การประเมินประสิทธิภาพเตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลที่ออกแบบสำหรับผู้ประกอบการในพื้นที่อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง

Potential Evaluation of Biomass Brick Kilns Designed for an Entrepreneur in Hangchut District, Lampang Province

อุกฤต สมัครสมาน[1*] นันท์นิชา วงค์ตะวัน[2] สมศรี พรมท้าว[3] สุพัตรา สุนทร[1] คณิต มานะธุระ[4] และ กิตติกร สาสุจิตต์[5]

Ukrit Samaksaman[1*] Nunnicha Wongtawan[2] Somsri Promtow[3] Supatra Sunton[1] Kanit Manatura[4] and Kittikorn Sasujit[5]

[1] ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

[2] ห้างหุ้นส่วนจำกัด ตะวัน แมททีเรียล คอนสตรัคชั่น ลำปาง 52190

[3]โรงอิฐบ้านขุมเงิน ร้อยเอ็ด 45140

[4] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

[5] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[1]Department of Natural Resources and Environment, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok 65000

[2]Tawan material construction limited partnership, Lampang 52190

[3]Bankhumngern Machinery, Roi Et 45140

[4]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen campus, Nakhonpatom 73140

[5]School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290

[*]Corresponding author: Tel.: 055 962754. E-mail address: ukrits@nu.ac.th

Received: 21 June 2021, Revised: 17 September 2021, Accepted: 30 September 2021, Published online: 30 April 2022

Abstract

Potential evaluation of biomass brick kilns was studied by comparing the new design of biomass brick kiln and a traditional kiln. Brick burning temperature and flue gas emission were observed. Preliminary data and technical background were collected and used for calculation. The results pointed out that the new design of biomass brick kiln showed similar temperature profiles to a traditional kiln. It can be applied for brick processing and suitable for an entrepreneur in Hangchut district, Lampang province. The controlled temperature of drying process could reach 500 – 600°C in time of operation and the maximum temperature of brick burning occurred in the range of 1,000 –

1,100°C. The increase of capacity and combustion efficiency were 42.85% and 3-4%, respectively. The reduction of biomass consumption was around 4 tons each batch. The specific energy consumption of brick was 2.26 MJ/kg. The basic cost for brick burning was reduced by 44.25% and payback period was 1.14 years. However, electricity consumption and burning time increased as the use of air blowers and long-time calcination which were increased approximately 160 units and 24 hours, respectively. These data can be used as operation guidelines for a brick entrepreneur to adapt for biomass brick kilns in the future.

Keywords: Biomass, Brick kiln, Combustion, Evaluation, Potential

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการประเมินประสิทธิภาพของเตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลแบบใหม่เปรียบเทียบกับแบบดั้งเดิมด้วยการตรวจวัดอุณหภูมิและการวิเคราะห์แก๊สเสีย รวมทั้งประเมินเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นโดยใช้รูปแบบการเก็บข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลด้านเทคนิค จากการทดสอบพบว่า เตาเผาอิฐมอญที่ได้รับการพัฒนามีโปรไฟล์อุณหภูมิเหมาะสมกับรูปแบบการผลิตอิฐมอญของผู้ประกอบการในเขตพื้นที่อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง ซึ่งไม่แตกต่างจากเดิมมากนัก โดยมีอุณหภูมิสูงสุดในช่วงการอุ่นอิฐอยู่ในช่วง 500 – 600 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิสูงสุดในช่วงการเผาอิฐอยู่ในช่วง 1,000 – 1,100 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับเตาเผาอิฐมอญแบบดั้งเดิมประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่คำนวณจากสัดส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อผลรวมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น 3 – 4% อีกทั้งเตาเผาอิฐมอญแบบใหม่ยังสามารถเพิ่มปริมาณก้อนอิฐต่อครั้งของการเผา มีความจุเพิ่มขึ้น 42.85% และปริมาณการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลลดลงประมาณ 4 ตัน/ครั้ง โดยอิฐมอญที่เผาในเตาเผาอิฐมอญแบบใหม่มีดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ 2.26 เมกะจูล/กิโลกรัม และส่งผลต่อต้นทุนการเผาอิฐแต่ละก้อนมีต้นทุนลดลง ประมาณ 44.25% โดยมีระยะเวลาคืนทุนที่ 1.14 ปี อย่างไรก็ตามในการเผาอิฐแต่ละครั้งใช้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นประมาณ 24 ชั่วโมง และปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 160 หน่วย ซึ่งข้อมูลนี้สามารถสร้างความมั่นใจให้ผู้ประกอบการในการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีเตาเผาอิฐมอญชีวมวลในอนาคต

คำสำคัญ: ชีวมวล เตาเผาอิฐมอญ เผาไหม้ ประเมิน ประสิทธิภาพ

บทนำ

ปัจจุบันปริมาณการผลิตอิฐมอญมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความต้องการอิฐมอญของตลาดอสังหาริมทรัพย์ ซึ่งเป็นไปตามทิศทางของการขยายตัวของเศรษฐกิจและการขยายขอบเขตของชุมชนเมือง จากข้อมูลผู้ประกอบการในเขตจังหวัดภาคเหนือมีการผลิตอิฐมอญเพื่อจำหน่ายให้ลูกค้าทั้งภายในและภายนอกพื้นที่ โดยผู้ประกอบการบางรายสามารถผลิตอิฐมอญที่มีคุณภาพและได้รับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างสามัญ มอก.77-2545 จัดจำหน่ายให้ลูกค้าทั่วประเทศ ทำให้จำเป็นต้องมีการเพิ่มกำลังการผลิตอิฐมอญทั้งระบบและขั้นตอนการเผาอิฐเป็นขั้นตอนสำคัญขั้นตอนหนึ่งของกระบวนการผลิต อย่างไรก็ตามเตาเผาอิฐมอญที่ผู้ประกอบการใช้อยู่ยังไม่ได้รับการพัฒนามากนักเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมืออื่นๆ ซึ่งเตาเผาอิฐมอญแบบดั้งเดิมนั้นมีประสิทธิภาพต่ำและก่อให้เกิดปัญหามลพิษอากาศ รวมถึงสถานการณ์ของการขาดแคลนเชื้อเพลิงชีวมวลและปัญหาด้านราคาชีวมวลที่ผันผวนเนื่องจากความต้องการชีวมวลของโรงไฟฟ้าชีวมวลในพื้นที่ที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งปัญหามลพิษอากาศและฝุ่นละอองขนาดเล็กในพื้นที่ภาคเหนือที่มีแนวโน้มรุนแรงขึ้นในทุกปี ทำให้ผู้ประกอบการผลิตอิฐมอญให้ความสนใจและต้องการเข้ามามีส่วนร่วมในการหาแนวทางเพื่อแก้ไขปัญหาด้านประสิทธิภาพ

เตาเผาและลดผลกระทบด้านมลพิษอากาศ ที่ผ่านมามีการพัฒนาเทคโนโลยีควบคุมมลพิษอากาศสำหรับเตาเผาอิฐมอญ และการติดตั้งระบบบำบัดมลพิษอากาศแบบสครับเบอร์ในเตาเผาอิฐมอญ สามารถช่วยลดผลกระทบจากมลพิษอากาศจากการเผาอิฐมอญ [1] ซึ่งเตาเผาอิฐมอญแบบดั้งเดิมที่ผู้ประกอบการนิยมใช้ ได้แก่ เตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมและแบบสุมแกลบ โดยพบว่าเตาเผาอิฐมอญสองชนิดนี้มีดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption) อยู่ในช่วง 1.6-7.8 เมกะจูล/กิโลกรัม [2] และกิจกรรมการเผาอิฐมอญนั้นส่วนใหญ่เป็นกิจกรรมการเผาในที่โล่งที่ใช้ระยะเวลานานประมาณ 72-78 ชั่วโมง และใช้เชื้อเพลิงปริมาณมาก ประมาณ 10-20 ตัน/ครั้ง [1-3] มีรายงานการพัฒนาประสิทธิภาพเตาเผาอิฐมอญ โดยทำการปรับปรุงเตาเผาให้มีความคงทนมากขึ้นและเพิ่มฉนวนกันความร้อน พบว่าเตาเผาอิฐมอญที่พัฒนา สามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้ 8% และลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงแกลบได้ถึง 32 ตัน/ปี [4] นอกจากนี้มีรายงานการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วในการเผาอิฐมอญเปรียบเทียบกับชีวมวล พบว่าการใช้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ เพิ่มอุณหภูมิภายในเตาเผาได้อย่างรวดเร็ว ลดระยะเวลาในการเผาอิฐและคุณภาพอิฐมอญที่ผลิตได้มีคุณสมบัติบางประการดีกว่าอิฐมอญที่เผาด้วยชีวมวล [5] แต่อย่างไรก็ตามรายงานการวิจัยดังกล่าวข้างต้นเป็นการทดสอบในเชิงพลังงานเท่านั้น หากจะมีการใช้เชื้อเพลิงจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจริงต้องคำนึงถึงผลกระทบจากมลพิษอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้เป็นสำคัญ เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจัดเป็นขยะอันตรายที่ต้องมีการจัดการด้วยวิธีการที่เหมาะสม

การพัฒนาเตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลในโครงการวิจัยนี้ เป็นการดำเนินงานในโครงการสร้างผู้ประกอบการชุมชนที่มีศักยภาพ (Local Startups) ภายใต้โครงการยกระดับคุณภาพชีวิตและเศรษฐกิจในภูมิภาค ด้วยองค์ความรู้ ภูมิปัญญาและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 ได้ดำเนินการประเมินศักยภาพและวิเคราะห์ประสิทธิภาพเตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลที่ถูกพัฒนาขึ้นทดแทนเตาเผาอิฐมอญแบบดั้งเดิม (เตาเผาอิฐมอญแบบสี่เหลี่ยม) ณ พื้นที่ศึกษาโรงงานอิฐมอญตะวัน (ห้างหุ้นส่วนจำกัด ตะวัน แมทีเรียล คอนสตรัคชั่น) ตำบลหนองหล่ม อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง ซึ่งโรงงานนี้ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่เกษตรกรรมและเป็นพื้นที่จัดสรรที่ดินในสวนป่าอยู่ห่างจากชุมชนประมาณ 2 กิโลเมตร มีพื้นที่โดยรอบโรงงานประมาณ 15 ไร่ ด้านทิศเหนือ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตกมีแนวเขตติดกับพื้นที่สวนป่าและสวนยางพารา ด้านทิศใต้มีฟาร์มเลี้ยงไก่เนื้อ มีระยะห่างประมาณ 200 เมตร เป็นโรงงานผลิตอิฐมอญขนาดกลาง มีกำลังการผลิตประมาณ 250,000 ก้อน/สัปดาห์ ใช้แรงงานคนและเครื่องจักรขนาดกลางในกระบวนการผลิต กิจกรรมการผลิตอิฐมอญและลักษณะเตาเผาอิฐมอญแบบดั้งเดิมที่ใช้ในการเผาอิฐมอญ แสดงดังภาพที่ 1 ซึ่งหากได้รับการพัฒนาตามหลักวิศวกรรมสำหรับระบบเผาไหม้ชีวมวลและระบบควบคุมมลพิษอากาศที่เหมาะสมแล้วนั้น จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้และลดปัญหาและผลกระทบจากมลพิษอากาศ และจากข้อมูลการสำรวจเทศบาลตำบลปงยางคก อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง พบว่ามีผู้ประกอบการผลิตอิฐมอญไม่น้อยกว่า 15 ราย กำลังการผลิตโดยเฉลี่ยของแต่ละโรงงาน อย่างน้อยประมาณ 50,000-100,000 ก้อน/เดือน/ราย [5] โดยที่ราคาขายส่งอิฐมอญหน้าโรงงานประมาณ 2 บาท/ก้อน คิดเป็นมูลค่าโดยรวมประมาณ 18-36 ล้านบาท/ปี

การศึกษานี้เป็นการประเมินประสิทธิภาพจากการตรวจวัดอุณหภูมิและแก๊สเสีย และประเมินเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นโดยใช้รูปแบบการสัมภาษณ์และสำรวจโดยนักวิจัย ซึ่งเป็นกรณีศึกษาเตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลที่ออกแบบสำหรับผู้ประกอบการในพื้นที่อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง เปรียบเทียบกับเตาเผาอิฐมอญแบบดั้งเดิมที่มีในโรงงาน ผลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถตอบโจทย์ที่ท้าทายด้านการขาดแคลนเชื้อเพลิงชีวมวลและการจัดการปัญหาที่เกิดจากการเผาอิฐมอญทั้งในเขตจังหวัดภาคเหนือและภูมิภาคอื่นๆ ของประเทศไทยได้

ภาพที่ 1 ภาพกิจกรรมภายในโรงงานอิฐมอญตะวัน ตำบลหนองหล่ม อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง
(ก) การปั้นอิฐ, (ข) เตาเผาแบบดั้งเดิม, (ค) การเผาอิฐแบบสุมไฟ และ (ง) การเติมเชื้อเพลิงชีวมวล

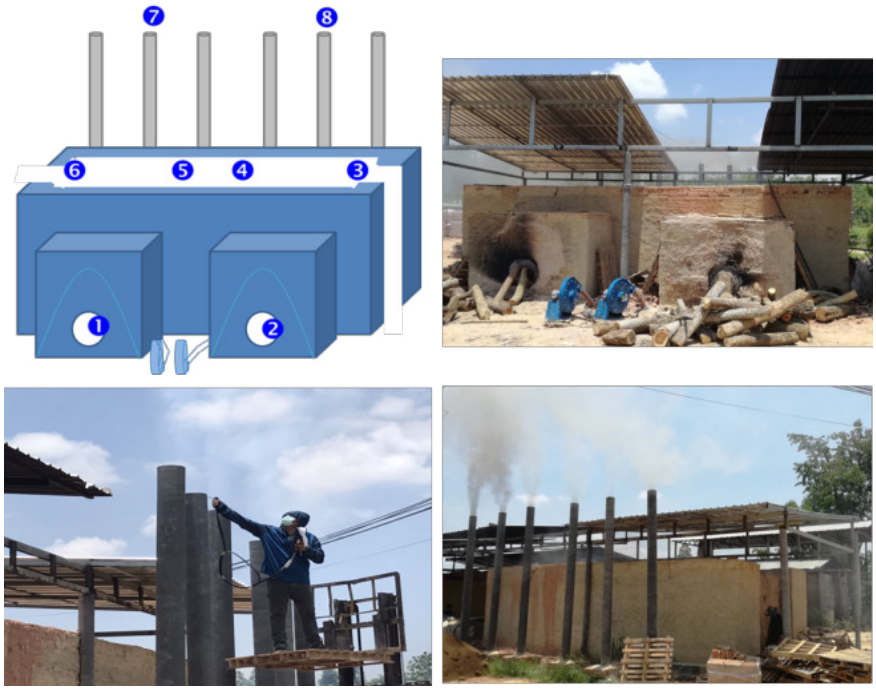
วิธีการวิจัย

ภายใต้โครงการสร้างผู้ประกอบการชุมชนที่มีศักยภาพ (Local Startups) ผู้ประกอบการมีส่วนร่วมในการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีร่วมกับนักวิจัยที่ปรึกษาประจำโครงการ โดยเลือกใช้ต้นแบบการพัฒนาเทคโนโลยีเตาเผาอิฐมอญจากโรงอิฐบ้านขุมเงิน อำเภอพนมไพร จังหวัดร้อยเอ็ด ซึ่งออกแบบเตาเผาอิฐมอญให้มีลักษณะเด่นด้านการประหยัดพลังงาน ควบคุมอากาศด้วยพัดลมอัดอากาศและบังคับความร้อนไหลลง (Downdraft) ขนาดเตาเผากว้าง 5 เมตร x ยาว 10 เมตร x สูง 2.5 เมตร ผนังเตาหนา 75 เซนติเมตร มีช่องเปิดข้างเตา 2 ช่อง ภายในเตามีการวางแนวท่อระบายความร้อนและไอเสีย ด้านหน้าเตามีห้องเผาไหม้จำนวน 2 ห้อง มีช่องเติมเชื้อเพลิงชีวมวล 2 ช่อง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 48 เซนติเมตร ด้านท้ายเตามีปล่องระบายไอเสียขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 4 เมตร จำนวน 6 ปล่อง และใช้พัดลมโบลเวอร์อัดอากาศเข้าห้องเผาไหม้ทั้งสอง ขนาด 3 แรงม้า (2.2 กิโลวัตต์) จำนวน 2 ตัว โดยเตาเผาอิฐมอญชุดนี้ใช้ระยะเวลาในการก่อสร้าง 1 เดือน (มีนาคม 2564) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเรียกว่า เตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลแบบถมทรายหลังเตา

หลังจากปั้นอิฐและตากอิฐแห้งแล้ว ทำการจัดเรียงอิฐประมาณ 60,000 ก้อน โดยเรียงอิฐกั้นห้องเผาไหม้ทั้งสองโดยให้อยู่ในแนวท่อระบายความร้อนและไอเสียภายในเตา ตรวจสอบความมั่นคงของกองอิฐและการสอดประสานของอิฐมอญแต่ละแถวตามความเหมาะสม จากนั้นทำการถมทรายกลบหลังเตาหนาประมาณ 5 เซนติเมตร และเริ่มทำการจุดเตาด้วยไม้ฟืนขนาดเล็กเพื่ออุ่นอิฐใช้ระยะเวลา 36 ชั่วโมง และเริ่มเร่งไฟให้อุณหภูมิสูงขึ้นโดยใช้ไม้ฟืนขนาดใหญ่และเปิดพัดลมโบลเวอร์ ขั้นตอนนี้ใช้ระยะเวลา 36-48 ชั่วโมง ซึ่งการเผาอิฐมอญแต่ละครั้งจะใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 72-84 ชั่วโมง สังเกตก้อนอิฐมอญด้านบนของเตาเผาหากก้อนอิฐมอญมีลักษณะไหม้อย่างสมบูรณ์ให้ปิดเตาและรอจนกว่าอุณหภูมิภายในเตาเผาเย็น จากนั้นนำอิฐมอญออกเพื่อบรรจุลงพาเลทและจำหน่ายต่อไป

การดำเนินการประเมินประสิทธิภาพเตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลแบบถมทรายหลังเตา จะกำหนดการวัดอุณหภูมิช่วงของการอุ่นอิฐ 4 ครั้ง (ชั่วโมงที่ 1-36) และการเร่งไฟเผาอิฐ 4 ครั้ง (ชั่วโมงที่ 37-72) โดยกำหนดจุดตรวจวัดอุณหภูมิ จำนวน 6 ตำแหน่ง 1.ห้องเผาไหม้ 1 (Combustion 1), 2. ห้องเผาไหม้ 2 (Combustion 2), 3. หลังเตาขวา (TopRight), 4. หลังเตากลางขวา (TopMidRight), 5. หลังเตากลางซ้าย (TopMidLeft), และ 6. หลังเตาซ้าย (TopLeft)

แสดงดังภาพที่ 2 การดำเนินการตรวจวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด ยี่ห้อ Kepler ช่วงอุณหภูมิ -35 ถึง 1,300 องศาเซลเซียส จะทำการตรวจวัดและบันทึกอุณหภูมิอย่างน้อย 5 ครั้ง และคำนวณค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ



ภาพที่ 2 ตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิและแก๊สเสียและลักษณะเตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลแบบถมทรายหลังเตา

จากนั้นตรวจวัดแก๊สเสียจากเตาเผาอิฐมอญแบบดั้งเดิมและเตาเผาอิฐมอญที่ได้รับการพัฒนา โดยเตาเผาอิฐมอญแบบดั้งเดิมตรวจวัดบริเวณบนหลังเตา และเตาเผาอิฐมอญแบบถมทรายหลังเตาจะตรวจวัดที่ปลายปล่อง ในตำแหน่งที่ 7 และ 8 (ภาพที่ 2) ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สเสีย ยี่ห้อ E4500-C Hand-Held Industrial Combustion Gas & Emission Analyzer, USEPA standard ที่สภาวะการเก็บตัวอย่างแก๊สเสียแบบ Iso-kinetic condition with 3 replicates, 60 sec ดำเนินการตรวจวัดแก๊สเสียจำนวน 4 ครั้ง ตลอดช่วงระยะเวลาการเผาอิฐและคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาด้วยสมการ (1)

$$Eff_{com}(\%) = \frac{[CO_2]}{[CO_2]+[CO]} \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ Eff_{com} คือ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (%)

$[CO_2]$ คือ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้ (%)

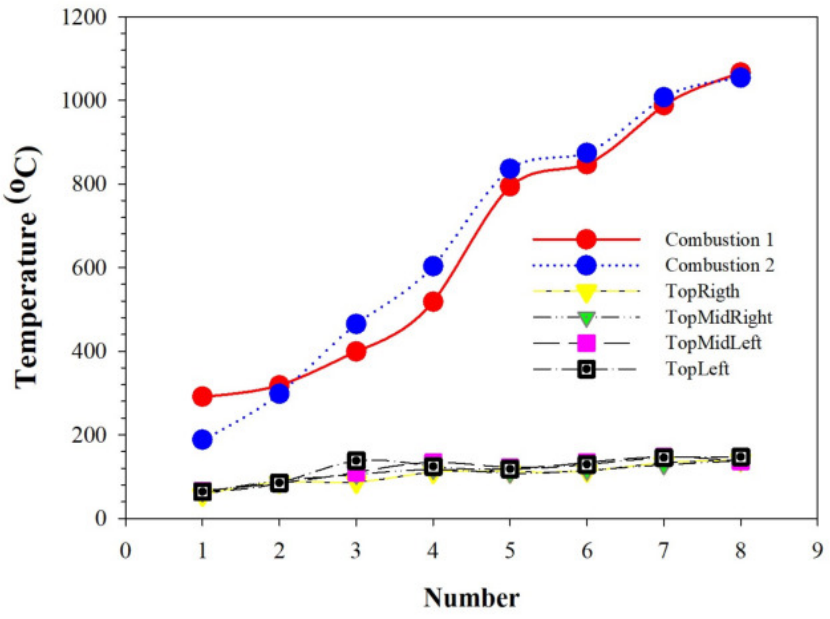
[CO] คือ ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ตรวจวัดได้ (%)

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิจากผู้ประกอบการ เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการประเมินเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นสำหรับเตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลแบบถมทรายหลังเตาเปรียบเทียบกับเตาเผาอิฐมอญแบบดั้งเดิม โดยหัวข้อที่สัมภาษณ์มีดังนี้ จำนวนอิฐมอญที่เผาต่อครั้ง ระยะเวลาในการเผา ปริมาณฟืน ราคาเชื้อเพลิงชีวมวล (ราคาไม้ฟืน) จำนวน

คนงานขนลำเลียงอิฐมอญ จำนวนคนงานควบคุมเตาเผา ค่าใช้จ่ายด้านแรงงานต่อครั้งการเผา ปริมาณการใช้ไฟฟ้า และค่าไฟฟ้า จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณเพื่อหาค่าใช้จ่ายรวมของการเผาอิฐมอญแต่ละครั้ง ต้นทุนของอิฐมอญรายก้อน ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะและระยะเวลาคืนทุน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิในช่วงการอุ่นอิฐไล่ความชื้นและการเร่งไฟเผาอิฐ ครั้งที่ 1-4 (ช่วงอุ่นอิฐเพื่อไล่ความชื้น) และครั้งที่ 5-8 (ช่วงเร่งไฟเพื่อเผาอิฐ) ตามลำดับ โดยทำการตรวจวัดตำแหน่งที่ 1-6 พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของการตรวจวัดครั้งแรก เท่ากับ 291, 188, 56, 63, 66 และ 64 องศาเซลเซียส ส่วนการตรวจวัดครั้งที่ 2 อุณหภูมิเฉลี่ย เท่ากับ 318, 298, 87, 90, 85 และ 85 องศาเซลเซียส ตรวจวัดครั้งที่ 3 อุณหภูมิเฉลี่ย เท่ากับ 399, 465, 87, 105, 110, และ 138 องศาเซลเซียส ตรวจวัดครั้งที่ 4 อุณหภูมิเฉลี่ย เท่ากับ 518, 603, 111, 117, 134 และ 124 องศาเซลเซียส ตรวจวัดที่ 5 อุณหภูมิเฉลี่ย เท่ากับ 794, 835, 112, 108, 122 และ 118 องศาเซลเซียส ตรวจวัดครั้งที่ 6 อุณหภูมิเฉลี่ย เท่ากับ 847, 874, 114, 115, 134 และ 129 องศาเซลเซียส ตรวจวัดครั้งที่ 7 อุณหภูมิเฉลี่ย เท่ากับ 988, 1,007, 133, 128, 147 และ 145 องศาเซลเซียส และการตรวจวัดครั้งที่ 8 อุณหภูมิเฉลี่ย 1,066, 1,054, 139, 138, 137 และ 147 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โปรไฟล์อุณหภูมิของเตาเผาอิฐแบบถมทรายหลังเตาที่ได้รับการพัฒนาแสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งโปรไฟล์อุณหภูมิของงานวิจัยนี้มีความคล้ายคลึงกับผลการตรวจวัดของงานวิจัยก่อนหน้านี้ [1] พบว่า ความร้อนจะสะสมบริเวณห้องเผาไหม้ที่ 1 และ 2 มากที่สุด ในช่วงของการอุ่นอิฐจะมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 500-600 องศาเซลเซียส จากนั้นเมื่อเริ่มมีการเร่งไฟเพื่อเผาอิฐ อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและจะมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1,000-1,100 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยที่รายงานในต่างประเทศ [6] ในขณะที่อุณหภูมิบริเวณหลังเตาที่ถูกคลุมด้วยทราย ผลการตรวจวัดทั้ง 4 จุด ในตำแหน่งที่ 3-6 จะมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 130-150 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 3 โปรไฟล์อุณหภูมิขณะเผาอิฐแบ่งตามช่วงของการอุ่นอิฐและเร่งไฟเผาอิฐ

ผลการดำเนินการตรวจวัดแก๊สเสีย โดยเฉพาะแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เปรียบเทียบเตาเผาอิฐมอญทั้งสองชนิด แสดงดังตารางที่ 1 พบว่าเตาเผาอิฐมอญแบบดั้งเดิมมีค่าเฉลี่ยของแก๊ส CO และ CO_2 สูงกว่าค่าที่ได้จากเตาเผาอิฐมอญที่ได้รับการพัฒนา แต่อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยของปริมาณแก๊ส CO ของเตาเผาอิฐมอญทั้งสองชนิดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549 (แหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวล) [7] และเมื่อนำค่าปริมาณแก๊สที่ตรวจวัดได้ทั้งสองชนิดมาคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Eff_{com}) ตามสมการ (1) จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพเตาเผาอิฐมอญที่ได้รับการพัฒนามีประสิทธิภาพการเผาไหม้อยู่ในช่วง 91.20-98.10% โดยมีค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้เพิ่มขึ้นประมาณ 3-4% ซึ่งประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูงขึ้นนี้จะส่งผลโดยตรงต่อปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลที่จะถูกใช้ในการเผาอิฐมอญด้วย ทำให้แนวโน้มของการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล (ไม้ฟืน) ในเตาเผาอิฐมอญลดลง

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดแก๊สเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาอิฐมอญแต่ละชนิด

ชนิดเตาเผา	แก๊สเสีย	หน่วย	ผลการตรวจวัด[1]				มาตรฐาน[2]
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	
เตาเผาอิฐมอญแบบ	CO	ppm	499	516	441	729	690
ดั้งเดิม		(%)	(0.0499)	(0.0516)	(0.0441)	(0.0729)	
	CO_2	%	0.3	1.2	0.8	1.1	
ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Eff_{com})		%	83.37	95.70	94.48	93.37	
เตาเผาอิฐมอญแบบ	CO	ppm	88	215	29	38	690
ถมทรายหลังเตา		(%)	(0.0088)	(0.0215)	(0.0029)	(0.0038)	
	CO_2	%	0.1	0.4	0.1	0.2	
ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Eff_{com})		%	91.20	94.63	97.10	98.10	

[1]ผลการตรวจวัดอ้างอิงที่สภาวะอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท (หรือ เท่ากับ 1 บรรยากาศ) และสภาวะแห้ง (dry basis) โดยมีปริมาตรอากาศส่วนเกินขณะเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลภายในเตาเผาอิฐมอญ (% excess air)

[2]ค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549 (แหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวล) ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่มที่ 123 ตอนพิเศษ 125ง เมื่อวันที่ 4 ธันวาคม 2549 [7]

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการและการสำรวจภายในโรงงาน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาประเมินเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นเปรียบเทียบระหว่างเตาเผาอิฐมอญแต่ละชนิด ในภาพรวมพบว่าเตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลแบบถมทรายหลังเตาที่ได้รับการพัฒนาสามารถรองรับจำนวนก้อนอิฐต่อการเผาแต่ละครั้งได้มากขึ้น เพิ่มจาก 42,000 ก้อน เป็น 60,000 ก้อน เนื่องจากเตาเผามีขนาดใหญ่ขึ้นและมีความจุเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 42.85% หลังจากการเผาอิฐเสร็จสิ้นพบว่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (ไม้ฟืน) ลดลงจาก 18 ตัน/ครั้ง เหลือ 14 ตัน/ครั้ง นอกจากนั้นยังสามารถรองรับการใช้ไม้ฟืนสดที่มีค่าความชื้นสูงได้ แต่ระยะเวลาในการเผาอิฐมอญแต่ละครั้งจะเพิ่มขึ้นจากเดิม 48 ชั่วโมง ไปเป็น 72 ชั่วโมง ในส่วนของระยะเวลาเผาอิฐที่เพิ่มขึ้นจะไม่ส่งผลต่อค่าแรงงานในการขนถ่ายและควบคุมการเผาอิฐ เนื่องจากผู้ประกอบการมีการว่าจ้างเป็นแบบเหมาจ่าย แต่จะมีค่าใช้จ่ายในด้านปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการใช้พัดลมอัดอากาศในขั้นตอนการเร่งไฟเพื่อเผาอิฐทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 160 เท่า อย่างไรก็ตาม เนื่องจากปริมาณอิฐมอญที่สามารถเผาได้มากขึ้นและปริมาณการใช้ไม้ฟืนลดลง ทำให้มีดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะลดลง มีค่าเท่ากับ 2.26 เมกะจูล/กิโลกรัม จากเดิม 4.73 เมกะจูล/กิโลกรัม สามารถลดต้นทุนในขั้นตอนการเผาอิฐได้ประมาณ 44.23% และเมื่อคำนวณระยะเวลาการคืนทุน มีค่าเท่ากับ 1.14 ปี

ตารางที่ 2 ข้อมูลปฐมภูมิและผลการประเมินเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นเปรียบเทียบระหว่างเตาเผาอิฐมอญแต่ละชนิด

ข้อ	รายละเอียด	การเปรียบเทียบเตาเผาอิฐมอญ	
		เตาเผาอิฐมอญแบบดั้งเดิม	เตาเผาอิฐมอญแบบถมทรายหลังเตา
1	จำนวนอิฐที่เผาต่อครั้ง (ก้อน)	42,000	60,000
2	ระยะเวลา (ชั่วโมง)		
	ระยะเวลาในการอุ่นอิฐ	24	36
	ระยะเวลาในการเผาอิฐ	24	36
3	อุณหภูมิเฉลี่ยของเตาเผา (องศาเซลเซียส)		
	อุณหภูมิการอุ่นอิฐ	300-600	250-600
	อุณหภูมิการเผาอิฐ	750-1,100	750-1,100
4	ปริมาณไม้ฟืน/ปริมาณชีวมวลที่ใช้ (ตัน)	18	14
	ราคาไม้ฟืนรวม (บาท) –(ปริมาณ*ราคาไม้ฟืน)	16,200	11,200
5	ความชื้นของชีวมวลที่เหมาะสม (%, ความชื้นมาตรฐานเปียก)	15-20	35-48
	ค่าความร้อน (เมกะจูล/กิโลกรัม)	16	14
	ราคาไม้ฟืน (บาท/ตัน)	900	800
6	จำนวนคนงานลำเลียงอิฐเข้า/ออกเตาเผา (คน)	4	4
	ค่าจ้าง (500 บาท/คน)	2,000	2,000
7	จำนวนคนงานควบคุมเตาเผา (คน)	3	3
	ค่าจ้าง (1,200 บาท/คน)	3,600	3,600
8	ค่าใช้จ่ายด้านแรงงานต่อครั้งของการเผาอิฐ (บาท) (ข้อ 6+7)	5,600	5,600
9	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh)	0.8	159.5
	ไฟฟ้าแสงสว่าง (หลอดไฟ 32 วัตต์, 1 หลอด)	0.768 (24 h)	1.152 (36 h)
	พัดลมโบลเวอร์ (มอเตอร์ 2.2 กิโลวัตต์, 2 ตัว)	-	158.4 (36 h)
10	จำนวนหน่วยตามปริมาณการใช้ไฟฟ้า (หน่วย)	1	160
	ค่าไฟฟ้าที่ใช้ (บาท)-คิดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.99 บาท	3.99	638.4
11	ค่าใช้จ่ายรวมต่อครั้งของการเผาอิฐ (บาท) (ข้อ 4+8+10)	21,804	17,439
12	ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานต่อก้อนอิฐ (เมกะจูล/ก้อน)	6.86	3.27
13	ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (เมกะจูล/กิโลกรัม)	4.73	2.26
14	ราคาต้นทุนต่อก้อนอิฐ (บาท/ก้อน) – ไม่รวมต้นทุนอื่น (ข้อ 11/1)	0.52	0.29
15	ระยะเวลาการคืนทุน (ปี) = ต้นทุนค่าก่อสร้าง/(เงินส่วนต่างจากการเผาแต่ละครั้ง*จำนวนการเผาอิฐมอญทั้งปี จำนวน 20 ครั้ง) PB (year) = 100,000/[(21,804-17,439)*20]	1.14	

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาเตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลแบบถมทรายหลังเตาในโครงการนี้ มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีเตาเผาอิฐมอญแบบใหม่เพื่อทดแทนเตาเผาแบบดั้งเดิมที่มีประสิทธิภาพต่ำและก่อให้เกิดปัญหามลพิษอากาศ ซึ่งเป็นกรณีศึกษาของโรงงานอิฐมอญตะวัน ตำบลหนองหล่ม อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง และเพื่อสร้างความมั่นใจให้แก่ผู้ประกอบการในการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยี จึงดำเนินการเก็บข้อมูลด้านประสิทธิภาพของเตาเผาแบบใหม่เปรียบเทียบกับแบบดั้งเดิม พบว่า การเผาอิฐมอญในเตาเผาแบบใหม่แต่ละครั้งจะใช้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นประมาณ 24-48 ชั่วโมง แต่การเพิ่มขึ้นของระยะเวลาการเผาอิฐไม่ได้นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของค่าจ้างแรงงานเนื่องจากการขั้นตอนการเผาอิฐมอญจะมีการว่าจ้างแบบเหมาจ่าย ผลการตรวจวัดพบว่าประสิทธิภาพตาเผาอิฐมอญที่ได้รับการพัฒนามีประสิทธิภาพการเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้น 3-4% ซึ่งประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูงขึ้นนี้จะส่งผลโดยตรงต่อปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลที่จะถูกใช้ในการเผาอิฐมอญด้วย ทำให้แนวโน้มของการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล (ไม้ฟืน) ในเตาเผาอิฐมอญลดลง โดยปริมาณการใช้เชื้อเพลิงลดลง ประมาณ 4 ตัน และสามารถผลิตอิฐมอญได้เพิ่มขึ้นประมาณ 20,000 ก้อน/ครั้ง แต่อย่างไรก็ตามปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเตาเผาอิฐมอญที่ได้รับการพัฒนาขึ้นนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 160 หน่วย เนื่องจากมีการใช้งานพัดลมอัดอากาศในช่วงของการเร่งไฟเพื่อเผาอิฐและทำให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ของเตาเผาอิฐมอญสูงประมาณ 1,100 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเผาอิฐมอญ และดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ เท่ากับ 2.26 เมกะจูล/กิโลกรัม ซึ่งลดลงจากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 4.73 เมกะจูล/กิโลกรัม จากข้อมูลสามารถสรุปได้ว่าการพัฒนาเตาเผาอิฐมอญแบบใหม่ จะนำไปสู่การลดต้นทุนการผลิตอิฐมอญโดยเฉพาะในขั้นตอนการเผาอิฐ จะลดลงจากการใช้เตาเผาอิฐแบบดั้งเดิมประมาณ 44.23% โดยมีระยะเวลาในการคืนทุน เท่ากับ 1.14 ปี

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ อุทยานวิทยาศาสตร์ภาคเหนือตอนล่าง กองการวิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่สนับสนุนการศึกษาวิจัยในโครงการสร้างผู้ประกอบการชุมชนที่มีศักยภาพ (Local Startups) ภายใต้โครงการยกระดับคุณภาพชีวิตและเศรษฐกิจในภูมิภาค ด้วยองค์ความรู้ ภูมิปัญญาและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563

เอกสารอ้างอิง

[1] อุกฤต สมัครสมาน สุกฤษฎิ์พงษ์ ไชยมงคล และคณิต มานะธุระ. (2563). เทคโนโลยีควบคุมมลพิษอากาศที่เกิดจากเตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลแบบถมทรายหลังเตา. **วารสารสิ่งแวดล้อม**. 24(4), 1-8.

[2] Prasertsan, S., Theppaya, T., Prateepchaikul, G., and Kirirat, P. (1997). Development of an energy-efficient brick kiln. **International Journal of Energy Research**. 21(15), 1363-1383.

[3] นิตยา ชาคำรุณ และลักษณีย์ บุญขาว. (2562). การประเมินปริมาณฝุ่นละอองของคนงานทำอิฐมอญแดงในตำบลหนองกินเพล อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี**. 21(1), 68-75.

[4] อนุสรณ์ รัตนะธนโอภาส จิระพันธุ์ เนื่องจากนิล วิทยา ภูมิสามพราน และศันสนีย์ แสนศิริพันธ์. (2556). “การปรับปรุงประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาอิฐมอญ”, ใน **การประชุมวิชาการการพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน 2556 ครั้งที่ 3**, 97-101. วันที่ 9-12 พฤษภาคม 2556 ณ โรงแรมเซ็นทาราโฮเต็ล แอนด์ คอนเวนชั่นเซ็นเตอร์ จังหวัดขอนแก่น. ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[5] สรวิศ มูลอินต๊ะ. (2557). “การใช้ประโยชน์จากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเตาเผาอิฐก่อสร้าง”. ใน **การประชุมวิชาการพะเยาวิจัย ครั้งที่ 3**, 490-499. วันที่ 23-24 มกราคม 2557 ณ อาคารเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา. พะเยา : มหาวิทยาลัยพะเยา

[6] Bloodworth, A.J. Cowley J.F. Highley D.E. and Bowler G.K. (2001). Brick Clay: Issues for Planning, **Commissioned Report CR/01/117N, DTLR Transport Local Government Regions, British Geological Survey, Natural Environment Research Council.** สืบค้นเมื่อ 21 มิถุนายน 2564, จาก https://www.bgs.ac.uk/downloads/start.cfm?id=1331.

[7] กระทรวงอุตสาหกรรม. (2549). ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549. **ราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่มที่ 123 ตอนพิเศษ 125ง**. วันที่ 4 ธันวาคม 2549.