

การศึกษาเชิงทดสอบอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกักเก็บความร้อน

An Experimental Study of Solar Chili Dryer with Volcanic Rock Thermal Storage

ยุธนา ศรีอุดม^{1*} อนุรัตน์ เทวตา² และ สังคม สัพโส³

^{1,2,3}สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

E-mail: ^{1*}Yuttana.sriudom@gmail.com, ²atewata@gmail.com, ³S.sappaso@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเชิงทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพริกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวสะสมความร้อนกับเครื่องอบแห้งพริกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่มีตัวสะสมความร้อน ซึ่งจะแบ่งชุดทดสอบออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ 1. เครื่องอบแห้งพริกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่มีตัวสะสมความร้อน (SD1) 2. เครื่องอบแห้งพริกพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินบะซอลต์เป็นตัวสะสมความร้อน (SD2) และ 3. เครื่องอบแห้งพริกพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อน (SD3) โดยทำการทดสอบอบแห้งพริกที่ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 75%w.b. จนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายเป็น 13%w.b. ที่อัตราการระบายอากาศ 3 ระดับ ได้แก่ 0.0142 m³/s 0.0208 m³/s และ 0.0279 m³/s ผลจากการทดสอบพบว่า เมื่ออัตราการระบายอากาศเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งสูงขึ้นทั้ง 3 ชุดทดสอบ โดยจะมีประสิทธิภาพสูงสุดที่อัตราการไหล 0.0279 m³/s ซึ่งเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่มีตัวสะสมความร้อน เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินบะซอลต์เป็นตัวสะสมความร้อน และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อนจะมีประสิทธิภาพเฉลี่ย เท่ากับ 25.34%, 28.00% และ 30.73% ตามลำดับ โดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อน จะใช้เวลาในการอบแห้งต่ำสุด คือ 23.20 ชั่วโมง และมีประสิทธิภาพสูงสุด คือ 30.73%

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ พริก สะสมความร้อน หินภูเขาไฟ

* Corresponding author, e-mail: Yuttana.sriudom@gmail.com

Abstract

The aimed of this research to experimentally study of chili solar dryer efficiency with volcanic rock thermal storage. The first solar dryer was a solar dryer without volcanic rock thermal storage (SD1). The second solar dryer was a solar dryer with basalt rock thermal storage (SD2). The last solar dryer was a solar dryer with pumice rock thermal storage (SD3). The air flow rate was varied to 0.0142 m³/s 0.0208 m³/s and 0.0279 m³/s. The chili was dried to final moisture content of 13% (w.b.) from the initial moisture content was 75% (w.b.). The result from drying found that the solar dryer efficiency increased when the air flow rate was increased for all test set. The maximum solar dryer efficiency in this test when the air flow rate of 0.0279 m³/sec. The average efficiency of the solar dryer without volcanic rock thermal storage, the solar dryer with basalt rock thermal storage and the solar dryer with pumice rock thermal storage were 25.34%, 28.00% and 30.73%, respectively. The lowest drying time of solar dryer with pumice rock thermal storage was 23.20 hours and the highest efficiency was 30.73%

Keywords: Solar Dryer, Chili, Thermal Storage, Volcanic rock

1. ที่มาและความสำคัญ

พริกเป็นพืชผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม วงศ์มะเขือ พริกเป็นเครื่องเทศที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งและมีความสัมพันธ์ต่อความเป็นอยู่ของชาวไทยเป็นเวลายาวนานเนื่องจากอาหารไทยมีความกลมกล่อม เผ็ดร้อน สีสัน และความเข้มข้น ซึ่งถือเป็นเอกลักษณ์ของ อาหารไทย พริกจึงถูกใช้ในการประกอบอาหารในชีวิตประจำวัน ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่าง ๆ และพริกยังมีสรรพคุณเป็นยารักษาโรคบางชนิด เช่น ช่วยกระตุ้นให้เจริญอาหารยิ่งขึ้น ช่วยรักษาสายตา ช่วยรักษาโรคหิด ช่วยป้องกันการเกิดโรคหัวใจล้มเหลว ช่วยลดความดันโลหิต เป็นต้น พริกที่ปลูกในไทยโดยส่วนใหญ่เป็นพริกชี้หู ผลใหญ่ พริกชี้หูสวน และพริกพื้นที่เพาะปลูกโดยส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัด นครราชสีมา ชัยภูมิ เลย ศรีสะเกษ อุบลราชธานี และนครพนม ในเขตจังหวัดนครพนม ซึ่งผลิตภัณฑ์แปรรูปจากพริกที่เห็นกันมากในไทย เช่น พริกแห้ง พริกป่นและน้ำพริก เป็นต้น ซึ่งพริกที่เรานำมาใช้ในการอบแห้งคือ พริก เป็นสายพันธุ์พริกที่นิยมปลูกกันมากในประเทศไทยส่วนมากมักจะใช้เพื่อประกอบอาหารสดและแปรรูปทำซอสพริก ซึ่งพริกเหล่านี้มีการเน่าเสียได้ง่ายเมื่ออยู่ในสภาพสด ดังนั้น จึงมีการเก็บรักษาพริกเพื่อคงรสชาติไว้ดังเดิม ส่วนใหญ่แล้วจะนิยมนำพริกมาตากหรืออบโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งการตากและอบเพื่อให้ความชื้นในพริกน้อยลงจะทำให้เก็บรักษาพริกไว้ได้นานยิ่งขึ้น

ประเทศไทยนั้นเป็นประเทศที่มีสภาพภูมิอากาศที่ดี ซึ่งจะได้รับพลังงานแสงค่อนข้างสูง เพราะประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้กับเส้นศูนย์สูตร โดยมีค่าพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 4.5-5.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน (4.5 - 5.5 kWh/m²/day) [1] ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์เหมาะกับการนำมาใช้เป็นพลังงาน

ในการอบได้เป็นอย่างดี ซึ่งจะช่วยประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดีไม่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม พลังงานแสงอาทิตย์สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ ลดค่าใช้จ่ายในการอบและตากได้เป็นอย่างดี การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อนำแสงอาทิตย์มาใช้ในการอบแห้งจึงเป็นหนทางหนึ่งในการใช้พลังงานหมุนเวียนให้เกิดประโยชน์สูงสุดการตากแห้งเป็นกระบวนการที่ง่ายที่เกษตรกรทำกันมาตั้งแต่โบราณและมีการใช้อย่างแพร่หลายการตากแห้ง พืช ผัก ผลไม้ ส่วนใหญ่ยังคงไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงกระบวนการ คือ มีการตากแห้งผลิตภัณฑ์โดยตรงกับแสงอาทิตย์ ส่วนใหญ่จะทำการในพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์เป็นจำนวนมาก ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งทันทีหลังจากทำการตากแห้ง

การอบแห้งเป็นวิธีการถนอมอาหารอย่างหนึ่ง ที่สามารถลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบโดยการทำให้ไอน้ำระเหยออกจากผลิตภัณฑ์โดยใช้ความร้อนทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลง ผลิตภัณฑ์ไม่เน่าเสียง่ายกระบวนการแบบนี้เป็นตัวอย่งที่เด่นชัด การอบแห้งทำได้หลายวิธีเช่น ตู้อบแห้งแบบลมร้อน (Hot air drier) ตู้อบแบบสุญญากาศ (Vacuum shelf drier) การตากแดด (Sun drying) การทำแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar drying) การทำแห้งแบบแช่แข็ง (Freeze drying) การอบแห้ง (Baking) ซึ่งอาหารหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีปริมาณน้ำและความชื้นที่อยู่ในตัวผลิตภัณฑ์หรืออาหารลดลง จึงทำให้ยืดอายุตัวผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน เพราะเมื่อผลิตภัณฑ์มีน้ำลดลงก็จะทำให้ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และการอบแห้งยังช่วยลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย จากข้อมูลดังกล่าว ทำให้มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษา วิจัยการอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยวิธีการต่าง ๆ อาทิเช่น สุทธิดี [2] ได้ทำการศึกษาขนาดช่องระบายความชื้นที่เหมาะสมต่อการอบแห้งพริกด้วยพลังงานไฟฟ้าและการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับแสงอาทิตย์ ซึ่งจะส่งผลต่อความชื้นที่เหลือและอัตราการเร็วในการอบแห้ง จากการทดสอบ 2 เงื่อนไข ด้วยการปรับขนาดช่องระบายความชื้นที่แตกต่างกัน คือ 32 64 96 และ 128 cm² ตามลำดับ ควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้ง 70 °C ใช้เวลาในการอบแห้ง 5 ชั่วโมง จากการทดสอบ พบว่า เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งด้วยพลังงานไฟฟ้าที่เปิดช่องระบายความชื้น 96 cm² สามารถลดน้ำหนักพริกจาก 800 กรัม เหลือ 125 กรัม ความชื้นในพริกเหลือ 10.63% d.b. อัตราความเร็วในการอบแห้ง 1.04% ความชื้นที่ออก/นาที่ ใช้พลังงาน 10.8 หน่วย ในขณะที่เงื่อนไขที่เหมาะสมของการอบแห้งด้วยพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยการเปิดช่องระบายความชื้น 96 cm² สามารถลดน้ำหนักพริกจาก 800 กรัม เหลือ 232.5 กรัม ความชื้นในพริกเหลือ 13.10% d.b. อัตราความเร็วการอบแห้ง 1.05% ความชื้นที่ออก/นาที่ ใช้พลังงานไฟฟ้า 20.8 หน่วย จึงสรุปได้ว่าการระบายความชื้นที่เหมาะสมทำให้ความชื้นภายในวัสดุและอัตราการอบแห้งลดลงได้เร็วขึ้น สุรัชชัย ธีรรัฐ [3] ได้ทำการศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวล โดยทดสอบการอบพริกที่ความชื้นเริ่มต้น 664% d.b. จำนวน 2 kg ให้เหลือความชื้นต่ำกว่า 13.5% d.b. ภายใต้อุณหภูมิ 80 °C ผลจากการทดสอบ พบว่า การอบแห้งที่ความเร็วลม 7.27 m/s เป็นความเร็วที่เหมาะสมต่อการรักษาอุณหภูมิที่ผลิตได้จากแผงรังสีดวงอาทิตย์ได้เฉลี่ยมากกว่า 50 °C นานถึง 6 ชั่วโมง และการอบแห้งด้วยความเร็วลม 7.63 m/s เหมาะสมต่อการทำให้อุณหภูมิของตู้อบแห้งสูงกว่า 50 °C ภายใน 2 ชั่วโมง เมื่อทดสอบอบพริก จำนวน 2 kg เป็นเวลา 15 ชั่วโมง พบว่า เครื่องอบแห้งมีความสิ้นเปลืองพลังงาน

จำเพาะและความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะอยู่ที่ $1.25 \text{ MJ/kg}_{\text{water}}$ และ $1.44 \text{ kg/kg}_{\text{water}}$ ตามลำดับ และธีรพงศ์ [4] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตู้อบแห้งโดยการปรับมุมเอียงตามแสงอาทิตย์ โดยทำการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบตั้งอยู่กับที่โดยใช้ตู้ขนาด กว้าง 45 cm ยาว 108 cm และ สูง 38.5 cm และมีกระจกเอียงทำมุม 45° ใช้กล้วยน้ำว้า เป็นผลิตภัณฑ์ในการทดสอบ โดยอบครั้งละ 144 ลูก ใช้ระยะเวลาการอบ 8 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่เวลา 9.00 – 17.00 น. ทดสอบระยะในการอบรวม 24 ชม. ต่อการอบ 1 ครั้ง ความชื้นเริ่มต้น 79.81% w.b. จนเหลือความชื้น 29.3 % w.b. อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบ 48.47°C จากผลการทดสอบโดยให้ตู้อบแห้งคล้อยตามแสงอาทิตย์ด้วยกลไกการหมุนส่งกำลังจากแม่แรงสะพานซึ่งขับเคลื่อนจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สามารถร่นระยะเวลาในการอบกล้วยน้ำว้า ได้ 3.5 ชั่วโมงต่อการอบแห้ง 1 ครั้ง

จากการสืบค้นข้อมูล และงานวิจัยดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษา และเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้หินภูเขาไฟและไม่ใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกักเก็บ พลังงานความร้อนแสงอาทิตย์

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาเชิงทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพริกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวสะสมความร้อนกับเครื่องอบแห้งพริกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่มีตัวสะสมความร้อน

3. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ [5]

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ คือ อุปกรณ์ที่ใช้อบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยการรับรังสีแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านกระจกใสหรือแผ่นโพลีคาร์บอเนตเข้าไปในตู้ เมื่อแสงแดดผ่านเข้าตู้จะส่งผลให้อุณหภูมิภายในสูงขึ้น โดยปกติจะมีอุณหภูมิ $60 - 70^\circ\text{C}$ เกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังวัตถุดิบที่ต้องการอบแห้ง เมื่อน้ำที่ระเหยจากวัตถุดิบจะลอยตัวและไหลออก ส่วนอากาศเย็นจะไหลเข้ามาแทนที่เกิดการหมุนเวียนภายในเครื่องอบแห้ง การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ปัจจุบันมีการยอมรับใช้งาน 3 ลักษณะ คือ

3.1.1 การอบแห้งระบบ (Passive) คือ ระบบที่ไม่มีอุปกรณ์ในการเพิ่มอุณหภูมิในเครื่องอบแห้งจะทำงานโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์และกระแสลมที่พัดผ่าน ได้แก่ เครื่องตากแห้งโดยธรรมชาติ เป็นการวางวัสดุไว้ที่กลางแจ้ง อาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์และกระแสลมในบรรยากาศในการระเหย ความชื้นออกจากวัสดุ โดยเมื่ออากาศร้อนเกิดการขยายตัวเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน ส่วนอากาศเย็นจากภายนอกจะเคลื่อนที่เข้ามาในห้องอบ ทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศในตู้อบขึ้น

3.1.2 การอบแห้งระบบ (Active) คือ ระบบอบแห้งที่มีเครื่องช่วยให้อากาศไหลเวียนในทิศทางที่ต้องการ เช่น การติดตั้งพัดลมเพื่อบังคับให้อากาศไหลผ่านระบบ และพัดลมจะช่วยในการดูดอากาศจากภายนอกให้ไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อรับความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ อากาศร้อนที่ไหลผ่านพัดลม และห้องอบแห้งจะมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าความชื้นของผลผลิต จึงพาความชื้นจากผลผลิตออกสู่ภายนอก

3.1.3 การอบแห้งระบบ (Hybrid) คือ ระบบอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับพลังงานในรูปแบบอื่น ๆ เพื่อช่วยในการอบแห้งในกรณีที่พลังงานแสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอหรืออุณหภูมิภายในห้องอบไม่เป็นไปตามที่ต้องการ พลังงานร่วมที่นำมาใช้ เช่น พลังงานเชื้อเพลิงจากชีวมวล พลังงานไฟฟ้า โดยพลังงานเหล่านี้จะเป็นตัวช่วยในการเพิ่มอุณหภูมิในห้องอบ และการหมุนเวียนของอากาศจะอาศัยพัดลมหรือเครื่องดูดอากาศช่วย

3.2 หลักการวัดความชื้นในวัสดุ [6]

กระบวนการอบแห้งวัสดุขึ้นใด ๆ ตัวแปรหนึ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพของวัสดุที่ผ่านการอบแห้งว่ามีมาตรฐานตามที่กำหนดหรือไม่ นั่นคือ ปริมาณความชื้นที่เหลือในวัสดุ ซึ่งเป็นการวัดปริมาณน้ำที่เหลือในวัสดุ จะบอกค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นสามารถคำนวณได้ 2 วิธี คือ ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก และปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้งดังสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ โดยในงานวิจัยนี้ จะใช้ทฤษฎีการคำนวณแบบความชื้นมาตรฐานเปียกเนื่องจากเป็นที่ยอมรับและเข้าใจได้ง่าย

3.2.1 ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก

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

3.2.2 ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง

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

M_w คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก

M_d คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง

w คือ น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุขึ้น (kg)

d คือ น้ำหนักวัสดุแห้ง (kg)

3.3 อัตราการอบแห้ง [2]

การอบแห้งวัสดุขึ้นใด ๆ ระยะเวลาในการอบแห้งถือเป็นตัวแปรสำคัญที่ต้องศึกษา เนื่องจากการอบแห้งด้วยระยะเวลานานจะส่งผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์และค่าใช้จ่าย ซึ่งระยะเวลาในการอบแห้งจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับอัตราความเร็วของการลดปริมาณความชื้นในวัสดุ ถ้าค่าอัตราความเร็วของการอบแห้งมีค่าสูง แสดงว่าปริมาณความชื้นที่แพร่กระจายออกจากวัสดุต่อเวลาที่มีปริมาณสูงมาก ดังสมการที่ (3)

$$\text{Drying rate} \quad \frac{dX}{dt} = \frac{X_0 - X}{t - t_0} * 100 \quad (3)$$

เมื่อ $X_0 - X$ คือ ค่าความเปลี่ยนแปลงของความชื้น (kg)

$t - t_0$ คือ ค่าความเปลี่ยนแปลงของช่วงเวลา (s)

3.4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบอบแห้ง (Thermal efficiency) [7]

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งเป็นตัวบอกสมรรถนะของเครื่องอบแห้งได้ ซึ่งสามารถหาได้จากสัดส่วนของพลังงานความร้อนที่ใช้ในการระเหยต่อพลังงานที่ให้กับระบบอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถหาได้จากสมการ

$$\eta_{th} = \frac{m_w h_{fg}}{I_T A} * 100 \quad (4)$$

เมื่อ

η_{th}	คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบอบแห้ง (%)
m_w	คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยที่ได้จากการคำนวณน้ำหนักวัสดุที่ลดลงหารด้วยเวลา (kg/s)
I_T	คือ ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ (W/m ²)
h_{fg}	คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำ (kJ/kg)
A	คือ พื้นที่หน้าตัดที่รับแสงอาทิตย์ (m ²)

3.5 หินภูเขาไฟ [8]

3.5.1 หินบะซอลต์ (Basalt) เป็นหินอัคนีพุที่พบได้โดยทั่วไป มักพบมีสีเทาถึงสีดำมีเนื้อละเอียด เนื่องจากเกิดจากการเย็นตัวของลาวาอย่างรวดเร็วบนพื้นผิวโลก อาจพบมีเนื้อสองขนาดที่มีผลึกขนาดโตกว่าอยู่ในพื้นเนื้อละเอียดหรือมีเนื้อเป็นโครงข่ายหรือมีเนื้อเป็นตะกรันภูเขาไฟ (สคอเรีย) เนื้อหินบะซอลต์สด ๆ จะมีสีดำหรือสีเทา ลักษณะ: มีเนื้อละเอียด สีเข้ม หรือเทาแก่ถึงดำ น้ำตาลแก่ และหนัก ส่วนมากมีรูพรุน อายุของหินที่พบในประเทศไทยนับว่ามีอายุใหม่มากประมาณ 2 - 10 ล้านปี อยู่ในยุค Quaternary - Late Tertiary เกิดจากหินลาวาขึ้นมาเย็นตัวบนพื้นผิวโลก โดยองค์ประกอบแร่ที่สำคัญ คือ แร่แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ และแร่สีเข้มอื่น ๆ เช่น ไพรอกซีน ละเอียดมาก เฟลด์สปาร์ฮอร์นเบลนด์ และโอลิวีนแต่ผลึกแร่เล็กละเอียดมากมองด้วยตาเปล่าไม่เห็นและยังไม่ทำปฏิกิริยากับกรดเกลือ ซึ่งบริเวณพบมาก คือ จังหวัดจันทบุรี ตราด กาญจนบุรี แพร่ บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ เชียงราย และลำปาง เป็นต้น หินบะซอลต์หลายแห่งในประเทศไทยเป็นแหล่งกำเนิดของอัญมณี (พลอย ชนิดต่าง ๆ) เนื่องจากแมกมาต้นผลึกแร่ซึ่งอยู่ลึกใต้เปลือกโลกให้โผล่ขึ้นมาเหนือพื้นผิว

3.5.2 หินพัมมิส (Pumice) เป็นหินภูเขาไฟเกิดขึ้นจากการเย็นตัวของหินหลอมเหลวใต้พื้นโลก หรือที่เราเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า (หินลาวา Lava) ซึ่งลาวาเหล่านี้เกิดจากการหลอมละลายหินและแร่ธาตุต่าง ๆ ด้วยความร้อนใต้พื้นโลก ด้วยเหตุนี้หินลาวาจึงมีสารและแร่ธาตุมากเป็นหินภูเขาไฟเกิดจากการหลอมละลายของลาวาและแมกมาแล้วจับตัวแข็งโดยฉับพลันกับชั้นอากาศและฟองอากาศ (ในกรณีไหลลงน้ำ) รูพรุนจำนวนมากนั้น คือ ฟองอากาศขณะที่ลาวากำลังร้อนระอุผนวกเข้ากับคามเย็นจากอากาศและน้ำจับตัวแข็งเป็นก้อนเกิดโพรงและรูพรุนจำนวนมากมีคุณสมบัติลอยน้ำได้ น้ำหนักเบา มีสารและแร่ธาตุมากมาย

ตารางที่ 1 ตัวอย่างคุณสมบัติด้านความร้อนของหิน [9]

ลำดับ	วัสดุ	ความถ่วงจำเพาะ	ความจุความร้อนจำเพาะ (MJ/m³K)
1	หินพัมมิส (Pumice)	2.98	4.03±0.05
2	หินบะซอลต์ (Basalt)	2.61	3.30±0.71
3	หินปูนลพบุรี (Lopburi Limestone)	2.64	2.54±0.01
4	หินทรายภูกระดึง (Phu Kradung Sandstone)	2.54	1.80±0.03
5	หินแกรนิตจีน (Chinese Granite)	2.64	1.69±0.01
6	หินแกรนิตตาก (Tak Granite)	2.62	2.21±0.01

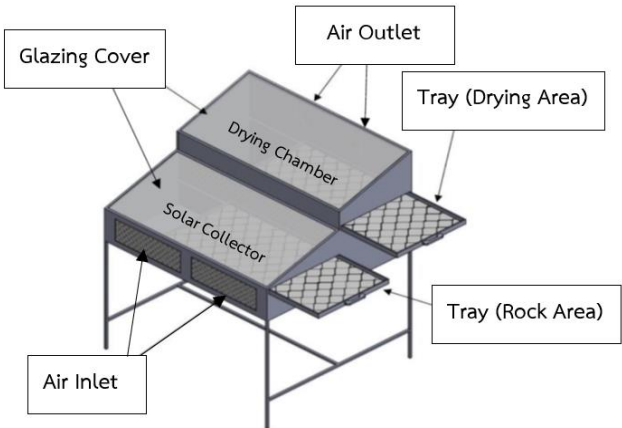
4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

4.1.1 เงื่อนไขเบื้องต้นในการออกแบบ

- 1. พริกที่ใช้ในการอบแห้งครั้งละ 2 kg
- 2. ความชื้นเริ่มต้นของพริกประมาณ 75%w.b.
- 3. ความชื้นสุดท้ายของพริกประมาณ 13%w.b.
- 4. ใช้หินภูเขาไฟเป็นวัสดุในการสะสมพลังงานแสงอาทิตย์
- 5. ใช้พัดลมดูดอากาศ 2 ตัว ต่อ 1 เครื่อง
- 6. ใช้อัตราการไหลอากาศ 3 ระดับ คือ 0.0142 m³/s 0.0208 m³/s และ0.0279 m³/s

4.2 รูปแบบเครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดสอบ ลักษณะเครื่องอบพริกพลังงานแสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 1 โดยตู้อบแห้งจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1. ส่วนสะสมความร้อน (Solar Collector) คือ ส่วนที่บรรจุหินภูเขาไฟเพื่อใช้เป็นตัวกักเก็บความร้อน และ 2. ส่วนห้องอบ (Drying Chamber) คือ ส่วนที่ใช้สำหรับอบแห้งพริก โดยใช้พัดลมดูดอากาศเพื่อระบายอากาศ โดยแบ่งการระบายอากาศ ออกเป็น 3 ระดับ และทำการจัดวางเครื่องอบแห้งโดยทำมุมรับแสงที่ 18° หันไปทางทิศใต้



รูปที่ 1 เครื่องอบพริกพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบ

4.3 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้การทดสอบ

4.3.1 พริก

4.3.2 หินภูเขาไฟ สายเทอร์โมคัปเปิลยี่ห้อ OMEGA ชนิด K แม่นยำ $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$

4.3.3 เครื่องวัดความเข้มแสง ยี่ห้อ SPM-1116SD ช่วงการวัด 0.0 ถึง 2,000.0 W/m^2 ความแม่นยำ $\pm 10\text{ W/m}^2$

4.3.4 เครื่องบันทึกข้อมูล ยี่ห้อ Wisco รุ่น DL 2200 ขนาด 8 ช่องสัญญาณ มีช่วงการวัดอุณหภูมิ $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $1,300\text{ }^{\circ}\text{C}$ มีความแม่นยำ $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$

4.3.5 ตัวขยายสัญญาณ Analog Expansion Module EX24 ขนาด 16 ช่องสัญญาณ มีช่วงการวัดอุณหภูมิ $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $1,300\text{ }^{\circ}\text{C}$ มีความแม่นยำ $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$

4.3.6 เครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อ DIGICON DA-49SD ย่านการวัดความเร็วลมกว้าง 0.2 ถึง 35.0 m/s มีความแม่นยำ $\pm 0.01\text{ m/s}$

4.3.7 เครื่องชั่งน้ำหนัก รุ่น SF-400A ขนาด 0 – 7,000 g ความละเอียด 0.1 กรัม ความแม่นยำ $\pm 0.2\%$

4.4 ขั้นตอนการทดสอบ

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ 1. ตู้อบแห้งที่ไม่ได้ใส่หินภูเขาไฟ และ 2. ตู้อบแห้งที่ใส่หินภูเขาไฟ โดยเวลาการเก็บข้อมูล ตั้งแต่เวลา 09.00 – 18.00 น. ทำการทดสอบที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก โดยมีขั้นตอนในการทดสอบ ดังต่อไปนี้

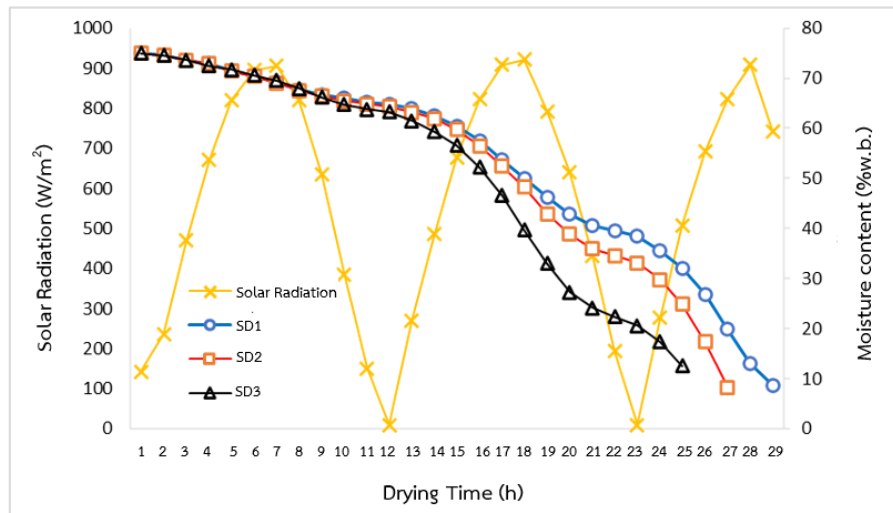
4.4.1 ทำการสร้างเครื่องอบแห้งตามขนาดที่ได้ออกแบบไว้ ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยแบ่งชุดทดสอบออกเป็น 3 ชุด ประกอบไปด้วย 1. ตู้อบแห้งที่ไม่ได้ใส่หินภูเขาไฟ 2. ตู้อบแห้งที่ใส่หินบะซอลต์ และ 3. ตู้อบแห้งที่ใส่หินพัมมิส

4.4.2 ติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบและอุปกรณ์ในการตรวจวัดเข้ากับชุดทดสอบทั้ง 3 ชุด โดยทำการบันทึกอุณหภูมิอุณหภูมิ ความเข้มแสง ทุก ๆ 5 วินาที และชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ทุก ๆ 1 ชม. และนำข้อมูลที่ได้มาใช้สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

4.4.3 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น อัตราการอบแห้ง และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามสมการที่ (1) – (4)

5. ผลและวิจารณ์

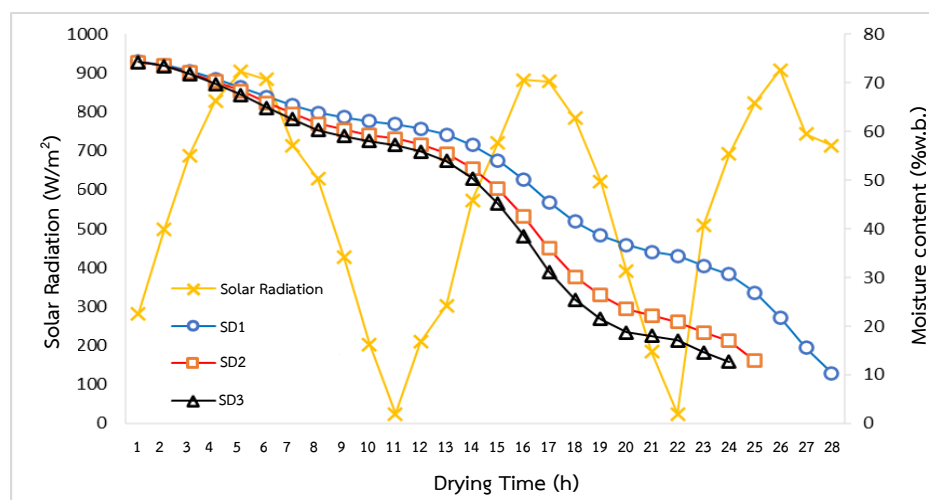
5.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงความชื้นพริกของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบ ที่อัตราการไหลของอากาศ $0.0142\text{ m}^3/\text{s}$ แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กราฟเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของพริกที่ใช้เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของตู้อบทั้ง 3 แบบ ที่อัตราการไหล 0.0142 m³/s

จากรูปที่ 2 การเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของพริกที่ใช้เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของตู้อบทั้ง 3 แบบ ที่อัตราการไหล 0.0142 m³/s พบว่า เครื่องเปล่าใช้ระยะเวลาในการอบแห้งทั้งหมดที่ 28 ชั่วโมง เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินบะซอลต์เป็นตัวสะสมความร้อนใช้ระยะเวลาในการอบแห้งทั้งหมด 26 ชั่วโมง เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อนใช้ระยะเวลาในการอบแห้งทั้งหมดที่ 24 ชั่วโมง ซึ่งจากการทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีหินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อนใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าเครื่องเปล่าอยู่ที่ 4 ชั่วโมง ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าคิดเป็น 16% และน้อยกว่าเครื่องที่มีหินบะซอลต์ 2 ชั่วโมง คิดเป็น 8% เนื่องจากเครื่องหินพัมมิสมีความจุความร้อนจำเพาะสูงกว่าหินบะซอลต์ ทำให้มีความร้อนที่สูงกว่าทั้งสองเครื่อง

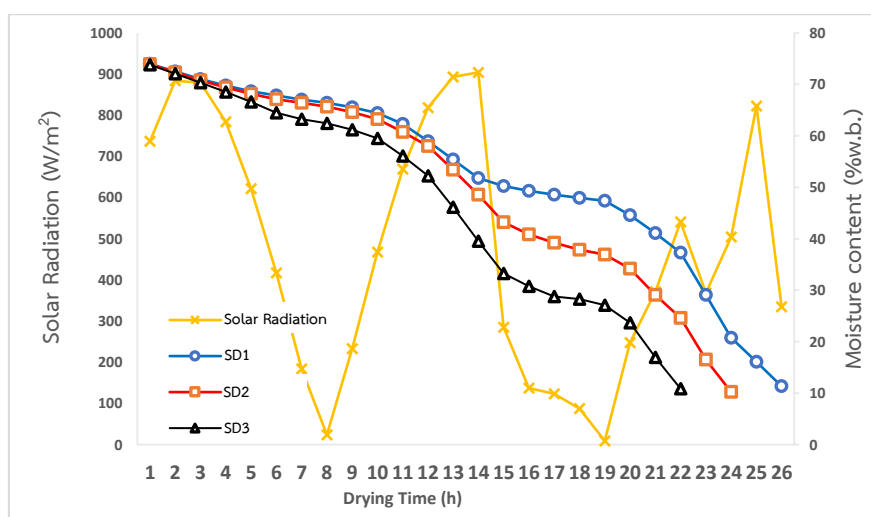
5.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงความชื้นพริกของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบ ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.0208 m³/s แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของพริกที่ใช้เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของตู้อบทั้ง 3 แบบ ที่อัตราการไหล 0.0208 m³/s

จากรูปที่ 3 การเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของพริกที่ใช้เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของตู้อบทั้ง 3 แบบ ที่อัตราการไหล $0.0208 \text{ m}^3/\text{s}$ พบว่า เครื่องเปล่าใช้ระยะเวลาในการอบแห้งทั้งหมดที่ 27.15 ชั่วโมง เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินบะซอลต์เป็นตัวสะสมความร้อนใช้ระยะเวลาในการอบแห้งทั้งหมด 25 ชั่วโมง เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อนใช้ระยะเวลาในการอบแห้งทั้งหมดที่ 23.20 ชั่วโมง ซึ่งจากการทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีหินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อนใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าเครื่องเปล่าอยู่ที่ 3.95 ชั่วโมง ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าคิดเป็น 14.5 % และน้อยกว่าเครื่องที่มีหินบะซอลต์ 2.15 ชั่วโมง คิดเป็น 7.9% เนื่องจากเครื่องหินพัมมิสมีค่าความจุความร้อนจำเพาะสูงกว่าหินบะซอลต์ ทำให้มีการสะสมความร้อนและมีการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าทั้งสองเครื่อง

5.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงความชื้นพริกของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบ ที่อัตราการไหลของอากาศ $0.0279 \text{ m}^3/\text{s}$ แสดงดังรูปที่ 4

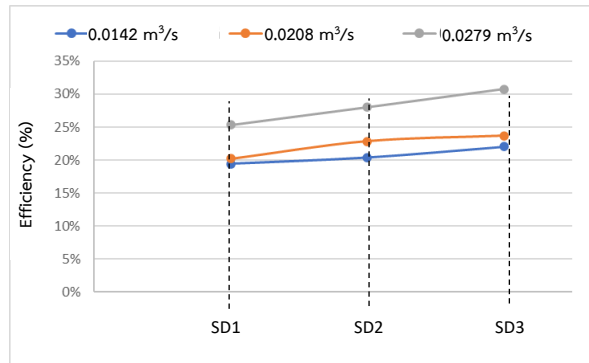


รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของพริกที่ใช้เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของตู้อบทั้ง 3 แบบ ที่อัตราการไหล $0.0279 \text{ m}^3/\text{s}$

จากรูปที่ 4 การเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของพริกที่ใช้เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของตู้อบทั้ง 3 แบบ ที่อัตราการไหล $0.0279 \text{ m}^3/\text{s}$ พบว่า เครื่องเปล่าใช้ระยะเวลาในการอบแห้งทั้งหมดที่ 26.10 ชั่วโมง เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินบะซอลต์เป็นตัวสะสมความร้อนใช้ระยะเวลาในการอบแห้งทั้งหมด 24.20 ชั่วโมง เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อนใช้ระยะเวลาในการอบแห้งทั้งหมดที่ 22.10 ชั่วโมง ซึ่งจากการทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีหินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อนใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าเครื่องเปล่าอยู่ที่ 4 ชั่วโมง ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าคิดเป็น 15.3 % และน้อยกว่าเครื่องที่มีหินบะซอลต์ 1.9 ชั่วโมง คิดเป็น 7.3% เนื่องจากเครื่องหินพัมมิสมีค่าความจุความร้อนจำเพาะสูงกว่าหินบะซอลต์ ทำให้มีการสะสมความร้อนและมีการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าทั้งสองเครื่อง

จากผลการทดสอบทั้ง 3 แบบ และ 3 อัตราการไหล ดังแสดงในรูปที่ 2 - 4 แสดงให้เห็นว่าที่อัตราการไหลของอากาศสูงที่สุด คือ $0.0279 \text{ m}^3/\text{s}$ และใช้หินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อนจะช่วยให้การระบายความชื้นภายในห้องอบได้ดีที่สุด โดยดูได้จากการใช้เวลาในการอบแห้งที่น้อยที่สุด คือ 22.10 ชั่วโมง

5.4 ผลของประสิทธิภาพเฉลี่ยของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบ แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของตู้อบทั้ง 3 แบบ

จากรูปที่ 5 จากการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลการอบแห้งพริกที่ใช้เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของตู้อบแห้งทั้ง 3 แบบ และที่อัตราการไหล 3 ระดับ พบว่า 1. ที่อัตราการไหลของอากาศ $0.0142 \text{ m}^3/\text{s}$ ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ของเครื่องเปล่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินบะซอลต์เป็นตัวสะสมความร้อน และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อน มีประสิทธิภาพเท่ากับ 19.41%, 20.38% และ 22.04% ตามลำดับ 2. ที่อัตราการไหลของอากาศ $0.0208 \text{ m}^3/\text{s}$ ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ของเครื่องเปล่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินบะซอลต์เป็นตัวสะสมความร้อน และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อน มีประสิทธิภาพเท่ากับ 20.20%, 22.85% และ 23.66% ตามลำดับ และ 3. อัตราการไหลของอากาศ $0.0279 \text{ m}^3/\text{s}$ ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ของเครื่องเปล่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินบะซอลต์เป็นตัวสะสมความร้อน และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อน มีประสิทธิภาพเท่ากับ 25.34%, 28.00% และ 30.73% ตามลำดับ จากผลการทดสอบดังกล่าว ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดจะเกิดขึ้นที่อัตราการไหลของอากาศ $0.0279 \text{ m}^3/\text{s}$ และใช้หินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อนโดยมีประสิทธิภาพ เท่ากับ 30.73%

6. สรุปผล

จากการทดสอบอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกักเก็บความร้อน โดยความชื้นเริ่มต้นก่อนที่จะเข้าไปในเครื่องอบประมาณ 75% w.b. ทำการอบพริกจนมีความชื้นสุดท้าย 13% w.b. ที่อัตราการไหลของอากาศ 3 ระดับได้แก่ $0.0142 \text{ m}^3/\text{s}$ $0.0208 \text{ m}^3/\text{s}$ และ $0.0279 \text{ m}^3/\text{s}$ ผลจากการทดสอบ สรุปได้ว่า เครื่องอบแห้งที่เป็นเครื่องเปล่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินบะซอลต์เป็นตัวสะสมความร้อน และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินพัมมิส เป็นตัวสะสมความร้อน

จะมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่ออัตราการไหลของอากาศหรืออัตราการถ่ายเทความร้อนของอากาศสูงสุด คือ $0.0279 \text{ m}^3/\text{s}$ โดยมีประสิทธิภาพเฉลี่ย เท่ากับ 25.34%, 28.00% และ 30.73% ตามลำดับ โดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หินพัมมิสเป็นตัวสะสมความร้อน จะใช้เวลาในการอบแห้งต่ำสุด คือ 23.20 ชั่วโมง และมีประสิทธิภาพสูงสุด คือ 30.73%

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้พื้นที่สำหรับจัดทำและทดสอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] เสริม จันทร์ฉาย. (2553). แผนที่ยกยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมสำหรับประเทศไทย. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน ร่วมกับภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [2] สุทธิ นิเช็ง, ภาณุมาศ สุยบางดำ, ฤชณพงศ์ สังขวาลี, สุพัตรา เพ็งเกลี้ยง. (2562). การศึกษาผลของขนาดช่องระบายความชื้นสำหรับการอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานผสมผสาน. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 มกราคม - เมษายน 2562 : pp 158-168.
- [3] สุรัชย์ ณัฐ จันทรศรี. (2560). การศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวล. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2560 : pp 1-10.
- [4] อีรพงศ์ บริรักษ์. (2562). การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตู้อบแห้งโดยการปรับมุมเอียงคล้อยตามแสงอาทิตย์. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2562 : pp 23-32.
- [5] พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ. (2565). เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบไฮบริดแบบมีระบบแจ้งเตือน. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 มกราคม - เมษายน 2565 : pp 175-189.
- [6] ณัฐธนนันท์ กิตติธาดาธนภทร, ประทีป ตุ่มทอง. (2559). การอบแห้งไข่น้ำด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบด. วารสารวิทยาศาสตร์ คชสาร, ปีที่ 38 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2559 : pp 12-21.
- [7] สมชาติ ไสภณณฤทธิ. (2540). การอบแห้งเมล็ดธัญพืช, พิมพ์ครั้งที่ 5, คณะพลังงานและวัสดุ, สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี, 338 หน้า.
- [8] กรมทรัพยากรธรณี. (2545). รายละเอียดของหินไรโอไลต์, หินพัมมิช และหินบะซอลต์. [ออนไลน์]. ได้จาก: <https://www.dmr.go.th/> รายละเอียดของหินไรโอไลต์-หินพัมมิช-และหินบะซอลต์/.
- [9] กิตติเทพ เพ็ญขจร. (2550). การกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบความร้อนในหินถม. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

- [10] ยุธนา ศรีอุดม อนุรัตน์เทวตา สังคม สัพโส และ นิวัฒน์ ประทุมไชย. (2564). การศึกษาเชิงทดสอบการใช้น้ำสำหรับระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร. 15 (2) กรกฎาคม - ธันวาคม 2564 : pp 1-13.
- [11] E. C. Okoraigwe, M. N. Eke and H. U. Ugwu. (2013). Design and evaluation of combined solar and biomass dryer for small and medium enterprises for developing countries. International journal of physical science, vol. 8 (25) 2013: pp. 1341-1349.
- [12] A. Zomirodian and M. Zamanian. (2012). Designing and evaluating an innovative solar air collector with transpired absorber and cover. ISRN renewable energy, Volume 2012: pp. 1-5.
- [13] A. A. Hassanain. (2009). Simple solar drying system for banana fruit. World journal of agricultural sciences, vol. 5 (4) 2009: pp. 446-455.