

การพัฒนาเตาฟืนประสิทธิภาพสูงบนพื้นฐานการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค CFD

ราชันย์ วงษ์ทวี และ ไทยทัศน์ สุดสวนสี*

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: thaithat.su@ksu.ac.th

วันที่รับบทความ: 24 พฤษภาคม 2565; วันที่ทบทวนบทความ: 24 สิงหาคม 2565; วันที่ตอบรับบทความ: 29 สิงหาคม 2565

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 18 ธันวาคม 2565

บทคัดย่อ: ในประเทศไทยเตาฟืนเป็นที่นิยมใช้สำหรับการหุงต้มในครัวเรือนตามแหล่งชุมชน เนื่องจากฟืนเป็นวัสดุที่หาง่ายและมีความยั่งยืนในการทำเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเตาขนาดเล็ก ปัญหาหลักของเตาฟืนที่พบบ่อยคือมีการให้พลังงานความร้อนต่ำ ใช้เวลาในการหุงต้มนาน ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ และยังก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศได้แก่ควันไฟที่เกิดจากการเผาไหม้มีปริมาณที่สูง ดังนั้น งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อทำการปรับปรุงและพัฒนาเตาฟืนแบบดั้งเดิมให้มีค่าความร้อนเพิ่มสูงขึ้น โดยมีขั้นตอนของการดำเนินการวิจัยประกอบด้วยการศึกษากระบวนการของการเผาไหม้ ปฏิบัติการการเผาไหม้ และการแลกเปลี่ยนความร้อนของฟืน การออกแบบพัฒนาเตาฟืนให้มีการไหลของอากาศที่ดีขึ้นช่วยให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และการจำลองด้วยเทคนิค CFD (Computational Fluid Dynamics) เพื่อศึกษาผลของการไหลของอากาศและผลของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ ผลการศึกษาพบว่าเตาที่พัฒนาใหม่นี้มีความเสถียรทางด้านความร้อนจากฟืน ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางการให้ความร้อนที่สูงขึ้น โดยมีค่ากำลังงานความร้อนที่ใช้ต้มน้ำและมีประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น 106% และ 8.7% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเตาฟืนแบบดั้งเดิม

คำสำคัญ: เตาฟืน; CFD; การเผาไหม้

High-efficiency Wood Stove Development Based on CFD Analysis

Rachan Vongtavee and Thaitat Sudsuansee*

Division of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University

* Corresponding author, E-mail: thaitat.su@ksu.ac.th

Received: 24 May 2022; Revised: 24 August 2022; Accepted: 29 August 2022

Online Published: 18 December 2022

Abstract: According to community sources, firewood stoves are still widely used in households in Thailand for cooking because it is a convenient and sustainable fuel source for small stoves. The firewood stoves' primary problem is poor heating capacity, which makes the cooking take a long time, uses a lot of fuel, and produces a lot of air pollution, including smoke from combustion. Increasing the efficiency of the stoves is the objective of this research. The focus is on the heat exchange and combustion processes to enhance the firewood stove. The development of the new firewood stove uses the simulation based on CFD (Computational Fluid Dynamics) techniques to investigate the effects of airflow and temperature rise on combustion chambers to promote complete combustion. The comparison between a conventional stove and a newly-developed one is that it provides higher heating power and heating efficiency of 106% and 8.7% respectively.

Keywords: wood stove; CFD; combustion



1. บทนำ

การเผาไหม้ของฟืนเป็นหนึ่งในแหล่งพลังงานที่สำคัญและได้รับความนิยมมากในครัวเรือนโดยเฉพาะชุมชนชนบท เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่หาง่ายและพบได้ทั่วไป จึงมีงานวิจัยที่พยายามนำการศึกษาและนำไปใช้ประโยชน์โดยมีจุดมุ่งหมาย เพื่อลดการปล่อยมลพิษ ทั้งนี้เนื่องจากการเผาไหม้ของวัสดุชีวมวลที่มีประสิทธิภาพจะทำให้มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่เท่ากับการดูดซับของพืชจากกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งทำให้เกิดภาวะโลกร้อนขึ้น

การออกแบบและพัฒนาเตาฟืนมีประเด็นในการพิจารณาหลายอย่างเช่นทางด้านเศรษฐกิจ, สิ่งแวดล้อม และโดยเฉพาะประเด็นที่จูงใจให้มีความพยายามในการพัฒนาเตาฟืนคือด้านสุขภาพ [1,2] มหาวิทยาลัย Sokoine ประเทศแทนซาเนีย ได้พัฒนาเตาที่สร้างขึ้นโดยใช้วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่นเป็นเชื้อเพลิง โดยสามารถประหยัดค่าเชื้อเพลิงได้ 30% [3,4] ข้อเสียที่สำคัญของเตาคือมันให้ความร้อนไม่เพียงพอ [4] โครงการ Kenya Ceramic Jiko (KCJ) เป็นโครงการที่ประสบความสำเร็จในการพัฒนาเตาในภูมิภาคแอฟริกาตะวันออก [5] ซึ่งรายงานว่าสามารถผลิตความร้อนที่ใช้ในการหุงต้มได้ประมาณ 25-40% ของความร้อนจากเชื้อเพลิง เพิ่มขึ้นจากเดิมที่เกิดขึ้นได้เพียง 5-10% เท่านั้นจากเปลวไฟสู่ม้อหุงต้ม George [6] ค้นพบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาโคลนแบบดั้งเดิม ซึ่งเป็นเตาหนักรูปถ้วยทรงเรียวยาวสำหรับหม้อหุงต้มด้วยดินเหนียวที่หาได้ในท้องถิ่นและเคลือบด้วยส่วนผสมของดินเหนียวมูลวัว โดยมีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ย 17.9% เตา Angethi ใช้สำหรับ

ถ่านอัดแท่งและถ่านอัดแท่ง และทำด้วยถังเหล็กอบสังกะสี โคลน/คอนกรีต และตะแกรง มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 17.5% ซึ่งเทียบได้กับ (15.3%) งานวิจัยของ Wazir [7]

เตาฟืนมีการพัฒนาและปรับปรุงวิธีการมาอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่การลองผิดลองถูกหรือใช้หลักการออกแบบซ้ำๆ ไปจนถึงการใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ซับซ้อนมากขึ้น รวมถึงการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาช่วย เช่น การวิเคราะห์องค์ประกอบของไฟไนต์และพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ [8] วิธีการของการประเมินสมรรถนะของเชื้อเพลิง/เตาแบบผสมผสานได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง [9] การพัฒนาวิธีการทดสอบประสิทธิภาพของเตา [8] สำหรับในประเทศไทย เตาผลิตก๊าซชีวมวลที่ได้รับความนิยมคือเตาผลิตก๊าซชีวมวลชนิดไหลขึ้นหรือเตาชีวมวลทรงกระบอกซึ่งได้รับการออกแบบและพัฒนาโดย มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี [10] ซึ่งเป็นต้นแบบสำหรับการพัฒนาของงานวิจัยครั้งนี้

มีงานวิจัยที่นำเทคนิค CFD มาช่วยในการวิเคราะห์การไหลของเชื้อเพลิงและอากาศที่ถูกเผาไหม้ภายในเตาอยู่หลายงาน Koraiem et al [11] ได้ทำการอธิบายแบบจำลองของการเผาไหม้ในเตาฟืน Ali et al [12] ได้นำเทคนิค CFD มาช่วยในการพัฒนาเตาชีวมวลในด้านการลดมลพิษและปรับปรุงการถ่ายโอนความร้อน Kantová et al. [13] ทำการจำลองการไหลด้วย CFD มาช่วยในการปรับปรุงทางไหลเข้าของอากาศกับเชื้อเพลิงชีวมวลแบบพาร์ทิเคิลในเตาเผา และ Hailu [14] ทำการพัฒนาเตาจรวด (Rocket Stove) โดยใช้เทคนิค CFD มาช่วยในการปรับปรุงด้านการบริโภคพลังงาน



วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือพัฒนาเตาเผาโดยใช้เทคนิค CFD มาช่วยในการวิเคราะห์การไหล เพื่อให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพและให้ค่าความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้น โดยอยู่บนพื้นฐานของการออกแบบที่ทำให้ผู้ใช้มีความสะดวกและมีต้นทุนต่ำในการผลิตเพื่อนำไปใช้ในครัวเรือนและชุมชน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปฏิิกิริยาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวล [10]

ชีวมวลมีสภาพเป็นของแข็ง ส่วนประกอบหลักเป็นคาร์บอน กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลโดยความร้อนทำการเปลี่ยนรูปชีวมวลจากของแข็งให้กลายเป็นก๊าซชีวมวล มีส่วนประกอบหลักคือก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซมีเทน โดยอาศัยออกซิเจน (O_2) หรือ ไอน้ำ (H_2O) เป็นตัวออกซิไดซ์ในการเกิดปฏิกิริยา กระบวนการผลิตก๊าซชีวมวลสามารถจำแนกออกเป็นโซนของการทำปฏิกิริยาดังต่อไปนี้

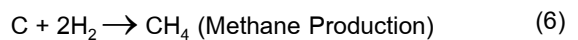
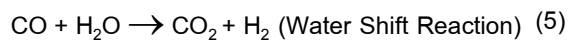
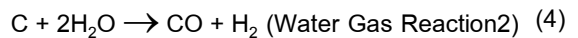
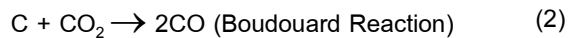
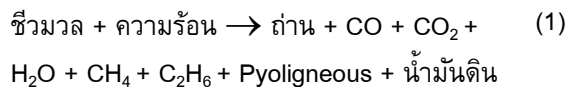
1. โซนการอบแห้ง (Drying Zone) โซนนี้ใช้อุณหภูมิประมาณ $100-200^{\circ}C$ สำหรับทำให้ความชื้นในเชื้อเพลิงชีวมวลเกิดการระเหยเป็นไอน้ำ ซึ่งทำให้เชื้อเพลิงแห้ง โดยในโซนนี้สารระเหยยังไม่เกิดการสลายตัวเนื่องจากอุณหภูมิต่ำเกินไป

2. โซนการกลั่นสลาย (Pyrolysis Zone) โซนนี้มีอุณหภูมิ $200 - 500^{\circ}C$ สามารถสลายสารอินทรีย์ในเชื้อเพลิงโดยสารอินทรีย์ที่ได้ ประกอบด้วย เมทานอล กรดน้ำส้ม น้ำมันดิน และสารที่มีสภาพเป็นของแข็ง คือ คาร์บอนในรูปของถ่าน ดังปฏิกิริยาในสมการที่ (1)

3. โซนรีดักชัน (Reduction Zone) อุณหภูมิโซนนี้อยู่ที่ $500 - 900^{\circ}C$ สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยา

ลดความร้อน (Reduction Reaction) คือการทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำทำปฏิกิริยาการเผาไหม้กับถ่านคาร์บอนเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแบ่งเป็น 5 ประเภทดังสมการที่ (2) – (6)

4. โซนการเผาไหม้ (Combustion Zone) โซนสำหรับการเผาไหม้และนำความร้อนที่ได้ไปใช้ประโยชน์ อาจเรียกว่าเป็นโซนออกซิเดชัน (Oxidation Zone) ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยากันระหว่างก๊าซออกซิเจนในอากาศและคาร์บอนกับไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง โดยสมการปฏิกิริยาที่ได้สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (7) และ (8)

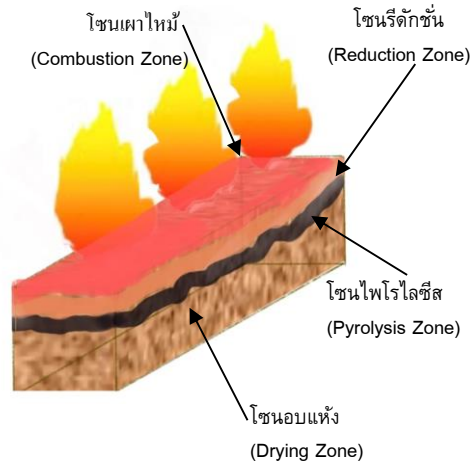


2.2 การเผาไหม้ของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล [10]

ลักษณะการเผาไหม้ของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลในระยะแรกจะเป็นการเผาไหม้บริเวณผิวของแท่งเชื้อเพลิง เป็นลักษณะการเผาไหม้แบบตรง (Direct Combustion) จนกระทั่งผ่านไปช่วงเวลาหนึ่ง อุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ $1,000-1,200$ องศาเซลเซียส จะเกิดกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) ใน



แห้งเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 1 โดยบริเวณด้านนอกเป็นโซนการเผาไหม้ ถัดเข้าไปเป็นโซนรีดักชัน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโซนนี้เป็นก๊าซ CO, H₂ และ CH₄ ในโซนถัดไป ความร้อนที่เหลือจากกระบวนการรีดักชันผลทำให้ อุณหภูมิลดลงอยู่ในโซนไพโรไลซิสซึ่งเป็นโซนที่ทำให้ไม้กลายเป็นถ่าน (คาร์บอน) และโซนในสุดเป็นโซนอบแห้งอุณหภูมิที่เกิดจากความร้อนที่เหลือจากกระบวนการไพโรไลซิส เป็นโซนที่ทำให้ชีวมวลแห้ง โดยการระเหยไอน้ำออก



2.3 สมการสำหรับการเผาไหม้

2.3.1 สัดส่วนของผสม (Mixture Fraction)

งานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองของการเผาไหม้แบบ Non-premixed [15] ซึ่งสถานะของของไหลในสมการจะสัมพันธ์กับตัวแปรเชิงสเกลาร์ที่กำหนดเรียกว่า สัดส่วนของผสม (Mixture Fraction, f) สามารถเขียนในรูปของสัดส่วนมวลของแต่ละองค์ประกอบดังสมการที่ (9)

$$f = \frac{Z_i - Z_{i,ox}}{Z_{i,fuel} - Z_{i,ox}} \quad (9)$$

เมื่อ Z_i คือสัดส่วนมวลของสารประกอบตัวที่ i และ ox หมายถึงค่าของตัวทำออกซิไดซ์ (oxidizer) ที่สภาวะทางเข้า และ $Fuel$ หมายถึงค่าของเชื้อเพลิงที่สภาวะทางเข้า

2.3.2 สมการการถ่ายโอน (Transport Equation)

สมการถ่ายโอนของสัดส่วนของผสมสามารถพิจารณาได้จากสมการสัดส่วนของผสม ความหนาแน่นเฉลี่ย Favre, (Favre Mean (Density-Averaged) Mixture Fraction Equation) ดังสมการที่ (10) และ (11)

รูปที่ 1 โซนการเผาไหม้ของฟืน

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{f}) + \nabla \cdot (\rho \bar{v} \bar{f}) = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_t}{\sigma_f} \nabla \bar{f} \right) \quad (10)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \overline{f'^2}) + \nabla \cdot (\rho \bar{v} \overline{f'^2}) = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_t}{\sigma_f} \nabla \overline{f'^2} \right) + C_g \mu_t (\nabla \bar{f})^2 - C_d \rho \frac{\varepsilon}{k} \overline{f'^2} \quad (11)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของผสม

\bar{v} คือ เวกเตอร์ความเร็วของผสม

μ_t คือ Turbulent Viscosity

σ_f คือ Turbulent Prandtl/Schmidt Number

\bar{f} คือ Favre Mean (density-averaged)

mixture fraction และ $f' = f - \bar{f}$

$\overline{f'^2}$ คือ Mixture Fraction Variance

C_g, C_d คือค่าคงที่ มีค่า 2.86 และ 2.0

ตามลำดับ (ค่าได้จาก Jones et al., [16])

ε คือ Turbulence Dissipation Rate

k คือ Turbulence Kinetic Energy



2.3.3 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนของผสมชั่วขณะ

สัดส่วนของผสมชั่วขณะ (Instantaneous Mixture Fraction, F) กับ สัดส่วนโดยมวลของสารประกอบ, ความหนาแน่นและอุณหภูมิสำหรับในระบบที่เป็นแบบ แอเดียแบติก (Adiabatic) และมีสัดส่วนของผสมชนิดเดียว ค่าที่เกิดขึ้นชั่วขณะ (Instantaneous Values) ของ สัดส่วน มวล, ความหนาแน่น และอุณหภูมิขึ้นอยู่กับหรือเป็นฟังก์ชันกับสัดส่วนของผสมชั่วขณะ, F เพียงอย่างเดียว ดังสมการที่ (12)

$$\phi_i = \phi_i(f) \quad (12)$$

เมื่อ ϕ_i คือค่าที่เกิดขึ้นชั่วขณะ และตัวห้อย

i คือสัดส่วนมวล, ความหนาแน่น และอุณหภูมิ

2.3.4 การหาค่าปริมาณสสารเฉลี่ยจาก สัดส่วนของผสมชั่วขณะ

ค่าความหนาแน่น, สัดส่วนมวลเฉลี่ยโดยน้ำหนักของสารประกอบ และค่าอุณหภูมิ (เป็นระบบแบบ แอเดียแบติก) สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ ดังสมการที่ (13)

$$\bar{\phi}_i = \int_0^1 p(f) \phi_i(f) df \quad (13)$$

โดย $p(f)$ คือฟังก์ชันความหนาแน่นแบบสุ่ม (Probability Density Function, PDF) [15] ซึ่งเป็นฟังก์ชันของค่าสัดส่วนของผสมเฉลี่ย \bar{f} , กับค่าความแปรปรวนของมัน \bar{f}'^2 โดยในงานวิจัยนี้ใช้ฟังก์ชันแบบ β -function PDF [15] ดังความสัมพันธ์ในสมการที่ (14) - (16)

$$p(f) = \frac{f^{\alpha-1} (1-f)^{\beta-1}}{\int f^{\alpha-1} (1-f)^{\beta-1} df} \quad (14)$$

ซึ่ง

$$\alpha = \bar{f} \left[\frac{\bar{f}(1-\bar{f})}{\bar{f}'^2} - 1 \right] \quad (15)$$

และ

$$\beta = (1-\bar{f}) \left[\frac{\bar{f}(1-\bar{f})}{\bar{f}'^2} - 1 \right] \quad (16)$$

3. ระเบียบวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การออกแบบเตาฟืน

3.1.1 เตาฟืนแบบดั้งเดิม

จากการลงพื้นที่สำรวจข้อมูลของกลุ่มทอผ้าพื้นเมืองสีธรรมชาติบ้านดงน้อย ตำบลห้วยโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ พบปัญหาชาวบ้านใช้เตาอังโล่ทำจากวัสดุปูนซีเมนต์ ดังรูปที่ 2 มาต้มน้ำย้อมสีผ้าฝ้ายจากวัสดุธรรมชาติ ซึ่งเตาอายุการใช้งานน้อยประมาณ 1 เดือน มีการแตกร้าวชำรุด ผุพัง เนื่องจากต้องใช้เวลาดต้มน้ำเพื่อให้ได้สีจากเปลือกไม้ที่เข้มข้นใช้เวลาในการต้มเคี่ยวสีจากเปลือกไม้ นานประมาณ 3-4 ชั่วโมง ในแต่ละครั้ง อุณหภูมิความร้อนของน้ำจากการใช้เตาอังโล่เฉลี่ยประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เพื่อให้ได้อุณหภูมิน้ำย้อมที่สูง ชาวบ้านจำเป็นต้องใช้ไม้พื้นขนาดใหญ่ซึ่งต้องตัดจากป่าไม้ในชุมชนของบ้านดงน้อย เป็นการตัดไม้ทำลายป่าทำลายระบบนิเวศของชุมชน

จากปัญหาดังกล่าว นักวิจัยจึงได้พัฒนาเตาฟืนประสิทธิภาพสูง สามารถใช้เชื้อเพลิงขนาดเล็กหาได้ง่าย



แต่ได้อุณหภูมิความร้อนของน้ำใช้เวลาต้มประมาณ 1-2 ชั่วโมง ในการต้มเคียวสี และมีความเหมาะสม สำหรับการต้มน้ำ 80-90 องศาเซลเซียส ย้อมผ้าฝ้าย จากสีธรรมชาติโดยใช้ไม้พินขนาดเล็กที่สามารถหาได้ง่าย เช่น กิ่งแห้งของไม้ยางพารา เหง้ามันสำปะหลังที่เหลือทิ้ง กิ่งไม้ไผ่และต้นกระถิน เพื่อทดแทนการตัดไม้ขนาดใหญ่จากป่าของชุมชนลงน้อยมาทำพิน



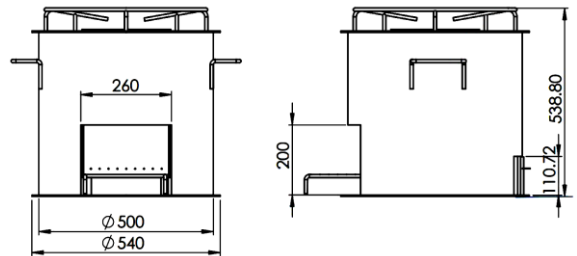
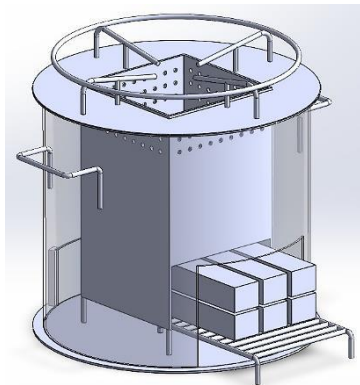
รูปที่ 2 เตาแบบดั้งเดิม

3.1.2 เตาพินที่พัฒนาใหม่

งานวิจัยบางงานมีการนำเอาเทคนิคของ CFD มาช่วยในการออกแบบเตานั้น [11–14] ซึ่งข้อดีคือสามารถทำนายการไหลของอากาศและอุณหภูมิการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ได้ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้นำเทคนิค CFD มาช่วยในการปรับปรุงเตาพินในครั้งนี้ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศที่ไหลผ่านช่องรูเจาะที่ได้ออกแบบไว้ และดูผลของอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้และที่ทางออกของห้องเผาไหม้ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ถูกนำไปใช้งานในการหุงต้มอาหาร

เตาพินที่พัฒนาใหม่ถูกปรับปรุงให้ดีกว่าเตาพินแบบดั้งเดิมในด้านของการให้ความร้อนที่สูงกว่า และใช้ปริมาณเชื้อเพลิงพินที่น้อยกว่าเดิม โดยมีหลักการในการออกแบบคือทำให้การเผาไหม้ภายในเตามีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ด้วยการทำให้มีอากาศส่วนหนึ่งมาช่วยในการเผาไหม้ในบริเวณทางออกของห้องเผาไหม้เรียกว่า อากาศส่วนที่สอง ซึ่งอากาศส่วนนี้ทำหน้าที่เพิ่มปริมาณออกซิเจนในการเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงเพื่อให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

เตาถูกออกแบบให้มีรูปทรงมีหน้าตัดเป็นรูปทรงกระบอก ดังรูปที่ 3 ด้านนอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.54 ม. x สูง 0.538 ม. ด้านในมีห้องเผาไหม้หน้าตัดเป็นทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดความกว้าง 0.26 ม. x สูง 0.5 ม.

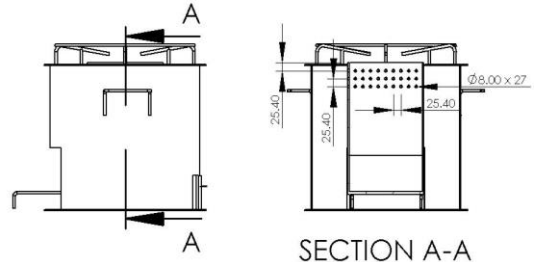


รูปที่ 3 แบบของเตาพินที่พัฒนาใหม่

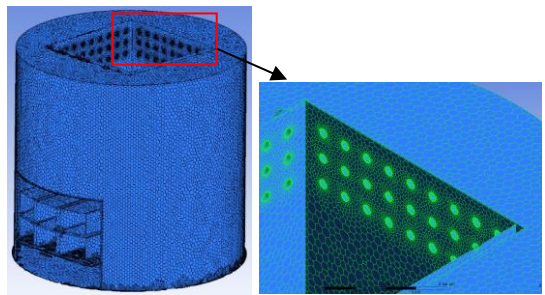
อยู่ตรงกึ่งกลางของเตา วัสดุที่ใช้ทำเตาเป็นแผ่นเหล็กบางมีความหนา 3 มม. ฐานสำหรับวางเชื้อเพลิงอยู่ด้านล่างของเตาและมีช่องสำหรับใส่พินเข้าไปในห้องเผาไหม้อยู่ด้านข้าง ในช่องนี้ยังสามารถให้อากาศจากภายนอกเข้าไปในห้องเผาไหม้ได้



นอกจากนี้ ยังมีช่องบานเลื่อนสำหรับนำเชื้อเพลิง ออกอยู่ทางด้านตรงข้ามกับช่องใส่ฟืน ด้านบนของเตา ประกอบด้วยฐานรองสำหรับวางหม้อต้ม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องเผาไหม้มีขนาดเล็กกว่า ฐานรองหม้อหรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหม้อที่เล็กที่สุดที่ใช้กับเตานี้ ทั้งนี้เพราะต้องการให้ปริมาณ ความร้อนสูงสุดถูกส่งผ่านไปยังกันหม้อ ระยะห่าง ระหว่างฐานรองเชื้อเพลิงและฐานรองหม้อถูกเลือกให้ มีระยะที่พอดีกับเปลวไฟ ที่ห้องเผาไหม้ถูกเจาะรู ด้านข้างไว้เพื่อให้อากาศที่เข้ามาภายในเตาส่วนหนึ่ง ถูกส่งผ่านรูที่เจาะไว้ทางด้านบนของห้องเผาไหม้เพื่อ ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้นดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตำแหน่งของรูเจาะในห้องเผาไหม้



รูปที่ 5 กริดของโดเมนการไหลในเตาฟืน

3.2 การจำลองการเผาไหม้ด้วย CFD

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบเตาฟืนที่ใช้ในครัวเรือน ห้องเผาไหม้สามารถใส่ฟืนได้ประมาณ 5 kg มีรอบการ ใช้งานประมาณ 80 นาที เตาฟืนมีการใช้อากาศอยู่ 2 ส่วน ประกอบด้วย อากาศส่วนแรกสำหรับติดไฟ (Primary Air) และ อากาศส่วนที่สอง (Secondary Air) อากาศส่วนแรกคืออากาศที่ไหลเข้าทางช่องใส่ฟืน ด้านล่างของเตาและไหลออกด้านบนห้องเผาไหม้ และ อากาศส่วนที่สองคืออากาศที่ไหลผ่านฟืนแล้วไหลขึ้นไปด้านข้างของเตาและไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ด้านบน ผ่านรูที่เจาะไว้ โปรแกรมที่ใช้คำนวณการเผาไหม้คือ ANSYS Fluent แบบจำลองที่ใช้เป็นแบบ 3 มิติ โดยการคำนวณเป็นแบบสถานะคงตัว (Steady State)

3.2.1 การทำกริด (Grid) ที่เหมาะสมในการจำลอง

การทำกริดในเบื้องต้นได้ใช้วิธีสร้างกริดแบบสามเหลี่ยม (Tetrahedral) โดยเน้นโซนที่มีการเปลี่ยนแปลงการไหลสูงโดยเฉพาะในห้องเผาไหม้

บริเวณรูที่เจาะไว้ด้านบนของห้องเผาไหม้จะมีความหนาแน่นของกริดสูงกว่าบริเวณอื่น หลังจากการสร้างกริดแบบ Tetrahedral Mesh แล้วจึงนำไปแปลงเป็นกริดแบบ Polyhedral โดยผ่านโปรแกรม ANSYS Fluent [15] ดังรูปที่ 5 มีจำนวนของเซลล์ เท่ากับ 778,881 Polyhedral Cells และจำนวน Node เท่ากับ 3,619,589 Node ข้อดีของกริดแบบ Polyhedral คือมีความถูกต้อง, ความเสถียรและความเร็วในการคำนวณสูงกว่ากริดแบบ Tetrahedral [17-18]

3.2.2 การจำลองการเผาไหม้

การจำลองการไหล CFD ใช้แบบจำลองการไหลแบบเทอร์บีวเลนต์ k-epsilon [19] และแบบจำลองการเผาไหม้เป็นแบบ PDF Non-Premixed Combustion Model [15] เนื่องจากมีปัจจัย



ที่มีผลกระทบต่อหลายอย่างในกระบวนการเผาไหม้ และเพื่อสะท้อนให้ได้กระบวนการเผาไหม้ที่เสมือนจริง ในการทำแบบจำลองจึงทำสมมติฐานให้ง่ายต่อการคำนวณ ดังนี้

- (1) ระหว่างการเผาไหม้ แก๊สเผาไหม้เป็นแบบแก๊สอุดมคติ ไม่คิดผลการขยายตัวทางความร้อนของอากาศ และไม่คิดปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างองค์ประกอบของแก๊ส
- (2) ผิวของผนังห้องเผาไหม้เป็นแบบอเดียแบติกที่อุณหภูมิคงที่ ไม่สิ้นไถล อุณหภูมิของอากาศเข้าห้องเผาไหม้มีค่าคงที่ และทั้งอุณหภูมิผนังและอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าเป็น 293 K
- (3) กระบวนการเผาไหม้เป็นแบบเผาไหม้ด้วยอากาศและก๊าซเชื้อเพลิงส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน CH₄ และ CO
- (4) ก่อนการเผาไหม้ อากาศที่ไหลภายในมีสถานะคงตัว และพารามิเตอร์ของของไหลมีค่าคงที่

การจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นกระบวนการคำนวณแบบคงตัว (Steady) งานวิจัยของ Ayo [20] อากาศมีอัตราเชิงปริมาตรที่ทางเข้าเท่ากับ $1.5691 \times 10^{-2} \text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ซึ่งในงานวิจัยของ Ayo นี้ได้ทำการทดลองโดยควบคุมอัตราการไหลเชิงปริมาตรที่ทางเข้าโดยการทดลองในห้องทดลองซึ่งเหมือนกับการทดลองของงานวิจัยนี้ ซึ่งไม่มีการเพิ่มปริมาณลมหรือเครื่องเป่าลมเข้าไปยังห้องเผาไหม้ เพราะจะทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ของฟืน ดังนั้นอากาศที่เข้าไปยังห้องเผาไหม้จะเป็นอากาศที่ไหลเข้าเองโดยธรรมชาติ เนื่องจากอุณหภูมิและความดันของ

อากาศในห้องเผาไหม้กับอากาศจากภายนอกมีความแตกต่างกัน จึงทำให้อากาศร้อนในห้องเผาไหม้เกิดการไหลออกจากห้องเผาไหม้ทางด้านบนของเตา ในขณะที่เดียวกันอากาศจากภายนอกจะถูกดูดเข้ามาในห้องเผาไหม้โดยมีอัตราการไหลเข้าเท่ากับอัตราการไหลออกและอัตราการเผาไหม้เชิงมวลของแท่งเชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับ 2.4913gs^{-1} แท่งฟืนเชื้อเพลิงมีส่วนประกอบเชิงมวลดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบเชิงมวลของแท่งฟืนเชื้อเพลิง [10]

| C | H | O | N | S |
|-------|------|-------|------|--------|
| 51.8% | 5.7% | 40.9% | 0.1% | <0.01% |

นอกจากนี้ ในการจำลองการไหลในงานวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดสภาวะเริ่มต้น (Initial Condition) ในการไหลมีสภาวะที่ความดันในเตาเริ่มต้นที่ 1 atm และมีอุณหภูมิเริ่มต้นอยู่ที่ 27 °C

3.3 การทดลองวัดค่า

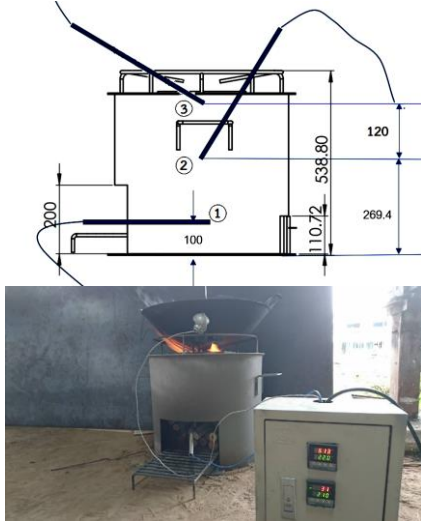
3.3.1 ฟืนที่ใช้ในการทดลอง

ฟืนที่ใช้ในการทดลองเป็นฟืนที่มาจากไม้ยางพารา ให้ค่าพลังงานความร้อนอยู่ที่ 6.57 MJ/kg [21] เป็นฟืนที่มีความชื้นต่ำเนื่องจากผ่านการตากแห้งเป็นเวลา 14 วัน มีความชื้นประมาณร้อยละ 12 มีความหนาแน่นประมาณ 0.7 ถึง 0.74 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยขนาดของฟืนอยู่ที่ประมาณ 2 นิ้ว ความยาวประมาณ 1 ฟุต ในการป้อนเชื้อเพลิงจะป้อนเข้าทางด้านหน้าของเตาฟืน ปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงในแต่ละการทดลองอยู่ที่ประมาณ 3 กก.



3.3.2 การวัดอุณหภูมิในห้องเผาไหม้

ทำการทดลองวัดค่าเตาพินต้นแบบที่ได้ถูกผลิตขึ้นโดยทำการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิลชนิด Type K ทำการวัดอุณหภูมิที่ห้องเผาไหม้ 3 จุด ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การทดลองวัดอุณหภูมิของห้องเผาไหม้เตาพิน

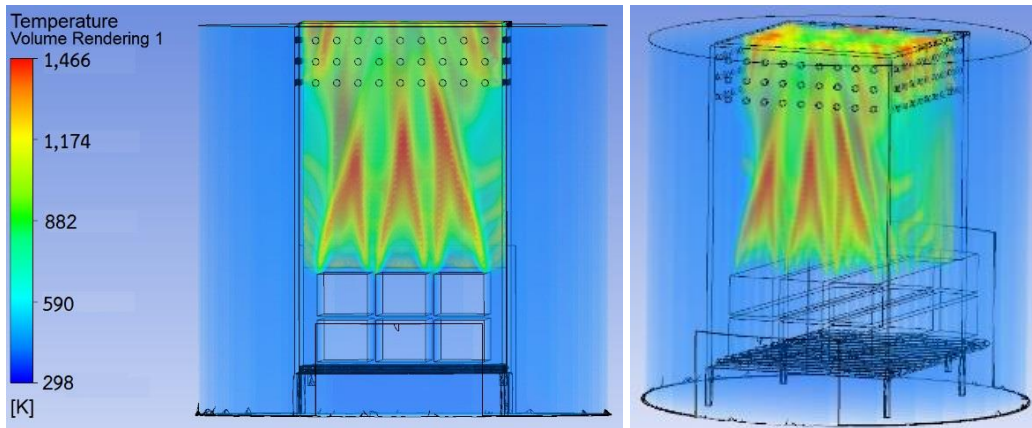
4. ผลการทดลอง

เตาพินถูกพัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของการจำลองการเผาไหม้ด้วยโปรแกรม CFD ในรูปที่ 7 แสดงถึงผลการจำลองโดยใช้การทำ Volume Rendering ของอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ โดยจะสามารถเห็นลักษณะของเปลวไฟที่ออกมาจากเชื้อเพลิงพินที่อยู่ด้านล่างของห้องเผาไหม้ บริเวณที่เป็นสีอ่อนเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ส่วนบริเวณที่เป็นสีแดงเข้ม หมายถึงบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งหมายถึงบริเวณที่มีเปลวไฟ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดที่บริเวณทางออกของห้องเผาไหม้อยู่ที่ประมาณ 800 องศาเซลเซียส ซึ่ง

ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในรูปที่ 7 นี้เกิดจากเชื้อเพลิงพินถูกให้ความร้อนจนถึงโซนของการเผาไหม้ (Combustion Zone) เกิดก๊าซเชื้อเพลิงออกมาจากพินและเผาไหม้กับอากาศที่เข้ามาผสมและเกิดเป็นเปลวไฟขึ้นในห้องเผาไหม้

ในรูปที่ 8 แสดงปรากฏการณ์ของการเผาไหม้แบบสองขั้นตอน ซึ่งจะเห็นว่าเปลวไฟที่ได้จากก๊าซเชื้อเพลิงของพินที่มาจากด้านล่างของห้องเผาไหม้ถูกผสมกับอากาศส่วนแรกที่เข้ามาจากทางเข้าของเตาพิน ทำให้พินติดไฟ ซึ่งในส่วนนี้จะมีระยะความสูงของเปลวไฟไม่ถึงปากปล่องของห้องเผาไหม้เนื่องจากการผสมกันที่ยังไม่สมบูรณ์ของอากาศกับเชื้อเพลิง จึงต้องอาศัยอากาศส่วนที่สองที่มาจากช่องที่เจาะรูไว้ด้านบนเพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ทางออกของห้องเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

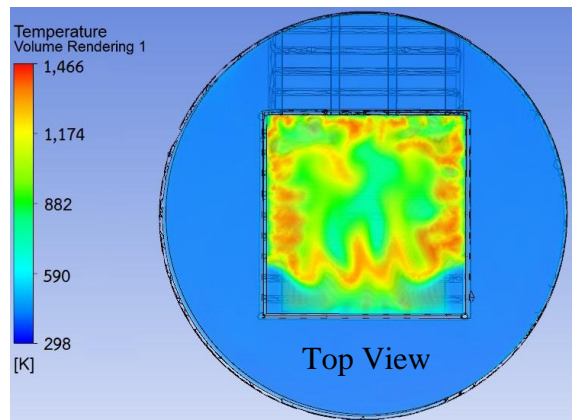
ในรูปที่ 9 เป็นการแสดงภาพคอนทัวร์ของอุณหภูมิ (Temperature Contour) ที่บริเวณหน้าต่างภายในห้องเผาไหม้ จะเห็นได้ว่าเปลวไฟที่เกิดจากอากาศส่วนที่สองที่มีส่วนทำให้อุณหภูมิบริเวณปากทางออกของห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิสูง ช่วยให้การเผาไหม้สมบูรณ์และเตาสามารถให้ความร้อนที่สูงขึ้น โดยในรูปที่ 9 แสดงคอนทัวร์ของอุณหภูมิที่บริเวณทางออกของห้องเผาไหม้ซึ่งเป็นส่วนที่นำความร้อนไปใช้ในการหุงต้ม ซึ่งบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงคือบริเวณที่เป็นสีแดง จะเห็นได้ว่าอยู่ล้อมรอบบริเวณตรงกลางที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีเปลวไฟเกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศส่วนที่สองจากช่องที่เจาะรูไว้ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยที่ทางออกของห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 700 – 800 องศาเซลเซียส



รูปที่ 7 ผลการจำลองอุณหภูมิในห้องเผาไหม้



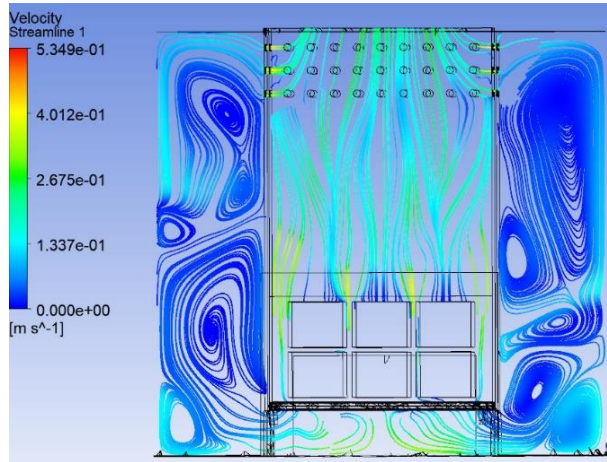
รูปที่ 8 ผลการจำลองอุณหภูมิในห้องเผาไหม้



รูปที่ 9 เฉดสีของอุณหภูมิบริเวณทางออก

ในรูปที่ 10 เป็นการแสดงพฤติกรรมการไหลโดยใช้เส้นการไหล (Stream Line) ของอากาศเข้ามาในเตาพินและไหลออกที่ทางออก โดยอากาศไหลเข้ามาทางช่องด้านล่างของเตา ความเร็วของอากาศที่ทางเข้าอยู่ที่ 0.4 m/s อากาศส่วนที่หนึ่งไหลผ่านกองพินและไหลขึ้นไปยังห้องเผาไหม้เป็นอากาศที่ใช้ในการติดไฟ และอากาศส่วนที่สองไหลผ่านกองพินไปบริเวณรอบๆห้องเผาไหม้เกิดปรากฏการณ์การไหลเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence) ที่มีลักษณะการไหลเป็นแบบไหลวน

(Vortex Flow) ตามรูปที่ 10 ลักษณะของเส้นการไหลจะมีลักษณะหมุนวนเป็นรูปก้นหอย หลังจากนั้นอากาศถูกไหลเข้ามายังห้องเผาไหม้ตามช่องที่เจาะรูเอาไว้ โดยรอบซึ่งอากาศที่ไหลเข้ามาจะผสมกับก๊าซเชื้อเพลิงที่ยังเผาไหม้ไม่หมดทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้นบริเวณทางออกของห้องเผาไหม้ ด้วยเหตุนี้ทำให้เตาที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในการให้ความร้อนดีขึ้นเนื่องจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ มีควันน้อย และประหยัดเชื้อเพลิงเนื่องจากใช้เวลาในการหุงต้มที่สั้นลง



รูปที่ 10 ผลการเคลื่อนที่ของการไหลของอากาศในเตาฟืน

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของเตาฟืนจากการทดลองและจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

| ตำแหน่งการวัด | ค่าที่วัดได้จากการทดลอง* | ค่าที่คำนวณจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ | % ความคลาดเคลื่อน |
|---------------|--------------------------|----------------------------------|-------------------|
| จุดที่ 1 | 676 °C | 690 °C | 2.07 % |
| จุดที่ 2 | 782 °C | 797 °C | 1.92 % |
| จุดที่ 3 | 765 °C | 778 °C | 1.70 % |
| เฉลี่ย | 741 °C | 755 °C | 1.89% |

*หมายเหตุ ทำการทดลองวัดหลังจากเริ่มเผาไหม้เป็นเวลา 30 นาที

ผลของการจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองจริงดังรูปที่ 3 โดยวัดค่าของอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล type K ผลของการวัดในการทดลองและในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ถูกนำมาแสดงไว้ดังตารางที่ 2 โดยค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการคำนวณโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1.89%

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิและเวลาในการต้มข้าวของเตาแบบดั้งเดิมกับเตาที่พัฒนาใหม่

| เวลาในการต้ม (นาที) | จำนวนครั้งที่ทดลอง (ครั้ง) | อุณหภูมิของน้ำ \bar{x} | |
|---------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------|
| | | เตาแบบดั้งเดิม | เตาที่พัฒนาใหม่ |
| 5 | 5 | 35 | 40 |
| 10 | 5 | 60 | 86 |
| 15 | 5 | 63 | 97* |
| 20 | 5 | 70 | 97 |
| 25 | 5 | 85 | 95 |
| 30 | 5 | 90 | 94 |
| 35 | 5 | 92* | 93 |
| 40 | 5 | 85 | 89 |
| 45 | 5 | 82 | 87 |

*หมายเหตุ อุณหภูมิสูงสุดและน้ำเริ่มเดือด



เมื่อนำเตาแบบดั้งเดิมมาทดลองเปรียบเทียบกับเตาที่พัฒนาใหม่โดยทำการทดลองจับเวลาในการต้มน้ำปริมาณ 8 kg ให้เดือด และใช้พื้นที่มีน้ำหนักเท่ากันคือ 3 kg ผลการทดลองพบว่า เตาแบบดั้งเดิมใช้เวลาในการต้มน้ำให้เดือดเท่ากับ 32 นาที ในขณะที่เตาที่พัฒนาใหม่ใช้เวลาในการต้มน้ำให้เดือดเท่ากับ 15 นาที ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเตาที่พัฒนาใหม่สามารถใช้เวลาในการหุงต้มที่สั้นลงเมื่อเปรียบเทียบกับเตาแบบดั้งเดิม

เมื่อพิจารณาในด้านประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเตานั้น สามารถคำนวณหาพลังงานความร้อนที่ใช้ในการต้มน้ำของเตาแต่ละชนิดได้จากสมการดังสมการที่ (17)

$$P = M_T C_p (T_2 - T_1) + M_R L \quad (17)$$

- P คือค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ต้มน้ำ (J)
- M_T คือมวลของน้ำทั้งหมด (kg)
- C_p คือค่าความจุความร้อนของน้ำ (J/kg °C)
- T_2 คืออุณหภูมิของน้ำก่อนต้ม (°C)
- T_1 คืออุณหภูมิของน้ำหลังต้ม (°C)
- M_R คือมวลของน้ำที่หายไป (kg)
- L ความร้อนแฝงของน้ำ (J/kg °C)

และการหาประสิทธิภาพทางความร้อน (η) ของเตาพื้นนั้นสามารถหาได้จากสมการดังสมการที่ (18)

$$\eta = \frac{P}{M_f H_f} \times 100 \quad (18)$$

- M_f คือมวลของเชื้อเพลิงที่ใช้เผาไหม้ (kg)
- H_f คือค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

ในตารางที่ 4 เป็นการเปรียบเทียบค่าต่างๆที่วัดได้จากการทดลองต้มน้ำเปรียบเทียบระหว่างเตาแบบดั้งเดิมและเตาที่พัฒนาใหม่ โดยค่าที่วัดได้นำไปแทนในสมการที่ (17) และ (18) เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพทางความร้อนของเตา โดยไม่ยากพาราให้ค่าพลังงานความร้อนอยู่ที่ 6.57 MJ/kg [21] ผลปรากฏว่าเตาที่พัฒนาใหม่มีกำลังงานความร้อนที่ใช้ในการต้มน้ำอยู่ 403.95 W/kg สูงกว่าเตาแบบดั้งเดิมอยู่ 106% และมีประสิทธิภาพทางความร้อน 31.62% สูงกว่าเตาแบบดั้งเดิมอยู่ 8.7% ตามลำดับ

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทั้งสองแบบ

| ค่าเฉลี่ย* | เตาพื้นแบบดั้งเดิม | เตาพื้นที่พัฒนาใหม่ |
|---|--------------------|---------------------|
| มวลของน้ำเริ่มต้น | 8 kg | 8 kg |
| มวลเชื้อเพลิงเริ่มต้น | 3 kg | 3 kg |
| อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น | 27 °C | 27 °C |
| อุณหภูมิสูงสุดของน้ำ | 92 °C | 97 °C |
| เวลาที่น้ำเดือด , T_{boil} | 32 นาที | 15 นาที |
| อัตราเฉลี่ยของมวลของน้ำที่หายไปต่อเวลา* | 11.56 g/min | 16.67 g/min |
| อัตราเฉลี่ยของมวลเชื้อเพลิงที่ใช้เผาไหม้ต่อเวลา** | 62.5 g/min | 93.33 g/min |
| ค่ากำลังงานความร้อนต่อมวลของน้ำ | 196.08 W/kg | 403.95 W/kg |
| ประสิทธิภาพเชิงความร้อน | 22.92% | 31.62% |

หมายเหตุ *ทำการทดลองตั้งแต่เริ่มต้มน้ำจนน้ำเดือด

**ทำการทดลองเผาไหม้จนเชื้อเพลิงกลายเป็นขี้เถ้า



จากตารางที่ 4 เห็นได้ว่าเตาที่พัฒนาใหม่มีค่าพลังงานความร้อนที่สูงกว่า ส่งผลทำให้อัตราของมวลน้ำที่หายไปสูงกว่า น้ำจึงเดือดเร็วและประหยัดเวลาที่ใช้ในการหุงต้ม นอกจากนี้เนื่องจากเตาที่พัฒนาใหม่ให้ค่าพลังงานความร้อนที่สูงกว่าจึงทำให้อัตราเฉลี่ยของมวลเชื้อเพลิงที่ใช้เผาไหม้ต่อเวลาสูงกว่าเตาแบบดั้งเดิม จึงดูเหมือนว่าเตาที่พัฒนาใหม่นี้บริโภคเชื้อเพลิงสูงกว่า แต่ด้วยเหตุที่มันใช้เวลาในการหุงต้มสั้นกว่าเตาแบบดั้งเดิมประมาณครึ่งเท่าตัว จึงทำให้การบริโภคเชื้อเพลิงน้อยกว่าเตาแบบดั้งเดิม

งานวิจัยนี้ได้มอบเตาพื้นประสิทธิภาพสูงที่ทำการเหล็กให้กลุ่มชาวบ้านย้อมผ้าฝ้ายจากสิทธรมชาติ บ้านดงน้อย ตำบลห้วยโพธิ์ อำเภอเมืองจังหวัดกาฬสินธุ์ได้ใช้งานจนถึงปัจจุบัน ชาวบ้านได้ยกเลิกการใช้เตาอังโล่ที่ทำจากปูนซีเมนต์ เพราะเตาแตกง่าย ให้ความร้อนต่ำ ใช้ไม้ฟืนขนาดใหญ่ มีควันไฟมารบกวนระบบการหายใจ สำลัคควันไฟ มีกลิ่นเหม็นไหม้ ใช้งานไม่สะดวก โดยคณะผู้วิจัยได้ให้กลุ่มชาวบ้านชุมชนดงน้อยทดลองใช้งาน ซึ่งผลการใช้งานได้แสดงไว้ดังตารางที่ 5 ปรากฏว่าผลการใช้งานเป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากเตามีอายุการใช้งานนานกว่าเตาแบบดั้งเดิมและไม่แตกหักง่าย เนื่องจากโครงสร้างเป็นเหล็ก และเตาที่พัฒนาใหม่สามารถยังทำให้ใช้งานได้สะดวกเนื่องจากผู้ใช้งานไม่สำลัคควัน สามารถหายใจได้สะดวก เพราะมีควันน้อยกว่าเตาแบบดั้งเดิม

ตารางที่ 5 ผลการใช้งานเตาทั้งสองชนิด

| ความทนทานของเตา | เตาแบบดั้งเดิม | เตาที่พัฒนาใหม่ |
|-----------------|----------------|-----------------|
| | ประมาณ 1 เดือน | มากกว่า 6 เดือน |
| ความสะดวก | ไม่สะดวก | ใช้งานสะดวก |
| ในการใช้งาน | เพราะมีควันมาก | มีควันน้อย |
| | หายใจไม่สะดวก | ไม่สำลัคควัน |

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาเตาพื้นประสิทธิภาพสูงบนพื้นฐานของการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค CFD ซึ่งเตาที่พัฒนาใหม่มีการออกแบบให้มีการไหลของอากาศสองส่วน คือส่วนของอากาศที่ทำการติดไฟเป็นส่วนหลัก และอีกส่วนหนึ่งอากาศส่วนที่สองซึ่งทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น อากาศส่วนที่สองนี้จะไหลผ่านรูที่ทำการเจาะไว้บริเวณใกล้กับทางออกของห้องเผาไหม้ ผลของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค CFD จะสามารถทำนายผลของอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้และบริเวณทางออก รวมทั้งทำนายผลของการไหลของอากาศภายในเตาพื้นได้

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการปรับปรุงและพัฒนาเตาแบบดั้งเดิมให้มีค่าความร้อนเพิ่มสูงขึ้นโดยใช้เทคนิค CFD มาช่วยในการวิเคราะห์การไหลซึ่งผลของการปรับปรุงเตาพื้นนี้สามารถให้ค่าความร้อนที่สูงขึ้นกว่าเตาแบบดั้งเดิมโดยเตาพื้นแบบใหม่นี้สามารถให้ค่ากำลังงานความร้อนที่ใช้ในการต้มน้ำและประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่าเตาพื้นแบบดั้งเดิมอยู่ 106% และ 8.7% ตามลำดับ

งานวิจัยนี้ยังมีส่วนที่ต้องปรับปรุงโดยพบว่าช่องอากาศที่ทางเข้าเตาพื้นนี้ยังไม่เหมาะสมนัก เนื่องจากการไหลภายในห้องเผาไหม้ยังไม่ทั่วถึงเท่าที่ควร บริเวณด้านหน้าห้องเผาไหม้จะเกิดการเผาไหม้น้อยกว่าด้านหลัง ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดปรับปรุงช่องการไหลของอากาศเข้ามาในเตาพื้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเผาไหม้ในงานวิจัยครั้งหน้า



6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณทางสาขาวิชาวิศวกรรม
อุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ในการสนับสนุน
ให้การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. K. Joseph, P. Krishna and H.B.V. Zann, Bringing stoves to the people, ACTS Press and the Foundation for Wood Stove Dissemination (FWD), Nairobi, Kenya, 1990.
- [2] S. Karekezi, The role of a stoves information network in addressing the indoor air pollution – an African perspective, Indoor air pollution from biomass fuel, Proceeding, 1992, 89-104.
- [3] E. Crewe, Morogoro fuel wood stove project - Review and recommendations, Intermediate Technology Development Group (ITDG), Rugby, UK, 1990.
- [4] T. Otiti, Improved stoves in Tanzania - Stove Notes 6, FWD and ACTS Press, Nairobi, Kenya, 1991.
- [5] D. M. Kammen and B. F. Kammen, Energy food preparation and health in Africa: The roles of technology education and resource management, African Technology Forum, 1992, 6(1), 11-14.
- [6] R. George, Commercialization of technology for domestic cooking applications in biomass energy systems, Tata Energy Research Institute (TERI), New Delhi, India, 1997.
- [7] S. Wazir, Evaluation of chulas, Thesis, Indian Institute of Technology, India, 1981.
- [8] N.L. Panwar, Performance evaluation of developed domestic cook stove with Jatropha shell, Waste and Biomass Valorization, 2010 1(3), 309-314.
- [9] P. Arora and S. Jain, A review of chronological development in cookstove assessment methods: Challenges and way forward, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 55, 203-220.
- [10] <http://e-lib.dede.go.th/mm-data/Bib13842-%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%89%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%AA%E0%B8%A1%E0%B8%9A%E0%B8%B9%E0%B8%A3%E0%B8%93%E0%B9%8C.pdf> (Accessed on 14 Jan 2022)
- [11] M. Koraiem and D. Assanis, Wood stove combustion modeling and simulation: Technical review and recommendations, International Communications in Heat and Mass Transfer, 2021, 127.



- [12] H. Ali and T. Wei, CFD Study of an improved biomass cookstove with reduced emission and improved heat transfer characteristics, *Journal of Clean Energy Technologies*, 2017, 5, 427-432.
- [13] N.C. Kantová, S. Stadek, J. Jnadacka, A. Caja and R. Nosek, Simulation of biomass combustion with modified flue gas tract, *Applied Sciences*, 2021, 11(3), 1278.
- [14] G. Hailu, Product development using CFD simulation of energy efficient institutional bio-char rocket stove, *Journal of Energy Technologies and Policy*, 2018, 8, 22-28.
- [15] <http://www.pmt.usp.br/academic/martoran/notamodelosgrad/ANSYS%20Fluent%20Theory%20Guide%2015.pdf> (Accessed on 9 Jan 2022)
- [16] W.P. Jones and J.H. Whitelaw, Calculation methods for reacting turbulent flows: A review, *Combustion and Flame*, 1982, 48, 1-26.
- [17] W. Wang, Y. Cao and T. Okaze, Comparison of hexahedral, tetrahedral and polyhedral cells for reproducing the wind field around an isolated building by LES, *Building and Environment*, 2021, 195, 107717.
- [18] M. Spiegel, T. Redel, Y.J. Zhang, T. Struffert, J. Hornegger, R.G. Grossman, A. Doerfler and C. Karmonik, Tetrahedral vs. polyhedral mesh size evaluation on flow velocity and wall shear stress for cerebral hemodynamic simulation, *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 2011, 14(1), 9-22.
- [19] S. Ruffin and J. Lee, Adaptation of a k-epsilon model to a C artesian grid based methodology, *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 2009, 3(3), 238-245.
- [20] S.A. Ayo, Design, construction and testing of an improved wood stove, *Assumption University Journal of Technology*, 2009, 13(1), 12-18.
- [21] T. Poomchai, T. Thonusin, C. Chotchutima, S. Janeweerawat and P. Maneesan, Evaluation of biomass production and properties energy of rubber wood, *Para Rubber Electronic Bulletin*, 2019, 40(4), 2-17.