

การสร้างต้นแบบระบบควบคุมลมร้อนสำหรับการไล่ความชื้นในอิฐดิบ

ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการเผาด้วยพลังงานชีวมวล

Construction of a Hot Air Control System for Moisture Repellent in Raw Bricks Before Entering the Combustion Process with Biomass

ศุภฤกษ์ การธรรมณี^{1*} รัศมี แสงศิริมงคลยิ่ง² นัฐพงศ์ ส่งเนียม³ และ กฤษดา เสือเอี่ยม⁴

Suppharerk Kathammanee^{1*}, Ratsamee Sangsirimongkolying², Nattapong Songneam³ and Gritsada Sua-iam⁴

Received: 18 January 2020 , Revised: 26 April 2020, Accepted: 29 April 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างต้นแบบระบบควบคุมลมร้อนสำหรับการไล่ความชื้นในอิฐดิบก่อนนำเข้าสู่กระบวนการเผาด้วยพลังงานชีวมวล โดยทำการออกแบบและสร้างระบบควบคุมลมร้อนสำหรับไล่ความชื้นที่อาศัยการทำงานจากส่วนของชุดกำเนิดลมร้อนประกอบด้วยเตาชีวมวลและตู้ควบคุมลมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยระบบดังกล่าวสามารถนำส่งความร้อนไปยังพัดลมขนาด 1 แรงม้า ความเร็วลม 17 เมตรต่อวินาที เข้าสู่ส่วนต่อมาได้แก่ห้องสะสมความร้อนขนาด $4 \times 9 \times 1.8$ ลูกบาศก์เมตร ซึ่งสามารถถอดประกอบได้ จากนั้นทดสอบการไล่ความชื้นด้วยรูปแบบการจัดเรียงอิฐดิบที่แตกต่างกัน 3 แบบ ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 65 องศาเซลเซียส พบว่า การจัดเรียงอิฐดิบแบบเสาที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง สามารถอบไล่ความชื้นอิฐดิบจำนวน 3,300 ก้อน ให้มีปริมาณความชื้นลดลงไม่น้อยกว่าร้อยละ 4.20 ซึ่งอัตราเฉลี่ยการอบแห้งเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้ต้นแบบระบบควบคุมลมร้อนด้วยพลังงานชีวมวลช่วยลดระยะเวลาการไล่ความชื้นในอิฐดิบจากกระบวนการแบบเดิมที่ต้องอาศัยธรรมชาติภายในโรงเรือนอย่างน้อยร้อยละ 30 โดยมีระยะเวลาดำเนินการประมาณ 80 วัน

¹ สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

¹ Technology Management Program, Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220, Thailand.

² สาขาวิชานวัตกรรมและเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

² Innovation and product technology Program, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220, Thailand.

³ สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

³ Computer Science Program, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220, Thailand.

⁴ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร 10800

⁴ Civil Engineering Program, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phranakhon, Bangkok 10800, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): paboyjung_21@hotmail.com

คำสำคัญ: ระบบควบคุมลมร้อน, อิฐดิบ, กระบวนการเผา, ความชื้นในอิฐดิบ

ABSTRACT

This research aims to construct a hot air control system prototype to dry raw bricks before entering the biomass combustion process. The researchers designed and created the system for repelling moisture by using a hot air generator which included a biomass furnace, a hot air suction cabinet which transferring heat to 1 hp 17 w/s fan, and finally a $4 \times 9 \times 1.8 \text{ m.}^3$ heat accumulation room. The system was then tested for expelling moisture with three different types of raw brick arrangements at 40 °C, 50 °C and 65 °C. It was found that the arrangement of raw brick with pillar at 65 °C for 8 hours can reduce moisture of 3,300 bricks by 4.20 percent and the average speed of drying varied according to the rising temperatures. As a result, the hot air control system prototype with biomass energy can reduce the time for expelling moisture from raw brick more efficiently than the original process which used at least 30 percent of natural energy in the building. The return of investment was 80 days.

Key words: hot air moisture system, raw brick, combustion process, moisture content in raw brick

บทนำ

กระทรวงอุตสาหกรรมได้จัดทำแผนยุทธศาสตร์ พ.ศ. 2559 - 2564 และแนวทางในการดำเนินงานที่มุ่งเน้นส่งเสริมพัฒนาศักยภาพของผู้ประกอบการวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม ให้มีความเข้มแข็งและสามารถแข่งขันได้ในตลาดโลก การพัฒนาอุตสาหกรรมนั้นจำเป็นต้องผลักดันให้ภาคการผลิตมีความมั่นคงและยั่งยืน ซึ่งในปัจจุบันอุตสาหกรรมการก่อสร้างถือเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีการเติบโตและมีความต้องการใช้วัสดุในงานก่อสร้างในปริมาณที่สูงมาก โดยเฉพาะวัสดุงานก่อสร้างผนังการเลือกใช้อิฐแดงยังมีความจำเป็นสำหรับงานอุตสาหกรรมการก่อสร้าง เพราะอิฐแดงหาซื้อได้ง่าย มีราคาถูกกว่าอิฐชนิดอื่น และถือเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นที่มีลักษณะรูปแบบของอิฐแดงที่แตกต่างกันไปตามภูมิภาค โดยคุณสมบัติเด่นของอิฐแดงคือ มีความแข็งแรงทนทาน มีเนื้อที่แน่น การดูดซึมน้ำต่ำ เมื่อเทียบกับอิฐบล็อกและอิฐมวลเบา

นอกจากนี้การผลิตอิฐแดงยังคงมีแหล่งผลิตที่กระจายอยู่ภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย ประกอบกับการขยายตัวทางธุรกิจอสังหาริมทรัพย์อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ความต้องการอิฐแดงที่ใช้ในงานก่อสร้างยังคงมีความต้องการอย่างต่อเนื่องในปริมาณมาก ปัจจุบันผู้ประกอบการผลิตอิฐแดงมีอยู่ในประเทศไทยมากกว่า 1,100 โรงงาน ทั้งนี้ในส่วนภาคใต้จะพบมากในเขตพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยพบว่ามีจำนวนโรงงานผู้ผลิตอิฐแดงมากถึง 50 โรงงาน ประกอบไปด้วยโรงงานที่มีขนาดกลางและขนาดใหญ่ (Neramit et al., 2015) จากการลงพื้นที่สัมภาษณ์ผู้ประกอบการโรงงานผลิตอิฐแดงในจังหวัดนครศรีธรรมราชเบื้องต้น พบว่าการผลิตอิฐแดงมีขั้นตอน 5 ขั้นตอนหลักๆ คือ ขั้นตอนที่เรียกว่าอิฐดิบ ประกอบด้วย 1) การเตรียมดินก่อนการขึ้นรูป 2) การการขึ้นรูปอิฐดิบขนาด 8 รู 3) การไล่ความชื้นด้วยไอลมร้อน 4) จัดเรียงอิฐดิบภายในเตาเผาเพื่อทำการอบและเผา ส่วนขั้นตอนสุดท้ายจะ

เรียกว่า อีฐแดง คือ 5) การเผาอีฐดิบในเตาเผาจนสุก ตัวกลายเป็นอีฐแดง ขั้นตอนการไล่ความชื้นในอีฐดิบก่อนนำไปสู่การเผานับว่าเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างยิ่งขั้นตอนหนึ่งในการผลิตเนื่องจากขั้นตอนการไล่ความชื้นในอีฐดิบจำเป็นจะต้องอาศัยไอร้อนจากธรรมชาติเป็นหลัก ต้องใช้เวลาในการไล่ความชื้นนานไม่สามารถควบคุมได้ตามความต้องการ หากอีฐดิบมีความชื้นที่เหมาะสมก่อนการเผาจะช่วยป้องกันอัตราของความเสียหายหลังจากการเผาได้ แต่หากอีฐดิบยังคงมีความชื้นสูงจะส่งผลต่อการเผา ซึ่งจะเสียเวลาในการอบและเผาอีฐดิบภายในเตาเผาและต้องใช้ปริมาณเชื้อเพลิงในการเผามากกว่าปกติ ตลอดจนทำให้จำนวนรอบของการเผาน้อยลง การเผาอีฐดิบให้สุกตัวนั้นเป็นกระบวนการเปลี่ยนสภาพวัตถุดิบไปเป็นเนื้อผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงโดยกระบวนการความร้อนซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ ดังนั้นหากอีฐดิบมีความชื้นที่ไม่เหมาะสมหรือสูงมากเกินไป ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของอีฐแดงที่ได้หลังจากการเผาไม่เป็นไปตามที่ต้องการ และก่อให้เกิดความเสียหายต่อการประกอบธุรกิจ

เทคโนโลยีการไล่ความชื้นในผลิตภัณฑ์ได้มีการพัฒนาหลากหลายวิธีเพิ่มมากขึ้น โดยมีการเลือกใช้แหล่งพลังงานที่เหมาะสมต่อพื้นที่และลักษณะผลิตภัณฑ์ของผู้ประกอบการในการเลือกใช้และต้นทุนค่าใช้จ่ายของการผลิต (Sackhow *et al.*, 2012) การไล่ความชื้นในผลิตภัณฑ์นั้นสามารถใช้แหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนได้จากหลากหลายชนิด และสามารถใช้เทคนิคของการไล่ความชื้นได้หลายวิธี เช่น การอบไล่ความชื้นด้วยลมร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Bala and Janjai, 2009) การอบแห้งแบบฟลูอิดเซชัน (Soponronnarit *et al.*, 2006) การเร่งกระบวนการอบไล่ความชื้นด้วยสนามไฟฟ้า (Tirawanichakul *et al.*, 2007) การอบไล่

ความชื้นด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Tulasidas *et al.*, 1995) และการอบแห้งด้วยแหล่งพลังงานความร้อนจากชีวมวล (Varith *et al.*, 2009) ปัจจุบันพลังงานชีวมวลนับได้ว่าเป็นพลังงานทดแทนจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมที่น่าสนใจเป็นอย่างมากซึ่งในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชเป็นพื้นที่ที่มีแหล่งชีวมวลหลายชนิดที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานความร้อนได้ เช่น ทะลายปาล์ม น้ำมัน กะลา ปาล์ม กะลามะพร้าว เศษไม้ยางพาราจี้เลื้อยจากไม้ยางพาราและเศษไม้ต่างๆ เป็นต้น (Kongphupha *et al.*, 2016) ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนในกระบวนการไล่ความชื้นในอีฐดิบได้อย่างพอเพียง อีกทั้งการใช้ลมร้อนเป็นตัวกลางในการอบไล่ความชื้นยังส่งผลให้ปริมาณความชื้นในเนื้อวัสดุมีการเคลื่อนที่ไปยังผิววัสดุและระเหยออกไปจากวัสดุได้อย่างรวดเร็ว (Katinonkun, 2018)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการสร้างต้นแบบระบบควบคุมลมร้อนด้วยพลังงานชีวมวลที่เหลือทิ้งจากจี้เลื้อยไม้ยางพาราในพื้นที่สำหรับไล่ความชื้นในกระบวนการผลิตอีฐดิบก่อนเข้าสู่เตาเผา เพื่อช่วยลดเวลาในกระบวนการผลิตอีฐแดง ทั้งยังสามารถเพิ่มจำนวนรอบในกระบวนการผลิตอีฐแดงโดยไม่ต้องอาศัยสภาพอากาศในกระบวนการไล่ความชื้นในอีฐดิบ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการในการผลิตอีฐแดง อีกทั้งเป็นการส่งเสริมอนุรักษ์ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เป็นธุรกิจชุมชนการผลิตอีฐแดงในท้องถิ่นให้เป็นธุรกิจที่เข้มแข็งและยั่งยืน

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยการสร้างต้นแบบระบบควบคุมลมร้อนสำหรับการไล่ความชื้นในอีฐดิบแบบมีส่วนร่วมกับผู้ประกอบการในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและใช้หลักการควบคุมทิศทางลมด้วยการพาความร้อนให้ไหลผ่านวัตถุเพื่อทำการไล่ความชื้น

(Wongthom and Kiatsiriroat, 2004) การออกแบบต้นแบบระบบควบคุมลมร้อนจากพลังงานชีวมวลและหลักการการทำงานของระบบควบคุมลมร้อนสำหรับไล่ความชื้นในอิฐดิบนั้น ได้ใช้หลักการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการพาความร้อนโดยการบังคับ (Sukkasem, 2007) ซึ่งผู้วิจัยเลือกการใช้พัดลมเป็นตัวบังคับและควบคุมทิศทางของลมร้อน และมีการพาความร้อนหรือลมร้อนเข้าสู่ห้องสะสมความร้อน ด้วยโบลเวอร์และพัดลมเป่าลมร้อน การติดตั้งพัดลมเพื่อบังคับทิศทางลมทำให้เกิดการกระจายความร้อนภายในตู้อบได้ทั่วถึง (Kurusathien, 2011) ส่วนรูปแบบของการไล่ความชื้นสามารถทำได้หลายวิธีในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการบังคับให้ลมร้อนไหลเวียนผ่านผิวของวัสดุอย่างต่อเนื่อง และใช้แหล่งกำเนิดความร้อนของระบบควบคุมลมร้อนจากพลังงานชีวมวลซึ่งได้เชื้อเพลิงมาจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปไม้ยางพาราจากโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ใกล้เคียงกับโรงงานผลิตอิฐแดงในจังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งมีปริมาณเหลือทิ้ง 150 กิโลกรัมต่อวัน โดยศึกษาตัวแปรดังนี้

ตัวแปรต้น

1. อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้สำหรับไล่ความชื้นในอิฐดิบ 40 50 และ 65 องศาเซลเซียส
2. การจัดเรียงอิฐดิบ 3 แบบ คือแบบเสาแบบสลับพื้นปลา และแบบสลับแถวซ้อนทับกันบนแผ่นพาเลต

ตัวแปรตาม

1. ปริมาณความชื้นในอิฐดิบจากค่าเฉลี่ยจำนวน 30 ตัวอย่าง ปริมาณความชื้นในอิฐดิบหลังผ่านการอบไล่ความชื้นไม่น้อยกว่าร้อยละ 4.20 โดยใช้สูตรการคำนวณความชื้นมาตรฐานแห้ง ดังสมการที่ 1

$$M_d = \frac{(w - d) \times 100}{d} \quad (1)$$

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง

w คือ มวลของวัตถุดิบ (kg)

d คือ มวลของวัตถุดิบแห้ง (kg)

ความชื้นแบบนี้นิยมใช้กันในงานวิจัยทางวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ และค่าที่ได้จะอยู่ในรูปของร้อยละ (Rattanabluet, 2018)

2. ระยะเวลาที่ใช้ในการไล่ความชื้น

3. สมบัติทางกายภาพของอิฐดิบที่ผ่านกระบวนการไล่ความชื้น (สีของอิฐดิบ)

การสร้างต้นแบบระบบควบคุมลมร้อน

การออกแบบและสร้างต้นแบบระบบควบคุมลมร้อนสำหรับการไล่ความชื้นในอิฐดิบ ดังแสดงในภาพที่ 1 สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนที่สำคัญ คือ

A ชุดกำเนิดลมร้อน ประกอบด้วย

A1 คือ เตาพลังงานชีวมวลจำนวน 5 เตา ใช้ขี้เลื่อยประมาณ 20 กิโลกรัมต่อเตา

A2 คือ ชุดควบคุมลมสำหรับควบคุมลมร้อนและควบคุมทิศทางของลมร้อนส่งผ่านไปยังโบลเวอร์และท่อนำส่งลมร้อน ขึ้นรูปด้วยเหล็กแผ่นขนาดความหนา 5 มิลลิเมตร พร้อมด้วยเหล็กกล่องขนาด 1 นิ้ว $\times$ 2 นิ้ว สำหรับทำขารับน้ำหนักของชุดควบคุมลมร้อน

A3 คือ โบลเวอร์สำหรับดูดลมร้อนส่งผ่านไปยังท่อนำส่งลมร้อนไปยังพัดลมเป่าลมร้อน ซึ่งโบลเวอร์มีขนาดของมอเตอร์ 2 แรงม้า (1491.4 วัตต์) มีใบพัดเหล็กจำนวน 8 ใบพัด ให้กำลังลมอยู่ที่ 20 เมตรต่อวินาที

A4 คือ พัดลมเป่าลมร้อนเพื่อทำหน้าที่เป่าลมร้อนเข้าไปยังห้องสะสมความร้อน ให้ลมร้อนสัมผัสกับอิฐดิบที่ถูกจัดเรียงไว้ภายในห้องสะสม

ความร้อน ซึ่งพัฒนามีขนาดของมอเตอร์ 1 แรงม้า (745.7 วัตต์) มีจำนวนใบพัด 20 ใบพัด ให้กำลังลมอยู่ที่ 17 เมตรต่อวินาที

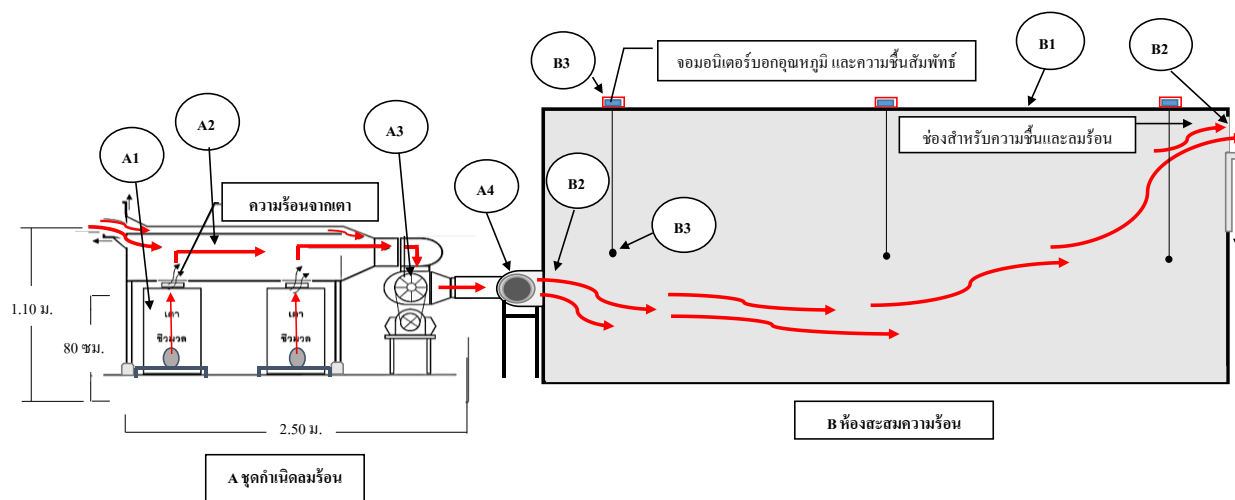
B ห้องสะสมความร้อน ขนาดความกว้าง 4 เมตร ยาว 9 เมตร สูง 1.8 เมตร ปริมาตรโดยรวมของห้องสะสมความร้อน 64.8 ลูกบาศก์เมตร ขึ้นรูปด้วยโครงเหล็กกล่องขนาด 1 นิ้ว $\times$ 2 นิ้ว กรูด้วยแผ่นเมทัลชีทที่มีขนาดความหนา 0.45 มิลลิเมตร ประกอบด้วย

B1 คือ ผนังสำหรับกั้นความร้อนรวมทั้งหมด 5 ด้าน ได้แก่ ผนังกั้นห้องด้านหน้า-หลัง ผนังด้านซ้าย-ขวา (เป็นแบบเลื่อนได้) และผนังด้านบน (เป็นแบบยกประกอบ)

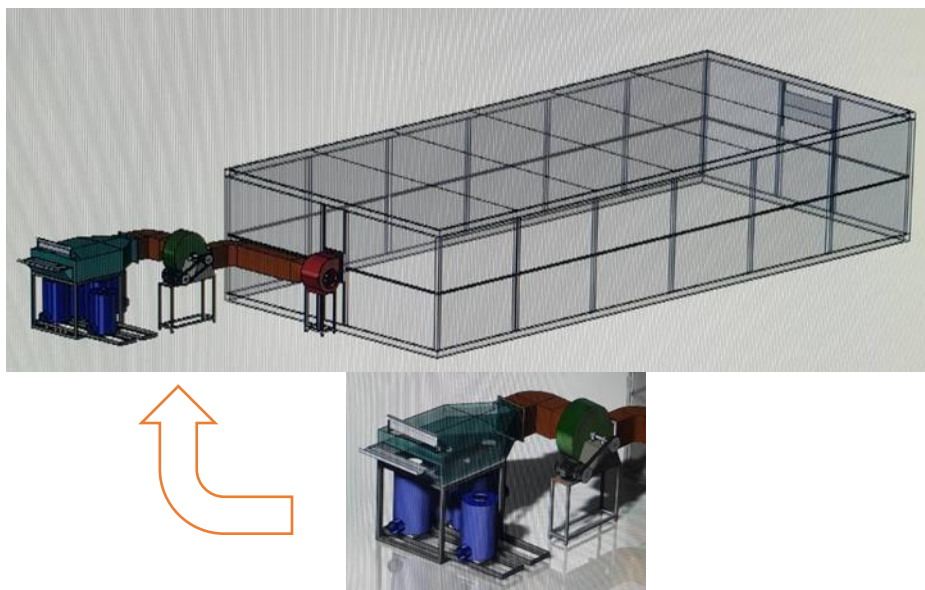
B2 ช่องหน้าต่างหรือตำแหน่งสำหรับลมร้อนเข้าและช่องสำหรับความชื้นและลมร้อน

บางส่วนออกจากห้องสะสมความร้อน (สามารถปรับขยายขนาดได้)

B3 เครื่องวัดอุณหภูมิ และจอมอนิเตอร์ สำหรับบอกอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องสะสมความร้อน จะทำการติดตั้ง 3 จุด คือ หน้าห้อง กลางห้อง และหลังห้อง ซึ่งจะมีหัวเซนเซอร์สำหรับวัดปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องสะสม และแสดงผลมายังหน้าจอมอนิเตอร์เป็นแบบดิจิตอลอยู่ภายนอกห้อง ตัวเครื่องเป็นแบบ 1/16 DIN Temperature PID Controller with 4-20mA Output รุ่น 48VFL13 แสดงผลแบบเรียลไทม์ ลักษณะของแบบชุดกำเนิดลมร้อนและห้องสะสมความร้อน แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 ต้นแบบระบบควบคุมลมร้อนประกอบด้วย A ชุดกำเนิดลมร้อน B ห้องสะสมความร้อน



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะแบบชุดกำเนิดความร้อนและห้องสะสมความร้อน

การสร้างและการประกอบติดตั้งต้นแบบระบบควบคุมความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การสร้างและการประกอบติดตั้งต้นแบบระบบควบคุมความร้อนที่โรงงานผลิตอิฐแดง

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผลการสร้างระบบควบคุมความร้อนสำหรับไล่ความชื้นในอิฐดิบมีการกำหนดขนาดของพื้นที่ความกว้าง 4 เมตร ยาว 9 เมตร และสูง 1.8 เมตร ทั้งหมด 36 ตารางเมตร เป็นขนาดที่ได้จากขนาดพื้นที่จริงของโรงเรือน 450 ตารางเมตร คิดเป็นอัตราส่วน 1 ต่อ 12.5 ผนังห้องมี 5 ด้านทำด้วยโครงเหล็กกล่องติดแผ่นเมลท์ซีทความหนา 0.45 มิลลิเมตร สามารถกักเก็บความร้อนและทนความร้อนในระดับที่ทำการทดลองได้ต่อเนื่องซึ่งเรียกว่า ห้องสะสมความร้อน และส่วนชุดกำเนิดความร้อนจะแยกออกมาจากห้อง

สะสมความร้อน ซึ่งสอดคล้องกับ Rattanabanlue *et al.* (2018) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งเปลือกแก้วด้วยระบบปั๊มความร้อนจากสนามแม่เหล็กที่ได้ทำการออกแบบตู้อบแห้งซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ แหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนโดยความร้อนจากเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับชุดปั๊มความร้อน และตู้อบสำหรับกักเก็บอุณหภูมิและอบผลิตภัณฑ์ จากการทดลองการทำงานของระบบควบคุมความร้อนเพื่อทดสอบการกักเก็บอุณหภูมิภายในห้องสะสมความร้อนและกำลังลมโดยใช้โบลเวอร์ขนาด 2 แรงม้า ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ทำหน้าที่ดูดลมร้อน

จากเตาชีวมวลให้ลมร้อนไหลผ่านไปยังพัดลมขนาด 1 แรงม้า (745.7 วัตต์) ความเร็วลม 17 เมตรต่อวินาที เป่าลมร้อนเข้าสู่ห้องสะสมความร้อน ได้ระยะของ กำลังลมไกลกว่า 10 เมตรโดยไม่มีการจัดเรียงอิฐดิบ ผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่า การใช้พลังงานความร้อนจากเตาชีวมวลจำนวน 2 เตา วัสดุที่ใช้ทำผนังของระบบควบคุมลมร้อนสามารถกักเก็บความร้อนได้ที่อุณหภูมิสูงสุด 46 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และการใช้พลังงานความร้อนจากเตาชีวมวลจำนวน 4 เตา พบว่าระบบควบคุมลมร้อนสามารถกักเก็บความร้อนได้ที่อุณหภูมิสูงสุด 68 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับ Taikhao and Theekhasub (2016) ที่กล่าวถึงการทำงานของ

เครื่องอบแห้งชนิดพาความร้อนแบบบังคับที่มีการควบคุมทิศทางและกำลังลมโดยใช้พัดลมที่มีความเร็วลม 0.56-0.94 เมตรต่อวินาที ทำให้ได้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 45-60 องศาเซลเซียส

จากการศึกษารูปแบบการจัดเรียงอิฐดิบเพื่อไล่ความชื้นด้วยระบบควบคุมลมร้อนจากพลังงานชีวมวลในพื้นที่ห้องสะสมความร้อนขนาด 36 ตารางเมตร ซึ่งสามารถจัดเรียงอิฐดิบได้ 3,300 ก้อน โดยจัดเรียงอิฐดิบรูปแบบที่แตกต่างกันจำนวน 3 แบบ ได้แก่ แบบที่ 1 การจัดเรียงแบบเสา แบบที่ 2 การจัดเรียงแบบสลับพื้นปลา และแบบที่ 3 การจัดเรียงแบบสลับแถวซ้อนทับกันบนแผ่นพาเลต ดังแสดงในภาพที่ 4



แบบที่ 1



แบบที่ 2



แบบที่ 3

ภาพที่ 4 รูปแบบการจัดเรียงอิฐดิบที่ต่างกัน 3 แบบ

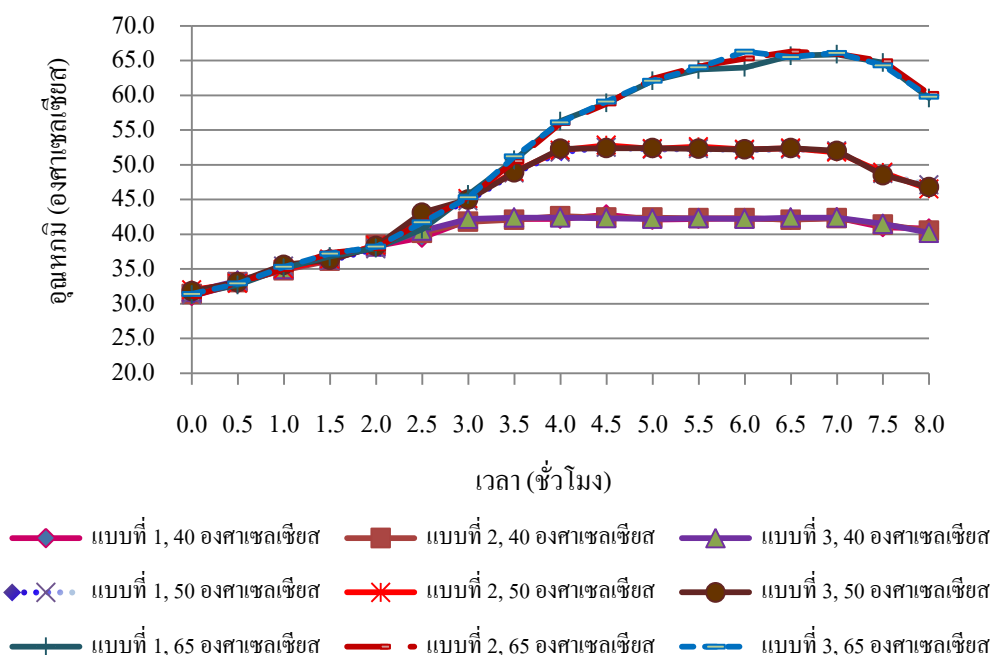
ผลของรูปแบบการจัดเรียงอิฐดิบที่มีต่ออัตราการเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาในการคงอุณหภูมิ

ผลการทดสอบต้นแบบระบบควบคุมลมร้อนสำหรับไล่ความชื้นในอิฐดิบจำนวน 3,300 ก้อน ที่อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องสะสมความร้อน 40, 50

และ 65 องศาเซลเซียส ด้วยรูปแบบการจัดเรียงอิฐ 3 แบบ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง โดยการวัดอุณหภูมิภายในห้องสะสมความร้อน 3 จุด คือหน้าห้อง กลางห้อง และหลังห้องทุก 30 นาที แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ดังแสดงในภาพที่ 5 เพื่อเปรียบเทียบอัตราการเพิ่ม

อุณหภูมิในการไล่ความชื้นในอิฐดิบที่ 40, 50 และ 65 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการคงอุณหภูมิ

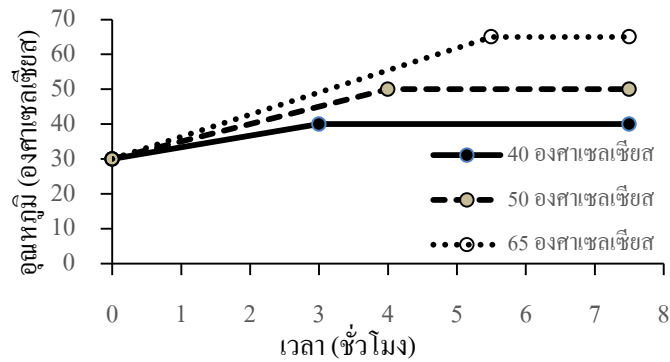
ดังแสดงภาพที่ 6



ภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องสะสมความร้อนกับเวลาในการไล่ความชื้นในอิฐดิบเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ที่มีรูปแบบการจัดเรียงอิฐดิบที่แตกต่างกัน

จากภาพที่ 5 การไล่ความชื้นในอิฐดิบด้วยรูปแบบการจัดเรียงอิฐ 3 แบบ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 40, 50 และ 65 องศาเซลเซียส พบว่าการจัดเรียงอิฐดิบทั้ง 3 รูปแบบไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องสะสมความร้อน แต่มีผลต่อปริมาณความชื้นในอิฐดิบหลังผ่านการไล่ความชื้นทำให้มีปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอิฐดิบลดลงแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 7

เมื่อเปรียบเทียบการไล่ความชื้นในอิฐดิบด้วยการจัดเรียงอิฐดิบที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 65 องศาเซลเซียส พบว่า กระบวนการไล่ความชื้นด้วยระบบควบคุมลมร้อนจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในห้องสะสมความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดเท่ากับ 3.33, 5.00 และ 6.36 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง และใช้ระยะเวลาในการคงอุณหภูมิที่กำหนดเท่ากับ 4.5, 3.5 และ 2.0 ชั่วโมง ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 6

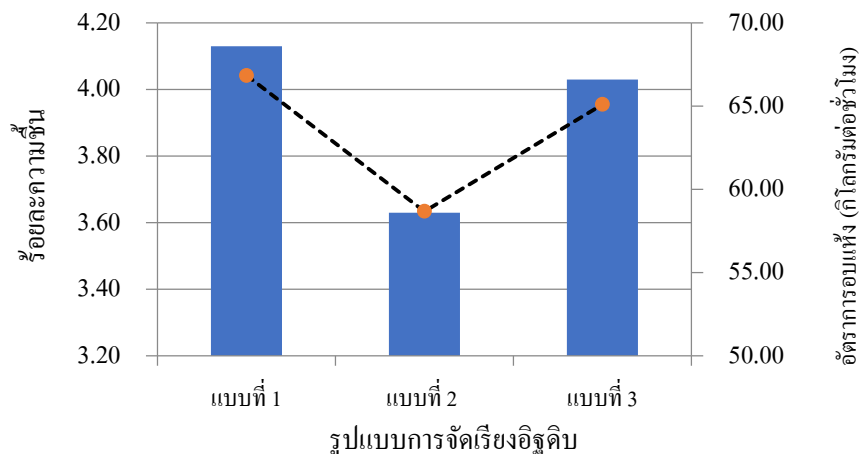


ภาพที่ 6 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการไล่ความชื้นแต่ละช่วงอุณหภูมิที่กำหนด

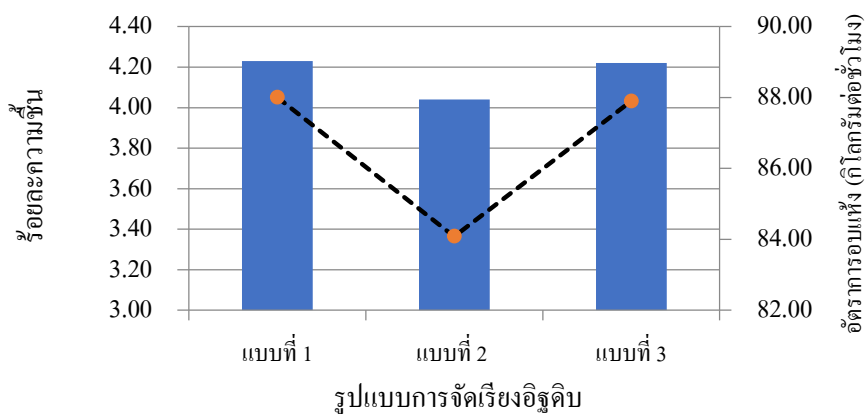
ผลของรูปแบบการจัดเรียงอิฐดิบและอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณความชื้นที่ลดลงและอัตราการอบแห้งในอิฐดิบ

และ 65 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาปริมาณความชื้นที่ลดลงและอัตราการอบแห้งในอิฐดิบ ดังแสดงในภาพที่ 7

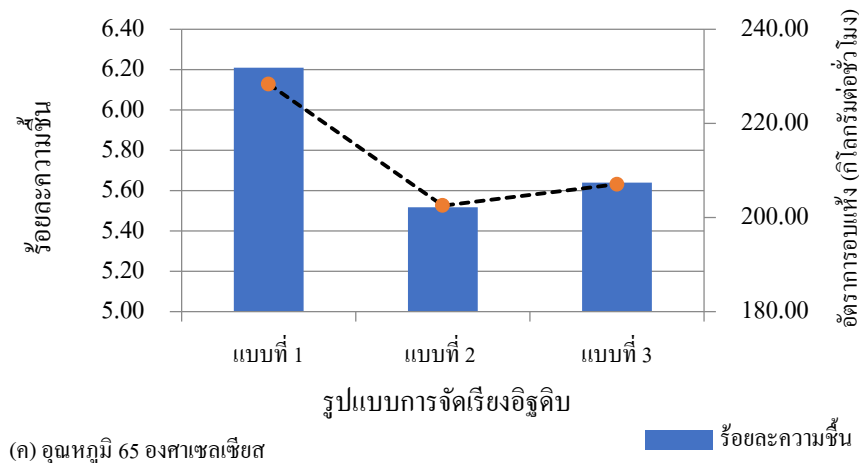
เมื่อนำอิฐดิบที่มีการจัดเรียงแตกต่างกัน 3 รูปแบบ ทำการไล่ความชื้นที่อุณหภูมิเฉลี่ย 40 50



(ก) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



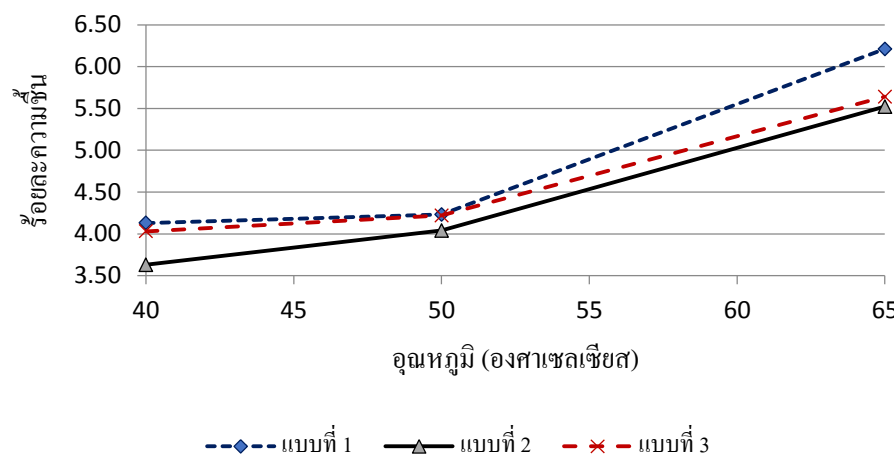
(ข) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่ลดลงและอัตราการอบแห้งกับรูปแบบการจัดเรียงอิฐดิบที่อุณหภูมิ (ก) 40 องศาเซลเซียส (ข) 50 องศาเซลเซียส และ (ค) 65 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 7 พบว่า รูปแบบที่เหมาะสมที่สุดต่อการไล่ความชื้น คือ รูปแบบที่ 1 คือแบบเสา ซึ่งสามารถไล่ความชื้นออกจากอิฐดิบได้ดีและมีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าวิธีการจัดเรียงในรูปแบบที่ 2 และ 3 เนื่องจากเป็นรูปแบบที่ถูกจัดเรียงไว้ในห้องสะสมความร้อนที่มีการไหลผ่านของลมร้อนไปยังอิฐดิบได้ทั่วถึงทุกก้อนมากกว่า การอบไล่ความชื้นอิฐดิบที่อุณหภูมิเฉลี่ย 40 50 และ 65 องศาเซลเซียส อิฐแบบที่ 1 มีความชื้นลดลงร้อยละ 4.13 4.23 และ 6.21 ตามลำดับ และอัตราการอบแห้งเฉลี่ย 66.84 88.00 และ 228.37 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ สอดคล้องกับ Jhider and Bagané (2020) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้งที่มีต่อกระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ดินเหนียวและประสิทธิภาพการแพร่ซึ่งพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการอบแห้งและสัมประสิทธิ์การแพร่เพิ่มขึ้น อีกทั้งปริมาณอิฐดิบที่ได้ในแต่ละรอบพบว่าการจัดเรียงด้วยรูปแบบที่ 1 อิฐดิบจะมีปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสามารถนำเข้าสู่เตาเผาได้ถึง 3,300 ก้อน ส่วนการจัดเรียงอิฐดิบด้วยรูปแบบที่ 2 และ 3 อิฐดิบยังคงมีความชื้นที่สูงอยู่บางส่วนและไม่สามารถนำเข้าสู่เตาเผาได้จำนวนไม่

น้อยกว่า 1,000 ก้อน ดังนั้นปริมาณความชื้นที่เหมาะสมก่อนนำอิฐดิบเข้าเตาเผานั้นต้องทำการไล่ความชื้นที่อุณหภูมิมากกว่า 50 องศาเซลเซียส แต่ไม่เกิน 65 องศาเซลเซียส เนื่องจากเนื้อดินของอิฐดิบจะแข็งเกินไปจนขาดความเหนียวเพราะมีปริมาณน้ำเหลืออยู่ในเนื้อดินน้อยเกินไป จึงส่งผลต่อการนำอิฐดิบที่ผ่านการไล่ความชื้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 65 องศาเซลเซียส ไปทำการจัดเรียงในเตาเผาเพื่อทำการเผา เพราะเมื่อจัดเรียงอิฐดิบดังกล่าวจะทำให้อิฐดิบเกิดการแตกหักได้ง่ายกว่าและเกิดความเสียหายหลังจากการเผาได้ง่าย ดังนั้นอุณหภูมิเฉลี่ยที่เหมาะสมสำหรับการไล่ความชื้นในอิฐดิบคือ 65 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับ Pujari *et al.* (2016) ศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งของอิฐที่มีขนาดต่างกันพบว่าอิฐขนาดมาตรฐานของอินเดียสามารถใช้อุณหภูมิต่ำในช่วง 40-60 องศาเซลเซียส และการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสสามารถทำให้อิฐใช้เวลาสำหรับการเผาภายใน 20 ชั่วโมง จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาเปรียบเทียบปริมาณความชื้นในอิฐดิบที่ลดลงกับอุณหภูมิและรูปแบบการจัดเรียงอิฐดิบ ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณความชื้นที่ลดลงเมื่อรูปแบบการจัดเรียงอิฐที่แตกต่างกัน

จากภาพที่ 8 เมื่อทำการเปรียบเทียบผลของการไล่ความชื้นในอิฐดิบจากต้นแบบระบบควบคุมลมร้อนที่อุณหภูมิและรูปแบบการจัดเรียงอิฐที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่ายิ่งอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ระดับปริมาณความชื้นที่ลดลงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Lu *et al.* (2017) ศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศร้อนที่มีต่อสมบัติการอบแห้งของอิฐชีวมวล พบว่าปริมาณความชื้นของอิฐชีวมวลลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลา หลังจากการอบไล่ความชื้นในอิฐดิบพบว่าเมื่อปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอิฐดิบลดลง ลักษณะทางกายภาพที่สังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนคือ สีของอิฐดิบที่เปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับ Lu *et al.* (2017) พบว่าสมบัติทางกายภาพของอิฐชีวมวลมีการ

เปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิอากาศร้อนเพิ่มขึ้น ดังนั้นเพื่อประโยชน์สำหรับผู้ประกอบการในการตัดสินใจว่าอิฐดิบที่ผ่านกระบวนการไล่ความชื้นแล้วมีความเหมาะสมที่จะนำเข้าสู่กระบวนการต่อไป คือการนำอิฐดิบไปสู่กระบวนการเผา โดยการทำใบเทียบสีเพื่อเปรียบเทียบปริมาณความชื้นที่ลดลงในอิฐดิบแห้งเบื้องต้นเพื่อให้ง่ายต่อการตัดสินใจของผู้ประกอบการและผู้ปฏิบัติงานที่มีประสบการณ์น้อย และได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการพิจารณาด้วยสายตาจากวิธีการแบบเดิมซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์ในการทำงานลักษณะของใบเทียบสีของอิฐดิบแสดงได้ดังในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ใบเทียบสีอิฐดิบที่พร้อมนำเข้าสู่เตาเผา

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถการผลิตโอ่งแดงของผู้ประกอบการในรอบ 1 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559-2560 (Kathammanee *et al.*, 2018) พบว่า รอบการผลิตโอ่งแดงหรือการเผาเฉลี่ยในระยะเวลา 12 เดือนด้วยกระบวนการแบบเดิมโดยอาศัยลมร้อนจากธรรมชาติจะอยู่ที่จำนวน 35 รอบ จากการคำนวณเมื่อต้นแบบของระบบควบคุมลมร้อนที่สร้างขึ้นในการไล่ความชื้นในโอ่งดิบจะทำให้รอบของการผลิตหรือการเผาในระยะเวลา 12 เดือนอยู่ที่ 50 รอบ ซึ่งระบบควบคุมลมร้อนสามารถเพิ่มรอบของการผลิตโอ่งดิบได้เพิ่มขึ้น 15 รอบของกำลังการผลิตจากเดิมที่ผลิตได้ 35 รอบตลอดทั้งปี ซึ่งสอดคล้องกับ Borompichaichartkul *et*

al. (2009) ศึกษาการใช้ปั๊มลมร้อนร่วมการอบแห้งลมร้อนในการอบแห้งถั่วแมคคาเดเมียทั้งกะลา พบว่าการอบแห้งด้วยการปั๊มลมร้อนร่วมการอบแห้งลมร้อน สามารถทำให้ปริมาณความชื้นของถั่วลดลงให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ภายใน 3 วัน ซึ่งเร็วกว่าจากเดิมที่ต้องใช้เวลาถึง 17 วัน และ Pujari *et al.* (2016) พบว่าการไล่ความชื้นในโอ่งโดยใช้ห้องควบคุมอุณหภูมิใช้เวลา 1 วัน สามารถลดเวลาจากแบบธรรมชาติที่ใช้เวลา 2-3 สัปดาห์ จากการคำนวณค่าใช้จ่ายในการสร้างต้นแบบระบบควบคุมลมร้อนดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าใช้จ่ายวัสดุรวมค่าแรงในการสร้างต้นแบบระบบควบคุมลมร้อน

ค่าใช้จ่าย (ค่าวัสดุ+ค่าแรง)	ราคา (บาท)
1. ชุดกำเนิดลมร้อนประกอบด้วย	
1.1 เตาพลังงานชีวมวล 10 เตา เตาละ 3,200 บาท	32,000
1.2 ตู้ควบคุมร้อน	25,000
1.3 โบลเวอร์ตู้ควบคุมร้อน	15,000
1.4 พัดลมเป่าลมร้อน	4,000
2. ห้องสะสมความร้อนประกอบด้วย	
2.1 ผนังกันห้องซ้าย - ขวา 4 ชั้น	20,000 บาท
2.2 ผนังกันส่วนด้านบน 5 ชั้น	15,000 บาท
2.3 ผนังกันส่วนด้านหน้า - หลัง 2 ชั้น	15,000 บาท
รวม	126,000 บาท

ระยะคืนทุนของการใช้ระบบควบคุมลมร้อนสำหรับไล่ความชื้น ต้นทุนในการสร้างต้นแบบระบบควบคุมลมร้อนสำหรับไล่ความชื้นในโอ่งดิบ

126,000 บาท ถ้าไรสุทธีที่ได้ต่อ 1 รอบการผลิตโอ่งจำนวน 20,000 ก้อน เท่ากับ 9,760 บาท ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 กำไรสุทธิในการผลิตอิฐแดงจำนวน 20,000 ก้อนต่อรอบการผลิต

รายการ	จำนวนเงิน (บาท)
1. ต้นทุนการผลิตอิฐแดงก้อนละ 3.00 บาท	60,000
2. ราคาขายอิฐแดงก้อนละ 3.50 บาท	70,000
3. ค่าขนส่งเชื้อเพลิงและค่าไฟฟ้า	240
4. กำไรสุทธิต่อรอบการผลิต	$70,000 - 60,000 - 240 = 9,760$

ข้อมูล ณ เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2562

ดังนั้นระยะคืนทุนเท่ากับ $126,000/9,760 = 12.91$ รอบของการเผาอิฐแดง (ประมาณ 13 รอบ) จึงมีระยะเวลาคืนทุนในการใช้ระบบควบคุมลมร้อน = 80 วัน

สรุป

ผลการออกแบบ สร้างและทดสอบการใช้งานต้นแบบระบบควบคุมลมร้อนสำหรับการไล่ความชื้นในอิฐดิบก่อนนำเข้าสู่กระบวนการเผาด้วยพลังงานชีวมวลที่โรงงานผลิตอิฐแดง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การออกแบบและสร้างระบบควบคุมลมร้อนสำหรับไล่ความชื้นในอิฐดิบแบ่งเป็น 2 ส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ ชุดกำเนิดลมร้อนและห้องสะสมความร้อน โดยใช้หลักการควบคุมทิศทางลมด้วยการพาความร้อนให้ไหลผ่านวัตถุเพื่อทำการไล่ความชื้นในอิฐดิบ โดยใช้ชีวมวลจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราซึ่งเป็นของเหลือทิ้งในพื้นที่มาใช้เป็นพลังงานทางเลือกในการให้พลังงานความร้อน

2. การไล่ความชื้นในอิฐดิบจากต้นแบบระบบควบคุมลมร้อนด้วยอุณหภูมิและรูปแบบการจัดเรียงอิฐดิบที่ต่างกัน แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ระดับปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอิฐดิบลดลง โดยรูปแบบการจัดเรียงอิฐดิบที่เหมาะสมต่อการอบไล่ความชื้นคือ

รูปแบบที่ 1 เป็นการจัดเรียงแบบเสา ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมก่อนนำอิฐดิบเข้าเตาเผานั้นต้องทำการไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 50 - 65 องศาเซลเซียส ซึ่งอิฐดิบจะมีปริมาณความชื้นที่ลดลงอยู่ในช่วง 4.22-6.21 (ไม่น้อยกว่าร้อยละ 4.20)

3. ผลของการใช้ต้นแบบระบบควบคุมลมร้อนสำหรับไล่ความชื้นในอิฐดิบก่อนนำไปสู่กระบวนการเผาด้วยพลังงานชีวมวล ช่วยลดระยะเวลาในการไล่ความชื้นในอิฐดิบจากกระบวนการเดิมอย่างน้อยร้อยละ 30 และไม่ต้องพึ่งพาแสงแดดจากธรรมชาติซึ่งเป็นอุปสรรคในพื้นที่ภาคใต้เนื่องจากมีฝนตกชุกตลอดทั้งปี และสามารถเพิ่มรอบการผลิตอิฐได้ อีกทั้งในช่วงฤดูฝนก็สามารถไล่ความชื้นในอิฐดิบได้อย่างต่อเนื่องอย่างน้อย 2-3 เตา ระยะเวลาคืนทุนการใช้งานอยู่ที่ประมาณ 80 วัน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณคุณลุงโชคดีและคุณป้านันทาวดี เหมทานนท์ ที่กรุณาและให้ความอนุเคราะห์สถานที่ภายในโรงงานเพื่อการศึกษาและสนับสนุนพื้นที่ในการสร้างและทดลองระบบควบคุมลมร้อนสำหรับไล่ความชื้นในอิฐดิบก่อนนำไปสู่กระบวนการเผาด้วยพลังงานชีวมวลตลอดระยะเวลาจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Bala, B.K. and Janjai, S. 2009. Solar drying of fruits, vegetables, spices, medicinal plants and fish: Developments and Potentials, pp. 1-24. *In The International Solar Food Processing Conference*. The International Solar Energy Society, Indore, India.
- Borompichaichartkul, C., Luengsode, K., Chinprahast, N. and Devahastin, S. 2009. Improving quality of macadamia nut (*Macadamia integrifolia*) through the use of hybrid drying process. **Journal of Food Engineering** 93: 348-353.
- Jhider, N. and Bagané, M. 2020. Investigation of the effect of temperature on Tunisian clay product during drying process. **Heat Mass Transfer** 56: 2015-2024
- Kathammanee, S., Sangsirimongkolying, R., Sua-iam, G. and SongNiem, N. 2018. Problems in the clay brick production process of entrepreneurs in Nakhon Si Thammarat province, 561. *In National Conference in Science and Technology*. Bansomdejchaopraya Rajabhat University, S.D. Avenue Hotel, Bangkok. (in Thai)
- Katinonkun, W. 2018. **Biomass energy**. Department of Science Service. Available Source: <http://www.siweb.dss.go.th/repack/Fulltext/IR5.Pdf>, January 15, 2018.
- Kongphupha, P., Tapai, U. and Saoadchom, P. 2016. Effect of drying temperatures on charcoal briquettes drying using a combined solar energy and far-infrared radiation dryer, and far-infrared radiation dryer.
- Academic and Research Journal of Rajamangala University of Technology Phra Nakhon** 10(1): 77-93. (in Thai)
- Kurusathien, S. 2011. Study of hot air in the oven with different internal structure. Master's Thesis (Chemical Engineering), Chulalongkorn University. (in Thai)
- Lu, Z., Wang, M., Jia, W. and Zhao, Z. 2017. Effects of hot air temperature on drying properties of biomass brick during heat treatment. **BioResources** 12(2): 3236-3249.
- Neramit, L., Watjawong, K. and Kris, C. 2015. Improvement the properties of fired clay brick. **Civil Engineering Journal** 25(5): 24-34. (in Thai)
- Pujari, A.S., Bhosale, C.H., Wagh, M.M. and Shinde, N.N. 2016. Effect of temperature on drying rate of various types of bricks. **International Research Journal of Engineering and Technology** 3(5): 2793-2795.
- Rattanabanlue, A., Leejongpermpoon, S., Kammon, S., Markjan, C., Khlaydee, K. and Watcharodom, N. 2018. **Research Report no Dryer chestnut peel by technical electric field combine with heat pump**. Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi. (in Thai)
- Rattanablue, E. 2018. **Research Report no Water chestnut dryer with electric field technique combined with heat pump**. Faculty of

- Industrial Education, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi. (in Thai)
- Saekhow, A., Thirawanitkun, S. and Thirawanitkun, Y. 2012. Factors of drying with convection heat energy sources and heat radiation on kinetics and the quality of black pepper. **Burapha Science Journal** 18(1): 166-180. (in Thai)
- Soponronnarit, S., Nathakaranakule, A., Jirajindalert, A. and Taechapairoj, C. 2006. Parboiling brown rice using super heated steam fluidization technique. **Journal of Food Engineering** 75(3): 423-432.
- Sukkasem, A. 2007. Study on the Conduction Heat Transfer of Cylindrical Pin Fins. Master's Thesis (Mechanical Engineering). Srinakharinwirot University. (in Thai)
- Taikhao, A. and Theekhasub, S. 2016. Solar dryer types of natural convection and forced convection type. **EAU Heritage Journal Science and Technology** 7(1): 23-31. (in Thai)
- Tirawanichakul, S., Tasara, J. and Tirawanichakul, Y. 2007. Thermo-physical properties and effect of electrical field on drying process of paddy. **Songklanakarin Journal of Science and Technology** 29(2): 325-333. (in Thai)
- Tulasidas, T.N., Raghavan, G.S.V. and Mujumdar, A.S. 1995. Microwave drying of grapes in a single mode at 2450 MHz-II and energy aspect. **Drying Technology** 13(8-9): 1973-1992.
- Varith, J., Dijkanarukkul, P., Achariyaviriya, A. and Achariyaviriya, S. 2009. Combined microwave-hot air drying of peeled longan. **Journal of Food Engineering** 81(2): 459-466.
- Wongthom, S. and Kiatsirirot, T. 2004. Increasing the productivity of dome kiln by recycling waste heat. **Journal of the Engineering Network** (18): 76-77. (in Thai)