



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติและแบบบังคับ

Comparative Study on Performance of Passive and Active Solar Dryer

ศิริชัย ศิริชนะ¹⁾ ทรงสุภา พุ่มชุมพล¹⁾ อำไพศักดิ์ ทีบุญมา¹⁾ อภินันต์ นามเขต¹⁾ และ ปฏิวดี วรามิตร²⁾

Sirichai Sirichana¹⁾ Songsupa Pumchumpol¹⁾ Umphisak Teeboonma¹⁾ Apinunt Namkhat¹⁾

and Pathiwat Waramit²⁾

¹⁾ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

²⁾สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000

¹⁾Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University,

Warin Chamrap District, Ubon Ratchathani, 34190

²⁾Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Technology,

Rajamangala University of Technology Isan, Muang Nakhon Ratchasima District, Nakhon Ratchasima, 30000

Received: 20 April 2022

Revised: 22 September 2022

Accepted: 22 September 2022

Available online: 23 December 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้สร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีห้องอบแห้งจำนวน 4 ห้อง เพื่อใช้ทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ (PSD) และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนแบบบังคับ (ASD) โดยปรับเปลี่ยนอัตราการไหลอากาศที่ใช้ใน ASD เท่ากับ 0.03 m³/s (ASD0.03), 0.06 m³/s (ASD0.06) และ 0.09 m³/s (ASD0.09) ตามลำดับ ในการศึกษาได้เลือกใช้เนื้อหมูที่มีความชื้น

เริ่มต้นเท่ากับ 265 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง เป็นตัวอย่างในการทดลอง ซึ่งมีเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ อัตราการอบแห้ง ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ผลการศึกษาพบว่า สมรรถนะ ASD สูงกว่า PSD นอกจากนั้นยังพบว่า อัตราการอบแห้งของเครื่อง ASD0.06 สูงกว่าอัตราการอบแห้ง PSD, ASD0.03 และ ASD0.09 เท่ากับร้อยละ 19.35, 10.52 และ 8.86 ตามลำดับ ในขณะที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ASD0.06 น้อยกว่า PSD, ASD0.03 และ ASD0.09 เท่ากับร้อยละ 26.56, 17.13 และ 15.65 ตามลำดับ และสุดท้ายยังพบว่าประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ PSD, ASD0.03, ASD0.06 และ ASD0.09 มีค่าเท่ากับร้อยละ 11.68, 12.68, 14.91 และ 12.91 ตามลำดับ

คำสำคัญ: การอบแห้ง เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพ อัตราการไหลอากาศ

Abstract

The solar dryer with 4 drying chambers, in this research, was constructed to test the performance of passive solar dryer (PSD) and active solar dryer (ASD). Air flowrate of ASD varied in this study are $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$ (ASD0.03), $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$ (ASD0.06) and $0.09 \text{ m}^3/\text{s}$ (ASD0.09). Pork with initial moisture content of 265 % dry basis was selected as testing material. The criteria used to evaluate the solar dryer performance are drying rate, solar dryer efficiency and specific energy consumption. It was found from the experimental results that the ASDs performance are higher than that of PSD. Furthermore, it was revealed that the drying rate of ASD0.06 is higher than that for PSD, ASD0.03 and ASD0.09 by 19.35%, 10.52% and 8.86%, respectively. Whilst, specific energy consumption of ASD0.06 is lower than that for PSD, ASD0.03 and ASD0.09 by 26.56%, 17.13% and 15.65%, respectively. Finally, it was also found that solar dryer efficiency of PSD, ASD0.03, ASD0.06 and ASD0.09 are 11.68%, 12.68%, 14.91% and 12.91%, respectively.

Keywords: Drying: Solar dryer: Efficiency: Air flow rate

*ติดต่อ: E-mail: apinunt.n@ubu.ac.th, เบอร์โทรศัพท์: 045-353-309, เบอร์โทรสาร: 045-353-308

1. บทนำ

พื้นที่ของประเทศไทยโดยส่วนใหญ่มีสภาพภูมิประเทศที่เอื้ออำนวยสำหรับการประกอบอาชีพเกษตรกรรม จึงส่งผลให้ประชากรโดยส่วนใหญ่ของประเทศประกอบอาชีพเกษตรกรรมตามแต่ละลักษณะของพื้นที่ เช่น ทำไร่ ทำนา ทำสวน เลี้ยงสัตว์

หรือประมง เป็นต้น ทำให้ประเทศไทยนั้นมีความสมบูรณ์และความหลากหลายทางด้านอาหารเป็นอย่างมาก และส่งผลดีต่อประเทศในด้านเศรษฐกิจเนื่องจากสามารถส่งออกผลผลิตเพื่อจำหน่ายไปยังหลายประเทศทั่วโลก เช่น กุ้ง ข้าว ยางพารา และผลไม้หลากหลายชนิด เป็นต้น สำหรับผลผลิตที่

เกษตรกรเก็บเกี่ยวบางส่วนถูกนำไปจำหน่ายทันที และบางส่วนถูกแปรรูปเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิต หรือเก็บรักษาไว้จำหน่ายในช่วงราคาสูง จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าผลผลิตทางการเกษตรของประเทศไทยที่กำลังพัฒนาประมาณร้อยละ 30-40 [1,2] เกิดความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยว และหากสภาพอากาศไม่เอื้ออำนวยอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายได้ถึงร้อยละ 80 ของผลผลิตที่มีอยู่ [3] หรือเกิดการเน่าเสียไปเนื่องจากเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสม ซึ่งสาเหตุของการเน่าเสียส่วนใหญ่มาจากน้ำหรือความชื้นของผลิตภัณฑ์สูงเกินไปทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้จึงเกิดการเน่าเสีย [3] ในส่วนของวิธีการที่จะทำให้สามารถเก็บรักษาผลผลิตได้ยาวนานโดยไม่เกิดการเน่าเสียก็คือการไล่น้ำออกจากผลิตภัณฑ์หรือการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ [4-7] สำหรับกระบวนการลดความชื้นที่ปฏิบัติกันมาช้านาน คือ การตากแดดโดยตรง ซึ่งระยะเวลาในการทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งขึ้นอยู่กับความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามจากข้อมูลที่ผ่านมาพบว่าการตากแห้งผลิตภัณฑ์โดยตรงจะพบปัญหาหลายด้านเช่น ใช้พื้นที่ตากแดดมาก มีฝุ่นหรือสิ่งสกปรกปนเปื้อน นกและแมลงรบกวน หรือมีสัตว์แทะเล็ม [6-8] จากปัญหาผลกระทบที่กล่าวมาทำให้มีการพัฒนาวิธีการลดความชื้นผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกันการปนเปื้อนฝุ่นหรือแมลงรบกวนโดยใช้เครื่องอบแห้งในการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ ผลลัพธ์ที่ได้สามารถเพิ่มความสะอาดและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ [9,10] อย่างไรก็ตามการใช้เครื่องอบแห้งต้องใช้พลังงานความร้อนเพื่อให้ความร้อน ที่ผ่านมามีแหล่งพลังงานที่ใช้ในการสร้างความร้อนมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ [11,12] เช่น ไฟฟ้า ก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน ก๊าซหุงต้ม เป็นต้น

เชื้อเพลิงที่กล่าวมาข้างต้นเป็นเชื้อเพลิงที่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งจะมีความผันผวนทางด้านราคาเป็นอย่างมาก เนื่องจากเชื้อเพลิงฟอสซิลมีปริมาณลดลง ส่งผลให้เกษตรกรต้องแบกรับภาระต้นทุนการผลิตด้านพลังงานและทำให้กำไรลดลง เกษตรกรจึงหันมาใช้พลังงานจากพลังงานทดแทน เช่น ก๊าซชีวภาพ หรือเชื้อเพลิงชีวมวล อย่างไรก็ตามก็ยังพบกับปัญหาของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ฝุ่นควัน และกลิ่น จากผลกระทบทางด้านต้นทุนและมลภาวะที่กล่าวมาข้างต้น เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จึงเริ่มได้รับความนิยมและสนใจจากเกษตรกรอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีต้นทุนด้านพลังงาน [10-12] ปรากฏจากมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งประเทศไทยมีพื้นที่ตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรจึงได้รับพลังงานแสงอาทิตย์เต็มที่ตลอดทั้งปี โดยมีค่าพลังงานตกกระทบเฉลี่ย $18 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ และเป็นแหล่งพลังงานขนาดใหญ่ สำหรับการประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถจำแนกตามรูปแบบการประยุกต์ใช้ได้ 3 รูปแบบหลัก คือ 1) การตากแดดโดยตรง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ต้องการลดความชื้นจะถูกนำมาตากแดดโดยตรง โดยอุณหภูมิที่ผลิตภัณฑ์ได้รับจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 2) การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการไล่น้ำความชื้นจะถูกนำเข้าอบในเครื่องอบแห้ง อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกทำให้ความหนาแน่นของอากาศลดลงจึงเกิดการลอยตัว ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนตัวและเหนี่ยวนำอากาศตามธรรมชาติ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าวิธีการนี้จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการตากแดดโดยตรง [7-10] อย่างไรก็ตามปัญหาที่เกิดจากการอบแห้งในรูปแบบนี้คือ

ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในห้องอบแห้งจะค่อนข้างสูง เนื่องจากการไหลเวียนอากาศเป็นปรากฏการณ์ตามธรรมชาติ ดังนั้นปริมาณอากาศที่ไหลผ่านห้องอบแห้งเพื่อนำพาความชื้นออกจากห้องอบแห้งในบางช่วงการอบแห้งจึงไม่เพียงพอ ส่งผลให้ความชื้นสะสมที่ผิวของผลิตภัณฑ์นานเกินไป และเป็นสาเหตุให้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์สามารถใช้ประโยชน์จากความชื้นที่ผิวดังกล่าวในการเจริญเติบโตจนกระทั่งก่อให้เกิดการเน่าเสีย และ 3) การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไหลเวียนอากาศแบบบังคับ โดยลักษณะการทำงานของเครื่องอบแห้งจะคล้ายคลึงกับรูปแบบที่ 2 แต่จะมีอุปกรณ์เพิ่มเติม คือพัดลมเพื่อใช้สร้างการไหลเวียนอากาศและพาพาความชื้นออกจากห้องอบแห้ง ซึ่งข้อดีของรูปแบบนี้คือความชื้นสัมพัทธ์ในห้องอบแห้งจะต่ำกว่าการไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ แต่อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ การอบแห้งรูปแบบนี้สามารถแก้ปัญหาความชื้นสูงที่มีภายในห้องอบแห้งได้เป็นอย่างดี และสิ่งที่ตามมาจากการใช้พัดลมในการพาพาความชื้นออกจากห้องอบแห้งอย่างต่อเนื่อง คืออุณหภูมิห้องอบแห้งที่ลดลงเนื่องจากพัดลมจะพาทั้งความชื้นและความร้อนออกไปพร้อมกัน ส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งไม่สูงเท่าที่ควร อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ผ่านมา [13-17] พบว่า การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการไหลเวียนอากาศแบบบังคับจะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการตากแดดโดยตรง และการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ ในขณะที่ประเด็นการหมุนเวียนอากาศภายในห้องอบแห้งที่เหมาะสมควรจะเท่าไรก็ยังไม่ชัดเจน

ชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากมีประเด็นคุณสมบัติผลิตภัณฑ์เข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติและแบบบังคับ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องอบแห้งและผลของอัตราการไหลเวียนอากาศที่มีต่อสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เนื้อหมูเป็นตัวอย่างในการทดลองผลิตเนื้อหมูแดดเดียว เนื่องจากปัจจุบันเนื้อหมูแดดเดียวได้รับความนิยมในการบริโภคเป็นอย่างมาก รวมทั้งมีการแข่งขันในเรื่องคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการอบแห้งเนื้อหมูแดดเดียวด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นอีกทางเลือกที่จะสามารถช่วยเพิ่มคุณภาพและมูลค่าของเนื้อหมูแดดเดียว

2. วิธีการวิจัย

2.1 ชุดทดลอง

รูปที่ 1 แสดงลักษณะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างเพื่อทดสอบสมรรถนะโดยประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ 1) แผงเก็บรังสีแสงอาทิตย์ โครงสร้างทำจากเหล็ก ผนังด้านข้างและด้านล่างห่อหุ้มด้วยแผ่นสังกะสีภายในบุฉนวนกันความร้อนชนิดโพลียูรีเทนหนา 10 มิลลิเมตร ด้านบนปิดด้วยกระจกใสความหนา 5 มิลลิเมตร โดยกระจกมีพื้นที่รับพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบ 0.68 ตารางเมตร ซึ่งแผงเก็บรังสีแสงอาทิตย์ถูกติดตั้งให้เอียงหันหน้าไปทางทิศใต้เพื่อรับรังสีแสงอาทิตย์ที่มุม 15 องศา 2) ห้องอบแห้งเป็นส่วนที่รับพลังงานความร้อนจากแผงเก็บรังสี เพื่ออบลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ ผนังทุกด้านห่อหุ้มด้วยแผ่นสังกะสี ภายในห้องอบแห้งรวมทั้งระหว่างห้องอบแห้งติดฉนวนกันความร้อนชนิดโพลียูรีเทนหนา 10 มิลลิเมตร 3) ชุดควบคุมการทำงาน

พัฒนาระบายอากาศ สำหรับพาอากาศขึ้นออกจากห้องอบแห้ง และวัดสถิติสำหรับวัดและบันทึกพลังงานที่จ่ายให้กับพัดลม



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ในการทดลองได้สร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จำนวน 1 เครื่อง โดยมี 4 ห้องอบแห้งเรียงติดกันดังแสดงในรูปที่ 1 เพื่อใช้ในการทดสอบภายใต้สภาวะพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบ อุณหภูมิ แวลลุ่มและความชื้นสัมพัทธ์อากาศเดียวกัน และเพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะการอบแห้งระหว่างเครื่องอบแห้งที่มีการไหลเวียนอากาศธรรมชาติและเครื่องอบแห้งที่มีการไหลเวียนอากาศแบบบังคับในปริมาณที่แตกต่างกัน

2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 ผลัดภณที่ที่ใช้ในการทดลอง

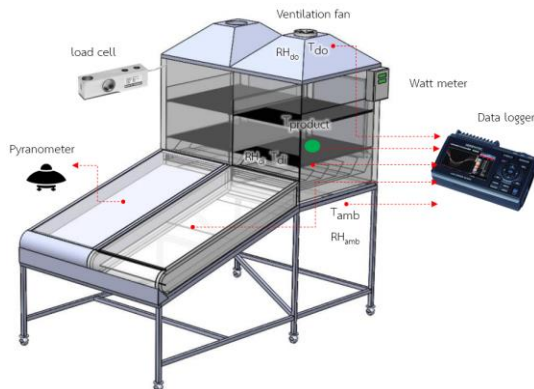
การศึกษานี้ได้เลือกใช้เนื้อหมูสันนอกเพื่อการทดลองในปริมาณห้องอบแห้งละ 1 กิโลกรัม โดยเนื้อหมูถูกจัดเตรียมโดยหั่นตัดขวางเส้นใยให้ได้ขนาดความยาวเฉลี่ย 10 เซนติเมตร และหนา 1 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดที่ใช้ในการผลิตเนื้อหมูแดดเดียวซึ่งวางจำหน่ายในท้องตลาด

2.2.2 เงื่อนไขการทดลอง

การศึกษานี้ได้ดำเนินการทดลองภายใต้พลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบจริง เพื่อทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์การไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์การไหลเวียนอากาศแบบบังคับที่อัตราการไหลอากาศ 0.03 m³/s, 0.06 m³/s และ 0.09 m³/s ตามลำดับ สำหรับวิธีการควบคุมอัตราการไหลอากาศในแต่ละห้องอบแห้งดำเนินการโดยใช้พัดลมระบายอากาศขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 40 วัตต์ ซึ่งมีอัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ 0.17 m³/s ต่อผ่านอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ เพื่อปรับให้ได้อัตราการไหลอากาศตามที่ต้องการ

2.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองเริ่มจากเตรียมเนื้อหมู และชุดทดลอง โดยติดตั้งเครื่องมือวัดทุกประเภท ดังแสดงในรูปที่ 2 วัดอุณหภูมิที่แต่ละตำแหน่งโดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักผลิตภัณฑ์วัดโดยใช้โหลดเซลล์โดยทั้งคู่ต่อเข้าเครื่องบันทึกข้อมูล (Midi logger GL820) ในส่วนพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบวัดและบันทึกโดยใช้ไพรานอมิเตอร์ (Seaward solar survey 200R) ในระหว่างการทดลองข้อมูลทุกอย่างจะถูกวัดและบันทึกค่าทุก 5 นาที โดยเริ่มดำเนินการทดลองตั้งแต่วันที่ 09:00 น. จนถึงเวลา 16:00 น. นอกจากนั้นยังวัดค่าความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับพัดลมระบายอากาศของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์



รูปที่ 2 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัด

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ดำเนินการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย ความชื้นของผลิตภัณฑ์ อัตราการอบแห้ง ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง และ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ซึ่งมีรายละเอียดความสัมพันธ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

ความชื้นของผลิตภัณฑ์ (Moisture content, M) คือ ดัชนีบ่งชี้ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการที่ (1) [17-20]

$$M = \frac{m_i - m_d}{m_d} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ M คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง, %d.b.

m_i คือ มวลผลิตภัณฑ์เริ่มต้น, kg

m_d คือ มวลแห้งผลิตภัณฑ์, kg

ความชื้นผลิตภัณฑ์ที่แต่ละช่วงเวลาวิเคราะห์ โดยใช้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ (2) [17-20]

$$M_t = \frac{m_t - m_d}{m_d} \times 100\% \quad (2)$$

เมื่อ M_t คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งที่แต่ละช่วงเวลา, %d.b.

m_t คือ มวลผลิตภัณฑ์ที่เวลาใด ๆ, kg

อัตราการอบแห้ง (Drying rate, DR) คือ ปัจจัยสำคัญที่แสดงถึงค่าสมรรถนะในการอบแห้ง หรือความสามารถของการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ต่อเวลาอบแห้ง ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการที่ (3) [17-20]

$$DR = \frac{m_i - m_t}{T} \quad (3)$$

เมื่อ DR คือ อัตราการอบแห้ง, kg/h

m_t คือ มวลผลิตภัณฑ์ที่เวลาใด ๆ, kg

T คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง, h

ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar dryer efficiency, η) คือ พารามิเตอร์บ่งชี้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการระเหยนํ้าออกจากผลิตภัณฑ์ของเครื่องอบแห้งต่อพลังงานทั้งหมดที่เครื่องอบแห้งใช้ ซึ่งมีความสัมพันธ์ในการวิเคราะห์ดังสมการที่ (4) [17-20]

$$\eta = \frac{m_w h_{fg}}{AI + E_b} \times 100\% \quad (4)$$

เมื่อ η คือ ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, %

m_w คือ ปริมาณมวลน้ำระเหย, kg

h_{fg} คือ ความร้อนแฝงการระเหยนํ้า, MJ/kg

A คือ พื้นที่แผงเก็บรังสีแสงอาทิตย์, m^2

I คือ พลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบ, MJ/m^2

E_b คือ พลังงานไฟฟ้าที่พัดลมระบายอากาศใช้, MJ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) คือ ค่าที่แสดงถึงปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งต่อปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุอบแห้ง โดยมีความสัมพันธ์ในการวิเคราะห์ดังสมการที่ (5) [20-22]

$$SEC = \frac{E_b + AI}{m_w} \quad (5)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ
, MJ/kg evap-water

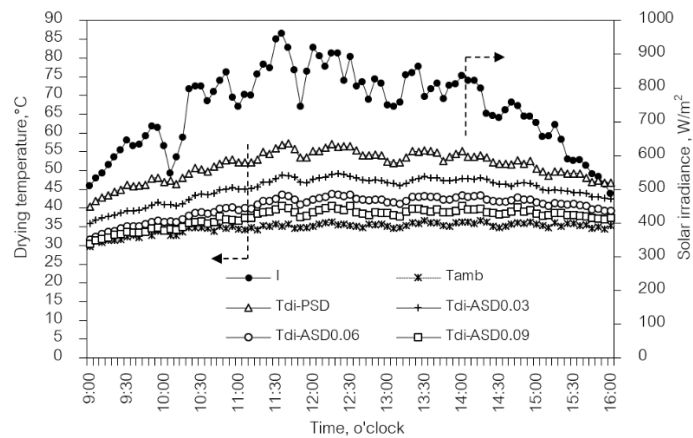
3. ผลการวิจัยและอภิปราย

ผลการทดลองที่นำเสนอประกอบด้วยสภาวะเงื่อนไขพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้ง อุณหภูมิผลิตภัณฑ์ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ และอัตราการอบแห้ง ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 3-5

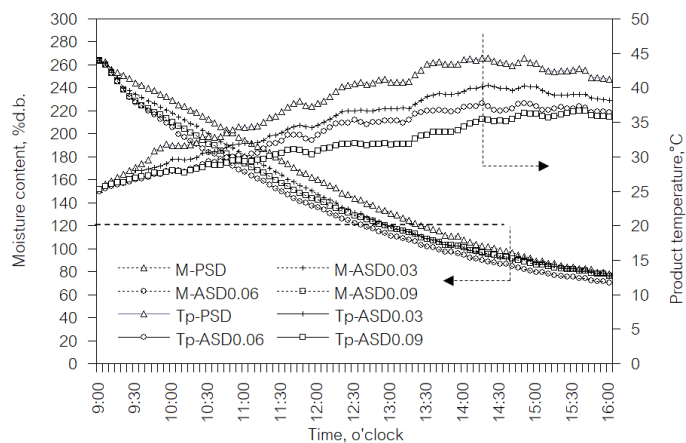
รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบ (I) อุณหภูมิแวดล้อม (Tamb) และอุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้ง (Tdi) ที่แต่ละช่วงเวลา จากข้อมูลพบว่าพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเช้า และลดลงในช่วงบ่าย และในแต่ละช่วงเวลาก็เปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศ เช่น ช่วงเวลาที่มีเมฆบดบัง ซึ่งในการทดลองพบว่ามีค่าเฉลี่ยของพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบตลอดช่วงการทดลองเท่ากับ 740 W/m^2

ในส่วนของอุณหภูมิแวดล้อมก็เปลี่ยนแปลงตามพลังงานตกกระทบเช่นกัน โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดช่วงการทดลองเท่ากับ 35°C สำหรับอุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งทางเข้าห้องอบแห้งก็เปลี่ยนแปลงตามพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบ โดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ (PSD) จะมีอุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 51°C ในส่วนของอุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งที่มีการควบคุมอัตราการระบายอากาศเท่ากับ $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$ (ASD0.03), $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$ (ASD0.06) และ $0.09 \text{ m}^3/\text{s}$ (ASD0.09) พบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 45°C , 40°C และ 38°C ตามลำดับ

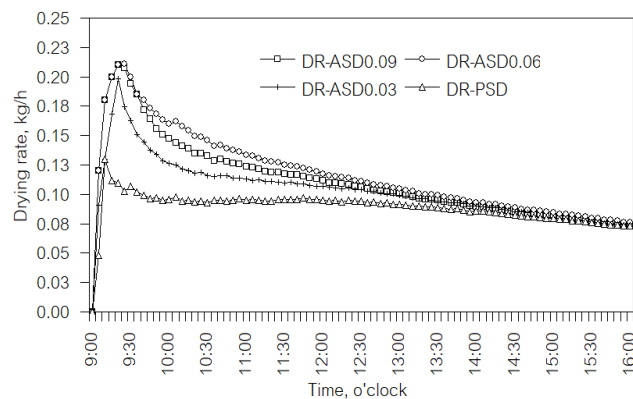
จากข้อมูลการทดลองพบว่าเครื่องอบแห้งที่มีการระบายอากาศสูงจะมีอุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้งต่ำ ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ของพลังงานความร้อน คือ $Q = \dot{m}C_p(T_{di} - T_{amb})$ กล่าวคือเมื่อเครื่องอบแห้งทุกเครื่องรับพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบ (Q) และมีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมหรืออุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอบแห้งเท่ากัน ในขณะที่อัตราการระบายอากาศ ($\dot{m}$) ไม่เท่ากัน จึงส่งผลให้เครื่องอบแห้งที่ระบายอากาศเท่ากับ $0.09 \text{ m}^3/\text{s}$ มีอุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้งต่ำที่สุด โดยมีค่าน้อยกว่าเครื่องอบแห้งที่ระบายอากาศ $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$ และแบบธรรมชาติเท่ากับร้อยละ 5.26, 18.42 และ 34.21 ตามลำดับ



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานตกกระทบและอุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้งที่แต่ละช่วงเวลา



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นผลิตภัณฑ์และอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์ที่แต่ละช่วงเวลา



รูปที่ 5 อัตราการอบแห้งที่แต่ละช่วงเวลา

รูปที่ 4 นำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นผลิตภัณฑ์ และอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์แต่ละช่วงเวลา จากข้อมูลพบว่า ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงตามเวลา และเมื่อเปรียบเทียบที่เงื่อนไขความชื้นเดียวกับความชื้นสูงสุดเพียงอย่างเดียวที่จำหน่ายตามท้องตลาด ซึ่งมีความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 120% d.b. พบว่า เครื่องอบแห้งที่มีการไหลเวียนอากาศเท่ากับ $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$ (ASD0.06) จะใช้เวลาในการอบแห้งสูงสุดเพียงเล็กน้อยที่สุด โดยพบว่าใช้เวลาสั้นกว่า ASD0.09, ASD0.03 และ PSD เท่ากับร้อยละ 9.50, 11.73 และ 23.46 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งที่มีการไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติจะมีอุณหภูมิผลิตภัณฑ์สูงที่สุด ซึ่งข้อมูลอุณหภูมิผลิตภัณฑ์จะสอดคล้องกับข้อมูลอุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้งที่นำเสนอในรูปที่ 3 ในส่วนประเด็นที่ ASD0.06 ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นที่สุดนั้นเมื่อวิเคราะห์จากข้อมูลพบว่าในเงื่อนไขนี้มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิผลิตภัณฑ์ (Tp) คงที่หรือเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยค่อนข้างนาน (9:30-10:30 น.) เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีอื่น ซึ่งช่วงเวลานี้จะเป็นช่วงที่การถ่ายเทความร้อนให้กับผลิตภัณฑ์สมดุลกับความร้อนที่ผลิตภัณฑ์ใช้ในการระเหยน้ำหรือเรียกว่าช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant rate period) ซึ่งอุณหภูมิผลิตภัณฑ์จะเท่ากับหรือใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง น้ำของผลิตภัณฑ์ซึ่งเกิดการแพร่และเกาะที่ผิวของผลิตภัณฑ์ก็จะเกิดการระเหยหรือถ่ายเทมวลไปกับลมร้อน โดยช่วงนี้สามารถสังเกตได้จากอุณหภูมิผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย หลังจากนั้นอุณหภูมิผลิตภัณฑ์จึงเพิ่มขึ้นหรือเข้าสู่ช่วงที่เรียกว่าช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period)

โดยในช่วงนี้อัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับผลิตภัณฑ์จะมากกว่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำบริเวณผิวของผลิตภัณฑ์ เมื่อผลิตภัณฑ์รับพลังงานอย่างต่อเนื่องจะส่งผลให้ผิวของผลิตภัณฑ์แห้งและแข็งจนเกิดการปิดกั้นทางเดินของน้ำในผลิตภัณฑ์ที่จะแพร่สู่ผิวของผลิตภัณฑ์จึงส่งผลให้อัตราการอบแห้งลดลง และในทางตรงข้ามหากมีอัตราการระบายอากาศสูงเกินไปก็จะส่งผลให้อุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้งต่ำจนกระทั่งทำให้อุณหภูมิผลิตภัณฑ์ต่ำส่งผลให้ความดันไอของน้ำในผลิตภัณฑ์สูงไม่มากเพียงพอที่จะแพร่มายังผิวของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะพบว่าข้อมูลนี้สอดคล้องกับข้อมูลอัตราการอบแห้งที่นำเสนอในรูปที่ 5 จากข้อมูลในรูปที่ 5 จะพบว่าเครื่องอบแห้งที่เงื่อนไขอัตราการระบายอากาศเท่ากับ $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$ มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าเงื่อนไขอื่น ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความชื้นในรูปที่ 4 นอกจากนี้ยังพบว่าทุกเงื่อนไขของการทดลองค่าอัตราการอบแห้งจะสูงในช่วง 30-40 นาทีแรก หลังจากนั้นก็จะลดลง โดยมีแนวโน้มในลักษณะเช่นเดียวกันที่ทุกเงื่อนไขการทดลอง ซึ่งปัจจัยที่ทำให้อัตราการอบแห้งสูงในช่วง 30-40 นาทีแรก เนื่องจากช่วงเริ่มต้นจนกระทั่ง 30 นาทีแรกของการอบแห้งเป็นช่วงเพิ่มอุณหภูมิ (Heat up) ของผลิตภัณฑ์ กล่าวคืออุณหภูมิผลิตภัณฑ์จะต่ำกว่าอุณหภูมิลมร้อนจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนให้กับอุณหภูมิผลิตภัณฑ์เป็นหลัก หลังจากอุณหภูมิผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้งก็จะเกิดการถ่ายเทมวลหรือระเหยน้ำที่ผิวของผลิตภัณฑ์ซึ่งช่วงนี้อัตราการอบแห้งจะสูงและลดลงเมื่อน้ำที่บริเวณผิวของผลิตภัณฑ์แห้งหลังจากนั้นก็จะเข้าสู่ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

ตารางที่ 1 สมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่เงื่อนไขความชื้นสุดท้าย 120%d.b.

รายการ	การไหลเวียน อากาศแบบ ธรรมชาติ	การไหลเวียนอากาศแบบบังคับ		
		0.03 m ³ /s	0.06 m ³ /s	0.09 m ³ /s
มวลผลิตภัณฑ์เริ่มต้น, g	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00
มวลผลิตภัณฑ์สุดท้าย, g	604.10	602.50	602.40	603.20
พลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบเฉลี่ย, W/m ²	751.80	760.10	722.10	760.30
อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย, °C	33.50	34.20	33.60	34.20
อุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้งเฉลี่ย, °C	50.50	44.20	37.70	36.60
เวลาในการอบแห้ง, h	4.42	4.00	3.58	3.92
ปริมาณมวลน้ำที่ระเหย, g	395.90	397.50	397.60	396.80
พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้พัดลม, MJ	0.000	0.117	0.123	0.148
พลังงานแสงอาทิตย์รวม, MJ	8.13	7.44	6.33	7.30
อัตราการอบแห้ง, g/h	89.57	99.38	111.06	101.22
ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง, %	11.68	12.68	14.91	12.91
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ, MJ/kg evap-water	20.54	19.01	16.23	18.77

ตารางที่ 1 นำเสนอข้อมูลภาพรวมการวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ภายใต้เงื่อนไขการระบายอากาศที่แตกต่างกัน โดยได้ควบคุมเงื่อนไขการวิเคราะห์ภายใต้สภาวะความชื้นคงเหลือเนื้อหมูเท่ากับ 120%d.b. ซึ่งเป็นความชื้นหมูแดดเดียวที่จำหน่ายตามท้องตลาด ข้อมูลค่าเฉลี่ยที่สรุปในตารางที่ 1 เป็นค่าเฉลี่ยตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองจนกระทั่งเนื้อหมูมีความชื้นคงเหลือ 120%d.b. ของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบและอุณหภูมิแวดล้อมในแต่ละเงื่อนไขแตกต่างกัน จากข้อมูลที่สรุปในตาราง

จะพบว่า ที่เงื่อนไขอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 0.06 m³/s (ASD0.06) จะให้อัตราการอบแห้งสูงที่สุดเท่ากับ 111.06 g/h ซึ่งมีค่ามากกว่า PSD, ASD0.03 และ ASD0.09 เท่ากับร้อยละ 19.35, 10.52 และ 8.86 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจาก ASD0.06 ใช้เวลาสั้นที่สุดในขณะที่สามารถระเหยนํ้าออกจากผลิตภัณฑ์ได้ในปริมาณที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน ในส่วนของประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งก็พบเช่นกันว่า ASD0.06 มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 14.91 ซึ่งมากกว่า PSD, ASD0.03 และ ASD0.09 เท่ากับร้อยละ 21.66, 14.96 และ 13.41 ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบว่า

ASD0.06 มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุดเท่ากับ 16.23 MJ/kg evap-water โดยมีค่าน้อยกว่า PSD, ASD0.03 และ ASD0.09 เท่ากับร้อยละ 26.56, 17.13 และ 15.65 ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจาก ASD0.06 ใช้เวลาในการอบแห้งสั้น ส่งผลให้พลังงานรวมที่ใช้ก็น้อยที่สุดในขณะที่ปริมาณการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ (4) และ (5) จึงทำให้ ASD0.06 มีประสิทธิภาพสูงและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีอื่น

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติและแบบบังคับ รวมทั้งศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศที่มีต่อสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้เนื้อหมูเป็นตัวอย่างในการทดลอง ผลจากการศึกษาพบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการไหลเวียนอากาศแบบบังคับมีอัตราการอบแห้ง และประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งสูงกว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ นอกจากนี้ยังพบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการไหลเวียนอากาศแบบบังคับมีความสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ ในทุกเงื่อนไขของอัตราการระเหยอากาศ จากการศึกษา ยังพบว่า การใช้อัตราการไหลอากาศเท่ากับ 0.06 m³/s เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะมีสมรรถนะดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีอื่น สำหรับแนวทาง

การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ต่อไปในอนาคต ควรศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นการระบายอากาศให้สอดคล้องกับอัตราการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ในแต่ละช่วงเวลาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งและลดความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนทุนและอุปกรณ์ในการวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] El-sebaai AA, Shalaby SM. Solar drying of agricultural products: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012; 16: 37-43.
- [2] Ahmed A. Drying characteristic of apple slices undertaken the effects of passive shelf solar dryer and open sun drying. Pakistan Journal of Nutrition. 2013; 12(3): 250-4.
- [3] Ahmed AG. Design construction and performance evaluation of solar maize dryer. Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development. 2010; 23: 39-46.
- [4] Nwajinka CO and Onuegbu CU. Development of a solar cabinet dryer for root crops chips in Nigeria. Journal of Agricultural Engineering and Technology. 2014; 22(2): 47-58.

- [5] Okoroigwe EC, Eke MN and Ugwu HU. Design and evaluation of combined solar and biomass dryer for small and medium enterprises for developing countries. *International Journal of Physical Sciences*. 2013; 8(25): 1341-9.
- [6] Janjai S and Bala BK. Solar drying technology. *Food Engineering Review*. 2012; 4: 16-54.
- [7] Gutti B, Kiman S and Mustafa BG. Design and construction of forced/natural convection solar vegetable dryer with heat storage. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2012; 7(10): 1213-7.
- [8] Hajar E, Mohammed B, Rachid T, and Bargach MN. Experimental and theoretical analysis of drying grapes under an indirect solar dryer and in open sun. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2018; 49: 58-64.
- [9] Muruganantham PK, Kamalakannan RS and Mohana S. Performance analysis of a tubular solar dryer for drying mexican mint (*Plectranthus amboinicus*) - An experimental approach. *Energy Reports*. 2021; 7: 7-12.
- [10] Nabnean S and Nimnuan P. Experimental performance of direct forced convection household solar dryer for drying banana. *Case Studies in Thermal Engineering*. 2020; 22: 1-11.
- [11] Masnaji RN and Vinod BT. A review on performance evaluation of solar dryer and its material for drying agricultural products. *Materials today: Proceedings*. 2021; 46(1): 345-9.
- [12] Ankur GB, Das AB and Jayanta DM. Sustainability and 4E analysis of novel solar photovoltaic-thermal solar dryer under forced and natural convection drying. *Renewable Energy*. 2022; 188: 1008-21.
- [13] El-Sebaei AA and Shalaby SM. Experimental investigation of an indirect-mode forced convection solar dryer for drying thymus and mint. *Energy Conversion and Management*. 2013; 74: 109-16.
- [14] Samira C, Abdelghani B, Djamel M and Mohamed HB. Solar drying of sliced potatoes-an experimental investigation. *Energy Procedia*. 2013; 36: 1276-85.

- [15] Avesahemad SN, Husainy SP and Gouri W. Experimental investigation of mixed mode forced convection solar dryer for turmeric (*Curcuma Longa*). *Asian Review of Mechanical Engineering*. 2018; 7(1): 1-6.
- [16] Baher MAA, Klaus G, Hossain MA. Integrated hybrid solar drying system and its drying kinetics of chamomile. *Renewable Energy*. 2018; 121: 539-47.
- [17] Semwanga M, Nakiguli F and Nasejje S. Drying performance and economic analysis of novel hybrid passive-mode and active-mode solar dryers for drying fruits in East. *Journal of Stored Products Research*. 2020; 88: 1-11.
- [18] Aymen E, Sami K, Ilhem H and Abdelhamid F. Experimental investigation and economic evaluation of a new mixed-mode solar greenhouse dryer for drying of red pepper and grape. *Renewable Energy*. 2015; 77: 1-8.
- [19] Mohamed AE, Mostafa MA and Abdulrahman OA. Solar PV powered mixed-mode tunnel dryer for drying potato chips. *Renewable Energy*. 2018; 116: 594-605.
- [20] Aprajeeta J and Tripathy PP. Recent advancements in design, application, and simulation studies of hybrid solar drying technology. *Food Engineering Reviews*. 2021; 13: 375-410.
- [21] Wei W, Ming L, Reda HE, Yunfeng W and Luwei Y. Thermal performance of indirect forced convection solar dryer and kinetics analysis of mango. *Applied Thermal Engineering*. 2018; 134: 310–21.
- [22] Ortiz-Rodríguez NM, Condori M, Duran G and García-Valladares O. Solar drying technologies: A review and future research directions with a focus on agroindustrial applications in medium and large scale. *Applied Thermal Engineering*. 2022; 215: 1-31.