water}	มวลของน้ำ
$C_{p,water}$	ค่าความจุความร้อนของน้ำ
Т	อุณหภูมิ
T _{w,avg}	อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวภาชนะ
V	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊ส
LHV	ค่าความร้อนทางต่ำของเชื้อเพลิง
t	เวลาที่ใช้ในการทดสอบ

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์และอักษรย่อ	ความหมาย		
'n	อัตราการถ่ายโอนมวล		
ρ	ความหนาแน่น		
u	ความเร็วในแกน x		
V	ความเร็วในแกน y		
W	ความเร็วในแกน z		
X	ระบบพิกัดแกน x		
у	ระบบพิกัดแกน y		
Z	ระบบพิกัดแกน z		
k	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน		

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการทำวิจัย

ในปัจจุบันทั่วโลกประสบปัญหาสถานการณ์ด้านวิกฤตการณ์พลังงานเนื่องจากพลังงานที่ใช้มี ปริมาณน้อยลงและจะหมดลงไปหากยังไม่พบแหล่งพลังงานใหม่ นอกจากนี้ราคาของพลังงานยังมี มูลค่าเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อ เป็นการลดการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลือง นอกจากปัญหาข้างต้นแล้ว ปัญหาโลกร้อนเป็นอีกปัญหา หนึ่งที่ได้รับความสนใจซึ่งเกี่ยวข้องกับปัญหาการใช้พลังงานโดยตรงซึ่งเกิดจากการปล่อยแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) หรือที่เรียกกันว่า แก๊สเรือนกระจกซึ่งเป็นแก๊สที่เกิดจากกระบวนการใช้ พลังงานโดยการเผาไหม้เชื้อเพลิง ไม่ว่าจะเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลหรือเชื้อเพลิงปิโตรเลียม โดยเฉพาะ เชื้อเพลิงปิโตรเลียมซึ่งมีการใช้อย่างกว้างขวางทั้งในภาคอุตสหกรรมและครัวเรือน ดังนั้นหากใช้ พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพนอกจากจะลดปัญหาวิกฤตการณ์ด้านพลังงานแล้วยังช่วยลดปัญหาโลก ร้อนได้อีกด้วย



ภาพที่ 1.1 สัดส่วนการใช้แก๊สแอลพีจี (LPG) ของประเทศไทยในปี 2557-2561 [1]

จากสถิติในการใช้พลังงานของกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2561 [1] พบว่า ความต้องการใช้ พลังงานจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมภายในประเทศไทยมีมากขึ้นโดยเฉพาะแก๊สปิโตรเลียมเหลว หรือ แก๊สแอลพีจี (Liquefied petroleum gas, LPG) แก๊สปิโตรเลียมเหลวมีส่วนประกอบคือ โพรเพน (Propane) และบิวเทน (Butane) หรืออย่างใดอย่างหนึ่ง เนื่องจากแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด เผาไหม้ได้สมบูรณ์และสะดวกต่อการใช้งานจึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ทั้งในครัวเรือน ร้านอาหาร อุตสาหกรรม รถยนต์ และอื่น ๆ การใช้เชื้อเพลิงรูปแบบแก๊สแอลพีจีของประเทศไทยใน พ.ศ. 2557-2561 [1] ดังภาพที่ 1.1 พบว่า มีการใช้เชื้อเพลิงแก๊สแอลพีจีในภาคปิโตรเคมีเป็นร้อยละ 36 รองลงมาคือภาคครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 33 ภาคการขนส่งคิดเป็นร้อยละ 19 และ ภาคอุตสาหกรรมคิดเป็นร้อยละ 10 ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นว่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิง รูปแบบแก๊สแอลพีจีในภาคครัวเรือนมีความต้องการสูงอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น หากต้องการลดการใช้แก๊ส แอลพีจีในประเทศไทยภาคครัวเรือนจึงควรได้รับความสนใจก่อนเป็นอันดับแรก

การใช้พลังงานในรูปแบบแก๊สแอลพีจ์ในภาคครัวเรือนโดยส่วนใหญ่จะถูกใช้ในเตาแก๊สหุงต้มใน ครัวเรือนและร้านอาหารเพื่อใช้เป็นแหล่งให้ความร้อน โดยลักษณะของเปลวไฟของเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้ เป็นแบบพุ่งชน (Impinging flame jet) ซึ่งจะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูง [2] ดังนั้นต้องใช้ ปริมาณแก๊สแอลพีจีค่อนข้างมาก เนื่องจากแก๊สหุงต้มที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนั้นมีลักษณะการเผาไหม้ แบบเปิด จึงไม่สามารถนำความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้มาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ เพราะว่าการ ถ่ายเทความร้อนจากเปลวไฟไปยังภาชนะถูกจำกัดโดยการพาความร้อน (Convection) เป็นส่วนใหญ่ ทั้งยังมีการสูญเสียความร้อนเป็นจำนวนมากไปกับแก๊สไอเสียโดยการพาความร้อน (Convection) และสูญเสียความพลังงานความร้อนของเปลวไฟจากการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) ถึงแม้ว่ามีการ วิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มแอลพีจี แต่งานวิจัยส่วนใหญ่จะ สนใจศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สแรงดันสูง (>5.78 kW) หรือตามท้องตลาด เรียกว่า เตาหัวฟู่ หรือ เตา KB ซึ่งเป็นเตาแก๊สที่มีขนาดใหญ่กว่าเช่น เตาแก๊ส KB-5, KB-8 และ KB-10 โดยมีขนาดหัวเตา 5, 8 และ 10 นิ้ว ตามลำดับ

ปัจจุบันเตาชนิด KB ได้ถูกพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่องโดยการปรับปรุงดัดแปลง ส่วนต่าง ๆ ของเตาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน โดยปัจจุบันได้มีการผลิตเตาแก๊สประเภท แรงดันสูง ขนาดเทียบเท่าเตา KB-5 ซึ่งเรียกว่า เตาแรงดันสูงแบบประหยัด ดังแสดงในภาพที่ 1.2 นอกจากนี้ ได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยการปรับปรุงลักษณะการฉีดหัว เตาจากหัวเตาแบบเดิม (Conventional burner: CB) เปลี่ยนมาเป็นการฉีดแก๊สแบบการไหลแบบ หมุนวน (Swirling flow) [3-5] ซึ่งจากการศึกษาและวิจัยของ Tamir และคณะ [6] พบว่า มุมเงย (β) เท่ากับ 26 องศา และมุมเอียง (α) เท่ากับ 15 องศา ดังแสดงในภาพที่ 1.3 ทำให้ประสิทธิภาพเชิง ความร้อนเพิ่มขึ้นร้อยละ 6



ภาพที่ 1.2 เตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด [4]



ภาพที่ 1.3 หัวเตาที่มีการไหลแบบหมุนวน (Swirling flow) [6]

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาเตาแก๊สหุงต้มด้วยการทดลองเป็นหลัก เนื่องจากมีข้อดีคือ ให้ผลที่ถูกต้องแม่นยำ แต่มีข้อด้อยคือ ใช้เวลานานและเสียค่าใช้จ่ายมาก นอกจากนี้ยังสังเกตพฤติกรรมการไหลของของไหลได้ยากเพราะข้อจำกัดของเครื่องมือวัดและแก๊สแอล พีจีที่ผสมกับอากาศที่ไหลภายในเตา ไม่มีสีพอที่จะสังเกตเห็นทิศทางการไหลของแก๊สแอลพีจีที่ผสมกับ อากาศได้เพื่อให้เห็นพฤติกรรมการไหลของแก๊สแอลพีจีที่ผสมกับอากาศได้ชัดเจนขึ้น ดังนั้นปัจจุบันได้ มีการนำวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational fluid dynamics: CFD) มาช่วยออกแบบ และพัฒนาเตาประเภทต่าง ๆ เนื่องจากมีข้อดีคือ ใช้เวลาน้อยและมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการ ทดลองจริง อีกทั้งยังสามารถอธิบายพฤติกรรมการการไหลและการเผาไหม้รวมถึงการถ่ายแทความ ร้อนได้สะดวกและเข้าใจง่าย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลและการเผาไหม้รวมถึงการถ่ายแท ความร้อนไปยังภาชนะของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดด้วยวิธีการจำลองทางพลศาสตร์ของไหล เชิงคำนวณ (Computational fluid dynamics: CFD) ร่วมกับการทดลองรวมถึงศึกษาอิทธิพลของ มุมหมุนวนต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สดังกล่าว ต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลและการเผาไหม้ของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด ด้วย วิธีการจำลองทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณร่วมกับการทดลอง

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลการไหลแบบหมุนวนต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ด้วยวิธีการจำลองทาง พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ใช้เตาแรงดันสูงแบบประหยัดที่มีขนาดเทียบเท่า KB-5

1.3.2 ทำการจำลองโดยใช้พลศาสตร์ของไหลเซิงคำนวณ (Computational fluid dynamics:CFD) แบบ 3 มิติ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

1.3.3 ศึกษาอิทธิพลของตัวแปร (Parameters) คือ มุมเงย (Incline angle: β) มุมเอียง (Swirl angle: α) ขนาดของรูหัวเตา ระยะกันหม้อ อัตราการไหลของแก๊ส ที่มีผลต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ ของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดที่มีอยู่ทั่วไปในท้องตลาดโดยใช้การจำลอง (CFD)

 1.3.4 พฤติกรรมการไหลและการเผาไหม้แสดงในรูปของความเร็ว อุณหภูมิ และ ฟลักซ์ความ ร้อน (Heat flux)

1.3.5 ทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ส โดยใช้หลักการต้มน้ำ (Boiling test) ตามมาตรฐาน DIN EN 203-2 [8]

1.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.4.1 เตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด

1.4.2 ถังแก๊สแอลพีจี (LPG)

1.4.3 นาฬิกาจับเวลา

1.4.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก

1.4.5 Thermocouple k-type

1.4.6 Hot wire anemometer

1.4.7 วาล์วควบคุมความดัน

1.4.8 Hood

1.4.9 แท่นทดสอบตามาตรฐาน DIN EN 203-2

1.4.10 โปรแกรม CFD สำเร็จรูป

1.4.12 คอมพิวเตอร์สำหรับการคำนวณพลศาสตร์ของไหลและประมวลผล

1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

1.5.1 ทบทวนวรรณกรรม ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยจากหนังสือหรือ วารสารทางวิชาการทั้งในประเทศและต่างประเทศ

1.5.2 ทำการวัดขนาดเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดที่มีอยู่ทั่วไปในท้องตลาด

1.5.3 นำขนาดและรูปร่างของอากาศภายในขอบเขตพื้นที่การทำงานของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบ
 ประหยัดแบบมาสร้างแบบจำลอง 3 มิติ (3D Model) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

1.5.4 ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปจำลองพฤติกรรมการไหลของหัวเตาในกรณีที่ไม่มีการเผาไหม้และ ในกรณีที่มีการเผาไหม้

1.5.5 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบ และวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

1.5.6 ปรับเปลี่ยนมุมเงยและมุมเอียงของรูหัวเตา ระยะก้นหม้อ ในแบบจำลอง

1.5.7 วิเคราะห์แนวโน้มประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ดีในแบบจำลอง โดยพิจารณาจาก
 วิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ย ความเร็วเฉลี่ย ฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) และอัตราการไหลเชิงมวลของ
 เชื้อเพลิงผสมกับอากาศในแบบจำลอง

1.5.8 สรุปผลการวิเคราะห์และวิจารณ์ผลที่ได้จากการจำลองหัวเตาที่สร้างขึ้นใหม่ด้วยวิธีการ จำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

1.5.10 เขียนวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถอธิบายพฤติกรรมการไหลและการเผาไหม้ของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดที่มี ขนาดเทียบเท่าเตาแก๊ส KB–5 ได้

1.6.2 ทราบถึงอิทธิพลที่มีผลของตัวแปรต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ส

1.6.3 เป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แก๊สปิโตรเลียมเหลว

เชื้อเพลิงปิโตรเลียมเหลวหรือแก๊สแอลพีจี (Liquefied petroleum gas, LPG) ที่เป็นผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากธรรมชาติประเภทหนึ่ง โดยมีสารประกอบหลักที่สำคัญ 2 ชนิด ได้แก่ โพรเพน (Propane) และบิวเทน (Butane) หรืออย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษ คือ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ให้ค่าความ ร้อนสูง เป็นเชื้อเพลิงที่ความสะอาด ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมนามาใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งด้าน อุตสาหกรรม พาณิชย์ และในครัวเรือน

2.2 ปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี (Stoichiometry)

ปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ผสมอยู่ในอากาศโดยทั่วไป เท่ากับร้อยละ 21 โดยปริมาตร (ร้อยละ 23 โดยมวล) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ จากกรณีแก๊สเซื้อเพลิงแอลพีจี (LPG) ทำ ปฏิกิริยากับอากาศแล้วจึงเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ สามารถเขียนสมการเคมีสูตรสำเร็จของระบบ CHON-เชื้อเพลิง-อากาศได้ [7]

สมการเคมีการเผาไหม้ของสารประกอบโพรเพน (Propane) คือ

$$C_3H_8 + 5O_2 \longrightarrow 3CO_2 + 4H_2O$$
 (2.1)

จากสมการเผาไหม้ของสารประกอบโพรเพน (C3H8)	1	หน่วย
มีความต้องการปริมาตรของออกซิเจนในการเผาไหม้	5	หน่วย
ดังนั้น (C ₃ H ₈) 1 m ³ ต้องการ ออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้	5	m ³

ปริมาตรอากาศของการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เท่ากับร้อยละ 5/21 เท่ากับ 23.81 m³

สมการเคมีการเผาไหม้ของสารประกอบบิวเทน (Butane) คือ

$$C_4H_{10} + 6.5O_2 \longrightarrow 4CO_2 + 5H_2O$$

$$(2.2)$$

จากสมการเผาไหม้ของสารประกอบบิวเทน (C4H10)	1	หน่วย
มีความต้องการปริมาตรของ ออกซิเจนในการเผาไหม้	6.5	หน่วย
ดังนั้น (C ₄ H ₁₀) 1 m ³ ต้องการออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้	6.5	m ³

จากสมการการเผาไหม้ของสารประกอบโพรเพน (Propane) และสารประกอบบิวเทน (Butane) ดังกล่าว พบว่าสารประกอบโพนเพน (Propane) และสารประกอบบิวเทน (Butane) ที่มีความ ต้องการปริมาณอากาศที่จำเป็นต่อเผาไหม้ที่สมบูรณ์ มีค่าเท่ากับ 5 เท่า และ 6.5 เท่าของ สารประกอบ ดังนั้นจากกรณีเชื้อเพลิงแอลพีจี (LPG) ได้มีสารประกอบโพรเพน (C₃H₈) ร้อยละ 50 โดยปริมาตร และบิวเทน (C₄H₁₀) ร้อยละ 50 โดยปริมาตร ทำปฏิกิริยากับอากาศแล้วจึงเกิดการ เผาไหม้ ดังนี้

2.2.1 สมการเคมีการเผาไหม้ของโพรเพน (C₃H₈) เท่ากับร้อยละ 50 และ บิวเทน (C₄H₁₀) เท่ากับร้อยละ 50 โดยปริมาตร (By volume) คือ

$$0.5C_{3}H_{8} + 0.5C_{4}H_{10} + 5.75O_{2} \rightarrow 3.5CO_{2} + 4.5H_{2}O$$
(2.3)

ในเชื้อเพลิงแอลพีจี 1 m³ มีความต้องการออกซิเจน (O₂) เท่ากับ 5.75 m³ ดังนั้น อัตราส่วน ระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงแอลพีจีของการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ในทางทฤษฎี (A/F_{stoi}) เท่ากับ 27.51/1

2.2.2 สมการเคมีการเผาไหม้ของโพรเพน (C₃H₀) เท่ากับร้อยละ 50 และบิวเทน (C₄H₁₀) เท่ากับร้อยละ 50 โดยมวล (By mass) คือ

$$0.5C_{3}H_{8} + 0.5C_{4}H_{10} + 5.75O_{2} \rightarrow 3.5CO_{2} + 4.5H_{2}O$$
(2.5)

เขียนใหม่เป็น $C_{1.5}H_4 + C_2H_5 + O_{11.5} \rightarrow C_{3.5}O_7 + H_9O_{4.5}$ (2.6)

ในเชื้อเพลิงแอลพีจี 1 m³ มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย เท่ากับ 0.051 kg จึงทราบได้ว่าปริมาณของ อากาศ เท่ากับ 0.789 kg ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงแอลพีจีของการเผาไหม้ที่ สมบูรณ์ในทางทฤษฎี (A/F_{stoi}) เท่ากับ 15.477 โดยมวล

2.3 การจำแนกเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน

เชื้อเพลิงแอลพีจี (LPG) จำเป็นต้องทำงานร่วมกับเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนประเภทแรงดันต่ำและแรงดันสูง

2.3.1 ประเภทเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน ประเภทแรงดันต่ำ (ที่มีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงไม่ เกิน 5.78 kW)

โดยลักษณะของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนประเภทแรงดันต่ำสามารถเห็นได้ตาม บ้านเรือนเป็นเตาแก๊สหุงต้มระบบอัตโนมัติที่มีลูกบิดเอาไว้เปิดและปิด ทำการปรับระดับของเปลวไฟ เพื่อง่ายต่อการใช้งาน เตาแก๊สหุงต้มประเภทนี้ได้ถูกออกแบบมาเพื่อไว้ใช้งานสำหรับในครัวเรือน มี ความปลอดภัยสูง อายุการใช้งานที่ยาวนานและประหยัดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงได้อีกด้วย จึงสามารถ แบ่งลักษณะของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน ประเภทแรงดันต่ำได้ 4 ลักษณะ ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ลักษณะเตาแก๊สหุงต้มประเภทแรงดันต่ำ

2.3.1.1 เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนแบบมาตรฐาน Radial slotted ports เป็นแบบที่ นิยมใช้กันมากที่สุดในครัวเรือน ดังแสดงในภาพที่ 2.1(a) และ 2.1(b)

2.3.1.2 เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนแบบ Vertical ports เริ่มมีวางขายในท้องตลาดแต่ยัง ใช้ไม่แพร่หลายนัก ดังแสดงในภาพที่ 2.1(c)

2.3.1.3 เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนแบบ Swirl ports เริ่มมีวางขายในท้องตลาดแต่ยังใช้ ไม่แพร่หลายนัก ดังแสดงในภาพที่ 2.1(d) 2.3.1.4 เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนแบบอินฟราเรด หรือ Porous ceramic มีการใช้งาน ค่อนข้างน้อย ทำงานโดยอาศัยการแผ่รังสีความร้อน เหมาะกับงานเฉพาะอย่าง เช่น ปิ้ง ย่าง เป็นต้น แต่ราคาค่อนข้างแพง ดังแสดงในภาพที่ 2.1(e)

2.3.2 เตาแก๊สหุงต้มประเภทแรงดันสูง (อัตราการป้อนเชื้อเพลิงมากกว่า 5.78 kW)

เตาแก๊สหุงต้มประเภทแรงดันสูง พบได้ตามอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ภัตตาคารและ ร้านอาหารทั่วไป มีลักษณะการใช้งานสำหรับประกอบอาหารที่จำเป็นต้องใช้เปลวไฟที่มีแรง ปรับเร่ง เปลวไฟได้ง่ายและให้ความร้อนแก่การประกอบอาหารอย่างรวดเร็ว สามารถแบ่งออกได้หลายรูปแบบ ดังแสดงในภาพที่ 2.2 และมีเตาประหยัดแก๊สประเภทแรงดันสูง ดังแสดงในภาพที่ 2.3 คือ



ภาพที่ 2.2 ลักษณะเตาแก๊สหุงต้มประเภทแรงดันสูง [3]

(1) เตา KB-5 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเตา 5 นิ้ว ดังแสดงในภาพที่ 2.2(a)

(2) เตา KB-7 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเตา 7 นิ้ว ดังแสดงในภาพที่ 2.2(b)

(3) เตา KB-8 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเตา 8 นิ้ว ดังแสดงในภาพที่ 2.2(c)

(4) เตา KB-10 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเตา 10 นิ้ว ดังแสดงในภาพที่ 2.2(d)

(5) เตา KB-15 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเตา 15 นิ้ว ดังแสดงในภาพที่ 2.2(e)

(6) เตา S-5 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเตา 5 นิ้ว เหมาะสำหรับหม้อขนาด
 8-12 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 2.3(a)

(7) เตา S-7 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเตา 7 นิ้ว เหมาะสำหรับหม้อขนาด14-16 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 2.3(b)

(8) เตา S-8 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเตา 8 นิ้ว เหมาะสำหรับหม้อขนาด18-24 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 2.3(c)

(9) เตา S-10 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเตา 10 นิ้ว เหมาะสำหรับหม้อขนาด 28-52 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 2.3(d)



ภาพที่ 2.3 ลักษณะเตาประหยัดแก๊สประเภทแรงดันสูง [4]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการเลือกศึกษาเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน ประเภทแรงดันสูงแบบ ประหยัดขนาดเทียบเท่าเตาแก๊ส KB-5 ที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ทั้งในภาคอุตสาหกรรมเล็กและภาคครัวเรือน อีกทั้งสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย มีน้ำหนักเบา

2.4 โครงสร้างและการทำงานของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด

ลักษณะโครงสร้างเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดที่ใช้ในการศึกษา พบว่า มีส่วนประกอบที่ สำคัญ 3 ส่วน คือ ท่อผสม (Mixing tube), พอร์ตหัวเตา (Burner-head หรือ Cap) และหัวฉีดแก๊ส เชื้อเพลิง (Nozzle) ที่มีขนาดต่าง ๆ ซึ่งลักษณะเตาแก๊สหุงต้มประเภทนี้ได้ถูกสร้างขึ้นจากเหล็กหล่อที่ สามารถทนความร้อนได้เป็นอย่างดีและได้มีการออกแบบลดขนาดของพื้นที่หน้าตัดให้มีลักษณะเป็น คอคอด (Throat) บริเวณทางเข้าของแก๊สเชื้อเพลิงกับอากาศส่วนแรกเพื่อเป็นการเพิ่มความเร็ว ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศผสมเข้าด้วยกัน

การทำงานของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด โดยทั่วไปเชื้อเพลิงแอลพีจี (LPG) ไหลผ่านรู หัวฉีดแก๊สเชื้อเพลิงที่มีความเร็วสูง จึงเกิดการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกมาผสมกันในบริเวณท่อผสม (Mixing tube) แล้วจึงเกิดการเผาไหม้บริเวณพอร์ตทางออกของหัวเตาแก๊สหุงต้มที่มีการเหนี่ยวนำ อากาศส่วนที่สอง ดังแสดงในรูปที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด

2.5 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency)

วิธีการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนสำหรับเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน ได้ทำการอ้างอิงจาก มาตรฐาน DIN EN 203-2 [8] ทำได้โดยวิธีการเริ่มทดสอบทำให้น้ำเดือดจากอุณหภูมิห้องจนใกล้จุด เดือดของน้ำที่อุณหภูมิ 90 °C (ประมาณ 363 K) แล้วทำการวัดค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงกับปริมาณ ของความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งหาได้จากเวลาที่ใช้ในการทำให้น้ำเดือดและอัตราการ ไหลของแก๊สเชื้อเพลิง จากนั้นคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนดังสมการที่ 2.7

$$\eta_{th} = \frac{m_{water} c_{p,water} (363 - T_{water,i})}{V \times LHV \times t}$$
(2.7)

เมื่อ

2.6 หลักการส่งเสริมการประหยัดพลังงานในระบบการเผาไหม้

การส่งเสริมการประหยัดพลังงานในระบบการเผาไหม้นั้นสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน วิธีหนึ่งที่ นิยมก็คือ วิธีการหมุนเวียนทางความร้อนโดยการนำความร้อนจากไอเสียมาสู่ไอดีซึ่งส่วนใหญ่คือ อากาศ ภาพที่ 2.5 แสดงหลักการประหยัดพลังงานด้วยการหมุนเวียนความร้อนจากไอเสียมาสู่ไอดี พิจารณา Conventional burner ดังแสดงในภาพที่ 2.5(a) เมื่อปริมาณความร้อนที่ป้อนให้แก่ระบบ Q_f ทำให้ได้ความร้อนใช้ประโยชน์ที่มีปริมาณเท่ากับ Q_a และจะสูญเสียความร้อนส่วนหนึ่งมีปริมาณ เท่ากับ Q_{loss} แต่เมื่อระบบมีการนำความร้อนส่วนหนึ่งจากไอเสีย คือ Q_{pre} มาอุ่นอากาศก่อนการเผา ไหม้ ถ้าความร้อนที่ป้อนให้แก่ระบบมีค่า Q_f เท่ากัน จะได้ความร้อนใช้ประโยชน์มีปริมาณเท่ากับ Q'_a และมีความร้อนสูญเสียเท่ากับ Q'_{loss} ดังแสดงในภาพที่ 2.5(b) พบว่าความร้อนใช้ประโยชน์ Q'_a ที่ได้ จากระบบที่มีการอุ่นอากาศจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนสูญเสียลดลง เนื่องจากความร้อนสูญเสีย ส่วนหนึ่งจะถูกนำไปใช้ในการอุ่นอากาศมีปริมาณเท่ากับ Q_{pre} ดังนั้นหากพิจารณาความร้อนใช้ ประโยชน์เท่ากัน Q_a ก็จะพบว่าระบบที่มีการนำความร้อนจากไอเสียกลับมาอุ่นอากาศนั้น จะใช้ เชื้อเพลิงในปริมาณที่ลดลง ก่อให้เกิดผลของการประหยัดพลังงานซึ่งหาได้ดังนี้



ภาพที่ 2.5 หลักการประหยัดพลังงานด้วยการหมุนเวียนความร้อนจากไอเสียมาสู่ไอดี

ปริมาณความร้อนที่ภาชนะได้รับ	=	U		
ปริมาณความร้อนจากการเผาไหม้ ของเตาที่ 1	1 =	Q ₁		
ปริมาณความร้อนจากการเผาไหม้ ของเตาที่ 2	2 =	Q ₂		
$\eta_{_{th1}}$ ของเตาที่ 1	=	100U/Q ₁		
$\eta_{_{th}2}$ ของเตาที่ 2	=	100U/Q ₂		
Energy saving	=	$\frac{Q_{pre}}{Q_a + Q_{pre}}$		
	=	$\frac{\eta_{\text{th,2}}^{} - \eta_{\text{th,1}}^{}}{\eta_{\text{th,2}}^{}}$	(2	2.8)

เมื่อ **ทุ_น คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณความร้อนใช้ประโยชน์กับปริมาณความร้อนที่ป้อนให้** ระบบหรือสามารถหาได้จากหลักการการหมุนเวียนความร้อนจากแก๊สไอเสียไปสู่ไอดี จากสมการที่ 2.8 สามารถหาค่า Energy saving ได้ดังนี้

$$Q_{f} = Q_{a} + Q_{loss}$$

$$Q'_{f} = \frac{Q_{a}Q_{f}}{Q_{a}}$$

$$Q'_{a} = Q_{a} + Q_{loss}$$

$$Q'_{a} = Q_{a} + Q_{loss}$$

$$Q'_{f} = \frac{Q_{a}Q_{f}}{Q_{a} + Q_{pre}}$$

$$= \frac{Q_{f} - Q_{f}}{Q_{f}}$$

$$= \frac{Q_{f} - Q_{f}}{Q_{f}}$$

$$= \frac{Q_{f} - Q_{f}}{Q_{f}}$$

$$= 1 - \frac{Q_{a}}{Q_{a} + Q_{pre}}$$

$$= 1 - \frac{Q_{pre}}{Q_{a} + Q_{pre}}$$

$$(2.9)$$

ภาพที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Energy saving ซึ่งขึ้นกับ T_{pre,air} ที่ค่าอุณหภูมิไอเสีย ต่าง ๆ กัน เชื้อเพลิงที่ใช้คือ เชื้อเพลิงแอลพีจี (LPG) โดยทำการคำนวณที่ **¢** = 1.0 CL = 11 kW พบว่า เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิของไอเสียคงที่ค่าหนึ่ง เมื่ออุณหภูมิของการอุ่นอากาศสูงขึ้น Energy saving จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงลดลงก่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Energy saving กับ T_{pre,air} ที่ค่าอุณหภูมิไอเสียต่าง ๆ กัน

2.7 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน

เตาแก๊สแรงดันสูงที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีการเผาไหม้แบบเปิดจึงนำความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้มา ใช้ประโยชน์ไม่ได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากเปลวไฟไปยังภาชนะถูกจำกัดโดยการ พาความร้อน (Convection) เป็นส่วนใหญ่ จึงทำให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนไม่สูงเท่าที่ควรโดยจะ มีค่าไม่เกินร้อยละ 50 ดังนั้นจึงมีความพยายามในการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุง ต้มในหลายภาพแบบหรือหลายวิธีการ โดยอาศัยอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งทุกภาพแบบหรือทุกวิธีการ อยู่บน แนวความคิดและหลักการหลัก ๆ เพียงสามประการคือ

2.7.1 ลดการสูญเสียความร้อน

เนื่องจากการเผาไหม้ของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนเป็นการเผาไหม้แบบเปิด จึงมีการ สูญเสียความร้อนจำนวนมากไปกับแก๊สไอเสียโดยการพาความร้อน ดังนั้นหากต้องการเพิ่ม ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจึงควรลดการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการพาความร้อน จากแนวคิด ดังกล่าว กระทรวงพลังงานจึงประดิษฐ์ฝาครอบเตาแก๊สประสิทธิภาพสูงดังภาพที่ 2.7 [3] เพื่อลดการ สูญเสียความร้อนเนื่องจากการพาความร้อน โดยมีลักษณะและการใช้งานคือ ทำจากเหล็กใช้ครอบหัว เตาแก๊สและเป็นขาตั้งภาชนะแทนที่ขาตั้งภาชนะเดิมที่ติดตั้งมากับเตาแก๊สหุงต้ม มีขนาดความสูง 8 cm ความกว้างวงนอก 30 cm ความกว้างวงใน 24 cm จากการทดสอบของกระทรวงพลังงาน พบว่า ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้นเฉลี่ยประมาณร้อยละ 15 ซึ่งสามารถใช้ติดตั้งได้กับเตาแก๊สหุง ต้มทั่วไป สะดวกและง่ายต่อการใช้งาน

2.7.2 การอุ่นอากาศก่อนการเผาไหม้

การอุ่นอากาศก่อนการเผาไหม้ อาศัยหลักการการเผาไหม้ที่มีการหมุนเวียนความร้อน (Heat-recirculating combustion) ดังภาพที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบระดับอุณหภูมิการเผาไหม้ ระหว่างระบบที่มีและไม่มีการหมุนเวียนความร้อน จากหลักการดังกล่าวจึงมีการศึกษาวิจัย [3] โดย อาศัยแนวคิดคือ นำความร้อนจากไอเสียของเตาแก๊สหุงต้มกลับมาใช้เพื่อทำการอุ่นอากาศก่อนการเผา ์ ไหม้เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของเปลวไฟซึ่งจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าสูงขึ้น โดยการใช้ วัสดุพรุน (Porous media) ซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 2.7 โดยมีลักษณะการทำงาน คือ เมื่อไอเสียมี ้ความร้อนจากการเผาไหม้ไหลผ่าน Emitting porous medium ซึ่งวัสดุพรุนชุดนี้ จะทำหน้าที่ เปลี่ยนเอนทาลปีของแก๊สร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ให้เป็นการแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกั้น เพื่อ ้ ป้องกันไม่ให้แก๊สร้อน (ไอเสีย) ผสมกับอากาศเย็นที่ไหลเข้าสู่ Absorbing porous medium ซึ่งวัสดุ พรุนชุดนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวเก็บความร้อนที่ได้จากการแผ่รังสีความร้อนจาก Emitting porous medium ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งก็เป็นการอุ่นอากาศส่วนแรก (Primary air) ก่อนการเผาไหม้นั่นเอง ้จากวิธีการดังกล่าวทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มนี้สูงขึ้นเฉลี่ยประมาณร้อยละ11 และประหยัดแก๊สเชื้อเพลิงคิดเป็นอัตราส่วนประหยัดเฉลี่ยประมาณร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับเตาแก๊ส หุงต้มทั่วไป ถึงแม้ว่าเตาต้นแบบเตาแก๊สประสิทธิภาพสูง ที่ทำการศึกษาจะพัฒนาจากเตาแก๊สหุงต้ม ชนิดแรงดันสูงคือมีปริมาณใช้แก๊สสูงกว่า 5.78 kW หรือ 0.42 kg/hr หรือที่เรียกกันในท้องตลาดตาม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวเตาว่า เตา KB-5 (มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวเตา 5 นิ้ว KB-8 หรือ KB-10 ก็ตาม แต่มีความเป็นไปได้ว่า หากนำหลักการในลักษณะดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับเตาแก้สหุง ต้มในครัวเรือนจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น จากการพิจารณาหลักการอุ่นอากาศ จึงสรุป ้ได้ว่า เป็นหลักการที่เน้นการปรับปรุงอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้ให้เหมาะสมโดยการเพิ่ม ้อุณหภูมิก่อนการเผาไหม้ นั้นเอง



ภาพที่ 2.7 เตาต้นแบบเตาแก๊สประสิทธิภาพสูงของ ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ

2.7.3 ปรับปรุงลักษณะการฉีดแก๊สของหัวเตา

การปรับปรุงลักษณะการฉีดแก๊สของหัวเตาทำได้โดยการปรับปรุงจากหัวเตาแบบเดิม (Conventional burner) เปลี่ยนมาเป็น Swirl burner ดังภาพที่ 1.3 [6] พบว่า Swirl burner ที่ให้ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดมีลักษณะเฉพาะคือ มุมเงย (β) เท่ากับ 26 องศา มุมเอียง (α) เท่ากับ 15 องศา โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณร้อยละ 6 ซึ่งเป็นผลจากการหมุนวน ของเปลวไฟ โดยแรงเฉือนนี้ก่อให้เกิดผลดีต่อการเผาไหม้และการถ่ายเทความร้อนคือ เพิ่มระยะเวลา ในการผสมของเชื้อเพลิงและอากาศ ซึ่งทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้น เพิ่มเวลาและผิวสัมผัส ในการสัมผัสของเปลวไฟกับภาชนะ ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และเพิ่มการ ดึงดูดอากาศส่วนที่สอง (Secondary air) ทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้นจากการพิจารณาหลักการ ปรับปรุงลักษณะการฉีดแก๊สสรุปได้ว่า เป็นหลักการที่เน้นปรับปรุงการไหลของอากาศส่วนที่สอง (Secondary air) ที่ใช้ในการเผาไหม้และปรับเปลวไฟให้เหมาะสม

2.8 การถ่ายเทความร้อนของเตาหุงต้มกับภาชนะ

การถ่ายเทความร้อนของเตาหุงต้มกับภาชนะจะเกิดขึ้นใน 2 ส่วนของภาชนะคือ

2.8.1 การถ่ายเทความร้อนด้านกันภาชนะ

ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สจะถ่ายเทให้แก่ก้นภาชนะด้วยวิธีการพาความร้อน ของไอเสียและการแผ่รังสีความร้อนของเปลวไฟ ดังภาพที่ 2.8 โดยปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทความ ร้อนทางก้นภาชนะนี้ จะเปลี่ยนแปลงตามขนาดของภาชนะหรือพื้นที่ผิวด้านก้น ถ้าพื้นที่ผิวด้านก้น ภาชนะมีมาก การถ่ายความร้อนจะเกิดได้ดีและการถ่ายเทความร้อนยังขึ้นกับค่าสัมประสิทธิ์การ ถ่ายเทความร้อนด้านก้นภาชนะ และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของเปลวไฟและผิวด้านก้นภาชนะ อีกด้วย ซึ่งเป็นไปตาม Newton law of cooling ดังสมการ

$$Q = h_{overall} A (T_f - T_W)$$
(2.10)

เมื่อ

Q คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทสู่ภาชนะ, kW

h_{overall} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของเตาแก๊สหุงต้ม, W/m²K

- A คือ พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ก้นภาชนะ, m²
- T_f คือ อุณหภูมิของเปลวไฟ, K
- T_w คือ อุณหภูมิที่ผิวของก้นภาชนะ, K

.....



ภาพที่ 2.8 การถ่ายเทความร้อนของเตาหุงต้มให้แก่ก้นภาชนะ

2.8.2 การถ่ายเทความร้อนด้านข้างภาชนะ

ความร้อนที่ถ่ายเทแก่ภาชนะด้านข้างเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยกระบวนการพาความ ร้อนของไอเสียและการแผ่รังสีความร้อนของไอเสีย ดังภาพที่ 2.9 ความร้อนที่ถ่ายเทแก่ด้านข้าง ภาชนะจะเปลี่ยนแปลงไปกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านข้างภาชนะความแตกต่างของ อุณหภูมิไอเสียเมื่อไหลผ่านชนภาชนะและเมื่อไหลผ่านเลยไปและพื้นที่ผิวของภาชนะเช่นเดียวกับการ ถ่ายเทความร้อนด้านกันภาชนะ



ภาพที่ 2.9 การถ่ายเทความร้อนของเตาหุงต้มให้ด้านข้างภาชนะ

2.9 สมการที่ใช้ในการศึกษา

โดยทั่วไปสมการที่เกี่ยวข้องในการแก้ปัญหาการไหลของของไหลจะประกอบด้วย สมการอนุรักษ์ มวล สมการอนุรักษ์พลังงาน สมการอนุรักษ์โมเมนตัมหรือสมการการเคลื่อนที่ ในกรณที่เป็นปัญหา การไหลที่เกิดการเผาไหม้จะต้องใช้สมการที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม เช่น สมการอนุรักษ์มวลย่อย (Chemical species' equation) และสมการปฏิกิริยาเคมี (Chemical reaction equation) ในการ คำนวณ [7]

2.9.1 สมการอนุรักษ์มวล



ภาพที่ 2.10 ปริมาตรควบคุมของของไหล 3 มิติเพื่อหาสมการอนุรักษ์



ภาพที่ 2.11 ปริมาตรควบคุมของของไหล 1 มิติเพื่อหาสมการอนุรักษ์

จากปริมาตรควบคุมขนาด ∆x, ∆y และ ∆z ดังภาพที่ 2.10 โดยการกำหนดให้ค่า u, v และ w คือความเร็วการไหลตามแนวแกน x, y และ z ตามลำดับ สมมติให้ผลคูณ ∆ x, ∆ y ของ ปริมาตรควบคุมมีค่าเท่ากับหนึ่ง ซึ่งหมายถึงพื้นที่ของด้าน a และ b ซึ่งตั้งฉากกับแกน x c และd คือ พื้นที่ของปริมาตรที่ตั้งฉากกับแกน y ขณะที่ e และ f คือพื้นที่ของปริมาตรควบคุมที่ตั้งฉากกับแกน z เนื่องจากการไหลเกิดขึ้นในทิศทางทั้งสามแกนหรือ 3 มิติ ดังนั้นเพื่อเป็นการสะดวกจะทำการพิจารณา การไหลในหนึ่งมิติก่อน โดยเริ่มจากแกน x ก่อน ดังภาพที่ 2.11 ปริมาณการไหลที่เข้าปริมาตรควบคุมที่ผิว a ที่ x=0

$$\dot{\mathbf{m}}_0'' = \rho \mathbf{u} \cdot \Delta \mathbf{y} \cdot \Delta \mathbf{z} = \rho \mathbf{u} \tag{2.11}$$

ปริมาณการไหลที่เข้าปริมาตรควบคุมที่ผิว b ที่ x=0

$$\dot{\mathbf{m}}_{0} - \dot{\mathbf{m}}_{\Delta \mathbf{x}} = -\Delta \mathbf{x} \cdot \frac{\partial \dot{\mathbf{m}}_{0}}{\partial \mathbf{x}}$$
(2.12)

เมื่อมีการเพิ่มอัตราการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นในปริมาตรควบคุม

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} \cdot \Delta \mathbf{x} \cdot \Delta \mathbf{y} \cdot \Delta \mathbf{z} = \frac{\partial \rho}{\partial t} \Delta \mathbf{x}$$
(2.13)

ดังนั้นจะได้ว่า

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} = 0 \tag{2.14}$$

หากในกรณีการไหลแบบ 3 มิติได้

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0$$
(2.15)

หากในกรณีไหลอยู่ในสภาวะคงที่
$$rac{\partial
ho}{\partial t}=0$$

$$\frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0$$
(2.16)

2.9.2 สมการอนุรักษ์พลังงาน

สมการอนุรักษ์พลังงานที่เกี่ยวข้องกับปัญหาที่ทำการวิเคราะห์จะประกอบไปด้วย สมการ อนุรักษ์พลังงานสำหรับของไหลที่มีการเผาไหม้และถ่ายเทความร้อนไปยังของไหลที่อยู่บริเวณด้านล่าง ของกั้นภาชนะ และสมการอนุรักษ์พลังงานสำหรับการถ่ายเทความร้อนจากด้านนอกของกั้นภาชนะไป ยังด้านในของกั้นภาชนะ

สมการอนุรักษ์พลังงานสำหรับของไหลที่มีการเผาไหม้นั้นใช้หลักการดุลสมการของ พลังงานที่เข้าและออกจากปริมาตรของของไหลแสดงในภาพที่ 2.11 เนื่องจากการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น ดังนั้นความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ไม่เพียงเกิดการนาและการพาความร้อนแต่ยังเกิดปฏิกิริยาเคมี นอกจากนี้ยังมีการแผ่รังสีและความร้อนจากการเสียดทานแต่ในที่นี้จะไม่นามาคิดเพื่อเป็นการลดความ ยุ่งยาก ดังนั้นปริมาตรของของไหลอยู่ที่สภาวะคงที่จะได้ว่าผลรวมของพลังงานเคลื่อนที่เข้าและออก เท่ากับศูนย์ ดังนี้

สมการอนุรักษ์พลังงานสำหรับการไหลที่มีการเผาไหม้มาเกี่ยวข้องในระบบพิกัด 3 มิติ (xyz) จึงสามารถเขียนให้อยู่ในรูปดังสมการที่ 2.17

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} + \mathcal{E}(T_s^4 - T_s^\infty) = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) + q''$$
(2.17)

ในกรณีภาวะคงที่ $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$ จะได้สมการอนุรักษ์พลังงาน ตามสมการที่ (2.18)

$$u\frac{\partial T}{\partial x} + v\frac{\partial T}{\partial y} + w\frac{\partial T}{\partial z} + \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_s^\infty) = \alpha (\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}) + q''$$
(2.18)

เมื่อ

 $q'' = \dot{W}_A \Delta H$ คือ พลังงานที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีต่อหน่วยปริมาตรของของไหล $lpha = rac{k}{
ho c}$ คือ ค่าสภาพการแพร่กระจายความร้อนของวัสดุ $arpi (T_s^4 - T_s^\infty)$ คือ สมการการแผ่รังสีความร้อน

จากสมการที่ 2.18 จะเห็นได้ว่าค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทพลังงานในของไหล ประกอบด้วยหลายตัวแปรด้วยกัน เช่น ความเร็วของของไหล ผลต่างอุณหภูมิภายในก้อนของไหล เป็นต้น

สำหรับสมการอนุรักษ์พลังงานในการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังภาชนะที่เป็นของแข็งซึ่ง เป็นปัญหาเกี่ยวกับการนำความร้อน ใช้สมการต่อไปนี้

$$\frac{q''}{k} = -\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) + \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$
(2.19)

เมื่อ

- *k* คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน
- ρ คือ ความหนาแน่น
- c คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ

2.9.3 สมการอนุรักษ์โมเมนตัม

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม คือการสมดุลแรงทั้งหมดที่กระทำต่อปริมาตรควบคุม ดังภาพที่ 2.11 ซึ่งมีค่าเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมที่เป็นไปตามกฎข้อที่สองของนิวตัน (Newton's law of motion) ดังสมการที่ 2.20

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} + \rho w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial z}\right)$$
(2.20)

อย่างไรก็ตาม ถ้าการไหลอยู่ในสภาวะคงที่ $\left(rac{\partial u}{\partial t}=0
ight)$ อัตราการเร่งของของไหลจะมีค่า เท่ากับศูนย์จึงทำให้ผลรวมของแรงมีค่าเป็นศูนย์

2.9.4 สมการอนุรักษ์มวลย่อย

เนื่องจากการถ่ายเทพลังงานและการถ่ายโอนมวลที่มีความคล้ายกัน ดังนั้นด้วยวิธีการ เดียวกันกับการหาสมการอนุรักษ์พลังงาน, สมการอนุรักษ์มวลย่อย ดังสมการที่ 2.21

$$\rho u \frac{\partial Y_A}{\partial x} + \rho v \frac{\partial Y_A}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \rho D_A \frac{\partial Y_A}{\partial y} + \dot{W}_A^{\prime\prime\prime}$$
(2.21)

2.9.5 สมการปฏิกิริยาการเผาไหม้

รูปแบบปฏิกิริยาเคมีสำหรับการเผาไหม้ที่มีสารประกอบของโพรเพน (Propane) และ สารประกอบบิวเทน (Butane) ดังต่อไปนี้

สารประกอบโพรเพน (Propane)

$$C_3H_8 + 5O_2 \longrightarrow 3CO_2 + 4H_2O \qquad (2.22)$$
$$R_{1} = \frac{d[C_{3}H_{8}]}{dt} = -8.6x10^{11} \exp\left[\frac{-30}{R_{u}T}\right] [C_{3}H_{10}]^{0.15} [O_{2}]^{1.65} \quad (2.23)$$

สารประกอบบิวเทน (Butane)

$$C_4H_{10} + 6.5O_2 \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O$$
 (2.24)

$$R_{1} = \frac{d[C_{4}H_{10}]}{dt} = -7.4x10^{11} \exp\left[\frac{-30}{R_{u}T}\right] [C_{4}H_{10}]^{0.15} [O_{2}]^{1.60} \quad (2.25)$$

2.10 พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

2.10.1 พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational fluid dynamics: CFD) คือสาขาหนึ่ง ในกลศาสตร์ของไหลที่ใช้กระบวนการเชิงตัวเลขและขั้นตอนวิธี (Algorithm) [9] ในการแก้ปัญหา เกี่ยวกับการไหลของของไหล เพื่อการนี้ คอมพิวเตอร์จะถูกนำมาใช้เพื่อทำการคำนวณนับล้าน ๆ ครั้ง ก่อนที่จะสร้างแบบจำลองการทำปฏิกิริยาของของไหลและแก๊สต่อขอบผิวซึ่งกำหนดโดยสภาวะของ ขอบเขต แต่ทว่าผลลัพธ์ที่ได้นั้นก็ยังเป็นเพียงการประมาณการณ์ที่ได้จากในหลาย ๆ กรณีเท่านั้น ถึงแม้ว่าจะใช้ซูเปอร์คอมพิวเตอร์ความเร็วสูงในการคำนวณก็ตาม อย่างไรก็ตาม การพัฒนาของ โปรแกรมปัจจุบันมีความความเร็วและแม่นยำในการคำนวณที่มีความซับซ้อนโดยได้รับการปรับปรุง ประสิทธิภาพขึ้นเรื่อย ๆ เช่นการจำลองการไหลแบบปั่นป่วน หรือ Transonic [9] โปรแกรมนี้มี ต้นแบบมาจากการจำลองกังหันลม แต่ปัจจุบันถูกนำมาใช้ในการทดสอบการบินด้วย

พื้นฐานของ CFD [9] คือ สมการนาเวียร์-สโตกส์ซึ่งกล่าวถึงการไหลของของไหลหนึ่งเฟส สมการเหล่านี้สามารถลดความยุ่งยากลงได้ด้วยการย้ายเทอมที่เกี่ยวกับความหนืดออกเพื่อให้ได้สมการ ออยเลอร์ จากนั้นจึงย้ายเทอมที่เกี่ยวกับความเร็วเพื่อให้ได้ Full potential equations จากนั้นจึงทำ ให้เป็นสมการเส้นตรงเพื่อให้ได้ Linearized potential equations

ในประวัติศาสตร์แล้ว [9] วิธีการนี้ได้ถูกทำให้เป็น Linearized potential equationsใน เบื้องต้น ในช่วงทศวรรต 1930 ได้มีการพัฒนาการจำลองการไหลสองมิติรอบ ๆ ทรงกระบอกไปจนถึง การไฟลผ่านปีกเครื่องบิน เนื่องด้วยพัฒนาการของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ การสร้างแบบจำลอง 3 มิติ จึงมีความเป็นไปได้ บทความที่เกี่ยวข้องกับการใช้ Linearized potential equations แบบ 3 มิติ ในทางปฏิบัตินั้น ถูกตีพิมพ์ครั้งแรกโดย John Hess and A.M.O. Smith จากบริษัทดักลาสการบิน ใน พ.ศ. 2509 วิธีการนี้ทำโดยแบ่งพื้นผิวของรูปทรงออกเป็นแผง ๆ (Panel) แยกจากกัน ทำให้วิธีนี้ ถูกเรียกว่า Panel methods วิธีการนี้นั้นง่าย แต่ว่าอยู่ภายใต้ข้อสมมติว่าไม่มีการไหลยกตัว (Lifting flow) เนื่องจากมีเป้าประสงค์ในการพัฒนาเพื่อการออกแบบตัวเรือและตัวเครื่องบิน โค้ดแรกที่มีการ คำนึงถึงการไหลแบบยกตัวเข้าไปด้วยก็คือโค้ด A230 ซึ่งถูกกล่าวถึงในบทความของ Paul Rubbert และ Gary Saaris จากบริษัทโบอิง ใน พ.ศ. 2511 จากนั้นโค้ด 3 มิติที่มีความก้าวหน้ามากขึ้นจึงถูก พัฒนาโดยโบอิง (Panair, A502), ล็อกฮีท (Quadpan), ดั๊กลาส (Hess), แม็คโดเนล (Macaero), นาซา (Pmarc) และ Analytical Methods (Wbaero, Usaero and Vsaero) [9] บางตัว (Panair, Hess and Macaero) ใช้สมการที่มีจำนวนอนุพันธ์มากกว่าและมีการรบกวนเอกลักษณ์ของพื้นผิว มากกว่า ในขณะที่ตัวอื่น (Quadpan, Pmarc, Usaero and Vsaero) ในแต่ละแผงจะมีพื้นผิว ลักษณะเดียว ข้อดีของโค้ดที่มีจำนวนการรบกวนบนพื้นผิวมากกว่าคือสามารถใช้คอมพิวเตอร์คำนวณ ได้เร็วกว่า ทุกวันนี้ Vsaero เป็นโค้ดที่ได้รับความนิยมใช้และได้รับการพัฒนาให้มีความสามารถในการ คำนวณการไหลที่มีการรบกวนได้มากขึ้น ทุกวันนี้โค้ดนี้ถูกใช้ในการพัฒนาเรือดำน้ำ ผิวเรือ อากาศยาน , รถยนต์ และเฮลิคอปเตอร์ Usaero ซึ่งเป็นโค้ดจากบริษัทเดียวกันนั้นถูกใช้ในการคำนวณการไหลที่ ไม่คงที่ ใช้มากในการจำลองรถไฟความเร็วสูงและเรือยอร์ชสำหรับแข่งขัน โค้ด Nasa Pmarc ซึ่ง พัฒนามาจากรุ่นแรก ๆ ของ Vsaero และ Cmarc ซึ่งเป็นส่วนแยกของโค้ด Pmarc เองก์เป็นโค้ดที่มี ขายในเชิงพานิชย์



ภาพที่ 2.12 แบบจำลองการไหลของอากาศความเร็วสูงรอบกระสวยอวกาศ [9]

2.10.2 แบบจำลองความปั่นป่วน

แบบจำลองความปั่นป่วนที่ใช้ในการศึกษา คือ Standard $\mathbf{k} - \varepsilon$ ดังสมการที่ 2.24 ซึ่ง เป็นสมการที่ได้จากการหาคำตอบแบบแยกส่วน (Separate equations) สมการ Standard $\mathbf{k} - \varepsilon$ ให้ ค่าการคำนวณที่แม่นยำสำหรับการไหลที่ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูง ๆ จะเห็นได้ว่าสำหรับปัญหาของการ ไหลที่เกิดขึ้นจริงจะมีการไหลที่บริเวณผนังท่อซึ่งก่อให้เกิดค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ต่ำ ซึ่งแบบจำลองความ ปั่นป่วน $\mathbf{k} - \varepsilon$ ชนิด RNG ดังสมการที่ 2.25 สร้างจากเทคนิคที่เรียกว่า Renormalization group theory เมื่อเทียบกับแบบจำลองความปั่นป่วน Standard $\mathbf{k} - \varepsilon$ พบว่าเทอมของ ε จะทำให้ค่าของ ความถูกต้องและแม่นยำสูงกว่าสำหรับกรณีการไหลแบบ Rapidly stained flows แบบจำลองนี้ได้ รวมอิทธิพลของการหมุนวนจากการไหลแบบปั่นป่วนเข้าไปพิจารณาด้วย จึงทำให้ค่าการคำนวณที่ แม่นยำของกรณีของการไหลหมุนวนด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ยังประกอบด้วยสมการเชิงอนุพันธ์ที่ได้จาก การวิเคราะห์เชิงทฤษฎีของค่า Effective viscosity ที่เกิดจากอิทธิพลของการไหลที่ค่าเรย์โนลด์นัม เบอร์ต่ำ ๆ จึงให้ค่าการคำนวณที่แม่นยำสำหรับการไหลที่ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ต่ำ ๆ และการไหล บริเวณใกล้ผนัง ดังนั้นสำหรับปัญหาของการไหลที่เกิดขึ้นจริงแล้ว แบบจำลองความปั่นป่วน k – ธ ชนิด RNG จะสามารถคำนวณได้แม่นยำกว่าแบบจำลองความปั่นป่วน Standard k – ธุดังนั้นใน งานวิจัยนี้จึดได้เลือกใช้แบบจำลองความปั่นป่วนแบบ k – ธุชนิด RNG ในส่วนที่ 1 เนื่องจากเป็น ปัญหาที่เหมือนกับงานวิจัยของ Azeman Mustafa และ Noor ShawalNasri [10] โดยได้นำมา วิเคราะห์ร่วมกับ แบบจำลอง Species transport ดังสมการที่ 2.28

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_{i}}(\rho k u_{i}) = \frac{\partial}{\partial x_{j}} \left[\left(\mu + \frac{\mu_{i}}{\sigma_{k}} \right) \frac{\partial k}{\partial x_{j}} \right] + G_{k} + G_{b} - \rho \varepsilon - Y_{M} + S_{k}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_{i}}(\rho a u_{i}) = \frac{\partial}{\partial x_{j}} \left[\left(\mu + \frac{\mu_{i}}{\sigma_{\varepsilon}} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_{j}} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_{k} + G_{3\varepsilon}G_{b}) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^{2}}{k} + S_{\varepsilon} \right]$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_{i}}(\rho k u_{i}) = \frac{\partial}{\partial x_{j}} \left[\alpha_{k} \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_{j}} \right] + G_{k} + G_{b} - \rho \varepsilon - Y_{M} + S_{k}$$

$$(2.26)$$

$$(2.26)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\alpha_{\varepsilon} \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + G_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_{\varepsilon}$$

เมื่อ

ρ	คือ	ความหนาแน่น
k	คือ	พลังงานจลน์แบบปั่นป่วน
α	คือ	ความผกผันของพรันด์เทิลนัมเบอร์
μ	คือ	ความหนืด
G _k	คือ	ความลาดชั่นของพลังงานจลน์แบบปั่นป่วน
G _b	คือ	ความลาดชั้นของแรงลอยตัว
S	คือ	ค่าที่ใช้ในการสุ่ม

\mathbf{Y}_{M}	คือ	ความปั่นป่วนในการอัดตัว
С	คือ	ค่าคงที่ของ ɛ
Е	คือ	อัตราการกระจายตัว
σ	คือ	พรันด์เทิลนัมเบอร์สำหรับ k และ

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} Y_i) = -\nabla \cdot \vec{J}_i + R_i + S_i$$
(2.28)

3

เมื่อ

R _i	คือ	อัตราโดยรวมของสารผลิตภัณฑ์
S _i	คือ	อัตราการเพิ่มจากการกระจายตัวของสาร
J _i	คือ	การแพร่ของ Flux

2.10.3 แบบจำลองการเผาไหม้

แบบจำลองการเผาไหม้ที่ใช้ในการศึกษาคือสมการการเผาไหม้แบบ Eddy dissipation combustion model ใช้ร่วมกับการแผ่รังสีความร้อน (Radiation model) แบบ Discrete Ordinates (DO) model เป็นแบบจำลองที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ซึ่งมีความแตกต่างของอุณหภูมิ สมการการแผ่รังสีความร้อนจึงมีความสำคัญ การเผาไหม้แบบ Eddy dissipation combustion model ดังสมการ 2.29 จะควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาด้วยแบบจำลองความปั่นป่วนของของผสม เนื่องจากในการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ข้อจำกัดในการผสมกันมีความซับซ้อนและมีตัวแปรที่ไม่ทราบ (Unknown) เกิดขึ้นมากมายและปฏิกิริยาทางเคมีเหล่านั้นอาจเกิดขึ้นได้เร็วหรือข้าต่างกัน H₂O โดย การแผ่รังสีความร้อน (Radiation model) แบบ Discrete Ordinates (DO) model ได้มีการใช้ใน งานวิจัยเกี่นวกับการแผ่รังสีอย่างกว้างขวางเช่น การศึกษาแบบจำลองของรังสีอุลตราไวโอเลตจากดวง อาทิตย์ [11], การศึกษาผลของลมต่อการลุกลามของไฟ [12] และแบบจำลองการเกิดไฟเรือนยอด [13] ซึ่งจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามาถบ่งบอกได้ว่า การแผ่รังสีความร้อน (Radiation model) แบบ Discrete Ordinates (DO) model ให้ค่าการคำนวณที่แม่นยำในการแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการแผ่ รังสี ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้แบบจำลองดังกล่าวในการแก้ปัญหา

$$R_{i,r} = v'_{i,r} \mathbf{M}_{w,i} \mathbf{A} \rho \frac{\varepsilon}{k} \min_{\mathbf{R}} \frac{Y_{\mathbf{R}}}{v'_{\mathbf{R},r} M_{W,\mathbf{R}}}$$

$$R_{i,r} = v'_{i,r} \mathbf{M}_{w,i} \mathbf{A} \mathbf{B} \rho \frac{\varepsilon}{k} \frac{\Sigma_{P} Y_{P}}{\Sigma_{j}^{N} v''_{j,r} \mathbf{M}_{w,j}}$$
(2.29)

เมื่อ

R	คือ	อัตราโมล่าร์ของArrhenius
v'	คือ	สัมประสิทธิ์สตรอยของสารตั้งต้น
М	คือ	มวลโมเลกุล
ρ	คือ	ความหนาแน่น
k	คือ	พลังงานจลน์แบบปั่นป่วน
Е	คือ	อัตราการกระจายตัว
<i>v</i> ″	คือ	สัมประสิทธิ์สตรอยของสารผลิตภัณฑ์
А	คือ	ค่าคงที่ในการทดลองเท่ากับ 4.0
В	คือ	ค่าคงที่ในการทดลองเท่ากับ 0.5
Y	คือ	เศษส่วนมวล (Mass fraction)

$$\nabla \cdot (\mathbf{I}(\vec{r},\vec{s})\vec{s}) + (a + \sigma_s)I(\vec{r},\vec{s}) = an^2 \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(\vec{r},\vec{s}')\Phi(\vec{s},\vec{s}')d\Omega'$$
(2.30)

เมื่อ

Ι	คือ	Radiation intensity (แปรผันตามตำแหน่งและทิศทาง)
r	คือ	ตำแหน่งเวคเตอร์
\vec{s}	คือ	ทิศทางของเวคเตอร์ในระบบพิกัดแกน
\vec{s}'	คือ	การกระจายตัวของเวคเตอร์ในระบบพิกัดแกน
a	คือ	สัมประสิทธิการดูดซับ
σ_{s}	คือ	สัมประสิทธิการกระจายตัว
n	คือ	ดัชนีการหักเหแสง
Т	คือ	อุณหภูมิ
Φ	คือ	Phase function
~ /	শ্ব	

ในการแสดงผลจากการเผาไหม้ของหัวเตาในแบบต่าง ๆ จะแสดงผลจากการ เปรียบเทียบ ฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) โดยคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$q_{\text{flux}} = \frac{q_{\text{total}}}{A_{\text{total}}} = \frac{q_{\text{bottompot}} + q_{\text{sidepot}}}{A_{\text{total}}}$$
(2.31)

$$q_{\text{bottompot}} = \frac{kA(T_1 - T_2)}{\Delta x} + \varepsilon \sigma A \left[T_1^4 - T_2^4 \right]$$
(2.32)

$$q_{sidepot} = 2\pi Lk \left[\frac{(T_{in} - T_{out})}{\ln(r_{in} - r_{out})} \right]$$
(2.33)

เมื่อ

คือ ฟลักซ์ความร้อน (Heat flux), W/m ²
คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนทั้งหมด, W
คือ การถ่ายเทความร้อนบริเวณก้นหม้อ, W
คือ การถ่ายเทความร้อนบริเวณด้านข้างหม้อ, W
คือ ผลรวมพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของหม้อ, m ²
คือ พื้นที่หน้าตัด, m ²
คือ ความหนาของผนังหม้อ, m
คือ ความสูงของระดับน้ำในหม้อ, m
คือ ค่าการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุ
คือ ค่าคงที่ของสตีฟาน, W/m ² -K ⁴
คือ อุณหภูมิ, K
คือ รัศมีของหม้อ, m
คือ ค่าการนำความร้อนของวัสดุ, W/m-K

2.11 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เตาหุงต้มแอลพีจี มีการใช้กันอย่างกว้างขวางทั้งในครัวเรือน หรือแม้กระทั่งในงานด้าน อุตสาหกรรม แต่ว่าเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้กันอยู่นั้นจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนค่อนข้างต่ำ เนื่องจาก การถ่ายเทความร้อนในเตาแก๊สหุงเตาจะเป็นลักษณะของเปลวไฟพุ่งชน (Impinging flame jet) [2] ซึ่งจะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงและต้องใช้ปริมาณแก๊สแอลพีจีค่อนข้างมาก แต่เตาแก๊สหุงต้มที่ ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนั้นมีการเผาไหม้ในลักษณะเปิด จึงไม่สามารถนำความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้มา ใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ รวมทั้งการถ่ายเทความร้อนจากเปลวไฟไปยังภาชนะถูกจำกัดโดยการพา ความร้อน (Convection) เป็นส่วนใหญ่ ทั้งยังมีการสูญเสียความร้อนเป็นจำนวนมากไปกับแก๊สไอเสีย โดยการพาความร้อน (Convection) และมีการสูญเสียความความร้อนของเปลวไฟจากการแผ่รังสี ความร้อน (Radiation) อีกด้วย ซึ่งทำให้เตาแก๊สหุงต้มที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีประสิทธิภาพเชิงความ ร้อนที่ค่อนข้างต่ำ ซึ่งที่ผ่านมาได้มีการวิจัยเพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก็สหุง ต้มอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

Jugjai and Sanijai (1996) [14] ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อน ใน Porous Radiant Recirculated Burner (PRRB) โดยที่ในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อที่จะ ้ปรับปรุงให้เตาแก๊สหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือนทั่ว ๆ ไปมีประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้นโดยการทำให้ อุณหภูมิของการเผาไหม้ภายในเตามีค่าสูงขึ้นโดยอาศัยการควบคุมให้มีการหมุนเวียนของพลังงาน ้ความร้อนจากไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้นำกลับมาอุ่น (Preheat) อากาศก่อนที่จะเข้าไปผสมกับ เชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้โดยอาศัยหลักการของการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุพรุน ในการทดลองนี้ ทำให้ทราบว่าอุณหภูมิของอากาศที่จะเข้ามาผสมกับเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ที่มีการอุ่น (Preheat) อากาศก่อนจะมีค่าสูงถึง 483 K และผลของการอุ่นอากาศ (Preheat) ที่จะเข้ามาผสมกับเชื้อเพลิง ในห้องเผาไหม้นั้นยังพบว่าที่การอุ่นอากาศ (Preheat) ที่อากาศปฐมภูมิ (Primary air) นั้นจะทำให้เตา PRRB มีประสิทธิภาพสูงกว่าการอุ่น (Preheat) อากาศที่อากาศทุติยภูมิ (Secondary air) ซึ่งมีผลทำ ให้อุณหภูมิของอากาศปฐมภูมิ (Primary air) สูงกว่าอากาศทุติยภูมิ (Secondary air) ดังนั้นในการ ้อุ่นอากาศที่จะเข้าผสมกับเชื้อเพลิงที่อากาศปฐมภูมิ (Primary air) จะมีความสำคัญมากกว่าการอุ่น อากาศ (Preheat) ที่อากาศทุติยภูมิ (Secondary air) และจากการทดลองจึงได้ข้อสรุปว่าเตาแก๊ส แบบ PRRB จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเตาแก๊สที่ใช้กันอยู่ทั่ว ๆ ไปในปัจจุบัน เนื่องจากในเตาชนิดนี้จะมีการอุ่นอากาศให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนการเผาไหม้ซึ่งจากหลักการนี้เองทำให้ เราสามารถที่จะพัฒนาเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้กันภายในครัวเรือนได้ต่อไป

Tamir et al. (1992) [6] ศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้มที่ใช้แก๊สธรรมชาติเป็น เชื้อเพลิง โดยการปรับปรุงจากเตาแบบเดิม (CB) เปลี่ยนมาเป็น Swirl burner (SB) ซึ่งพบว่า Swirl burner ที่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดจะมีลักษณะเฉพาะคือ มุมเงย (β) เท่ากับ 26 องศา มุม เอียง (α) เท่ากับ 15 องศา ดังแสดงในภาพที่ 1.3 ขนาดของรูที่แก๊สออกเท่ากับ 3 มิลลิเมตร จำนวนรู 4 รู โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตาแบบเดิมมีค่าประมาณร้อยละ 52 แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้ Swirl burner ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของ เตามีค่าประมาณร้อยละ 58 ซึ่งเป็นผลจากการ หมุนวนของเปลวไฟโดยแรงเฉือนนี้จะส่งเสริมปัจจัยบวกต่าง ๆ คือ ระยะเวลาในการผสมของเชื้อเพลิง และอากาศ เวลาในการสัมผัสของเปลวไฟกับภาชนะและการดึงดูดอากาศส่วนที่สองเพิ่มขึ้น

ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ (2544) [3] ได้นำเอาเทคโนโลยีวัสดุพรุนมาประยุกต์ใช้ในการส่งเสริม ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้ม เนื่องจากวัสดุพรุนมีลักษณะเด่นคือ สามารถเป็นได้ทั้ง ้ตัวรับความร้อนและตัวแผ่รังสีความร้อนจึงสามารถใช้เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้อย่างมี ประสิทธิภาพ โดยในการทดลองใช้หัวเตาฟู่ (KB-10) ที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดมาประกอบเข้ากับ ้โครงสร้างของเตาที่ทำขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน จากการทดลองพบว่าสามารถทำให้ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้นเฉลี่ยประมาณร้อยละ 12 และสามารถคิดเป็นอัตราการประหยัด ้ประมาณร้อยละ 30 เมื่อเปรียบเทียบกับเตา KB-10 ที่ใช้กันอยู่ทั่ว ๆ ไปและในการทดลองนี้ยังได้มี การพัฒนาให้เตาแก๊สหุงต้มนี้มีค่าประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้นไปอีกโดยการปรับปรุงหัวเผาให้เปลวไฟที่พุ่ง ออกมีลักษณะของการหมุนวนเข้าสู่ศูนย์กลาง และจากการทดลองพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิง ้ความร้อนให้สูงขึ้นได้โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 20 เมื่อเปรียบเทียบกับเตาแบบ Swirl burner ที่ยัง ้ไม่ได้มีการประกอบเข้ากับโครงสร้างที่ออกแบบไว้ และเมื่อเปรียบเทียบกับเตา KB–10 ที่ใช้กันอยู่ ทั่ว ๆ ไป พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ เชิงความร้อนให้สูงขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 30 และ คิดเป็นอัตราการประหยัดโดยเฉลี่ยประมาณ ร้อยละ 51 โดยจากการทดลองของณัฐวุฒิ จะศึกษา เฉพาะหัวเตาวงนอกเท่านั้น (ลักษณะทั่วไปของเตาแก๊สขนาด KB–10 จะมีหัวเตา 2 วง คือวงในและวง นอก) ซึ่งหัวเตาวงในยังคงเป็นหัวเตาแบบ CB อยู่ และยังไม่ได้มีการศึกษาถึงระยะห่างรูแก๊สออก รวม ไปถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูแก๊สออกซึ่งจะมีผลต่อลักษณะของเปลวไฟและการคิดประสิทธิภาพ เชิงความร้อนจะเป็นตามกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิคส์ ซึ่งจะไม่ได้มองถึงคุณภาพของพลังงานที่ นำมาใช้หมุนเวียนความร้อน

Dong et al. (2002) [2] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างหัวเผากับกันภาชนะ (H) ที่ เหมาะสมกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเผา (d) ซึ่งหัวเผาที่นำมาใช้ทดสอบเป็นแบบ Slot จำนวน 1 หัวเผา โดยเงื่อนไขการทดลองจะทำการปรับค่า Reynolds number (Re) จาก 800 ถึง 1,700 และ ปรับระยะ H จาก 2d_e ถึง 12d_eโดยใช้เชื้อเพลิงบิวเทน พบว่าที่ตำแหน่ง H/d = 6 จะให้อัตรา การถ่ายเทความร้อนที่ดีสุด และที่บริเวณแกนกลางของเปลวไฟจะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เนื่องจากตรงแกนกลางไม่เกิดการเผาไหม้ (Cool central core) ซึ่งจะเกิดเหตุการณ์ลักษณะนี้ สอง กรณี คือ Re < 1,500 หรือที่ระยะ H/d_e< 4 Dong et al. (2002) [15] ทำการศึกษาเหมือนกับ [2] แต่ว่าเปลี่ยนจำนวนหัวเผาจาก 1 หัวมา เป็น 2 หัว โดยจะพบว่านอกจากระยะ H ที่มีผลกระทบต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนแล้วยังมี ระยะห่างระหว่างทางออกของแก๊ส (Jet-to-Jet Spacing, S) ซึ่งมีผลกระทบต่ออัตราการถ่ายเทความ ร้อนด้วยเช่นกัน โดยในการทดลองจะทำการปรับเปลี่ยนค่า S/d_e จาก 0.9 ถึง 4.1 และค่า H/d_e จาก 1 ถึง 6 และค่า Re = 800 คงที่ตลอดการทดลอง ซึ่งจากการทดลองพบว่าที่ S/d_e = 2 และ H/d_e =1 จะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงสุด และอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยจะลดลงเมื่อ H/d_e เพิ่มขึ้น

Dong et al. (2003) [16] ก็ยังทำการศึกษาเกี่ยวกับค่า H/d และ S/d เหมือนกับ [15] แต่ว่าจะ ทำการเปลี่ยนลักษณะของหัวเผาจาก Slot มาเป็นท่อกลม และเพิ่มจำนวนหัวเผาจากเดิม 2 หัวเผา มาเป็น 3 หัวเผาพบว่าที่ H/d =S/d= 5 จะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงสุด และที่ H/d = 2 และ S/d = 2.6 จะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยต่ำสุด นอกจากนี้ยังพบว่าที่ตำแหน่งเปลวไฟตรง กลางที่ชนกับก้นภาชนะจะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าเปลวไฟที่มีหัวเผาเดียว ซึ่งจะ แสดงให้เห็นว่าถ้าเป็นหัวเผาหลาย ๆ หัวจะมีการส่งเสริมการเผาไหม้ระหว่างหัวเผา ซึ่งจะช่วยให้อัตรา การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นมากกว่าหัวเผาเดียว

Burner		er						Elamo
Ref.	Туре	Number	Dimension (mm)	¢	Re	S/d	H/d	Туре
[2]		1	13.7 x 4.66	1	≤1,200	-	6	Premixed
[15]	F	2	9 x 3	1	800	2	1	Premixed
[16]	000	3	d = 5	1	900	5	5	Premixed
[17]	00	2	d = 5	1	1,200	6	6	Premixed
	0000	Fuel =	d - 24					Inverse
[18] (808 808	12	u – 2.4	1.8	1,500	2.5	7	Diffusion
		Air = 1	D = 6					Flame

ตารางที่ 2.1 ลักษณะหัวเผาและสภาวะการทำงานตาม [2, 15-18]

Dong et al. (2004) [17] ดำเนินงานวิจัยที่เหมือนกับ [15] แต่ต่างกันที่จำนวนหัวเผา โดยจะมี จำนวนลดลงจาก 3 หัวเผาเป็น 2 หัวเผา พบว่าที่ S/d น้อย ๆ (S/d = 2.6) เปลวไฟที่ได้จะรวมตัวกัน เป็นเปลวเดียว แทนที่จะเป็น 2 เปลวตามจำนวนหัวเผา ซึ่งทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยลดลง อันเนื่องมาจากการขาดหายไปของการส่งเสริมการเผาไหม้ แต่ถ้าที่ S/d เพิ่มมากขึ้น (S/d = 6 ถึง 10) เปลวไฟจะแยกออกจากกัน และจะมีการส่งเสริมการเผาไหม้ระหว่างเปลวไฟด้วยกัน ซึ่งจะทำให้ อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้น และเมื่อ H/d มีค่าน้อย ๆ (H/d = 2) จะให้การส่งเสริม การเผาไหม้ โดนทำลาย แต่จะดีขึ้นเมื่อเพิ่ม H/d โดยที่ H/d = 6 จะให้อัตราการถ่ายเทความร้อน เฉลี่ยสูงสุด แต่เมื่อเพิ่ม H/d มากกว่า 6 ขึ้นไป (H/d = 7) จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย ลดลง

Sze et al. (2004) [18] ศึกษาลักษณะของเปลวไฟแบบ Inverse Diffusion Flame (IDF) ที่มีรู จ่ายอากาศอยู่ตรงกลาง และถูกล้อมรอบด้วยรูจ่ายเชื้อเพลิง 12 รู โดยสามารถแบ่งเปลวไฟออกเป็น 2 ช่วง คือ Entrainment zone และ Mixing and combustion zone ซึ่งการกระจายตัวของอุณหภูมิ ใน เปลวไฟแสดงให้เห็นว่ามีแกนกลางเย็น (Cool central core) ที่ตำแหน่งความสูงเปลวไฟต่ำ ๆ และหายไปที่ตำแหน่งเปลวไฟสูงขึ้น โดยที่ตำแหน่งค่า **¢** สูง ๆ จะให้เปลวเหลืองและมี Mixing and combustion zone ที่ยาว และเมื่อเพิ่ม Re ก็จะทำให้เปลวไฟและ Mixing and combustion zone ที่ยาว นอกจากนี้ยังพบว่าที่ H น้อย ๆ ค่าฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) สูงสุดจะไม่ได้อยู่ที่ตำแหน่ง เปลวไฟชนกับกันภาชนะ แต่จะเลื่อนออกมาทางด้านข้างของตำแหน่งที่เปลวไฟชน แต่เมื่อเพิ่ม H ให้ สูงขึ้นจะทำให้ตำแหน่งฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) เลื่อนเข้ามาใกล้กับตำแหน่งที่ปลายเปลวไฟชน กับกันภาชนะ ผลงานทั้งหมดของ Dong และคณะสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2.1



ภาพที่ 2.13 เตาแก๊สประสิทธิภาพสูงของ วสันต์ โยเสนะกุล [5]

วสันต์ โยคเสนะกุล (2548) [5] นำแนวทางจาก ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ [3] โดยการศึกษาในครั้งนี้ จะใช้เตาแก๊สขนาด KB – 10 ที่มีขายในท้องตลาดมาทำการดัดแปลงหัวเผาจาก CB เป็น SB แล้ว นำมาประกอบเข้ากับโครงสร้างที่มีการหมุนเวียนความร้อน (Porous radiant recirculated burner, PRRB) ซึ่งจากการทดลองพบว่าหัวเผาแบบ CB มีระยะห่างระหว่างหัวเผากับก้นภาชนะ (H) ที่

เหมาะสมอยู่ที่ 6.3 mm (2.5 นิ้ว) ในทุก ๆ ภาพร่างภาชนะ โดย η_{th} สูงสุด ของภาชนะก้นโค้ง ภาชนะ ก้นแบน และกระทะ อยู่ที่ร้อยละ 33.24 35.83 และ 31.01 ตามลำดับ และเมื่อเปลี่ยนเป็น PRRB (SB) ซึ่งมีระยะ H ของแต่ละภาชนะไม่เท่ากัน โดยภาชนะก้นโค้งมี H = 127 mm(5 นิ้ว) $\eta_{\iota h}$ สูงสุด ร้อยละ 45.02 ภาชนะก้นแบบมี H = 165 mm (6.5 นิ้ว) η_{th} สูงสุดร้อยละ 44.27 และกระทะมี H = 114.3 mm (4.5 นิ้ว) 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) มีการประหยัดพลังงานสูงสุดที่ร้อยละ 30.65 ของภาชนะก้นโค้ง ภาชนะก้นแบบประหยัด พลังงานสูงสุดร้อยละ 25.13 และกระทะประหยัดพลังงานได้สูงสุดร้อยละ 26.476 นอกจากนั้นยังมี การวิเคราะห์ Exergy ของระบบที่ไม่มี และมีการหมุนเวียนความร้อน โดยทำการคำนวณที่อัตราส่วน สมมูล (φ) เท่ากับ 1 พบว่าระบบที่ไม่มีการหมุนเวียนความร้อนจะมี X_{destroved} Exergy ที่เกิดจาก กระบวนการย้อนกลับไม่ได้ขอบระบบ) มากกว่าระบบที่มีการหมุนเวียนความร้อน โดย X_{destroved} จะมี ค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิของอากาศส่วนแรกมีค่าสูงขึ้น และประสิทธิภาพตามกฎข้อสองทางเทอร์โม ไดนามิกส์ ($\eta_{\scriptscriptstyle I\hspace{-1pt}I}$) ของระบบที่ไม่มีการหมุนเวียนความร้อน ของภาชนะก้นโค้ง ภาชนะก้นแบน และ กระทะ อยู่ที่ร้อยละ 65.78, 65.82 และ 65.91 ตามลำดับ และของระบบที่มีการหมุนเวียนความร้อน ของภาชนะก้นโค้ง ภาชนะก้นแบน และกระทะ อยู่ที่ร้อยละ 72.78, 73.17 และ 72.27 ตามลำดับ

จารุณี จาบกลาง (2549) [19] นำแนวทาง วสันต์ โยคเสนะกุล [5] โดยการศึกษาในครั้งนี้จะใช้ เตาแก้สขนาด KB – 5 ทั่วไป (Conventional burner, CB) มีใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในครัวเรือน และตามแหล่งร้านอาหารทั้งขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ แต่ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) ประมาณ ร้อยละ 35 ซึ่งค่อนข้างต่ำ จากการศึกษาเมื่อใช้หม้อเป็นภาชนะพบว่า η_{th} , CO และ NO_x สูงสุดของ PRRB (SB) คือร้อยละ 60, 159 ppm และ 202 ppm ตามลำดับ ส่งผลให้ประหยัดพลังงานสูงสุดถึง ร้อยละ 38 เมื่อเทียบกับ CB แต่เมื่อใช้กระทะเป็นภาชนะพบว่า η_{th} , CO และ NO_x สูงสุดของ PRRB (SB) คือ ร้อยละ 40 162 ppm และ 159 ppm ส่งผลให้ประหยัดพลังงานสูงสุดร้อยละ 35 ใกล้เคียง กับของ PRRB (SB) นอกจากนั้นวิเคราะห์หาอัตราส่วนปริมาณความร้อนหมุนวน (r) พบว่าทั้งหม้อและ กระทะให้แนวโน้มที่เหมือนกัน คือ r มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.1 ซึ่งค่อนข้างต่ำเนื่องจากทำการ Preheat – air เท่านั้นไม่ได้ Preheat ทั้งระบบ

สุระเดช สินจะโป๊ะ และคณะ (2560) [20] ศึกษาและการพัฒนาเตาแก๊ส KB-10 โดยใช้วัสดุพรุน ติดตั้งที่วงแหวนนอกร่วมกับเปลวไฟแบบหมุนวนที่วงแหวนใน และทำการทดลองหาประสิทธิภาพเชิง ความร้อนโดยวิธี Boiling test ตามมาตรฐานเยอรมัน DIN EN 203-2 โดยได้ทำการศึกษาเตาทั้ง 5 แบบ คือ ภาพที่ 2.14(a) แสดงลักษณะของหัวเตาแก๊สแบบทั่วไป (CB-CB00) ภาพที่ 2.14(b) แสดง ลักษณะ ของหัวเตาแก๊สที่วงแหวนในมีรูปแบบการพ่นแก๊สแบบหมุนวน และวงแหวนรอบนอกมี รูปแบบการพ่นแก๊สแบบเดิม (SB-CB00) และภาพที่ 2.14(c, d, e) แสดงลักษณะของหัวเตาแก๊สที่ได้ ทำการพัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ โดยวงแหวนในมีรูปแบบการพ่นแก๊สแบบหมุนวน ส่วนวงแหวนนอกจะ ทำการถอดออกแล้วติดตั้งวัสดุพรุนแบบเม็ดกลมอัดแน่นชนิดหินตู้ปลาแทน (SB-PB05, SB-PB10, SB-PB15) พบว่าเตาแก๊ส SB-PB ทั้ง 3 แบบ (SB-PB05, SB-PB10 และ SB-PB15) สามารถต้มน้ำเดือดได้ เร็วกว่าเตาแก๊สแบบ CB-CB00 และ SB-CB00 โดยที่เตาแก๊ส SB-PB ทั้ง 3 แบบ จะมีเวลาต้มน้ำเดือด ใกล้เคียงกัน ซึ่งใช้เวลาอยู่ในช่วง 818-849 วินาที และ ปริมาณ CO และ NO_x ของเตาแก๊สหุงต้มทั้ง 5 แบบ ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมากไม่เกิน 15 ppm เตาแก๊ส SB-PB ทั้ง 3 แบบ (SB-PB05, SB-PB10 และ SB-PB15) มีค่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อน อยู่ที่ประมาณร้อยละ 25.24 ส่วนเตาแก๊สแบบ CB-CB00 และ SB-CB00 ที่มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพียงร้อยละ 19.73 และร้อยละ 22.54



ภาพที่ 2.14 ลักษณะหัวเตาแก๊สที่ใช้ในการทดลอง [20]

Namkhat et al. (2009) [21] ศึกษาพฤติกรรมการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรก ของเตาแก๊สหุงต้ม เปรียบเทียบระหว่างโมเดลกับการทดลองโดยทดลอง 2 แบบ คือ hot test กับ cold test พบว่า primary aeration กรณีของhot test ต่ำกว่า cold test ประมาณร้อยละ 22 ดังนั้นในการออกแบบ หัวเตาจึงควรคำนึงถึงอุณหภูมิจากการเผาไหม้ด้วย

ณรงศักดิ์ ปิยะไพร และคณะ (2556) [22] ได้นำวิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) ใน รูปแบบการไหลแบบปั่นป่วน k-ɛ ชนิด RNG คำนวณร่วมกับแบบจำลอง Species transport แบบไม่ มีปฏิกิริยาการเผาไหม้ มาช่วยศึกษาคุณลักษณะและพฤติกรรมของการไหลผสมของอากาศและแก๊ส เชื้อเพลิงของหัวเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนรุ่น KB-5 ที่ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม ของแก๊ส เชื้อเพลิงต่าง ๆ กันจนได้ผลเป็นที่น่าพอใจ โดยพบว่าผลการทำนายค่าการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรก ใกล้เคียงกับผลจากการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลการคำนวณจากสมการ เชิงทฤษฎี ผลการทดลองแบบ Cold test (PIV) และ Cold test (Oxygen sensor) ที่ความดันที่ หัวฉีดเท่ากับ 280 mm (H₂O)

Boggavarapu et al. (2014) [23] ศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเตาแก้สจากการ คำนวณพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณและการทดลอง เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองคือ แอลพีจี (LPG) และ PNG สำหรับ CFD จะใช้แบบจำลอง 3 มิติ กำหนดให้การไหลเป็นแบบ Steady state และการ ถ่ายเทความร้อนที่ผิวหม้อเกิดจากการเผาไหม้ที่หัวเตาแก้ส ซึ่งจะอธิบายเกี่ยวกับการไหลและการ ถ่ายเทความร้อนโดยใช้ CFD ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการดัดแปลงโดยเพิ่มเติม Circular insert และ Radiant sheet ที่บริเวณรอบ ๆ หัวเตาแก้สซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน เพิ่มขึ้น จากการศึกษาพบว่า การทำนายโดย CFD ของหัวเตาที่มีการดัดแปลงที่มีอัตราการไหลของ แอลพีจี (LPG) สูงสุดประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.9 ส่วนผลการทำนายของ PNG พบว่าอุณหภูมิจะลดลงเนื่องจากพลังงานของเชื้อเพลิงผสมกับอากาศน้อยกว่า นอกจากนี้ผลจากการ ทำนายของหัวเตาที่ดัดแปลงยังพบว่าความสูงของก้นหม้อ มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน และ กรณีหัวเตาแบบดั้งเดิมความสูงของก้นหม้อที่เหมาะสมคือ 24 mm จะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความ ร้อนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 10 เมื่อยืนยันผลการทดลองจริงกับผลการทำนายโดย CFD พบว่าประสิทธิภาพ เชิงความร้อนของแก้สแอลพีจี (LPG) เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.5 และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ PNG เพิ่มขึ้นร้อยละ 10 จากผลการทดลองที่กล่าวมา พบว่าแบบจำลอง 3 มิติสามารถนำมาปรับปรุง ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก้สได้



ภาพที่ 2.15 (a) แถบสีแสดงอุณหภูมิ (b) เวคเตอร์แสดงความเร็ว ที่บริเวณหัวเตา [23]

Wichangarm et al. (2016) [24] ได้ศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหล ในเตาแก๊สแรงดันสูง แบบประหยัดพลังงานโดยใช้วิธี CFD โดยได้ทำการศึกษาและสร้างขอบเขตพื้นที่ของแบบจำลองใน ลักษณะ 3 มิติ (3D - Model) ที่มีขนาดเท่ากับเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดพลังงานที่ใช้งานจริง พบว่าผลที่ได้จากการจำลองสามารถอธิบายพฤติกรรมการไหลของเชื้อเพลิงในเตาแก๊สแรงดันสูงแบบ ประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี

Wichangarm et al. (2017) [25] ได้ทำการศึกษาและสร้างขอบเขตพื้นที่ของแบบจำลองใน ลักษณะ 3 มิติ (3D - Model) ที่มีขนาดเท่ากับเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดพลังงานที่ใช้งานจริง โดยศึกษาอิทธิพลของความดันของแก๊สแอลพีจี (LPG) ต่อพฤติกรรมการเผาไหม้และทำการวิเคราะห์ ผลที่ได้เปรียบเทียบกับการทดลองการวัดอุณหภูมิการเผาไหม้ นอกจากนี้ยังศึกษาเปรียบเทียบการ จำลองระหว่าง Full model และ Periodic modelพบว่าความดันของแก๊สแอลพีจี (LPG) มีผลต่อ การกระจายตัวของอุณหภูมิ โดยที่อุณหภูมิจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความดันแอลพีจี (LPG) สูงขึ้น โดยจะมี อุณหภูมิสูงสุดที่บริเวณใกล้หัวเตา โดยมีค่าสูงสุดที่ 1,292 K ยิ่งอุณหภูมิที่ได้จากการจำลองมีอุณหภูมิ ใกล้เคียงกับการทดลอง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 5.46 ในทุกกรณี และเมื่อ เปรียบเทียบระหว่างการจำลอง พบว่าการจำลองโดยใช้ Full model กับ Periodic model มีผลการ จำลองใกล้เคียงกัน แต่ระยะเวลาในการคำนวณใน Periodic model จะน้อยกว่า Full model ประมาณ 9 เท่า



ภาพที่ 2.16 Periodic model ที่ใช้ในการศึกษา [25]



3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



ภาพที่ 3.1 แผนผังระเบียบวิธีวิจัย

3.2 การจำลองทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational fluid dynamics: CFD)

วิธีพลศาสตร์ของไหลเซิงคำนวณ (Computational fluid dynamics: CFD) เป็นการวิเคราะห์ ระบบที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการไหลของของไหล โดยอาศัยความสามารถของคอมพิวเตอร์ช่วยใน การคำนวณหาผลเฉลยเชิงตัวเลข ซึ่งสามารถทำให้วิเคราะห์พฤติกรรมการไหลได้ในระยะเวลาอันสั้น นอกจากนี้ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการออกแบบ ปรับปรุง และพัฒนางานในด้านวิศวกรรมอีกด้วย การ คำนวณหาผลเฉลยของปัญหา มีขั้นตอนของการทำงานอยู่ 3 ขั้นตอน คือ

(1) ขั้นตอนก่อนการประมวลผล (Pre-processer)

(2) ขั้นตอนการประมวลผล (Solver)

(3) ขั้นตอนการแสดงผล (Post-processer)

ในการศึกษานี้แบ่งวิธีการศึกษาออกเป็น 2 วิธี คือ

(1) การทดลอง

(2) การจำลองทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน (2 Parts) ดัง แสดงในภาพที่ 3.2

(2.1) การจำลองพฤติกรรมการไหลโดยไม่มีการเผาไหม้ (Part 1)

(2.2) การจำลองพฤติกรรมการเผาไหม้ (Part 2)



ภาพที่ 3.2 ขอบเขตของการจำลอง

3.2.1 การจำลองพฤติกรรมการไหลโดยไม่มีการเผาไหม้ (Part 1)

3.2.1.1 Pre-processer

1) การสร้างแบบจำลอง

ในการศึกษาครั้งนี้ได้สร้างแบบจำลอง 3 มิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทำ

การวัดขนาดตามอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองจริง ดังแสดงในภาพที่ 3.3





(b) แบบจำลองเตาแรงดันสูงแบบประหยัดแก๊ส

ภาพที่ 3.3 การสร้างแบบจำลองเตาแรงดันสูงแบบประหยัด (Part 1)

2) การสร้าง Mesh

ในการศึกษาครั้งนี้ได้สร้างแบบจำลอง 3 มิติโดยทำการจำลอง Mesh รูปทรงหน้าตัดแบบสามเหลี่ยม (Tetrahedral Grid) มีจำนวน Element ประมาณ 2,000,000 Element ดังแสดงในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 การสร้าง Mesh (Part 1)

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

เงื่อนไขขอบเขตการคำนวณโดยหัวเตาด้านบนกำหนดเป็น Pressure outlet บริเวณผิวรอบ ๆ เตากำหนดเป็น Wall และบริเวณ Primary air กำหนดเป็น Pressure inlet (Air) ดังเงื่อนไขขอบเขตทางเข้าในส่วนของแอลพีจี (LPG) กำหนดเป็น Pressure inlet (LPG) เท่ากับ 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, และ 1.2 bar ดังแสดงในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 เงื่อนไขขอบเขตการคำนวณ (Part 1)

3.2.1.2 Solver (Part 1)

แบบจำลองความปั่นป่วนแบบที่เลือกใช้เป็นแบบจำลอง RNG K-ɛ แบบจำลองนี้ เป็นการแก้ไขปัญหาในของไหลที่มีสถานะเป็นแก๊ส ดังนั้นแบบจำลองความปั่นป่วนจึงนำมาวิเคราะห์ ร่วมกับ Species transport model ซึ่งเป็นการไหลแบบผสมและไม่มีการทำปฏิกิริยากัน และไม่มี การเผาไหม้ซึ่งกันและกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยกำหนดเงื่อนไขการลู่เข้าของผลการทำนาย (Convergence criteria) เท่ากับ 10⁻⁶

ตารางที่ 3	3.1 °	ขอบเขตเริ่มต้นใ	ในการคำนวณ

Condition	Pattern
Inlet boundary condition	Pressure inlet (Air gage pressure inlet = 0 Pa)
	Pressure inlet
	(LPG gage pressure inlet = 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2
	bar)
outlet boundary condition	Pressure outlet (Air gage pressure outlet = 0 Pa)
time	Steady state
Near-wall Treatment	Standard wall function
method	
Turbulence model	RNG K-ε model
other	Species transport

3.2.1.3 Post-processer (Part 1)

ผลลัพทธ์ที่ได้จากการทำนายแสดงอยู่ในรูปแบบปริมาณ Mass fraction ของ สารประกอบต่าง ๆ และสามารถทราบถึงค่าอัตราการไหลเชิงมวล (Mass flow rate) ดังภาพที่ 3.6 และ 3.7



(a) แถบสี (Contour)



(b) เวคเตอร์ (Vector)

ภาพที่ 3.6 ตัวอย่างปริมาณ Mass fration ของ C_3H_8



(a) แถบสี (Contour)



(b) เวคเตอร์ (Vector)

ภาพที่ 3.7 ตัวอย่างปริมาณ Mass fration ของ O2

3.2.2 การจำลองพฤติกรรมการเผาไหม้ (Part 2)

3.2.2.1 Pre-processer

1) การสร้างแบบจำลอง

ในการศึกษาครั้งนี้ได้สร้างแบบจำลอง 3 มิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เริ่มต้นโดยทำการวัดขนาดตามอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองจริงในกรณีที่ไม่มีหม้อและมีหม้อ ดังแสดงใน ภาพที่ 3.8 และ 3.9





(a) เตาแรงดันสูงแบบประหยัดแก๊ส

(b) แบบจำลองเตาแรงดันสูงแบบประหยัดแก๊ส

ภาพที่ 3.8 การสร้างแบบจำลองเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดกรณีไม่มีหม้อ (Part 2)



(a) เตาแรงดันสูงแบบประหยัดแก๊ส



(b) แบบจำลองเตาแรงดันสูงแบบประหยัดแก๊ส

ภาพที่ 3.9 การสร้างแบบจำลองเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดกรณีมีหม้อ (Part 2)

2) การสร้าง Mesh

ในการศึกษาครั้งนี้ได้สร้างแบบจำลอง 3 มิติโดยทำการจำลอง Mesh รูปทรงหน้าตัดแบบสามเหลี่ยม (Tetrahedral) มีจำนวน Element 2,300,000 และ 920,000 Elements สำหรับกรณีไม่มีหม้อและมีหม้อตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3.10 และ 3.11







หมายเลข 1 คือ กำหนดทางเข้า หมายเลข 3 คือ กำหนดผนัง

หมายเลข 2 คือ กำหนดทางออก

ภาพที่ 3.11 การสร้าง Mesh กรณีมีหม้อ (Part 2)

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

การกำหนดขอบเขตเงื่อนไข (Boundary condition) สำหรับแบบจำลอง การเผาไหม้สำหรับเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด [4] ที่ใช้ในการศึกษาสามารถกดังแสดงในภาพที่ 3.12 และ 3.13



ภาพที่ 3.12 เงื่อนไขขอบเขตกรณีที่ไม่มีหม้อ (Part 2)



ภาพที่ 3.13 เงื่อนไขขอบเขตกรณีที่มีหม้อ (Part 2)

3.2.2.2 Solver (Part 2)

1) ขอบเขตเริ่มต้นในการคำนวณ

ขอบเขตทางเข้า (Inlet) และทางออก (Outlet) ของรูปแบบการจำลอง โดยทำการศึกษาการไหลผสมระหว่างเชื้อเพลิงแอลพีจี (LPG) กับอากาศภายในท่อผสมสำหรับเตาแก๊ส แรงดันสูงแบบประหยัด โดยโปรแกรม CFD พบว่า ขนาดรูทางออกหัวฉีดเชื้อเพลิงแอลพีจี (LPG) เท่ากับ 0.6 mm และที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง เท่ากับ 5.86 kW (ที่ 0.6 bar) สามารถแสดงผลลัพธ์ที่ ได้จากการจำลอง ได้แก่ Mass flow rate (kg/s), ปริมาณ Mass fraction ของสารประกอบโพรเพน (C₃H₈), บิวเทน (C₄H₁₀) และออกซิเจน (O₂) ดังตารางที่ 3.2 และ 3.3 โดยแสดงการกำหนดทางเข้า (Inlet) คือ หมายเลขที่ 1 และ การกำหนดทางออก (Outlet) คือหมายเลข 2 ดังภาพที่ 3.11 โดย กำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นของการเผาไหม้สำหรับเชื้อเพลิงแอลพีจี (LPG) กับอากาศของรูปแบบการ จำลอง เท่ากับ 300 K และกำหนดอุณหภูมิผนังภาชนะเท่ากับ 395 K [6]

2) รูปแบบการคำนวณ

รูปแบบการคำนวณที่ใช้ในการจำลองมีอยู่ 2 รูปแบบคือแบบ Pressure base ซึ่งใช้สำหรับการไหลของของไหลแบบไม่อัดตัว ที่มีความเร็วต่ำกว่าความเร็วเสียงซึ่งเป็นที่นิยนใช้ กันมากในการจำลองการไหลทั่วไป อีกรูปแบบหนึ่งคือแบบ Density base ซึ่งใช้กับการไหลของ ๆ ไหลแบบอัดตัวได้แต่มีเงื่อนไขว่าความเร็วในการไหลต้องมีความเร็วเหนือเสียงมากกว่า 1.5 เท่า (Mach number มากกว่า 1.5) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วลักษณะการไหลส่วนใหญ่ที่ทำการจำลองนั้นมีค่า Mach number น้อยกว่า 1 หรือมีความเร็วในการไหลน้อยกว่าความเร็วเสียงซึ่งข้อมูลของรูปแบบการ คำนวณสามารถดูได้จากคู่มือของโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการจำลอง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้ รูปแบบการคำนวณแบบ Pressure base เนื่องจากเมื่อทำการจำลองการไหลที่บริเวณหัวฉีดแล้ว พบว่า มีความเร็วในการไหลเท่ากับ 281 m/s ดังแสดงในภาคผนวก ก.3 ซึ่งน้อยกว่าความเร็วเสียง และมีค่า Mach number น้อยกว่า 1

Condition	Pattern		
Inlat boundary condition	Mass flow rate of mixture (kg/s)		
	Mass fraction of C_3H_8 , C_4H_{10} , O_2 , N_2		
outlet boundary condition	Pressure outlet (Air gage pressure outlet = 0 Pa)		
time	Steady state		
Near-wall Treatment method	Standard wall function		
Turbulence model	Standard K-ɛ model		
	Species transport		
other	Eddy Dissipation Combustion Model		
	Discrete Ordinates (DO) Model		

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขของรูปแบบการจำลอง

สำหรับแบบจำลองการเผาไหม้ของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด โดยใช้โปรแกรม สำเร็จรูป CFD ที่เหมาะสำหรับการอธิบายผลของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการเผาไหม้ของรูปแบบการ จำลอง โดยกำหนดค่าเงื่อนไขการลู่เข้าของผลการทำนาย (Convergence criteria) เท่ากับ 10⁻⁶ 3.2.2.3 Post-processing (Part 2)

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายแสดงอยู่ในรูปแบบปริมาณ Mass fraction ของ สารประกอบต่าง ๆ และสามารถทราบถึงค่าอุณหภูมิเปลวไฟสูงสุดและอุณหภูมิของเปลวไฟ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ได้ ดังภาพที่ 3.14, 3.15, และ 3.16



(a) แถบสี (Contour)

ภาพที่ 3.14 ตัวอย่างปริมาณ Mass fraction ของ CO



(b) เวคเตอร์ความเร็วบริเวณหัวเตา

(b) เวคเตอร์ความเร็วบริเวณหัวเตา



(a) แถบสี (Contour)

ภาพที่ 3.15 ตัวอย่างปริมาณ Mass fraction ของ O2



(b) เวคเตอร์ความเร็วบริเวณหัวเตา



(a) แถบสี (Contour)

ภาพที่ 3.16 ตัวอย่างอุณหภูมิของเปลวไฟ

3.3 การทดลอง

3.3.1 อุปกรณ์การทดลอง

3.3.1.1 เตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด

เตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดที่ใช้ในงานวิจัยเป็นเตาแฮปปี้แก๊สรุ่น S-5 [4] ที่ มีขนาดเทียบเท่ากับเตาแก๊สแรงดันสูง KB-5 มีเส้นผ่านศูนย์กลางหัวเตาเท่ากับ 5 นิ้ว เหมาะสำหรับ หม้อขนาด 8-12 นิ้ว ดังภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.17 เตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด

3.3.1.2 ถังบรรจุแก๊สแรงดันสูง

ถังบรรจุแก๊สแรงดันสูงขนาด 48 kg ภายในบรรจุแก๊สแอลพีจี (LPG) มี ส่วนประกอบคือโพรเพน (Propane) และบิวเทน (Butane) หรืออย่างใดอย่างหนึ่ง ดังภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.18 ถังบรรจุแก๊สแอลพีจี (LPG) ขนาด 48 kg

3.3.1.3 อุปกรณ์ควบคุมความดัน

อุปกรณ์ความคุมความดัน (Pressure reglator) สำหรับควบคุมการจ่ายแก๊ส แรงดันสูงไปยังเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด ดังภาพที่ 3.19



ภาพที่ 3.19 อุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure reglator)

3.3.1.4 อุปกรณ์วัดความเร็วของอากาศ อุปกรณ์วัดความเร็วของอากาศ (Hot-wire anemometer) ยี่ห้อ Testo-435 มีความคลาดเคลื่อน ±0.03 m/s หรือร้อยละ 5 ของค่าที่อ่านได้ ดังภาพที่ 3.20



ภาพที่ 3.20 อุปกรณ์วัดความเร็วของอากาศ (Hot-wire anemometer) ยี่ห้อ Testo-435

3.3.1.5 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล

อุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Data logger) สามารถบันทึกและโอนถ่ายข้อมูลไปยัง Flash drive มีช่องสัญญาณสำหรับบันทึกข้อมูลพร้อมกัน 20 ช่อง ดังภาพที่ 3.21



ภาพที่ 3.21 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Data logger)

3.3.1.6 สายวัดอุณหภูมิ

สายวัดอุณหภูมิ (Thermocouple K-type) สามารถวัดอุณหภูมิในช่วง 73 ถึง 1,533 K มีความคลาดเคลื่อนเท่ากับร้อยละ 0.4 ของค่าที่อ่าน ดังภาพที่ 3.22



ภาพที่ 3.22 สายวัดอุณหภูมิ (Thermocouple K-type)

3.3.1.7 นาฬิกาจับเวลาดิจิตอล

นาฬิกาจับเวลาดิจิตอล สามารถบันทึกเวลาและอ่านค่าย้อนหลังสำหรับการ ทดลองที่ต้องการความต่อเนื่องในการบันทึกเวลา ดังภาพที่ 3.23



ภาพที่ 3.23 นาฬิกาจับเวลาดิจิตอล

3.3.1.8 หม้อเบอร์ 26

หม้อเบอร์ 26 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 260 mm ผลิตจากวัสดุอลูมิเนียม ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน DIN EN 203-2 [8] ดังภาพที่ 3.24



ภาพที่ 3.24 หม้อเบอร์ 26

3.3.2 การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน

การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนทำได้โดยอ้างอิงตามมาตรฐานเยอรมัน DIN EN 203-2 [8] โดยทำการประยุกต์เข้าร่วมกับเตาแก๊สหุงต้มแอลพีจี (LPG) ประเภทแรงดันสูง ซึ่งมีวิธีการดังนี้

 3.3.2.1 ติดตั้งวัสดุและอุปกรณ์ที่จำเป็นเพื่อใช้ในการทดสอบ เช่น ฐานรองภาชนะ (หม้อ) เตาแรงดันแบบประหยัด ถังแก๊สแอลพีจี (LPG) ภาชนะ (หม้อ) เบอร์ 26 ที่มีขนาด 26 cm ดัง ภาพ 3.25

3.3.2.2 ทำการเปิดหัวเตาแก๊สหุงต้มเพื่ออุ่นหัวเตาเป็นเวลาประมาณ 10 นาที

3.3.2.3 ชั่งปริมาณน้ำ (อ้างอิงตามมาตรฐาน DIN EN 203-2) ใส่ลงในภาชนะพร้อม เริ่มทำการบันทึกอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ

3.3.2.4 ทำการปรับอัตราการไหลของแก๊สที่ Pressure regulator ที่ความดันที่ใช้ใน การศึกษาพร้อมเริ่มจับเวลาในการต้มน้าเดือดแล้วทำการบันทึกผล

3.3.2.5 ต้มน้าให้เดือดจนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำประมาณ 90 °C แล้วทำการบันทึก ข้อมูลของเวลา



ภาพที่ 3.25 อุปกรณ์การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนตามมาตรฐาน DIN EN 203-2

3.3.3 การวัดความเร็วของไหลบนหัวเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด

การศึกษานี้เป็นการจำลองพฤติกรรมการไหลของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดโดยไม่มี การเผาไหม้ (Part 1) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยหัวเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด, แก๊ส แอลพีจี (LPG), อุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure regulator) และอุปกรณ์วัดความเร็วของอากาศ (Hot-wire anemometer) ยี่ห้อ Testo-435 โดยมีความคลาดเคลื่อน ±0.03 m/s หรือร้อยละ 5 ของค่าที่อ่านได้ ในการทดลองเริ่มโดยเปิดแก๊สจากถังที่ความดันต่าง ๆ โดยที่ไม่มีการจุดไฟ เพื่อเก็บ และวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองและนำไปกำหนดเงื่อนไขขอบเขตในผลการจำลอง (CFD) แล้วนำ ผลที่ได้จาก การจำลอง (CFD) เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองนี้ทำการเก็บ ข้อมูลความเร็วของแก๊สที่ไหลในเตาที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 3.26 โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นทำการหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเร็วจากการจำลอง (CFD) เทียบผลจากการ ทดลอง หาได้จากสมการที่ 3.1



ภาพที่ 3.26 แผนภาพการวัดความเร็วบนหัวเตา



(a) ทางเข้าอากาศส่วนแรก

-18 0 18

ภาพที่ 3.27 ตำแหน่งในการวัดความเร็ว (หน่วยเป็น mm)



(d) ตำแหน่งวัดในแนวแกน Y

ภาพที่ 3.27 ตำแหน่งในการวัดความเร็ว (หน่วยเป็น mm) (ต่อ)

3.2.4 การวัดอุณหภูมิบนหัวเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด (Part 2)



ภาพที่ 3.28 แผนภาพการวัดอุณหภูมิ

ในส่วนที่สองจะเป็นส่วนของการเผาไหม้โดยอ้างอิงข้อมูลขอบเขตทางเข้าจากของผสม บริเวณทางออกของหัวเตาในส่วนที่ 1 คือ Mass flow rate และ Mass fraction อุปกรณ์ที่ใช้ในการ ทดลองประกอบด้วยหัวเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด แก๊สแอลพีจี (LPG) อุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure reglator) และ Thermocuple K-type โดยมีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.4 ของค่าที่อ่าน ดังแสดงในภาพที่ 3.28 โดยการทดลองนี้แบ่งเป็น 2 แบบ คือ

3.2.4.1 แบบไม่มีหม้อทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของแก๊สที่ทางออกหัวเตาที่ตำแหน่ง
ต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 3.29 ด้วย Thermocouple K-type วัดอุณหภูมิที่หัวเตาโดยทำการทดลอง
3 ซ้ำจากนั้นทำการหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเร็วจากการจำลอง (CFD) เทียบผลจาก
การทดลอง หาได้จากสมการที่ 3.1

3.2.4.2 แบบมีหม้อทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของแก๊สที่ทางออกหัวเตาที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 3.30 ด้วย Thermocouple K-type วัดอุณหภูมิที่หัวเตาโดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นทำการหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิจากการจำลอง (CFD) เทียบผลจากการ ทดลอง หาได้จากสมการที่ 3.1



ภาพที่ 3.29 ตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิเปลวไฟ (หน่วยเป็น mm)



ภาพที่ 3.30 ตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิเปลวไฟแบบมีหม้อ (หน่วยเป็น mm)

บทที่4 ผลและการวิเคราะห์ผล

4.1 การศึกษาคุณภาพของเมช (Mesh independence)

ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการวัดความเร็วของของไหลบริเวณหัวเตาแก๊สในระนาบเดียวกับแหวน เตาในลักษณะที่ไม่มีการเผาไหม้ เมชที่ใช้ในการศึกษาเป็นแบบทรงสามเหลี่ยมสี่หน้า (Tetrahedrons) โดยมีความซับซ้อนและความละเอียดสูงในการกำหนดเมชแบบอัตโนมัติในความละเอียด 3 ระดับ คือ

4.1.1 เมชหยาบ (Coarse)4.1.2 เมชปานกลาง (Medium)4.1.3 เมชละเอียด (Fine)

ซึ่งมีจำนวน Element ประมาณ 1,100,000 Elements ซึ่งมีจำนวน Element ประมาณ 2,000,000 Elements ซึ่งมีจำนวน Element ประมาณ 3,300,000 Elements



(a) แนวแกน X

ภาพที่ 4.1 การเปรียบเทียบคุณภาพของเมชที่ความละเอียดต่าง ๆ ในกรณีไม่มีการเผาไหม้



ภาพที่ 4.1 การเปรียบเทียบคุณภาพของเมชที่ความละเอียดต่าง ๆ ในกรณีไม่มีการเผาไหม้ (ต่อ)

ภาพที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณภาพของเมชที่ความละเอียดต่าง ๆ ในกรณีไม่มีการเผาไหม้ ซึ่งทำการเปรียบเทียบผลการจำลองของความละเอียดเมชทั้ง 3 ระดับกับผลการวัดความเร็วด้วย Hotwire anemometer ยี่ห้อ Testo-435 ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับร้อยละ 5 ของค่าที่อ่านได้ โดยทำการเปรียบเทียบคุณภาพเมชจากการวัดความเร็วของของไหลที่ระนาบเดียวกับแหวนเตาดัง แสดงในภาพที่ 3.27 โดยใช้การเปรียบเทียบคุณภาพเมชที่ตำแหน่ง A ในภาพที่ 4.1(a) พบว่า เมชปาน กลาง (2,000,000 Elements) มีค่าความเร็วที่สอดคล้องกับผลการทดลองโดยผลการจำลองเป็นที่ ยอมรับได้ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 3.75 จากการทดลอง เมชละเอียด (3,300,000 Elements) ไม่เหมาะกับการนำมาใช้เนื่องจากเมชละเอียดมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าเมชปาน กลางเพียงร้อยละ 1.47 แต่ใช้จำนวน Element มากกว่าเมชปานกลางคิดเป็นร้อยละ 165 หรือ 1.65 เท่าของเมชปานกลางส่งผลต่อระยะเวลาในการคำนวณ (3,300,000 Elements ใช้เวลาในการ คำนวณประมาณ 120 ชั่วโมง 2,000,000 Elements ใช้เวลาในการคำนวณประมาณ 72 ชั่วโมง และ 1,100,000 Elements ใช้เวลาในการคำนวณประมาณ 50 ชั่วโมง)

- 4.2 การศึกษาพฤติกรรมการไหลกรณีไม่มีไม่มีการเผาไหม้ (Part 1)
 - 4.2.1 พฤติกรรมการไหลบริเวณหัวฉีดและทางเข้าอากาศส่วนแรก



(a) แถบสีความเร็วที่กึ่งกลางเตา



(b) เวคเตอร์ความเร็วบริเวณหัวฉีด



(c) ความเร็วบริเวณหัวฉีดจากการจำลอง (CFD)

ภาพที่ 4.2 พฤติกรรมการไหลภายในเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด

ภาพที่ 4.2 แสดงพฤติกรรมการไหลภายในเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด โดย ทำการศึกษาพฤติกรรมและความเร็วของของไหลระหว่างการจำลองการไหลแบบไม่มีการเผาไหม้จาก บริเวณหัวฉีดและทางเข้าของอากาศส่วนแรก (Primary air) ไปจนถึงหัวเตา ดังแสดงในภาพ 4.2(a) พบว่า ความเร็วที่เกิดขึ้นจากการฉีดแก๊สแอลพีจี (LPG) จากหัวฉีดผ่านคอคอดทำให้ความดันบริเวณ คอคอดมีค่าต่ำลงจึงเกิดการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกที่บริเวณท่อทางเข้าอากาศส่วนแรกโดยอากาศที่ ถูกเหนี่ยวนำมีการไหลแยกเป็นสองทิศทาง ดังแสดงในภาพที่ 4.2(b) อากาศส่วนแรกถูกเหนี่ยวนำเข้า ไปที่คอคอดแบบราบเรียบ (จุดที่ 1) และถูกเหนี่ยวนำโดยการไหลแบบหมุนวนเข้าไปยังบริเวณหัวฉีด (จุดที่ 2) พบว่า ความดัน 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 bar มีความเร็วสูงสุดเท่ากับ 184, 222, 259, 289 และ 318 m/s ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อความดันเพิ่มขึ้นความเร็วบริเวณหัวฉีดมีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดง ในภาพที่ 4.2(c)



(c) ความเร็วบริเวณทางเข้าอากาศส่วนแรกจากการจำลอง (CFD)

ภาพที่ 4.3 การเปรียบเทียบความเร็วของอากาศส่วนแรกที่ทางเข้าห้องผสม
ภาพที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของอากาศส่วนแรกที่ทางเข้าห้องผสม พบว่า ที่ความดัน 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 bar มีความเร็วสูงสุดเท่ากับ 1.28, 1.66, 1.92, 2.17 และ 2.38 m/s ตามดำดับ เมื่อความดันแอลพีจี (LPG) เพิ่มสูงขึ้นความเร็วของการเหนี่ยวนำอากาศส่วน แรก (Primary air) จะมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากเกิดจากการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรก (Primary air) ใน บริเวณคอคอดของเตาความเร็วจากการไหลของแก๊สทำให้เกิดความดันต่ำที่บริเวณดังกล่าวจึงสามารถ ดูดอากาศมากขึ้น โดยความเร็วของอากาศส่วนแรกที่ได้จากการจำลอง มีค่าใกล้เคียงกับความเร็วของ อากาศส่วนแรกที่ได้การทดลองโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 8

4.2.2 พฤติกรรมการไหลบริเวณหัวเตา





(a) แถบสีความเร็ว (Side view)



(c) แถบสีความเร็ว (Top view)

(d) เวคเตอร์ความเร็วบริเวณหัวเตา (Top view)

ภาพที่ 4.4 พฤติกรรมการไหลภายในเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดบริเวณหัวเตา

ภาพที่ 4.4 แสดงพฤติกรรมการไหลภายในเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดบริเวณหัวเตา พบว่า จากมุมมองด้านข้าง (Side view) ดังแสดงในภาพที่ 4.4(a) ของผสมเกิดการไหลแบบหมุนวน ขึ้นที่สองบริเวณสองตำแหน่ง คือ บริเวณก้นเตา (จุดที่ 1) และบริเวณรูทางออกของหัวเตา (จุดที่ 2) ดังแสดงในภาพที่ 4.4(b) จากมุมมองด้านบน (Top view) ดังแสดงในภาพที่ 4.4(c) ของผสมเกิดการ ใหลแบบหมุนวนขึ้นที่สองบริเวณสามตำแหน่ง คือ บริเวณด้านข้างทั้งสองข้าง (จุดที่ 3, 5) และบริเวณ ตรงข้ามทางออกท่อผสม (จุดที่ 4) จากการไหลแบบหมุนวนทำให้เพิ่มระยะเวลาในการผสมกันระหว่าง แก๊สแอลพีจี (LPG) กับอากาศซึ่งส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่ดีขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.4(d)

ภาพที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของของผสม (Mixture) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ใน แนวแกน X เมื่อพิจารณาที่ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของหัวเตาออกไปบริเวณขอบของเตาด้านนอก ในแนวแกน X+ ดังแสดงในภาพที่ 4.5(a) และ 4.5(b) พบว่า ความเร็วที่ตำแหน่งระยะห่างจากจุด ศูนย์กลาง 26 mm จะพุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในทุก ๆ ความดัน เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ตรงกับรูหัวเตา ทำให้ได้รับอิทธิพลจากการไหลของของไหลจาก Burner port row 1 และ 2 ดังแสดงในภาพ 3.27(b) จากนั้นความเร็วที่ตำแหน่งระยะห่างจากจุดศูนย์กลาง 41 mm จะพุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในทุก ๆ ความดันเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ตรงกับรูหัวเตาทำให้ได้รับอิทธิพลจากการไหลของของไหลจากรู Burner port row 3 และ 4 ดังแสดงในภาพที่ 3.27(c) เมื่อพิจารณาในแนวแกน X- พบว่า มีลักษณะ เช่นเดียวกับแกน X+ และเมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งใด ๆ พบว่า ความดัน 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 bar มีความเร็วสูงสุดเท่ากับ 1.18, 1.56, 2.86, 3.24 และ 3.56 m/s ตามลำดับ เมื่อความดันแอลพีจี (LPG) มีค่าเพิ่มขึ้นความเร็วของของไหลเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเกิดการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรก (Primary air) จึงสามารถดูดอากาศไปยังหัวเตามากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ความเร็วที่ได้จากการ จำลอง (CFD) จะมีค่าใกล้เคียงกับความเร็วที่ได้จากการวัดที่ทุกตำแหน่งโดยมีค่าความคลาดเคลื่อน เฉลี่ยสูงสุดไม่เกินร้อยละ 7 ดังแสดงในภาพที่ 4.5(c)

ภาพที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของของผสม (Mixture) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ใน แนวแกน Y เมื่อพิจารณาที่ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของหัวเตาออกไปบริเวณขอบของเตาด้านนอก ในแนวแกน Y+ ดังแสดงในภาพที่ 4.6(a) และ 4.6(b) พบว่าความเร็วที่ตำแหน่งระยะห่างจากจุด ศูนย์กลาง 26 mm จะพุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในทุก ๆ ความดันเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ตรงกับรูหัวเตา ทำให้ได้รับอิทธิพลจากการไหลของไหล จาก Burner port row 1 และ 2 ดังแสดงในภาพ 3.27(b) จากนั้นความเร็วที่ตำแหน่งระยะห่างจากจุดศูนย์กลาง 41 mm จะพุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในทุก ๆ ความดัน เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ตรงกับรูหัวเตาทำให้ได้รับอิทธิพลจากการไหลของไหล จากรู Burner port row 3 และ 4 ดังแสดงในภาพที่ 3.27(d) เมื่อพิจารณาในแนวแกน Y- พบว่า มีลักษณะ เช่นเดียวกับแกน Y+ และเมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งใด ๆ พบว่า ความดัน 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 bar มีความเร็วสูงสุดเท่ากับ 1.97, 2.25, 2.52, 3.53 และ 4.00 m/s ตามลำดับ เมื่อความดันแอลพีจี (LPG) มีค่าเพิ่มขึ้นความเร็วของของไหลเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเกิดการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรก (Primary air) จึงสามารถดูดอากาศไปยังหัวเตามากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ความครางเร็วที่ได้จากการ จำลอง (CFD) จะมีค่าใกล้เคียงกับความเร็วที่ได้จากการวัดที่ทุกตำแหน่งโดยมีค่าความคลาดเคลื่อน เฉลี่ยสูงสุดไม่เกินร้อยละ 8 ดังแสดงในภาพที่ 4.6(c)



(b) ภาพขยายในตำแหน่ง A บริเวณหัวเตาในแนวแกน X

(a) แถบสีความเร็วของของผสม



(c) ความเร็วบริเวณหัวเตาจากการจำลอง (CFD)

ภาพที่ 4.5 การเปรียบเทียบความเร็วของของผสม (Mixture) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในแนวแกน X



(b) ภาพขยายในตำแหน่ง A บริเวณหัวเตาในแนวแกน Y

(a) แถบสีความเร็วของของผสม



(c) ความเร็วบริเวณหัวเตาจากการจำลอง (CFD)

ภาพที่ 4.6 การเปรียบเทียบความเร็วของของผสม (Mixture) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในแนวแกน Y

4.2.4 อิทธิพลของความดันแก๊สแอลพีจีต่อสัดส่วนเชิงมวลของของผสม

ภาพที่ 4.7 แสดง Mass fraction และ Mass flow rate ของส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ ความดันแอลพีจี (LPG) ต่าง ๆ จากการศึกษาพฤติกรรมการไหลในท่อและการเปรียบความเร็วของ ของไหลจากการจำลองและการทดลอง พบว่า มีความสอดคล้องกันและสามารถยอมรับได้ ใน การศึกษาส่วนที่ 2 (Part 2) ซึ่งเป็นส่วนของการเผาไหม้จะทำการศึกษาโดยอ้างอิงข้อมูลขอบเขต ทางเข้าจากของผสมบริเวณทางออกของหัวเตาในส่วนที่ 1 (Part 1) คือ Mass fraction และ Mass flow rate

LPG Pressure		Mass flow rate			
(Bar)	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	N ₂	O ₂	(Kg/s)
0.6	0.0350475	0.0350475	0.7160134	0.2138914	0.0016047
0.8	0.0350691	0.0350691	0.7159873	0.2138744	0.0018501
1.0	0.0348156	0.0348156	0.7163883	0.2139803	0.0020833
1.2	0.0348978	0.0348978	0.7162646	0.2139396	0.0022876

ตารางที่ 4.1 ขอบเขตทางเข้า (Inlet) ของรูปแบบการจำลอง



ภาพที่ 4.7 Mass fraction และ Mass flow rate ของส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ความดันแอลพีจี (LPG) ต่าง ๆ

4.3 การศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้และการไหลกรณีมีการเผาไหม้ (Part 2)

4.3.1 พฤติกรรมการเผาไหม้กรณีไม่มีภาชนะ

ภาพที่ 4.8 แสดงพฤติกรรมของเปลวไฟในสภาวะเปิดที่ความดันแก๊สแอลพีจีเท่ากับ 0.6 bar เมื่อพิจารณาภาพที่ 4.8(a) พบว่า อุณหภูมิของเปลวไฟมีค่าสูงสุดที่บริเวณกึ่งกลางเตาซึ่งมีค่า เท่ากับ 1,330 K โดยอุณหภูมิจะลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาภาพที่ 4.8(b) ลักษณะ เวคเตอร์ที่ได้จากการจำลองอากาศส่วนที่สองบริเวณด้านข้างเตาจะถูกเหนี่ยวนำจากอุณหภูมิของเปลว ไฟโดยไหลไปในสองทิศทางคือ ทิศทางแรกจะถูกเหนี่ยวนำขึ้นไปผสมด้านบน (จุดที่ 1) ทิศทางที่สอง จะถูกเหนี่ยวนำและเกิดการหมุนวนที่บนหัวเตา (จุดที่ 2) จากอิทธิพลของอุณหภูมิเปลวไฟที่ทำให้เกิด ความหนาแน่นลดลงทำให้อากาศส่วนที่สองบริเวณกลางเตาจะถูกเหนี่ยวนำขึ้นมาตามท่ออากาศส่วนที่ สอง (จุดที่ 3)



(a) แถบสีอุณหภูมิเปลวไฟบริเวณหัวเตา (b) Mass fraction ของอากาศ บริเวณหัวเตา

ภาพที่ 4.8 พฤติกรรมของเปลวไฟในสภาวะเปิด

4.3.2 อิทธิพลของความดันแก๊สแอลพีจีกรณีไม่มีภาชนะ

ภาพที่ 4.9 แสดงลักษณะเปลวไฟที่ความดันต่าง ๆ จากการเปรียบเทียบภาพที่ 4.9(a) และ ภาพที่ 4.9(b) พบว่า ความดันของแก๊สแอลพีจี (LPG) มีผลต่อความยาวของเปลวไฟ โดยความ ยาวของเปลวไฟมีค่าสูงขึ้นเมื่อความดันของแก๊สแอลพีจี (LPG) มีค่าเพิ่มขึ้น ที่ความดันเท่ากับ 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 bar ความยาวของเปลวไฟมีค่า 28, 29, 30 และ 31 cm ตามลำดับ โดยลักษณะ เปลวไฟที่ได้จากการจำลองจะมีลักษณะคล้ายกับการทดลองทุกความดันแก๊ส จากภาพ 4.9(c) แสดง เวคเตอร์ความเร็วจากการจำลองบริเวณหัวเตา พบว่า เวคเตอร์มีความเร็วสูงสุดที่บริเวณหัวเตาและ เมื่อความดันเพิ่มขึ้นความเร็วบริเวณหัวเตามีค่าเพิ่มขึ้น ที่ความดันเท่ากับ 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 bar ความเร็วสูงสุดของเวคเตอร์บริเวณหัวเตามีค่า 1.13, 1.25, 1.37 และ 1.50 m/s ตามลำดับ



(a) ลักษณะเปลวไฟจากการทดลอง



Temperature (K)

(b) แถบสีเปลวไฟจากการจำลอง

ภาพที่ 4.9 ลักษณะเปลวไฟที่ความดันต่าง ๆ



(c) ภาพขยายในตำแหน่ง A แสดงเวคเตอร์ความเร็วจากการจำลอง

ภาพที่ 4.9 ลักษณะเปลวไฟที่ความดันต่าง ๆ (ต่อ)



ภาพที่ 4.10 การกระจายตัวอุณหภูมิจากการทดลองและแบบจำลองที่ความดันต่าง ๆ



ภาพที่ 4.10 การกระจายตัวอุณหภูมิจากการทดลองและแบบจำลองที่ความดันต่าง ๆ (ต่อ)



ภาพที่ 4.10 การกระจายตัวอุณหภูมิจากการทดลองและแบบจำลองที่ความดันต่าง ๆ (ต่อ)

ภาพที่ 4.10 แสดงการกระจายตัวอุณหภูมิจากการทดลองและแบบจำลอง 3 มิติ ที่ความ ดันต่าง ๆ ซึ่งตำแหน่งในการวัดแสดงในภาพที่ 3.29 พบว่า อุณหภูมิจุดกึ่งกลางเตา (r = 0 cm) ที่ ความสูง T₁ จากแหวนเตาอุณหภูมิจะมีค่าต่ำสุดเนื่องจากอิทธิพลของความรุนแรงของการเผาไหม้ และ ที่ความสูงจากแหวนเตา 5 mm จุดกึ่งกลางเตาเป็นตำแหน่งที่อุณหภูมิสูงที่สุดของทุกๆ ความดัน และ อุณหภูมิที่ตำแหน่งอื่น ๆ จะค่อย ๆ ลดลงตามระยะทางเนื่องจากบริเวณด้านนอกของเปลวไฟจะเกิด การสูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม จึงทำให้บริเวณด้านนอกของเปลวไฟมีอุณหภูมิต่ำกว่าด้านใน ของเปลวไฟ สังเกตได้จากอุณหภูมิของเปลวไฟจะลดลงเมื่อรัศมีของเปลวไฟมีอุณหภูมิต่ำกว่าด้านใน ของเปลวไฟ สังเกตได้จากอุณหภูมิของเปลวไฟจะลดลงเมื่อรัศมีของเปลวไฟเมื่อุณหภูมิต่ำกว่าด้านใน ของเปลวไฟ สังเกตได้จากอุณหภูมิของเปลวไฟจะลดลงเมื่อรัศมีของเปลวไฟเมื่อุณหภูมิต้ากว่าด้านใน ของเปลวไฟ สังเกตได้จากอุณหภูมิของเปลวไฟจะลดลงเมื่อรัศมีของเปลวไฟเมื่อุณหภูมิต้ากว่าด้านใน ของเปลวไฟ สังเกตได้จากอุณหภูมิของเปลวไฟจะลดลงเมื่อรัศมีของเปลวไฟเพิ่มขึ้น (r = 0 mm, 20 mm และ 40 mm) และเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น (T₂ – T₄) อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง (T₂) แล้ว กลับมาลดลงเนื่องจากอิทธิพลของความรุนแรงจากความสมบูรณ์ของการเผาไหม้ และหลังจากนั้น อุณหภูมิจะลดลงตามความสูงที่เพิ่มขึ้นอุณหภูมิสูงสุดยังอยู่ที่บริเวณกึ่งกลางเตา (r = 0 cm) ใกล้กับหัว เตา (T₂) อุณหภูมิใกล้กับหัวเตา (T₂) มีค่าเท่ากับ 1,110, 1,007, 1,025, และ 1,010 K ที่ความดันของ แก๊สแอลพีจี (LPG) เท่ากับ 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 bar ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบในทุก ๆ ตำแหน่ง พบว่า อุณหภูมิจากการจำลองจะมีค่าใกล้เคียงกับการทดลอง โดยมีค่าคลาดเคลื่อนของ อุณหภูมิเฉลี่ยร้อยละ 5.82 และความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกินร้อยละ 13.3 ที่ความดันของแก๊สแอลพี จีเท่ากับ 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 bar ตามลำดับ

4.3.3 พฤติกรรมการเผาไหม้กรณีมีภาชนะ



(a) แถบสีแสดงอุณหภูมิ (K) ที่ระนาบกึ่งกลางเตา

(b) Mass fraction ของอากาศบริเวณหัวเตา

ภาพที่ 4.11 พฤติกรรมของเปลวไฟในกรณีมีภาชนะ

ภาพที่ 4.11 แสดงพฤติกรรมของเปลวไฟในกรณีมีภาชนะ โดยทำการจำลองการเผาไหม้ ที่ความดัน 0.6 bar พบว่า ในการจำลองมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 1,330 K การไหลของของผสมบริเวณ หัวเตาแก๊สมีการไหลชนก้นหม้อแล้วไหลย้อนกลับบริเวณรูทางเข้าอากาศส่วนที่สอง (จุด 1) จาก อิทธิพลของอุณหภูมิเปลวไฟที่ทำให้เกิดความหนาแน่นลดลงทำให้อากาศส่วนที่สองลักษณะเวคเตอร์ที่ ได้จากการจำลองอากาศส่วนที่สองบริเวณด้านข้างเตาแบ่งเป็นสองทิศทาง ทิศทางแรกจะถูกเหนี่ยวนำ และเกิดการหมุนวนที่บนหัวเตา (จุดที่ 2) ทิศทางที่สองจะถูกเหนี่ยวนำและเกิดการเผาไหม้ตามพื้นผิว ของผนังหม้อ (จุดที่ 3)

ภาพที่ 4.12 อุณหภูมิจากการทดลองและการจำลองที่ความดัน 0.6 bar แบบมีภาชนะที่ ตำแหน่งวัด 5 ระดับดังแสดงในภาพที่ 3.25 พบว่า ที่ระดับความสูง T₁ และ T₂ อุณหภูมิจะมีค่าสูงสุด ที่บริเวณจุดกึ่งกลางของเตา เนื่องจากเกิดการเผาไหม้สมบูรณ์และอุณหภูมิจะมีค่าลดลงตามแนวรัศมี เมื่อพิจารณาภายในระยะเส้นผ่านศูนย์กลางเตาโดยอุณหภูมิจะมีค่าสูงที่สุดที่ระดับ T₁ และ T₂ อุณหภูมิที่จุดศูนย์กลางจะมีค่าน้อยที่สุดประมาณ 1,000 และ 550 K ตามลำดับ อุณหภูมิจะมีลักษณะ รูปตัว M ที่ความสูงทั้ง 5 ระดับ เมื่อพิจารณาเฉพาะนอกบริเวณขอบหม้อ (รัศมีมากกว่า 130 mm จากจุดศูนย์กลางเตา) ความสูงเพิ่มขึ้นอุณหภูมิจะมีค่าลดลงและอุณหภูมิจะลดลงตามแนวรัศมีจากจุด ศูนย์กลางของเตา จากการเปรียบเทียบในทุก ๆ ตำแหน่ง พบว่าอุณหภูมิจากการจำลอง จะมีค่า ใกล้เคียงกับการทดลอง โดยมีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 3.70



(b) ภาพขยายในตำแหน่ง A (-130 ถึง -160 mm) (c) ภาพขยายในตำแหน่ง B (130 ถึง 160 mm)



4.4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ภาพที่ 4.13 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ความดันต่าง ๆ ของเตาดั้งเดิม (CB) โดยภาชนะ ที่ใช้ทดลองคือ หม้อขนาดเบอร์ 26 ซึ่งทำการทดลองตามมาตรฐาน DIN EN 203-2 [8] ที่ความดัน 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 bar จำนวน 3 ซ้ำ แล้วนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย พบว่า เมื่อความดันของแก๊สแอลพีจี (LPG) เพิ่มสูงขึ้นประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะมีค่าต่ำลง เนื่องจากการสูญเสียเกิดจากการพาความ ร้อนสูงขึ้น ที่ความดัน 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 bar มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับร้อยละ 43.9, 42.1, 39.4 และ 40.5 ตามลำดับ โดยที่ความดัน 0.6 bar มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุด ดัง แสดงในตารางที่ 4.2



ภาพที่ 4.13 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ความดันต่าง ๆ ของเตา CB

ตารางท่	4.2	ประสทธภ	าพเชงคว	ามร้อนทัศ	าวามดนตาง	ๆ

ความดัน	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน		
(bar)	เฉลี่ย (ร้อยละ)		
0.6	43.9 ± 3		
0.8	42.1 ± 4		
1.0	39.4 ± 2		
1.2	40.5 ± 2		

4.5 อิทธิพลของรูปแบบหัวเตา

จากแบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ทำนาย อิทธิพลที่เกิดขึ้นจากมุมเงย (Incline angle: β) และมุมเอียง (Swirl angle: α) บนหัวเตาแก้สแรงดัน สูงแบบประหยัดแก๊สได้โดยทำการศึกษาในลักษณะพอร์ตหัวเตาแก๊สหุงต้มแบบดั้งเดิม (Conventional burner: CB) และการศึกษาในลักษณะพอร์ตหัวเตาแก๊สหุงต้มแบบหมุนวน (Swirl burner: SB) ดังแสดงในภาพที่ 4.14 ในการศึกษาอิทธิพลของหัวเตาจะทำโดยการปรับมุมเงย (Incline angle: β) และมุมเอียง (Swirl angle: α) บนหัวเตาแถวที่ 3 (Burner port row 3) ดัง แสดงในภาพที่ 3.26 เนื่องจากลักษณะข้อจำกัดทางกายภาพโดย Port ของหัวเตาแก๊สแรงดันสูงแบบ ประหยัดแบบดั้งเดิมมีมุมเงย (Incline angle: β) เท่ากับ 116 องศา และมุมเอียง (Swirl angle: α) เท่ากับ 0 องศา โดยจะใช้ตัวย่อเป็น CB-I116-S00 จากการศึกษาของ Tamir และคณะ [6] พบว่า Swirl burner ที่ให้ฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) สูงสุดจะมีลักษณะเฉพาะคือ มุมเงย (β) เท่ากับ 26 องศาและ มุมเอียง (α) เท่ากับ 15 องศา เนื่องจากลักษณะจำกัดทางกายภาพของเตาแก๊สแรงดันสูง แบบประหยัดแก๊สจึงศึกษา มุมเงย (β) เท่ากับ 85 องศาและมุมเอียง (α) เท่ากับ 15 องศา ซึ่ง ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Tamir และคณะ [6] มากที่สุด ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงแบ่งรูปแบบหัว เตาออกได้ ดังตารางที่ 4.3



ภาพที่ 4.14 การกำหนดมุมเงยและมุมเอียงที่ใช้ในการศึกษา

ตารางที่ 4.3	รปแบบเตาที่	ใช้ใ	ินการศึกษาของ	งเตาแก๊สแรง	งดันสงแบบเ	ไระหยัด
	9					

ชนิดเตา	หัวเตาแก๊ส	ที่ทгงถ	มุมเอียง	
		(Incline angle: $oldsymbol{eta}$)	(Swirl angle: $lpha$)	
		(องศา)	(องศา)	
เตาแบบดั้งเดิม (CB)	CB-I116-S00	166	0	
	SB-1085-S15	85	15	
เตาแบบหมุนวน	SB-1090-S00	90	0	
(SB)	SB-1085-S00	85	0	
	SB-I116-S15	166	15	
	SB-1090-S15	90	15	

ภาพที่ 4.15 แสดงแถบสีอุณหภูมิของเตารูปแบบต่าง ๆ ที่ความดันแอลพีจี 0.6 bar พบว่า ที่ บริเวณจุดศูนย์กลางหัวเตาเป็นบริเวณที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากแหวนเตาทำหน้าที่ป้องกันความร้อน เมื่อ พ้นจากระยะแหวนเตาอุณหภูมิจะลดต่ำลงตามแนวรัศมี อุณหภูมิเกิดขึ้นที่บริเวณผิวก้นหม้อจะมี อุณหภูมิลดลงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Prasad และคณะ [23] ในกรณีศึกษา CB-I116-S00 มี อุณหภูมิที่เกิดจากการเผาไหม้บนหัวเตาสูงที่สุดเท่ากับ 1,312 K เมื่อพิจารณาแถบสีอุณหภูมิบนหัวเตา รูปแบบต่าง ๆ ที่ความดันแอลพีจี 0.6 bar จากภาพที่ 4.15(a) CB-I116-S00 ซึ่งเป็นหัวเตาแบบดั้งเดิม พบว่า อุณหภูมิที่สูงจะกระจายตัวเป็นวงกว้างเนื่องจากเป็นผลมาจากลักษณะการวางรูหัวเตาเป็นแบบ กระจาย จากภาพที่ 4.15(b) SB-1085-S15 พบว่า อุณหภูมิที่สูงจะลู่เข้าหาตำแหน่งกึ่งกลางห้องเผา ใหม้ เนื่องจากอิทธิผลของมุมเงยที่ลู่เข้าหาตำแหน่งกึ่งกลางและจากอิทธิพลของการไหลแบบหมุนวน จากภาพที่ 4.15(c) SB-1090-S00 พบว่า อุณหภูมิที่สูงจะกระจายตัวอยู่บริเวณกลางหัวเตาและทางเข้า อากาศส่วนที่สอง เนื่องจากลักษณะการวางรูหัวเตาเป็นแบบตั้งฉาก จากภาพที่ 4.15(d) SB-1085-S00 พบว่า อุณหภูมิที่สูงจะลู่เข้าหาตำแหน่งกึ่งกลางห้องเผาไหม้เนื่องจากอิทธิผลของมุมเงยที่ลู่เข้าหา ตำแหน่งกึ่งกลางแต่น้อยกว่า SB-1085-S15 เนื่องจากไม่มีอิทธิพลของการไหลแบบหมุนวน จากภาพที่ 4.15(e) SB-I116-S15 พบว่า อุณหภูมิที่สูงจะกระจายตัวตามก้นหม้อเป็นวงกว้างมากที่สุดเนื่องจาก ้ลักษณะการวางรูหัวเตาเป็นแบบลู่ออกและทำให้อุณหภูมิตรงกลางหัวเตาต่ำ จากภาพที่ 4.15(f) SB-1090-S15 อุณหภูมิสูงจะกระจายตัวอยู่บริเวณกลางหัวเตาและทางเข้าอากาศส่วนที่สองแต่น้อยกว่า SB-1090-S00 เนื่องจากลักษณะการวางรูหัวเตาเป็นแบบตั้งฉากและการไหลแบบหมุนวน จาก การศึกษาอุณหภูมิบนหัวเตา CB-I116-S00, SB-I085-S15, SB-I090-S00, SB-I085-S00, SB-I116-S15 และ SB-1090-S15 มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวหม้อ 501.59, 501.59, 496.47, 496.95, 506.41 และ 501.76 K ตามลำดับ



(a) CB-I116-S00

ภาพที่ 4.15 แถบสีอุณหภูมิของเตารูปแบบต่าง ๆ ที่ความดันแอลพีจี 0.6 bar



(b) SB-1085-S15



(c) SB-1090-S00





ภาพที่ 4.15 แถบสีอุณหภูมิของเตารูปแบบต่าง ๆ ที่ความดันแอลพีจี 0.6 bar (ต่อ)









ภาพที่ 4.15 แถบสีอุณหภูมิของเตารูปแบบต่าง ๆ ที่ความดันแอลพีจี 0.6 bar (ต่อ)





ภาพที่ 4.16 เวคเตอร์ความเร็วของของไหล (Velocity vector of fluid) และความเร็วของ อากาศ (Velocity of Mass fraction of air) ของเตารูปแบบต่าง ๆ ที่ความดัน แอลพีจี 0.6 bar





ภาพที่ 4.16 เวคเตอร์ความเร็วของของไหล (Velocity vector of fluid) และความเร็วของ อากาศ (Velocity of Mass fraction of air) ของเตารูปแบบต่าง ๆ ที่ความดัน แอลพีจี 0.6 bar (ต่อ)



ภาพที่ 4.16 เวคเตอร์ความเร็วของของไหล (Velocity vector of fluid) และความเร็วของ อากาศ (Velocity of Mass fraction of air) ของเตารูปแบบต่าง ๆ ที่ความดัน แอลพีจี 0.6 bar (ต่อ)

ภาพที่ 4.16 แสดงเวคเตอร์ความเร็วของของไหล (Velocity vector of fluid) และความเร็ว ของอากาศ (Velocity of Mass fraction of air) ของเตารูปแบบต่าง ๆ ที่ความดันแอลพีจี 0.6 bar พบว่า จากภาพที่ 4.16(a) CB-I116-S00 ซึ่งเป็นหัวเตาแบบดั้งเดิม พบว่า อากาศส่วนที่สองถูก เหนี่ยวนำจากอิทธิพลของความร้อนและเกิดการผสมเชื้อเพลิงตามผิวกันภาชนะเป็นวงกว้างเป็นผลมา จากลักษณะการวางรูหัวเตาเป็นแบบกระจาย จากภาพที่ 4.16(b) SB-I085-S15 พบว่า อากาศส่วนที่ สองถูกเหนี่ยวนำจากอิทธิพลของความร้อนและเกิดการผสมเชื้อเพลิงตามผิวกันภาชนะเป็นวงกว้าง เนื่องจากอิทธิพลของมุมเงยที่ลู่เข้าหาตำแหน่งกึ่งกลางและจากอิทธิพลของการไหลแบบหมุนวน จาก ภาพที่ 4.16(c) SB-I090-S00 พบว่า อากาศส่วนที่สองถูกเหนี่ยวนำจากอิทธิพลของความร้อนเกิดการ ผสมเชื้อเพลิงตามผิวกันภาชนะน้อย เนื่องจากลักษณะการวางรูหัวเตาเป็นแบบตั้งฉาก จากภาพที่ 4.16(d) SB-I085-S00 พบว่า อากาศส่วนที่สองถูกเหนี่ยวนำจากอิทธิพลของความร้อนเกิดการผสม เชื้อเพลิงตามผิวกันภาชนะน้อยเนื่องการการวางรูหัวเตาใกล้เคียงกับ S-090-S00 จากภาพที่ 4.16(e) SB-I116-S15 พบว่า อากาศส่วนที่สองถูกเหนี่ยวนำจากอิทธิพลของความร้อนเกิดการผสม เชื้อเพลิงตามผิวกันภาชนะเนื่อยเนื่องการการวางรูหัวเตาใกล้เคียงกับ S-090-S00 จากภาพที่ 4.16(e) SB-I116-S15 พบว่า อากาศส่วนที่สองถูกเหนี่ยวนำจากอิทธิพลของความร้อนเกิดการผสมเชื้อเพลิง ตามผิวกันภาชนะเป็นวงกว้างมากที่สุดเนื่องจากลักษณะการวางรูหัวเตาเป็นแบบลู่ออกและอิทธิพล ของการไหลแบบหมุนวน จากภาพที่ 4.16(f) SB-I090-S15 ถูกเหนี่ยวนำจากอิทธิพลของความร้อน เกิดการผสมเชื้อเพลิงตามผิวกันภาชนะน้อยเนื่องจากลักษณะการวางรูหัวเอาเป็นแบบตั้งฉากและ อิทธิพลของการไหลแบบหมุนวนทำให้เกิดการผสมเชื้อเพลิงกว้างกว่า SB-I090-S00

ภาพที่ 4.17 แสดงฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) บริเวณผิวหม้อจากการจำลองของหัวเตาต่าง ๆ ที่ความดัน 0.6 bar ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) ของผิวหม้อบนหัวเตาแก๊ส ที่พฤติกรรมการไหลแตกต่างกันเนื่องจากอิทธิพลของมุมเงยและมุมเอียง โดยแบ่งพื้นที่ผิวหม้อออกเป็น 3 ส่วนคือ ผิวหม้อด้านข้าง ผิวหม้อด้านขอบเอียง และผิวหม้อส่วนล่าง จากการจำลอง (CFD) พบว่า ผิวหม้อส่วนล่าง (ก้นหม้อ) จะมีฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 89.33 รองลงมา คือผิวหม้อด้านข้าง คิดเป็นร้อยละ 6.79 ฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) ผิวหม้อโดยรวมของหัวเตา CB-I116-S00, SB-I116-S15, SB-I090-S15, SB-I085-S15, SB-I090-S00 และ SB-I085-S00 มีฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) ที่ผิวหม้อเท่ากับ 6038, 6145, 5809, 5712, 5611 และ 5555 W/m² ตามลำดับ เนื่องจากหัวเตา CB เดิมเป็นเตาที่มีประสิทธิภาพสูงจึงทำให้หัวเตา SB-I116-S15 มีฟลักซ์ ความร้อน (Heat flux) ที่ผิวหม้อมากกว่าหัวเตา CB-I116-S00 คิดเป็นร้อยละ 1.76 ซึ่งเป็นผลจาก การไหลแบบหมุนวนทำให้เพิ่มระยะเวลาการผสมกันระหว่างอากาศและเซื้อเพลิง



ภาพที่ 4.17 ฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) บริเวณผิวหม้อจากการจำลองของหัวเตาต่าง ๆ ที่ ความดัน 0.6 bar

ภาพที่ 4.18 แสดงอิทธิพลของรูปแบบหัวเตาและความดันแอลพีจีต่อฟลักซ์ความร้อน จากการ เปรียบเทียบฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) ของผิวหม้อจากหัวเตา CB-I116-S00 (1.2 bar), SB-I116-S15 (0.6 bar), SB-I116-S15 (0.6 bar) และ CB-I116-S00 (0.6 bar) พบว่า ฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) ของผิวหม้อมีค่าเท่ากับ 8418, 8394, 6145 และ 6028 W/m² ตามลำดับ ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากหัวเตาแก๊สดั้งเดิม (CB) เป็นเตาแก๊สที่มีประสิทธิภาพสูง

จากการศึกษาอิทธิพลที่เกิดมุมเงย (Incline angle: β) และมุมเอียง (Swirl angle: α) บนหัว เตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดแก๊สตามกรณีศึกษาข้างต้น พบว่าในหัวเตาแก๊ส SB-I116S15 หรือมี มุมเงย 116 องศา และมุมเอียง 15 องศา สามารถให้ค่าฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) ของผิวหม้อ ได้ มากที่สุดเท่ากับ 6145 W/m² ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำหัวเตาในกรณีข้างต้นมาทำการศึกษาอิทธิพลที่ เกิดจากความสูงของก้นหม้อ (Loading height) และ ขนาดรูของหัวเตาที่มีผลต่อค่าความร้อนต่อพื้นที่ ของผิวหม้อ



ภาพที่ 4.18 อิทธิพลของรูปแบบหัวเตาและความดันแอลพีจีต่อฟลักซ์ความร้อน

4.6 อิทธิพลของระยะความสูงระหว่างก้นหม้อกับหัวเตา (Loading height)

ในการจำลองโดยกำหนดให้หัวเตาที่ใช้ศึกษาคือ SB-I116-S15 จึงกำหนดให้ความสูงของก้นหม้อ ดังแสดงในภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.19 ความสูงของกันหม้อ (Loading height)

ภาพที่ 4.20 จากการศึกษาอิทธิพลที่เกิดขึ้นจากระยะความสูงของก้นหม้อที่ความสูง 21, 1, 6, 11 และ 31 mm จากภาพที่ 4.20(a) ที่ความสูงก้นหม้อ 21 mm ซึ่งเป็นความสูงเดิม พบว่า อุณหภูมิ บริเวณหัวเตาได้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและมีความร้อนบางส่วนไหลออกทางเข้าอากาศส่วนที่สอง เนื่องจากความสูงของก้นหม้อ จากภาพที่ 4.20(b) ที่ความสูงก้นหม้อ 1 mm พบว่า อุณหภูมิบริเวณ ห้องเผาไหม้มีค่าสูงมากเนื่องจากอิทธิพลของแหวนเตาซึ่งทำหน้าที่เก็บความร้อนบนหัวเตา จากภาพที่ 4.20(c) ที่ความสูงก้นหม้อ 6 mm พบว่า อุณหภูมิบริเวณห้องเผาไหม้มีค่าสูงมากและเริ่มมีความร้อน บางส่วนไหลออกไปยังทางเข้าอากาศส่วนที่สอง จากภาพที่ 4.20(d) ที่ความสูงก้นหม้อ 11 mm พบว่า อุณหภูมิบริเวณห้องเผาไหม้มีค่าสูงมากและมีความร้อนบางส่วนไหลออกไปยังทางเข้าอากาศส่วนที่ สองมากกว่าความสูงก้นหม้อที่ 6 mm จากภาพที่ 4.20(c) ที่ความสูงก้นหม้อ 31 mm พบว่า อุณหภูมิ บริเวณห้องเผาไหม้มีค่าน้อยเนื่องจากมีความร้อนจำนวนมากไหลออกไปยังทางเข้าอากาศส่วนที่ สองมากกว่าความสูงก้นหม้อที่ 6 mm จากภาพที่ 4.20(c) ที่ความสูงก้นหม้อ 31 mm พบว่า อุณหภูมิบริเวณห้องเผาไหม้มีค่าสูงมากและมีความร้อนจำนวนมากไหลออกไปยังทางเข้าอากาศส่วนที่ สองมากกว่าความสูงก้นหม้อที่ 6 mm จากภาพที่ 4.20(c) ที่ความสูงก้นหม้อ 31 mm พบว่า อุณหภูมิ บริเวณห้องเผาไหม้มีค่าน้อยเนื่องจากมีความร้อนจำนวนมากไหลออกไปยังทางเข้าอากาศส่วนที่ สองมากก่ากว่าความสูงก้นหม้อยี่งจากกามีความสูงก้นหม้อเพิ่มขึ้นอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวหม้อมีค่าลดลง เนื่องจากก้นหม้ออยู่ห่างจากหัวเตาซึ่งเป็นจุดที่มีอุณหภูมิสูง โดยที่ความสูงของก้นหม้อเท่ากับ 21 (CB), 1, 6, 11 และ 31 mm มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวหม้อ 506.41, 655.89, 622.44, 575.91 และ 479.38 K ตามลำดับ





ภาพที่ 4.20 แถบสีอุณหภูมิของ SB-I116-S15 ที่ Loading height ต่าง ๆ













ภาพที่ 4.20 แถบสีอุณหภูมิของ SB-I116-S15 ที่ Loading height ต่าง ๆ (ต่อ)





ภาพที่ 4.20 แถบสีอุณหภูมิของ SB-I116-S15 ที่ Loading height ต่าง ๆ (ต่อ)





(a) 21 mm (CB)

(a1) ความเร็ว

ภาพที่ 4.21 อิทธิพลของ Loading height ต่อเวคเตอร์ความเร็วและความเร็วของอากาศ (Mass fraction of air) ของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด



ภาพที่ 4.21 อิทธิพลของ Loading height ต่อเวคเตอร์ความเร็วและความเร็วของอากาศ (Mass fraction of air) ของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด (ต่อ)



ภาพที่ 4.21 อิทธิพลของ Loading height ต่อเวคเตอร์ความเร็วและความเร็วของอากาศ (Mass fraction of air) ของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด (ต่อ)

ภาพที่ 4.21 แสดงอิทธิพลของ Loading height ต่อเวคเตอร์ความเร็วและความเร็วของอากาศ (Mass fraction of air) ของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดที่ความสูง 21, 1, 6, 11 และ 31 mm จากภาพที่ 4.21(a) ความสูงก้นหม้อ 21 mm ซึ่งเป็นความสูงเดิม พบว่า อากาศส่วนที่สองถูก เหนี่ยวนำจากความร้อนบนหัวเตาเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงและไหลตามผิวก้นหม้ออย่างสม่ำเสมอ จาก ภาพที่ 4.20(b) ที่ความสูงกันหม้อ 1 mm พบว่า อากาศส่วนที่สองถูกผสมภายนอกแหวนเตาเนื่องจาก เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ภายในแหวนเตา จากภาพที่ 4.20(c) ที่ความสูงกันหม้อ 6 mm พบว่า อากาศส่วนที่สองถูกผสมภายนอกแหวนเตาเนื่องจากเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ภายในแหวนเตา จากภาพที่ 4.20(d) ที่ความสูงกันหม้อ 11 mm พบว่า อากาศส่วนที่สองถูกผสมภายนอกแหวนเตา เนื่องจากเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ภายในแหวนเตาโดยเริ่มมีอากาศส่วนที่สองบางส่วนไหลผสม ภายในแหวนเตา จากภาพที่ 4.20(e) ที่ความสูงกันหม้อ 31 mm พบว่า อากาศส่วนที่สองถูกผสม ภายในและนอกแหวนเตาเนื่องจากความสูงกันหม้อที่เพิ่มขึ้นแหวนเตาจึงทำหน้าที่กักเก็บความร้อนได้ น้อยลง จากแถบสีอุณหภูมิแสดงให้เห็นว่า เมื่อความสูงกันหม้อเพิ่มขึ้นอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวหม้อมีค่า ลดลงเนื่องจากกันหม้ออยู่ห่างจากหัวเตาซึ่งเป็นจุดที่มีอุณหภูมิสูง โดยที่ความสูงของกันหม้อเท่ากับ 21 (CB), 1, 6, 11 และ 31mm มีความเร็วสูงสุดเท่ากับ 8.38, 8.28, 7.95, 8.14 และ 8.25 m/s ตามลำดับ



ภาพที่ 4.22 ฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) บริเวณผิวหม้อจากการจำลองที่ความสูงจากหัวเตาถึง ก้นหม้อระดับต่าง ๆ

ภาพที่ 4.22 แสดงฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) บริเวณผิวหม้อจากการจำลองที่ความสูงจากหัว เตาถึงก้นหม้อระดับต่าง ๆ จากผลการจำลอง พบว่า ผิวหม้อส่วนล่าง (ก้นหม้อ) จะมีฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) มากที่สุดและฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) ผิวหม้อโดยรวมที่ความสูงของก้นหม้อเท่ากับ 21 (CB), 1, 6, 11 และ 31mm มี ฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) ที่ผิวหม้อเท่ากับ 6145, 45707, 24228, 14508 และ 3505 W/m² ตามลำดับ เมื่อความสูงของก้นหม้อเพิ่มขึ้นฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) บริเวณจะมีค่าลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนหัวเตามีอุณหภูมิสูงจากอิทธิพลของแหวนเตา ซึ่งช่วยในการป้องกันการสูญเสียความร้อนทำให้ก้นหม้อที่อยู่ใกล้ปากแหวนมีอุณหภูมิสูง

4.6.2 อิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูทางออกของหัวเตา (Port diameter)

ในการจำลองโดยกำหนดให้หัวเตาที่ใช้ศึกษาคือหัวเตา SB-I116-S15 โดยกำหนดให้ขนาด รูของหัวเตาดังแสดงในตารางที่ 4.4

กรณีศึกษา	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูหัวเตา (mm)					
	แถวที่ 1	แถวที่ 2	แถวที่ 3	แถวที่ 4		
SB-I116-S15 (CB)	1.5	2	2	1.5		
SB-I116-S15 (1.5)	1.5	1.5	1.5	1.5		
SB-I116-S15 (2.0)	2	2	2	2		

ตารางที่ 4.4 การกำหนดขนาดรูหัวเตา

ภาพที่ 4.23 แสดงอิทธิพลของขนาดรูหัวเตาต่ออุณหภูมิจากการศึกษาอิทธิพลของขนาดรู หัวเตาทั้ง 3 กรณี จากภาพ 4.23(a) พบว่า อุณหภูมิสูงเกิดการกระจายตัวไปยังผิวก้นหม้อในวงกว้าง จากภาพ 4.23(b) พบว่า อุณหภูมิสูงเกิดภายในบริเวณแหวนเตาและมีการกระจายตัวที่ก้นหม้อน้อย จากภาพ 4.23(c) พบว่า อุณหภูมิสูงเกิดการกระจายตัวไปยังผิวก้นหม้อในวงกว้างมากที่สุด และเมื่อ ขนาดรูหัวเตาเพิ่มขึ้นอุณหภูมิที่ผิวหม้อเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ความเร็วสูงสุดจะมีค่าลดลง จากแถบสี ลักษณะของเปลวไฟหัวเตา SB-I116-S15 (CB), SB-I116-S15 (1.5) และ SB-I116-S15 (2.0) มี อุณหภูมิที่ผิวหม้อเฉลี่ยเท่ากับ 506.41, 483.67 และ 514.61 K ตามลำดับ

ภาพที่ 4.24 อิทธิพลของขนาดรูหัวเตาต่อความเร็วจากภาพ 4.24(a) พบว่า อากาศส่วนที่ สองเข้าผสมภายในแหวนเตาบางส่วนเนื่องจากเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ จากภาพ 4.24(b) พบว่า อากาศส่วนที่สองเข้าผสมภายในแหวนเตาจำนวนมากเนื่องจากเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เท่าเตา ดั้งเดิม (CB) จากภาพ 4.24(c) พบว่า เกิดการผสมอากาศส่วนที่สองภายนอกแหวนเตาเนื่องจาก เนื่องจากเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์มากกว่าเตาดั้งเดิม (CB) ความเร็วสูงสุดลักษณะของเปลวไฟหัว เตา SB-I116-S15 (CB), SB-I116-S15 (1.5) และ SB-I116-S15 (2.0) มีเท่ากับ 8.38, 9.11 และ 7.29 m/s ตามลำดับ



(a) SB-I116-S15 (CB)







ภาพที่ 4.23 อิทธิพลขนาดรูหัวเตาต่ออุณหภูมิ



(a2) ความเร็วของอากาศ

(b2) ความเร็วของอากาศ

(a) SB-I116-S15 (CB)



(b1) ความเร็ว

(b) SB-I116-S15 (1.5)



(c) SB-I116-S15 (2.0)

ภาพที่ 4.24 อิทธิพลขนาดรูหัวเตาต่อความเร็ว

ภาพที่ 4.25 แสดงฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) บริเวณผิวหม้อจากการจำลองที่ขนาดรู ต่าง ๆ ที่ความดัน 0.6 bar ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลจากฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) ของผิวหม้อโดยแบ่งพื้นที่ผิวหม้อออกเป็น 3 ส่วนคือ ด้านข้าง ด้านขอบเอียง และด้านล่าง จาก การขยายขนาดรูของหัวเตา พบว่า เมื่อเพิ่มขนาดรูหัวเตาค่าฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) บนผิวหม้อ จะมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากอัตราการไหลเชิงมวลมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) ของ ผิวหม้อที่หัวเตา SB-I116-S15 (CB), SB-I116-S15 (1.5) และ SB-I116-S15 (2.0) มีค่าเท่ากับ 6145.19, 5515.30 และ 6301.13 W/m² ตามลำดับ



ภาพที่ 4.25 ฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) บริเวณผิวหม้อจากการจำลองที่ขนาดรูต่าง ๆ ที่ความดัน 0.6 bar

บทที่5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด ที่มีการใช้แก๊สแอลพีจี (LPG) มากกว่า 5.78 kW พบว่า

5.1.1 ในการจำลองส่วนที่ 1 ให้ผลความเร็วจากการจำลองมีความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกินร้อย ละ 8 เมื่อเทียบกับการทดลอง

5.1.2 ในการจำลองส่วนที่ 2 ให้ผลความเร็วจากการจำลองมีความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกินร้อย ละ 13.3 เมื่อเทียบกับการทดลอง

5.1.3 จากแบบจำลอง เตาที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวหม้อสูงสุดคือ เตาแบบ SB-I116-S15 รองลงมา คือเตาแบบ SB-I090-S15, CB-I116-S00, SB-I085-S15, SB-I085-S00, SB-I090-S00 ตามลำดับ ซึ่ง มีค่าเท่ากับ 506.41, 501.76, 501.59, 501.59, 496.95 และ 496.47 K ตามลำดับ

5.1.4 จากแบบจำลอง เตาที่มีความเร็วของแก๊สร้อนหรือเปลวไฟสูงสุดคือ เตาแบบ SB-I090-S15 รองลงมาคือเตาแบบ SB-I085-S00, CB-I116-S15, SB-I116-S00, SB-I085-S15, SB-I090-S00 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.71, 8.41, 8.38, 8.01, 7.98 และ 7.77 m/s ตามลำดับ

5.1.5 การจำลองทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) มีความสอดคล้องกับการทดลอง

5.1.6 ที่ความดัน 0.6 bar มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 43.9

5.1.7 หัวเตาแก๊สที่ให้ค่าฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) ของภาชนะสูงสุดคือหัวเตา SB-I116-S15 ซึ่งมีมุมเอียง 116 และมุมเงย 15 องศา ให้ค่าฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.76 เมื่อ เทียบกับเตา CB-I116-S00

5.1.8 เมื่อ Loading height เพิ่มขึ้นฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) ของภาชนะจะมีค่าลดลง โดย Loading height เท่ากับ 1 mm ให้ฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) สูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 45707 W/m²

5.1.9 เมื่อขนาดรูของหัวเตาเพิ่มขึ้นฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) ของภาชนะจะมีค่าเพิ่มขึ้นโดย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูของหัวเตา 2 mm ให้ฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) สูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 6301 W/m²

5.1.10 จากแบบจำลอง พบว่า ฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) ของ SB-I116-S15 จะมีค่าเพิ่มขึ้น ร้อยละ 1.94 เมื่อเทียบกับ CB-I116-S00 ที่ความดัน 0.6 bar ดังนั้นจึงประมาณได้ว่าประสิทธิภาพเชิง ความร้อนของ SB-I116-S15 จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 44.77

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการวัดความเร็วควรอยู่ในที่ที่มีอากาศถ่ายเทแต่ไม่มีกระแสลมพัดเนื่องจากกระแสลมมี อิทธิพลต่อความคลาดเคลื่อนของค่าที่อ่าน

5.2.2 ควรใส่อุปกรณ์ป้องกันแก๊สในระหว่างทำการวัดความเร็ว

5.2.3 ในการวัดความเร็วควรมีอุปกรณ์จับยึดเครื่องมือวัดเพื่อให้ตำแหน่งการวัดไม่คลาดเคลื่อน

5.2.4 ควรมีการศึกษาอิทธิพลของแก๊สไอเสีย

5.2.5 วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) สามารถเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาที่ช่วยลด ระยะเวลาและต้นทุนจากการทดลองได้เป็นอย่างดี

5.2.6 สามารถนำรูปแบบการจำลองไปใช้ทำนายอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ การ ปรับเปลี่ยนพื้นที่รับความร้อน (ขนาดของหม้อ) การเพิ่มวัสดุพรุน (Porous) เป็นต้น

5.2.7 ควรนำแบบจำลองที่ได้ไปขยายผลเพิ่มเติมเพื่อศึกษาอิทธิพลของความดันแก๊สแอลพีจี (LPG) ในระดับอื่น ๆ เอกสารอ้างอิง
เอกสารอ้งอิง

- [1] สำนักนโยบายและแผนพลังงาน. (2561). "ข้อมูลพลังงาน", [Energy Database].
 http://www.eppo.go.th. 20 เมษายน, 2561.
- [2] Dong, L.L., Cheung, C.S. and Leung, C.W. "Heat Transfer from an Impinging Premixed Butane/Air Slot Flame Jets", International Journal of Heat and Mass Transfer. 45(2): 979-992; February, 2002.
- [3] ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ. การประยุกต์ใช้วัสดุพรุนเพื่อการประหยัดพลังงานในเตาแก๊สหุงต้ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี, 2544.
- [4] ธนายง อุตสาหกรรม. (2560). "เตาประหยัดแก๊ส", [เตาประหยัดแก๊ส Happy gas].
 http://happygas2000.com. 26 ธันวาคม, 2560.
- [5] วสันต์ โยคเสนะกุล. หัวเผาเชื้อเพลิงแก๊สที่มีการหมุนเวียนความร้อนและการไหลแบบ หมุนวน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี, 2548.
- [6] Tamir A., Elperin I. and Yotzer S. "Performance Charateritics of A Gas Burner with A Swirl Central Flame", Energy. 14(5): 347-362; May, 1992.
- [7] สำเริง จักรใจ. **การเผาไหม้**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [8] German Standard and Techanical Rules. DIN Standard DIN EN 203-2, 1997.
- [9] วิกิพีเดียสารานุกรมเสรี. (2558) "พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวน", พลศาสตร์ของไหลเชิง คำนวน. https://th.wikipedia.org/wiki/พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวน. 20 เมษายน, 2560.
- [10] Azeman, M. and Noor Shawal, N. Computational Studies of Fuel and Air Mixing Characteristics of Low Pressure Domestic Gas. Doctor's Thesis: University Teknologi Malaysia, 2003.
- [11] กีรติ เกิดศิริ. การศึกษาลักษณะทางสถิติและแบบจำลองรังสีอุตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ที่ มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์ในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2548.
- [12] ปิยะสกุล พาณิชเจริญ. "การศึกษาผลของลมที่มีต่อการลุกลามของไฟผิวดินภายใต้สภาวะที่ เชื้อเพลิงติดไฟได้ยาก", ใน การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25. น. CST23. กระบี่: อ่าวนางวิลล่ารีสอร์ท, 2554.

เอกสารอ้งอิง (ต่อ)

- [13] วัชรพงษ์ ธัชยพงษ์. แบบจำลองการเกิดเปลวไฟเรือนยอด. เชียงใหม่: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2555.
- [14] Jugjai, S. and Sanijai, S. "Parametric Studies of Thermal Efficiency in a Proposed Porous Padiant Recirculated Burner (PRRB): A Design Concept for the Future Burner", Proceedings of RERIC International Energy Journal. 18(5): 97-111; November, 1996.
- [15] Dong, L.L., Cheung, C.S. and Leung, C.W. "Heat Transfer from an Impinging Premixed Butane/Air Slot Flame Jets", International Journal of Heat and Mass Transfer. 45(3): 979-992; February, 2002.
- [16] Dong, L.L., Cheung, C.S. and Leung, C.W. "Heat Transfer of Three Butane/Air Flame Jets Impinging on Flat Plate", International Journal of Heat and Mass Transfer. 46(2): 113-125; February, 2003.
- [17] Dong, L.L., Cheung, C.S. and Leung, C.W. "Heat Transfer and Wall Pressure Characteristics of a Twin Premixed Butance/Air Flame Jets", Heat and Mass Transfe. 47(2): 489-500; February, 2004.
- [18] Sze, L.K., Cheung, C.S. and Leung, C.W. "Temperature Distribution and Heat Transfer Characteristics of an Inverse Diffusion Flame with Circumferentially Arranged Fuel Ports", International Journal of Heat and Mass Transfer. 47(14): 3119-3129; July, 2004.
- [19] จารุณี จาบกลาง. การพัฒนาเตาแก๊สหุงต้มประสิทธิภาพสูงชนิดมีการหมุนเวียนความร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี, 2549.
- [20] สุระเดช สินจะโป๊ะ. "เตาแก๊สหุงต้มชนิด KB-10 โดยใช้วัสดุพรุนร่วมกับเปลวไฟแบบหมุนวน", ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 31. น. AFC 04. จังหวัดนครนายกะ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2560.
- [21] Namkhat A., Jugjai S. "Primary air entrainment characteristics for a self-aspirating burner", Energy. 35: 1701-1708; 2009.

เอกสารอ้งอิง (ต่อ)

- [22] ณรงศักดิ ปิยะไพร และคณะ. "การศึกษาการไหลของอากาศที่ผสมกับแก๊สเซื้อเพลิงในท่อผสม ของหัวเตาแก๊สหุงต้มขนาด KB-5 โดยใช้การจำลอง พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ", ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 27. น. CST12. จังหวัดชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา, 2556.
- [23] Prasad B., Baidurja R., and Ravikrishna., R.V. "Thermal Efficiency of LPG and PNG-fired burners: Experimental and numerical studies", International Journal of Fuel. 116(1): 709–715; January, 2014.
- [24] Wichangarm, M. et al. "Simulation of flow characteristics in an energy-saving high-pressure gas stove", In the 30th Conference of Mechanical Engineering Network Thailand (MENETT 30). p.CST0027. Songkhla: Prince of Songkla University, 2016.
- [25] Wichangarm, M. et al. "Simulation on combustion characteristics of an energy-saving gas stove using Computational fluid dynamics", In the 31th
 Conference of Mechanical Engineering Network Thailand (MENETT 31).
 p.CST0021, Nakhon Nayok: Srinakharinwirot University, 2017.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การคำนวณอัตราการป้อนเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพเชิงความร้อน จากกรณีตัวอย่างที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแอลพีจี (LPG) เท่ากับ 6.61 kW (ที่ 0.8 bar)

$$fuel Q = V \times LHV$$
(n.1)

โดยที่ค่าความร้อนทางต่ำ (LHV) เท่ากับ 49,886 kJ/m³

ดังนั้น ที่ความดันแก๊สเซื้อเพลิงแอลพีจี (LPG) เท่ากับ 0.8 bar มีค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 6.61 kW

ก.2 การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th})

การหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสำหรับเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน ได้ทำการอ้างอิงจาก มาตรฐาน DIN EN 203-2 ซึ่งใช้หลักการ Boling test สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ ก.2

$$\eta_{th} = \frac{m_{water} c_{p,water} (363 - T_{water,i})}{V \times LHV \times t}$$
(n.2)

เมื่อ

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อน (ŋ_{th})

การคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) ของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดพลังงาน ตาม มาตรฐานDIN EN 203-2 ซึ่งใช้หลักการ Boling test ในกรณีให้มวลน้ำเท่ากับ 4.34 kg, อุณหภูมิ เริ่มต้นเท่ากับ 300 K, Fring rate เท่ากับ 6.6 KW, ใช้เวลาทั้งสิ้น 6 นาทีเพื่อถึงอุณหภูมิ 363 K

จากสมการ

$$\eta_{th} = \frac{m_{water} c_{p,water} (363 - T_{water,i})}{V \times LHV \times t}$$

แทนค่าลงในสมการ

$$\eta_{th} = \frac{4.43 \times 4.18(363 - 300)}{6.6 \times 360}$$
$$= 0.49$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สแรงดันสูงเท่ากับร้อยละ 49

ก.3 การคำนวณความเร็วของ LPG บริเวณหัวฉีด

จากกรณีตัวอย่างที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ความดันแอลพีจี (LPG) เท่ากับ 1.2 bar มีอัตราการ ไหลเท่ากับ 4.46x10⁻² kg/s และขนาดของรูหัวฉีดเท่ากับ 0.6 mm

$$\dot{m} = \rho Av$$
 (n.2)

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho A}$$
 (n.3)

โดยที่ค่าความหนาแน่นของ LPG เท่ากับ 560 kg/m³

$$v = \frac{4.46 \times 10^{-2} (\text{kg/s})}{(560) (\text{kg/m}^3) \times (2.827 \times 10^{-7}) (\text{m}^2)}$$

ดังนั้นที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ความดันแอลพีจี (LPG) เท่ากับ 1.2 bar ความเร็วบริเวณหัวฉีดมีค่า เท่ากับ 281.72 m/s ภาคผนวก ข

ภาพการทดลอง

101



ภาพที่ ข. 1 การหาค่า Fring rate





(b) การวัดความเร็วของของผสมบนหัวเตา

(a) การวัดความเร็วในการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรก

ภาพที่ ข. 2 การวัดความเร็วของของไหล (Part 1)



ภาพที่ ข. 3 การวัดอุณหภูมิเปลวไฟแบบไม่มีหม้อ (Part 2)



ภาพที่ ข. 4 การวัดอุณหภูมิเปลวไฟแบบมีหม้อ (Part 2)

ภาคผนวก ค บทความทางวิชาการ

ผลงานวิจัย

- [1] Panjapong, T. et al. "Simulation of flow characteristics in a gas-saving highpressure gas stove by computation fluid dynamics", In the 31th
 Conference of Mechanical Engineering Network Thailand (MENETT 31).
 p.CST0009, Nakhon Nayok: Srinakharinwirot University, 2017.
- [2] Panjapong, T. et al. "Simulation of combustion behavior of a gas-saving high-pressure gas stove by computational fluid dynamics", In the 32th
 Conference of Mechanical Engineering Network Thailand (MENETT 32).
 p.CST0023, Mukdahan: Rajamangala University of Technology Isan, 2018.

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิสวกรรมเครื่องกอนห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31 4-7 กรกฎาคม 2560 จังหวัดนครนายก

การจำลองพฤติกรรมการไหลของเดาแก๊สแรงดันสูงชนิดประหยัดแก๊ส โดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Simulation of Flow Characteristic in A Gas-saving High-pressure Gas Stove

by Computational Fluid Dynamics

<u>จิตินั้นท์ ปัญจพงษ์</u>' อนิรุดด์ มัทขุจักร์*' มานะ วิชางาม' ธนรัฐ ศรีวีระกูล' และ เสฏฐวรรช สุจริดภวัดสกูล'

ี่พ้องปฏิบัติการการประยุกด์ใช้สำเร็จและการหลาไหม้ (Combustion and Jet Application Research Laboratory, CJARL) ภาควิชาวิสวกรรมเครื่องกล คณะวิหรุกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลับอุบอราชชานี 85 ถนสนถลมาร์ค ต.เมืองศรีไค อ.วารินชำรวบ จ.อุบอราชชานี 34190 ³ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวิสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาสาตตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (MTEC) 114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทคไทย ธนนทหลไยชิน ลำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองพลวง จังหวัดปกุมชานี 12120 * ซีตต่อ: E-mail Aninut.m@xbu.ac.th โทรศัพท์ 0-4535-3309, โทรสาร 0-4535-3308

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาพฤติกรรมการไหลของส่วนผสมของแก๊ส LPG กับอากาศของเตาแก๊สแรงดันสูงขนิด ประหยัดแก๊สด้วยวิธีพลศาสตร์ของโหลเซิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) ใช้โปรแกรมในการจำลอง พฤติกรรมการไหลและใช้โปรแกรม Solid works version 2013 ในการสร้างแบบจำลอง จะใช้วิธีการจำลองการไหลแบบ ปั่นป่วนและไม่มีปฏิกิริยาการเผาไหม้เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยได้ทำการศึกษาและสร้างขอบเขตพื้นที่ของแบบจำลองใน ลักษณะ 3 มิติ (30 - Model) ที่มีขนาดเท่ากับเตาแก๊ลแรงดันสูงขนิดประหยัดแก๊สที่ใช้งานจริง ซึ่งทำการศึกษาที่ความดัน 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 bar จากผลการศึกษาพบว่า ความต้นมีผลต่อความเร็วในตำแหน่งต่างๆ ของหัวเตาแก๊สความ ดันที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ความเร็วของแก๊สในดำแหน่งต่างๆ เพิ่มขึ้น พฤติกรรมการไหลลำหรับแบบจำลองและแบบทดลองมี ความคล้ายคลึงกัน ผลจากแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถอธิบายพฤติกรรมการไหลงจมชื่อเพลิงในเดาแก๊สแรงดันสูงขนิด ประหยัดแก๊สได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังพบว่า ผลที่ได้จากการจำลองสามารถนำไปออกแบบหัวเตาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ให้สูงขึ้น

ด้ำหลัก: พฤดีกรรมการไหล, LPG, เดาแก็สหุ้งต้มแรงดันสูงแบบประหยัดแก็ส, พลศาสตร์ของไหลเขิงคำนวณ

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. บทน้ำ

จากสถิดีในการใช้พลังงานของกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2560 [1] พบว่า ความต้องการใช้พลังงานจาก ผลิดภัณฑ์ปิโดเลี่ยมภายในประเทศไทยมีมากขึ้น โดยเฉพาะแก๊สปิโตรเลี่ยมเหลว หรือ แก๊สแอลพีจี (Liquefied Petroleum Gas, LPG) แก๊สปิโตรเลี่ยม เหลวมีส่วนประกอบคือโพรเพน (Propane) และบิวเทน (Butane) หรืออย่างใดอย่างหนึ่งคือ เนื่องจากแก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด เผาไหม่ได้สมบรณ์และสะดวกต่อ การใช้งานจึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ทั้งใน ครัวเรือน ร้านอาทาร อุตสาทกรรม รถยนต์ และ อื่นๆ การใช้แก๊ส LPG ของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2556-2560 [1] พบว่า มีการใช้ LPG มีมากที่สุดในภาคครัวเรียน คิด เป็น 35% รองลงมา คือ ปีโตรเคมีซึ่งมีการใช้เป็นสัดส่วน คิดเป็น 32% ใช้ในรถยนต์คิดเป็น 22% และ ภาคอดสาหกรรมคิดเป็น 10% ตามถำดับ เนื่องจากการ ใข้พลังงานในภาคครัวเรือนมีมากและเป็นสิ่งที่อยู่ใกล้ดัว ผู้บริโภคมากที่สุด ดังนั้นหากสามารถลดการใช้แก๊ส LPG ในครัวเรือนได้จะเป็นการลดความสิ้นเปลืองและการ นำเข้าแก๊ส LPG ในประเทศลงใต้ ดังนั้น ในปี ค.ศ. 1996 Jugiai และ Sanijai [2] ได้ปรับปรุงเตาแก๊สหุงต้มให้มี ประสิทธิภาพเขิงความร้อนสูงขึ้นโดยใช้ความร้อนที่ ออกมาจากใอเสียมาอุ่นอากาศก่อนเข้าห้องเผาใหม้ (Preheat) จากหลักการนี้ทำให้เกิดการคิดค้นเตาต้นแบบ เตาแก็สประสิทธิภาพสูง (Porous Radiant Recirculated Burner, PRRB) เนื่องจากเตาแก๊สที่ใช้อยู่ เป็นเตาแก็สที่ไม่เหมาะสมที่ใช้สำหรับงานอุดสาหกรรม

ในปี พ.ศ. 2544 ณัฐวุฒิ รังสีมันดุชาติ [3] ได้พัฒนา เดาแก็สขนาด KB-10 ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิง ความร้อนให้สูงขึ้นได้โดยเฉลี่ยประมาณ 12% คิดเป็น อัดราการประหยัดโดยเฉลี่ยประมาณ 30% เมื่อ เปรียบเทียบกับเดา KB-10 ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ในปี ค.ศ. 2009 Namkhat และคณะ [4] ศึกษา พฤติกรรมการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรก ของเตาแก็สหุง ดัม เปรียบเทียบระหว่างโมเตลกับการทดลองโดยทดลอง 2 แบบ คือ hot test กับ cold test พบว่าprimary aeration กรณีของhot test ด่ำกว่า cold test ประมาณ 22% ดังนั้นในการออกแบบหัวเตาจึงควร คำนึงถึงอุณหภูมิจากการเผาไหม้ด้วย

โนปี ค.ศ. 2016 Wichangarm และคณะ [5] ได้ ศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหล ในเตาแก้สแรงดัน สูงแบบประหยัดพลังงานโดยใช้วิธี CFD โดยได้ ทำการศึกษาและสร้างขอบเขตพื้นที่ของแบบจำลองใน ลักษณะ 3 มิติ (3D - Model) ที่มีขนาดเท่ากับเตาแก๊ส แรงดันสูงแบบประหยัดหลังงานที่ใช้งานจริงพบว่า ผลที่ ได้จากการจำลองสามารถอธิบายพฤติกรรมการใหลของ เชื้อเพลิงในเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดพลังงานได้ เป็นอย่างดี

ปัจจุบันเดาขนิด KB ได้ถูกพัฒนาเพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่องโดยการปรับปรุงคัดแปลงส่วน ด่างๆ ของเดาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน โดย บริษัท ขนายง อุดสาหกรรมจำกัด [6] ได้ผลิตเดา LPG แรงดันสูง ขนาดเทียบเท่าเดา KB-5 ซึ่งเป็นเดาแรงดันสูง ขนิดประหยัดยี่ห้อแขปปิ้แก้สดังแสดงในรูปที่ 1 โดยยังไม่ มีการศึกษาใดที่อธิบายถึงสาเหตุที่ทำให้เดาแก๊สดังกล่าวมี ประสิทธิภาพเชิงความร้อนศึกว่าเตาแก๊ส KB ทั่วไป

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัดถุประสงค์เพื่อศึกษา พฤติกรรมการไหลของห้องผสม (mixing tube) ด้วย วิธีการจำลองทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ นำไปสู่การเข้าใจถึงสาเหตุที่ทำให้เตาขนิดดังกล่าวมี ประสิทธิภาพเขิงความร้อนสูงรวมถึงการนำไปสู่การ พัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนส่อไป



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31 4-7 กรกฎาคม 2560 จังหวัดนครนายก



ยี่ห้อแฮปปี้แก๊ส รุ่น 5-5

2 วิธีการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการจำลองพฤติกรรมการไหลของ เตาแก็สแรงคันสูงขนิดประทยัดแก็สโดยไม่มีการเผาไหม้ ในงานวิจัยนี้แบ่งเป็นสองส่วนคือ การทดลองและการ จำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ มีขั้นตอนดังนี้ 2.1 การทดสอง



high-pressure gas stove รูปที่ 2 แผนภาพการพดสอง

รูปที่ 2 แสดงแผนภาพการทดลอง อุปกรณ์ที่ใช้ใน การทดลองประกอบด้วยหัวเตาแก้สแรงดันสูงแบบ ประหยัดเชื้อเพลิงอี่ห้อแฮปปิ้แก็ส รุ่น S-5, แก้สแอลพีจี (LPG), ด้วปรับความดัน (Pressure control) และ อุปกรณ์ วัตความ เร็วของอากาศ (Hot-wire anemometer) อี่ห้ อ testo-435 โดย มีความ คลาดเคลื่อน ±0.03 m/s หรือ 5% ของค่าที่อ่านได้ ใน การทดลองเริ่มโดยการเปิดแก๊สจากถังที่ความต้นต่างๆ



โดยที่ไม่มีการจุดไฟ เพื่อเก็บและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการ ทดลองและนำไปกำหนดเรื่อนไขขอบเขดใน CFD แล้วนำ ผลที่ได้จาก CFD เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองนี้ทำการเก็บข้อมูลความเร็วของแก๊สที่ไหล ในเลาที่ตำแหน่งล่างๆดังแสดงในรูปที่ 3 ด้วย Hot-wire anemometer วัดความเร็วที่หัวเตาโดยทำการทดลอง 3 ครั้ง โดยการหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ ความเร็วเมื่อเทียบผลจากการทดลองกับผลที่ได้จาก CFD หาได้จากสมการที่ 1



รูปที่ 3 ตำแหน่งในการวัดความเร็ว



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศรกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31

%error = (Exp-CFD)+100 Exp (1) เมื่อ %error คือ เปอร์เซ็นด์ค่าความคลาดเคลื่อน

Exp คือ ข้อมูลจากการทดลอง

CFD คือ ข้อมูลจาก CFD

2.2 พลศาสตร์ของใหลเชิงคำนวณ

การกำหนดขอบเขตพื้นที่ ในการศึกษาท่อผสม (mixing tube) ของเดาขนิดแรงดันสูงขนิตประหยัดแก๊ส ใด้สร้างแบบจำลองสามมิติโดยใช้โปรแกรม Solid works ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยข้อมูลทั่วเตาขนาดรู Burner port และจำนวนรู แสดงดังตารางที่1



รูปที่ 4 ส่วนประกอบของเตา



-	* *		* *	1.240	
975739 1	TETENJO,	าแกลแรง	ท่านสงท	18tun	15810161



4-7 กรกฎาคม 2560 จังหวัดนครนายก



(c) ภาคตัด A-A รูปที่ 5 กริตที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ใช้การจำลองกริตรูปทรงหน้าตัด แบบสามเหลี่ยม (Tetrahedral Grid) มีจำนวนอิลิเมนต์ ประมาณ 2,000,000 อิลิเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 5 แบบจำลองความปั่นป่วนเลือกใช้แบบ RNG K-8 แบบจำลองนี้เป็นการแก้ไขปัญหาในของไหลที่มีสถานะ เป็นแก๊ส ดังนั้นแบบจำลองความปั่นป่วนจึงนำมา วิเทราะห์ร่วมกับ species transport model ซึ่งเป็นการ ไหลแบบผสมและไม่มีการทำปฏิกิริยากัน และไม่มีการเผา ใหม่ซึ่งกันและกัน ทั้งนี้จึงได้ผลการทดลองที่เปรียบเทียบ ได้กับการทดลองแบบ cold test

รูปที่ 6 แสดงเงื่อนไขขอบเขตการคำนวณโดยปาก เดาด้านบนกำหนดเป็น Pressure outlet บริเวณผิวรอบๆ เดากำหนดเป็น wall และบริเวณ Primary air กำหนดเป็น Pressure intet (Air) เงื่อนไขขอบเขตทางเข้าในส่วนของ LPG กำหนดเป็น Pressure intet (LPG) เท่ากับ 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, และ 1.2 bar





3. ผลจากการศึกษา

3.1 การเปรียบเทียบความเร็วบริเวณทั่วเตาใน แนวแกน X

รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเหียบความเร็วของของผสม (mixture) ที่ดำแหน่งด่างๆ ในแนวแกน X เมื่อพิจารณาที่ ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของหัวเตาออกไปบริเวณขอบ

ของเตาด้านนอก โนแนวแกน X+ พบว่า ความเร็วที่ ดำแหน่งระยะห่างจากจุดดูนย์กลาง 26 mm จะพุ่งสูงขึ้น อย่างรวดเร็วในทุกๆ ความดันเนื่องจากเป็นดำแหน่งที่ตรง กับรูหัวเตาทำให้ได้รับอิทธิพลจากการไหลของของผสม

(mixture) จาก Burner port row 1 และ 2

จากนั้นความเร็วที่ดำแหน่งระยะห่างจากจุด ศูนย์กลาง 41 mm จะพุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในทุกๆ ความตันเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ตรงกับรูหัวเตาทำให้ ได้รับอิทธิพลจากการไหลของของผสม (mixture) จากรู Burner port row 3 และ 4 เมื่อพิจารณาในแนวแกน X-พบว่า มีลักษณะเช่นเดียวกับแกน X+ และเมื่อพิจารณาที่ ดำแหน่งใดๆ พบว่า ความเร็วของผสมจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อความดันของแก้ส LPG เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเกิดการ เหนี่ยวนำอากาศส่วนแรก (Primary air) จึงสามารถดูด อากาศไปยังหัวเตามากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ความเร็วที่ ได้จากการจัดที่ทุกดำแหน่งโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่ เกิน 7% โดยส่วนใหญ่จะมีค่าไม่เกิน 5% ดังแสดงในรูป 8 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเร็วที่หัวเตา ด้านบนในแนวแกน X



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31

4-7 กรกฎาคม 2560 จังหวัดนครนายก

ที่หัวเตาด้านบนในแนวแกน X



3.2 การเปรียบเทียบความเร็วบริเวณทั่วเตาใน แนวแกน Y

รูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของของ ผสม (mixture) ที่ดำแหน่งด่างๆ ในแนวแกน Y เมื่อ พิจารณาที่ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของหัวเตาออกไป บริเวณขอบของเตาด้านนอก ในแนวแกน Y+ พบว่า ความเร็วที่ดำแหน่งระยะห่างจากจุดศูนย์กลาง 26 mm จะทุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในทุกๆ ความดันเนื่องจากเป็น ดำแหน่งที่ตรงกับรูหัวเตาทำให้ได้วับอิทธิพลจากการไหล ของของผสม (mixture) จาก Burner port row 1 และ 2

จากนั้นความเร็วที่ดำแหน่งระยะห่างจากจุด ดูนย์กลาง 41 mm จะพุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในทุกๆ ความดันเนื่องจากเป็นดำแหน่งที่ตรงกับรูหัวเดาทำให้ ได้รับอิทธิพลจากการไหลของของผสม (mixture) จากรู Burner port row 3 และ 4 เมื่อพิจารณาในแนวแกน Y-พบว่า มีลักษณะเช่นเดียวกับแกน Y+ และเมื่อพิจารณาที่ ดำแหน่งใดๆ พบว่า ความเร็วของผสมจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อความดันของแก๊ส LPG เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเกิดการ เหนี่ยวนำอากาศส่วนแรก (Primary air) จึงสามารถดูด อากาศไปยังหัวเตามากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ความเร็ว ที่ได้จากการจำลอง CFD จะมีค่าใกล้เคียงกับความเร็วที่ ได้จากการวัดที่ทุกตำแหน่งโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่ เกิน 8% โดยส่วนไหญ่จะมีค่าไม่เกิน 5% ดังแสดงในรูปที่ 10 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเร็วที่หัวเตา ด้านบนในแนวแกน Y

3.3 การเปรียบเทียบความเร็วบริเวณ ทางเข้าอากาศ ส่วนแรก

รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของ อากาศส่วนแรกที่ทางเข้าห้องผสมพบว่า เมื่อความดัน แก๊ส LPG เพิ่มสูงขึ้น ความเร็วของอากาศส่วนแรก (Primary air) จะมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากเกิดจากการ เหนี่ยวนำอากาศส่วนแรก (Primary air) จึงสามารถดูด อากาศมากขึ้น โดยความเร็วของอากาศส่วนแรกที่ได้จาก CFD มีค่าใกล้เคียงกับความเร็วของอากาศส่วนแรกที่ได้





ของผสม (mixture) ที่ตำแหน่งต่างๆในแนวแกน Y





การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกวรมเครื่องกอแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31 4-7 กรกฎาคม 2560 จังหวัดนครนายก

การทดลองโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 8% ดัง แสดงในรูปที่ 12



3.4 พฤติกรรมการไหลภายในท่อผสม

รูปที่ 13 และ 14 แสดงแถบสีแสดงความเร็ว (m/s) และ เวคเตอร์ความเร็ว (m/s) ที่ระนาบกึ่งกลาง เตา ตามลำดับ พบว่า ของไหลบริเวณหัวฉีด (Nozzle) มี ความเร็วสูงกว่าความเร็วดำแหน่งอื่นๆ เนื่องจากแก๊ส เชื้อเพลิงแรงดันสูงที่ปล่อยจากถึงไหลตามท่อไปยังรูหัวฉีด ที่มีพื้นที่หน้าคัดน้อยเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการแมาไหม้ แก๊สเชื้อเพลิงที่ออกจากหัวฉีดมีความเร็วสูงสามารถ เหนียวนำอากาศบริเวณอากาศส่วนแรก (Primary air)ให้ เข้าไปผสมเชื้อเพลิงในท่อผสมและบริเวณหัวเตาพบว่า เกิดการไหลด้วยความเร็วสูงในรูซึ่งบังบอกถึงลักษณะการ ไหลภายในท่อที่มีการไหลแบบปั่นป่วนซึ่งเป็นลักษณะของ ของผสม (mixing) ที่ดี



รูบท 13 แถบสแสดงความเรว (mvs) ที่ระนาบกึ่งกลางเตา



รูปที่ 14 เวคเตอร์ความเร็ว (m/s) ที่ระนาบกึ่งกลางเตา

CST - 09



4.สรุป

ผลการจำลองพฤติกรรมการไหลของเตาแก็สแรงสัน สูงชนิดประหยัดแก๊ลโดยพลศาสตร์ของไหลเซิงคำนวณมี ด้วแปรที่ใช้ในการศึกษาคือ ความดันของ LPG ที่หัวฉีด ซึ่งทำการศึกษาที่ 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 bar พบว่า

 เมื่อเพิ่มความดับ LPG ที่หัวมืดส่งผลให้การ เหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกและความเร็วของของผสมที่ บริเวณปากเตาด้านบนมีค่าเพิ่มขึ้น

ความเร็วของของผสมจะมีค่าสูงขึ้น

 ผลจากการจำลอง (CFD) มีความสอดคล้องกับ ผลการทดลอง (Exp) โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 8%

 จากพฤติกรรมการไหลสามารถอธิบายพฤติกรรม การไหลของเชื้อเพลิงในเคาแก๊สแรงคันสูงชนิดประหอัด แก๊สได้ถูกต้อง

 5. CFD สามารถใช้จำลองพฤติกรรมการใหล่ในท่อ ของเตาแก็สแรงคันสูงชนิคประหยัดแก็สได้อย่างถูกต้อง

5. กิดติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การ สนับสนุนงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

 สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2560, ข้อมูล พ.สั.ง.ง.ว.น., [Energy Database], URL: http://www.eppo.go.th/

[2] Jugiai, 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 รังสิมันตุขาติ., 2544, การประยุกต์ใช้วัสดุ พรุนเพื่อการประหยัดพลังงานในเตาแก้สหุงต้ม. 2544.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม เกล้าชนบรี.

[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., & Sucharitpwatskul, S., 2016. Simulation of flow characteristics in an energy-saving high-pressure gas stove. 30th Conference of Mechanical Engineering Network Thailand (MENETT 30)
[6] ちゅうとき やののののののではないのではないのではないのではないのではない。

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศากรณหรือแกณห่อประเทศไทย ครั้งที่ 32 3 - 6 กรกฎาคม 2561 จัดยวัตบุกตาษาร



การจำลองพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาแก๊สแรงดับสูงชนิดประหยัดแก็สโดยพลศาสตร์ของไหล เชิงคำนวณ

Simulation of Combustion Behavior of a Gas-saving High-pressure Gas Stove by

Computational Fluid Dynamics

<u>ฐิสินันท์ ปัญจพรษ์</u>' อนิรุตด์ มัทธุจักร์*่ มานะ วิหางาม¹อนรัฐ ศรีวีระกุล¹ และ เลฏฐวรรธ สุจวิตกวัดสกุล¹

ำดังอาญังดีการการประยุคลิจิตัวเจี้ขมระการมะไดนี่ Elensiudion and Ait Application Research Laboratory, CAAL) ภาพวิทาวิทวารมหรือจาก คณะวิทวารรมหางหร่างหาวิทยาลัยสูงกราชยาจี 85 กละนอสมาร์ค ค.เมืองหรืด 6.วารังคำราบ จ.สูงสราชยาจี 34190 "ศูณร์เทพโปลลิโอกหมดะวิทยุมก่าราสิ คำนักราบดัดบาวิทยาสารต่อมออกไปไดยีมก่าราสิ (MTEC) E14 ยุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศโดย มามาราชไปใน คำนดคอยเหน็ก ตัวแต่คอยเหน่า ถ้าหรือปรุณาานี่ 12120 * ลิศสม E-mail Animetragabu.acth. โทรศัพท์ 0.4555-3308

บหคัดช่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการแผ่ไหม้ของเคาแก้สแรงดันสูงขนิดประหยัดแก้ส โดยใช้วิธีพอศาสตร์ ของใหลงซิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) ซึ่งแบบจำลองถูกสร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม Fluent 6.3 โดยได้ ทำการศึกษาและสร้างขอบเทตพื้นที่ของแบบจำลองในลักษณะ 3 มิติ (3D - Model) ที่มีขนาดเท่ากับเตาแก้สแรงดันสูงขนิด ประพยัดแก้สที่ใช้งานจริง โดยศึกษาอิทธิพลของความดันของแก้ส LPG ต่อขอุติกรรมการแลาไหม้และทำการวังคราะห์แล่ที่ได้ เปรียบเทียบกับการทดอองการวัดอุณหมูมิการแก่ใหม้ จากการวังคราะห์พบว่า ความดันของแก้ส LPG มีแต่ต่อการกระจายด้วยอง อุณหภูมิ โดยอุณหภูมิจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความดันแก้ส LPG สูงขึ้น จะมีถุณหภูมิสูงสุทที่บริเวณใกล้จุดศูนย์กลางของศัมตรามครัดเตมี ค่าสูงสุทที่ 1,320 K ที่ระดับความศูลมากกว่า 35 mm จากขอบบนแหวนเตา อุณหภูมิที่ได้จากการจำลองมีอุณหภูมิไกด้เคียงกับ การทดลองโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลีย 5.82% โดยแบบจำลองดังกล่าวได้แสดงให้เห็นหลุติกรรมการใหลของแก็สร้อบและ เปลวไหซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อบของเตาแก้สด่อไป

ด้**ำหลัก:** พฤสิกรรมการเล่าไหน้, เล่าแก้สมรงดับสูงชนิดประเทยัดแก้ส, พลศาสตร์ของไหลเชิงคำบวณ

Abstract

The objective of this research is to study the combustion behavior of a gas-saving high-pressure gas stove using computational fluid dynamics (CFD). The simulation model was created using Fluent 6.3 in 30model at the same size of the energy-saving cooking stove. Effect of LPG pressure on combustion phenomena was investigated. The combustion phenomena from CFD was compared with the experiment by measuring the temperature. From the results, it was found that the LPG pressure at the nozzle affected to the temperature distribution. The temperature increased as the LPG pressure increased. The maximum temperature of 1,320 K was occurred at 35 mm above the stove ring. The temperatures obtained from CFD and experiment were similar, which the average error was 5.82%. The simulation shows the flow feature of hot gas and flame, which the simulation model can be developed to improve the thermal efficiency in the further study.

Keywords combustion behavior, gas-saving high-pressure gas stove, computational fluid dynamics

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกอแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32 3 – 6 กรณาคม 2563 จังหวัดบุกคาหาร



1. บพน้ำ

จากสถิติในการใช้พลังงานของกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2560 (1) พบว่า ความต้องการใช้พลังงานจากผลิตภัณฑ์ปิโด เลี่ยมภายในประเทศไทยมีมากขึ้นโดยเฉพาะแก็สปิโตรเลี่ยม เหลว หรือ แก๊สแอลพีจี (Liquefied Petroleum Gas, LPG) แก็สปิโตรเลี่ยมเหลวมีส่วนประกอบคือโพรเพน (Propane) และบิวเทน (Butane) หรืออย่างใดอย่างหนึ่งคือ เนื่องจาก แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงที่สะอาค เมาใหม่ได้สมบรณ์และ สะดวกต่อการใช้งานจึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ทั้ง ในครัวเรือน ร้านอาหาร อุตสาหกรรม รถยนด์ และ อื่นๆ การใช้แก๊ส LPG ของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2556-2560 [1] พบว่า มีการใช้ LPG มีมากที่ฮดในภาคครัวเรือน คิดเป็น 35% รองสงมา คือ ปิโตรเคมีซึ่งมีการใช้เป็นสัคส่วนคิดเป็น 32% ใช้ในรถยนต์คิดเป็น 22% และภาคอุตสาหกรรมคิด เป็น 10% ตามลำดับ เนื่องจากการใช้พลังงานในภาค ครัวเรือนมีมากและเป็นสิ่งที่อยู่โกล้ด้วผู้บริโภคมากที่สุด ดังนั้นหากสามารถลดการใช้แก๊ส LPG ในครัวเรือนได้จะเป็น การลดความสิ้นเปลืองและการนำเข้าแก๊ส LPG ในประเทศ ลงได้ ดังนั้น ในปี ค.ศ. 1996 Jugiai และ Sanijai (2) ใต้ ปรับปรุงเตาแก็สหูงต้มให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น โดยใช้ความร้อนที่ออกมาจากไอเสียมาอุ่นอากาศก่อนเจ้า พ้องเผาไหม้ (Preheat) จากหลักการนี้ทำให้เกิดการคิดค้น เตาต้นแบบเตาแก๊สประสิทธิภาพสูง (Porous Radiant Recirculated Burner, PRRB) เนื่องจากเตาแก๊สที่ใช้อยู่เป็น เตาแก๊สที่ไม่เหมาะสมที่ใช้สำหรับงานอุตสาหกรรม

ในปี พ.ศ. 2544 รังสีมันดุชาติ (3) ได้พัฒนาเตาแก๊ส ขนาด KB-10 ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน ให้สูงขึ้นได้โดยเฉลี่ยประมาณ 12% คิดเป็นอัตราการ ประหยัดโดยเฉลี่ยประมาณ 30% เมื่อเปรียบเทียบกับเตา KB-10 ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ในปี ค.ศ. 2009 Namikhat และคณะ [4] ศึกษา พฤติกรรมการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรก ของเตาแก้สหุงต้ม เปรียบเทียบระพว่างไมเดลกับการทดลองไดยทดลอง 2 แบบ คือ hot test กับ cold test พบว่าprimary aeration กรณี ของhot test ต่ำกว่า cold test ประมาณ 22% ดังนั้นใน การออกแบบหัวเตาจึงควรคำนึงถึงอุณหภูมิจากการเผาไหม้

ในปี ค.ศ. 2016 Wichangarm และคณะ [5] ได้ศึกษา พฤติกรรมการไหลของของไหล ในเดาแก็สแรงดันสูงแบบ ประหยัดพลังงานโดยใช้วิธี CFD โดยได้ทำการศึกษาและ สร้างขอบเขตพื้นที่ของแบบจำลองในลักษณะ 3 มิติ (3D -Model) ที่มีขนาดเท่ากับเดาแก็สแรงดันสูงแบบประหยัด พลังงานที่ใช้งานจริงพบว่า ผลที่ได้จากการจำลองสามารถ อธิบายพฤติกรรมการไหลของเชื้อเพลิงในเตาแก็สแรงดันสูง แบบประทยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี

ในปี ค.ศ. 2017 Wichangarm และคณะ [6] ได้ศึกษา พฤติกรรมการการเลาใหม่ในเตาแก็สแรงดันสูงแบบประหยัด พลังงานโดยใช้วิธี CFD โดยได้โดยศึกษาอิทชิพลของความดัน ของแก๊ส LPG ต่อพฤติกรรมการเลาใหม้และทำการวิเศราะห์ ผลที่ได้เปรียบเทียบการวัดอุณหภูมิการเลาใหม้ระหว่างการ ทดลองและการจำลองพบว่า อุณหภูมิที่ได้จากการจำลองมี อุณหภูมิใกล้เคียงกับการทดลอง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน ไม่เกิน 5.46% ในทุกกรณี จากงานวิจัยที่ผ่านมา เป็น การศึกษาพัฒนาเฉพาะเตา KB-5 เท่านั้น แต่ในปัจจุบันยังมี เตาแรงดันสูงชนิตอื่นดังรูปที่ 1 ซึ่งยังไม่มีการศึกษาวิจัย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัดถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรม การเมาไหม้ของเดาแก๊สแรงดันสูงขนิดประทยัดแก๊ส ดังแสดง ในรูปที่ 1 ด้วยวิธีการจำลองทางพลศาสตร์ของไหลเขิง คำนวณ (CFD) เพื่อศึกษาให้เข้าใจถึงสาเหตุที่ทำให้เดาชนิด ดังกล่าวมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเดา KB-5 ทั่วไป ซึ่งเป็นการนำไปสู่การพัฒนาประสิทชิภาพเขิงความร้อน ต่อไป

การประชุมใขาการเครือข่ายวิควารรมคร้องกอแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32 3 - 6 กรกฎาคม 2561 จัดบัตมุกศาหาร





รูบท 1 เคาแกลแรงคนสูงขนคบระหยดแกล ซี่ห้อแฮปปี้แก๊ส รุ่น S-5 [7]

2 วิธีการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการจำลองพฤติกรรมการเมาไหม้ของ เตาแก๊สแรงดับสูงขนิดประหยัดแก๊ส ในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น สองส่วนคือ การทดลองและการจำลองทลศาสตร์ของไหล เชิงคำบวณ มีขั้นดอนดังนี้





high-pressure gas stove

รูปที่ 2 แผนภาพการทดลอง

รูปที่ 2 แสดงแผนภาพการทดลอง อุปกรณ์ที่ใช้ในการ ทดลองประกอบด้วยหัวเดาแก้สแรงดันสูงแบบประหยัด เพื้อเพลิงธ์ห้อแฮบปิ้แก็ส รุ่น 5-5, แก้สแอลพิจี (LPG), ตัว ปรับความดัน (Pressure control) และอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple K-type) โดยมีความคลาดเคลื่อน ±1.1 องศาเซอเซียส หรือ ±0.496 ของค่าที่อ่านได้ ในการทดลอง เว็บโดยการเปิดแก๊ส จากถังที่ความต้นต่างๆ โดยที่มีการจุด ไฟเพื่อเก็บและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองและนำไป กำหนดเงื่อนไขขอบเขตใน CFD แล้วนำผลที่ได้จาก CFD เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองนี้ทำ การเก็บข้อมูลอุณหภูมิของแก๊ลที่ทางออกหัวเตาที่ด้าแหน่ง ต่างๆ ด้วย Thermocouple K-type วัดอุณหภูมิที่หัวเตา โดยทำการทดลอง 3 ครั้ง โดยการหาเปอร์เข็นต์ความ คลาดเคลื่อนของอุณหภูมิเมื่อเทียบผลจากการทดลองกับผล ที่ได้จาก CFD หาได้จากสมการที่ 1

$$%error = \left| \frac{(Exp - CFD)}{Exp} \right| \times 100$$
 (1)

CFD คือ ข้อมูลจาก CFD

$$R_{i,r} = v'_{i,r} \mathbf{M}_{w,r} \mathbf{A} \rho \frac{\varepsilon}{k} \min_{\mathbf{R}} \frac{Y_{\mathbf{R}}}{v'_{\mathbf{R},r} M_{w,\mathbf{R}}}$$
(2)

$$R_{i,r} = v_{i,r}^{r} \mathbf{M}_{w,i} \mathbf{AB} \rho \frac{\varepsilon}{k} \frac{\Sigma_{p} Y_{p}}{\Sigma_{j}^{N} v_{j,r}^{*} \mathbf{M}_{w,j}}$$
 (3)

เมื่อ R คือ อัตราโมส่าร์ของAnhenius

v' คือ สับประสิทธิ์สตรอยของสารตั้งต้น

v คือ สัมประสิทธิ์สตรอยของสารผลิตภัณฑ์

A คือ ค่าคงที่ในการทดลองเท่ากับ 4.0

B คือ ค่าคงที่ในการทดสองเท่ากับ 0.5

คือ เพษส่วนมวล (Mass fraction)

2.2 พลศาสตร์ของไหลเชิงค้านวณ

การกำหนดขอบเขตพื้นที่ ในการศึกษาที่หางออกของ หัวเตา (Burnner port) ของเตาขนิดแรงดันสูงชนิดประหยัด แก๊ส ได้สร้างแบบจำลองสามมิติโดยใช้โปรแกรม Solid works การศึกษาครั้งนี้ใช้การจำลองกริดรูปทรงหน้าตัดแบบ สามเหลี่ยม (Tetrahedral Grid) มีจำนวนอิลิเมนด์ ประมาณ 2,000,000 อิลิเมนด์ ดังแสดงในรูปที่ 3 ใน การศึกษาครั้งนี้จะไข้แบบจำลองความปั่นป่วน

การประทุมวิชาการครือข่างวิศวกรรมครื่องรอนพ่ณระบทคัพะ ครั้งที่ 32 3 – 6 กรกฎาคม 2561 จังหวัดมุกคาหาร



(Turbulences model) แบบ Standard k-& สมการการ แมาใหม่แบบ eddy dissipation combustion model ดัง สมการที่ 2 และ 3 เนื่องจากงานนี้เป็นงานที่เกี่ยวข้องกับการ แมาใหม่ซึ่งมีความแตกต่างของอุณหภูมิ สมการการแผ่วังสี ความร้อนจึงสำคัญ โดยงานวิจัยนี้ใช้สมการการแผ่วังสีความ ร้อน (Radiation model) แบบ Discrete Ordinates (DO) model รวมถึงพิจารณาแรงใน้มถ่วงของโลกและแรงลอยดัว แบบ Buoyancy Effects รูปที่ 4 แสดงเงื่อนไขขอบเขตการ คำนวณโดยของผสมที่ออกจากหัวเตากำหนดเป็นความดันทา เข้า (Pressure inlet) บริเวณขอบเขตด้านบน (Top),ด้านข้าง เป็น (wall) และบริเวณขอบเขตด้านบน (Top),ด้านข้าง (Side) และด้านถ่าง (Bottom) กำหนดเป็นความดันขาออก (Pressure outlet) เงื่อนไขขอบเขตทางเข้าในส่วนของของ ผสม Pressure inlet (Mixture) เท่ากับ 0.6, 0.8, 1.0, และ 1.2 bar จากตารางที่ 1



รูปที่ 3 กริดที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่ 4 ขอบเขตการไหลและการเมาใหม่ของเตา

ตารางที่ 1 ข้อมูล mass flow inlet จากงานวิจัย (8)

Detail	Value	P. (Bar)	
Mass flow rate of mixture (kg/s)	0.00160477	0.6	
Mass fraction of CyH ₈	0.03504755		
Mass fraction of CaHo	0.03504755		
Mass fraction of O ₂	0.21389148		
Mass fraction of N _E	0.71601345		
Mass flow rate of moture (kg/s)	0.00185011		
Mass fraction of C ₂ H ₈	0.03506911	0.8	
Mass fraction of CaHip	0.03506911		
Mass fraction of O ₂	0.21387443		
Mass fraction of Ng	0.71598732		
Mass flow rate of mixture (kg/s)	0.00208339	1.0	
Mass fraction of C ₆ H ₈	0.03481565		
Mass fraction of CaH _{SD}	0.03481565		
Mass fraction of O ₃	0.21398032		
Mass fraction of N ₂	0.71638834		
Mass flow rate of mixture Big/s)	0.00228761	1.2	
Mass fraction of CyHg	0.03489786		
Mass fraction of C ₄ H ₁₀	0.03489786		
Mass fraction of D ₂	0.21393964		
Mass fraction of N ₂	0.71626461		



<u>ME-NETT2018</u>

CST - 023

ກາວປະະຫຼຸມວິສາກາຣທຣີອຫ່າຍວິສາລາວວມກຣີອຫາລແທ່ແປວະແທກໃນນະ ກຣີ້ໜີ 32 3 – 6 ດຣະນຽກສະ 2561 ຈັນແລັສມຸກສານກາ



3. ผลการคำบวณและการวิเคราะห์

รูปที่ 5 แสดงลักษณะเปล่วไฟจากการทดลองที่ความ ดันต่างๆ และเปลวไฟจากแบบจำลองแบบ 3 มิติ ที่ความค้น ต่างๆ ตามสำคับ พบว่า ความต้นของแก๊ส LPG มีผลต่อ ความยาวของเปลวไฟ โดยความยาวของเปลวไฟมีค่าสูงขึ้น เมื่อความต้นของแก๊ส LPG มีค่าเพิ่มขึ้น โดยความยาวของ เปลวไฟมีค่า 28 cm, 29 cm, 30 cm, 31 cm ที่ความค้น ของแก๊ส LPG เท่า กับ 0.6, 0.8, 1.0 แ ต ะ 1.2 bar ตามสำคับ โดยลักษณะเปลวไฟที่ได้จากการจำลองจะมี ลักษณะคล้ายกับการทดลองทุกความต้นแก๊ส

รูปที่ 6 แสดงการกระจายตัวอุณหภูมิจากการทดลอง และแบบจำลอง 3 มิติ ที่ความดัน LPG 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 bar ตามสำคับ ซึ่งเป็นการกระจายอุณหภูมิตามความสูง จากห้องเมาไหม้และใช้ Thermocouple K-type ในการวัด อุณหภูมิ ซึ่งดำแหน่งในการวัดแสดงในรูปที่ 6 อุณหภูมิจุด กึ่งกลางเตา (r = 0 cm) ที่ความสูง T1 จากแพวนเตา อุณหภูมิจะมีค่าด่ำสุดเนื่องจากอิหชีพลของความรุนแรงของ การเมาใหม้ และที่ความสูงจากแหวนเตา 5 mm จุดถึงกลาง เตาเป็นดำแหน่งที่อุณหภูมิสูงที่สุดของทุกๆ ความตัน และ อุณหภูมิที่ดำแหน่งที่อุณหภูมิสูงที่สุดของทุกๆ ความตัน และ อุณหภูมิที่ดำแหน่งที่อุณหภูมิสูงที่สุดของทุกๆ ความตัน และ อุณหภูมิที่ดำแหน่งที่อุณหภูมิสูงทำสุดของทุกๆ ความตัน และ อุณหภูมิที่ดำแหน่งต้อม จึงกำให้บริเวณด้านบอกของเปลวไฟมี อุณหภูมิต่ำกว่าด้านในของเปลวไฟ สังเกตได้จากอุณหภูมิ ของเปลวไฟจะลดลงเมื่อรัศมีของเปลวไฟเพิ่มขึ้น (r = 0, 20 และ 40 mm) และเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น (T2 – T4) อุณหภูมิ จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง (T2) แล้วกลับมาลดลงเนื่องจาก อิทธิพลของความรุนแรงจากความสมบูรณ์ของการเผาไหม้ และหลังจากนั้นอุณหภูมิจะลดลงตามความสูงที่เพิ่มขึ้น โดย อุณหภูมิสูงสุดอังอยู่ที่บริเวณกึ่งกลางเตา (r = 0 cm) ไกล้กับ หัวเตา (T2) โดยมีค่าเท่ากับ 1,110 K, 1,007 K, 1,025 K, และ 1,010 K ที่ความดันของแก๊ส LPG เท่ากับ 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 bar ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบในทุกๆ ด้าแหน่งหบร่าอุณหภูมิจาก CFD จะมีค่าสูงกว่าการทดลอง เล็กน้อย โดยมีค่าดลาดเคลื่อนของอุณหภูมิเฉลี่ย 5.82% และความคลาดเคลื่อนสูงอุดไม่เกิน 13.3% ที่ความดันของแก๊ส LPG เท่ากับ 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 bar ตามลำดับ





การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกอบค่อประเทศไทย ครั้งที่ 32 3 - 6 กรกฎาคม 2561 จัดหวัดบุกกาศาร







รูปที่ 6 การกระจายตัวอุณหภูมิจากการทดลองและ แบบจำลอง 3 มิติ ที่ความตัน LPG ต่างๆ (ต่อ)

4. สรุปและเสนอแนะ

จากการศึกษาการจำลองพฤติกรรมการเมาไหมัของเตา แก้สแรงคันสูงขนิตประทยัตแก็สโดยพงศาสตร์ของไหลเชิง คำนวณมีตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาคือความดันของ LPG ที่ หัวฉีด ซึ่งทำการศึกษาที่ 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2 bar พบว่า สามารถสรุปได้ดังนี้

 เมื่อเพิ่มความคับ LPG ที่หัวมีคล่ะผลให้ความสูงของ เปลวไฟเหนือบริเวณแหวนเคาด้านบนมีค่าเพิ่มขึ้น

 บริเวณจุดกึ่งกลางเตาที่ความสูง 5 mm เหนือแหวน เตาจะมีอุณหภูมิด่ำที่จุดกึ่งกลางเตา เมื่อความสูงเพิ่มขึ้น (T2 – T4) อุณหภูมิจะมีค่า ด้ำลงและอุณหภูมิจะลดลงตามระยะห่างที่เพิ่มขึ้นจากจุด ศูนย์กลาง

 4. ผลจากการจำลองการเมาไหม้ (CFD) มีความ สอดคล้องกับผลการทดลอง (Exp) โดยมีคำความ คลาดเคลื่อนส่วนมากประมาณ 5.82% และความคลาด เคลื่อนสูงสุดไม่เกิน 13.3%

 จากพฤติกรรมการเลาไหม้ (CFD) สามารถอธิบาย พฤติกรรมการเลาไหม้ของเขื้อเพลิงในเดาแก้สแรงดับสูงขนิด ประหยัดแก๊สได้ถูกต้อง

5. กิดติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การ สนับสนุนงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

 สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2560, ข้อมูล พลังงาน, [Energy Database], URL: http://www.eppo.go.th/

[2] Jugai, 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] ฌัฐวุฒิ รังสิมันสุขาติ., 2544. การประยุกต์ใช้วัสดุ พรุนเพื่อการประทยัดพลังงานในเตาแก๊สดุงต้ม.

2544.วิทยานิพนธ์บริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า อนบุรี.

[4] Namkhat, A., Jugjai, S., 2009. Primary air entrainment characteristics for a self-aspirating burner. Energy, vol. 35, 2010, pp. 1701-1708. 119

ກາງປະທຸມໃຫ້ກາງເທື່ອຫ່າວໃຫ້ກາວມະຕິດຈາຍແທ່ເປັນແທດໃຫຍ ຕໍ່ໃຫ້ 32 3 - 6 ຄາວຄຽາສະ 2561 ຈົດຕໍ່ຂອງຄາຫາວ



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

[6] Wichangarm, M., Matthujak, A., Sriveerakul, T., & Sucharitpwatskul, S., 2017. Simulation on combustion characteristics of an energy-saving gas stove using Computational fluid dynamics. 31th Conference of Mechanical Engineering Network Thailand (MENETT 31)

 [7] ธนายง ลุดสาหกรรม, 2558, URL: http://happygas2000.com/about.htm

[8] Panjapong T., Wichangarm, M., Matthujak, A., Sriveerakul, T., & Sucharitpwatskul, S., 2017. Simulation of flow characteristics in a gas-saving high-pressure gas stove by computation fluid dynamics. 31th Conference of Mechanical Engineering Network Thailand (MENETT 31)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายฐิตินันท์ ปัญจพงษ์		
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2552 – 2556 มหาวิทยาลัยมหิดล		
	วิศกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล		
ประวัติการทำงาน	2558 – ปัจจุบัน		
	วิทยาลัยเทคนิคหัวตะพาน สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา		
	กระทรวงศึกษาธิการ		
ตำแหน่ง	ครูพิเศษ		
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	วิทยาลัยเทคนิคหัวตะพาน เลขที่ 53 หมู่ 3 ถนนหัวตะพาน-บ้านขมิ้น		
	ตำบลหนองแก้ว อำเภอหัวตะพาน จังหวัดอำนาจเจริญ รหัสไปรษณีย์ 37240		
	โทรศัพท์ 0-4552-5641, โทรสาร 0-4552-5642		