

# เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบไฮบริดแบบมีระบบแจ้งเตือน

## Hybrid Solar Power Dryer with Alarm System

พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ<sup>1</sup>

Pongsawat Kotchapoom<sup>1</sup>

<sup>1</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

<sup>1</sup>School of Engineering, Eastern Asia University

Received: January 5, 2022

Revised: February 21, 2022

Accepted: February 28, 2022

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ประยุกต์ใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาทำงานร่วมกับพลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์เพื่อช่วยเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง เมื่อค่า Water activity ต่ำกว่า 85% ของน้ำหนักของปลา โดยใช้อุปกรณ์ซึ่งน้ำหนัก Arduino load cell ทำหน้าที่ส่งสัญญาณแจ้งเตือนเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการผลิต โครงสร้างของเครื่องประกอบด้วยแผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 550 W ฮีตเตอร์ขนาด 300 W Arduino load cell เครื่องควบคุมความชื้นและควบคุมอุณหภูมิ มีกำลังการผลิต 4 kg/ครั้ง การทดสอบจะใช้ปลาตากเป็นวัตถุดิบและใช้อุณหภูมิระหว่าง 50-60 °C โดยแบ่งการทดสอบวิธีการผลิต 3 รูปแบบ จากการทดสอบพบว่า การตากแบบธรรมชาติ ใช้ระยะเวลาในการผลิต 5 hr/ครั้ง ซึ่งการตากโดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้ระยะเวลาในการผลิต 3.5 hr/ครั้ง และการตากในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับโซลาร์เซลล์ใช้ระยะเวลาในการผลิต 3 hr/ครั้ง การอบปลาตากแดดเดียวโดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับโซลาร์เซลล์ใช้ระยะเวลาในการผลิตน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีจุดคุ้มทุนมากที่สุด

**คำสำคัญ:** เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ปลาแดดเดียว โซลาร์เซลล์

## Abstract

This research presents the development of a solar dryer that combines solar heat energy with heat energy from a heater to increase the drying temperature when the water activity value is less than 85% of the fish weight. By using an Arduino load cell weighing device, it sends an alarm signal when the production process is complete. The structure of the machine consists of a 550 W solar panel, a 300 W heater, an Arduino load cell, and a humidity and temperature controller. The capacity is 4 kg/time. The test will use sun-dried fish as raw material and employ temperatures between 50-60 °C divided into three production testing methods. From the test, it was found that natural drying. The production time is 5 hrs/time, drying by solar dryer takes 3.5 hrs/time and drying in a solar dryer with a solar cell takes 3 hrs./ production time. In summary, drying sun-dried catfish with a solar dryer combined with solar cells takes the least production time. However, solar dryers have the most break-even point.

**Keyword:** solar power dryer, sun-dried fish, solar cells



## บทนำ

อาหารเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน การบริโภคอาหารของคนในประเทศไทยมีความหลากหลายและ เป็นไปตามวัฒนธรรมการกินของแต่ละภาคชุมชน ซึ่ง มีการพัฒนารูปแบบของอาหาร กระบวนการผลิต รวมไปถึงวิธีการเก็บรักษาอาหารให้สามารถ รับประทาน ต่อเนื่องเป็นเวลานานซึ่ง เรียก กระบวนการนี้ว่า การถนอมอาหารจากการทำให้แห้ง วิธีการที่นิยมใช้โดยการนำเอาผัก ผลไม้หรือเนื้อสัตว์ที่ต้องการทำให้แห้งจากการตากแดดนั้นอาจจะไม่ถูกสุขลักษณะมีการปนเปื้อนจากฝุ่นละอองและเชื้อโรคที่ติดมากับแมลงซึ่งเป็นอันตรายอย่างมากกับผู้บริโภค จึงได้นำเทคนิคการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานความร้อนมาช่วยเพื่อลดเวลาในการอบแห้งที่ใช้เวลานานและปัญหาที่ทำให้เกิดเชื้อโรค เนื่องจากผลิตภัณฑ์จะอยู่ภายในตู้ที่ปิดมิดชิด ส่วนคุณค่าของสารอาหารหลังการอบแห้งก็ยังคงเดิมและสะอาดถูกสุขลักษณะ (Srisittipokakun, 2005) ต่อมา การตากแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีการพัฒนา โดยใช้พลังงานร่วมกับพลังงานอื่น ๆ เช่น Yaibok, Phethuayluk, WeawSak, Mani and Buaphet (2010) ได้ศึกษาการ

อบแห้งปลาด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้าไฟฟ้า เพื่อต้องการพัฒนากระบวนการผลิตปลาแห้ง อนามัยภายใต้สภาพภูมิอากาศทางภาคใต้ของประเทศไทย โดยออกแบบเครื่องอบแห้ง ที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์พลังงานหลักและพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเสริมประกอบด้วย ตู้อบชนิดโปร่งแสง แผงรับรังสีอาทิตย์มีขนาด 4.08 m<sup>2</sup> ขดลวดไฟฟ้าสำหรับทำความร้อนขนาด 800 W จำนวน 2 ชุด มีความจุของปลาที่ใช้อบ ได้ 50 kg จากการทดลองอบแห้งปลา 2 ชนิด คือ ปลาช่อนและปลาดุกโดยให้อุณหภูมิในห้อบแห้ง 40°C 50°C และ 60°C พบว่าการอบแห้งปลาช่อนแบบใช้พลังงานร่วมแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 60°C มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งน้อย สุดเท่ากับ 42.57 MJ/kgH<sub>2</sub>O<sub>evap</sub> และมีประสิทธิภาพในการอบแห้ง 5.54% ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 6 hr ส่วนการอบแห้งปลาดุกด้วยพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 50°C มีการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ในการอบแห้งน้อยที่สุดคือเท่ากับ 80.02 MJ/kgH<sub>2</sub>O<sub>evap</sub> และมีประสิทธิภาพในการอบแห้ง 2.98% และใช้ระยะเวลาการอบแห้ง 8 hr จากนั้น Pathanibul and Arpornwichanop (2014)

ได้ทำการศึกษาการอบแห้งปลาเกล็ดด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานไฟฟ้า เพื่อต้องการทำกระบวนการผลิตปลาเกล็ดแห้งอนามัย การออกแบบเครื่องอบแห้งประกอบด้วยตู้อบชนิดทึบใช้หลอดอินฟราเรดสำหรับให้ความร้อนขนาด 500 W จำนวน 4 หลอด ทำการทดลองอบแห้งโดยควบคุม อุณหภูมิแบบพีไอดีในตู้อบที่ 50°C 60°C และ 70°C พบว่า การอบแห้งปลาเกล็ดแบบควบคุมอุณหภูมิที่ 70°C มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบน้อยที่สุดเท่ากับ 300 MJ/kg H<sub>2</sub>O<sub>eva</sub> โดยที่ยังคงได้ค่าความชื้นมาตรฐาน แห้งทั่วไปประมาณ 20–30%db และมีประสิทธิภาพในการ อบแห้ง 1.2% โดยใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 4 hr ทั้งนี้ยังคงได้คุณภาพปลาเกล็ดอบแห้งที่เนื้อและสีของปลา ใกล้เคียงกับที่มีวางจำหน่ายตามท้องตลาด

จากสภาพเหตุผลข้างต้น ผู้วิจัยจึงพัฒนาตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ร่วมกับพลังงานความร้อน โดยการใช้แผงโซลาร์เซลล์เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับ Heater เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตปลาตากแดดเดียว ลดการปนเปื้อนจากฝุ่นละอองและเชื้อโรค สะอาดถูกสุขลักษณะ ลดระยะเวลาในการผลิต และควบคุมคุณภาพการผลิตโดยใช้ Load cell วัดน้ำหนักความชื้นที่สูญเสียในเนื้อปลา ตามมาตรฐานปลาตากแดดเดียวจะเสียความชื้น ไม่เกินร้อยละ 85 โดยน้ำหนัก และมีระบบแจ้งเตือนเมื่อกระบวนการผลิตเสร็จสิ้น

## วัตถุประสงค์

1. พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบทรงโดม ที่ทำงานร่วมกับระบบโซลาร์เซลล์ และมีระบบแจ้งเตือนเมื่อกระบวนการผลิตเสร็จ
2. ทดสอบการทำงานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และลักษณะทางกายภาพของปลาตากแดดเดียว เปรียบเทียบกับการตากแห้งแบบธรรมชาติ
3. เพื่อลดระยะเวลาในการผลิตปลาตากแดดเดียว

## ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### การอบแห้ง

กระบวนการอบแห้ง (Mujumdar & Devahastin, 1997) คือ กระบวนการลดความชื้น โดยส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยัง วัสดุที่ชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดย

การระเหย โดยใช้ อาศัยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหยโดยปกติจะใช้ความชื้นเป็นตัวบ่งบอกปริมาณของน้ำที่อยู่ในวัสดุ (Prasertying, 2019) การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ปัจจุบันมีการ ใช้งาน 3 ลักษณะ คือ

1. การอบแห้งระบบ Passive คือ ระบบที่เครื่องอบแห้งทำงานโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ และกระแสลมที่พัดผ่าน

2. การอบแห้งระบบ Active คือ ระบบอบแห้งที่มีเครื่องช่วยให้อากาศไหลเวียนในทิศทางที่ต้องการ เช่น จะมีพัดลมติดตั้งในระบบเพื่อบังคับให้มีการไหล ของอากาศผ่านระบบพัดลมจะดูดอากาศจาก ภายนอกให้ไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อรับความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ อากาศร้อนที่ไหลผ่าน พัดลมและห้องอบแห้งจะมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าความชื้นของพืชผล จึงพาความชื้นจากพืชผลออกสู่ ภายนอกทำให้พืชผลที่อบไว้แห้งได้

3. การอบแห้งระบบ Hybrid คือ ระบบอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และยังต้องอาศัย พลังงานในรูปแบบอื่น ๆ ช่วยในเวลาที่มีแสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอหรือต้องการให้ผลิตผลทางการเกษตร แห้งเร็วขึ้น เช่น ใช้ร่วมกับพลังงาน เชื้อเพลิงจากชีวมวล พลังงานไฟฟ้า วัสดุอบแห้งจะได้รับ ความร้อน จากอากาศร้อนที่ผ่านเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ และการหมุนเวียนของอากาศจะอาศัยพัดลมหรือเครื่องดูดอากาศช่วย (Nilnon & Pitakwinai, 2013; Borirak, Kotchapoom, Pooyoo & Sathienrungrasit, 2021)

ค่า Water activity เป็นปัจจัยที่สำคัญใน การควบคุม และป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ อาหาร จึงมีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บ รักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากค่า Water activity เป็นปัจจัยที่ชี้ระดับ ปริมาณน้ำต่ำสุดในอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ เรา สามารถใช้ค่า Water activity ในการประเมินว่า เชื้อ จุลินทรีย์ชนิดใดเป็นหรือไม่เป็นสาเหตุที่ทำให้ อาหารเสีย ตลอดจนใช้ในการควบคุมและป้องกัน การเสื่อมเสียของ อาหารที่เกิดขึ้นจากเชื้อจุลินทรีย์ได้ เพราะเชื้อจุลินทรีย์จะ เจริญเติบโตได้ภายใต้ค่า Water activity ที่จำกัด โดยเรา จะทำให้อาหารมีค่า Water activity ต่ำกว่าที่เชื้อจุลินทรีย์ จะเจริญเติบโตได้ ตัวอย่างเช่น แบคทีเรียเกือบทุกชนิดไม่

สามารถ เจริญเติบโตได้ที่ค่า Water activity ต่ำกว่า 0.9 และราส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโตที่ค่า Water activity ต่ำกว่า 0.7

การจำแนกตามค่าแอกติวิตีของน้ำ (water activity) สามารถแบ่งอาหารตามค่า Water activity ออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้ (Community Product Standards Subcommittee, 2004)

1. อาหารสด (fresh food) เป็นอาหารที่เน่าเสียง่าย (perishable food) ที่มีค่า Water activity มากกว่า 0.85 เช่น เนื้อสัตว์ ผัก ผลไม้ อาหารทะเล

2. อาหารกึ่งแห้ง (intermediate moisture food) หมายถึง อาหารที่มีค่า Water activity ระหว่าง 0.6-0.85 เช่น นมข้นหวาน ผลไม้แช่อิ่ม กุ้ง ปู รังรส

3. อาหารแห้ง (dried food) หมายถึงอาหารที่มีค่า Water activity น้อยกว่า 0.6 เช่น นมผง ผัก ผลไม้ อบแห้ง กุ้งแห้ง น้ำผลไม้ผง หมูหยอง (Janjai, 2017)

#### มาตรฐานปลาแดดเดียว ผลิตภัณฑ์ชุมชน (มพข. 298/2549)

1. ปลาแดดเดียว หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำปลาสดทั้งตัวหรือที่ได้ตัดแต่งแล้ว เช่น ปลาช่อน ปลาสลิด มาล้างให้สะอาดอาจปรุงรส ด้วยเครื่องปรุงรส เครื่องเทศหรือสมุนไพร เช่น น้ำตาล น้ำปลา เกลือ ซีอิ๊วขาว กระเทียม รากผักชี พริกไทยผงพะโล้หมักให้เข้ากัน นำไปทำให้แห้งพองมาดโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์หรือแหล่งพลังงานอื่น ก่อนบริโภคต้องนำไปทำให้สุก

2. คุณลักษณะที่ต้องการวอเตอร์แอกติวิตี (water activity) ต้องไม่ เกิน 0.85 Water activity เป็นปัจจัยสำคัญในการคาดคะเนอายุการเก็บรักษาอาหารและเป็นตัวบ่งชี้ความปลอดภัยของอาหารโดยทำหน้าที่ควบคุมการอยู่รอด การเจริญ และการสร้างสารพิษของจุลินทรีย์

#### ผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการอบแห้ง

1. อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง ถ้าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าสูง อัตราการแห้ง (drying rate) จะมีค่าสูงกว่าการหนีของอากาศที่มี อุณหภูมิต่ำ (Srisawas & Jittham, 2016)

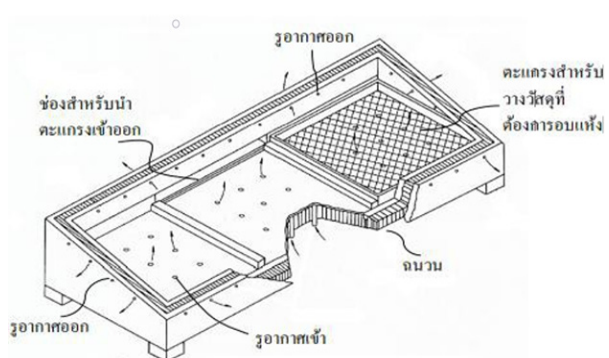
2. ความชื้นสัมพัทธ์ อากาศที่มีความชื้น สัมพัทธ์ต่ำจะสามารถรับความชื้นที่ถ่ายเทจากวัตถุดิบมากกว่ากรณีที่อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูง

3. ความเร็วอากาศที่ไหลผ่านวัตถุดิบ ถ้า ความเร็วอากาศมีค่าสูงความชื้นจากวัตถุดิบจะถ่ายเท ออกมาสู่อากาศได้ดีกว่ากรณีอากาศที่อยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ แต่ผลดังกล่าวจะมีค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับผลจากอุณหภูมิและความชื้น สัมพัทธ์ของอากาศ (Community Product Standards Subcommittee. 2004)

ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า Water activity ที่ 0.7 เนื่องจากเชื้อราโดยส่วนมากจะหยุด การเจริญเติบโตที่ค่า Water activity ต่ำกว่า 0.7

#### ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้อบแห้งด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ หลักการ คือ แสงอาทิตย์ส่อง ผ่านเข้าไปในตู้ (ซึ่งประกอบจากกระจกหรือโพลีคาร์บอเนต) เมื่อแสงแดดผ่านเข้าตู้จะทำให้อุณหภูมิภายในสูงขึ้น เกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังวัตถุดิบที่ ต้องการอบแห้ง (อาจเป็นผลไม้หรืออาหารต่าง ๆ) น้ำที่ระเหยจากวัตถุดิบจะลอยตัวและไหลออกอากาศเย็น จะไหลเข้ามาแทนที่ที่เกิดการหมุนเวียนภายใน หากทำระบบใหญ่อาจเรียกว่า โรงอบ และปกติวัสดุที่ใช้ทำประกอบด้วย กระจกหรือโพลีคาร์บอเนต (Hongchan et. al., 2014) ดังแสดงในภาพ 1

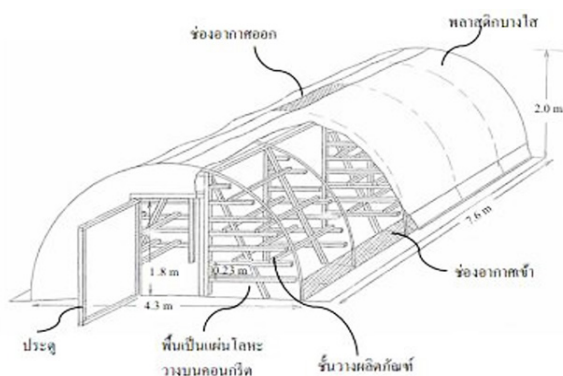


ภาพ 1 ลักษณะของตะแกรงอบแห้ง แบบตู้

Note. From “Solar-energy drying systems: A review”, by A. Sharma, C. R. Chen, and N. Vu Lan, 2009, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7), 1185-1210. Copyright 2009 by Elsevier

1. เครื่องอบแห้งแบบตู้ (cabinet dryer) (Sharma et. al., 2009) เครื่องอบแห้งแบบนี้มีลักษณะเป็นตู้ซึ่งมีพื้นที่ฐานเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้านบนปิดด้วยกระจกซึ่งเอียงทำมุมกับระนาบภายในเครื่องอบแห้งจะมีตะแกรงสำหรับวางผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบแห้ง ผงด้านหลังและด้านข้างมีรูสำหรับให้อากาศไหลออก พื้นด้านล่างมีรูสำหรับให้อากาศไหลเข้า และด้านหลังมีช่องสำหรับนำผลิตภัณฑ์เข้าและออกจากเครื่องอบแห้ง

ในการใช้งานผู้ใช้จะนำวัสดุที่ต้องการอบแห้งวางบนตะแกรงภายในเครื่องอบแห้งรังสีอาทิตย์จะส่องผ่านแผ่นกระจกด้านบนไปตกกระทบ ผลิตภัณฑ์และผงด้านในของเครื่องอบแห้งทำให้ ผลิตภัณฑ์และอากาศภายในเครื่องอบแห้งมีอุณหภูมิสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์จะได้รับความร้อนภายในเครื่องอบแห้งทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยออกมาและถูกอากาศที่ไหลจากการพาความร้อนตามธรรมชาติจากด้านล่างของเครื่องอบแห้งนำความชื้นผ่านทางรูอากาศออกด้านหลังและด้านข้างไปสู่อากาศแวดล้อม โดยทั่วไปเครื่องอบแห้งนี้สามารถอบแห้งผักหรือผลไม้สดได้ ครั้งละประมาณ 5-10 kg ดังแสดงในภาพ 2



ภาพ 2 เครื่องอบแห้งแบบโดมที่ใช้การไหลเวียนของ อากาศตามธรรมชาติ

Note. From “Experimental studies on hemi cylindrical walk-in type solar tunnel dryer for grape drying”, by N. S. Rathore, and N. L. Panwar, 2010, *Applied Energy*, 87(8), 2764-2767. Copyright by Elsevier

2. เครื่องอบแห้งแบบโดมที่ใช้การไหลเวียนอากาศตามธรรมชาติ (natural circulation solar dome dryer) (Rathore et. al., 2010) เครื่องอบแห้งนี้มีลักษณะเป็นเรือนกระจก (greenhouse) หลังคาโค้งครึ่งวงกลมปิดด้วยพลาสติกบางใส ด้านบนมีช่องเปิดให้อากาศออก และด้านล่างติดกับ พื้นมีช่องเปิดให้อากาศเข้า ภายในมีชั้นวางผลิตภัณฑ์

ดังนั้นจึงเลือกใช้เครื่องอบแห้งแบบทรงโดมเพราะทำให้อากาศไหลเวียนภายในตู้ได้ดีกว่าแบบอื่น ง่ายต่อการใช้งานการแปรรูปผลผลิตทาง เกษตรทั้งประเภทผลไม้และเนื้อสัตว์

## โซลาร์เซลล์

คือการนำเอาโซลาร์เซลล์จำนวนหลาย ๆ เซลล์ มาต่อวงจรรวมกัน อยู่ในแผงเดียวกัน เพื่อที่จะทำให้สามารถผลิตและจ่ายกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้น โดยไฟฟ้าที่ได้นั้นเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) (Toawjan, Somtai, Jadrapong & Naroyee, 2016). ชนิดของโซลาร์เซลล์มี 3 รูปแบบหลัก ๆ ได้แก่

1. แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline Silicon Solar Cells) เป็นแผงโซลาร์เซลล์ชนิดที่ทำมาจากผลึกซิลิคอนเชิงเดี่ยว (mono-Si) หรือบางทีก็เรียกว่า single crystalline (single-Si) โนซิลิคอนลงก่อนที่ จะนำมาตัดเป็นแผ่นอีกที ดังแสดงในภาพ 3

2. แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline Silicon Solar Cells) แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ เป็นแผงโซลาร์เซลล์ชนิดแรก ที่ทำมาจากผลึกซิลิคอน โดยทั่วไป เรียกว่า โพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline, p-Si) แต่บางครั้งก็เรียกว่า มัลติ-คริสตัลไลน์ (Multi-crystalline, mc-Si) ดังแสดงในภาพ 4

3. แผงโซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบาง (thin film solar cells) หลักการโดยทั่วไปของการผลิตโซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cell--TFSC) คือ การนำเอาสารที่สามารถแปลงพลังงานจากแสงเป็นกระแสไฟฟ้ามาฉาบเป็นฟิล์มบาง ๆ ซ้อนกันหลาย ๆ ชั้น จึงเรียกโซลาร์เซลล์ชนิดนี้ว่า ฟิล์มบาง หรือ thin film ดังแสดงในภาพ 5



ภาพ 3 แสดงแผงโซลาร์เซลล์โมโนคริสตัลไลน์



ภาพ 4 แสดงแผงโซลาร์เซลล์โพลีคริสตัลไลน์



ภาพ 5 แสดงแผงโซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบาง

ดังนั้นจึงเลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ เพราะมีประสิทธิภาพในการใช้งานในที่อุณหภูมิสูงกว่าชนิดโมโนคริสตัลไลน์ และมีราคาถูกกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโมโนคริสตัลไลน์

### ฮีตเตอร์ PTC

เครื่องทำความร้อน PTC มีส่วนประกอบทำความร้อน เซรามิก PTC และชิ้นส่วนอลูมิเนียม ประกอบด้วย แผ่นเหล็กชุบสังกะสี แผ่นสแตนเลส แผ่นลูกฟูก ครอบอลูมิเนียม ชั้นเดียว ชิ้นส่วนความร้อน PTC ครอบอลูมิเนียมคู่ นิกเกิล อิเล็กโทรดขั้วลบ และปลอกไฟฟ้าพลาสติก การนำอุณหภูมิ ความร้อน การกระจายความร้อนที่ดีมีประสิทธิภาพสูง ปลอดภัย เครื่องทำความร้อนประเภท PTC มีข้อดี คือ มีขนาดเล็ก มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูง และหนึ่งในคุณลักษณะที่โดดเด่นคือประสิทธิภาพด้าน

ความปลอดภัยซึ่งกรณีความผิดพลาดของพัดลมหยุดหมุน (TJ-Temp, 2014) ดังแสดงในภาพ 6

โหลดเซลล์คือเซนเซอร์ที่สามารถแปลง ค่าแรงกด หรือ แรงดึง เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้ เหมาะสำหรับการทดสอบ คุณสมบัติทางกลของ ชิ้นงาน (mechanical properties of parts) โหลด เซลล์ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท ได้แก่ การชั่งน้ำหนัก การทดสอบแรงกด ของชิ้นงาน การทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงาน

โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ (Strain Gauge load cell) หลักการของโหลดเซลล์ประเภทนี้ก็คือ เมื่อมีน้ำหนัก มากระทำ ความเครียด (strain) จะเปลี่ยนเป็นความต้านทาน ทางไฟฟ้าในสัดส่วน โดยตรงกับแรงที่มากระทำ ปกติแล้ว มักจะใช้เกจวัด ความเครียด 4 ตัว (wheatstone bridge circuit) ในการวัดโดยเกจตัวต้านทานทั้งสี่จะ เชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อใช้แปลงแรงที่กระทำกับตัว ของมันไม่ว่าจะเป็นแรงกดหรือแรงดึงส่งสัญญาณออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า (Tagimnok, 2020)

เลือกใช้ Load cell Arduino 0-50 kg เป็น โหลด เซลล์แบบสเตรนเกจ วัดน้ำหนัก-แรงกด ดังแสดงในภาพ 7



ภาพ 6 ฮีตเตอร์ PTC



ภาพ 7 Load cell Arduino 0-50 kg

Note. From “Load cell arduino 0-50 kg”, by howto-wp.com., 2020, retrieved from <https://bit.ly/3ucAyg8>

## การออกแบบและพัฒนา

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบไฮบริดแบบมีระบบแจ้งเตือนมีหลักการทำงานดังแสดงในภาพ 8

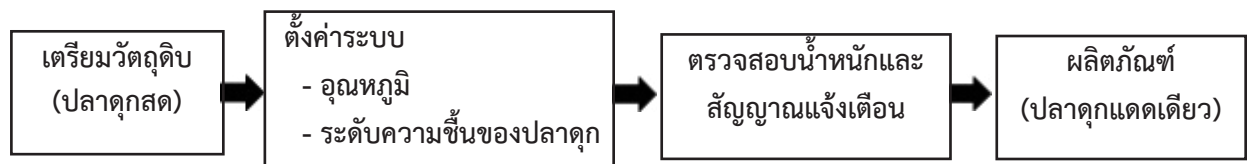
## การออกแบบโครงสร้าง

1. ออกแบบสร้างฐานเพิ่มในเครื่องอบแห้ง ขนาด 90x120x100 cm เพื่อรองรับการผลิตปลาตากแดดเดียว ครั้งละไม่เกิน 4 กิโลกรัม และออกแบบสร้างคานในการวางฐานยกระดับขึ้นมา 21 cm โดยจะใช้ฐานล่างในการวาง load

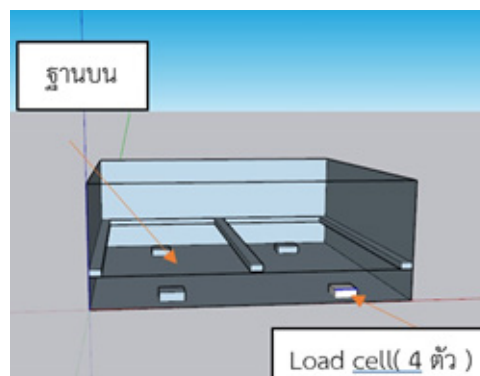
cell และฐานบนเป็นพื้นที่ในการอบปลาตาก (Kuanpradit, Kunchorrat & Tavattana, 2013)

## การออกแบบติดตั้ง Load Cell

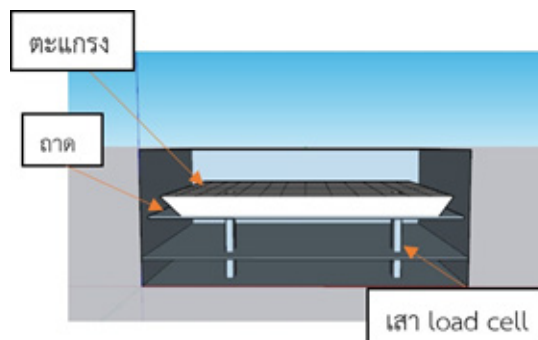
การออกแบบติดตั้ง Load Cell จะติดตั้ง load cell วางอยู่บนฐานล่าง โดยฐานของ load cell จะมีเครื่องชั่ง 4 แท่ง เจาะทะลุฐานบนแล้ว ทำฐานวางถาดและตะแกรงในการวัดน้ำหนักปลาตาก (Borirak, 2018) ดังแสดงในภาพ 9 และ 10



ภาพ 8 ไดอะแกรมการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพ 9 ลักษณะการวาง Load Cell



ภาพ 10 ภาพโดยรวมการจัดวางภายในตู้

การออกแบบติดตั้งฮีตเตอร์ การหาความร้อนที่ใช้ใน  
ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

$$Q = mc\Delta T \quad (1)$$

เมื่อ  $Q$  = พลังงานความร้อน (kJ)  
 $m$  = มวลของอากาศในตู้อบ (kg)  
 $c$  = ค่าความจุความร้อนของอากาศ (1kJ/kg.K)  
 $\Delta T$  = อุณหภูมิที่ต้องการ (K)

หามวลของอากาศในตู้อบขนาด 90x120x100 cm หา  
 ปริมาตรของตู้อบ =  $0.9 \times 1.2 \times 1$   
 $= 1.08 \text{ m}^3$

หามวลของอากาศในตู้อบ  
 ความหนาแน่นของอากาศแห้งเท่ากับ  $1.2 \text{ kg/m}^3$  จะได้  
 ปริมาตร  
 $= 1.08 \times 1.2$   
 $= 1.296 \text{ kg}$

หาพลังงานความร้อนที่อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  โดย อุณหภูมิเริ่มต้น  
 คือ  $50^\circ\text{C}$  โดยแปลงหน่วยองศา เซลเซียสเป็นหน่วยเคลวิน  
 $= 1.296 \times 1 \times (333.15 - 323.15)$   
 $= 12.96 \text{ kJ}$

เพิ่มความร้อนภายใน 1 นาที  
 $= (12.96 \times 10^3) / 60$   
 $= 216 \text{ W}$

จะได้กำลัง ไฟฟ้าของฮีตเตอร์ 216 W

ดังนั้น กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์ 216 W เลือกใช้  
 ฮีตเตอร์ขนาด 150 W 24 V 10 A (จำนวน 2 ตัว) เท่ากับ  
 300 W พร้อมพัดลมกระจายความร้อน ติดตั้งในตัว  
 การคำนวณหา กำลังไฟฟ้ารวมที่ใช้กับแผงโซลาร์ เซลล์

พลังงานรวมที่ใช้ทั้งหมด คำนวณโดยการหา  
 กระแสของชุด control และชุด Load

$$P = VI \quad (2)$$

เมื่อ  $P$  = ค่ากำลังไฟฟ้า (W)  
 $V$  = ค่าแรงดันไฟฟ้า (V)  
 $I$  = กระแสไฟฟ้า (A)

โดย ชุด Control และ ชุด Load มี ดังนี้  
 - อุปกรณ์ควบคุมความชื้น 2 A, 24 V, 48 W  
 - อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ 2 A, 24 V, 48 W  
 - ฮีตเตอร์พร้อมพัดลมกระจายความร้อน 2 ตัว  
 10.4 A, 24 V, 249.6 W  
 - พัดลมดูดความชื้น 2 ตัว 0.08 A, 24 V, 1.92 W  
 - Arduino LoadCell 0.04 A, 5 V, 0.2 W  
 ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าของชุด control และชุด  
 Load รวมกันจะได้  
 $= 48 + 48 + 249.6 + 1.92 + 0.2$   
 $= 347.72 \text{ W}$

กำลังไฟฟ้ารวมทั้งหมดที่ใช้คือ 347.72 W และมี  
 การเผื่อการใช้งานที่ 25% ซึ่งจะมีกำลังไฟฟ้า รวม 434.65  
 W จึงเลือกใช้แผงขนาด 275 W จำนวน 2 แผง ซึ่งได้กำลัง  
 ไฟฟ้ารวม 550 W ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการที่ใช้

### การคำนวณหาขนาดชาร์จเจอร์

คำนวณหาขนาดกำลังไฟฟ้าของชาร์จเจอร์แบบ  
 MPPT--Maximum Power Point Tracking เพื่อควบคุม  
 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลด

$$P_{\text{charger}} \geq 1.25 \times P_{\text{vs}} \times N_{\text{Pv\_max}} \quad (3)$$

เมื่อ  $P_{\text{charger}}$  = กำลังไฟฟ้า เนื่องจากขาเข้าชาร์จเจอร์  
 $\leq 550 \text{ W}$

$P_{\text{vs}}$  = กำลังไฟฟ้ารวมของแผงโซลาร์ เซลล์ (W)

$N_{\text{Pv\_Max}}$  = จำนวนแผงโซลาร์เซลล์ที่สามารถต่อ  
 เข้าระบบได้สูงสุด (แผง)

โดยจะมีกำลังไฟฟ้าขาเข้าของชาร์จเจอร์ ที่มาจากแผงโซลาร์เซลล์

$$= 1.25 \times P_{vs} \times N_{Pv\_max}$$

$$= 1.25 \times 275 \times 2$$

$$= 687.5 \text{ W}$$

โดยตัวชาร์จเจอร์จะใช้แรงดัน 24 V และกระแสดังนี้

$$I = \frac{P}{V}$$

$$= \frac{687.5}{24}$$

$$= 28.65 \text{ A}$$

ดังนั้นกระแสของชาร์จเจอร์เท่ากับ 28.65 A จึงเลือกใช้ชาร์จเจอร์ขนาด 24 V, 30 A

## การทดสอบและผลการทดสอบ

### 1. การทดสอบการกระจายความร้อนภายในเครื่องอบแห้ง

ทดสอบการกระจายความร้อนภายในเครื่องโดยวัดอุณหภูมิภายในเครื่อง จำนวน 4 ตำแหน่ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายใน ดังตาราง 1 และ 2

ตาราง 1

การกระจายความร้อนในเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C

| เวลา (นาท)             | 1     | 2     | 3    | 4     |
|------------------------|-------|-------|------|-------|
| อุณหภูมิตั้งค่า (°C)   | 42.6  | 44.4  | 47.2 | 50    |
| อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)    | 38.48 | 40.48 | 42.4 | 45.16 |
| ค่าความคลาดเคลื่อน (%) | 10.7  | 9.6   | 11.3 | 10.7  |

ตาราง 2

การกระจายความร้อนในเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C

| เวลา (นาท)             | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| อุณหภูมิตั้งค่า (°C)   | 48.3 | 51.5 | 55   | 56.4 | 57.1 | 59.5 | 60.4 |
| อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)    | 42.5 | 44.4 | 48.4 | 48   | 51   | 52.4 | 54.9 |
| ค่าความคลาดเคลื่อน (%) | 13.4 | 15.8 | 13.5 | 17.3 | 11.7 | 13.3 | 9.8  |

ตาราง 3

ทดสอบการชั่งน้ำหนักและทดสอบการทำงานของระบบแจ้งเตือน

| ครั้งที่      |   | เครื่องชั่งมาตรฐาน (kg) | Load cell (kg) | ค่าความคลาดเคลื่อน (%) | ระบบเสียงแจ้งเตือน |
|---------------|---|-------------------------|----------------|------------------------|--------------------|
| น้ำหนักก่อนอบ | 1 | 4                       | 4.4            | 9.09                   | on                 |
|               | 2 | 4.1                     | 4.4            | 6.82                   | on                 |
|               | 3 | 4.5                     | 4.8            | 6.25                   | on                 |
| น้ำหนักหลังอบ | 1 | 2.8                     | 3.1            | 9.68                   | on                 |
|               | 2 | 3                       | 3.3            | 9.09                   | on                 |
|               | 3 | 3.2                     | 3.4            | 5.88                   | on                 |

จากตาราง 1 และ 2 การทดสอบการกระจายความร้อนภายในเครื่อง พบว่า ที่อุณหภูมิ 50°C มีค่าความคลาดเคลื่อน 10.7% และที่อุณหภูมิ 60°C มีค่าความคลาดเคลื่อน 9.8%

### 2. การทดสอบการชั่งน้ำหนักและระบบแจ้งเตือน

การทดสอบการชั่งน้ำหนักของ Load Cell เทียบกับเครื่องชั่งมาตรฐาน ส่วนการทำงานของระบบแจ้งเตือน ซึ่งโปรแกรมได้คำนวณเทียบเคียงค่า water activity โดยจะรับสัญญาณจาก Load Cell เมื่อน้ำหนักลดลงจนถึงค่าที่ปรับตั้งไว้ จะมีเสียงแจ้งเตือนเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการอบ

จากตาราง 3 เป็นการทดสอบการชั่งน้ำหนักของ Load Cell เทียบกับเครื่องชั่งมาตรฐาน โดยชั่งน้ำหนักปลาตูก่อนอบและหลังอบ มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 7.38% (ก่อนอบ) 8.21 % (หลังอบ) และระบบเสียงแจ้งเตือนเมื่อกระบวนการอบเสร็จสิ้น สามารถส่งสัญญาณเสียงแจ้งเตือนได้ตามที่ออกแบบ เมื่อค่าน้ำหนักปลาอยู่ที่ร้อยละ 70

### 3. ทดสอบตากปลาตากโดยวิธีธรรมชาติ

การทดสอบตากปลาตากโดยวิธีธรรมชาติจะเป็นการตากแบบวิธีทั่วไป และทดสอบที่ค่า water activity ในช่วง 70-85% โดยคำนวณเทียบจากน้ำหนักปลา ดังแสดงในภาพ 11

จากตาราง 4 การทดสอบด้วยการตากแบบธรรมชาติ โดยทดสอบจนถึงค่า water activity 70% จะใช้ระยะเวลาในการผลิต 4.5 hr ดังแสดงในภาพ 12

### 4. ทดสอบตากปลาตากโดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แบบไม่มีความร้อนจากฮีตเตอร์ ดังแสดงในภาพ 13 และ 14

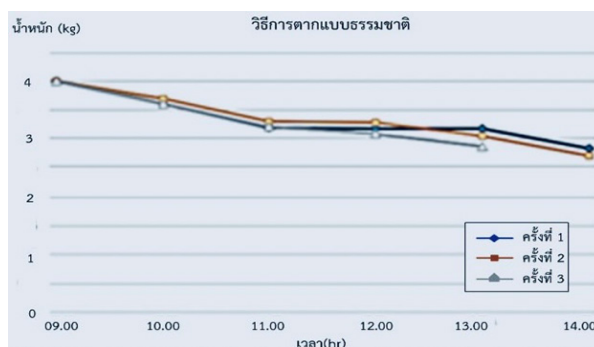


ภาพ 11 ตากปลาตากโดยวิธีธรรมชาติ

### ตาราง 4

การทดสอบตากปลาตากแบบธรรมชาติ น้ำหนักก่อนตาก แดดประมาณ 4 kg เริ่มตากเวลา 09:00-14:00น.

| เวลา  | วันที่ 1<br>(น้ำหนัก<br>ก่อนตาก 4 kg) |                          | วันที่ 2<br>(น้ำหนัก<br>ก่อนตาก 4.1 kg) |                          | วันที่ 3<br>(น้ำหนัก<br>ก่อนตาก 4 kg) |                          |
|-------|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
|       | น้ำหนัก<br>(kg)                       | Water<br>activity<br>(%) | น้ำหนัก<br>(kg)                         | Water<br>activity<br>(%) | น้ำหนัก<br>(kg)                       | Water<br>activity<br>(%) |
| 9:00  | 4                                     | 100                      | 4.1                                     | 100                      | 4                                     | 100                      |
| 10:00 | 3.6                                   | 90                       | 3.7                                     | 93                       | 3.6                                   | 90                       |
| 11:00 | 3.19                                  | 79.8                     | 3.29                                    | 82.3                     | 3.2                                   | 80                       |
| 12:00 | 3.17                                  | 79.3                     | 3.28                                    | 82                       | 3.08                                  | 77                       |
| 13:00 | 3.16                                  | 79                       | 3.04                                    | 76                       | 2.85                                  | 71.3                     |
| 14:00 | 2.82                                  | 70.5                     | 2.69                                    | 67                       | -                                     | -                        |



ภาพ 12 เปรียบเทียบระยะเวลาในการตากปลาตากแบบธรรมชาติ



ภาพ 13 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพ 14 ตากปลาตากโดยเครื่องอบแห้ง

#### ตาราง 5

การทดสอบตากปลาตากโดยเครื่องอบแห้ง น้ำหนักก่อนตาก  
แดดประมาณ 4 kg เริ่มตากเวลา 09:00–12:30น.

| เวลา  | วันที่ 1<br>(น้ำหนัก<br>ก่อนตาก 4 kg) |                          | วันที่ 2<br>(น้ำหนัก<br>ก่อนตาก 4.1 kg) |                          | วันที่ 3<br>(น้ำหนัก<br>ก่อนตาก 4 kg) |                          |
|-------|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
|       | น้ำหนัก<br>(kg)                       | Water<br>activity<br>(%) | น้ำหนัก<br>(kg)                         | Water<br>activity<br>(%) | น้ำหนัก<br>(kg)                       | Water<br>activity<br>(%) |
| 9:00  | 4                                     | 100                      | 4.1                                     | 100                      | 4                                     | 100                      |
| 10:00 | 3.6                                   | 90                       | 3.85                                    | 94                       | 3.6                                   | 90                       |
| 11:00 | 3.2                                   | 80                       | 3.4                                     | 85                       | 3.2                                   | 80                       |
| 12:00 | 2.96                                  | 74                       | 3.24                                    | 81                       | 3.12                                  | 78                       |
| 12:30 | 2.8                                   | 70                       | 2.85                                    | 71.3                     | 2.85                                  | 71.3                     |

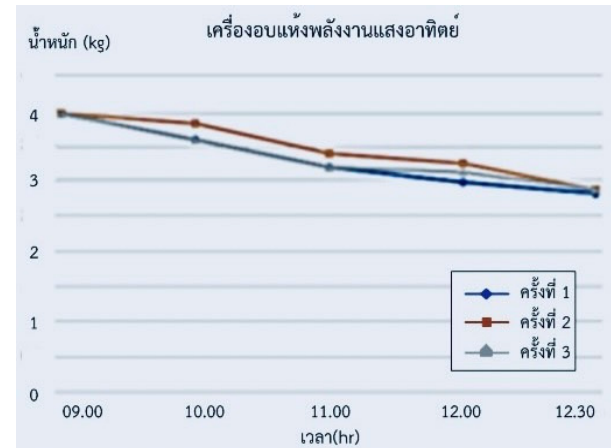
จากผลการทดสอบในตาราง 5 พบว่า การทดสอบ  
ตากปลาตากโดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ค่า  
water activity 70 % ใช้ระยะเวลาในการผลิต 3.5 hr  
ดังแสดงในภาพ 15

#### 5. ทดสอบตากปลาตากโดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับโซลาร์เซลล์

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเครื่องอบแห้ง  
พลังงานแสงอาทิตย์ แบบมีความร้อนจากฮีตเตอร์ช่วยใน  
การเพิ่มอุณหภูมิและรักษาอุณหภูมิในการอบแห้งให้คงที่  
ดังแสดงในภาพ 16 และ 17

จากผลการทดสอบในตาราง 6 พบว่า การทดสอบ  
ตากปลาตากโดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบมี

ความร้อนจากฮีตเตอร์ช่วยในการเพิ่มอุณหภูมิ ที่ค่า water  
activity 70% ใช้ระยะเวลาในการผลิต 3 hr ดังแสดงใน  
ภาพ 18



ภาพ 15 เปรียบเทียบระยะเวลาในการตากปลาตากใน  
เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพ 16 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับโซลาร์  
เซลล์

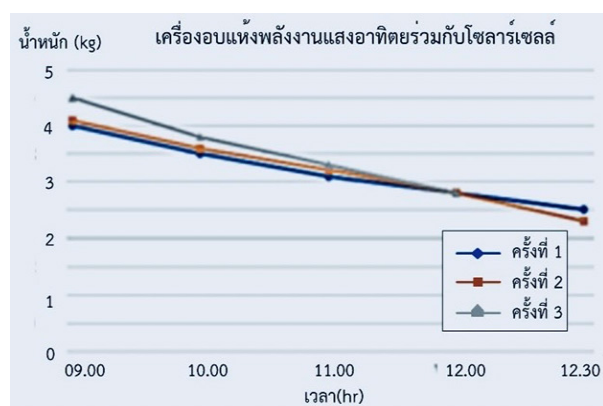


ภาพ 17 ตากปลาตากโดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

## ตาราง 6

การทดสอบตากปลาตากโดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับโซลาร์เซลล์ น้ำหนักก่อนอบประมาณ 4 kg เริ่มตากเวลา 09:00–12:25 น.

| เวลา  | วันที่ 1<br>(น้ำหนัก<br>ก่อนตาก 4 kg) |                          | วันที่ 2<br>(น้ำหนัก<br>ก่อนตาก 4.1 kg) |                          | วันที่ 3<br>(น้ำหนัก<br>ก่อนตาก 4.5 kg) |                          |
|-------|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|
|       | น้ำหนัก<br>(kg)                       | Water<br>activity<br>(%) | น้ำหนัก<br>(kg)                         | Water<br>activity<br>(%) | น้ำหนัก<br>(kg)                         | Water<br>activity<br>(%) |
| 9:00  | 4                                     | 100                      | 4.1                                     | 100                      | 4.5                                     | 100                      |
| 10:00 | 3.5                                   | 87.5                     | 3.6                                     | 90                       | 3.8                                     | 84.5                     |
| 11:00 | 3.1                                   | 77.5                     | 3.2                                     | 78                       | 3.3                                     | 74                       |
| 12:00 | 2.8                                   | 70                       | 2.8                                     | 68.3                     | 2.8                                     | 62                       |
| 12:30 | 2.5                                   | 62.5                     | 2.3                                     | 57                       | 2.6                                     | 57                       |



ภาพ 18 เปรียบเทียบระยะเวลาในการตากปลาตากในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับโซลาร์เซลล์

## วิเคราะห์ความคุ้มค่าการลงทุน

วิเคราะห์ความคุ้มค่าการลงทุนด้วยกรรมวิธีการผลิตทั้ง 3 รูปแบบ

1. การตากแบบธรรมชาติ
2. การตากในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
3. การตากในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับโซลาร์เซลล์

จากการศึกษาพบว่า ปลาตากสดราคา 60 บาท/kg เมื่อแปรรูปเป็นปลาตากแดดเดียวราคาขายอยู่ที่ 150 บาท/kg

จากผลการทดสอบตาราง 7 พบว่า วิธีการตากแบบธรรมชาติมีระยะเวลาต้นทุนเพียง 2.02 เดือน ส่วนวิธีการตากด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับโซลาร์เซลล์ มีระยะเวลาต้นทุนที่ 4.7 เดือน แต่ใช้เวลาในการผลิตเพียง 3 hr และผลิตภัณฑ์สะอาด ปราศจากฝุ่นละอองและแมลงวางไขมารบกวน

## สรุปผลการทดสอบ

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบไฮบริดแบบมีระบบแจ้งเตือน เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ กับพลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์ซึ่งใช้พลังงานจากโซลาร์เซลล์ร่วมกับแหล่งจ่ายกระแสสลับ 220 V จึงทำให้เครื่องอบสามารถทำงานได้ในทุกสภาวะอากาศแม้ไม่มีแสงอาทิตย์ และมีระบบแจ้งเตือนด้วยเสียง โดยใช้ Load Cell วัดน้ำหนักที่เสียไปจากการอบจนมีค่าความชื้นของปลาตากโดยคิดเทียบจากน้ำหนักปลาตากตามมาตรฐานของปลาแดดเดียว ที่ค่า water activity ไม่เกินร้อยละ 85 ของน้ำหนัก ทำการทดสอบที่ระดับความชื้น 85% 80% 75% และ 70% โดยทดสอบชั่งน้ำหนักปลาตากสดเฉลี่ยเท่ากับ 4.2 kg เมื่อทดสอบแล้วพบว่า จะได้น้ำหนักหลังอบเฉลี่ย 2.8 kg โดยค่า Water activity ที่แนะนำประมาณ 70% เนื่องจากมีลักษณะทางกายภาพของเนื้อปลาที่มีความมันวาว เนื้อสัมผัสแน่น ไม่แข็งกระด้างหรือนิ่มและเนื้อปลาไม่แตกหรือฉีกขาดและไม่มีการกลิ่นคาว เป็นลักษณะที่ต้องการตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

จากการทดสอบการตากปลาตากโดยวิธีธรรมชาติใช้ระยะเวลาในการผลิต 4.5 hr การตากปลาตาก โดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้ระยะเวลาในการผลิต 3.5 hr ตากปลาตากโดยเครื่องอบแห้งร่วมกับโซลาร์เซลล์ ใช้ระยะเวลาในการผลิต 3 hr ซึ่งเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับโซลาร์เซลล์ สามารถลดระยะเวลาในการผลิตเร็วกว่า การตากปลาตากโดยวิธีธรรมชาติถึง 2 hr และการตากปลาตากโดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 30 min และการทดสอบการชั่งน้ำหนักของ Load Cell เทียบกับเครื่องชั่งมาตรฐาน โดยชั่งน้ำหนักปลาตากก่อนอบและหลังอบมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 7.38% (ก่อนอบ) 8.21% (หลังอบ) และระบบเสียงแจ้งเตือนเมื่อกระบวนการอบเสร็จสิ้น สามารถส่งสัญญาณเสียงแจ้งเตือนได้ตามที่ออกแบบเมื่อน้ำหนักปลาตากอยู่ที่ร้อยละ 70

## ตาราง 7

เปรียบเทียบกรรมวิธีการผลิต 3 รูปแบบ กรณีผลิตวันละ 4 kg/เดือน (30 วัน)

| การทดลอง                                                            | น้ำหนัก<br>เฉลี่ย/เดือน<br>(kg) | ระยะเวลา<br>การผลิต/ครั้ง<br>(hr) | ต้นทุน<br>อุปกรณ์<br>(บาท) | ต้นทุน<br>วัตถุดิบ/เดือน<br>(บาท) | กำไร/เดือน<br>(บาท) | ระยะเวลา<br>คืนทุน<br>(เดือน) |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------------------|
| 1 การตากแบบธรรมชาติ                                                 | 83.6                            | 4.5                               | 3,640                      | 7,200                             | 5,340               | 2.02                          |
| 2 การตากโดยเครื่องอบแห้ง<br>พลังงานแสงอาทิตย์                       | 85                              | 3.5                               | 7,265                      | 7,200                             | 5,550               | 2.6                           |
| 3 การตากโดยเครื่องอบแห้ง<br>พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับ<br>โซลาร์เซลล์ | 84                              | 3                                 | 18,715                     | 7,200                             | 5,400               | 4.7                           |



## References

- Borirak, T. (2018). Thermal efficiency enhancement of Solar Dryer using sun tracking system. *Srinakharinwirot University (Journal of Science and Technology)*, 1(14), 23-32. (in Thai)
- Borirak, T., Kotchapoom, P., Pooyoo, N., & Sathienrungsarit, W. (2021). The hybrid Solar Dryer cabinet. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 15(1), 180-195. (in Thai)
- Community Product Standards Subcommittee. (2004). *Standards for community products*. Retrieved from <http://tcps.tisi.go.th>. (in Thai)
- Hongchan, N., Dumnil, S., Taree, W., Leaskatok, S., Kaedniem, S., & Chareanying, S. (2014). Solar incubators. *Surindra Rajaphat University (Industrial Technology Journal)*, 1(6), 47-59. (in Thai)
- howto-wp.com. (2020). *Load cell arduino 0-50 kg*. Retrieved from <https://bit.ly/3ucAyg8>. (in Thai)
- Janjai, S. (2017). *Solar Drying technology*. Nakhon Pathom: Department of Physics, Faculty of Science, Silpakorn University. (in Thai)
- Kuanpradit, H., Kunchornrat, A., & Tavattana, T. (2013). The Development of solar parabolic concentrators in drying process for agricultural products. *Srinakharinwirot University (Journal of Industrial Education)*, 2(7), 81-90. (in Thai)
- Mujumdar, A. S., & Devahastin, S. (1997). *Fundamental principles of drying*. Retrieved from <http://staff.sut.ac.ir/haghighi/download/documents/Drying.pdf>
- Nilnon, W., & Pitakwinai, S. (2013). *Drying by using Hybrid Solar-Electrical Energy Dryer* (Research report). Nonthaburi: Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi. (in Thai)
- Postharvest Technology Innovation Center. (2003). *Water activity and product shelf life control*. Retrieved from <http://www.phtnet.org>

- Pathanibul, A., & Arpornwichanop, A. (2014). Drying technology. *Technology Promotion*, 41(234), 64–67. (in Thai)
- Prasertying, P. (2019). *Principle of hot air dryer and heat pump*. Retrieved from <https://www.energymaster.co.th/>. (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. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.03.014>
- Sharma, A., Chen, C. R., & Vu Lan, N. (2009). Solar-energy drying systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6–7), 1185-1210. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.08.015>
- Srisawas, K., & Jittham, V. (2016). Study of Fish Oven with Solar-Electrical Combined Energy. *The journal of Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal (RMUTTORGJ)*, 9(2), 20-30. (in Thai)
- Srisittipokakun, N. (2005). *Development of a solar dryer for drying herbs and spices* (Master's thesis). Silpakorn University. Nakhon Pathom. (in Thai)
- Tagimnok, T. (2020). *Load cell*. Retrieved from <https://bit.ly/3ueBEIh> (in Thai)
- TJ-Temp. (2014). *Heaters and measuring equipment*. Retrieved from <http://www.tj-temp.com/about-us.html>. (in Thai)
- Toawjan, K., Somtai, T., Jadrapong, T., & Naroyee. H. (2016). *The Solar Cell increasing to power compensation for the effect of roof installing problem solving*. Nakhon Pathom: Faculty of Engineer, Sripatum University. (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)

