JPAGS
Journal of Physics & General Science

การทำนายปริมาณความชื้นของกระชายโดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

Prediction of Moisture Content in *Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf. Using an Artificial Neural Network Model

ทวีเดช หมื่นภูเขียว[1] **และนพมาศ ประทุมสูตร** [2*]

Tawedach Mundphukhier [1] **and Noppamas Pratummasoot**[2*]

[1]สาขาวิทยาศาสตร์พื้นฐานและวิทยาศาสตร์การแพทย์ คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี

[1]Basic Science Program, Faculty of Allied Health Science, Patumthani University, Pathum Thani

[2]สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

[2]Applied Physics Program, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Pathum Thani

*Corresponding author e-mail: noppamas.pra@vru.ac.th

(Received: May 16, 2024, Revised: June 17, 2024, Accepted: June 27, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาวิธีการทำนายปริมาณความชื้นกระชายที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการทำนายปริมาณต่าง ๆ ภายใต้เงื่อนไขที่ซับซ้อนได้ดี ผู้วิจัยทำการทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้าทั่วไปในช่วงเดือนพฤษภาคม 2567 เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลป้อนให้กับแบบจำลอง และทำการฝึกสอนแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูลที่ได้จากการทดลองในรอบที่ 1 - 4 จำนวน 148 ชุดข้อมูล และทดสอบแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลการทดลองในรอบที่ 5 จำนวน 37 ชุดข้อมูล ในแต่ละชุดข้อมูลประกอบด้วยข้อมูลความเข้มรังสีจากดวงอาทิตย์ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ปริมาณความชื้นของกระชาย และอุณหภูมิอากาศ โดยโครงสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่คำนวณปริมาณความชื้นใกล้เคียงกับการทดลองมากที่สุดมีจำนวนชั้นซ่อน 3 ชั้น แต่ละชั้นซ่อนมี 8 โหนด ผู้วิจัยนำปริมาณความชื้นจากการทดลองมาเปรียบเทียบกับปริมาณความชื้นที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ผลที่ได้พบว่า ปริมาณความชื้นที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าสอดคล้องกับปริมาณความชื้นที่ได้จากการทดลอง โดยปริมาณความชื้นสุดท้ายที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าเท่ากับ 5.65 % (wb) และจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 5.97 % (wb) โดยมีค่าความแตกต่างในรูปของ RMSE เท่ากับ 5.0388 และ MBE เท่ากับ 4.2015 จากผลลัพธ์ที่ได้ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำนายปริมาณความชื้นของกระชายที่อบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างแม่นยำ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่เชื่อถือได้สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการอบแห้ง

คำสำคัญ: ปริมาณความชื้น โครงข่ายประสาทเทียม เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ABSTRACT

The objective of this research was to develop a method for predicting the moisture content of Fingerroot (*Boesenbergia rotunda*) dried using a solar dryer, by employing an artificial neural network (ANN) model, which is known for effectively predicting various quantities under complex conditions. Experiments were conducted under general sky conditions in May 2024 to gather input data for the model. The ANN was trained using data from the first four rounds of experiments, comprising 148 data sets, and was tested using data from the fifth round, consisting of 37 data sets. Each data set included

measurements of solar radiation intensity, relative humidity of the air, air temperature, and moisture content of the Fingerroot. The ANN model that most accurately predicted the moisture content had a structure of three hidden layers, each with eight nodes. The predicted moisture content from the ANN model was compared to actual experimental values, showing a close match with a predicted final moisture content of 5.65 % (wb) and an experimental value of 5.97 % (wb). The model's performance was evaluated with a Root Mean Square Error (RMSE) of 5.0388 and a Mean Bias Error (MBE) of 4.2015. These results demonstrate that the ANN model can accurately predict the moisture content of solar-dried Fingerroot, providing a reliable tool for optimizing the drying process.

Keywords: moisture content, artificial neural network, solar dryer

บทนำ

กระชายเป็นสมุนไพรตระกูลพืชล้มลุก มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf. นิยมปลูกในประเทศจีน และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สำหรับประเทศไทย กระชายสามารถปลูกได้ทั่วประเทศ โดยมีแหล่งปลูกสำคัญอยู่ในพื้นที่จังหวัดนครปฐม นนทบุรี ปทุมธานี นครสวรรค์ และราชบุรี จากสถิติของกรมส่งเสริมการเกษตรพบว่า ที่ผ่านมาจังหวัดนครปฐมเป็นแหล่งปลูกกระชายมาก โดยเฉพาะอำเภอดอนตูม มีพื้นที่รวม 1,141 ไร่ ได้ผลผลิตเฉลี่ย 2,000 กิโลกรัม/ไร่ มีช่วงฤดูการเก็บเกี่ยวเดือนพฤศจิกายน-เดือนเมษายน และเนื่องจากมีผลวิจัยทางการแพทย์ยืนยันว่า สารสกัดกระชายมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรคหรือยับยั้งไวรัสโควิดได้ [1] ทำให้กระชายขายได้ราคาดี สร้างแรงจูงใจให้มีเกษตรกรสนใจปลูกกระชายกันอย่างกว้างขวาง แต่ในการเก็บรักษากระชายสดมักเก็บได้ในระยะเวลาสั้น เนื่องจากเกิดเชื้อราทำให้เกิดการเน่าเสียของกระชาย โดยวิธีการแก้ปัญหาเพื่อยืดระยะเวลาในการเก็บรักษาพืชผลทางการเกษตร เกษตรกรส่วนใหญ่นำไปตากแดดตามธรรมชาติ แต่เนื่องจากการตากแดดตามธรรมชาตินี้ อาจจะส่งผลให้คุณภาพของผลผลิตลดลง เนื่องจากได้รับการปนเปื้อนของฝุ่นละออง หรือได้รับความเสียหายกรณีฝนตก ดังนั้น จึงได้มีการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่นำไปอบแห้งมีคุณภาพดี เนื่องจากไม่ได้รับการปนเปื้อนจากฝุ่นละออง และสืบเนื่องจากพื้นที่ประเทศไทยเป็นพื้นที่ซึ่งได้รับความเข้มรังสีจากดวงอาทิตย์สูงตลอดทั้งปี [2] ดังนั้น การยืดอายุของผลผลิตด้วยวิธีการอบแห้งโดยอาศัยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง ถึงแม้ว่า ในอดีตถึงปัจจุบัน มีการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มาอย่างยาวนาน [3-7] แต่ก็ยังไม่สามารถตอบสนองถึงการอบแห้งที่เหมาะสมผลิตภัณฑ์ในงานวิจัยนี้ได้

การอบแห้ง คือ การลดความชื้นในวัสดุเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา เช่น ผลิตผลทางการเกษตรที่มีความชื้นสูงมากมักเก็บรักษาได้ไม่นาน เพราะเกิดการสูญเสียจากการเน่าเปื่อย และมีน้ำหนักมาก ทำให้ต้องใช้ต้นทุนในการขนส่งมาก เมื่อผ่านกระบวนการอบแห้ง จะทำให้การเน่าเปื่อยเกิดได้ยากขึ้น จึงเก็บรักษาได้นานขึ้นและยังช่วยลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ทำให้ต้นทุนในการขนส่งลดลง นอกจากนี้ การอบแห้งยังเป็นการถนอมและแปรรูปอาหารในอีกรูปแบบหนึ่ง เช่น กล้วยตาก ลูกเกด ปลาแห้ง เนื้อแห้ง เป็นต้น การอบแห้งเป็นกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุ หากต้องการหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งวัสดุเกษตรนั้น ต้องทำการทดลองหลายครั้ง เพื่อหาข้อมูลผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งทำให้เสียค่าใช้จ่ายการทดลอง ในปัจจุบัน ได้มีการนำแบบจำลองคณิตสาสตร์การอบแห้งไปใช้ในการจำลองสภาวะการอบแห้งและศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ในกระบวนการอบแห้ง [8]

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network; ANN) เป็นระบบทางคณิตศาสตร์ที่เขียนในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถจำลองการทำงานของระบบทางฟิสิกส์หรือวิศกรรมต่าง ๆ โดยเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์และสามารถเลียนแบบพฤติกรรม หรือตัวแปรที่มีความซับซ้อน และไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear) ได้ดี [8-11] โดยทั่วไปโครงข่ายประสาทเทียมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรขาเข้า (input) กับผลลัพธ์ (output) ผ่านหน่วยย่อยที่เรียกว่านิวรอน (neuron) โดยข้อดีของการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการจำลองแบบการทำงานของระบบ คือ ไม่มีความจำเป็นต้อง

สร้างสมการในรูปฟังชันก์ต่าง ๆ ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรขาเข้าและผลลัพธ์ของระบบ ดังนั้น การจำลองระบบโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมจึงเหมาะสมกับระบบที่ตัวแปรขาเข้ากับผลลัพธ์มีความสัมพันธ์กันอย่างซับซ้อน ซึ่งการสร้างความสัมพันธ์ในรูปฟังชันก์ทางคณิตศาสตร์โดยตรงทำได้ยาก ดังนั้น โครงข่ายประสาทเทียมจึงถือเป็นแบบจำลองหนึ่งที่นิยมนำมาใช้เพื่อช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ในการหาสภาวะของการอบแห้งที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อทำการศึกษาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อหาสภาวะของการอบแห้ง และทำนายปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของกระชาย โดยผู้วิจัยเลือกทำการทดลองในช่วงเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงคาบเกี่ยวของฤดูร้อน และฤดูฝน เนื่องจากมีสภาพท้องฟ้าตรงตามเงื่อนไขของผู้วิจัย คือ เป็นสภาพท้องฟ้าทั่วไปที่เกิดขึ้นในประเทศไทย

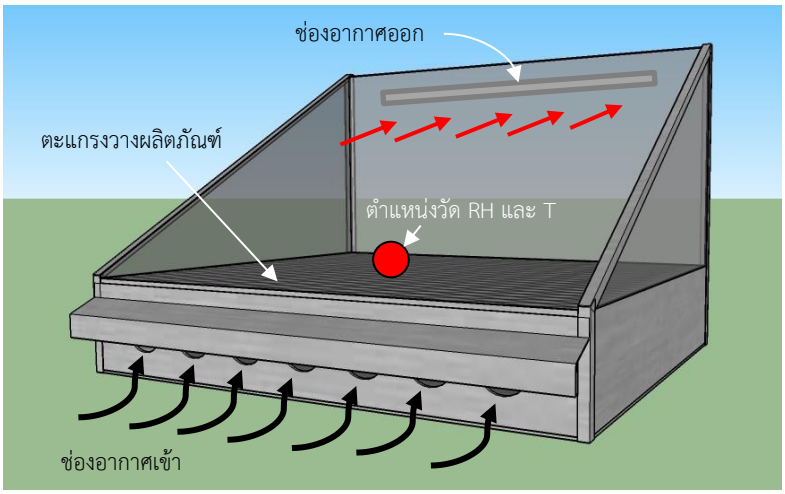
วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาวิธีการในการทำนายปริมาณความชื้นของกระชายโดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

การดำเนินงานวิจัย

การเตรียมอุปกรณ์และการติดตั้ง

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยทำการติดตั้งอุปกรณ์ โดยหันด้านหน้าของเครื่องอบแห้ง ซึ่งเป็นบริเวณที่รับแสงไปทางทิศใต้ และติดตั้งบริเวณที่โล่งแจ้ง เพื่อป้องกันการรบกวนจากเงาของต้นไม้ หรืออาคาร ซึ่งส่งผลให้บริเวณที่ทำการทดลองได้รับแสงอาทิตย์อย่างเต็มที่ตลอดทั้งวัน เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลองถูกปิดคลุมด้วยแผ่นกระจกใสเอียงทำมุมเท่ากับละติจูด (latitude) ของจังหวัดปทุมธานี (14 องศาเหนือ) ซึ่งเป็นจังหวัดที่ทำการทดลอง โดยด้านล่างของเครื่องอบแห้งทำจากแผ่นอลูมิเนียมที่ทาด้วยสีดำ ด้านหน้าส่วนล่างมีช่องสำหรับอากาศเข้า และช่องอากาศออกอยู่บริเวณด้านบน ภายในเครื่องอบแห้งประกอบด้วย ตะแกรงสำหรับวางผลิตภัณฑ์ ลักษณะของเครื่องอบแห้งแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะของเครื่องอบแห้ง และตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ (RH) และอุณหภูมิอากาศ (T)

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ใช้หลักการอบแห้งโดยการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (direct mode natural convection) โดยอากาศจากภายนอกไหลผ่านช่องด้านล่างส่วนหน้าของเครื่องอบแห้งผ่านผลิตภัณฑ์และนำความชื้นไหลออกทางช่องอากาศด้านบน ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายในเครื่องอบแห้งนั้น ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรง และไม่มีการปนเปื้อนจากฝุ่นละออง แมลง หรือ เกิดการเน่าเสียจากน้ำฝน

ภาพที่ 2 แสดงการติดตั้งเครื่องมือในการทดลอง

ผู้วิจัยใช้เทอร์โมคัปเปิล (ชนิด K, accuracy ±2 %) ในการวัดอุณหภูมิอากาศ และใช้ไฮโกรมิเตอร์ในการวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (model MCK. 4S0, MELA Sensortechnik GmbH, Germany) สำหรับข้อมูล ความเข้มรังสีจากดวงอาทิตย์วัดด้วยเครื่องไพราโนมิเตอร์ (model cmp11, accuracy ±0.5 %) โดยข้อมูลอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ และความเข้มรังสีจากดวงอาทิตย์จะบันทึกลงในเครื่องบันทึกสัญญาณ (Model : LR8431-20, HIOKI, Japan) ทุก ๆ 10 นาที ตำแหน่งและลักษณะของอุปกรณ์แสดงดังภาพที่ 2

ในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยทำการทดลองอบแห้งกระชายในช่วงวันที่ 1-5 พฤษภาคม 2567 ซึ่งเป็นช่วงวันที่ท้องฟ้ามีสภาพท้องฟ้าแบบทั่วไป ผู้วิจัยทำการทดลองทั้งหมด 5 รอบ โดยในการกำหนดมวลเริ่มต้นของกระชายพิจารณาจากความหนาของกระชายตัวอย่างกับกระชายที่ตากในเครื่องอบแห้งให้ความหนาที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด ดังนั้น ในการทดลองนี้จึงได้มวลเริ่มต้นของกระชายมีค่าเท่ากับ 30 กรัม ผู้วิจัยทำการตากกระชายภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และภายนอก (ตากแดดธรรมชาติ) ในการเก็บข้อมูลนั้น ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ และความเข้มรังสีจากดวงอาทิตย์ ตั้งแต่ 8:00-14:00 น. และทำการชั่งมวลตัวอย่างกระชายทุก 1 ชั่วโมงด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล โดยผู้วิจัยทำการทดลองต่อเนื่องจนกระทั่งมวลของกระชายมีค่าคงที่

ผู้วิจัยนำกระชายแห้งที่ได้ไปหามวลแห้ง (dry solid mass) โดยนำกระชายจากการอบแห้งไปอบในตู้อบอุณหภูมิสูง (103 °C, accuracy ±0.5 %) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อทำการรีดน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ และนำมวลแห้งที่ได้ไปคำนวณปริมาณความชื้นของกระชาย (moisture content (M; %, wb) โดยใช้สมการ (1)

$$M = \frac{m - m_{solid}}{m} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ M คือ ปริมาณความชื้น (%, wb) m คือ มวลกระชายที่เวลาใด ๆ (กรัม) และ m_{solid} คือ มวลของของแข็ง (กรัม)

สำหรับข้อมูลความเข้มรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ได้จากเครื่องวัดไพราโนมิเตอร์ถูกวัดออกมาในรูปของค่าศักย์ไฟฟ้า (V) ผู้วิจัยนำค่าศักย์ไฟฟ้ามาแปลงเป็นความเข้มรังสีจากดวงอาทิตย์ (I) โดยอาศัยสมการ (2)

$$V = \frac{I}{R} \quad (2)$$

เมื่อ I คือ ความเข้มรังสีจากดวงอาทิตย์ (global solar radiation; W/m^2), V คือ ศักย์ไฟฟ้า (Electric potential, Volt), และ R คือ ค่าการตอบสนองของเครื่องไพราโนมิเตอร์ (sensitivity) มีค่าเท่ากับ 5.49 ($mV/W.m^2$)

จากนั้น ผู้วิจัยนำข้อมูลอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของกระชาย ความเข้มรังสีจากดวงอาทิตย์ไปเป็นข้อมูลขาเข้า (input) ให้กับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) โดยแบ่งข้อมูลเป็น 2 กลุ่ม คือ ข้อมูลสำหรับฝึกสอน (training data) เป็นข้อมูลจากการทดลองในครั้งที่ 1-4 จำนวน 148 ชุดข้อมูล และในการทดลองครั้งที่ 5 เป็นข้อมูลสำหรับทดสอบแบบจำลอง (testing data) จำนวน 37 ชุดข้อมูล โดยข้อมูลต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในแบบจำลองเป็นข้อมูลที่ถูกบันทึกจากเครื่องมือที่ได้มาตรฐานและมีความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือ (accuracy) อยู่ในช่วง ± 0.5 - 2 % ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเป็นแบบจำลองที่เลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ ถือว่าเป็นเทคนิคที่มีความยืดหยุ่นในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้ดี สะดวกและมีประสิทธิภาพสูงในการใช้งานกรณีที่มีตัวแปรหลากหลาย โครงข่ายประสาทเทียมมีการเรียนรู้ได้ด้วยการรับข้อมูลตัวอย่างเข้ามาจำนวนหนึ่ง หลังจากนั้น ทำการปรับค่าน้ำหนักจนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ต้องการ ซึ่งต่างจากสร้างความสัมพันธ์ในรูปของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่สามารถทำได้ยากสำหรับระบบที่มีตัวแปรขาเข้า (input) และผลลัพธ์ (output) ที่มีความสัมพันธ์กันอย่างซับซ้อน เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เหมาะสมกับบางเงื่อนไขที่มีความสัมพันธ์แบบไม่ซับซ้อน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งเหมาะสมกับแบบจำลองที่มีตัวแปรขาเข้าและผลลัพธ์มีความสัมพันธ์กันแบบซับซ้อนและไม่เป็นเชิงเส้น แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในงานนี้เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัยไวกาโต ประเทศนิวซีแลนด์ (University of Waikato, New Zealand) มีชื่อว่าโปรแกรม WEKA

โดยโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย ชั้นของนิวรอน 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นขาเข้า (Input layer) ชั้นซ่อน (hidden layer) และชั้นแสดงผลลัพธ์ (output layer) ซึ่งนิวรอนหลาย ๆ ตัวเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดเป็นลักษณะของโครงข่ายเป็นชั้น ๆ โดยข้อมูลขาเข้าถูกนำเข้ามาผ่านฟังก์ชันกระตุ้นในแต่ละนิวรอน ซึ่งคำตอบที่ได้ส่งผ่านไปยังชั้นต่อไป โครงข่ายประสาทเทียมนั้น มีการเรียนรู้ความผิดพลาดจากข้อมูลฝึกสอน จากนั้น ทำการปรับ Weight และ Bias เพื่อให้ความผิดพลาดของโครงข่ายมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนของกระบวนการเรียนรู้ และขั้นตอนของกระบวนการทดสอบ

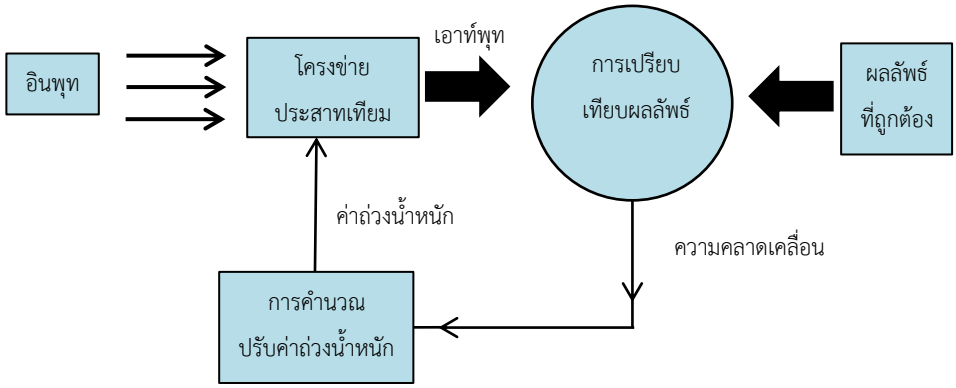
แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ใช้กระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับของเลเวนเบิร์ก-มาควาดท์ (Levenberg-Maqurdt's Back-Propagation) ดังภาพที่ 3 โดยหลักการของกระบวนการเรียนรู้แบบจำลอง คือ มีการรับข้อมูลเข้าไปในแบบจำลอง และทำการเปลี่ยนแปลงค่าถ่วงน้ำหนัก เพื่อปรับผลลัพธ์ให้ใกล้เคียงกับค่าที่ถูกต้องมากที่สุด โดยการปรับค่าน้ำหนักนี้ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของค่าผลลัพธ์จากโครงข่ายประสาทเทียมกับผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง ซึ่งชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมนั้น มีข้อมูลคำตอบเป้าหมายไว้สำหรับตรวจสอบว่าโครงข่ายประสาทเทียมให้คำตอบที่ถูกต้องหรือมีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายหรือไม่ ถ้าคำตอบยังไม่ถูกต้อง วงจรจะปรับค่าถ่วงน้ำหนัก เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น [11]

ในขั้นแรก ผู้วิจัยได้ทำการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย ชั้นตัวแปรขาเข้า ชั้นซ่อน และชั้นผลลัพธ์ โดยในชั้นขาเข้าของโครงข่ายประสาทเทียมมีทั้งหมด 4 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (T) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (RH) ความเข้มรังสีจากดวงอาทิตย์ (I) ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ (M_i) สำหรับชั้นผลลัพธ์มี 1 ตัวแปร ได้แก่ ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ (M_f)

จากนั้น ผู้วิจัยได้ทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ข้อมูลขาเข้าป้อนให้กับแบบจำลองจากการทดลอง 4 รอบ ซึ่งมีทั้งหมด 148 ชุดข้อมูล ทำการฝึกสอนและเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักตามกระบวนการฝึกสอนแบบย้อนกลับ จนกระทั่งแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถให้ผลลัพธ์ ซึ่งเป็นปริมาณความชื้นที่ได้ใกล้เคียงกับค่าจากการวัด และเก็บค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้ไว้ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถเขียนในรูปสมการได้ ดังนี้

$$y = f(b + \sum_i^n w_i x_i) \tag{3}$$

เมื่อ y คือ ผลลัพธ์ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม b คือ ตัวแปรบอกความเอนเอียง x_i คือ ตัวแปรขาเข้าที่ i (i=1, 2, 3, ...n) และ w_i คือ ค่าตัวถ่วงน้ำหนักสำหรับตัวแปรขาเข้าที่ i



ภาพที่ 3 แสดงการฝึกสอนแบบย้อนกลับ (back propagation algorithm)

ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ตัวแปรทางสถิติ เพื่อหาความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง โดยการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ผู้วิจัยใช้พารามิเตอร์ทางสถิติ 3 ตัว คือ 1) ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด หรือ coefficient of determine; R^2 2) ค่ารากที่สองของค่าความแตกต่างกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error; RMSE) และ 3) ค่าความแตกต่างของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean bias error; MBE) ซึ่ง RMSE และ MBE สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4) และ (5)

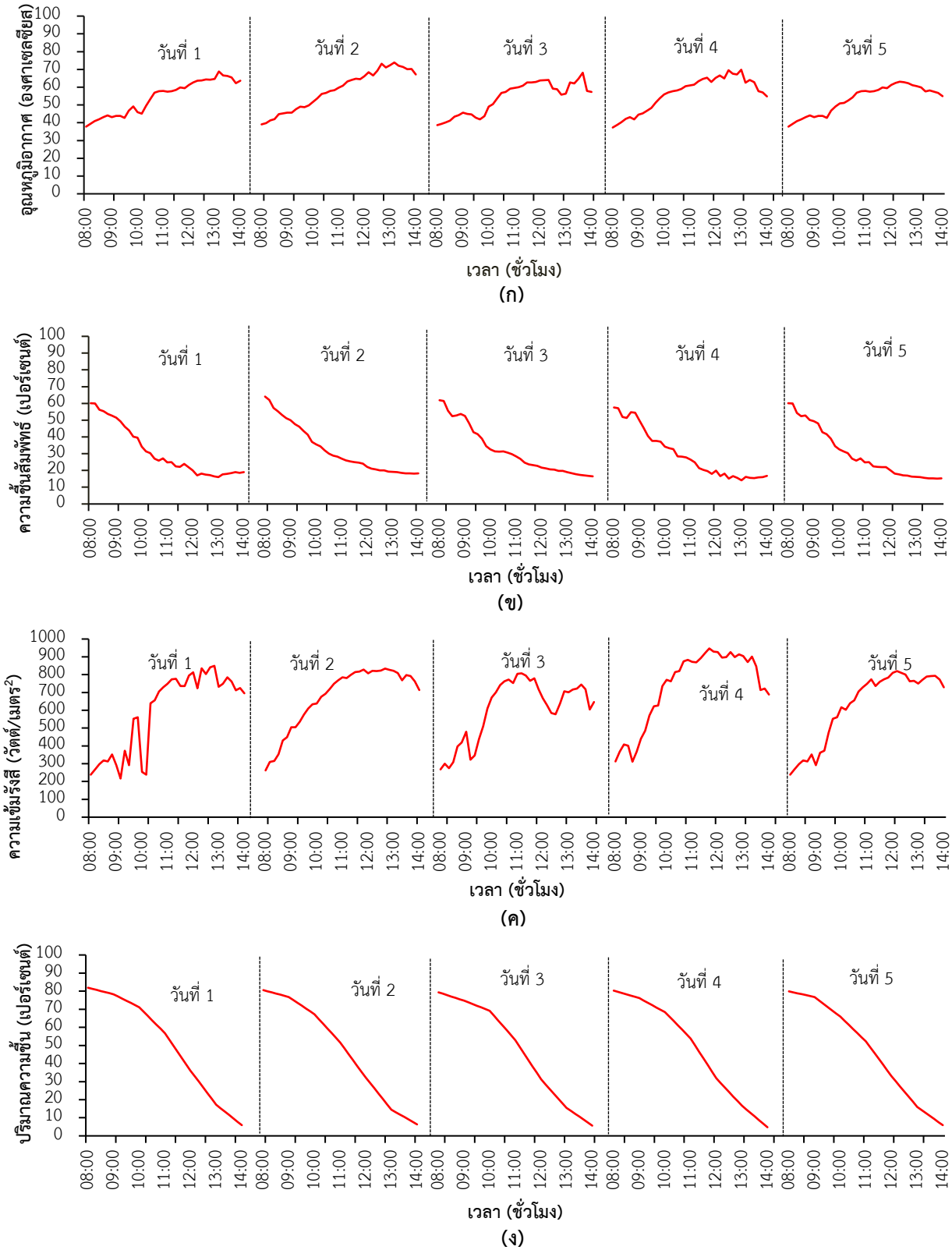
$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(M_{model,i} - M_{exp,i})^2}{N}} \tag{4}$$

$$\mathrm{MBE} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(M_{model,i} - M_{exp,i})}{N} \tag{5}$$

เมื่อ $M_{model,i}$ คือ ปริมาณความชื้นที่ได้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม $M_{exp,i}$ คือ ปริมาณความชื้นที่ได้จากการทดลอง และ N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ผลการวิจัยและอภิปราย

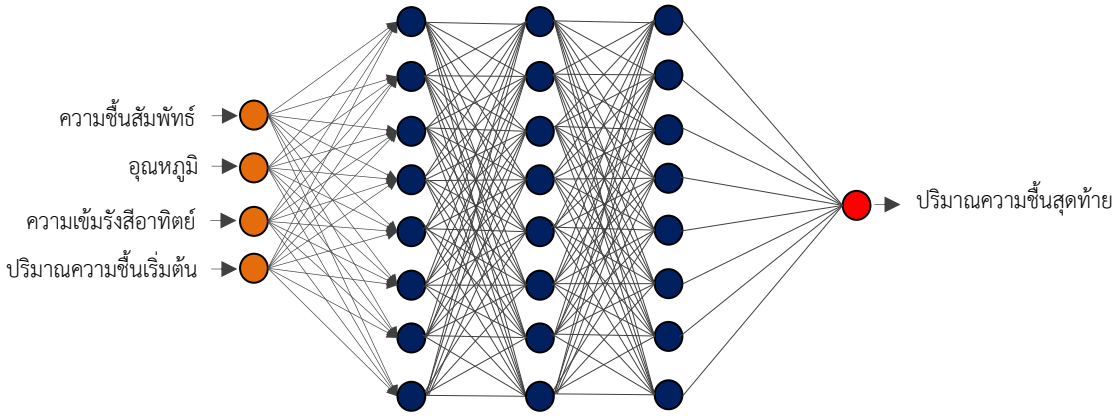
ในการทดลองหาปริมาณความชื้นของกระชายโดยทำการอบกระชายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จำนวน 5 ครั้ง ในช่วงวันที่ 1-5 พฤษภาคม 2567 และเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ความเข้มรังสีจากดวงอาทิตย์ และปริมาณความชื้นของกระชาย เพื่อนำมาใช้ในแบบจำลอง ข้อมูลที่ได้จากการทดลองแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงข้อมูลที่ใช้สำหรับฝึกสอนและทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (ก) อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้ง (ข) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในเครื่องอบแห้ง (ค) ความเข้มรังสีจากดวงอาทิตย์ (ง) ปริมาณความชื้นของกระ-ชายภายในเครื่องอบแห้ง

จากภาพที่ 4 (ก) การแปรค่าของอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 37.3˚C ค่าสูงสุดเท่ากับ 73.9˚C ช่วงเวลา 13:00 น. โดยค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งตลอดการทดลองทั้ง 5 ครั้ง เท่ากับ 55.3 ˚C เนื่องจากอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งมีค่าค่อนข้างสูง จึงส่งผลให้ในการทดลองแต่ละรอบกระชายแห้งภายในเวลาไม่เกิน 14:00 น. ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้ง ภาพที่ 4 (ข) นั้น มีค่าสูงสุดในช่วงเช้า (65 %) และมีค่าลดลงไปจนมีค่าน้อยที่สุดในช่วงบ่าย ซึ่งค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์ทั้งวันตลอดการทดลองทั้ง 5 รอบเท่ากับ 31 % โดยค่าความเข้มรังสีจากดวงอาทิตย์ในภาพที่ 4 (ค) นั้น มีการแปรค่าตามเวลาในรอบวันอยู่ในช่วง 200-950 W/m^2 [12] มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 645 W/m^2 กรณีของปริมาณความชื้นของกระชาย ดังภาพที่ 4 (ง) นั้น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 ซึ่งกระชายมีความชื้นเริ่มต้นอยู่ในช่วง 79-81 % (wb) และความชื้นสุดท้ายของกระชายมีค่าอยู่ในช่วง 4-6 % (wb) [13]

ผู้วิจัยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ปริมาณความชื้นของกระชาย โดยทำการปรับจำนวนชั้นซ่อน และจำนวนโหนดในแบบจำลอง จนกระทั่งได้จำนวนชั้นซ่อนและจำนวนโหนดที่ให้ค่าผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ผลที่ได้พบว่าจำนวนชั้นซ่อน จำนวนโหนด และรอบของการฝึกสอนที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลองในงานวิจัยนี้ คือ จำนวนชั้นซ่อน 3 ชั้น แต่ละชั้นซ่อนนั้น มี 8 โหนด โดยจำนวนการฝึกสอนทั้งหมด 100,000 รอบ ซึ่งแบบจำลองที่ได้แสดงดังภาพที่ 5 และผลการฝึกสอนและทดสอบแสดงดังตารางที่ 1

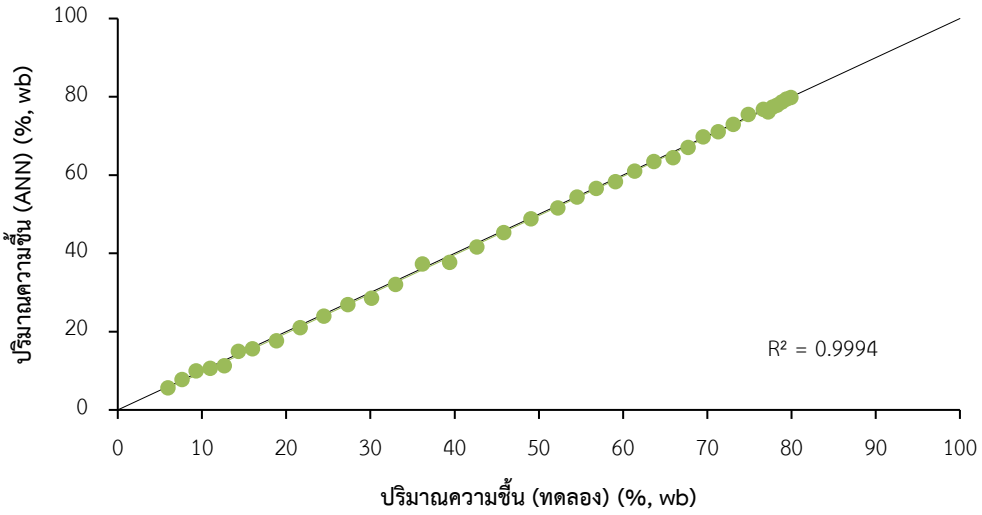


ภาพที่ 5 โครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ผู้วิจัยทำการทดสอบแบบจำลอง โดยนำข้อมูลปริมาณความชื้นที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับปริมาณความชื้นที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม (ภาพที่ 6) ผลที่ได้พบว่า ปริมาณความชื้นที่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณความชื้นที่ได้จากการทดลอง [14-15] โดยมีค่าความแตกต่างในรูปของ RMSE และMBE เท่ากับ 5.0388 และ 4.2015 ตามลำดับ

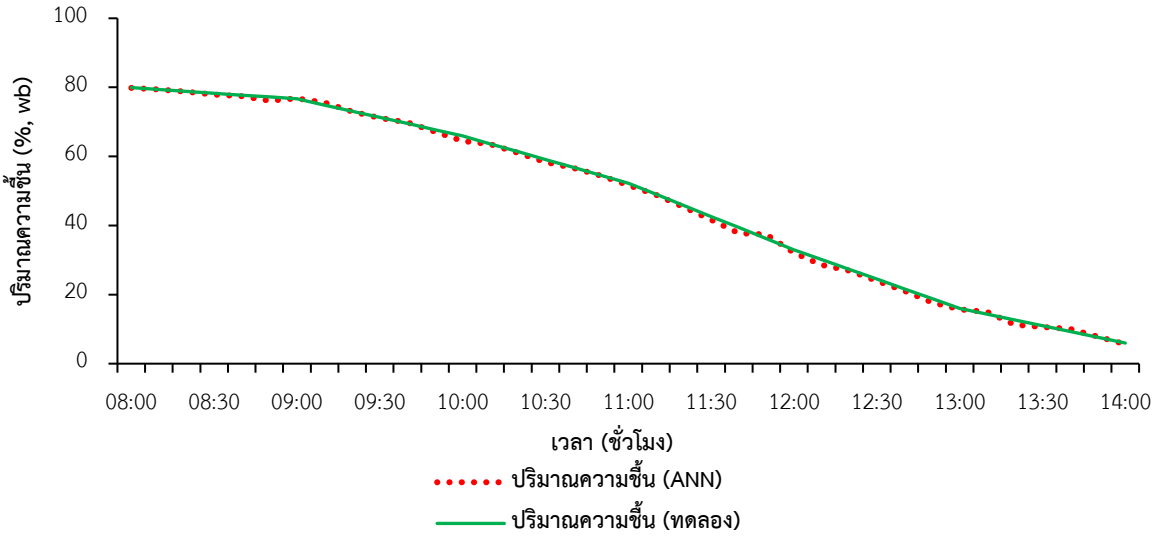
ตารางที่ 1 ข้อมูลสถิติในการฝึกสอนและทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

รูปแบบ	จำนวนชุดข้อมูล	RMSE	MBE	R^2
ฝึกสอนแบบจำลอง	148	0.9908	0.8188	0.9994
ทดสอบแบบจำลอง	37	5.0388	4.2015	0.9942



ภาพที่ 6 กราฟเปรียบเทียบปริมาณความชื้นที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (ANN)

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลปริมาณความชื้นที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมาแสดงในรูปแบบกราฟการแปรค่าปริมาณความชื้นตามเวลาในรอบวัน ในภาพที่ 7 พบว่า ปริมาณความชื้นจากแบบจำลองและจากการทดลองมีแนวโน้มลดลง โดยจากความชื้นเริ่มต้นที่ประมาณ 79 % (wb) ไปถึงความชื้นสุดท้ายประมาณ 5 % (wb)



ภาพที่ 7 กราฟการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของปริมาณความชื้นจากการทดลองและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยทำการหาความปริมาณความชื้นของกระชายโดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) ผู้วิจัยทำการทดลองทั้งหมด 5 รอบ และแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่มคือ ข้อมูลจากการทดลองในรอบที่ 1-4 ใช้สำหรับฝึกสอนแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (148 ชุดข้อมูล) และข้อมูลในการทดลองรอบที่ 5 ใช้สำหรับการทดสอบแบบจำลอง (37 ชุดข้อมูล) ในแต่ละรอบการทดลอง ผู้วิจัยเก็บบันทึกข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ อุณหภูมิอากาศ ความเข้มรังสีจากดวงอาทิตย์ และชั่งมวลของกระชายทุก 1 ชั่วโมง เพื่อนำไปหาประมาณความชื้นของกระชายจากการทดลองสำหรับใช้เป็นอินพุทในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ผู้วิจัยทำการฝึกสอนและทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และเลือกโครงสร้างของแบบจำลองที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ในงานวิจัยนี้มีจำนวน 3 ชั้นซ่อน แต่ละชั้นซ่อนมี 8 โหนด โดยจำนวนรอบในการฝึกสอนที่ให้ผลดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 100,000 รอบ และในการทดสอบแบบจำลอง ผลที่ได้พบว่าปริมาณความชื้นสุดท้ายที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม มีค่าเท่ากับ 5.65 % (wb) ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 5.97 % (wb) โดยมีค่าความแตกต่างในรูปของ RMSE และ MBE เท่ากับ 5.0388 และ 4.2015 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ K. Movagharnejad และ M. Nikzad ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 % [16] จากผลการวิจัยนี้ พบว่า แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถนำไปใช้ในการทำนายปริมาณความชื้นของกระชาย หรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ภายใต้เงื่อนไขที่ใกล้เคียงกันได้อย่างแม่นยำ

งานวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงแบบจำลองที่เหมาะสมในการทำนายสภาวะการอบแห้งของกระชาย โดยช่วยให้ผู้วิจัยหรือผู้ที่สนใจสามารถนำแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้ในการคำนวณหาค่าความชื้นสุดท้ายของกระชาย หรือผลิตภัณฑ์อื่นที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับกระชายได้ในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองอบแห้งกระชายใช้เวลาในการอบแห้งในช่วงเวลาสั้น ๆ (1 รอบใช้เวลา 6-7 ชั่วโมง/รอบ) จึงทำให้ได้จำนวนข้อมูลค่อนข้างน้อย และอาจจะยังไม่ครอบคลุมทุกเงื่อนไข จึงก่อให้เกิดความแตกต่างของค่า RMSE และ MBE ที่ได้จากการฝึกสอนและจากการทดสอบแบบจำลอง ในอนาคต อาจเพิ่มในส่วนของจำนวนครั้งและช่วงเวลาอื่น ๆ ในการทดลองให้มากขึ้น เพื่อช่วยให้แบบจำลองมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] สุภัทรา จามกระโทก, ชัยณรงค์ รัตนกรีฑากุล, ชลิดา เล็กสมบูรณ์, นวลวรรณ ฟ้ารุ่งสาง, กวิศร์ วานิชกุล และอุดม ฟ้ารุ่งสาง, “ผลของสารสกัดจากกระชาย ขมิ้นและขิงต่อราสาเหตุโรคพืชหลังการเก็บเกี่ยว,” ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42: สาขาพืช สาขาส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร,* กรุงเทพฯ, 2547, น. 521-528.

[2] S. Janjai, J. Laksanaboonsong and A. Thongsathitya, “Development of a method for generating operational solar radiation maps from satellite data for a tropical environmental,” *Solar Energy*, vol. 78, pp. 739-751, 2005.

[3] A. Funholi, K. Sopian, M. H. Ruslan, M. A. Alghoul and M. Y. Sulaiman, “Review of solar dryer for agricultural and marine products,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* vol. 14, pp. 1-30, 2010.

[4] S. Janjai, V. Khamvongsa and B. K. Ba, “Development, design and performance of a PV- Ventilated Greenhouse Dryer,” *International Energy Journal*, vol. 8, pp. 249-258, 2007.

[5] S. Janjai, N. Lamlert, P. Intawee, B. Mahayothee, B. K. Bala, M. Nagle and J. Muller, “Experimental and simulated performance of a PV-ventilated solar greenhouse dryer for drying of peeled longan and banana,” *Solar Energy*, vol. 83, pp. 1550-1565, 2009.

[6] M. V. R. Murthy, “A review of new technologies models and experimental investigations of solar dryers,” *Renewable Sustainable Energy Revolution,* vol. 13, no. 4, pp. 835-844, 2009.

[7] A. Sharma, C. R. Chen and N. V. Lan, “Solar-energy drying systems: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, pp. 1185-1210, 2009.

[8] จักรพงษ์ คำสีเขียว และสุขอังคณา ลี, “แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมในการทำนายร้อยละข้าวหักจากเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก,” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, ปีที่ 14, ฉ. 2, น. 1-10, 2555.

[9] ปฏิวัติ วรามิตร, นันทวัฒน์ วีระยุทธ และอำไพศักดิ์ ทีบุญมา, “การทำนายอัตราส่วนความชื้นการอบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้แบบจาลองเอมพีริคัลและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม,” *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มศว.,* ปีที่ 6, ฉ. 1, น. 39-47, 2554.

[10] S. Erenturk and K. Erenturk, “Comparison of genetic algorithm and neural network approaches for the drying process of carrot,” *Journal of Food Engineering*, vol. 78, pp. 905-9012, 2007.

[11] M. Tayfun, B. O. Mustafa and K. Volkan, “Determination of freeze-drying behaviors of apples by artificial neural network,” *Expert Systems with Applications*, vol. 37, pp. 7669-7677, 2010.

[12] N. Pratummasoot, P. Choosri and S. Buntoung, “Estimation of hourly near infrared radiation using artificial neural network and performance comparison with the semi-empirical model at Nakhon Pathom Province,” *Naresuan University Journal: Science and Technology*, vol. 28 no. 4, pp. 102-111, 2020.

[13] P. Nimnuan and S. Nabnean, “Solar drying of galangal slices (Alpinia galangal (linn.) Swartz.) using household solar dryer,” *Suranaree Journal of Science and Technology*, vol. 27, pp. 1-8, 2020.

[14] N. B. Khazaei, T. Tavakoli, H. Ghassemian, M. H. Khoshtaghazaa and A. Banakar, “Applied machine vision and artificial neural network for modeling and controlling of the grape drying process,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 98, pp. 205-213, 2013.

[15] S. Janjai, J. Piwsaoad, W. Nilnont and P. Pankaew, “Experimental performance and neuron network modeling of a large-scale greenhouse solar dryer for drying natural rubber sheets,” *Journal of Control Science and Engineering*, vol. 1, pp. 48-53, 2015.

[16] K. Movagharnejad and M. Nikzad, “Modeling of tomato drying using artificial neural network,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 59, no. 1-2, pp. 78-85, 2007.