

การอบแห้งฟักทองด้วยความร้อนแบบฮีตปั๊มสำหรับเกษตรกร

ธีรศาสตร์ คณาศรี^{1,*} และ บุญสิริ ปิตตาแสง²

¹ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

² คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

*ผู้ประสานงานบทความฉบับนี้: teerasad@windowslive.com โทรศัพท์: 095-6632774

(รับบทความ: 18 กันยายน 2568; แก้ไขบทความ: 21 เมษายน 2569; ตอรับบทความ: 5 พฤษภาคม 2569)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้เครื่องอบแห้งแบบฮีตปั๊มความร้อนใช้พลังงานไฟฟ้า 5.5 กิโลวัตต์ กำลังไฟฟ้าชุดคอยล์ร้อน 7.8 กิโลวัตต์ อัตราการไหลของอากาศไม่น้อยกว่า 12,800 – 23,600 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ขนาดห้องอบแห้ง 200×400×200 เซนติเมตร (กว้าง×ยาว×สูง) โครงสร้างเครื่องอบแห้ง ประกอบด้วย ห้องอบแห้ง ผลิตภัณฑ์ ถาดวางวัสดุ และระบบชุดฮีตปั๊มร่วมกับชุดลดความร้อน ช่วงการควบคุมอุณหภูมิอบแห้งสูงสุด 75 องศาเซลเซียส ทดสอบอบแห้งฟักทองแผ่นปริมาณ 300 กิโลกรัมต่อครั้ง โดยพิจารณาข้อมูลการใช้พลังงาน เวลาการอบแห้ง ความชื้น อัตราการระเหยน้ำ และตรวจสอบคุณภาพสีฟักทองแผ่นอบแห้ง ผลการทดลองพบว่า ผลการอบแห้งระบบฮีตปั๊มความร้อน สำหรับอบแห้งผลผลิตของเกษตรกร ผลการทดสอบเตรียมการอบแห้งฟักทองในปริมาณมาก เครื่องอบแห้งนี้ระบบฮีตปั๊ม จะดึงความร้อนที่คอยล์เย็นมาใช้ร่วมกับพลังงานคอมเพรสเซอร์ไปที่คอยล์ร้อน ขณะที่คอยล์เย็นดึงความร้อนก็สามารถดึงความชื้นจากตู้อบทิ้งด้วย โดยไม่ต้องมีการระบายอากาศจึงสามารถควบคุมสภาวะภายในตู้อบได้โดยไม่มีผลกระทบจากสภาพอากาศนอกตู้ การอบแห้งฟักทองแผ่นบางที่อุณหภูมิเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ลดความชื้นได้เหมาะสมกับฟักทองแผ่นบางให้ได้ตามมาตรฐานโดยใช้เวลา 6 ชั่วโมง การอบแห้งใช้พลังงานเท่ากับค่าพลังงานไฟฟ้า 85.16 กิโลวัตต์ชั่วโมง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเท่ากับ 1.51 MJ/kg_{water}

คำสำคัญ: ฟักทองอบแห้ง การอบแห้งฮีตปั๊ม พลังงานแสงอาทิตย์

การอ้างอิงบทความ: ธีรศาสตร์ คณาศรี, และ บุญสิริ ปิตตาแสง, "การอบแห้งฟักทองด้วยความร้อนแบบฮีตปั๊มสำหรับเกษตรกร," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 4, ฉบับที่ 3, หน้า 58-69, 2569.

Pumpkin Slices Using Heat Pump Dryer for Farmers

Teerasad Kanasri^{1,*} and Bunsiri Pitasang²

¹ Faculty of Liberal Arts and Science, Roi Et Rajabhat University

² Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus

*Corresponding Author: teerasad@windowslive.com, Tel: 095-6632774

(Received: September 18, 2025; Revised: April 21, 2026; Accepted: May 5, 2026)

Abstract

This research aimed to investigate the use of a heat pump drying system powered by a 5.5 kW electric compressor and a 7.8 kW heating coil. The system delivered an air flow rate of 12,800 – 23,600 m³/h within a drying chamber sized 200×400×200 cm (W×L×H). The dryer structure included a drying chamber, product trays, and a heat pump system integrated with an electric heating coil. The maximum controllable drying temperature was 75 °C. Drying experiments of 300 kg were conducted using sliced pumpkin, evaluating parameters such as energy consumption, drying time, moisture content, water evaporation rate, and color quality of the dried product. The system efficiently transferred heat from the evaporator to the condenser using compressor energy, while also removing moisture from the chamber without requiring external ventilation. This allowed for stable drying conditions independent of ambient temperature drying at 60 °C effectively reduced moisture content in thin pumpkin slices to the required standard within 7 hours. The energy consumption was recorded at 85.16 kWh, with a specific energy consumption of 1.51 MJ/kg of evaporated water.

Keywords: Dried Pumpkin, Heat Pump Drying, Solar Energy

Please cite this article as: T. Kanasri, and B. Pitasang, "Pumpkin Slices Using Heat Pump Dryer for Farmers," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 4, no. 3, pp. 58-69, 2026.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

ฟักทองเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งนิยมาทำการแปรรูปด้วยวิธีการต่าง ๆ เพื่อต้องการเพิ่มมูลค่า [1] การอบแห้งฟักทองแบบลมร้อนจึงถูกนิยมใช้แปรรูปผลิตภัณฑ์ เนื่องจากใช้ลดระยะเวลาอบแห้งฟักทองอย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจากวิธีนี้ส่งผลต่อคุณภาพการสูญเสียด้านสารอาหารของผลิตภัณฑ์หลังจากการอบแห้งฟักทอง เมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยความร้อนอุณหภูมิสูงเกินไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วิธู และคณะ [2] ได้ศึกษาคุณภาพของฟักทองในสภาวะลมร้อนอบแห้งแตกต่างกัน พบว่ากระบวนการอบแห้งแบบใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนลดเวลาในการอบแห้งให้เร็วขึ้นได้ นอกจากนี้ภายหลังจากการอบแห้งด้วยวิธีการใช้ไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศสามารถรักษาสารเบต้าแคโรทีนของฟักทองได้ในปริมาณเหมาะสมมากกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน Nawirska et al. [3] ได้ศึกษาการอบแห้งของฟักทองแผ่นบางด้วย ความร้อนแตกต่างกันในสภาวะต่างกัน ผลจากการทดลองพบว่า การอบแห้งด้วยความร้อนไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศลดระยะเวลาผลลัพธ์ที่ดีกว่าการอบแห้งจากลมร้อน นอกจากนี้ Alibas [4] ศึกษาการอบแห้งชิ้นบางฟักทองด้วยวิธีการอบแห้ง 3 วิธีได้แก่ การอบแห้งความร้อนจากไมโครเวฟ การอบแห้งจากลมร้อน และการอบแห้งจากลมร้อนร่วมกับความร้อนจากไมโครเวฟ ผลการทดลองพบว่า การอบแห้งด้วยความร้อนจากไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งจากลมร้อน เป็นการอบแห้งที่ได้ต่อผลลัพธ์ประสิทธิภาพสูงของผลิตภัณฑ์ฟักทองชิ้นบาง เมื่อพิจารณาจากการลดระยะเวลาของการอบแห้ง ค่าสี และค่าการใช้พลังงานต่อครั้ง

ตัวอย่างกลุ่มเกษตรกรในชุมชนบ้านหนองคู ตำบลธงธานี อำเภอรวิชัยบุรี จังหวัดร้อยเอ็ด เป็นกลุ่มเกษตรกรที่ประกอบอาชีพการทำอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรจำหน่ายเสริมรายได้ และกลายเป็นสินค้า OTOP ของชุมชน ยกตัวอย่างเช่น ฟักทองตากกล้วยตาก แก้วมังกรตาก ต่อมามีการทดสอบใช้

โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์รูปทรงพาราโบลาปิดหลังคาด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนตด้านหลังมีช่องสำหรับการระบายอากาศนำมาใช้อบแห้ง พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงเรือนมีค่ามากกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมถึง 15 องศาเซลเซียส การกระจายอุณหภูมิภายในโรงเรือนมีความสม่ำเสมอ เนื่องจากหลังคาที่มีลักษณะโค้ง [5] ถึงแม้ว่าโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แบบการพาความร้อนตามธรรมชาติรูปทรงพาราโบลาสามารถแก้ไขปัญหาคุณภาพหลังการอบแห้งของผลิตภัณฑ์ได้แต่กลับพบว่าเมื่อต้องการปริมาณผลผลิตอบแห้งเพิ่มขึ้นไม่สามารถทำได้ตามต้องการ

จากการศึกษารายงานวิจัย ผู้วิจัยพบว่าลักษณะเฉพาะที่เป็นจุดเด่นของการอบแห้งด้วยลมร้อน คือการใช้ระยะเวลาอบแห้งน้อย และการอบแห้งด้วยระบบความร้อนจากฮีตปั๊มสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งได้ดีกว่า เนื่องจากฮีตปั๊มดึงความร้อนที่ คอยล์เย็นมาใช้ร่วมกับพลังงานคอมเพรสเซอร์ไปที่คอยล์ร้อน ขณะที่คอยล์เย็นดึงความร้อนก็สามารถดึงความชื้นจากเตาอบทิ้งด้วยโดยไม่ต้องมีการระบายอากาศจึงสามารถควบคุมสภาวะภายในตู้อบได้โดยไม่มีผลกระทบจากสภาพอากาศนอกตู้ และสามารถใช้ก๊าซเฉื่อยหลายชนิดทดแทนอากาศได้ทำให้ผลผลิตมีคุณภาพดีทั้งสี รสชาติ และรสชาติ ผู้วิจัยได้นำกระบวนการนำพาลมร้อนตามระดับความดันที่เพิ่มขึ้น โดยการอาศัยเทคนิคการปรับเพิ่มความดันปริมาณอากาศภายในห้องอบแห้งให้สูงขึ้น เพื่อปรับให้อากาศร้อนกลับเข้ามาหมุนเวียนภายในห้องอบแห้งเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลกระทบจากการอบแห้งฟักทองด้วยลมร้อนแบบฮีตปั๊ม โดยศึกษาประสิทธิภาพการอบแห้งจากอุณหภูมิค่าคงที่การอบแห้ง 3 ระดับ และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ารวม และเพื่อการศึกษาคุณภาพของฟักทองแผ่นบางหลังอบแห้งในแง่ของ ค่าสี ค่าการหดตัว ค่าการคืนตัว ค่าความแข็ง และค่าความกรอบ

บทความวิจัย (Research Article)

2. วิธีการวิจัย

2.1 การทดลองวิธีการหาค่าความชื้นมาตรฐานแห้ง

1) ทำความสะอาดผิวเปลือกเปลือกกล้วยน้ำให้สะอาด เตรียมวัสดุทดลอง ดังรูปที่ 1 นำตัวอย่างฟักทองที่เตรียมไว้หั่นขึ้นก่อนนำไปหั่นเป็นแผ่นให้ได้ขนาดตามความกว้าง×ยาว เท่ากับ 5×7 เซนติเมตร ความหนา 1 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 การเตรียมตัวอย่างวัสดุทดสอบฟักทองก่อนนำไปอบแห้ง



รูปที่ 2 ฟักทองแผ่นก่อนนำไปอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

2) นำฟักทองใส่ในภาชนะที่มีฝาปิด จากนั้นนำไปใส่ในตู้อบตั้งไว้ที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง เพื่อให้ความชื้นสม่ำเสมอ หลังจากนั้นนำฟักทองออกจากตู้อบพักไว้ 40 นาที เพื่อให้ความชื้นเข้ากับสภาพแวดล้อมพอประมาณ นำฟักทองที่ออก

จากตู้อบมาทำการทดลองโดยการแบ่งฟักทองออกเป็น 2 ส่วน คือ ฟักทองส่วนแรกนำไปอบหาความชื้นเครื่องอบหาความชื้นแบบหลอดฮาโลเจนให้ความร้อน เพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากการลดลงของน้ำหนัก ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การอบหาความชื้นแบบฮาโลเจน

3) เพื่อหาค่าความชื้นเริ่มต้นตามมาตรฐาน AOAC, 2005 ซึ่งคำนวณหาค่าความชื้นตามมาตรฐาน AOAC (Association of Official Analytical Chemists, 1970) ตามสมการ (1) [6]

$$Md = \frac{w-d}{d} \quad (1)$$

เมื่อ

Md คือ ค่าความชื้นมาตรฐานแห้ง, (%db)

w คือ มวลของวัสดุเปียก, (kg)

d คือ มวลของวัสดุแห้ง, (kg)

4) จากนั้นนำฟักทองส่วนที่สองไปอบแห้งวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพพลังงานความร้อนแบบฮีตปั๊ม

ค่าสมรรถนะของระบบอบแห้งได้จากปริมาณความร้อนที่ใช้ระเหยน้ำออกจากวัสดุทั้งหมดต่อปริมาณความร้อน ของอากาศในห้องอบแห้ง โดย

บทความวิจัย (Research Article)

สมรรถนะเชิงความร้อนของการอบแห้งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 และสมการที่ 3 เป็นสมการคำนวณสำหรับการทำงานแบบร่วมกันของความร้อนจากแสงอาทิตย์และความร้อนที่ได้จากพลังงานไฟฟ้า คำนวณหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ SEC (Specific Energy Consumption) ตามสมการ (2) และค่าประสิทธิภาพตามสมการ (3) [7,8]

$$SEC = 3.6EP_{in-mf} \quad (2)$$

เมื่อ

SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ, (MJ/kgH₂O_{evap})

EP คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้เป็น, (kw - hr)

3.6 คือ แฟคเตอร์การแปลงหน่วยจาก (kw - hr) เป็น MJ/kgH₂O_{evap}

m_{in} คือ มวลของวัสดุก่อนอบแห้ง, (kg)

m_f คือ มวลของวัสดุหลังอบแห้ง, (kg)

$$\eta_{Total} = \frac{M_W H_{fg}}{Q_S + Q_E} \quad (3)$$

เมื่อ

η_{Total} คือ ประสิทธิภาพห้องอบแห้ง, (%)

M_W คือ มวลของน้ำระเหยออกจากวัสดุ, (kg)

H_{fg} คือ สัมประสิทธิ์การระเหยของน้ำ, (MJ/kg)

Q_S คือ พลังงานความร้อนที่ได้จากการใช้ไอน้ำ, (MJ)

Q_E คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้รวมทั้งหมด, (MJ)

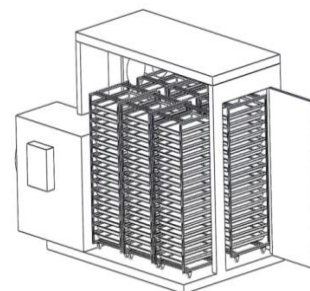
2.2 วิธีการทดลอง

1) ในการทดลองอบแห้งฟักทองเตรียมตัวอย่างฟักทองสายพันธุ์อำไพ ตลอดการทดสอบ มีขนาดประมาณผลละ 3 กิโลกรัม หั่นเป็นชิ้นตามแนวยาวไว้สำหรับการทดลองแต่ละครั้งปริมาณอบแห้ง 300 กิโลกรัม ตัวอย่างวางบนถาดในชั้นบาง ๆ แบบรกรงเข็มเรียง 6 ชั้น ดังรูปที่ 4 อบแห้งจนฟักทองมีความชื้นสุดท้ายเป็น 14 เปอร์เซ็นต์ มาตรฐานแห่งอ้างอิงจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง



รูปที่ 4 ถาดชั้นวางฟักทองเตรียมนำไปอบแห้ง

2) โครงสร้างเครื่องอบแห้งด้วยพลังงานลมร้อนฮีตปั๊มมีขนาดตู้อบ ดังรูปที่ 5 มีขนาดความกว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 200×400×200 เซนติเมตร มีกำลังงานไฟฟ้า 9 กิโลวัตต์ ใช้ระบบไฟฟ้า 3 เฟส มีระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ และแสดงผลรายงานด้วยหน้าจอดิจิทัล



รูปที่ 5 โครงสร้างเครื่องอบแห้งแบบด้วยพลังงานลมร้อนฮีตปั๊ม

บทความวิจัย (Research Article)

3) เปรียบเทียบวิธีอบแห้งด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับเกษตรกร การทดลองแต่ละครั้งปริมาณอบแห้ง 300 กิโลกรัม ใช้ปริมาณการอบเท่ากันกับด้วยเครื่องอบแห้ง ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การอบแห้งฟักทองแผ่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

4) วัดความชื้นของวัสดุตัวอย่างแล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ฟักทองแผ่นที่ผ่านการอบแห้งนำทดสอบหาคุณภาพสี ค่าการหดตัว (L^* , a^* , b^*) อัตราส่วนค่าคืนตัว และเนื้อสัมผัสของความแข็งและความกรอบ ด้วยเครื่องวัดค่าสี Color meter FRU รุ่น WR18

5) ขั้นตอนการทดลองเริ่มต้นด้วยการปรับอุณหภูมิทดลองที่อุณหภูมิการทำให้แห้งแบบถาด (Tray Drying) 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส บันทึกข้อมูลการทดสอบอบแห้งจนถึงความชื้นสุดท้าย จากนั้นทดสอบอีกครั้งจนครบทุกช่วงอุณหภูมิ ปรับความดันและอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งเหมือนในขั้นตอนแรกจนครบทุกช่วงอุณหภูมิที่ได้กำหนดไว้

6) ผลลัพธ์ทั้ง 3 ชุด ทดสอบประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9 Point Hedonic Scale ทางด้านสี กลิ่นรสชาติ และความชอบรวม ใช้ผู้ทดสอบชิม เพื่อหาสูตรที่ผู้บริโภคทั่วไปให้คะแนนทางประสาทสัมผัสสูงสุด วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบ

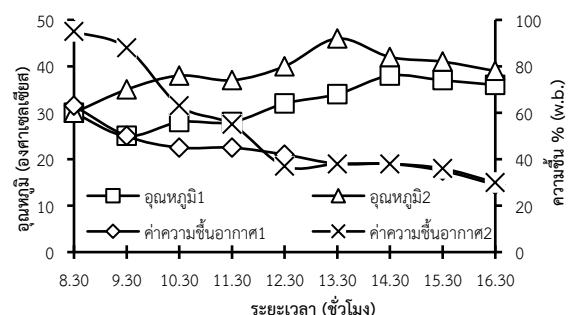
ความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองด้วยวิธี Dan Cans New Multiple Range Test (DMRT) คัดเลือกอัตราส่วนที่ได้รับคะแนนด้านความชอบรวมสูงสุดไปใช้ในข้อต่อไป

3. ผลการวิจัย

การวิจัยมีวัตถุประสงค์การศึกษาและเปรียบเทียบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ของเกษตรกร และเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนใต้พิภพสำหรับการอบแห้งฟักทอง และหาประสิทธิภาพทางความร้อน และการศึกษาคุณภาพของฟักทองหลังอบแห้งในแง่ของ สีการหดตัว การคืนตัว ค่าความแข็ง และค่าความกรอบ การทดลองรายละเอียดมีได้ดังนี้

3.1 ผลการทดสอบอุณหภูมิอบแห้งฟักทองพลังงานแสงอาทิตย์

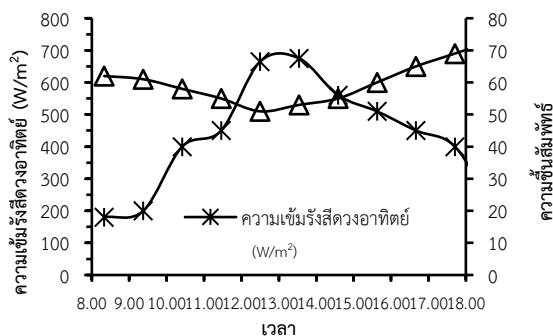
ผลการศึกษากระบวนการตากฟักทองพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการเตรียมวัสดุการตากฟักทองด้วยการตากวิธีแบบธรรมชาติของเกษตรกร นำมาปรับเทคนิคการอบแห้งอบแห้งหาประสิทธิภาพของความร้อนจากเครื่องอบแห้งลมร้อนระบบฮีตปั๊มผลการทดลองดังนี้



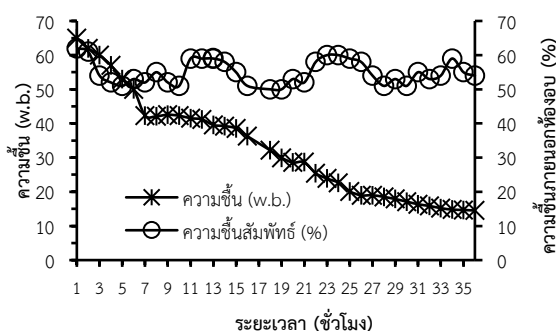
รูปที่ 7 อุณหภูมิ และความชื้นการตากแห้งโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ของเกษตรกร

บทความวิจัย (Research Article)

จากรูปที่ 7 ผลการทดลองพบว่าโรงเรือนอบแห้งสภาพอากาศในวันที่ 10 มิถุนายน 2568 ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อน ตั้งแต่เวลา 08:30 น. สภาพอากาศแวดล้อมมีอุณหภูมิเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีในเวลา 13.30 น. อุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 46 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นอุณหภูมิจะลดลง 36 องศาเซลเซียส จนถึงเวลา 16.30 น. ส่งผลต่อสภาพความชื้นสัมพัทธ์ทั้งภายในและภายนอกโรงเรือนตากเพิ่มขึ้นตามความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ลดลง ดังภาพที่ 8 ภายหลังช่วงเวลาตั้งแต่ 18.00 น. เป็นต้นไปพบว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ 70-80 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ฟักทองแผ่นมีความชื้นย้อนกลับทำให้เกิดเชื้อราภายหลังการเก็บรักษา



รูปที่ 8 ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์กับความชื้นสัมพัทธ์

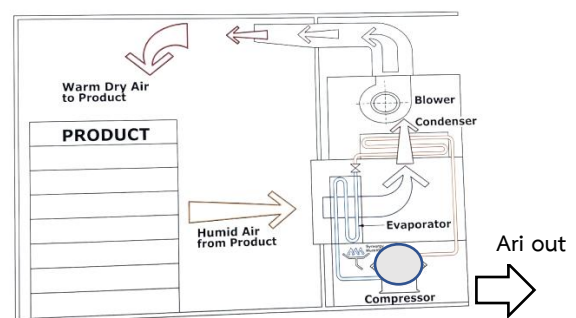


รูปที่ 9 ความชื้นการตากแห้งฟักทองแผ่นด้วยวิธีธรรมชาติของเกษตรกร

ความชื้นฟักทองเริ่มต้นที่ 65 %w.b. เมื่อเริ่มทำการตากโดยค่าความชื้นของฟักทองจะลดลงต่อเนื่องจนฟักทองแห้งที่ค่าความชื้น 24%w.b. (มาตรฐานเปียก) ที่เวลา 16:30 น. วิธีการตากด้วยวิธีธรรมชาตินี้ใช้ระยะเวลาในการตากยาวนาน 8 ชั่วโมงต่อวัน และเกษตรกรจะตากซ้ำอีกครั้งของวันต่อมา จึงจะได้ความชื้นตามต้องการใช้ระยะเวลาตากนาน 35 ชั่วโมง ดังรูปที่ 9

3.2 ผลทดสอบสมรรถนะประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานลมร้อนระบบฮีตปั๊ม

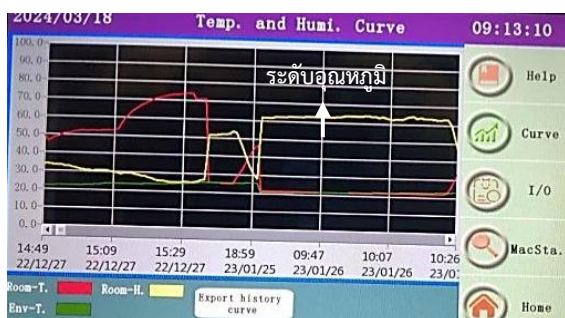
เครื่องอบแห้งพลังงานลมร้อนระบบฮีตปั๊มเป็นเทคโนโลยีระบบพร้อมใช้งาน เป็นเครื่องที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะเด่นของการอบแห้งด้วยลมร้อนจะใช้เวลาน้อย และการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบฮีตปั๊มสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งได้ดีกว่า เนื่องจากฮีตปั๊มดึงความร้อนที่คอยล์เย็นมาใช้ร่วมกับพลังงานคอมเพรสเซอร์ไปที่คอยล์ร้อน ขณะที่คอยล์เย็นดึงความร้อนก็สามารถดึงความชื้นจากตู้อบทิ้ง (Air Out) ด้วยระบบการทำงานโดยไม่ต้องมีการระบายอากาศจึงสามารถควบคุมสภาวะภายในตู้อบได้โดยไม่มีผลกระทบจากสภาพอากาศนอกตู้อบ และสามารถใช้อากาศเย็นหลายชนิดทดแทนอากาศได้ ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 แผนภาพระบบทำงานเครื่องอบแห้งพลังงานลมร้อนระบบฮีตปั๊ม

บทความวิจัย (Research Article)

ผลการทดลองอบแห้งผักทองแผ่นครั้งนี้ใช้ตัวอย่างผักทองในการอบแห้งมีการเตรียม ภายในห้องอบจะมีตะแกรงวางถาดที่ใช้สำหรับวางผักทอง ใช้ผักทองในการอบต่อครั้ง ครั้งละ 300 กิโลกรัม ไปด้วยอุณหภูมิ 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส โดยการอบในแต่ละครั้งใช้เวลาในการอบวันละ 11, 8 และ 6 ชั่วโมงตามลำดับ จนได้ความชื้นมาตรฐานประมาณ 14.00 %w.b ขณะทำการอบแห้งตรวจสอบด้วยจอแสดงผลแบบดิจิทัลตรวจเช็คระดับอุณหภูมิทุกช่วงเวลาเปรียบเทียบกับกราฟสีแตกต่างกัน ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 จอแสดงผลแบบดิจิทัลเครื่องอบแห้ง

หลังการทดลองการอบแห้งผักทองด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนระบบฮีตปั๊ม พบว่าจากการทดลองการอบแห้งผักทอง เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีปัจจัยที่ช่วยในการระเหยของความชื้นได้สูงสุดตามที่ผู้วิจัยกำหนด โดยมาตรฐานความชื้นของผักทอง 65.87 %w.b. แสดงในตารางที่ 1 สามารถลดความชื้นอย่างรวดเร็วจนได้ความชื้นสุดท้าย 14.19 %w.b. การทดสอบใช้เวลาประมาณ 6 ชั่วโมงต่อวัน ใช้พลังงานไฟฟ้าขณะทดสอบรวมเป็น 85.16 กิโลวัตต์ชั่วโมง มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเท่ากับ 1.51 MJ/kg_{water} ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี พบว่าเนื้อผักทองแห้งปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 25.10±1.20 องศาบริกซ์

ตารางที่ 1 การทดสอบความชื้นต่ออัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานลมร้อนแบบฮีตปั๊ม

เวลา (น.)	ความชื้นผักทองแผ่นอบแห้ง (%w.b.)		
	อุณหภูมิ ห้องอบ (50 °C)	อุณหภูมิ ห้องอบ (55 °C)	อุณหภูมิ ห้องอบ (60 °C)
09.00	65.88	68.27	65.87
10.00	64.64	60.17	55.23
11.00	60.90	52.23	43.34
12.00	52.60	43.50	31.49
13.00	45.00	35.72	24.15
14.00	30.82	30.47	16.87
15.00	25.17	24.44	14.19
16.00	22.95	15.82	13.55
17.00	19.15	14.82	13.05
18.00	16.56	13.23	12.53
19.00	14.35	13.12	12.02
20.00	14.20	13.07	12.53

3.3 ผลการทดสอบคุณภาพด้านสีของผักทอง

การทดสอบคุณภาพด้านสีโดยใช้กรรไกรตัดตัวอย่างผักทองแผ่นบางเป็นชิ้นๆ ให้สามารถวางบนแผ่นวางตัวอย่างของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Mini Scan EZ. จากนั้นทำการวัดค่าสีวัดตัวอย่าง 3 ซ้ำ การวัดสีกำหนดค่าสีของชิ้นตัวอย่างสด และแห้ง กำหนดหน่วยวัดสีมีสัญลักษณ์ $L^* a^* b^*$ ในแง่ของ L^* บ่งบอกถึง ความสว่าง (lightness) มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว a^* แสดงถึง สีเขียว ($-a^*$) จนถึง สีแดง ($+a^*$) และ b^* แสดงจากสีน้ำเงิน ($-b^*$) จนถึงสีเหลือง ($+b^*$) ในระบบสี Hunter Lab การเปลี่ยนแปลงสีจากตัวอย่าง [7] คำนวณโดยสมการ 4 สมการที่ 5 และสมการที่ 6 ดังนี้

$$\Delta L = (L - L_0) / L_0 \quad (4)$$

บทความวิจัย (Research Article)

$$\Delta a = (a - a_0)/a_0 \quad (5)$$

$$\Delta b = (b - b_0)/b_0 \quad (6)$$

ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์สถิติคุณภาพด้านสีของฟักทองแผ่นอบแห้ง

เงื่อนไข	L* (ns)	a* (ns)	b*
ตากแดดธรรมชาติ	31.77±4.61	2.89±0.29a	7.68±2.32
เครื่องอบแห้งฮีตปั้ม	37.54±3.73	2.97±0.25b	6.95±1.53

จากตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของชิ้นตัวอย่างหลังอบแห้งฟักทอง เมื่อพิจารณาที่วิธีการตากเดียวกัน พบว่า เมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้นทำให้สีของชิ้นฟักทองอบแห้ง มีการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างเพิ่มขึ้น มีค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจากเอนไซม์ [8] ผลจากอุณหภูมิความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้นจะเปลี่ยนสีของฟักทองให้เป็นสีแดง เมื่อระยะเวลาอบแห้งนานมากขึ้นทำให้เป็นสีน้ำตาลเข้มขึ้นจนอาจเปลี่ยนเป็นสีดำ

วัดค่าการหดตัวของฟักทองอบแห้ง จากนั้นวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์จากปริมาตรของตัวอย่าง โดยทดสอบจากการแทนที่ด้วยน้ำมันพืชเป็นของเหลวจากการสุ่มตัวอย่าง จำนวน 10 ชิ้น จากสมการที่ 7 ดังนี้

$$\% \text{ Shrinkage} = \frac{(V_0 - V_f)}{V_0} \times 100 \quad (7)$$

เมื่อ

V_0 คือ ปริมาตรเริ่มต้น

V_f คือ ปริมาตรสุดท้ายของชิ้นตัวอย่าง,
(ลูกบาศก์มิลลิเมตร)

การคืนสภาพ (Rehydration Ratio) ความสามารถในการคืนสภาพของชิ้นตัวอย่างฟักทองแผ่นแห้งทดสอบแช่ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสใช้เวลา 10 นาที ซับความชื้นกำจัดน้ำส่วนเกินบนพื้นผิวชิ้นฟักทอง มวลที่คืนสภาพแล้วจะถูกวัดด้วยเครื่องชั่งดิจิทัลที่มีความละเอียดแม่นยำ ± 0.001 กรัม คำนวณอัตราส่วนค่าการคืนตัวของวัสดุตัวอย่างจากสมการที่ 8 ดังนี้

$$\text{Rehydration ratio} = \frac{m_{\text{after}}}{M} \quad (8)$$

เมื่อ

M คือ มวลของตัวอย่างที่แห้ง

m_{after} คือ มวลตัวอย่างที่คืนสภาพหลังจากแช่น้ำ

การทดสอบวัดค่าเนื้อสัมผัสจากตัวอย่างฟักทองทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Stable Micro System) วางตัวอย่างวัสดุทดสอบวางบนฐานระนาบใช้แรงกดหัวกดลงที่ชิ้นตัวอย่าง ถูกตั้งค่าให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 2 มิลลิเมตรต่อวินาที จนกระทั่งชิ้นตัวอย่างแตกหรือหักแรงสูงสุดของการทำให้ชิ้นตัวอย่างแตกและความชื้นเริ่มต้นของการเสียรูปถูกระบุว่าเป็นความแข็งและความกรอบของตัวอย่างตามลำดับ [9]

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ด้วยอุณหภูมิด้านต่าง ๆ ของแผ่นฟักทองอบแห้ง

อุณหภูมิอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	ค่าการหดตัว (เปอร์เซ็นต์)	ตราส่วน ค่าคืนตัว	ค่าความแข็ง (นิวตัน)	ค่าความกรอบ (นิวตันต่อตารางเมตร)
50	95.82 ± 1.36^{def}	3.78 ± 0.075^{bc}	18.40 ± 1.17^{cd}	5.20 ± 1.59^{ab}
55	91.09 ± 0.78^{efgh}	3.35 ± 0.037^{ab}	30.11 ± 1.48^{hi}	7.80 ± 1.81^{abc}
60	85.39 ± 1.28^b	3.05 ± 0.080^a	31.08 ± 2.70^{gh}	9.41 ± 1.98^{bcd}

จากตารางที่ 3 ผลการทดสอบการหดตัวของ ฟักทองอบแห้ง พบว่า ผลการอบแห้งอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีผลต่อค่าการหดตัวของตัวอย่าง ฟักทองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากอุณหภูมิความร้อนของอากาศในห้องอบแห้งส่งผลให้น้ำภายในเซลล์ ฟักทองมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจึงมีเกิดการระเหยน้ำ เกิดการเคลื่อนที่ของไอน้ำในเนื้อฟักทองไปยังอากาศ แวดล้อมในห้องอบแห้งทำให้โครงสร้างภายในเนื้อ ฟักทองมีปริมาตรลดลง

ผลการทดลองค่าเนื้อสัมผัสของวัสดุตัวอย่าง ฟักทองหลังอบแห้งค่าความแข็ง และค่าความกรอบ พบว่าที่อุณหภูมิต่างกันในระดับอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ค่าความแข็งของชิ้นตัวอย่างลดลง และค่าความ กรอบเพิ่มขึ้น เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่า ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่แห้งรูปทรงมีขนาดใหญ่มากขึ้น พบว่า ความกรอบของตัวอย่างที่อบแห้งนั้นมีการแปรผกผัน กับความแข็ง

4. สรุปผลการวิจัย

การทดสอบอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งความร้อน แบบ ฮีตปั๊มควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ ประกอบด้วย ตู้อบแห้งผลิตภัณฑ์ถาดวางวัสดุ และระบบชุดฮีตปั๊ม ร่วมกับขดลวดความร้อนไฟฟ้า เป็นการใช้พลังงาน ความร้อนจากใช้พลังงานไฟฟ้า 5.5 กิโลวัตต์ กำลังไฟฟ้าชุดคอยล์ร้อน 7.8 กิโลวัตต์ อัตราการไหล ของ อากาศไม่น้อยกว่า 12,800 – 23,600 ลูกบาศก์ เมตรต่อชั่วโมง ผู้วิจัยเปรียบเทียบผลที่ได้ศึกษาการ

ตากฟักทองของเกษตรกรด้วยวิธีธรรมชาติ จะเห็นได้ ว่ากรณีใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมไฟฟ้า ให้ค่า อุณหภูมิภายในตู้อบสูงกว่ากรณีใช้ตู้อบพลังงาน แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว และกรณีการตากด้วย วิธีทางธรรมชาติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ บา กา และคณะ [10] งานวิจัยเรื่อง ตู้อบแห้งพลังงาน แสงอาทิตย์ ในประเด็นเปรียบเทียบพลังงานความร้อนภายในตู้อบกับภายนอกตู้อบซึ่งปัญหานี้ พบว่ามี ปัจจัยที่ส่งผลทำให้ฟักทองที่ตากตามวิธีธรรมชาติไม่ได้ คุณภาพ เช่น มีสภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวยฝุ่นละออง มีสิ่งเจือปนอื่น ๆ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาทดสอบด้วย เทคโนโลยีพร้อมใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนแบบฮีตปั๊มควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ และใช้ เครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์เข้าร่วมเพื่อลดสาเหตุและ ปรับปรุงแก้ไขแทนการตากแดดด้วยวิธีธรรมชาติ เพื่อ ลดปัญหาระยะเวลาในการตาก และสิ่งเจือปนต่าง ๆ

จากผลการทดลองเครื่องอบแห้งความร้อน แบบ ฮีตปั๊มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่าการ อบแห้งฟักทองนั้นแต่ละครั้งใช้ระยะเวลาการในการ อบ 6 ชั่วโมงต่อวัน ใช้ฟักทองแผ่นบางขนาด 1 มิลลิเมตร ทำการอบแต่ละครั้งปริมาณมาก 300 กิโลกรัม การทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพโดยการ ระเหยของน้ำตลอดทั้งวัน พบว่ามีอัตราการระเหย 68% ฟักทองสด 1 กิโลกรัม เมื่ออบแห้งจนได้ความชื้น 14 %(w.b.) การอบแห้งใช้พลังงานเท่ากับค่าพลังงาน ไฟฟ้า 85.16 กิโลวัตต์ชั่วโมง ความสิ้นเปลืองพลังงาน จำเพาะเท่ากับ $1.51 \text{ MJ/kg}_{\text{water}}$ ดังนั้นการแปรรูป ผลิตภัณฑ์อบแห้งฟักทองเป็นการควบคุมการลด

บทความวิจัย (Research Article)

ระยะเวลา สอดคล้องกับ แส่นแปง และคณะ [11] รายงานผลการศึกษการอบแห้งด้วยระบบปั๊มความร้อนฮีตเตอร์ไฟฟ้าและปั๊มความร้อนร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้าต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์และความสิ้นเปลืองพลังงาน พบว่าจากการลดระยะเวลาหลังการอบแห้งสามารถรักษาคุณภาพมีผลต่อสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่ดีที่สุด และปราศจากสิ่งเจือปนต่าง ๆ

5. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำผลทดสอบการศึกษาเครื่องอบแห้งความร้อนแบบฮีตปั๊มแบบปิดสำหรับฟักทอง ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติ พบว่าในสภาวะอุณหภูมิ 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส สามารถอบแห้งฟักทองได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด

ผลความรู้และรู้จักใช้เทคโนโลยีที่อยู่รอบตัวให้เป็นประโยชน์ และเพิ่มความสะดวกให้กับเกษตรกร ผู้สนใจเรื่องการอบแห้งฟักทองในระบบความร้อนแบบ ฮีตปั๊มแบบปิดเป็นตู้อบที่ป้องกันการรบกวนจากแมลงมีความปลอดภัย ควรมีการเผยแพร่ผลงานไปยังสถานศึกษา และตามหมู่บ้านชุมชนที่สนใจ เพื่อเป็นการให้เพิ่มอัตราการผลิตขยายผลความรู้ต่อไป

การศึกษานี้เป็นแนวทางให้แก่เกษตรกร และนักศึกษาหรือผู้สนใจการแปรรูปฟักทองที่ควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ สามารถรวมกลุ่มเพื่อสร้างหรือพัฒนาต่อยอดพัฒนาผลิตภัณฑ์ยกตัวอย่าง ผงขงต้ม ฟักทองบดละเอียดให้ดีขึ้นกว่าเดิมได้ เพื่อลดข้อจำกัดของการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อย่างยั่งยืน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยงบประมาณ การทำวิจัยสำหรับอาจารย์ กองทุนส่งเสริมของ กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกว.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 จากสำนัก

ส่งเสริมวิชาการและจัดการเรียนรู้ตลอดชีวิต มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด ขอขอบคุณกลุ่มชุมชน เกษตรกร ตำบลธงธานี อำเภอธวัชบุรี จังหวัดร้อยเอ็ด และขอขอบคุณนักศึกษาหลักสูตร ค.อ.บ. สาขาวิชา ไฟฟ้า ที่ช่วยเก็บข้อมูลทดสอบในการทำวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจการเกษตร, “ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร,” [ออนไลน์]. Available: <http://www.oae.go.th>. [เข้าถึงเมื่อ: 1 มกราคม 2565].
- [2] วิฐู ชูศรี, พรทิพย์ วิริยะวัฒนา, พันธุ์เลิศ พรหมสาขา ณ สกลนคร และ ธัชพงศ์ ชูศรี, “ผลของกระบวนการทำแห้งด้วยลมร้อนต่อสมบัติของกล้วยหอมสุกและฟักทองอบแห้ง,” *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*, ปีที่ 15, ฉบับที่ 1, ม.ค. - มิ.ย. หน้า 37-52, 2563.
- [3] A. Nawirska, A. Figiel, A. Z. Kucharska, A. Sokół-towska, and A. Biesiada, “Drying kinetics and quality parameters of pumpkin slices dehydrated using different methods,” *Journal of Food Engineering*, vol. 94, no.1, pp. 14-20, 2009.
- [4] I. Alibas, “Microwave, air and combined microwave - air drying parameters of pumpkin slices,” *LWT-Food Science and Technology*, vol. 40, no.1, pp. 1445 - 1451, 2007.
- [5] วสันต์ จินธาดา และพรชัย เพชรสงคราม, “ลักษณะรูปทรงของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งผลอบแห้งตัวอย่างพาราแผ่น” *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนคร*

บทความวิจัย (Research Article)

- เหนือ, ปีที่ 27, ฉบับที่ 1, ม.ค.-มิ.ย. หน้า 89-99, 2560.
- [6] อีรเดช ใหญ่บัก, สุวิทย์ เพชรห้วยลึก, จอมภพ แวศักดิ์, มาริษา มะหิ และภรพนา บัวเพชร, “ การพัฒนากระบวนการอบแห้งปลาด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้า ภายใต้สภาพภูมิอากาศภาคใต้ของประเทศไทย” *Thaksin University Journal วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, ปีที่ 12, ฉบับที่ 3, ต.ค.-ม.ค. หน้า 109-118, 2553.
- [7] สุภวรรณ ภูริวงษ์กุล, สลิลลา ช่างเขียว และยุทธนา ภูริวงษ์กุล, “การอบแห้งใบบัวบกแห้งซึ่งดื่มด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรด จนผลศาสตร์ ความสิ้นเปลืองพลังงาน และคุณภาพ” *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น*, ปีที่ 18, ฉบับที่ 2, หน้า 311-324, 2556.
- [8] ภักดี สิทธิฤทธิกริน, “การศึกษาจลนพลศาสตร์และคุณภาพฟักทองอบแห้ง ด้วยสุญญากาศรวมกับลมร้อน” *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, ปีที่ 9, ฉบับที่ 3, ก.ย. - ธ.ค. หน้า 121-140, 2562.
- [9] J. M. Aguilera, L. Castro, and L. Cadoche, “Structure property relationships in starch amorphous model,” *Proceedings of The 14th International Drying Symposium (IDS 2004)*, Sao Paulo, Brazil, 2004, pp. 1468-1472.
- [10] ฮาติมี บากา, รอกีเยาะ อาแว, ชุลกิปลี กาซอ และสุนิตย์ โรจนสุวรรณ, “การศึกษาประสิทธิภาพการอบแห้งของปลาช่อน ด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมไฟฟ้า” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี YRU Journal of Science and Technology*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 1, ม.ค. - มิ.ย. หน้า 13-24, 2559.
- [11] ปุณยพร แสนแปง, หยาดฝน ทะนงการกิจ และปริญ คงกระพันธ, “ผลของการอบแห้งด้วยระบบปั๊มความร้อนฮีตเตอร์ไฟฟ้าและปั๊มความร้อนร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้าต่อคุณภาพของใบมะกรูดและความสิ้นเปลืองพลังงาน” *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร : สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 17, ฉบับที่ 2, ก.ค. - ธ.ค. หน้า 15-27, 2566.