

การอบแห้งมะเขือเทศราชินีด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
ชนิดพาความร้อนแบบบังคับร่วมกับความร้อนเสริมจากอินฟราเรด
Drying of Cherry Tomatoes Using Forced Convection Solar
Greenhouse in Association with Infrared Heating

กมลวรรณ จิตจักร* ธวัชชัย อ่องประเสริฐ

สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก, 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110

Kamonwan Jitjack* Thawatchai Ongprasert

Energy Technology Department, School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of

Technology Tawan-Ok, 43 Moo 6 Bangpra Subdistrict,

Siracha District, Chonburi 20110, Thailand

*Corresponding author Email: , kamonwan_ji@mutto.ac.th

(Received: June 1, 2022; Revised: September 29, 2022 ; Accepted: September 30, 2022)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากการอบแห้งมะเขือเทศราชินีแช่แข็ง ทำการทดสอบเปรียบเทียบการอบแห้งโดยวิธีการพาความร้อนแบบบังคับภายในโรงเรือน 2 ระบบ ได้แก่ ระบบที่ 1 โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพัดลมระบายอากาศ และระบบที่ 2 โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพัดลมระบายอากาศและเสริมความร้อนจากฮีตเตอร์อินฟราเรดที่กำหนดค่าอุณหภูมิภายในระหว่างการอบแห้ง 45-60 °C โดยทั้งสองระบบเปรียบเทียบกับตากแดดธรรมชาติ ทำการศึกษ้อัตราการอบแห้ง ระยะเวลาในการอบแห้ง คุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง คือ คุณภาพสี ปริมาณน้ำอิสระ ความหวาน และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ในการทดลองค่าความชื้นเริ่มต้นของมะเขือเทศราชินีแช่แข็งจะมีค่าเฉลี่ย 81.88 %d.b. อบแห้งจนมีค่า 11-25 %d.b. เทียบกับผลิตภัณฑ์ที่วางจำหน่ายในท้องตลาด จากผลการวิจัยพบว่า ระบบที่ 2 อัตราการอบแห้งมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 1.173 kg/h ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดคือใช้เวลาในการอบแห้ง 12 ชั่วโมง มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 3.47 kWh/kg ซึ่งมีค่าต่ำกว่าระบบที่ 1 ถึง 68.79% ค่าปริมาณน้ำอิสระทั้ง 2 ระบบ มีค่า 0.54-0.55 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการตากแดดตามธรรมชาติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ และมีค่าต่ำกว่า 0.6 แสดงว่าสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา แบคทีเรีย และจุลินทรีย์ได้ ส่งผลให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้น ค่าความหวานของผลิตภัณฑ์ทุกระบบมีค่า 28.33-29.50 %Brix ซึ่งไม่มีความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ การเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวมในรูปของ ΔE เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการอบแห้ง พบว่ามะเขือเทศราชินีแช่แข็งหลังการอบแห้งระบบที่ 2 มีค่าการเปลี่ยนแปลงสีต่ำที่สุด โดยค่าความสว่างของทุกระบบอบแห้งมีค่าความสว่างในช่วง 29.11-29.84 ซึ่งความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ เมื่อเทียบกับความสว่างก่อนการอบแห้ง ค่าสีเหลืองของระบบที่ 2 จะมีความใกล้เคียงกับสีเหลืองก่อนอบแห้งมากที่สุด

คำสำคัญ: โรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์, ระบบความร้อนเสริม, มะเขือเทศราชินีแช่แข็ง, การพาความร้อนแบบบังคับ

ABSTRACT

This research was aimed to compare the drying of preserve cherry tomatoes in forced convection solar greenhouse in two different systems: System 1, solar greenhouse installing ventilation fan; System 2, solar greenhouse installing ventilation fan and infrared heater fixed drying temperature at 45-60 °C. The two systems were compared to open sun drying. Drying rate, drying time, and product quality after drying including color, water activity, sweetness and specific energy consumption were investigated. The samples with average initial moisture content at 81.88 %d.b. were dried until the final moisture content reached the same level of the products in the market at 11- 25 %d.b. The results showed that the average drying rate in System 2 was the highest at 1.173 kg/h and took the shortest drying time at 12 hours, where specific energy consumption was 3.47 kWh/kg which was 68.79% less than System 1, in a range of 0.54- 0.55. The water activities of both systems were less than 0.6 and were also less than the one from open sun drying with statistical significance at $P \leq 0.05$. Fungal growth, bacterial growth and microbial growth were not occurred at those water activity values, resulting in longer preservation. Sweetness values of all systems were in a range of 28.33- 29.50 %Brix and not different with statistical significance at $P \leq 0.05$. The total color different ΔE comparing to before drying of preserve cherry tomatoes dried in System 2 was the least. The brightness values of the samples from all systems were in a range of 29.11- 29.84. They were different from the beginning of the drying with statistical significance at $P \leq 0.05$. The yellowness values of the samples from System 2 before and after drying were close.

Keyword: Greenhouse drying , Auxiliary heating system, Cherry tomatoes, Forced convection.

1. บทนำ

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันประชากรไทยส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมและปลูกพืชเป็นหลักทั้งพืชไร่และพืชสวน มะเขือเทศราชินี (Cherry tomato) เป็นพืชอีกชนิดที่เกษตรกรนิยมปลูก เพราะมีความต้องการของท้องตลาดสูง มีความนิยมในการรับประทานทั้งผลสดซึ่งมีขนาดผลเล็ก รสชาติออกเปรี้ยวอมหวาน รับประทานง่ายมีกลิ่นหอมต่างจากมะเขือเทศทั่วไปและมีราคาสูง เกษตรกรส่วนใหญ่จึงนิยมปลูกมะเขือเทศราชินีในทุกๆภูมิภาคของประเทศ แต่ข้อเสียของมะเขือเทศราชินีคืออายุการเก็บรักษามีระยะเวลาจำกัดทำให้เกิดการเน่าเสียง่ายไม่สามารถนำออกจำหน่ายได้ ซึ่งส่งผลกระทบต่อเกษตรกรและผู้ประกอบการจำนวนมาก การแปรรูปจึงมี

ความสำคัญอย่างยิ่งต่อการยืดอายุการเก็บรักษาและเพิ่มมูลค่าให้แก่มะเขือเทศราชินี วิธีการแปรรูปของเกษตรกรส่วนใหญ่จะทำการแช่ลวกแล้วนำไปตากแดดตามธรรมชาติ เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย ต้นทุนต่ำและใช้กันมายาวนาน แต่การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่างๆ นั้นทำได้ยาก เนื่องจากปัญหาฝุ่นละออง ฝนตก สัตว์และแมลงที่มารบกวน ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงมีกลุ่มเกษตรกรบางกลุ่มนำได้เทคโนโลยีอบแห้งมาใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์แทนการตากแดดตามธรรมชาติ เพื่อรักษาคุณภาพและความสะอาดของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งลงได้ นั่นคือเทคโนโลยีการ

อบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Greenhouse Drying)

การอบแห้งด้วยโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์อาศัยหลักการกักเก็บความร้อนจากแสงแดดซึ่งเป็นพลังงานสะอาด รังสีแสงอาทิตย์เปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนใช้ออบแห้ง [1] เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบกับหลังคาโรงเรือนซึ่งทำจากวัสดุโปร่งแสง บางส่วนจะสะท้อนออกสู่บรรยากาศ และมีรังสีอาทิตย์คลื่นสั้นเคลื่อนที่มายังภายในโรงเรือน เกิดการตกกระทบและดูดกลืนกับวัสดุต่าง ๆ ภายในโรงเรือนทำให้รังสีคลื่นสั้นมีค่าพลังงานลดลงกลายเป็นรังสีอาทิตย์คลื่นยาวซึ่งเป็นรังสีความร้อนหรืออินฟราเรด ซึ่งไม่สามารถผ่านออกจากแผ่นปกคลุมได้ ทำให้ความร้อนภายในโรงเรือนมีค่าสูงขึ้นและถ่ายเทไปยังผลิตภัณฑ์ที่ทำการอบแห้งในโรงเรือน [2] รูปแบบโรงเรือนมีหลายรูปแบบ เช่นรูปทรงโค้งพาราโบลา (Parabola) ปิดคลุมทุกด้านด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต การไหลเวียนและทิศทางความเร็วของอากาศภายในโรงเรือนมีความสม่ำเสมอ ซึ่งถือว่าเหมาะสมสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ โดยสามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้ครั้งละจำนวนมาก อีกทั้งยังช่วยลดระยะเวลาของการอบแห้งลงได้ ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของเกษตรกรและผู้ประกอบการ โดยทั่วไปสามารถแบ่งตามลักษณะการพาความร้อนได้ 2 แบบ คือ การพาความร้อนตามธรรมชาติ (Natural Convection) เป็นการให้หลักการความแตกต่างของอุณหภูมิให้เกิดค่าความดันที่แตกต่างกัน ก่อให้เกิดการพาความร้อนไหลผ่านชั้นของผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้งและระบายอากาศขึ้นออกสู่ภายนอก และการพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) เป็นการให้พัดลมจะเป็นการเพิ่มอัตราความเร็วของอากาศภายในโรงเรือนอบแห้ง [3] ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการอบแห้งเป็นอย่างมาก โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งด้วยโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์พบว่า การใช้พัดลมระบายอากาศขึ้นภายในโรงเรือนออกสู่ภายนอกสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งได้ เช่น งานวิจัยการอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์รูปทรงพาราโบลาคคลุมด้วยแผ่น

โพลีคาร์บอเนต ที่มีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศสามารถลดความชื้นกล้วยน้ำว้าจาก 70% w.b. จนเหลือความชื้น 20% w.b. ใช้ระยะเวลาเพียง 5 วัน ในขณะที่การตากแดดธรรมชาติจะใช้เวลาถึง 7 วัน [4] และงานวิจัยการใช้โรงเรือนโพลีคาร์บอเนตพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพัดลมระบายอากาศสำหรับอบแห้งยางพาราแผ่นความชื้นเริ่มต้น 24-31 % w.b. ใช้เวลา 5 วัน ที่สามารถทำให้ความชื้นของยางพาราแผ่นคงเหลือ 0.4-13% w.b. เทียบกับการตากแดดธรรมชาติจะใช้ระยะเวลาถึง 15 วัน [5] แต่อย่างไรก็ตามโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ก็ยังมีปัญหาการใช้งานเมื่อปริมาณแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอในระหว่างการอบแห้ง โดยเฉพาะในช่วงในช่วงฤดูฝนจากการศึกษางานวิจัยเพิ่มเติมเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวพบว่าการใช้ระบบความร้อนเสริมจากฮีตเตอร์อินฟราเรดสามารถทำให้กระบวนการอบแห้งเป็นไปอย่างต่อเนื่องและแก้ปัญหาระยะเวลาการอบแห้งมะเขือเทศราชินีแช่อิ่มได้ในกรณีที่แสงแดดไม่เพียงพอ จากความชื้นเริ่มต้น 94-95% d.b. เหลือความชื้น 22% d.b. ภายในระยะเวลาอบแห้งเพียง 2 วัน ซึ่งน้อยกว่าการอบแห้งด้วยโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวและการตากแดดธรรมชาติที่ใช้เวลา 3 วัน และ 6 วัน ตามลำดับ [6]

ดังนั้นจากข้อดีดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาการอบแห้งมะเขือเทศราชินีแช่อิ่มโดยการประยุกต์ใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดการพาความร้อนแบบบังคับด้วยพัดลมระบายอากาศร่วมกับระบบความร้อนเสริมจากฮีตเตอร์อินฟราเรด โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบ 2 ระบบได้แก่ โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพัดลมระบายอากาศ และโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพัดลมระบายอากาศที่มีความร้อนเสริมจากฮีตเตอร์อินฟราเรด โดยทั้ง 2 ระบบทำการเปรียบเทียบกับการตากแดดตามธรรมชาติ แล้วทำการศึกษาอัตราการอบแห้ง ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ค่าความหวาน ค่าสี ปริมาณน้ำอิสระ และความชื้นเปลือกพลังงานจำเพาะ โดยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าเทคโนโลยีระบบอบแห้งนี้จะใช้เป็นทางเลือกใหม่แก่

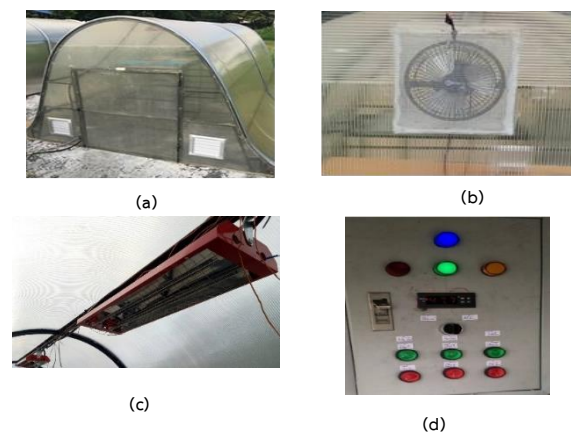
ภาคอุตสาหกรรมอาหารหรือผู้ประกอบการที่สนใจในการประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อื่นต่อไป

2. อุปกรณ์การทดลองและวิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาความร้อนร่วมกับระบบความร้อนเสริมจากฮีตเตอร์อินฟราเรดและพัดลมระบายอากาศ

โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบความร้อนเสริมจากฮีตเตอร์อินฟราเรดและพัดลมระบายอากาศเป็นการพาความร้อนแบบบังคับ ได้ดำเนินการสร้างและทดลอง ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จังหวัดชลบุรี โดยโรงเรือนมีรูปทรงพาราโบลาเพิ่มพื้นที่รับแสงด้านข้าง [7] มีขนาดความกว้าง 3 m ยาว 3.5 m สูง 1.55 m คลุมทุกด้านด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนตวางบนพื้นปูนซีเมนต์ที่ทาสีดำเพื่อดูดซับความร้อนจากรังสีอาทิตย์และแผ่ความร้อนเพิ่มให้แก่โรงเรือน โครงสร้างหลักทำด้วยเหล็กกล่องชนิดแบน มีช่องรับอากาศเข้าด้านหน้าจำนวน 2 ช่อง ด้านในติดตั้งฮีตเตอร์อินฟราเรดแบบหลอดแก้ว (Quartz Infrared Heater) ขนาดกำลังไฟฟ้า 1,000 W จำนวน 4 หลอด ที่ตำแหน่งกึ่งกลางใต้โครงหลังคาซึ่งครอบคลุมภายใต้ผลผลิตภัณฑ์ และกำหนดระยะห่างระหว่างฮีตเตอร์อินฟราเรดกับผลผลิตภัณฑ์อบแห้ง 20 cm ส่วนด้านหลังติดตั้งพัดลมระบายอากาศขนาด 7 นิ้ว จำนวน 1 ตัว ขนาดกำลังไฟฟ้า 35 W พัดความเร็วลม 2.3 m/s ติดตั้งที่ความสูง 1.40 m ซึ่งวัดจากตำแหน่งพื้นถึงจุดกึ่งกลางของพัดลมระบายอากาศ โดยฮีตเตอร์อินฟราเรดและพัดลมระบายอากาศเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก มีตัวควบคุมระบบความร้อนเสริมที่ติดตั้งภายนอกโรงเรือน ระบบความร้อนเสริมสามารถทำงานโดยอัตโนมัติเมื่อภายในโรงเรือนมีอุณหภูมิต่ำกว่า 45 °C และจะหยุดการทำงานเมื่อภายในโรงเรือนมีอุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 60 °C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งมะเขือเทศราชินีแช่อิ่ม ที่ทำให้สีของผลผลิตภัณฑ์มีค่าใกล้เคียงกับท้องตลาด โดยแสดงลักษณะโรงเรือนอบแห้ง

ตัวควบคุมระบบความร้อนเสริมอัตโนมัติจากฮีตเตอร์อินฟราเรดและพัดลมระบายอากาศ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 (a) ช่องรับอากาศเข้าด้านหน้าโรงเรือนจำนวน 2 ช่อง (b) พัดลมระบายอากาศด้านหลังโรงเรือน (c) ฮีตเตอร์อินฟราเรดติดตั้งภายในโรงเรือน (d) ตัวควบคุมระบบความร้อนเสริม

2.2 มะเขือเทศราชินีแช่อิ่ม

ใช้มะเขือเทศพันธุ์ราชินีจากแหล่งจำหน่ายชุมชนตลาดบ่อบัว จังหวัดฉะเชิงเทรา กระบวนการแช่อิ่มเริ่มต้นโดยการเตรียมวัตถุดิบ ได้แก่ น้ำตาล 3 kg ปูนใส 1 kg เกลือ 500 g มะนาว 5 ผล คัดเลือกมะเขือเทศที่มีขนาดใกล้เคียงกันจำนวน 10 kg จากนั้นเด็ดขั้วแล้วล้างให้สะอาด น้ำ กรีดตามความยาวผล 4-6 แฉก แช่น้ำปูนใส 30 นาที ผึ่งให้สะเด็ดน้ำปูนใส ใส่มะเขือเทศลงในหม้อเติมน้ำตาล มะนาว และเกลือป่น เชื่อมด้วยความร้อนปานกลางจนกว่ามะเขือเทศอมน้ำเชื่อมและงวดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นแช่น้ำเชื่อมไว้เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง [8] ซึ่งมะเขือเทศที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการแช่อิ่ม แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 มะเขือเทศราชินีหลังจากผ่านกระบวนการแช่อิ่ม

2.3 วิธีการทดลองและดำเนินงานวิจัย

ในกระบวนการอบแห้งเป็นการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) ไปยังวัสดุที่มีน้ำหรือความชื้น เพื่อให้ความชื้นจากวัสดุนั้นๆ ออกมาโดยกระบวนการระเหย ซึ่งอาศัยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝง และเกิดการถ่ายเทความร้อนพร้อมกับการถ่ายเทมวลจากวัสดุสู่อากาศ ทำให้ความชื้นในวัสดุลดลง ปริมาณความชื้นที่เหลือในวัสดุจะบอกค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นสามารถคำนวณได้ 2 วิธี คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis, w.b.) และความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis, d.b.) ดังสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ ในการคำนวณความชื้นมาตรฐานเปียกเป็นที่นิยมใช้เพราะเข้าใจง่าย แต่ไม่เหมาะที่จะใช้คำนวณในกระบวนการอบแห้งเพราะมวลของวัสดุจะเปลี่ยนค่าตลอดเวลา ดังนั้นจึงเป็นการสะดวกกว่าที่จะใช้มวลของวัสดุแห้งเป็นมาตรฐานในการคำนวณความชื้นนั้น คือ การคำนวณความชื้นมาตรฐานแห้ง [9]

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

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

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (%)

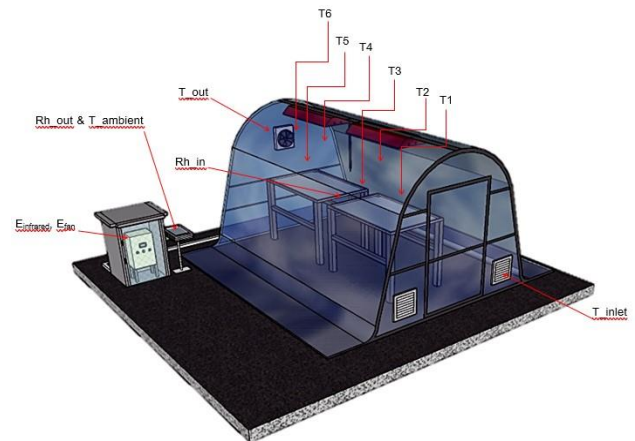
M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)

w คือ น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุชื้น (g)

d คือ น้ำหนักแห้งของวัสดุ (g)

ในการทดลองนี้จะทำการอบแห้งมะเขือเทศแช่อิ่มใน 2 ระบบ คือ โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพัดลมระบายอากาศ และโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับฮีตเตอร์อินฟราเรดและพัดลมระบายอากาศ โดยทั้ง 2 ระบบ ทำการเปรียบเทียบกับ การตากแดดตามธรรมชาติ โดยทดลองอบแห้งมะเขือเทศแช่อิ่มแบบเต็มพื้นที่สามารถอบแห้งมะเขือเทศแช่อิ่มได้ครั้งละ 10 kg ตั้งแต่เวลา 08:00-20:00 น. จนกว่าความชื้นของมะเขือเทศแช่อิ่มจะมีค่าประมาณ 11-25 %d.b. ซึ่งเป็นค่าความชื้นที่ตรงกับความชื้นที่วางจำหน่ายในท้องตลาด

หรือคิดเป็น 10-20% w.b. [10] พร้อมทั้งชั่งน้ำหนักที่ลดลงตามเวลาทุก ๆ 30 นาที โดยนำน้ำหนักไปคำนวณหาปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้งได้ดังสมการที่ (2) กรณีความชื้นยังไม่ได้ตามที่กำหนด ได้ทำการเก็บมะเขือเทศแช่อิ่มใส่กล่องสุญญากาศเข้าตู้เย็นไว้ในเวลากลางคืน และทำการอบแห้งต่อในช่วงเช้าของวันถัดไป ระหว่างการทดลองได้ทำการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิภายในและภายนอกโรงเรือน อุณหภูมิที่ตำแหน่งช่องรับอากาศเข้าและระบายอากาศของโรงเรือน ความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกโรงเรือน ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ และทำการบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตลอดระยะเวลาทำการทดลอง ตำแหน่งการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตำแหน่งการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของการทดลอง

2.4 อัตราส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้ง

จากปริมาณความชื้นที่ลดลงตามเวลา นำมาคำนวณหาอัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio, MR) ในงานวิจัยนี้เป็นการคำนวณโดยการประมาณค่า คือ ไม่คิดค่าความชื้นสมดุล ($M_{eq} = 0$) โดยตั้งสมมติฐานว่าความชื้นสมดุลมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับความชื้นเริ่มต้นและความชื้นที่เวลาใดๆ ของการอบแห้ง ดังนั้นอัตราส่วนความชื้นสามารถสรุป และเขียนอย่างง่ายได้ดังสมการที่ (3) [9]

$$MR = \frac{M_t}{M_i} \quad (3)$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น (decimal)
 M_i คือ ความชื้นเริ่มต้น (%d.b.)
 M_f คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ (%d.b.)

คำนวณหาอัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR) คือ อัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงความชื้นในวัสดุหรือผลิตภัณฑ์อบแห้งต่อเวลา สามารถคำนวณหาอัตราการอบแห้งได้ดังสมการที่ (4) [11]

$$DR = \frac{d(M_i - M_f)}{t} \quad (4)$$

เมื่อ DR คือ อัตราการอบแห้ง (kg/h)
 d คือ น้ำหนักแห้งของวัสดุ (g)
 M_f คือ ความชื้นสุดท้าย (%d.b.)
 t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (h)

2.5 อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) สามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดและแสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการอบแห้งมะเขือเทศราชินีแช่แข็งในงานวิจัยนี้ ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะแสดงให้เห็นถึงพลังงานที่ใช้ในการระเหยความชื้นออกจากมะเขือเทศราชินีแช่แข็งในระหว่างที่ทดลอง ในงานวิจัยนี้ คำนวณจากพลังงานไฟฟ้าจากพัดลมระบายอากาศและค่าพลังงานไฟฟ้าจากชุดฮีตเตอร์อินฟราเรด ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (5) [12]

$$SEC = \frac{(A_c \times I_T \times t) + (E_{electric})}{m_i - m_f} \quad (5)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (kWh/kg)
 m_i คือ มวลของมะเขือเทศราชินีแช่แข็งก่อนการทดลอง (kg)
 m_f คือ มวลของมะเขือเทศราชินีแช่แข็งหลังการทดลอง (kg)

A_c คือ ขนาดพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ของโรงเรือนอบแห้ง (m^2)

I_T คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบโรงเรือนอบแห้ง (W/m^2)

t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (h)

$E_{electric}$ คือ พลังงานไฟฟ้าของพัดลมและฮีตเตอร์อินฟราเรด (kWh)

2.6 การวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ

ค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w) เป็นดัชนีที่ใช้ชี้วัดระดับของปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีผลต่ออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์จะเติบโตได้ภายใต้ค่าปริมาณน้ำอิสระที่จำกัด การทดสอบได้ทำการหาปริมาณน้ำอิสระของมะเขือเทศราชินีแช่แข็งก่อนและหลังการอบแห้ง โดยนำมะเขือเทศราชินีแช่แข็งมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ภาชนะทดลองแบบดิลบพลาสติกแล้วนำไปใส่เครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ รุ่น AQUALAB PRE ความแม่นยำ ± 0.01 มีช่วงการวัดปริมาณน้ำอิสระ 0.05-1.00 ความแม่นยำ ± 0.01 ควบคุมอุณหภูมิการวัดค่าที่ 25 °C ตั้งเวลาวัดค่าประมาณ 5 นาที จากนั้นรอจนกระทั่งเครื่องวัดส่งเสียงสัญญาณเตือนและอ่านค่าที่หน้าจอแสดงผล ซึ่งแสดงลักษณะของเครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระได้ดังรูปที่ 4 โดยทดลองวัดปริมาณน้ำอิสระจำนวน 3 ตัวอย่างต่อเงื่อนไขการทดลอง แล้วนำค่าปริมาณน้ำอิสระที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ



รูปที่ 4 เครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ รุ่น AQUALAB PRE

2.7 การวัดค่าความหวาน

น้ำตาล (Sugar) เป็นส่วนหนึ่งของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid, TSS) ทั้งหมดจะเป็นดัชนีที่ใช้วัดค่าความหวาน (Brix) ซึ่งแสดงค่าในรูปของ %Brix ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่อง Brix Refractometer ยี่ห้อ OEM รุ่น RHB-90ATC ความแม่นยำ ± 0.05 ดังรูปที่ 5 การทดสอบค่าความหวานของมะเขือเทศราชินีแช่อิ่มก่อนและหลังการอบแห้ง วิธีการคือนำมะเขือเทศราชินีแช่อิ่มมาใส่ภาชนะทำการบดให้ละเอียด เติมน้ำบริสุทธิ์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 หยดลงบนปริซึมของเครื่อง Refractometer และอ่านค่าบนแถบแสดงผล จากนั้นนำค่าความที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ [13]



รูปที่ 5 เครื่องวัดค่าความหวาน Brix Refractometer

2.8 การทดสอบคุณภาพด้านสี

ทดสอบคุณภาพสีด้านสีของมะเขือเทศราชินีแช่อิ่มก่อนและหลังการอบแห้งด้วยเครื่องวัดสี Portable colorimeter 3NH รุ่น NH310 ช่วงอุณหภูมิการวัด -10 ถึง 40°C ช่วงความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 85% ความละเอียดการแสดงผล 0.01 มาตรฐานชนิดแหล่งกำเนิดแสง D65 (Noon daylight) ดังรูปที่ 6 เป็นการทดสอบสีในรูปแบบ $L^* a^* b^*$ ในเทอมของความสว่างหรือมีด (Lightness, L^*) ค่าสีแดงหรือสีแดง (Redness, a^*) และค่าสีเหลืองหรือน้ำเงิน (Yellowness, b^*) โดยทำการวัดค่าสีที่ตำแหน่งกึ่งกลางของผล จำนวน 10 ตัวอย่าง ต่อการทดลอง



รูปที่ 6 เครื่องวัดค่าสี 3NH Portable colorimeter

หลังจากนั้นนำค่าสีที่วัดได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติและคำนวณหาความแตกต่างของสีที่เปลี่ยนไปหลังการอบแห้งด้วยโรงเรียนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 2 ระบบ และการตากแดดตามธรรมชาติ ดังสมการที่ (6)

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (6)$$

เมื่อ ΔE คือ ความแตกต่างกันของสีโดยรวม

ΔL คือ ความแตกต่างของความสว่าง

Δa คือ ความแตกต่างของความเข้มสีแดงถึงสีเขียว

Δb คือ ความแตกต่างของความเข้มสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน

3. ผลการทดลองและวิจัย

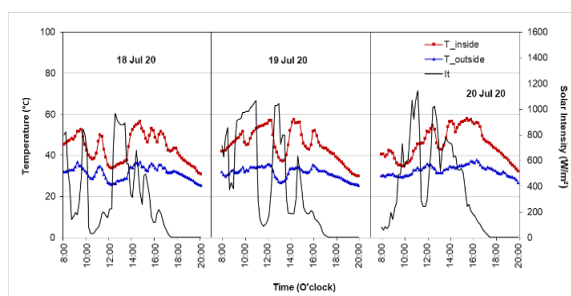
ดำเนินการทดลองอบแห้งมะเขือเทศราชินีแช่อิ่มด้วยโรงเรียน 2 ระบบ โดยดำเนินการทดลองในช่วงเดือนกรกฎาคม และเดือนสิงหาคม 2563 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน โดยมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

3.1 ผลการทดลองอบแห้งด้วยโรงเรียนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาความร้อนแบบบังคับ 2 ระบบ เปรียบเทียบกับการตากแดดตามธรรมชาติ

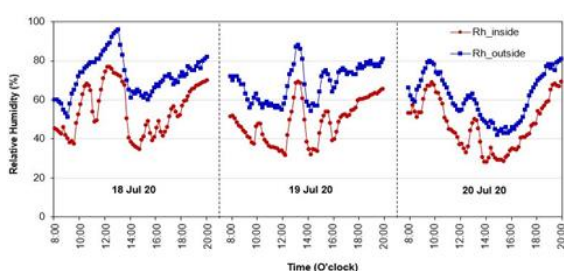
3.1.1 ระบบที่ 1 อบแห้งมะเขือเทศราชินีแช่อิ่มด้วยโรงเรียนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพัดลมระบายอากาศ

ปีที่ 17 ฉบับที่ 2 เดือน พฤษภาคม – กันยายน พ.ศ. 2565

ทำการทดลองในวันที่ 18-20 กรกฎาคม พ.ศ. 2563 ตลอดระยะเวลาการทดลองในแต่ละวันท้องฟ้ามีเมฆสลับกับแสงอาทิตย์และมีฝนตกในบางเวลา ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ย 434.16 W/m^2 อุณหภูมิภายในโรงเรือนและอุณหภูมิแวดล้อมโดยเฉลี่ยมีค่า 44.70°C และ 31.91°C ตามลำดับ ดังรูปที่ 7 ส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนมีค่าต่ำกว่าการตากแดดตามธรรมชาติ ดังรูปที่ 8 เนื่องจากอุณหภูมิภายในโรงเรือนที่สูงกว่าและการระบายความชื้นออกสู่ภายนอกตลอดเวลาด้วยพัดลม



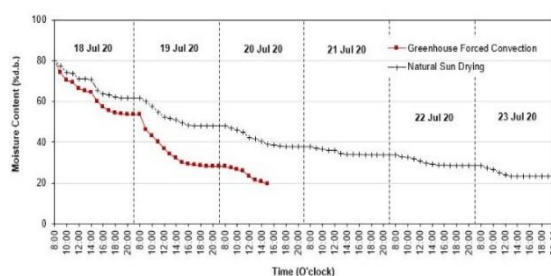
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิภายในโรงเรือนอบแห้งและอุณหภูมิภายนอกในช่วงที่ดำเนินการทดลอง



รูปที่ 8 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนอบแห้งเปรียบเทียบกับความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกในช่วงที่ดำเนินการทดลอง

อัตราการลดลงของความชื้นพบว่า ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงตามระยะเวลาการอบแห้ง ดังรูปที่ 9 ช่วงวันแรกความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมะเขือเทศราชินีแช่อิ่มมีความชื้นเริ่มต้นสูงโดยมีค่า 80.26% d.b. จากนั้นความชื้นค่อยๆ ลดลง แต่ในช่วงเวลาฝนตก

ความชื้นลดลงน้อยมากจนคงที่ ซึ่งเมื่อสิ้นสุดการทดลองจะเหลือความชื้นสุดท้าย 19.47% d.b. โดยใช้เวลา 31 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตากแดดตามธรรมชาติจะใช้เวลาถึง 6 วัน ที่ค่าความชื้นสุดท้ายใกล้เคียงกัน ในการทดลองนี้ได้ทำการเปิดพัดลมระบายอากาศ ตลอดระยะเวลาการทดลอง ทำให้มีการพาทั้งความชื้นและค่าความร้อนออกสู่ภายนอก แม้ในเวลาที่ไม่ฝนตก พัดลมดูดอากาศยังทำหน้าที่ในถ่ายเทความชื้นจากตัวผลิตภัณฑ์ออกสู่ภายนอกตลอดเวลา ทำให้ค่าความปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงต่อเนื่อง และแห้งเร็วกว่าภายนอก โดยเป็นการพาความร้อนแบบบังคับนี้ใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าซึ่งคิดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 0.569 kWh ตลาดการทดลอง

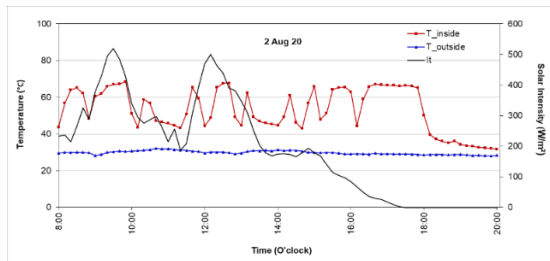


รูปที่ 9 ความชื้นของมะเขือเทศราชินีแช่อิ่มภายในโรงเรือนอบแห้งเปรียบเทียบกับวิธีการตากแดดภายนอกในช่วงที่ดำเนินการทดลอง

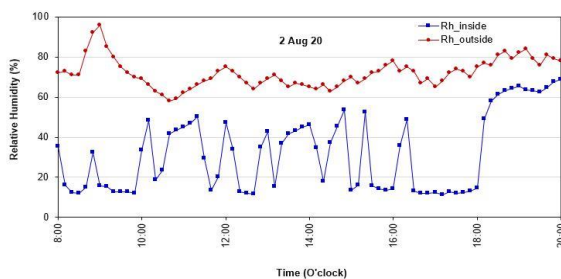
3.1.2 ระบบที่ 2 อบแห้งมะเขือเทศราชินีแช่อิ่มด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับฮีตเตอร์อินฟราเรดและพัดลมระบายอากาศ

ทำการทดลองในวันที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2563 ช่วงเช้ามีเมฆปกคลุมเป็นส่วนใหญ่ และฝนตกจนถึงเวลา 09:30 น. หลังจากนั้นไม่มีเมฆสลับกับแสงแดดตลอดทั้งวัน โดยความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ย 239.64 W/m^2 อุณหภูมิภายในโรงเรือนอบแห้งเปลี่ยนแปลงตามความเข้มรังสีอาทิตย์แต่ยังคงสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก ซึ่งพัดลมระบายอากาศเปิดทำงานตลอดเวลาในช่วงที่ดำเนินการทดลองเพื่อระบายความชื้นของผลิตภัณฑ์ และพบว่า

ในช่วงที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เพียงพอหรือฝนตก ระบบความร้อนเสริมจากฮีตเตอร์อินฟราเรดทำงานอัตโนมัติ เพื่อให้ความร้อนแก่ระบบอบแห้งได้อย่างต่อเนื่อง อุณหภูมิภายในโรงเรือนอบแห้งสูงกว่าการตากแดดโดยภายในโรงเรือนมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 56.29°C และตากแดดภายนอกมีค่าเฉลี่ย 30.21°C ดังรูปที่ 10

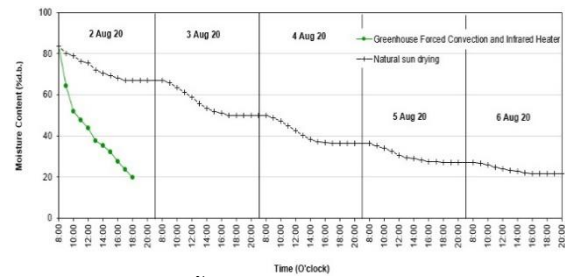


รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิภายในโรงเรือนอบแห้ง และอุณหภูมิภายนอกในช่วงที่ดำเนินการทดลอง



รูปที่ 11 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนอบแห้งเปรียบเทียบกับความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกในช่วงที่ดำเนินการทดลอง

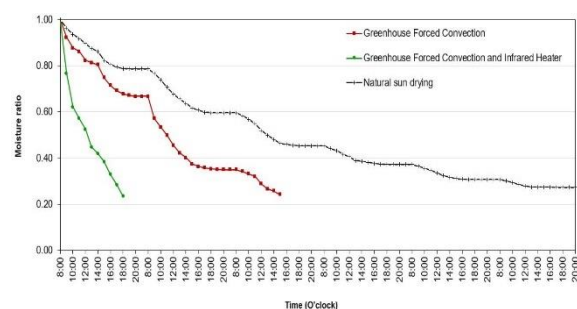
ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนอบแห้งยังคงมีค่าต่ำกว่าการตากแดดตามธรรมชาติ ดังรูปที่ 11 และสามารถลดความชื้นเริ่มต้นจาก 83.54% d.b. เหลือเพียง 19.62% d.b. โดยใช้เวลาเพียง 12 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับตากแดดตามธรรมชาติจะใช้เวลาถึง 5 วัน ณ ที่ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 12 ซึ่งในการทดลองมีการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 22.95 kWh จากระบบอัตโนมัติที่ใช้ความร้อนเสริมจากฮีตเตอร์อินฟราเรด และพัดลมระบายอากาศ



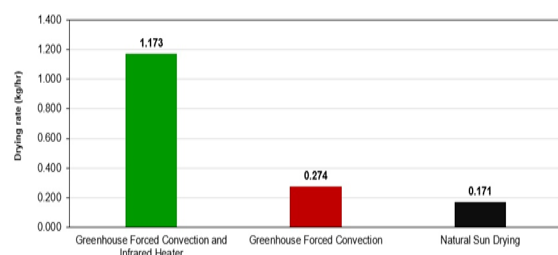
รูปที่ 12 ความชื้นของมะเขือเทศราชินีแช่อิ่มภายในโรงเรือนอบแห้งเปรียบเทียบกับตากแดดภายนอกในช่วงที่ดำเนินการทดลอง

จากผลการทดลองอบแห้งมะเขือเทศราชินีแช่อิ่มด้วยโรงเรือนอบแห้ง ระบบที่ 1 เปรียบเทียบกับการตากแดดตามธรรมชาติ ความชื้นของมะเขือเทศราชินีแช่อิ่มจะลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้นและแปรผันตามความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อพิจารณาการใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับฮีตเตอร์อินฟราเรดและพัดลมระบายอากาศในระบบที่ 2 พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนอบแห้งมีค่าสูงสุด ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนอบแห้งต่ำที่สุด ส่งผลให้อัตราส่วนความชื้นของมะเขือเทศราชินีแช่อิ่มลดลงอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง แม้ว่าในช่วงที่ดำเนินการทดลองจะมีแสงแดดไม่เพียงพอหรือฝนตก ดังแสดงในรูปที่ 13 ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการอบแห้งเฉลี่ยที่มีค่าอัตราการอบแห้งเฉลี่ยสูงสุดมีค่าเท่ากับ 1.173 kg/h ซึ่งมากกว่าการอบแห้งด้วยโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้พัดลมระบายอากาศเพียงอย่างเดียว และการตากแดดตามธรรมชาติที่มีอัตราการอบแห้งเฉลี่ย 0.274 kg/h และ 0.171 kg/h ตามลำดับ โดยแสดงแผนภูมิเปรียบเทียบอัตราการอบแห้งดังรูปที่ 14 จากผลของอัตราการอบแห้งสูงของระบบที่ 2 เนื่องจากการเพิ่มระบบเสริมความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิภายในคงที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการอบแห้งมะเขือเทศ และยังทำงานร่วมกันกับพัดลมระบายอากาศที่นำเอาความชื้นออกสู่ภายนอกตลอดเวลาทำให้อัตราการระเหยน้ำได้กว่าใช้พัดลมระบายอากาศเพียงอย่างเดียวหรือการเปิดระบบเสริมความร้อนอินฟราเรดเพียงอย่างเดียว [6]

ปีที่ 17 ฉบับที่ 2 เดือน พฤษภาคม – กันยายน พ.ศ. 2565



รูปที่ 13 อัตราส่วนความชื้นของมะเขือเทศราชินีแช่อิ่มที่อบแห้งด้วยโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ 2 ระบบ และการตากแดดตามธรรมชาติ



รูปที่ 14 แผนภูมิเปรียบเทียบอัตราการอบแห้งเฉลี่ยของโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ 2 ระบบ และการตากแดดตามธรรมชาติ

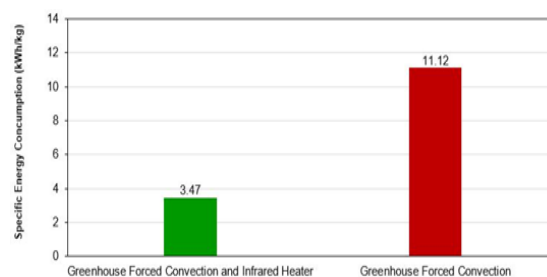
3.2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ในการทดลองทั้งสองระบบ ได้ทำการเก็บข้อมูล ค่าความเข้มข้นสีกาติตย์ ระยะเวลาและพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยนำมาคำนวณหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของระบบ

ตารางที่ 1 บันทึกข้อมูลการทดลองของโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 2 ระบบ

Parameter	หน่วย	System1	System2
IT	W/m ²	434.16	239.64
Drying Times	h	32	10
Heater infrared	kWh	-	22.757
Ventilation fan	kWh	0.569	0.193

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการอบแห้งทั้ง 2 ระบบ พบว่าระบบที่ 2 มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 3.47 kWh/kg โดยระบบนี้ทำงานอัตโนมัติซึ่งสามารถคงค่าอุณหภูมิตามที่กำหนดได้เพื่อชดเชยความร้อนที่สูญเสียไปในกรณีที่ค่าความเข้มข้นสีกาติตย์ไม่เพียงพอหรือฝนตก และสามารถทำให้กระบวนการอบแห้งเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ความชื้นภายในผลิตภัณฑ์ระเหยได้รวดเร็ว ใช้ระยะเวลาการอบแห้งสั้นลง เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ 1 คือการอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพัดลมระบายอากาศเพียงอย่างเดียวที่มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 11.12 kWh/kg ทั้งนี้ระบบที่ 2 มีความสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าเฉลี่ย 68.79% ซึ่งแสดงในแผนภูมิเปรียบเทียบดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 แผนภูมิเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 2 ระบบ

3.3 ผลการทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์

3.3.1 ค่าปริมาณน้ำอิสระ

ผลการวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w) หลังการทดลองอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 2 ระบบ เปรียบเทียบกับการตากแดดตามธรรมชาติ โดยการนำตัวอย่างมาทำการสุ่มแต่ละการทดลองจำนวนการทดลองละ 3 ตัวอย่าง ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 2 จากผลการทดลองพบว่ามะเขือเทศราชินีแช่อิ่มที่ผ่านการอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่าการตากแดดตามธรรมชาติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ โดยมีค่าน้อยกว่า 0.6 ซึ่งแสดงว่าสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา แบคทีเรีย และจุลินทรีย์ได้ ส่งผลให้สามารถยืด

อายุการเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้น และไม่เกินค่ามาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์ชุมชนที่สามารถจำหน่ายได้ในท้องตลาด [14]

ตารางที่ 2 ค่าปริมาณน้ำอิสระของมะเขือเทศราชินีแช่อิ่ม
หลังการทดลอง

วิธีการอบแห้ง	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)
ระบบที่ 1	0.55 ± 0.02^a
ระบบที่ 2	0.54 ± 0.01^a
ตากแดดตามธรรมชาติ	0.67 ± 0.01^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรเดียวกันในแนวตั้งหมายถึงไม่มีความ
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

3.3.2 ค่าความหวาน

ผลการวัดค่าความหวาน (Brix) หลังการทดลอง
อบแห้ง แสดงดังตารางที่ 3 พบว่า มะเขือเทศราชินีแช่อิ่ม
ที่ตากแดดตามธรรมชาติมีค่าความหวานมากที่สุด แต่ไม่มี
ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$
นอกจากนี้ยังพบว่าหลังการอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้ง
พลังงานแสงอาทิตย์ 2 ระบบ มีค่าความหวานไม่แตกต่าง
กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 3 ค่าความหวานของมะเขือเทศราชินีแช่อิ่ม
หลังการทดลอง

วิธีการและระบบ	ความหวาน (%Brix)
ระบบที่ 1	28.67 ± 0.58^{ns}
ระบบที่ 2	28.33 ± 1.53^{ns}
ตากแดดตามธรรมชาติ	29.50 ± 0.58^{ns}

หมายเหตุ : ns (non-significant) ตัวอักษรหมายถึงไม่
มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

3.3.3 ค่าคุณภาพสี

ผลการวัดคุณภาพสี ของมะเขือเทศราชินีแช่อิ่มก่อน
การอบแห้งเปรียบเทียบกับหลังการอบแห้งด้วยโรงเรือน

อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 2 ระบบกับการตากแดดตาม
ธรรมชาติ แสดงดังตารางที่ 4 จากผลการทดสอบพบว่า
ก่อนการอบแห้งมีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 32.95 โดย

การอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
2 ระบบ และการตากแดดตามธรรมชาติ จะทำให้ค่าความ
สว่างลดลงเล็กน้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$
ด้านค่าสีเหลือง (b^*) มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยเช่นเดียวกัน
แต่การอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
ร่วมกับพัดลมระบายอากาศและความร้อนเสริมจากฮีต
เตอร์อินฟราเรดจะทำให้ค่าสีเหลืองลดลงน้อยที่สุดเมื่อ
เปรียบเทียบกับก่อนการอบแห้ง ซึ่งไม่มีความแตกต่าง
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ อย่างไรก็ตามค่าสี
แดง (a^*) ของมะเขือเทศราชินีแช่อิ่มที่อบแห้งด้วยโรงเรือน
อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 2 ระบบ และการตากแดด
ตามธรรมชาติมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย โดยไม่มีความ
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ สำหรับ
การเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวมในรูปของ ΔE เมื่อ
เปรียบเทียบกับก่อนการอบแห้งพบว่ามะเขือเทศราชินีแช่อิ่ม
หลังการอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงาน
แสงอาทิตย์ร่วมกับพัดลมระบายอากาศและความร้อน
เสริมจากฮีตเตอร์อินฟราเรดมีค่าต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากใช้
ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นที่สุดผลิตภัณฑ์ไม่ได้รับรังสี
UV เป็นระยะเวลานาน ซึ่งทำให้มะเขือเทศราชินีแช่อิ่ม
ยังคงมีสีแดงสดออกน้ำตาล [11] ไม่แตกต่างจากสีของ
มะเขือเทศราชินีแช่อิ่มก่อนการอบแห้ง โดยลักษณะของ
มะเขือเทศราชินีแช่อิ่มก่อนและหลังการอบแห้งของการ
ทดลองแสดงดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 แสดงลักษณะทางกายภาพของมะเขือเทศ
ราชินีแช่อิ่มก่อนและหลังการอบแห้ง

ตารางที่ 4 ค่าสีของมะเขือเทศราชินีแช่อิ่มหลังการทดลอง

วิธีการและระบบ	ค่าสี			
	L*	a*	b*	ΔE
ก่อนอบแห้ง	32.95±0.99 ^b	19.43±1.96 ^{ns}	12.79±2.25 ^b	-
ระบบที่ 1	29.80±1.19 ^a	15.69±1.96 ^{ns}	8.62±1.23 ^a	6.43
ระบบที่ 1	29.11±1.76 ^a	16.18±2.35 ^{ns}	11.05±1.71 ^b	5.32
ตากแดดธรรมชาติ	29.84±1.69 ^a	16.17±1.98 ^{ns}	8.36±0.63 ^a	6.31

หมายเหตุ : ns (non-significant) และตัวอักษรเดียวกันในแนวตั้งหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P ≤0.05)

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการทดลองอบแห้งมะเขือเทศราชินีแช่อิ่มด้วยโรงเรือนอบแห้งรูปทรงพาราโบลาเพิ่มพื้นที่รับแสงอาทิตย์ด้านข้างชนิดการพาความร้อนแบบบังคับอากาศ 2 ระบบ คือระบบที่ 1 ใช้พัดลมระบายอากาศเพียงอย่างเดียว และระบบที่ 2 ใช้พัดลมระบายอากาศร่วมกับการติดตั้งระบบความร้อนเสริมจากฮีตเตอร์อินฟราเรด ซึ่งจะทำงานอัตโนมัติเมื่อค่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนอบแห้งต่ำกว่าหรือสูงกว่าในช่วง 45 ถึง 60 °C เปรียบเทียบกับการตากแดดตามธรรมชาติ สามารถสรุปได้ว่าโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพัดลมระบายอากาศที่มีระบบความร้อนเสริมจากฮีตเตอร์อินฟราเรดใช้ระยะเวลาอบแห้งน้อยที่สุด เนื่องจากสามารถลดเขยความร้อนและคงค่าอุณหภูมิตามที่กำหนดได้ ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ อัตราความเร็วของอากาศภายในโรงเรือนอบแห้งสม่ำเสมอ ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนของอากาศสู่ผลิตภัณฑ์มีความต่อเนื่อง ความชื้นของมะเขือเทศราชินีแช่อิ่มลดลงอย่างรวดเร็ว และเป็นระบบที่มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำที่สุด ด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งพบว่า การเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวมมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการอบแห้ง ความหวานหลังการอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้ง 2 ระบบ

มีค่าไม่แตกต่างกัน และค่าปริมาณน้ำอิสระหลังการอบแห้งสองระบบมีค่า 0.54-0.55 ซึ่งต่ำกว่า 0.6 ซึ่งจุลินทรีย์ทุกชนิดไม่สามารถเจริญได้[15][16] และไม่เกินค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่สามารถจำหน่ายได้ในท้องตลาด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่ให้การสนับสนุนในงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Janjai , *Solar drying technology*. 1sted. Nakhon Pathom: Petchkaset Printing Co., Ltd; 2017.
- [2] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2021, Jan 2). "Solar heating" [online]. Available : <https://ienergyguru.com>
- [3] A. Taikhao and S. Teekasap, "Natural convection and forced convection solar dryers," *EAU HERITAGE JOURNAL Science and Technology*, vol.7(1), pp. 23-31, May. 2013.
- [4] C. Sritus, "An investigation of the performance of a large-scale greenhouse solar dryer using polycarbonate cover," M.S. thesis, Dept. Physics., Silpakorn University., Thailand, 2008.
- [5] J. Piwsaoad, "Performance of solar greenhouse dryer for drying para rubber sheets" M.S. thesis, Dept. Physics., Silpakorn University., Thailand, 2014.
- [6] T. Ongprasert and K. Jitjack. "A study of solar greenhouse drying in association with infrared heater for dehydration cherry tomatoes," *Kasem Bundit Engineering Journal*. vol.10,

- pp.62-83, December. 2020.
- [7] K. Jitjack, S. Thepa, K. Sudaprasert and P. Namprakai. "Improvement of a rubber drying greenhouse with a parabolic cover and enhanced panels," *Energy and Buildings*, vol. 124, pp. 178-193, July. 2016.
- [8] S. Nabnean, "Design construction and performance investigation of a solar dryer for drying tomatoes" Ph.D. thesis, School of Energy, Environment and Materials., King Mongkut's University of Technology Thonburi., Thailand, 2015.
- [9] N. Keeratiyadatanapat and P. Toomthong, "Drying of wolffia arrhizal in a fluidized bed dryer," *Koch Cha Sarn Journal of Science*, vol. 38(2), pp. 12-21, December. 2016.
- [10] S. Nabnean "An investigation of the performance of large – scale greenhouse solar drying system with auxiliary heaters" M.S. thesis, Dept. Physics., Silpakorn University., Thailand, 2009.
- [11] R. Kumwan, S. Thiangchanta and S. Kesai, "Determination of drying rate of jackfruit by infrared dryer," *Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal*, vol. 11(2), pp. 67-77, December. 2018.
- [12] W. Jeentada, B. Niyomvas and A. Thaikul, "Experimental study on drying conditions of solar fish dryer with temperature controlled by open-closed ventilating system," *The Journal of KMUTNB*, vol. 28(3), pp. 525-536, September. 2018.
- [13] A. Bharathkumar, S.L. Jagadeesh, G. Bhuvaneshwari, S.N. Patil, D.L. Rudresh, M. Viresh Hiremath and I. Prabhakar, "Influence of pre-treatment on total soluble solids, titratable acidity and sugars of raisin," *International Journal of Chemical Studies*, vol.6(5), pp. 230-232, August. 2018.
- [14] N. Wisaiprom, N. Kadsayapanand and W. Palasai, "The comparative study of shrimp drying process with low humidity air and hot air drying" *Princess of Naradhiwas University Journal*, vol.11(1), pp. 83-94, April. 2019.
- [15] N. Rattanapanon, *Food Chemistry*, 4th Ed., Odean Store Publisher, Bangkok, 2000.
- [16] P. Fellows, *Food Processing Technology Principles and Practice*, 2nd Ed. Woodhead Publishing, Ltd., Cambridge, 2000, pp. 575.