

ปัจจัยทางฟิสิกส์ที่มีผลต่อการอบแห้งลำไย PHYSICAL FACTORS AFFECTING LONGAN DRYING

จักรพรรณ์ ผิวสอาด

Jagravan Piwsaoad

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอผลการทดลองของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอบแห้งลำไย เครื่องอบแห้งประกอบด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนตปิดคลุมบนพื้นคอนกรีต เครื่องอบแห้งมีความกว้าง 9 เมตร ยาว 24 เมตร และสูง 4 เมตร มีพัดลม DC 15-W จำนวน 9 ตัว ให้พลังงานโดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ 50 วัตต์ 2 ตัว เพื่อระบายอากาศในเครื่องอบแห้ง การตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งลำไย โดยทำการทดลอง 12 ชุดการทดลอง การทดลองแต่ละชุดใช้ลำไย 1,000 กิโลกรัม ในเครื่องอบแห้ง ผลที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในการอบแห้งมีการแปรค่าตั้งแต่ 32 ถึง 65°C เวลาในการอบแห้งลำไยคือ 5 วันเทียบกับการตากแดดตามธรรมชาติ 7 วัน ที่ต้องใช้ในการอบแห้งลำไย ลำไยอบแห้งในเครื่องอบแห้งได้รับการปกป้องอย่างสมบูรณ์จากฝนและลำไยที่ได้มีคุณภาพสูง นอกจากนี้ทำการศึกษาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ หาผลเฉลี่ยเชิงตัวเลขดังกล่าวโดยใช้โปรแกรมภาษา C++ ผลการทดลองพบว่าปริมาณความชื้นของลำไย คำนวณจากแบบจำลองสอดคล้องกับผลการวัด มีค่า RMSD เท่ากับ 4.9% และ R^2 เท่ากับ 0.9731

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ปัจจัยทางฟิสิกส์ ลำไย

คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย อำเภอเมือง จังหวัดเลย 42000

Faculty of Education, Loei Rajabhat University, Mueang district, Loei Province 42000

corresponding author e-mail: Jagravan25@gmail.com

Received: 1 August 2021; Revised: 4 October 2021; Accepted: 5 October 2021

DOI: <https://doi.org/10.14456/lsej.2021.15>

Abstract

This work presents experimental performance of a solar dryer for drying longans. The dryer consists of a polycarbonate sheet covered on a concrete floor. The dryer is 9 m in width, 24 m in length and 4 m in height. Nine 15-W DC fans powered by two 50-W PV modules were used to ventilate the dryer. To investigate its performance, the dryer was used to dry twelve batches of longans. For each batch, 1,000 kilograms of longans were dried in the dryer. Results obtained from the experiments showed that drying temperatures varied from 32°C to 65°C. The drying time for drying longans was 5 days, compared to 7 days required for natural sun drying. Longans dried in the dryer were completely protected from rain and high-quality longans were obtained. In addition, A study of the neural network model of the solar dryer. Numerical solutions were obtained using C⁺⁺ programming. The results showed that the moisture content of longan calculated from the model corresponds to the measurement result. The RMSD value was 4.9% and the R² was 0.9731.

Keywords: Solar dryer, Physical factors, Longan

บทนำ

ในเดือนมีนาคม ปี พ.ศ. 2563 ที่ผ่านมามีเกิดการระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 (Covid-19) ส่งผลให้เกษตรกรไม่สามารถทำกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับผู้คนที่มีความหนาแน่นมาก ๆ ได้ รวมถึงการค้าขาย แต่ในขณะที่ผลิตผลทางการเกษตรถึงเวลาเก็บเกี่ยวแต่ไม่สามารถนำออกมาจำหน่ายได้ส่งผลเสียต่อเกษตรกรเป็นอย่างมาก ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าว ตลอดระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมา มีนักวิจัยได้ทำการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์หลากหลายประเภท (Janjai et al., 2005; Janjai et al., 2008; Janjai et al., 2009; Janjai et al., 2014) เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ลมร้อน (Hot Air Tunnel) อบแห้งลำไยใช้เวลา 5 วัน (Tanwanichkull & Suriyasupapong, 2021) จากการศึกษาพบว่า เครื่องอบแห้งมีรูปแบบ และขนาดที่แตกต่างกันออกไป ผลของการอบแห้งพบว่าผลผลิตที่ผ่านการอบแห้งมีคุณภาพดีเป็นที่ต้องการของตลาดและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ผู้วิจัยได้รับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกขนาดใหญ่จากกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ติดตั้งที่บ้านผาอินทร์แปลง ตำบลผาอินทร์แปลง อำเภอเอราวัณ จังหวัดเลย เป็นเครื่องอบมีขนาดใหญ่สามารถอบผลผลิตได้ทีละมาก ๆ ถ้าเกษตรกรที่มีผลผลิตน้อยก็สามารถรวมกันอบพร้อมกันได้ ด้วยเหตุนี้จึงสามารถตอบสนองความต้องการในการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรในช่วงเวลาวิกฤติ (เกิดการระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 (Covid-19)) เช่นนี้ได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงเสนอที่ทำการทดลองอบแห้ง

ผลิตผลทางการเกษตร โดยเลือกผลิตผลทางการเกษตรเป็นลำไยในพื้นที่จังหวัดเลย เนื่องจากในช่วงที่ทำการทดลองเกษตรกรไม่สามารถออกมาจำหน่ายลำไยได้ ทำให้เกิดการเน่าเสียและไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน ส่งผลให้เกิดความเสียหายอย่างมากต่อเกษตรกร ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะแก้ปัญหาเพื่อเพิ่มมูลค่าของลำไย โดยทำการอบแห้ง และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งของเครื่องอบแห้งดังกล่าวอันได้แก่ ความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศของเครื่องอบแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ อัตราการไหลของอากาศ เป็นต้น และสุดท้ายผู้วิจัยทำการศึกษาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอบแห้งลำไย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การติดตั้งเครื่องมือการทดลอง

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกขนาดใหญ่ ติดตั้งที่บ้านผาอินทร์แปลง ตำบลผาอินทร์แปลง อำเภอเอราวัณ จังหวัดเลย ดังแสดงในภาพที่ 1 (Figure 1)



Figure 1 Solar dryer

เครื่องอบแห้งมีลักษณะเป็นหลังคารูปโค้งซึ่งปิดคลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอนเนต และติดตั้งบนพื้นคอนกรีต เครื่องอบแห้งดังกล่าวมีความกว้าง 9 เมตร ยาว 24 เมตร และสูง 4 เมตร โดยติดตั้งพัดลมขนาด 15 วัตต์ จำนวน 9 ตัว ใช้พลังงาน ไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 50 วัตต์ 2 ตัว สำหรับใช้ระบายอากาศ ติดตั้งอยู่บริเวณด้านบนของเครื่องอบแห้ง ลำไยอบแห้งในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก ดังแสดงในภาพที่ 2 (Figure 2)



Figure 2 Longan drying

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง ใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ เครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ (pyranometer) แบบเทอร์โมไพล์ (thermopile) (ยี่ห้อ Kipp & Zonen รุ่น CMP3 ประเทศสหรัฐอเมริกา) มีความถูกต้อง (accuracy) $\pm 0.50\%$ สายเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (K-type thermocouple) (ยี่ห้อ APPA รุ่น APPA 55 ประเทศไต้หวัน) มีความถูกต้อง (accuracy) $\pm 0.50\%$ สำหรับวัดอุณหภูมิอากาศในเครื่องอบแห้ง เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ (hygrometer) (ยี่ห้อ Testo รุ่น 635 ประเทศเยอรมนี) มีความถูกต้อง (accuracy) $\pm 2.00\%$ สำหรับวัดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล (ยี่ห้อ TANITA รุ่น KD-200 ประเทศญี่ปุ่น) มีความถูกต้อง (accuracy) $\pm 1\%$ ตู้อบไฟฟ้า (ยี่ห้อ Memmert GMBH รุ่น ULE500 ประเทศญี่ปุ่น) มีความถูกต้อง (accuracy) $\pm 0.50\%$ สำหรับหามวลแห้งของลำไย การทดลองเริ่มจากชั่งมวลเริ่มต้นของลำไย ที่ต้องการอบแห้ง และมวลของลำไยตัวอย่าง (sample) เตรียมเข้าเครื่องอบแห้ง 6 ตะกร้า ๆ ละ 200 กรัม นำไปวางบนตะแกรงในเครื่องอบแห้ง และตัวอย่างอีก 1 ตะกร้าวางนอกเครื่องอบแห้งจากนั้นทำการชั่งมวลของตัวอย่างทั้งที่อยู่ในเครื่องอบแห้ง และที่อยู่ด้านนอกเครื่องอบแห้งทุก ๆ 1 ชั่วโมง ส่วนความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ทำการวัดทุก ๆ 10 นาที ทำการวัดจนกว่าปริมาณความชื้นลำไยจะลดลงจนคงที่ จากนั้นนำลำไยตัวอย่างทั้ง 7 ตะกร้าไปอบในตู้อบ (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อหามวลแห้ง ในงานวิจัยนี้ทำการอบแห้งลำไยทั้งหมด 12 ชุดการทดลอง ใช้ลำไยชุดการทดลองละ 1,000 กิโลกรัม หาค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์จะใช้สมการ

$$M_{(w)} = \frac{m_{(t)} - m_{(d)}}{m_{(o)}} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ	$M_{(w)}$	คือความชื้นมาตรฐานเปียกที่เวลาใดๆ, [% wb]
	$m_{(t)}$	คือมวลของผลิตภัณฑ์ที่เวลาใด ๆ, [kg]
	$m_{(d)}$	คือมวลแห้งของผลิตภัณฑ์, [kg]
	$m_{(o)}$	คือมวลเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์, [kg]

เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มรังสีอาทิตย์กับเวลา ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศกับเวลา อุณหภูมิของอากาศในเครื่องอบแห้งกับเวลา และปริมาณความชื้นของลำไยกับเวลา

2. วิธีการศึกษาโครงข่ายประสาทเทียมจำลองการอบแห้ง

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยดำเนินการสร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณค่าปริมาณความชื้นของลำไยโดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังนี้

2.1 ออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (multilayer perception)

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (multilayer perception) และใช้การเรียนรู้แบบแพร่กลับ (back propagation algorithm) ในการสร้างแบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลอินพุตให้กับแบบจำลอง โดยข้อมูลอินพุตให้กับโครงข่ายประสาทเทียมมี 5 ตัวแปรคือ รังสีอาทิตย์ (solar radiation) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (relative humidity) อุณหภูมิอากาศ (air temperature) อัตราการไหลของอากาศ (airflow rate) และความชื้นเริ่มต้น (initial moisture content) ส่วนเอาต์พุตคือ ความชื้นสุดท้าย (final moisture content) ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการคำนวณค่า แบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (multilayer perception) (Janjai et al., 2009; Piwsaod & Phusampao, 2016) มีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 3 (Figure 3)

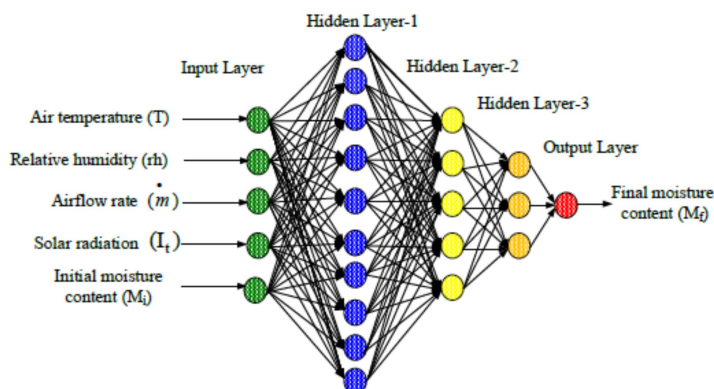


Figure 3 Multilayer perception

2.2 การเตรียมข้อมูลฝึกสอน (training pairs data) และข้อมูลทดสอบ (testing data)

ผู้วิจัยจะทำการทดลองทั้งหมด 12 ครั้ง และใช้ข้อมูลจากการทดลองทั้งหมด 12 ชุด การทดลองเป็นข้อมูลในการฝึกสอนคือข้อมูลการทดลองครั้งที่ 1-10 ส่วนข้อมูลการทดลองครั้งที่ 11 และ 12 ใช้เป็นข้อมูลในการทดสอบ ซึ่งข้อมูลที่จะนำมาทดสอบต้องเป็นข้อมูลที่อยู่ในช่วงเดียวกันกับข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนด้วย ข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนมีดังนี้ รังสีอาทิตย์ (solar radiation) ความชื้น

สัมพัทธ์ (relative humidity) อุณหภูมิอากาศ (air temperature) อัตราการไหลของอากาศ (airflow rate) และความชื้นเริ่มต้น (initial moisture content) ซึ่งสอดคล้องกัน จากนั้นนำข้อมูลมาจัดเรียงลงในโปรแกรม excel ขั้นตอนต่อไปคือการฝึกสอนแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้โปรแกรมที่เขียนจากภาษา C⁺⁺

2.3 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง อันได้แก่ ปริมาณความชื้นที่ได้จากการทดลองทั้งหมด ของตัวอย่างที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในเครื่องอบแห้ง และปริมาณของความชื้นที่ตำแหน่งภายนอกเครื่องอบแห้ง มาทำการหาความสัมพันธ์ ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้สถิติ 2 ตัวคือ RMSD, R^2 โดยมีสมการเป็นดังนี้ (Piwsaoad & Phusampao, 2016; Piwsaoad & Phusampao, 2016; Piwsaoad, 2019; Piwsaoad, 2019; Piwsaoad & Phusampao, 2021)

$$R^2 = \frac{1 - \text{Residual sum of squares}}{\text{Corrected total of squares}} \quad (2)$$

$$RMSD = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_{meas,i} - X_{model,i})^2}{N}}}{\frac{\sum_{i=1}^N X_{meas,i}}{N}} \times 100\% \quad (3)$$

RMSD คือ รากที่สองของค่าเฉลี่ยความแตกต่างยกกำลังสอง (ค่าสัมพัทธ์) (%)

$X_{model, i}$ คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง ข้อมูลชุดที่ i

$X_{meas, i}$ คือ ค่าที่ได้จากการวัดของข้อมูลชุดที่ i

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ผลการวิจัย

1. ผลของการอบแห้ง

ผลการทดลองปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งลำไย อันได้แก่ ความเข้มข้นของสารเคมี อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ พบว่าได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4-7 (Figure 4-7)

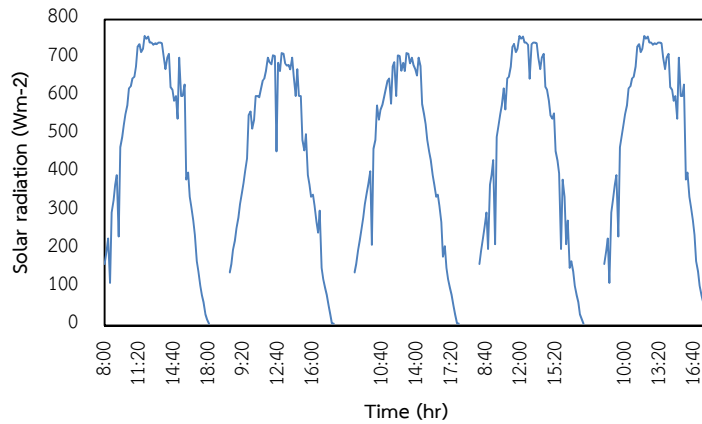


Figure 4 Solar radiation

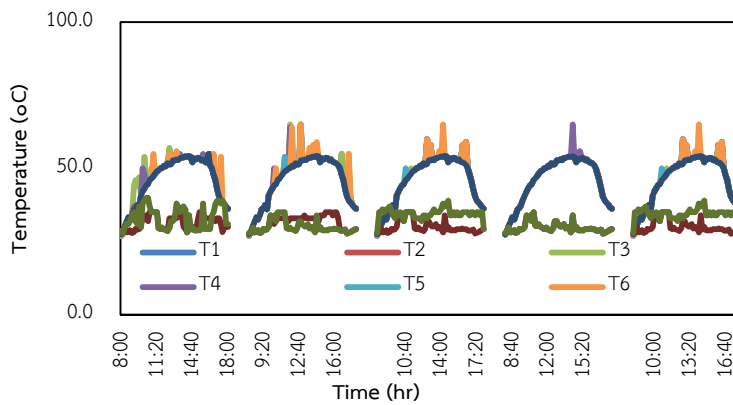


Figure 5 Temperature

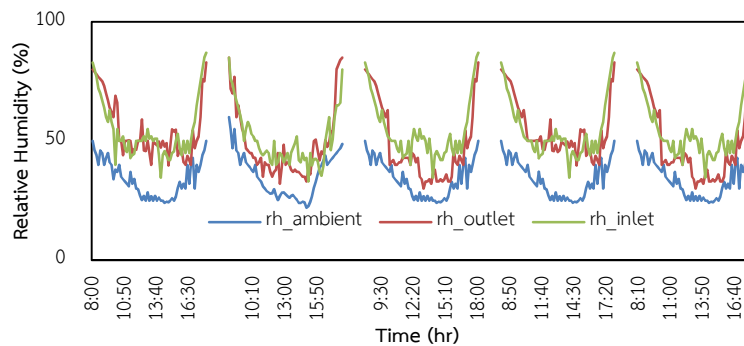


Figure 6 Relative humidity

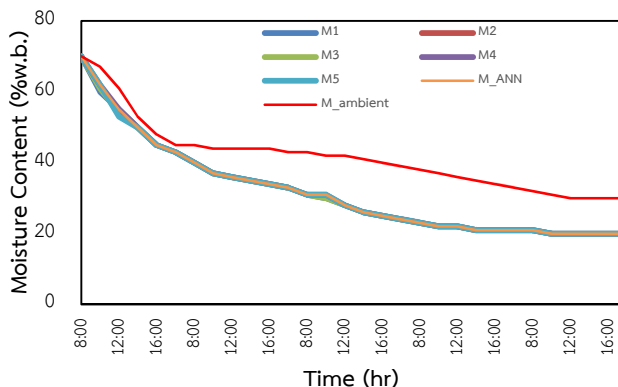


Figure 7 Moisture content

ผลการทดลองพบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าตั้งแต่ 9 Wm^{-2} ถึง 770 Wm^{-2} อุณหภูมิอากาศในเครื่องอบแห้งมีค่าตั้งแต่ 32°C ถึง 65°C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าตั้งแต่ 18% ถึง 85% ความเร็วลมของเครื่องอบแห้งที่ใช้ระบายอากาศและความชื้น ผู้วิจัยได้หาค่าออกมาเป็นอัตราการไหลของอากาศ มีค่าตั้งแต่ 20 ถึง $1,800 \text{ m}^3/\text{s}$ และปริมาณความชื้นของลำไยมีค่าเริ่มต้น 70% (w.b.) ลดลงเหลือ 25% (w.b.) ในเวลา 5 วัน

2. ผลของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกสำหรับลำไย โดยทำการทดลองทั้งหมด 12 ครั้งใช้ข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอน 10 ชุดการทดลอง และใช้ข้อมูลชุดที่ 11 และ 12 เป็นชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ ในการฝึกสอนจะใช้ Iteration=1,000,000 รอบ ผลการทดสอบมีค่า Root Mean Square Difference (RMSD) เท่ากับ 4.9% และ R^2 เท่ากับ 0.9731

อภิปรายผล

จากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการอบแห้งลำไยพบว่า ในการอบแห้งลำไยจะใช้เวลาในการอบแห้งอย่างน้อย 5 วัน ในงานวิจัยนี้ก็เช่นเดียวกัน พบว่าการลดลงของปริมาณความชื้นของลำไยค่อย ๆ ลดลง ใช้เวลาในการอบแห้ง 5 วัน ใช้เวลาน้อยกว่าการตากแดดตามธรรมชาติ 2 วัน นั้นหมายความว่าเมื่อทำการอบแห้งลำไยโดยวิธีการตากแดดตามธรรมชาติต้องใช้เวลา 7 วัน จากเส้นกราฟการลดลงของความชื้นของลำไยที่ตำแหน่งต่าง ๆ มีความแตกต่างเท่ากับ 2% (w.b) ในช่วงสุดท้ายได้ค่าความชื้นเกือบเท่ากัน แสดงว่าอัตราการแห้งของลำไยที่ตำแหน่งต่าง ๆ ค่อนข้างสม่ำเสมอ เมื่อเปรียบเทียบกับ การตากแดดธรรมชาติ ค่าความชื้นลดลงช้ากว่า และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยการอบแห้งลำไยอื่น ๆ พบว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งใกล้เคียงกัน แต่เครื่องอบแห้งนี้มีความจุมากกว่า ผู้วิจัยได้สังเกตเห็นว่าการอบแห้งลำไยสามารถใช้เวลาน้อยลงได้โดยใช้แหล่งความร้อนอื่น ๆ มาเสริม เช่น LPG แก๊สเบียร์นเนอร์ หรือ biomass จะได้ทดลองใช้ระบบความร้อนเสริมดังกล่าวในงานวิจัยในอนาคต

สรุปผลการวิจัย

ผลจากการวัดพบว่า ความเข้มรังสีอาทิตย์ในการทดลองทั้ง 10 ครั้งพบว่ามีความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุดประมาณ $650\text{--}770\text{ W/m}^2$ ในช่วงที่ทำการทดลองท้องฟ้ามีเมฆมากและมีฝนตกในการอบครั้งที่ 4 (23-27 มิถุนายน พ.ศ. 2563) ทำให้ความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าต่ำลง $50\text{--}120\text{ W/m}^2$ มีความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุดประมาณ 650 W/m^2 ส่งผลให้อุณหภูมิมีค่าต่ำด้วย ส่วนครั้งที่ 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 ท้องฟ้าปราศจากเมฆทำให้ความเข้มรังสีอาทิตย์แปรไปตามช่วงเวลาของวัน มีความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุดประมาณ $750\text{--}770\text{ W/m}^2$

ปริมาณความชื้นที่ได้จากการทดสอบโดยโครงข่ายประสาทเทียมมีความสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวัด และมีค่า root mean square difference (RMSD) เท่ากับ 4.9% และ R^2 เท่ากับ 0.9731 และพบว่าแบบจำลองดังกล่าวสามารถทำนายความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้ดี โดยมีสมรรถนะใกล้เคียงกับการสร้างแบบจำลองการอบแห้งลำไยในปริมาณมาก ๆ ควรมีแหล่งความร้อนเสริม เพื่อช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้ง และจากการศึกษาพบว่าในการอบแห้งลำไยสด 10 กิโลกรัม จะได้ลำไยอบแห้ง 1 กิโลกรัม ลำไยอบแห้งเกรด A ราคาขายกิโลกรัมละ 350-500 บาท

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศาสตราจารย์ ดร.เสริม จันทรฉาย อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ซึ่งให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำในด้านวิชาการ และขอขอบคุณ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ และศูนย์วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏเลยที่สนับสนุนเครื่องมือในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Janjai S, Lamler N, Intawee P, Mahayothee B, Bala BK, Nagle M, Muller J. Experimental and simulated performance of a PV-ventilated solar greenhouse dryer for drying of peeled longan and banana. *Solar Energy* 2009;(83):1550-1565.
- Janjai S, Laksanaboonsong J, Nunez M, Thongsathitya A. Development of a method generating operational solar radiation maps from satellite data for a tropical environment. *Solar Energy* 2005;(78):739-751.
- Janjai S, Khamvongsa V, Bala BK. Development design and performance of a PV-Ventilated greenhouse dryer. *International Energy Journal* 2008;(8):249-258.
- Piwsaoad J, Phusampao C. Performance of a small-scale greenhouse solar dryer for drying long peppers of ban khokamin community enterprise loei province Thailand. *Journal of Science and Technology* 2016;8(2):268-274.
- Piwsaoad J, Phusampao C. Heat transfer modelling of a greenhouse solar dryer for drying long pepper. *Journal of Science and Technology* 2016;8(3):364-377.

- Piwsaoad J. Experimental performance and mathematical modeling of a large-scale greenhouse solar dryer for drying orchids at Kanchanaburi Province Thailand. *Journal of Science and Technology* 2019;11(2):35-44.
- Piwsaoad J. Hybrid solar dryer for drying pineapples of raimoung community enterprise, Loei Province, Thailand. *Life Sciences and Environment Journal* 2019;20(1):97-110.
- Piwsaoad J, Phusampao C. Factors affecting mangos drying. *Journal of Science and Technology* 2021;13(2):80-85.
- Tanwanichkul B, Suriyasupapong N. Mathematical modeling of thin-layer drying of Longan in Hot Air Tunnel. *KKU Research Journal (Graduate Studies)* 2021;21(3):1-12.