ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน
The Hybrid Solar Dryer Cabinet

ธีรพงศ์ บริรักษ์[1] พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ[1] วรลักษณ์ เสถียรรังสฤษฎ์[2] และณรงค์ ภู่อยู่[3]
Theerapong Borirak,[1] Pongsawat Kotchapoom[1], Woralak Sathienrungsarit[1] and Narong Pooyoo[2]
[1]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
[1]School of Engineering, Eastern Asia University
[2]นักวิชาการอิสระ
[2]Independent Scholar
[3]กองพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
[3]Division of Energy Human Resource Development,
Department of Alternative Energy Development and Efficiency
Received: January 25, 2021
Revised: February 24, 2021
Accepted: March 3, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถนอมอาหารด้วยวิธีการตากแห้งโดยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีข้อจำกัดในการผลิตจากการอาศัยการแผ่รังสีความร้อนแต่เพียงอย่างเดียว ทำให้บางฤดูกาลการตากแห้งผลิตภัณฑ์ไม่สามารถทำได้เช่น ฤดูฝน หรือในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทำให้แสงอาทิตย์ส่องไม่ถึง จากการศึกษากระบวนการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบตั้งอยู่กับที่โดยใช้ตู้กระจกขนาด กว้าง 45 cm ความยาว 108 cm และ ความสูง 38.5 cm กระจกเอียงทำมุม 45° ใช้กล้วยน้ำว้า เป็นผลิตภัณฑ์ในการทดสอบทำการติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกตู้อบแห้ง ทำการทดสอบในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส ใช้ระยะเวลาในการตากแห้ง 8 ชั่วโมงต่อวันทำการทดสอบตั้งแต่เวลา 9.00–17.00 น.จากการทดสอบใช้ระยะเวลารวม 24 ชั่วโมง ต่อการอบ 1 ครั้ง สามารถอบได้ครั้งละ 144 ลูก น้ำหนักเริ่มต้นจากผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเฉลี่ย 46.93 g น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย 23.41 g ความชื้นมาตรฐานเปียกสุดท้ายในผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 29.6% wb อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้มีค่าเท่ากับ 48.47 °C จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นได้นำมาออกแบบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ด้วยวิธีการใช้ลมร้อนจากฮีตเตอร์แบบครีบ ขนาดกำลังไฟฟ้า 1800 วัตต์ ร่วมกับการใช้ตู้ตากแห้งแบบตั้งอยู่กับที่ ซึ่งทำงานโดยการใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิ จากการทดสอบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ในวันที่ฝนตกและมีเมฆปกคลุม ใช้เวลารวม 24 ชั่วโมงน้ำหนักเริ่มต้นจากผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเฉลี่ยที่ 49.64 g น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย 22.89 g ความชื้นมาตรฐานเปียกสุดท้ายในผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 28.0% wb อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้มีค่าเท่ากับ 51.86°C เมื่อเปรียบเทียบจากสีและน้ำหนักสุดท้ายของผลิตภัณฑ์มีค่าใกล้เคียงกัน

และในการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่เกิดความสูญเสียระหว่างการผลิต ขนาดของตู้อบเหมาะสำหรับใช้ในการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรในครัวเรือนหรือการแปรรูปผลิตภัณฑ์สำหรับชุมชน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานนี้มีคุณภาพและความสะอาดถูกสุขลักษณะ

คำสำคัญ: ตู้อบแห้งแบบผสมผสาน ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นมาตรฐานเปียก

Abstract

The objectives of this research are to increase the efficiency of food preservation from solar energy. The solar dryer for food has limited in the production process from heat radiation some seasons product drying is not possible, such as the rainy season or when the sky is covered with clouds, causing the sunlight to not reach. This paper concern with the study of thermal efficiency of the bananas dryer by the solar drying cabinet size 45 cm x 108 cm x 38.5 cm. and 45° of the mirror angle installation thermometer and humidity meter inside and outside of solar dryer cabinet. Fermented 144 pieces of bananas were a product for drying. It was found from the experiment that, in the duration of 9.00 a.m.–5.00 p.m. on a clear sky day, and all–day average temperature inside the chamber was 46.93°C. The experiment was started from a sample product with an average of 46.93 g, an average final weight of 23.41 g and initial moisture content of bananas were dried a final moisture content equaled 29.6% wet basis. For these data to design the hybrid solar dryer cabinet by using solar energy and hot air from a fin heater electric power 1800 watts with PID controller system. On a rainy and cloudy day the experiment was started from sample product an average of 49.64 g, an average final weight of 22.89 g, and the initial moisture content of bananas was dried a final moisture content equaled 28.0 %wet basis all – day the average temperature inside the chamber was 51.86°C. When comparing the color and final weight of the product are similar, and in the test the product has no loss during production. The size of the hybrid solar dryer cabinet is suitable for use in household agricultural products processing or community product processing. The products obtained by drying with this integrated solar dryer are of high quality and hygienic hygiene.

Keyword: hybrid dryer cabinet, relative humidity, wet basis

บทนำ

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อนรูปแบบหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพไม่เสียค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงในระหว่างการใช้งานไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ต้องทำการตากแห้งภายในพื้นที่ปิดจะช่วยลดปัญหาการปนเปื้อนจากฝุ่นละออง การรบกวนจากแมลง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น และยังช่วยลดระยะเวลาในการตากแห้งได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยในการประหยัดสำหรับการอบแห้งที่ใช้พลังงานไฟฟ้า น้ำมันหรือแก๊สธรรมชาติได้ จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า Kurmharn and Saen Rang (2014) ได้ทำการออกแบบและสร้าง เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลม เพื่อใช้อบแห้งพริก เครื่องอบแห้ง

นี้ ประกอบส่วนแผงรับรังสีดวงอาทิตย์และส่วนอบแห้งผลิตภัณฑ์ ขนาด 1.8 m x 2.4 m x 1 m สำหรับระบบระบายอากาศจะใช้พัดลมระบายอากาศขนาด 38 W 1 ตัว เพื่อให้มีการถ่ายเทภายอากาศในเครื่องอบ ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนทั้งจากรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบโดยตรงและจากแผงรับรังสีมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งเร็วขึ้นจากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง ใช้พริก จำนวน 30 kg จากผลการทดลองพบว่า เครื่องอบแห้งดังกล่าวสามารถอบแห้งพริกที่ความชื้น 72.95%$_{wb}$ และความชื้นสุดท้ายที่ 8.4 %$_{wb}$ ภายใน 43 ชั่วโมง หรือประมาณ 3 วันครึ่ง โดยอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งแปรค่าระหว่าง 29.50-72.09 °C ซึ่งเร็วกว่าการตากแดดตามธรรมชาติ และพริกที่ได้มี คุณภาพดี ซึ่งการตากแห้งโดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวจะพบข้อจำกัดในการผลิตเมื่อถึงฤดูกาลที่มีความเข้มของแสงอาทิตย์และระยะเวลาในการตากแห้งน้อย เช่น ฤดูฝนและฤดูหนาว หรือในช่วงท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม ดังตัวอย่างงานวิจัยโดย Yotwinyuwong (2017) ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบมินิกรีนเฮาส์เพื่อชุมชน คุณสมบัติทางกายภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถป้องกันแมลงและฝุ่นละอองได้ สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกเนื่องจากมีล้อและในกรณีฝนตกสามารถป้องกันน้ำได้เมื่อเทียบกับการตากกลางแจ้ง จากการหาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งสูงสุดเฉลี่ย 61.5°C ในขณะที่อุณหภูมิแวดล้อมสูงสุดเฉลี่ยที่ 45.5°C และแตกต่างกว่าอุณหภูมิภายนอกอย่างเห็นได้ชัด อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 61.5°C ทั้งนี้ ค่าความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงวันเวลาที่เก็บข้อมูลมีลักษณะไม่สม่ำเสมอ ตั้งแต่เริ่มเก็บข้อมูลค่าความร้อนค่อย ๆ สูงขึ้นเรื่อย ๆ หลังจากนั้นท้องฟ้ามีเมฆและหมอกเข้ามา บดบังทำให้ค่าพลังงานที่ได้รับลดลง ประกอบอากาศ ณ บริเวณนั้นมีลมแรง

การพัฒนากรรมวิธีการตากแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีหลากหลายวิธีการ เช่น Borirak (2018) ได้ทำการออกแบบวิธีการอบแห้งโดยให้ตู้อบแห้งคล้อยตามแสงอาทิตย์ ด้วยวิธีการให้แผงรับความร้อนสามารถเคลื่อนที่คล้อยตามดวงอาทิตย์ด้วยกลไกการหมุนส่งกำลังจากแม่แรงสะพานซึ่งขับเคลื่อนจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง การเคลื่อนที่ของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์จะปรับให้คล้อยตามดวงอาทิตย์ ครั้งละ 7.5° ต่อชั่วโมง จากการทดลองตู้อบแห้งแบบคล้อยตามแสงอาทิตย์ใช้เวลารวม 20.5 ชั่วโมงน้ำหนักเริ่มต้นจากผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเฉลี่ยที่ 43.15 g น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย 21.2 g ความชื้นมาตรฐานเปียกในผลิตภัณฑ์ลดลงเหลือ 24.8% อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้มีค่าเท่ากับ 52°C สามารถร่นระยะเวลาในการอบกล้วยน้ำว้าได้ 3.5 ชั่วโมง ต่อการอบแห้ง 1 ครั้ง แต่การพัฒนาเครื่องตากแห้งดังกล่าวพบว่าเมื่อท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมหรือในวันที่ฝนตกเครื่องตากแห้งไม่สามารถสร้างอุณหภูมิภายในตู้ได้ตามต้องการ

การตากแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีการพัฒนาโดยใช้พลังงานร่วมกับพลังงานอื่น ๆ เช่น Yaibok, Phethuayluk, WeawSak, Mani and Buaphet (2010) ได้ศึกษาการอบแห้งปลาด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้า เพื่อต้องการพัฒนากระบวนการผลิตปลาแห้งอนามัยภายใต้สภาพภูมิอากาศทางภาคใต้ของประเทศไทย โดยออกแบบเครื่องอบแห้ง ที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์พลังงานหลักและพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเสริม ประกอบด้วยตู้อบชนิดโปร่งแสง แผงรับรังสีอาทิตย์มีขนาด 4.08 m^2 ขดลวดไฟฟ้าสำหรับทำความร้อนขนาด 800 W จำนวน 2 ชุด มีความจุของปลาที่ใช้อบ ได้ 50 kg จากการทดลองอบแห้งปลา 2 ชนิด คือ ปลาช่อนและปลาดุกโดยให้อุณหภูมิในห้องอบแห้ง 40°C, 50°C และ 60 °C พบว่า การอบแห้งปลาช่อนแบบใช้พลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 60 °C มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งน้อยสุดเท่ากับ 42.57 MJ/kgH_2O_{evap} และมีประสิทธิภาพในการอบแห้ง 5.54% ใช้ระยะเวลาใน การอบแห้ง 6 ชั่วโมง ส่วนการอบแห้งปลาดุกด้วยพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 50 °C มีการ สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งน้อยที่สุดคือเท่ากับ 80.02 MJ/kgH_2O_{evap} และมีประสิทธิภาพในการอบแห้ง 2.98% และใช้ระยะเวลาการอบแห้ง 8 ชั่วโมง

Chuewungkham and Phothikanit (2016) ได้สร้างตู้อบแห้งด้วยความร้อนร่วมแสงอาทิตย์และแก๊สชีวภาพ โดยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกความจุขนาด 12 m^2 มีท่อลมร้อนจากพลังงานแก๊สชีวภาพเข้าสู่ตู้อบแห้ง โดยพาความร้อนด้วยพัดลมระบายอากาศ

กระแสตรง และอีกส่วนคือบ่อหมักแก๊สชีวภาพจากมูลสัตว์ ความจุประมาณ 8 m^3 ซึ่งใช้เป็นพลังงานทดแทนในการอบแห้งต่อเนื่องหลังจากสิ้นแสงอาทิตย์ โดยออกแบบให้สามารถอบกล้วยน้ำว้าสุกได้ครั้งละ 12 kg ให้มีความชื้นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 25%$_{wb}$ ผลการวิจัย พบว่า อบกล้วยน้ำว้าสุกน้ำหนัก 12.12 kg ค่าความชื้น 62.5%$_{wb}$ ด้วยตู้อบแห้งใช้ ความร้อนจากแสงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 08:00 น. ถึง 16:00 น. ในช่วงวันที่สภาพอากาศปลอดโปร่งทั้งวัน สามารถเพิ่มอุณหภูมิภายในได้ 25-35 ^{0}C โดยมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 64 ^{0}C และใช้ลมร้อนจากแก๊สชีวภาพตั้งแต่เวลา 16:01 น. ถึง 20:00 น. ซึ่งใช้ปริมาณแก๊สชีวภาพเฉลี่ย 1,085 kg เป็นเวลา 3 วัน กล้วยที่ผ่านการอบแห้งมีน้ำหนักคงเหลือเฉลี่ยเท่ากับ 4.79 kg มีค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 24.72%$_{wb}$ อัตราการระเหยของน้ำเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.203 kg/m^2/day ผลการวิเคราะห์ เชิงเศรษฐศาสตร์ของตู้อบแห้งด้วยความร้อนร่วมแสงอาทิตย์และแก๊สชีวภาพ โดยเปรียบเทียบจากรายจ่ายต่อปีกับกำลังการผลิต 4.79 kg ต่อครั้ง สามารถผลิตได้ 80 ครั้งต่อปี ราคากล้วยอบแห้งที่ขายตามท้องตลาด 100 บาทต่อกิโลกรัม ระยะเวลาในการคืนทุนของตู้อบแห้งด้วยความร้อนร่วมแสงอาทิตย์และแก๊สชีวภาพเท่ากับ 2.52 ปี

นอกจากนี้มีการศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสง อาทิตยร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวล โดย Narrat Jansri (2017) มีส่วนประกอบได้แก่ ตู้อบแห้ง แผงรับรังสี ดวงอาทิตย์และชุดแลกเปลี่ยนความร้อนจากเตาชีวมวลในระดับครัวเรือน สามารถรักษาอุณหภูมิของลมร้อนที่ผลิตได้จากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยที่ความเร็วลม 7.63 m/s สามารถทำให้อุณหภูมิของตู้อบแห้งสูงกว่า 50°C ภายใน 2 ชั่วโมงเมื่อใช้ความร้อนที่ได้ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนจากเตาชีวมวลในระดับครัวเรือน เมื่อทดสอบอบพริกจำนวน 2 kg เป็นเวลา 15 ชั่วโมง พบว่า พริกที่ผ่านการอบแห้ง ด้วยเครื่องอบแห้งมีความชื้นต่ำกว่ามาตรฐานพริกแห้งประมาณร้อยละ 57.90

Klabprasitti,Supawantanakul,Sittisaung and Sangsirimongkolying (2020) ทำการออกแบบและทดสอบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการจัดการเทคโนโลยีการผลิตปลาช่อนแดดเดียวมีหลักการทำงานโดยใช้อากาศจากภายนอกไหลผ่านท่ออุ่นอากาศเพื่อเพิ่มอุณหภูมิก่อนผ่านเข้าไปภายในห้องสะสมความร้อน และถูกดูดผ่านออกมาทางท่ออากาศร้อนและไหลผ่านไปยังห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์ ทางช่องจ่ายอากาศ โดยมีชุดบังคับอากาศร้อนที่อาศัยแรงลมจากพัดลมพาความร้อนไปยังชั้นวางผลิตภัณฑ์โดยใช้พลังงานไฟฟ้าโดยตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศร้อน ภายในตู้อบอัตราการหมุนของพัดลมไฟฟ้าขึ้นกับความเข้มรังสีอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิเกิดสภาวะการอบแห้งแบบต่อเนื่องนั่นคือ อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกเสมอถึงแม้ว่า แสงอาทิตย์จะถูกบดบัง ซึ่งสามารถจ่ายลมร้อนสู่ห้องอบแห้งปลาช่อนสดในช่วงอุณหภูมิ 40-55 ^{0}C ทำให้ปลาช่อนหลังการอบแห้งเป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีปริมาณความชื้นลดลงเฉลี่ยร้อยละ 27 (wb)

นอกจากนี้การผลิตอาหารตากแห้งยังมีการผลิตด้วยกรรมวิธีการใช้ตู้อบแห้งเป็นอุปกรณ์ในการให้ความร้อนอีกด้วยตัวอย่างเช่น Tasara, Tirawanichakul and Tirawanichakul (2014) ได้ศึกษาแนวทางการอบแห้งปลาข้าวสารแทนการทอดด้วยน้ำมันเพื่อใช้เป็นอาหารสุขภาพโดย ใช้ตู้อบแห้งแบบถาดที่ใช้ลมร้อนและรังสีอินฟราเรดเป็นแหล่งพลังงานความร้อน และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเอมพิริคัล ทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งปลาข้าวสาร คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล และพลังงานกระตุ้นในการอบแห้ง ในการทดลองนี้ และได้ทำการศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิอบแห้งระหว่าง 50-70°C และความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่ 500-1,000 W ที่มีต่อการลดความชื้นของปลาข้าวสาร โดยความเร็วของลมร้อนที่เลือกใช้มีค่าเฉลี่ย 1.0±0.2 m/s ความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายของปลาข้าวสารแห้งอยู่ในช่วงร้อยละ 150-155 มาตรฐานแห้ง และร้อยละ 15.0±2.0 มาตรฐานแห้ง ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า อัตราการอบแห้งจะแปรผันกับอุณหภูมิอบแห้งและกำลังของรังสีอินฟราเรด

Na Pathanibul and Arpornwichanop (2014) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งปลากุเลาด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานไฟฟ้า เพื่อต้องการทำกระบวนการผลิต ปลากุเลาแห้งอนามัย การออกแบบเครื่องอบแห้งประกอบด้วยตู้อบชนิดทึบ ใช้หลอดอินฟราเรดสำหรับให้ความร้อนขนาด

500 W จำนวน 4 หลอด ทำการทดลองอบแห้งโดยควบคุมอุณหภูมิแบบพีไอดี ในตู้อบที่ 50 ^{0}C, 60 ^{0}C และ 70 ^{0}C พบว่า การอบแห้งปลากุเลาแบบควบคุมอุณหภูมิที่ 70 ^{0}C มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำ เพาะในการอบน้อยที่สุดเท่ากับ 300 MJ/kgH_2 O_{evap} โดยที่ยังคงได้ค่าความชื้นมาตรฐานแห้งทั่วไปประมาณ 20–30%$_{db}$ และมีประสิทธิภาพในการอบแห้ง 1.2% โดยใช้ระยะเวลา ในการอบแห้ง 4 ชั่วโมง ทั้งนี้ยังคงได้คุณภาพปลากุเลาอบแห้งที่เนื้อและสีของปลาใกล้เคียงกับที่มีวางจำหน่ายตามท้องตลาด

จากปัญหาในการถนอมอาหารด้วยกรรมวิธีการตากแห้งด้วยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ตามธรรมชาติ Kurmharn and Saen Rang (2014); Yotwinyuwong (2017); Borirak (2018) และจากผลของการศึกษาการอบแห้งด้วยการใช้พลังงานไฟฟ้าจากฮีตเตอร์โดยการควบคุมอุณหภูมิ Tasara, Tirawanichakul and Tirawanichakul (2014); Na Pibul (2015) จึงมีแนวคิดในการที่จะพัฒนาตู้อบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน โดยใช้กับแผงรับความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมการเป่าลมร้อนจากห้องสร้างอุณหภูมิเป็นแหล่งความร้อนเสริมในกรณีที่พลังงานแสงอาทิตย์สร้างอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งได้ไม่เพียงพอทำให้ได้อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งมีความสม่ำเสมอ รวมทั้งติดตั้งพัดลมระบายอากาศโดยงานวิจัยนี้มีข้อแตกต่างในส่วนของการให้พัดลมระบายอากาศทำงานต่อเนื่อง และใช้การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ตากแห้งเพื่อช่วยให้สภาวะในการอบแห้งเป็นไปได้ดี Klabprasitti, Supawantanakul, Sittisaung and Sangsirimongkolying (2020) ซึ่งจะสามารถแก้ไขปัญหาการตากแห้งผลิตภัณฑ์ในกรณีที่ท้องฟ้ามีเมฆบดบัง หรือการผลิตในช่วงฤดูฝนลดปัญหาการสูญเสียและผลิตภัณฑ์มีความชื้นไม่ได้มาตรฐานได้เป็นอย่างดี

เทคโนโลยีการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

วิธีการถนอมอาหารอบแห้งด้วยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในปัจจุบันสามารถแบ่งได้ ดังนี้

1. การตากแห้งโดยตรงโดยใช้แสงอาทิตย์

การตากแห้งโดยตรงโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นวิธีการถนอมอาหารแบบพื้นฐานที่มีการใช้มานาน โดยการนำอาหารมาทำการตากแห้งโดยตรงซึ่งมีการสูญเสียผลผลิตเกิดการรบกวนจากสัตว์และแมลง เช่น หนู นก แมลงวัน และจุลินทรีย์ นอกจากนี้ปัจจัยจาก ธรรมชาติอาจทำให้ผลผลิตไม่ได้คุณภาพ เช่น พายุฝนหรือหมอก ทำให้เกิดความชื้น การอบแห้งด้วยวิธีการนี้มีการปนเปื้อนด้วยสิ่งแปลกปลอม เช่น ฝุ่นละออง สิ่งสกปรก แมลง และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กจากปัจจัยดังกล่าวข้างต้นเป็นตัวแปรที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพสากล

ภาพ 1 การตากแห้งโดยตรงโดยใช้แสงอาทิตย์

Note. From “Drying Technology”, by A. Pathanibul and A. Arpornwichanop, 2014, *Technology Promotion, 41*(234), p. 65. Copyright 2002 by Technology Promotion Association (Thailand-Japan)

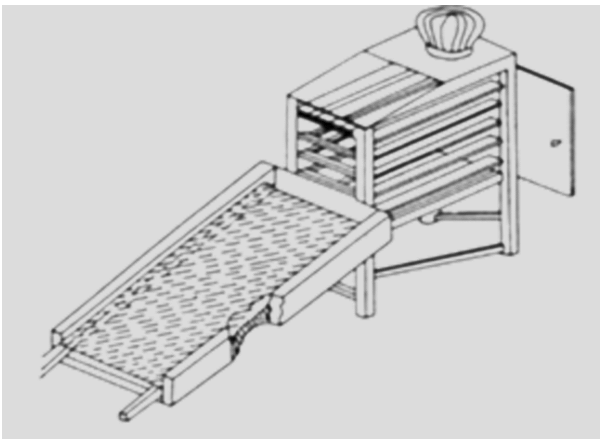
2. การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบรับรังสีอาทิตย์โดยตรงและโดยอ้อม

วัตถุประสงค์ของการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มความร้อนและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งให้แห้งเร็วขึ้นและสะอาดปลอดภัยจากหนู นก และแมลงวัน ส่วนประกอบหลักที่สำคัญมี 2 ส่วน ได้แก่ ตัวตู้อบ และตัวรับรังสีอาทิตย์ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งเป็น 2 ชนิดหลัก ได้แก่ แบบรับรังสีอาทิตย์โดยตรง และแบบรับรังสีโดยอ้อม

2.1 แบบรับรังสีโดยตรง มีหลักการทำงาน คือ รังสีอาทิตย์จะส่งผ่านวัสดุโปร่งแสงซึ่งทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความร้อน อาจออกแบบโดยใช้หลักการพาความร้อนตามธรรมชาติหรือออกแบบโดยใช้การพาความร้อนแบบบังคับซึ่งใช้การติดตั้งพัดลมเพื่อช่วยดูดอากาศร้อนให้ไหลผ่านผลิตภัณฑ์เพื่อให้แห้งเร็วขึ้น

ภาพ 2 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบรับรังสีอาทิตย์โดยตรง

2.2 เครื่องอบแห้งแบบรับรังสีอาทิตย์โดยอ้อม ออกแบบให้มีชุดแผงรับรังสีอาทิตย์เพื่อเพิ่มความเข้มรังสีอาทิตย์ ทำให้อากาศที่อยู่ระหว่างผลิตภัณฑ์และตัวรับรังสีร้อนขึ้นจึงสามารถลดความชื้นออกได้เร็วขึ้น ผลิตภัณฑ์จะไม่ถูกแสงอาทิตย์โดยตรง อาจออกแบบโดยใช้หลักการพาความร้อนตามธรรมชาติหรือออกแบบโดยใช้หลักการพาความร้อนแบบบังคับซึ่งติดตั้งพัดลมเพื่อช่วยดูดอากาศร้อนให้ไหลผ่านผลิตภัณฑ์เพื่อให้แห้งเร็วขึ้น



ภาพ 3 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบรับรังสีอาทิตย์อ้อม

Note. From “Natural Convection and Forced Convection Solar Dryers,” by A. Taikhao and S. Teekasap, 2013, *EAU Heritage Journal Science and Technology, 7*(1), p.27. Copyright 2013 by Eastern Asia University

3. หลักการวัดความชื้นในผลิตภัณฑ์

การวัดความชื้นในผลิตภัณฑ์แสดงได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

3.1 ความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basis) คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ชื้น โดยมีสมการ ดังนี้

$$M_W = \left[\frac{w-d}{w} \right] \times 100 \qquad (1)$$

3.2 ความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basis) คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์แห้งโดยมีสมการ ดังนี้

$$M_d = \left[\frac{w-d}{d} \right] \times 100 \qquad (2)$$

เมื่อ M_W คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก ($\%_{wb}$)

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง ($\%_{db}$)

w คือ น้ำหนักเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ (kg)

d คือ น้ำหนักผลิตภัณฑ์แห้ง (kg)

โดยทั่วไปการอบแห้งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงอัตราการอบแห้ง ซึ่งปริมาณความชื้นภายในวัสดุมีค่าสูงกว่าความชื้นวิกฤตที่ผิวของวัสดุมีน้ำอยู่จำนวนมาก เมื่อความร้อนจากอากาศถ่ายเทไปยังวัสดุการถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุ ในช่วงนี้อุณหภูมิผิวของวัสดุอบแห้งและอัตราการอบแห้งจะมีค่าคงที่ และช่วงอัตราการอบแห้งลดลงซึ่งปริมาณความชื้นภายในวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤตเมื่อความร้อนจากอากาศถ่ายเทไปยังวัสดุ น้ำจะเคลื่อนที่จากภายในเนื้อวัสดุมาที่ผิวของวัสดุในลักษณะของเหลวหรือไอน้ำและน้ำที่ผิวของวัสดุในลักษณะของเหลวหรือไอน้ำและน้ำที่ผิวจึงจะระเหยไปกับอากาศ

ดังนั้นวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้งจึงต้องเพิ่มช่วงระยะเวลาในการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังมวลของวัสดุซึ่งจะทำให้สามารถเกิดการคายน้ำออกมาจากผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น

4. ความจุความร้อนจำเพาะ (specific heat capacity)

คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้สารมวล 1 หน่วย มีอุณหภูมิสูงขึ้น 10C

$$C = \frac{Q}{m\triangle t} \quad (3)$$

$$Q = mc\triangle t \quad (4)$$

เมื่อ m คือ มวลของสารมีหน่วยเป็น กรัม (g) หรือ กิโลกรัม (kg)

Q คือ ปริมาณความร้อนที่สสารได้รับหรือคายออกไป มีหน่วยเป็นแคลอรี (cal) หรือจูล (J)

$\triangle t$ คือ อุณหภูมิ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (^{0}C) หรือ เคลวิน (K)

5. ความร้อนแฝง (latent heat)

คือ ความร้อนที่ได้รับหรือคายออก ในการเปลี่ยนสถานะเท่านั้น

$$L = \frac{Q}{m} \quad (5)$$

$$Q = mL \quad (6)$$

เมื่อ m คือ มวลของสารมีหน่วยเป็น กรัม (g) หรือ กิโลกรัม (kg)

Q คือ ปริมาณความร้อนที่สสารได้รับหรือคายออกไป มีหน่วยเป็นแคลอรี (cal) หรือจูล (J)

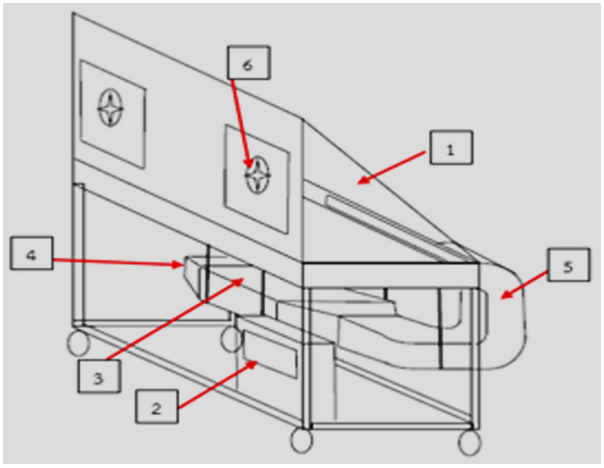
L คือ ความร้อนแฝงจำเพาะ มีหน่วยเป็น แคลอรีต่อกรัม (cal/g) หรือจูลต่อกิโลกรัม (J/kg)

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

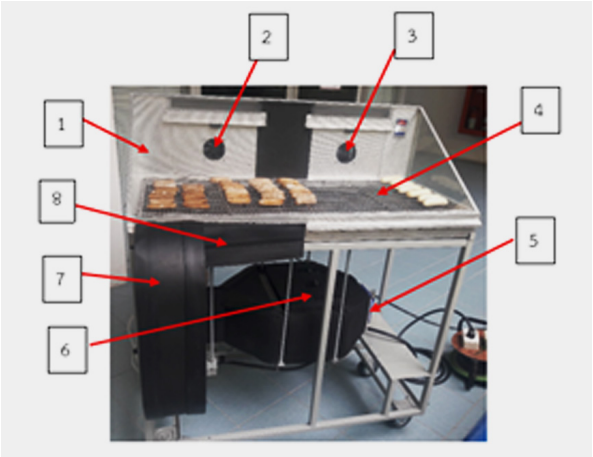
จากภาพ 4 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานภายในตู้อบแห้ง (1) ติดตั้งตัววัดอุณหภูมิให้ชุดควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งโดยการปรับตั้งอุณหภูมิจากชุดควบคุมอุณหภูมิแบบ PID (2) ซึ่งจะสั่งให้ชุดฮีตเตอร์ในห้องสร้างลมร้อน (3) ตามอุณหภูมิที่ควบคุมหากอุณหภูมิในตู้อบแห้งสูงกว่าที่ปรับตั้งระบบจะตัดการทำงาน โดยลมร้อนภายในห้องสร้างลมร้อนจะเคลื่อนที่โดยพัดลมเป่าลมร้อน (4) เพื่อจ่ายลมร้อนไปตามท่อส่งลม (5) เพื่อส่งลมร้อนเข้าไปในตู้อบแห้ง และภายในตู้อบแห้งจะมีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศ (6) เพื่อดึงความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ต่อไป



ภาพ 4 แสดงหลักการทำงานของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

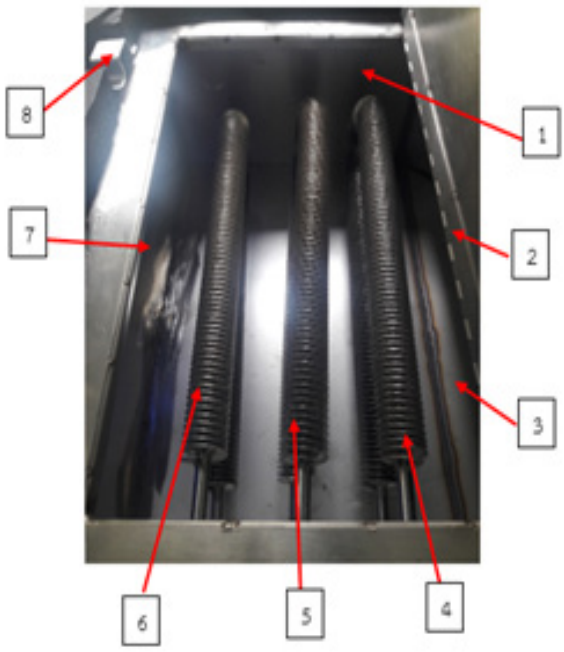
ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานทำจากอะลูมิเนียมและกระจกใส มีขนาด กว้าง 45 cm ความยาว 108 cm และ ความสูง 38.5cm และมีกระจกใสรับแสงอาทิตย์ หนา 4 mm. เอียงทำมุม 45 จากภาพ 5 แสดงส่วนประกอบของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานมีส่วนประกอบภายนอกที่สำคัญ ได้แก่

1) ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
2) พัดลมระบายความร้อนตัวที่ 1
3) พัดลมระบายความร้อนตัวที่ 2
4) ตะแกรงตากแห้ง
5) พัดลมเป่าลมร้อน
6) ห้องสร้างความร้อน
7) ท่อส่งลมร้อน
8) หัวจ่ายลมร้อน



ภาพ 5 ส่วนประกอบของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานใช้พลังงานความร้อนร่วมระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์จากตู้กระจกใสในส่วนตากแห้งด้านบนและพลังงานจากเครื่องให้ความร้อนซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ฮีตเตอร์แบบครีบจำนวน 3 ชุด ขนาดกำลังไฟฟ้ารวม 1800 W ติดตั้งในห้องสร้างลมร้อนทำจากสแตนเลสชนิด 304 บุด้วยฉนวนโฟมหนา 1 นิ้ว ดังแสดงรูปแบบการติดตั้งตู้ตากแห้งทำจากกระใสดังภาพ 5 และการสร้างห้องสร้างลมร้อนในภาพ 6



ภาพ 6 ส่วนประกอบภายในของห้องสร้างลมร้อน

จากภาพ 6 แสดงส่วนประกอบภายในของห้องสร้างลมร้อนรายละเอียดของส่วนประกอบมี ดังนี้

1) ผนังห้องสร้างลมร้อน

2) บานพับ

3) ช่องลมจ่าย

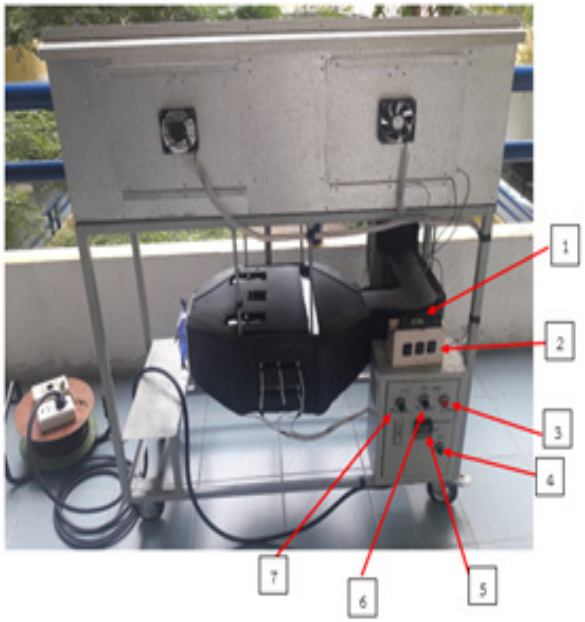
4) ฮีตเตอร์ตัวที่ 1

5) ฮีตเตอร์ตัวที่ 2

6) ฮีตเตอร์ตัวที่ 3

7) ช่องลมเป่า

8) ตัวล็อคฝาห้องสร้างลมร้อน



ภาพ 7 แสดงชุดระบบควบคุมของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

จากภาพ 7 แสดงชุดระบบควบคุมของตู้อบแห้งพลังสนแสงอาทิตย์แบบผสมผสานซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่ชุดควบคุมอุณหภูมิและชุดควบคุมระบบพัดลมส่วนประกอบที่สำคัญมี ดังนี้

1) จอแสดงอุณหภูมิในตู้

2) ชุดสวิทช์ควบคุมพัดลม

3) ไฟแสดงการทำงานของตู้

4) ไฟแสดงการทำงานของฮีตเตอร์

5) ชุดปรับตั้งอุณหภูมิ

6) สวิทช์ชุดควบคุมฮีตเตอร์

7) สวิทช์ควบคุมตู้ควบคุม

2. ชุดเครื่องมือวัดที่ใช้ในการเก็บผลการทดสอบ ในการเก็บบันทึกผลการทดสอบใช้เครื่องมือวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1. ตาชั่งดิจิตอลยี่ห้อ Zepper รุ่น EPS–302 ค่าความละเอียด 0.01 g สำหรับเก็บผลค่าน้ำหนักของกล้วยน้ำว้าก่อนและหลังจากการตากแห้ง ดังภาพ 8

ภาพ 8 ตาชั่งดิจิตอลยี่ห้อ Zepper รุ่น EPS–302

2.2 การวัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งคล้อยตามแสงอาทิตย์ใช้ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ Fluke 325 ช่วงการวัด -10.0 °C to 400.0 °C ความละเอียด 0.1 °C ค่าความผิดพลาด 1 %±8 digits ดังภาพ 9

ภาพ 9 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ fluke 325

2.3 เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ Lutron SPM1116 SD solar power meter วัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ช่วงการวัด 0.0 ถึง 2000.0 W/m² ดังภาพ 10

ภาพ 10 เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ Lutron SPM1116 SD solar power meter

2.4 เครื่องวัดความเร็วลมแบบใช้ลวดนำความร้อน Digicon DA 47 ย่านการวัดความเร็วลม 0.2-20.0 m/s และวัดอุณหภูมิ 0.0-50 °C ดังภาพ 11

ภาพ 11 เครื่องวัดความเร็วลมแบบใช้ลวดนำความร้อน Digicon DA 47

ภาพ 12 จุดติดตั้งเครื่องมือวัดทำการเก็บผลการทดสอบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

จากภาพ 12 จุดที่ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดดังนี้

1) ด้านนอกตู้อบแห้งติดตั้งเครื่องมือวัดค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์

2) ภายในตู้อบแห้งติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

3) ตู้ควบคุมอุณหภูมิติดตั้งเครื่องมือวัดค่าทางไฟฟ้า

4) ด้านหน้าห้องสร้างลมร้อนติดตั้งเครื่องมือวัดความเร็วลมและอุณหภูมิ

5) ก่อนทำการอบแห้งและหลังทำการอบแห้งเครื่องมือวัดค่าน้ำหนักผลิตภัณฑ์

3. ตัวแปรที่ทำการศึกษาและเก็บผลการทดสอบได้แก่

ตัวแปรต้น ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกตู้ ค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละวัน ค่าน้ำหนักและความชื้นในผลิตภัณฑ์ก่อนอบแห้ง

ตัวแปรตาม ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ ค่าน้ำหนักและความชื้นในผลิตภัณฑ์หลังอบแห้ง

ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ตำแหน่งการวางตู้ และความเร็วลมระบายความร้อนออกของตู้อบแห้ง

4. วิธีการทำการทดลอง

ในการทำการทดสอบได้ทำการทดสอบโดยใช้กล้วยน้ำว้าเป็นผลิตภัณฑ์ทดสอบและทำการทดสอบใน 3 กรณี ได้แก่ การตากผลิตภัณฑ์ในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ การตากผลิตภัณฑ์ในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส และการตากผลิตภัณฑ์ในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานในวันที่มีฝนตกและมีเมฆปกคลุม โดยมีวิธีการทำการทดลอง ดังนี้

1. นำกล้วยที่เตรียมมาปอกเปลือก และสุ่มชั่งน้ำหนัก 10 ลูก ก่อนเข้าตู้อบแห้ง ซึ่งจะได้น้ำหนักเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์

2. นำกล้วยเรียงใส่ตู้อบแห้ง โดยทำการบรรจุทั้งหมดจำนวน 144 ลูกต่อครั้ง

3. วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทั้งภายในและภายนอกตู้ในช่วงเวลาต่าง ๆ ตลอดทั้งวัน ตั้งแต่เวลา 9.00-17.00 น. บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทุก 30 นาที

4. ทำการพลิกกลับกล้วยจำนวน 2 ครั้งต่อวัน และชั่งน้ำหนักหลังทำการตากในแต่ละวัน

5. การหาค่าน้ำหนักผลิตภัณฑ์แห้งเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียกในผลิตภัณฑ์จะใช้เตาอบลมร้อน (hot air oven) ที่สามารถปรับและควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ ในการทดสอบนี้ตั้งค่าอุณหภูมิของเตาอบลมร้อนไว้ที่ 65±5 °C ทำการอบแห้งเป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นจะได้ค่า น้ำหนักผลิตภัณฑ์แห้ง

6. ปรับตั้งอุณหภูมิของชุดควบคุมอุณหภูมิของตู้อบแห้งไว้ที่ 50 °C โดยให้ฮีตเตอร์ตัดการทำงานที่อุณหภูมิภายในตู้เกิน 55 °C และต่อการทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในตู้ต่ำกว่า 48 °C สำหรับการทดสอบการตากผลิตภัณฑ์ในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส และการตากผลิตภัณฑ์ในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานในวันที่มีฝนตกและมีเมฆปกคลุม

7. ทำการเปิดชุดพัดลมระบายอากาศและชุดพัดลมเป่าสำหรับการทดสอบการตากผลิตภัณฑ์ในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส และการตากผลิตภัณฑ์ในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานในวันที่มีฝนตกและมีเมฆปกคลุม

8. ทำการบันทึกค่าน้ำหนักภายหลังจากการอบแห้งในแต่ละวัน

ภาพ 13 เตาอบลมร้อน (hot air oven)

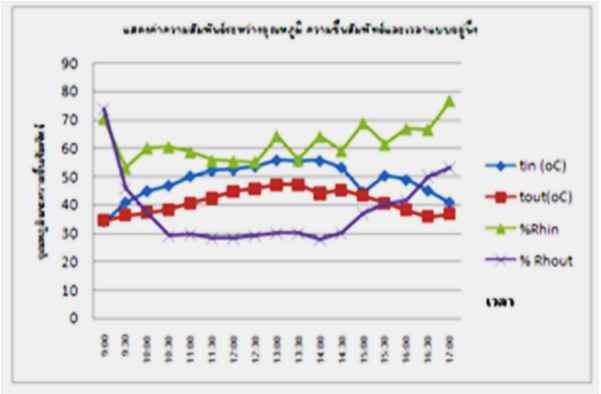
ช่วงเดือนที่ใช้ในการเก็บผลการทดสอบเป็นช่วงเดือน กันยายน–ธันวาคม ซึ่งเป็นช่วงปลายฤดูฝนต้นฤดูหนาว ระยะเวลาของแสงแดดตามธรรมชาติจะมีช่วงเวลาให้แสงแดดน้อยกว่าฤดูร้อน และในแต่ละวันการทดสอบจะใช้ผลการทดสอบต่อรอบที่มีช่วงระยะเวลาที่ท้องฟ้าแจ่มใสนำมาเปรียบเทียบกันสำหรับกรณีการทดสอบที่เปรียบเทียบกันระหว่างการตากผลิตภัณฑ์ในตู้อบแห้งแบบอยู่กับที่กับการตากผลิตภัณฑ์ในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน สำหรับการทดสอบการตากผลิตภัณฑ์ในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานในวันที่มีฝนตกและมีเมฆปกคลุมจะทำการทดสอบในช่วงระยะเวลาตากแห้งเช่นเดียวกัน

ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. การตากผลิตภัณฑ์ในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ ผลการทดลอง ดังนี้

ภาพ 14 ค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำการตรวจวัดสำหรับการทดสอบตู้อบแห้งแบบติดตั้งอยู่กับที่

จากภาพ 14 แสดงค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำการตรวจวัดสำหรับการทดสอบตู้อบแห้งแบบติดตั้งอยู่กับที่ ทำการทดสอบ 8 ชั่วโมงต่อวัน ช่วงเวลา 9.00–17.00 น. ค่าความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1200 W/m^2 ที่เวลา 13.00 น. มีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ 724.7 W/m^2



ภาพ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความชื้นและเวลาสำหรับการทดสอบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส

ภาพ 16 การทดสอบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่

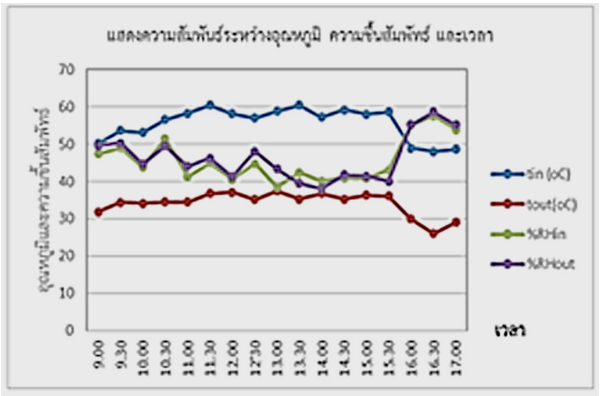
จากภาพ 15 และภาพ 16 แสดงผลการทดสอบตู้อบแห้งแบบติดตั้งอยู่กับที่ สภาพท้องฟ้าแจ่มใสในวันที่ทดสอบ อุณหภูมิเริ่มต้นของอากาศภายนอกตู้อบแห้งมีค่าเท่ากับ 34°C ค่าอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งมีค่าเริ่มต้นที่ 34.4°C เมื่อเวลาผ่านไปค่าอุณหภูมิภายนอกเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุดที่ 42°C ที่เวลา 13.00 น. อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งสูงสุดที่ 55.8°C อุณหภูมิภายนอกตู้อบแห้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40.96°C อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 48.47°C สำหรับความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบแห้งมีค่าสูงสุดที่ 68.8% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 61.83% และความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกตู้เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 37.56%น้ำหนักเริ่มต้นจากผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเฉลี่ยที่ 46.93 g น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย 23.41 g โดยค่าอุณหภูมิภายในตู้มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งผลการวิจัยสอดคล้องกับ

ผลงานวิจัยของ Hudakorn (2009) พบว่า อุณหภูมิของตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะมีค่าสูงสุดในช่วงที่มีค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดและเมื่อความเข้มของรังสีลดลงอุณหภูมิของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ก็จะลดลงตามด้วย

2. การตากผลิตภัณฑ์ในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส ผลการทดลองดังนี้

ภาพ 17 ค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำการตรวจวัดสำหรับการทดสอบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส

จากภาพ 17 แสดงผลการทดสอบการวัดค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส ทำการทดสอบ 8 ชั่วโมงต่อวัน ช่วงเวลาตั้งแต่เวลา 09.00-17.00 น. ค่าความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 972.2 W/m^2 ที่เวลา 14.00 น. มีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ 784.6 W/m^2



ภาพ 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความชื้นและเวลาสำหรับการทดสอบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส

ภาพ 19 การทดสอบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส

จากภาพ 18 แสดงผลการทดสอบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส อุณหภูมิเริ่มต้นของอากาศภายนอกตู้อบแห้งมีค่าเท่ากับ 30°C ค่าอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งมีค่าเริ่มต้นที่ 29.2°C เมื่อเวลาผ่านไปค่าอุณหภูมิภายนอกเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุดที่ 37.4°C ที่เวลา 13.00 น.อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งสูงสุดที่ 60.5°C อุณหภูมิภายนอกตู้อบแห้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 34.14°C อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 50.6°C สำหรับความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบแห้งมีค่าสูงสุดที่ 57.6% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 45.64% และความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกตู้เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 46.27% น้ำหนักเริ่มต้นจากผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเฉลี่ยที่ 49.24 g น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย 23.03 g ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 1.69 kW/day คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 6.76 บาท/วัน หรือ 20.28 บาท/รอบการผลิต

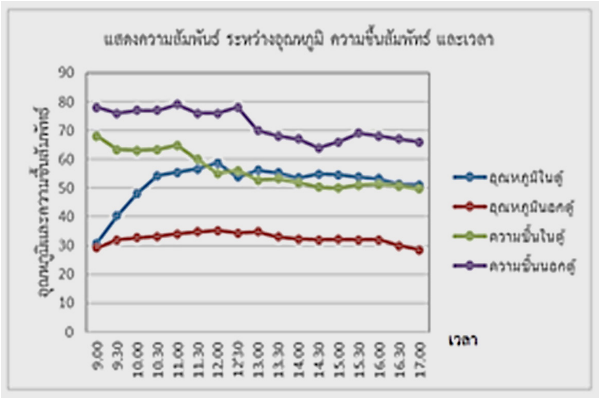
จากการเปรียบเทียบการใช้งานตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานกับการใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ในสภาพอากาศและท้องฟ้าแจ่มใสใกล้เคียงกัน พบว่า ค่าอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งสูงขึ้นเมื่อเทียบในช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ยังทำมุมกับแผงรับความร้อนไม่ถึง 90°C ทำให้การตากแห้งผลิตภัณฑ์สามารถระเหยน้ำได้ดีกว่า ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบแห้งในช่วงวันเริ่มต้นจะมีค่าสูงกว่า การอบในวันหลัง ๆ เนื่องจากปริมาณน้ำภายในผลิตภัณฑ์ยังมีปริมาณมาก ปริมาณค่า

ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกตู้มีผลกับการระเหยน้ำภายในตู้อบแห้งที่ใช้การตากแบบอยู่กับที่ กล่าวคือ หากปริมาณความชื้นภายนอกตู้มีค่าสูงการระเหยน้ำภายในตู้จะไม่สามารถระบายออกมาได้ดีเท่ากับการใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานเพราะสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งได้สม่ำเสมอ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jareanjit (2012) ปัจจัยหลักในการเพิ่มสมรรถนะการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ คือ อุณหภูมิ ความเร็ว และความชื้นของอากาศในระบบ รวมถึงการพัฒนาระบบให้มีความสม่ำเสมอ และเพิ่มระยะเวลาการอบแห้งที่ใช้ความร้อนจากรังสีอาทิตย์

3. การตากผลิตภัณฑ์ในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานในวันที่มีฝนตกและมีเมฆปกคลุม ผลการทดลอง ดังนี้

ภาพ 20 ค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำการตรวจวัดสำหรับการทดสอบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในวันที่ฝนตกและมีเมฆปกคลุม

จากภาพ 20 แสดงผลการทดสอบการวัดค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการตู้อบแห้งแบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน วันที่ฝนตกและมีเมฆปกคลุม ทำการทดสอบ 8 ชั่วโมงต่อวันช่วงเวลา 9.00–17.00 น. ค่าความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 690 W/m^2 ที่เวลา 12.30 น. มีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ 439.4 W/m^2



ภาพ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความชื้นและเวลาสำหรับการทดสอบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานในวันที่ฝนตกและมีเมฆปกคลุม

ภาพ 22 การทดสอบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานในวันที่ฝนตกและมีเมฆปกคลุม (ทำการตากภายในอาคาร)

จากภาพ 21 แสดงผลการทดสอบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานในวันที่ฝนตกและมีเมฆปกคลุม อุณหภูมิเริ่มต้นของอากาศภายนอกตู้อบแห้งมีค่าเท่ากับ 29.2°C ค่าอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งมีค่าเริ่มต้นที่ 30.2°C เมื่อเวลาผ่านไปค่าอุณหภูมิภายนอกเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุดที่ 35.2°C ที่เวลา 12.00 น.อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งสูงสุดที่ 58.7°C อุณหภูมิภายนอกตู้อบแห้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.4°C อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 51.86°C สำหรับ

ความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบแห้งมีค่าสูงสุดที่ 68% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 56.16% และความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกตู้เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 71.8% น้ำหนักเริ่มต้นจากผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเฉลี่ยที่ 49.64 g น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย 28.29 g ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 2.09 kW/day คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 8.38 บาท/วัน หรือ 25.14 บาท/รอบการผลิต

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาสมรรถนะของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน โดยใช้กล้วยน้ำว้าในการอบแห้ง ช่วงเดือนที่ทำการทดสอบ คือ กันยายน–ธันวาคม ได้ข้อมูลโดยสรุปผลการทดสอบดังตาราง 1

ตาราง 1

สรุปผลการทดสอบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

ลำดับที่	รูปแบบการตากแห้ง	ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบ						
		ค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์	อุณหภูมิภายนอก	อุณหภูมิภายใน	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกตู้	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้	น้ำหนักเริ่มต้น	น้ำหนักสุดท้าย
		(W/m^2)	(°C)	(°C)	(%Rh)	(%Rh)	(kg)	(kg)
1	แบบอยู่กับที่	724.7	40.96	48.47	37.56	61.83	46.93	23.41
2	แบบผสมผสานในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส	784.6	34.14	50.6	46.27	45.64	49.24	23.03
3	แบบผสมผสานในวันที่ฝนตกและมีเมฆปกคลุม	439.4	32.4	51.86	56.16	71.8	49.64	28.29

เมื่อพิจารณาจากค่าน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในแต่ละกรณีพบว่า ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่น้ำหนักเริ่มต้นจากผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเฉลี่ย 46.93 g น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย 23.41 g ความชื้นมาตรฐานเปียกสุดท้ายในผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 29.6%$_{wb}$ ตัวอย่างผลผลิตที่ได้ดังแสดงในภาพ 23 ในการทดสอบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสน้ำหนักเริ่มต้นจากผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเฉลี่ยที่ 49.24 g น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย 23.03 g ความชื้นมาตรฐานเปียกสุดท้ายในผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 28.40%$_{wb}$ ตัวอย่างผลผลิตที่ได้ดังแสดงในภาพ 24 สำหรับการทดสอบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ในวันที่ฝนตกและมีเมฆปกคลุมได้ทำการตากภายในอาคารน้ำหนักเริ่มต้นจากผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเฉลี่ยที่ 49.64 g น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย 22.89 g ความชื้นมาตรฐานเปียกสุดท้ายในผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 28.0%$_{wb}$ ตัวอย่างผลผลิตที่ได้ดังแสดงในภาพ 25 เมื่อเปรียบเทียบจากสีและน้ำหนักสุดท้ายของผลิตภัณฑ์มีค่าใกล้เคียงกันและในการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่เกิดความสูญเสียระหว่างการผลิต ขนาดของตู้อบเหมาะสำหรับใช้ในการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรในครัวเรือนหรือการแปรรูปผลิตภัณฑ์สำหรับชุมชน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานนี้มีคุณภาพและความสะอาดถูกสุขลักษณะ

ภาพ 23 แสดงผลิตภัณฑ์กล้วยน้ำว้าอบแห้งโดยใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่

ภาพ 24 แสดงผลิตภัณฑ์กล้วยน้ำว้าอบแห้งโดยใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานทดสอบในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส

ภาพ 25 แสดงผลิตภัณฑ์กล้วยน้ำว้าอบแห้งโดยใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานทดสอบในวันที่ฝนตกและมีเมฆปกคลุม

จากภาพ 26 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานนี้ได้นำไปทดลองใช้ที่สวนฟุ้งขจร วิสาหกิจชุมชนเกษตรอินทรีย์ ตำบลบึงกาสาม อำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี ในช่วงฤดูฝน ใช้เวลาในการผลิตกล้วยน้ำว้าอบแห้งได้ครั้งละ 3 วัน วันละ 8 ชั่วโมง ได้ผลผลิตเฉลี่ย 3 kg ต่อรอบการผลิต

ภาพ 26 การนำตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานไปทดลองใช้งาน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชียที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยซึ่งทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

References

Borirak, T. (2018). Thermal efficiency enhancement of solar dryer using sun tracking system. *SWU Engineering Journal, 14*(1), 23-32. (in Thai)

Chuewungkham, S., & Phothikanit, U. (2016). *Tunnel driey by a combination of solar and biogas* (Research report). Sakon Nakhon: Sakon Nakhon Rajabhat University. (in Thai)

Hudakorn, T. (2009). A study on performance of a v-groove flat plate solar collector for a solar dryer. *The 23th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand* (pp. 1-8). Chiang Mai: Thai Society of Mechanical Engineers. (in Thai)

Jareanjit, J. (2012). A solar dryer technology and Its development. *KKU Research Journal, 17*(1), 110-124. (in Thai)

Klabprasitti, A., Supawantanakul, D., Sittisaung, P., & Sangsirimongkolying, R. (2020). Construction of solar cabinet dryer for technology management of processed snakehead fish production. *Princess of Naradhiwas University Journal, 12*(2), 82-96. (in Thai)

Kurmharn, W., & Saen Rang, D. (2014). *Study and development of a solar tunnel dryer for chili in Nangam Sub-district, Renunakhon District, Nakhon Phanom Province* (Research report). Sakon Nakhon: Sakon Nakhon Rajabhat University. (in Thai)

Na Pibul, S. (2015). The Gulao Fish drying process using an electrical energy dryer with PID temperature control. *Princess of Naradhiwas University Journal, 7*(2), 1-10. (in Thai)

Narrat Jansri, S. (2017). A study on performance of a solar biomass hybrid dryer for agricultural product. *SWU Engineering Journal, 12*(1), 1-10. (in Thai)

Pathanibul, A., & Arpornwichanop, A. (2014). Drying technology. *Technology Promotion, 41*(234), 64–67. (in Thai)

Yaibok, T., Phethuayluk, S., WeawSak, J., Mani, M., & Buaphet, P. (2010). Development the fish drying process with a solar-electrical combined energy dryer under the Southern of Thailand Climate. *Thaksin University Journal, 12*(3), 109-118. (in Thai)

Yotwinyuwong, S. (2017). Mini greenhouse solar dryer for the community. *The 4th Kamphaeng Phet Rajabhat University National Conference: Innovative and Technology to drive Thailand 4.0* (pp. 1176-1184). Kamphaeng Phet: Kamphaeng Phet Rajabhat University. (in Thai)

Taikhao, A., & Teekasap, S. (2013). Natural convection and forced convection solar dryers. *EAU Heritage Journal Science and Technology, 7*(1), 23-31. (in Thai)

Tasara, J., Tirawanichakul, S., & Tirawanichakul, Y. (2014). Strategic development of Crisp Tiny Anchovy using hot air and infrared drying. *Burapha Science Journal, 19*(1), 1-10. (in Thai)