

เอกสารวิชาการฉบับที่ ๕/๒๕๖๖



Technical Paper No. 5/2023

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตปลาดุกเส้นเค็มทอด  
Optimization of Process Conditions for Fried Salted Walking Catfish Stick

วันวิสาข์ ยวงใย  
ชนากานต์ จันทร์สมบุญ  
อาภาวันวล ธนะศรีสุธารัตน์  
จณิสตา ภัทรวิวัฒน์

Wanvisa Youngyai  
Chanakan Chansomboon  
Arphanuan Thanasrisutarat  
Janista Pattaravivat

กองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ  
กรมประมง  
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

Fisheries Industrial Technology Research and  
Development Division  
Department of Fisheries  
Ministry of Agriculture and Cooperatives

เอกสารวิชาการฉบับที่ ๕/๒๕๖๖



Technical Paper No. 5/2023

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตปลาดุกเส้นเค็มทอด  
Optimization of Process Conditions for Fried Salted Walking Catfish Stick

วันวิสาข์ ยวงใย  
ชนากานต์ จันทร์สมบุญ  
อาภาณุวล ธนะศรีสุธารัตน์  
จณิสตา ภัทรวิวัฒน์

Wanvisa Youngyai  
Chanakan Chansomboon  
Arphanuan Thanasrisutarat  
Janista Pattaravivat

กองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ  
กรมประมง  
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์  
๒๕๖๖

Fisheries Industrial Technology Research and  
Development Division  
Department of Fisheries  
Ministry of Agriculture and Cooperatives  
2023

รหัสทะเบียนวิจัย 64 1 0704 64078 02

## สารบัญ

|                                                                                             | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อ                                                                                    | 1    |
| Abstract                                                                                    | 2    |
| คำนำ                                                                                        | 3    |
| วัตถุประสงค์                                                                                | 6    |
| วิธีดำเนินการ                                                                               | 6    |
| 1. วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ                                                              | 6    |
| 2. วิธีดำเนินงาน                                                                            | 7    |
| ผลการทดลองและวิจารณ์ผล                                                                      | 10   |
| 1. ผลการศึกษาวิธีการผลิตปลาดุกเส้นเค็มทอดของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนลำไทรพัฒนา<br>จังหวัดปทุมธานี | 10   |
| 2. ผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการลดความชื้นในปลาดุกเส้นเค็มก่อนทอด                | 11   |
| 3. ผลการศึกษาขนาดของเส้นปลาดุกเส้นเค็มทอดต่อการดูดซับน้ำมัน                                 | 14   |
| 4. ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาปลาดุกเส้นเค็มทอด                                              | 16   |
| สรุปผลการทดลอง                                                                              | 23   |
| คำขอบคุณ                                                                                    | 23   |
| เอกสารอ้างอิง                                                                               | 24   |
| ภาคผนวก                                                                                     | 27   |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่                                                                                                                    | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1 ร้อยละความชื้นและไขมันของปลาดุกเส้นเค็มก่อนทอดและหลังทอดที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 3, 5 และ 7 ชั่วโมง    | 14   |
| 2 ร้อยละองค์ประกอบทางเคมีของปลาดุกเส้นเค็มขนาดต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับปริมาณน้ำมัน                                        | 15   |
| 3 ค่าสีของปลาดุกเส้นเค็มทอดในบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา                                                        | 17   |
| 4 คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของปลาดุกเส้นเค็มทอดในบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา                                       | 19   |
| 5 ร้อยละความชื้นของปลาดุกเส้นเค็มทอดในบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา                                               | 20   |
| 6 ปริมาณน้ำอิสระของปลาดุกเส้นเค็มทอดในบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา                                               | 20   |
| 7 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในปลาดุกเส้นเค็มทอดในบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา                                         | 22   |
| <br>ตารางผนวกที่                                                                                                            |      |
| 1 ร้อยละความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของปลาดุกเส้นเค็มที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิและ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 0-12 ชั่วโมง | 27   |
| 2 ค่าแรงเหวี่ยงของปลาดุกเส้นเค็มทอดในบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา                                                | 27   |
| 3 ค่า TBA ของปลาดุกเส้นเค็มทอดในบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา                                                     | 28   |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่                                                                                                                                               | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1 วิธีการผลิตปลาดุกเส้นเค็มก่อนอบแห้ง ดัดแปลงวิธีจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนลำไทรพัฒนา<br>จังหวัดปทุมธานี                                                  | 8    |
| 2 การผลิตปลาดุกเส้นเค็มทอดของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนลำไทรพัฒนา จังหวัดปทุมธานี                                                                            | 11   |
| 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานแห้ง (ก) และปริมาณน้ำอิสระ (ข) ของปลาดุกเส้นเค็มระหว่างการ<br>อบที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส เวลา 0-12 ชั่วโมง | 13   |
| 4 ค่าแรงเหวี่ยงของปลาดุกเส้นเค็มทอดในบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา                                                                         | 17   |
| 5 ค่า TBA (มิลลิกรัมมัลโลนัลดีไฮด์/กิโลกรัมตัวอย่าง) ของปลาดุกเส้นเค็มทอดในบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ<br>ระหว่างการเก็บรักษา                                | 21   |

# การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตปลาตากเส้นเค็มทอด

วันวิสาข ยวงใย\*, ชนาภานต์ จันทร์สมบูรณ์, อาภาวันล ธนะศรีสุธารัตน์ และ จณิสตา ภัทรวิวัฒน์  
กองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

## บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตปลาตากเส้นเค็มทอด โดยสัมภาษณ์วิธีการผลิตปลาตากเส้นเค็มทอดจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนลำไทรพัฒนา จังหวัดปทุมธานี พบว่า ขั้นตอนการผลิตปลาตากเส้นเค็มทอดของกลุ่มยังมีการควบคุมการผลิตไม่เพียงพอ เป็นผลให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์หลังทำแห้งไม่มีความสม่ำเสมอ ส่งผลให้ปลาตากเส้นเค็มทอดที่ผลิตได้ในแต่ละครั้งมีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสไม่คงที่ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการลดความชื้นในเนื้อปลาตากเส้นเค็มก่อนนำไปทอด โดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ  $50\pm 2$  และ  $60\pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3, 5 และ 7 ชั่วโมง พบว่า การอบที่อุณหภูมิ  $60\pm 2$  องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำไปทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด ศึกษาขนาดของเส้นปลาตากที่ใช้ในการผลิต พบว่า ปลาตากเส้นเค็มทอดขนาดเส้นเล็กมีไขมันน้อยกว่าปลาตากเส้นเค็มทอดขนาดเส้นใหญ่ที่ไม่ผ่านการสไลด์น้ำมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) นอกจากนี้ การศึกษาบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมในการบรรจุปลาตากเส้นเค็มทอด 3 ชนิด ได้แก่ ถุงเมทัลไลต์ PE ถุงลามิเนต และถุงลามิเนตใส่ซองดูดซับออกซิเจน พบว่า ถุงลามิเนตใส่ซองดูดซับออกซิเจนเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมที่สุด โดยผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษานาน 3 สัปดาห์ โดยผู้ทดสอบยังให้การยอมรับทุกคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสและยังมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์กำหนด ตามคู่มือการปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 416) พ.ศ. 2563 ออกตามความใน พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานหลักเกณฑ์ เงื่อนไข และวิธีการในการตรวจวิเคราะห์ของอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

**คำสำคัญ:** ปลาตาก, ปลาตากเส้นเค็มทอด, ปลาตากแดดเดียว

# Optimization of Production Process Conditions for Fried Salted Walking Catfish Stick

Wanvisa Youngyai\*, Chanakan Chansomboon,  
Arphanuan Thanasrisutarat and Janista Pattaravivat  
Fisheries Industrial Technology Research and Development Division

## Abstract

This research aimed to study the optimal conditions of fried salted walking catfish stick production. The process conditions of fried salted walking catfish sticks from Lam Sai Phatthana community enterprise group, Pathum Thani province, was studied by interviewing. The result was found that the community enterprise group did not have enough process control, resulting in uneven moisture content of semi-dried products and inconsistent of product's sensory properties. Furthermore, the optimal condition for reducing the moisture content of salted walking catfish sticks by was hot air oven at  $50\pm 2$  and  $60\pm 2^\circ\text{C}$  for 3, 5 and 7 hours was drying the sample at  $60\pm 2^\circ\text{C}$  for 3 hours and then frying for 2 minutes. For the study of stick sizes, it found that the small sticks produced without using a de-oiling machine had less oil than big sticks ( $p\leq 0.05$ ). Furthermore, three types of packaging were studied, including metalized PE bags, laminated bags and laminated bags with an oxygen absorber. The result showed that the laminated bags with oxygen absorber was the most proper package for the product since the sensory test was accepted and the microbiology test results were complied with the criteria Ministry of Public Health Notification No. 416 (B.E. 2563 (2020)) Re: Prescribing the quality or standard, principles, conditions and methods of analysis for pathogenic microorganisms in foods during the storage period of three weeks.

**Key words:** walking catfish, fried salted walking catfish sticks, semi-dried walking catfish

---

\*Corresponding author: Kaset-klang, Chatuchak, Bangkok 10900 Tel. 02 - 940-6130-45 ext. 4408  
E-mail: m2j\_one@hotmail.com

## คำนำ

ปลาดุก (Walking catfish) เป็นปลาหนังน้ำจืดในสกุล *Clarias* วงศ์ *Clariidae* เลี้ยงง่าย โตเร็ว มีความสามารถในการต้านทานโรค เนื่องจากมีความอดทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดี จึงเป็นปลาน้ำจืดที่เกษตรกรนิยมเลี้ยงกันมากในประเทศไทย โดยเฉพาะปลาดุกลูกผสม “บิ๊กอู๋หรืออู๋เทศ” (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*) (สำนักพัฒนาและการถ่ายทอดเทคโนโลยีการประมง, 2550) แหล่งเพาะเลี้ยงที่สำคัญ เช่น จังหวัดนครสวรรค์ สงขลา นครศรีธรรมราช พิจิตร พัทลุง และปทุมธานี ในปี 2564 มีปริมาณผลผลิตทั้งหมด 96,215 ตัน คิดเป็นมูลค่า 4,389,465 ล้านบาท (กลุ่มสถิติการประมง, 2565) เป็นปลาที่หาซื้อได้ง่าย นิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ปลาดุกร้า ปลาดุกย่าง ปลาดุกฟู ปลาดุกแดดเดียวทอด ปลาดุกหวาน ปลาดุกเส้นปรุงรส ปลาดุกเส้นเค็ม และปลาดุกเส้นเค็มทอด

จากภารกิจของกองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 ในการให้คำปรึกษาและส่งเสริมการแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำแก่กลุ่มเกษตรกร พบว่า ปลาดุกเส้นเค็มทอดประสบปัญหามีกลิ่นหืนระหว่างการเก็บรักษา และมีอายุการเก็บรักษาได้ประมาณ 1 สัปดาห์ ปัญหาเหล่านี้เกิดจากการอมน้ำมันและความชื้นในปลาดุกเส้นเค็มทอด น้ำมันที่อยู่ในเนื้อปลาดุกเส้นเค็มทอดทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่หลงเหลืออยู่ในบรรจุภัณฑ์ทำให้เกิดกลิ่นหืน (Rancidity) ในขณะเดียวกัน ความชื้นภายในเนื้อปลาดุกเส้นเค็มทอดซึมผ่านออกมายังผิวด้านนอกของผลิตภัณฑ์ปลาดุกเส้นเค็มทอด ที่มีลักษณะด้านนอกกรอบ ด้านในนุ่ม กลายเป็นเนื้อสัมผัสเหนียว ส่งผลให้ปลาดุกเส้นเค็มทอดมีคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสและกลิ่นเปลี่ยนไป ไม่คงคุณภาพเหมือนหลังจากการทอดเสร็จ และมีอายุการเก็บรักษาสั้น รวมทั้งผลจากการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ไม่เหมาะสม โดยส่วนใหญ่เลือกใช้ถุงเมทัลไลต์ (Metalized) ที่ป้องกันความชื้นและอากาศเข้าไปในถุงได้ไม่ดีพอ ความชื้นและอากาศที่ผ่านเข้ามาในช่วงการเก็บรักษาจึงเป็นตัวเร่งทำให้เกิดกลิ่นหืนและความเหนียวได้เร็วยิ่งขึ้น หากต้องการยืดอายุการเก็บรักษาปลาดุกเส้นเค็มทอดให้นานขึ้น อาจใช้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของอากาศและความชื้นได้ดี เช่น ถุงลามิเนต ซึ่งเป็นถุงที่ประกอบด้วยชั้นฟิล์มหลายชั้น เช่น โพลีเอสเตอร์ (Polyester, PET) อลูมิเนียม และพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) มาประกบกัน ทำให้ถุงมีความแข็งแรง ทึบแสง ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ ไอน้ำ และแสงได้ดี (Poovarodom, 2007) ทั้งนี้ ปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ปลาดุกเส้นเค็มทอดมีหลายปัจจัย เช่น วิธีการทอด ชนิดน้ำมัน อุณหภูมิ เวลา ความชื้นของอาหารก่อนทอด วิธีการลดน้ำมันหลังทอด รูปแบบการบรรจุ และบรรจุภัณฑ์ ดังนั้น ในการผลิตปลาดุกเส้นเค็มทอดจึงต้องให้ความสำคัญในการควบคุมปัจจัยเหล่านี้ให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ไม่ม่น้ำมัน มีเนื้อสัมผัสที่ดี สีสมาเสมอ และมีอายุการเก็บรักษานาน

กรรมวิธีการทอดที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมมี 2 วิธี ดังนี้

1. การทอดแบบน้ำมันตื้น (Shallow frying) เป็นการทอดที่ใช้ปริมาณน้ำมันเพียงเล็กน้อย น้ำมันไม่ท่วมอาหารทั้งชิ้น วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กับอาหารที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก เช่น ไข่ เบคอน เบอร์เกอร์ และพายชนิดต่าง ๆ ความร้อนจะถูกถ่ายเทโดยการนำความร้อนจากผิวกระทะเคลื่อนที่ผ่านชั้นน้ำมันบาง ๆ ไปยังอาหาร ความหนาของชั้นน้ำมันจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความไม่สม่ำเสมอที่ผิวหน้าของชิ้นอาหาร (นิธิยา, 2558) นอกจากนี้ ชั้นน้ำมันที่บางยังทำให้เกิดฟองไอน้ำขึ้นขณะทอด ซึ่งจะดันให้อาหารเคลื่อนที่ขึ้นลงบนผิวของกระทะ ดังนั้น การกระจายความร้อนและอุณหภูมิขณะทอดจึงไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้สีบนผิวหน้าของอาหารไม่สม่ำเสมอ (วีไล, 2546)

2. การทอดแบบน้ำมันท่วม (Deep fat frying) เป็นการทอดที่นิยมในอุตสาหกรรมอาหาร เพราะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะปรากฏ รสชาติ และเนื้อสัมผัสที่ผู้บริโภคต้องการ การทอดแบบน้ำมันท่วม เป็นการ

ทอดอาหารในน้ำมันที่มีปริมาณมากเพียงพอที่จะท่วมอาหารทั้งชิ้น โดยจุ่มอาหารทั้งชิ้นลงในน้ำมันอุณหภูมิสูง อุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำมันบางส่วนระเหยออกไป และน้ำมันจะเข้ามาแทนที่ (Moyano *et al.*, 2002) ผิวหน้าของอาหารจะแห้ง โครงสร้างผิวนอกของอาหารแข็งขึ้น แต่ภายในชิ้นอาหาร ยังคงมีความชุ่มฉ่ำ อาหารจึงมีความกรอบถูกปากผู้บริโภค (Akdeniz *et al.*, 2006) การทอดแบบน้ำมันท่วม เป็นการทอดที่มีการถ่ายเทความร้อนทั้งการพาความร้อนในน้ำมันร้อนและการนำความร้อนจากน้ำมันเข้าไปสู่ ภายในชิ้นอาหาร ผิวของอาหารทั้งหมดจะได้รับความร้อนใกล้เคียงกัน สีและลักษณะภายนอกของผลิตภัณฑ์จึง มีความสม่ำเสมอ การทอดวิธีนี้สามารถใช้ได้กับอาหารทุกรูปทรง (วิไล, 2546)

น้ำมันที่ใช้ทอดเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญกับผลิตภัณฑ์ที่ได้ น้ำมันหรือไขมันที่ใช้ทอด อาหารมีทั้งน้ำมันสัตว์และน้ำมันพืช (นิธิยา, 2548) ซึ่งน้ำมันที่นิยมใช้ประกอบอาหารมีทั้งน้ำมันหมู น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันรำข้าว น้ำมันมะกอก น้ำมันงา น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันปาล์ม (ธัญชนก, 2562) น้ำมันจะทำหน้าที่เป็นตัวนำความร้อนทำให้อาหารสุก ช่วยไม่ให้อาหารติดกับภาชนะขณะทอด ทำให้อาหารมีสี และเพิ่มรสชาติ คุณสมบัติของน้ำมันทอดอาหารที่ดีต้องมีความคงตัว มีจุดหลอมเหลวต่ำ ทนทานต่อความร้อน ได้ถึงอุณหภูมิประมาณ 163–191 องศาเซลเซียส และมีความเหมาะสมกับอาหารที่ใช้ทอด เพราะกลิ่นและ รสชาติของน้ำมันจะติดไปกับอาหารที่ทอด ธารดาว (2546) และฝ่ายบริการทรัพยากรบุคคล (2561) ระบุว่า น้ำมันที่ใช้ทอดแบบน้ำมันท่วมควรเป็นน้ำมันที่ทนความร้อนสูงและเสื่อมสลายตัวช้า คือ มีจุดเกิดควัน (Smoking point) สูง น้ำมันที่เหมาะสมกับการนำมาใช้กับอาหารประเภททอด คือ น้ำมันปาล์มและน้ำมันหมู ซึ่ง มีกรดไขมันที่อิ่มตัว (Saturated fatty acid) และมีจุดเดือดที่สูง แต่น้ำมันปาล์มจะเหม็นหืนน้อยกว่าน้ำมันหมู เพราะมีวิตามินอีเป็นตัวต้านการทำปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของออกซิเจนและคาร์บอน มีจุดเกิดควันสูงที่ ประมาณ 235 องศาเซลเซียส ทำให้อาหารที่ทอดมีความกรอบนอก นุ่มใน นอกจากนี้ ธัญชนก (2562) กล่าวว่า น้ำมันปาล์มยังมีกรดไขมันที่อิ่มตัวมากกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น ทำให้น้ำมันปาล์มไม่เหม็นหืน ไม่เกิดควันเมื่อทอด อาหารที่อุณหภูมิสูง และมีราคาถูกจึงนิยมใช้ในการทอด

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการทอด สามารถใช้ได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 130-190 องศาเซลเซียส แต่ ในอุตสาหกรรมนิยมใช้อุณหภูมิในการทอดที่ 170-190 องศาเซลเซียส (Bouchon, 2009) การทอดอาหารใน น้ำมันที่มีอุณหภูมิสูงทำให้บริเวณผิวด้านนอกของอาหารมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนทำให้น้ำมันในอาหาร ระเหยออกเป็นไอ เกิดกลิ่น เป็นการทำลายจุลินทรีย์ด้วยความร้อน และมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้าน ประสาทสัมผัสของอาหาร (วลัย และคณะ, 2552) แต่ในขณะเดียวกันเมื่อน้ำมันระเหยออกเป็นไอทำให้บริเวณ ผิวหน้าของอาหารแห้ง เกิดเป็นรูพรุน และขรุขระ จึงก่อให้เกิดการดูดซับน้ำมันไว้มากขึ้นในอาหารหลังทอด โดยเฉพาะถ้ามีการระเหยของไอน้ำออกมารุนแรง (Debnath *et al.*, 2009) โดยทั่วไปอาหารที่ผ่านการทอดมี ปริมาณน้ำมันอยู่ในอาหารร้อยละ 12-37 โดยน้ำหนัก (Dana and Saguy, 2006) จึงเป็นสาเหตุสำคัญของการ เสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ Bouchon (2009) กล่าวว่า เวลาที่ใช้ในการทอด เป็นปัจจัยร่วมที่สำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยหากใช้อุณหภูมิในการทอดต่ำจะต้องใช้ระยะเวลาในการทอด ยาวนานขึ้นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ แต่อาหารจะดูดซับน้ำมันไว้มาก Jagoba and Rosana (2002) ได้ศึกษาการทอดมันฝรั่งแผ่น รายงานว่า อุณหภูมิของน้ำมันที่ใช้ทอดส่งผลต่ออัตราการดูดซับน้ำมันของ ผลิตภัณฑ์ โดยปริมาณน้ำมันที่ดูดซึมเข้าไปในอาหารทอดที่อุณหภูมิสูงในช่วง 172-192 องศาเซลเซียส มี ปริมาณต่ำกว่าอาหารทอดที่อุณหภูมิต่ำในช่วง 155-165 องศาเซลเซียส เนื่องจากระยะเวลาและอัตราการ ถ่ายเทความร้อนจากภายนอกสู่ภายในอาหารสั้นกว่า ส่วน Duran (2007) ทดลองหาการดูดซับน้ำมันใน ระหว่างกระบวนการทอดและหลังทอดมันฝรั่งแผ่น รายงานว่า การทอดที่อุณหภูมิ 140 และ 180 องศาเซลเซียส มีปริมาณการดูดซับน้ำมันในอาหารไม่แตกต่างกัน แต่การใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ปริมาณการดูดซับ

น้ำมันในอาหารมีปริมาณมาก เนื่องจากการทอดอาหารในน้ำมันที่มีอุณหภูมิต่ำทำให้บริเวณผิวด้านนอกของอาหารมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและน้ำในอาหารระเหยออกอย่างช้า ๆ โครงสร้างผิวภายนอกของอาหารค่อย ๆ แข็งขึ้น น้ำมันจึงซึมผ่านเข้าไปในอาหารได้ง่ายกว่าการทอดที่อุณหภูมิสูง

ความชื้นในผลิตภัณฑ์ก่อนทอดมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่เหลือในผลิตภัณฑ์ ซึ่งการลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ก่อนทอดสามารถลดปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์หลังทอดได้ โดย Saguy and Pinthus (1995) กล่าวว่า วิธีที่ช่วยลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ก่อนทอด เช่น การลวกด้วยไอน้ำ การใช้ไอน้ำร้อน หรือการแช่แข็ง จะช่วยลดการอมน้ำมันในผลิตภัณฑ์หลังทอดได้ เนื่องจากการลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ก่อนทอดทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้ำภายในน้อยลง เมื่อนำไปทอดน้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยออกมาน้อย น้ำมันจึงเข้าไปแทนที่น้ำได้น้อย ส่งผลให้การดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์น้อย จากงานวิจัยของธัญญภรณ์ และณัฐิกา (2559) รายงานว่า วิธีการลดความชื้นในเห็ดหอมก่อนทอดด้วยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที ร่วมกับการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณความชื้นและปริมาณการอมน้ำมันในผลิตภัณฑ์เห็ดหอมทอดลดลงมากกว่าการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง และการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ตามลำดับ ซึ่ง Mathias (2014) กล่าวว่า ผลจากการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์ก่อนทอดช่วยลดปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์หลังทอดได้ เนื่องจากในระหว่างการทอด เมื่อน้ำแข็งที่อยู่ในผลิตภัณฑ์เกิดการละลายจะทำให้โครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์ยุบรวมตัวกัน จึงเกิดช่องว่างภายในผลิตภัณฑ์น้อยลง น้ำมันจึงแทรกเข้าไปในเนื้อของผลิตภัณฑ์ได้น้อย สำหรับผลิตภัณฑ์จากปลาจัดเป็นอาหารแหล่งโปรตีน ซึ่งการแช่เยือกแข็งอาจมีผลกระทบต่อโครงสร้างของโปรตีนและอาจส่งผลต่อลักษณะการอมน้ำมันในผลิตภัณฑ์หลังทอดได้ สุทรวุฒน์ (2548) กล่าวว่า การเก็บผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งทำให้เกิดการสูญเสียความชื้นและคุณภาพเนื้อสัมผัสลดลง เนื่องจากโปรตีน โดยเฉพาะโปรตีนไมโอไฟบริลที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนอันมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ปกติโครงสร้างโปรตีนจะยึดเกาะกันด้วยพันธะต่าง ๆ เช่น อันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก พันธะไฮโดรเจน พันธะไอออนิก พันธะไดซัลไฟด์ โดยอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกเป็นพันธะที่มีความสำคัญมากที่สุด แต่ความแข็งแรงของพันธะนี้จะลดลงได้ที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำโครงสร้างโมเลกุลของน้ำจึงไปทำลายอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก ส่วนพันธะไฮโดรเจนเป็นพันธะที่มีความสำคัญต่อการคงตัวของโปรตีน การสูญเสียตัวของโปรตีนในกระบวนการแช่เยือกแข็ง เกิดจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำเพื่อเกิดเป็นผลึกน้ำแข็ง เกิดการจับตัวกันของโปรตีนแน่นมากขึ้น ทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างน้ำกับโปรตีนถูกทำลาย ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดการสูญเสียและแห้ง ดังนั้น ในระหว่างการทอดเมื่อน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์มีการละลายจึงเกิดการยุบรวมตัวกันของโครงสร้างโปรตีนหนาแน่นมากขึ้น ส่งผลให้มีพื้นที่ว่างในการดูดซับน้ำมันในอาหารทอดน้อยลง

นอกจากนี้ ขั้นตอนหรือวิธีการกำจนน้ำมันในผลิตภัณฑ์หลังการทอด เพื่อลดปริมาณน้ำมันก็มีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ วิธีการที่นิยมใช้กำจนน้ำมันในผลิตภัณฑ์หลังการทอด เช่น การเท การเขย่า และการหมุนเหวี่ยง ส่วนวิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ คือ การใช้ลมร้อนหรือไอน้ำร้อนอย่างยิ่งยวด (Superheated steam) เป่าลงบนชิ้นอาหารเพื่อควบคุมไม่ให้อุณหภูมิของอาหารลดลง ซึ่งช่วยลดปริมาณน้ำมันที่บริเวณผิวน้ำผลิตภัณฑ์ทำให้อาหารดูดซับน้ำมันเข้าไปได้น้อย ส่วนการใช้กระดาษดูดซับน้ำมันที่ผิวหน้าอาหารเป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเช่นกัน (Dana and Saguy, 2006; Bouchon, 2009)

ดังนั้น งานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ปลาตุ๋นเส้นเค็มทอด ได้แก่ สภาพที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตปลาตุ๋นเส้นเค็มทอด การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ปลาตุ๋นเส้นเค็มทอดที่มีคุณภาพและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ให้ยาวนานขึ้น

## วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตปลาดุกเส้นเค็มทอด
2. ศึกษาบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม และอายุการเก็บรักษาของปลาดุกเส้นเค็มทอด

## วิธีดำเนินการ

### 1. วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ

#### 1.1 วัตถุดิบ

1.1.1 ปลาดุกบักอยู่ขนาด 700-800 กรัม/ตัว จากตลาดไท จังหวัดปทุมธานี เก็บแช่น้ำแข็งในถังบุฉนวนขนส่งทางรถยนต์มายังกองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง จังหวัดกรุงเทพมหานคร ใช้เวลาขนส่งประมาณ 1 ชั่วโมง

#### 1.1.2 สารส้ม

#### 1.1.3 เกลือทะเล

#### 1.1.4 น้ำตาลทราย ยี่ห้อมิตรผล

#### 1.1.5 น้ำมันปาล์ม ยี่ห้อมรกต

#### 1.2 สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อ

#### 1.2.1 กรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) ยี่ห้อ Sigma-Aldrich

#### 1.2.2 กรดบอริก ( $H_3BO_3$ ) ยี่ห้อ Ajax Finechem

#### 1.2.3 กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ยี่ห้อ Ajax Finechem

#### 1.2.4 คอปเปอร์ซัลเฟต ( $CuSO_4$ ) ยี่ห้อ Ajax Finechem

#### 1.2.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ยี่ห้อ Ajax Finechem

#### 1.2.6 เมทิลเรด (Methyl Red sodium salt) ยี่ห้อ Sigma-Aldrich

#### 1.2.7 เมทิลีนบลู (Methylene blue) ยี่ห้อ Sigma-Aldrich

#### 1.2.8 เอทิลแอลกอฮอล์ ยี่ห้อ Ajax Finechem

#### 1.2.9 แอนไฮไดรตโซเดียมซัลเฟต (Anhydrous $Na_2SO_4$ ) ยี่ห้อ Sigma-Aldrich

#### 1.2.10 เฮกเซน ยี่ห้อ Ajax Finechem

#### 1.2.11 Baird-Parker Agar ยี่ห้อ Oxoid

#### 1.2.12 Bismuth Sulphite Agar ยี่ห้อ Oxoid

#### 1.2.13 Brilliant Green Agar ยี่ห้อ Oxoid

#### 1.2.14 E.C. Broth บริษัท Oxoid

#### 1.2.15 Eosin Methylene Blue (EMB) Agar ยี่ห้อ Oxoid

#### 1.2.16 Lauryl tryptose (LST) Broth ยี่ห้อ Oxoid

#### 1.2.17 Nutrient Agar ยี่ห้อ Oxoid

#### 1.2.18 Modified Semi-solid Rappaport Vassiliadis (MSRV) Agar ยี่ห้อ Oxoid

#### 1.2.19 Plate Count Agar ยี่ห้อ Oxoid

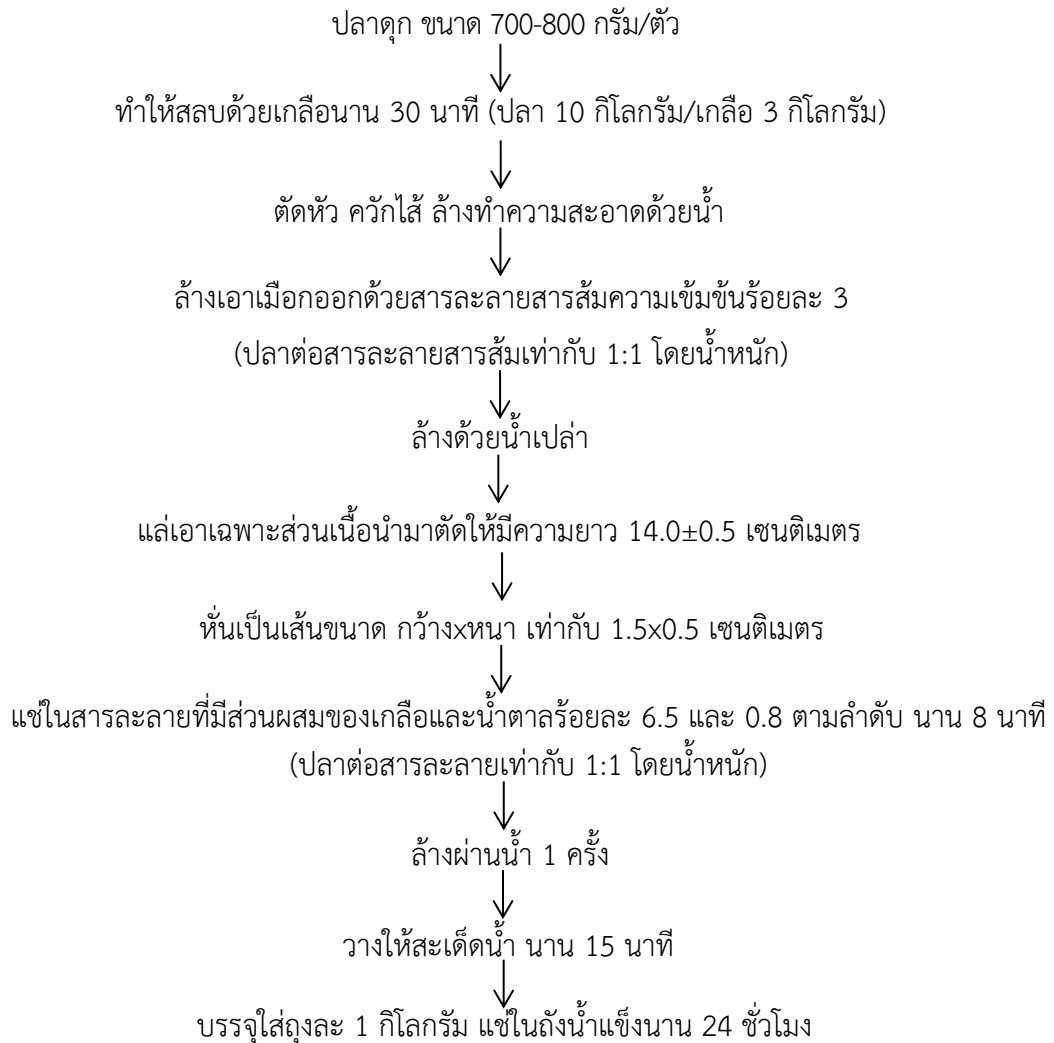
#### 1.2.20 Selenite Cystine Broth ยี่ห้อ Oxoid

#### 1.2.21 Tetrathionate Broth ยี่ห้อ Oxoid

- 1.2.22 Oxytetracycline Glucose Yeast Extract Agar ยี่ห้อ Oxoid
- 1.2.23 Xylose Lysine Desoxycholate (XLD) Agar ยี่ห้อ Oxoid
- 1.3 อุปกรณ์ และเครื่องมือ
  - 1.3.1 ตู้บ่มร้อน ยี่ห้อกล้วยน้ำไทย
  - 1.3.2 หม้อหอดควบคุมอุณหภูมิ ขนาด 5 กิโลกรัม ยี่ห้อ Tefal
  - 1.3.3 ถุงเมทัลไลท์ ชนิดพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) เคลือบด้วยอลูมิเนียม ความหนาของถุงรวม 80 ไมครอน ขนาด กว้างxยาว เท่ากับ 14x20 เซนติเมตร
  - 1.3.4 ถุงลามิเนต ชนิดพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต/ฟลอยด์อะลูมิเนียม/พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Polyethylene terephthalate/ Aluminium foil/ Linear Low Density Polyethylene, PET/AL/LLDPE) หนา 12/7/81 ไมครอน ขนาด กว้างxยาว เท่ากับ 14x20 เซนติเมตร
  - 1.3.5 ซองดูดซับออกซิเจน ขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ยี่ห้อ เบสท์เคพท์ รุ่น S-50
  - 1.3.6 เครื่องสกัดไขมัน ยี่ห้อ Tecator soxtec system รุ่น HT6
  - 1.3.7 เครื่องย่อยโปรตีน ยี่ห้อ Buchi รุ่น K-436
  - 1.3.8 เครื่องดักไอรอด ยี่ห้อ Buchi รุ่น K-415
  - 1.3.9 เครื่องกลั่นโปรตีน ยี่ห้อ Buchi รุ่น K-355
  - 1.3.10 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Water activity) ยี่ห้อ AquaLab รุ่น Pawkit
  - 1.3.11 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ยี่ห้อ HITACHI รุ่น U-2900
  - 1.3.12 เครื่องวัดสี (Chroma meter) ยี่ห้อ Konica Minolta รุ่น CM-5
  - 1.3.13 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyser) รุ่น TA-XT2i ยี่ห้อ Stable Micro Systems
  - 1.3.14 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น CP3202S

## 2. วิธีดำเนินงาน

- 2.1 ศึกษาวิธีการผลิตปลาตากเส้นเค็มทอดของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนลำไทรพัฒนา จังหวัดปทุมธานี  
สัมภาษณ์กลุ่มวิสาหกิจชุมชนลำไทรพัฒนา จังหวัดปทุมธานี เพื่อศึกษาวิธีการผลิตปลาตากเส้นเค็มทอดเบื้องต้น พร้อมสูตรตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาตรฐานวิเคราะห์ความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (2019) และปริมาณน้ำอิสระ (Water activity,  $a_w$ ) ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ
- 2.2 การผลิตปลาตากเส้นเค็มทอดเบื้องต้น  
ผลิตปลาตากเส้นเค็มทอดเบื้องต้น โดยดัดแปลงวิธีการผลิตจากข้อ 2.1 เริ่มต้นจากการนำปลาทูมาทำให้สลบด้วยเกลือ อัตราส่วนปลา 10 กิโลกรัมต่อเกลือ 3 กิโลกรัม นาน 30 นาที จากนั้น ตัดหัว ควักไส้ ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ ล้างเอาเมือกออกด้วยสารละลายสารส้มความเข้มข้นร้อยละ 3 อัตราส่วนปลาต่อสารละลายเท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก ล้างด้วยน้ำเปล่า แล้วเอาเฉพาะส่วนเนื้อ นำมาตัดให้มีขนาดยาว  $14.0 \pm 0.5$  เซนติเมตร แล้วนำมาหั่นเป็นเส้นด้วยเครื่องหั่นเส้นให้มีขนาดเส้น กว้างxหนา เท่ากับ  $1.5 \pm 0.2 \times 0.5 \pm 0.3$  เซนติเมตร นำปลามาแชในสารละลายที่มีส่วนผสมของเกลือและน้ำตาลความเข้มข้นร้อยละ 6.5 และ 0.8 ตามลำดับ อัตราส่วนปลาต่อสารละลายเท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก นาน 8 นาที ล้างผ่านน้ำ 1 ครั้ง วางให้สะเด็ดน้ำ นาน 15 นาที บรรจุใส่ถุงละ 1 กิโลกรัม และนำไปแช่ในถังน้ำแข็งนาน 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดลองขึ้นต่อไป รายละเอียด ดังภาพที่ 1



**ภาพที่ 1** วิธีการผลิตปลาตุกเส้นเค็มก่อนอบแห้ง ดัดแปลงวิธีจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนลำไทรพัฒนา จังหวัดปทุมธานี

### 2.3 ศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการลดความชื้นในปลาตุกเส้นเค็มก่อนทอด

นำปลาตุกเส้นเค็มที่เตรียมจากข้อ 2.2 มาลดความชื้นด้วยการอบในตู้อบลมร้อน โดยแปรอุณหภูมิ 2 ระดับ คือ  $50 \pm 2$  และ  $60 \pm 2$  องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง พร้อมทั้งสุ่มตัวอย่างทุกชั่วโมง ตั้งแต่ 0-12 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์ความชื้น และปริมาณน้ำอิสระ โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณา คือ เลือกใช้อุณหภูมิและระยะเวลาในการลดความชื้นที่ความชื้นในผลิตภัณฑ์มีค่าใกล้เคียงกับความชื้นต่ำสุดในผลิตภัณฑ์ที่ผลิตด้วยวิธีของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนลำไทรพัฒนา จังหวัดปทุมธานี หลังจากนั้น ผลิตปลาตุกเส้นเค็มทอดตามสภาวะที่คัดเลือก แล้วนำไปทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างปลาตุกเส้นเค็มก่อนทอดและหลังทอดเพื่อวิเคราะห์ปริมาณความชื้น และไขมัน ตามวิธีของ Bligh and Dyer (1959)

### 2.4 ศึกษาขนาดของเส้นปลาตุกเส้นเค็มทอดต่อการดูดซับน้ำมัน

เตรียมปลาตุกเส้นเค็มตามข้อ 2.2 แปรความหนาของปลาตุกเส้นโดยหั่นปลาให้หนา  $0.5 \pm 0.2$  เซนติเมตร (เส้นเล็ก) นำไปผลิตตามวิธีของกลุ่ม (SG) และวิธีของงานวิจัย (SR) และ  $0.8 \pm 0.2$  เซนติเมตร (เส้นใหญ่) ผลิตตามวิธีของกลุ่ม (BG) และผลิตตามวิธีของงานวิจัย (BR) แล้วนำมาลดความชื้นโดยการอบที่อุณหภูมิและเวลาที่ได้จากการคัดเลือกจากข้อ 2.3 ก่อนนำตัวอย่างที่ได้ไปทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที จากนั้นนำไปสไลด์น้ำมันที่ความเร็วรอบ 1,200 รอบต่อนาที นาน 1 นาที พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างปลาตุกเส้นเค็ม

ก่อนทอดและหลังทอดนำไปวิเคราะห์ความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ไขมัน และเกลือ ตามวิธีของ AOAC (2019) เพื่อคัดเลือกวิธีการผลิตปลาตากเส้นเค็มทอด โดยใช้ค่าความชื้นและไขมันต่ำสุดเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปศึกษาต่อไป

## 2.5 ศึกษาอายุการเก็บรักษาปลาตากเส้นเค็มทอด

ผลิตปลาตากเส้นเค็มทอดด้วยวิธีการที่ได้จากการคัดเลือกในข้อ 2.4 บรรจุปลาตากเส้นเค็มทอด ปริมาณ 45 กรัม/ถุง ในบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ ดังนี้ ตัวอย่างที่ 1 บรรจุในถุงเมทัลไลต์ชนิด PE ซึ่งเป็นถุงที่กลุ่มแปรรูปสัตว์น้ำนิยมใช้ (ตัวอย่างควบคุม) ตัวอย่างที่ 2 บรรจุในถุงลามิเนต (PET/AL/LLDPE) ไม่ใส่ช่องดูดซับออกซิเจน และตัวอย่างที่ 3 บรรจุในถุงลามิเนต (PET/AL/LLDPE) ใส่ช่องดูดซับออกซิเจน (Oxygen absorber) นำตัวอย่างปลาตากเส้นเค็มทอดทั้ง 3 ตัวอย่าง มาศึกษาอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ( $30 \pm 2$  องศาเซลเซียส) นาน 1 เดือน โดยสุ่มเก็บตัวอย่างสัปดาห์ที่ 0, 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ เพื่อวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

### 2.5.1 ทางกายภาพ

- ค่าแรงเฉือน (Shearing force) วัดค่าแรงกดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ใช้หัววัดใบมีด (Blade set with knife) ที่ความเร็วคงที่ 2 มิลลิเมตร/วินาที ระยะทาง 25 มิลลิเมตร น้ำหนักสูงสุดที่กดคือ แรงสูงสุด (Peak force) แสดงค่าเป็นกรัม วิเคราะห์ตัวอย่างละ 10 ชิ้น

- ค่าสี วัดค่าสีในระบบ CIE ( $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$ ) ด้วยเครื่องวัดสีตัวอย่างละ 10 ชิ้น โดยค่า  $L^*$  หมายถึง ค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) จนถึง 100 (ขาว) ค่า  $+a^*$  หมายถึง ค่าความเป็นสีแดง ค่า  $-a^*$  หมายถึง ค่าความเป็นสีเขียว ค่า  $+b^*$  หมายถึง ค่าความเป็นสีเหลือง และค่า  $-b^*$  หมายถึง ค่าความเป็นสีน้ำเงิน (อรรวรรณ, 2557) จากนั้นนำไปคำนวณหาค่า Hue angle ( $H^\circ$ ) =  $\tan^{-1}(b^*/a^*)$

- ทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 60 ราย ด้วยวิธีทดสอบแบบ Hedonic scale ให้คะแนนด้านสี กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส โดยแบ่งคะแนนเป็น 9 ระดับ ซึ่งคะแนนน้อยกว่า 5 คะแนน แสดงถึงผู้ทดสอบไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์

### 2.5.2 ทางเคมี

- ค่าความชื้น
- ปริมาณน้ำอิสระ
- ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทูริก (Thiobarbituric acid, TBA) ตามวิธีของ Tarladgis *et al.* (1960)

### 2.5.3 ทางจุลชีววิทยา

- ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (BAM, 2001)
- Yeast and Mold (BAM, 2001)
- *Bacillus cereus* (BAM, 2012)
- *Staphylococcus aureus* (BAM, 2016)
- *Escherichia coli* (BAM, 2020)
- *Salmonella* spp. (ISO, 2020)

## 2.6 วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตปลาตากเส้นเค็มทอด วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความ

แปรปรวนโดยใช้ ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามวิธี Duncan' New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

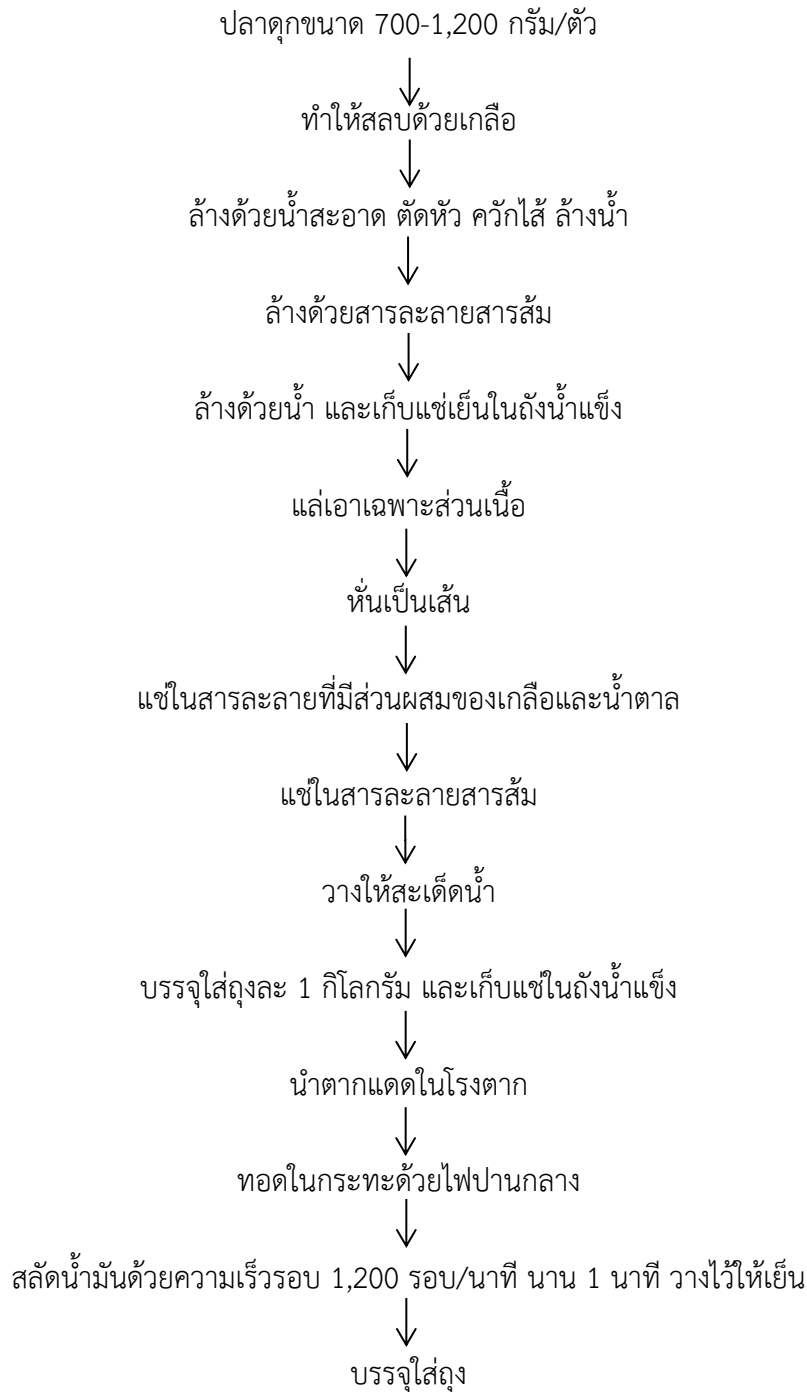
### ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

#### 1. ผลการศึกษาวิธีการผลิตปลาตากเส้นเค็มทอดของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนลำไทรพัฒนา จังหวัดปทุมธานี

จากการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ผลิตปลาตากเส้นเค็มทอด พบว่า มีวิธีการผลิตดังนี้ นำปลาดุกขนาด 700-1,200 กรัมต่อตัว มาทำให้สลบด้วยเกลือ นานประมาณ 30 นาที ล้างน้ำ ตัดหัว ควักไส้ ล้างด้วยสารละลายสารส้มเข้มข้นประมาณร้อยละ 12.5 เพื่อกำจัดเมือกและสะดวกต่อการแล จากนั้น นำมาล้างด้วยน้ำ เก็บเนื้อปลาแช่เย็นในถังน้ำแข็งระหว่างรอการแล โดยการแลเนื้อปลาต้องตัดแต่งเอาไขมันออกและแลเอาเฉพาะส่วนเนื้อ หั่นเป็นเส้นยาวตามความยาวของตัวปลาหนา  $0.8 \pm 0.3$  มิลลิเมตร กว้าง  $1.5 \pm 0.3$  เซนติเมตร แช่ในสารละลายที่มีส่วนผสมของเกลือและน้ำตาลเข้มข้นประมาณร้อยละ 6.5 และร้อยละ 0.8 ตามลำดับ นาน 8 นาที จากนั้น แช่ในสารละลายสารส้มเข้มข้นประมาณร้อยละ 1.25 นาน 2 นาที วางให้สะเด็ดน้ำ นาน 15 นาที เก็บใส่ถุงละ 1 กิโลกรัม แช่เย็นในถังน้ำแข็งนาน 24 ชั่วโมง นำตากแดดที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส นาน 3-6 ชั่วโมง ทอดในกระทะด้วยไฟปานกลางจนสุก มีสีน้ำตาลออกเหลือง สลัดน้ำมันด้วยความเร็วรอบ 1,200 รอบ/นาที นาน 1 นาที วางให้เย็น 20 นาที และนำบรรจุใส่ถุงชนิดเมทัลไลต์ PE ดังแสดงในภาพที่ 2

ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการตาก (ก่อนทอด) พบว่า มีเนื้อสัมผัสคล้ายปลาแดดเดียว มีความชื้นฐานแห้งและปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วงกว้างมาก คือ ร้อยละ 32.61-170.49 (ร้อยละ 32.61, 42.15, 57.68 และ 170.49) และ 0.838-0.966 (0.838, 0.879, 0.931 และ 0.966) ตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากไม่มีการควบคุมอุณหภูมิในการตาก รวมทั้งขนาดปลาที่นำมาใช้มีขนาดค่อนข้างแตกต่างกัน และการหั่นปลาด้วยมือทำให้เส้นปลาดุกมีขนาดเส้นไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้ความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์มีค่าอยู่ในช่วงกว้าง

จากการสำรวจ พบว่า การควบคุมวิธีการผลิตปลาตากเส้นเค็มทอดของกลุ่มยังมีไม่เพียงพอ เช่น อัตราส่วนของปลาต่อสารละลายต่าง ๆ อุณหภูมิและเวลาในการตาก รวมถึงขนาดเส้นของปลาดุก เนื่องจากใช้วิธีการหั่นด้วยมือจึงทำให้ขนาดเส้นไม่สม่ำเสมอเป็นผลให้ค่าความชื้นในผลิตภัณฑ์หลังทำแห้งมีช่วงกว้างมาก ส่งผลให้ปลาดุกเส้นเค็มทอดที่ผลิตได้แต่ละครั้งมีลักษณะทางประสาทสัมผัสไม่คงที่และมีผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ก่อนทอดที่มีความชื้นสูงเมื่อนำไปทอดจะมีความชื้นในผลิตภัณฑ์หลังทอดสูงกว่าผลิตภัณฑ์ก่อนทอดที่มีความชื้นต่ำกว่า ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วกว่า ประกอบกับการบรรจุในถุงพลาสติกชนิดเมทัลไลต์ PE แสงยังคงสามารถผ่านได้ และยังมีความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านความชื้นและก๊าซออกซิเจนต่ำอีกด้วย จึงอาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วยิ่งขึ้น



**ภาพที่ 2** การผลิตปลาดุกเส้นเค็มทอดของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนลำไทรพัฒนา จังหวัดปทุมธานี

## 2. ผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการลดความชื้นในปลาดุกเส้นเค็มก่อนทอด

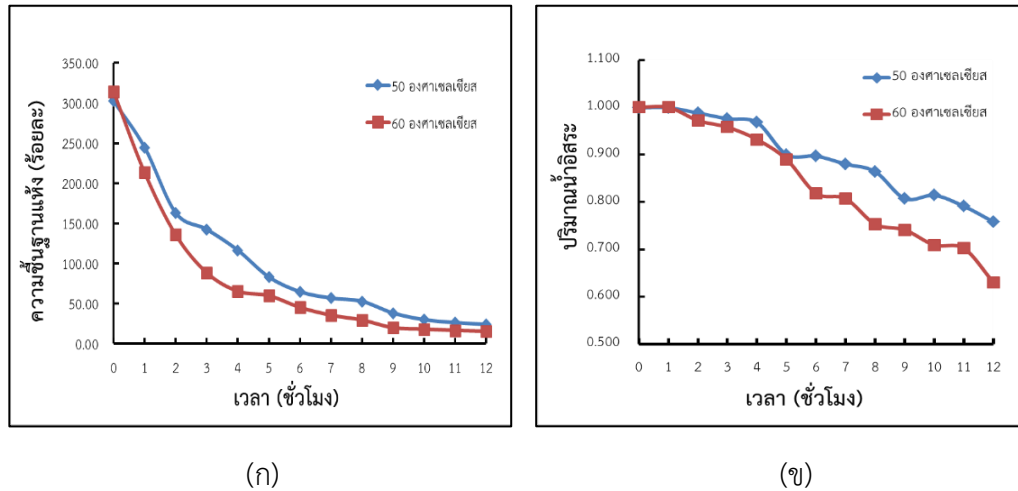
### 2.1 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการลดความชื้นในปลาดุกเส้นเค็มก่อนทอด

จากการลดความชื้นในปลาดุกเส้นเค็มก่อนทอดที่อุณหภูมิ 2 ระดับ (ภาพที่ 3 และตารางภาคผนวกที่ 1) พบว่า ความชื้นของปลาดุกเส้นเค็มที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งความชื้นฐานแห้งของปลาดุกเส้นเค็มที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 0-5 ชั่วโมง ลดลงอย่างรวดเร็วจากร้อยละ  $302.35 \pm 22.98$  เป็นร้อยละ  $83.15 \pm 6.34$  แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในช่วงเวลา 6-9 ชั่วโมง ความชื้นลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ  $64.85 \pm 10.22$  ถึง

38.24±4.35 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) หลังจากนั้น ความชื้นลดลงอย่างช้า ๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) จนถึงชั่วโมงที่ 12 ความชื้นของปลาตากเส้นเค็มเท่ากับร้อยละ 23.98±2.96 ส่วนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 0-4 ชั่วโมง ความชื้นของปลาตากเส้นเค็มลดลงอย่างรวดเร็วจากร้อยละ 314.27±22.68 เป็นร้อยละ 65.33±9.09 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) และในช่วงเวลา 5-8 ชั่วโมง ความชื้นลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 59.93±12.57 ถึง 29.48±3.80 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) จากนั้น ความชื้นลดลงอย่างช้า ๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) จนถึงชั่วโมงที่ 12 ความชื้นของปลาตากเส้นเค็มเท่ากับร้อยละ 15.44±0.53 สอดคล้องกับการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ 30, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ต่อลักษณะการทำแห้งปลาตากเส้นเค็มพบว่า ความชื้นของปลาตากเส้นเค็มจากการทำแห้งทุกอุณหภูมิลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ( $p\leq 0.05$ ) (Mujaffar and Sankat, 2011) นอกจากนี้อำไพศักดิ์ และประทีป (2554) ศึกษาการอบแห้งปลานิลด้วยลมร้อนพบว่า การอบแห้งปลานิลที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้อัตราการแห้งเพิ่มขึ้น ผลผลิตแห้งที่ได้มีความชื้นต่ำกว่าผลผลิตที่อบด้วยอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากผลผลิตที่ผ่านการอบแห้ง เมื่อมีเวลาสัมผัสกับความร้อนนานย่อมทำให้ผลผลิตนั้นมีความชื้นลดลงด้วย รวมทั้งอุณหภูมิที่สูงขึ้นการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการระเหยของน้ำออกจากผลผลิตได้มากกว่าอุณหภูมิต่ำด้วยการสัมผัสกับลมร้อนที่มีการหมุนเวียนอยู่ในตู้อบลมร้อน (Darvishi *et al.*, 2013; Fellows, 2009)

สำหรับปริมาณน้ำอิสระของปลาตากเส้นเค็มที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 3 และตารางภาคผนวกที่ 1) ซึ่งการลดลงของปริมาณน้ำอิสระของปลาตากเส้นเค็มที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากชั่วโมงที่ 0 เป็นชั่วโมงที่ 5 ลดลงจาก 0.999±0.001 เป็น 0.931±0.008 และในช่วงเวลา 6-10 ชั่วโมง ปริมาณน้ำอิสระลดลงต่ำกว่า 0.900 ซึ่งอยู่ในช่วง 0.814±0.004 ถึง 0.897±0.001 หลังจากนั้น ปริมาณน้ำอิสระลดลงต่ำกว่า 0.800 จนในชั่วโมงที่ 12 ปริมาณน้ำอิสระของปลาตากเส้นเค็มมีค่าเท่ากับ 0.758±0.004 ส่วนการลดลงของปริมาณน้ำอิสระของปลาตากเส้นเค็มที่ผ่านการอบที่ 60 องศาเซลเซียส จากชั่วโมงที่ 0 เป็นชั่วโมงที่ 4 ลดลงจาก 1.000±0.000 เป็น 0.932±0.005 และในช่วงเวลา 5-7 ชั่วโมง ปริมาณน้ำอิสระลดลงต่ำกว่า 0.900 ซึ่งอยู่ในช่วง 0.890±0.007 ถึง 0.805±0.004 หลังจากนั้น ปริมาณน้ำอิสระลดลงต่ำกว่า 0.800 จนถึง ชั่วโมงที่ 12 มีค่าเท่ากับ 0.630±0.003 การลดลงของปริมาณน้ำอิสระเกิดขึ้นเนื่องจากการระเหยของน้ำออกจากพื้นผิวของปลาตากเส้นเค็ม โดยอุณหภูมิในการอบมีผลต่อการระเหยน้ำออกจากปลาตากเส้นเค็ม การอบที่อุณหภูมิสูงและใช้ระยะเวลาในการอบนานส่งผลให้ปลาตากเส้นเค็มมีการระเหยน้ำออกมากทำให้มีปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่าการอบที่อุณหภูมิต่ำในระยะเวลาเท่ากัน

ทั้งนี้เพื่อควบคุมให้ผลิตภัณฑ์ที่ทอดแล้วให้มีลักษณะทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคที่ชื่นชอบผลิตภัณฑ์ของกลุ่มยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้อุณหภูมิและเวลาในการอบที่ทำให้ความชื้นและปริมาณน้ำอิสระใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ของกลุ่ม โดยเลือกอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส มีค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ใน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 35.00±5, 45.00±5 และ 55.00±5 อบนาน 3, 5 และ 7 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.805-0.958 นอกจากนี้ ความชื้นทั้งสามระดับยังจัดอยู่ในประเภทผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่มีความชื้นปานกลาง (Intermediate Moisture Food, IMF) ในช่วงร้อยละ 15-50 (Jay, 2000)



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานแห้ง (ก) และปริมาณน้ำอิสระ (ข) ของปลาดุกเส้นเค็มระหว่างการอบที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส เวลา 0-12 ชั่วโมง

## 2.2 เวลาที่เหมาะสมในการลดความชื้นในปลาดุกเส้นเค็มก่อนทอด

ปลาดุกเส้นเค็มก่อนทอดที่ผ่านการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 3, 5 และ 7 ชั่วโมง เมื่อนำไปทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที (ตารางที่ 1) พบว่า ไขมันในปลาดุกเส้นเค็มก่อนทอดที่ผ่านการอบ 3, 5 และ 7 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่ไขมันมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการอบที่เพิ่มขึ้น โดยความชื้นของปลาดุกเส้นเค็มหลังทอดที่ผ่านการอบ 5 และ 7 ชั่วโมงมีความชื้นต่ำกว่าปลาดุกเส้นเค็มหลังทอดที่ผ่านการอบ 3 ชั่วโมง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ปลาดุกเส้นเค็มหลังทอดที่ผ่านการอบ 3 ชั่วโมง มีการดูดซับน้ำมันไว้มากที่สุด เนื่องจากในระหว่างการทอดเกิดการระเหยของน้ำที่อยู่ในชั้นของปลาดุกเส้นออกไปมากจึงทำให้น้ำมันเข้าไปแทนที่น้ำได้มาก Moreira *et al.* (1997); Krokida *et al.* (2001); Moyano and Berna (2002) และ Manjunatha *et al.* (2012) อธิบายว่า การดูดซับไขมันไว้ในอาหารหลังทอดขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นของอาหาร หากความชื้นเริ่มต้นของอาหารมีมาก เมื่อนำไปทอดจะมีการดูดซับน้ำมันไว้มากตามไปด้วย

อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่า ปลาดุกเส้นที่ผ่านการอบ 5 และ 7 ชั่วโมง ที่ 60 องศาเซลเซียส เมื่อนำไปทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที ผู้ทดสอบไม่ยอมรับเนื่องจากมีเนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็ง กระด้าง และรู้สึกระคายคอหลังจากรับประทาน โดยเฉพาะปลาดุกเส้นเค็มที่ผ่านการอบ 7 ชั่วโมง เนื่องจาก ปลาดุกเส้นเค็มก่อนทอดที่ 7 ชั่วโมง มีความชื้นต่ำจึงแห้งกว่าทุกตัวอย่าง เมื่อนำไปทอดทำให้น้ำระเหยออกมาจากตัวผลิตภัณฑ์จึงเพิ่มความแห้งและแข็งให้กับผลิตภัณฑ์มากยิ่งขึ้น รวมทั้งเกิดโครงสร้างผิวนอกที่แข็งได้เร็วกว่าทุกผลิตภัณฑ์ ดังนั้น จึงเลือกเวลาในการลดความชื้นที่ 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งประหยัดเวลาในการลดความชื้นสำหรับการทดลองต่อไป

ตารางที่ 1 ร้อยละความชื้นและไขมันของปลาตุ๋กเส้นเค็มก่อนทอดและหลังทอดที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 3, 5 และ 7 ชั่วโมง

| ตัวอย่าง               | ระยะเวลาลดความชื้น<br>(ชั่วโมง) | ความชื้น (db)             | ไขมัน (db)              |
|------------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| ปลาตุ๋กเส้นเค็มก่อนทอด | 3                               | 101.37±21.73 <sup>b</sup> | 19.58±3.53 <sup>a</sup> |
|                        | 5                               | 65.47±11.18 <sup>a</sup>  | 19.11±1.58 <sup>a</sup> |
|                        | 7                               | 40.60±11.27 <sup>a</sup>  | 17.00±1.62 <sup>a</sup> |
| ปลาตุ๋กเส้นเค็มหลังทอด | 3                               | 41.29±7.42 <sup>b</sup>   | 24.39±1.97 <sup>a</sup> |
|                        | 5                               | 18.32±3.72 <sup>a</sup>   | 23.30±0.95 <sup>a</sup> |
|                        | 7                               | 12.13±1.79 <sup>a</sup>   | 22.92±0.91 <sup>a</sup> |

a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งของตัวอย่างเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

### 3. ผลการศึกษาขนาดของเส้นปลาตุ๋กเส้นเค็มทอดต่อการดูดซับน้ำมัน

จากการศึกษาขนาดของเส้นปลาตุ๋กเส้นเค็มทอด พบว่า ก่อนทำแห้ง ปลาตุ๋กเส้นเค็มทุกตัวอย่างมีปริมาณความชื้น ไขมัน และปริมาณน้ำอิสระไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ยกเว้นปริมาณเกลือ โดย SR และ SG มีปริมาณเกลือมากกว่า BR และ BG แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 2

หลังทำแห้ง 3 ชั่วโมง SR และ SG มีปริมาณความชื้น ไขมัน และปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่า BR และ BG แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แสดงว่าขนาดและรูปร่างของอาหารมีผลต่ออัตราการทำแห้ง โดยอาหารที่มีขนาดและรูปร่างที่ทำให้อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของอาหารมีมากจะช่วยให้การระเหยน้ำเร็วขึ้น อาหารที่มีขนาดเล็กและบางจะสามารถทำแห้งได้เร็วกว่าอาหารที่มีขนาดใหญ่และหนา ส่วนเกลือในปลาตุ๋กเส้นเค็มขนาดเล็กมีปริมาณมากกว่าเส้นใหญ่ เนื่องจาก เส้นเล็กมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับเกลือมากกว่าทำให้เกลือแพร่เข้าสู่ภายในเนื้อปลาได้เร็วกว่าเส้นใหญ่ที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับเกลือน้อยกว่า

หลังทอด พบว่า SR และ SG มีปริมาณความชื้น ไขมัน และปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่า BR และ BG แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจาก ขนาดของปลาตุ๋กเส้นเล็กมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าและบางกว่า ดังนั้น ในขณะทอดทำให้มีปริมาณน้ำระเหยออกมาน้อยกว่า ส่งผลให้น้ำมันเข้าไปแทนที่น้ำได้น้อย ประกอบกับการเกิดโครงสร้างภายนอกที่มีลักษณะแข็งรอบ ๆ ขึ้นปลาตุ๋กเส้นได้เร็วกว่าขนาดเส้นใหญ่ จึงป้องกันการดูดซับน้ำมัน นอกจากนี้ ปริมาณเกลือใน SR และ SG มีปริมาณเกลือมากกว่า BR และ BG แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เพราะเกลือซึมผ่านเข้าไปในเนื้อของปลาตุ๋กเส้นขนาดเล็กได้ทั่วถึงและเร็วกว่าปลาตุ๋กเส้นขนาดใหญ่ เกลือจึงเข้าไปจับกับน้ำที่อยู่ในเนื้อปลาได้มากกว่า ส่งผลให้ปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่าเส้นขนาดใหญ่ ทำให้น้ำระเหยออกมาได้น้อยกว่าจึงมีการดูดซับน้ำมันได้น้อยตามไปด้วย แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของความชื้นแปรผันตรงกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำอิสระในอาหาร โดยความชื้นเพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Li *et al.* (2016) ศึกษาการดูดซับน้ำมันในมันฝรั่งทอดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3-1.2 มิลลิเมตร โดยการดูดซับน้ำมันในมันฝรั่งทอดจะเพิ่มมากขึ้นตามขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่เพิ่มขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) Khaled Abu-Alruz (2015) รายงานว่า ผลิตภัณฑ์ Falafel ball ทอดขนาดเล็กดูดซับน้ำมันน้อยกว่าขนาดกลางและขนาดใหญ่ และ Jagoba and Rosana (2002) ศึกษาการดูดซับ

น้ำมันในมันฝรั่งทอดที่สภาวะสุญญากาศ พบว่า การดูดซับน้ำมันมีความสัมพันธ์กับการสูญเสียความชื้น ยิ่งมีการสูญเสียความชื้นสูง มันฝรั่งจะมีการดูดซับน้ำมันไว้สูง

เมื่อพิจารณาขนาดของปลาตุ๋กเส้นเค็มหลังทอดที่มีขนาดเดียวกัน พบว่า วิธีการผลิตของงานวิจัย และวิธีการผลิตของกลุ่มมีผลต่อปริมาณความชื้น ไขมัน เกลือ และปริมาณน้ำอิสระที่พบในปลาตุ๋กเส้นเค็มทอด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) อย่างไรก็ตาม ขนาดของเส้นมีผลต่อการดูดซับน้ำมันของปลาตุ๋กเส้นเค็มทอด โดยปลาตุ๋กเส้นเค็มทอดเส้นเล็กมีปริมาณไขมันน้อยกว่าปลาตุ๋กเส้นเค็มทอดเส้นใหญ่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) ดังนั้น ปลาตุ๋กเส้นเค็มเส้นเล็กจึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ผลิตสามารถนำไปใช้ในการผลิตปลาตุ๋กเส้นเค็มทอดในกรณีที่ไม่มีเครื่องสลัดน้ำมันใช้เพื่อลดปริมาณน้ำมันในปลาตุ๋กเส้นเค็มทอด

หลังสลัดน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1,200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที พบว่า ปริมาณเกลือใน BR และ BG มีปริมาณน้อยกว่า SR และ SG แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) และความชื้นของ BR และ BG มีปริมาณสูงกว่า SR และ SG แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) ซึ่งเป็นแนวโน้มเดียวกันกับตัวอย่างก่อนสลัดน้ำมัน และพบว่าปริมาณน้ำอิสระและปริมาณไขมันของทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) อย่างไรก็ตาม ปริมาณไขมันที่ลดลงจากการสลัดน้ำมันออกจาก BR และ BG มีปริมาณมากกว่า SR และ SG แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ )

**ตารางที่ 2** ร้อยละองค์ประกอบทางเคมีของปลาตุ๋กเส้นเค็มขนาดต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับปริมาณน้ำมัน

| ตัวอย่าง       |    | ความชื้น (db)             | ไขมัน (db)              | เกลือ (db)             | ปริมาณน้ำอิสระ           | ปริมาณไขมันที่ลดลง (db) |
|----------------|----|---------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|
| ก่อนทำแห้ง     | SR | 272.33±21.06 <sup>a</sup> | 27.69±2.01 <sup>a</sup> | 4.39±0.28 <sup>b</sup> | 0.992±0.001 <sup>a</sup> | -                       |
|                | BR | 273.58±15.10 <sup>a</sup> | 27.33±1.13 <sup>a</sup> | 3.40±0.15 <sup>a</sup> | 0.986±0.002 <sup>a</sup> | -                       |
|                | SG | 269.22±6.43 <sup>a</sup>  | 27.27±2.07 <sup>a</sup> | 4.40±0.11 <sup>b</sup> | 0.992±0.003 <sup>a</sup> | -                       |
|                | BG | 274.57±23.74 <sup>a</sup> | 27.05±0.25 <sup>a</sup> | 3.69±0.32 <sup>a</sup> | 0.990±0.005 <sup>a</sup> | -                       |
| หลังทำแห้ง     | SR | 84.61±7.06 <sup>a</sup>   | 17.72±0.74 <sup>a</sup> | 3.95±0.06 <sup>b</sup> | 0.972±0.012 <sup>a</sup> | -                       |
|                | BR | 137.00±2.93 <sup>b</sup>  | 21.36±0.29 <sup>b</sup> | 3.05±0.21 <sup>a</sup> | 0.993±0.003 <sup>b</sup> | -                       |
|                | SG | 82.13±15.76 <sup>a</sup>  | 17.57±0.76 <sup>a</sup> | 3.88±0.22 <sup>b</sup> | 0.973±0.010 <sup>a</sup> | -                       |
|                | BG | 130.59±11.66 <sup>b</sup> | 20.71±2.37 <sup>b</sup> | 3.04±0.26 <sup>a</sup> | 0.990±0.004 <sup>b</sup> | -                       |
| หลังทอด        | SR | 34.97±4.79 <sup>a</sup>   | 22.51±0.63 <sup>a</sup> | 2.89±0.16 <sup>b</sup> | 0.866±0.012 <sup>a</sup> | -                       |
|                | BR | 65.01±13.15 <sup>b</sup>  | 26.56±1.82 <sup>b</sup> | 2.33±0.21 <sup>a</sup> | 0.943±0.028 <sup>b</sup> | -                       |
|                | SG | 34.06±5.56 <sup>a</sup>   | 23.06±1.67 <sup>a</sup> | 2.90±0.29 <sup>b</sup> | 0.892±0.025 <sup>a</sup> | -                       |
|                | BG | 63.56±13.78 <sup>b</sup>  | 26.02±1.18 <sup>b</sup> | 2.31±0.08 <sup>a</sup> | 0.955±0.005 <sup>b</sup> | -                       |
| หลังสลัดน้ำมัน | SR | 37.49±11.19 <sup>a</sup>  | 16.79±0.44 <sup>a</sup> | 3.15±0.21 <sup>b</sup> | 0.915±0.044 <sup>a</sup> | 25.41±1.02 <sup>a</sup> |
|                | BR | 72.82±10.66 <sup>b</sup>  | 15.56±1.09 <sup>a</sup> | 2.39±0.14 <sup>a</sup> | 0.955±0.010 <sup>a</sup> | 41.27±4.82 <sup>b</sup> |
|                | SG | 36.70±0.27 <sup>a</sup>   | 16.98±0.80 <sup>a</sup> | 3.06±0.23 <sup>b</sup> | 0.927±0.031 <sup>a</sup> | 26.00±7.90 <sup>a</sup> |
|                | BG | 69.13±9.32 <sup>b</sup>   | 16.03±0.56 <sup>a</sup> | 2.38±0.06 <sup>a</sup> | 0.952±0.011 <sup>a</sup> | 38.30±3.67 <sup>b</sup> |

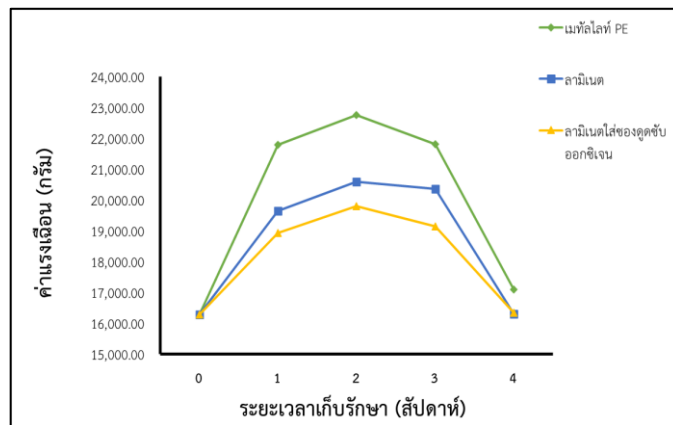
a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งของตัวอย่างเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ )

#### 4. ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาปลาดุกเส้นเค็มทอด

จากการเก็บรักษาปลาดุกเส้นเค็มทอดเส้นเล็กในถุงเมทัลไลต์ PE ถุงลามิเนต และถุงลามิเนตใสของดูดซับออกซิเจนที่อุณหภูมิห้อง  $30 \pm 2$  องศาเซลเซียส นาน 1 เดือน พบว่า ปลาดุกเส้นเค็มทอดมีคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา ดังนี้

##### 4.1 ทางกายภาพ

ค่าแรงเหวี่ยง จากภาพที่ 4 และตารางภาคผนวกที่ 2 พบว่า ใน 2 สัปดาห์แรก ค่าแรงเหวี่ยงมีค่าเพิ่มขึ้น โดยสัปดาห์ที่ 0 ตัวอย่างปลาดุกเส้นเค็มทอดในบรรจุภัณฑ์ทุกแบบมีค่าแรงเหวี่ยงต่างจากสัปดาห์ที่ 2 ( $p \leq 0.05$ ) หลังจากนั้น ค่าแรงเหวี่ยงมีแนวโน้มลดลงไม่แตกต่างกันกับสัปดาห์ที่ 0 ( $p > 0.05$ ) เนื่องจาก ปลาดุกเส้นเค็มทอดเป็นผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งมีลักษณะกรอบนอกนุ่มใน โดยผิวนอกแห้งและกรอบเพียงเล็กน้อย แต่ภายในชิ้นยังมีความชื้นอยู่ จึงทำให้เมื่อทดสอบผลิตภัณฑ์ในช่วงแรกผลิตภัณฑ์ถูกตัดขาดได้ง่าย ค่าแรงเหวี่ยงจึงมีค่าต่ำ เมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นที่ 2 สัปดาห์ ความชื้นที่มีอยู่ในชิ้นปลาดุกเส้นเค็มทอดแพร่ออกไปยังพื้นผิวด้านนอกทำให้ผลิตภัณฑ์จากที่มีความกรอบเพียงเล็กน้อยกลายเป็นมีความเหนียวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าแรงเหวี่ยงเพิ่มขึ้น Kulchan *et al.* (2010) อธิบายว่า ค่าแรงเหวี่ยงที่เพิ่มขึ้นในระยะเวลาการเก็บรักษาในช่วงแรกเกิดจากผลิตภัณฑ์มีความชื้นเพิ่มขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเหนียวส่งผลให้ค่าแรงเหวี่ยงสูงขึ้น หลังจากนั้น เมื่อเก็บรักษาต่อความชื้นในชิ้นผลิตภัณฑ์จะแพร่ไปทั่วทั้งชิ้นรวมถึงออกมาสู่ภายในบรรจุภัณฑ์จนความชื้นอยู่ในสภาวะอิ่มตัว ในขณะที่ความชื้นจากภายนอกเริ่มเข้ามาภายในถุงบรรจุ ผลิตภัณฑ์จึงมีความชื้นมากขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสนุ่มทำให้ค่าแรงเหวี่ยงมีค่าลดลง จากภาพที่ 4 จะเห็นว่าการบรรจุปลาดุกเส้นเค็มทอดในถุงเมทัลไลต์ PE มีค่าแรงเหวี่ยงสูงกว่าการบรรจุในถุงลามิเนต และถุงลามิเนตใสของดูดซับออกซิเจน เนื่องจากถุงเมทัลไลต์ PE เป็นถุงที่ผลิตจากพลาสติกชนิด PE เพียงชั้นเดียวแล้วพ่นเคลือบด้วยอลูมิเนียมจึงป้องกันแสงไอน้ำ และก๊าซได้ไม่ดีเท่าถุงลามิเนต ซึ่งเป็นถุงชนิดที่ประกอบด้วยฟิล์มสามชั้น คือ PET, อลูมิเนียม และ PE มาประกบกัน ทำให้ถุงมีความแข็งแรง ทึบแสง ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ ไอน้ำ และแสงได้สูงกว่า (Poovarodom, 2007) ด้วยคุณสมบัติของถุงเมทัลไลต์ PE ที่ป้องกันความชื้นได้ไม่ดีเท่าถุงลามิเนต และถุงลามิเนตใสของดูดซับออกซิเจน ทำให้ความชื้นซึมผ่านเข้าและออกได้ง่ายกว่าส่งผลให้ปลาดุกเส้นเค็มทอดที่บรรจุในถุงเมทัลไลต์ PE มีค่าแรงเหวี่ยงสูงกว่า ( $p > 0.05$ )



ภาพที่ 4 ค่าแรงเฉือนของพลาสติกเส้นเค็มทอดในบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา

ค่าสีของพลาสติกเส้นเค็มทอด แสดงดังตารางที่ 3 พบว่า ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) และค่า Hue angle ( $H^\circ$ ) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกเฉดสีของผลิตภัณฑ์ โดยตัวอย่างพลาสติกเส้นเค็มทอดในบรรจุภัณฑ์ทุกชนิดมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีทั้งสองประเภทตลอดการเก็บรักษาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 49.09–53.43 และ 73.27–77.34 ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวแสดงสีของพลาสติกเส้นเค็มทอดอยู่ในเฉดสีเหลืองสว่าง แต่จากการสังเกตด้วยสายตาพบว่า เมื่อเก็บรักษาพลาสติกเส้นเค็มนานขึ้นสีของพลาสติกเส้นเค็มทอดมีสีซีดลง อาจเนื่องมาจากน้ำภายในพลาสติกเส้นเค็มทอดแพร่ออกมาสู่ผิวหน้า

ตารางที่ 3 ค่าสีของพลาสติกเส้นเค็มทอดในบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา

| ระยะเวลา<br>(สัปดาห์) | ถุงเมทัลโลท PE <sup>ns,NS</sup> |            | ถุงลามิเนต <sup>ns,NS</sup> |            | ถุงลามิเนตใส่ช่องดูดซับออกซิเจน <sup>ns,NS</sup> |            |
|-----------------------|---------------------------------|------------|-----------------------------|------------|--------------------------------------------------|------------|
|                       | $L^*$                           | $H^\circ$  | $L^*$                       | $H^\circ$  | $L^*$                                            | $H^\circ$  |
| 0                     | 49.45±1.32                      | 73.62±0.38 | 49.45±1.32                  | 73.62±0.38 | 49.45±1.32                                       | 73.62±0.38 |
| 1                     | 49.84±2.51                      | 75.69±1.12 | 49.31±3.47                  | 75.33±0.49 | 49.09±4.02                                       | 75.00±1.66 |
| 2                     | 51.10±1.93                      | 76.59±2.00 | 50.53±1.80                  | 75.76±1.49 | 49.22±3.52                                       | 73.27±2.47 |
| 3                     | 53.40±3.86                      | 77.34±1.11 | 52.38±0.86                  | 75.84±2.20 | 51.39±2.50                                       | 73.94±2.00 |
| 4                     | 53.43±2.79                      | 77.14±2.12 | 52.38±1.69                  | 76.23±0.93 | 51.45±2.88                                       | 74.97±0.52 |

<sup>ns</sup> ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

<sup>NS</sup> ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

คุณภาพด้านประสาทสัมผัส โดยคะแนนน้อยกว่า 5 คะแนน นั้น แสดงถึงผู้ทดสอบไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์ จากตารางที่ 4 ผู้ทดสอบให้การยอมรับทุกคุณลักษณะของพลาสติกเส้นเค็มทอดในตัวอย่างเริ่มต้นอยู่ในช่วงคะแนน 7.18–7.35 หลังจากนั้น คะแนนการยอมรับลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยการบรรจุในถุงเมทัลโลท PE ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับสี กลิ่น กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ในสัปดาห์ที่ 0 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) กับสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ซึ่งผู้ทดสอบให้การยอมรับสีและกลิ่นตลอดอายุการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ในขณะที่ กลิ่นรสและเนื้อสัมผัส ผู้ทดสอบไม่ให้การยอมรับในสัปดาห์ที่ 4 โดยมีคะแนนการยอมรับเท่ากับ  $4.98\pm0.13$  และ  $4.26\pm0.13$  ตามลำดับ

สำหรับถุงลามิเนต ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับสีของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ในขณะที่ กลิ่น กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับในสัปดาห์ที่ 0 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ซึ่งผู้ทดสอบให้การยอมรับสี กลิ่นและกลิ่นรสตลอดการเก็บรักษา แต่ไม่ให้การยอมรับเนื้อสัมผัสในสัปดาห์ที่ 4 โดยมีคะแนนการยอมรับเท่ากับ  $4.41\pm 0.18$

ในขณะที่ ถุงลามิเนตใส่ช่องดูดซับออกซิเจน ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับสี กลิ่น และกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ตลอดอายุการเก็บรักษา โดยให้คะแนนการยอมรับสี กลิ่น และกลิ่นรสในสัปดาห์ที่ 0 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และ 4 แต่ในด้านเนื้อสัมผัสผู้ทดสอบไม่ให้การยอมรับในสัปดาห์ที่ 4 ซึ่งผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับเท่ากับ  $4.67\pm 0.23$

เมื่อเปรียบเทียบชนิดของบรรจุภัณฑ์ พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับสีและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ทุกชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ระหว่างการเก็บรักษา ส่วนกลิ่นและกลิ่นรส มีคะแนนการยอมรับในบรรจุภัณฑ์ทุกชนิดในสัปดาห์ที่ 0-2 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) และในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 คะแนนการยอมรับด้านกลิ่นและกลิ่นรสในถุงเมทัลโลท PE และถุงลามิเนตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) กับถุงลามิเนตใส่ช่องดูดซับออกซิเจน โดยผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับกลิ่นและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์บรรจุในถุงลามิเนตใส่ช่องดูดซับออกซิเจนสูงกว่าถุงเมทัลโลท PE และถุงลามิเนต ทั้งนี้ อาจเนื่องจากช่องดูดซับออกซิเจนช่วยดูดซับปริมาณออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งออกซิเจนเป็นปัจจัยที่สำคัญในเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ที่มีไขมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในไขมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง ซึ่งจะก่อให้เกิดกลิ่นหืน ส่งผลให้ผู้ทดสอบไม่ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์เมื่อมีการเก็บรักษานานขึ้น ทั้งนี้ปลาสดเส้นเค็มทอดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันสูง จึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย เมื่อไขมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่ผ่านเข้ามาภายในบรรจุภัณฑ์มากขึ้นในระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ทำให้เกิดสารเปอร์ออกไซด์จำนวนมาก ซึ่งจัดเป็นสารที่ไม่เสถียรและจะสลายตัวเกิดเป็นสารประกอบคาร์บอนหลายชนิด เช่น คีโตน แอลดีไฮด์ และแอลกอฮอล์ ซึ่งสารบางตัวก่อให้เกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ (Dugan, 1976)

ตารางที่ 4 คุณภาพด้านประสาทสัมผัสของปลาดุกเส้นเค็มทอดในบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา

| บรรจุภัณฑ์                            | ระยะเวลา<br>(สัปดาห์) | สี                       | กลิ่น                     | กลิ่นรส                  | เนื้อสัมผัส              |
|---------------------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ถุงเมทัลไลต์ PE                       | 0                     | 7.35±0.04 <sup>b,A</sup> | 7.21±0.25 <sup>b,A</sup>  | 7.20±0.67 <sup>b,A</sup> | 7.18±0.29 <sup>b,A</sup> |
|                                       | 1                     | 6.54±0.12 <sup>a,A</sup> | 5.94±0.28 <sup>a,A</sup>  | 6.13±0.29 <sup>a,A</sup> | 5.53±0.58 <sup>a,A</sup> |
|                                       | 2                     | 6.18±0.46 <sup>a,A</sup> | 5.87±0.76 <sup>a,A</sup>  | 5.74±0.81 <sup>a,A</sup> | 5.24±0.91 <sup>a,A</sup> |
|                                       | 3                     | 6.09±0.71 <sup>a,A</sup> | 5.55±0.22 <sup>a,B</sup>  | 5.18±0.11 <sup>a,B</sup> | 5.18±0.69 <sup>a,A</sup> |
|                                       | 4                     | 5.70±0.25 <sup>a,A</sup> | 5.26±0.01 <sup>a,B</sup>  | 4.98±0.13 <sup>a,B</sup> | 4.26±0.13 <sup>a,A</sup> |
| ถุงลามิเนต                            | 0                     | 7.35±0.04 <sup>a,A</sup> | 7.21±0.25 <sup>b,A</sup>  | 7.20±0.67 <sup>b,A</sup> | 7.18±0.03 <sup>b,A</sup> |
|                                       | 1                     | 6.47±0.18 <sup>a,A</sup> | 6.06±0.31 <sup>a,A</sup>  | 5.96±0.15 <sup>a,A</sup> | 5.33±0.23 <sup>a,A</sup> |
|                                       | 2                     | 6.37±0.68 <sup>a,A</sup> | 5.74±0.57 <sup>a,A</sup>  | 5.49±0.74 <sup>a,A</sup> | 5.25±1.07 <sup>a,A</sup> |
|                                       | 3                     | 6.04±1.19 <sup>a,A</sup> | 5.72±0.09 <sup>a,B</sup>  | 5.37±0.08 <sup>a,B</sup> | 5.01±0.49 <sup>a,A</sup> |
|                                       | 4                     | 5.82±0.01 <sup>a,A</sup> | 5.36±0.21 <sup>a,B</sup>  | 5.00±0.31 <sup>a,B</sup> | 4.41±0.18 <sup>a,A</sup> |
| ถุงลามิเนตใส<br>ของดูดซับ<br>ออกซิเจน | 0                     | 7.35±0.04 <sup>b,A</sup> | 7.21±0.25 <sup>c,A</sup>  | 7.20±0.67 <sup>b,A</sup> | 7.18±0.03 <sup>c,A</sup> |
|                                       | 1                     | 6.21±0.11 <sup>a,A</sup> | 6.42±0.18 <sup>b,A</sup>  | 6.05±0.03 <sup>a,A</sup> | 5.46±1.18 <sup>b,A</sup> |
|                                       | 2                     | 6.04±0.45 <sup>a,A</sup> | 6.38±0.08 <sup>b,A</sup>  | 6.18±0.43 <sup>a,A</sup> | 5.68±0.16 <sup>b,A</sup> |
|                                       | 3                     | 5.97±0.33 <sup>a,A</sup> | 6.18±0.07 <sup>ab,C</sup> | 5.94±0.03 <sup>a,C</sup> | 5.56±0.03 <sup>b,A</sup> |
|                                       | 4                     | 5.58±0.14 <sup>a,A</sup> | 5.87±0.08 <sup>a,C</sup>  | 5.29±0.11 <sup>a,C</sup> | 4.67±0.23 <sup>a,A</sup> |

<sup>a, b</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งของบรรจุภัณฑ์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
<sup>A, B, C</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งของบรรจุภัณฑ์ต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.2 ทางเคมี

ความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ ) ของปลาดุกเส้นเค็มทอดในบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 5 และ 6 ตามลำดับ) พบว่า สัปดาห์ที่ 0 ของการเก็บรักษาในทุกบรรจุภัณฑ์ ตัวอย่างปลาดุกเส้นเค็มทอดมีความชื้นร้อยละ 27.74 และปริมาณน้ำอิสระ 0.73 หลังจากนั้น ความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของปลาดุกเส้นเค็มทอดมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เนื่องจากเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นความชื้นอาจซึมผ่านเข้าไปในบรรจุภัณฑ์ในปริมาณที่มากขึ้น ปลาดุกเส้นเค็มทอดจึงดูดความชื้นจากบรรยากาศภายในถุง โดย Labuza (1998) กล่าวว่า เมื่อสภาวะการเก็บรักษาในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง อาหารที่มีความชื้นต่ำจะดูดความชื้นจากบรรยากาศจนกระทั่งความชื้นภายในสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ ดังนั้น ในการศึกษาเมื่อปลาดุกเส้นเค็มทอดดูดความชื้นเข้าไปจึงทำให้สูญเสียความกรอบ แต่มีความเหนียวเพิ่มขึ้นและเมื่อเก็บรักษานานขึ้นจะมีการดูดความชื้นเข้าไปอีกจนทำให้เนื้อสัมผัสนุ่ม Nawar (1996) กล่าวว่า ค่า  $a_w$  ที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับความชื้นที่สูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้เกิดอัตราการเกิดออกซิเดชันเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5 ร้อยละความชื้นของปลาดุกเส้นเค็มทอดในบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา

| ระยะเวลา<br>(สัปดาห์) | ความชื้น (db)                   |                             |                                                       |
|-----------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------|
|                       | ถุงเมทัลโลท PE <sup>ns,NS</sup> | ถุงลามิเนต <sup>ns,NS</sup> | ถุงลามิเนตใสของชุดขับเคลื่อนออกซิเจน <sup>ns,NS</sup> |
| 0                     | 27.74±1.43                      | 27.74±1.43                  | 27.74±1.43                                            |
| 1                     | 30.56±4.36                      | 29.01±1.63                  | 26.24±2.55                                            |
| 2                     | 31.28±6.62                      | 28.66±2.07                  | 28.83±7.08                                            |
| 3                     | 29.72±6.20                      | 28.39±3.71                  | 29.12±4.74                                            |
| 4                     | 32.17±0.70                      | 30.62±0.22                  | 30.38±4.38                                            |

<sup>ns</sup> ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

<sup>NS</sup> ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

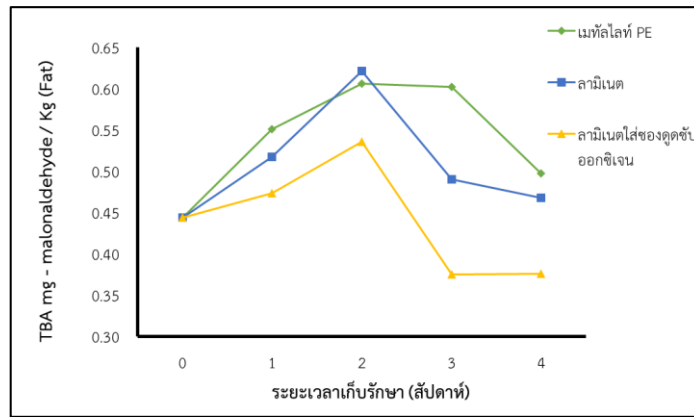
ตารางที่ 6 ปริมาณน้ำอิสระของปลาดุกเส้นเค็มทอดในบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา

| ระยะเวลา<br>(สัปดาห์) | ปริมาณน้ำอิสระ                  |                             |                                                       |
|-----------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------|
|                       | ถุงเมทัลโลท PE <sup>ns,NS</sup> | ถุงลามิเนต <sup>ns,NS</sup> | ถุงลามิเนตใสของชุดขับเคลื่อนออกซิเจน <sup>ns,NS</sup> |
| 0                     | 0.73±0.01                       | 0.73±0.01                   | 0.73±0.01                                             |
| 1                     | 0.75±0.00                       | 0.73±0.01                   | 0.75±0.02                                             |
| 2                     | 0.75±0.05                       | 0.76±0.03                   | 0.75±0.02                                             |
| 3                     | 0.74±0.07                       | 0.73±0.01                   | 0.72±0.06                                             |
| 4                     | 0.77±0.00                       | 0.77±0.03                   | 0.76±0.00                                             |

<sup>ns</sup> ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

<sup>NS</sup> ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

ปริมาณกรดไทโอบาร์บิทริก (Thiobarbituric acid, TBA) ของปลาดุกเส้นเค็มทอดในบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา จากภาพที่ 5 และตารางผนวกที่ 3 ค่า TBA ของทุกตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและลดต่ำลงในช่วงท้ายของการเก็บรักษา โดยตัวอย่างปลาดุกเส้นเค็มทอดในทุกบรรจุภัณฑ์มีค่า TBA ในแต่ละช่วงระยะเวลาเก็บรักษาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ถุงเมทัลโลท PE เป็นถุงที่มีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนได้ดีกว่าถุงลามิเนตที่ประกอบด้วยฟิล์มบาง 3 ชั้น โดยชั้น Aluminium ถือเป็นชั้นที่มีคุณสมบัติในการป้องกันออกซิเจนได้สูง นอกจากนี้ ยังพบว่า ตัวอย่างที่บรรจุด้วยถุงลามิเนตและใสของชุดขับเคลื่อนออกซิเจน มีค่า TBA ต่ำที่สุด ( $p>0.05$ ) ตลอดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากตัวชุดขับเคลื่อนออกซิเจนสามารถดูดซับออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ไว้ได้ในช่วงแรกของการเก็บรักษา อย่างไรก็ตาม พบว่า ทุกตัวอย่างมีค่า TBA ลดลงในช่วงท้ายของการเก็บรักษา อาจเนื่องจาก สารมลโนลด์ไฮด์ ซึ่งเป็นสารที่เป็นองค์ประกอบเบื้องต้นของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันเข้าไปรวมตัวกับสารอื่น เช่น ออกซิเจน เปอร์ออกไซด์ สารประกอบคาร์บอนิล กรดนิวคลีอิก โปรตีน คาร์โบไฮเดรต หรือองค์ประกอบของอัลดีไฮด์ ทำให้เกิดปฏิกิริยา cross reaction จึงเป็นสาเหตุให้ TBA ในระหว่างการเก็บรักษามีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาหนึ่งและลดลงในช่วงท้ายของการเก็บรักษา (Aubourg, 1993; Vyncke, 1970)



ภาพที่ 5 ค่า TBA (มิลลิกรัมมัลโลนัลดีไฮด์/กิโลกรัมตัวอย่าง) ของพลาสติกเส้นเค็มทอดในบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา

#### 4.3 ทางจุลชีววิทยา

จากตารางที่ 7 พบว่า ตลอดอายุการเก็บรักษา มีค่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable count) น้อยกว่า 250 (EAPC/g), Yeast and Mold ไม่เกิน 100 (CFU/g), ไม่พบ *Salmonella* spp., *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* น้อยกว่า 3 (MPN/g), ส่วน *Bacillus cereus* มีค่าน้อยกว่า 10 (CFU/g) ซึ่งค่าทั้งหมดอยู่ในช่วงที่เกณฑ์กำหนดของอาหารพร้อมบริโภคทั่วไป ตามคู่มือการปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 416) พ.ศ. 2563 ออกตามความใน พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน หลักเกณฑ์เงื่อนไข และวิธีการในการตรวจวิเคราะห์ของอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (กองอาหาร, 2564)

ตารางที่ 7 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในปลาดุกเส้นเค็มทอดในบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา

| บรรจุภัณฑ์                            | ระยะเวลา<br>(สัปดาห์) | TVC<br>(EAPC/g) | Yeast & Mold<br>(CFU/g) | <i>Salmonella</i> spp.<br>(Sample/25g) | <i>E.coli</i><br>(MPN/g) | <i>S.aureus</i><br>(MPN/g) | <i>B.cereus</i><br>(CFU/g) |
|---------------------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------------|----------------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
| ถุงเมทัลไลท์<br>PE                    | 0                     | <250            | 33                      | ไม่พบ                                  | <3                       | <3                         | <10                        |
|                                       | 1                     | <250            | <100                    | ไม่พบ                                  | <3                       | <3                         | <10                        |
|                                       | 2                     | <250            | 33                      | ไม่พบ                                  | <3                       | <3                         | <10                        |
|                                       | 3                     | <250            | 33                      | ไม่พบ                                  | <3                       | <3                         | <10                        |
|                                       | 4                     | <250            | 33                      | ไม่พบ                                  | <3                       | <3                         | <10                        |
| ถุงลามิเนต                            | 0                     | <250            | 33                      | ไม่พบ                                  | <3                       | <3                         | <10                        |
|                                       | 1                     | <250            | 33                      | ไม่พบ                                  | <3                       | <3                         | <10                        |
|                                       | 2                     | <250            | 33                      | ไม่พบ                                  | <3                       | <3                         | <10                        |
|                                       | 3                     | <250            | 33                      | ไม่พบ                                  | <3                       | <3                         | <10                        |
|                                       | 4                     | <250            | 67                      | ไม่พบ                                  | <3                       | <3                         | <10                        |
| ถุงลามิเนตใส<br>ซองดูดซับ<br>ออกซิเจน | 0                     | <250            | 33                      | ไม่พบ                                  | <3                       | <3                         | <10                        |
|                                       | 1                     | <250            | 50                      | ไม่พบ                                  | <3                       | <3                         | <10                        |
|                                       | 2                     | <250            | <100                    | ไม่พบ                                  | <3                       | <3                         | <10                        |
|                                       | 3                     | <250            | 67                      | ไม่พบ                                  | <3                       | <3                         | <10                        |
|                                       | 4                     | <250            | 67                      | ไม่พบ                                  | <3                       | <3                         | <10                        |

## สรุปผลการทดลอง

1. ปลาตุกเส้นเค็มทอดของกลุ่มมีการควบคุมวิธีการผลิตไม่เพียงพอ โดยกลุ่มใช้วิธีการทำแห้งปลาตุกเส้นเค็มก่อนทอดด้วยแสงแดด ซึ่งไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิและเวลาในการตากได้ อัตราส่วนปลาต่อสารละลายเกลือ น้ำตาล หรือสารส้ม ไม่มีการชั่งปริมาณที่แน่นอน นอกจากนี้ ยังใช้การหั่นเส้นปลาตุกด้วยมือ เส้นปลาตุกที่ได้จึงมีขนาดไม่สม่ำเสมอ ทำให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ปลาตุกเส้นเค็มทอดที่ผลิตได้ในแต่ละครั้งมีลักษณะไม่คงที่และส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาได้
2. สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตปลาตุกเส้นเค็มทอด คือ ลดความชื้นปลาตุกเส้นเค็มก่อนทอดโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ  $60 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที
3. ปลาตุกเส้นเค็มทอดที่ไม่ผ่านการสลัดน้ำมัน ขนาดเส้นเล็กมีไขมันน้อยกว่าขนาดเส้นใหญ่ ดังนั้น ปลาตุกเส้นเค็มทอดขนาดเส้นเล็กจึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ผลิตสามารถนำไปผลิตเพื่อจำหน่ายได้ในกรณีที่ไม่มีเครื่องสลัดน้ำมัน
4. ถุงลามิเนตใส่ซองดูดซับออกซิเจนเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้บรรจุปลาตุกเส้นเค็มทอด เมื่อเทียบกับถุงเมทัลไลต์ PE และถุงลามิเนตที่ไม่ใส่ซองดูดซับออกซิเจน ซึ่งสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นาน 3 สัปดาห์ โดยผู้ทดสอบยังให้การยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสและคุณภาพทางจุลชีววิทยายังอยู่ในเกณฑ์กำหนดของอาหารพร้อมบริโภคทั่วไป

## คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้อำนวยการกองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง และคณะกรรมการวิชาการกองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยตรวจสอบแก้ไขต้นฉบับเอกสารวิชาการนี้ สุดท้ายขอขอบคุณเจ้าหน้าที่กองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ ที่ช่วยเหลือในการจัดเก็บข้อมูล วิเคราะห์ทดสอบ จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

### เอกสารอ้างอิง

- กลุ่มสถิติการประมง. 2564. สถิติผลผลิตการเลี้ยงสัตว์น้ำจืด ประจำปี 2564. เอกสารฉบับที่ 13/2565. กองนโยบายและแผนพัฒนาการประมง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 207 หน้า.
- กองอาหาร. 2564. คู่มือการปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 416) พ.ศ. 2563 ออกตามความใน พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 เรื่อง กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน หลักเกณฑ์เงื่อนไข และวิธีการในการตรวจวิเคราะห์ของอาหารด้าน จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, กระทรวงสาธารณสุข. 83 หน้า.
- ธัญชนก ศรียานนท์. 2562. น้ำมัน 7 ชนิดที่คนทำอาหารควรรู้จัก. แหล่งที่มา: [https://krua.co/cooking\\_post/7-oil-must-have/](https://krua.co/cooking_post/7-oil-must-have/). 10 กรกฎาคม 2562.
- ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ และ ญัฐธิกา ศีลาลาย. 2559. ผลของการลดปริมาณความชื้นก่อนทอดต่อปริมาณความชื้นค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของความชื้น และการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์เห็ดหอม (*Lentinus edodes*) ทอดแบบน้ำมันท่วม. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร 1 (1): 57-66.
- ธารดาว ทองแก้ว. 2546. น้ำมันพืช: ใช้อย่างไรให้ถูกต้องและปลอดภัย. หมอชาวบ้าน. 296 หน้า.
- นิธิยา รัตนปนนท์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร. 244 หน้า.
- นิธิยา รัตนปนนท์. 2558. หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 2. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร. 168 หน้า.
- ฝ่ายบริการทรัพยากรบุคคล. 2561. น้ำมันปรุงรส. จุลสารเสริมสร้างสุขภาพ. 4. กองสถานพยาบาล, กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ, กระทรวงสาธารณสุข. 7-8.
- วลัย หุตะโกวิท, บุษรา สร้อยระย้า, ชญาภัทร์ สุทธิมิตร, น้อมจิต สุธิบุตร, นพพร สกุลยืนยงสุข, เจตนิพัทธ์ บุญยสวัสดิ์ และ ธนภพ โสตรโยม. 2552. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากปลาน้ำจืดเพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ. วารสารวิชาการและวิจัย. 3 (2): 197-208.
- วิไล รังสาดทอง. 2546. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 3. แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น, กรุงเทพมหานคร. 500 หน้า.
- สำนักพัฒนาและการถ่ายทอดเทคโนโลยีการประมง. 2550. เพาะเลี้ยงปลาอุกบักอูย. กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 44 หน้า.
- สุทธวัฒน์ เบญจกุล. 2548. เคมีและคุณภาพสัตว์น้ำ. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร. 344 หน้า.
- อำไพศักดิ์ ธีบุญมา และ ประทีป ตุ่มทอง. 2554. สมการเส้นบางของปลานิลอบแห้งด้วยลมร้อน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 42 (1): 567-570.
- อรรวรรณ ติวเถาว์. 2557. การศึกษาการพองตัวในหนังปลาแซลมอนกรอบโดยใช้เตาอบไมโครเวฟและการทอด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 122 หน้า.
- Akdeniz, N., S. Sahin and G. Sumnu. 2006. Functionality of batters containing different gums for deep-fat frying of carrot slices. *J. Food Eng.* 76: 522-526.

- AOAC. 2019. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists: Official Methods of Analysis of AOAC International. 21st Edition, AOAC, Washington DC.
- Aubourg, S. P. 1993. Review: Interaction of Malondialdehyde with Biological Molecules-new Trends About Reactivity and Significance. *J. Food Sci. Technol. Int.* 28: 323-335.
- BAM (FDA's Bacteriological Analytical Manual). 2001a. BAM Chapter 3: Aerobic Plate Count.
- BAM (FDA's Bacteriological Analytical Manual). 2001b. BAM Chapter 16: Yeast and Mold.
- BAM (FDA's Bacteriological Analytical Manual). 2012. BAM Chapter 14: *Bacillus cereus*.
- BAM (FDA's Bacteriological Analytical Manual). 2016. BAM Chapter 12: *Staphylococcus aureus*.
- BAM (FDA's Bacteriological Analytical Manual). 2020a. BAM Chapter 3: Aerobic Plate Count.
- Bligh, E. G. and W. J. Dyer. 1959. A Rapid Method of Lipid Extraction and Purification. *J. Biochem Physiol.* 37 (8): 911-917.
- Bouchon, P. 2009. Chapter 5 Understanding Oil Absorption during Deep-Fat Frying. *J. Adv. in Food and Nutr. Res.* 57: 209-234.
- Dana, D. and I. S. Sasuy. 2006. Review: Mechanism of Oil Uptake During Deep-fat Frying and the Surfactant Effect-theory and Myth. *Adv. Colloid and Interfac.* 128-130: 267-272.
- Darvishi, H., M. Azadbakht, A. Rezaeiasl and A. Farhang. 2013. Drying Characteristics of Sardine Fish Dried with Microwave Heating. *J Saudi Soc. Agric. Sci.* 12: 121-127.
- Debnath S., N. K. Rastogi, A. G. Gopala Krishna and B. R. Lokesh. 2009. Oil Partitioning Between Surface and Structure of Deep-fat Fried Potato Slices: A Kinetic Study. *LWT-Food Sci and Tech.* 42: 1054-1058.
- Dugan., L. R. 1976. Lipid. In: Fernema, O. R (ed.). Principle of Food Science, Part I. Marcal Dekker, Inc., New York.
- Duran, M., F. Pedreschi, P. Moyano and E. Troncoso. 2007. Oil Partition in Pre-treated Potato Slices During Frying and Cooling. *J. Food Eng.* 81 (1): 257-265.
- Fellows, P. J. 2009. Food Processing Technology. Principles and Practice. 3rd. Woodhead Publishing, Inc., Philadelphia. 912 p.
- ISO. 2020. Microbiology of the food chain--horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of Salmonella: Part 1 Detection of *Salmonella* spp., Geneva: International Standard ISO 6579-1.
- Jagoba, G. and M. Rosana. 2002. Vacuum Frying of Potato Chips. *J. Food Eng.* 55: 181-191.
- Jay, J. M. 2000. Modern Food Microbiology. 6th ed. Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg, Maryland. 635 p.

- Khaled, A. A. 2015. Effect of Frying Time and Falafel Ball Size on Fat Uptake During Deep Fat Frying. *Am-Euras. J. Agric. Environ. Sci.* 15 (8): 1648-1654.
- Krokida, M. K., V. Oreopoulou, Z. B. Maroulis and D. Marinos-Kouris. 2001. Effect of Pre-Drying on Quality of French Fries. *J. Food Eng.* 49: 347-354.
- Kulchan, R., P. Suppakul and W. Boonsupthip. 2010. Texture of Glassy Tapioca-flour-Based Baked Product as a Function of Moisture Content. In: Reid, D. S., T. Sajjaanantakul, P. J. Lillford and S. Charoenrein (eds.), *Water Properties in Food, Health, Pharmaceutical and Biological Systems: ISOPOW 10*. Wiley-Blackwell, Ames, Iowa, pp. 591-598.
- Labuza, T. P. and C. R. Hyman. 1998. Moisture Migration and Control in Multi-domain Foods. *Trends Food Sci Tech.* 9: 47-55.
- Li, J., T. Zhang, Y. Liu and L. Fan. 2016. Effects of Initial Pore Diameter on the Oil Absorption Behavior of Potato Chips during Frying Process. *J. Oleo Sci.* 65 (4): 303-310.
- Manjunatha, S. S., N. Ravi, P. S. Negi, P. S. Raju and A. S. Bawa. 2012. Kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of Gethi (*Dioscorea kamoonsensis Kunth*) strips. *J. Food Sci Technol.* 51 (11): 3061-3071.
- Mathias, C. B. 2014. Characterization and Effects of Freezing Prior to Frying on the Microstructure and Transport Phenomena of Formulated Products. Thesis: The Degree of Master of Science, Engineering Pontificia University. 69 pp.
- Moreira R. G, X. Sun and Y. Chen. 1997. Factors Affecting Oil Uptake in Tortilla Chips in Deep Fat Frying. *J. Food Eng.* 31: 485-498.
- Moyano, P. C., V. K. Rioseco and P. A. Gonzalez. 2002. Kinetics of Crust Color Changes during Deep-fat Frying of Impregnated French Fries. *J. Food Eng.* 54: 249-255.
- Mujaffar, S. and C. K. Sankat. 2011. The Effect of Temperature on the Drying Characteristics of Salted Shark Fillets. *WIJE.* 33 (1/2): 19-25.
- Nawar, W. W. 1996. Lipids. In: Fennema, O. R. (ed.). *Food Chemistry*. Elsevier Applied, London. p. 210-243.
- Poovarodom, N. 2007. *Food Packaging*. S. P. M. Publishing, Bangkok. 389.p.
- Saguy, I. S. and E. J. Pinthus. 1995. Oil Uptake During Deep-fat Frying: Factors and Mechanism. *J. Food tech.* 49 (4): 142-145.
- Tarladgis, B. G., B. M. Watts, and M. Yonathan. 1960. Distillation Method for the Determination of Malonaldehyde in Rancid Foods. *JAOCS.* 37 (1): 44-48.
- Vyncke, W. 1970. Direct Determination of the Thiobarbituric Acid Value in Trichloroacetic Acid Extracts of Fish as a Measure of Oxidative Rancidity. *Fette, Seifen, Anstrichmittel.* 72 (12): 1084-1087.

## ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ร้อยละความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของปลาดุกเส้นเค็มที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 0-12 ชั่วโมง

| เวลา (ชั่วโมง) | ความชื้น (db)                |                            | ปริมาณน้ำอิสระ             |                            |
|----------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                | 50 องศาเซลเซียส              | 60 องศาเซลเซียส            | 50 องศาเซลเซียส            | 60 องศาเซลเซียส            |
| 0              | 302.35±22.98 <sup>i,A</sup>  | 314.27±22.68 <sup>gA</sup> | 0.999±0.001 <sup>a,A</sup> | 1.000±0.001 <sup>a,A</sup> |
| 1              | 244.51±23.41 <sup>h,A</sup>  | 213.31±36.94 <sup>fA</sup> | 0.998±0.001 <sup>a,A</sup> | 1.000±0.000 <sup>a,A</sup> |
| 2              | 163.12±16.65 <sup>g,A</sup>  | 135.93±8.16 <sup>eA</sup>  | 0.988±0.001 <sup>l,A</sup> | 0.972±0.003 <sup>l,B</sup> |
| 3              | 142.38±21.90 <sup>g,A</sup>  | 88.48±10.88 <sup>d,B</sup> | 0.976±0.005 <sup>k,A</sup> | 0.958±0.004 <sup>k,B</sup> |
| 4              | 116.53±28.43 <sup>f,A</sup>  | 65.33±9.09 <sup>c,B</sup>  | 0.968±0.001 <sup>j,A</sup> | 0.932±0.005 <sup>j,B</sup> |
| 5              | 83.15±6.34 <sup>e,A</sup>    | 59.93±12.57 <sup>c,B</sup> | 0.931±0.008 <sup>i,A</sup> | 0.890±0.007 <sup>i,B</sup> |
| 6              | 64.85±10.22 <sup>de,A</sup>  | 45.27±7.95 <sup>bc,B</sup> | 0.897±0.001 <sup>h,A</sup> | 0.818±0.002 <sup>h,B</sup> |
| 7              | 56.82±8.49 <sup>cde,A</sup>  | 35.47±3.35 <sup>ab,B</sup> | 0.889±0.002 <sup>g,A</sup> | 0.805±0.004 <sup>g,B</sup> |
| 8              | 52.81±9.13 <sup>bcd,A</sup>  | 29.48±3.80 <sup>ab,B</sup> | 0.880±0.001 <sup>f,A</sup> | 0.737±0.004 <sup>f,B</sup> |
| 9              | 38.24±4.35 <sup>abcd,A</sup> | 19.93±1.48 <sup>a,B</sup>  | 0.807±0.002 <sup>d,A</sup> | 0.702±0.002 <sup>d,B</sup> |
| 10             | 29.97±1.10 <sup>abc,A</sup>  | 18.11±1.53 <sup>a,B</sup>  | 0.814±0.004 <sup>e,A</sup> | 0.709±0.008 <sup>e,B</sup> |
| 11             | 26.33±1.80 <sup>ab,A</sup>   | 16.54±0.75 <sup>a,B</sup>  | 0.791±0.003 <sup>c,A</sup> | 0.676±0.007 <sup>c,B</sup> |
| 12             | 23.98±2.96 <sup>a,A</sup>    | 15.44±0.53 <sup>a,B</sup>  | 0.758±0.004 <sup>b,A</sup> | 0.630±0.003 <sup>b,B</sup> |

a, b, c... ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งของตัวอย่างเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

A, B ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนของตัวอย่างต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางผนวกที่ 2 ค่าแรงเหวี่ยงของปลาดุกเส้นเค็มทอดในบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ ระหว่างการเก็บ

| ระยะเวลา<br>(สัปดาห์) | ค่าแรงเหวี่ยง (กรัม)             |                                 |                                 |
|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|                       | ถุงเมทัลไลต์ PE                  | ถุงลามิเนต                      | ถุงลามิเนตใส่ซองดูดซับออกซิเจน  |
| 0                     | 16,288.44±607.04 <sup>aA</sup>   | 16,288.44±607.04 <sup>aA</sup>  | 16,288.44±607.04 <sup>aA</sup>  |
| 1                     | 21,788.68±1160.33 <sup>abA</sup> | 19,642.57±118.13 <sup>bA</sup>  | 18,932.24±672.18 <sup>bA</sup>  |
| 2                     | 22,768.29±2333.14 <sup>bA</sup>  | 20,596.07±120.44 <sup>bA</sup>  | 19,794.45±627.73 <sup>bA</sup>  |
| 3                     | 21,819.00±4192.44 <sup>abA</sup> | 20,364.25±2117.01 <sup>bA</sup> | 19,145.00±649.89 <sup>bA</sup>  |
| 4                     | 17,108.59±1297.57 <sup>abA</sup> | 16,304.51±1054.45 <sup>aA</sup> | 16,343.58±1405.42 <sup>aA</sup> |

a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งของบรรจุภัณฑ์เดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

A ตัวอักษรในแนวนอนของบรรจุภัณฑ์ต่างกัน แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ตารางผนวกที่ 3 ค่า TBA ของปลาดุกเส้นเค็มทอดในบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา

| ระยะเวลา<br>(สัปดาห์) | TBA (มิลลิกรัมมัลลอนีไฮด์/กิโลกรัมตัวอย่าง) |                             |                                                 |
|-----------------------|---------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------|
|                       | ถุงเมทัลไลต์ <sup>ns,NS</sup>               | ถุงลามิเนต <sup>ns,NS</sup> | ถุงลามิเนตใส่ซองดูดซับออกซิเจน <sup>ns,NS</sup> |
| 0                     | 0.43±0.01                                   | 0.46±0.11                   | 0.45±0.04                                       |
| 1                     | 0.55±0.16                                   | 0.52±0.12                   | 0.48±0.04                                       |
| 2                     | 0.61±0.19                                   | 0.63±0.11                   | 0.54±0.02                                       |
| 3                     | 0.61±0.04                                   | 0.49±0.04                   | 0.38±0.13                                       |
| 4                     | 0.50±0.08                                   | 0.47±0.02                   | 0.38±0.04                                       |

<sup>ns</sup> ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

<sup>NS</sup> ค่าเฉลี่ยในแนวนอนเดียวกัน แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )