การศึกษาประสิทธิภาพเตาถ่านแบบช่องหน้าเตา 2 ช่อง
A Study of the Thermal Efficiency of A Double-Air Inlet Doors Charcoal Stove

วศิษฐ ธีระเจตกูล[1*] อนุชา ดีหลี[1] และเผด็จ จันทร์วิเศษ[1]
Vasith Teerajetgu[1*] Anucha Deelee[1] and Phadet Junwiset[1]

Received: November 13, 2018; Revised: January 14, 2019; Accepted: January 21, 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการปรับปริมาณลมเข้าหน้าเตาทั้ง 2 ช่องที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพเตาถ่านทำการทดสอบตาม WBT ซึ่งมี 3 การทดสอบ คือพลังงานสูงทดสอบขณะเตาเย็น พลังงานสูงขณะเตาร้อน และการทดสอบขณะพลังงานต่ำ ทดสอบทั้งหมด 4 เงื่อนไข โดยทดสอบเงื่อนไขที่ 1 เปิดช่องลมเข้าหน้าเตา 1 ช่อง (100 %, 0 %) เงื่อนไขที่ 2 เปิดเข้า 100 % ทั้ง 2 ช่อง (100 %, 100 %) เงื่อนไข 3 เปิดเข้า 50 % ทั้ง 2 ช่อง (50 %, 50 %) และเงื่อนไขที่ 4 ใช้ที่ครอบหม้อต่อเนื่องจากเงื่อนไขที่ 3 ผลการทดสอบเปิดช่องลมเข้าหน้าเตา 1 ช่อง 100 % ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน 19.50 % การทดสอบเงื่อนไขที่ 3 เปิดช่องลมเข้า 2 ช่อง 50 % ประสิทธิภาพสูงขึ้นถึง 42.75 % เมื่อควบคุมปริมาณไอเสียออกให้ช้าลงโดยใช้ที่ครอบหม้อต้มของการทดสอบเงื่อนไขที่ 4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนก็สูงขึ้นอีกเป็น 50.75 % และอุณหภูมิห้องเผาไหม้สูงขึ้น อีกทั้งอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงจำเพาะก็ลดลง

คำสำคัญ : ประสิทธิภาพเชิงความร้อน; เตาถ่าน; เตาทุงต้ม; ช่องหน้าเตา; การเผาไหม้เชื้อเพลิงจำเพาะ

[1] *คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น*
[1] *Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus*
[*] *Corresponding Author E - mail Address: vasith.te@rmuti.ac.th*

Abstract

The objectives of this research were to study the effects on thermal efficiency of the amount of air entering through a double-air inlet doors charcoal stove. The experiment method was carried out following the WBT. The trials were divided into three phases: Trials on the high power (cold start), trials on the high power (hot start) and trials at low power (simmering). Four Trials were conducted. The first trial opened only one of the two inlets fully (100 %, 0 %). The second trial fully opened both inlets (100 %, 100 %). The third trial opened both inlets by half (50 %, 50 %). The last trial used a pot cover in addition to the third trial. The test results indicated that the thermal efficiency of the third trial increased to 42.75 %, higher than the first trial (19.50 %). The condition to slow down the exhaust gas by the pot cover in the last trial gave the highest efficiency value of 50.75 % and the combustion temperature was higher, also the specific fuel consumption was decreased.

Keywords: Thermal Efficiency; Charcoal Stove; Cooking Stove; Air Inlet Door; Specific Fuel Consumption

บทนำ

การขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศไทยที่เพิ่มขึ้นทุกปี การใช้พลังงานก็มากขึ้นไปด้วยทุกภาคส่วน ภาคครัวเรือนก็เช่นกัน โดยเฉพาะการใช้พลังงานความร้อนเพื่อการหุงต้มและประกอบอาหารที่โดยทั่วไปมีการใช้พลังงานอยู่ 3 รูปแบบ คือ พลังงานไฟฟ้า แอลพีจี และพลังงานทดแทน (ฟืน ถ่านไม้ แกลบ และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร) ซึ่งพลังงานทดแทนนี้เป็นเชื้อเพลิงที่สามารถสร้างและผลิตใช้เองได้โดยใช้เวลาไม่นาน ไม่ต้องรอการทับถมเหมือนเชื้อเพลิงฟอสซิล อีกทั้งปริมาณการผลิตในประเทศยังมีมากจนเหลือเกินกว่าที่ใช้ไป จึงควรมีการสนับสนุนให้มีการใช้พลังงานทดแทนในการหุงต้มให้มากขึ้น เช่น การใช้เตาถ่าน เพราะเมื่อเปรียบเทียบค่าจัดซื้อพลังงานจากถ่านไม้ต่อกิโลแคลอรี่แล้วมีค่าใกล้เคียงกับค่าพลังงานจากแอลพีจี แต่ปัญหาของเตาหุงต้มทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นการใช้พลังงานจากแอลพีจี จากถ่านไม้ หรือจากชีวมวล ล้วนแต่เป็นเตาที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำมาก แม้ว่าเราจะมีความสามารถผลิตเชื้อเพลิงถ่านที่ให้ค่าพลังงานสูงใกล้เคียงกับถ่านหินได้แล้ว แต่ความสามารถในการผลิตเตายังได้เตาที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำ ในขณะที่นักวิจัยก็ได้พยายามหาแนวทางพัฒนาได้หลายวิธีที่เพิ่มประสิทธิภาพสูงขึ้นได้บ้างแล้ว

การใช้พลังงานจากถ่านของภาคครัวเรือนในประเทศไทย ยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ โดยเมื่อตรวจสอบจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน กระทรวงอุตสาหกรรม ที่กำหนดให้ผู้ผลิตถ่านไม้หุงต้มมีค่าความร้อนต้องไม่น้อยกว่า 6,000 kcal/kg [1] ถ่านไม้ปิ้งย่างไม่น้อยกว่า 7,000 kcal/kg [2] ค่าความร้อนดังกล่าวนี้ใกล้เคียงกับถ่านหิน แสดงว่าประเทศไทยสามารถผลิตถ่านที่มีคุณภาพให้ค่าพลังงานสูงได้ แต่ทว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเตาถ่าน กำหนดให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ต่ำมาก คือต้องไม่น้อยกว่า

ร้อยละ 25 [3] แสดงว่าการผลิตเตาถ่านที่มีใช้กันอยู่ตามครัวเรือนในประเทศไทย ยังเป็นเตาที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำ ควรต้องมีการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้น

นักวิจัยทำการเปรียบเทียบเตาที่ใช้หุงต้ม 3 รูปแบบ คือ เตาถ่าน เตาแก๊ส LPG และเตาแก๊สชีวมวล พบว่าทั้ง 3 รูปแบบยังมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำมาก โดยเตาชีวมวลมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเตาแก๊ส [4] แม้เตาแก๊สจะมีประสิทธิภาพเพียง 29 % [5] และการทดสอบเตาถ่านตามท้องตลาด หลายรุ่น หลายขนาด ก็มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพียง 16 – 30 % [6] – [7] แม้ว่าจะทดสอบกับเชื้อเพลิงแท่งหลายชนิดก็ยังได้ค่าอยู่ระหว่าง 18 – 31 % [8] เท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบเตาถ่านกับเตาแก๊ส LPG แล้ว มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะใกล้เคียงกันแต่เตาแก๊สมีอัตราการเร่งความร้อนได้ดีกว่า ส่วนเตาถ่านจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนดีกว่าหากเป็นการต้ม นึ่ง หรือใช้งานต่อเนื่องเป็นเวลานาน ๆ [9]

ได้มีการวิจัยเพื่อพัฒนาเตาถ่านหลายวิธี โดยการออกแบบเตาในลักษณะต่าง ๆ มีการกำหนดปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนเป็น 2 ด้าน คือ การกักเก็บไว้แลกเปลี่ยนความร้อนกับหม้อหุงต้มได้มากและนานที่สุด และด้านการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่สมบูรณ์

จึงได้มีผู้ศึกษาการกักเก็บความร้อนหรือสูญเสียความร้อน โดยทดลองเปลี่ยนขนาดเชื้อเพลิงแล้วพบว่าไม่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนแต่มีผลต่อการเกิดแก๊ส CO [10] ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนมากคือ ช่องว่างเส้าเตา [11] – [12] คือถ้ามีช่องว่างมากความร้อนจะสูญเสียไปกับไอเสียมาก แต่หากมีกำบังลมลดความเร็วของไอเสียได้ก็จะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้นได้ [13] ก็ยังมีเตาบางชนิดมีช่องเติมเชื้อเพลิงแบบเปิด จะมีความร้อนถ่ายเทสูญเสียออกทางช่องเชื้อเพลิงนี้ได้ เตาถ่านโดยทั่วไปทำจากปูนซีเมนต์และดินเหนียว มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก วัสดุมีการดูดซับเก็บความร้อนไว้ในตัวเองได้มากและนาน จะทำให้อุณหภูมิห้องเผาไหม้ลดลง [10] – [11] ผลเสียคือ ผนังเตาจะร้อนมากทำให้ถ่ายเทความร้อนออกทางผิวผนังด้านนอกได้มาก ซึ่งมีผู้ได้ทดลองป้องกันการสูญเสียความร้อนนี้โดยใช้ฉนวนใยแก้ว ก็ได้ผลดีมากขึ้น [12]

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพด้านที่ 2 คือ การเผาไหม้เชื้อเพลิงที่สมบูรณ์ จะทำให้อุณหภูมิห้องเผาไหม้สูงขึ้น มีการพัฒนาโดยเพิ่มขนาดช่องอากาศเข้าทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น มีการปรับปรุงลักษณะเตาให้ห้องเผาไหม้เป็นคอคอด การเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้นแต่คอคอดกลับเป็นอุปสรรคปิดบังการแผ่รังสีความร้อนขึ้นสู่หม้อหุงต้ม [12] ความสูงของห้องเผาไหม้มาก ๆ ก็เป็นอุปสรรคเช่นกันทำให้การแผ่รังสีไกลเกินไป และยังพบว่ารังผึ้งก็ส่งผลต่อการไหลของอากาศ โดยเพิ่มความหนา เจาะรูให้เป็นลักษณะหัวฉีด เพิ่มจำนวนรูให้ได้ 61 รู การเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น สามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงมากถึง 41 % [14] แต่ก็มีการศึกษาการจำลองการไหลของอากาศผ่านรังผึ้ง พบปัญหาคืออากาศไหลเข้าช่องอากาศด้านล่าง ไหลชนผนังด้านตรงข้ามของทางเข้า ปริมาณอากาศส่วนใหญ่ไหลขึ้นผ่านรูรังผึ้งเพียงด้านเดียว กลับทำให้การเผาไหม้ยังไม่สมบูรณ์มากนัก อีกทั้งรังผึ้งที่หนาก็จะดูดเก็บความร้อนไว้มากขึ้น ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจึงยังไม่สูงมากนัก [15] แต่ก็มีผู้ทดลองปรับอากาศให้มีการเติมไพรมารีย์และเซคันดารีโดยทดสอบกับเตาฟืนขนาดใหญ่แล้วจะทำให้มีการเผาไหม้ที่ดีขึ้น [16]

ปัญหาวิกฤตพลังงานที่เราจัดหาพลังงานจากฟอสซิลได้ยากมากขึ้น อีกทั้งภาวะเศรษฐกิจที่จะเติบโตการใช้พลังงานก็สูงขึ้น การใช้พลังงานความร้อนเพื่อการหุงต้มก็มากตามไปด้วย แต่มีพลังงานที่มนุษย์สามารถสร้างและผลิตได้เองคือที่เรียกว่า พลังงานทดแทนแบบดั้งเดิม (ถ่าน ฟืน แกลบ และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร) ซึ่งประเทศไทยมีการใช้ยังน้อย สามารถผลิตใช้เองได้และมีคุณภาพค่าความร้อนสูง แต่ปัญหา

ของเตาหุงต้มยังมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำ โดยเฉพาะเตาถ่านที่ควรสนับสนุนให้ใช้มากขึ้น มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพียง 18 - 31 % แม้ได้มีการพัฒนาเพิ่มการเผาไหม้เชื้อเพลิงให้สมบูรณ์จนทำให้ประสิทธิภาพเตาสูงขึ้นได้ถึง 41 % แล้วก็ตาม ยังพบจุดที่ควรพัฒนาอีกหลายจุดทีจะทำให้เตาถ่านมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้นได้อีก เช่น การปรับอากาศให้เหมาะสม การบังลมเพื่อควบคุมความร้อนจากไอเสีย การเพิ่มช่องอากาศเข้า การเพิ่มอากาศเซคันดารี การไม่ใช้ปูนซีเมนต์และดินเหนียวโดยใช้ฉนวนความร้อนอื่น ๆ และการลดการสะสมความร้อนในตัวเตา

ทฤษฎี

หลักการวิเคราะห์และทดสอบของ WBT [17] ให้มีการทดสอบเตาถ่านเป็น 3 ช่วง คือช่วงแรกเป็นช่วงที่เตาให้กำลังสูง แต่ทดสอบเริ่มต้นขณะตัวเตายังเย็น (High Power-Cold Start) ช่วงที่สอง ก็เป็นช่วงให้กำลังสูงแต่เริ่มต้นที่ขณะตัวเตาร้อน เพิ่งผ่านการใช้งานมา (High Power-Hot Start) และช่วงสุดท้ายคือช่วงที่เตาให้กำลังต่ำเป็นช่วงที่เตามีการนำความร้อนไประเหยไอน้ำ (Low Power-Simmer) ให้ทดสอบต่อเนื่องจากช่วงที่สอง โดยให้การทดสอบทุกช่วงมีการคำนวณค่าเพื่อใช้ในการตรวจสอบความสามารถของเตาถ่านแต่ละตัวได้ดังนี้

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency: η) เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถนำความร้อนจากเชื้อเพลิงไปใช้ในการต้มน้ำในหม้อต้มให้ร้อนและกลายเป็นไอได้เท่าไร (สมการที่ (1))

$$\eta = \frac{m_w C_P \Delta T + m_v h_{fg}}{m_f \cdot LHV} \tag{1}$$

เมื่อ

m_w = มวลของน้ำร้อนในหม้อต้มที่เหลืออยู่หลังการต้ม kg
C_P = ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ กำหนดค่า 4.186 kJ/kg·K
ΔT = อุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นหลังต้ม °K
m_v = มวลของน้ำร้อนในหม้อต้มที่หายไปหลังการต้ม kg
h_{fg} = ความร้อนการกลายเป็นไอของน้ำ กำหนดค่า 2,260 kJ/kg
m_f = มวลของเชื้อเพลิงถ่านที่หายไปหลังการต้ม kg
LHV = ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงถ่านหุงต้ม kJ/kg

อัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิง (Burning Rate: R_b) เป็นการใช้เชื้อเพลิงช่วงการต้มน้ำให้เดือดเทียบกับเวลา เป็นค่าที่บอกถึงการเผาไหม้ในเตาว่าจะสามารถเร่งไฟให้เกิดความร้อนหรือลุกไหม้ได้เร็วแค่ไหน หน่วยเป็น kg/s หรือ g/min (สมการที่ (2))

$$R_b = \frac{m_f}{\Delta t} \tag{2}$$

Δt = ช่วงเวลาการเผาไหม้เชื้อเพลิง s

การเผาไหม้เชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific Fuel Consumption: sfc) ค่านี้ใช้พิจารณาค่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในการระเหยน้ำได้ 1 ลิตร ในช่วงน้ำเดือดระเหยกลายเป็นไอ (ในเวลาที่เท่ากัน) โดยค่าน้อยแปลว่าใช้เชื้อเพลิงน้อยระเหยน้ำได้มาก โดยน้ำหนักเชื้อเพลิงที่ใช้ไปหน่วยเป็น g หรือ kg และปริมาณน้ำที่เหลืออยู่หลังการต้ม หน่วยเป็น kg หรือ Litre (สมการที่ (3))

$$sfc = \frac{m_f}{m_w} \tag{3}$$

พลังงานเชื้อเพลิง (Fire Power: FP) เป็นค่าบอกขนาดกำลังเตา โดยบอกเป็นปริมาณการใช้พลังงานของเชื้อเพลิง มีหน่วยบอกขนาดกำลังเตาเป็น วัตต์ (สมการที่ (4))

$$FP = \frac{m_f \cdot LHV}{\Delta t} \tag{4}$$

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. เตารูปแบบใหม่ 2 รูปแบบ ทั้ง 2 แบบต่างกันเฉพาะช่องอากาศเซคันดารี โดยเรียกชื่อว่า เตา 1 และเตา 2

2. เตารูปแบบธรรมดาที่หาซื้อได้ในปัจจุบันมี 2 รูปแบบ โดยเรียกชื่อว่า เตา 3 และเตา 4 โดยเตา 3 ทำจากดินเหนียวเผาเป็นฉนวนและโครงสร้างหลักหุ้มด้วยสังกะสี ส่วนเตา 4 ทำจากเหล็กหล่อขึ้นรูป ไม่มีฉนวน โดยเตาทั้งหมดในงานวิจัยนี้แสดงรายละเอียดไว้ดังตารางที่ 1 พร้อมรูปประกอบตามรูปที่ 1 และ 2

3. หม้ออลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 28 เซนติเมตร

4. ถ่านอัดก้อนขนาดมาตรฐาน ค่าความร้อนวัดโดย Bomb Calorimeter 25,400 kJ/kg (6,067.85 kcal/kg)

ตารางที่ 1 รายละเอียดสัดส่วนต่าง ๆ ของเตาแบบใหม่และแบบธรรมดา

รายละเอียด	หน่วย	เตา 1	เตา 2	เตา 3	เตา 4
ความหนาฉนวน (ผนังเตา)	mm	15+35	15+35	35	8
วัสดุฉนวน	-	เซรามิกไฟเบอร์+อากาศ		ดินเหนียว	เหล็กหล่อ
ความสูงของเตา	mm	400	400	260	225
ความสูงของห้องเผาไหม้	mm	200	200	95	95
เส้นผ่านศูนย์กลางห้องเผาไหม้	mm	160	160	200	200
ปริมาตรห้องเผาไหม้	cc	4,019.2	4,019.2	2,983	2,983
ความหนาของรังผึ้ง	mm	1	1	25	5
จำนวนรูของรังผึ้ง	-	87	87	24	38

ตารางที่ 1 รายละเอียดสัดส่วนต่าง ๆ ของเตาแบบใหม่และแบบธรรมดา (ต่อ)

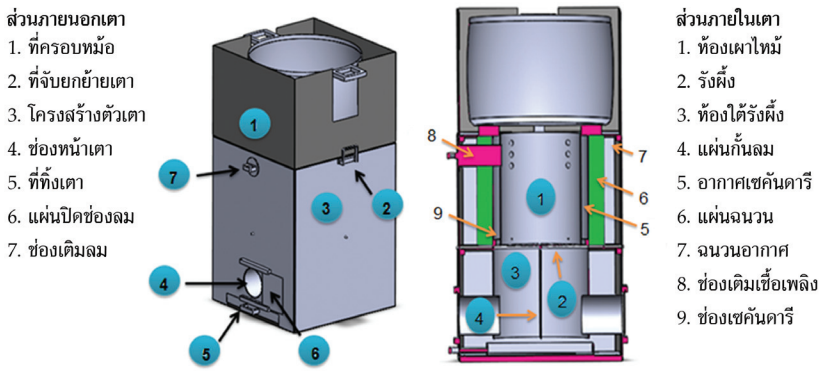
รายละเอียด	หน่วย	เตา 1	เตา 2	เตา 3	เตา 4
เส้นผ่านศูนย์กลางรูรังผึ้ง	mm	10	10	19	18
พื้นที่ลมผ่านช่องรังผึ้ง	mm^2	27,334.8	27,334.8	27,218.7	38,679.2
ความสูงของเส้าเตา	mm	17	17	32	45
พื้นที่ไอเสียออก (ปากเตา)	mm^2	7,673.8	7,673.8	13,870.95	20,106.0
พื้นที่ช่องลมเข้าเตา (หน้าเตา)	mm^2	7,696.9	7,696.9	10,500.0	10,500.0
พื้นที่ช่องลมเข้าเชคันดารี	mm^2	1,334.5	667.25	-	-
พื้นที่ช่องเติมเชื้อเพลิง	mm^2	-	1,256 (ปิด)	-	20,000 (เปิด)
น้ำหนัก	kg	13	13.5	4	3.7
วัสดุโครงสร้าง	-	เหล็ก	เหล็ก	ดินเหนียว	เหล็กหล่อ

เครื่องมือวัด

1. ตาชั่ง OHAUS รุ่น Defender 3000, 1 g - 60 kg
2. เครื่องวัดอุณหภูมิ GRAPHTEC รุ่น Midi Logger GL820 expansion up to Maximum 200 channels
3. เครื่องวิเคราะห์แก๊ส ECOM รุ่น J2KN Pro สามารถวัดค่าแก๊ส N, CO_2, CO, SO_2, O_2 ทดลองในห้องทดสอบไม่มีลม วัดค่าที่เพดานห้องเหนือเตา ตรงข้ามพัดลมดูดอากาศ
4. สายเทอร์โมคัปเปิลแบบ K วัดอุณหภูมิ 3 จุด คือ อุณหภูมิน้ำ ผนังเตาด้านนอก และห้องเผาไหม้

(ก) เตารูปแบบใหม่และฝาครอบ (ข) เตา 3 (ค) เตา 4

รูปที่ 1 เตารูปแบบใหม่ (เตา 1, 2) และเตารูปแบบธรรมดา (เตา 3, 4)



(ก) ส่วนภายนอกเตา (ข) ส่วนภายในเตา

รูปที่ 2 ส่วนประกอบภายนอกและภายในเตารูปแบบใหม่ (เตา 1, 2)

วิธีการทดลอง

ทำการทดลองด้วยวิธี Water Boiling Test 3 phase คือ

1. ทดลองขณะเตาเย็น Phase 1: High Power (Cold Start) ชั่งน้ำหนักน้ำ เติมน้ำ 5 ลิตร น้ำหนักถ่าน 1 กิโลกรัม เตรียมเชื้อไฟ 50 กรัมจุดไฟ พอเห็นว่าไฟเริ่มติดแล้วค่อยนำถ่านลงไปในห้องเผาไหม้ นำหม้อต้มตั้งบนเตา จับเวลา วัดค่าคาร์บอนมอนออกไซด์แล้วบันทึกค่าสูงสุด รอให้น้ำเดือด บันทึกอุณหภูมิ 3 จุด (อุณหภูมิน้ำ ผนังเตาด้านนอก และห้องเผาไหม้) เวลา น้ำหนักน้ำ และน้ำหนักถ่านที่เหลือ

2. การทดลองขณะเตาร้อน Phase 2: High Power (Hot Start) ทำซ้ำเหมือน Phase 1 เป็นการทดลองต่อเนื่องจาก Phase 1 ขณะที่เตาถ่านยังร้อนอยู่

3. การทดลองขณะพลังงานต่ำอีก 45 นาที Phase 3: Low Power (Simmering) เป็นการทดลองต่อเนื่องจาก Phase 2 โดยนำถ่านที่เอาออกมาชั่งจากการทดลองขณะเตาร้อน Phase 2 กลับมาใช้อีก นำหม้อต้มที่เอาออกมาชั่งกลับต้มต่อ โดยอุณหภูมิของน้ำต้องห่างกันไม่เกิน 6 องศาเซลเซียส จับเวลา วัดค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ บันทึกค่าสูงสุด รอเวลาถึง 45 นาที แล้วชั่งน้ำหนักน้ำ น้ำหนักถ่านที่เหลือ

4. ทำการทดลองตามเงื่อนไขการเปิดช่องลมหน้าเตา ตามรายละเอียดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เงื่อนไขการทดลอง

เงื่อนไข	เตา 1			เตา 2			เตา 3			เตา 4		
	c	h	s	c	h	s	c	h	s	c	h	s
เปิดช่องลมช่องเดียว 100 %	●	●	●	–	–	–	●	●	●	●	●	●
เปิดช่องลม 2 ช่อง 100 %	●	●	●	●	●	●	–	–	–	–	–	–
เปิดช่องลม 2 ช่อง 50 %	●	●	●	●	●	●	–	–	–	–	–	–
เปิดช่องลม 2 ช่อง 50 % + ที่ครอบหม้อ	●	●	●	●	●	●	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ: c = Cold Start h = Hot Start s = Simmering

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การรายงานผลประสิทธิภาพเชิงความร้อนตาม IWA (International Workshop Agreement) ของ WTB

ตารางที่ 3 ผลการทดลองในเงื่อนไขเปิดช่องลมเข้าเตาช่องเดียว 100 %

เงื่อนไข	หน่วย	เตา 1			เตา 3			เตา 4		
		c	**h**	**s**	**c**	**h**	**s**	**c**	**h**	**s**
อุณหภูมิห้องเผาไหม้สูงสุด	OC	772	791	764	646	*	*	488	*	*
อัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิง	g/min	9.5	8.3	8.2	8.3*	*	-*	8.4*	*	*
ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (กำลังสูง)	%	19.50	-	12.00*	-	10.00*	-			
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจำเพาะ (กำลังต่ำ)	g/litre	-	-	74	-	-	*	-	-	*
พลังงานเชื้อเพลิง	kW	4.3	3.8	3.7	3.7	-	*	3.8	-	*
คาร์บอนมอนอกไซด์	mg/m^3	2	3	3	4	-	*	4	-	*

หมายเหตุ: * เตาธรรมดาตามท้องตลาดไม่สามารถทำให้น้ำเดือดได้โดยใช้เชื้อเพลิงในการทดลอง 1 กิโลกรัม ต้มน้ำ 5 ลิตร และยังทำอุณหภูมิสูงสุดได้ 83 องศาเซลเซียส ไม่ถึงจุดเดือด

การเปรียบเทียบเตา 1 เตา 3 และเตา 4

1. จากตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบเตา 1 เตา 3 และเตา 4 พบว่า ค่าพลังงานเชื้อเพลิงชี้ขนาดเตาว่ามีค่าใกล้เคียงกันหมดคือ 3 - 4 kW แต่เตา 1 มีค่าสูงที่สุดสอดคล้องกับค่าอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงและค่าอุณหภูมิห้องเผาไหม้ก็สูงที่สุดด้วย หากพิจารณาตารางที่ 1 ข้อมูลเตา 3 และเตา 4 มีพื้นที่ช่องหน้าเตามาก ลมเข้าได้มากกว่า มีพื้นที่อากาศผ่านรูรังผึ้งมากกว่า แต่จำนวนรูรังผึ้งน้อยกว่าเตา 1 จำนวนรูรังผึ้งน้อยทำให้การเผาไหม้ของเตา 3 และเตา 4 ต่ำกว่าเตา 1 สอดคล้องกับ [14] และเมื่อเผาไหม้แล้วด้วยความสูงของห้องเผาไหม้เตา 3 และ 4 ที่น้อยมาก อีกทั้งความสูงเส้าเตาและพื้นที่ไอเสียออกมีมากกว่าเตา 1 ทำให้ความร้อนถ่ายเทผ่านปากเตาออกไปกับไอเสียได้เร็ว อุณหภูมิห้องเผาไหม้จึงต่ำกว่าเตา 1 [11] - [12]

2. การที่เตา 1 มีอากาศเซคันดารีทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น สอดคล้องกับ [15] แสดงว่าเตา 1 มีปริมาณอากาศเข้าหน้าเตาที่เหมาะสมกว่า ผ่านรูรังผึ้งผสมกับเชื้อเพลิงได้ดีกว่า ความร้อนออกเป็นไอเสียน้อยกว่า ทำให้อุณหภูมิห้องเผาไหม้สูงกว่า

3. ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (กำลังสูง) คือ ช่วงกำลังเร่งไฟ เชื้อเพลิงกำลังเร่งการลุกไหม้อย่างมาก ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา 1 สูงกว่าเตา 3 และเตา 4 ยังมีค่าอุณหภูมิห้องเผาไหม้เตา 1 ที่สูงกว่าแสดงถึงการกักเก็บความร้อนไว้ในเตาและนำไปใช้ประโยชน์ได้ดีด้วย เพราะเตา 1 ใช้ฉนวนความร้อนที่หนากว่าเป็นเซรามิกไฟเบอร์รวมทั้งมีชั้นฉนวนอากาศ จึงกักเก็บความร้อนและใช้ประโยชน์ได้มากกว่าซึ่งสอดคล้องกับ [12] ประสิทธิภาพเตา 1 จึงสูงที่สุด ส่วนเตา 4 ต่ำที่สุดเพราะมีฉนวนบางที่สุดแล้วยังมีช่องเปิดสำหรับเติมเชื้อเพลิง ทำให้ความร้อนสูญเสียย้อนออกมามากขึ้นจากที่สูญเสียไปทางไอเสีย

4. ในการทดลองนี้ใช้ถ่านเพียง 1 กิโลกรัม ทดลองกับเตา 3 และเตา 4 จึงได้ความร้อนไม่เพียงพอที่จะทำให้น้ำเดือดได้ เพราะเตากักเก็บความร้อนไว้ได้น้อยเกินไป แม้การเผาไหม้จะเผาไหม้ได้ดี ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำ 4 mg/m^3 แล้วก็ตาม

ตารางที่ 4 ผลการทดลองในเงื่อนไขเปิดช่องลมเข้าเตา 2 ช่อง 100 %

	หน่วย	เงื่อนไข	เตา 1			เตา 2		
			c	h	s	c	h	S
อุณหภูมิห้องเผาไหม้สูงสุด	°C	เปิดช่องลมเข้าเตา 1 ช่อง 100 %	772	791	764			
อัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิง	g/min		9.5	8.3	8.2			
ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (กำลังสูง)	%		19.50		-			
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจำเพาะ (กำลังต่ำ)	g/litre		-	-	74.0			
พลังงานเชื้อเพลิง	kW		4.3	3.8	3.7			
คาร์บอนมอนอกไซด์	mg/m^3		2	3	3			
อุณหภูมิห้องเผาไหม้สูงสุด	°C	เปิดช่องลมเข้าเตา 2 ช่อง 100 %	902	913	878	914	913	897
อัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิง	g/min		11.0	10.0	9.3	11.3	10.8	9.5
ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (กำลังสูง)	%		29.00		-	27.00		-
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจำเพาะ (กำลังต่ำ)	g/litre		-	-	91.0	-	-	101.0
พลังงานเชื้อเพลิง	kW		3.8	3.1	4.3	4.1	3.2	4.7
คาร์บอนมอนอกไซด์	mg/m^3		2	3	2	2	2	2
อุณหภูมิห้องเผาไหม้สูงสุด	°C	เปิดช่องลมเข้าเตา 2 ช่อง 50 %	882	891	854	893	906	877
อัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิง	g/min		9.7	8.7	8.2	9.7	8.8	8.6
ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (กำลังสูง)	%		42.75		-	41.50		-
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจำเพาะ (กำลังต่ำ)	g/litre		-	-	83.0	-	-	85.5
พลังงานเชื้อเพลิง	kW		4.4	3.9	3.9	4.4	4.0	4.1
คาร์บอนมอนอกไซด์	mg/m^3		3	3	1	3	1	1
อุณหภูมิห้องเผาไหม้สูงสุด	°C	เปิดช่องลมเข้าเตา 2 ช่อง 50 % (มีที่ครอบหม้อ)	914	915	882	915	918	883
อัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิง	g/min		10	8.9	8.2	10.2	9.3	8.6
ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (กำลังสูง)	%		50.75		-	49.50		-
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจำเพาะ (กำลังต่ำ)	g/litre		-	-	79.0	-	-	81.0
พลังงานเชื้อเพลิง	kW		4.6	4.0	3.9	4.6	4.2	4.1
คาร์บอนมอนอกไซด์	mg/m^3		2	2	1	2	2	1

หมายเหตุ: c = Cold Start h = Hot Start s = Simmering

การเปรียบเทียบการปรับปริมาณลมเข้าหน้าเตา 1 ช่อง และ 2 ช่อง

1. จากตารางที่ 4 ในส่วนของเตา 1 เปรียบเทียบการปรับปริมาณลมเข้าหน้าเตาจาก 1 ช่อง เป็นเข้า 2 ช่อง 100 % จะทำให้มีลมเข้ามากขึ้นสองเท่า ส่งผลให้อัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงเร็วขึ้น อุณหภูมิห้องเผาไหม้สูงขึ้น แสดงว่าการเผาไหม้ให้ความร้อนออกมามากขึ้นแต่พลังงานเชื้อเพลิงลดลงแสดงว่าใช้เวลานานขึ้นกว่าน้ำจะเดือด แต่ก็ยังส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้นจาก 19.50 % เป็น 29.00 % และปริมาณลมที่เข้ามากนี้ยังส่งผลต่อการใช้เชื้อเพลิงมากขึ้นในการระเหยน้ำช่วง Low Power เพราะค่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงจำเพาะสูงขึ้นจาก 74 g/litre เป็น 91 g/litre

2. เมื่อปรับปริมาณลมเข้าลดลง โดยเปิดช่องลมเข้าทั้ง 2 ช่อง เพียง 50 % ทำให้อัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงช้าลง อุณหภูมิห้องเผาไหม้ก็ลดลง หมายถึง การเผาไหม้ให้ความร้อนออกมาน้อยลง แต่พลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นแสดงว่าน้ำเดือดเร็วขึ้น อันเนื่องจากปริมาณลมหรือความเร็วลมลดลงการสูญเสียความร้อนออกไปกับไอเสียจึงช้าลง สามารถกักเก็บความร้อนไว้ได้นานขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้นจาก 29.0 % เป็น 42.75 % และยังมีความร้อนกักเก็บไว้ระเหยน้ำมากขึ้น ประหยัดเชื้อเพลิงเพราะค่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงจำเพาะ ลดลงจาก 91 g/litre เหลือ 83 g/litre

3. เมื่อกักลดปริมาณไอเสียออกโดยมีที่ครอบหม้อต้มน้ำ พบว่าอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงเกือบจะไม่เปลี่ยนแปลง อุณหภูมิห้องเผาไหม้กลับสูงขึ้น พลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแสดงว่าน้ำเดือดเร็วขึ้นอีกเล็กน้อย อันเนื่องจากสามารถลดปริมาณการสูญเสียความร้อนออกไปกับไอเสียให้ช้าลงได้อีก สามารถกักเก็บความร้อนไว้ได้มากขึ้น ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงจึงขึ้นจาก 42.75 % เป็น 50.75 % และประหยัดเชื้อเพลิงในการระเหยน้ำโดยค่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงจำเพาะจาก 83 g/litre ลดลงเหลือ 79 g/litre

การเปรียบเทียบเตา 1 และเตา 2

1. การพิจารณาเตา 2 ที่มีการลดพื้นที่ช่องลมเข้าเซคันดารีลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของเตา 1 พบว่า ที่ปริมาณลมเข้า 100 % เท่ากัน แต่เตา 2 มีปริมาณลมเข้าเซคันดารีน้อยกว่า ทำให้มีปริมาณลมส่วนใหญ่จะไหลผ่านห้องเผาไหม้มากกว่า หรืออาจจะมีลมไหลผ่านช่องเซคันดารีเร็วกว่า (อันเนื่องจากพื้นที่แคบกว่า) การเผาไหม้ดีกว่าอุณหภูมิห้องเผาไหม้สูงกว่าแต่ปริมาณไอเสียก็ไหลออกได้เร็วขึ้น ประสิทธิภาพเชิงความร้อน 27.0 % ต่ำกว่าเตา 1 อย่างชัดเจน ใช้เชื้อเพลิงมากกว่าและค่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงจำเพาะ 101 g/litre สูงกว่าเตา 1 ค่อนข้างมาก

2. เมื่อลดปริมาณลมเข้าและไอเสียออก โดยลดช่องลมเข้ารวมถึงมีฝาครอบหม้อต้มเมื่อเปรียบเทียบกับเตา 1 แล้ว ก็พบว่าเตา 1 ให้ผลการทดลองที่ดีกว่าทั้งค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและค่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงจำเพาะ แต่ก็แตกต่างไม่มากนัก การมีช่องลมเซคันดารีจะช่วยลดความเร็วลมผ่านห้องเผาไหม้ชะลอความร้อนจากการเผาไหม้เก็บไว้ใช้ประโยชน์ได้ประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่ที่ความเร็วลมเข้าออกต่ำ ๆ พื้นที่ช่องลมเข้าเซคันดารีที่แตกต่างกัน ให้ผลไม่แตกต่างกันมากนัก

บทสรุป

1. สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพเตาได้โดยปรับปรุงปัจจัย 3 ด้าน คือ การปรับเพิ่มปริมาณลมเข้าหน้าเตา การเพิ่มจำนวนรูรังผึ้งซึ่งจะทำให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงได้ดียิ่งขึ้น และการควบคุมความร้อนออกจากเตาด้วยการหุ้มฉนวนความร้อนรวมทั้งการลดพื้นที่ช่องไอเสียออก

2. การปรับเพิ่มลมโดยให้ลมเข้าหน้าเตา 2 ช่อง แม้จะทำให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงเร็วขึ้นและอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงจำเพาะก็สูงขึ้นอีกด้วย ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเพิ่มขึ้นได้อีกประมาณ 10 % (จาก 19.50 % เพิ่มเป็น 29.0 %)

3. การปรับลดปริมาณลมเข้าหน้าเตา 2 ช่อง ลดลงครึ่งหนึ่ง การเผาไหม้เชื้อเพลิงช้าลง แต่การเผาไหม้ยังสมบูรณ์เพียงพอ ความร้อนที่ออกไปกับไอเสียก็ช้าลง ทำให้อุณหภูมิห้องเผาไหม้สูงขึ้น ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเพิ่มขึ้นเป็น 42.75 % อีกทั้งอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงจำเพาะก็ลดลง

4. การควบคุมปริมาณไอเสียออกโดยการใช้ฝาครอบ สามารถลดปริมาณความร้อนไปกับไอเสียได้ ทำให้อุณหภูมิห้องเผาไหม้สูงขึ้น ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตายังเพิ่มขึ้นเป็น 50.75 % และอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงจำเพาะก็ลดลงได้อีกด้วย

5. การเพิ่มช่องลมเซคันดารี ทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น และต้องไม่ทำให้ความเร็วลมมากขึ้นจะทำให้ไอเสียไหลออกได้เร็วขึ้น จะส่งผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้ต่ำลงได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนทั้งด้านงบประมาณ การใช้สถานที่ วัสดุและครุภัณฑ์

References

[1] Thai Industrial Standard Institute. **TCPS.657/2547 Thai Community Product Standard Wood Charcoal for Cooking**. Ministry of Industry

[2] Thai Industrial Standard Institute. **TCPS.658/2547 Thai Community Product Standard Wood Charcoal for Grilling**. Ministry of Industry

[3] Thai Industrial Standard Institute. **TCPS.443/2547 Thai Community Product Standard Charcoal Stove**. Ministry of Industry

[4] Kaewluan, S., Chantosee, D., Chansri, S., and Piyarat, W. (2013). Performance Testing of the 20 kW Biomass Gas Stove. **SWU Engineering Journal**. Vol. 8, No. 1, pp. 24-33 (in Thai)

[5] Janjit, J. and Matthujak, A. (2009). Thermal Efficiency Improvement of Household Cooking Burner by Porous Radiant Recirculated Cover. **The 23rd Conferrence of The Mechanical Engineering Network of Thailand**. AEC-006248. Chiang Mai. Secretariat of ME-NETT 23 - THAILAND. (in Thai)

[6] Chaichana, T., Ali, M., and Longsaman, M. (2013). The Study of Thermal Efficiency of Household Cooking Stove. **Journal of Science and Technology Mahasarakham University**. Vol. 32, No. 5, pp. 626-630 (in Thai)

[7] Chorchong, T. and Im-in, W. (2014). Program Simulation of Efficiency Stove and Dowd-draft Gasifier Biomass Stove. In **Proceedings of the Pibulsongkram Research Conferrence**. Pibulsongkram Rajabhat University. pp. 75-82 (in Thai)

[8] Sae-ung, P. and Vichanong, N. (2010). Feasibility Study of Agricultural Waste Application for Briquette Fuel. **The 7th KU-KPS Conference**. Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus. pp. 711-717 (in Thai)

[9] Sanasen, P. (1968). **A Comparative Study in The Use of Charcoal and Gas for Cooking**. Master's Thesis. Faculty of Agriculture, Kasetsart University. (in Thai)

[10] Kumar, A., Prasad, M., and Mishra, K. P. (2013). Coparative Study of Effect of Different Parameters on Performance and Emission of Biomass Cook Stove. **International Journal of Research in Engineering & Technology**. Vol. 1, Issue 3, pp. 121-126

[11] Kryvongwon, P. (2003). **Testing and Efficiency Improvement of Charcoal Stove**. Master's Thesis. Energy Management Technology. School of Energy and Materials. King Mongkut's University of Technology Thonburi. (in Thai)

[12] Kshirsagar, M. P. (2009). Experimental Study for Improving Energy Efficiency of Charcoal Stove. **Journal of Scientific & Industrial Research**. Vol. 68, pp. 412-416

[13] Panklib, T. (2014). Equipment for Increases Efficiency of Cooking Stove and Power Generator. **The Journal of Applied Science**. Vol. 13, No. 1, pp. 1-13

[14] Promdon, A. and Sriveeraku, T. (2012). Thermal Efficiency Test of High Efficiency Cooking Stove (HECS) with Variations on the Number and Diameter Ratio of the Grate's Holes. **The 26rd Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand**. ATM-2010. Chiang Rai. Secretariat of ME-NETT 26 - THAILAND.

[15] Wichangarm, M. and Sriveeraku, T. (2012). Simulation of Air Flow through a High Efficiency Cooking Stove's Grate using CFD. **Journal of Science and Technology Ubon Ratchathani University**. Vol. 14, No. 2, pp. 24-34 (in Thai)

[16] Obaidullah, M., Dyakov, I. V., Thomassin, J. D., Duquesne, T., Bramc, S., Contino, F., and De Ruyck, J. (2014). CO Emission Measurements and Performance Analysis of 10 kW and 20 kW Wood Stoves. **Energy Procedia**. Vol. 61, pp. 2301-2306. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.12.443

[17] Global Alliance for Clean Cookstove. (2015). **The Water Boiling Test**. Cookstove Emissions and Efficiency in a Controlled Laboratory Setting. Ver. 4.2.3. Access (17 March 2015). Available (http://cleancookstoves.org/binary-data/DOCUMENT/file/000/000/399-1.pdf)