

## การศึกษาอิทธิพลของความดันแก๊สแอลพีจีต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาประหยัดแก๊ส S-10 ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

### A study on influence of LPG pressure on combustion behavior of gas-saving burner S-10 by computational fluid dynamics

ภัทราวรรณ ชิมขม<sup>1</sup>, อนิรุตต์ มัทธจักร<sup>1\*</sup>, มานะ วิชางาม<sup>1</sup>, ธนรัฐ ศรีวีระกุล<sup>1</sup> และ เสฏฐวรธร สุจริตภวัตสกุล<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ห้องปฏิบัติการการประยุกต์ใช้ลำเจ็ทและการเผาไหม้ (Combustion and Jet Application Research Laboratory, CJARL)

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

<sup>2</sup> ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (MTEC)

114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

\*ติดต่อ: E-mail Anirut.m@ubu.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 0-4535-3309, เบอร์โทรสาร 0-4535-3308

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของความดันของ LPG ที่ถูกป้อนให้กับหัวเตาต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาประหยัดแก๊ส S-10 ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) ในการจำลองจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Fluent 6.3 โดยใช้แบบจำลอง 3 มิติ ที่มีขนาดเท่ากับขนาดของเตา S-10 ที่ใช้งานจริง โดยพฤติกรรมการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจะถูกแสดงผลในรูปแบบของอุณหภูมิและความเร็ว รวมถึงยังแสดงผลการถ่ายเทความร้อนที่ภาชนะในรูปแบบของค่าฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) นอกจากนี้ยังนำผลการจำลองที่ได้ไปใช้อธิบายผลของอัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาที่ได้จากการทดสอบโดยใช้หลักการต้มน้ำ (Boiling test) ตามมาตรฐาน DIN EN 203-2 อีกด้วย จากผลการจำลองพบว่า เมื่อความดันของ LPG เพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิการเผาไหม้ ความเร็ว และค่าฟลักซ์ความร้อนมีค่าสูงขึ้น แต่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะมีค่าลดลง ซึ่งผลของการจำลองสามารถช่วยอธิบายสาเหตุดังกล่าวได้อย่างชัดเจน ซึ่งแบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อออกแบบและปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาประหยัดแก๊ส S-10 ให้สูงขึ้นต่อไปได้ในอนาคต

**คำหลัก:** ความดัน LPG เตาประหยัดแก๊ส S-10 พฤติกรรมการเผาไหม้ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

#### Abstract

The objective of this research is to study the effect of LPG pressure on combustion behavior of a gas-saving burner S-10 using computational fluid dynamics (CFD) The simulation model was created using Fluent 6.3 in 3D-model at the same size of the real burner. The combustion behavior of LPG pressure was revealed by velocity vector and temperature contour. The heat transfer behavior was reported by heat flux. Moreover, CFD's results will be applied to clarify the effect of LPG pressure on thermal efficiency following the standard of water boiling test DIN EN 203-2. From CFD's results, when LPG pressure was increased, combustion temperature, velocity and heat flux were increased, but

thermal efficiency was decreased. The CFD's results was applied to explain such reason clearly. It is concluded this model can be applied to design and improved the thermal efficiency of the S-10 burner in the future.

**Keywords:** LPG pressure, gas-saving burner S-10, combustion behavior, thermal efficiency, CFD.

## 1. บทนำ

จากสถิติการใช้พลังงานของกระทรวงพลังงาน [1] พบว่า ประเทศไทยมีการใช้เชื้อเพลิงปิโตรเลียมเหลวหรือแก๊สแอลพีจี (Liquefied Petroleum Gas, LPG) อย่างกว้างขวาง ซึ่งแก๊สแอลพีจีเป็นส่วนผสมของโพรเพน (Propane) และบิวเทน (Butane) หรือเป็นอย่างใดอย่างหนึ่ง เนื่องจากแก๊สแอลพีจีมีค่าความร้อนสูง เป็นเชื้อเพลิงสะอาด เผาไหม้ได้สมบูรณ์และสะดวกต่อการใช้งาน จึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในครัวเรือน ร้านอาหาร อุตสาหกรรม รถยนต์ และอื่นๆ โดยภาคครัวเรือนจะเป็นภาคส่วนที่มีปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจีสูงเป็นอันดับหนึ่งหรือสองของทุกๆ ปี ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในเตาแก๊สหุงต้มเพื่อเปลี่ยนค่าความร้อนของเชื้อเพลิงให้กลายเป็นพลังงานความร้อนในรูปแบบของเปลวไฟ แต่เตาแก๊สหุงต้มที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency,  $\eta_{th}$ ) ที่ค่อนข้างต่ำเฉลี่ยร้อยละ 35 [2] ดังนั้นที่ผ่านมาจึงมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนอย่างแพร่หลาย แต่การศึกษาส่วนใหญ่เป็นการศึกษาด้านการทดลอง [3 - 5] ทำให้ไม่สามารถอธิบายพฤติกรรมการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจริงภายในเตา และเมื่อไม่นานมานี้ได้มีการนำวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) มาประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ รวมถึงนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาประสิทธิภาพและศึกษาพฤติกรรมของเตาประเภทต่างๆ พบว่า ผลที่ได้จากแบบจำลองมีความสอดคล้องกับผลการทดลอง ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการออกแบบพัฒนา และการปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา เนื่องจาก CFD ช่วยให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการ

ทดลองแล้ว ยังสามารถแสดงพฤติกรรมการไหลและการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในเตาได้อีกด้วย

โดยในปี พ.ศ. 2556 ณรงค์ศักดิ์ ปิยะไพโร และคณะ [6] ได้นำวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) ในรูปแบบการไหลแบบปั่นป่วน k- $\epsilon$  ชนิด RNG คำนวณร่วมกับแบบจำลอง Species transport แบบไม่มีปฏิกิริยาการเผาไหม้ มาช่วยศึกษาคุณลักษณะและพฤติกรรมกรการไหลผสมของอากาศและแก๊สเชื้อเพลิงภายในหัวเตา KB-5 ที่ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของแก๊สเชื้อเพลิงต่างกันจนได้ผลเป็นที่น่าพอใจ นอกจากนี้ยังพบว่า ผลการทำนายค่าการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกใกล้เคียงกับผลจากการทดลอง

ในปี ค.ศ. 2014 Boggavarapu และคณะ [7] ทำการศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเตาแก๊สด้วย CFD ร่วมกับการทดลอง โดยใช้เชื้อเพลิง คือ Liquefied Petroleum Gas (LPG) และ Piped Natural Gas (PNG) ในรูปแบบ 3 มิติ รูปแบบการไหลแบบ Steady state และการถ่ายเทความร้อนที่ผิวหม้อเกิดจากการเผาไหม้ที่เตาแก๊ส ซึ่งจะอธิบายเกี่ยวกับการไหลและการถ่ายเทความร้อน ในการศึกษาได้มีการดัดแปลงโดยเพิ่ม Circular insert และ Radiant sheet ที่บริเวณรอบๆ หัวเตาแก๊ส ซึ่งจากการทำนายด้วย CFD ของหัวเตาที่มีการดัดแปลงพบว่า อัตราการไหลของ LPG สูงสุด ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.9 ส่วนผลการทำนายของ PNG พบว่า อุณหภูมิจะลดลงเนื่องจากพลังงานของเชื้อเพลิงผสมกับอากาศน้อยกว่า จากผลการทดลอง พบว่า แบบจำลองสามารถนำมาปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สได้

ในปี พ.ศ. 2561 มานะ วิชางาม และคณะ [8] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการไหลแบบหมุนวนของการฉีดแก๊สต่อพฤติกรรมเผาไหม้ของเตาแก๊สหุงต้มแรงดันสูงด้วย CFD ในรูปแบบ 3 มิติ ที่มีขนาดเท่ากับเตาจริง และทำการยืนยันผลของแบบจำลองกับผลการทดลองโดยการวัดอุณหภูมิบริเวณรอบหัวเตาและภาชนะ จากแบบจำลองพบว่า เตาแก๊สประหยัดพลังงานที่มีเปลวไฟไหลแบบหมุนวน (Swirl energy-saving gas stove, SESS) มีอุณหภูมิความเร็ว และ Heat flux สูงกว่าเตาแก๊สประหยัดพลังงานแบบเดิมที่มีเปลวไฟไหลตามแนวรัศมี (Radius energy-saving gas stove, RESS) โดย SESS มีอุณหภูมิ ความเร็ว และ Heat flux สูงสุดเท่ากับ 1,455 K, 1.83 m/s และ 28.39 kW/m<sup>2</sup> ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเตา SESS มีพฤติกรรมการเผาไหม้และการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะดีกว่าเตา RESS โดยผลการจำลองมีค่าความคลาดเคลื่อนจากผลการทดลองไม่เกินร้อยละ 5.75

ในปี พ.ศ. 2561 ฐิตินันท์ ปัญจพงษ์ และคณะ [9] ได้ศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาแก๊สแรงดันสูงชนิดประหยัดแก๊สด้วย CFD ในรูปแบบ 3 มิติ ที่มีขนาดเท่ากับเตาจริง โดยศึกษาอิทธิพลของความดันของแก๊สแอลพีจีต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ และทำการยืนยันผลของแบบจำลองกับผลการทดลองโดยการวัดอุณหภูมิ พบว่า ความดันของแก๊สแอลพีจีมีผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นเมื่อความดันของแก๊สแอลพีจีสูงขึ้น และมีอุณหภูมิสูงสุดที่บริเวณใกล้จุดศูนย์กลางของหัวเตาโดยมีค่าสูงสุดที่ 1,320 K ที่ระดับความสูงมากกว่า 35 mm จากขอบบนแหวนเตา อุณหภูมิที่ได้จากการจำลองมีค่าความคลาดเคลื่อนจากผลการทดลองไม่เกินร้อยละ 5.82

อย่างไรก็ตามจากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า การพัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สส่วนใหญ่ที่ทำการศึกษาดังวิธี CFD จะเป็นเตาแก๊ส KB-5 เท่านั้น ถึงแม้ว่าจะมีการศึกษาเตาแก๊ส KB-8 และ KB-10 บางก็ตาม แต่ก็เป็นการศึกษาในด้านการทดลองเท่านั้น นอกจากนี้เตา KB แล้วยังมีเตาแก๊สที่มีลักษณะคล้ายกับเตา KB-10 ซึ่งเรียกว่า เตาประหยัดแก๊ส S-10 [10] ดังแสดงในรูปที่ 1

และจากการศึกษาเบื้องต้น พบว่า เตาประหยัดแก๊ส S-10 มีการเผาไหม้ที่รุนแรงกว่าเตา KB-10 ทั่วไป โดยมีลักษณะเปลวไฟที่ดี ไม่มีเขม่า แสดงถึงการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และยังไม่มีการวิจัยใดที่ทำการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาประหยัดแก๊ส S-10 ดังกล่าวเลย



รูปที่ 1 เตาประหยัดแก๊ส S-10 [10]

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาประหยัดแก๊ส S-10 ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) ร่วมกับการทดลอง เพื่ออธิบายพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตา S-10 รวมถึงได้ศึกษาอิทธิพลของการเพิ่มความดัน LPG หรือ fuel rate ต่อพฤติกรรมการเผาไหม้และการถ่ายเทความร้อนไปยังภาชนะด้วยการแสดงผลจาก temperature contour และ velocity vector ซึ่งจะช่วยอธิบายผลได้อย่างชัดเจน เพื่อนำไปสู่การพัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาต่อไปในอนาคต

## 2. วิธีการศึกษา

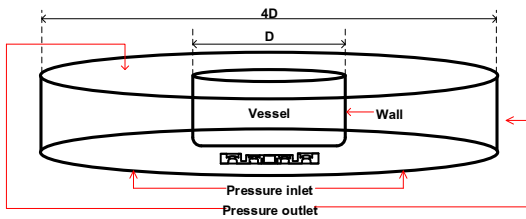
งานวิจัยนี้เป็นการจำลองพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาประหยัดแก๊ส S-10 โดยทำการศึกษาดังวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณและการทดลอง มีขั้นตอนดังนี้

### 2.1 พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

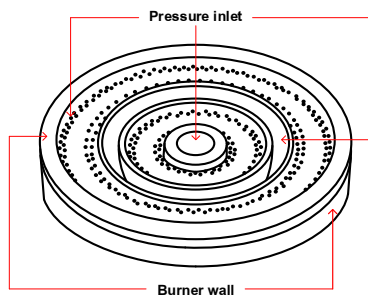
การศึกษานี้จะทำการจำลองพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตา S-10 โดยใช้การจำลอง CFD แบบ 3 มิติ โดยพิจารณาการไหลแบบคงที่ (Steady state) และมีการเผาไหม้โดยใช้โปรแกรม Fluent 6.3 กริดที่ใช้ในการคำนวณสร้างโดย GAMBIT ในการศึกษาเป็นกริดรูปทรงสามเหลี่ยมสี่ด้าน (Tetrahedral Grid) กริดขนาด 2,965,681 elements แสดงดังรูปที่ 2(a)



(a) Mesh



(b) Boundary conditions



(c) Burner head

## รูปที่ 2 กริดและเงื่อนไขขอบเขตการคำนวณ

ในการศึกษานี้ใช้แบบจำลองความปั่นป่วน (Turbulences model) แบบ Standard k- $\epsilon$  สมการการเผาไหม้แบบ Eddy dissipation combustion model เนื่องจากรูปนี้เป็นงานที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ซึ่งมีความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยงานวิจัยนี้ใช้สมการการแผ่รังสีความร้อน (Radiation model) แบบ Discrete Ordinates (DO) model รวมถึงพิจารณาแรงโน้มถ่วงของโลกและแรงลอยตัวแบบ Buoyancy effects

สำหรับเงื่อนไขขอบเขต กำหนดให้ขอบเขตของอากาศรอบๆ หัวเตาเป็น Pressure outlet หม้อเหนือหัวเตามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (D) 450 mm (หม้อเบอร์ 45) และมีความสูงเท่ากับระดับน้ำในหม้อที่ใช้ในการทดลอง คือ 210 mm กำหนดให้ผนังหม้อมีอุณหภูมิคงที่เท่ากับ 395 K เนื่องจากรูปนี้เป็นงานที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ซึ่ง

จะมีการกระจายอุณหภูมิที่บริเวณหัวเตาระยะที่ห่างจากหม้อจึงสำคัญ งานวิจัยนี้กำหนดระยะห่างจากผนังหม้อเท่ากับ 4D แสดงรูปที่ 2(b) สำหรับผนังของหัวเตากำหนดเป็น wall และกำหนดหัวเตาเป็น Mass flow inlet ซึ่ง Mass fraction ของ  $C_3H_8$ ,  $C_4H_{10}$ ,  $N_2$ ,  $O_2$  และ Mass flow rate ของแอลพีจี ที่ได้จากการคำนวณ CFD โดยความดันแก๊สแอลพีจี เท่ากับ 4, 12, 24 และ 30 psi ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูล Mass flow inlet

P, (psi)	Detail	Value
4 (28.75 kW)	Mass flow rate of mixture (kg/s)	0.000561124
	Mass fraction of $C_3H_8$	0.047759294
	Mass fraction of $C_4H_{10}$	0.020466243
	Mass fraction of $O_2$	0.214325480
	Mass fraction of $N_2$	0.717448979
12 (45.79 kW)	Mass flow rate of mixture (kg/s)	0.000994398
	Mass fraction of $C_3H_8$	0.046808538
	Mass fraction of $C_4H_{10}$	0.020060692
	Mass fraction of $O_2$	0.214627644
	Mass fraction of $N_2$	0.718503125
24 (68.17 kW)	Mass flow rate of mixture (kg/s)	0.001413363
	Mass fraction of $C_3H_8$	0.046611051
	Mass fraction of $C_4H_{10}$	0.019971801
	Mass fraction of $O_2$	0.214688144
	Mass fraction of $N_2$	0.718729005
30 (78.88 kW)	Mass flow rate of mixture (kg/s)	0.001580917
	Mass fraction of $C_3H_8$	0.046625778
	Mass fraction of $C_4H_{10}$	0.019982386
	Mass fraction of $O_2$	0.214687325
	Mass fraction of $N_2$	0.718704515

การลู่เข้าของคำตอบจะพิจารณาจากเศษตกค้าง (Residual) เท่ากับ  $10^{-6}$  ผลเฉลยไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีจำนวนรอบการทำซ้ำเพิ่ม และระบบเข้าสู่สภาพสมดุลมวล

## 2.2 การทดลอง

### 2.2.1 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนตามมาตรฐาน DIN EN 203-2 [11]

รูปที่ 3 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนตามมาตรฐาน DIN 203-2 [5]

ซึ่งใช้หลักการต้มน้ำ (Boiling test) ในห้องปฏิบัติการ โดยเริ่มจากการอุ่นหัวเตาให้ร้อนเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำน้ำที่ซึ่งมวล 30.6 kg ในหม้อขนาด 45 cm พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิน้ำก่อนต้ม ปรับอัตราการไหลของแก๊สตามต้องการ แล้วจึงนำหม้อตั้งกล่าวไปตั้งบนเตาพร้อมทั้งจับเวลา และวัดอุณหภูมิของน้ำ จากนั้นต้มน้ำจนกระทั่งน้ำมีอุณหภูมิถึง 90 °C แล้วคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency,  $\eta_{th}$ ) ด้วยสมการที่ (1) ทั้งนี้ ทำการทดสอบ 3 ซ้ำในแต่ละกรณีเพื่อความถูกต้องของข้อมูล

$$\eta_{th}, (\%) = \left\{ \frac{(m_{water} \times C \times (t_2 - t_1))}{LHV \times v \times T} \right\} \times 100 \dots (1)$$

เมื่อ

$\eta_{th}$  คือ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน, %

$m_{water}$  คือ มวลของน้ำ = 30.6 kg

C คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำที่ใช้  
ทดสอบ =  $4.186 \times 10^{-3}$  MJ/kg·K

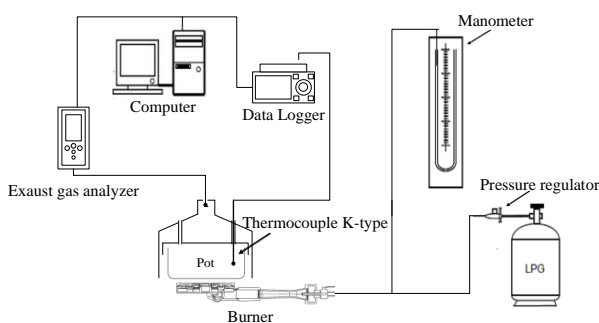
$t_1$  คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ, °C

$t_2$  คือ อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ, °C

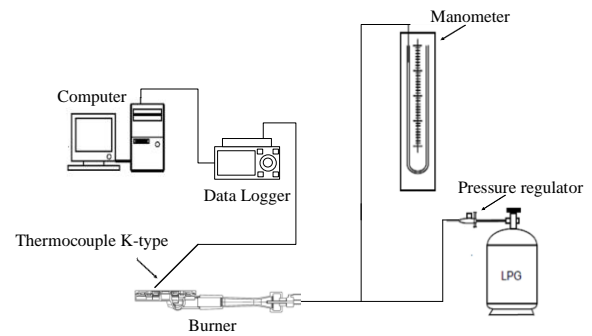
LHV คือ ค่าความร้อนต่ำของแก๊ส LPG ที่ความดัน 101.3 kPa และอุณหภูมิ 25°C = 50.22 MJ/Kg

v คือ อัตราการไหลของแก๊ส LPG, Kg/s

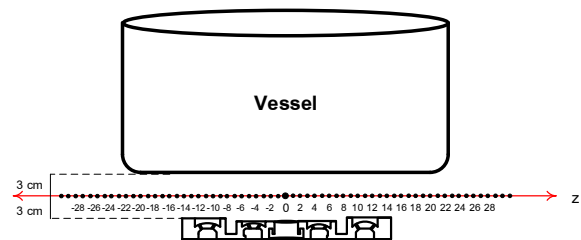
T คือ เวลาที่ใช้ในการทดสอบ, s



รูปที่ 3 การติดตั้งชุดทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency,  $\eta_{th}$ )



(a)



(b)

รูปที่ 4 (a) แผนผังชุดทดลองการวัดอุณหภูมิ

(b) ตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิ (unit: cm)

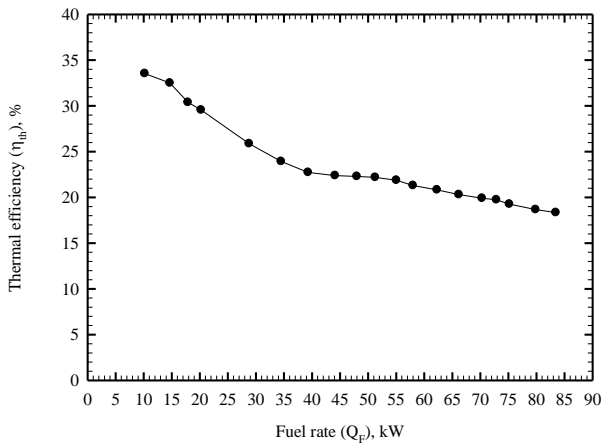
### 2.2.2 การวัดอุณหภูมิ

เพื่อเป็นการยืนยันผลการจำลอง ในการศึกษานี้จะทำการตรวจวัดอุณหภูมิเปลวไฟของหัวเตาเพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับผลการจำลอง โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 4(a) และก่อนการทดสอบต้องจุดเตาแก๊สโดยเปิดลิ้นควบคุมแก๊สที่ตำแหน่งเปลวไฟสูงสุดเป็นเวลา 15 นาที เพื่อขจัดสิ่งที่ไม่เคลือบหรือตกค้างบนหัวเตา ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อผลการทดสอบ จากนั้นทำการวัดอุณหภูมิของเปลวไฟที่ระยะห่างทุกๆ 1 cm จากจุดกึ่งกลางหัวเตาในทิศทาง  $\pm z$  โดยวัดที่ระดับกึ่งกลางระหว่างหัวเตากับกันภาชนะ ดังแสดงในรูปที่ 4(b) โดยใช้ Thermocouple K-type ซึ่งมีความคลาดเคลื่อน  $\pm 1.1$  °C หรือร้อยละ 0.4 ของค่าที่อ่านได้ในการทดลอง และใช้ Data Logger ในการบันทึกข้อมูลสำหรับการทดลองนี้จะใช้ความดันแก๊สแอลทีจีที่ 4 psi

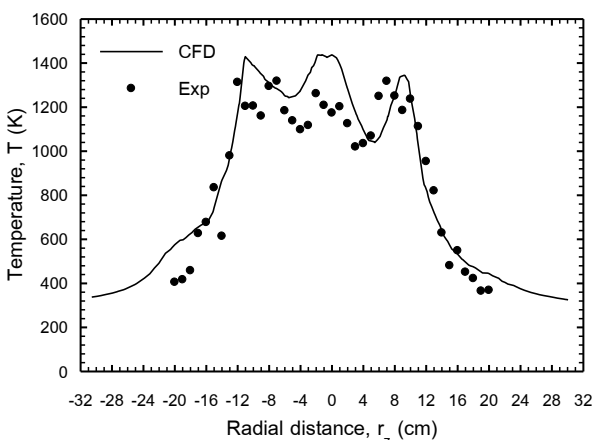
### 3. ผลการศึกษา

จากรูปที่ 5 แสดงอิทธิพลของ Fuel rate ต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency,  $\eta_{th}$ ) ของเตา S-10 โดยแสดงผลด้วยค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ ซึ่งมีความคลาดเคลื่อน

เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.91 จากการทดลอง พบว่า เมื่อ Fuel rate เพิ่มขึ้น  $\eta_{th}$  จะมีค่าลดลง เนื่องมาจากปริมาณความร้อน (Fuel rate) ที่มากขึ้นไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ แต่กลับเพิ่มปริมาณความร้อนสูญเสีย (Heat loss) ให้สูงขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้จากมีเปลวไฟวิ่งย้อนกลับลงบริเวณช่องอากาศส่วนที่สอง (Secondary air) และมีเปลวไฟล้นออกจากด้านข้างของภาชนะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนมากขึ้น เมื่อ Fuel rate สูงขึ้น โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 33.54 ที่ Fuel rate เท่ากับ 10.2 kW (0.5 psi)



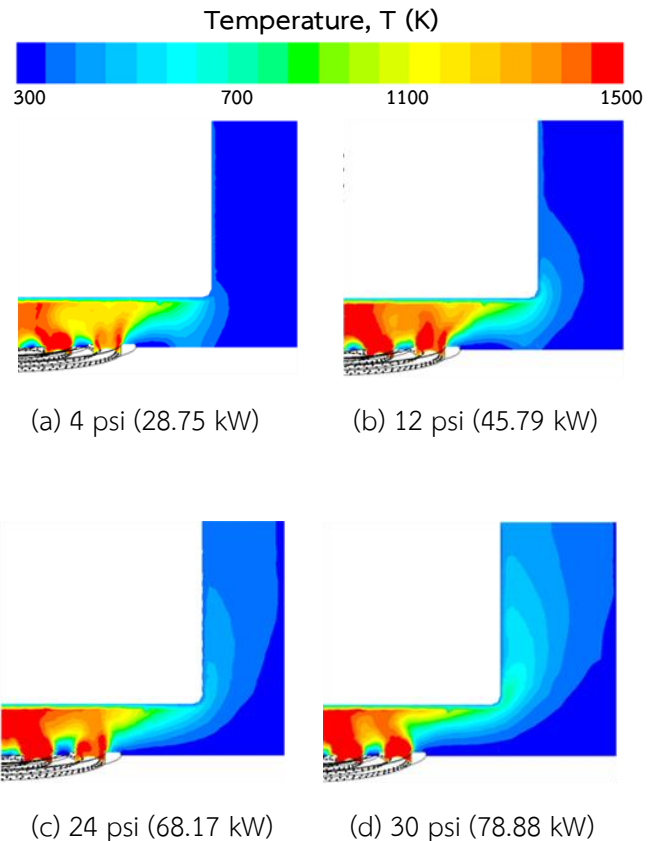
รูปที่ 5 อิทธิพลของ Fuel rate ต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency,  $\eta_{th}$ ) ของเตา S-10



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ

จากรูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ดังในรูปที่ 4(b) ที่ได้จากการจำลองและการวัด

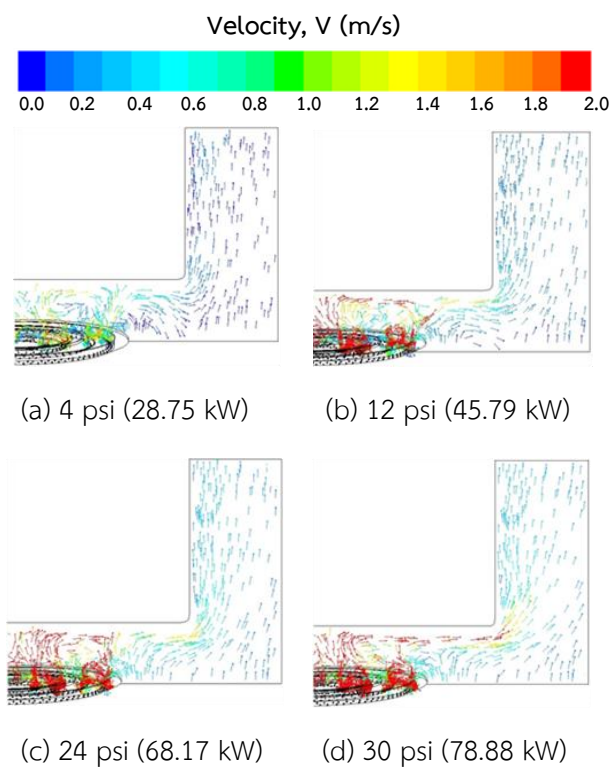
อุณหภูมิ ซึ่งพบว่า การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองมีความสอดคล้องกับการทดลองจริง โดยอุณหภูมิบริเวณหัวเตาคอนข้างจะใกล้เคียงกัน และค่อยๆ ลดลงตามระยะทางที่ออกห่างจากหัวเตา โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 10.63



รูปที่ 7 อิทธิพลของความดัน LPG ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิของเตาประหยัดแก๊ส S-10 บนกลางระนาบ

จากรูปที่ 7 แสดงอิทธิพลของความดัน LPG ต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิของเตาประหยัดแก๊ส S-10 บนกลางระนาบ ซึ่งพบว่า เมื่อความดันของ LPG เพิ่มขึ้น บริเวณที่มีอุณหภูมิการเผาไหม้สูงจะเริ่มกระจายออกด้านข้างจากกันภาชนะมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยอุณหภูมิการเผาไหม้จะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงขึ้นเมื่อความดัน LPG เพิ่มขึ้น ซึ่งอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุดมีค่าเท่ากับ 1,438.3 K, 1,478.50 K, 1,487.34 K และ 1,493.70 K ที่ความดัน 4, 12, 24 และ 30 psi ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาลักษณะการไหลของเปลวไฟและแก๊สร้อนจากรูปที่ 8 จะพบว่า เมื่อ

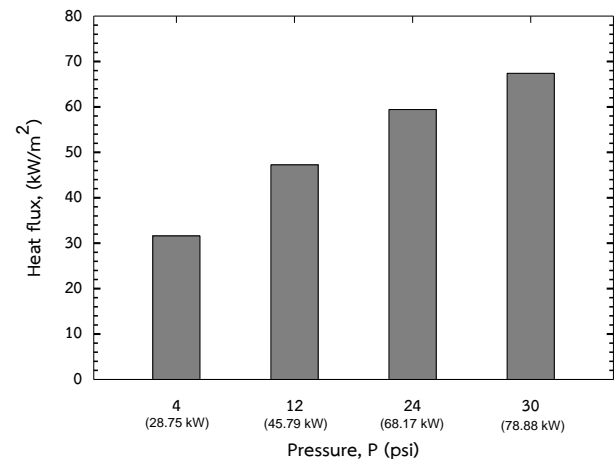
ความดัน LPG เพิ่มขึ้น ความเร็วของเปลวไฟและแก๊สร้อน จะมีการกระจายตัวออกจากกันมากขึ้น โดยความเร็วสูงสุดมีค่าคือ 0.76 m/s, 1.7 m/s, 2.7 m/s และ 4.05 m/s ที่ความดัน 4, 12, 24 และ 30 psi ตามลำดับ และจากลักษณะการไหลของแก๊สร้อนและลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคจากรูปที่ 6 จึงแสดงให้เห็นว่า มีความร้อนสูญเสียมากขึ้นเมื่อความดัน LPG เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของ  $\eta_{th}$  ที่ได้อธิบายไว้ในรูปที่ 5



รูปที่ 8 อิทธิพลของความดัน LPG ต่อการกระจายตัวของความเร็วของเตาประหยัดแก๊ส S-10 บนกลางระนาบ

รูปที่ 9 แสดงอิทธิพลของความดัน LPG ต่อ Heat flux บริเวณผิวภาชนะที่ได้จากแบบจำลอง พบว่า เมื่อความดันของ LPG เพิ่มขึ้น ค่า Heat flux จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย โดยมีค่าเท่ากับ 31.60, 47.23, 59.41 และ 67.40 kW/m<sup>2</sup> ที่ความดัน 4, 12, 24 และ 30 psi ตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของ Heat flux ถึงแม้ความดัน LPG ที่เพิ่มขึ้น (Fuel rate ที่มากขึ้น) จะทำให้ภาชนะได้รับพลังงานความร้อนที่สูงขึ้นก็ตาม ดังแสดงผลที่ค่า Heat flux ที่เพิ่มขึ้น แต่ปริมาณความร้อนสูญเสีย (Heat loss) กลับมีค่าเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า และ

จากงานวิจัยที่ผ่านมา การศึกษาอิทธิพลของ Heat input หรือ Fuel rate จะถูกรายงานด้วยเหตุผลนี้ทั้งสิ้น [1, 12] จากข้อได้เปรียบของ CFD ในการศึกษาจึงสามารถยืนยันเหตุผลดังกล่าวได้โดยจะเห็นว่าการกระจายตัวของบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงจะมีการกระจายออกสู่ภายนอกหัวเตามากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 6 และจากรูปที่ 7 พบว่า ความเร็วของแก๊สร้อนบริเวณกันและขอบด้านล่างของภาชนะจะมีค่าสูงขึ้น และมีทิศทางการพุ่งกระจายออกมากขึ้น อย่างเห็นได้ชัดเมื่อความดันของ LPG เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น จากผลที่ได้จาก CFD จึงแสดงให้เห็นว่าปริมาณ Heat loss ที่เกิดจาก Convection จะมีค่ามากขึ้น



รูปที่ 9 อิทธิพลของความดัน LPG ต่อ Heat flux

#### 4. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาอิทธิพลของความดันแก๊สแอลพีจีต่อพฤติกรรมเผาไหม้ของเตาประหยัดแก๊ส S-10 ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณร่วมกับการทดลอง สามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน ตามมาตรฐาน DIN EN 203-2 พบว่า เตา S-10 มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 33.54 ที่ 10.2 kW (0.5 psi)
2. จากการยืนยันผลการจำลองพบว่า แบบจำลองมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 10.63 เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

3. แบบจำลองสามารถใช้ในการอธิบายพฤติกรรมการไหลและการเผาไหม้ของเตาประหยัดแก๊ส S-10 ได้อย่างชัดเจน

4. เมื่อความดันของ LPG เพิ่มสูงขึ้น ความเร็วของแก๊สร้อน อุณหภูมิการเผาไหม้ และ Heat flux จะมีค่าสูงขึ้น แต่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะมีค่าลดลง

5. แบบจำลองของเตาประหยัดแก๊ส S-10 สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อออกแบบและปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาประหยัดแก๊ส S-10 ให้สูงขึ้นต่อไปได้ในอนาคต

### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายณัฐพล ชูจิตร นายพิทยาธร กาลพัฒน์ นายธนธิป ทองเปราะ นักศึกษาปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 ของห้องปฏิบัติการการประยุกต์ใช้ลำเจ็ทและการเผาไหม้ที่ช่วยดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และโครงการยกระดับสมรรถนะนักวิจัยไทยเพื่อสร้างขีดความสามารถในการแข่งขัน มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ประจำปีงบประมาณ 2562 ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (2561). *รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2560*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <https://goo.gl/GCGy2G>, เข้าดูเมื่อวันที่ 20/08/2561.
- [2] วิเชียร ตรีเวชอักษร (2541). การปรับปรุงประสิทธิภาพเตาหุงต้มแอลพีจีมาตรฐาน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 1 – 92.
- [3] Tamir, A., Elperin, R., Yotzer, S. (1992). Performance Characteristics of a Gas Burner with a Swirl Central Flame, *Energy*, vol. 14(5), pp. 347 – 362.
- [4] Jugjai, S., 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.

[5] Makmool, U., Jugjai, S., Tia, S., Vallikul, P., Fungtammasan, B. (2007). Performance and Analysis by Particle Image Velocimetry (PIV) of Cooker-Top Burners in Thailand, *Energy*, vol. 32(10), pp. 1986 – 1995.

[6] ณรงค์ศักดิ์ ปิยะไพร, ธนรัฐ ศรีวีระกุล, อภินันท์ นามเขต (2556). การศึกษาการไหลของอากาศที่ผสมกับเชื้อเพลิงในท่อผสมของหัวเตาแก๊สหุงต้ม ขนาด KB-5 โดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ, การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27 โรงแรมดุสิตธานี ชลบุรี, หน้า 134.

[7] Boggavarapu, P., Ray, B., Ravikrishna, R.V. (2014). Thermal Efficiency of LPG and PNG-fired burners: Experimental and numerical study, *Fuel*, vol. 166, pp. 709 – 715.

[8] มานะ วิฆางาม, อนิรุตต์ มัทธจักร์, ธนรัฐ ศรีวีระกุล, เสฏฐวรรธ สุจริตภวัตสกุล, สุทธิศักดิ์ พงศ์ธนาพาณิชย์ (2561). อิทธิพลของการไหลแบบหมุนวนต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาแก๊สหุงต้มแรงดันสูง โดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ, การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32 มุกดาหาร, AEC001.

[9] ฐิตินันท์ ปัญงพงษ์, อนิรุตต์ มัทธจักร์, มานะ วิฆางาม, ธนรัฐ ศรีวีระกุล, เสฏฐวรรธ สุจริตภวัตสกุล (2561). การจำลองพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาแก๊สแรงดันสูงชนิดประหยัดแก๊ส โดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ, การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32 มุกดาหาร, CST023.

[10] ธนายง อุตสาหกรรม. *เตาประหยัดแก๊ส*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <https://goo.gl/1PUjnM>, เข้าดู เมื่อวันที่ 28/08/2561

[11] German Standard and Technical Rules (1997). *DIN EN 203-2: Gas-heated catering Equipment*.

[12] Jugjai S, Rungsimuntuchart N. (2002) High efficiency heat-recirculating domestic gas burners. *Experiment Thermal and Fluid Science*, vol. 26, pp. 581–592.