

การวิเคราะห์เชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบผสมสำหรับการอบแห้งสับปะรด

วาณิช นิลนนท์

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี
สุธิดา พิทักษ์วินัย*

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 0084 9014 อีเมล: n_joice@hotmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.01.001

รับเมื่อ 1 เมษายน 2563 แก้ไขเมื่อ 27 เมษายน 2563 ตอรับเมื่อ 29 เมษายน 2563 เผยแพร่ออนไลน์ 5 มกราคม 2564

© 2021 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการอบแห้งสับปะรดด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบผสมโดยการพาความร้อนด้วยการบังคับ ซึ่งประกอบด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์และห้องอบแห้ง เครื่องอบแห้งนี้มีการพัฒนาด้วยการติดตั้งโดมทรงกลมภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อน จากนั้นทำการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องอบแห้งตามหลักการทรงพลังงาน เอกเซอร์จีที่อยู่บนพื้นฐานของกฎข้อที่สองทางอุณหพลศาสตร์ และคำนวณหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง โดยพบว่า อุณหภูมิที่ออกจากตัวเก็บรังสีมีค่าสูงสุดที่ 68.91°C และอุณหภูมิสูงสุดภายในห้องอบแห้งมีค่า 62.59°C การทดลองนี้สามารถลดปริมาณความชื้นของสับปะรดจาก 84.97% w.b. ถึง 29.37% w.b. พบว่ามีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 1.9634 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม สำหรับการวิเคราะห์พลังงานและเอกเซอร์จีของการอบแห้งพบว่า มีค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ 50.39% และ 16.05% ผลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาศักยภาพของการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบอบแห้งให้เกิดประโยชน์สูงสุด

คำสำคัญ: สับปะรด เครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบผสม เอกเซอร์จี



Thermal Analysis of a Mixed-mode Solar Dryer for Drying of Pineapple

Wanich Nilnont

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Nonthaburi Campus, Nonthaburi, Thailand

Sutida Phitakwinai*

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Nonthaburi Campus, Nonthaburi, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 0084 9014, E-mail: n_joice@hotmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.01.001

Received 1 April 2020; Revised 27 April 2020; Accepted 29 April 2020; Published online: 5 January 2021

© 2021 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research presents the drying of pineapple using a mixed-mode forced convection solar dryer, which consists of a flat plate solar collector and a dryer chamber. This dryer is developed with the geodesic domes installation within the solar collector to increase the surface area of heat transfer. The dryer performances according to the conservation of energy principle, exergy base on the second law of thermodynamics and the specific energy consumption in the drying are analyzed. It was found that the maximum drying air temperature at the outlet collector and the dryer chamber were 68.91°C and 62.59°C. This experimental was able to decrease the moisture content of pineapple from 84.47% w.b. to 29.37% w.b., found that the specific energy consumption 1.9634 kWh/kg. For energy and exergy analysis of this pineapple drying, found the maximum efficiencies achieved were 50.39% and 16.05%. The results of this research can be used as data to develop and maximize the potential of renewable energy usage in the drying.

Keywords: Pineapple, Mixed-mode Solar Dryer, Exergy

1. บทนำ

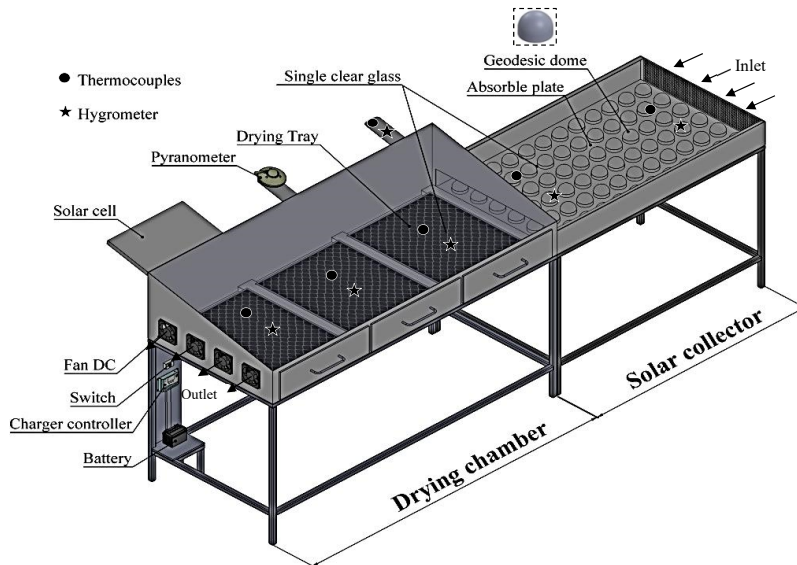
สับปะรด (Pineapple) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ananas Comosus* (L.) Merr. เป็นผลไม้ที่มีสรรพคุณจำนวนมากที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย [1] และมีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่มีการปลูกอย่างแพร่หลายในเกือบทุกภูมิภาคของประเทศไทย โดยมีพื้นที่ปลูกมากกว่า 584,473 ไร่ [2] ในบางฤดูกาลมีจำนวนผลผลิตมากจนเกินความต้องการจึงทำให้เกษตรกรประสบปัญหาการขาดผลผลิตตกต่ำ

การแปรรูปด้วยวิธีการทำแห้งเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าวโดยการลดความชื้นเพื่อลดค่าแอกติวิตีของน้ำ (Water Activity) ในผลผลิตให้มีค่าในระดับที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น และมีความปลอดภัยต่อการบริโภค [3] ทำให้ผลผลิตที่ล้นตลาดนั้นมีมูลค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์เป็นวิธีการทำแห้งวิธีหนึ่งที่ได้รับค่านิยมในการลดความชื้นของผลผลิตทางการเกษตรในประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยมีค่ารังสีอาทิตย์รวมรายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศในปริมาณ 18.2 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน หรือในอัตรา 5.05 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน [4] จึงมีศักยภาพเพียงพอในการเปลี่ยนรูปพลังงานรังสีอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน วิธีการอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์ที่นิยมคือการตากแดดธรรมชาติ ซึ่งมีข้อดีคือค่าใช้จ่ายน้อย ทำได้ง่าย แต่จะมีปัญหาด้านสุขอนามัย หรือบางครั้งผลผลิตอาจได้รับความเสียหายจากสภาพภูมิอากาศที่ไม่สามารถควบคุมได้ ถึงแม้ว่าขณะนี้ได้มีการพัฒนาเครื่องอบแห้งเชิงกลหลากหลายรูปแบบแต่เครื่องเหล่านั้นมีราคาแพง มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่ค่อนข้างสูง และใช้พลังงานฟอสซิลที่ราคามีแนวโน้มสูงขึ้นในปัจจุบันมีงานวิจัยต่างๆ [5]–[8] ที่นำพลังงานรังสีอาทิตย์มาผลิตความร้อนเพื่อใช้ในการอบแห้งซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนในการแปลงพลังงานฟอสซิลเป็นพลังงานความร้อนเพื่อลดความชื้นของผลผลิต

การนำพลังงานรังสีอาทิตย์มาผลิตความร้อนนั้น จะต้องมีการออกแบบและประเมินศักยภาพของระบบ ซึ่งการวิเคราะห์เอ็กเซอร์จีเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ระบบโดยอาศัยหลักการตามกฎทางอุณหพลศาสตร์

ข้อที่หนึ่งและข้อที่สองร่วมกัน ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์จะสามารถใช้ในการคาดคะเนถึงค่าสูงสุดของพลังงานที่เป็นประโยชน์ที่ระบบทำได้โดยมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมที่อ้างอิงไว้อย่างชัดเจน ในทางปฏิบัติสามารถหาผลต่างระหว่างพลังงานของระบบจริงและพลังงานสูงสุดที่ระบบกระทำได้ ซึ่งผลต่างนี้จะเป็นข้อมูลที่ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาศักยภาพของระบบจริงให้มีค่าผลลัพธ์ที่ดีขึ้น

การผลิตความร้อนด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์เพื่อใช้สำหรับการอบแห้งภายในประเทศไทยถูกจัดอยู่ในแผนยุทธศาสตร์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ตามแม่บทของกระทรวงพลังงานในช่วงปี 2562 ถึง 2565 ที่มีแผนงานการสร้างความยั่งยืนและเข้าถึงประชาชน โดยมีการสนับสนุนชุมชนในกลุ่มเกษตรกรหรือกลุ่มแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรสร้างรายได้และพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยเทคโนโลยีพลังงานที่เหมาะสมให้เกิดผลเป็นรูปธรรมอย่างยั่งยืน [9] จากการลงพื้นที่สำรวจชุมชนของคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี พบว่าเกษตรกรในพื้นที่เทศบาลตำบลไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี มีความต้องการเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์ขนาดครัวเรือนสำหรับใช้ลดความชื้นของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวแทนการตากแดดธรรมชาติเพื่อเพิ่มคุณภาพของผลผลิตก่อนนำออกจำหน่ายสู่ผู้บริโภค ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบผสมโดยเครื่องอบแห้งนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน คือตัวเก็บรังสีอาทิตย์และห้องอบแห้ง ภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้ทำการเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับดูดกลืนรังสีภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar Collector) เป็นโลหะรูปโดมทรงกลม (Geodesic Dome) เครื่องอบแห้งชนิดนี้มีข้อดีคือ มีพื้นที่ที่สามารถรับรังสีกระจายเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนได้มากกว่าเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์ชนิดอื่นๆ จากนั้น ทำการทดสอบอบแห้งผลผลิต แล้วทำการประเมินระบบอบแห้งดังกล่าวด้วยหลักการวิเคราะห์ตามกฎข้อที่หนึ่ง และการวิเคราะห์เอ็กเซอร์จี (Exergy) ที่อยู่บนพื้นฐานของกฎข้อที่สองตามหลักการอุณหพลศาสตร์เพื่อเป็นแนวทางสำหรับพัฒนาศักยภาพของ



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบผสม และตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ (Thermocouples) และความชื้นสัมพัทธ์ (Hygrometer)

ระบบอบแห้งในการใช้พลังงานทดแทนให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป และยังเป็น การยกระดับคุณภาพของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวให้มีความปลอดภัยต่อการบริโภคมากยิ่งขึ้น

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 เครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบผสม

เครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบผสมดังรูปที่ 1 ประกอบด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat-plate Solar Collector) มีขนาดกว้าง 0.9 เมตร ยาว 1.5 เมตร สูง 0.2 เมตร และมีการเพิ่มพื้นที่ผิวดูดกลืนรังสีภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ด้วยโลหะรูปโดมทรงกลม (Geodesic Dome) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร จำนวน 72 ชิ้น ด้านบนปิดด้วยกระจกใสหนา (Single Clear Glass) 5 มิลลิเมตร ห้องอบแห้ง (Drying Chamber) มีขนาดกว้าง 0.9 เมตร ยาว 1.5 เมตร ด้านบนมีโครงสร้างทรงครึ่งหน้าจั่วมีมุมที่ฐานเอียง 14 องศา กับแนวนระดับ ความสูงของห้องอบแห้งจากพื้นถึงครึ่งหน้าจั่วคือ 0.45 เมตร แผ่นปิดด้านบนเป็นวัสดุชนิดเดียวกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ภายในเครื่องอบแห้งมีการหุ้มฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนและถูกทาสีด้วยสีดำด้านชนิด

ไม่มีผลกระทบต่อข้างเคียงต่อการอบแห้งอาหาร วัสดุหลักในการสร้างคือแผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต

การเคลื่อนที่ของอากาศผ่านเครื่องอบแห้งมีอัตราการไหลเชิงมวล 0.014 กิโลกรัมต่อวินาที ซึ่งใช้พัดลมชนิดไฟกระแสดตรง (Fan DC) จำนวน 4 ตัว โดยเซลล์รังสีอาทิตย์ (Solar Cell) รุ่น TM5-20/36 ขนาด 20 วัตต์ เป็นแหล่งจ่ายไฟ พื้นที่หน้าตัดของพัดลมระบายอากาศรวม 0.0576 ตารางเมตร และที่เซลล์รังสีอาทิตย์มีเครื่องควบคุมการประจุไฟ (Charger Controller) ให้กับแบตเตอรี่ (Battery) ขนาด 12 โวลต์ ก่อนจะจ่ายไฟให้กับพัดลม

2.2 เครื่องมือวัดสำหรับการทดลอง

ภายในเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบผสม ที่ทำการอบแห้งสับปะรดได้ติดตั้งเครื่องมือวัดที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ผลการทดลองดังรูปที่ 1 ประกอบด้วย เครื่องวัดรังสีอาทิตย์ (Pyranometer) ของ Kipp & Zonen รุ่น CMP 6 ค่าสภาพการตอบสนองของไพราโนมิเตอร์ 17.95×10^{-6} โวลต์ต่อวัตต์ต่อตารางเมตร เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouples) ชนิด K มีค่าความแม่นยำ 0.1

องศาเซลเซียส และเครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ (Hygrometer) ของ Graphtec รุ่น B-530-UM-152 ช่วงการวัดความชื้น 0 ถึง 100% RH ค่าความแม่นยำ $\pm 3\%$ RH ที่ 25 องศาเซลเซียส โดยข้อมูลที่ได้จากการวัดจะถูกบันทึกด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ของ Graphtec รุ่น GL-820 ในการชั่งมวลของสับปะรดระหว่างการอบแห้งใช้เครื่องชั่งแบบ Electronic Balance มีขนาดความสามารถ 3,000 กรัม ค่าความแม่นยำ 0.01 กรัม การวัดความเร็วอากาศใช้เครื่องมือวัดแบบ Anemometer ชนิด Hot Wire ของ Emtech รุ่น 45158 ค่าความแม่นยำ $\pm 3\%$

2.3 วิธีการวิจัย

เครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบผสมถูกสร้างและติดตั้งเพื่อทำการทดลองอบแห้งสับปะรดที่คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี ในการอบแห้งมีการหันหน้าเครื่องอบแห้งไปทางทิศใต้เพื่อรับรังสีอาทิตย์ เครื่องอบแห้งต้นแบบนี้สามารถอบแห้งสับปะรดสดพันธุ์ปัตตาเวียที่หั่นเป็นแผ่นตามแนวขวางของลูกโดยไม่คว้านแกนสับปะรดมีความหนา 5 มิลลิเมตร ได้จำนวนประมาณ 10 กิโลกรัมต่อครั้ง หลังจากนั้นนำสับปะรดที่หั่นแล้วทั้งหมดเก็บไว้ในตู้แช่เย็นก่อนทำการทดลองอบแห้งได้นำสับปะรดที่หั่นเตรียมไว้ออกจากตู้แช่เย็น 3 ชั่วโมง และจัดเรียงกระจายบนถาดตัวอย่างจำนวน 3 ถาด เพื่อเป็นตัวอย่างวิเคราะห์ผลการทดลอง แต่ละถาดมีมวล 400 กรัม ซึ่งจะนำถาดตัวอย่างจำนวน 2 ถาด วางไว้ในเครื่องอบแห้ง และถาดตัวอย่างอีกหนึ่งถาดนำไปตากแดดธรรมชาติ ส่วนสับปะรดที่เหลือจะวางเรียงกระจายบนถาดภายในเครื่องอบแห้ง เริ่มทำการทดลองในช่วงเวลาตั้งแต่ 08.00 ถึง 17.00 น. การทดลองอบแห้งนี้จะอบแห้งจนกระทั่งมวลของสับปะรดตัวอย่างที่อยู่ในห้องอบแห้งไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งได้ทำการชั่งมวลทุกชั่วโมง จากนั้นนำมวลตัวอย่างไปอบแห้งในเตาอบ (Oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน AOAC [10] เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้คำนวณหาค่าความชื้นระหว่างการอบแห้ง

3. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 ประสิทธิภาพของอุปการ

สมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ออกแบบนี้สามารถประเมินได้จากค่าประสิทธิภาพของอุปการในระหว่างการอบแห้งสับปะรดภายใต้อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่กำหนด โดยมีสมการสำหรับศึกษาที่ได้มาจากหลักการทรงพลังงาน (Conservation of Energy Principle) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) ดังต่อไปนี้ [11]

$$Q_u = I_o - Q_p \quad (1)$$

เมื่อ I_o คือ รังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนโดยแผ่นดูดกลืนรังสีไว้ (วัตต์) ส่วน Q_p คือ พลังงานความร้อนที่สูญเสียออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไปยังสิ่งแวดล้อม (วัตต์) และ Q_u คือ พลังงานความร้อนสุทธิที่อากาศได้รับเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (วัตต์) เพื่อใช้ในการอบแห้ง โดยค่าความร้อดังกล่าวสามารถหาได้จากสมการที่ (2) ดังนี้ [12]

$$Q_u = \dot{m}C_p(T_o - T_i) \quad (2)$$

เมื่อ \dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (กิโลกรัมต่อวินาที) C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ (จูลต่อกิโลกรัมต่อเคลวิน) T_o คือ ค่าอุณหภูมิอากาศที่ออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (เคลวิน) และ T_i คือ ค่าอุณหภูมิอากาศที่เข้าสู่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (เคลวิน)

สำหรับรังสีอาทิตย์ที่แผ่นดูดกลืนรังสีรับไว้สามารถหาได้จากสมการที่ (3) ต่อไปนี้ [13]

$$I_o = \tau\alpha I_c \quad (3)$$

โดยที่ τ คือ สภาพการส่งผ่านของแผ่นปิดโปร่งแสง α คือ ค่าสภาพการดูดกลืนที่แผ่นดูดรังสี I คือ รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (วัตต์ต่อตารางเมตร) และ A_c คือ พื้นที่รับรังสีของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (ตารางเมตร)

พลังงานความร้อนที่สูญเสียออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์



สู่สิ่งแวดล้อมหาได้จากสมการที่ (4) ต่อไปนี้

$$Q_p = U_c(T_c - T_{amb})A_c \quad (4)$$

เมื่อ U_c คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมอันเนื่องมาจากการพาความร้อน (วัดต่อตารางเมตรต่อเคลวิน) T_c คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (เคลวิน) และ T_{amb} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของสิ่งแวดล้อม (เคลวิน)

จากสมการที่ (1) สามารถจัดรูปแบบความสัมพันธ์ร่วมกับสมการที่ (2) ถึง (4) ได้สมการที่ (5) ดังนี้ [14]

$$\dot{m}C_p(T_o - T_i) = \tau\alpha I A_c - U_c(T_c - T_{amb})A_c \quad (5)$$

ค่าสภาพการส่งผ่านของแผ่นปิดโปร่งแสง (τ) นั้น เป็นลักษณะจำเพาะของวัสดุที่ใช้ทำแผ่นปิดโปร่งแสง กรณีกระจกมีค่าประมาณ 0.85 และที่ผิวของพื้นที่ดูดกลืนรังสีถูกทาหรือเคลือบด้วยสีดำด้านจะมีค่าสภาพการดูดกลืน (α) ที่แผ่นดูดรังสี ประมาณ 0.95 [15]

การหาความสามารถของการเปลี่ยนพลังงานรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์นั้น จะแสดงในรูปของประสิทธิภาพอุณหภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เป็นไปตามกฎข้อที่หนึ่งทางอุณหพลศาสตร์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6) ดังต่อไปนี้ [16]

$$\eta_{SAH} = \frac{\dot{m}C_p(T_o - T_i)}{\tau\alpha A_c I} \quad (6)$$

สำหรับพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากสับปะรดประกอบด้วยพลังงานที่ได้จากพลังงานรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นที่รับรังสีของตัวเก็บรังสีและห้องอบแห้ง พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากเซลล์รังสีอาทิตย์ที่ส่งให้กับพัดลม โดยที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption; SEC) จะเป็นค่าที่แสดงให้ทราบถึงพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำจำนวน 1 กิโลกรัม ออกจากสับปะรด ซึ่งเป็นดัชนีแสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการลดความชื้น

โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7) ดังนี้ [17], [18]

$$SEC = \frac{E_t}{m_w} \quad (7)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อกิโลกรัม น้ำ) E_t คือ ผลรวมพลังงานรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นที่รับรังสีของตัวเก็บรังสีของเครื่องอบแห้ง (กิโลวัตต์) กับพลังงานไฟฟ้าที่ส่งให้พัดลม ซึ่งพลังงานรวมสามารถประเมินได้จากสมการที่ (8) โดยค่า td เป็นเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (ชั่วโมง) ดังสมการที่ (8)

$$E_t = [(A_c + A_{dryer}) I_o + \dot{E}_{bl}] td \quad (8)$$

ส่วนค่า m_w คือ มวลน้ำที่ระเหยออกจากสับปะรด (กิโลกรัม) หาได้จากสมการที่ (9) ดังนี้

$$m_w = \frac{m_p(M_i - M_f)}{100 - M_f} \quad (9)$$

โดยที่ m_p คือ มวลเริ่มต้นของสับปะรด (กิโลกรัม) m_i คือ ความชื้นเริ่มต้นที่เวลาการอบแห้ง td เท่ากับศูนย์ ($td = 0$) และ M_f คือ ความชื้นสุดท้ายของสับปะรดที่เวลา td ใดๆ (% w.b.) ซึ่งประเมินได้จากสมการที่ (10) ต่อไปนี้

$$M = \frac{m(t) - m_d}{m(t)} \times 100\% \quad (10)$$

เมื่อ $m(t)$ เป็นมวลของสับปะรด ณ เวลาใดๆ ที่ทำการอบแห้ง m_d คือ มวลแห้งของสับปะรดหลังจากอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (กิโลกรัม)

ประสิทธิภาพอุณหภาพของระบบอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบผสมหาได้จากอัตราส่วนของพลังงานความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากผลผลิตต่อพลังงานรวม (E_t) ที่ป้อนเข้าระบบอบแห้ง (กิโลจูล) แสดงดังสมการที่ (11) ต่อไปนี้

$$\eta_{ds} = \frac{m_w h_{fg}}{E_t} \quad (11)$$

เมื่อ h_{fg} คือ ความร้อนแฝงที่ใช้ในการระเหยน้ำ (กิโลจูลต่อ กิโลกรัม) กรณีผลผลิตทางเกษตรที่มีปริมาณความชื้นสูง สามารถหาได้จากสมการที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสัมบูรณ์ (T_{abs}) ของการอบแห้งสมการที่ (12) และ (13) ดังนี้ [19]

$$h_{fg} = 2.503 \times 10^6 - 2.386 \times 10^3 (T_{abs} - 273.16) \quad (12)$$

โดยที่ $273.16 \leq T_{abs}$ (เคลวิน) ≤ 338.72

$$h_{fg} = (7.33 \times 10^{12} - 1.60 \times 10^7 \times T_{abs}^2)^{0.5} \quad (13)$$

โดยที่ $338.72 \leq T_{abs}$ (เคลวิน) ≤ 533.16

3.2 ประสิทธิภาพเอกเซอร์จีตามกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์

กฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์ กล่าวถึงพลังงานในเชิงคุณภาพซึ่งได้จากการวิเคราะห์ระบบทางอุณหพลศาสตร์ โดยทำให้ทราบถึงคุณภาพของพลังงานที่มีการลดลงในระหว่างกระบวนการอันจะนำไปสู่แนวทางการปรับปรุงพัฒนาอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบให้มีความสามารถในการทำงานที่สูงขึ้น

การเปลี่ยนแปลงภาวะของระบบทางอุณหพลศาสตร์ ด้วยกระบวนการย้อนกลับได้จากภาวะเริ่มต้นไปสู่ภาวะสุดท้ายที่สมดุลกับสิ่งแวดล้อมจะส่งผลให้ได้พลังงานส่วนนำไปใช้ประโยชน์ทางทฤษฎีสูงสุด (Maximum Useful Theoretical Energy) เรียกปริมาณพลังงานดังกล่าวว่า “เอกเซอร์จี” ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการทำงานของระบบที่สามารถกระทำได้โดยมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมที่มีการกำหนดไว้อย่างชัดเจน ถ้าหากนำพลังงานส่วนนี้ไปใช้ไม่ถูกวิธีจะเกิดการสูญเสียจากการย้อนกลับไม่ได้ (Irreversibility) เพิ่มขึ้นอีก การอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์จัดได้ว่าเป็นกระบวนการรับพลังงานรังสีอาทิตย์เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนที่ความดันคงที่ โดยมีของไหลทำงานเป็นอากาศผ่านเข้าและออกจากขอบเขตของระบบอย่างละ 1 ช่องทางแบบคงตัว (Steady Flow) กรณีไม่คิด

ผลการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ พลังงานศักย์ และพลังงานอื่นๆ ที่มีผลกระทบน้อยและไม่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบสามารถสมมูลเอกเซอร์จีได้ดังสมการที่ (14) ต่อไปนี้ [20]

$$\Sigma \left(1 - \frac{T_r}{T}\right) \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}(Ex_i - Ex_o) - \dot{Ex}_{dest} = 0 \quad (14)$$

ในกรณีไม่มีงานที่กระทำกับระบบ เอกเซอร์จีจากการถ่ายเทงานจึงเป็นศูนย์ ($\dot{W} = 0$) การทำลายเอกเซอร์จีที่เกิดจากกระบวนการย้อนกลับไม่ได้คือ $\dot{Ex}_{dest} = T_r \dot{S}_{gen}$ ซึ่ง T_r คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่อ้างอิง (เคลวิน) และ \dot{S}_{gen} คือ เอนโทรปีเจเนอเรชัน (วัดต่อเคลวิน) การถ่ายเทเอกเซอร์จีเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนหาจาก $\Sigma \left(1 - \frac{T_r}{T}\right) \dot{Q}$ ดังนั้นจะได้เอกเซอร์จีของการไหลที่สภาวะใดๆ ตามสมการที่ (15) ดังนี้ [18]

$$\dot{Ex} = \dot{m}_{da} C_{pa} \left[(T - T_r) - T_r \ln \left(\frac{T}{T_r} \right) \right] \quad (15)$$

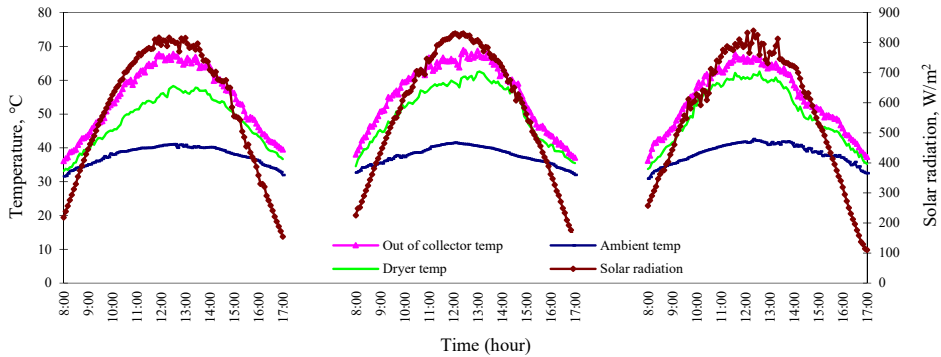
เอกเซอร์จีที่เพิ่มขึ้นของอากาศเมื่อไหลผ่านตัวเก็บรังสีได้จากการประยุกต์สมการที่ (15) ดังแสดงในสมการที่ (16) ต่อไปนี้ [21]

$$\dot{Ex}_u = \dot{m} C_{pa} \left[(T_{co} - T_{ci}) - T_r \ln \left(\frac{T_{co}}{T_{ci}} \right) \right] \quad (16)$$

เอกเซอร์จีจากการแผ่รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ หาได้จากสมการจากการทดลองของ Petela ดังนี้ [22]

$$\dot{Ex}_{solar} = \tau \alpha A_{col} I_s \left[1 - \frac{1}{3} \frac{T_r^4}{T_s^4} - \frac{4}{3} \frac{T_r}{T_s} \right] \quad (17)$$

โดยที่ \dot{m}_{da} เป็นอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (กิโลกรัมต่อวินาที) C_{pa} คือ ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ (จูลต่อ กิโลกรัมต่อเคลวิน) T_{ci} และ T_{co} เป็นอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (เคลวิน) T_s คือ อุณหภูมิเทียบเท่าอุณหภูมิดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ 6,000 เคลวิน [23] การประเมินความสามารถของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในรูปแบบ



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่ทางออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งและความเข้มรังสีอาทิตย์ในช่วงเวลาตั้งแต่ 08.00-17.00 น.

ประสิทธิภาพเอกเซอร์จี จะเป็นการหาสัดส่วนของเอกเซอร์จีที่เป็นประโยชน์ที่ระบบทำได้จริงต่อเอกเซอร์จีสูงสุด ที่มีให้ใช้ประโยชน์ที่ตัวเก็บรังสีสามารถสร้างได้ในรูปอัตราส่วนดังสมการที่ (18) [21]

$$\epsilon_{col} = \frac{\dot{E}x_u}{\dot{E}x_{solar}} \quad (18)$$

สำหรับห้องอบแห้ง เอกเซอร์จีเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนเพื่อให้ไน้ระเหยออกจากเนื้อสับประตได้จากสมการที่ (19) ดังนี้ [19], [28]

$$\dot{E}x_{vap} = \left[1 - \frac{T_r}{T_{id}} \right] h_{fg} m_w \quad (19)$$

เอกเซอร์จีที่เข้าสู่ห้องอบแห้งส่วนหนึ่งได้มาจากเอกเซอร์จีที่เพิ่มขึ้นของอากาศเมื่อผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และอีกส่วนหนึ่งได้จากเอกเซอร์จีจากการแผ่รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นที่ของห้องอบแห้ง ดังนั้นประสิทธิภาพ เอกเซอร์จีที่ห้องอบแห้งคำนวณได้จากสมการที่ (20) ดังนี้

$$\epsilon_{ds} = \frac{\dot{E}x_{vap}}{\dot{E}x_u + \dot{E}x_{solar}} \quad (20)$$

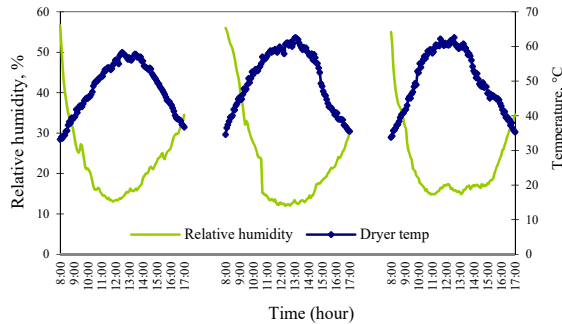
4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองอบแห้งสับประต

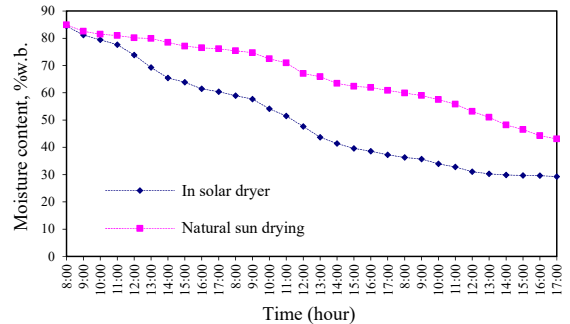
การทดลองอบแห้งสับประตได้ดำเนินในระหว่าง

วันที่ 5-7 เดือนมกราคม พ.ศ. 2563 ภายนอกเครื่องอบแห้งมีการวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มรังสีอาทิตย์ ส่วนภายในเครื่องอบแห้งทำการวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ โดยมีการบันทึกข้อมูลในราย 5 นาที ช่วงเช้าถึงช่วงเที่ยงของการทดลอง 2 วันแรก ท้องฟ้าค่อนข้างปราศจากเมฆส่งผลให้รังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ โดยมีค่าสูงสุดประมาณ 830.64 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงเวลา 17.00 น. ในวันที่ 3 ของการทดลองช่วงเช้าถึงช่วงเย็นท้องฟ้าแจ่มใสเกือบตลอดทั้งวัน มีเมฆบางส่วนในช่วงเวลา 10.00 น. และ 12.30 น. ถึง 13.30 น. ซึ่งสังเกตได้จากความเข้มรังสีอาทิตย์มีความไม่สม่ำเสมอดังรูปที่ 2 พบว่าอุณหภูมิภายนอกเครื่องอบแห้งมีค่าโดยประมาณอยู่ระหว่าง 31.64 องศาเซลเซียส ถึง 41.55 องศาเซลเซียส และภายในเครื่องอบแห้งมีอุณหภูมิสูงสุดมีค่าโดยประมาณ 62.59 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากตัวเก็บรังสีมีค่าสูงสุดโดยประมาณ 68.91 องศาเซลเซียส

ในรูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งที่สูงขึ้นตามความเข้มของรังสีอาทิตย์กับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้ง พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิในระบบอบแห้งสูงขึ้นโดยมีค่าต่ำสุด 12.02% เนื่องจากอากาศที่ภาวะนี้มีค่าความจุความร้อนเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิซึ่งเป็นไปตามขบวนการเพิ่มอุณหภูมิที่ภาวะความชื้นจำเพาะคงที่ เมื่ออากาศส่วนนี้สัมผัสกับสับประต ความร้อน



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในเครื่องอบแห้ง



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบความชื้นกับเวลาที่อบแห้ง สับปะรด โดยเครื่องอบแห้งและการตากแดดธรรมชาติ



ภายในเครื่องอบแห้ง



ตากแดดธรรมชาติ

รูปที่ 5 ตัวอย่างสับปะรดที่ผ่านการอบแห้งภายในเครื่องอบแห้งและตากแดดธรรมชาติ

จากอากาศจะถ่ายเทเข้าสู่เนื้อสับปะรดทำให้น้ำระเหยออกมา ความชื้นจำเพาะและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจึงมีปริมาณสูงขึ้นและอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศมีค่าลดลงก่อนออกจากเครื่องอบแห้ง ในการอบแห้งสับปะรดได้ทำการลดความชื้นเริ่มต้นโดยประมาณจาก 84.47% w.b. จนกระทั่งความชื้นไม่เปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 4 โดยพบว่า ใช้เวลาทั้งหมด 24 ชั่วโมง ความชื้นลดลงเหลือ 29.37% w.b. สับปะรดที่ได้ผ่านการอบแห้งจากเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบผสมและจากการตากแดดธรรมชาติแสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งจากการเปรียบเทียบความชื้นสุดท้ายพบว่า กรณีที่ลดความชื้นด้วยวิธีธรรมชาติผลิตภัณฑ์จะมีความชื้นสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์ถึง

14.78% w.b. เมื่อใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากัน ซึ่งผลทดลองนี้พบว่า ระยะเวลาของการอบแห้งมีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Sacilik และคณะ [24] ที่พบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์จะใช้เวลาในการลดความชื้นน้อยกว่าการตากแดดธรรมชาติมีค่าเฉลี่ยโดยทั่วไปประมาณร้อยละ 20

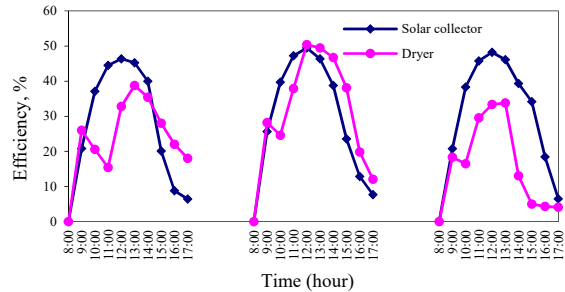
ในส่วนของความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ได้จากการทดลองพบว่า มีค่า 1.9634 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อโลกรัมในการอบแห้งสับปะรด 24 ชั่วโมง โดยมีค่ารังสีเฉลี่ยรวม 577.916 วัตต์ต่อตารางเมตร เมื่อทำการเปรียบเทียบกับ การอบแห้งสับปะรด โดยใช้เครื่องอบแห้งกระแสลมปะทะที่มีชุดอุ่นอากาศเป็นขดลวดความร้อนของ Poomsa-ad และคณะ [25] พบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบผสมที่

สร้างขึ้นนี้มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมากกว่า 1.7334 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม ทั้งนี้ เนื่องจากปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งนั้น ขึ้นอยู่กับรังสีอาทิตย์จึงส่งผลถึงอุณหภูมิอบแห้งที่ไม่สม่ำเสมอในช่วงเวลาของการอบแห้ง ส่วนเครื่องอบแห้งเชิงกลชนิดมีชุดอุณหภูมิต่ำเป็นขดลวดความร้อนมีอุณหภูมิคงที่ตลอดการอบแห้งอยู่ที่ 75 องศาเซลเซียส ถึงแม้ว่าเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบผสมที่สร้างขึ้นจะมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมากกว่า แต่เครื่องอบแห้งดังกล่าวไม่ใช้พลังงานจากฟอสซิลซึ่งไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมและยังมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำกว่า

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลองอบแห้งสับปะรด

4.2.1 ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่หนึ่งทางอุณหพลศาสตร์ของเครื่องอบแห้งแบบผสม

ความร้อนที่นำมาใช้ประโยชน์ได้ขึ้นอยู่กับการแปลงพลังงานรังสีที่ตกกระทบเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนแล้วถ่ายเทให้กับอากาศ ในช่วงเช้าพบว่า ผลต่างของอุณหภูมิที่เข้าและออกจากตัวเก็บรังสีมีค่าไม่สูง เนื่องจากในตอนเช้ามีปริมาณรังสีที่ตกกระทบบนพื้นที่รับรังสีของตัวเก็บรังสีมีค่าต่ำ ดังนั้นในการวัดค่าการแปลงพลังงานรังสีที่ตกกระทบเป็นความร้อนที่ใช้ประโยชน์ในรูปของประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีซึ่งพบว่า มีค่าไม่สูงมาก ช่วงเวลากลางวันของทุกวันจะมีผลต่างของอุณหภูมิที่เข้าและออกจากตัวเก็บรังสีมีค่าสูงกว่าในตอนเช้าเป็นผลเนื่องมาจากค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นที่รับรังสีของตัวเก็บรังสีมีค่าสูงกว่าในตอนเช้า การเปลี่ยนแปลงพลังงานของตัวเก็บรังสีเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนใช้ประโยชน์จึงมีค่าที่ได้สูงตาม ส่วนช่วงบ่ายถึงเย็นพบว่า ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบมีค่าที่ลดลง ทำให้ค่าความร้อนใช้ประโยชน์มีค่าลดลงตาม โดยพบว่า ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตามกฎข้อที่หนึ่งมีค่าสูงสุดในเวลากลางวัน ซึ่งมีค่า 49.47% และในช่วงเวลาเย็นมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 6.49% ดังแสดงในรูปที่ 6 ค่าที่ได้จากการทดลองนี้มีการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกับการศึกษาของ Chowdhury และคณะ [26] แต่พบว่า ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ของ Chowdhury มีค่าสูงกว่า เนื่องจากมีพื้นที่รับรังสีมากกว่า แม้ว่าจะใช้แผ่น



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพกฎข้อที่หนึ่งทางอุณหพลศาสตร์ของเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบผสม

ปิดโปร่งแสงเป็นวัสดุชนิดพอลิเอทิลีน (Polyethylene) ที่มีค่าสภาพการส่งผ่านรังสี (τ) น้อยกว่ากระจกใสก็ตาม

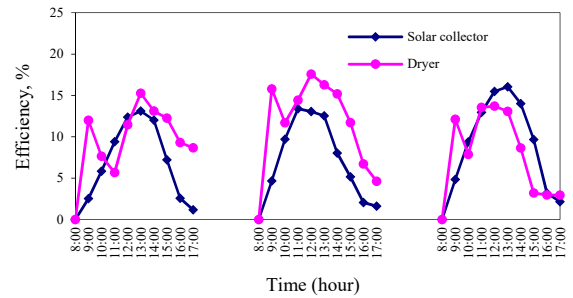
ประสิทธิภาพของการอบแห้งสับปะรดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำที่ระเหยออกจากสับปะรดต่อพลังงานความร้อนที่ใช้ ในช่วงแรกของการอบแห้งจะมีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศอบแห้งและสับปะรด ทำให้น้ำที่มีอยู่มากในโครงสร้างของสับปะรดที่มีพื้นที่ผิวในการรับพลังงานความร้อนค่อนข้างมากระเหยออกเข้าสู่อากาศอบแห้งในปริมาณที่สูง ถึงแม้ว่าในช่วงนี้พลังงานความร้อนในห้องอบแห้งจะมีค่าไม่มากก็ตาม แต่ก็ยังมีปริมาณเพียงพอในการทำให้โมเลกุลของน้ำที่บริเวณผิวหน้าของสับปะรดมีพลังงานเพียงพอที่จะเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวที่มีอยู่หลุดออกจากไปสู่อากาศอบแห้ง ผลจากการเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวจึงทำให้ประสิทธิภาพของการอบแห้งในช่วงเวลานี้มีค่าเฉลี่ย 24.35% เมื่อเวลาผ่านไปช่วงสายของวัน ระดับพลังงานความร้อนของเครื่องอบแห้งเพิ่มมากขึ้น แต่ปริมาณน้ำที่พื้นผิวของสับปะรดเริ่มลดลง เนื่องจากมีการระเหยของน้ำออกไปในช่วงแรกบางส่วนแล้ว ปริมาณความร้อนดังกล่าวจึงมีผลทำให้น้ำที่ระเหยออกในช่วงนี้ลดลง ประสิทธิภาพของการอบแห้งที่ได้จึงต่ำกว่าในช่วงเริ่มต้นการอบแห้ง และในเวลาช่วงกลางวันพบว่า ปริมาณความร้อนที่มีอยู่ในเครื่องอบแห้งมีค่าสูงสุดของวัน มีผลทำให้น้ำที่อยู่ในสับปะรดระเหยออกในปริมาณที่สูงตามด้วย สัดส่วนความร้อนที่ทำให้น้ำระเหยออกมากถ้าวัดในเชิงประสิทธิภาพทางความร้อนพบว่า มีค่าในเชิงประสิทธิภาพสูงสุดในช่วงนี้โดยมีค่าประมาณ 50.39% และสัดส่วนดังกล่าวจะเริ่มลดลงใน

ช่วงเวลาบ่ายถึงเย็นแสดงดังรูปที่ 6

4.2.2 ประสิทธิภาพเอกเซอร์จีของเครื่องอบแห้งแบบผสม

สำหรับการวิเคราะห์เอกเซอร์จีของตัวเก็บรังสีอาทิตย์และห้องอบแห้งในแต่ละวันของการทดลองจะแสดงในรูปแบบประสิทธิภาพเอกเซอร์จี ซึ่งในการคิดเอกเซอร์จีที่นำมาใช้ประโยชน์นั้น ได้มีการคิดคุณภาพของพลังงานที่มีการลดลงในระหว่างที่ระบบทำงานร่วมอยู่ด้วยพบว่า ค่าเอกเซอร์จีของการแผ่รังสีอาทิตย์ที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไว้และแปลงเป็นเอกเซอร์จีให้กับอากาศที่ผ่านเข้ามา โดยเมื่อวัดค่าการแปลงในรูปแบบของประสิทธิภาพเอกเซอร์จีของตัวเก็บรังสีอาทิตย์พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 2.53 ถึง 17.59% ประสิทธิภาพเอกเซอร์จีมีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางวันซึ่งมีความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุดของวัน แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพเอกเซอร์จีดังกล่าวมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มรังสีอาทิตย์ เนื่องจากเมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบบนพื้นที่รับรังสีภายในตัวเก็บรังสีทำให้เอกเซอร์จีจากการแผ่รังสีที่ตกกระทบเปลี่ยนแปลงเป็นเอกเซอร์จีให้กับอากาศ อากาศจึงมีค่าเอกเซอร์จีเพิ่มขึ้นเมื่อออกจากตัวเก็บรังสี ดังแสดงในรูปที่ 7 ผลจากการทดลองดังกล่าวนี้พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Abuşka [27] ซึ่งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทั้งสองนี้ได้ใช้กระจกเป็นแผ่นปิดโปร่งแสงเหมือนกัน แต่พื้นที่รับรังสีของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เพิ่มพื้นที่ผิวเป็นรูปกรวยของ Abuşka มีขนาดใหญ่กว่าตัวเก็บรังสีที่เพิ่มพื้นที่ผิวเป็นรูปโดมทรงกลมของเครื่องอบแห้งสับปรด ดังนั้นประสิทธิภาพเอกเซอร์จีของตัวเก็บรังสีของ Abuşka จึงสูงกว่าประสิทธิภาพเอกเซอร์จีของตัวเก็บรังสีของเครื่องอบแห้งสับปรดที่สร้างขึ้น

ในส่วนประสิทธิภาพเอกเซอร์จีของกระบวนการอบแห้งจากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพเอกเซอร์จีมีค่าสูงสุดเท่ากับ 16.05% โดยที่ประสิทธิภาพเอกเซอร์จีของกระบวนการอบแห้งจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นผลมาจากเอกเซอร์จีที่ใช้ในการระเหยน้ำต่อเอกเซอร์จีที่ป้อนเข้าสู่ห้องอบแห้ง กล่าวคือถ้าปริมาณน้ำระเหยออกมาน้อย ประสิทธิภาพเอกเซอร์จีก็จะลดต่ำลง เช่น ช่วงเวลา 15.00 ถึง 17.00 น. ของวันที่ 3



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพเอกเซอร์จีของเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบผสม

ในการอบแห้งสับปรดพบว่าค่าการระเหยของน้ำลดลงจนเกือบคงที่มีผลทำให้ประสิทธิภาพเอกเซอร์จีมีค่าลดลงในการทดลองด้วย ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวนี้มีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Lakshmi และคณะ [28] ที่ทำการอบแห้งหญ้าหวาน (Stevia leaves) Karthikeyan และ Murugavelh [29] ที่ทำการอบแห้งขมิ้นโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบผสมและอุโมงค์ลม

5. สรุป

การอบแห้งสับปรดที่เป็นผลไม้มีน้ำภายในผลค่อนข้างมากด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบผสมที่สร้างขึ้นพบว่า สามารถส่งผลให้ความชื้นของสับปรดลดลงจาก 84.47% w.b. ถึง 29.37% w.b. ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าวิธีการตากแดดธรรมชาติที่พบว่ามีค่าความชื้น ณ เวลาเดียวกัน อยู่ที่ 44.15% w.b. ในส่วนการเพิ่มพื้นที่ผิวของแผ่นดูดกลืนรังสีทำให้สามารถลดพื้นที่ในการติดตั้งเครื่องอบแห้ง โดยขนาดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีความกว้าง 0.9 เมตร และความยาว 1.4 เมตร เมื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของแผ่นดูดกลืนทำให้มีพื้นที่รับรังสีทั้งหมด 5.72 ตารางเมตร สำหรับการวิเคราะห์พลังงานตามกฎข้อที่หนึ่งและเอกเซอร์จีของตัวเก็บรังสีพบว่า มีค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ 49.47% และ 17.59% ตามลำดับ ส่วนการอบแห้งสับปรดพบว่า มีประสิทธิภาพตามกฎข้อที่หนึ่งทางอุณหพลศาสตร์ และเอกเซอร์จีของห้องอบแห้งสูงสุดคือ 50.39% และ 16.05% ตามลำดับ



ดังนั้นเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบผสมนี้สามารถนำไปใช้อบแห้งผลผลิตทางการเกษตรที่มีความชื้นต่ำกว่าสับปะรดได้ดี ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมระดับครัวเรือนของชุมชนที่ได้สำรวจ เนื่องจากเครื่องอบแห้งนี้มีระบบการทำงานและการบำรุงรักษาที่ไม่ซับซ้อน ใช้แหล่งพลังงานที่สะอาด สามารถสร้างรายได้และยังเป็นการพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยเทคโนโลยีพลังงานที่เหมาะสม สำหรับข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์พลังงาน และเอกเซอร์จีสำหรับเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์แบบผสมที่สร้างขึ้นสามารถใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์ทำให้ทราบว่าระบบมีประสิทธิภาพเช่นนี้นั้นมีสาเหตุใดเข้ามาเกี่ยวข้อง นอกจากนี้ยังนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบผลิตความร้อนที่มีการใช้พลังงานหมุนเวียนซึ่งมีต้นทุนการผลิตและการบำรุงรักษาต่ำ เพื่อทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการลดปัญหาภาวะที่มีอยู่มากในปัจจุบันอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Chainok. (2018, July). Pineapple-Healing fruit. Medicinal Plant Information Center. Bangkok, Thailand [Online]. Available: <https://www.pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/429> (in Thai).
- [2] Office of Agricultural Economics. (2018). Plant germplasm database pineapple. Ministry of Agriculture and Cooperatives. Bangkok, Thailand [Online]. Available: <http://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/pineapple%2061.pdf> (in Thai).
- [3] V. Rungsardthong, *Fruit Processing Technolog.* Bangkok: Text and Journal Publication Co.Ltd., 2004 (in Thai).
- [4] S. Janjai, I. Masiri, S. Pattarapanitchai, and J. Laksanaboonsong, "Mapping Global solar radiation from long-term satellite data in the tropics using an improved model," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2013, no. 9, pp. 1–11, 2013.
- [5] R. Patil and R. Gawande, "A review on solar tunnel greenhouse drying system," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 56, pp. 196–214, 2016.
- [6] S. H. Abdulmalek, M. K. Assadi, H. H. Al-Kayiem, and A. A. Gitan, "A comparative analysis on the uniformity enhancement methods of solar thermal drying," *Energy*, vol. 148, pp. 1103–1115, 2018.
- [7] W. Jeentada, J. Jareanjit, and P. Tippracha, "Drying experiment of rubber sheet using solar dryer with solar collector installed on top wall of the dryer," *The Journal of KMUTNB*, vol. 29, no. 1, pp. 23–33, 2019 (in Thai).
- [8] W. Nilnont and S. Phitakwinai, "Drying kinetics of mango using solar tunnel dryer," *The Journal of KMUTNB*, vol. 30, no. 1, pp. 36–47, 2020 (in Thai).
- [9] Planning Division, (2019, December). Five year government action plan (2020–2022) of the Ministry of Energy. Ministry of Energy. Bangkok, Thailand [Online]. Available: <https://energy.go.th/2015/wp-content/uploads/2020/04/MoEN-Plan-2020-2023.pdf> (in Thai).
- [10] K. Helrich, *Official methods of analysis of association of official analytical chemists.* 15th ed., Arlington: AOAC, 1990.
- [11] L. S. Paraschiv, S. Paraschiv, and I. V. Ion, "Experimental and theoretical analyses on thermal performance of a solar air collector," *Environmental Engineering and Management Journal*, vol. 13, no. 8, pp. 1965–1970, 2014.



- [12] A. Lingayat, V. P. Chandramohan, V. R. K. Raju, and A. Kumar, "Development of indirect type solar dryer and experiments for estimation of drying parameters of apple and watermelon," *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 161, pp. 1–16, 2020.
- [13] S. S. Kishk, R. A. ElGamal, and G. M. ElMasry, "Effectiveness of recyclable aluminum cans in fabricating an efficient solar collector for drying agricultural products," *Renewable Energy*, vol. 133, pp. 307–316, 2019.
- [14] R. Kumar, S. K. Verma, and V. K. Sharma, "Performance enhancement analysis of triangular solar air heater coated with nanomaterial embedded in black paint," in *Proceedings Materials Today*, 2020.
- [15] N. Vorayos, W. Wongsuwan, and T. Kiatsiriroat, "Development of solar hot water system in Thailand," *Engineering Journal Chiang Mai University*, vol. 16, pp. 55–69, 2009 (in Thai).
- [16] M. Akhbari, A. Rahimi, and M. S. Hatamipour, "Modeling and experimental study of a triangular channel solar air heater," *Applied Thermal Engineering*, vol. 170, pp. 1–15, 2020.
- [17] J. P. Ekka, K. Bala, P. Muthukumar, and D. K. Kanaujiya, "Performance analysis of a forced convection mixed mode horizontal solar cabinet dryer for drying of black ginger (*Kaempferia parviflora*) using two successive air mass flow rates," *Renewable Energy*, vol. 152, pp. 55–66, 2020.
- [18] D. K. Rabha, P. Muthukumar, and C. Somayaji, "Energy and exergy analyses of the solar drying processes of ghost chili pepper and ginger," *Renewable Energy*, vol. 105, pp. 764–773, 2017.
- [19] Y. Bahammou, H. Lamsyehe, M. Kouhila, A. Lamharrar, and N. Abdenouri, "Valorization of co-products of sardine waste by physical treatment under natural and forced convection solar drying," *Renewable Energy*, vol. 142, pp. 110–122, 2019.
- [20] A. Bejan, G. Tsatsaronis, and M. Moran, *Thermal Design and Optimization*. John Wiley and Sons, Inc., 1996.
- [21] H. Gunerhan and A. Hepbasli, "Exergetic modeling and performance evaluation of solar water heating systems for building applications," *Energy and Buildings*, vol. 39, no. 4, pp. 509–516, 2007.
- [22] R. Petela, "Exergy of undiluted thermal radiations," *Solar Energy*, vol. 74, no. 6, pp. 469–488, 2003.
- [23] A. Ghiami and S. Ghiami, "Comparative study based on energy and exergy analyses of a baffled solar air heater with latent storage collector," *Applied Thermal Engineering*, vol. 133, pp. 797–808, 2018.
- [24] K. Sacilik, R. Keskin, and A. K. Elicin, "Mathematical modelling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato," *Journal of Food Engineering*, vol. 73, no. 3, pp. 231–238, 2006.
- [25] N. Poomsa-ad, S. Maihom, and L. Wiset, "Impingement drying of 'Phulae' pineapple: Its drying kinetics and performance of dryer," in *Proceedings The 14th Mahasarakham University Research Conference*, 2018, pp. 127–133.
- [26] M. M. I. Chowdhury, B. K. Bala, and M. A. Haque, "Energy and exergy analysis of the solar drying of jackfruit leather," *Biosystems Engineering*, vol. 110, no. 2, pp. 222–229, 2011.
- [27] M. Abuşka, "Energy and exergy analysis of solar air heater having new design absorber



- plate with conical surface,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 131, pp. 115–124, 2018.
- [28] D. V. N. Lakshmi, P. Muthukumar, A. Layek, and P. K. Nayak, “Performance analyses of mixed mode forced convection solar dryer for drying of stevia leaves,” *Solar Energy*, vol. 188, pp. 507–518, 2019.
- [29] A. K. Karthikeyan and S. Murugavelh, “Thin layer drying kinetics and exergy analysis of turmeric (*Curcuma longa*) in a mixed mode forced convection solar tunnel dryer,” *Renewable Energy*, vol. 128, pp. 305–312, 2018.