

การปรับปรุงสมรรถนะเชิงความร้อนของเตาชีวมวลชนิด Top-Lit Up-Draft (TLUD) แบบระบบบังคับลมและแบบธรรมชาติ

Improving thermal performance of Top-Lit Up-Draft (TLUD) biomass stoves with forced and natural draft systems

นุชลี ทิพย์มณฑา¹, พลชัย ขาวนวล^{2*} และ สมบูรณ์ ประสงค์จันทร์³

Nuchalee Thipmonta¹, Palachai Khaonuan^{2*} and Somboon Prasongchan³

Received: 21 June 2024 ; Revised: 9 August 2024 ; Accepted: 10 September 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและปรับปรุงสมรรถนะเชิงความร้อนเตาชีวมวลชนิด TLUD 3 รูปแบบ ได้แก่ เตา TLUD ที่ใช้ระบบบังคับลมร่วมกับแผ่นควบคุมเปลวไฟ (force draft and choke ring TLUD biomass stove) เตาที่ใช้ระบบบังคับลมเพียงอย่างเดียว (force draft TLUD biomass stove) และเตาที่ใช้แผ่นควบคุมเปลวไฟเพียงอย่างเดียว (choke ring TLUD biomass stove) จากการทดสอบทิศทางลมที่ออกจากระบบบังคับลมไปสู่เตา แตกต่างกัน 3 มุม คือ 0° 45° และ 90° กับแนวระดับ พบว่าทิศทางของลมที่ มุม 45° ใช้เวลาในการต้มน้ำเดือดต่ำสุด และจากการทดสอบสมรรถนะเตาชีวมวลด้วยวิธีการทดสอบโดยการต้มน้ำ (water boiling test; WBT) เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเตาชีวมวลชนิด TLUD ทั้ง 3 รูปแบบ พบว่าเตา TLUD ที่ใช้ทั้งระบบบังคับลมร่วมกับแผ่นควบคุมเปลวไฟมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ดีกว่าเตาที่ใช้แผ่นควบคุมเปลวไฟเพียงอย่างเดียว และเตาที่ใช้ระบบบังคับลมเพียงอย่างเดียว แต่เตาที่ใช้ระบบแผ่นควบคุมเปลวไฟเพียงอย่างเดียวมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงกว่าเตาที่ใช้ระบบบังคับลมเพียงอย่างเดียว โดยมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η) อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ค่าใช้จ่ายพลังงานจำเพาะ (SCC) อัตราการเผาไหม้ (BR) กำลังไฟ (P) เวลาในการเดือดของน้ำ (BT) และปริมาณเชื้อเพลิง เท่ากับ 18.84 ± 0.14 % 15.47 ± 0.21 MJ/kg 0.800 ± 0.011 Baht/kg 38.27 ± 0.51 g/min 9.87 ± 0.13 kW 10.58 ± 0.49 min และ 2.279 ± 0.049 kg ตามลำดับ และยังมีข้อได้เปรียบในเรื่องการประหยัดเชื้อเพลิง ประหยัดพลังงานไฟฟ้า ลดต้นทุนอุปกรณ์บังคับลม และมีความสะดวกกว่าเตาอีก 2 รูปแบบ เนื่องจากไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบบังคับลม โดยเตาที่พัฒนาขึ้นมานี้มีกำลังไฟที่สูง เหมาะสำหรับงานที่ต้องการใช้พลังงานความร้อนที่สูง และใช้เวลานานและต่อเนื่อง เช่น งานอุตสาหกรรมครัวเรือนในการทำขนม การนึ่งขนม การนึ่งข้าว การผลิตไอน้ำ เป็นต้น

คำสำคัญ: เตาชีวมวลชนิด TLUD, ประสิทธิภาพเชิงความร้อน, ระบบบังคับลม, ระบบธรรมชาติ, แผ่นควบคุมเปลวไฟ

Abstract

This research aims to design and improve the thermal performance of three types of TLUD (Top-Lit Up-Draft) biomass stoves: TLUD biomass stoves using a force draft system combined with a choke ring system, TLUD stoves using only a force draft system, and TLUD stoves using only a choke ring system. The study tested different wind directions from the forced draft system into the stove at three angles: 0°, 45°, and 90° relative to the horizontal plane. It was

¹ อาจารย์ประจำหลักสูตรรายวิชาวิทยาศาสตร์ สาขาศึกษาทั่วไป คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000 E-mail: nuchalee.t@rmutsv.ac.th

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, หลักสูตรรายวิชาวิทยาศาสตร์ สาขาศึกษาทั่วไป คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000 E-mail: palachai.k@rmutsv.ac.th

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, หลักสูตรรายวิชาวิทยาศาสตร์ สาขาศึกษาทั่วไป คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000 E-mail: somboom.p@rmutsv.ac.th

¹ Lecturer, Program of Science, Department of General Education, Faculty of Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Muang District, Songkhla, 90000, Thailand E-mail: nuchalee.t@rmutsv.ac.th

² Assistant Professor, Program of Science, Department of General Education, Faculty of Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Muang District, Songkhla, 90000, Thailand E-mail: palachai.k@rmutsv.ac.th

³ Assistant Professor, Program of Science, Department of General Education, Faculty of Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Muang District, Songkhla, 90000, Thailand E-mail: somboom.p@rmutsv.ac.th

* Corresponding author: E-mail: palachai.k@rmutsv.ac.th

found that a 45° angle used the least amount of time to bring water to boil. The thermal performance of the TLUD biomass stoves was assessed using the Water Boiling Test (WBT) to compare the three types of TLUD stoves. The findings revealed that TLUD stoves employing both the force draft and choke ring systems had the highest thermal efficiency, outperforming those using only the choke ring system or only the force draft system. However, the TLUD stoves using only the choke ring system had higher thermal efficiency than those using only the force draft system. The efficiency metrics were as follows: thermal efficiency (η) was $18.84 \pm 0.14\%$, specific energy consumption (SEC) was 15.47 ± 0.21 MJ/kg, specific cost consumption (SCC) was 0.800 ± 0.011 Baht/kg, burning rate (BR) was 38.27 ± 0.51 g/min, firepower (P) was 9.87 ± 0.13 kW, boiling time (BT) was 10.58 ± 0.49 minutes, and fuel consumption was 2.279 ± 0.049 kg. The developed stove offers advantages in fuel savings, reduced electricity consumption, lower costs for air control equipment, and convenience as it does not require electrical power for the draft system. This makes it suitable for applications requiring high and sustained thermal energy, such as household industrial activities in baking, steaming food, and steam production.

Keywords: TLUD biomass Stoves, thermal efficiency, force draft system, natural draft system, choke ring system

บทนำ

ประเทศไทยกำลังประสบปัญหาวิกฤตทางด้านพลังงาน เนื่องจากพลังงานส่วนใหญ่ใช้แล้วหมดสิ้นไป และพลังงานหลักกำลังจะหมดไปในอีกไม่ช้า และการใช้พลังงานอาจก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม หลายหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนจึงมีการคิดริเริ่มในการสรรหาพลังงานจากแหล่งพลังงานทางเลือก เช่น พลังงานนิวเคลียร์ พลังงานทดแทน และพลังงานชีวมวล เป็นต้น สถานการณ์พลังงานทดแทนในประเทศไทยนั้นมีการพัฒนาที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปี 2557 พบว่ามีการใช้พลังงานเป็นพลังงานทดแทน 5,144 ktoe (พินตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ) ซึ่งเป็นร้อยละ 89 ของพลังงานทดแทนทั้งหมดที่มีการใช้งาน (9,025 ktoe) โดยเป้าหมายปี 2579 การผลิตพลังงานทดแทนประเภทชีวมวล 22,100 ktoe โดยมีการขับเคลื่อนการขับเคลื่อนการพัฒนาพลังงานทดแทนตามยุทธศาสตร์ชาติ (แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579)

ปัจจุบันพลังงานทดแทนมีความนิยมสูงขึ้น โดยเฉพาะการใช้พลังงานความร้อนจากเตาชีวมวล ซึ่งใช้วัสดุเหลือทิ้งประเภทชีวมวล เช่น เศษไม้ ถ่าน หรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เป็นเชื้อเพลิง เพื่อใช้ในการหุงต้ม ประกอบอาหาร และการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร เพื่อลดค่าใช้จ่ายและเพิ่มรายได้ โดยมีแนวโน้มที่แก๊สหุงต้มมีราคาสูงขึ้นเรื่อยๆ (ราคาปัจจุบัน 450 บาทต่อถังขนาด 15 กิโลกรัม) จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการส่งเสริมลงไปใช้ในชุมชนต่อไป

ไม้ยางพาราซึ่งเป็นชีวมวลประเภทหนึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการปลูกจำนวนมาก โดยปี 2565 มีปริมาณการเพาะปลูกทั้งสิ้น 24,229,386 ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2567) โดยส่วนต่างๆ ของไม้ยางพาราจะถูกนำไปใช้ประโยชน์เกือบทั้งหมด เช่น ชีวเถ้า เศษไม้ ปลาย และปีกไม้ยางพารา ยกเว้น

กิ่งก้านไม้ยางพาราบางส่วนที่ยังไม่ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558)

เตาชีวมวลเป็นเตาที่ใช้พลังงานจากการเผาไหม้ชีวมวล กระบวนการผลิตแก๊สชีวมวลเป็นการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวมวลแข็งเป็นเชื้อเพลิงแก๊สชีวมวลในสภาวะการเผาไหม้แบบปราศจากอากาศ โดยขั้นตอนการผลิตแก๊สชีวมวล ประกอบด้วย 1) การเผาไหม้ 2) ริดักชั่น 3) ไพโรไลซิส และ 4) การอบแห้ง โดยกระบวนการเผาไหม้จะเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะไหลผ่านชั้นของคาร์บอนร้อนเกิดการรีดิวซ์เป็นแก๊สชีวมวล เช่น แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) แก๊สมีเทน (CH_4) และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) เตาชีวมวลยังมีการใช้งานอยู่ทั่วไป ซึ่งประชากรจำนวน 2.8 พันล้านคน (มากกว่า 1 ใน 3 ของประชากรโลก) ยังมีการใช้พลังงานความร้อนจากเตาชีวมวลอยู่ โดยถูกใช้ประโยชน์ในระดับครัวเรือนและระดับอุตสาหกรรม โดยเตาชีวมวลมีหลายรูปแบบ ได้แก่ เตาชีวมวลแบบดั้งเดิม และเตาที่ได้รับการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพแล้วเพื่อลดการใช้เชื้อเพลิง ลดต้นทุนประหยัดเวลา และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิง (Yunusa *et al.*, 2023) จากงานวิจัยของธเนศ ไชยชนะ และคณะ (2556) ศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้มระดับครัวเรือนจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง เตาดำขนาดกลาง เตาอั้งโล่ธรรมดา เตาปากยื่น เตาดำขนาดเล็ก และเตาอั้งโล่ธรรมดาขนาดเล็ก ซึ่งมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 30.54 24.29 21.70 19.80 18.46 และ 16.66% ตามลำดับ ซึ่งการใช้เชื้อเพลิงที่แตกต่างกันจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเตาชีวมวลที่แตกต่างกัน โดย Hailu (2022) พบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดต่างๆ เช่น ยูคาลิปตัส ไม้ไผ่ และขี้เลื่อย-ขี้วัวอัดก้อน ซึ่งเชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 3 ประเภทนี้ถูกใช้กับ

เตาแบบเดียวกันพบว่ามีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ต่างกันโดยมีค่าเท่ากับ 32.03 ± 0.3 31.5 ± 0.5 และ $26.25 \pm 0.25\%$ ตามลำดับ ซึ่งการใช้ระบบบังคับลมมาช่วยในการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะมีผลต่อสมรรถนะของเตา โดย Bofo-Mensah *et al.* (2021) เปรียบเทียบระหว่างเตาชีวมวลที่มีระบบบังคับลม (force draft) และแบบธรรมชาติ (natural draft) พบว่าเตาชีวมวลที่มีระบบบังคับลมมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าและมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าทำให้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพน้อยกว่า ในขณะที่เตาชีวมวลแบบธรรมชาติมีต้นทุนที่ต่ำกว่าและบำรุงรักษาได้ง่ายกว่า นอกจากนี้ MacCarty *et al.* (2024) ยังพบว่าการใช้ระบบบังคับลมร่วมกับเตาชีวมวลจะทำให้ลดเวลาการทำงานและลดปริมาณ PM 2.5 เมื่อเทียบกับเตาชีวมวลที่ไม่ใช้ระบบลมอยู่ที่ 29 และ 64% ตามลำดับ อีกทั้ง Bentson *et al.* (2024) พบว่าการใช้ระบบบังคับลมร่วมกับเตาชีวมวลทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นจากเดิม 34% การปล่อย PM 2.5 ลดลง 89% และปล่อยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง 74% เมื่อเทียบกับเตาชีวมวลที่ไม่ใช้ระบบบังคับลม จากงานวิจัยเตาชีวมวลมีหลากหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน เช่น เตาอังโปลเป็นเตาที่มีความนิยมใช้กันมากที่สุดเพราะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนค่อนข้างสูง สามารถเติมเชื้อเพลิงต่อเนื่อง แต่เกิดควันมากและกำลังไฟต่ำ ส่วนเตาจรวดมีกำลังไฟที่สูง สามารถใช้เชื้อเพลิงขนาดยาวได้ มีควันน้อย ควบคุมกำลังไฟได้ง่าย แต่การให้ความร้อนไม่สม่ำเสมอ และเตาชีวมวล TLUD (top-lit up-draft) เป็นเตาชีวมวลที่ออกแบบมาให้มีโครงสร้างเป็นเตาผนัง 2 ชั้น โดยชั้นที่ 1 เป็นห้องเผาไหม้ และชั้นที่ 2 เป็นช่องอุณหอากาศที่ทำหน้าที่เป็นช่องทางให้อากาศจากภายนอกไหลผ่านเข้ามาบริเวณด้านบนของห้องเผาไหม้ นอกจากนี้ยังมีช่องทางสำหรับการอากาศไหลออกอยู่ด้านบนของห้องเผาไหม้ของเตา ในขณะที่เตาเผาไหม้ชีวมวลภายในห้องเผาไหม้ แก๊สชีวมวลที่เกิดจะลอยขึ้นไปด้านบนและเกิดการลุกไหม้บริเวณด้านบนของเตา อากาศร้อนที่ไหลเวียนอยู่ในช่องอุณหอากาศจะถูกบังคับให้ไหลจากด้านล่างของเตาสู่ด้านบนของห้องเผาไหม้เพื่อช่วยในกระบวนการเผาไหม้แบบทุติยภูมิที่บริเวณด้านบนของห้องเผาไหม้ (สุปราณี วุ่นศรี และคณะ, 2566) โดยเตาดังกล่าวมีควันน้อย มีกำลังไฟสูง แต่การป้อนเชื้อเพลิงค่อนข้างยาก ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและปรับปรุงสมรรถนะเชิงความร้อนเตาชีวมวลชนิด TLUD โดยทดสอบด้านทิศทางของลมที่แตกต่างกัน และเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเตาชีวมวลชนิด TLUD ระหว่าง เตา TLUD ที่ใช้ระบบบังคับลมร่วมกับแผ่นควบคุมเปลวไฟ เตาที่ใช้ระบบบังคับลมเพียงอย่างเดียว และเตาที่ใช้แผ่นควบคุมเปลวไฟเพียงอย่างเดียว

วัตถุประสงค์

1. ออกแบบและปรับปรุงสมรรถนะเชิงความร้อนเตาชีวมวลชนิด TLUD โดยทดสอบด้านทิศทางของลมที่แตกต่างกัน
2. เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเตาชีวมวลชนิด TLUD ระหว่าง (1) เตาที่ใช้ระบบบังคับลมร่วมกับแผ่นควบคุมเปลวไฟ (2) เตาที่ใช้ระบบบังคับลมเพียงอย่างเดียว และ (3) เตาที่ใช้แผ่นควบคุมเปลวไฟเพียงอย่างเดียว

การทดลอง

1. การออกแบบเตาชีวมวลต้นแบบชนิด TLUD

ประกอบเตาชีวมวลชนิด TLUD ทำจากโลหะโดยมีส่วนประกอบในหน่วยเซนติเมตร ดังนี้ 1) เสื้อเตา มีขนาดกว้าง 30 ยาว 30 สูง 50 2) ห้องเผาไหม้ มีขนาดกว้าง 19 ยาว 19 สูง 30 3) กระบะรองขี้เถ้า มีขนาดกว้าง 25 ยาว 27.5 สูง 6.5 4) ระบบบังคับลม (force draft) เป็นกล่องปริซึมสี่เหลี่ยมคางหมูขนาดกว้าง 16.5 ยาว 24 สูง 5 5) แผ่นควบคุมเปลวไฟ (choke ring) มีขนาดกว้าง 23 ยาว 23 เจาะตรงกลางโดยเว้นระยะขอบเข้าไปข้างใน 2 ต่อแผ่นเหล็กเอียงกว้าง 5 เป็นมุมก้มกับแนวระดับ 6) ที่จับเตาสำหรับเคลื่อนย้าย

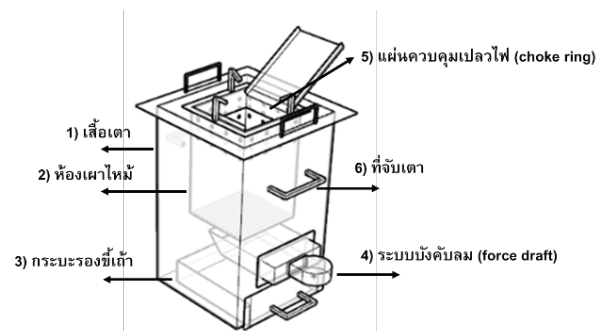


Figure 1 Prototype of TLUD biomass stove

2. การเปรียบเทียบทิศทางลมที่มีผลต่อการเดือดของน้ำ

การทดสอบทิศทางลมจากระบบบังคับลมของเตาชีวมวลชนิด TLUD โดยการเปรียบเทียบทิศทางลมและองศาของระบบลมที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0° , 45° และ 90° กับแนวระดับ โดยพัดลมที่ใช้ทดสอบขนาด 12 โวลต์ โดยมีความเร็วลม เท่ากับ 10.2 เมตรต่อวินาที ดังรูปที่ 2 โดยการทดสอบการต้มน้ำและจับเวลาที่ทำให้อุณหภูมิของน้ำเข้าสู่จุดเดือด

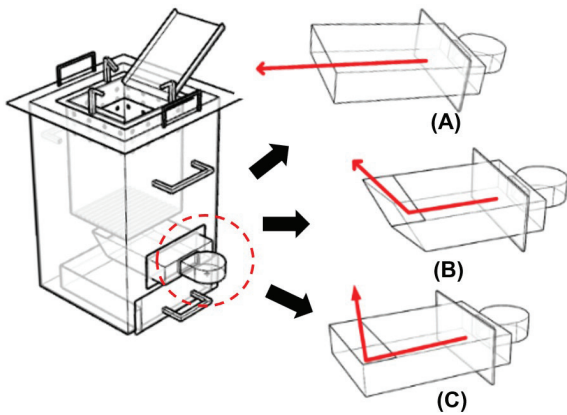


Figure 2 Testing of wind direction for the force draft system of the TLUD biomass stove (A) wind direction at 0° (B) wind direction at 45° (C) wind direction at 90°

3. การเปรียบเทียบเตาชีวมวลชนิด TLUD

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวลชนิด TLUD ที่มีลักษณะแตกต่างทั้ง 3 รูปแบบ ดัง Figure 3 ประกอบด้วย

แบบที่ 1 (A) เตา TLUD ที่ใช้ระบบบังคับลมร่วมกับแผ่นควบคุมเปลวไฟ (force draft and choke ring)

แบบที่ 2 (B) เตา TLUD ที่ใช้ระบบบังคับลม เพียงอย่างเดียว (force draft) และ

แบบที่ 3 (C) เตา TLUD ที่ใช้แผ่นควบคุมเปลวไฟเพียงอย่างเดียว (choke ring) ซึ่งไม่ใช้ระบบบังคับลม (natural draft)

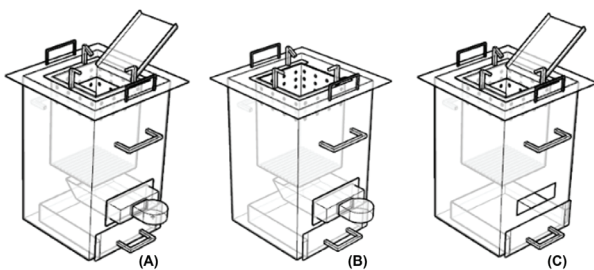


Figure 3 TLUD biomass stove

(A) force draft and choke ring TLUD biomass stove
(B) force draft TLUD biomass stove (C) choke ring TLUD biomass stove

4. ทดสอบค่าสมรรถนะเตาชีวมวลชนิด TLUD

ทำการทดสอบสมรรถนะเตาจรวด ใช้วิธีทดสอบการเดือดของน้ำ (water boiling test; WBT) โดยใช้ น้ำปริมาตร 5 ลิตร เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในการทดสอบคือกิ่งไม้ยางพารา ซึ่งมีค่าความร้อนต่ำ (lower heating value; LHV) เท่ากับ

15,472 กิโลจูล/กิโลกรัม (kJ/kg) ราคาเชื้อเพลิง 0.8 บาท/กิโลกรัม ความยาว 15 เซนติเมตร ทำการไล่ความชื้นในเนื้อไม้โดยอบที่อุณหภูมิ 108-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวมวลที่ยังมีความชื้นอยู่จะส่งผลทำให้ค่าสมรรถนะของเตาชีวมวลที่ต้องการทดสอบเกิดความแปรปรวน (Huangfu *et al.*, 2014) เก็บรักษาเชื้อเพลิงที่อบไล่ความชื้นแล้วไว้ในภาชนะปิดเพื่อป้องกันความชื้นในอากาศกลับเข้าสู่เชื้อเพลิง เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบอุณหภูมิ คือ เทอร์โมมิเตอร์ Fluke 54-2B และโพรบชนิด k Fluke 80pk-22 ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิในช่วง -40 – 1,090 องศาเซลเซียส ทำการวัดอุณหภูมิของน้ำในภาชนะอลูมิเนียม โดยที่ปลายโพรบอยู่ตำแหน่งภายในกึ่งกลางภาชนะและสูงจากก้นภาชนะ 3 เซนติเมตร ภาชนะที่ใช้ในการทดสอบคือ ภาชนะที่ใช้ต้มน้ำเป็นหม้ออะลูมิเนียม (AL 1100 ค่าการนำความร้อน 222 W/m.K) หนา 1.3 มม. ความจุ 8 ลิตร เส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณปากหม้อ 28 ซม. สูงไม่รวมฝา 15.8 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางก้นหม้อ 22 ซม. วัดอัตราการไหลของลมที่บริเวณปากช่องระบบบังคับลมโดยใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบใบพัด Fluke 925 เพื่อนำไปคำนวณปริมาณอากาศที่ใช้

ในการทดสอบการเดือดของน้ำดำเนินการในห้องปฏิบัติการที่มีตู้ดูดควันเพื่อป้องกันผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมต่างๆ โดยเริ่มต้นจากการใส่น้ำลงในภาชนะปริมาณ 5 ลิตร จากนั้นใส่เชื้อเพลิงลงในห้องเผาไหม้ปริมาณ 1.3 กิโลกรัม จุดเชื้อเพลิงจากด้านบนพร้อมเริ่มจับเวลา ทั้งระยะไว้ 2 นาที เพื่อให้เชื้อเพลิงติดดี จากนั้นนำภาชนะที่บรรจุน้ำมาวางบนเตา ใส่ระบบบังคับลมและเริ่มวัดอุณหภูมิของน้ำ เมื่ออุณหภูมิของน้ำถึงจุดเดือดให้หยุดการทำงานของระบบบังคับลม และทำการคงสภาพการเดือดของน้ำต่อไปอีก 45 นาที ควบคุมอุณหภูมิของน้ำไม่ให้ต่ำกว่าจุดเดือดเกิน 6 องศาเซลเซียส โดยการค่อยๆ เติมเชื้อเพลิงเพิ่มครั้งละ 0.5 กิโลกรัม เมื่อครบเวลา 45 นาที ให้ยกภาชนะบรรจุน้ำออก นำเชื้อเพลิงออกจากเตาใส่ในภาชนะปิดเพื่อไม่ให้เกิดการเผาไหม้ต่อ ซึ่งปริมาณเชื้อเพลิงที่เหลือและขี้เถ้าเพื่อใช้ในการคำนวณมวลเชื้อเพลิงสุทธิ เมื่ออุณหภูมิของน้ำลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องจึงทำการชั่งน้ำหนักน้ำที่เหลือเพื่อคำนวณมวลของไอน้ำที่เกิดขึ้น (m_v) จากน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณปริมาณต่างๆ ดังนี้

1. ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (thermal efficiency; η) (Berrueta *et al.*, 2008) คือ ร้อยละของการนำความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของเตาชีวมวลมาใช้ประโยชน์ โดยคำนวณได้จาก

$$\eta = \left[\frac{4.186 m_w (T_f - T_i) + 2260 m_v}{\dot{m}_f \times \text{LHV}} \right] \times 100 \quad (1)$$

โดย η คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน มีหน่วยเป็น ร้อยละ (%) m_w คือ มวลของน้ำ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg) T_i คือ อุณหภูมิต่ำสุดของน้ำ มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) T_f คือ อุณหภูมิสูงสุดของน้ำ มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) m_v คือ มวลของไอน้ำที่เกิดขึ้น มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg) f_d คือ มวลของเชื้อเพลิง มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg) LHV คือ ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง มีหน่วยเป็น กิโลจูล/กิโลกรัม (kJ/kg) 4.186 คือ ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ มีหน่วยเป็น กิโลจูล/กิโลกรัม.องศาเซลเซียส (kJ/kg. $^{\circ}\text{C}$) 2260 คือ ความร้อนแฝงจำเพาะของการกลายเป็นไอของน้ำ มีหน่วยเป็น กิโลจูล/กิโลกรัม (kJ/kg)

2. อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (specific energy consumption; SEC) (สมมาส แก้วล้วน และคณะ, 2556) คือ พลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลที่เผาไหม้ในเตาที่ใช้สำหรับผลิตไอน้ำ 1 กิโลกรัม

$$SEC = \frac{E_v}{m_v} \quad (2)$$

โดย SEC คือ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ มีหน่วยเป็น เมกะจูล/กิโลกรัม (MJ/kg) E_v คือ พลังงานความร้อนจากชีวมวลภายในห้องเผาไหม้ที่ใช้ในการระเหยน้ำโดยคำนวณจากผลคูณระหว่างค่าความร้อนทางต่ำกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ มีหน่วยเป็น เมกะจูล (MJ) m_v คือ มวลของไอน้ำที่เกิดขึ้น มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)

3. ค่าใช้จ่ายพลังงานจำเพาะ (specific cost consumption; SCC) (สมมาส แก้วล้วน และคณะ, 2556) คือ ค่าใช้จ่ายของความร้อนจากชีวมวลที่ถูกเผาไหม้เพื่อนำมาทำให้น้ำ 1 กิโลกรัม กลายเป็นไอน้ำ

$$SCC = \frac{C}{m_v} \quad (3)$$

โดย SCC คือ ค่าใช้จ่ายพลังงานจำเพาะ มีหน่วยเป็น Baht/kg C คือ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน มีหน่วยเป็น Baht m_v คือ มวลของไอน้ำที่เกิดขึ้น มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)

4. อัตราการเผาไหม้ (burning rate; BR) (Oyelaran *et al.*, 2015) คือ อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลในเตาในหนึ่งหน่วยเวลา คำนวณโดย

$$R_b = \frac{f_d}{\Delta t_m} \quad (4)$$

โดย R_b คือ อัตราการเผาไหม้ มีหน่วยเป็น กรัม/นาที (g/min) f_d คือ มวลเชื้อเพลิงสุทธิ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg) Δt_m คือ ช่วงเวลาของการเผาไหม้ในหน่วยนาที มีหน่วยเป็น นาที (min)

5. กำลังไฟ (firepower; P) (Huangfu *et al.*, 2014) เป็นอัตราการใช้พลังงานชีวมวลที่ถูกเผาไหม้ในเตาในหนึ่งหน่วยเวลา คำนวณโดย

$$P = \frac{E}{\Delta t_s} \quad (5)$$

โดย P คือ กำลังไฟของเตาชีวมวล มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์ (kW) E คือ พลังงานที่ใช้ มีหน่วยเป็น กิโลจูล (kJ) Δt_s คือ ช่วงเวลาของการเผาไหม้ในหน่วยวินาที มีหน่วยเป็น วินาที (s)

6. เวลาในการเดือดของน้ำ (boiling time; BT) เป็นเวลาที่ใช้ในการทำให้น้ำปริมาตร 5 ลิตร เดือดโดยใช้เตาชีวมวลซึ่งเริ่มจับเวลาตั้งแต่วางภาชนะบรรจุบนเตาจนกระทั่งน้ำเดือด มีหน่วยเป็น นาที (min)

7. ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ (fuel quantity) เป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้กับเตาทั้ง 3 รูปแบบ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) ประกอบด้วย 2 กลุ่มการทดลอง คือ กลุ่มที่ 1 เป็นการหาค่ามุมของทิศทางลมที่ปล่อยเข้าสู่เตา มีจำนวน 3 ทิศทาง ได้แก่ ทิศทางลมที่ 0° , 45° และ 90° กับแนวระดับ เมื่อได้มุมทิศทางลมที่ดีที่สุดแล้วจึงเข้าสู่กลุ่มการทดลองที่ 2 โดยกลุ่มที่ 2 เป็นการทดสอบลักษณะเตา มีเตาจำนวน 3 รูปแบบ ได้แก่ เตา TLUD ที่ใช้ทั้งระบบบังคับลมร่วมกับแผ่นควบคุมเปลวไฟ, เตา TLUD ที่ใช้ระบบบังคับลมเพียงอย่างเดียว และ เตา TLUD ที่ใช้แผ่นควบคุมเปลวไฟ เพียงอย่างเดียว แต่ละการทดลองทำซ้ำ 3 ซ้ำ รายงานผลในรูปของค่าเฉลี่ย (mean $\pm$ S.D.) วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) ของผลการทดลอง และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม R

ผลการทดลองและอภิปรายผล

1. ผลการออกแบบเตาชีวมวลชนิด TLUD

จากการออกแบบเตาชีวมวลต้นแบบชนิด TLUD และสามารถนำใช้งานกับภาชนะทุกประเภทในครัวเรือนจาก Figure 1 โดยมีส่วนประกอบ ดังนี้ 1) เสื้อเตา ทำหน้าที่พยุ

โครงสร้างเตา โดยเชื้อเตาอยู่ในตำแหน่งนอกสุดของเตาชีวมวลชนิด TLUD 2) ห้องเผาไหม้ ทำหน้าที่ควบคุมการเผาไหม้รองรับเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับการเผาไหม้และแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ และทำให้การส่งผ่านความร้อนจากด้านล่างห้องเผาไหม้ไปยังบริเวณปากเตา 3) กระบะรองรับเชื้อเพลิงที่ทำหน้าที่รองรับเชื้อเพลิงที่เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวลภายในห้องเผาไหม้ 4) ระบบบังคับลม ทำหน้าที่ปล่อยลมและควบคุมทิศทางลมที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้ 5) แผ่นควบคุมเปลวไฟ ทำหน้าที่รองรับภาระควบคุมเปลวไฟบริเวณปากเตาไม่ให้เกิดการกระจายรองรับเชื้อเพลิงชีวมวลที่จะเข้าสู่ห้องเผาไหม้และควบคุมไม่ให้เชื้อเพลิงหลุดออกจากห้องเผาไหม้ในกรณีที่ป้อนเชื้อเพลิงผิด 6) ที่จับเตา ทำหน้าที่สำหรับการเคลื่อนย้าย

2. ผลการเปรียบเทียบทิศทางลมที่มีผลต่อการเดือดน้ำ

จากการทดสอบและเปรียบเทียบทิศทางลมที่มีผลต่อการเดือดน้ำจากระบบลมของเตาชีวมวลชนิด TLUD ซึ่งมีการกำหนดทิศทางลมแตกต่างกัน ที่ถูกปล่อยออกมาจากระบบอากาศปฐมภูมิ ได้แก่ 0°, 45° และ 90° กับแนวระดับ โดยพัดลมที่ใช้ทดสอบขนาด 12 โวลต์ และวัดอัตราการไหลของลมที่ตำแหน่งตะแกรงตรงกันภายในห้องเผาไหม้ ซึ่งลมที่มาจากระบบบังคับลม 0° มีทิศทางขนานกับกันห้องเผาไหม้ ทำให้ลมไม่เข้าห้องเผาไหม้โดยตรง มีอัตราการไหลของลมเท่ากับ $0.47 \pm 0.16 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ ระบบบังคับลม 45° มีทิศทางพุ่งเข้าสู่กันห้องเผาไหม้ในแนวเฉียง มีอัตราการไหลของลมเท่ากับ $1.08 \pm 0.15 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่ง และระบบบังคับลม 90° มีทิศทางพุ่งเข้าสู่กันห้องเผาไหม้ มีอัตราการไหลของลมเท่ากับ $0.82 \pm 0.08 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ ดัง Figure 4 โดยการทดสอบด้วยวิธีการต้มน้ำ จำนวน 5 ลิตร และจับเวลาที่ทำให้อุณหภูมิของน้ำเข้าสู่จุดเดือด พบว่า

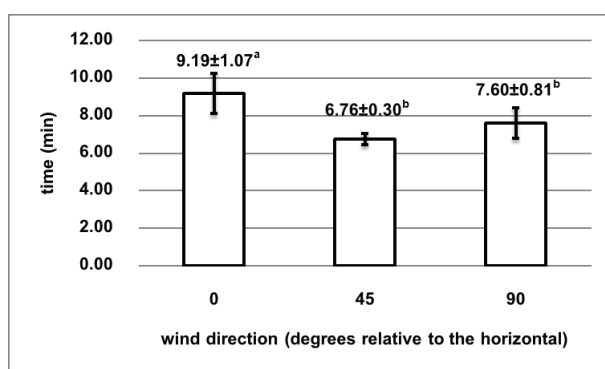


Figure 4 Comparative the effects of wind directions at 0°, 45°, and 90° angles on water boiling time

Note: The mean value followed by the same letter is not different at the 0.05 significance level

ผลการทดสอบทิศทางของลมที่ทำมุม 45° ใช้เวลาในการต้มน้ำเดือดน้อยที่สุด เท่ากับ 6.76 ± 0.30 นาที รองลงมาเป็นมุม 90° เท่ากับ 7.60 ± 0.81 นาที และที่มุม 0° ใช้เวลาในการต้มน้ำเดือดมากที่สุด เท่ากับ 9.19 ± 1.07 นาที ตามลำดับ (เวลาที่ในการต้มน้ำโดยใช้ลมในทิศทาง 45° และ 90° มีค่าไม่แตกต่าง แต่ทั้งคู่มิแตกต่างกับทิศทาง 0° อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05) ในการเปรียบเทียบทิศทางของลมที่เข้าสู่ระบบการเผาไหม้ของเตาที่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่า การทำมุม 45° ใช้เวลาน้อยกว่า เนื่องจากมุม 45° ทิศทางของลมสามารถพุ่งเข้าสู่กันห้องเผาไหม้ได้โดยตรง ส่วนมุม 0° ไม่สามารถเข้าสู่กันห้องเผาไหม้ได้โดยไปกระทบกับเชื้อเตา แต่จะไปช่วยในการเผาไหม้บริเวณช่องอากาศทุติยภูมิ และมุม 90° ลมที่เข้าสู่ระบบบางส่วนเกิดการสะท้อนกลับ ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังการไหลของลมที่ตำแหน่งตะแกรงตรงกันภายในห้องเผาไหม้ พบว่าระบบบังคับลม 45° มีอัตราการไหลของลมสูงสุด ถัดลงมาได้แก่มุม 90° และ 0° ตามลำดับ ดังนั้นจากการทดสอบดังกล่าวจะใช้ทิศทางของลมที่ทำมุม 45° กับแนวระดับ

3. ผลการทดสอบสมรรถนะเตาชีวมวลชนิด TLUD

ผลการทดสอบเตาชีวมวลชนิด TLUD ทั้ง 3 รูปแบบ ได้แก่ แบบที่ 1) เตา TLUD ที่ใช้ทั้งระบบบังคับลมร่วมกับแผ่นควบคุมเปลวไฟ (force draft and choke ring) แบบที่ 2) เตา TLUD ใช้ระบบบังคับลมเพียงอย่างเดียว (force draft) และแบบที่ 3) เตา TLUD ใช้แผ่นควบคุมเปลวไฟเพียงอย่างเดียว (choke ring) โดยแผ่นควบคุมเปลวไฟมีหน้าที่ควบคุมเปลวไฟ ส่วนระบบบังคับลม มีหน้าที่เร่งการเผาไหม้

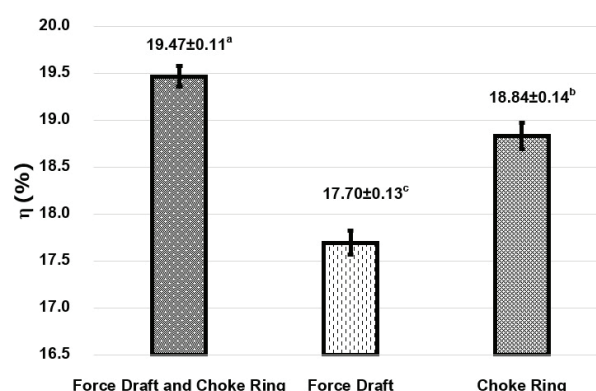


Figure 5 Comparative the thermal efficiency (η) of TLUD biomass stoves

Note: The mean value followed by the same letter is not different at the 0.05 significance level

จาก Figure 5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η) ของเตา TLUD ที่ใช้ทั้งระบบบังคับลมร่วมกับแผ่นควบคุมเปลวไฟ มีค่าสูงสุด เท่ากับ $19.47 \pm 0.11\%$ รองลงมาเป็นแผ่นควบคุมเปลวไฟเพียงอย่างเดียว เท่ากับ $18.84 \pm 0.14\%$ และระบบบังคับลมเพียงอย่างเดียว มีค่าต่ำสุด เท่ากับ $17.70 \pm 0.13\%$ ซึ่งเตาทั้ง 3 ชนิดนี้มีค่าแตกต่างกันทางสถิติที่ 0.05 เนื่องจากเตา TLUD ที่ใช้ทั้งระบบบังคับลมร่วมกับแผ่นควบคุมเปลวไฟได้มีการนำระบบบังคับลมเข้ามาช่วยเร่งในการเผาไหม้ ส่วนแผ่นควบคุมเปลวไฟช่วยในการป้องกันการกระจัดกระจายของเปลวไฟและทำให้เปลวไฟจากห้องเผาไหม้ถูกรวมกันและส่งเข้าไปยังก้นภาชนะ จึงทำให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงกว่าเตาที่ใช้แผ่นควบคุมเปลวไฟและเตาที่ใช้ระบบบังคับลมเพียงอย่างเดียว

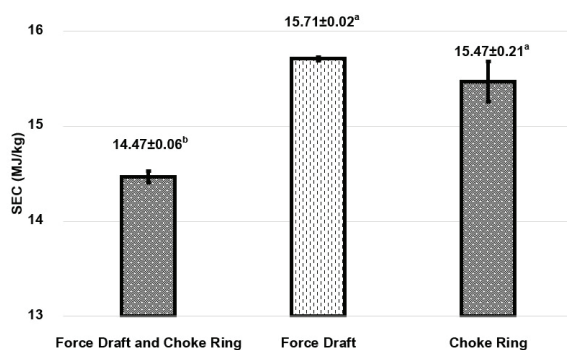


Figure 6 Comparative the specific energy consumption (SEC) of TLUD biomass stoves

Note: The mean value followed by the same letter is not different at the 0.05 significance level

จาก Figure 6 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ของเตา TLUD ที่ใช้ทั้งระบบบังคับลมร่วมกับแผ่นควบคุมเปลวไฟมีค่าต่ำสุด (14.47 ± 0.06 MJ/kg) ซึ่งมีค่าแตกต่างกับเตาที่ใช้ระบบบังคับลมเพียงอย่างเดียว (15.71 ± 0.02 MJ/kg) และเตาที่ใช้แผ่นควบคุมเปลวไฟเพียงอย่างเดียว (15.47 ± 0.21 MJ/kg) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยเตาทั้ง 2 ที่ได้กล่าวมานี้มีค่าไม่ต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.05

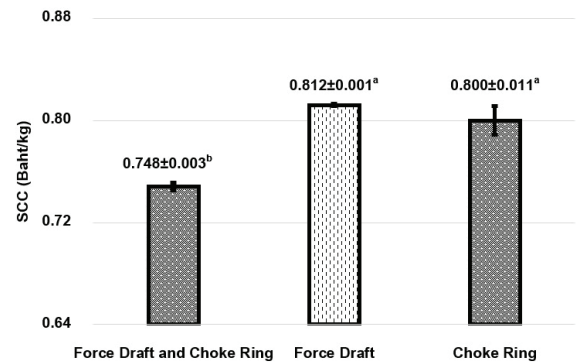


Figure 7 Comparative the specific cost consumption (SCC) of TLUD biomass stoves

Note: The mean value followed by the same letter is not different at the 0.05 significance level

จาก Figure 7 ค่าใช้จ่ายพลังงานจำเพาะ (SCC) ของเตา TLUD ที่ใช้ทั้งระบบบังคับลมร่วมกับแผ่นควบคุมเปลวไฟมีค่าต่ำสุด เท่ากับ 0.748 ± 0.003 Baht/kg และมีค่าแตกต่างกับเตาทั้ง 2 แบบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งเตาชีวมวลที่ใช้เพียงแผ่นควบคุมเปลวไฟและระบบบังคับลมเพียงอย่างเดียว เท่ากับ 0.800 ± 0.011 และ 0.812 ± 0.001 baht/kg ตามลำดับ และมีค่าไม่ต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.05

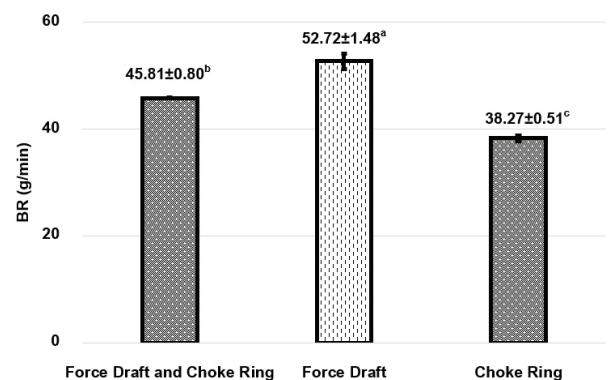


Figure 8 Comparative the burning rate (BR) of TLUD biomass stoves

Note: The mean value followed by the same letter is not different at the 0.05 significance level

จาก Figure 8 ผลของอัตราการเผาไหม้ (BR) พบว่าเตาชีวมวลที่มีระบบบังคับลมเพียงอย่างเดียวมีค่าสูงสุด เท่ากับ 52.72 ± 1.48 g/min รองลงมาเป็นเตา TLUD ที่ใช้ทั้งระบบลมบังคับร่วมกับแผ่นควบคุมเปลวไฟ เท่ากับ 45.81 ± 0.80 g/min ส่วนแบบที่มีแผ่นควบคุมเปลวไฟเพียงอย่างเดียวที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 38.27 ± 0.51 g/min ตามลำดับ โดยที่เตาทั้ง 3 ต่างมีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

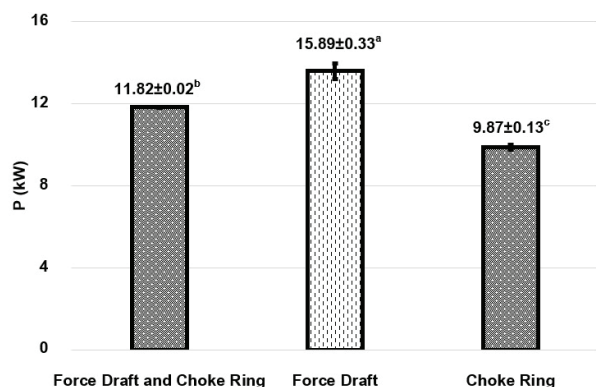


Figure 9 Comparative the firepower (P) of TLUD biomass stoves

Note: The mean value followed by the same letter is not different at the 0.05 significance level

จาก Figure 9 กำลังไฟ (P) ของเตาชีวมวลแบบที่มีระบบบังคับลมเพียงอย่างเดียวมีค่าสูงสุด เท่ากับ 13.59±0.38 kW รองลงมาเตา TLUD ที่ใช้ทั้งระบบบังคับลมร่วมกับแผ่นควบคุมเปลวไฟ เท่ากับ 11.82±0.02 kW ส่วนแบบที่มีแผ่นควบคุมเปลวไฟเพียงอย่างเดียวมีค่าต่ำสุด เท่ากับ 9.87±0.13 kW ตามลำดับ ซึ่งเตาชีวมวลทั้ง 3 รูปแบบมีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้เนื่องจากเตาชีวมวลที่ใช้ระบบบังคับลมเพียงอย่างเดียวจะมีการใช้ลมเข้ามาช่วยในการเผาไหม้และด้านบนของห้องเผาไหม้มีพื้นที่ในการรับอากาศมากกว่าเตา TLUD ที่ใช้ทั้งระบบบังคับลมร่วมกับแผ่นควบคุมเปลวไฟ และแบบที่มีแผ่นควบคุมเปลวไฟเพียงอย่างเดียว

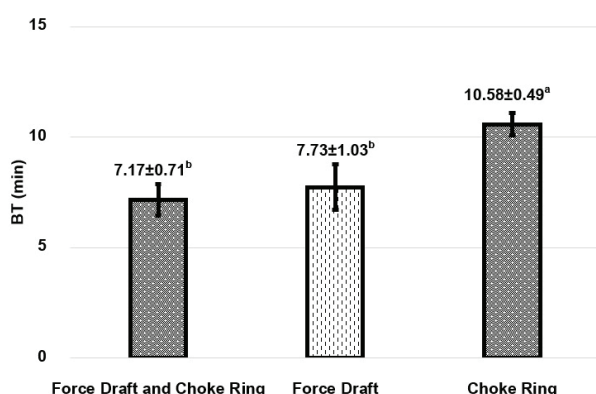


Figure 10 Comparative the boiling time (BT) of TLUD biomass stoves

Note: The mean value followed by the same letter is not different at the 0.05 significance level

จาก Figure 10 ผลของเวลาในการเดือดของน้ำ (BT) พบว่า เตา TLUD ที่ใช้ทั้งระบบบังคับลมร่วมกับแผ่นควบคุมเปลวไฟ กับที่ใช้ระบบบังคับลมเพียงอย่างเดียวมีค่าต่ำสุด เท่ากับ 7.17±0.71 และ 7.73±1.03 min ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่ต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในขณะที่เตาชีวมวลที่ใช้แผ่นควบคุมเปลวไฟเพียงอย่างเดียวมีค่าสูงสุด เท่ากับ 10.58±0.49 min เนื่องจาก เตา TLUD ที่ใช้ทั้งระบบบังคับลมร่วมกับแผ่นควบคุมเปลวไฟ กับที่ใช้ระบบบังคับลมเพียงอย่างเดียวมีการใช้ลมเข้ามาช่วยในระบบการเผาไหม้ทำให้เวลาในการเดือดของน้ำมีค่าต่ำสุด โดยปริมาณอากาศที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้นั้น เตา TLUD ที่ใช้ทั้งระบบบังคับลมร่วมกับแผ่นควบคุมเปลวไฟ ใช้ปริมาณอากาศ 0.46±0.05 m³ ส่วนเตา TLUD ที่ใช้ทั้งระบบบังคับลมเพียงอย่างเดียว ใช้ปริมาณอากาศ 0.50±0.07 m³

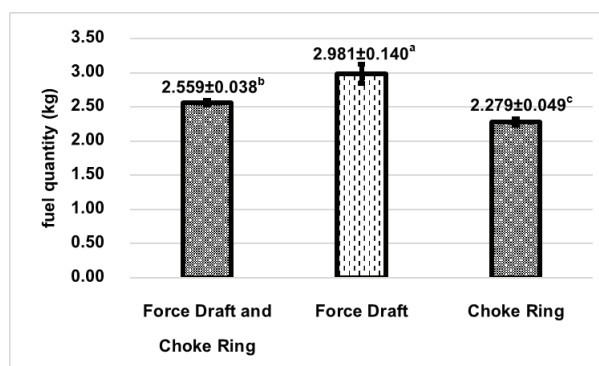


Figure 11 Comparative the fuel quantity of TLUD biomass stoves

Note: The mean value followed by the same letter is not different at the 0.05 significance level

จาก Figure 11 พบว่าในการดำเนินการทดสอบเตาทั้ง 3 รูปแบบนั้น ต่างมีค่าการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยเตา TLUD ที่ใช้แผ่นควบคุมเปลวไฟเพียงอย่างเดียวมีการใช้เชื้อเพลิงปริมาณน้อยที่สุด (2.279±0.049 kg) ถัดมาได้แก่ เตา TLUD ที่ใช้ทั้งระบบบังคับลมร่วมกับแผ่นควบคุมเปลวไฟ (2.559±0.038 kg) และเตาที่ใช้ระบบบังคับลมเพียงอย่างเดียว (2.981±0.140 kg) ตามลำดับ เนื่องจากเตา TLUD ที่ใช้แผ่นควบคุมเปลวไฟเพียงอย่างเดียว ไม่ได้ใช้ระบบบังคับลมทำให้มีอัตราการเผาไหม้ต่ำที่สุด

จากการทดสอบและนำไปเปรียบเทียบกับสมรรถนะเตาชีวมวลชนิด TLUD แต่ละชนิด พบว่าเตา TLUD ที่ใช้ทั้งระบบบังคับลมร่วมกับแผ่นควบคุมเปลวไฟมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน ค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ค่าใช้จ่ายพลังงานจำเพาะและค่าเวลาในการเดือดของน้ำดีกว่าแบบอื่น

เนื่องจากการใช้แผ่นควบคุมเปลวไฟ ที่บริเวณด้านบนของห้องเผาไหม้นั้นทำให้เปลวไฟเข้ามารวมที่จุดเดียวกันเกิดกระบวนเผาไหม้บริเวณปากเตาได้ดี ส่วนการใช้บังคับระบบลมเข้ามายังช่วยในการเร่งกระบวนการเผาไหม้ได้อย่างดี

ส่วนเตาชีวมวลที่ใช้ระบบบังคับลมเพียงอย่างเดียว มีค่าอัตราการเผาไหม้และกำลังไฟ (52.72 ± 1.48 g/min และ 13.59 ± 0.38 kW ตามลำดับ) ดีกว่าแบบอื่น เนื่องจากด้านบนของห้องเผาไหม้ซึ่งเป็นบริเวณปากเตาไม่มีการลดปริมาณอากาศจากแผ่นควบคุมเปลวไฟ ทำให้เกิดการเผาไหม้บริเวณนั้นได้ดีกว่าอีก 2 แบบ

เตาชีวมวลที่ใช้ แผ่นควบคุมเปลวไฟเพียงอย่างเดียว มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และอัตราค่าใช้จ่ายพลังงานจำเพาะปานกลาง เนื่องจากบริเวณด้านบนของห้องเผาไหม้ใช้แผ่นควบคุมเปลวไฟ ในการควบคุมการกระจายของเปลวไฟจากห้องเผาไหม้สู่ภายนอก สำหรับในส่วนของการอัตราการเผาไหม้ กำลังไฟ และเวลาในการเดือดของน้ำมีค่าต่ำสุดเนื่องจากไม่ได้ใช้ระบบบังคับลมช่วยในการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล

4. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวลชนิด TLUD กับงานวิจัยอื่น

จากผลการศึกษาเตาชีวมวลชนิด TLUD ที่ใช้ในการทดสอบในงานวิจัยนี้ นำไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบกับเตาชนิดอื่นๆ จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า

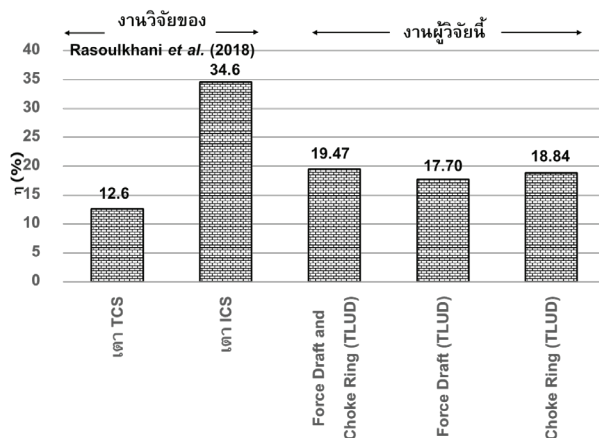


Figure 12 Comparing thermal efficiency with other stoves (Rasoulkhani *et al.*, 2018)

จากงานวิจัยของ Rasoulkhani *et al.* (2018) ซึ่งทำการเปรียบเทียบผลประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแต่ละชนิด พบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา TLUD ที่ใช้ทั้งระบบบังคับลมร่วมกับแผ่นควบคุมเปลวไฟ เตา TLUD ใช้ระบบบังคับลมเพียงอย่างเดียว และ เตา TLUD ใช้

แผ่นควบคุมเปลวไฟเพียงอย่างเดียว มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเตา TCS (traditional cook stove) ซึ่งเป็นเตาที่ทำจากก้อนอิฐ 3 ก้อน จัดเรียงกันเป็นรูปตัวยู ทำให้เกิดช่องว่างของช่องเดิมเชื้อเพลิง ส่งผลให้ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในห้องเผาไหม้เกิดการรั่วไหลออกมาจากห้องเผาไหม้ แต่ในขณะที่เตา ICS (improved biomass cooking stove) มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเตา TLUD ทั้ง 3 รูปแบบที่พัฒนาขึ้นมา ทั้งนี้เตา ICS มีขนาดห้องเผาไหม้ที่เล็ก ทำให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พลชัย ขาวนวล และคณะ (2561) ที่พบว่าห้องเผาไหม้ที่มีขนาดใหญ่กว่าจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนลดลง แต่ในทางตรงกันข้ามเตา ICS มีค่ากำลังไฟที่ 5.5 kW ซึ่งต่ำกว่าเตา TLUD ทั้ง 3 รูปแบบ ทำให้เตา TLUD ทั้ง 3 รูปแบบเหมาะกับงานที่ต้องใช้กำลังไฟสูงและต่อเนื่องได้ดีกว่า

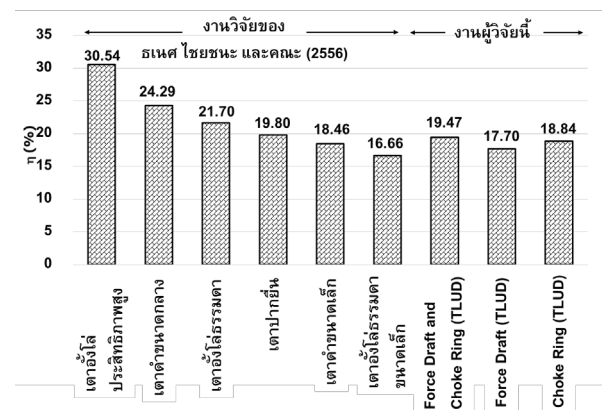


Figure 13 Comparing thermal efficiency with other stoves (ธนศ ไชยชนะ และคณะ, 2556)

ส่วนงานวิจัยของธนศ ไชยชนะ และคณะ (2556) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา พบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา TLUD ที่ใช้ทั้งระบบบังคับลมร่วมกับแผ่นควบคุมเปลวไฟ เตา TLUD ใช้ระบบบังคับลมเพียงอย่างเดียว และเตา TLUD ใช้ แผ่นควบคุมเปลวไฟ เพียงอย่างเดียว มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนใกล้เคียงกับเตาปากยื่น เตาเตาขนาดเล็กและเตาอั้งโล่ธรรมดาขนาดเล็ก แต่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง เตาเตาขนาดกลาง และเตาอั้งโล่ธรรมดา เนื่องจากเตา TLUD ทั้ง 3 แบบที่ทำการพัฒนาขึ้นมามีขนาดห้องเผาไหม้ที่ใหญ่กว่าเตาที่ได้กล่าวมา ทำให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าเนื่องด้วยขนาดของห้องเผาไหม้มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน (พลชัย ขาวนวล และคณะ, 2561) กล่าวคือ เมื่อห้องเผาไหม้มีขนาดใหญ่ขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนลดลง แต่มีกำลังไฟสูงขึ้น อีกทั้งเตา TLUD ดังกล่าวใช้แผ่นโลหะเป็นองค์ประกอบใน

ทุกส่วน ในขณะที่เตาที่นำมาเปรียบทำจากดินเหนียวเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งมีสมบัติเป็นฉนวนความร้อนทำให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงกว่าเนื่องจากการใช้วัสดุฉนวนความร้อนกับเตาชีวมวลส่งผลให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงกว่า (Kore *et al.*, 2023)

ทั้งนี้การเพิ่มแผ่นควบคุมเปลวไฟและระบบบังคับลมช่วยในการเผาไหม้เพิ่มขึ้นในงานวิจัยนี้จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจาก แผ่นควบคุมเปลวไฟมีหน้าที่ควบคุมเปลวไฟและระบบบังคับลมมีหน้าที่เร่งการเผาไหม้ แต่จะส่งผลทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นขณะเดียวกันการใช้ระบบลมช่วยในการเผาไหม้จะส่งผลให้ระยะเวลาใช้งานสั้นลงตามไปด้วย

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการทดลอง

เตาชีวมวลชนิด TLUD ถูกพัฒนาโดยการเพิ่มแผ่นควบคุมเปลวไฟและระบบบังคับลมเข้าสู่เตา โดยพบว่าทิศทางของลมที่ออกจากระบบบังคับลมไปสู่เตานั้น มุม 45° กับแนวระดับจะให้ผลดีที่สุด สำหรับการเปรียบเทียบสมรรถนะเตาชีวมวลชนิด TLUD ทั้ง 3 รูปแบบ ได้แก่ เตา TLUD ที่ใช้ทั้งระบบบังคับลมร่วมกับแผ่นควบคุมเปลวไฟ เตา TLUD ที่ใช้ระบบบังคับลม เพียงอย่างเดียว และเตา TLUD ที่ใช้ระบบแผ่นควบคุมเปลวไฟเพียงอย่างเดียว พบว่า เตาที่ใช้ทั้งระบบบังคับลมร่วมกับแผ่นควบคุมเปลวไฟมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ดีกว่าเตาที่ใช้ แผ่นควบคุมเปลวไฟ และระบบบังคับลมเพียงอย่างเดียว แต่จะเห็นได้ว่าเตา TLUD ที่ใช้ระบบแผ่นควบคุมเปลวไฟเพียงอย่างเดียว มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ดีกว่าเตา TLUD ที่ใช้ระบบบังคับลมเพียงอย่างเดียว แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มแผ่นควบคุมเปลวไฟให้กับเตาจะทำให้มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าการใช้ระบบบังคับลม ซึ่งเตา TLUD ที่ใช้ระบบแผ่นควบคุมเปลวไฟเพียงอย่างเดียวมีข้อได้เปรียบเรื่องการประหยัดเชื้อเพลิงชีวมวล ประหยัดพลังงานไฟฟ้า ลดต้นทุนอุปกรณ์บังคับลม ได้แก่ ช่องปล่อยลม พัดลม อุปกรณ์จ่ายไฟสำหรับระบบบังคับลม และเตาดังกล่าวยังมีความสะดวกในการใช้งานได้ดีกว่าเตาอีก 2 รูปแบบ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้งานในที่ที่มีพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้ระบบบังคับลมทำงาน

2. ข้อเสนอแนะ

เตาชีวมวลชนิด TLUD ที่พัฒนาขึ้นมานี้ มีกำลังไฟที่สูง เหมาะสำหรับงานที่ต้องการใช้พลังงานความร้อนที่สูง และใช้เวลานานและต่อเนื่อง เช่น งานอุตสาหกรรมครัวเรือนในการทำขนม การนึ่งขนม การนึ่งข้าว การผลิตไอน้ำ เป็นต้น แต่ไม่เหมาะสำหรับงานที่ใช้ความร้อนเป็นระยะเวลาดสั้นๆ เช่น การอุ่นอาหารที่ใช้เวลาเพียงเล็กน้อยเพื่อนำมารับประทานใหม่อีกครั้ง

เนื่องจากการเริ่มต้นจุดเตาต้องใช้เชื้อเพลิงชีวมวลตั้งต้นค่อนข้างมาก

ในการวิจัยครั้งถัดไปควรออกแบบระบบบังคับให้สามารถปรับมุมได้อย่างอิสระเพื่อศึกษาการควบคุมทิศทางอื่น เช่น 30° และ 60° เป็นต้น และเนื่องจากการใช้ระบบบังคับลมและแผ่นควบคุมเปลวไฟส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น ในการวิจัยครั้งต่อไปสามารถนำเตาถังโล่ประสิทธิภาพสูงมาพัฒนาต่อโดยการศึกษากการบังคับลมและแผ่นควบคุมเปลวไฟ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่สนับสนุนงบประมาณเงินรายได้ประจำปี พ.ศ. 2563

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558, กันยายน). *แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558–2579*. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. <https://www.eppo.go.th/images/POLICY/PDF/AEDP2015.pdf>
- ธเนศ ไชยชนะ, หมะกรือซม อาลี, และมัสยา หลงสมัน. (2556). การศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้มระดับครัวเรือน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 32(5), 626-630.
- พลชัย ขาวนวล, สมบูรณ์ ประสงค์จันทร์, และสุปราณี วุ่นศรี. (2561). ปัจจัยของขนาดห้องเผาไหม้และความชื้นเชื้อเพลิงที่ผลต่อสมรรถนะเตาชีวมวลชนิด Top-Lit Up-Draft (TLUD). *การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 28*, 983-992.
- สมมาส แก้วล้วน, ดำรงค์ศักดิ์ จันโทสี, สุรัชย์ จันท์ศรี, และเวจิน ปิยรัตน์. (2556). การทดสอบสมรรถนะเตาชีวมวลขนาด 20 kW. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 8(1), 24-33.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2567, กรกฎาคม). *ตารางแสดงรายละเอียดยางพารา*. <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/houseland%2065.pdf>
- สุปราณี วุ่นศรี, พลชัย ขาวนวล, นพดล โพธิ์กาเหน็ด, โกสินทร์ ธิปรักษพันธ์, ณิชยา ประสงค์จันทร์, ภัทราภา จ้อยพจน์, และระริน เครือวรพันธุ์. (2566). การประยุกต์ใช้เตาชีวมวลชนิด Top-Lit Up-Draft (TLUD) ในการย้อมสีเตยหนามด้วยสารธรรมชาติ. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*, 14(2), 167-178.

- Bentson, S., Evitt, D., Lieberman, D., & MacCarty, N. (2024). Retrofitting stoves with forced jets of primary air improves speed, emissions, and efficiency: Evidence from six types of biomass cookstoves. *Energy for Sustainable Development*, 71, 104-117. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2023.10.010>
- Berrueta, V. M., Edwards, R. D., & Masera, O. R. (2008). Energy performance of wood-burning cookstoves in Michoacan, Mexico. *Renewable Energy*, 33(5), 859–870. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.04.016>
- Boafo-Mensah, G., Neba, F. A., Tornyeviadzi, H. M., Seidu, R., Darkwa, K. M., & Kemausour, F. (2021). Modelling the performance potential of forced and natural-draft biomass cookstoves using a hybrid Entropy-TOPSIS approach. *Biomass and Bioenergy*, 150, 106121. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106121>
- Hailu, A. (2022). Development and performance analysis of top lit updraft: Natural draft gasifier stoves with various feed stocks. *Heliyon*, 8(12), e12040. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12040>
- Huangfu, Y., Li, H., Chen, X., Xue, C., Chen, C., & Liu, G. (2014). Effect of moisture content in fuel on thermal performance and emission of biomass semi-gasified cookstove. *Energy for Sustainable Development*, 21, 60–65. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2014.05.007>
- Kore, S., Sutar, K., & Waghmare, A. (2023). Development of a natural draft metal biomass cookstove for community kitchen. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 102(2), 17-36. <https://doi.org/10.37934/arfmts.102.2.1736>
- MacCarty, N., Ross, G., Lefebvre, O., & Morris, A. (2024). Saving time and reducing smoke: A sensor-based performance assessment of a forced-draft “Jet-Flame” cooking system in Malawi. *Energy for Sustainable Development*, 80, 101438. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2024.101438>
- Oyelaran, O. A., Bolaji, B. O., Waheed, M. A., & Adekunle, M. F. (2015). Performance evaluation of the effect of binder on groundnut shell briquette. *KMUTNB International Journal of Applied Science and Technology*, 8(1), 11–19. <https://doi.org/10.14416/j.ijast.2015.01.002>
- Rasoulkhani, M., Ebrahimi-Nik, M., Abbaspour-Fard, M. H., & Rohani, A. (2018). Comparative evaluation of the performance of an improved biomass cook stove and the traditional stoves of Iran. *Sustainable Environment Research*, 28(6), 438-443. <https://doi.org/10.1016/j.serj.2018.09.003>
- Yunusa, S. U., Mensah, E., Preko, K., Narra, S., Saleh, A., Sanfo, S., Isiaka, M., Dalha, I. B., & Abdulsalam, M. (2023). Biomass cookstoves: A review of technical aspects and recent advances. *Energy Nexus*, 11, 100222. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100222>