

ระบบอบลมร้อนเห็ดหลินจืออัตโนมัติแบบฉลาดด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

A Smart Automatic Hot Air Control for *Ganoderma lucidum* (Curtis) Drying System with Artificial Neural Network

พรพิมล ฉายแสง และ ประพนธ์ ลี้กุล*
Pornpimon Chaisaeng and Prapan Leekul*

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
Department of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University

*Email: prapan.l@rbru.ac.th,

Received: April 29, 2021; Revised: July 22, 2021; Accepted: August 01, 2021

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอระบบควบคุมการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบฉลาดด้วยโครงข่ายประสาทเทียมในการตัดสินใจเพื่อควบคุมระดับอุณหภูมิในการอบแห้งเห็ดหลินจือแบบอัตโนมัติ ระบบประกอบด้วย ส่วนตรวจวัดอุณหภูมิ ส่วนประมวลผลและส่วนควบคุมมอเตอร์ อุณหภูมิในตู้อบลมร้อนถูกตรวจวัดด้วยเทอร์โมคัปเปิล Type K และถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วยวงจร MAX6675 พร้อมเทียบกับเวลาจริงที่ใช้ในการอบแห้งด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ DS1302 ข้อมูลเวลาและอุณหภูมิได้รับการแสดงผลบนหน้าจอ OLED และข้อมูลยังได้รับการวิเคราะห์จากโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้อินพุต 2 โหนด โหนดซ่อนเร้น 4 โหนด และให้เอาต์พุตที่เป็นตัวแทนของอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลา 3 โหนด ใช้อัตราการเรียนรู้ 0.1 ให้ค่าความผิดพลาด 0.488 และให้ความแม่นยำ 100% ข้อมูลการตัดสินใจถูกส่งไปยังส่วนควบคุมมอเตอร์ด้วยการสื่อสารผ่านบลูทูธ ส่วนควบคุมทำหน้าที่รับข้อมูลและเปลี่ยนเป็นสัญญาณควบคุม จากนั้นส่งต่อไปยังบอร์ดขับเพื่อควบคุมมอเตอร์สแต็ปเปอร์ให้หมุนวาล์วแก๊สในช่วง -40 ถึง +20 องศา เพื่อปรับระดับอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลาน้อยกว่า 3 9 และ 18 ชั่วโมง ตามลำดับ ระบบได้รับการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง แต่แต่ละครั้งใช้ความถี่ในการตรวจวัดและควบคุม คือ ทุกๆ 2 5 และ 10 นาที ตลอดเวลาการอบแห้งที่ 18 ชั่วโมง ความถี่ในการตรวจวัดที่เหมาะสม คือ 5 นาที เนื่องจากประหยัดพลังงานและควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่ต้องการได้อย่างเหมาะสม มีความคลาดเคลื่อนเพียง ± 2.9 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมการอบแห้งเห็ดหลินจือด้วยลมร้อนอัตโนมัติทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: เห็ดหลินจือ, การอบแห้งด้วยลมร้อน, การควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ, โครงข่ายประสาทเทียม

Abstract

This paper presents a smart automatic hot-air control for the *Ganoderma lucidum* drying system by applying artificial neural networks in the decision process to control the temperature automatically. The system consists of temperature measurement and processing part and a motor control part. In temperature measurement, a thermocouples type K was used. The measured data was converted to digital data by the MAX6675 module and compared with the real-time consumed in the drying process that was monitored

by the DS1302 module. The time and temperature data were displayed on the OLED screen and also were analyzed by an artificial neural network consisting of 2 input nodes, 4 hidden nodes, and 3 output nodes representing the temperature at different times with a learning rate of 0.1, error of 0.4, and accuracy of 100%. The decision results from the artificial neural network were transmitted to a motor control part by Bluetooth. The received data was converted to a control signal and then forwarded to the driver board to control the stepper motor to rotate the gas valve in the range from -40 degrees to +20 degrees for temperature adjusting in the range of 50, 60 and 70 degrees Celsius at drying time less than 3, 9 and 18 hours, respectively. The experiments were done 3 times by measuring temperature and adjusting a gas valve every 2, 5 and 10 minutes, respectively for 18 hours drying time. The result showed that the optimum time was 5 minutes since the temperature control was in the optimum range with ± 2.9 degrees Celsius deviation and the energy usage was save. Thus, this proposed system efficiently performs in automatic hot air control for the *Ganoderma lucidum* drying system.

Key words: *Ganoderma lucidum*, hot air drying, temperature automatic control, artificial neural network

1. บทนำ

เห็ดหลินจือมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst มีสรรพคุณการรักษาและป้องกันโรค เช่น ความดันโลหิตสูง [1] สร้างภูมิคุ้มกันต่อต้านเนื้องอก ต้านการอักเสบ และต้านเชื้อไวรัส [2] เห็ดหลินจือถูกนำมาใช้เป็นยารักษาโรคในประเทศจีนและญี่ปุ่นมานานกว่า 2000 ปี [3] ด้วยสรรพคุณของเห็ดหลินจือ จึงทำให้เห็ดหลินจือเป็นเห็ดสำหรับผลิตยา (Medical mushroom) ที่ตลาดต้องการมากที่สุดชนิดหนึ่ง ในแต่ละปีมูลค่าของผลิตภัณฑ์จากเห็ดหลินจือสูงถึง 2.5 พันล้านเหรียญสหรัฐ [4] และในปี 2016 เห็ดหลินจือมีมูลค่าทางการตลาดสูงสุดเมื่อเทียบกับเห็ดสำหรับผลิตยาชนิดอื่น [5] ผลิตภัณฑ์เห็ดหลินจือที่มีขายแบ่งออกเป็นหลายประเภท ประกอบด้วย ดอกเห็ดหลินจือ (Fruiting bodies) ไมซีเลีย (Mycelia) และสปอร์ (Spores) [6] ซึ่งดอกเห็ดหลินจือสดมีอายุการเก็บรักษาสั้น ดังนั้นเพื่อเพิ่มอายุการเก็บรักษาสำหรับการส่งออก เห็ดหลินจือจึงถูกลดความชื้นให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม เพื่อหยุดการเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้เห็ดเน่าเสียด้วยการอบแห้ง การอบแห้งเป็นวิธีที่ไม่ใช้สารเคมีและยังคงรักษาสรรพคุณทางยาของเห็ดหลินจือได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิธีการอบแห้งในปัจจุบันมีหลายวิธี เช่น การอบแห้งด้วยลมร้อน (Hot air convection) การทำ

แห้งแบบพ่นฝอย (Spray drier) การทำแห้งแบบระเหิด (Freeze drier) [7] และการทำแห้งภายใต้สุญญากาศด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave-vacuum drier) เป็นต้น สำหรับในภาคอุตสาหกรรมวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนถูกนำมาใช้งานมากกว่า 85% [8] เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้คุณภาพผลผลิตหลังการอบอยู่ในเกณฑ์ดี ใช้งานง่าย และต้นทุนต่ำ [9] ดังนั้นการอบแห้งด้วยลมร้อนจึงเหมาะสำหรับกลุ่มเกษตรกรหรือวิสาหกิจชุมชนขนาดเล็ก องค์กรประกอบหลักของการอบแห้งด้วยลมร้อน คือ อุณหภูมิขณะอบแห้งและความเร็วลมภายในเครื่องอบ การทำงานของทั้ง 2 ส่วนต้องควบคุมให้สม่ำเสมอตลอดการอบแห้ง [10] การไหลเวียนของอากาศภายในเครื่องอบแห้งช่วยลดระยะเวลาการอบแห้ง โดยความเร็วลมร้อนที่ 1.5 เมตร/วินาที ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการอบลดลงจาก 58 ชั่วโมง เหลือเพียง 31 ชั่วโมง [2] ส่วนอุณหภูมิมีผลต่อระยะเวลาการอบแห้งรวมถึงพลังงานที่ใช้ นักวิจัยได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อระยะเวลาการอบแห้ง พบว่าการลดความชื้นในช่วงแรกลดลงอย่างรวดเร็ว และช่วงที่ 2 ความชื้นลดลงอย่างช้าๆ การอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงใช้ระยะเวลาการอบแห้งน้อยกว่า แต่ส่งผลให้คุณภาพของผลผลิตลดลง [11-12] ดังนั้นการเลือกใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับอบแห้งจึงเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งมีการศึกษาและวิจัยเพื่อหาระดับอุณหภูมิที่

เหมาะสมกับการอบแห้งเห็ดหลินจือด้วยลมร้อน คือ Prasetyo และคณะที่ทำการทดลองอบแห้งเห็ดหลินจือที่อุณหภูมิในช่วง 40 ถึง 60 องศาเซลเซียส ใช้อุณหภูมิคงที่ตลอดการอบแห้ง พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 50 องศาเซลเซียส และรองลงมาคือ 60 องศาเซลเซียส [13] ต่อมาพินิจ เนื่องภิรมย์ และคณะได้ทดสอบการอบแห้งในช่วง 60 ถึง 90 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 70 องศาเซลเซียส รวมถึงนำเสนอวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบปรับอุณหภูมิหลายระดับ ประกอบด้วย การอบ 2 ชั่วโมงแรก ใช้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และ 4 ชั่วโมงถัดไป ใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส [14] การอบแห้งแบบปรับอุณหภูมิหลายชั้นส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลงและใช้พลังงานต่ำ [15] วิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบปรับอุณหภูมิหลายชั้นสำหรับเห็ดหลินจือได้รับการนำเสนอจากมหาวิทยาลัยแม่โจ้ คือ เริ่มอบจากอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นจึงปรับอุณหภูมิเป็น 55 องศาเซลเซียส ต่ออีกเวลา 3 ชั่วโมง และช่วงสุดท้ายอบที่อุณหภูมิ 67 ถึง 70 องศาเซลเซียส อีก 3 ชั่วโมง [16] ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมในแต่ละช่วงเวลาของการอบจึงเป็นสิ่งสำคัญ เครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนที่จำหน่ายโดยทั่วไปมีลักษณะเป็นตู้ปิดมิดชิด มีระบบควบคุมอุณหภูมิและความเร็วลมอัตโนมัติ ใช้พลังงานไฟฟ้า [17] หรือใช้พลังงานจากแก๊ส ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการทำงานดี แต่มีต้นทุนสูง ดังนั้นเกษตรกรหรือกลุ่มวิสาหกิจชุมชนขนาดเล็กผู้ผลิตเห็ดหลินจือจึงใช้การปรับปรุงตู้โลหะเป็นเครื่องอบลมร้อนต้นทุนต่ำ ใช้พลังงานจากแก๊สและใช้พัดลมมอเตอร์ควบคุมการหมุนเวียนของอากาศภายในตู้อบ การควบคุมอุณหภูมิตลอดการอบแห้งใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง และใช้การปรับปริมาณแก๊สในการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิ โดยมีผู้ควบคุมตลอดการอบ แม้เครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนที่ปรับปรุงนี้มีต้นทุนต่ำ แต่การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้มนุษย์ยังมีข้อจำกัดเนื่องจากการอบแห้งใช้เวลานานส่งผลให้การควบคุมมีประสิทธิภาพลดลง เกิดปัญหาในขั้นตอนการลดความชื้นที่ไม่ต่อเนื่อง เช่น อุณหภูมิต่ำเกินไป หรืออุณหภูมิสูงเกินไปส่งผลให้ขึ้นเห็ดหลินจือเสียหาย เทคนิคการควบคุมอุณหภูมิการอบแห้งด้วยลมร้อนพลังงานแก๊สที่ถูกนำเสนอไว้ในงานก่อน

หน้า [18] สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่ต้องการได้ดี แต่ต้องใช้การตรวจสอบอุณหภูมิตลอดเวลาส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของส่วนควบคุม ดังนั้นการเพิ่มส่วนควบคุมที่สามารถเรียนรู้และปรับอุณหภูมิปรับอัตโนมัติจึงเป็นสิ่งที่ได้รับความสนใจ เนื่องจากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้ง มีต้นทุนการพัฒนาต่ำ และใช้พลังงานในการควบคุมต่ำ จึงเหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้กับกลุ่มเกษตรกรหรือกลุ่มวิสาหกิจชุมชนขนาดเล็ก

ดังนั้นในงานนี้จึงนำเสนอการพัฒนาโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับระบบควบคุมการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบอัตโนมัติสำหรับเห็ดหลินจือ โดยใช้การตัดสินใจปรับระดับอุณหภูมิจากโครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างที่เหมาะสม เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิการอบแห้งให้อยู่ที่ 50 องศาเซลเซียส ที่เวลา 0 ถึง 3 ชั่วโมง 60 องศาเซลเซียส ที่เวลา 3 ถึง 9 ชั่วโมง และ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลา 9 ถึง 18 ชั่วโมง โดยใช้อุปกรณ์ต้นทุนในการผลิตต่ำ โครงสร้างมีขนาดเล็ก สามารถติดตั้งเข้ากับตู้อบและถังแก๊สตัวไปได้อย่างสะดวกไม่ซับซ้อน เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับระบบการอบแห้งเดิมของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพาะเห็ดและแปรรูปเห็ดบ้านไร่เก่า อ.ท่าใหม่ จ.จันทบุรี ได้ทันทีโดยไม่ต้องปรับปรุงระบบเดิม ทำให้มีต้นทุนการพัฒนาระบบต่ำ บทความในส่วนแรกเป็นการศึกษาและวิเคราะห์งานวิจัยก่อนหน้า ส่วนที่ 2 หลักการและทฤษฎีของโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้รับการนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและตัดสินใจแบ่งระดับอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลา ส่วนที่ 3 ระบบที่ได้รับการนำเสนอที่แบ่งออกเป็นส่วนตรวจสอบอุณหภูมิภายในตู้อบลมร้อนและส่วนควบคุมการปรับวาล์วแก๊สเพื่อควบคุมอุณหภูมิ ส่วนที่ 4 ระบบที่ได้รับการพัฒนาใช้การตรวจวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลและส่งต่อไปยังส่วนควบคุมด้วยการสื่อสารผ่านบลูทูธ ส่วนควบคุมความร้อนใช้มอเตอร์สเต็ปเปอร์ในการหมุนวาล์วแก๊สเพื่อปรับอุณหภูมิ ส่วนที่ 5 เป็นการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมจากข้อมูลเวลาที่ใช้และอุณหภูมิที่ต้องการของการอบแห้ง เพื่อหาโครงสร้างที่เหมาะสมและระบบการตัดสินใจที่แม่นยำ ส่วนที่ 6 ทดสอบระบบในการควบคุมระดับอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ในแต่ละช่วงเวลา จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 18 ชั่วโมง สุดท้ายเป็นการสรุปผล

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โครงข่ายประสาทเทียม คือ ระบบปัญญาประดิษฐ์ประเภทหนึ่งที่เป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์ ได้รับการจำลองมาจากเซลล์ประสาทของมนุษย์ มีพฤติกรรมการเรียนรู้แบบการเข้าใจภาษา การรับรู้ได้และตอบสนอง โครงข่ายประสาทเทียมได้รับการพัฒนาเพื่อนำมาใช้เป็นเครื่องมือประมวลผลข้อมูล จากความสามารถในการเรียนรู้และการตัดสินใจอย่างแม่นยำจึงได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในหมู่นักวิจัย รวมถึงได้รับการนำมาประยุกต์ใช้ในระบบเซนเซอร์ที่ต้องใช้การวิเคราะห์ข้อมูล [19-20] โครงข่ายประสาทเทียมชนิดเพอร์เซ็ปตรอนแบบหลายชั้น (Multilayer perceptron: MLP) มีโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วยอินพุตจำนวน m โหนด แทนด้วย x_1, x_2, \dots, x_m โหนดซ่อนเร้นซึ่งมีค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) แทนด้วย $w_{x1}, w_{x2}, \dots, w_{xm}$ ค่าไบแอสของระบบแทนด้วย b_k อินพุตแต่ละโหนดถูกนำมาคูณกับค่าถ่วงน้ำหนัก ผลคูณจากทุกโหนดทั้งหมดถูกนำมารวมกันและรวมกับค่าไบแอสเป็นค่า v_k มีค่าดังสมการที่ (1)

$$v_k = \sum_{j=1}^m w_{xj} x_j + b_k \quad (1)$$

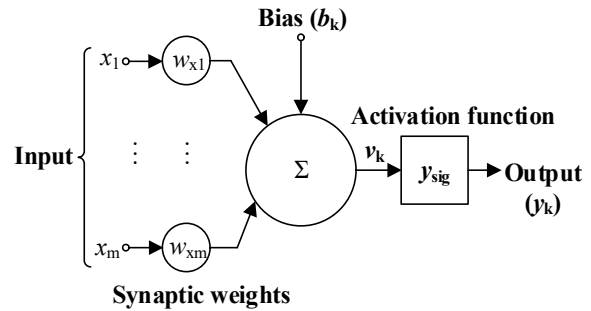
ค่า v_k ถูกนำไปผ่านฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid function: y_{sig}) ซึ่งเป็นฟังก์ชันแอคติเวทแบบไม่เชิงเส้น ดังสมการที่ (2) เพื่อให้ได้ค่าเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม y_k โดยการแทนค่า x ในฟังก์ชันซิกมอยด์ด้วย v_k ดังสมการที่ (3)

$$y_{sig}(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2)$$

$$y_k = y_{sig} \left(\underbrace{\sum_{j=1}^m w_{xj} x_j + b_k}_{v_k} \right) \quad (3)$$

โครงสร้างส่วนประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียมแสดงในรูปที่ 1 [21] สิ่งสำคัญสำหรับการฝึกสอนโครงข่าย

ประสาทเทียม คือ การกำหนดค่าน้ำหนักเริ่มต้น (Initial weight) สำหรับการประมวลผลในชั้นโนดซ่อนเร้น การหาค่าน้ำหนักเริ่มต้นที่เหมาะสมสามารถคำนวณได้จากจำนวนโนดอินพุตและโนดซ่อนเร้น มีค่าเท่ากับ $(-2.4/F_i, 2.4/F_i)$ โดย F_i คือ ผลรวมของจำนวนโนดอินพุต [22]



รูปที่ 1 โครงสร้างในส่วนการประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียม

ค่าเอาต์พุตที่ต้องการ คือ $y_d(p)$ โดย p คือ จำนวนรอบการวนซ้ำ (Epoch) และจำนวนโนดเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม คือ k การฝึกสอนเพื่อหาโครงสร้างที่เหมาะสม ใช้การวิเคราะห์ค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสที่ให้เอาต์พุตจากประมวลผล $y_k(p)$ ใกล้เคียงกับเอาต์พุตที่ต้องการมากที่สุด รวมถึงใช้จำนวนทรัพยากรต่ำสุด โดยค่าความผิดพลาด e_k คำนวณได้ดังสมการที่ (4) และความแม่นยำคำนวณได้ดังสมการที่ (5)

$$e_k(p) = y_d(p) - y_k(p) \quad (4)$$

$$Accuracy = \frac{y_k}{y_d} \times 100 \quad (5)$$

โครงข่ายประสาทเทียมได้รับการประยุกต์อย่างแพร่หลายในระบบการตัดสินใจของเซนเซอร์ [23] เนื่องจากมีความสามารถในทำนายผล การตัดสินใจ ในบทความนี้จึงประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อประมวลผลเวลาที่ใช้และอุณหภูมิภายในเครื่องอบลมร้อน สำหรับการตัดสินใจในการควบคุมปริมาณแก๊สเพื่อรักษาอุณหภูมิการอบแห้งให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมตลอดเวลา

3. โครงสร้างระบบควบคุม

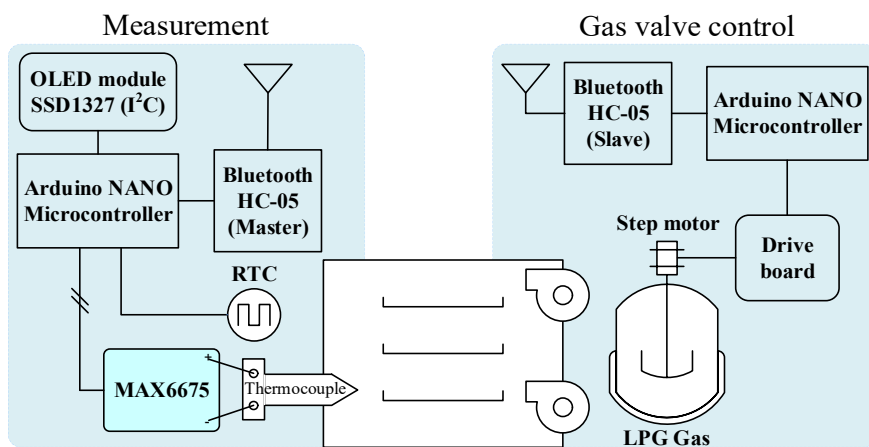
การควบคุมความร้อนภายในตู้อบแห้งเห็ดหลินจือใช้การตรวจสอบอุณหภูมิเทียบกับเวลาที่ใช้ในการอบลมร้อน ข้อมูลของเวลาและอุณหภูมิถูกใช้เป็นอินพุตสำหรับฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม ผลการตัดสินใจที่ได้รับถูกใช้ควบคุมการปรับวาล์วแก๊สเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิให้เหมาะสม ระบบควบคุมแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 คือ การตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการอบแห้งตั้งแต่เริ่มต้นถึงเสร็จสิ้นกระบวนการเทียบกับระดับอุณหภูมิจากการตรวจวัดภายในตู้อบ วิเคราะห์ข้อมูลการตรวจวัดด้วยโครงข่ายประสาทเทียมและส่งผลการตัดสินใจไปยังภาครับ ส่วนที่ 2 คือ การประมวลผลข้อมูลการตัดสินใจที่ได้รับจากภาคส่งและปรับวาล์วแก๊สเพื่อควบคุมระดับอุณหภูมิให้เหมาะสมในช่วงเวลานั้น ระบบควบคุมประกอบด้วย โมดูลสัญญาณนาฬิกาทำหน้าที่จับเวลาตั้งแต่เริ่มต้นถึงสิ้นสุดการอบแห้ง รวมเวลาทั้งหมด คือ 18 ชั่วโมง เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งด้วยลมร้อนสามารถทำงานได้ในช่วง -50 ถึง 150 องศาเซลเซียส (°C) ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโนทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซนเซอร์อุณหภูมิและอุปกรณ์นับเวลาจริง ส่งออกข้อมูลเวลาและอุณหภูมิแสดงบนหน้าจอ พร้อมทั้งประมวลผลข้อมูลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้รับการโปรแกรม (Implementation) อยู่บนบอร์ด จากนั้นส่งผลการตัดสินใจผ่านอากาศด้วยการสื่อสารผ่านโมดูลบลูทูธ (Bluetooth) ไปยังภาครับที่ติดตั้งอยู่ที่วาล์วแก๊ส บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของภาครับทำหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับและส่งสัญญาณไปยังบอร์ดขับเคลื่อน เพื่อควบคุม

การหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ให้ทำหน้าที่ปรับวาล์วแก๊ส เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิให้เหมาะสมกับช่วงเวลาในขณะนั้นของการอบแห้ง โครงสร้างระบบแสดงดังในรูปที่ 2

4. การพัฒนาระบบควบคุมการอบลมร้อน

การควบคุมอุณหภูมิอบแห้งเห็ดหลินจือด้วยลมร้อนอัตโนมัติใช้การจับเวลาควบคู่กับการตรวจวัดอุณหภูมิภายในตู้อบ การจับเวลาตั้งแต่ระบบเริ่มการทำงาน ข้อมูลเวลาและอุณหภูมิถูกนำเข้าสู่กระบวนการตัดสินใจของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อประมวลผล จากนั้นส่งออกผลการตัดสินใจไปยังส่วนควบคุมวาล์วแก๊สเพื่อปรับระดับความร้อนให้อยู่ในช่วงที่กำหนด อุปกรณ์สำหรับระบบควบคุมความร้อนอัตโนมัติในส่วนการตรวจวัดประกอบด้วย เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple Type K) โมดูลสัญญาณนาฬิกาตามเวลาจริง (Real-time clock) รุ่น DS1302 ทำงานร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโนนาโน (NANO) แสดงผลข้อมูลด้วยหน้าจอโอแอลอีดี (OLED) ขนาด 0.96 นิ้ว และใช้โมดูลบลูทูธ รุ่น HC05 สำหรับการสื่อสารเพื่อส่งข้อมูล ส่วนควบคุมประกอบด้วย โมดูลบลูทูธที่ทำหน้าที่รับข้อมูลและส่งต่อกับบอร์ดอาดูยโนนาโน บอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์รุ่น A4988 ทำหน้าที่ขับเคลื่อนสเต็ปเปอร์มอเตอร์ NEMA 17 ขนาด 22 มิลลิเมตร

การตรวจสอบเวลาด้วยโมดูล DS1302 ใช้ไฟเลี้ยงวงจร 5 โวลต์ มีรูปแบบการสื่อสารแบบดิจิตัลและเชื่อมต่อกับบอร์ดอาดูยโนนาโนทั้งหมด 3 ขา (pin) คือ สัญญาณนาฬิกา (CLK) ข้อมูล (DAT) และรีเซ็ต (RST)

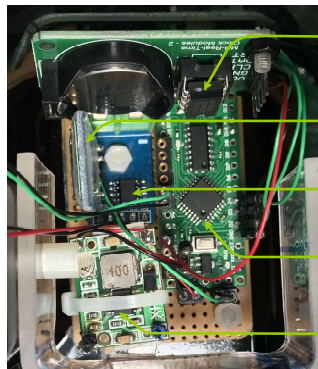


รูปที่ 2 โครงสร้างระบบควบคุมการอบแห้งเห็ดหลินจืออัตโนมัติ

ความร้อนภายในตู้อบลมร้อนถูกตรวจวัดด้วยเทอร์โมคัปเปิล มีคุณสมบัติในการวัดอุณหภูมิในช่วง -50 ถึง 150 องศาเซลเซียส ขั้วบวกและลบต่อเข้ากับโมดูล MAX6675 เพื่อเปลี่ยนจากสัญญาณแอนะล็อกเป็นข้อมูลอุณหภูมิในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล 12 บิต ใช้ไฟเลี้ยง 5 โวลต์ ข้อมูลอุณหภูมิได้รับการส่งต่อด้วยการสื่อสารแบบอนุกรม (SPI) ไปยังบอร์ดอาดุยโนนาโน การตรวจสอบเวลาในการอบลมร้อน และการวัดอุณหภูมิภายในตู้อบถูกทำซ้ำทั้งหมด 10 ครั้ง และเฉลี่ยเพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้องมากที่สุด ควบคุมการสื่อสารและการประมวลผลข้อมูลเวลาและอุณหภูมิได้รับการควบคุมจากบอร์ดอาดุยโนนาโน จากนั้นข้อมูลทั้ง 2 ได้รับการแสดงผลบนหน้าจอโอแอลอีดี การส่งข้อมูลจากบอร์ดอาดุยโนนาโนเพื่อแสดงบนหน้าจอโอแอลอีดีใช้การสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส (Inter-Integrated Circuit: I²C) เวลาจริงถูกแสดงบนหน้าจอในรูปแบบ ชั่วโมง นาที

และวินาที (00:00:00) ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิถูกแสดงบนหน้าจอในลักษณะตัวเลขแบบทศนิยมสองตำแหน่ง ในเวลาเดียวกันข้อมูลถูกวิเคราะห์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมที่ฝังตัวอยู่บนบอร์ดอาดุยโนนาโนเพื่อประมวลผลเวลาจริงที่ใช้และอุณหภูมิที่ต้องการ จากนั้นส่งข้อมูลการตัดสินใจออกอากาศด้วยโมดูลบลูทูธ HC05_M (Master) ไปยังส่วนควบคุมวาล์วแก๊สคาร์บที่ติดตั้งอยู่กับถังแก๊สหุงต้ม (LPG) ส่วนควบคุมรับข้อมูลผ่านโมดูลบลูทูธ HC05_S (Slave) และส่งต่อไปยังบอร์ดอาดุยโนนาโน ข้อมูลได้รับการวิเคราะห์และส่งสัญญาณไปยังบอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์ พร้อมทั้งเชื่อมต่อไฟเลี้ยงสำหรับมอเตอร์สแต็ปเปอร์ด้วย Relay แทนการต่อไฟเลี้ยงตลอดเวลาเพื่อลดการใช้กำลังงาน มอเตอร์สแต็ปเปอร์ถูกควบคุมให้ปรับวาล์วแก๊สตามทิศทางของการตัดสินใจ โครงสร้างส่วนตรวจวัดและส่วนควบคุมดังแสดงในรูปที่ 3 (ก) และ (ข)

Measurement



DS1302

HC-05 master

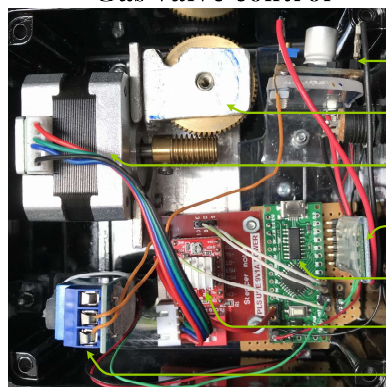
MAX6675

Arduino nano

DC step-down

(ก)

Gas valve control



DC Step-down

Valve control

Stepper motor

HC-05 slave

Arduino nano

Drive board

Relay

(ข)

รูปที่ 3 ระบบควบคุมอุณหภูมิการอบลมร้อนเห็นถลินจื่ออัตโนมัติ (ก) ส่วนตรวจวัด (ข) ส่วนควบคุม

การปรับอุณหภูมิในการอบแห้งเห็ดหลินจือใช้การเรียนรู้จากช่วงเวลาจริงของการอบเทียบกับอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง จากนั้นจึงตัดสินใจ ซึ่งมีข้อกำหนด คือ ในเวลาเริ่มต้น 3 ชั่วโมงแรก รักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ที่ 50 องศาเซลเซียส และเมื่อเวลาผ่านไปอยู่ในช่วง 3 ถึง 9 ชั่วโมง รักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส ในช่วงสุดท้ายของการอบแห้งที่เวลา 9 ถึง 18 ชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งอยู่ที่ 70 องศาเซลเซียส และคงที่ตลอดการอบแห้งในแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้งอุณหภูมิได้รับการตรวจสอบตลอดเวลาการอบ ในเวลา 3 9 และ 18 ชั่วโมง เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอยู่นอกช่วง 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในกรณีที่อุณหภูมิต่ำกว่าที่กำหนด วาล์วแก๊สได้รับการปรับให้หมุนทวนเข็มนาฬิกาเพื่อเพิ่มความร้อนภายในตู้ ในกรณีที่อุณหภูมิสูงเกินจากที่กำหนด วาล์วแก๊สได้รับการปรับให้หมุนตามเข็มนาฬิกาเพื่อลดระดับ

อุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วงที่กำหนดระบบไม่ปรับวาล์วแก๊สและรอผลการตรวจสอบอุณหภูมิในครั้งต่อไป การปรับอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลาจริงของการอบแห้งด้วยมอเตอร์สเต็ปเปอร์มีทิศทางการหมุน 15 เองโซ แสดงดังตารางที่ 1 ช่วงเวลาในการอบแห้งและอุณหภูมิที่เหมาะสมถูกกำหนดเป็นเงื่อนไขการควบคุมสำหรับการแห้งเห็ดหลินจือ เนื่องจากอุณหภูมิที่เหมาะสมในแต่ละช่วงเวลาต่างกัน การอบแห้งจึงเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจึงปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้นเป็น 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เพื่อให้ชั้นเห็ดแห้งทั้งแผ่นและมีความชื้นต่ำสุด เงื่อนไขการเปลี่ยนอุณหภูมิในแต่ละเวลาถูกนำไปใช้ในการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ที่เหมาะสม จากนั้นจึงโปรแกรมลงบอร์ดอาดุยโนนาโน เพื่อความแม่นยำในการตัดสินใจของระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ

ตารางที่ 1 องศาการปรับวาล์วแก๊สเพื่อควบคุมอุณหภูมิ

Timer (Hour)	Temperature	Valve control			
	(°C)	Rotation	Mapping function of the target		
Time <3	T < 45	-40°	0	0	1
	45 ≤ T < 50	-10°	0	1	0
	T = 50	0°	0	0	0
	50 < T ≤ 55	+10°	1	0	0
	55 < T ≤ 60	+20°	1	1	0
3 > Time < 9	T < 55	-40°	0	0	1
	55 ≤ T < 60	-10°	0	1	0
	T = 60	0°	0	0	0
	60 < T ≤ 65	+10°	1	0	0
	65 < T ≤ 70	+20°	1	1	0
9 > Time < 18	T < 65	-40°	0	0	1
	65 ≤ T < 70	-10°	0	1	0
	T = 70	0°	0	0	0
	70 < T ≤ 75	+10°	1	0	0
	75 < T ≤ 80	+20°	1	1	0

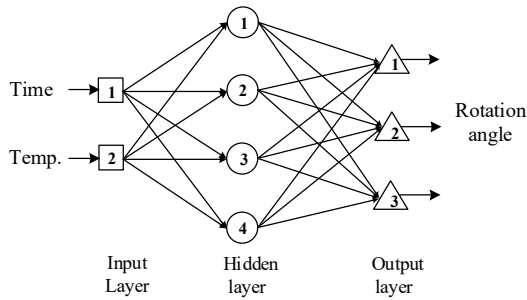
5. การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

ข้อมูลเวลาที่ใช้ในแต่ละช่วงของการอบแห้งและอุณหภูมิที่ต้องการในขณะนั้นถูกใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อหาโครงสร้างที่เหมาะสม รวมถึงการหาค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับการตัดสินใจ ข้อมูลอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้งที่ 15 องศา ถูกใช้เป็นอินพุตให้กับโครงข่ายประสาทเทียม ดังนั้นจำนวนอินพุตจึงมีทั้งหมด 2 โหนด จำนวนโนดซ่อนเร้นได้รับการปรับโครงสร้างและทดสอบทั้งหมด 3 ระดับ ประกอบด้วย 3 4 และ 6 โหนด เพื่อหาจำนวนโนดซ่อนเร้นที่เหมาะสม โหนดเอาต์พุตมีจำนวน 3 โหนด ถูกใช้เป็นตัวแทนของทิศทางและองศาของการหมุนวาล์วแก๊สประกอบด้วยมุม -40 -10 0 +10 และ +20 องศาของช่วงเวลานี้น้อยกว่า 3 9 และ 18 ชั่วโมง ตามลำดับ รวมทั้งหมด 15 ระดับ การปรับค่าอัตราการเรียนรู้ (α) ซึ่งเป็นค่าความละเอียดของการปรับค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละรอบของการฝึกสอน เพื่อหาอัตราการเรียนรู้ที่เหมาะสมได้รับการทดสอบตั้งแต่ 0.005 0.01 0.05 ถึง 0.5 ตามลำดับ การฝึกสอนใช้เงื่อนไขการซ้ำที่ไม่เกิน 10^4 รอบ หรือให้ค่าผลรวมของความผิดพลาด (Sum of error) ต่ำกว่า 10^{-2} ข้อมูลการฝึกสอนและเงื่อนไขในการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเริ่มจากโครงสร้างที่ใช้ 3 โหนดซ่อนเร้น ใช้อัตราการเรียนรู้ 0.005 ให้อัตราความผิดพลาด 1.797 และมีความแม่นยำ 26.7% และความแม่นยำสูงสุดของ 3 โหนดซ่อนเร้น อยู่ที่ 86.7% ด้วยการใช้อัตราการเรียนรู้ 0.1 ให้อัตราความผิดพลาดที่ 0.712 จากนั้นจึงเพิ่มจำนวนโนดซ่อนเร้นเป็น 4 โหนด การเรียนรู้สามารถทำได้ดีและมีความแม่นยำเพิ่มขึ้นในแต่ละอัตราการเรียนรู้ โดยเฉพาะที่อัตราการเรียนรู้ 0.1 ที่ให้อัตราความผิดพลาด 0.488 และให้ความแม่นยำสูงสุดที่ 100% เมื่อปรับโครงสร้างเป็น 6 โหนดซ่อนเร้น การเรียนรู้ได้รับการพัฒนาเพิ่มขึ้นและให้ความแม่นยำอยู่ในช่วง 66.7 ถึง 100% ในช่วงอัตราการเรียนรู้ 0.005 ถึง 0.5 และให้อัตราความผิดพลาดตั้งแต่ 0.329 ถึง 1.492 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 จากการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อหาโครงสร้างที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน ในการควบคุมระดับอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเห็ดหลินจือด้วยลมร้อน สังเกตได้ว่าอัตราการเรียนรู้ส่งผลต่อความเร็วและความสามารถในการแก้ปัญหา สำหรับ

จำนวนโนดซ่อนเร้นที่เพิ่มขึ้นทำให้มีความสามารถแก้ปัญหาโจทย์ที่ซับซ้อน แต่ในทางกลับกันต้องแลกมาด้วยจำนวนทรัพยากรที่ต้องใช้เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบที่ความแม่นยำสังเกตได้ว่าการใช้จำนวนโนดซ่อนเร้นที่ 4 และ 6 โหนด ส่งผลให้การตัดสินใจทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบจำนวนทรัพยากรที่ใช้งานกับประสิทธิภาพในการตัดสินใจ จึงเห็นได้ว่าโครงสร้างที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานคือ อินพุต 2 โหนด โหนดซ่อนเร้น 4 โหนด และมี 3 โหนดเอาต์พุต ดังแสดงรูปที่ 4 ที่อัตราการเรียนรู้ 0.1 ให้ผลรวมของอัตราความผิดพลาดที่ 0.488 ส่งผลให้ทรัพยากรถูกใช้อย่างคุ้มค่าและมีความแม่นยำที่ 100% จากนั้นโครงข่ายประสาทเทียมที่ออกแบบถูกโปรแกรมลงบนบอร์ดอาคิโนนาโนเพื่อใช้ในการตัดสินใจในระบบควบคุมการอบแห้งด้วยลมร้อนอัตโนมัติ

ตารางที่ 2 การฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม

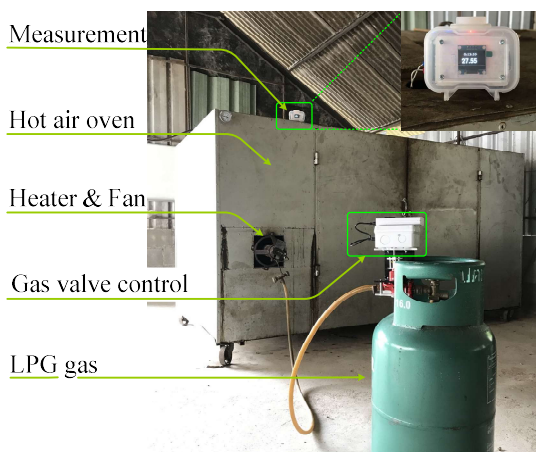
Hidden node	Learning rate	Epoch	Sum of error	Accuracy (%)
3	0.005	10^4	1.797	26.7%
	0.01		1.394	73.3%
	0.05		0.935	80.0%
	0.1		0.712	86.7%
	0.5		0.455	80.0%
	0.005		1.521	60.0%
4	0.01	10^4	1.161	73.3%
	0.05		0.813	80.0%
	0.1		0.488	100%
	0.5		0.329	80.0%
	0.005		1.492	66.7%
	0.01		1.149	73.3%
6	0.05	10^4	0.813	80.0%
	0.1		0.526	100%
	0.5		0.329	80.0%
	0.005		1.492	66.7%



รูปที่ 4 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้งานจริง

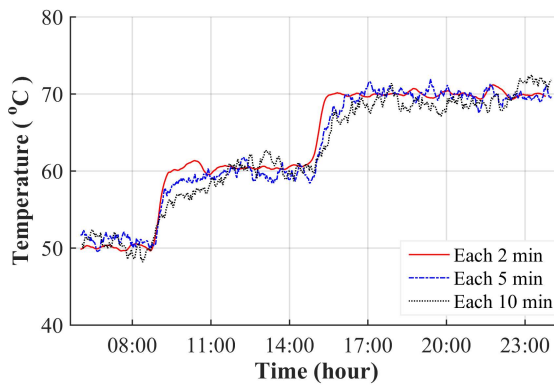
6. การทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิ

ระบบควบคุมอุณหภูมิการอบแห้งด้วยลมร้อนอัตโนมัติสำหรับตู้อบลมร้อนเห็ดหลินจือได้รับการทดสอบที่กลุ่มวิชาทฤษฎีชุมชนเพาะเห็ดและแปรรูปเห็ดบ้านไร่เก่า ตู้อบลมร้อนที่ได้รับการทดสอบมีขนาด กว้างxยาวxสูง อยู่ที่ 2x3x2 เมตร และมีถาดอยู่ภายในทั้งหมด 12 ถาด ใช้สำหรับบรรจุชิ้นเห็ด การอบแห้งแต่ละครั้งชิ้นเห็ดได้รับการบรรจุทั้งหมด 40 กิโลกรัม การอบแห้งใช้ความร้อนจากไฟที่หัวของแก๊สสูง ต้มแอลพีจีและใช้มอเตอร์เป่าความร้อนจากหัวแก๊สเข้าสู่ตู้อบแห้งเพื่อกำจัดความชื้นของชิ้นเห็ดหลินจือ ส่วนตรวจวัดและการตัดสินใจของระบบควบคุมได้รับการติดตั้งเข้ากับตู้อบลมร้อนเพื่อวัดอุณหภูมิและเทียบกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ในส่วนควบคุมและได้รับการติดตั้งเข้ากับวาล์วของถังแก๊สสูงต้มเพื่อควบคุมปริมาณแก๊สที่ให้ความร้อนในการอบแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การติดตั้งส่วนควบคุมอัตโนมัติเข้ากับระบบลมร้อนอบแห้ง

ระบบควบคุมอัตโนมัติได้รับการทดสอบในแต่ละครั้งใช้เวลาทั้งหมด 18 ชั่วโมง การควบคุมความร้อนภายในตู้อบแห้งทำทั้งหมด 3 ครั้ง แบ่งตามความถี่ของการตรวจวัดและการควบคุมประกอบด้วย การวัดทุกๆ 2.5 และ 10 นาทีตามลำดับ และทดสอบในระยะเวลา 6:00 นาฬิกา ถึง 24:00 นาฬิกา อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งที่ใช้ในการทดสอบเริ่มต้นที่ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงตั้งค่าระบบให้ทำงานอัตโนมัติด้วยการตรวจวัดอุณหภูมิและควบคุมความร้อนจากการปรับวาล์วแก๊ส การทดสอบครั้งแรกใช้ความถี่ในการตรวจวัดและควบคุมทุกๆ 2 นาที เมื่อความอุณหภูมิไม่อยู่ในช่วงที่กำหนดของช่วงเวลา 0 ถึง 3 ชั่วโมง หรือ 3 ถึง 9 ชั่วโมง หรือ 9 ถึง 18 ชั่วโมง ระบบทำการปรับวาล์วแก๊สเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ การทดสอบครั้งที่ 2 ใช้ความถี่ในการตรวจวัดทุกๆ 5 นาที เมื่ออุณหภูมิในช่วงที่กำหนดระบบทำการหมุนวาล์วแก๊สเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมเช่นเดียวกับการทดสอบในครั้งแรก ในครั้งที่ 3 ใช้ความถี่ที่ตรวจวัดต่างกันเพิ่มขึ้นเป็นการวัดทุกๆ 10 นาที และควบคุมอุณหภูมิเช่นเดียวกับการทดสอบในครั้งก่อนหน้าการหมุนวาล์วแก๊ส 1 ครั้ง ใช้กำลังงานเฉลี่ยอยู่ที่ 3 วัตต์ ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมและใช้กำลังงานต่ำจึงเหมาะสมสำหรับระบบอบลมร้อนอัตโนมัติ จากการทดสอบระบบสามารถสังเกตได้ คือ การตรวจสอบและควบคุมความร้อนภายในตู้อบอย่างละเอียดที่ 2 นาที ต่อตรวจวัดและการควบคุม 1 ครั้ง ระบบสามารถรักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่ต้องการได้อย่างแม่นยำอยู่ที่ ± 1.2 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามการปรับวาล์วแก๊สส่งผลต่อการใช้กำลังงานที่เพิ่มขึ้น เมื่อลดความถี่ในการตรวจวัดและควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 5 นาที ต่อการตรวจสอบ 1 ครั้ง ทำให้การใช้พลังงานน้อยลงและควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่กำหนด มีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ± 2.9 องศาเซลเซียส การทดสอบครั้งสุดท้ายเป็นการตรวจวัดแบบหยาบ คือ ตรวจวัดห่างกันครั้งละ 10 นาที ระบบไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบลมร้อนอบแห้งให้อยู่ในช่วงที่ต้องการได้ตลอดช่วงการทำงาน อุณหภูมิมีความแปรปรวนสูงอยู่ที่ ± 6.4 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบลมร้อนเห็ดหลินจือ

เพื่อให้การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบลมร้อนทำได้โดยมีประสิทธิภาพ การเลือกระดับความถี่ในการตรวจสอบจึงเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากในแต่ละครั้งของการปรับระดับความร้อนใช้พลังงานสูง เมื่อพิจารณาจากการควบคุมอุณหภูมิทั้ง 3 ระดับความถี่ แสดงให้เห็นว่าการตรวจวัดทุกๆ 5 นาที เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสม เนื่องจากประหยัดพลังงานที่ใช้ในการควบคุมแต่ยังคงรักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่ต้องการได้ คือ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

7. สรุปผล

ระบบควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเห็ดหลินจือด้วยลมร้อนอัตโนมัติใช้การตรวจสอบอุณหภูมิภายในตู้อบลมร้อนด้วยเทอร์โมคัลป์เปิดรุ่น Type K ทำงานร่วมกับบอร์ด MAX6675 และให้เอาต์พุตเป็นข้อมูลแบบสัญญาณดิจิทัล ข้อมูลเวลาจริงถูกวัดจากโมดูลสัญญาณนาฬิกาตามเวลาจริง รุ่น DS1302 ข้อมูลเฉลี่ยของเวลาและอุณหภูมิได้รับการแสดงผลบนหน้าจอ OLED ขนาด 0.96 นิ้ว และถูกวิเคราะห์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้โครงสร้าง 2 โหนดอินพุต 4 โหนดฮอนเร้น และ 3 โหนดเอาต์พุต ที่เป็นตัวแทนของอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลา ที่อัตราการเรียนรู้ 0.1 ให้ค่าความผิดพลาด 0.488 และให้ความแม่นยำในการตัดสินใจ 100% และฝังตัวอยู่บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโนนาโน การประยุกต์โครงข่ายประสาทเทียมในระบบการตัดสินใจเพื่อควบคุมการอบแห้งด้วยลมร้อนส่งผลให้การควบคุมระดับเชื้อเพลิงแก๊สทำได้แม่นยำ ข้อมูลการตัดสินใจถูก

ส่งผ่านอากาศด้วยโมดูลบลูทูธไปยังส่วนควบคุมที่ตั้งอยู่ที่วาล์วปรับแก๊ส ข้อมูลการตัดสินใจถูกนำเข้าสู่ด้วยโมดูลบลูทูธของส่วนควบคุมและประมวลผลด้วยบอร์ดอาดูยโนนาโน สัญญาควบคุมถูกส่งไปยังบอร์ดขับเพื่อควบคุมมอเตอร์สเต็ปเปอร์ให้หมุนวาล์วแก๊สในช่วง -40 ถึง +20 องศา เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 50 60 และ 70 องศาเซลเซียสตลอดระยะเวลา 18 ชั่วโมง ระบบได้รับการทดสอบ 3 ครั้ง แบ่งตามความถี่ในการตรวจวัดและควบคุมที่ทุกๆ 2.5 และ 10 นาที จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาที่เหมาะสมคือ การตรวจวัดทุกๆ 5 นาที เนื่องจากประหยัดพลังงานและรักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่กำหนด มีความแปรปรวนเพียง ± 2.9 องศาเซลเซียส จึงทำให้ระบบอบลมร้อนเห็ดหลินจืออัตโนมัติทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบควบคุมอุณหภูมิการอบแห้งที่พัฒนาสามารถทดแทนการใช้แรงงานคนเพื่อควบคุมอุณหภูมิ ทำให้การควบคุมอุณหภูมิแม่นยำมากขึ้น เนื่องจากการอบแห้งใช้เวลานาน รวมถึงสามารถติดตั้งเข้ากับระบบเดิมของทางกลุ่มวิสาหกิจได้โดยไม่ต้องปรับปรุงระบบเดิมและใช้ต้นทุนต่ำ

8. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ประจำปี 2563 เลขที่ 2223/2563

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Mohamad Ansor, N. Abdullah N. and Aminudin, N. "Anti-angiotensin converting enzyme (ACE) proteins from mycelia of *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst," *BMC Complementary and Alternative Medicine*, vol. 13 no.256, pp. 1-8, 2013.
- [2] Chin, S. K. Law, C. L. and Cheng, P. G. "Effect of drying on crude ganoderic acids and water-soluble polysaccharides content in *Ganoderma lucidum*," *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, vol. 3, no.1, pp. 38-43, 2011.

- [3] Bijalwan, A. Bahuguna, K. Vasishth, A. Singh, A. [Alankar], Chaudhary, S. Tyagi, A. Thakur, M.P. Thakur, T.K. Dobriyal, M. JR. Kaushal, R. Singh, A. [Arjun], Maithani, N. Kumar, D. Kothari, G. and Chourasia, P.K. “Insights of medicinal mushroom (*Ganoderma lucidum*): prospects and potential in India,” *Biodiversity International Journal*, vol.4, no.5, pp. 202-209, 2020.
- [4] Henniecke, F. Cheikh-Ali, Z., Liebisch, T. Maciá-Vicente, J.G. Bode, H.B. and Piepenbring M. “Distinguishing commercially grown *Ganoderma lucidum* from *Ganoderma lingzhi* from Europe and East Asia on the basis of morphology, molecular phylogeny, and triterpenic acid profiles,” *Phytochemistry*, vol.127, pp. 29-37, 2016.
- [5] Persistence Market Research. Medicinal mushrooms market: global industry trend analysis 2013 to 2017 and forecast 2018 – 2028. [Online]. (2018). [Cited January 9, 2021] <https://www.persistencemarketresearch.com/market-research/medicinal-mushrooms-market.asp>.
- [6] Hapuarachchi, K. K. Elkhateeb, W. A. Karunaratna, S. C. Bandara, A. R. Kakumyan, P. Hyde, K. D. Daba, G. M. Cheng, C. R. and Wen, T.C. “Current status of global *Ganoderma* cultivation, products, industry and market,” *Mycosphere*, vol. 9, no.5, pp. 1025-1052, 2018.
- [7] Barbosa, J. Borges, S., Amorim, M. Pereira, M. J., Oliveira, A., Pintado, M.E. and Teixeira, P. “Comparison of spray drying, freeze drying and convective hot air drying for the production of a probiotic orange powder,” *Journal of Functional Foods*, vol. 17, pp. 340-351, 2015.
- [8] Dehghannya, J., Hosseinlar, S.H. and Heshmati, M.K. “Multi-stage continuous and intermittent microwave drying of quince fruit coupled with osmotic dehydration and low temperature hot air drying,” *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 45, pp.132–151, 2018.
- [9] Zhao, R. & Gao, T. “Research progress of hot air drying technology for fruits and vegetables,” *Advance Journal of Food Science and Technology*, vol.10, no.3, pp.160-166, 2016.
- [10] Argyropoulos, D. Heindl, A. and Müller, J. “Assessment of convection, hot-air combined with microwave-vacuum and freeze-drying methods for mushrooms with regard to product quality,” *International Journal of Food Science and Technology*, vol.46, pp. 333–342, 2011.
- [11] Kotwaliwale, N. Bakane, P. and Verma, A. “Changes in textural and optical properties of oyster mushroom during hot air drying,” *Journal of Food Engineering*, vol. 78, no.4, pp. 1207-1211, 2007.
- [12] Tulek, Y. “Drying kinetics of Oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in a convective hot air dryer,” *Journal of Agricultural Science and Technology*, vol.13, pp. 655-664, 2011.
- [13] Prasetyo, D.J. Jatmiko, T.H. Poeloengasih, C.D. and Kismurtono, M. “Drying characteristics and water-soluble polysaccharides evaluation of kidney shape *Ganoderma lucidum* drying in air circulation system,” *Conf. Series: Earth and Environmental Science*, vol. 101, pp. 1-6, 2017.
- [14] Nuangpirom, P. Techapunratanakul, N. Panta, S. Maneewan, D. and Chitanu, K. “Potential development and capacity building for mushroom product processing: case study of

- Sukprasert mushroom farm,” *Journal of Socially Engaged Scholarship*, vol. 2, no. 2, pp. 41- 51, 2018 (in Thai).
- [15] Qinghui, W. Zhongxin, L. Jinsong, Y. Long, X. Shixiang, Z. and Zhenjiang, G. “Dried characteristics of cherry tomatoes using temperature and humidity by stages changed hot-air drying method,” *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, vol. 30, no.3, pp.271-276, 2014.
- [16] Chiangmainews, 1 0 8 Properties of reishi mushroom, Maejo University can do. [Online]. (2016). [Cited January 2 5 , 2 0 2 1] <https://www.chiangmainews.co.th/page/archives/524604> (in Thai).
- [17] Binder. (2019). *Model FD 5 6 | drying and heating chambers with forced convection*, Data Sheet.
- [18] Rerkkumsup, P. Yaruan, P. and Soeatuptim, J. “The Development of an Automatic Control System for Charcoal Briquettes Drying,” *Pathumwan Academic Journal*, vol. 10, no. 27, pp.70 - 83, January - April 2020 (in Thai).
- [19] Leekul, P. and Limpiti, T. “Development of C-band monopole antenna with artificial neural networks cooperation for latex contamination detecting application,” *Journal of Industrial Technology: Suan Sunandha Rajabhat University*, vol. 7, no. 2, pp.24-33, 2019 (in Thai).
- [20] Leekul, P. Wongsiritorn, P. and Chaisaeng, P. “Development of humidity monitoring system in greenhouse with electromagnetic X- band and artificial neural networks,” *Progress In Electromagnetics Research M*, vol.100, pp. 93-103, 2021,
- [21] Leekul, P. Soontornwong, P. and Chivapreecha, S. “Low complexity artificial neural network unit for sugar content detection in microwave sensor system,” *Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA)*, Siem Reap, Cambodia, December 9-12, 2014.
- [22] Haykin, S. *Neural networks and learning machines* (3rd edition), Pearson, London, United Kingdom, 2008.
- [23] Leekul, P. “Application of artificial neural network for milk quality classification with dielectric properties,” *Journal of Industrial Technology: I-Tech*, vol. 12, no, 2, pp,131-140, 2017 (in Thai).