



ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของปลาสดแดดเดียวที่ตากด้วยตูบแห้ง

Factors that affect the quality of the *Trichogaster pectoralis* dried fish

By the solar dried oven

ณัฐพร นันทจิระพงศ์^{1*}, สุภา ศิรินาม² และ รังสรรค์ โกญจนาทนิกร³

¹ สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเขี้ยวเฉลิมพระเกียรติ 10540

² เลขที่ 67 ซอยน้อมจิตต์ ถนนนเรศ แขวงสี่พระยา เขตบางรัก กรุงเทพมหานคร

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเขี้ยวเฉลิมพระเกียรติ 10540

Nathaphon Nanthajirapong^{1*}, Supha Sirinam² and Rangsun Konkantnikorn³

¹ Division of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Huachiew Chalermprakiet University, Samutprakarn 10540

² 67 Nomjit Lane, Nares Road, Si Phraya Sub-area, Bangrak Area, Bangkok 10500

³ Division of Physical Science, Faculty of Science and Technology, Huachiew Chalermprakiet University, Samutprakarn 10540

Received: 2 November 2019/ Revised: 12 December 2019/ Accepted: 20 December 2019

บทคัดย่อ

ตูบแห้งปลาสดนี้เป็นตู้ที่ได้พัฒนาจากการทำวิจัยตามโครงการ “การพัฒนาตูบแห้งปลาสด” มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการแปรรูปปลาสดแดดเดียวให้ปลอดภัยต่อผู้บริโภค สำหรับการสร้างตูบแห้งปลาสดได้มีการประยุกต์ใช้ทฤษฎีทางฟิสิกส์ในการนำพลังงานธรรมชาติ (ลมและแสงอาทิตย์) มาใช้ มีการตรวจวัดปัจจัยที่สำคัญคือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตูบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพของเนื้อปลาสด โดยในระหว่างการตากสามารถควบคุมปัจจัยทั้งสองชนิดนี้ได้โดยการเปิดพัดลมระบายอากาศในช่วงตั้งแต่เริ่มตาก และเปิดสลับปิดพัดลมในระหว่างการตาก ซึ่งใช้เวลาตากต่อครั้งประมาณ 2-3 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ รา เชื้อ *Staphylococcus aureus* และปริมาณโคลิฟอร์ม รวมทั้งค่า a_w ยังไม่ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน สำหรับค่า a_w เกณฑ์ที่กำหนดคือน้อยกว่า 0.85 โดยจากผลการทดลองที่ได้คือ 0.99 ทั้งนี้พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของปลาสดแดดเดียวคือ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ ซึ่งจะต้องมีการควบคุมให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์และค่าอุณหภูมิภายในตู้คงที่ตลอดการตาก โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่เหมาะสมคือ ประมาณร้อยละ 60 ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยที่เหมาะสมคือ ประมาณ 35 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ: ปลาสด ตูบแห้ง ปลาแดดเดียว



Abstract

Trichogaster pectoralis solar dried oven is the oven that has been developed from the research project “The development of *Trichogaster pectoralis* solar dried oven”. The objective of this research is to improve the drying process of *Trichogaster pectoralis* to be safe for consumers. Physics theories about natural energy (wind and solar) were used to apply with solar dried oven creation. There are important factors which are relative humidity and the average temperature inside the oven that affects the quality of the fish fillets. During the drying process, both factors can be controlled by opening the ventilator fan during the airing phase and turn the fan off during the airing which takes about 2-3 hours to dry per time. From the results of the experiment, it was found that total viable counts, yeast, fungi, *Staphylococcus aureus*, coliforms and also a_w values were not pass the standard of community products because it exceeded the required criteria (the criteria defined are less than 0.85) because the result obtained from the experiment was 0.99. Moreover, it was found that the factors affecting the quality of *Trichogaster pectoralis* are the temperature and relative humidity in the oven. Therefore, *Trichogaster pectoralis* fish processing farmers should control the relative humidity and the temperature inside the oven throughout the drying process. The average relative humidity about 60 percent, while the average temperature is about 35 degrees Celsius.

Keywords: *Trichogaster pectoralis*, Solar dried oven, Dried fish

บทนำ

การผึ่งแดดหรือการตากแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นวิธีการถนอมอาหารแบบพื้นบ้านที่มีมานานและใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย สเปกตรัมของแสงอาทิตย์ที่เป็นประโยชน์ต่อการถนอมอาหาร ได้แก่ รังสีความร้อน รังสีอินฟราเรด แสงที่ตามองเห็น และรังสีอัลตราไวโอเลต รังสีสามชนิดแรกเมื่อกระทบกับอาหารที่ตากไว้จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่ตัวอาหารและวัสดุรองรับชั้นอาหารนั้น โดยจะทำให้อุณหภูมิของอาหารเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้องมาอยู่ที่ระหว่าง 40-50 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงแดด ความชื้นในเนื้ออาหาร และการถ่ายเทของอากาศบริเวณนั้นเป็นหลัก ซึ่งผลลัพธ์โดยรวมคือ การทำให้เกิดการคายน้ำ (dehydrate) ออกจากอาหาร ส่วนรังสีอัลตราไวโอเลตนอกจากจะมีผลต่อการเกิดความร้อนแล้วยังสามารถฆ่าเชื้อไวรัสและแบคทีเรียบางชนิดที่อยู่ในอาหารได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามการตากอาหารในที่โล่งเปิดทำให้อาหารสัมผัสกับฝุ่นละอองหรือสารที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย ซึ่งไม่

ถูกทำลายด้วยความร้อน รวมถึงมีแมลงที่เป็นพาหะเชื้อโรค อย่างเช่นแมลงวันมาดอมและวางไข่ได้อีกทั้งการที่ระยะเวลาในการตากมีความไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละวัน ซึ่งมีผลกระทบต่อการถนอมอาหาร ดังนั้นจึงมีหน่วยงานและคณะนักวิจัยได้หาทางพัฒนาวิธีการตากหรืออบแห้งให้ดีขึ้น อาทิ กองพัฒนาพลังงานทดแทน ฝ่ายแผนงานพัฒนาโรงไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้ออกแบบและผลิตตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นเพื่อจำหน่ายแก่บุคคลทั่วไป [1] งานวิจัยเกี่ยวกับอุโมงค์ลมร้อนใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการทำลำโพงอบแห้ง [2] หรือการใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนจากก๊าซหุงต้ม (LPG) เพื่อการอบกล้วย [3]

พลาสติกแดดเดียวเป็นผลิตภัณฑ์ขึ้นชื่อของอำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ ขั้นตอนการตากพลาสติกในปัจจุบันจะผึ่งปลาไว้บนฝือกไม้ไผ่วางในที่เปิดโล่งมีแสงแดดใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง (ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละวัน) ส่วนใหญ่ไม่มีการคลุมด้วยวัสดุใด ๆ ที่สามารถ



ภาพที่ 1 ภาพร่างด้านหน้าพร้อมข้อมูลขนาดของตุ้ตากลาสลิต

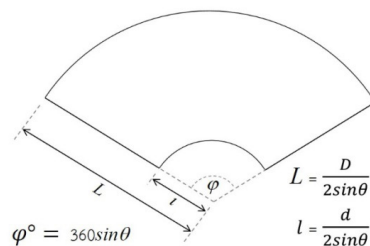
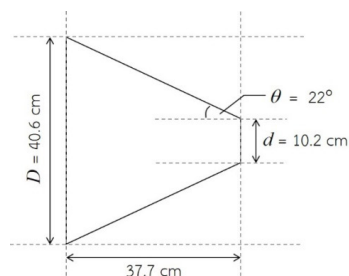


ภาพที่ 2 ภาพร่างด้านบนพร้อมข้อมูลขนาดของตู้ตากพลาสติก

1.2 การออกแบบส่วนประกอบย่อยของตู้อบแห้งพลาสติก

ส่วนนี้เป็นการออกแบบส่วนที่นำพลังงานลมจากธรรมชาติมาใช้ เนื่องจากแหล่งที่ตากอยู่ใกล้ชายฝั่งทะเลมีลมพัดค่อนข้างแรง แต่เนื่องจากส่วนนี้เป็นส่วนที่เพิ่มต้นทุนการ

ผลิต ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาประสิทธิภาพเพิ่มเติม เพื่อจะได้คุ้มค่ากับการลงทุน โดยรูปแบบของกรวยรับลมแสดงดังภาพที่ 3

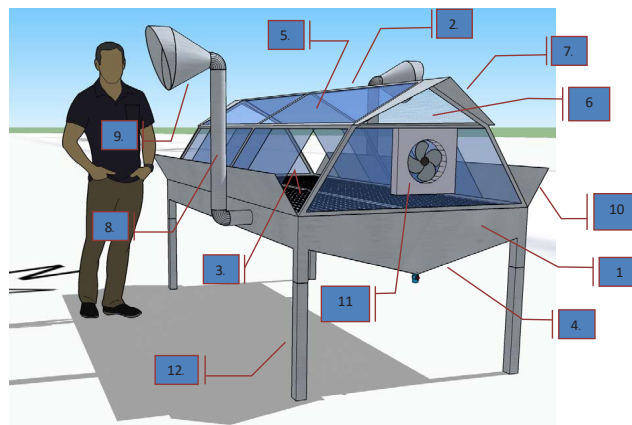


ภาพที่ 3 วิธีการตัดแผ่นสแตนเลสเพื่อทำกรวยรับลม

1.3 การออกแบบภาพรวมของตู้อบแห้งพลาสติก

ส่วนนี้เป็นการออกแบบตู้อบแห้งพลาสติกในภาพรวม เลือกใช้วัสดุที่มีความคงทน สามารถประกอบและ

ติดตั้งในบริเวณที่มีแดดและลมแรงได้ ซึ่งส่วนประกอบต่าง ๆ อธิบายดังแสดงไว้ในภาพที่ 4 และตู้อบแห้งพลาสติกที่พัฒนาขึ้นแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 4 ภาพสามมิติของแบบตู้อบแห้งพลาสติก



จากภาพที่ 4 สามารถอธิบายรายละเอียดของส่วนประกอบต่าง ๆ ของตู้อบแห้งพลาสติกได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

● **หมายเลข 1** คือ ตัวตู้มีขนาดกว้าง 1.20 เมตร ยาว 2.50 เมตร จะได้พื้นที่เรียงปลาประมาณ 3 ตารางเมตร โครงสร้างทั้งหมดจะเป็นสแตนเลส ซึ่งมีสมบัติทนต่อความเป็นกรด-ด่างและเกลือได้ดี

● **หมายเลข 2** คือ หลังคาตู้โดยด้านบนมีลักษณะเป็นโดมทรงพาราโบลาคว่า ซึ่งมีข้อดีคือรับพลังงานแสงอาทิตย์และกักเก็บความร้อนไว้ได้ดีตามหลักการของปรากฏการณ์เรือนกระจก [5] โดยคณะผู้วิจัยได้นำมาประยุกต์ให้มีลักษณะเป็นโพลีคอนเพื่อลดงบประมาณค่าติดตั้งแผ่นกระจก และได้ออกแบบให้ฐานโดมกว้าง 120 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร ตำแหน่งจุดยอดของมุมต่าง ๆ ตามที่แสดงในภาพที่ 4 ตัวเลขของด้านและมุมต่าง ๆ ของหลังคาตู้ คณะผู้วิจัยได้คำนวณตามสมการพาราโบลาคว่า $Y = b - aX^2$ โดยหากต้องการให้โดมที่ได้มีสัดส่วนใกล้เคียงกันกับที่เผยแพร่ในเว็บไซต์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนแล้วคณะผู้วิจัยคำนวณได้ว่าต้องใช้ค่า a และ b มีค่าเป็น 0.0167 และ 0 ตามลำดับ

● **หมายเลข 3** คือ ฐานของโดม มีลักษณะเป็นบริเวณสำหรับตากปลาทำจากแผ่นสแตนเลสเจาะรูขนาด 12 มิลลิเมตร

● **หมายเลข 4** คือ พื้นตู้ด้านล่างเป็นแผ่นสแตนเลสเรียบทรงท้องช้าง และที่จุดต่ำสุดทั้งสองด้านเป็นท่อ

สำหรับระบายน้ำที่หยดจากตัวปลา ซึ่งต้องผ่านการหมักน้ำเกลือก่อนนำมาตาก ปลายท่อด้านล่างสุดหุ้มด้วยผ้าขาวบางเพื่อป้องกันแมลงไม่ให้เข้าไปในตู้

● **หมายเลข 5** คือ ผนังโดมเป็นแผ่นกระจกใส ด้านข้างทั้งสองฝั่งเป็นบานสไลด์เปิด-ปิดได้

● **หมายเลข 6** คือ ด้านหน้าและด้านหลังบริเวณหัวของโดม เป็นช่องเปิดสำหรับระบายอากาศออกจากตู้โดยมีการติดมุ้งเอนเพื่อกันแมลง

● **หมายเลข 7** คือ บริเวณยอดจั่ว ติดตั้งปีกยาว 20 เซนติเมตร เพื่อกันฝนสาดเข้าไปในตู้

● **หมายเลข 8** คือ ด้านข้างของฐานตู้ เป็นท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สำหรับอากาศเข้าด้านนอกทาสีดำเพื่อให้เกิดคุณสมบัติการดูดกลืนแสง ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ประยุกต์จากแนวคิดในงานวิจัยของ เสริม [6] ในการสร้างหอบแห้งลำไยแบบอุโมงค์ความร้อนพลังแสงอาทิตย์ ส่วนด้านในจะมีฟิลเตอร์เพื่อกันฝุ่นและกันแมลงที่ผ่านเข้ามาทางกรวยรับลม

● **หมายเลข 9** คือ กรวยรับลม ทำจากแผ่นสแตนเลส ปากกรวยมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร ผนังกรวยทำมุม 22 องศา กับแนวแกนกลางของกรวย ซึ่งตามหลักตรีโกณมิติและเรขาคณิตแล้วต้องตัดแผ่นสแตนเลสเป็นรูปพัด ดังภาพที่ 3 ระยะต่าง ๆ ในรูปเป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$\ell = \frac{d}{2\sin\theta} \quad L = \frac{D}{2\sin\theta} \quad \varphi = 360\sin\theta$$

โดย θ คือมุมที่แนวผนังกรวยกระทำกับแนวแกนกลาง หน้าที่ของกรวยรับลมคือดักลมให้เข้ามาภายในตู้และเพิ่มโมเมนตัมของมวลลมให้สูงขึ้นซึ่งคำนวณตามสมการเบอร์นูลลีในกรณีที่ยังไม่คิดถึงผลของความหนืดของอากาศแล้ว กรวยรับลมนี้นี้สามารถเพิ่มโมเมนตัมของมวลอากาศได้ประมาณ 4 เท่า ทำให้อากาศสามารถไหลผ่านฟิลเตอร์ได้ง่ายขึ้น โดยฟิลเตอร์ที่ใช้ควรมีลักษณะเป็นถุงเพื่อให้มวลอากาศมีระยะในการเคลื่อนที่เพื่อสะสมโมเมนตัม



● **หมายเลข 10** คือ แผ่นสะท้อนแสงทำจากอลูมิเนียมฟอยด์ ประยุกต์จากหลักการตัวสะท้อนแสงทรงพาราโบลาหงายและทอดยาวคล้ายกาบกล้วย ซึ่งนิยมใช้เพื่อสร้างความร้อนโดยอาศัยการสะท้อนแสงจากดวงอาทิตย์ อย่างเช่นในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ [7] เป็นต้น

● **หมายเลข 11** คือ พัฒนาคู่อากาศ ใช้เป่าลมเข้าไปในตู้เพื่อไล่ความชื้น เพื่อทำงานร่วมกับกรวยรับลม

ทำให้ไม่ต้องใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาดใหญ่ ด้านนอกของพัฒมียึดกับโครงสแตนเลสและคลุมด้วยฟิลเตอร์ พัฒมระบายอากาศ ขนาดกำลังไฟฟ้า 19 วัตต์ ขนาด $30 \times 30 \times 19$ cm ปริมาตรลม 530 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

● **หมายเลข 12** คือ ขาดังตู้เป็นสแตนเลสทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 5 เซนติเมตร สามารถถอดจากตัวตู้ได้ เพื่อความสะดวกในการขนย้าย

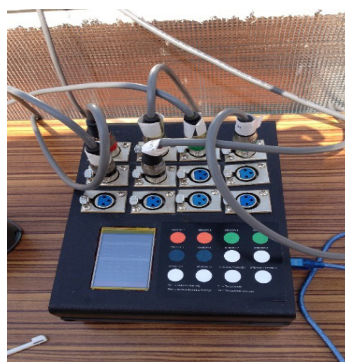


ภาพที่ 5 ตู้อบแห้งพลาสติกที่ดำเนินการสร้างตามแบบ

2. การทดสอบใช้งานตู้อบแห้งพลาสติก

ในการทดสอบการใช้งานตู้อบแห้งที่พัฒนาขึ้น คณะผู้วิจัยได้พัฒนาเครื่องมือวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบแห้งพลาสติกดังภาพที่ 6 โดยมีการติดตั้งตัวรับรู้ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบอัลตราโซนิก เพื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบ คือ แบบตู้เปล่า และแบบตากพลาสติกเต็มตู้ ดังภาพที่ 7 โดยการทดสอบตู้เปล่าจะเป็นการวัดค่าคุณสมบัติทางกายภาพภายในตู้ก่อนที่จะทำการทดลองตากปลา เพื่อใช้เป็น

ตัวอ้างอิงค่าอุณหภูมิสูงสุดและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดที่เป็นไปได้ของตู้อบแห้ง (ข้อจำกัดของตู้อบแห้ง) ส่วนการทดสอบตากปลาแบบเต็มตู้ได้ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง โดยการทดสอบครั้งแรกเพื่อทดสอบการบันทึกค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ การใช้งานของตู้เบื้องต้น เพื่อที่จะได้ทราบปัญหาจากงานใช้งานตู้อบแห้งพลาสติก ส่วนการทดลองครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3 เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการใช้งานตู้อบแห้งให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด รวมถึงมีการตรวจวิเคราะห์เชื้อเพื่อเปรียบเทียบกับที่ตากแบบวิธีดั้งเดิม



ภาพที่ 6 เครื่องมือวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบแห้งพลาสติก

ผลการวิจัย

การทดสอบการใช้ตู้อบแห้งพลาสติกที่พัฒนาขึ้น จะอ้างอิงการตากเห็ดเหมือนกับวิธีดั้งเดิม คือตากกลางแจ้ง (พื้นที่โล่ง) ใช้เวลาตากประมาณ 3 ชั่วโมง มีการตรวจคุณภาพของพลาสติกแดดเดียวด้วยวิธีการตรวจหาปริมาณเชื้อต่าง ๆ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทพลาสติกแดดเดียว และมีการตรวจวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแบบอัตโนมัติ เพื่อได้ข้อมูลเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบที่เหมาะสมต่อคุณภาพของพลาสติกแดดเดียว ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิภายในตู้อบเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ได้พลาสติกแดดเดียวมีคุณภาพตามต้องการ ซึ่งผลจากการทดสอบการใช้งานแสดงดังนี้

1. ความสัมพันธ์ของค่าคุณสมบัติทางกายภาพภายในตู้อบแห้งพลาสติก

ตู้อบแห้งที่พัฒนาขึ้นมีขนาดกว้าง 1.2 เมตร ยาว 2.5 เมตร ติดตั้งพัดลม 1 ด้าน เพื่อลดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบ สามารถรองรับปลาที่ตากได้ประมาณ 35-40 กิโลกรัมต่อครั้ง ทั้งนี้ตลอดช่วงการตากปลา จะมีการบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยมีตัวรับรู้ (sensor) สำหรับการบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทั้งหมด 6 จุด คือ ด้านความยาวของตู้อบทั้งสองด้าน 4 จุด และด้านความกว้าง 2 จุด โดยแต่ละจุดอ้างอิงหมายเลขตัวรับรู้อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (DHT22 Sensor) R1-R6 ตามที่ได้แสดงไว้ดังภาพที่ 7 และ 8 ตามลำดับ



ภาพที่ 7 ตำแหน่งการติดตั้งตัวรับรู้อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (DHT22 Sensor)



ภาพที่ 8 การทดสอบการตากปลาและการบันทึกผลการทดลอง

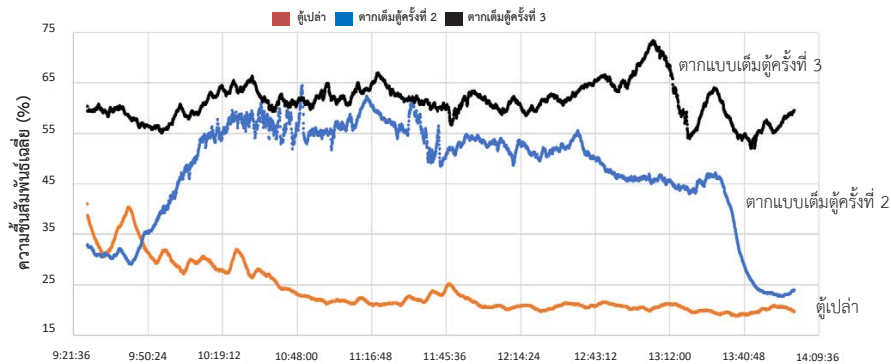
ในลำดับขั้นตอนการทดสอบการใช้งาน จะบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบเปล่าก่อน เพื่อได้ค่าอุณหภูมิสูงสุดและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดที่จะเป็นไปได้ หลังจากนั้นบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ขณะตากพลาสติกแดดเดียว เพื่อเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงขณะตากปลา

และมีการนำปลาที่ทดลองตากไปวิเคราะห์ปริมาณเชื้อต่อไป หลังจากนั้นจะนำผลที่ได้จากการทดลองตากปลาเต็มตู้ครั้งที่ 2 มาวิเคราะห์ และปรับปรุงแบบการตากใหม่ (โดยการตากแบบเต็มตู้ครั้งที่ 3) เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการตากปลาเต็มตู้ครั้งที่ 2 โดยรูปแบบการตากปลาที่เพิ่มขึ้นมาคือ มีการ

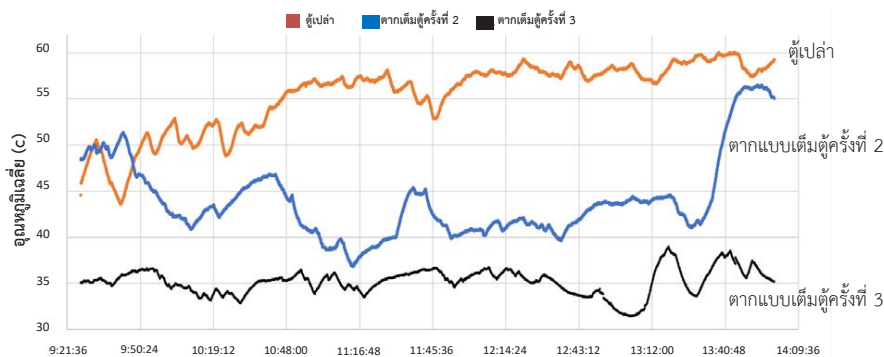


เปิดพัดลมเพื่อระบายความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้เป็นระยะ ๆ โดยเปิดพัดลมตั้งแต่เริ่มตาก แทนการเริ่มเปิดพัดลมเมื่อตากไปแล้ว 1 ชั่วโมง และมีการนำปลาที่ได้จากการตากปลาเต็มตู้ครั้งที่ 3 ไปวิเคราะห์เชื้อต่อไปเช่นกัน ซึ่งค่าอุณหภูมิและ

ความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบแห้งพลาสติกทั้ง 2 แบบ (ตู้เปล่า และแบบเต็มตู้ครั้งที่ 2 และแบบเต็มตู้ครั้งที่ 3) มีผลการทดสอบดังภาพที่ 9 และ 10



ภาพที่ 9 ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในตู้ที่ได้จากการทดสอบแต่ละครั้ง



ภาพที่ 10 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้ที่ได้จากการทดสอบแต่ละครั้ง

จากผลการทดสอบทั้ง 3 ครั้ง (ตู้เปล่า และตากปลาเต็มตู้ 2 ครั้ง) พบว่า ค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดอยู่ที่ประมาณร้อยละ 20 และอุณหภูมิสูงสุดที่เป็นไปได้ประมาณ 57 องศาเซลเซียส (ได้จากการทดสอบตู้เปล่า) เมื่อทำการทดสอบตากปลาแบบเต็มตู้ครั้งที่ 2 โดยมีการเปิดพัดลมระบายความชื้นเมื่อตากไปแล้ว 1 ชั่วโมง พบว่า อุณหภูมิภายในตู้เฉลี่ยเริ่มต้นประมาณ 45 องศาเซลเซียส และลดลงมาที่อุณหภูมิ

เฉลี่ยประมาณ 42 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยเริ่มต้นประมาณร้อยละ 45 และเพิ่มขึ้นมาที่ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยประมาณร้อยละ 55 แต่เมื่อทำการเปิดพัดลมเป็นระยะ ๆ เพื่อระบายความชื้นสัมพัทธ์ตั้งแต่เริ่มตากในการทดสอบตากปลาเต็มตู้ครั้งที่ 3 พบว่า อุณหภูมิภายในตู้เฉลี่ยลดลงเหลือประมาณ 35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยเพิ่มขึ้นอยู่ที่ประมาณร้อยละ 60



2. คุณภาพของพลาสติกที่ตากด้วยตู้อบแห้งพลาสติก

ในการวิเคราะห์เชื้อสำหรับการตากปลาแบบเต็มตู้ ครั้งที่ 2 จะสุ่มวิเคราะห์เชื้อจากปลาที่มีระยะเวลาในการตากที่ต่างกัน จำนวน 3 รอบต่อการตาก 1 ครั้ง คือ ก่อนตาก หลังตาก 1.5 ชั่วโมง และหลังตาก 3 ชั่วโมง ส่วนการตากปลาแบบเต็มตู้ครั้งที่ 3 จะเปลี่ยนช่วงเวลาในการวิเคราะห์ให้มีความแตกต่างเรื่องเวลามากขึ้น เนื่องจากหาวิเคราะห์ที่เวลาใกล้เคียงกันมากเกินไปจะทำให้ค่าที่วิเคราะห์ได้ไม่น่าเชื่อถือเพียงพอ ดังนั้นจึงได้กำหนดช่วงเวลาการวิเคราะห์เป็น ก่อนตาก หลังตาก 2 ชั่วโมง และหลังตาก 5 ชั่วโมง โดย ณ เวลาตากแต่ละช่วงดังกล่าวจะทำการสุ่มเก็บตัวปลา เพื่อนำไปวิเคราะห์เชื้อและวัดค่า a_w เช่นเดียวกัน

จากการพิจารณาเรื่องการควบคุมคุณภาพในการตากพลาสติกแดดเดียว ผลการศึกษาคุณภาพของตัวอย่างพลาสติกที่ผ่านการตากปลาแบบเต็มตู้ในการทดลองครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 มาศึกษาคุณภาพทางชีวภาพ ได้แก่ การตรวจปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (Total coliform bacteria) ปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และตรวจแบคทีเรีย *S. aureus* รวมถึงการตรวจค่า a_w สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 คุณภาพทางชีวภาพของตัวอย่างพลาสติกที่ผ่านการตากแห้งในตู้อบแห้งพลาสติกในการตากปลาแบบเต็มตู้ ครั้งที่ 2

พลาสติกที่ผ่านตาก ในตู้อบแห้งพลาสติก	ค่าปริมาณน้ำ อิสระ (a_w)	ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย ทั้งหมด (CFU/g)	ปริมาณเชื้อราและยีสต์ ทั้งหมด (CFU/g)	ปริมาณเชื้อ <i>S. aureus</i> (CFU/g)
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย
ก่อนตาก	0.99	7.65E+05	21	<3.0
ตากในตู้ 1.5 ชม.	0.99	1.82E+06	13	<3.0
ตากในตู้ 3.0 ชม.	0.99	9.30E+05	9	<3.0

ตารางที่ 2 คุณภาพทางชีวภาพของตัวอย่างพลาสติกที่ผ่านการตากแห้งในตู้อบแห้งพลาสติกในการตากปลาแบบเต็มตู้ ครั้งที่ 3

พลาสติกที่ผ่านตาก ในตู้อบแห้งพลาสติก	ค่าปริมาณน้ำ อิสระ (a_w)	ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย ทั้งหมด (CFU/g)	ปริมาณเชื้อราและยีสต์ ทั้งหมด (CFU/g)	ปริมาณเชื้อ <i>S. aureus</i> (CFU/g)
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย
ก่อนตาก	0.99	1.34E+05	1	<3.0
ตากในตู้ 2.0 ชม.	0.99	2.55E+04	0	<3.0
ตากในตู้ 5.0 ชม.	0.99	3.10E+04	0	<3.0



ตารางที่ 3 ปริมาณโคลิฟอร์มในตัวอย่างพลาสติกที่ผ่านการตากในตู้อบแห้งพลาสติกในการตากปลาแบบเต็มตู้ ครั้งที่ 2

พลาสติกที่ผ่านตาก ในตู้อบแห้งพลาสติก	ปริมาณโคลิฟอร์ม (MPN/g)	ปริมาณฟิโคลิฟอร์ม (MPN/g)	Typical colony <i>E. coli</i> on EMB
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย
ก่อนตาก	1,100	120	+
ตากในตู้ 1.5 ชม.	> 1,100	> 1,100	+
ตากในตู้ 3.0 ชม.	> 1,100	> 1,100	+

ตารางที่ 4 ปริมาณโคลิฟอร์มในตัวอย่างพลาสติกที่ผ่านการตากในตู้อบแห้งพลาสติก ในการตากปลาแบบเต็มตู้ ครั้งที่ 3

พลาสติกที่ผ่านตาก ในตู้อบแห้งพลาสติก	ปริมาณโคลิฟอร์ม (MPN/g)	ปริมาณฟิโคลิฟอร์ม (MPN/g)	Typical colony <i>E. coli</i> on EMB
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย
ก่อนตาก	150	23	+
ตากในตู้ 2.0 ชม.	93	23	+
ตากในตู้ 5.0 ชม.	240	240	+

จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทปลา แดกเต็ยที่กำหนดไว้คือ ค่าวอเตอร์แอททิวิตี (a_w) ต้องไม่เกิน 0.85 ปริมาณจุลินทรีย์ *S. aureus* ต้องน้อยกว่า 200 โคโลนี ต่อตัวอย่าง 1 กรัม *Escherichia coli* โดยวิธี MPN ต้องน้อยกว่า 50 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม และยีสต์และรา ต้องไม่เกิน 500 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

จากการวิเคราะห์ค่า a_w ของการทดลองตากปลา เต็มตู้ครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3 พบว่า ได้ค่า a_w เท่ากับ 0.99 ทุกกรณี (ตารางที่ 1-2) และค่าที่ได้มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่กำหนด ส่วนปริมาณเชื้อ แบคทีเรียทั้งหมด ปริมาณเชื้อราและยีสต์ทั้งหมด และ ปริมาณเชื้อ *S. aureus* (ตารางที่ 1-2) พบว่าการตากปลา แบบเต็มตู้ครั้งที่ 3 มีปริมาณเชื้อน้อยกว่าครั้งที่ 2 (ปริมาณ เชื้อลดลงทุกชนิด ยกเว้นปริมาณเชื้อ *S. aureus* ที่มีปริมาณ < 3.0 CFU/g เท่ากัน) สำหรับปริมาณ โคลิฟอร์มในตัวอย่าง พลาสติก (ตารางที่ 3-4) พบว่าปริมาณโคลิฟอร์มในตัวอย่าง

พลาสติกที่ทดลองตากครั้งที่ 3 น้อยกว่าครั้งที่ 2 โดยที่การ ทดลองตากปลาแบบเต็มตู้ครั้งที่ 2 ปริมาณโคลิฟอร์มใน ตัวอย่างพลาสติกไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน กำหนด ส่วนการทดลองตากปลาแบบเต็มตู้ครั้งที่ 3 ปริมาณ โคลิฟอร์มในตัวอย่างพลาสติกไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ชุมชน โดยเฉพาะในการทดลองตากที่ 5 ชั่วโมง ซึ่ง เป็นระยะเวลาที่ผู้ประกอบการตากจริง

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ปลาที่ได้จากการตากด้วยตู้อบแห้งและตากด้วยวิธี ธรรมชาติ ถ้าพิจารณาจากลักษณะภายนอกแทบมองไม่เห็น ความแตกต่าง แต่ประเด็นหนึ่งที่มีความสำคัญคือ การตรวจ ปริมาณเชื้อและค่า a_w เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ ชุมชนประเภท “ปลาแดกเต็ย” จากการทดลองที่มีการ ตรวจวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจำนวน 2 ครั้ง ซึ่งการทดลองใน ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 มีความแตกต่างกันตรงที่ในการทดลอง

ครั้งที่ 2 จะเริ่มเปิดพัดลมหลังจากที่ตากไปแล้วประมาณ 1 ชั่วโมง ส่วนครั้งที่ 3 เปิดพัดลมตั้งแต่เริ่มตาก ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ค่า a_w ไม่มีความแตกต่างคือ ได้ค่า 0.99 เท่ากัน ซึ่งทั้งสองครั้งไม่ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภท “ปลาแดดเดียว” ผลการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อพบว่าการทดลองครั้งที่ 3 ปริมาณเชื้อมีค่าน้อยกว่าการทดลองในครั้งที่ 2 ซึ่งการทดลองในครั้งที่ 2 นี้ปริมาณเชื้อไม่ผ่านมาตรฐานส่วนการทดลองในครั้งที่ 3 ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (ยกเว้นกรณีที่ตาก 5 ชั่วโมง ซึ่งนานกว่าเวลาที่ใช้ตากเมื่อใช้งานจริง) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพภายในตู้อบแห้งปลาสดจากทั้งสองครั้งพบว่า ในการทดลองครั้งที่ 2 อุณหภูมิภายในตู้เฉลี่ยตอนต้นชั่วโมงอยู่ที่ประมาณ 45 องศาเซลเซียส และค่อย ๆ ลดลงมาที่ประมาณ 42 องศาเซลเซียส หลังจากเปิดพัดลม ซึ่งค่าอุณหภูมินี้เหมาะต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ เมื่อเวลาผ่านไป ทำให้เชื้อมีปริมาณมากขึ้น เนื่องจากช่วงแรกค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าค่อนข้างต่ำและอุณหภูมิสูง ทำให้ไอน้ำระเหยออกไปจากตัวปลาอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อเวลาผ่านไปค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น อัตราการระเหยของน้ำจากตัวปลาลดลง ทำให้อุณหภูมิในตู้กลับเข้ามาในตัวปลาใหม่ ซึ่งไอน้ำที่กลับเข้ามาในตัวปลาเป็นไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูง ผลที่ได้คือเนื้อปลาจะมีลักษณะสุก ทำให้อายุอยู่ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการ แต่การทดลองในครั้งที่ 3 เริ่มเปิดพัดลมตั้งแต่เริ่มตาก โดยพยายามรักษาให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์และค่าอุณหภูมิคงที่ตลอดการตาก โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยประมาณร้อยละ 60 และอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 35 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิค่านี้อาจยังสามารถเจริญเติบโตได้ดี ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าปริมาณเชื้อของผลิตภัณฑ์ปลาแดดเดียวที่มีจำหน่ายทั่วไปโดยขออ้างอิงปริมาณเชื้อในปลาสดแดดเดียวทุกตัวอย่างที่มีการสุ่มตรวจ จำนวน 18 ตัวอย่าง ในเขตพื้นที่อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งเป็นผลจากการดำเนินงานภายใต้โครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลาสดแดดเดียวบางบ่อสู่มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน โดย จำรูญศรี และคณะ [8] พบว่าปริมาณเชื้อมีค่าเกินเกณฑ์ที่มาตรฐานยอมรับ โดยมีเชื้อราและยีสต์สูงเกิน

500 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ปริมาณ *E. coli* โดยวิธี MPN มีค่ามากกว่า 50 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม และค่า a_w มีค่าอยู่ที่ 0.97-0.99 ซึ่งไม่ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทปลาแดดเดียวเช่นกัน อย่างไรก็ตามการพัฒนาตู้อบแห้งปลาสดโดยการควบคุมความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อให้สามารถตากปลาสดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. กองพัฒนาพลังงานทดแทน ฝ่ายแผนงานพัฒนาโรงไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 26 มี.ค. 2560]. เข้าถึงได้จาก: www3.egat.co.th/re/egat_business/egat_dryer/dryer_size.htm
2. Janjai S, Lamler N, Intawee P, Mahayothee B, Boonrod Y, Haewsungcharern M, et al. Solar drying of peeled longan using a side loading type solar tunnel dryer: experimental and simulated performance. *Dry Technol* 2009;27:595-605.
3. Smitabhindu R, Janjai S. An investigation of the performance of a solar-assisted drying system for drying bananas. *J Res Eng Technol* 2008;5(1):73-80.
4. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ปลาแดดเดียว (มผช. 298/2549). กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กระทรวงอุตสาหกรรม; 2549.



5. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. [อินเทอร์เน็ต]. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 27 เม.ย. 2561]. เข้าถึงได้จาก: http://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=45069
6. เสริม จันทร์ฉาย. งานวิจัยด้านการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. [อินเทอร์เน็ต]. 2562 [เข้าถึงเมื่อ 20 มี.ค. 2562]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.solarlabsu.com/index.php/research/2>
7. US Department of Energy. Solar energy development programmatic EIS: concentrating solar power technology. [Internet]. 2017 [cited 2017 October 27]. Available from: www.solareis.anl.gov/guide/solar/csp/
8. จำรูญศรี พุ่มเทียน, ปิยาภรณ์ สุภักด์ดำรงกุล, เกษม พลายแก้ว, สุริย์พร เอี่ยมศรี, สุพิชชา วัฒนะประเสริฐ, อูมา รัตนเทพี, และคณะ. รายงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกแตกเดียว บางบ่อ สู่มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและมหาวิทยาลัยหัวเขยวเฉลิมพระเกียรติ; 2561.