การศึกษาแบบจำลองการเผาไหม้ก๊าซไฮโดรเจนในเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็กร่วมกับอุปกรณ์ไหลเวียนอากาศเสียเพื่อเพิ่มพลังงานจากการแผ่รังสี

Numerical Study of Hydrogen Combustion on Micro Combustor with Exhaust Gas Recirculation Jacket for Enhancement of Emissive Power

อมรรัตน์ แก้วประดับ * และ สำเริง จักรใจ

Amornrat Kaewpradap * and Sumrerng Jugjai

Received: 6 October 2023, Revised: 18 December 2023, Accepted: 2 January 2024

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มุ่งเน้นการศึกษาแบบจำลองการเผาไหม้ก๊าซไฮโดรเจนสำหรับเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็ก (Micro combustor) เพื่อเพิ่มการแปลงผันพลังงานจากจากไฮโดรเจนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยวิเคราะห์ที่อุณหภูมิผิวเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็กและพลังงานจากการแผ่รังสี (Emissive power) เพื่อส่งผ่านไปยังอุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้า งานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบ ได้แก่ รูปทรงสี่เหลี่ยม ทรงกระบอก และรูปทรงหกเหลี่ยม อุปกรณ์นำไอเสียกลับมาใช้ (Exhaust Gas Recirculation, EGR) ที่อัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจน 1.8551×10^{-5} kg/s และที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.0 จากผลการศึกษาพบว่า รูปทรงหกเหลี่ยมและรูปทรงกระบอกส่งผลต่ออุณหภูมิผิวเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็กสูงกว่ารูปทรงสี่เหลี่ยม (แบบจำลองอ้างอิง) 18.8-19.7 ^{o}C และพลังงานจากการแผ่รังสีเพิ่มขึ้นจากแบบจำลองอ้างอิงรูปทรงสี่เหลี่ยม 12.2-12.4% นอกจากนี้ การเพิ่มอุปกรณ์นำไอเสียกลับมาใช้รูปแบบทรงกระบอก (Cylindrical EGR, CEGR) และรูปแบบทรงหกเหลี่ยม (Hexagonal EGR, HEGR) ส่งผลให้มีพลังงานจากการแผ่รังสีจากเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็กสูงขึ้น 2.0 วัตต์ และ 1.6 วัตต์ ตามลำดับ จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าเครื่องเผาไหม้ก๊าซไฮโดรเจนขนาดเล็กรูปทรงกระบอกร่วมกับอุปกรณ์นำไอเสียกลับมาใช้รูปแบบทรงกระบอกและวัสดุพรุน สามารถผลิตพลังงานได้สูงสุดจากการแผ่รังสี 12.26 วัตต์ ซึ่งเพิ่มขึ้นจากแบบจำลองอ้างอิง 33.7%

คำสำคัญ: เครื่องเผาไหม้ขนาดเล็ก, อุปกรณ์นำไอเสียกลับมาใช้ทรงกระบอก, อุปกรณ์นำไอเสียกลับมาใช้ทรงหกเหลี่ยม, อุณหภูมิผิว, พลังงานจากการแผ่รังสี

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, ThungKhru, Bangkok 10140, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): amornrat.kae@kmutt.ac.th

ABSTRACT

This research is to study the numerical model of hydrogen combustion in a micro combustor to enhance the energy converted to electricity by analyzing wall temperature and emissive power. This research focuses on the affected parameters of micro combustor geometry (rectangle, cylinder, hexagon), exhaust gas recirculation (EGR) at a hydrogen mass flow rate of 1.8551x10-5 kg/s, and an equivalence ratio of 1.0. As the result, wall temperatures ranging from 18.8 to 19.7 oC and emissive power between 12.2 and 12.4% were observed from cylindrical and hexagonal micro combustor, which were higher than those of rectangular micro combustor. Moreover, the installation of hexagonal EGR and cylindrical EGR with micro combustor could enhance emissive power by 1.6 and 2.0 watt, respectively. This study indicates that the design of a cylindrical micro combustor with cylindrical EGR, covered with porous media, could achieve the highest emissive power of 12.26 watts, which is 33.7% higher than that of the referenced model.

Key words: micro combustor, cylindrical EGR, hexagonal EGR, wall temperature, emissive power

บทนำ

ปัจจุบันมีแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นพลังงานปลายทางที่มีการใช้งานสะดวก ส่งผลให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการแปลงผันพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล พลังงานหมุนเวียน และพลังงานรูปแบบอื่นเป็นพลังงานไฟฟ้า การแปลงผันพลังงานเคมีจากกระบวนการเผาไหม้เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นกระบวนการที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น เครื่องเผาไหม้ขนาดเล็ก (Micro combustor) เป็นเทคโนโลยีการแปลงผันพลังงานจากการเผาไหม้ที่มีศักยภาพเนื่องจากมีขนาดเล็ก สะดวกต่อการใช้งาน มีความหนาแน่นพลังงงานมากกว่าแบตเตอรี่ จึงเป็นที่น่าสนใจในการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง (Jejurkar and Mishra, 2009) เครื่องเผาไหม้ขนาดเล็กเป็นแหล่งพลังงานสำหรับชุดผลิตพลังงานไฟฟ้า (Power generator) จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยแปลงผันพลังงานผ่านอุปกรณ์รับคลื่นจากการแผ่รังสีแปลงผันเป็นพลังงานไฟฟ้า (Thermophotovoltaic, TPV) (Lei *et al*., 2016) เครื่องเผาไหม้ขนาดเล็กเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งมีการใช้งานโดรนเพื่อการสำรวจ อุปกรณ์การสื่อสารทางการทหาร หุ่นยนต์ และดาวเทียมงานวิจัยในอดีตงานวิจัยที่มีการเพิ่มการแผ่รังสีด้วยวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูง (Wan *et al*., 2015) นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงการเผาไหม้ด้วยการออกแบบช่องเตรียมเผาไหม้ (Su *et al*., 2015) และวัสดุพรุนในเครื่องเผาไหม้เพื่อเพิ่มช่วงการเป่าดับ (Yang *et al*., 2011) สำหรับการออกแบบห้องเผาไหม้สำหรับเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็ก ยังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยออกแบบให้มีช่องเผาไหม้หลายช่อง (Su *et al*., 2016) การใช้เทคนิคช่องเผาไหม้แบบขั้นเพื่อลดความเร็วเชื้อเพลิง (Aravind *et al*., 2018) และลักษณะคล้ายกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อส่งเสริมการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ (Wan and Fan, 2015)

จากงานวิจัยที่ผ่านมาข้างต้น เนื่องจากขนาดของเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็ก ข้อจำกัดของเครื่องมือวิจัย และการเผาไหม้ก๊าซไฮโดรเจน ที่มีความเร็วของการเผาไหม้สูง อาจก่อให้เกิดอันตรายจากการทดลองจริงได้ ดังนั้น งานวิจัยส่วนใหญ่จึงมีการศึกษาและพัฒนา

จากแบบจำลองการเผาไหม้ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณแบบสามมิติเพื่อศึกษานวัตกรรมตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ขนาดเล็ก (Di Sarli *et al*., 2020) และการศึกษาแบบจำลองการเผาไหม้ก๊าซไฮโดรเจนและอากาศในห้องเผาไหม้ขนาดเล็กด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาและออกแบบห้องเผาไหม้ขนาดเล็กในเครื่องยนต์กังหันก๊าซขนาดเล็ก (Hua *et al*., 2005) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาแบบจำลองการเผาไหม้ด้วยเชื้อเพลิงไฮโดรเจนในเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็ก ซึ่งมีความเร็วในการเผาไหม้สูง น้ำหนักเบา และให้ค่าความร้อนสูง ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการเผาไหม้ มลพิษน้อย (Pan *et al*., 2015) และการศึกษาแบบจำลองนี้ได้นำไปสู่การศึกษาการทดลองจากเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็ก งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาและพัฒนาเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็ก โดยศึกษาจากแบบจำลองเครื่องเผาไหม้รูปทรงสี่เหลี่ยมจำนวนสองชั้นสี่ช่องเผาไหม้ ด้วยเชื้อเพลิงไฮโดรเจน (Zuo *et al*., 2017) ด้วยการออกแบบรูปทรงเครื่องเผาไหม้และอุปกรณ์การนำไอเสียจากการเผาไหม้กลับมาใช้ใหม่ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ เพื่อศึกษาอิทธิพลของรูปทรงและการนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ เพิ่มอุณหภูมิผิวและพลังงานจากการแผ่รังสี และเพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการแปลงผันพลังงานสำหรับชุดผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็ก

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้แนวทางในการวิจัยโดยศึกษาและพัฒนาเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็กซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับชุดพลังงานไฟฟ้า ดังภาพที่ 1 โดยเริ่มจากการเผาไหม้ในเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็กและมีการแผ่รังสีผ่านผนังไปยังอุปกรณ์แปลงผันพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า (Thermophotovoltaic, TPV) เพื่อแปลงผันพลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีไปเป็นพลังงานไฟฟ้า การศึกษานี้จากพื้นฐานการเผาไหม้ก๊าซไฮโดรเจนจากแบบจำลองเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็กจากงานวิจัยที่ผ่านมาของ Zuo *et al*. (2017) ที่อัตราส่วนสมมูลจากเชื้อเพลิงและอากาศตามทฤษฎี และศึกษารูปทรงเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็ก ได้แก่ ทรงกระบอกและทรงหกเหลี่ยม โดยแสดงแผนภาพทางเข้าของเชื้อเพลิง ดังภาพที่ 2 นอกจากนี้ยังมีออกแบบอุปกรณ์เพื่อนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่ เพื่อศึกษาอิทธิพลต่ออุณหภูมิผิวเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็ก พลังงานจากการแผ่รังสี และประสิทธิภาพการแปลงผันพลังงานโดยมีรายละเอียดระเบียบวิธีวิจัยดังนี้

1. ชุดผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็ก

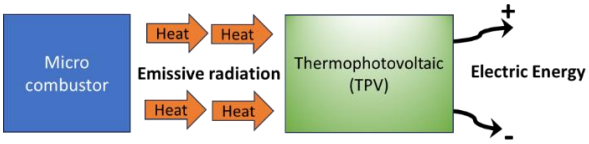


Figure 1 Micro combustor power generation set.

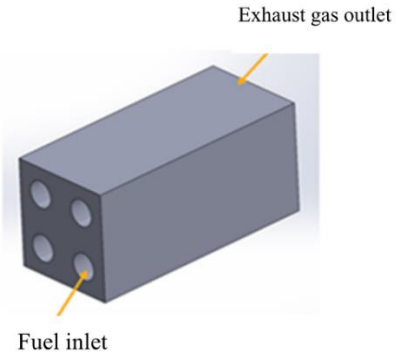


Figure 2 Diagram of fuel inlet and exhaust gas outlet from micro combustor

2. สมการการเผาไหม้เชื้อเพลิงไฮโดรเจน

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาแบบจำลองการเผาไหม้ก๊าซไฮโดรเจนในเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็ก ซึ่งอ้างอิงตามทฤษฎีการเผาไหม้ก๊าซไฮโดรเจนและอากาศ เป็นไปตามสมการที่ (1)

$$H_2 + \frac{1}{2}(O_2 + 3.76N_2) \rightarrow H_2O + 1.88N_2 \quad (1)$$

3. พลังงานจากการแผ่รังสี (Emissive power)

พลังงานจากการแผ่รังสี เป็นพลังงานที่ได้จากการถ่ายเทความร้อนจากผนังเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็กด้วยคุณสมบัติของคลื่นความร้อนไปยังอุปกรณ์แปลงผันพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยพลังงานจากการแผ่รังสีเป็นไปตามสมการที่ 2 โดยมีตัวแปรที่สำคัญได้แก่ อุณหภูมิ ฟังก์ชันของการแผ่รังสี และค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน

$$E_{0-\lambda} = \varepsilon \times f_\lambda \times \sigma \times T^4 \quad (2)$$

$E_{0-\lambda}$ คือ พลังงานในการแผ่รังสีความร้อนตามความยาวคลื่นรังสี (W)

ε คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน

f_λ คือ ฟังก์ชันของการแผ่รังสี

σ คือ ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann 5.67×10^{-8} $(W/m^2 \cdot K^4)$

T คือ อุณหภูมิผิวของ micro combustor (K)

4.ประสิทธิภาพการแปลงผันพลังงาน (Conversion efficiency) ประสิทธิภาพการแปลงผันพลังงาน คือ อัตราส่วนการแปลงผันพลังงานไฟฟ้าต่อพลังงานจากเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าไปทั้งหมดดังสมการที่ 3

$$\eta_{system} = \frac{E_{electric}}{\dot{m}_{fuel} \times LHV_{fuel}} \quad (3)$$

$\dot{m}_{fuel}$ คือ อัตราการไหลของเชื้อเพลิง (kg/s)

LHV_{fuel} คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

5. แบบจำลองเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็ก

แบบจำลองเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็ก ศึกษาโดยใช้โปรแกรม ANSYS fluent เป็นโปรแกรมที่นำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรม โดยโปรแกรมมีความแม่นยำในการประมวลผล และมีเทคโนโลยีการวิเคราะห์ที่ทรงประสิทธิภาพ โดยโปรแกรมจะใช้การแก้ และทำนายการไหลบริเวณวัตถุที่สนใจ ซึ่งโปรแกรมจะทำการทำนายจากสมการพื้นฐาน และสมมติฐานแบบจำลองที่เกี่ยวข้องซึ่งประกอบไปด้วยแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน (turbulence model) แบบจำลองการแผ่รังสี (radiation model) และแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน k-epsilon

6. แบบจำลองเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็กต้นแบบ

แบบจำลองเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็กต้นแบบที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นแบบจำลองจากงานวิจัยของ Zuo *et al*. (2017) โดยเป็นแบบจำลองเครื่องเผาไหม้สองชั้นสี่ช่องจ่ายด้วยเชื้อเพลิงไฮโดรเจน

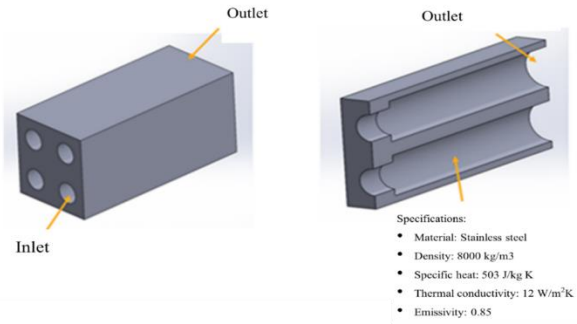
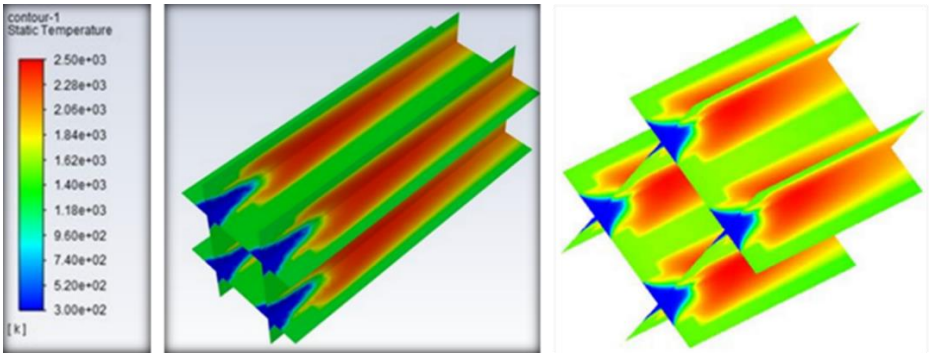


Figure 3 Micro combustor model (Zuo *et al*., 2017)



(a) (b)

Figure 4 Comparison between temperature distribution of a) Present study and b) Referenced model (Zuo *et al*., 2017)

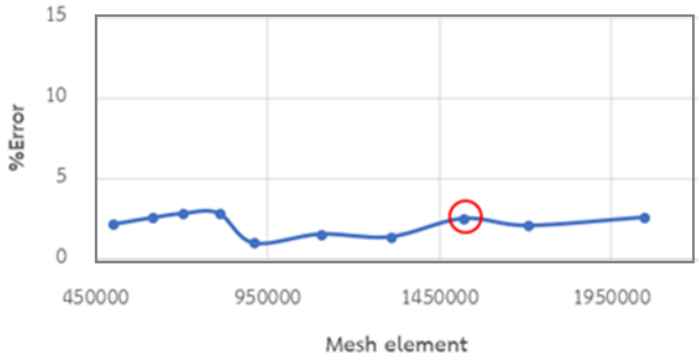


Figure 5 Mesh independent method for validated model

7. แบบจำลองเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็ก

การศึกษาแบบจำลองต้นแบบเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็กที่ใช้ในการพัฒนามาจากแบบจำลองเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็ก ชนิดสองชั้นสี่ช่องการเผาไหม้ (Zuo *et al*., 2017) ดังภาพที่ 3 ที่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม โดยคำนวณผ่านโปรแกรม ANSYS fluent 2020 R1 เทียบผลกับงานวิจัยของ Zuo *et al*. (2017) ที่อัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจน 1.8551×10^{-5} kg/s และที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 1.0 ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณผ่านโปรแกรมสามารถเก็บผลของอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวนอกได้เท่ากับ 1314.87 K มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยที่อ้างอิงของ Zuo *et al*. (2017) คือ 1373.98 K คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อน 4.0 % รวมไปถึงรูปแบบการกระจายของอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกันและยอมรับแบบจำลองเพื่อนำไปพัฒนาต่อได้ ดังภาพที่ 4 นอกจากนี้ยังใช้วิธี Mesh independent เพื่อให้การศึกษาแบบจำลองมีขอบเขตในการคำนวณเหมาะสมกับเวลาในการคำนวณโดยส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิผิวน้อยที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 5 ในการวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบรูปทรงเครื่องเผาไหม้และการนำไอเสียจากการเผาไหม้กลับมาใช้ใหม่โดยการสร้างอุปกรณ์ครอบเครื่องเผาขนาดเล็กปิดด้านท้ายรูปทรงกลมและทรงหกเหลี่ยม เพื่อศึกษาอิทธิพลของรูปทรงและการนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ เพิ่มอุณหภูมิผิวและพลังงานจากการแผ่รังสี โดยรูปแบบเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็กและอุปกรณ์นำไอเสียกลับมาใช้ใหม่ที่นำมาศึกษาได้แก่ รูปทรงหกเหลี่ยม และทรงกระบอก ดังภาพที่ 6 และภาพที่ 7 กรณีศึกษาแบบจำลองเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็กและการนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่แสดงในตารางที่ 1

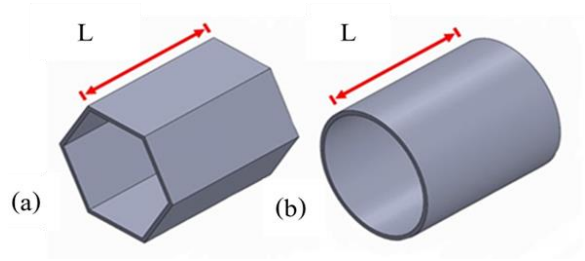


Figure 6 Micro combustor models a) Hexagonal geometry and b) Cylindrical geometry with length (L).

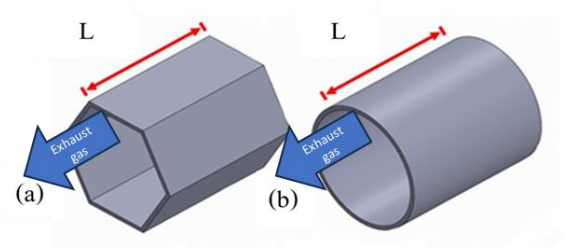


Figure 7 Air jacket models a) Hexagonal geometry and b) Cylindrical geometry with length (L)

Table 1 Micro combustor models with variation of geometry (Rectangular, Cylinder and Hexagon) and air jacket.

Case	Micro combustor/Air jacket model	Geometry
Referenced model (Zuo *et al*., 2017)	Rectangular micro combustor (RMC)	
1	Cylindrical micro combustor (CMC)	
2	Hexagonal micro combustor + Hexagonal Air jacket	
3	Hexagonal micro combustor + Hexagonal air jacket	
4	Hexagonal micro combustor + Cylindrical air jacket	
5	Cylindrical micro combustor + Cylindrical air jacket	
6	Cylindrical micro combustor + Hexagonal air jacket	

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การศึกษาแบบจำลองเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็กจากกรณีศึกษาทั้ง 6 กรณี แสดงผลการศึกษาอิทธิพลของรูปทรงเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็กและการนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่ต่อการกระจายอุณหภูมิผิว อุณหภูมิผิวเฉลี่ย และค่าพลังงานจากการแผ่รังสี ดังนี้

1. อิทธิพลของรูปทรงเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็ก

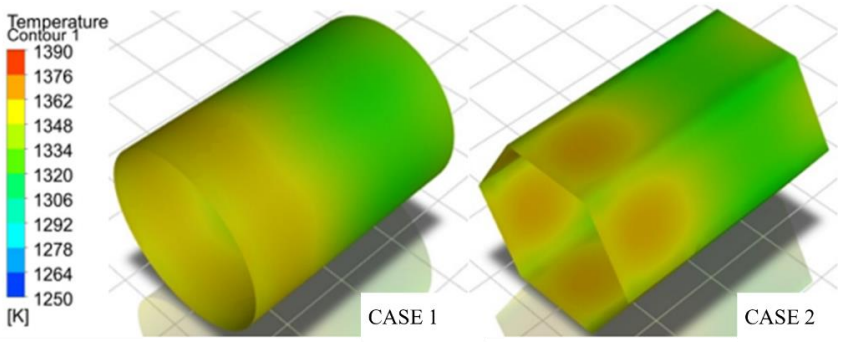


Figure 8 Temperature distribution on micro combustor model case 1 and 2.

จากผลการศึกษาเครื่องเผาไหม้ต้นแบบของ Zuo *et al*. (2017) ยังมีการกระจายตัวของอุณหภูมิที่บริเวณของมุมสี่เหลี่ยม และพลังงานในการถ่ายเทความร้อนค่อนข้างต่ำ หากพัฒนาสองส่วนนี้ได้คาดว่าจะส่งผลให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น จึงเพิ่มช่องการเผาไหม้จากเดิมมีสี่ช่องเป็นหกช่องการเผาไหม้ และเปลี่ยนรูปทรงเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็กเป็นหกเหลี่ยมและทรงกระบอก จากผลการศึกษาพบว่าผลของการคำนวณผ่านโปรแกรมพบว่าเมื่อทำการเพิ่มช่องการเผาไหม้ เครื่องเผาไหม้รูปทรงกระบอกและรูปทรงหกเหลี่ยมสามารถทำให้เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ดียิ่งขึ้นดังภาพที่ 8 และส่งผลให้อุณหภูมิผิวเฉลี่ยและค่าพลังงานจากการแผ่รังสีสูงขึ้นตามลำดับดังตารางที่ 2 โดยเครื่องเผาไหม้รูปทรงกระบอก และรูปทรงหกเหลี่ยมให้อุณหภูมิสูงสุดที่ 1337.58°C และ 1338.53°C ตามลำดับ รวมถึงพลังงานจากการแผ่รังสีสูงสุดที่ 10.29 วัตต์ และ 10.31 วัตต์ สูงกว่าต้นแบบ (Zuo *et al*., 2017) 12.4%

Table 2 Comparison of mean outer wall temperature between variations of micro combustor geometry (rectangular, cylinder and hexagon).

Micro combustor geometry	Mean outer wall temperature (K)	Emissive power (W)
Rectangular (Zuo *et al*., 2017)	1318.82	9.17
Cylinder	1337.58	10.29
Hexagon	1338.53	10.31

2. อิทธิพลของการนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่

การนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่เป็นเทคนิคที่คาดว่าจะช่วยให้เพิ่มอุณหภูมิอากาศและเชื้อเพลิงขาเข้าเครื่องเผาไหม้ให้สูงขึ้นและอุณหภูมิผิวสม่ำเสมอมาขึ้น จากกรณีศึกษาที่ 3-6 มีการกระจายอุณภูมิดีขึ้นสำหรับกรณีที่ 4 และ 5 ซึ่งใช้อุปกรณ์ครอบทรงกระบอกเพื่อนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่สำหรับเครื่องเผาไหม้ทรงกระบอกและทรงหกเหลี่ยมตามลำดับ นอกจากนี้ภาพที่ 8 แสดงอุณหภูมิผิวกรณีที่ 5 มีอุณหภูมิผิวเฉลี่ยสูงสุดที่ 1308.69 °C และตารางที่ 3 แสดง พลังงานจากการแผ่รังสีสูงสุดที่ 12.26 วัตต์ สูงกว่าต้นแบบ (Zuo *et al*., 2017) 33.7%

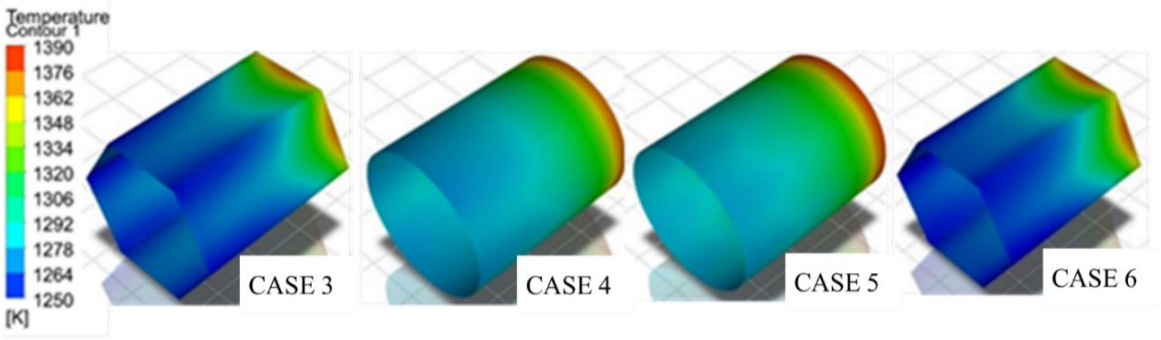


Figure 8 Temperature distribution on micro combustor model case 4, 5 and 6.

Table 3 Average flame temperature from micro combustor model case 3, 4, 5 and 6.

Case	Mean wall temperature (K)	Emissive power (W)
3	1289.49	11.57
4	1290.62	11.65
5	1308.69	12.26
6	1304.65	11.95

สรุป

การศึกษาแบบจำลองการเผาไหม้ก๊าซไฮโดรเจนสำหรับเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็ก (Micro combustor) เพื่อเพิ่มการแปลงผันพลังงานจากจากไฮโดรเจนเป็นพลังงานไฟฟ้า เพื่อเพิ่มอุณหภูมิผิวเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็กและพลังงานจากการแผ่รังสีเพื่อส่งผ่านไปยังอุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้า การศึกษาแบบจำลองต้นแบบเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็กที่ใช้ในการพัฒนามาจากแบบจำลองเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็กชนิดสองชั้นสี่ช่องการเผาไหม้ (Zuo *et al*., 2017) โดยคำนวณผ่านโปรแกรม ANSYS fluent 2020 R1 เทียบผลกับงานวิจัยของ Zuo *et al*. (2017) มีความคลาดเคลื่อน 4.0% ซึ่งสามารถยอมรับแบบจำลองเพื่อนำไปพัฒนาต่อได้ จากแบบจำลองดังกล่าว งานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบ ได้แก่ รูปทรงของเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็ก และอุปกรณ์นำไอเสียกลับมาใช้ (Exhaust Gas Recirculation, EGR) จากผลการศึกษาพบว่ารูปทรงหกเหลี่ยมและรูปทรงกระบอกส่งผลต่ออุณหภูมิผิวเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็กสูงกว่ารูปทรงสี่เหลี่ยมและพลังงานจากการแผ่รังสีสูงกว่าต้นแบบ นอกจากนี้ การเพิ่มอุปกรณ์นำไอเสียกลับมาใช้รูปแบบทรงกระบอก (Cylindrical EGR) และอุปกรณ์นำไอเสีย

กลับมาใช้รูปแบบทรงหกเหลี่ยม (Hexagonal EGR) ส่งผลให้มีอุณหภูมิผิวเครื่องเผาไหม้ขนาดเล็กสูงขึ้น และพลังงานจากการแผ่รังสีเพิ่มขึ้น จากผลการศึกษากรณีที่ 5 การออกแบบเครื่องเผาไหม้

ก๊าซไฮโดรเจนขนาดเล็กรูปทรงกระบอกร่วมกับอุปกรณ์เพื่อนำไอเสียกลับมาใช้รูปทรงกระบอก สามารถเพิ่มอุณหภูมิผิวและพลังงานจากการแผ่รังสีได้สูงที่สุดและสูงขึ้น 33.7% จากแบบจำลองต้นแบบ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณนายวันชาติ มโนหรทัต นายวรวิทย์ ปิ่นมังกร และนายปิยณัฐ บุญโอฬาร สำหรับการรวบรวมข้อมูล รวมถึงขอขอบคุณห้องวิจัยและปฏิบัติการพลังงานและการเผาไหม้ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับสถานที่เพื่อการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Aravind, B., Raghuram, G.K.S, Kishore, V.R. and Kumar, S. 2018. Compact design of planar stepped micro combustor for portable thermoelectric power generation. **Energy Conversion and Management** 156: 224-234.

Jejurkar, S. and Misha, D.P. 2009. A review of recent patents on micro-combustion and applications. **Recent Patents on Engineering** 3(3): 194-209.

Hua, J.S., Wu, M. and Kurichi, K.M. 2005. Numerical simulation of the combustion of hydrogen–air mixture in micro-scaled chambers Part II: CFD analysis for a micro-combustor. **Chemical Engineering Science** 60(13): 3507-3515.

Lei, Y., Wei, C. and Lei, J. 2016. Combustion and direct energy conversion inside a micro combustor. **Applied Thermal Engineering** 100: 348-355.

Pan, J.F., Wu, D., Liu, Y.X., Zhang, H.F., Tang, A.K. and Xue, H. 2015. Hydrogen/oxygen premixed combustion characteristics in micro porous media combustor. **Applied Energy** 160: 802-807.

Di Sarli, V., Trofa, M. and Di Benedetto, A. 2020. A Novel Catalytic Micro-Combustor Inspired by the Nasal Geometry of Reindeer: CFD Modeling and Simulation. **Catalyst** 10(6): 606.

Su, Y., Song, J., Chai, J., Cheng, Q., Luo, Z., Lou, C. and Fu, P. 2015. Numerical investigation of a novel micro combustor with double cavity for micro thermophotovoltaic system. **Energy Conversion and Management** 106: 173-180.

Su, Y., Cheng, Q., Song, J. and Si, M. 2016. Numerical study on a multiple-channel micro combustor for a micro-thermophotovoltaic system. **Energy Conversion and Management** 120: 197-205.

Wan, J. and Fan, A. 2015. Effect of solid material on the blow-off limit of CH_4/air flames in a micro combustor with a plate flame holder and preheating channel. **Energy Conversion and Management** 101: 552-560.

Wan, J., Fan, A., Yao, H. and Wei, L. 2015. Effect of thermal conductivity of solid wall on combustion efficiency of a micro – combustor

with cavities. **Energy Conversion and Management** 96: 605-612.

Yang, W.M., Chou, S.K., Chua, K.J., Li, J. and Zhao, X. 2011. Research on modular micro combustor – radiator with and without porous media. **Chemical Engineering Journal** 168(2): 799-802.

Zuo, W., Jiaqiang E., Han, D. and Jin, Y. 2017. Numerical investigations on thermal performance of double-layer four-channel micro combustors for micro-thermophotovoltaic system. **Energy Conversion and Management** 150: 343-355.