

## การจำลองพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาแก๊สประหยัดพลังงานโดยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

### Simulation on combustion characteristics of an energy-saving gas stove using Computational fluid dynamics

มานะ วิชางาม<sup>1</sup> อนิรุตต์ มัทธจักร<sup>1\*</sup> ธนรัฐ ศรีวีระกุล<sup>1</sup> เสฏฐวรรธ สุจิตภวัตสกุล<sup>2</sup> และ สุทธิศักดิ์ พงศ์ธนาพานิช<sup>3</sup>

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

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

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

114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

<sup>3</sup>วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนประชากราษฎร์ 1

แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

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

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดพลังงานโดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) ซึ่งแบบจำลองถูกสร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม Fluent 6.3 โดยได้ทำการศึกษาและสร้างขอบเขตพื้นที่ของแบบจำลองในลักษณะ 3 มิติ (3D - Model) ที่มีขนาดเท่ากับเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดพลังงานที่ใช้จริง โดยศึกษาอิทธิพลของความดันของแก๊ส LPG ต่อพฤติกรรมการเผาไหม้และทำการวิเคราะห์ผลที่ได้เปรียบเทียบกับผลการทดลองการวัดอุณหภูมิการเผาไหม้ นอกจากนี้ยังศึกษาเปรียบเทียบการจำลองระหว่าง Full model และ Periodic model อีกด้วย จากการวิเคราะห์พบว่า ความดันของแก๊ส LPG มีผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ โดยที่อุณหภูมิจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความดันแก๊ส LPG สูงขึ้น โดยจะมีอุณหภูมิสูงสุดที่บริเวณใกล้หัวเตาโดยมีค่าสูงสุดที่ 1,292 K ยิ่งอุณหภูมิที่ได้จากการจำลองมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับการทดลอง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5.46% ในทุกกรณี และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการจำลองพบว่า การจำลองโดยใช้ full model กับ periodic model มีผลการจำลองใกล้เคียงกัน แต่ระยะเวลาในการคำนวณใน periodic model จะน้อยกว่า full model ประมาณ 9 เท่า

**คำหลัก:** พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ, เตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดพลังงาน, การเผาไหม้, Periodic model

#### Abstract

The objective of this research is to study the combustion phenomena of an energy-saving cooking burner using computational fluid dynamics (CFD). The simulation model was created using Fluent 6.3 in 3D-model at the same size of the energy-saving cooking stove. Effect of LPG pressure on combustion phenomena was investigated. The combustion phenomena from CFD was compared with the experiment by measuring the temperature. Moreover, the results of full CFD model and periodic

CFD model were compared. 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 1,292 K was occurred. The temperatures obtained from CFD and experiment were similar, which the error was less than 5.46% at all cases. Comparison of full CFD model with periodic CFD model, the simulation results of both models were similar, but the simulation duration time of periodic model was about 9 times less than that of full model.

**Keywords:** Computational fluid dynamics, energy-saving high-pressure gas stove, combustion, periodic model

### 1. บทนำ

เตาแก๊สแอลพีจี (LPG) เป็นที่นิยมใช้ในครัวเรือนอย่างกว้างขวางเพราะว่าใช้งานง่าย มีความปลอดภัย และมีราคาถูก เตาแก๊ส LPG ที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงจะช่วยย่นระยะเวลาในการประกอบอาหาร นอกจากจะช่วยลดการใช้แก๊ส LPG แล้วยังเป็นการลดมลพิษอีกทางหนึ่งด้วย ซึ่งนักวิจัยหลายกลุ่มก็ทราบข้อมูลนี้เป็นอย่างดีและพยายามที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ส LPG ให้สูงขึ้นนับจากอดีตที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊ส LPG แต่การศึกษาจำนวนมากจะเป็นการศึกษาในเชิงการทดลอง [1-3] ทำให้ไม่ทราบถึงพฤติกรรมที่แท้จริงที่เกิดขึ้นภายในเตาแก๊ส LPG เพราะในระหว่างการเผาไหม้นั้นการไหลของอากาศหรือการไหลของของผสมภายในเตาไม่มีสีหรือเครื่องหมายพอที่จะแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของของไหลดังกล่าวจึงทำให้ยากต่อการเข้าใจพฤติกรรมของการเผาไหม้ในเตา รวมถึงข้อจำกัดด้านเครื่องมือวัดที่ไม่สามารถวัดความเร็วได้ทุกตำแหน่งจึงนับว่าเป็นข้อจำกัดของการทดลอง

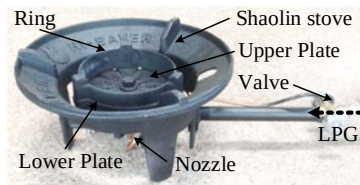
เมื่อประมาณ 50 ปีก่อนได้มีการนำวิธีวิทยาศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) มาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมการบินเป็นครั้งแรกทั้งในด้านการพัฒนา การออกแบบ และการผลิตเครื่องบิน [4] หลังจากนั้นเป็นต้นมาก็ได้มีการนำ CFD มาประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ มากมายรวมถึงงานเกี่ยวกับการเผาไหม้ในเตาประเภทต่างๆ [5-6] พบว่า

ให้ผลที่สอดคล้องกับการทดลองและเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนา การออกแบบ และการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาเป็นอย่างมาก เพราะข้อดีของ CFD นอกจากจะช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลองแล้ว CFD ยังสามารถแสดงข้อมูลเป็นแถบสีหรือแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของของไหลภายในเตาทำให้ทราบและเข้าใจพฤติกรรมที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี

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

เมื่อไม่นานมานี้ในประเทศไทยได้มีเตาแก๊ส LPG ขนาดเทียบเท่าเตาแก๊ส KB-5 รูปแบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงถึงประมาณ 45% [8] ซึ่งสูงกว่าเตา KB-5 ทั่วไปซึ่งมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพียงประมาณ 35% ซึ่งเตาชนิดนี้เรียกว่าเตาแก๊สประหยัดพลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 1 [9] โดยจุดเด่นที่สำคัญของเตาแก๊สประหยัดพลังงานคือ 1) วงแหวนครอบห้องเผาไหม้ ช่วยประครองเปลวไฟและป้องกันการสูญเสียความร้อน 2) Slot ช่วยเพิ่มอากาศส่วนที่ 2 ช่วยให้การเผาไหม้ดีขึ้น และ 3) การฉีดยาแก๊สเชื้อเพลิงจากด้านล่างของเตาซึ่งมีข้อดีคือช่วยเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่ 1 อีกทั้งยังช่วยให้การกระจายความเร็วของแก๊ส

เชื้อเพลิงที่บริเวณห้องผสม (Mixing chamber) ดีกว่าเตาชนิดที่ฉีดแก๊สเชื้อเพลิงทางด้านข้างเพราะว่าความดันกระจายสม่ำเสมอ จากการศึกษาจุดเด่นของเตาแก๊สประหยัดพลังงานพบว่ายังสามารถพัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้นได้อีก



รูปที่ 1 Energy-saving cooking burner [8].

ในปี พ.ศ. 2559, มานะ วิชางาม และคณะ [9] ได้จำลองพฤติกรรมการไหลในเตาแก๊สประหยัดพลังงานโดยศึกษาพฤติกรรมของการไหลเบื้องต้นโดยใช้ของผสมระหว่าง LPG กับอากาศ แต่ไม่มีการเผาไหม้โดยตัวแปรหลักที่ทำการศึกษาคือความดันของ LPG ที่หัวฉีด และทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จาก CFD เปรียบเทียบกับการทดลอง จากการวิเคราะห์พบว่าความเร็วที่ตำแหน่งต่างๆ ของเตาแก๊สประหยัดพลังงานที่ได้จากการจำลองมีความสอดคล้องกับการทดลอง และยังพบว่าผลจากแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถอธิบายพฤติกรรมการไหลของเชื้อเพลิงในเตาแก๊สประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี

ต่อมา ค.ศ. 2017 Wichangarm M. และคณะ [10] ได้นำ mass flow rate และ mass fraction ของโพรเพน บิวเทน ไนโตรเจน และออกซิเจน ที่ได้จากงานวิจัยของ มานะ วิชางาม และคณะ [9] มากำหนดเป็น mass flow inlet ของแบบจำลองที่มีการเผาไหม้กรณีที่ไม่มีภาชนะที่ปากเตาด้านบนและทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จาก CFD เปรียบเทียบกับการทดลอง จากการวิเคราะห์พบว่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของเตาแก๊สประหยัดพลังงานที่ได้จากการจำลองมีความสอดคล้องกับการทดลอง ทำให้มั่นใจว่าข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยของ มานะ วิชางาม และคณะ [9] ที่นำมากำหนดเป็น mass flow inlet ของการคำนวณนั้นมีความน่าเชื่อถือ และยังพบว่าผลจากแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถอธิบาย

พฤติกรรมการณ์เผาไหม้ของเชื้อเพลิงในเตาแก๊สประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี แต่การคำนวณของงานวิจัยนี้ [10] จะใช้เวลาในการคำนวณค่อนข้างนานเพราะเป็นการจำลอง 3 มิติ แบบ Full model

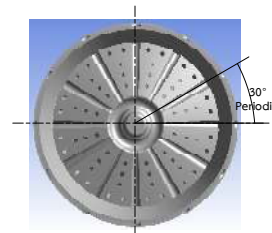
ดังนั้น จึงมีแนวคิดที่จะลดเวลาในการคำนวณของการจำลอง 3 มิติ แบบ Full model โดยอาศัยการจำลอง 3 มิติ แบบ Periodic model มาประยุกต์ใช้เพื่อจำลองการเผาไหม้ รวมถึงทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับการทดลอง และทำการเปรียบเทียบการจำลองแบบ 3 มิติ แบบ Full model นอกจากนี้ยังศึกษาอิทธิพลของความดันแก๊ส LPG ต่อพฤติกรรมการณ์เผาไหม้อีกด้วย

## 2. วิธีการวิจัย

บทความนี้เป็นการจำลองพฤติกรรมการณ์ไหลของของไหลในเตาแก๊สประหยัดพลังงานแบบมีการเผาไหม้โดยใช้การจำลอง 3 มิติ แบบ Periodic model ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

### 2.1 การเลือกพื้นที่เพื่อสร้าง Periodic model

รูปที่ 2 แสดงด้านบนของเตาแก๊สประหยัดพลังงาน เมื่อพิจารณาหัวเตาแก๊สประหยัดพลังงานแล้วพบว่า Slot จำนวน 12 Slot แต่ละ Slot ห่างกัน 30 องศา ภายใน Slot จะมีรูสำหรับฉีดของผสมระหว่างแก๊สกับอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ 5 รู และมีการกระจายอย่างสมดุล ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกพื้นที่ 30 องศา ระหว่าง Slot เป็น Periodic model ดังรูป



รูปที่ 2 ด้านบนของเตาแก๊สประหยัดพลังงาน

### 2.2 พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

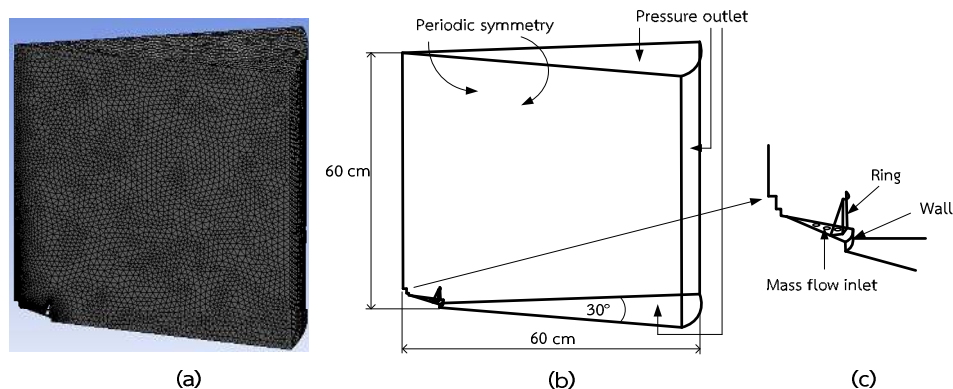
การศึกษาค้นคว้านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการณ์เผาไหม้ของเตาแก๊สประหยัดพลังงาน โดยใช้ CFD

กับแบบจำลอง 3 มิติ แบบ Periodic model โดยพิจารณาการไหลแบบคงที่ (Steady state) และมีการเผาไหม้โดยใช้ Fluent 6.3 สำหรับกริดที่ใช้ในการคำนวณจะสร้างโดย GAMBIT เตาแก๊สประหยัดพลังงานจะสร้างเป็น Periodic model ตามส่วนที่แบ่งจากหัวเตา ดังแสดงในรูปที่ 2 สำหรับขอบเขตพื้นที่และกริดที่ใช้ในการคำนวณ แสดงดังรูปที่ 3(a) ซึ่งกริดที่ใช้ในการศึกษา ครั้งนี้เป็นกริดรูปทรงสามเหลี่ยม (Tetrahedral Grid)

ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้แบบจำลองความปั่นป่วน (Turbulences model) แบบ Standard k- $\epsilon$  สมการการเผาไหม้แบบ eddy dissipation combustion model เนื่องจากงานนี้เป็นงานที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ซึ่งมีความแตกต่างของอุณหภูมิ สมการการแผ่รังสีความร้อนจึงสำคัญ โดยงานวิจัยนี้ใช้สมการการแผ่รังสีความร้อน (Radiation model) แบบ Discrete

Ordinates (DO) model รวมถึงพิจารณาแรงโน้มถ่วงของโลกและแรงลอยตัวแบบ Buoyancy Effects

รูปที่ 3(b) แสดงเงื่อนไขขอบเขต เนื่องจากการจำลองพฤติกรรมของการเผาไหม้ การสร้างโดเมนให้ครอบคลุมระยะการเผาไหม้จึงสำคัญ งานวิจัยนี้จึงเลือกระยะจากหัวเตากว้างเท่ากับ 60 cm และสูงเท่ากับ 60 cm ในขั้นตอนการทดลองเตานี้ได้ทดลองในบรรยากาศทั่วไปไม่มีลมพัด เพื่อให้สอดคล้องกับการทดลอง การศึกษาจึงกำหนดอากาศรอบๆ หัวเตาเป็น Pressure outlet สำหรับผนัง ของหัวเตาแสดงดังรูปที่ 3(c) กำหนดเป็น wall และกำหนดรูหัวเผาเป็น mass flow inlet ซึ่ง mass flow rate และ mass fraction ของ โพรเพน บิวเทน ไนโตรเจน และออกซิเจน ที่ได้จากความดันแก๊ส LPG เท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 bar [13] ดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 3 Periodic model ที่ใช้ในการศึกษา (a) กริดที่ใช้ในการศึกษา (b) เงื่อนไขขอบเขต (c) หัวเตา

ตารางที่ 1 ข้อมูล mass flow inlet จากงานวิจัย [13]

| Detail                           | Value      | Bar |
|----------------------------------|------------|-----|
| Mass flow rate of mixture (kg/s) | 0.00146661 | 0.2 |
| Mass fraction of $C_3H_8$        | 0.04050060 |     |
| Mass fraction of $C_4H_{10}$     | 0.04050060 |     |
| Mass fraction of $N_2$           | 0.70763123 |     |
| Mass fraction of $O_2$           | 0.21136756 |     |
| Mass flow rate of mixture (kg/s) | 0.00229125 | 0.4 |
| Mass fraction of $C_3H_8$        | 0.03992511 |     |
| Mass fraction of $C_4H_{10}$     | 0.03992511 |     |

|                                  |            |     |
|----------------------------------|------------|-----|
| Mass fraction of $N_2$           | 0.70895016 | 0.6 |
| Mass fraction of $O_2$           | 0.2111996  |     |
| Mass flow rate of mixture (kg/s) | 0.00295841 |     |
| Mass fraction of $C_3H_8$        | 0.03934944 |     |
| Mass fraction of $C_4H_{10}$     | 0.03934944 |     |
| Mass fraction of $N_2$           | 0.70945704 |     |
| Mass fraction of $O_2$           | 0.21184407 | 0.8 |
| Mass flow rate of mixture (kg/s) | 0.00349333 |     |
| Mass fraction of $C_3H_8$        | 0.03928703 |     |
| Mass fraction of $C_4H_{10}$     | 0.03928703 |     |

|                                  |            |   |
|----------------------------------|------------|---|
| Mass fraction of N2              | 0.70957852 | 1 |
| Mass fraction of O2              | 0.21184741 |   |
| Mass flow rate of mixture (kg/s) | 0.00395274 |   |
| Mass fraction of C3H8            | 0.03927579 |   |
| Mass fraction of C4H10           | 0.03927579 |   |
| Mass fraction of N2              | 0.7095291  |   |
| Mass fraction of O2              | 0.21191931 |   |

การพิจารณาการเข้าสู่ของค่าตอบจะพิจารณาจากเศษตกค้าง (residual) เท่ากับ  $10^{-6}$  ผลเฉลยไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีจำนวนรอบการทำซ้ำเพิ่ม และระบบเข้าสู่สภาพสมดุล

### 3. ผลการคำนวณและการวิเคราะห์

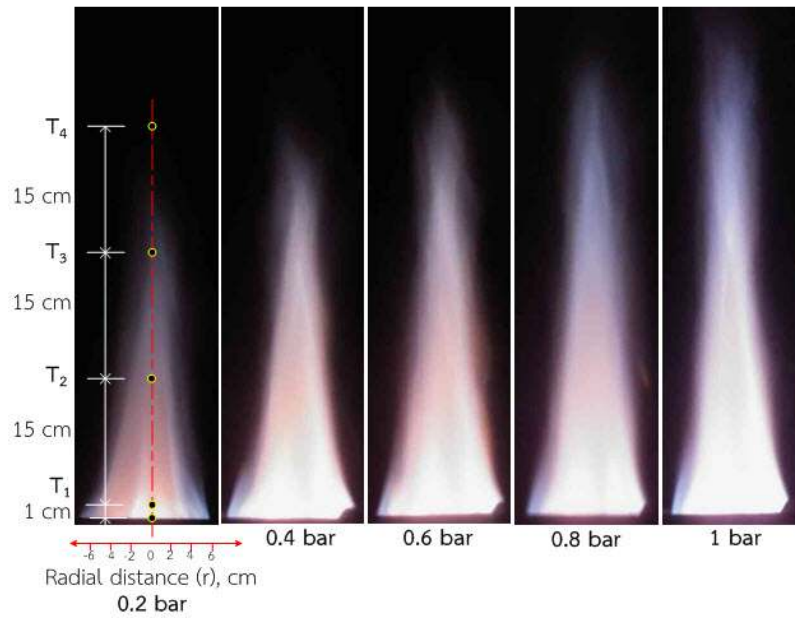
รูปที่ 4 และ 5 แสดงลักษณะเปลวไฟจากการทดลองที่ความดันต่างๆ และเปลวไฟจากแบบจำลองแบบ 3 มิติ Periodic model ที่ความดันต่างๆ ตามลำดับ พบว่าความดันของแก๊ส LPG มีผลต่อความยาวของเปลวไฟ โดยความยาวของเปลวไฟจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความดันของแก๊ส LPG สูงขึ้นทั้งจากการทดลองและ CFD โดยความยาวของเปลวไฟจะประมาณ 40 cm, 45 cm, 50 cm, 55 cm และ 60 cm ที่ความดันของแก๊ส LPG เท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 bar ตามลำดับ

รูปที่ 6 แสดงการกระจายตัวอุณหภูมิจากการทดลองและแบบจำลอง 3 มิติ แบบ Periodic model ที่ความดัน LPG 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 bar ตามลำดับ ซึ่งเป็นการกระจายอุณหภูมิตามความสูงจากห้องเผาไหม้และใช้ Thermocouple K-type ในการวัดอุณหภูมิ ซึ่งตำแหน่งในการวัดแสดงในรูปที่ 5 อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางเตา ( $r = 0$  cm) จะเป็นตำแหน่งที่อุณหภูมิสูงที่สุดของทุกๆ ความดัน และอุณหภูมิที่ตำแหน่งอื่นๆ จะค่อยๆ ลดลงตามระยะทางเพราะว่าบริเวณด้านนอกของเปลวไฟจะเกิดการสูญเสียความ

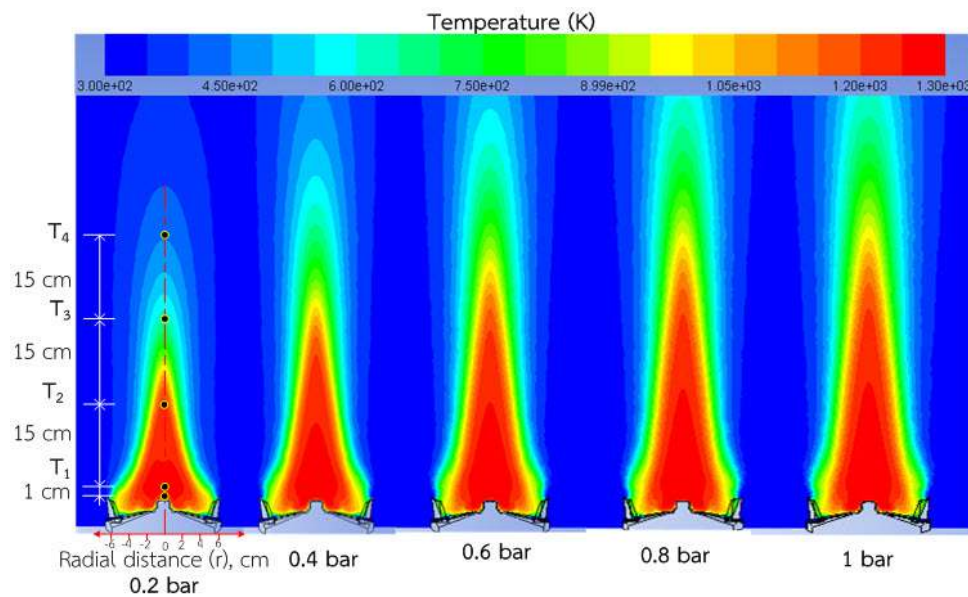
ร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม จึงทำให้บริเวณด้านนอกของเปลวไฟมีอุณหภูมิต่ำกว่าด้านในของเปลวไฟ สังเกตได้จากอุณหภูมิของเปลวไฟจะลดลงเมื่อรัศมีของเปลวไฟเพิ่มขึ้น ( $r = 0, 2, 4$  และ  $6$  cm) และเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น ( $T_1 - T_4$ ) อุณหภูมิก็ยังคงลดลงที่ทุกระศมีเนื่องจากอิทธิพลของความรุนแรงจากการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้จะลดลงตามความสูงที่เพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิสูงสุดยังอยู่ที่บริเวณกึ่งกลางเตา ( $r = 0$  cm) ใกล้กับหัวเตา ( $T_1$ ) โดยมีค่าเท่ากับ 1,217 K, 1,226 K, 1,238 K, 1,244 K และ 1,250 K ที่ความดันของแก๊ส LPG เท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 bar ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบในทุกๆ ตำแหน่งพบว่าอุณหภูมิจาก CFD จะมีค่าสูงกว่าการทดลองเล็กน้อย โดยมีค่าคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิเฉลี่ย 5.35 %, 5.19%, 5.38%, 5.46% และ 5.42% ที่ความดันของแก๊ส LPG เท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 bar ตามลำดับ

รูปที่ 7 แสดงการกระจายอุณหภูมิในห้องเผาไหม้จาก CFD ที่ความดันต่างๆ พบว่า อุณหภูมิบริเวณใกล้หัวเตาจะมากกว่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งห่างออกมาเนื่องจากบริเวณใกล้หัวเตาจะอยู่ใกล้หัวเผาทำให้เกิดการเผาไหม้ที่รุนแรงมากกว่าบริเวณอื่น และอุณหภูมิบริเวณใกล้หัวเตาจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความดันของแก๊ส LPG สูงขึ้น โดยอุณหภูมิสูงสุดบริเวณใกล้หัวเตาจะประมาณ 1,278 K, 1,281 K, 1,285 K, 1,288 และ 1,292 K ที่ความดันของแก๊ส LPG เท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 bar ตามลำดับ และเปลวไฟที่ได้จากทุกระดับความดันพบว่าไม่มีการสูญเสียความร้อนจากห้องเผาไหม้สู่สิ่งแวดล้อมเพราะผลมาจากวงแหวน (Ring) ครอบห้องเผาไหม้ที่ช่วยป้องกันการสูญเสียความร้อน ซึ่งสามารถสังเกตได้จากอุณหภูมิบริเวณด้านนอกของวงแหวนที่มีค่าต่ำ

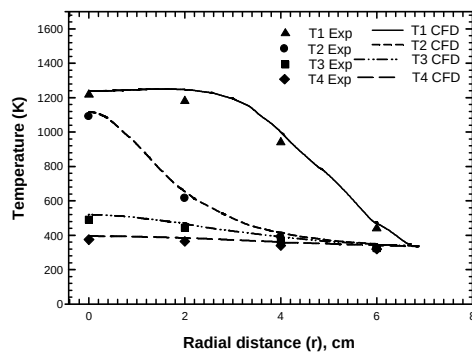




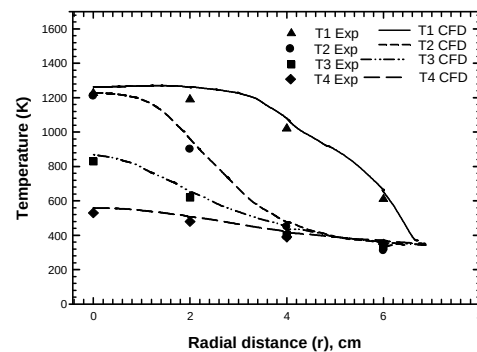
รูปที่ 4 ลักษณะเปลวไฟจากการทดลองที่ความดันต่างๆ



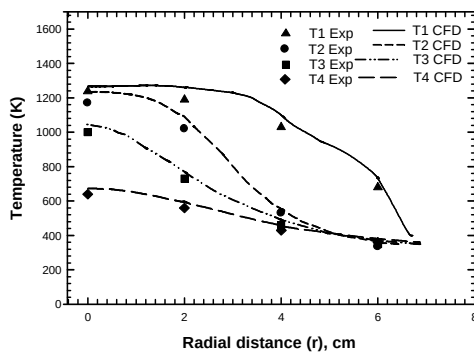
รูปที่ 5 เปลวไฟจากแบบจำลองแบบ 3 มิติ Periodic model ที่ความดันต่างๆ



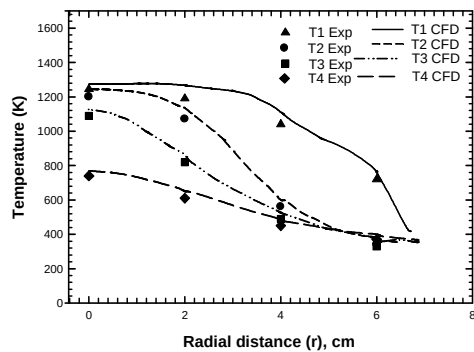
(a) 0.2 bar



(b) 0.4 bar

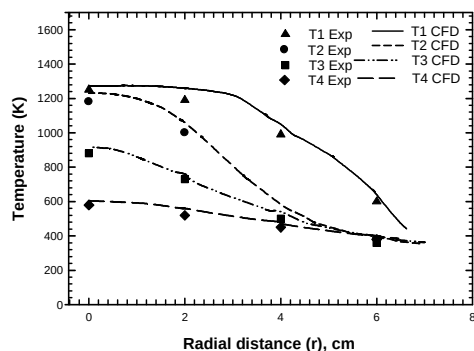


(c) 0.6 bar



(d) 0.8 bar

รูปที่ 6 การกระจายตัวอุณหภูมิจากการทดลองและ  
แบบจำลอง 3 มิติ แบบ Periodic model  
ที่ความดัน LPG ต่างๆ



(e) 1 bar

รูปที่ 6 การกระจายตัวอุณหภูมิจากการทดลองและ  
แบบจำลอง 3 มิติ แบบ Periodic model  
ที่ความดัน LPG ต่างๆ (ต่อ)

รูปที่ 8 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของ CFD ที่ความดัน LPG ต่างๆ พบว่าความเร็วที่ทางออกของรูหัวเผาจะสูงกว่าความเร็วที่ตำแหน่งห่างออกมาเนื่องจากเป็นส่วนที่ของผสมระหว่างแก๊ส LPG กับอากาศถูกพ่นออกมา

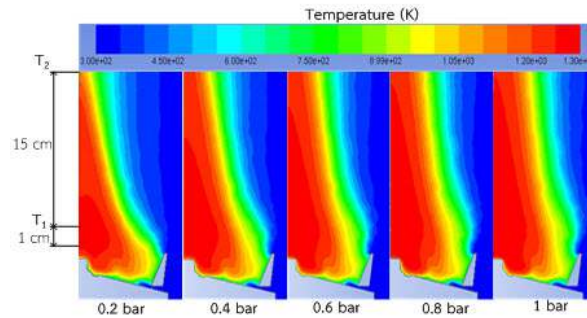
จากห้องผสมก่อนถูกเผาไหม้เป็นเปลวไฟในห้องเผาไหม้ และความเร็วจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความดันของแก๊ส LPG สูงขึ้น โดยความเร็วที่บริเวณทางออกจากรูหัวเผาจะประมาณ 5.3 m/s, 5.7 m/s, 6.2 m/s, 6.5 m/s และ 6.9 m/s ที่ความดันของแก๊ส LPG เท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 bar ตามลำดับ และพบว่าอากาศส่วนที่สอง (Secondary air) จะเคลื่อนที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้ทาง Slot ซึ่งเกิดจากการเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่สอง ในระหว่างการเผาไหม้ ทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นในทุกๆ ความดันจะเกิด Vortex ขึ้น 2 บริเวณ ซึ่งจะช่วยความรุนแรงในการเผาไหม้ และยังช่วยคลุกเคล้าระหว่างอากาศส่วนที่ 2 ในระหว่างการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น

รูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ของแบบจำลอง 3 มิติ แบบ Full model กับ Periodic model ที่ความดัน LPG เท่ากับ 1 bar พบว่า ลักษณะของการกระจายอุณหภูมิของ Full model และ Periodic model มีความสอดคล้องกัน คือบริเวณใกล้หัวเตาจะมากกว่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งห่างออกมาเนื่องจากบริเวณใกล้หัวเตาจะอยู่ใกล้รูหัวเผาทำให้ได้รับอิทธิพลของการเผาไหม้ LPG มากกว่าบริเวณอื่น โดยอุณหภูมิของ Full model และ Periodic model เท่ากับ 1,286 K และ 1,292 K ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกัน

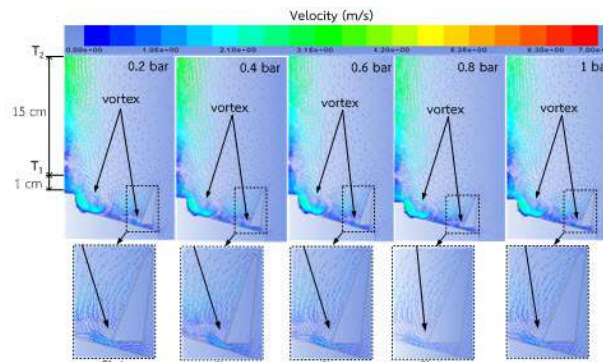
รูปที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบเวกเตอร์ความเร็วในห้องเผาไหม้ของแบบจำลอง 3 มิติ แบบ Full model กับ Periodic model ที่ความดัน LPG เท่ากับ 1 bar พบว่า ลักษณะการกระจายความเร็วของ Full model และ Periodic model มีความสอดคล้องกัน คือความเร็วที่ทางออกของรูหัวเผาจะสูงกว่าความเร็วที่ตำแหน่งห่างออกมาเนื่องจากของผสมระหว่างแก๊ส LPG กับอากาศจะถูกพ่นออกมาจากห้องผสมก่อนถูกเผาไหม้เป็นเปลวไฟในห้องเผาไหม้ โดยความเร็วของ Full model และ Periodic model เท่ากับ 6.7 m/s และ 6.9 m/s ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกัน

จากการพิจารณาอุณหภูมิและความเร็วที่ได้จาก Full model และ Periodic model พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณพบว่าแบบ Full model ใช้เวลาคำนวณ

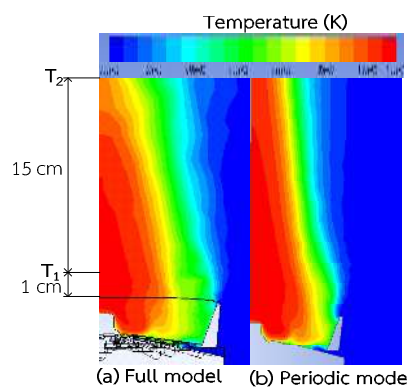
ประมาณ 260 ชั่วโมง แต่แบบ Periodic model ใช้เวลาคำนวณประมาณ 28 ชั่วโมง หรือระยะเวลาในการคำนวณใน periodic model จะน้อยกว่า full model ประมาณ 9 เท่า



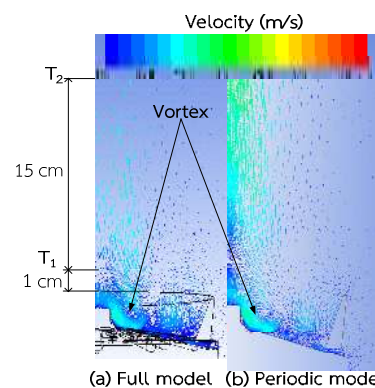
รูปที่ 7 การกระจายอุณหภูมิในห้องเผาไหม้จาก CFD ที่ความดัน LPG ต่างๆ



รูปที่ 8 เวกเตอร์ความเร็วของ CFD ที่ความดัน LPG ต่างๆ



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ของแบบจำลอง 3 มิติ แบบ Full model กับ Periodic model ที่ความดัน LPG เท่ากับ 1 bar



รูปที่ 10 การเปรียบเทียบเวกเตอร์ความเร็วในห้องเผาไหม้ของแบบจำลอง 3 มิติ แบบ Full model กับ Periodic model ที่ความดัน LPG เท่ากับ 1 bar

#### 4. สรุปและเสนอแนะ

จากการศึกษาการจำลองพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาแก๊สประหยัดพลังงานโดยใช้แบบจำลอง 3 มิติ แบบ Periodic model สามารถสรุปได้ดังนี้



1. ความยาวของเปลวไฟจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความดันของแก๊ส LPG สูงขึ้นทั้งจากการทดลองและ CFD โดยความยาวของเปลวไฟจะประมาณ 40 cm, 45 cm, 50 cm, 55 cm และ 60 cm ที่ความดันของแก๊ส LPG เท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 bar ตามลำดับ

2. อุณหภูมิจากการเผาไหม้จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความดันของแก๊ส LPG สูงขึ้นทั้งจากการทดลองและ CFD เมื่อนำผลของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ได้จากการทดลองในทุกๆ ความดันแก๊ส LPG ไปยืนยันกับผลที่ได้จาก CFD พบว่าให้ผลที่สอดคล้องกันโดยมีค่าคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิเฉลี่ยไม่เกิน 5.46% ทุกความดัน LPG

3. เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณใน Full model และ Periodic model พบว่าลักษณะการกระจายอุณหภูมิในห้องเผาไหม้และพฤติกรรมการไหลของของไหลบริเวณหัวเตามีความสอดคล้องกัน แต่ระยะเวลาในการคำนวณใน periodic model จะน้อยกว่า full model ประมาณ 9 เท่า

แต่พฤติกรรมการใช้งานจริงของเตาแก๊ส LPG จะมีลักษณะที่ปากเตาด้านบน เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานจริง การศึกษาครั้งต่อไปจะศึกษาถึงการเผาไหม้ของเตาแก๊สแบบประหยัดพลังงานที่มีลักษณะที่ปากเตาด้านบน

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ทุนสนับสนุน

## 6. เอกสารอ้างอิง

[1] Jugjai, S. and Sanijai, S., (1996). 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*, Vol. 18: 97-111.

[2] S. Jugjai, S. Tia, and W. Treweasksirn (2001), Thermal Efficiency improvement of an LPG gas cooker by a swirling central flame.

*International Journal of energy research* 25 657-764.

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

[4] Versteeg, H.K. and Malalasekera, W. (1995), *An Introduction to Computational Fluid Dynamics the Finite Volume Method*. England: Longman Scientific and Technical.

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

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

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

[8] อนิรุตต์ มัทธจักร, นฤพนธ์ ติดมา และอดิสร แยม ยวน (2559). การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สประหยัดพลังงานโดยการไหลแบบหมุนวน. *การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12* (ENETT 12).

[9] มานะ วิฆาณ, อนิรุตต์ มัทธจักร, ธนรัฐ ศรีวีระกุล และเสกฐวรรธ สุจริตภวัตสกุล (2559), การจำลองพฤติกรรมการณ์ไหลในเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัด



พลังงาน. *ประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30 (ME-NETT 30)*

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