

ประสิทธิภาพของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จากปล่องลมพลังงานแสงอาทิตย์

ร่วมกับระบบอบแห้งโดยตรง

**The Efficiency of the Solar Drying System from the Solar Chimney and the Direct
Drying System**

¹*พงษ์ศักดิ์ จิตตบุตร, ¹ณัฐชา สุขสวน, ¹วันทนา ศิลปะวิลาวัณย์, และ ²วันวิสาข์ สุขสำราญ

¹*Pongsak Jittabut, ¹Nutchaya Suksuan, ¹Wanthana Silpawilawan, and ²Wanwisa
Suksumran

¹สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

¹Physics Program, Nakhon Ratchasima Rajabhat University

²หลักสูตรเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

²Food Science and Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University

*ผู้นิพนธ์หลัก: pongsak.ey@gmail.com

*Corresponding author: pongsak.ey@gmail.com

Received : 2020-10-30

Revised : 2020-12-13

Accepted : 2020-12-25

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จากปล่องลมพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบอบแห้งโดยตรง โดยมีการออกแบบและสร้างระบบปล่องลมแดดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เมตร และหลังคาจับแสงอาทิตย์มีพื้นที่ 10 ตารางเมตร ตรวจวัดอุณหภูมิบริเวณหลังคาจับแสงอาทิตย์, อุณหภูมิภายในตู้อบ, วัดความชื้นแสงอาทิตย์ และวัดความเร็วลมบริเวณทางออกของปล่อง เป็นต้น ทำการเก็บข้อมูลการทดลองทุก ๆ 1 ชั่วโมง รวม 9 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 3 วัน ผลการทดลองพบว่าปล่องลมแดดมีความเร็วลมเฉลี่ย 0.6 เมตรต่อวินาที, มีค่าความชื้นรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 879.4 วัตต์ต่อตารางเมตร, ประสิทธิภาพหลังคาจับแสงอาทิตย์เฉลี่ยร้อยละ 80.61, ประสิทธิภาพปล่องลมเฉลี่ยร้อยละ 13.29, ประสิทธิภาพเชิงความร้อนการอบแห้งเฉลี่ยร้อยละ 11.49 และประสิทธิภาพรวมทั้งหมดมีประสิทธิภาพร้อยละ 1.16 และจากการเปรียบเทียบผลการทดลองกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Midilli และ ของ Logarithmic มีความเหมาะสมในการทำนายการอบแห้งกล้วยได้ดีที่สุดโดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9879 และ 0.9869 ตามลำดับ ดังนั้นระบบ

อบแห้งใช้พลังงานอาทิตย์ร่วมกับระบบปล่องลมแดดสามารถลดระยะเวลาของการอบแห้งลดลง
และสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานจริงได้

คำสำคัญ: อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, ความชื้น, ปล่องลมแดด, กลัวย่น้ำว่า

Abstract

This research aimed to study the efficiency of solar chimney drying system in conjunction with the direct drying system. The design and construction of a solar chimney system with a diameter of 4 m and a solar roof has an area of 10 square meters. Measure the solar roof temperature, the temperature inside the incubator, measure the solar intensity and air velocity was measured at the outlet of the chimney, etc. The experiment data was collected every 1 hour for a total of 9 hours per day for 3 days. The solar roof has an area of 10.18 square meters. The temperature inside the cabinet area Measure solar intensity and measure the wind speed at the exit of the vent. The data is collected every 1 hour for a total of 9 hours per day for 3 days. The results showed that the chimney had an average wind speed of 0.6 m/s, the average solar radiation intensity of 879.4 watts per square meter, the average solar roof efficiency of 80.61%, the average efficiency of the chimney 13.29%. The average heat drying rate was 11.49% and the total efficiency was 1.16%. The comparison of the experimental results with the mathematical models of Midilli and Logarithmic were suitable for the best prediction of banana drying with correlation coefficients of 0.9879 and 0.9869, respectively. Therefore, the drying system using solar energy in combination with the chimney system can reduce the drying time and can be applied for practical application.

Keyword: Solar drying, Moisture Content, Solar chimney, Cultivated banana

บทนำ

เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ในปัจจุบันมีการใช้กันอยู่ทั่วไป ทั้งในครัวเรือนและอุตสาหกรรมทางการเกษตรขนาดเล็ก เนื่องจากความสะดวกและมีค่าใช้จ่ายในการทำค่อนข้างประหยัด ลงบนพื้นผิวที่แสงอาทิตย์ส่องถึง โดยทั่วไปเทคโนโลยีการอบแห้งจะเหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่อากาศร้อน และแห้ง อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์จะมีข้อดีที่สำคัญ คือ เทคโนโลยีการอบแห้ง เป็นวิธีที่ไม่มีสิ่งเจือปนติดมากับอากาศ และควบคุมคุณภาพอาหารให้ถูกสุขลักษณะ ปราศจากสิ่งสกปรก เช่นฝุ่น หรือการรบกวนจากสัตว์ เช่น แมลงวัน แต่ยังมีข้อด้อยบางประการ เช่น มีระยะเวลาการอบแห้ง ค่อนข้างนานและไม่สามารถควบคุมคุณภาพในการอบแห้งได้ และสภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวยในฤดู ฝนจะไม่สามารถอบแห้งได้ ทำให้การใช้งานความร้อนจากแสงอาทิตย์ยังไม่สามารถทำได้อย่างเต็ม ประสิทธิภาพ ปัจจุบันมีระบบที่มาช่วยในการอบแห้งให้มีประสิทธิภาพนั้นมีหลากหลายด้วยกัน โดยเฉพาะระบบปล่องแสงอาทิตย์ (Solar chimney) โดยการใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์มาอุ่นอากาศ ภายใต้อาคารรับแสงอาทิตย์ภายใต้อาคารโปร่งใสให้ โดยระบบปล่องแสงอาทิตย์จะมีหลักการแบบ ปรากฏการณ์เรือนกระจก โดยอากาศร้อนจะลอยตัวสูงขึ้นในปล่องลมตามหลักการพาความร้อน ธรรมชาติ โดยอากาศที่ลอยตัวเคลื่อนด้วยความเร็วระดับหนึ่งขึ้นสู่ปล่อง ข้อเสียของระบบนี้คือต้องสร้าง เป็นระบบขนาดใหญ่เท่านั้นและต้องการสร้างพื้นที่เรียบไม่สามารถสร้างในพื้นที่ลาดชันได้ ประพันธ์พงษ์ สมศิลา (2560) ได้ทำการวิจัยการอบแห้งพลังงานร่วมระหว่างการอบแห้งโดยตรงและปล่องแสงอาทิตย์ แบบลมร้อน โดยพบว่าปล่องแสงอาทิตย์สามารถเพิ่มอัตราการไหลของอากาศสำหรับการอบแห้ง โดยตรงและสามารถเพิ่มอัตราการอบแห้งได้ เมื่อความชื้นของอากาศภายนอกต่ำกว่าความชื้นวัตถุดิบ โดยในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา มีผลผลิตทางการเกษตรค่อนข้างมากและหลากหลาย โดยกล้วยในปิ่นนี้มี ผลผลิตที่ค่อนข้างมากทำให้ความต้องการของตลาดลดลงทำให้ราคาตกต่ำ จึงทำให้รายได้ของเกษตรกร ลดลงไปด้วย โดยส่วนใหญ่นั้นผลผลิตทางเกษตรที่ได้จะเกิดการเน่าเสียได้ง่ายเพราะมีความชื้นค่อนข้าง สูง ทำให้เกิดเชื้อราต่างๆ ด้วยความจำเป็นที่ต้องทำวัตถุดิบให้มีประสิทธิภาพ จึงต้องหาวิธีที่เหมาะสมใน การถนอมอาหาร

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นระบบร่วมระหว่างระหว่างอบแห้งโดยตรงและปล่องแสงอาทิตย์เพื่อใช้ ในการอบแห้งกล้วยซึ่งเป็นการถนอมอาหารโดยการตากแห้งเพื่อลดความชื้นของวัตถุดิบและเพื่อศึกษา ประสิทธิภาพของระบบอบแห้งพลังงานร่วมจากระบบป้องกันลมแดดกับระบบอบแห้งโดยตรงและเพื่อ นำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กทำให้ประหยัดเวลาในการตากแห้งและผู้บริโภคก็จะได้ รับประทานวัตถุดิบที่มีความสะอาดปลอดภัยถูกสุขลักษณะอนามัยอีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบอบแห้งพลังงานร่วมจากระบบปล่อยลมแดดกับระบบอบแห้งโดยตรง
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระบบอบแห้งพลังงานร่วมจากระบบปล่อยลมแดดกับระบบอบแห้งโดยตรง
3. เพื่อศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการทำนายการอบแห้งของระบบอบแห้งพลังงานร่วมจากระบบปล่อยลมแดดกับระบบอบแห้งโดยตรง

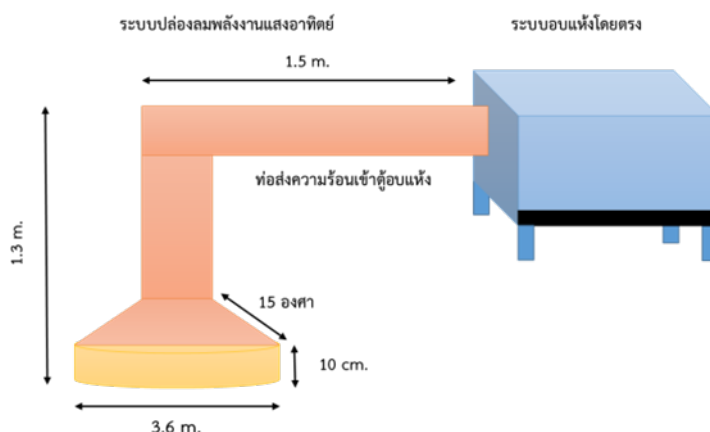
วิธีการวิจัย

ขอบเขตของโครงการ

1. หาค่าประสิทธิภาพของระบบอบแห้งพลังงานร่วมจากระบบปล่อยลมแสงอาทิตย์กับระบบอบแห้งโดยตรง ได้แก่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนการอบแห้ง ประสิทธิภาพของหลังคารับแสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพของปล่อง สมรรถนะของปล่องลมแดดและประสิทธิภาพของระบบรวมทั้งหมด
2. ปัจจัยที่ศึกษา คือ ความเข้มแสงอาทิตย์ ความเร็วลม อุณหภูมิของปล่อง อุณหภูมิภายในตู้อบ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และอุณหภูมิภายใต้หลังคาหลังคาหลังคารับแสงอาทิตย์ เป็นต้น
3. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง คือ กล้วย ประมาณ 10 กิโลกรัมโดยทำให้กลุ่มตัวอย่างมีลักษณะลูกเต๋ารูขนาด 1×1 ลูกบาศก์เซนติเมตร
4. เก็บข้อมูลทุก ๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 08.00 – 17.00 น.

การเตรียมการวิจัย

- 1) ศึกษาหลักการทำงานของระบบแห้งโดยตรงและปล่อยลมพลังงานแสงอาทิตย์
- 2) ออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบของระบบอบแห้งพลังงานร่วม โดยปล่อยลมพลังงานแสงอาทิตย์มีความกว้างเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เมตร ช่องลมเข้าจากพื้นมีความสูงประมาณ 10 เซนติเมตร ความสูงจากช่องลมจนถึงทางเชื่อมเข้าระบบอบแห้งโดยตรงมีความสูงประมาณ 1.3 เมตร และใช้สังกะสีที่ทาสีดำแล้วรองพื้นเพื่อดูดความร้อนจากพื้นเข้าสู่ท่อพีวีซีขนาด 5×2.5 นิ้ว เพื่อพาความร้อนเข้าสู่ตู้อบแห้งดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แบบโครงสร้างของระบบอบแห้งพลังงานร่วม

ขั้นการทำวิจัย

1) การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย วัสดุที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ กล้วยน้ำว่าดิบ จำนวน 10 กิโลกรัม หั่นให้มีลักษณะลูกเต๋ารูขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วนำไปแช่น้ำเกลือ จากนั้นนำกล้วยที่หั่นแล้วตากให้เสด็จน้ำ นำใส่ถุงซีลไล่อากาศแล้วนำไปแช่ตู้เย็น ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การเตรียมวัสดุเพื่อนำไปอบแห้ง

2) การสร้างระบบรวมอบแห้งระหว่างปล่อยลมแดดและระบบอบแห้งโดยตรง

โดยขั้นตอนการสร้างนั้นจะเริ่มจากการนำสังกะสีแผ่นเรียบมาติดต่อกันโดยให้มีความกว้าง 4 เมตร และความยาว 4 เมตร จากนั้นทำการทาสีดำลงบนสังกะสี รอจนสีแห้งแล้วนำปากกาหรือดินสอมาวาดรูปวงกลมบนสังกะสีโดยให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เมตร แล้วจึงตัดตามแบบที่วาดไว้ จากนั้นตัดท่อพีวีซี 2 ท่อนโดยท่อนแรกมีความยาวขนาด 1.2 เมตร และท่อนที่สองมีความยาวขนาด 1.5 เมตร

.....

แล้วจึงทำฐานสำหรับยึดท่อพีวีซี จากนั้นนำเหล็กกล่องมาตัดให้มีความยาว 1.7 เมตร จำนวน 8 เส้นแล้วนำมายึดกับท่อพีวีซีและสังกะสีที่ตัดแล้วเพื่อเป็นฐานสำหรับติดตั้งพลาสติกพีวีซี จากนั้นนำลวดเส้นใหญ่มาเชื่อมติดกับเหล็กกล่องและสังกะสี โดยจะติดลวดให้สูงจากพื้น 10 เซนติเมตร แล้วจึงตัดพลาสติกพีวีซีให้มีรูวงกลมแล้วนำมาติดกับเหล็กกล่อง เมื่อสร้างปล่องลมแดดเสร็จแล้วจึงค่อยนำตู้อบแห้งโดยตรงมาต่อเข้ากับท่อพีวีซี โดยตู้อบแห้งจะสูงจากพื้น 40 เซนติเมตร โดยทางเข้าลมของตู้อบแสงอาทิตย์จะต้องเท่ากับทางออกลมของปล่องลมแดด และติดตั้งสายวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K-type บริเวณใต้หลังคารับแสงอาทิตย์ ทางเข้าปล่อง ภายในปล่อง ทางออกของปล่อง ภายในตู้อบ และอุณหภูมิภายนอกตู้อบ วัดความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์บริเวณหลังคารับแสงอาทิตย์ และวัดความเร็วลมโดยการวัดความเร็วลมนั้น จะเจาะรูตรงบริเวณใกล้ทางออกของปล่องลมเพื่อนำเครื่องวัดความเร็วเข้าไปวัด โดยการเก็บข้อมูลแต่ละบริเวณจะทำการเก็บทุก ๆ 1 ชั่วโมง ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการสร้างระบบรุ่มอบแห้งระหว่างปล่องลมแดดและระบบอบแห้งโดยตรง

4) การนำวัสดุที่เตรียมไว้มาอบแห้ง

การนำวัสดุที่เตรียมไว้มาอบแห้งนั้นต้องชั่งน้ำหนักก่อนและหลังจากการอบแห้ง โดยเริ่มต้นแบ่งน้ำหนักกล้วยออกเป็น 20, 40, 60, 80, 120, 160, 180, 210 และ 250 กรัม เป็น 9 ตัวอย่าง ทำการแบ่งน้ำหนักกล้วยจนครบ 27 ตัวอย่าง แล้วนำไปตากแห้งในตู้อบแห้งแบบระบบรุ่มที่สร้างไว้ หลังจากนั้นจะทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 ชั่วโมง ในช่วงเวลา 08.00 – 17.00 น. ในทุก ๆ 1 ชั่วโมง เก็บข้อมูลให้น้ำหนักของกล้วยดิบมาชั่งน้ำหนักทุกครั้ง ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การนำวัสดุตัวอย่างมาทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพ

1) การหามาตรฐานเปียกและมาตรฐานแห้ง ซึ่งสามารถหาได้โดยการนำตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งในตู้อบแห้งระบบร่วน นํามาชั่งน้ำหนักก่อนเข้าตู้อบลมร้อน โดยตั้งอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดจากนั้นนำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง แล้วนำค่าน้ำหนักที่ได้มาคำนวณหามาตรฐานเปียกและมาตรฐานแห้ง โดยสามารถคำนวณหามาตรฐานเปียกและคำนวณหามาตรฐานแห้ง

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

$$M_d = \frac{W - d}{d} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (ร้อยละมาตรฐานเปียก, % w.b.)

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (ร้อยละมาตรฐานแห้ง, % d.b.)

W คือ มวลเปียกของวัสดุ (กรัม)

d คือ มวลแห้งของวัสดุ (กรัม)

2) การหาอัตราส่วนความชื้น สามารถหาได้จากการนำค่ามาตรฐานแห้งของตัวอย่างที่ 1 – 27 เป็นตัวควบคุม โดยอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, M_R) คือค่าที่บ่งบอกถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงมวลน้ำใน วัสดุเทียบกับความชื้นเริ่มต้นเมื่อเวลาการอบแห้ง ดำเนินไปเป็นเวลาใดๆ เขียนเป็นสมการ

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_0 - M_{eq}} \quad (3)$$

โดยที่ M_R คือ อัตราส่วนความชื้น (อัตราส่วน)

M_0 คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ (ร้อยละมาตรฐาน แห้ง)

M_t คือ ความชื้นของวัสดุที่เวลาใดๆ (ร้อยละ มาตรฐานแห้ง)

M_{eq} คือ ความชื้นสมดุลของวัสดุ (ร้อยละมาตรฐานแห้ง)

3) ประสิทธิภาพของหลังคาจับแสงอาทิตย์ (E_{col}) เป็นการหาความสามารถของหลังคาจับแสงอาทิตย์ในการจับแสงอาทิตย์มากน้อยเพียงใด โดยได้จากการคำนวณหาความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับพื้นที่ของหลังคาจับแสงอาทิตย์ มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่คลุมด้วยฝ้ายางพลาสติก และเมื่อมีลมเข้ามาภายใต้หลังคาจับแสงอาทิตย์ ทำให้เกิดความต่างของอุณหภูมิระหว่างหลังคา กับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ดังสมการที่ 4 (El-Haroun, 2012)

$$E_{col} = \frac{GA_{col}\tau\alpha - U_t A_{col}(T_{col} - T_a)}{GA_{col}} \times 100 \quad (4)$$

โดยที่ E_{col} คือ ประสิทธิภาพของหลังคาจับแสงอาทิตย์, (%)

G คือ ค่าคงตัวรังสีดวงอาทิตย์, (W/m^2)

A_{col} คือ พื้นที่หลังคาจับแสงอาทิตย์, (m^2)

τ คือ ค่าการส่งผ่านรังสีของพลาสติกใสมีค่าเท่ากับ 0.92 (Richard Herman, 1996)

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของ Collector มีค่าเท่ากับ 0.9 (El-Haroun, 2012)

U_t คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนโดยรวม

T_{col} คือ อุณหภูมิหลังคาจับแสงอาทิตย์, ($^{\circ}C$)

T_a คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ($^{\circ}C$)

T_h คือ อุณหภูมิภายในปล่องลมแดด ($^{\circ}C$)

4) การหาประสิทธิภาพของปล่องลม ซึ่งสามารถหาได้จากการนำค่าความดันอากาศภายในปล่องลมและค่าการถ่ายเทความร้อนจากหลังคารับแสงอาทิตย์ นำมาคำนวณหาประสิทธิภาพของปล่องลม โดยความดันอากาศภายในปล่องหาได้จากอัตราส่วนของแรงที่กระทำภายในปล่องต่อพื้นที่ของปล่อง และการถ่ายเทความร้อนจากหลังคารับแสงอาทิตย์ สามารถในการรักษาอุณหภูมิของปล่องลมมีได้มากน้อยเพียงใด เพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ ณ ตำแหน่งความสูง ดังสมการที่ 5 (El-Haroun, 2012)

$$E_{ch} = \left(g \int_0^H (\rho_a - \rho_{col}) \cdot dH \right) \times 100 \quad (5)$$

โดยที่ E_{ch} คือ ประสิทธิภาพของปล่อง, (%)
 g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ 9.81 m/s^2
 ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศ, (kg/m^3)
 ρ_{col} คือ ความหนาแน่นของอากาศในหลังคารับแสงอาทิตย์, (kg/m^3)
 dH คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงความสูง (m)

5) ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์ คือ สัดส่วนระหว่างพลังงานที่นำไปใช้ในระบต่อ พลังงานที่เข้าสู่ระบบ โดยพลังงานที่นำไปใช้ในระบบคือ พลังงานที่นำไปใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ของไหล และ พลังงานที่เข้าสู่ระบบคือ พลังงานจากแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนชุดตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถแสดงเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$h = \frac{m C_p (T_F - T_i)}{G A_{coll}} \quad (6)$$

โดยที่ m คือ อัตราการไหลเชิงมวลของของไหล (kg/s)
 C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของของไหล, (J/kg.K)
 T_i คือ อุณหภูมิของไหลไหลเข้า ($^{\circ}\text{C}$)
 T_F คือ อุณหภูมิของไหลไหลออก ($^{\circ}\text{C}$)

6) การหาสมรรถนะของปล่องลม ซึ่งสามารถหาได้จากการนำค่าประสิทธิภาพของหลังคารับแสงอาทิตย์และค่าประสิทธิภาพของปล่องลม แล้วนำมาคำนวณหาสมรรถนะของปล่องลม ทั้งนี้ไม่นำประสิทธิภาพของกังหันมาคิดรวม เนื่องจากการทำวิจัยไม่ได้นำกังหันมาใช้ร่วมในการเพิ่มความร้อน (El-Haroun, 2012)

$$\eta_{scpp} = E_{col} \cdot E_c \cdot E_{sys} \quad (7)$$

โดยที่ η_{scpp} คือสมรรถนะของระบบระบบอบแห้ง, (%)
 E_{col} คือประสิทธิภาพของหลังคารับแสงอาทิตย์
 E_c คือประสิทธิภาพของปล่อง
 E_t คือประสิทธิภาพของความร้อน

7) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งของกล้วยสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งด้วย ลมร้อนที่นิยมใช้ในการศึกษาสำหรับการอบแห้งวัสดุทางการเกษตรผักและผลไม้ มักจะเลือกใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมไพริคอล (Empirical Model) ดังตารางที่ 1 โดยหาค่าสัมประสิทธิ์สัมพันธ์ว่าค่าใดใกล้เคียง 1 ค่าที่ได้ใกล้เคียง 1 จะมีความเหมาะสมในการทำนายการอบแห้งของตัวอย่างได้ดีที่สุด

ตารางที่ 1 สมการการอบแห้งกล้วย

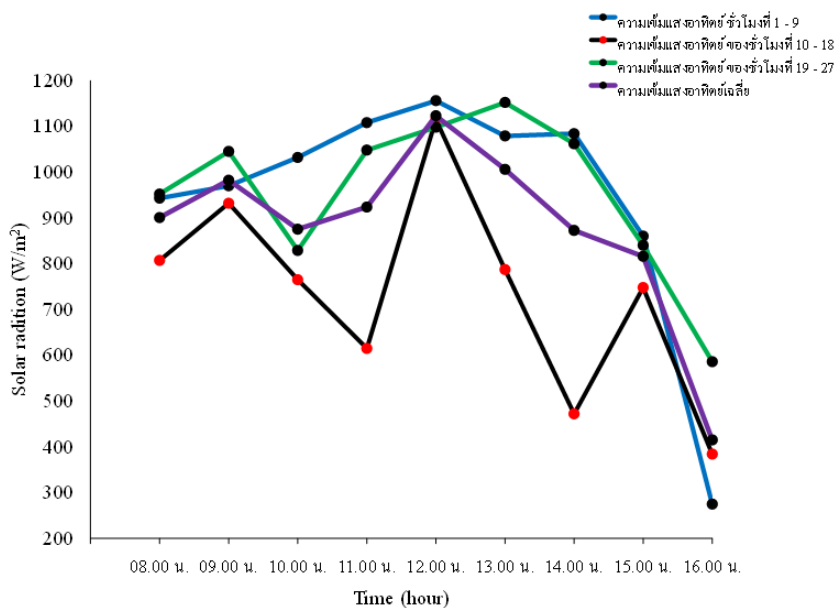
Model name	Model equation
Lewis	$\ln MR = -kt$
Page	$\ln(-\ln MR) = \ln k + n \ln t$
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$
Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$
Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$

เมื่อ k คือ drying parameter (min⁻¹), a, b, c, n คือ ค่า drying constants (dimensionless) และ t คือ drying time (min) ที่มา: Celma et al. (2007)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

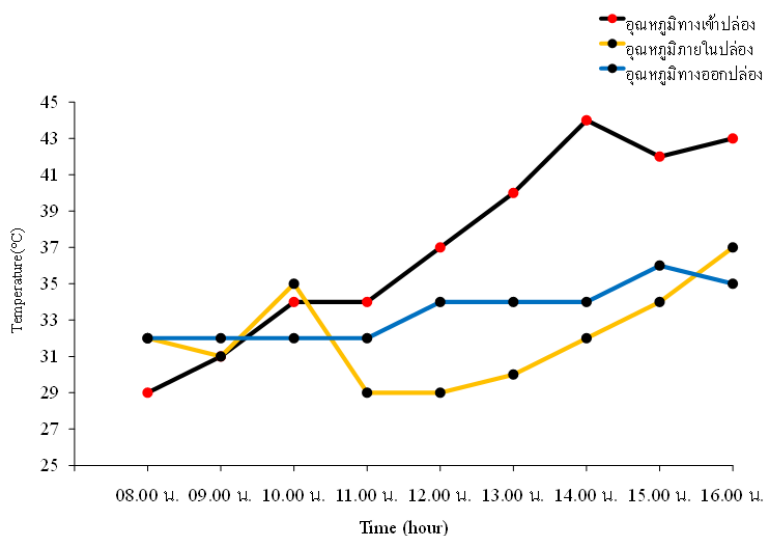
การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบรวมทั้งหมด โดยมีวิธีการนำตัวอย่างวัตถุไปอบแห้งในตู้อบแห้งระบบรวม แล้วนำปัจจัยต่าง ๆ มาคำนวณตามสมการเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของระบบ จากการเก็บข้อมูลค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงระยะ 27 ชั่วโมง พบว่าค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของชั่วโมงที่ 1 - 9 โดยค่าความเข้มของรังสีที่สูงที่สุดจะอยู่ในช่วงเวลา 12.00 น. มีความเข้มสูงถึง 1156 W/m^2 และเวลาตั้งแต่ 13.00 น. ค่าความเข้มของรังสีลดลงเรื่อย ๆ ในช่วงของชั่วโมงที่ 10 - 18 โดยค่าความเข้มของรังสีจะดีที่สุดที่สุดในเวลา 12.00 น. มีความเข้มรังสีประมาณ 1156 W/m^2 และ ในชั่วโมงที่ 19 - 27 โดยค่าความเข้มของรังสีที่ดีที่สุดจะอยู่ในช่วงเวลา 13.00 น. มีความเข้มของรังสีประมาณ 1152 W/m^2 และเริ่มลดลงเรื่อย ๆ จนถึงเวลา 16.00 น. มีค่าความเข้มของรังสีประมาณ 586 W/m^2 และค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เพิ่มขึ้นและลดลงตามระยะเวลา โดยค่าเฉลี่ยความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่ดีที่สุดจะอยู่ในช่วงเวลา 12.00 น. มีค่าความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ประมาณ $1,123 \text{ W/m}^2$ และค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ต่ำที่สุดจะอยู่ในช่วงเวลา 16.00 น. ดังแสดงภาพที่ 5 โดยค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและบริเวณพื้นที่ของการวัด



ภาพที่ 5 ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงระยะเวลาของการเก็บข้อมูล

ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศทางเข้าปล่อง ภายในปล่อง และทางออกของปล่อง

จากการเก็บข้อมูลค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศทางเข้าปล่อง ภายในปล่อง และทางออกของปล่อง พบว่าอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าปล่องในช่วง 08.00 น. – 13.00 น. มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิภายในปล่อง และทางออกของปล่อง แต่เมื่อเวลา 13.00 น. – 16.00 น. อุณหภูมิทางเข้าปล่องค่อนข้างสูง ประมาณ 30 – 48 องศาเซลเซียส และในช่วงเวลาที่ 4 – 9 อุณหภูมิทางเข้าปล่องจะเริ่มสูงกว่าอุณหภูมิภายในปล่อง ดังแสดงในภาพที่ 6 จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าอุณหภูมิทางเข้าของปล่องนั้นจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิภายในปล่องและทางออกของปล่อง เนื่องจากทางเข้าของปล่องนั้นอยู่ภายใต้หลังคาได้รับแสงอาทิตย์จึงทำให้มีค่าอุณหภูมิที่สูง อุณหภูมิภายในปล่องและทางออกของปล่องมีค่าน้อยเนื่องจากปล่องลมมีลักษณะเป็นทรงกระบอกจึงทำให้ความร้อนที่ไหลจากทางเข้าปล่องมีการสูญเสียความร้อนระหว่างทาง เป็นผลทำให้อุณหภูมิภายในปล่องและอุณหภูมิทางออกของปล่องมีค่าน้อย

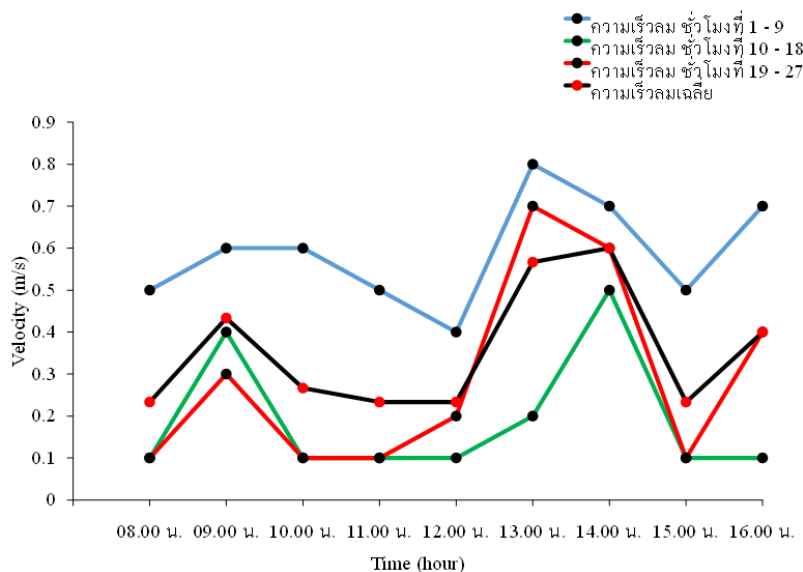


ภาพที่ 6 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของอากาศทางเข้าปล่อง ภายในปล่อง และทางออกของปล่อง

ความเร็วลมจากปล่องลมแดด

จากการเก็บข้อมูลค่าความเร็วลมที่ออกจากปล่องลมแดดในช่วงระยะ 27 ชั่วโมง โดยชั่วโมงที่ 1 -9 จะมีความเร็วลมค่อนข้างมาก โดยค่าความเร็วลมที่สูงที่สุด คือ 0.8 เมตรต่อวินาที ในช่วงเวลา 13.00 น. และค่าความเร็วลมที่ต่ำที่สุด คือ 0.4 เมตรต่อวินาที ในช่วงเวลา 12.00 น. ในช่วงเวลาที่ 10 - 18 และ ชั่วโมงที่ 19 – 27 นั้น ช่วงเวลาตั้งแต่ 08.00 – 12.00 น. มีค่าความเร็วลมใกล้เคียงกันอยู่ที่ประมาณ

0.1 – 0.4 เมตรต่อวินาที ค่าความเร็วลมที่สูงที่สุดในชั่วโมงที่ 10 - 18 คือ 0.5 เมตรต่อวินาที ในช่วงเวลา 14.00 น. และในชั่วโมงที่ 19 - 27 มีค่าความเร็วลมที่สูงที่สุด คือ 0.7 เมตรต่อวินาที ในช่วงเวลา 13.00 น. ดังแสดงในภาพที่ 7 จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าปล่องมีการระบายอากาศได้ค่อนข้างน้อย เนื่องจากการไหลเวียนของอากาศภายในปล่องน้อยเป็นผลทำให้ความเร็วลมของปล่องลมแดงมีค่าน้อย

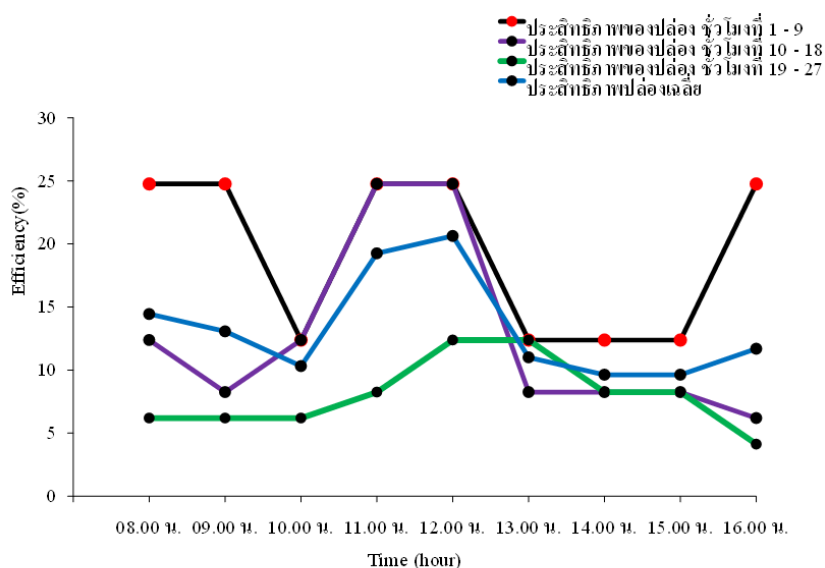


ภาพที่ 7 ความเร็วลมออกจากปล่องลมแดงในระยะเวลาของการเก็บข้อมูล

ประสิทธิภาพของปล่อง

จากการหาค่าประสิทธิภาพของปล่องลม ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดอยู่ในช่วง 08.00 – 09.00 น. 11.00 – 12.00 น. และ 16.00 น. โดยมีประสิทธิภาพเท่ากับ 24.75% และประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ในช่วง 11.00 น. และ 13.00 – 15.00 น. โดยมีประสิทธิภาพเท่ากับ 12.38% ในชั่วโมงที่ 10 - 19 ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดอยู่ในช่วง 11.00 – 12.00 น. โดยมีประสิทธิภาพเท่ากับ 24.75% และประสิทธิภาพน้อยที่สุดเท่ากับ 16.00 น. โดยมีประสิทธิภาพเท่ากับ 6.19% และในชั่วโมงที่ 19 - 27 ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดจะอยู่ในช่วงเวลา 12.00 – 13.00 น. โดยมีประสิทธิภาพเท่ากับ 12.38% และประสิทธิภาพน้อยที่สุดอยู่ในช่วง 16.00 น. โดยมีประสิทธิภาพเท่ากับ 4.13% และค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพปล่องลมประมาณเท่ากับ 13.29% โดยช่วงเวลา 11.00 – 12.00 น. จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดเท่ากับ

20.63% และประสิทธิภาพต่ำที่สุดเท่ากับ 9.63% ในช่วงเวลา 14.00 – 15.00 น. ดังแสดงในภาพที่ 8 จากการคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าประสิทธิภาพของปล่องขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิภายในปล่อง และขนาดของปล่อง จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและอุณหภูมิภายในปล่องมีค่าน้อย จะทำให้มีประสิทธิภาพของปล่องค่อนข้างสูง จึงทำให้ประสิทธิภาพของปล่องแปรผกผันกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและอุณหภูมิภายในปล่อง

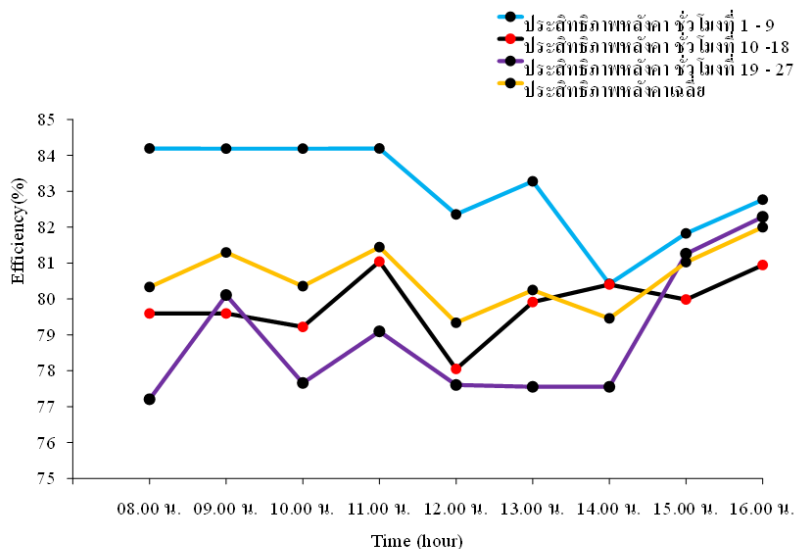


ภาพที่ 8 ประสิทธิภาพของปล่องปล่องลมแดดในช่วงระยะเวลาของการเก็บข้อมูล

ประสิทธิภาพของหลังคารับแสงอาทิตย์

จากการหาค่าประสิทธิภาพหลังคารับแสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพค่อนข้างดีตั้งแต่ 08.00 – 11.00 น. โดยมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 84.19% และหลังจากนั้นประสิทธิภาพเริ่มลดน้อยลง ในช่วงเวลา 14.00 น. มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดคือ 80.42% การเก็บข้อมูลในช่วงเวลา 10 - 18 ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดจะอยู่ในช่วงเวลา 11.00 น. มีประสิทธิภาพสูงประมาณ 81.04% และต่ำที่สุดในช่วงเวลา 12.00 น. จะมีประสิทธิภาพอยู่ที่ประมาณ 78.05% และในช่วงเวลา 19 - 27 ค่อนข้างมีประสิทธิภาพแตกต่างจากช่วงเวลาที่ 1 - 9 ค่อนข้างมาก โดยประสิทธิภาพของหลังคารับแสงอาทิตย์ที่ดีที่สุดจะอยู่ในช่วงเวลา 15.00 – 16.00 น. ซึ่งมีประสิทธิภาพประมาณ 82% และต่ำที่สุดในช่วงเวลา 08.00 น. ซึ่งมีประสิทธิภาพประมาณ 77.20. ดังแสดงในภาพที่ 9 จากการคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าประสิทธิภาพของหลังคารับแสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของหลังคารับแสงอาทิตย์ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

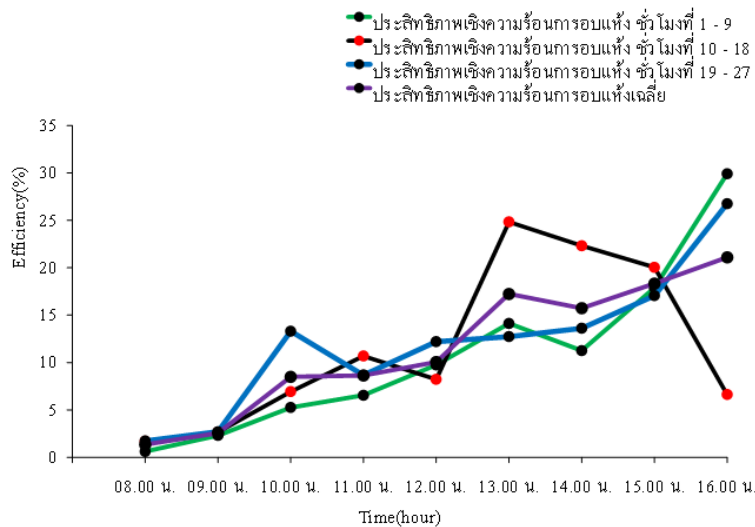
และค่าความเข้มข้นรังสีของดวงอาทิตย์ จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิของหลังคารับแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพของหลังคารับแสงอาทิตย์ลดลง แต่เมื่อค่าความเข้มข้นรังสีดวงอาทิตย์เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพของหลังคารับก็จะเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งกล่าวได้ว่าอุณหภูมิของหลังคารับแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมแปรผกผันกับประสิทธิภาพของหลังคารับแสงอาทิตย์แต่ผันตรงกับค่าความเข้มข้นรังสีดวงอาทิตย์



ภาพที่ 9 ประสิทธิภาพของหลังคารับแสงอาทิตย์ในช่วงระยะเวลาของการเก็บข้อมูล

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนการอบแห้ง

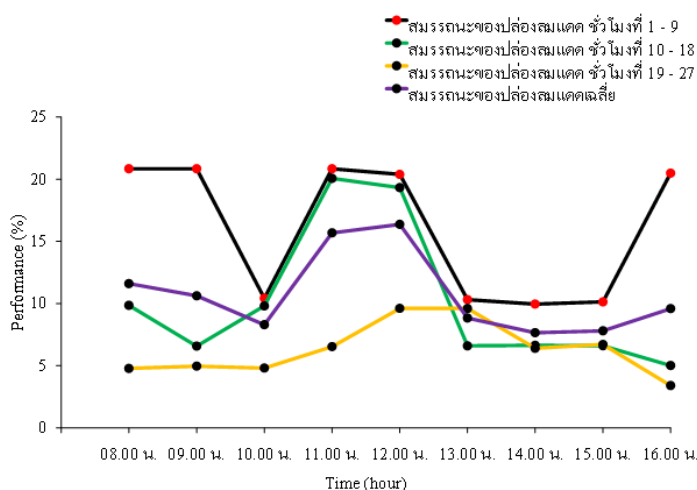
จากการหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนการอบแห้ง และจากการเก็บข้อมูลและนำมาคำนวณ ในช่วงโมงที่ 1 - 9 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่เวลา 08.00 – 13.00 น. แต่ในช่วงเวลา 14.00 น. ประสิทธิภาพมีการลดน้อยลงแต่ลดลงจากเดิมไม่มากนัก หลังจากนั้นประสิทธิภาพก็เพิ่มขึ้นตามระยะเวลา ในช่วงโมงที่ 10 - 18 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีการเพิ่มขึ้นและลดลงตลอดเวลา โดยประสิทธิภาพที่ดีที่สุดจะอยู่ในช่วงเวลา 13.00 น. และในช่วงโมงที่ 19 - 27 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลา ดังแสดงในภาพที่ 10 จากการคำนวณและวิเคราะห์พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนการอบแห้งขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นรังสีของดวงอาทิตย์ซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพ ซึ่งกล่าวได้ว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนการอบแห้งแปรผกผันกับค่าความเข้มข้นรังสีดวงอาทิตย์



ภาพที่ 10 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนการอบแห้งในช่วงระยะเวลาของการเก็บข้อมูล

สมรรถนะของปล่องลมแดด

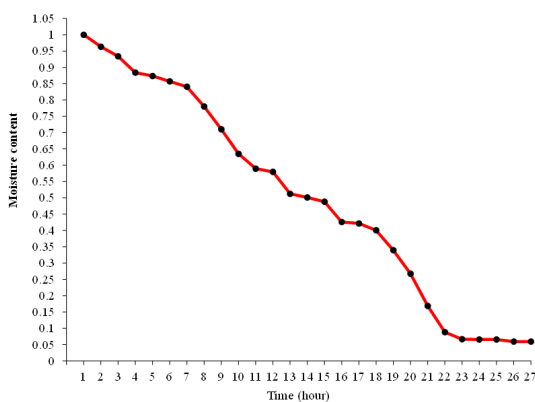
จากหาค่าสมรรถนะของปล่องลมแดด และจากการเก็บข้อมูลในชั่วโมงที่ 1 - 9 สมรรถนะของปล่องลมแดดค่อนข้างดีตั้งแต่ 08.00 - 09.00 น. 11.00 - 12.00 น. และ 16.00 น. โดยมีสมรรถนะอยู่ที่ 20.84% และสมรรถนะเริ่มลดน้อยลง ในช่วงเวลา 14.00 น. มีสมรรถนะต่ำที่สุดคือ 9.95% การเก็บข้อมูลในชั่วโมงที่ 10 - 18 ประสิทธิภาพค่อนข้างแตกต่างจากชั่วโมงที่ 1 - 9 แต่ไม่มากนัก โดยในชั่วโมงที่ 10 - 18 สมรรถนะที่ดีที่สุดจะอยู่ในช่วงเวลา 11.00 น. มีสมรรถนะอยู่ที่ประมาณ 20.06% และต่ำที่สุดในช่วงเวลา 16.00 น. จะมีสมรรถนะอยู่ที่ประมาณ 5% และในชั่วโมงที่ 19 - 27 ค่อนข้างมีสมรรถนะแตกต่างจากชั่วโมงที่ 1 - 9 ค่อนข้างมาก โดยสมรรถนะของปล่องลมแดดที่ดีที่สุดจะอยู่ในช่วงเวลา 12.00 - 13.00 น. ซึ่งมีสมรรถนะประมาณ 9.61% และต่ำที่สุดอยู่ในช่วงเวลา 16.00 น. ซึ่งมีสมรรถนะประมาณ 3.40% ดังแสดงในภาพที่ 11 จากการวิเคราะห์จะพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อสมรรถนะของปล่องลมแดดคือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิภายในปล่อง อุณหภูมิของหลังคารับแสงอาทิตย์ และค่าความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ โดยอุณหภูมิดังกล่าวจะแปรผกผันกับสมรรถนะของปล่องลมแดด และค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จะแปรผันตรงกับสมรรถนะของปล่องลม



ภาพที่ 11 แสดงผลค่าสมรรถนะของปล่องลมแดดในช่วงระยะเวลาของการเก็บข้อมูล

อัตราส่วนความชื้น

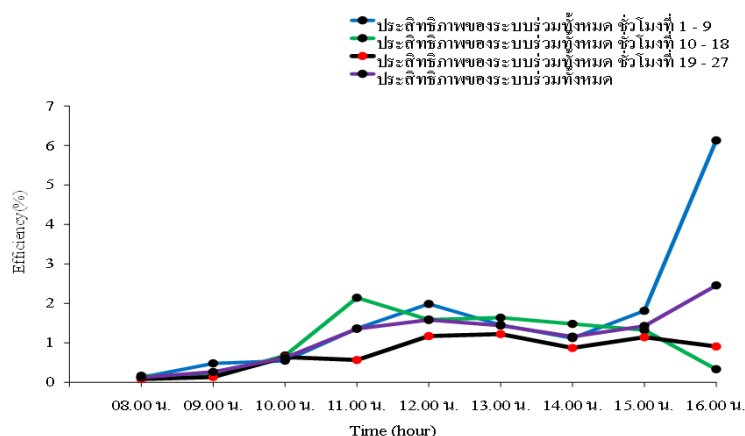
จากการอบแห้งกล้วยด้วยเครื่องอบแห้งระบบร่วน ได้ทำการทดลองอบแห้งภายใต้ระยะเวลาต่าง ๆ ผลของอัตราส่วนความชื้นที่มีผลต่อการอบแห้งกล้วย โดยการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนความชื้นเทียบกับเวลาการอบแห้ง พบว่าเมื่อระยะเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้น อัตราส่วนความชื้นลดลง เนื่องจากที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้น มีผลทำให้เกิดแรงขับในการถ่ายความร้อนและมวลสารมีค่าลดลงด้วยเช่นกัน โดยในช่วงแรกความชื้นของกล้วยจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วและค่อยๆ ซาลงเรื่อยๆ เนื่องจากในช่วงแรกเป็นช่วงที่กล้วยมีความชื้นสูง ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 อัตราส่วนความชื้นในวัตถุดิบในช่วงระยะเวลาของการเก็บข้อมูล

ประสิทธิภาพของระบบรวมทั้งหมด

จากการหาค่าประสิทธิภาพของระบบรวมทั้งหมด ประสิทธิภาพมีการเพิ่มขึ้นและลดลงในบางช่วงเวลา แต่เมื่อเวลา 16.00 น. ประสิทธิภาพมีค่าค่อนข้างมาก โดยเฉลี่ยในช่วงชั่วโมงที่ 1 - 9 จะมีประสิทธิภาพของระบบรวมทั้งหมดเท่ากับ 1.67% ในช่วงชั่วโมงที่ 10 - 18 จะมีประสิทธิภาพของระบบรวมทั้งหมดเท่ากับ 1.06% และในช่วงชั่วโมงที่ 19 - 27 ประสิทธิภาพมีการเพิ่มขึ้นและลดลงในบางช่วงเวลา แต่ลดลงไม่มากนัก โดยเฉลี่ยในช่วงนี้ จะมีประสิทธิภาพของระบบรวมทั้งหมดเท่ากับ 0.75% ดังแสดงในภาพที่ 13 จากการคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าประสิทธิภาพของระบบรวมทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิภายในปล่อง อุณหภูมิของหลังคารับแสงอาทิตย์ และค่าความเข้มข้นของดวงอาทิตย์ ซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบรวมทั้งหมดมากที่สุด



ภาพที่ 13 ประสิทธิภาพของระบบรวมทั้งหมดในช่วงระยะเวลาของการเก็บข้อมูล

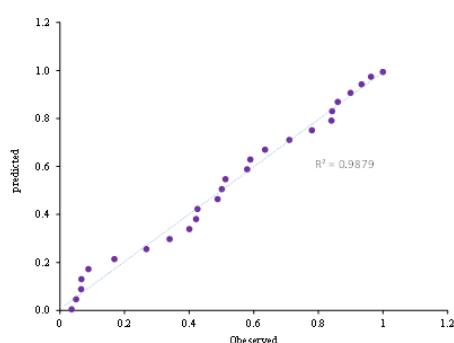
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้ง ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ แบบสมการถดถอยที่ไม่เชิงเส้น (Nonlinear Regression) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ อบแห้งของ Lewis, Page, Henderson and Pabis, Midilli และ Logarithmic ดังตารางที่ 2

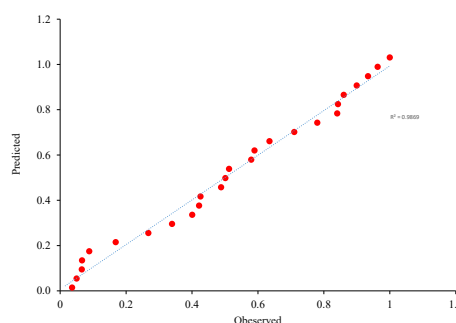
ตารางที่ 2 ค่าคงที่ของแบบจำลองการอบแห้งของกล้วย

Drying Model	Drying Model Constance	R ²
Lewis: $MR = \exp(-kt)$	$k = 0.058725$	0.92608
Page: $MR = \exp(-kt^n)$	$k = 0.004169, n = 1.959311$	0.98819
Modified Page $MR = \exp(-(kt)^n)$	$k = 0.060988, n = 1.961248$	0.98819
Henderson and Pabis $MR = a \exp(-kt)$	$k = 0.076345, a = 1.221927$	0.95492
Midilli: $MR = a \exp(-kt^n) + bt$	$k = 0.096465, n = -0.358516$ $a = 1.141455, b = -0.042438$	0.99391
Logarithmic: $MR = a \exp(-kt) + c$	$k = 0.001341, a = 3086937$	0.99344

เมื่อพิจารณาผลคำนวณที่ได้จากแบบจำลองของ Midilli และ แบบจำลองของ Logarithmic เปรียบเทียบกับผลทดลองการอบแห้งกล้วย จะพบว่ามีความใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อพิจารณาเส้นกราฟจะพบว่าลักษณะเชิงเส้นแล้วค่อยๆเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากที่สุด แสดงว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Midilli และ ของ Logarithm มีความเหมาะสมในการทำนายการอบแห้งกล้วยได้ดีที่สุด โดย Midilli มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9879 และ Logarithm ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9869 ดังภาพที่ 14 (ก) และภาพที่ 14 (ข)



(ก) Midilli



(ข) Logarithmic

ภาพที่ 14 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ (ก) Midilli และ (ข) Logarithmic

สรุปผลการวิจัย

1. ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 13.29 ประสิทธิภาพของหลังคารับแสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 80.60 สมรรถนะปล่องลมแดดจะมีสมรรถนะเฉลี่ยร้อยละ 10.71 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนการอบแห้ง ประสิทธิภาพของระบบคอนข้างน้อยเฉลี่ยร้อยละ 11.49 และประสิทธิภาพของระบบรวมทั้งระบบเฉลี่ยร้อยละ 1.16

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองแบบจำลองของ Midilli และ ของ Logarithmic มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9879 และ 0.9869 ตามลำดับ ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการทำนายการอบแห้งกล้วยด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระหว่างปล่องลมพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบอบแห้งโดยตรง

3. ปัจจัยที่มีผลต่อระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระหว่างปล่องลมพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบอบแห้งโดยตรง เช่น ค่ารังสีดวงอาทิตย์ ความเร็วลม อุณหภูมิของปล่อง อุณหภูมิหลังคา รับแสงอาทิตย์ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และอุณหภูมิภายในตู้ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ประจำปี 2563

เอกสารอ้างอิง

- จารุวัฒน์ เจริญจิต. (2555). เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์และแนวทางการพัฒนา. สงขลา: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- เทวรัตน์ ทิพย์วิมล. (2555). การคงคุณภาพผักอบแห้งกิ่งสำเร็จรูปด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบปั๊มความร้อน. นครราชสีมา: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- บัณฑิต กฤตาคม. (2555). แบบจำลองการอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งบอระเพ็ดด้วยลมร้อน. นครราชสีมา: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.
- ประพันธ์พงษ์ สมศิลา และ อาไพศักดิ์ ทิบุญมา. (2553). ผลของฟิล์มกระจกที่มีต่อประสิทธิภาพปล่อยแสงอาทิตย์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 12(3), 68-74.
- ปองพล สุริยะกันธร. (2555). แบบจำลองการอบแห้งใบกะเพราด้วยคลื่นไมโครเวฟ. เชียงใหม่: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- รัตนา สุขนนท์. (2559). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งมะขามหวาน. กำแพงแสน: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิกานดา แก้วยอด. (2556). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายอัตราการถ่ายเทมวลในระหว่าง การอบแห้งเปลือกทับทิมแบบชั้นบางด้วยลมร้อน. กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชา อุตสาหกรรมศึกษา, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- หริรักษ์ ควรประดิษฐ์. (2556). การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีแสงอาทิตย์แบบจานรวมรังสี. กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- อนุสร นาคี. (2555). จลนพลศาสตร์การอบแห้งใบเตยด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนและลมร้อน. สงขลา: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท ภาควิชาฟิสิกส์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Alawin, A.A., Badran, O., Awad, A., Abdelhadi, Y., and AlMofleh, A. (2012). Feasibility Study of a Solar Chimney Power Plant in Jordan. *Applied Solar Energy*. 48 (4), 260–265.
- Bernardes, M.A.S., and von Backstroäm, TW. (2010). Evaluation of operational control strategies applicable to solar chimney power plants. *Solar Energy*. 84 (2), 277-288.

- Cao, F., and Zhao, L. (2011). Simulation of a sloped solar chimney power plant in Lanzhou. *Energy Conversion and Management*. 52 (6), 2360-2366.
- El-Haroun, A.A. (2012). Performance evaluation of solar chimney power plants in Egypt. *Journal of Pure and Applied Science & Technology*. 13, 49-59.
- Gannon, A.J., and von Backstroäm, TW. Solar chimney cycle analysis with system loss and solar collector performance. *Journal of Solar Energy Engineering*. 122 (3), 133-137.
- Mullett, L.B. (1987). The Solar Chimney - Overall efficiency, design and performance. *International Journal of Ambient Energy*. 8 (1), 333-344.
- Pasumarthi, N., and Sherif, S.A. (1998). Experimental and theoretical performance of a demonstration solar chimney model-part I: mathematical model development, *International Journal of Energy Research*. 22 (3), 277-288.