



การสร้างตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการจัดการเทคโนโลยีการผลิตปลาช่อนแดดเดียว

Construction of Solar Cabinet Dryer for Technology Management of Processed Snakehead Fish Production

อนุชิต กลัประสิทธิ์¹, ดุษณี สุภวรรธนกุล¹, ประสอติ สิตติสงว, รัชมี แสงศิริมงคลยิ่ง^{2*}

Anuchit Klabprasitti¹, Dusanee Supawantanakul¹, Prasoot Sittisaung, Ratsamee Sangsirimongkolying^{2*}

(Received: September 10, 2019; Revised: November 4, 2019; Accepted: November 25, 2019)

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตปลาช่อนแดดเดียว โดยใช้วิธีวิจัยแบบผสมผสาน จากการสังเคราะห์ข้อมูลความต้องการในการสร้างตู้อบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ประชากร คือกลุ่มแม่บ้านวิสาหกิจชุมชนแปรรูปอาหารปลาช่อนแดดเดียว ตำบลบางพุทรา อำเภอเมือง จังหวัดสิงห์บุรี จำนวน 10 คน ออกแบบตามหลักการของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และหลักการยศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่า ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตอบสนองความต้องการของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนคือ โครงสร้างของตู้อบแห้งทำจากอะลูมิเนียม ขนาด 120x120x102 ลูกบาศก์เซนติเมตร น้ำหนักเบา เป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในชุมชน มีล้อ สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก มีชั้นวางผลิตภัณฑ์ที่สามารถถอดประกอบทำความสะอาดได้ง่าย บำรุงรักษาได้ด้วยตนเอง ลดพื้นที่การตากแห้ง ประสิทธิภาพการทำความร้อนในส่วนอบแห้งมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงที่แสงแดดเข้มสูงสุดต่างกัน 10-12 องศาเซลเซียส สามารถจ่ายลมร้อนสู่ห้องอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 - 55 องศาเซลเซียส ทุกตำแหน่งของชั้นวางผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน สามารถอบปลาช่อนครั้งละ 60 ตัว น้ำหนักตัว 250 - 350 กรัม ลดเวลาการตากแห้งจากแบบเดิมได้ 2 ชั่วโมง ความชื้นปลาหลังการอบแห้งลดลงเฉลี่ยร้อยละ 27 (wb) กลุ่มแม่บ้านวิสาหกิจชุมชนแปรรูปอาหารปลาช่อนแดดเดียว ได้ใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการจัดแสดงสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ของจังหวัดสิงห์บุรี

คำสำคัญ: ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ การจัดการเทคโนโลยี ปลาช่อนแดดเดียว

¹ สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

² สาขาวิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

¹ Department of Technology Management, Faculty of Industrial Technology, Pranakorn Rajabhat University

² Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Pranakorn Rajabhat University

*Correspondent author: gratsamee@gmail.com



Abstract

The purpose of this research was to create a solar cabinet dryer for production of processed snakehead fish. The mixed research method and synthesized data was used to create a solar cabinet dryer. The population was 10 community enterprise of housewives whose processed snakehead fish production at Bang Phutsa sub-district, Mueang Sing Buri District, Sing Buri Province. The solar cabinet dryer was designed using solar cabinet dryer principle and ergonomic principle. The results found that the appropriate solar cabinet dryer was made from the light weight anodized aluminum with 120x120x120 cm³. The material was easy available in the community. It had wheels for convenience moving. It comprised of layer that easy to take off, cleaning, and maintenance. The temperature in solar cabinet dryer was higher than those outside the cabinet 10 – 12 °C. The maximum sunlight time gave 40-55 °C all over the cabinet. It could contain 60 fishes and 250-350 g each. The drying time was reduced for 2 hours. The moisture content of dried fish decreased for 27 (wb). This solar cabinet dryer was exhibited in One Tambon One Product of Sing Buri Province.

Keywords: Solar cabinet dryer, Technology management, Processed snakehead fish

บทนำ

“ปลาช่อนแดดเดียว” เป็นการถนอมอาหารจนเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีชื่อเสียงมีลักษณะโดดเด่นและเป็นเอกลักษณ์ของจังหวัดสิงห์บุรี สะท้อนให้เห็นภูมิปัญญาในการถนอมอาหารที่สามารถเก็บไว้รับประทานได้นาน มีรสชาติอร่อย สามารถทำเป็นอาชีพหลักของชุมชนได้ จากการลงพื้นที่เพื่อศึกษากระบวนการผลิตปลาช่อนแดดเดียวในชุมชนที่เป็นแหล่งการผลิตที่มีชื่อเสียง พบว่ากระบวนการผลิตปลาช่อนแดดเดียว เป็นการผลิตภายในครัวเรือน ซึ่งเป็นกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนไม่ต้องพึ่งพาเทคโนโลยี หรือเครื่องจักรขนาดใหญ่ โดยใช้เวลาว่างจากการทำการเกษตรอาศรัยธรรมชาติควบคู่ไปกับฝีมือและประสบการณ์แปรรูปอาหารด้วยวิธีง่าย ๆ มีขั้นตอนเริ่มจากการนำปลาช่อนที่ผ่านการหมักด้วยเครื่องปรุงรสหลายชนิด ต้องใช้ระยะเวลาและอุณหภูมิจนในการหมักที่เหมาะสม ปลาสดมีความชื้นสูงจึงต้องทำให้แห้งด้วยการผึ่งแดดบริเวณโล่งแจ้งประมาณ 1 วัน (แดดเดียว) การผึ่งแดดเป็นวิธีการถนอมอาหารที่ชุมชนใช้มาตั้งแต่ดั้งเดิม ปลาช่อนแดดเดียวเป็นผลิตภัณฑ์สินค้าชุมชนที่ตลาดมีความต้องการเพิ่มขึ้น แต่กระบวนการผลิตยังคงเป็นแบบเดิมและต้องคงไว้ซึ่งคุณภาพ ทั้งความนุ่ม ความน่ารับประทาน และตรงตามความต้องการของผู้บริโภคการผึ่งแดดในที่โล่งแจ้งมักมีปัญหาเรื่องการปนเปื้อนจากฝุ่นละออง มด แมลงและนก บางวันไม่มีแสงแดด บางวันฝนตก ต้องใช้เวลาในการผลิตมากกว่าเดิม ทำให้



ไม่ได้คุณภาพตามที่ต้องการอาจทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหาย ทำให้เสียเวลา เสียค่าใช้จ่าย เป็นผลให้ต้นทุนสูงขึ้น กระบวนการผลิตในแต่ละวัน ผู้ผลิตต้องนำปลาช่อนสดมาผึ่งแดด ซึ่งต้องใช้พื้นที่กว้าง โถงแจ้งตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานแหล่งกำเนิดความร้อนที่ได้มาโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย มีความสะดวกและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย แต่จะมีปัญหาเรื่องฝุ่นละออง มีเชื้อจุลินทรีย์แมลงวันเป็นพาหะนำเชื้อโรค เมื่อฝนตกหรืออากาศเย็น การตากอาจมีปัญหาเรื่องเชื้อราเป็นเหตุให้เก็บไว้ได้ไม่นาน อาจเกิดผลเสียต่อผู้บริโภค ผู้ผลิตปลาช่อนแดดเดียวได้ปรับวิธีการอบแห้ง โดยใช้ตู้อบแห้งจากแหล่งพลังงานไฟฟ้า พลังงานแก๊ส ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง กลุ่มแม่บ้านวิสาหกิจชุมชน ตำบลบางพุทรา อำเภอเมืองจังหวัดสิงห์บุรี ต้องการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากประเทศไทยมีแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปี มีพลังงานแสงอาทิตย์สูงถึง 18.2 เมกะจูลต่อวันต่อตารางเมตร (Bureau of Alternative Energy Development and Efficiency, 2014) สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนในการอบแห้งได้ ซึ่งมีงานวิจัยก่อนหน้านี้ ได้ศึกษาเครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีลักษณะและรูปแบบที่แตกต่างกันตามลักษณะการใช้งานให้เหมาะสมกับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น เนื้อสัตว์ ผักและผลไม้ โดยได้รับความร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ใช้หลักการธรรมชาติแบบเรือนกระจก การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection Heat Transfer) (Taikhao & Takhasap, 2013) โดยการใช้พัดลมทำหน้าที่ดูดอากาศจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar Collector) และถ่ายเทอากาศร้อนให้เคลื่อนที่หมุนเวียนในทิศทางที่ต้องการ ผ่านผลิตภัณฑ์ในห้องอบแห้ง รวมทั้งมีงานวิจัยที่ศึกษาระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล (Homchad, 2018) ซึ่งตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะช่วยลดพื้นที่การตากปลาช่อนระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ให้ตรงตามมาตรฐานของอาหารที่สะอาดและปลอดภัยต่อผู้บริโภค เป็นการเพิ่มคุณภาพและเกิดการยอมรับสินค้า

ผู้วิจัยสนใจร่วมสร้างตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตปลาช่อนแดดเดียวกับกลุ่มแม่บ้านวิสาหกิจชุมชน ตำบลบางพุทรา อำเภอเมือง จังหวัดสิงห์บุรี เพื่อให้สอดคล้องกับภูมิปัญญาดั้งเดิม เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีโดยยึดฐานของชุมชน (Locality Based) หรือตามความต้องการของชุมชนเป็นหลัก คงไว้ซึ่งวิถีชีวิตความเป็นอยู่แบบเดิมของชาวบ้าน และตามหลักวิชาการด้านวัสดุศาสตร์ และพลังงาน ตลอดจนหลักการยศาสตร์ (Ergonomics) (Hignett & McAtamney, 2000) ที่เหมาะสมกับผู้ใช้หรือผู้ผลิตปลาช่อนแดดเดียวของชุมชน

วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบ สร้าง และทดสอบประสิทธิภาพตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตปลาช่อนแดดเดียว ร่วมกับกลุ่มแม่บ้านวิสาหกิจชุมชน



วิธีการวิจัย

1. การศึกษาข้อมูลกระบวนการผลิตปลาช่อนแดดเดียว

ศึกษาข้อมูลพื้นฐานและสภาพปัญหากระบวนการผลิตปลาช่อนแดดเดียวตามรูปแบบเดิมที่ใช้ในชุมชน ตลอดจนปัญหาอุปสรรคในการผลิตและความต้องการของชุมชน ซึ่งเป็นการเลือก กลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง จากประชากรที่เป็นกลุ่มแม่บ้านวิสาหกิจชุมชนแปรรูปอาหารปลาช่อนแดดเดียว ตำบลบางพุทรา อำเภอเมือง จังหวัดสิงห์บุรี จำนวน 10 คน โดยใช้การสัมภาษณ์เชิงลึก การสังเกต และจดบันทึก

2. การออกแบบและสร้างตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

2.1 หลักการออกแบบและสร้างตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตปลาช่อนแดดเดียว โดยเริ่มต้นจากการออกแบบเชิงแนวคิด (Conceptual Design) โดยออกแบบให้เครื่องอบแห้งเป็นทั้งตัวรับพลังงานความร้อนรังสีอาทิตย์และห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์ในเครื่องเดียวกัน และผลิตภัณฑ์ก็ยังสามารถรับพลังงานจากรังสีอาทิตย์โดยตรง (Direct mode) ด้วยการใช้วัสดุ โปร่งแสงทำผนังตู้อบแห้ง ตามหลักการสถานะเรือนกระจกที่ออกแบบเป็นห้องสะสมความร้อน หลักการพาความร้อนคือการบังคับความร้อนไปทำให้เกิดการระเหยความชื้นของปลาช่อน และการใช้พลังงานธรรมชาติคือความร้อนแสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้าเพื่อทำให้พัดลมบังคับการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนภายในตู้อบ จากนั้นคำนวณพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ของเครื่องอบแห้ง โดยคำนวณจากสมการ

$$A = \frac{Q_{\text{drying}}}{\eta_H N_D}$$

เมื่อ A = พื้นที่รับรังสีอาทิตย์
 H = ความเข้มรังสีอาทิตย์ (MJ/m^2)
 N_D = จำนวนวันที่ต้องการใช้ในการอบแห้ง
 η = ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์ (decimal)

ในการทดสอบนี้ เป็นปลาช่อนแดดเดียวใช้เวลาครั้งวัน (N_D) เป็น 0.5 ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์ (η) เป็นร้อยละ 30 และค่า H ความเข้มรังสีอาทิตย์ประเทศไทย มีค่า $18.2 \text{ MJ/m}^2\text{-Day}$ ค่า Q_{drying} ที่ใช้ในครั้งนี้ได้จากคำนวณน้ำที่ต้องการระเหยออกจากปลาช่อนสด 20 กิโลกรัม ให้ลดลงร้อยละ 30 ตามข้อกำหนดของสินค้าปลาช่อนแดดเดียวคือ 6 กิโลกรัมคูณกับค่าความร้อนแฝงในการระเหยที่มีค่าประมาณเพื่อใช้ทดสอบทั่วไป คือ 6 MJ/Kg ได้ค่า 6×6 เท่ากับ 36 MJ จากนั้นแทนค่าตัวแปรในสมการ



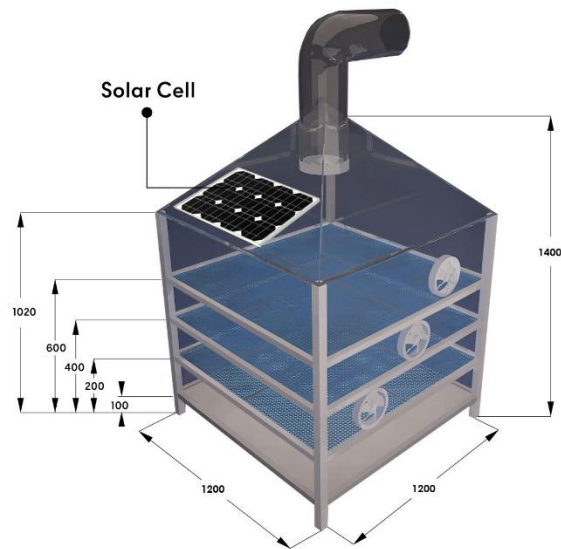
$$A = \frac{36}{0.3 \times 18.2 \times 0.5}$$

$$= 13.18 \text{ ตารางเมตร}$$

จากค่า A พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ ผู้วิจัยศึกษาและกำหนดความกว้างของตู้อบแห้งเป็น 120 เซนติเมตร ตามความสะดวกและวิถีเดิมของแม่บ้าน และความสูงรวมระหว่างผนังตู้อบแห้งกับส่วนห้อง สะสมความร้อนเท่ากับ 140 เซนติเมตร มีค่าพื้นที่รับแสงอาทิตย์รวมเท่ากับ 16.8 ตารางเมตร เพียงพอต่อการออกแบบและสร้างตู้อบแห้ง

การออกแบบตู้อบแห้งตามหลักการยศาสตร์ (Ergonomics) ในการกำหนดความกว้าง ความสูงของตู้อบแห้งให้มีความสัมพันธ์กับสัดส่วน ของมนุษย์ (Hignett & McAtamney, 2000; McAtamney & Nigel Corlett, 1993; Safety and Health at Work Promotion Association, 2009) ตัวแปรที่มีผลต่อการออกแบบคือ ความสูงของแม่บ้าน โดยพิจารณาจากความสูงเฉลี่ยของสมาชิกกลุ่มแม่บ้านประมาณ 150-160 เซนติเมตร ที่จะสามารถทำงานได้อย่างสะดวก มีขนาดและน้ำหนักถาดใส่ปลา ที่กลุ่มแม่บ้านส่วนใหญ่ที่มีอายุช่วง 50 - 65 ปีสามารถทำงานคนเดียวได้ เพื่อลดการทำงานของกล้ามเนื้อและความเหนื่อยล้า ความสูงของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะต้องสูงจากพื้นไม่เกิน 182 เซนติเมตร สามารถนั่งย่อทำงานสูงจากพื้นไม่เกิน 110 เซนติเมตร ห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์มีชั้นวางผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชั้น แต่ละชั้นมีความสูงระหว่าง 40 – 140 เซนติเมตร ประกอบด้วยชั้นบนสุดเป็นส่วนรับรังสีอาทิตย์ห้องสะสมความร้อน ชั้นที่ 2-3 เป็นส่วนของห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่มีชั้นวางผลิตภัณฑ์ 3 ชั้น เรียงจากด้านบนลงมาด้านล่าง ทำให้ลดพื้นที่ตากแห้งในที่กลางแจ้งร้อยละ 50 ร่างต้นแบบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ดังแสดงภาพที่ 1

2.2 ทดสอบประสิทธิภาพตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เครื่องมือบันทึกข้อมูลแบบต่อเนื่อง Data Logger เนื่องจากการทดสอบประสิทธิภาพของตู้อบแห้งพลังงานแสง จะมีตัวแปรระหว่างความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งไม่สามารถควบคุมตัวแปรตามธรรมชาติได้ การหาประสิทธิภาพมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งที่ศึกษา จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องมือบันทึกข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ มีความเที่ยงตรง จึงเลือกใช้เครื่องมือบันทึกข้อมูลแบบต่อเนื่อง Data Logger ยี่ห้อ KIPP & ZONEN รุ่น METEON 2.0 และเครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ยี่ห้อ KIPP & ZONEN รุ่น SMP3 ซึ่งนักวิจัยและห้องทดลองทั่วไปให้การ



ภาพที่ 1 ร่างต้นแบบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ยอมรับ ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ Thermocouple แบบ K จำนวน 6 ตัว โดยติดตั้งในตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้ ตำแหน่งภายนอกห่างจากตู้อบแห้งประมาณ 1 เมตร จำนวน 1 ตัว (T1) ติดตั้งทางเข้าท่ออุ่นอากาศ (T2) ติดตั้งที่ตำแหน่งกลางห้องสะสมความร้อนสูงจากแผ่นพื้นระนาบ 10 เซนติเมตร จำนวน 1 ตัว (T3) ติดตั้งที่ตำแหน่งกลางของชั้นวางผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชั้น สูงจากพื้นตะแกรง 10 เซนติเมตร จำนวน 3 ตัว (T4) จากนั้นเปิดพัดลมให้ทำงานพร้อมกับตั้งค่าการบันทึกข้อมูลทุก 5 นาที โดยศึกษาตัวแปรความเข้มข้นสีอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศภายนอกที่ส่งผลต่ออุณหภูมิภายในตู้อบแห้งกรณีตู้อบแห้งไม่มีปลา

2.3 ทดสอบประสิทธิภาพตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตปลาช่อนแดดเดียวโดยการทดสอบประสิทธิภาพร่วมกันระหว่างผู้วิจัยและชุมชนที่ศึกษา ประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งด้านความชื้นของปลาด้วยวิธีการเปรียบเทียบน้ำหนักของปลาก่อนและหลังการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยคำนวณร้อยละความชื้นมาตรฐานเปียกของผลิตภัณฑ์ (wet basis) จากสมการที่ (1)

$$Mw = (Ww - Wd)/Ww \times 100 \quad (1)$$

$$Mw = \text{ร้อยละความชื้นมาตรฐานเปียก (\%wb)}$$

$$Ww = \text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ก่อนอบ (กรัม)}$$

$$Wd = \text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์หลังอบ (กรัม)}$$



ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาข้อมูลกระบวนการผลิตปลาช่อนแดดเดียว

ผลการสังเคราะห์ข้อมูลจากการสัมภาษณ์แม่บ้านวิสาหกิจชุมชนกลุ่มแปรรูปอาหารจากปลาช่อน ตำบลบางพุทรา อำเภอเมือง จังหวัดสิงห์บุรี จำนวน 10 คน ดังตารางที่ 1

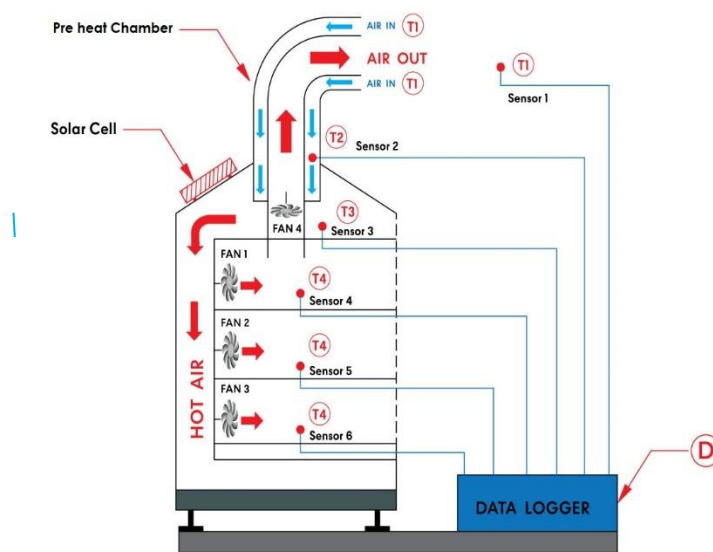
ตารางที่ 1 ผลการสังเคราะห์ข้อมูลจากการสัมภาษณ์กลุ่มแม่บ้านวิสาหกิจชุมชน

ประเด็นที่ศึกษา	สิ่งที่ค้นพบ	ข้อจำกัด
1. สถานที่ตากปลา	- การตากปลาช่อนในที่โล่ง - ใช้พื้นที่มาก ถ้าเพิ่มจำนวนแผงตากแห้งจะทำให้เพิ่มพื้นที่ปนเปื้อนมากขึ้น	- ทำให้มีปัญหาจาก นก มด แมลง - ฝุ่นละอองจากควันรถ ท่อไอเสีย
2. วัสดุอุปกรณ์การตากปลา	- ตะแกรงลวดตาข่ายขอบไม้	- น้ำหนักมากเคลื่อนย้ายลำบาก - ทำความสะอาดยาก - เป็นสนิม - ไม่สามารถบำรุงรักษาเองได้
3. ชนิดของปลา	- ปลาช่อน	- ปลาชนิดอื่นไม่เป็นที่นิยม
4. คุณสมบัติของปลา (ขนาด)	- ควรมีขนาด 3-4 ตัวต่อกิโลกรัม - ความหนาขนาดของปลา มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์	- ขนาดของปลาตัวโตแห้งยาก - ไม่อร่อย ลักษณะคล้ายปลาชะโด
5. ขั้นตอนการผลิตปลาแดดเดียว	- ต้องผ่านกระบวนการทำให้แห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	- แสงแดดไม่สม่ำเสมอในแต่ละวัน - ต้องมีการกลับปลา
6. ความชื้นหลังการตาก	- น้ำหนักปลาหลังจากการตากต้องลดลงร้อยละ 30	- ปลาเน่าเสีย หากแสงแดดไม่สม่ำเสมอ
7. รสชาติ	- เป็นรสชาติดั้งเดิมของชุมชน	- ขึ้นอยู่กับสูตรการหมักของชุมชน
8. พลังงาน	- ใช้แสงแดด และแก๊สหุงต้ม	- ทำให้เนื้อปลาแข็งไม่อร่อย - ต้นทุนการผลิตสูง
9. หลักการยศาสตร์	- ตู้อบและถาดวางปลา มีขนาดใหญ่	- น้ำหนักมาก ต้องใช้แรงงานหลายคน



2. ผลการออกแบบและสร้างตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

2.1 ผลการออกแบบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตปลาช่อนแดดเดียว โดยยึดหลัก 3 ฐาน (1) Locality Based แนวคิดพื้นฐานของชุมชน (2) Theory Based หลักวิชาทางวิศวกรรม และ (3) Research Based ทำให้ได้ร่างต้นแบบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วยโครงสร้างแบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ 1) ส่วนรับรังสีอาทิตย์ห้องสะสมความร้อน 2) ห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์และชั้นวางผลิตภัณฑ์ และ 3) ชุดบังคับอากาศร้อน แสดงรายละเอียดผังตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ ดังภาพที่ 2 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 2 ผังตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ

1) ส่วนรับรังสีอาทิตย์ห้องสะสมความร้อน (Solar Collector) ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บน Flat Plat Collector โดยอาศัยหลักการออกแบบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ให้ส่วนเก็บสะสมความร้อนเป็นส่วนโปร่งใส และมีแผ่นดูดความร้อนอยู่ภายใน โดยอากาศจากภายนอก (T1) จะไหลผ่านท่ออุ่นอากาศ (T2) โดยท่ออุ่นอากาศเป็นอุปกรณ์เสริม เพื่อทำให้อากาศภายนอกมีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนเข้าไปยังส่วนสะสมความร้อน (T3) โดยออกแบบเป็นท่อทางเดินอากาศซ้อนกันภายนอกจะพันผิวท่อเป็นสีดำให้รับรังสีอาทิตย์จากภายนอกทำให้อากาศร้อน ส่วนท่อภายในเป็นท่อทางอากาศร้อนที่ไหลออกจากตู้อบแห้งจากการพิจารณาอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าตู้อบแห้ง โดยใช้ท่ออุ่นอากาศความยาว 80 เซนติเมตร อุณหภูมิที่ไหลเข้าตู้อบแห้ง (T2) จะสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก 3-15 องศาเซลเซียส ตลอดการทดลองและอุณหภูมิอากาศที่ไหลออกจากตู้อบแห้งก็สูงกว่าอุณหภูมิภายนอก 10-15 องศาเซลเซียส โดยแปรตามความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา ความร้อนทั้งสองส่วนมีผลทำให้เกิดการแลกเปลี่ยน



ความร้อนในอุปกรณ์ที่อุ่นอากาศ จากนั้นอากาศร้อนจากภายในห้องสะสมความร้อนจะถูกดูดผ่านออกมาทางท่ออากาศร้อนและไหลผ่านไปยังห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์ (T4) ทางช่องจ่ายอากาศร้อน ซึ่งจะมีการบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของ T1, T2, T3 และ T4 โดยใช้เครื่องมือบันทึกข้อมูลแบบต่อเนื่อง Data Logger (D) เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ของความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิในส่วนต่าง ๆ ที่ศึกษา จากลักษณะและรูปแบบของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ออกแบบให้มีการอุ่นอากาศและส่วนสะสมความร้อน เป็นหลักาหน้าจั่วทั้งสี่ด้านทำให้สามารถรับรังสีอาทิตย์ได้ทุกด้าน โดยไม่จำเป็นต้องปรับทิศทางการรับรังสีตลอดทั้งวัน

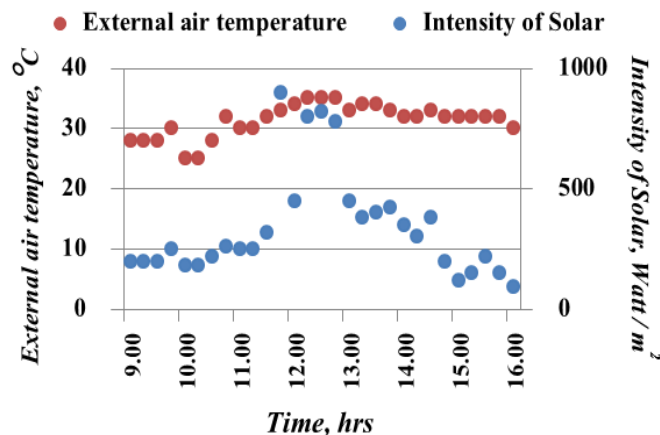
2) ห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์และชั้นวางผลิตภัณฑ์ (Tray-cabinet) วัสดุและอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการสร้างตู้อบแห้งที่ตอบสนองต่อความต้องการของชุมชน คือ มีน้ำหนักเบา ทนต่อการกัดกร่อน เคลื่อนย้ายสะดวกและบำรุงรักษาได้ด้วยตนเอง ตลอดจนสะดวกในการใช้งานตามหลักการยศาสตร์ ประกอบด้วย อะลูมิเนียมโครงสร้างขนาด 1.5 นิ้ว กำหนดความกว้างของชั้นวางผลิตภัณฑ์เป็น 120 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่สะดวกในการนำผลิตภัณฑ์เข้าออกเครื่องอบแห้งตามขนาดที่ชุมชนใช้กับการตากแห้งในรูปแบบเดิม และให้ความยาวเท่ากับความกว้าง 120 เซนติเมตร สอดคล้องกับการวางแผนการใช้วัสดุอะลูมิเนียมโครงสร้างในห้องอื่นและน้ำหนักรวมของชั้นวางผลิตภัณฑ์ที่สะดวกต่อการใช้งาน รวมถึงเป็นผลของการออกแบบให้ตู้อบแห้งรับรังสีอาทิตย์ได้ทุกทิศทางจึงออกแบบเป็นตู้สี่เหลี่ยมด้านเท่า เพื่อให้ความร้อนในการอบแห้งกระจายไปยังส่วนต่างๆ เท่ากัน

3) ชุดบังคับอากาศร้อน Hot Air Circulation System อาศัยแรงลมจากพัดลม (Fan) พัดความร้อนไปยังชั้นวางผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย พัดลมไฟฟ้า กระแสตรงขนาด 12 โวลต์ แบบ Brushless Motor มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดกว้าง 7 นิ้ว ใช้กำลังไฟฟ้า 3 วัตต์ อัตราการไหลของอากาศสูงสุด 56.9 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จำนวน 3 ตัว (FAN 1-3) และพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ แบบ Brushless Motor มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด กว้าง 3 นิ้ว ใช้กำลังไฟฟ้า 2 วัตต์ อัตราการไหลของอากาศสูงสุด 8.20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จำนวน 1 ตัว (FAN4) โดยใช้พลังงานไฟฟ้าโดยตรงจากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 16 โวลต์ 17 วัตต์ จำนวน 1 แผง เพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศร้อนภายในตู้อบ พัดลมไฟฟ้าจะหมุนเร็วเมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นและหมุนช้าลงเมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์ลดลง หลังจากออกแบบแล้ว ได้เตรียมการทดสอบประสิทธิภาพของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 2 ลักษณะ ได้แก่ ทดสอบตู้เปล่าไม่มีปลาช่อน และทดสอบการผลิตปลาช่อนแดดเดียว

2.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีตู้เปล่าไม่มี ปลาช่อน พบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศภายนอกส่งผลต่ออุณหภูมิภายในส่วนอบแห้ง ผลการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานจริงมีดังนี้

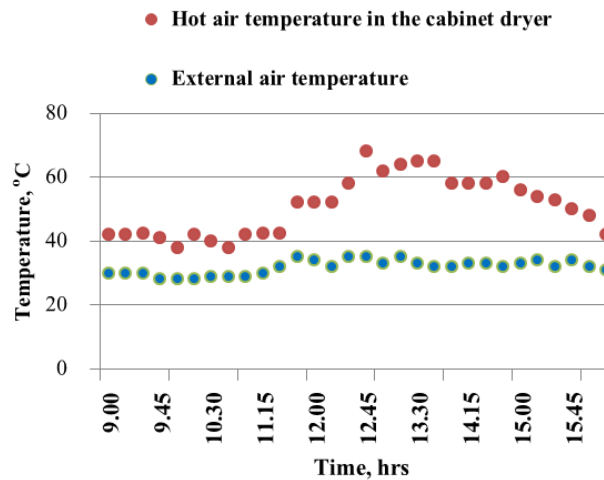


2.2.1 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศภายนอกในวันที่ศึกษา พบว่าเมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิอากาศภายนอกเพิ่มขึ้น และช่วงเวลา 12.00-13.00 น. เป็นเวลาที่มีความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดที่ 35 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 3



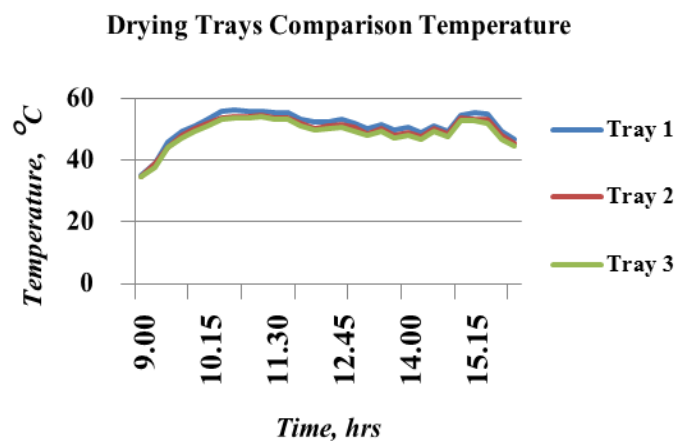
ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศภายนอก

2.2.2 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิความร้อนที่ถ่ายเข้าภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จากการตรวจวัดอุณหภูมิความร้อนของอากาศตามจุดต่าง ๆ 4 จุด ดังภาพที่ 2 พบว่าอุณหภูมิอากาศที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกมาก โดยอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยตลอดวันที่ทำการทดลอง (T1) มีค่า 32.54 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศที่อุณหภูมิร้อนก่อนไหลเข้าไปยังห้องสะสมความร้อนมีค่าเฉลี่ย (T2) 42.21 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 30 อากาศอุณหภูมิสูงขึ้น มีผลทำให้อุณหภูมิอากาศร้อนภายในห้องสะสมความร้อนมีค่าสูงขึ้นด้วยอุณหภูมิอากาศร้อนภายในห้องสะสมความร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ย (T3) 51.85 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศร้อนที่ถ่ายไปยังห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์ (T4) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 44.63 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกประมาณร้อยละ 37 การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศร้อนที่ถ่ายเข้าภายในห้องอบแห้งกับอุณหภูมิภายนอก เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 16.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลางานภายใน 1 วัน ดังแสดงภาพที่ 4



ภาพที่ 4 อุณหภูมิอากาศร้อนที่จ่ายเข้าภายในห้องอบแห้งเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก

2.2.3. ผลการตรวจวัดอุณหภูมิอากาศร้อนภายในห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์ในแต่ละชั้น เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 16.00 น. พบว่าการออกแบบการไหลของอากาศร้อนเข้าสู่ห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์ ทำให้อุณหภูมิในแต่ละชั้นที่วางผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน โดยมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 40 - 55 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 อุณหภูมิอากาศร้อนภายในห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์ในแต่ละชั้น

2.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตปลาช่อนแดดเดียว ผลการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานจริงร่วมกับแม่บ้านของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปอาหารจากปลาช่อน ตำบลบางพุทรา อำเภอเมือง จังหวัดสิงห์บุรี ดังแสดงในภาพที่ 6 โดยการนำปลาช่อนสดที่มีน้ำหนักตัวละ 250-350 กรัม จำนวน 60 ตัว มาแปรรูปเป็นร็วมักด้วยเครื่องปรุงรสหลายชนิดตามภูมิปัญญาดั้งเดิมของชาวบ้านไล่ชั้นละ 20 ตัว จำนวน 3 ชั้น น้ำหนักปลาช่อนสดเฉลี่ยรวม 20.00 ± 0.50 กิโลกรัม



ทำซ้ำ 3 ครั้ง พบว่าปลาช่อนสดที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งใช้เวลาการตากแห้งน้อยกว่าการตากแห้งแบบเดิมเป็นเวลา 2 ชั่วโมง น้ำหนักปลาช่อนหลังการอบแห้งเฉลี่ยของแต่ละชั้น ดังแสดงตารางที่ 2 จากนั้นคำนวณร้อยละความชื้นมาตรฐานเปียกของผลิตภัณฑ์ (wet basis) ตามสมการที่ 1 คิดเป็นร้อยละความชื้นลดลงเฉลี่ย 27.62 ± 1.16 (wb) ดังภาพที่ 6

ตารางที่ 2 น้ำหนักปลาช่อนที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ($n = 3$)

ชั้นบรรจุปลา	น้ำหนักปลาช่อนสดเฉลี่ย (กิโลกรัม)	น้ำหนักปลาช่อนหลัง การอบแห้งเฉลี่ย (กิโลกรัม)	ร้อยละความชื้น มาตรฐานเปียกเฉลี่ย
ชั้นบน	7.70 ± 1.51	5.51 ± 1.20	28.63 ± 1.52
ชั้นกลาง	6.50 ± 0.00	4.68 ± 0.08	27.95 ± 1.18
ชั้นล่าง	5.67 ± 1.44	4.17 ± 1.02	26.28 ± 1.90



ภาพที่ 6 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

อภิปรายผล

จากผลการใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการจัดการเทคโนโลยีการผลิตปลาช่อนแดดเดียว ร่วมกับชุมชน สามารถตอบสนองความต้องการของชุมชน คือยกระดับปลาช่อนแดดเดียวให้มีมาตรฐาน สะอาดและปลอดภัย มีคุณภาพตามความต้องการของผู้บริโภค ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ออกแบบให้เป็นแบบตู้อบลมร้อน มีแหล่งความร้อนแยกส่วนกับห้องอบแห้ง ทำให้การไหลของลมร้อนมีการกระจายตัวของอุณหภูมิได้ดี แม้การออกแบบเป็นชั้น ๆ อุณหภูมิสามารถกระจายตัวได้ทั่วถึง มีอุณหภูมิใกล้เคียงกันทุกชั้น ทำให้ไม่เกิดปรากฏการณ์ Hot Spot หรือเกิดบริเวณอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณอื่น สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งตามความต้องการได้เร็วกว่า การผึ่งแดดโดยวิธีธรรมชาติเป็นเวลา 2 ชั่วโมง สอดคล้อง



กับงานวิจัยของ Taikhao & Takhasap (2013) ที่ศึกษาลมร้อนในห้องอบแห้งโดยออกแบบให้มีพื้นที่สำหรับวางถาดผลิตภัณฑ์และติดตั้ง ส่วนทำความร้อนภายนอกส่วนห้องอบแห้ง และงานวิจัยของ Madhlopa และ Ngwalo (2007) ศึกษาการใช้พัดลมหรือ Hot Pump เพื่อทำให้ลมร้อนมีการเคลื่อนที่ให้อุณหภูมิในตู้อบแห้งทั่วถึงตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ สอดคล้องกับผลการศึกษาของเถลิงราช นิลเชื้อวงศ์ และคณะ (Ninchuewong, Ekphon, Tirawanichakul, & Tirawanichakul, 2012) พบว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนที่พาความร้อนแบบบังคับโดยมีพัดลมช่วยในการพาความร้อนจะมีอัตราการอบแห้งเร็วกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบธรรมชาติ และอุณหภูมิในส่วนอบแห้งที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 45 - 65 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่ออัตราการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ส่วนวัสดุที่ใช้สร้างผนังตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ผู้วิจัยเลือกใช้วัสดุแผ่นสโพลีคาร์บอเนต ซึ่งมีความสำคัญต่อผลการอบแห้งทำให้ตู้อบแห้งมีลักษณะเหมือนเรือนกระจกหรือ Greenhouse dryer สอดคล้องกับงานวิจัยของ Janjai (2012) ที่ออกแบบตู้อบแห้งแบบเรือนกระจก และใช้วัสดุโปร่งใสแผ่นสโพลีคาร์บอเนต จากการทดสอบประสิทธิภาพการใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับกลุ่มแม่บ้านวิสาหกิจชุมชนแปรรูปอาหาร ตำบลบางพุทรา อำเภอเมือง จังหวัดสิงห์บุรี โดยใช้ตัวอย่างปลาช่อนสดจากชุมชนผลิตปลาช่อนแดดเดียวพบว่าการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงเกิน 60 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์จะเป็นสีน้ำตาลไหม้เรียกว่า Browning reaction ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 45 – 55 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับงานวิจัย Aktas และคณะ (Aktas, Ilhan, & Yilmaz, 2009) Rathore และ Panwar (Rathore & Panwar, 2010) และ Lhendup (2005) ที่ศึกษาการอบแห้งผลิตผลจากการเกษตรพบว่าอุณหภูมิ ในส่วนอบแห้งที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 40-70 องศาเซลเซียส การใช้ความร้อนในการอบผลิตภัณฑ์ที่สูงเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์แข็งและแห้ง เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Case Hardening และการใช้เวลาอบแห้งนานเกินไป จะทำให้เกิดเชื้อรา การจัดการเทคโนโลยีให้แก่กลุ่มแม่บ้านวิสาหกิจชุมชนตำบลบางพุทรา อำเภอเมือง จังหวัดสิงห์บุรีในครั้งนี้ กลุ่มแม่บ้านวิสาหกิจชุมชนได้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการผลิตและจัดแสดงสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) ของจังหวัดสิงห์บุรี

สรุป

การใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการจัดการเทคโนโลยีการผลิตปลาช่อนแดดเดียวร่วมกับชุมชนสามารถตอบสนองความต้องการของชุมชนได้ โดยขนาดความกว้าง ความสูงของตู้อบแห้งคำนวณตามหลักการยศาสตร์คือให้สอดคล้องกับความสูงของผู้ใช้งานคือกลุ่มแม่บ้าน และมีหลักการทำงานที่สำคัญคือ อากาศจากภายนอกจะไหลผ่านท่ออุ่นอากาศ เพื่อเพิ่มอุณหภูมิก่อนผ่านเข้าไปภายใน



ห้องสะสมความร้อน และถูกดูดผ่านออกมาทางท่ออากาศร้อนและไหลผ่านไปยังห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางช่องจ่ายอากาศ โดยมีชุดบังคับอากาศร้อนที่อาศัยแรงลมจากพัดลมพาความร้อนไปยังชั้นวางผลิตภัณฑ์โดยใช้พลังงานไฟฟ้าโดยตรงจากแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศร้อนภายในตู้อบ อัตราการหมุนของพัดลมไฟฟ้าขึ้นกับความเข้มรังสีอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิเกิดสภาวะการอบแห้งแบบต่อเนื่องนั่นคืออุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกเสมอถึงแม้ว่าแสงอาทิตย์จะถูกบดบัง ซึ่งสามารถจ่ายลมร้อนสู่ห้องอบแห้งปลาช่อนสดในช่วงอุณหภูมิ 40-55 องศาเซลเซียส ทำให้ปลาช่อนหลังการอบแห้งเป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีปริมาณความชื้นลดลงเฉลี่ยร้อยละ 27 (wb)

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาเผยแพร่การใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์กับผลิตภัณฑ์สินค้าทางการเกษตรชนิดอื่นภายในประเทศเพื่อให้เกิดการยอมรับเป็นแนวทางในการยกระดับสินค้าของวิสาหกิจชุมชนและเป็นพลังงานทางเลือกที่ควรส่งเสริมสนับสนุนต่อยอดในการวิจัยต่อไป

รายการอ้างอิง (References)

- Aktas, M., Ilhan, C., & Yilmaz, S. (2009). Determination of drying characteristics of apples in a heat pump and solar dryer. *Desalination*, 239(1-3), 266–275.
- Bureau of Alternative Energy Development and Efficiency. (2014). *Handbook of Solar Drying*. Department of Alternative Energy Development and Efficiency. Ministry of Energy and Science Program in Physics Silpakorn University.
- Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid entire body assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31, 201-205.
- Homchad, K. (2018). Performance evaluation of a combined solar and biomass drying system. *Engineering Journal of Research and Development*, 29(3), 61-74. (in Thai).
- Janjai, S. (2012). A greenhouse type solar dryer for small-scale dried food industries: Development and dissemination. *International Journal of Energy and Environment*, 3(3), 383-398.
- Niyomvas, S, W., B., & Thaikul, A. (2018). Experimental study on drying conditions of solar controlled by open-closed ventilating system. *The Journal of KMUTNB*, 28(3), 525-536. (in Thai).



- Lhendup, T. (2005). Technical and financial feasibility of a solar dryer in Bhutan. *Energy for Sustainable Development*, 9(4), 17-24.
- Madhlopa, A., & Ngwalo, G. (2007). Solar dryer with thermal storage and biomass-backup heater. *Solar Energy*, 81(4), 449-462.
- McAtamney, L., & Nigel Corlett, E. (1993). RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24(2), 91-99.
- Ninchuewong, T., Ekphon, A., Tirawanichakul, S., & Tirawanichakul, Y. (2012). Drying of air dried sheet rubber using hot air dryer and solar dryer for small entrepreneurs and small rubber cooperatives. *Burapha Science Journal*, 17(2), 50-59. (in Thai)
- Rathore, N.S., & Panwar, N.L. (2010). Experimental studies on hemi cylindrical walk-in type solar tunnel dryer for grape drying. *Applied Energy*, 87(8), 2764-2767.
- Safety and Health at Work Promotion Association (Thailand). (2009). *Ergonomics*, Retrieved from http://www.shawpat.or.th/index.php?option=com_content&view=category&id=50&Itemid=204 20 June. (in Thai).
- Singsorn, N., Thapo, R., & Wetchakul K. (2014). *Solar oven made from polycarbonate sheets. Rajabhat Agriculture Journal*, 13(1), 47-52. (in Thai).
- Taikhao, A., & Takhasap, S. (2013). Natural convection and forced convection solar dryers. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 7(1), 23-31. (in Thai).
- Taikhao, A., & Theekhasub, S. (2016). Solar dryer types of natural convection and forced convection type. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 7(1), 23-31. (in Thai).