

การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบถังหมุนร่วมกับระบบฮีตเตอร์ โดยอาศัยหลังคาโรงเรือนเป็นตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอบแห้งข้าวเปลือก

Development of solar rotary dryer combined with a heater system by utilizing the roof of house as a solar collector for paddy drying

ธานินทร์ รัชโพธิ์^{1*}, ปิริยะ ปราณีกิจ¹, กรรณิกา สายาพัฒน์², วาริษา แก้วคำ²,

วิทยา ดุ้ยศักดิ์² และ สายสวรรค์ โทวรรณ²

Thanin Rudchapo^{1*}, Piriya Praneekit¹, Kannika Sayaphat², Varisa Kaewkum²,

Wittaya Tuisakda² and Saisawan Towanna²

Received: 1 July 2024 ; **Revised:** 26 August 2024 ; **Accepted:** 20 September 2024

บทคัดย่อ

การลดความชื้นข้าวเปลือกเป็นกระบวนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่สำคัญ ทำให้สามารถเก็บรักษาข้าวเปลือกให้มีคุณภาพดี อย่างไรก็ตามวิธีการลดความชื้นในข้าวเปลือกที่เคยปฏิบัติกันมามีปัญหาหลายด้าน ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบถังหมุนร่วมกับระบบฮีตเตอร์โดยอาศัยหลังคาโรงเรือนเป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์สำหรับอบแห้งข้าวเปลือก และศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง ส่วนประกอบหลักของเครื่องอบแห้งมีดังต่อไปนี้: 1) เครื่องอบแห้งแบบถังหมุน 2) ตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลังคาโรงเรือน 3) ขดลวดความร้อนขนาด 700 วัตต์ และ 4) หน่วยควบคุม ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกประมาณ 33% d.b ทำการทดลองอบแห้งจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายมีค่าประมาณ 16% d.b ในแต่ละการทดลองจะอบแห้งข้าวเปลือกครั้งละประมาณ 300 g ที่อุณหภูมิ 55 60 และ 65 °C ผลการวิจัยมีดังนี้ ระยะเวลาในการอบแห้งและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าอยู่ระหว่าง 3.75-4.92 h และ 13.20-16.64 kW-h ตามลำดับ ค่า อัตราการอบแห้ง (DR) และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (SEEC) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0064-0.0113 kg/h และ 309.64-525.78 kW-h/kg ตามลำดับ ซึ่งการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 °C จะมีค่า DR สูงที่สุด และ SEEC ต่ำที่สุด การอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 °C จะมีค่า DR ต่ำที่สุด และ SEEC สูงที่สุด

คำสำคัญ: อบแห้งข้าวเปลือก, เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบถังหมุน, ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง, ตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลังคาโรงเรือน

Abstract

Paddy moisture reduction is an important post-harvest management process for the maintenance of good-quality paddy. However, the traditional methods for reducing moisture in paddy often face several problems. Therefore, this research aims to solve such a problem by developing a solar rotary dryer combined with a heater system that utilizes the roof of a house as a solar collector for paddy drying and by studying the efficiency of the dryer. The main components of the dryer included: 1) rotary dryer, 2) roof of the house as a solar collector, 3) a 700-watt heater, and 4) a controller unit. The initial moisture content of the paddy was approximately 33% d.b. The drying experiment was conducted until the final moisture content reached approximately 16% d.b. In each experiment, approximately 300 g of paddy was dried at temperatures of 55, 60, and 65 °C. The results of the research are as follows: The drying time ranged from 3.75 to 4.92 hours, and the electrical energy used ranged from 13.20 to 16.64 kW-h. The drying rate (DR) values ranged

¹ อาจารย์, สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

² นักศึกษา, ครุศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์) คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

¹ Lecturer, Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Mahasarakham University

² Students, Bachelor of Education (Physics), Faculty of Education, Rajabhat Mahasarakham University

* Corresponding author: E-mail: thanin0003@gmail.com

from 0.0064 to 0.0113 kg/h, while the specific electrical energy consumption (SEEC) values ranged from 309.64 to 525.78 kW-h/kg. The highest DR and the lowest SEEC at a drying temperature of 65 °C. Drying at 55 °C yielded the lowest DR and the highest SEEC.

Keywords: Paddy drying, solar-rotary dryer, dryer efficiency, the roof of the house as a solar collector

บทนำ

จังหวัดมหาสารคามมีพื้นที่ทั้งหมด 3,307 ล้านไร่ เป็นพื้นที่เกษตรกรรม 2,818,172 ไร่ (85.22% ของพื้นที่ทั้งหมด) เป็นพื้นที่ปลูกข้าวถึง 2,130,023 ไร่ (กลุ่มยุทธศาสตร์และข้อมูลเพื่อพัฒนาจังหวัด, 2566) ดังนั้นประชากรส่วนใหญ่จึงประกอบอาชีพทำนา ข้าวจึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัด ซึ่งความชื้นของข้าวเปลือกเมื่อเก็บเกี่ยวใหม่จะมีค่าประมาณ 20 ถึง 25% wet basis (w.b.) หรือ 25 ถึง 33% drybasis (d.b) (อภิสิทธิ์ ภักดีแก้ว และคณะ, 2565) ดังนั้นการลดความชื้นจึงเป็นปัจจัยสำคัญ (สุชาติ ธนสุขประเสริฐ และคณะ, 2555) ซึ่งการลดความชื้นข้าวให้มีค่าประมาณ 12-14% w.b. หรือ 14 ถึง 16% d.b (Jittanit *et al.*, 2010) จะสามารถเก็บไว้ได้นานและหลีกเลี่ยงการเสื่อมคุณภาพของข้าวเปลือกที่อาจเกิดขึ้นได้ สำหรับวิธีการลดความชื้นข้าวที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติต่อๆ กันมา คือ การใช้วิธีตากแดดบนลานตาก (พิรสิทธิ์ ทวยนาค และคณะ, 2557) เพราะมีขั้นตอนการทำสะดวก ง่าย มีต้นทุนต่ำ (Yahya *et al.*, 2023) แต่วิธีนี้มักประสบปัญหาในเรื่องของการใช้ระยะเวลาในการดำเนินงานนานหลายวัน ใช้พื้นที่เป็นบริเวณกว้าง ซึ่งเกษตรกรบางรายอาจประสบปัญหาในเรื่องพื้นที่ในการตากไม่เพียงพอ ความชื้นของข้าวที่ผ่านการตากแดดไม่มีความสม่ำเสมอ ข้าวมีความเสี่ยงต่อความเสียหายที่เกิดจากสภาพอากาศแปรปรวน การรบกวนจากแมลง การปนเปื้อนกับฝุ่นละออง (กฤษ ตรงจิตต์ และคณะ, 2561) และข้อจำกัดของแสงอาทิตย์ที่ไม่เอื้ออำนวยในการตาก และในระหว่างการตากบนลานต้องพลิกกลับเพื่อให้เมล็ดข้าวแห้งเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งต้องเสียค่าแรงงาน โดยตลอดกระบวนการลดความชื้น

จากปัญหาของการลดความชื้นข้าวที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปแนวทางในการแก้ไขปัญหาได้ดังนี้ 1) เนื่องจากที่ตั้งของประเทศไทยอยู่ในภูมิภาคเขตร้อนของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวัน 18.2 MJ/m²-day (Jangsawang, 2017) ซึ่งค่อนข้างสูง ดังนั้นการใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์สำหรับลดความชื้นจึงมีความเหมาะสม 2) เพื่อเป็นการประหยัดพื้นที่ในการปฏิบัติงานและการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการดัดแปลงหลังคาโรงเรือนให้เป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 3) เพื่อแก้ปัญหาความชื้นของข้าวไม่สม่ำเสมอ สามารถลดระยะเวลาในการอบแห้ง และลดพื้นที่ในการดำเนินงาน การนำเครื่องอบแห้ง

เป็นแบบถังหมุนมารวมกับพลังงานแสงอาทิตย์จึงมีความเหมาะสมที่สุด 4) เพื่อให้กระบวนการอบแห้งเป็นไปอย่างต่อเนื่องงานวิจัยนี้จึงใช้ขดลวดความร้อนเป็นแหล่งพลังงานเสริมเพื่อแก้ปัญหาความไม่สม่ำเสมอของพลังงานแสงอาทิตย์

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบถังหมุน โดยอาศัยหลังคาโรงเรือนเป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์สำหรับอบแห้งข้าวเปลือกและศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง

การทดลอง

1. การออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบถังหมุนโดยอาศัยหลังคาโรงเรือนเป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เครื่องอบแห้งประกอบด้วย 1) เครื่องอบแห้งแบบถังหมุน 2) อาศัยหลังคาโรงเรือนเป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 3) ขดลวดความร้อนขนาด 700 Watts (W) และ 4) ชุดควบคุม โดยสามารถแบ่งขั้นตอนการพัฒนาได้ดังนี้

- ถังอบแห้งจะมีลักษณะเป็นแปดเหลี่ยมทรงกระบอกขนาด 2 m³ ยาว 1.5 m เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.3 m โครงสร้างทำจากเหล็กกล่องกัลวาไนซ์ขนาด 1x1" และผนังของถังอบแห้งทำมาจากเหล็กแผ่นชุบสังกะสี โดยผนังภายนอกจะถูกหุ้มด้วยฉนวนใยไนไตรล์สีดำเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน

- ภายในถังอบแห้งจะติดตั้งใบกวนสำหรับคลุกเคล้าข้าวเปลือก โดยติดตั้งบริเวณผนังถังอบแห้งตลอดความยาวของถังเพื่อให้ข้าวมีการกระจายตัวและสัมผัสกับลมร้อนมากขึ้น และติดตั้งท่อระบายอากาศร้อนจำนวน 4 ท่อ

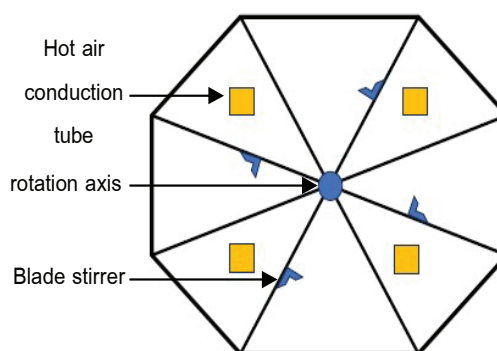


Figure 1 Characteristics inside a rotary drum.

ทำจากเหล็กกล่องกัลวาไนซ์ ขนาด 3x3" จะระบุขนาดเล็กตามความยาวของท่อเพื่อกระจายอากาศร้อนให้ทั่วถึงอบแห้ง โดยปลายท่อด้านขาเข้าอากาศร้อนจะเป็นท่อปลายเปิดเพื่อให้ลมร้อนผ่านเข้าไป ส่วนปลายท่ออีกด้านหนึ่งจะถูกปิดไว้ ปลายท่อทั้งสองข้างของท่ออากาศร้อนจะถูกยึดติดกับผนังของปลายถึงอบแห้งทั้งสองข้างทำให้ท่ออากาศร้อนหมุนไปกับถึงอบแห้ง ซึ่งลักษณะภายในถึงหมุ่นจะแสดงดัง Figure 1

- ชุดขับเคลื่อนการหมุนถึงอบแห้ง ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 3 hp เป็นต้นกำลัง มีชุดสายพานและมู่เล่ย์สองร่อง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18" จำนวน 2 ตัว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12" จำนวน 1 ตัว ทำให้รอบการหมุนของถึงอบแห้งประมาณ 12 รอบต่อนาที สำหรับทดรอบของมอเตอร์ดังแสดงใน Figure 2



Figure 2 Reduce motor speed with pulley sets.

- การสร้างอากาศร้อนสำหรับอบแห้งข้าวจะอาศัยหลักการของเครื่องสำหรับทำเป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และเนื่องจากข้อจำกัดของความไม่สม่ำเสมอของพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้นเพื่อทำให้กระบวนการอบแห้งดำเนินไปอย่างต่อเนื่องและสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ งานวิจัยนี้จึงใช้ฮีตเตอร์แบบครีบน้ำมัน 350 W จำนวน 2 ตัว (ขนาดฮีตเตอร์จะพิจารณาจากอุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการ ปริมาตรของตู้อบ และเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง) เป็นแหล่งพลังงานความร้อนเสริม ซึ่งช่วยลดความร้อนจะถูกควบคุมการทำงาน (ปิด-เปิด) ด้วยอุณหภูมิอากาศขาเข้าถึงอบแห้ง (ตั้งไว้ที่ 55, 60 และ 65°C) โดยอุณหภูมิอากาศขาเข้าถึงอบแห้งจะถูกควบคุมด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller รุ่น HW-W3001-220VAC Accuracy $\pm 0.2^\circ\text{C}$) ซึ่งจะปิดเมื่อถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ จากนั้นจะเปิดอีกครั้งเมื่ออุณหภูมิลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้

- พื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 28.62 m^2 และเนื่องจากการกำหนดความยาวของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไว้ที่ 6 m ทำให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีความกว้าง 4.8 m ซึ่งโครงสร้างตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะทำด้วยเหล็กกล่อง กัลวาไนซ์ขนาด 1 x 1" และ 3 x 2" เอียงทำมุมกับแนวระดับ 15° หันหน้าไปทางทิศใต้ (Figure 3(A)) โดยแผงรับรังสีอาทิตย์ (Solar absorber) จะมีลักษณะเป็นลอนทำจากหลังคาเมทัลชีทลอนเหลี่ยมสีดำด้าน (Figure 3(B)) ส่วนด้านล่างจะมีการเจาะช่องสำหรับต่อกับท่ออากาศร้อน (Figure 3(C)) เพื่อนำอากาศร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไปยังถึงอบแห้ง ด้านบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ปิดด้วยแผ่นหลังคาใสไฟเบอร์กลาสลอนสังกะสี (Figure 3(D)) โครงสร้างภายในและด้านล่างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะมีการหุ้มด้วยฉนวนยางไนไตรล์สีดำ

- ติดตั้งพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง 12 Volt (V) สำหรับพาความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไปยังถึงอบแห้ง โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับพัดลม และ



Figure 3 A solar collector structure.

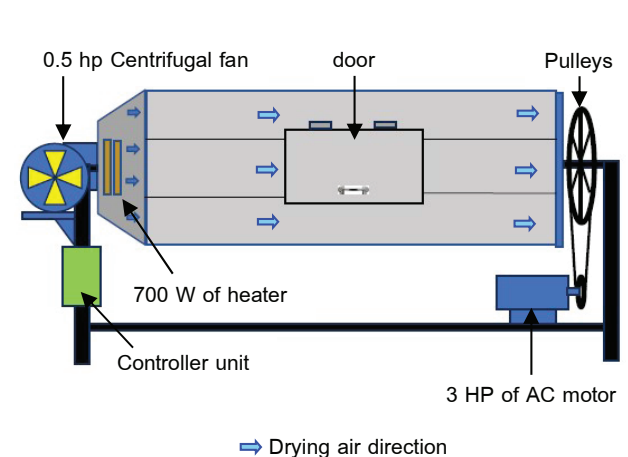


Figure 4 The components of rotary dryer.

ใช้พัดลมแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางใบโค้งหน้าขนาดมอเตอร์ 0.5 hp เป่าลมร้อนเข้าถึงอบแห้ง ดังแสดงใน Figure 4

- นำส่วนประกอบมาประกอบเข้าด้วยกันจะได้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบถึงหมุ่ร่วมกับระบบ ฮีตเตอร์ โดยอาศัยหลังคาโรงเรือนเป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์สำหรับอบแห้ง ข้าวเปลือก ดังแสดงใน Figure 5

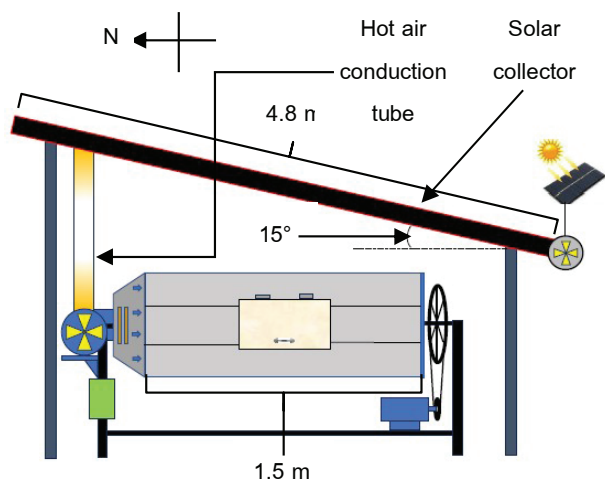


Figure 5 The dryer is complete.

2. การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบถึงหมุ่ร่วมกับระบบฮีตเตอร์โดยอาศัยหลังคาโรงเรือนเป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์

2.1 การเตรียมข้าวเปลือก (ข้าวเหนียว กข 6) ทำการเพิ่มความชื้นให้เมล็ดข้าว (Rewet) ให้มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 33% dry basis (d.b) โดยคำนวณหาปริมาณน้ำเพื่อใช้ในการเพิ่มความชื้น จากนั้นนำข้าวและน้ำใส่ลงในกล่องภาชนะปิด เก็บรักษาไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 7 วัน ในระหว่างการเก็บรักษามีเขย่ากล่องภาชนะใส่ข้าวเพื่อให้ น้ำซึมเข้าไปยังเมล็ดข้าวได้อย่างทั่วถึงและดียิ่งขึ้น

2.2 นำข้าวเปลือกที่ผ่านการเพิ่มความชื้นประมาณ 250 gram (g) ใส่ในตะแกรงทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.5 cm สูง 16.5 cm ซึ่งจะถูกติดตั้งไว้ภายในถึงหมุ่อบแห้งตั้งแต่เวลา 9.00 น. ที่อุณหภูมิ 55 60 และ 65 °C โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

2.3 การติดตามการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวในแต่ละเวลาการอบแห้ง ทำได้โดยนำตะแกรงทรงกระบอกที่บรรจุตัวอย่างข้าวเปลือกมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอล (OHAUS รุ่น PA2102C precision of 0.01 g) ทุกๆ 15 นาที อบแห้งจนข้าวเปลือกมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 16% d.b.

2.4 ในระหว่างการอบแห้งเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศทางเข้าถึงหมุ่อบแห้ง วัดพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบฮีตเตอร์ด้วยเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Fluke 1735)

2.5 หลังการอบแห้งนำตัวอย่างมาหาค่าความชื้นสุดท้าย

3. การคำนวณประสิทธิภาพ

3.1 ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (SEEC) สามารถหาได้จากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้การอบแห้ง (ประกอบไปด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในมอเตอร์ไฟฟ้า พัดลมแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และระบบฮีตเตอร์) ต่อปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุ มีหน่วยเป็น kW-h/kg ดังแสดงในสมการต่อไปนี้ (จารุวัฒน์ เจริญจิต และคณะ, 2563)

$$SEEC = \frac{W_E}{m_w} \quad (1)$$

m_w คือ มวลของน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุอบแห้ง (kg)

W_E คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง (kW-h)

3.2 อัตราการอบแห้ง (DR) (จารุวัฒน์ เจริญจิต และคณะ, 2563) สามารถหาได้จากปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุต่อระยะเวลาในการอบแห้งมีหน่วยเป็น kg/h ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$DR = \frac{m_i - m_f}{t} \quad (2)$$

โดยที่

m_i คือ มวลวัสดุก่อนอบแห้ง (kg)

m_f คือ มวลวัสดุหลังอบแห้ง (kg)

t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (h)

4. สถิติที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One – way ANOVA) และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 ($p < 0.05$)

ผลการทดลองและอภิปรายผล

1. การศึกษาระยะเวลา และพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง

การอบแห้งข้าวด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบถึงหมุนร่วมกับระบบฮีตเตอร์ โดยอาศัยหลังคาโรงเรือนเป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เป็นการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในด้านการผลิตอากาศร้อนร่วมกับขดลวดความร้อน (พลังงานไฟฟ้า) ซึ่งตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลังคาโรงเรือนสามารถสร้างอากาศร้อนสำหรับอบแห้งให้มีอุณหภูมิสูงประมาณ 54-60 °C ส่งผลให้ระบบฮีตเตอร์ ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลง กระบวนการอบแห้งสามารถดำเนินการได้ต่อเนื่องลดระยะเวลาในการอบแห้ง โดยเมื่อทำการศึกษาระยะเวลาและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งที่สภาวะการอบแห้งแตกต่างกัน จะได้ผลการศึกษาดังแสดงใน Table 1

Table 1 The drying time and electricity consumption.

Temperature (°C)	Drying time (h)	Electrical Energy (kW-h)
55	4.92±0.38 ^a	16.64±1.16 ^a
60	4.25±0.43 ^{ab}	14.42±1.31 ^{ab}
65	3.75±0.43 ^b	13.20±1.31 ^b

Note: Means with different letters indicate significant differences at $p < 0.05$.

จาก Table 1 พบว่า ระยะเวลาในการอบแห้งจะแปรผันตรงกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง โดยระยะเวลาในการอบแห้งและพลังงานไฟฟ้าจะมีค่าอยู่ระหว่าง 3.75-5.15 ชั่วโมง และ 13.94-17.64 kW-h ตามลำดับ เมื่อพิจารณาในแต่ละสภาวะการอบแห้ง พบว่า สภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 °C จะใช้เวลาในการอบแห้งสั้นที่สุด 3.75 ชั่วโมง ส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด 13.20 kW-h ส่วนสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 °C จะใช้เวลาในการอบแห้งนานที่สุด 4.92 ชั่วโมง ทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด 16.64 kW-h ซึ่งระยะเวลาในการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง สำหรับการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอบแห้งกับสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายจะใช้รูปแบบของสมการ Arrhenius (Aregbesola *et al.*, 2015) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้การแพร่ของความชื้นจากภายในออกมายังผิวภายนอกเร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ โดยผลดังกล่าวมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Utari *et al.* (2022) สำหรับการเปลี่ยนแปลงความชื้นในแต่ละเวลาการอบแห้งที่สภาวะการอบแห้งแตกต่างกัน จะแสดงใน Figure 5

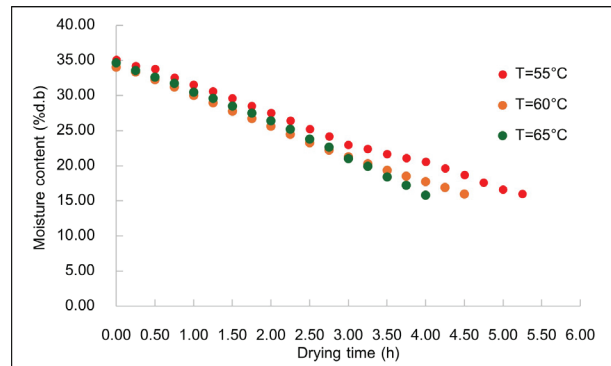


Figure 5 Moisture changes at drying temperatures of 55, 60 and 65 °C

จาก Figure 5 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลง ปริมาณความชื้นในแต่ละเวลาการอบแห้ง ซึ่งกราฟจะมีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรงทุกสภาวะการอบแห้ง เนื่องจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถึงหมุนมีการพลิกกลับข้าวในระหว่างการอบแห้ง ทำให้เมล็ดข้าวสัมผัสกับอากาศร้อนอย่างสม่ำเสมอ ส่งผลให้การลดลงของความชื้นมีความสม่ำเสมอ ซึ่งลักษณะการลดลงของความชื้นในแต่ละเวลาการอบแห้งที่ได้จากงานนี้มีความคล้ายคลึงกับงานวิจัยของ กฤช ตรีจติต และคณะ (2561)

2. ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบถึงหมุน โดยอาศัยหลังคาโรงเรือนเป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบถึงหมุน โดยอาศัยหลังคาโรงเรือนเป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์สำหรับอบแห้งข้าว อุณหภูมิอบแห้งแตกต่างกัน โดยจะพิจารณาจาก SEEC และ DR ซึ่งผลการวิเคราะห์จะแสดงดัง Table 2

Table 2 The analysis of DR and SEEC values.

Temperature (°C)	DR (kg/h)	SEEC (kW-h/kg)
55	0.0064	525.78
60	0.0097	346.59
65	0.0113	309.64

Note: Means with different letters indicate significant differences at $p < 0.05$.

จาก Table 2 พบว่า ค่า DR และ SEEC มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0064-0.0113 kg/h และ 309.64-525.78 kW-h/kg โดยเมื่อพิจารณาค่า DR ในแต่ละสภาวะการอบแห้ง พบว่า สภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 °C จะมีค่า DR สูงที่สุด 0.0113 kg/h ส่วนการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 °C จะมีค่า DR ต่ำที่สุด 0.0064 kg/h ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่า DR แปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิอบแห้ง เมื่อพิจารณาค่า SEEC ในแต่ละสภาวะการอบแห้ง พบว่า ที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 65 °C จะมีค่า SEEC ต่ำที่สุด 309.64 kW-h/kg ส่วนการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 °C จะทำให้มีค่า SEEC สูงที่สุด 525.78 kW-h/kg ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่า SEEC แปรผันแบบผกผันกับอุณหภูมิอบแห้ง

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบถึงหมุนร่วมกับระบบฮีตเตอร์ โดยอาศัยหลักการโรงเรือนเป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์สำหรับอบแห้งข้าว สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. การศึกษาระยะเวลาและพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง พบว่า ระยะเวลาในการอบแห้งและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งมาค่าอยู่ระหว่าง 3.75-4.92 ชั่วโมง และ 13.20-16.64 kW-h ตามลำดับ โดยระยะเวลาในการอบแห้ง (t) จะแปรผันแบบผกผันกับอุณหภูมิอบแห้ง และพลังงานไฟฟ้า (W_E) แปรผันแบบผกผันอุณหภูมิอบแห้ง

2. การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบถึงหมุนร่วมกับระบบฮีตเตอร์ โดยอาศัยหลักการโรงเรือนเป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์ พบว่า อัตราการอบแห้ง (DR) และความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (SEEC) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0064-0.0113 kg/h และ 309.64-525.78 kW-h/kg โดยค่า DR จะแปรผันตรงกับอุณหภูมิอบแห้ง ส่วนค่า SEEC จะแปรผันแบบผกผันกับอุณหภูมิอบแห้ง

ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยครั้งต่อไป สามารถศึกษาพารามิเตอร์ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งในด้านอื่นๆ เช่น ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ หรือศึกษาพารามิเตอร์ด้านคุณภาพของข้าวที่ผ่านการอบแห้ง เช่น เปอร์เซ็นต์การแตกหัก คุณภาพด้านสี เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่สนับสนุนเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กลุ่มยุทธศาสตร์และข้อมูลเพื่อพัฒนาจังหวัด. (2566). แผนพัฒนาจังหวัดมหาสารคาม พ.ศ. 2566–2570. สำนักงานจังหวัดมหาสารคาม. https://www.mahasarakham.go.th/plan_sara/plan66_70.pdf
- กฤษ ตรีจติต, วัชรานนท์ จุฑาจันทร์, และลาพูน เหลลราช. (2561). เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกพลังงานแสงอาทิตย์แบบถอดประกอบอย่างง่าย. *วารสารวิทยาศาสตร์คชสส*, 40(2), 76-90.
- จารุวัฒน์ เจริญจิต, สิทธิพร บุญญานุวัตร, และอุดร นามเสม. (2563). อิทธิพลของแหล่งความร้อนสำหรับปั๊มความร้อนในระบบอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจก. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*, 12(2), 208-222.
- พิรสิทธิ์ ทวยนาค, มณฑล ชูโซนาค, มุสตาฟา ยะภา, และประชา บุญยานิชกุล. (2557). การทบทวนพัฒนาการของการลดความชื้นข้าวเปลือกในทางอุตสาหกรรม. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 9(1), 68-74.
- อภิสิทธิ์ ภักดีแก้ว, กระวี ตรีอำรรค, และเทวรัตน์ ตรีอำรรค. (2565). แบบจำลองอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม. *วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ*, 8(2), 99–109.
- Aregbesola, O. A., Ogunsina, B. S., Sofolahan, A. E., & Chime, N. N. (2015). Mathematical modeling of thin layer drying characteristics of dika (*Irvingia gabonensis*) nuts and kernels. *Nigerian Food Journal*, 33(1), 83–89. <https://doi.org/10.1016/j.nifoj.2015.04.012>
- Jangsawang, W. (2017). Meat products drying with a compact solar cabinet dryer. *Energy Procedia*, 138, 1048-1054. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.111>
- Jittanit, W., Saeteaw, N., & Charoenchaisri, A. (2010). Industrial paddy drying and energy saving options. *Journal of Stored Products Research*, 46(4), 209-213. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2010.05.003>

- Utari, F. D., Yasintasia, C., Ratridewi, M., A'yuni, D. Q., Kumoro, A. C., Djaeni, M., & Asiah, N. (2022). Evaluation of paddy drying with vertical screw conveyor dryer (VSCD) at different air velocities and temperatures. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 174, 108881. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2022.108881>
- Yahya, M., Fahmi, H., Hasibuan, R., & Fudholi, A. (2023). Development of hybrid solar-assisted heat pump dryer for drying paddy. *Case Studies in Thermal Engineering*, 45, 102936. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.102936>