



การศึกษาสมรรถนะเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ PERFORMANCE STUDY OF SUPER-ANGLO STOVE MOLDING MACHINE

ประพันธ์พงษ์ สมศิลา^{1*}, ธนกร หอมจำปา¹, เอกภูมิ บุญธรรม²,

กฤษฎา อ้นอ้าย², อำไพศักดิ์ ทิบุญมา³

Praphanpong Somsila^{1*}, Tanakorn Homejumpa¹, Eakapoom Buntham²,

Kritsada On-ai², Umphisak Teeboonma³

¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ อ.เมือง จ.สุรินทร์ ประเทศไทย 32000

²คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

³ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี ประเทศไทย 34190

¹Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus,
Mueang, Surin, Thailand, 32000

²Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

³Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani, Thailand, 34190

*Corresponding author e-mail: praphanpong.so@rmu.ac.th

วันที่เข้ารับ 29 สิงหาคม 2565

วันที่แก้ไขบทความ 25 ตุลาคม 2565

วันที่ตอบรับบทความ 25 ตุลาคม 2565

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการปั้นเตาชุบเปอร์อั้งโล่หรือที่เรียกว่า เตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง นั้นทั้งหมดมีการปั้นด้วยมือ ปัญหาที่เกิดขึ้นพบว่ามาตรฐานของขนาดเตาไม่คงที่ส่งผลต่อการประกอบส่วนต่างๆ ของเตาและชาวบ้านหรือเกษตรกรมีความเมื่อยล้าจนกลายเป็นกล้ามเนื้ออักเสบ ประกอบกับไม่สามารถผลิตได้ทันกับความต้องการของตลาด ด้วยเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถนะเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ ซึ่งเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ประกอบด้วยส่วนของโครงสร้างทำจากเหล็ก ส่วนของแม่พิมพ์ตัวผู้และแม่พิมพ์ตัวเมียทำจากอลูมิเนียมอัลลอยด์ ส่วนของชุดสร้างความดันลมพร้อมอุปกรณ์ และส่วนสุดท้ายคือส่วนของการควบคุมการทำงาน โดยความดันลมที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย 6 bar, 7 bar และ 8 bar ซึ่งมีเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการขึ้นรูป อัตราการผลิตเตาชุบเปอร์อั้งโล่ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน และความต้านทานแรงกด ผลที่ได้จากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้ 1) ความดันลมมีผลต่อสมรรถนะเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ 2) สมรรถนะเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่กรณีความดันลมเท่ากับ 8 bar สูงกว่า 7 bar และ 6 bar 3) เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการขึ้นรูปกรณีความดันเท่ากับ 8 bar ต่ำกว่า 7 bar และ 6 bar โดยเฉลี่ยประมาณ 92.75% และ 96.71% ตามลำดับ 4) อัตราการผลิตเตาชุบเปอร์อั้งโล่กรณีความดันลมเท่ากับ 8 bar สูงกว่า 7 bar และ 6 bar โดยเฉลี่ยประมาณ 25% และ 66.67% ตามลำดับ 5) ความ

สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะกรณีความดันลมเท่ากับ 8 bar น้อยกว่า 7 bar และ 6 bar โดยเฉลี่ยประมาณ 10.30% และ 22.91% 6) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาซูเปอร์อั้งโล่กรณีความดันลมเท่ากับ 8 bar มากกว่า 7 bar, 6 bar และการปั้นด้วยมือ โดยเฉลี่ยประมาณ 2.74%, 5.58% และ 15.77% ตามลำดับ และ 7) ความต้านทานแรงกดของผนังกรณีความดันลมเท่ากับ 8 bar มากกว่า 7 bar, 6 bar และการปั้นด้วยมือ โดยเฉลี่ยประมาณ 7.54%, 16.77% และ 31.46% ตามลำดับ

คำสำคัญ: ความดันลมในการอัดขึ้นรูป, เครื่องขึ้นรูปเตาซูเปอร์อั้งโล่, สมรรถนะ

Abstract

At present, the molding of the Super-Anglo stoves, also known as high efficiency cooking stoves, are molded by hand. Also, the problem found is that the standard of the furnace size is not stable, affecting the assembly of various parts of the furnace, and the villagers or farmers are fatigued and become myositis. In addition, they are not able to produce the stoves to meet the market demand. For that reason, this research aimed to study the performance of the Super-Anglo molding machine. The Super-Anglo molding machine consisted of a structure made of steel, the parts of the male mold and the female mold made of aluminum alloy, the part of the air pressure generating set with accessories, and the operation control section. The air pressure used in the study consisted of 6 bar, 7 bar and 8 bar. The criteria used to assess the performance of the Super-Anglo molding machine were the percentage of forming error, Super-Anglo stove production rate, specific energy consumption, thermal efficiency of stove and compression pressure resistance. The results can be summarized as follows. First, compression pressure resistance affected the performance of the Super-Anglo molding machine. Second, the performance of the Super-Anglo molding machine in case of compression pressure was 8 bar higher than 7 bar and 6 bar. Third, percentage of forming error in case of compression pressure was 8 bar, below 7 bar and 6 bar, on average about 92.75% and 96.71%, respectively. Fourth, the production rate of Super-Anglo stove in case of compression pressure was 8 bar, about 25% and 66.67 higher than 7 bar and 6 bar, respectively. Fifth, specific energy consumption in case of compression pressure was 8 bar, less than 7 bar and 6 bar, average about 10.30% and 22.91%. Sixth, thermal efficiency of Super-Anglo stove in case of compression pressure was 8 bar greater than 7 bar, 6 bar and hand molding

on average, about 2.74%, 5.58% and 15.77%, respectively, and finally, the compression pressure resistance of the wall in case of compression pressure was 8 bar, rather than 7 bar, 6 bar and hand molding, on average, about 7.54%, 16.77% and 31.46%, respectively.

Keywords: Moulding pressure, Super-Anglo molding machine, Performance

1. บทนำ

ความต้องการพลังงานที่เพิ่มขึ้นพร้อมกับจำนวนประชากรมนุษย์ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นหนึ่งในความท้าทายที่สำคัญของโลกกำลังเผชิญอยู่ในปัจจุบัน โดยพบว่าประชากรในหลายประเทศคิดเป็นประมาณ 41% ของครัวเรือนทั้งหมดทั่วโลกหรือมากกว่า 2.8 พันล้านคนที่ต้องพึ่งพาเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับการประกอบอาหารและให้ความร้อน (Hakam *et al.*, 2022; Ayele & Eneyew, 2022; Mekonnen *et al.*, 2022; Neka *et al.*, 2021; Duong *et al.*, 2022; Tumutegereize *et al.*, 2021; Bonsu *et al.*, 2020; Hailu, 2022; Sakdanuphab & Sakulkalavek, 2017) ซึ่งความต้องการถ่านและฟืนยังคงมีอยู่อย่างต่อเนื่องนั้นหมายถึงผลเสียที่ส่งผลกระทบต่อทรัพยากรป่าไม้ที่ถือได้ว่าเป็นแหล่งเชื้อเพลิงชีวมวล ด้วยเหตุผลดังกล่าวนักวิจัยจึงได้พัฒนางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประเด็นของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมด้วยกัน 3 แนวคิดคือ แนวคิดแรกนักวิจัยจะมุ่งเน้นทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนเตาหุงต้ม เพื่อมุ่งเน้นผลประหยัดเชื้อเพลิงชีวมวลและสมรรถนะของเตาหุงต้มที่สูงมากขึ้น อันประกอบด้วยการออกแบบเตาหุงต้มที่มีความสามารถในการให้ความร้อนสูงโดยการเพิ่มวัสดุ อุปกรณ์ หรือปรับเปลี่ยนรูปร่างของเตาหุงต้มให้สามารถสร้างอุณหภูมิสูงได้ที่ตำแหน่งห้องเผาไหม้ ประกอบกับการสร้างการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ในเวลาดังกล่าวด้วยเช่นกัน และยังออกแบบเตาหุงต้มในด้านของการลดการสูญเสียความร้อนไปยังบริเวณโดยรอบให้ได้มากที่สุดนั้นหมายถึง หากสามารถลดการสูญเสียความร้อนไปยังพื้นที่ภายนอกได้มากเท่าไรแล้วนั้นความร้อนก็จะสามารถส่งถ่ายไปยังพื้นที่ผิวของอุปกรณ์สำหรับการประกอบอาหารได้มากขึ้น (Ayele & Eneyew, 2022; Mekonnen *et al.*, 2022; Neka *et al.*, 2021; Bentson *et al.*, 2022; Wassie & Adaramola, 2022; Kshirsagar & Kalamkar, 2020; Tumutegereize *et al.*, 2021; Yayeh *et al.*, 2021) สำหรับแนวคิดอันดับสองคือ การวิจัยเพื่อพัฒนาเตาหุงต้มที่สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นที่ทราบกันดีว่าเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นหนึ่งในเหตุปัจจัยที่ทำให้ปริมาณฝุ่นในอากาศ (PM2.5) เพิ่มขึ้น โดยพบว่าไม้ฟืนสามารถสร้างฝุ่นจากการเผาไหม้ได้มากที่สุดเท่ากับ 116.60 mg/MJ และถ่าน (Charcoal) สามารถสร้างฝุ่นที่เกิดจากการเผาไหม้ได้มากถึง 84.40 mg/MJ และเมื่อเทียบกับก๊าซแอลพีจีที่มีความสามารถในการสร้างฝุ่นได้เพียง 5.4 mg/MJ เท่านั้น ประกอบกับผลดังกล่าวยังส่งผลต่อการเร่งให้เกิดภาวะโลกร้อนเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน จากปัญหาดังกล่าว

นักวิจัยจึงได้มีการศึกษาค้นคว้าเพื่อพัฒนาเตาหุงต้มให้สามารถลดปริมาณการปล่อยฝุ่น และก๊าซที่ทำให้มีผลเสียกับบรรยากาศ เช่น ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นต้น (Hakam *et al.*, 2022; Ayele & Eneyew, 2022; Mekonnen *et al.*, 2022; Bentson *et al.*, 2022; Das *et al.*, 2021; Aziz *et al.*, 2022; Wassie & Adaramola, 2022; Roubik & Mazancova, 2019; Kshirsagar & Kalamkar, 2020) จากแนวคิดดังกล่าวพบว่า งานวิจัยที่ผ่านมาสามารถลดปริมาณการปล่อยฝุ่น ($\text{PM}_{2.5}$) และลดการปล่อยก๊าซที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชั้นบรรยากาศได้ชัดเจน และสำหรับแนวคิดสุดท้ายคือ การศึกษาวิจัยในส่วนของการพัฒนาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลให้มีความสามารถในการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ประกอบด้วย การพัฒนาส่วนผสมของถ่านเพื่อให้ได้ถ่านที่มีคุณสมบัติค่าความร้อนในระดับสูง (HHV) ประกอบกับความสามารถในการลดการปล่อยมลพิษทางอากาศให้อยู่ในปริมาณค่ามาตรฐาน (Mantura, 2021; Bonsu *et al.*, 2020; Hailu, 2022; Otieno *et al.*, 2022) และมีการวิจัยเพื่อพัฒนาในส่วนของการใช้เชื้อเพลิงชนิดเม็ด (Pellet) ทั้งในส่วนของคุณสมบัติการเผาไหม้ที่ดีขึ้น และการลดปริมาณการปล่อยฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ และก๊าซที่เป็นมลพิษกับอากาศด้วยเช่นกัน (Duong *et al.*, 2022) นอกจากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นยังพบอีกว่าได้นักวิจัยที่ได้มีศึกษาเกี่ยวกับการนำความร้อนทิ้งที่เกิดขึ้นบริเวณใต้รังผึ้งของเตาหุงต้มไปใช้อ้างอิงมาใช้ประโยชน์ เช่น ศักดานุภาพ และสกุลการเวก (Sakdanuphab & Sakulkalavek, 2017) พบว่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบการนำความร้อนทิ้งที่ช่องเตาด้านล่างรังผึ้งมาใช้ประโยชน์ (Waste Heat Recovery: WHR) มากกว่า 80% และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้มลดลงน้อยกว่า 5% เมื่อ WHR แบนระบบแล้ว

นอกจากนั้นยังได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและสร้างเครื่องอัดขึ้นรูปประกอบด้วย เคิร์ท และคณะ (Kurth *et al.*, 2021) ได้ศึกษาเกี่ยวกับรูปทรงของอุปกรณ์จับยึดสำหรับการตรวจสอบการเสียรูปของกระบวนการอัดขึ้นรูป ผลจากการศึกษาพบว่ารูปร่างที่เหมาะสมของอุปกรณ์จับยึดคือ T-slot ประกอบเข้ากับอุปกรณ์ตรวจการรับรู้ (Sensor) จะสามารถตรวจสอบการเสียรูปของกระบวนการอัดขึ้นรูปได้เป็นอย่างดี ลำดับถัดมา ราช และคณะ (Raz *et al.*, 2015) ได้ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมแบบไดนามิกส์ของเครื่องไฮดรอลิกส์สำหรับการขึ้นรูปด้วยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าการออกแบบชนิดแท่นพิมพ์เพื่อใช้วัสดุให้เกิดประโยชน์สูงสุด ควรออกแบบแท่นพิมพ์ 4 คอลัมน์ที่มีความถี่ธรรมชาติของการก่อกวนเท่ากับ 5 - 6.5 Hz และการก่อกวนสำหรับ 2 คอลัมน์ควรมีความถี่ธรรมชาติเท่ากับ 2-3 Hz และถัดมา โอโกรี (Okolie *et al.*, 2020) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องอัดไฮดรอลิกส์ด้วยการทำงานมอเตอร์ที่อุณหภูมิ 40 °C พบว่า การออกแบบและสร้างเครื่องอัดไฮดรอลิกส์สามารถทำงานได้อย่างแม่นยำ ด้วยการเลือกใช้สปริงที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน โดยที่ผลของเวลาการก่อกวน อุณหภูมิ และความดันในการก่อกวนมีผลต่อการทำงานของระบบที่สอดคล้องกัน

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นจะพบได้ว่า ไม่พบงานวิจัยที่ทำการศึกษาศมรรถนะเครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่ ด้วยเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศมรรถนะเครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่ และเปรียบเทียบคุณสมบัติของเตาซูปเปอร์อั้งโล่ที่อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปและการปั้นด้วยมือ เพื่อเป็นการเพิ่มศักยภาพการผลิตเตาซูปเปอร์อั้งโล่ให้กลุ่มผู้ผลิต ซึ่งส่วนมากเป็นกลุ่มวิสาหกิจชุมชน โดยพบว่าผลดังกล่าวจะสามารถช่วยสร้างรายได้ที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น ลดภาระหนี้สิน และยังเป็นการสร้างอาชีพให้คนในพื้นที่ นอกจากนั้นยังเป็นการสร้างเศรษฐกิจที่ดีให้กับชุมชน

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาศมรรถนะเครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่

2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของเตาซูปเปอร์อั้งโล่ที่อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปและการปั้นด้วยมือ

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างเครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่ เพื่อใช้สำหรับการอัดขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่จำนวน 1 เครื่อง ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยเครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่ประกอบด้วย 4 ส่วนหลักที่สำคัญคือ 1) โครงสร้างเครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่ ทำจากเหล็กที่มีขนาด 5×5 cm หนา 0.50 mm ประกอบกันขึ้นให้เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมแนวตั้ง ประกอบเข้ากับส่วนของแผ่นยึดแม่พิมพ์ด้านบนและด้านล่าง และสร้างระบบป้องกันความปลอดภัยในส่วนของการติดตะแกรงรอบเครื่องขึ้นรูป 2) แม่พิมพ์ ทำมาจากอลูมิเนียมอัลลอยด์ โดยแม่พิมพ์ตัวผู้มีความสูงเท่ากับ $40 \times 40 \times 30$ cm และแม่พิมพ์ตัวเมียมีความสูงเท่ากับ $40 \times 40 \times 30$ cm โดยแม่พิมพ์ตัวผู้จะติดตั้งอยู่ด้านบนพร้อมเชื่อมต่อเข้ากับกระบอกนิวแมติกส์ขนาดความจุ 100 ลิตร และแม่พิมพ์ตัวเมียจะติดตั้งอยู่ด้านล่างซึ่งไม่สามารถเคลื่อนที่ได้พร้อมเชื่อมต่อเข้ากับกระบอกนิวแมติกส์ขนาดความจุ 50 ลิตร 3) ระบบนิวแมติกส์ เป็นระบบที่ทำหน้าที่ในการสร้างแรงดันในการอัดขึ้นรูปดินเหนียวให้เป็นตัวเตาตามแบบของแม่พิมพ์ที่กำหนด โดยมีส่วนประกอบคือ กระบอกนิวแมติกส์ขนาดความจุ 100 ลิตร กระบอกนิวแมติกส์ขนาดความจุ 50 ลิตร สายลมขนาด 10×6 mm ในการทดลองได้มีการกำหนดขนาดของความดันลมที่ใช้ในการกดอัดขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่คือ 6 bar, 7 bar และ 8 bar ตามลำดับ เพื่อศึกษาศมรรถนะของเครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่ทั้งในส่วนของการประสิทธิภาพการผลิต ความสิ้นเปลืองพลังงาน และคุณภาพของเตาซูปเปอร์อั้งโล่หลังปั้นขึ้นรูป 4) ชุดควบคุมระบบการทำงาน ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของเครื่องขึ้นรูปในการอัดขึ้นรูปเป็นเตาซูปเปอร์อั้งโล่ โดยมีส่วนประกอบคือ ถังเก็บลมอัดขนาด 100 ลิตร ตัวกรองอากาศและเกจปรับความดันสูงสุดขนาด 12

bar สายลมขนาด 10x6 mm วาล์วควบคุมการทำงานแบบคั่นโยกชนิด 4/2 จำนวน 2 ตัว และชุดตัด-ต่อการทำงานแบบลิมิตสวิตซ์ที่ทำงานร่วมกันกับระบบป้องกันความปลอดภัยโดยเชื่อมต่อเข้ากับประตูที่ตำแหน่งด้านหน้าเพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุจากการเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์



ภาพที่ 1 เครื่องขึ้นรูปเตาซูบเปอร์อั้งโล่

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 วัตถุประสงค์สำหรับการอัดขึ้นรูป

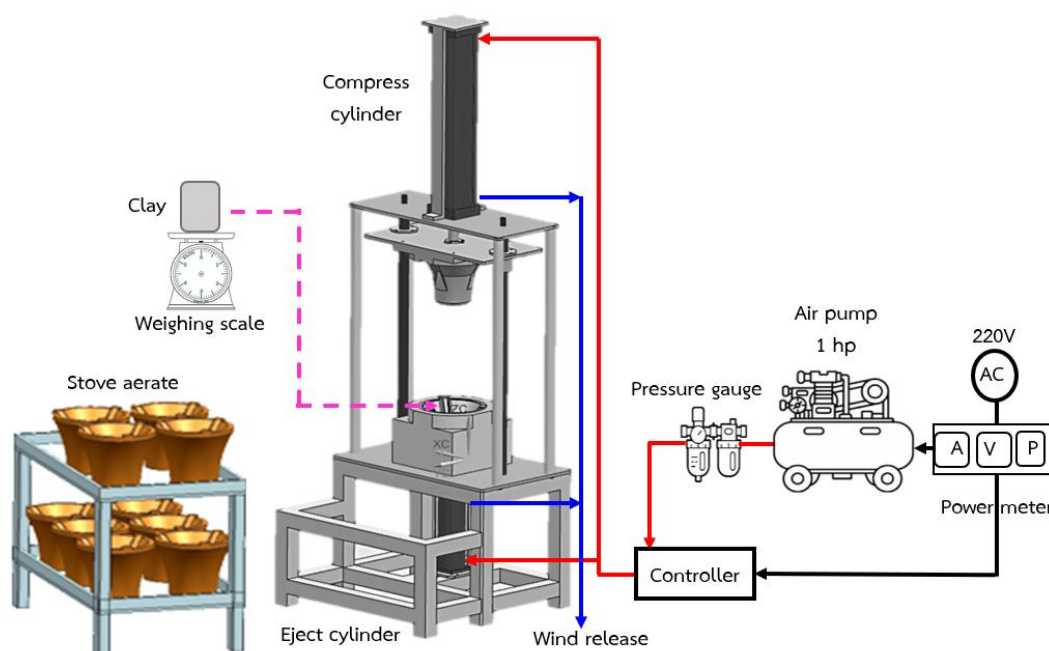
วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปคือ ดินเหนียวที่ผ่านการผสมกับกลบดำ ทำการบ่มอย่างน้อย 1 คืน เพื่อให้ได้ดินเหนียวที่พร้อมสำหรับการใช้งาน โดยในทุกการทดลองจะทำการชั่งดินเหนียวที่มีน้ำหนักเท่ากับ 11 กิโลกรัม และดินเหนียวผสมนี้จะเป็นดินเหนียวที่มีการผสมเพียงครั้งเดียวในช่วงเช้าเพื่อใช้ตลอดทั้งช่วงเวลาการทดลอง โดยทำการรักษาความชื้นของดินเหนียวผสมดังกล่าวด้วยการหุ้มผ้าชุมน้ำ

3.2.2 เงื่อนไขการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการแปรผันความดันลมสำหรับการเคลื่อนที่ในการอัดดินเหนียวของแม่พิมพ์ 3 ระดับคือ ความดันลมขนาด 6 bar, 7 bar และ 8 bar ตามลำดับ และเปรียบเทียบคุณสมบัติของเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่และการปั้นด้วยมือคือความต้านทานแรงกดของเตา และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชุบเปอร์อั้งโล่

3.2.4 ขั้นตอนการทดลอง

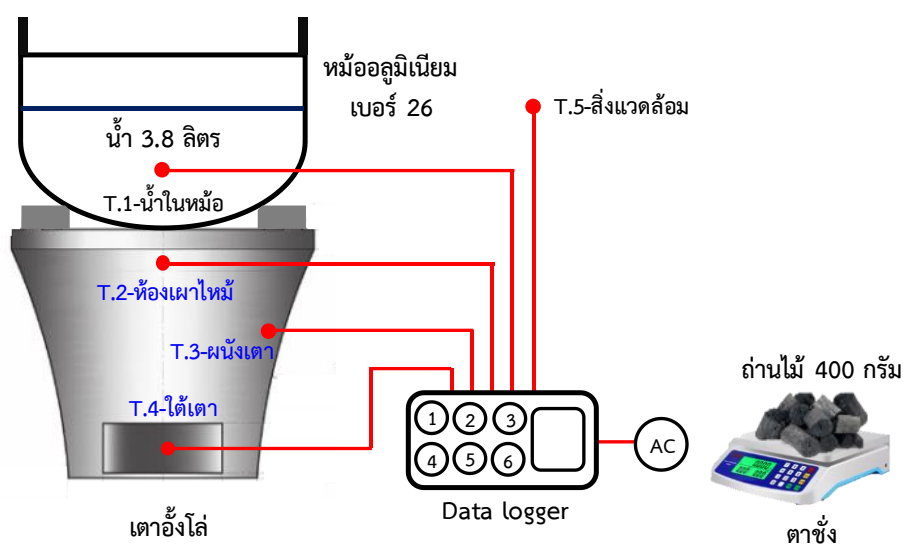
การทดลองเริ่มต้นจากการเตรียมดินที่ผ่านการผสมและชุดทดลองพร้อมติดตั้งอุปกรณ์การวัดดังแสดงในภาพที่ 2 ได้แก่ ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับปั๊มลมขนาด 1 hp และชุดควบคุมการจ่ายลมให้กับกระบอกนิวเมติกส์ทั้ง 2 กระบอก และน้ำหนักของดินผสม ตลอดระยะเวลาการทำงานตั้งแต่ 8.00 – 16.00 น. รวม 7 ชั่วโมง (ไม่รวมเวลาพักเที่ยง) โดยตลอดระยะเวลาที่ทำการทดสอบการปั้นเตาด้วยเครื่อง จะทำการวัดขนาดที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบกับขนาดมาตรฐาน



ภาพที่ 2 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัด

จากนั้นนำเตาที่ผ่านการปั้นด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ และเตาปั้นด้วยมือไปเผาเตาเผาที่อุณหภูมิ 800 – 900 °C เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นภายในเตาอีก 24 ชั่วโมง จึงนำออกมาทำการทดสอบความต้านทานแรงกดด้วยเครื่องทดสอบแรงกด (Compression test) และยังนำเตาที่ผ่านการปั้นด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ และเตาปั้นด้วยมือไปประกอบเป็นเตาชุบเปอร์อั้งโล่สำเร็จรูปซึ่งประกอบด้วยกระบวนการเผา การประกอบเสื่อเตา การอัดฉนวนกันความ

ร้อน และการปิดรูด้วยปูนซีเมนต์ เมื่อแล้วเสร็จนำมาทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนด้วยวิธีการต้ม
น้ำเดือด (Water Boiling Test: WBT) โดยทดสอบการต้มน้ำด้วยหม้ออลูมิเนียมเบอร์ 26 พร้อมฝา
ใช้น้ำ 3.8 ลิตร (ปริมาตรน้ำประมาณ 3/4 ของปริมาณความจุของหม้อ) และน้ำหนักถ่านที่ใช้ทดสอบ
เท่ากับ 400 กรัม ทำการทดสอบในห้องที่ไม่มีลมพัด ทำการวัดอุณหภูมิของน้ำจนกระทั่งเดือดแล้ว
บันทึกเวลาที่ใช้ไปพร้อมทำการเปิดฝามือ จากนั้นปล่อยให้ น้ำเดือดต่อไปอีก 30 นาที จึงหยุดการ
ทดสอบหลังจากนั้นทำการวัดปริมาณถ่านที่ใช้ และน้ำที่เหลือ โดยนำผลที่ได้จากการวัดค่าต่างๆ มา
ทำการคำนวณในลำดับถัดไป ดังแสดงวิธีการทดสอบในภาพที่ 4 ซึ่งการทดสอบประสิทธิภาพเชิง
ความร้อนของเตาซูปเปอร์อั้งโล่นั้นจะทำการทดสอบในเตาที่ปั้นด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่ทุก
ความดันลมที่ทำการศึกษา และเตาที่ปั้นด้วยมือ (Ayele & Eneyew, 2022; Bentson *et al.*, 2022)



ภาพที่ 3 ลักษณะของอุปกรณ์และตำแหน่งการวัด

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับงานวิจัยนี้ประกอบด้วยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของขนาดเตา
หลังปั้น อัตราการผลิตเตา ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ความต้านทานแรงกด และประสิทธิภาพ
เชิงความร้อนของเตาหุงต้ม ซึ่งมีรายละเอียดความสัมพันธ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของขนาดเตาหลังปั้น (Percentage of mistake after
moulding: PM) คือ พารามิเตอร์ที่ใช้บ่งชี้ความผิดพลาดของขนาดตำแหน่งต่างๆ ของเตาซูปเปอร์
อั้งโล่หลังอัดขึ้นรูป ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ในการวิเคราะห์ที่ได้ดังสมการที่ (1) (Tumutegyreize *et al.*, 2021)



$$PM = \frac{DP - STD}{STD} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ	PM	คือ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดของขนาดเตาหลังปั้น, %
	DP	คือ ตำแหน่งของขนาดจริงสำหรับเตาหลังปั้น, mm
	STD	คือ ตำแหน่งของขนาดมาตรฐาน, mm

อัตราการผลิตเตา (Stove production rate: SR) คือ ปัจจัยสำคัญที่แสดงสมรรถนะเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ หรือดัชนีที่ใช้ในการบ่งชี้ความสามารถในการผลิตเตาชุบเปอร์อั้งโล่ต่อช่วงเวลาการผลิต ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$SR = \frac{PD}{T} \quad (2)$$

เมื่อ	SR	คือ อัตราการผลิตเตาชุบเปอร์อั้งโล่, เตาต่อชั่วโมง
	PD	คือ จำนวนเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่สามารถผลิตได้ใน 1 วัน, เตา
	T	คือ เวลาที่ใช้ในการผลิตเตาชุบเปอร์อั้งโล่ใน 1 วัน, ชั่วโมง

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption: SEC) คือ ค่าที่แสดงถึงปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปเตาต่อปริมาณเตาที่สามารถผลิตได้ โดยมีความสัมพันธ์ในการวิเคราะห์ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$SEC = \frac{3.6 \times E}{PD} \quad (3)$$

เมื่อ	SEC	คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ, MJ/เตา
	E	คือ พลังงานที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่, kWh

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้ม (Thermal efficiency of stove: η_h) คือ พารามิเตอร์ที่บ่งชี้ประสิทธิภาพของเตาชุบเปอร์อั้งโล่ในการใช้พลังงานสำหรับการระเหยน้ำที่บรรจุภายในหม้อต่อพลังงานทั้งหมดที่เตาชุบเปอร์อั้งโล่ใช้ ซึ่งสามารถวิเคราะห์โดยใช้สมการที่ (4) (Ayele & Eneyew, 2022; Neka *et al.*, 2021)

$$\eta_{th} = \frac{[M_{w,i} \times C_p \times (T_{boil} - T_i)] + (M_{w,evap} \times H_w)}{M_f \times H_f} \times 100\% \quad (4)$$

เมื่อ	η_{th}	คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาซูปเปอร์อั้งโล่, %
	C_p	คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ, kJ/kg. °C
	$M_{w,i}$	คือ มวลของน้ำ, kg
	$M_{w,evap}$	คือ มวลของน้ำที่ระเหยไป, kg
	M_f	คือ มวลของถ่าน, kg
	T_i	คือ อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น, °C
	T_{boil}	คือ อุณหภูมิน้ำเดือด, °C
	H_w	คือ ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ, kJ/kg
	H_f	คือ ค่าความร้อนของถ่าน, kJ/kg

ความต้านทานแรงกด (Compression resistance: CR) คือ ดัชนีที่ใช้ในการบ่งชี้ความต้านทานแรงกด หรือความแข็งแรงของเตาซูปเปอร์อั้งโล่เมื่อได้รับแรงกดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ โดยมีความสัมพันธ์ในการวิเคราะห์ดังแสดงในสมการที่ (5)

$$P = \frac{F}{A} \quad (5)$$

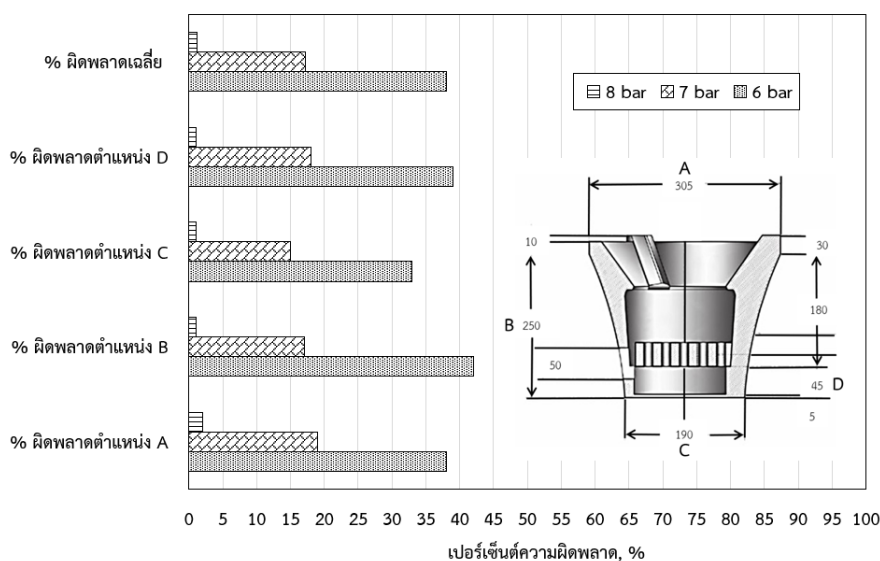
เมื่อ	P	คือ ความต้านทานแรงกดของเตาซูปเปอร์อั้งโล่, kg/cm ²
	F	คือ แรงที่ใช้ในการกด, kg
	A	คือ พื้นที่ที่ใช้ในการรับแรงกด, cm ²

4. ผลการวิจัย

การนำเสนอผลการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการขึ้นรูป อัตราการผลิตเตาซูปเปอร์อั้งโล่ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปั้นเตาซูปเปอร์อั้งโล่ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ อุณหภูมิของน้ำและห้องเผาไหม้สำหรับการทดสอบการต้มน้ำเดือด (WBT) ความต้านทานแรงกดของเตาซูปเปอร์อั้งโล่ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาซูปเปอร์อั้งโล่ในแต่ละเงื่อนไขที่ศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 4 – 9 ตามลำดับ

ภาพที่ 4 แสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่ด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่ ผลจากการทดลองพบว่า ความดันลมสำหรับการอัดขึ้นรูปส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความ

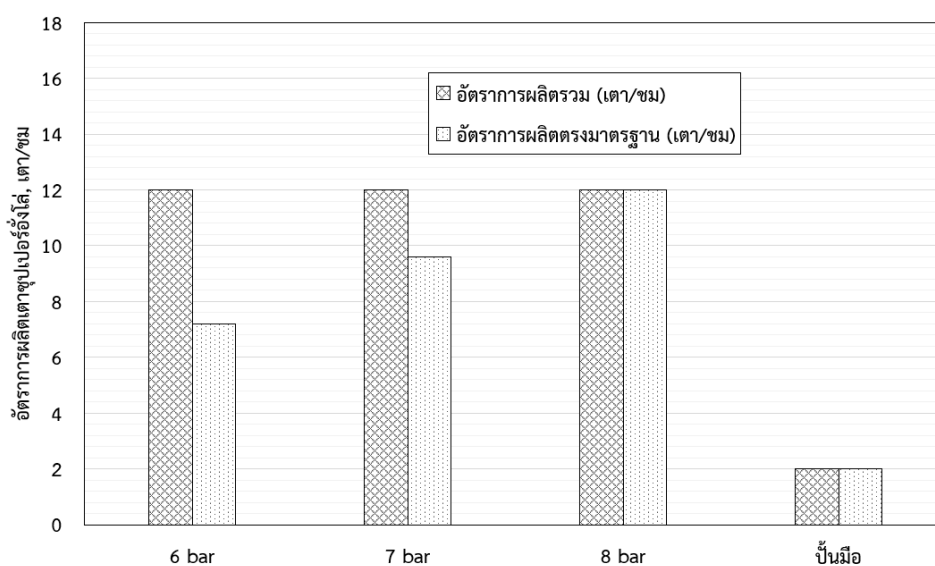
ผิดพลาดในตำแหน่งต่างๆ ของเตาชุบเปอร์อั้งโล่ กล่าวคือ ความดันลม 6 bar ทำให้เกิดเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดมากที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 38% รองลงมาคือ 17.25% และ 1.25% ที่ความดันลม 7 bar และ 8 bar ตามลำดับ ผลดังกล่าวเนื่องจากแรงดันที่ทำให้แม่พิมพ์ตัวผู้เคลื่อนที่ลงเพื่อกดดินเหนียวที่อยู่ในแม่พิมพ์ตัวเมียเพื่อให้ได้ตำแหน่งของระยะที่แนบชิดกันทั้งสองแม่พิมพ์ (Parting line) นั้นไม่สามารถเกิดขึ้นได้อย่างสนิทเท่าที่ควร ทำให้การไหลและการอัดตัวของดินเหนียวกระจายไม่ทั่วทั้งแม่พิมพ์ ประกอบกับเกิดการไหลออกของดินเหนียวที่ตำแหน่ง Parting line ทำให้ดินเหนียวไม่สามารถอยู่ในแม่พิมพ์เพื่อสร้างรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ได้ทั้งหมด กรณีสำหรับการทดลองความดันลมที่ 6 bar จะพบปัญหาดังกล่าวมากที่สุด ส่วนกรณีการทดลองความดันลมที่ 7 bar พบว่า มีปัญหาความคลาดเคลื่อนไม่มากนักส่วนใหญ่อัปเดตขึ้นที่ตำแหน่งระยะด้านบนเตา (ตำแหน่ง A) และสำหรับกรณีการทดลองความดันลมที่ 8 bar พบปัญหาความคลาดเคลื่อนน้อยมาก ซึ่งในกระบวนการประกอบสามารถรับค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวได้โดยพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคลาดมากที่สุดสำหรับการส่งต่อกระบวนการประกอบต้องไม่เกิน 5%



ภาพที่ 4 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการขึ้นรูป

ภาพที่ 5 แสดงอัตราการผลิตเตาชุบเปอร์อั้งโล่ของเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่ได้สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งจะแสดงในส่วนของอัตราการผลิตรวมคือ ปริมาณการผลิตทั้งหมดนับรวมเตาที่ตรงตามแบบมาตรฐานและผิดขนาดที่ไม่สามารถใช้งานได้ต่อหนึ่งหน่วยเวลา และอัตราการผลิตตรงตามมาตรฐานคือ ปริมาณการผลิตเตาที่นับเฉพาะกรณีของเตาที่ตรงตามแบบมาตรฐานต่อหนึ่งหน่วยเวลา จากข้อมูลดังกล่าวจะพบว่า อัตราการผลิตรวมของทุกเงื่อนไขความดันลมเท่ากับ 12 เตาคต่อชั่วโมง และพบว่าการเพิ่มขึ้นของความดันลมทุก 15% จะทำให้อัตราการผลิตตรงตามมาตรฐานเพิ่มขึ้นเฉลี่ย

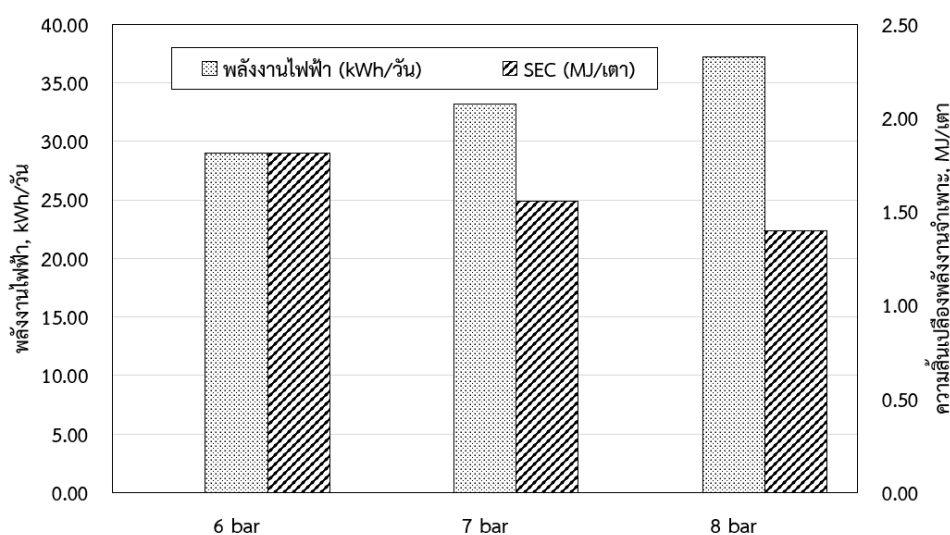
ประมาณ 30% โดยที่ความดันลมเท่ากับ 8 bar จะมีอัตราการผลิตตรงมาตรฐานเท่ากับอัตราการผลิตรวม และที่ความดันลมเท่ากับ 7 bar และ 6 bar จะมีค่าอัตราการผลิตตรงมาตรฐานเท่ากับ 9 เตาคต่อชั่วโมง และ 7 เตาคต่อชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องด้วยเกิดจากความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการขึ้นรูปที่ได้แสดงในภาพที่ 4 แล้วข้างต้น จากข้อมูลดังกล่าวสำหรับอัตราการผลิตตรงมาตรฐานถือเป็นดัชนีที่สามารถใช้บ่งชี้ถึงสมรรถนะของเครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่ได้เป็นอย่างดี และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับอัตราการผลิตจากการปั้นมือพบว่า การอัดขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่ด้วยเครื่องจะมีอัตราการผลิตที่สูงมากกว่าการปั้นมือประมาณ 5 – 10 เตาคต่อชั่วโมงขึ้นอยู่กับความดันลม เนื่องด้วยการปั้นมือจะใช้ลักษณะของแม่พิมพ์ที่ทำด้วยไม้มีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภทคือ ประเภทแม่พิมพ์ใน และประเภทแม่พิมพ์นอก โดยทั้งหมดจะต้องมีการนำดินเหนียวมาปะติดและใส่ในแม่พิมพ์ให้เต็ม ในทุกส่วนของเตาและทำการปาดขอบเพื่อสร้างให้เป็นผนังเตาด้วยมือในทุกกระบวนการจึงมีความล่าช้าค่อนข้างมาก



ภาพที่ 5 อัตราการผลิตเตาซูปเปอร์อั้งโล่

ภาพที่ 6 แสดงปริมาณของพลังงานไฟฟ้าและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการปั้นเตาซูปเปอร์อั้งโล่ในแต่ละเงื่อนไขของการศึกษา ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้พบว่า การเพิ่มความดันลมส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน โดยการเพิ่มความดันลมทุก 15% จะเป็นการเพิ่มปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 13.35% เนื่องจากการเพิ่มความดันลมสำหรับการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่นั้นเป็นการเพิ่มการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในการหมุนปั๊มอัดอากาศทำให้ปริมาณอากาศภายในถังเก็บอากาศ (Storage tank) เพิ่มขึ้นในปริมาตรของถังเก็บอากาศเท่าเดิม ทำให้ความดันลมภายในถังเก็บอากาศเพิ่มมากขึ้นและระบบจะตัด

การทำงานของมอเตอร์เมื่อความดันอากาศในถังเก็บอากาศเท่ากับความดันใช้งานที่ได้ตั้งค่าไว้ โดยปริมาณการผลิตตรงมาตรฐานสามารถแสดงในรูปของความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะซึ่งถือเป็นดัชนีที่ใช้สำหรับบ่งชี้สมรรถนะการใช้พลังงานต่อปริมาณการผลิตของเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ได้เป็นอย่างดี ผลที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่า ความดันลมที่ใช้ในอัดที่ 8 bar จะมีค่าความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะน้อยที่สุดเท่ากับ 1.40 MJ/เตา ถัดมาคือ 1.60 MJ/เตา และ 1.80 MJ/เตา ที่ความดันลมเท่ากับ 7 bar และ 6 bar ตามลำดับ โดยการเพิ่มขึ้นของความดันลมทุก 15% จะสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตเตาชุบเปอร์อั้งโล่ตรงตามมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 29.17% ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้ความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะในกรณีความดันลมเท่ากับ 8 bar จึงมีค่ามากที่สุด

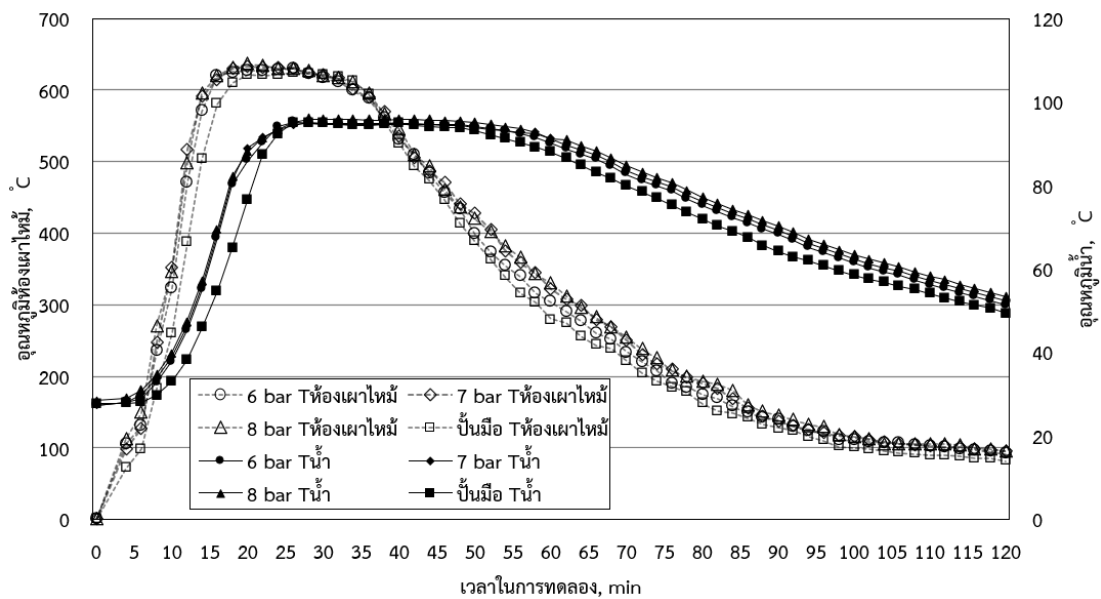


ภาพที่ 6 พลังงานไฟฟ้า และความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะที่ใช้ในการปั้นเตาชุบเปอร์อั้งโล่

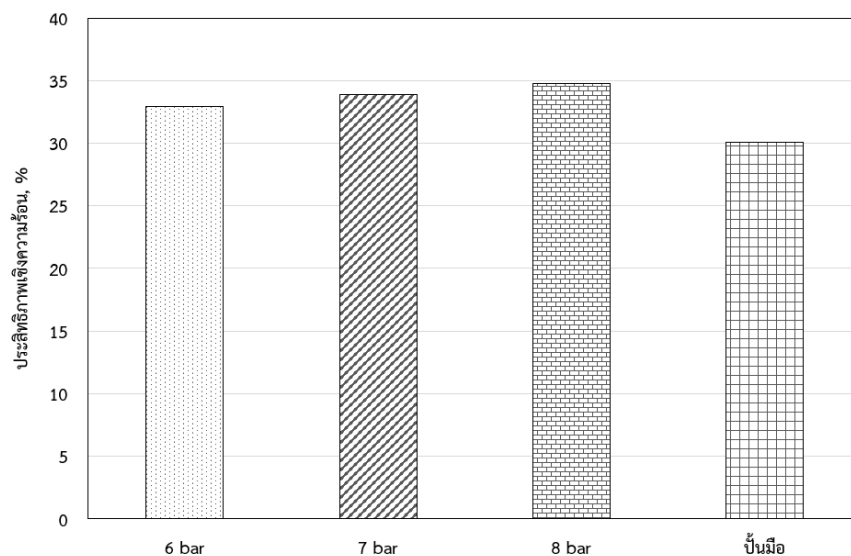
ภาพที่ 7 แสดงอุณหภูมิของน้ำและทองเผาไหม้ด้วยวิธีการต้มน้ำเดือด (WBT) ของเตาที่ปั้นด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่และปั้นมือ เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของน้ำของทั้งสองกรณีจะพบว่า มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันกล่าวคือ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของการเพิ่มขึ้นและลดลงของอุณหภูมิในแต่ละช่วงมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน แต่จะมีความแตกต่างเพียงเล็กน้อยสำหรับในตำแหน่งของการเปลี่ยนแปลงจากช่วงให้ความร้อน (Heating) เป็นช่วงระดับกำลังหรือช่วงการทำงานสูงสุด (High power) โดยพบว่ากรณีเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องจะมีการเปลี่ยนแปลงช่วงให้ความร้อนเป็นช่วงระดับกำลังเร็วกว่ากรณีการปั้นมือเฉลี่ยประมาณ 5 นาที กล่าวอีกนัยหนึ่งคือความสามารถในการให้ความร้อนเพื่อทำให้น้ำเดือด (Boil temperature) ของเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่ได้จากอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องมากกว่ากรณีการปั้นด้วยมือ (Hailu, 2022) เนื่องด้วยการอัดขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ด้วยเครื่องจะเพิ่มความหนาแน่นดินเหนียวของเตามากกว่ากรณีการนำดินเหนียวปะติดแม่พิมพ์ด้วยมือ ส่งผลต่อความสามารถในการถ่ายเทความร้อนไปยังส่วนอื่นของเตากล่าวคือ กรณีอัด

ขึ้นรูปเตาด้วยเครื่องทำให้ผนังเตาในทุกส่วนมีความหนาแน่นของดินเหนียวในระดับสูงสังเกตได้จากปริมาณการหดตัวของเตาชุบเปอร์อั้งโล่หลังการเผาจะพบว่า กรณีการอัดขึ้นรูปเตาด้วยเครื่องจะมีการหดตัวน้อยกว่าการปั้นด้วยมือ โดยผลจากการศึกษาพบว่าค่าการหดตัวของเตากรณีอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องเฉลี่ยประมาณ 5 – 8% และปั้นด้วยมือเฉลี่ยประมาณ 15 – 18% จากเหตุผลดังกล่าวสำหรับกรณีการปั้นด้วยมือทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนจากห้องเผาไหม้ไปยังส่วนต่างๆ ของเตาและสูญเสียสู่ภายนอกมากกว่ากรณีการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่อง จึงเป็นเหตุให้ผลที่ได้ดังแสดงในภาพที่ 8 ทั้งนี้เหตุผลดังกล่าวมีความเชื่อมโยงกับกรณีของอุณหภูมิห้องเผาไหม้ในภาพดังกล่าวด้วยเช่นกัน

จากผลที่เกิดขึ้นในภาพที่ 7 สามารถแสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชุบเปอร์อั้งโล่ในแต่ละเงื่อนไขที่ศึกษาดังภาพที่ 8 จะพบได้ว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชุบเปอร์อั้งโล่มากที่สุดคือ 34.79% ในกรณีของการใช้เครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่และความดันลมเท่ากับ 8 bar รองลงมาคือ 33.86%, 32.95% และ 30.05% ในกรณีของความดันลม 7 bar, 6 bar และปั้นด้วยมือ ตามลำดับ (Ayele & Eneyew, 2022; Neka *et al.*, 2021; Bentson *et al.*, 2022) ซึ่งเหตุผลเนื่องด้วยมีความหนาแน่นของดินเหนียวของเตาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดที่มากกว่าการปั้นด้วยมือดังได้กล่าวแล้วข้างต้น ประกอบกับสามารถพิจารณาเพื่อให้เห็นความสอดคล้องของผลดังกล่าวเพิ่มมากยิ่งขึ้นด้วยสมการประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้มสมการที่ 4 คือ $\eta = \frac{[M_{w,l} \times C_p \times (T_{boil} - T_i)] + M_{w,evap} \times H_w}{[M_f \times H_f]} \times 100\%$ จะพบได้ว่า พจน์ของสมการที่มีค่าที่มีค่าใกล้เคียงกันสำหรับกรณีของการใช้เครื่องขึ้นรูปและปั้นด้วยมือคือ พลังงานของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำ ($[M_{w,l} \times C_p \times (T_{boil} - T_i)]$) หรือเรียกว่า Sensible heat ส่วนพลังงานที่มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดลำดับแรกคือ พลังงานของการระเหยกลายเป็นไอน้ำ ($M_{w,evap} \times H_w$) หรือเรียกว่า Latent heat เนื่องจากจะคำนวณจากปริมาณน้ำที่ยังคงเหลือในหม้อต้ม ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำที่เหลือจากเตาที่อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่มีค่าน้อยกว่าเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่ปั้นด้วยมือ ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของเตาที่มีความสามารถในการระเหยน้ำได้มากกว่า และส่วนของพลังงานที่มีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดลำดับที่สองคือ พลังงานที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านเพื่อให้ความร้อนแก่หม้อต้ม ($M_f \times H_f$) ซึ่งจากการทดลองจะพบว่า ถ่านที่เหลือหลังจากการทดสอบ WBT ในกรณีของเตาที่อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่จะเหลือมากกว่าเตาที่ปั้นด้วยมือ ผลดังกล่าวสามารถแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของเตาที่มีการใช้พลังงานสำหรับการต้มที่น้อยอย่างเห็นได้ชัด (Mekonnen *et al.*, 2022; Neka *et al.*, 2021) ด้วยเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นจึงเป็นสาเหตุทำให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่ใช้ความดันลมเท่ากับ 8 bar มีค่ามากที่สุด



ภาพที่ 7 อุณหภูมิของน้ำและไอน้ำสำหรับวิธีการต้มน้ำเดือด (WBT) ของเตาที่อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาซูเปอร์อัลลอยและปั้นมือ

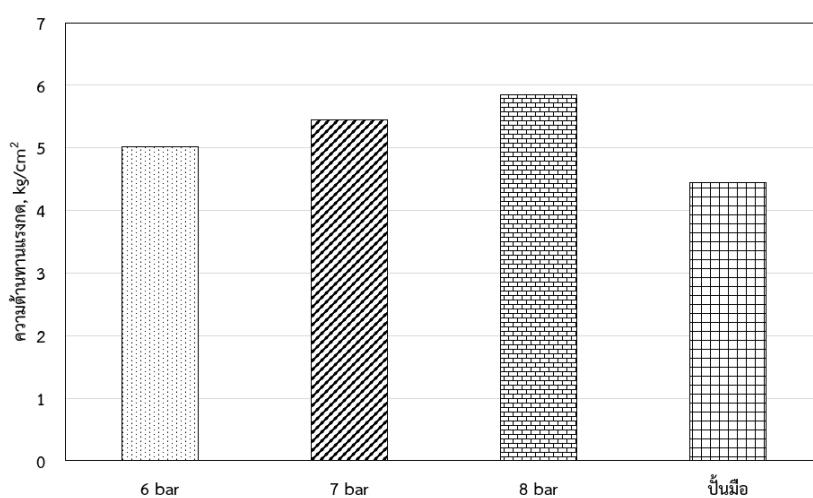


ภาพที่ 8 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาซูเปอร์อัลลอยในแต่ละเงื่อนไขที่ศึกษา

ภาพที่ 9 แสดงความต้านทานแรงกดของเตาซูเปอร์อัลลอยในแต่ละเงื่อนไขที่ศึกษา ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า การเพิ่มขึ้นของความดันในการอัดขึ้นรูปส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความต้านทานแรงกดของเตาซูเปอร์อัลลอย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ผนังเตาซูเปอร์อัลลอยที่อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาซูเปอร์อัลลอยที่มีความดัน 8 bar จะมีความแข็งแรงมากที่สุดเท่ากับ 5.85 kg/cm^2 รองลงมาคือ 5.44 kg/cm^2 , 5.01 kg/cm^2 และ 4.45 kg/cm^2 ในกรณีของการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องที่

ความดันลม 7 bar, 6 bar และป็นด้วยมือ ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณความหนาแน่นของดินเหนียวที่อัดขึ้นด้วยเครื่อง

สำหรับภาพที่ 7 – 9 ที่ได้นำเสนอแล้วในข้างต้นพบว่าเป็นผลที่เกิดขึ้นจากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่ได้จากการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่กับเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่ป็นด้วยมือ โดยผลที่ได้นี้มีความสอดคล้องกับสมรรถนะของเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่ได้ทำการศึกษา กล่าวคือหากคุณสมบัติของเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่ได้ทดสอบอยู่ในระดับดีแล้วนั้นสามารถยังผลถึงสมรรถนะของเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่อยู่ในระดับดีเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 9 ความต้านทานแรงกดของเตาชุบเปอร์อั้งโล่ในแต่ละเงื่อนไขที่ศึกษา

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมรรถนะการขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่ใช้เครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ และทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่และการป็นด้วยมือ ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า การเพิ่มความดันลมในการอัดขึ้นรูปสามารถเพิ่มสมรรถนะเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ได้ และยังพบอีกว่าที่ความดันลมในการอัดขึ้นรูปเท่ากับ 8 bar จะมีอัตราการผลิตเตา ประสิทธิภาพเชิงความร้อน รวมทั้งคุณสมบัติของเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่ได้ทำการศึกษาทดสอบประกอบด้วยความต้านทานแรงกดสูงที่สุด ในขณะที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ ที่สนับสนุนทุนและอุปกรณ์ในการวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- Ayele, L., & Eneyew, Y. (2022). Experimental investigation on renovation of locally manufactured electrical cooking stove. **Case Studies in Thermal Engineering**, 30, 101712. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101712>
- Aziz, S., Barua, S. & Chowdhury, S.A. (2022). Cooking energy use in Bangladesh: Evidence from technology and fuel Choice. **Energy**, 250, 123696. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123696>
- Bentson, S., Evitt, D., Still, D., Lieberman, D. & MacCarty, N. (2022). 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.
- Bonsu, B.O., Takase, M. & Mantey, J. (2020). Preparation of charcoal briquette from palm kernel shells: case study in Ghana. **Heliyon**, 6, e05266. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05266>
- Das, D.K., Islam, M.S., Dutta, C.B., Hassan., M.M. & Hossen, S.S. (2021). Is there any demand for improved cooking stoves? Evidence from Bangladesh. **Journal of Environmental Management**, 298, 113412. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113412>
- Duong, V.M., Flener, U., Hrbek, J., & Hofbauer, H. (2022). Emission characteristics from the combustion of Acacia Mangium in the automatic feeding pellet stove. **Renewable Energy**, 186, 183-194.
- Hailu, A. (2022). Development and performance analysis of top lit updraft: natural draft gasifier stoves with various feed stocks. **Heliyon**, 8, e10163. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10163>
- Hakam, D.F., Nugraha, H., Wicaksono, A., Rahadi, R.A. & Kanugrahan, A.P. (2022). Mega conversion from LPG to induction stove to achieve Indonesia's clean energy transition. **Energy Strategy Reviews**, 41, 100856. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100856>
- Kshirsagar, M.P., & Kalamkar, V.R. (2020). Application of multi-response robust parameter design for performance optimization of a hybrid draft biomass cook stove. **Renewable Energy**, 153, 1127-1139.

- Kurth, R., Bergmann, M., Tehel, R., Dix, M. & Putz, M. (2021). Cognitive clamping geometries for monitoring elastic deformation in forming machines and processes. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, 70, 235-238.
- Manatura, K. (2021). Novel performance study of recirculated pyro-gas carbonizer for charcoal production. **Energy for Sustainable Development**, 64, 8–14.
- Mekonnen, A., Beyene, A., Bluffstone, R., Gebreegziabher, Z., Martinsson, P., Toman, M., & Vieider, F. (2022). Do improved biomass cookstoves reduce fuelwood consumption and carbon emissions? Evidence from a field experiment in rural Ethiopia. **Ecological Economics**, 198, 107467. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107467>
- Nega, D.T, Yirgu, B.M., & Demissie, S.W. (2021). Improved biogas ‘Injera’ bakery stove design, assemble and its baking pan floor temperature distribution test. **Energy for Sustainable Development**, 61, 65–73.
- Okolie, P.C., Obika, E.N., Oluwadare, B.S., Ezenwa, O.N. & Udensi, C.S. (2020). Steel work design and analysis of a 40-ton constant temperature hydraulic press. **Heliyon**, 6, e04783. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04783>
- Otieno, A.O., Home, P.G., Raude, A.M., Murunga, S.I. & Gachanja, A. (2022). Heating and emission characteristics from combustion of charcoal and co-combustion of charcoal with faecal char-sawdust char briquettes in a ceramic cook stove. **Heliyon**, 8, e10272. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10272>
- Raz, K., Kubec, V. & Cechura, M. (2014). Dynamic Behavior of the Hydraulic Press for Free Forging. **Procedia Engineering**, 100, 885–890.
- Roubík, H., & Mazancova, J. (2019). Small-scale biogas plants in central Vietnam and biogas appliances with a focus on a flue gas analysis of biogas cook stoves. **Renewable Energy**, 131, 1138-1145.
- Sakdanuphab, R., & Sakulkalavek, A. (2017). Design, empirical modelling and analysis of a waste-heat recovery system coupled to a traditional cooking stove. **Energy Conversion and Management**, 139, 182–193.
- Tumutegyereize, P., Muwanguzi, S., Ayaa, F., Kizito, S. & Wanyama, J. (2021). Effect of thermal shock on the grates of improved charcoal cook-stoves made from different materials. **Energy for Sustainable Development**, 64, 59–64.



- Wassie, Y.T., & Adaramola, M.S. (2021). Analysis of potential fuel savings, economic and environmental effects of improved biomass cookstoves in rural Ethiopia. **Journal of Cleaner Production**, 280, 124700. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124700>
- Yayeh, T., Guadie, A. & Gatew, S. (2021). Adoption and fuel use efficiency of mirt stove in Dilla district, southern Ethiopia. **Cleaner Engineering and Technology**, 4, 100207. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100207>