การพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

Process development of frozen ready to eat fried chicken

วนิดา บุรีภักดี

Wanida Bureepakdee

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Science in Food Science and Technology

Prince of Songkla University

2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ **การพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค**

ผู้เขียน นางสาววนิดา บุรีภักดี

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิทยา อดุลยธรรม)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(ดร.วรพงษ์ อัศวเกศมณี)

คณะกรรมการสอบ

.....กรรมการ

(ดร. ถาวร จันทโชติ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิทยา อดุลยธรรม)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ

.....

(นางสาววนิดา บุรีภักดี)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ

.....

(นางสาววนิดา บุรีภักดี)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค
ผู้เขียน นางสาววนิดา บุรีภักดี
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร
ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

ไก่ทอดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารอีกชนิดหนึ่ง ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในอาหารทอด ปัจจุบันผู้บริโภคมีความต้องการอาหารที่อำนวยความสะดวกสบายและความรวดเร็วในการเตรียมและการบริโภค การเก็บรักษาอาหารโดยการแช่เยือกแข็งอย่างถูกต้องและเหมาะสมจะช่วยรักษาคุณภาพทั้งรูปทรง กลิ่น รส สีและคุณค่าทางโภชนาการได้มากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ สำหรับการให้ความร้อนซ้ำที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ ใช้การทอดด้วยน้ำมันและใช้ไมโครเวฟ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคที่ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค จากการศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับผลิตไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค พบว่าสารปรุงแต่งเพื่อรักษาคุณภาพของเนื้อไก่และอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดที่เหมาะสมสำหรับผลิตไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคคือ การใช้น้ำเกลือที่มีความเข้ม 1% ฉีดเข้าในเนื้อออกไก่ร่วมกับโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.3% และใช้อุณหภูมิทอด 175±5 องศาเซลเซียส การศึกษาผลของการให้ความร้อนซ้ำ (Reheat) ต่อไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคด้วย 2 วิธีคือ การทอด (Frying) และการให้ความร้อนด้วยเตาอบไมโครเวฟ (Microwave) พบว่าวิธีการให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟ เนื้อไก่จะมีค่าแรงตัด 2.39 Kg ค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุง (Cooking loss) ร้อยละ 51.86 ได้รับคะแนนความชอบที่สูงกว่าการให้ความร้อนซ้ำด้วยวิธีการทอดในด้านสีภายใน กลิ่น ความฉ่ำน้ำ ความนุ่มเนื้อ รสชาติและความชอบรวม การนำตัวอย่างไก่ทอดที่คัดเลือกได้มาทำการแช่เยือกแข็งและละลายเป็นระยะเวลา 1, 2 และ 3 รอบ เปรียบเทียบกับตัวอย่างชุดควบคุม (ไม่ผ่านการแช่แข็ง-ทำละลาย) พบว่าตัวอย่างให้ลักษณะทางกายภาพ เคมีและลักษณะทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกัน การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไก่ทอดพร้อมบริโภคที่อุณหภูมิ -18±2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 เดือน และทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี ประสาทสัมผัสและจุลินทรีย์ในเดือนที่ 0, 1, 2, 3 และ 4 หลังการให้ความร้อนซ้ำ พบว่าคุณสมบัติทางกายภาพ เคมีและลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างไม่แตกต่างกัน จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 10 โคลีนีต่อกรัม จุลินทรีย์ชนิด Coliforms น้อยกว่า 3 MPN/g และ Phychophile น้อยว่า 10 CFU/g การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคที่ผ่านการ

พัฒนาแล้ว ที่เก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน และทดสอบการยอมรับ (Acceptance tests) โดยใช้ 9-point hedonic scale พบว่า ค่าสีภายนอก ค่าสีภายใน ความฉ่ำน้ำ กลิ่น ความนุ่มเนื้อ รสชาติ และความชอบรวม ผู้บริโภคให้ความชอบส่วนใหญ่อยู่ในระดับชอบมากถึงชอบมากที่สุด

Thesis Title Process development of frozen ready to eat fried chicken

Author Miss Wanida Bureepakdee

Major Program Food Science and Technology

Academic Year 2013

ABSTRACT

Fried chicken is one of the most popular fried foods. Nowadays, consumers are seeking quick-and-easy-to-prepare foods. Proper food preservation methods like freezing can longer keep food qualities including, shape, odor, flavor, color and nutrition, compared with other methods. Reheat process is mostly used for fried food are frying with oil and using microwave. Thus, frozen products have been developed to serve consumers needs. In this study, methods of producing ready-to-eat frozen chicken were examined. The findings showed that the proportion of preservative agents which should be added to maintain chicken qualities was 1% of Saline mixed with 0.3% of Sodium Tripolyphosphate, and the most suitable temperature to fry the chicken was 175±5 °C. Moreover, the study of reheating ready-to-eat frozen fried chicken by frying and using microwave indicated that reheating chicken through microwave gave shear force values at 2.39 Kg and 51.86% of cooking loss. The sensory preference scores in terms of inner color, odor, juiciness, tenderness, flavor and overall of microwave reheating chicken were higher than reheating by frying. After that, the selected sample was thawed for 1, 2 and 3 cycles to compare with the controlled sample (non-frozen and thawed). It was found that physical, chemical and sensory properties of the two sample groups were not signiticantly different. The ready-to-eat frozen fried chicken was kept at -18±2 °C for 4 months to examine physical, chemical, and sensory properties as well as microbial growth in each month after reheating, it was found that the properties of samples were not signiticantly different. The total number of microbial was less than 10 colony/g. Coliforms and Phychophile microbial were less than 3 MPN/g. and 10 CFU/g., respectively. In addition, the consumers acceptance of ready-to-eat frozen fried chicken which was developed and stored for 4 months was assessed according to 9-point hedonic scale. It was found that the external inner color, juiciness, odor, tenderness, flavor and overall acceptance was at like very much and like extremly.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)……... (5)
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)…….. (7)
กิตติกรรมประกาศ……... (8)
สารบัญ……..... (9)
รายการตาราง…….. (14)
รายการภาพประกอบ……..... (16)
บทที่
1. บทนำและการตรวจเอกสาร……..... 1
1.1 บทนำ……..... 1
1.2 การตรวจเอกสาร……..... 3
1.2.1 ไก่ทอด (Fried chicken)…….. 3
1.2.1.1 โครงสร้างเนื้อไก่ทอด……..... 3
1.2.1.2 ลักษณะและวิธีการทำไก่ทอด……... 5
1.2.2 การแช่เยือกแข็ง……... 5
1.2.2.1 ผลของการแช่เยือกแข็งต่ออาหาร……..... 6
1.2.2.2 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการแช่เยือกแข็ง…….. 8
1.2.2.3 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบในอาหารแช่เยือกแข็ง……... 8
1.2.2.4 การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง……..... 10
1.2.2.5 การเปลี่ยนแปลงในอาหารแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา…….. 11
1.2.3 การทำละลาย……... 12
1.2.4 การให้ความร้อนซ้ำในเนื้อที่ผ่านความร้อนแล้ว (Reheated cooked meat)…….. 14
1.2.5 การให้ความร้อนซ้ำด้วยการทอดด้วยน้ำมัน……..... 14
1.2.5.1 น้ำมันทอด……..... 14
1.2.5.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ในการทอด……..…….. 18
1.2.5.3 การดูดซับน้ำมัน……... 19
1.2.5.4 กระบวนการถ่ายโอนมวลของน้ำมัน……..... 22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

1.2.5.5 การเปลี่ยนแปลงของน้ำมันระหว่างการทอด……..……..... 22
1.2.5.6 วิธีวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมัน……. 26
1.2.5.7 การทอด……... 28
1.2.5.8 ชนิดของการทอด……..... 28
1.2.5.9 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทอด…..……..…..... 30
1.2.5.10 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทอดน้ำมัน……. 30
1.2.5.11 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำมันระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม……. 31
1.2.5.12 สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไก่ทอดในการทอดแบบน้ำมันท่วม…... 33
1.2.6 การให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟ……..... 33
1.2.6.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ…….. 34
1.2.6.2 ผลของพลังงานไมโครเวฟต่อการเปลี่ยนแปลงอาหารแช่เยือกแข็ง……. 35
1.2.6.3 ข้อดีและข้อเสียของการใช้ไมโครเวฟ…….. 37
1.2.6.4 สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไก่ทอดด้วยไมโครเวฟ……. 38
1.3 วัตถุประสงค์……..... 39
2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ..... 40
2.1 วัสดุอุปกรณ์……..... 40
2.2 วิธีการ……..... 41
2.2.1 ศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับผลิตไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค…….. 41
2.2.2 ศึกษาผลของการให้ความร้อนซ้ำ (Reheat) ต่อไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค……..... 43
2.2.3 ศึกษาผลของการแช่แข็งและทำละลาย (Freeze-Thawing) ต่อคุณภาพไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค…….. 45
2.2.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่แข็งพร้อมบริโภค…... 46
2.2.5 ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค.. 47

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ……. 47
3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง……. 48
3.1 ศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับผลิตไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค..... 48
3.1.1 ศึกษาชนิดของสารปรุงแต่งที่เหมาะสมใช้ในการรักษาคุณภาพของเนื้อไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค…..…….....…….....……..…... 48
3.1.2 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับผลิตไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค…..... 55
3.2 ศึกษาผลของการให้ความร้อนซ้ำ (Reheat) ด้วยไมโครเวฟและการทอดต่อคุณภาพไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค…….....…….....…….....……. 61
3.2.1 การวิเคราะห์ค่าสีของไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟและการทอด..... 61
3.2.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคที่กระบวนการให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟและการทอด…..…… 63
3.2.3 การหาค่าการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการปรุง (Cooking loss) ของไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟและการทอด..... 64
3.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและไขมันของไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟและการทอด…..…..... 65
3.2.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือกหาสูตรผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม..….. 67
3.3 ศึกษาผลของการแช่แข็งและทำละลาย (Freeze-Thawing) ต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค…..…….....…….. 69
3.3.1 การวิเคราะห์ค่าสีหลังการแช่แข็งและทำละลาย (Freeze-Thawing) ของผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค…….....…….. 69
3.3.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสหลังการแช่แข็งและทำละลาย (Freeze-Thawing)ของผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค…….....……. 70

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.3 การหาค่าสูญเสียน้ำหนักระหว่างการแช่แข็งและการทำละลาย (Thawing loss) ของผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค..... 70
3.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและไขมันหลังการแช่แข็งและทำละลาย (Freeze-Thawing) ของผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค…….. 72
3.3.5 การวิเคราะห์ค่า TBARS ต่อการแช่แข็งและทำละลาย (Freeze-Thawing) ของผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค…….. 73
3.3.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่แข็งและทำละลาย (Freeze-Thawing)……..... 75
3.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่แข็งพร้อมบริโภคระหว่างการเก็บรักษา……..……... 75
3.4.1 การวิเคราะห์ค่าสีระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค……. 75
3.4.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค……..…… 76
3.4.3 การหาค่าการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการปรุง (Cooking loss) ระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค……..... 77
3.4.4 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและไขมันระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค…….....… 78
3.4.5 การวิเคราะห์ค่า TBARS ระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค……..……..... 79
3.4.6 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค……..……..…… 80
3.4.7 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา……..……..... 81
3.4.8 การศึกษาจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา……. 82
3.5 ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค……..... 83
3.5.1 ข้อมูลเกี่ยวกับผู้บริโภคเป้าหมาย……..... 83

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5.2 การยอมรับของผู้บริโภคภายหลังการทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค..... 85
4. บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 87
4.1 บทสรุป..... 87
4.2 ข้อเสนอแนะ..... 88
เอกสารอ้างอิง..... 89
ภาคผนวก..... 100
ก. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและเคมี..... 100
ข. การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์..... 108
ค. แบบสอบถามสำหรับวิเคราะห์การยอมรับของผู้บริโภค..... 109
ประวัติผู้เขียน..... 112

LIST OF TABLES

Table **Page**

1. Relationships of temperature and storage 11
2. Fatty acid composition of palm vegetable oil…..... 17
3. Method to measure oxidation in oils and fat-contianing food ……..…..... 26
4. Deep-fat frying condition .....……..... 33
5. Quantum energy of electromagnetic radiation ...……..... 35
6. Chemical bond energy compared to the energy quantum..……..…..…..... 36
7. Advantage and disadvantage of using microwaves ……..…..... 37
8. Optimum conditions for the production of fried chicken frozen .....……..…... 38
9. Color value of fried chicken injected with various additives .....……..... 49
10. Shear value of fried chicken injected with various additives .....……..... 50
11. Cooking loss of fried chicken injected with various additives.....……..... 51
12. Moisture and Fat content of fried chicken injected with various additives of fried chicken..... 53
13. Sensory score of fried chicken injected with various additives..... 54
14. Color value of fried chicken frying at different temperature..... 56
15. Shear value of fried chicken frying at different temperature....……..... 57
16. Cooking loss of fried chicken frying at different temperature……..……... 58
17. Moisture and fat content of fried chicken frying at different temperature.……... 59
18. Sensory score of fried chicken frying at different temperature...……..... 60
19. Color value of frozen ready to eat fried chicken with reheating by frying and microwave method..... 62
20. Shear value of frozen ready to eat fried chicken with reheating by frying and microwave method..... 63
21. Cooking loss of frozen ready to eat fried chicken with reheating by frying and microwave method..... 65

LIST OF TABLES (CONT)

Table **Page**

22. Moisture content of frozen ready to eat fried chicken with reheating by frying and microwave method..... 66
23. Fat content of frozen ready to eat fried chicken with reheating by frying and microwave method.....……...…..... 67
24. Sensory of frozen ready to eat fried chicken with reheating by frying and microwave method..... 68
25. Color value of freeze-thaw of frozen ready to eat fried chicken..... 70
26. Shear value of freeze-thaw of frozen ready to eat fried chicken..... 71
27. Thawing loss of freeze-thaw of frozen ready to eat fried chicken ...…….. 72
28. Moisture and fat content of freeze-thaw of frozen ready to eat fried chicken..... 73
29. TBARS of freeze-thaw of frozen ready to eat fried chicken.……..... 74
30. Sensory score of freeze-thaw of frozen ready to eat fried chicken..... 75
31. Color value of frozen ready to eat fried chicken during storage.....….. 76
32. Shear value of frozen ready to eat fried chicken during storage....……..... 77
33. Cooking loss of frozen ready to eat fried chicken during storage ….……..... 78
34. Moisture and fat content of frozen ready to eat fried chicken during storage 79
35. TBARS of frozen ready to eat fried chicken during storage .....……..... 80
36. Protein content of frozen ready to eat fried chicken during storage..…..…….... 81
37. Sensory score of frozen ready to eat fried chicken during storage…….....…..... 82
38. Query information about the target consumer of 150 people ...…...…….... 84
39. Sensory score of frozen ready to eat fried chicken product..... 86

LIST OF FIGURES

Figure **Page**

1. Muscle structure of chicken meat..... 4
2. Characteristics of the ice in plant and animal tissues. 1-4 is a slow freezing, 5-6 is a fast freezing..... 7
3. Oil absorption of food pieces a) Pores are filled with water b)Pores are filled with vaporc, d) Oil absorption of food piece by pore filled with water and vapor.. 20
4. Change in porosity with frying time at different temperatures in de-boned chicken meat slabs˚……..... 20
5. Oil uptake as a function of frying time during deep-fat-frying of deboned chicken meatslabs at different frying oil temperatures..... 21
6. Physical and chemical changes of oil during deep-fat frying..... 23
7. Oxidation reaction..... 24
8. Reaction Marlonaldehyde and TBA ……..... 28
9. Scanning Electron Microscope deep-fat frying potato..... 29
10. Isomercis andtrans……..……..... 31
11. Quantitative Descriptive Analysis of additives for maintain the quality of fried chicken .....……. 55
12. Quantitative Descriptive Analysis of fried chicken to different temperature 61
13. Quantitative Descriptive Analysis of frozen ready to eat fried chicken with reheating by frying and microwave method..... 69

Appendic Figure 1 Standard curve for determining Marlonaldehyde (Malonaldehy bis).....……..……..…..... 106

บทที่ 1
บทนำและการตรวจเอกสาร

1.1 บทนำ

ในปัจจุบันอาหารทอดเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมมาก ไก่ทอดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารอีกชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายลักษณะเฉพาะของไก่ทอดคือ ลักษณะของเนื้อที่มีสีน้ำตาลทอง ผิวนอกกรอบและมีกลิ่นหอม ในระหว่างกระบวนการผลิตความชื้นจะเคลื่อนตัวจากชิ้นอาหารไปสู่การทอดในน้ำมัน ทำให้ขนาดของชิ้นอาหารลดลงซึ่งมีความสำคัญในการกำหนดและรักษาคุณภาพของอาหารทอดนั้นไว้ (Gamble *et al.,* 1987) นอกจากนี้ในระหว่างการทอดการจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อคุณภาพของไก่ทอดทั้งทางกายภาพและทางเคมี เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน การแตกตัวของกรดไขมันจากไตรกลีเซอไรด์ทำให้เกิดสารที่มีขนาดโมเลกุลทั้งเล็กและใหญ่ ซึ่งสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กจะระเหยได้และมีผลทำให้เกิดกลิ่นรสที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวที่ไม่ต้องการของไก่ทอด (Dana and Sam, 2006) การเกิดสารพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ทำให้น้ำมันเกิดการเสื่อมเสีย ความหนืดเพิ่มขึ้นและยังส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันในด้านสี กลิ่น รสชาติ ลดการถ่ายโอนความร้อน เกิดฟองขณะน้ำมันท่วมทำให้เกิดการดูดซับน้ำมันในชิ้นอาหารมากขึ้น ทำให้ไก่ทอดที่ได้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ด้านเนื้อสัมผัส ความชื้น การดูดซับน้ำมัน ความพรุน สี รส กลิ่น (การเหม็นหืนที่เกิดจากกระบวนการออโตออกซิเดชัน) และคุณค่าทางโภชนาการ (Choe and Min, 2007)

ภาวะสังคมปัจจุบันมีผู้บริโภคต้องการอาหารที่อำนวยความสะดวกสบายและความรวดเร็วในการเตรียมและการบริโภคอาหาร การเก็บรักษาอาหารโดยการแช่เยือกแข็งอย่างถูกต้องและเหมาะสมจะช่วยรักษาคุณภาพทั้งรูปทรง กลิ่น รส สีและคุณค่าทางโภชนาการได้มากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคที่ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค การแช่เยือกแข็งสามารถใช้กับอาหารที่ผ่านการให้ความร้อนอย่างสมบูรณ์หรือใช้กับอาหารสดที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมเท่านั้น (สายสนม ประดิษฐวง,2540) ในการเก็บรักษาเนื้อที่ผ่านการให้ความร้อนแล้วนิยมใช้การแช่เยือกแข็งหรือการแช่เย็น (วิไล รังสาดทอง, 2546) สำหรับการให้ความร้อนซ้ำที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ ใช้การทอดด้วยน้ำมันและใช้ไมโครเวฟ

การทอด คือการจุ่มอาหารลงในน้ำมันร้อนจุดประสงค์ของการทอดคือ การปรุงอาหารให้สุกภายในระยะเวลาที่รวดเร็วและก่อให้เกิดลักษณะที่เฉพาะตัวเช่น ความกรอบ สี กลิ่น

รสและเนื้อสัมผัส สำหรับไมโครเวฟจัดเป็นวิธีการแปรรูปอาหารที่ได้รับความนิยมเนื่องจากอาหารที่ผ่านการแปรรูปจะมีคุณภาพที่ใกล้เคียงกับของสดมีคุณภาพสูง มีความสะดวกสบายในการเตรียม อีกทั้งมีอายุการเก็บรักษาอย่างเพียงพอ โดยเฉพาะอาหารที่ปรุงสุกได้อย่างรวดเร็ว (Quick cooking dishes) ในกระบวนการผลิตไก่ทอดพบว่าอายุการเก็บรักษาสั้น ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนากระบวนการผลิตและวิธีการเก็บรักษาไก่ทอด เพื่อให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้นและคงคุณภาพตามที่ต้องการของผู้บริโภค วิธีการแช่เยือกแข็งเป็นวิธีการที่มีศักยภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาคุณภาพไก่ทอด

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 ไก่ทอด (Fried chicken)

ไก่ทอด เป็นอาหารอย่างง่ายทำจากเนื้อไก่นำไปคลุกกับแป้งและส่วนผสมอื่น ๆ จากนั้นนำไปทอด อาจด้วยวิธีการทอดน้ำมันท่วม น้ำมันน้อย หรือการทอดด้วยความดัน ผิวนอกของไก่ทอดจะกรอบ ส่วนของไก่ที่นำมาทำไก่ทอดอาจเป็นน่อง ปีก อก หรือเนื้อไก่ที่หั่นเป็นชิ้นๆ อาจมีหนัง มีกระดูกหรือเลาะกระดูกออกก่อน (เป็นไก่ไม่มีกระดูก) (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2010) ไก่ทอดส่วนใหญ่จะใช้ไก่กระทง ไก่จะถูกตัดแต่งชิ้นเนื้อหรือเลือกใช้ส่วนต่างๆ เช่น ปีก น่อง สะโพก นำไปหมักกับส่วนผสมต่างๆจากนั้นนำไปทอด ซึ่งการทอดนั้นจะทำให้ผิวหรือเปลือกด้านนอกมีความกรอบ โดยเฉพาะส่วนที่เป็นหนังจะทำให้ไก่ทอดที่ได้กรอบ รสชาติดี ถือได้ว่าเป็นจุดเด่นของไก่ทอด (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2010) นอกจากนี้ไก่ทอดอีกประเภทหนึ่งก็คือผลิตภัณฑ์ไก่ทอดที่มีการชุบแป้งหรือเกล็ดขนมปัง Gunter และ Hautzinger (2007) แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ไก่ทอดชุบแป้งหรือเกล็ดขนมปัง คือการเคลือบพื้นผิวด้วยแป้ง เกล็ดขนมปัง และส่วนผสมอื่นๆ ซึ่งจะมีแป้งสำหรับคลุก (Pre-dust) เป็นชั้นบางที่เกาะกับเนื้อไก่ทำหน้าที่ในการดูดซับและช่วยทำให้แป้งสำหรับชุบ (Better) นั้นเคลือบที่ผิวได้ดีขึ้น

1.2.1.1 โครงสร้างเนื้อไก่ทอด

โครงสร้างของเนื้อไก่ (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2547)

เนื้อไก่ที่ใช้เป็นอาหารประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ประเภท

1. กล้ามเนื้อ

เนื้อไก่ที่นำมาใช้เป็นอาหารและนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ส่วนใหญ่เป็นส่วนกล้ามเนื้อลาย ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อส่วนที่ร่างกายบังคับได้ การทำงานของกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับการกระตุ้นของระบบประสาท เช่น กล้ามเนื้อขาและส่วนต่างๆของลำตัวเป็นส่วนที่มีมากที่สุด

- กล้ามเนื้อเรียบ และกล้ามเนื้อหัวใจเป็นกล้ามเนื้อส่วนที่ร่างกายบังคับไม่ได้ กล้ามเนื้อเรียบ ได้แก่ ส่วนของอวัยวะภายในที่เรียกว่า เครื่องในของสัตว์บางส่วนนำมาใช้เป็นอาหารได้ เช่น ตับไตลำไส้กระเพาะเป็นต้น
- กล้ามเนื้อหัวใจ เป็นกล้ามเนื้อที่ไม่ได้อยู่ในความควบคุมของสมอง ไม่ค่อยมีความสำคัญในการนำมาใช้เป็นอาหาร หากกล้ามเนื้อส่วนใดมีการเคลื่อนที่มากเช่น เนื้อน่อง เส้นใยจะแข็งแรงหยาบ เหนียว

- กล้ามเนื้อลาย เป็นส่วนของกล้ามเนื้อที่นำมาบริโภคเป็นอาหารและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มากที่สุด มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ โปรตีนที่มีลักษณะเป็นเส้นใยซึ่งเรียกว่า ไมโอไฟบริล (Myofibril) อยู่รวมกันเรียกว่า เส้นใยกล้ามเนื้อ (Muscel fiber) มีหน้าที่โดยตรงเกี่ยวกับการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ ไมโอไฟบริลมัดรวมกันเรียกว่า มัดกล้ามเนื้อ (Muscle bundle) หุ้มอีกชั้นด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective tissue) เช่น พังผืด เส้นเอ็นและมีเส้นเลือด เนื้อเยื่อไขมันแทรกอยู่ด้วย ไมโอไฟบริลประกอบด้วยโปรตีน (protein) หลัก 2 ชนิด คือ แอกทิน (actin) และไมโอซิน (myosin) ดังแสดงใน Figeure 1

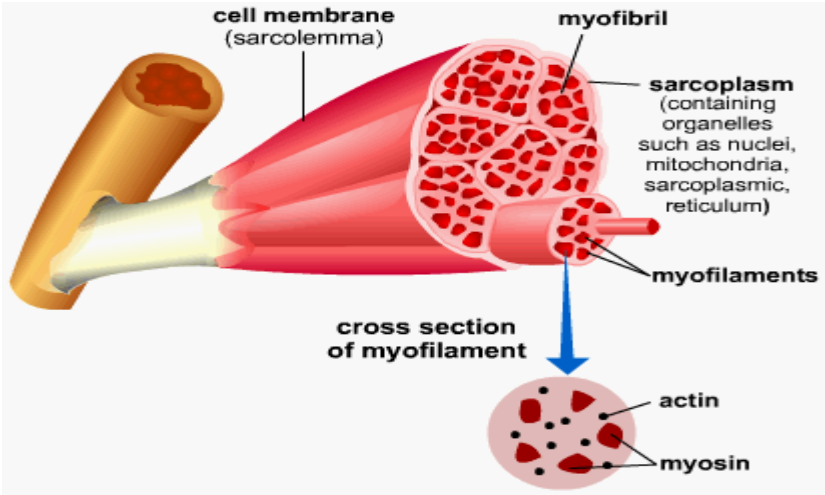


Figure 1 Muscle structure of chicken meat

Source: รัชนี ตัณฑะพานิชกุล (2547)

2. เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective tissue) เนื้อเยื่อชนิดนี้ทำหน้าที่เกี่ยวพันมัดและห่อหุ้มกล้ามเนื้อชนิดต่างๆ เส้นเลือด ไขมันไว้ให้อยู่รวมเป็นก้อนเป็นมัด ยึดเนื้อให้ติดกับกระดูก ยึดกระดูกให้ติดกัน เนื้อเยื่อชนิดนี้ที่เรารู้จักกันดีว่าเป็นผังผืด (Ligament) เส้นเอ็น (Tendon) เนื้อเยื่อส่วนนี้มีส่วนประกอบหลักเป็นเส้นใยเหนียวอยู่ 2 ชนิดเรียกว่า เส้นใยอีลาสติน (Elastin) และเส้นใยคอลลาเจน (Collagen)

3. เนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissue) เนื้อเยื่อไขมันจะพบตามส่วนต่างๆของร่างกาย เช่น อยู่ในกล้ามเนื้อ อยู่ใต้ผิวหนัง อยู่ในช่องท้อง เป็นแหล่งสะสมของอาหาร เช่น กรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย (Essential fatty acid) วิตามิน (Vitamin) ที่ละลายได้ในไขมัน ปริมาณไขมันในสัตว์จะขึ้นอยู่กับอาหารที่สัตว์กิน และได้รับการเลี้ยงดู เช่น เนื้อสันโคขุนอาจมีไขมันสูงถึง 40 เปอร์เซ็นต์

1.2.1.2 ลักษณะและวิธีการทำไก่ทอด (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2010)

โดยทั่วไปไก่ทอดจะแบ่งตามลักษณะของเนื้อไก่ ส่วนเนื้อขาวคือ หน้าอก และปีก ไก่ทอดในส่วนที่เป็นเนื้อดำในส่วนบริเวณสะโพกและน่องไก่ สำหรับไก่ทอดที่จำหน่ายโดยทั่วไปในประเทศไทย นิยมเลือกใช้ชิ้นไก่ที่มีลักษณะต่างๆกัน เช่น ใช้ส่วนน่องติดสะโพก เพราะเนื้อส่วนนี้ มีไขมันแทรกอยู่ในส่วนของสะโพก แต่ในทางกลับกันก็มีส่วนประกอบของกล้ามเนื้อและเส้นเอ็นต่างๆประกอบอยู่ด้วย เมื่อนำไก่ส่วนนี้ไปทอด ผลที่ได้คือเนื้อที่มีไขมันแทรกอยู่ในส่วนสะโพกจะมีความนุ่ม ฉ่ำ ไม่แห้งหรือกระด้าง บริเวณที่เป็นข้อต่อต่างๆ ก็อาจจะเหนียวขึ้นกว่าส่วนอื่นบ้างเล็กน้อย ดังนั้นไก่ทอดส่วนนี้จึงเหมาะสำหรับคนที่ชอบรับประทาน ไก่ทอดแบบฉ่ำๆเนื้อไม่แห้ง สำหรับส่วน อกติดกระดูกเมื่อนำไปทอดลักษณะของเนื้อจะค่อนข้างแห้งเมื่อทอดเสร็จแล้วจะหด ไม่เป็นรูปร่าง

ขั้นตอนการทำไก่ทอด

1. ล้างไก่ให้สะอาด

2. นำส่วนผสม เครื่องเทศ เครื่องปรุง คลุกเคล้าให้เข้ากันแล้วนำไปหมักกับไก่ การหมักไก่ควรใช้เวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมงหรือมากกว่านั้น

3. ทอดในน้ำมัน น้ำมันที่ใช้ควรมีจุดเดือดสูง เช่น น้ำมันปาล์ม

4. การทอดไก่จะมีเทคนิคการทอด 2 แบบ คือ การทอดแบบ 2 จังหวะและการทอดแบบขั้นตอนเดียว

การทอดแบบสองจังหวะ การทอดแบบนี้ต้องนำไก่ลงไปทอดในกระทะ 2 ครั้ง การทอดในกระทะแรกให้ใช้ไฟอ่อน เพื่อให้ไก่สุกถึงข้างใน การทอดแบบนี้จะไม่คำนึงถึงสีสันต้องใช้เวลาทอดนานพอสมควร เมื่อไก่สุกก็จะนำขึ้นพักให้สะเด็ดน้ำมัน แล้วจึงนำลงทอดในกระทะที่สอง การทอดครั้งที่สองจะใช้เวลาไม่นานเหมือนกับกระทะแรกเพราะไก่สุกแล้ว การทอดลักษณะนี้เพื่อ ต้องการให้ได้สีสันของไก่ตามต้องการและความกรอบของหนังไก่เท่านั้น

การทอดไก่แบบขั้นตอนเดียว ในช่วงแรกจะเหมือนกับการทอดแบบสองจังหวะต่างกันที่ การทอดโดยใช้ไฟอ่อนเสร็จจนไก่สุกได้ที่ จึงเร่งไฟแรงเพื่อให้หนังไก่กรอบและเป็นสีเหลืองทองก็สามารถตักไก่ขึ้นมา

1.2.2 การแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็งเป็นวิธีการถนอมรักษาอาหารประเภทหนึ่ง อาหารแช่เยือกแข็งจะมีอายุการเก็บรักษานานมากกว่าการแช่เย็น การแช่เยือกแข็งแตกต่างกับการแช่เย็นตรงที่การ แช่

เยือกแข็ง ทำให้เกิดเป็นน้ำแข็งในส่วนของน้ำที่สามารถเป็นน้ำแข็งได้ (Freezable water) การแช่เยือกแข็ง จะทำให้ชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังลดกระบวนการเมตาบอลิซึม ปฏิกิริยาของเอนไซม์และปฏิกิริยาเคมีที่ไม่ต้องการ การแช่เยือกแข็งมีหลายปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณภาพสุดท้ายของอาหารแช่เยือกแข็ง ได้แก่ ความสดของอาหาร อัตราการแช่เยือกแข็ง อุณหภูมิ ความคงที่ของอุณหภูมิ ระยะเวลาการเก็บรักษาและสภาวะการละลาย (Le Bail *et al.,* 1999)

1.2.2.1 ผลของการแช่เยือกแข็งต่ออาหาร

การแช่เยือกแข็งมีผลกระทบต่อคุณภาพของอาหารโดยตรง คือ ทำให้เซลล์ของเนื้อเยื่อแตก เนื่องจากมีการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อมีการแช่เยือกแข็งอย่างช้าๆ การแช่เยือกแข็งจะมีผลน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลง สี รสชาติและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร อาหารประเภทผักและผลไม้จะมีความทนทานต่อการเสียหายจากการแช่เยือกแข็งได้น้อยกว่าเนื้อสัตว์เนื่องจาก โครงสร้างของเนื้อเยื่อและเซลล์มีความแตกต่างกัน เนื้อเยื่อสัตว์มีโครงสร้างที่ยืดหยุ่นมากกว่าเนื้อเยื่อพืชทำให้ขยายตัวออกได้ระหว่างการแช่เยือกแข็ง (วิไล รังสาดทอง, 2546)

การเกิดผลึกน้ำแข็งในเนื้อเยื่อพืช

ในเซลล์พืชประกอบด้วยผนังเซลล์และเซลล์เมมเบรน ผนังเซลล์จะมีความแข็งแรงเนื้อเยื่อพืชไม่ผ่านการลวกผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์มักมีผลต่อการเกิดน้ำแข็ง โดยปกติภายนอกเซลล์จะมีความเข้มข้นของสารน้อยกว่าภายในเซลล์ เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงจะเกิดนิวเคลียสของน้ำแข็งภายนอกเซลล์ก่อน จากนั้นน้ำที่สามารถเป็นน้ำแข็งได้กลายเป็นน้ำแข็งต่อไปและสะสมมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามลักษณะสภาพการเกิดน้ำแข็ง ขึ้นกับอัตราการลดลงของอุณหภูมิและอัตราการผ่านผนังของเซลล์ของน้ำซึ่งจะเกิดได้ใน 3 ลักษณะคือ

1. กรณีอัตราการลดอุณหภูมิอย่างช้าและมีอัตราการซึมของน้ำผ่านผนังเซลล์น้อยหรือมากในสภาพการลดของอุณหภูมิอย่างช้าๆ น้ำภายนอกเซลล์จะเกิดนิวเคลียสของน้ำแข็ง อย่างช้าๆ ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายภายนอกเซลล์จะเข้มข้นขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้น้ำในเซลล์ ซึมผ่านออกมาและแข็งตัวภายนอกเซลล์ เซลล์สูญเสียน้ำและเกิดการแห้ง

2. อัตราการลดลงของอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว กับอัตราการซึมของน้ำผ่านผนังเซลล์น้อย จะเกิดนิวเคลียสอย่างเร็วและจำนวนมาก ขณะที่น้ำสามารถซึมผ่านออกมาได้น้อยอุณหภูมิ

ยิ่งลดลงจะเกิดอุณหภูมิเย็นยิ่งยวด ทำให้น้ำภายในเซลล์จะแข็งตัว อาจส่งผลให้เซลล์ได้รับอันตรายจากการฉีกขาดบ้าง ลักษณะเช่นนี้เกิดกับการแช่เยือกแข็งของแครอทที่ไม่ผ่านการลวก

3. อัตราการลดลงของอุณหภูมิอย่างรวดเร็วกับอัตราการซึมของน้ำ ผ่านผนังเซลล์มากจะเกิดนิวเคลียสอย่างเร็วและจำนวนมาก ขณะที่น้ำสามารถซึมผ่านออกมาได้มาก ส่งผลให้น้ำในเซลล์ซึมผ่านออกมาและแข็งตัวภายนอกเซลล์เซลล์ อาจสูญเสียน้ำและเกิดการแห้ง ได้บ้าง อย่างไรก็ตามความคงสภาพของเซลล์นั้นขึ้นอยู่กับ วิธีลดความร้อนและความสามารถในการซึมผ่านน้ำของเซลล์

การเกิดผลึกน้ำแข็งในเนื้อเยื่อสัตว์

การเกิดน้ำแข็งในเนื้อเยื่อสัตว์ไม่เหมือนกับในเนื้อเยื่อพืช เนื่องจากผนังเซลล์ของสัตว์มีเพียงเซลล์เมมเบรน ซึ่งเป็นผนังบางๆ มีโครงสร้างไม่แข็งแรงเหมือนเซลล์พืชและมีอัตราการยอมให้น้ำซึมผ่านมากกว่า เนื่องจากเซลล์สัตว์มีลักษณะที่บางกว่าการส่งผ่านความร้อนจึงง่ายกว่าเซลล์พืช ดังนั้นเนื้อเยื่อของสัตว์มีการเกิดและเจริญของผลึกน้ำแข็งภายในเซลล์ง่ายกว่าเนื้อเยื่อของพืช อย่างไรก็ตามการแช่เยือกแข็งอย่างเร็ว (Fast freezing) จะก่อให้เกิดนิวเคลียสของน้ำแข็งขึ้นภายในเซลล์ (Intracellular ice formation) ขณะที่การแช่เยือกแข็งอย่างช้า (Slow freezing) จะเกิดนิวเคลียสของน้ำแข็งภายนอกเซลล์ (Extracellular ice formation) เช่นเดียวกับในเนื้อเยื่อพืชดังแสดงใน Figure2

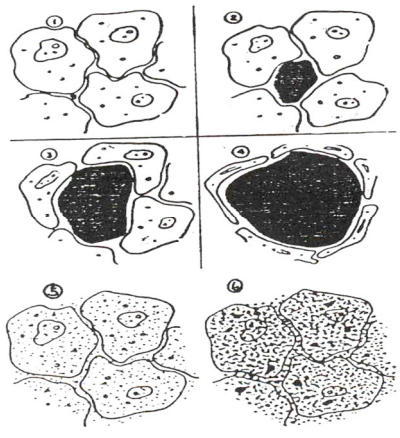


Figure 2 Characteristics of the ice in plant and animal tissues. 1-4 is a slow freezing, 5-6 is a fast freezing

Source: Fennema และคณะ (1973)

1.2.2.2 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการแช่เยือกแข็ง (วิไล รังสาดทอง, 2546)

1. การขยายปริมาตรเมื่อน้ำเปลี่ยนสภาพกลายเป็นน้ำแข็ง จะมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ร้อยละ 9 แต่ในอาหารที่แช่เยือกแข็งนั้นปริมาตรของอาหารจะเพิ่มขึ้น ร้อยละ 6 เท่านั้น เนื่องจากในอาหารโดยทั่วไปมักมีอากาศแทรกอยู่สิ่งที่ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นส่วนใหญ่ คือ น้ำเท่านั้น

2. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายในเซลล์ระหว่างที่น้ำในอาหารกลายเป็นน้ำแข็งนั้น น้ำที่สามารถกลายเป็นน้ำแข็งได้จะกลายเป็นน้ำแข็งก่อนหากเซลล์มีความสามารถซึมผ่านของน้ำได้ดีน้ำจะซึมผ่านออกมาสู่ภายนอกเซลล์ ภายในเซลล์จะมีความเข้มข้นของสารละลายสูงขึ้น การเพิ่มของความเข้มข้นนี้มีผลถึงค่า pH ซึ่งมีผลต่อความคงตัวของคอลลอยด์และสารแขวนลอยต่างๆ การทำงานของเอนไซม์ในอาหารและอาจมีการตกตะกอนของเกลือด้วย

1.2.2.3 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบในอาหารแช่เยือกแข็ง

โปรตีน

การแช่เยือกแข็งมีผลให้โปรตีนสูญเสียสภาพและทำให้การละลายลดลง (Zayas, 1997) การสูญเสียสภาพโปรตีนเนื่องจาก 3 ปัจจัย คือ การเปลี่ยนแปลงความชื้น ลิปิดและผลของเมตาบอไลท์จากเซลล์ การสูญเสียความชื้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์ไม่ได้ห่อหุ้มด้วยบรรจุภัณฑ์หรือบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ไม่มีคุณภาพ มีผลให้เกิดสูญเสียความชื้น ปรากฏรอยแห้งสีขาวหรือสีเหลือง(Freeze burn) และมีผลให้ความเข้มข้นของตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามโปรตีนที่ละลายได้และคุณค่าทางอาหารอื่นๆ ยังคงอยู่ (Paine, 1992) ในขณะที่การสลายตัวของไขมันรวมทั้ง มาลอนอัลดีไฮด์ (Malonaldehyde) จะก่อให้เกิดพันธะเชื่อมระหว่างโพลิเปปไทด์จึงทำให้โปรตีนมีความสามารถในการละลายลดลง (Xiong, 1997)

สตาร์ช

การแช่เยือกแข็งมีผลต่ออาหารที่มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน ซึ่งสตาร์ชประกอบด้วยอะไมโลสและอะไมโลเพกตินมีการเปลี่ยนแปลงขณะทำการเก็บรักษา โดยอะไมโลสจะรวมตัวกันแน่นและก่อตัวเป็นผลึก ในขณะที่อะไมโลเพกตินจะมีความคงตัวสูงกว่าเพราะโครงสร้างมีลักษณะเป็นกิ่งก้านจึงทำให้ก่อตัวเป็นผลึกอย่างช้า โดยลักษณะที่ปรากฏเรียกว่า รีโทรเกรเดชัน ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดการแข็งตัว สูญเสียเนื้อสัมผัสที่นิ่ม (Staling) (Mua and

Jackson, 1998) เมื่อรับประทานจะรู้สึกว่าเนื้อสัมผัสหยาบและแห้งในปาก โดยผลึกของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินจะสลายที่อุณหภูมิ 130 และ 55 องศาเซลเซียสตามลำดับ (Zhang and Jackson, 1992) แต่การเพิ่มความชื้นในผลิตภัณฑ์สามารถชะลอการเกิดลักษณะการแข็งตัวได้ เพราะความชื้นจะช่วยลดพันธะข้ามระหว่างสตาร์ชบางส่วนที่ละลายได้กับโปรตีน (He and Hoseney, 1990)

ไขมัน

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไขมันที่สำคัญ คือ การหืน การแช่เยือกแข็งจะช่วยป้องกันการเกิดการหืนในอาหารที่มีไขมันได้ดี การแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า -10 องศาเซลเซียสสามารถลดการออกซิเดชันของไขมันแบบใช้เอนไซม์และไม่ใช้เอนไซม์ได้ (Rousseau and Marangoni, 1998) การหืนเป็นการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางเคมีของไขมันหรือน้ำมัน ทำให้มีกลิ่นผิดปกติและสมบัติทางเคมีและกายภาพเปลี่ยนไป การหืนเกิดขึ้นได้ 3 แบบคือ ลิโพไลซิส (Lipolysis) การหืนเนื่องจากออกซิเดชัน (Oxidation rancidity) และการหืนแบบคีโตนิก (Ketonic rancidity) (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548)

จุลินทรีย์

การแช่เยือกแข็งมีผลให้เซลล์จุลินทรีย์ตายเป็นจำนวนมาก เนื่องจากการแช่เยือกแข็งมีผลให้ความเข้มข้นของตัวถูกละลายเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ความเป็นกรดและด่างในเซลล์ต่ำลง เกิดดีไฮเดรชัน (Dehydration) เกิดความเป็นพิษเนื่องจากไอออนิก (Giannou *et al.,*2003) นอกจากนี้จุลินทรีย์ยังถูกทำลายโดยผลึกน้ำแข็ง ในขณะเดียวกันอาจมีเซลล์จุลินทรีย์บางชนิดที่สามารถรอดชีวิตหลังการแช่เยือกแข็ง ซึ่งเซลล์จุลินทรีย์อาจเกิดความเสียหายบางส่วนหรืออาจไม่ได้รับความเสียหายก็ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ อัตราการแช่เยือกแข็ง อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง ระยะเวลาเก็บรักษา ประเภทอาหารและอัตราการทำละลาย แม้ว่ากิจกรรมของของจุลินทรีย์ถูกยับยั้งในอุณหภูมิแช่เยือกแข็งแต่ไม่สามารถเก็บอาหารไว้ได้นานตลอดไป ระยะเวลาการเก็บอาหารแช่เยือกแข็งนานที่สุดไม่ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนจุลินทรีย์เท่านั้น แต่ต้องคำนึงถึงลักษณะอื่นๆของอาหาร เช่น กลิ่น รส และลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารด้วย ดังนั้นอาหารแช่เยือกแข็งมีอายุการเก็บรักษาแตกต่างกันขึ้นกับอุณหภูมิที่เก็บรักษาและประเภทอาหาร

1.2.2.4 การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง (ชมภู่ ยิ้มโต, 2550)

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งคล้ายกับการเก็บรักษาอาหารแช่เย็น โดยพบว่า มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. อุณหภูมิที่เก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง พบว่าผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำมากขึ้นสามารถเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้นดัง Table 1 และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารจะต้องรักษาอาหารแช่เยือกแข็งไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า –18 องศาเซลเซียส เพื่อจะได้ผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งในสภาพ Deep frozen และผลิตภัณฑ์อาหารนั้นจะมีคุณภาพที่ดี

2. ผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งนั้น ต้องให้ผลิตภัณฑ์อาหารที่นำมาแช่เยือกแข็งมีคุณภาพเริ่มต้นที่ดีก่อน การที่จะได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีจะต้องมีการควบคุมสิ่งต่างๆ ได้แก่ วัตถุดิบที่ใช้ผลิต กรรมวิธีก่อนการแช่เยือกแข็ง กรรมวิธีการบรรจุ ภาชนะบรรจุและกรรมวิธีการแช่เยือกแข็ง

3. ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเก็บรักษา เนื่องจากอุณหภูมิในห้องเก็บรักษาต่ำจะทำให้ความชื้นในห้องเก็บรักษาต่ำ มีผลทำให้น้ำแข็งของผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งระเหิดออกสู่บรรยากาศ ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเกิดลักษณะแห้ง (Freezer burn) และเกิดมากขึ้นหากมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิการป้องกันการแห้งนี้อาจทำได้โดยบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารในภาชนะที่ออกแบบอย่างเหมาะสมหรืออาจทำให้ห้องเก็บรักษามีความชื้นสัมพัทธ์ใกล้เคียงร้อยละ 100

4. การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ในระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่งผลิตภัณฑ์อาหาร ควรมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิให้น้อยที่สุด เพื่อป้องกันการเกิดการแห้งของผลิตภัณฑ์และป้องกันการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์อาหาร

5. การเสียหายทางกายภาพ ควรวางผลิตภัณฑ์ให้แรงกดทับอยู่บนภาชนะบรรจุที่ดีและไม่ควรวางให้สูงเกินกว่าภาชนะบรรจุจะรับแรงกดทับ เพื่อป้องกันการแตก การบิดงอของภาชนะบรรจุ การแตกและการเสียรูปร่างของภาชนะบรรจุ จะมีผลต่อการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร

6. การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ อุณหภูมิที่ต่ำไม่สามารถกำจัดจุลินทรีย์ได้ทุกชนิด อุณหภูมิต่ำเพียงแต่ชะลอการเจริญของจุลินทรีย์เท่านั้น

Table 1 Relationships of temperature and storage time

Freezing products	Storage time (months)		
	-18 °C	-25 °C	-30 °C
Vegetables and fruits			
Asparagus	15	24	>24
Carrot	18	>24	>24
Sweet corn	12	18	24
Meat product			
Fresh beef	12	18	24
Ground beef	10	>12	>12
Porcine meat	6	12	15
Whole chicken (without viscera)	12	24	24
Fry chicken	6	9	12
High fat fish	4	8	12
Low fat fish	8	18	24
Shrimp	6	12	12
Carpet clamand oyster	4	10	12

Source: ชมภู่ ยิ้มโต (2550)

1.2.2.5 การเปลี่ยนแปลงในอาหารแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา

ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นและการเปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อการเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแบ่งการเปลี่ยนแปลงออกเป็น 2 ลักษณะ (วิไล รังสาดทอง, 2546)

1. เปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ได้แก่

1.1 การเกิดการแห้งในผลิตภัณฑ์ (Freezer burn) การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในห้องเก็บรักษาจะทำให้น้ำละลายและเกิดการแข็งตัวอีก โดยเฉพาะเกิดเกล็ดน้ำแข็งที่เกาะภายในผลิตภัณฑ์ที่ห่อแบบไม่แนบสนิท เกล็ดน้ำแข็งเหล่านี้ มักเกิดการระเหิดออกจาก

ผลิตภัณฑ์อาหาร การแห้งของผลิตภัณฑ์จะเกิดมากขึ้นหากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของห้องเก็บรักษาบ่อยครั้ง

1.2 การเปลี่ยนแปลงขนาดของผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ การเปลี่ยนแปลงขนาดของผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในห้องเก็บรักษามีช่วงกว้าง ผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งที่แต่เดิมได้ทำการแช่เยือกแข็งแบบที่ได้ออกแบบไว้อย่างดีและมีผลึกน้ำแข็งที่เล็กในผลิตภัณฑ์ เมื่ออุณหภูมิในห้องเก็บรักษาสูงขึ้น น้ำแข็งเกิดการละลายเมื่อระบบทำความเย็นทำงานอีกอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดลง เกิดการแช่เยือกแข็งที่เป็นแบบการใช้อากาศที่ไม่เคลื่อนที่มีผลให้เกิดผลึกของน้ำแข็งใหม่ (Recrystallization) อย่างช้าๆ น้ำที่สามารถกลายเป็นน้ำแข็งได้จะเกิดภายนอกเซลล์มากขึ้นและผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นภายนอกเซลล์นี้จะมีขนาดใหญ่ มีผลให้เซลล์เหี่ยวและผลิตภัณฑ์มีน้ำไหลเยิ้มหลังการละลาย

2. การเปลี่ยนแปลงทางเคมี ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีน้อยกว่าผลิตภัณฑ์อาหารแช่เย็น

1.2.3 การทำละลาย

อาหารแช่เยือกแข็ง ส่วนใหญ่เมื่อจะนำมาบริโภคจะต้องนำมาทำการละลายเสียก่อน ในการละลายผลิตภัณฑ์หากทำการละลายไม่ดีอาจมีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ การละลายเป็นการให้ปริมาณความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ เมื่อผลิตภัณฑ์ละลายแล้วควรวางผลิตภัณฑ์ไว้ในที่อุณหภูมิต่ำหากยังไม่มีการนำไปใช้ ถ้าวางผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานผลิตภัณฑ์อาจเสื่อมเสียการคืนตัวและการละลายน้ำแข็ง ในการคืนตัวหรือการละลายน้ำแข็งอาหารแช่เยือกแข็งแบบเดิมนั้น นิยมละลายน้ำ แต่มีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าน้ำแข็ง จึงทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง วิธีการละลายมีหลายวิธี เช่น การใช้อากาศหรือน้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งในการละลายจะใช้ตัวกลางที่มีอุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียส วิธีการที่กล่าวมา จะเป็นการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกละลายเข้าไปสู่ภายในผลิตภัณฑ์และยังมีการใช้ไฟฟ้าหรือใช้คลื่นแม่เหล็กในการละลาย ซึ่งวิธีการเหล่านี้ผลิตภัณฑ์จะละลายทั่วทั้งชิ้นดังนั้นในที่นี้จะแบ่งการละลายตามลักษณะที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ดังนี้ (ไพศาล วุฒิจำนงและสุรางค์ กสิสุวรรณ, 2537)

1. การละลายที่เกิดที่ผิวของผลิตภัณฑ์ (Surface heating methods) การละลายโดยวิธีเหล่านี้ จะเกิดบริเวณที่ผิวก่อนและละลายเข้าไปสู่ภายใน วิธีการละลายนี้เกิดได้รวดเร็ว เมื่อผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็ก มีความแตกต่างของอุณหภูมิผิวผลิตภัณฑ์และตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนมาก ผลิตภัณฑ์มีค่าการนำและการแพร่ความร้อนสูง

2. การละลายที่เกิดขึ้นภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์ (Internal heat thawing) วิธีการนี้ค่อนข้างดี ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการละลายอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้น ถ้าส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์มีเนื้อสม่ำเสมอกัน หากส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อาหารไม่สม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน อาจละลายได้ไม่สม่ำเสมอทั้งชิ้น วิธีการที่ทำให้เกิดการละลายภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์ได้แก่ การใช้กระแสไฟฟ้าหรือการใช้ประจุไฟฟ้าและการใช้แม่เหล็กไฟฟ้าแก่ผลิตภัณฑ์

วิธีการทำละลายโดยใช้ไมโครเวฟ

ไมโครเวฟสามารถละลายน้ำแข็งของอาหารแช่เยือกแข็งที่มีขนาดเล็กได้อย่างรวดเร็ว แต่จะมีปัญหาเมื่อใช้กับอาหารแช่เยือกแข็งที่มีขนาดใหญ่ในอุตสาหกรรม น้ำมีค่า Loss factor สูงกว่าน้ำแข็ง ซึ่งเป็นผลทำให้อาหารร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อน้ำแข็งเริ่ม ละลาย การทำละลายจะเกิดขึ้นอย่างไม่สม่ำเสมอในอาหารที่เป็นก้อนขนาดใหญ่ ทำให้อาหารบางส่วนไหม้ในขณะที่ส่วนอื่นๆยังแข็งอยู่ การประยุกต์ใช้ไมโครเวฟเป็นที่นิยมมาก เนื่องจากใช้ระยะเวลาสั้นในการละลายน้ำแข็งบางส่วนด้วยการเพิ่มอุณหภูมิจาก -20 องศาเซลเซียส ไปเป็น 3 องศาเซลเซียส ปัจจุบันในระดับครัวเรือน นิยมใช้ไมโครเวฟสำหรับคืนสภาพของอาหารแช่เยือกแข็ง เนื่องจากไมโครเวฟ ปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าให้แพร่ผ่านเข้าสู่อาหาร โมเลกุลของน้ำแข็งทั้งภายในและที่ผิวหน้าอาหารจะได้รับการกระตุ้นให้สั่นไหวเกิดความร้อนขึ้นพร้อมกัน ส่งผลให้อาหารมีน้ำไหลเยิ้มน้อย ดังนั้นการทำละลายด้วยไมโครเวฟจึงเป็นวิธีที่รวดเร็วใช้พื้นที่น้อยและสามารถทำให้น้ำแข็งละลายได้อย่างสมบูรณ์ การทำละลายอาหารที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง เช่น อาหารสำเร็จรูป ซึ่งมีมากมายหลายชนิด ทั้งอาหารคาวและหวาน ส่วนใหญ่จะระบุให้คืนสภาพด้วยไมโครเวฟ ส่วนอาหารกึ่งสำเร็จรูปแช่เยือกแข็ง เช่น กุ้งชุบแป้งแช่เยือกแข็ง สามารถนำไปทอดโดยไม่ต้องทำละลายน้ำแข็งก่อน ไพศาล วุฒิจำนงและสุรางค์ กสิสุวรรณ (2537) ศึกษาวิธีการทำละลายขนมพายชั้นแช่เยือกแข็ง 3 วิธี คือ ทำละลายที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำละลายที่อุณหภูมิห้องและทำละลายด้วยไมโครเวฟ พบว่าทั้ง 3 วิธี ไม่มีผลต่อการทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และ คุณลักษณะรวมอย่าง มีนัยสำคัญ ส่วนใหญ่เนื้อแช่แข็งจะต้องละลายก่อนปรุง US Food and Drug Administration Model Food Code (2005) กล่าวว่าวิธีการละลายผลิตภัณฑ์เนื้อและเนื้อสัตว์ดิบ เช่น การละลายภายใต้เครื่องทำความเย็น ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส การละลายให้จมอยู่ใต้น้ำที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส และการใช้น้ำไหลผ่านหรือแม้กระทั่ง การใช้ไมโครเวฟ ซึ่งในแต่ละวิธีการก็จะมีข้อเสียบ้างบางประการอย่าง เช่น การละลายภายใต้เครื่องทำความเย็นหรือการใช้น้ำไหลผ่าน ผู้บริโภคอาจต้องใช้เวลาในการละลาย การใช้ไมโครเวฟละลายนั้นจะใช้เวลาน้อยกว่าการละลายด้วยตู้เย็นหรือน้ำไหลผ่าน ไมโครเวฟจะให้พลังงานความร้อนจากภายในชิ้น

อาหารแล้วเร่งการละลายให้เกิดขึ้น เพราะความร้อนที่ถูกสร้างขึ้น จึงแนะนำให้ใช้ในกระบวนการละลายอาหารแช่แข็งได้เช่นกัน

1.2.4 การให้ความร้อนซ้ำในเนื้อที่ผ่านความร้อนแล้ว (Reheated cooked meat)

ในการเก็บรักษาเนื้อที่ผ่านการให้ความร้อนแล้ว นิยมใช้การแช่เยือกแข็งหรือการแช่เย็นแล้วจึงนำมาให้ความร้อนใหม่ก่อนการบริโภค อย่างไรก็ตามภายในเวลาของการให้ความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่ทำให้เกิดการสูญเสีย กลิ่นรสของเนื้อและทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์“ Warmed–over” Thorvaldsson และ Skjoldebrand (1996 อ้างโดยวิไล รังสาดทอง, 2546) ศึกษาการเกิดกลิ่น warmed–over โดยเริ่มตั้งแต่การแช่เยือกแข็งเนื้อหมูที่อบให้ความร้อนและเก็บรักษาในสภาวะแช่แข็ง ผลปรากฏว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จะให้กลิ่นรสด้อยกว่าเนื้อหมูที่อบหลังการเก็บรักษา Thorvaldsson และ Skjoldebrand (1996 อ้างโดยวิไล รังสาดทอง, 2546) รายงานว่ากลิ่นไม่พึงประสงค์นี้ เกิดจากผลิตภัณฑ์พลอยได้ (By-products) จากปฏิกิริยาออกซิเดชันไขมันและพบว่าสารประกอบจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการให้ความร้อนเนื้อหรือการใช้เกลือฟอสเฟตหรือเกลือไนไตรท์จะช่วยยับยั้งการเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์นี้ได้ การบรรจุสุญญากาศบางส่วนหรือในบรรยากาศดัดแปลง สำหรับการให้ความร้อนซ้ำที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือใช้การทอดด้วยน้ำมันและใช้ไมโครเวฟ

1.2.5 การให้ความร้อนซ้ำด้วยการทอดด้วยน้ำมัน

1.2.5.1 น้ำมันทอด

น้ำมันทอดเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนให้กับอาหาร นอกจากจะทำให้อาหารสุกแล้วยังช่วยหล่อลื่นไม่ให้อาหารติดกับภาชนะที่ใช้ทอดและช่วยในเรื่องสีและเพิ่มรสชาติให้กับอาหารด้วย การเลือกน้ำมันที่ใช้ทอดมักจะพิจารณาจากการยอมรับในผลิตภัณฑ์อาหารที่ทอดจากผู้บริโภค (Balavi Natural Health center, 2005) แต่อย่างไรก็ตามน้ำมันทอดที่ดีควรมีคุณสมบัติดังนี้ (Lawson, 1985)

ไม่ก่อให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ดีในอาหาร

มีอายุการใช้งานในการทอดได้นานเสื่อมสลายช้า

เมื่อใช้ในการทอดต้องให้ลักษณะสีน้ำตาลทองแก่อาหารทอดและไม่ทำให้เกิดการเยิ้มมันบริเวณผิวหน้าของชิ้นอาหาร

ทำให้เกิดเนื้อสัมผัสที่ดี แน่นและกรอบ

ทนต่อการเกิดการหืน

ไม่ก่อให้เกิดคราบหนืดที่จะเกาะตัวบริเวณผิวเครื่องทอด

คงคุณภาพความเป็นน้ำมันทอดได้นาน

น้ำมันที่ผลิตทั่วโลกส่วนใหญ่ได้แก่น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันมะพร้าว น้ำมันมะกอกและน้ำมันรำข้าว การเลือกใช้น้ำมันในการทอดนั้นจะเป็นไปตามความนิยมของผู้บริโภคที่แตกต่างกัน จากการสำรวจพฤติกรรมการใช้น้ำมันทอดของร้านไก่ทอด พบว่าชนิดของน้ำมันที่ร้านส่วนใหญ่นิยมใช้ ได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันรำข้าว (เบญจรัก วายุภาพและคณะ, 2551)

น้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์มได้จากผลปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacp.) มี 2 ชนิดประกอบด้วยน้ำมันจากส่วนเปลือก (Mesocarp) ให้น้ำมันปาล์ม สีส้มแดงอีกส่วนหนึ่งคือเมล็ดใน (Kernel) ซึ่ง น้ำมันเมล็ดปาล์ม (Palm kernel oil) จัดเป็นผลพลอยได้ มีสีเข้มกว่าน้ำมันมะพร้าวเล็กน้อย ปริมาณที่ได้จากเปลือกและเมล็ดคิดเป็นร้อยละ 20 และ 4 ตามลำดับของน้ำหนักทลาย น้ำมันปาล์มจัดเป็นน้ำมันที่มีการบริโภคมากที่สุดในโลก น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิห้องจะมีลักษณะแยกเป็น 2 ส่วนคือ น้ำมันส่วนใสหรือโอเลอิน (Olein) ซึ่งมีอยู่ประมาณร้อยละ 65-70 และน้ำมันส่วนข้นหรือสเตียริน (Stearin) ประมาณร้อยละ 30-35 น้ำมันปาล์มที่ใช้ปรุงอาหารจะผ่านกระบวนการแยกส่วนเอาน้ำมันส่วนใสมาใช้บริโภค น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่ดีสำหรับการทอดแบบน้ำมันท่วม เนื่องจากมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวสูงถึงร้อยละ 50 ชนิดของกรดไขมันอิ่มตัวส่วนมาก คือ กรดปาล์มมิติก มีแอนติออกซิแดนท์ตามธรรมชาติและมีปริมาณวิตามินอีสูง (โทโคฟีรอล) (Mackay, 2000) ส่วนมากน้ำมันปาล์มจะใช้ในอุตสาหกรรมการทำเนยขาว มาการีนและน้ำมันทอด เป็นต้น (Salunkhe *et al.,* 1992)

น้ำมันมะพร้าว

น้ำมันมะพร้าวสกัดได้จากเนื้อมะพร้าวแห้ง มีน้ำมันประมาณร้อยละ 63-68 ใช้วิธีการบีบแยกเอาน้ำมันออกมา น้ำมันมะพร้าวประกอบด้วยกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนน้อย น้ำหนักโมเลกุลต่ำ กรดไขมันปริมาณมาก ได้แก่ กรดลอริกร้อยละ 50 กรดไมริสติกร้อยละ 18 กรดปาล์มิติกร้อยละ 9.5 กรดโอเลอิกร้อยละ 8.2 กรดคาไพรอิกร้อยละ 7.8 กรดคาพริกร้อยละ 7.6

และกรดสเตียริกร้อยละ 5 (Table 2) ทำให้น้ำมันมะพร้าวเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องหรือต่ำกว่าอุณหภูมิห้องเล็กน้อยและมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 24-27 องศาเซลเซียส น้ำมันมะพร้าวนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น เนยเทียม เนยขาว น้ำมันทอดอาหาร ผลิตภัณฑ์ขนมอบ และ ใช้ในอุตสาหกรรมสบู่และผงซักฟอก น้ำมันมะพร้าวที่มีขายอยู่ทั่วไปในตลาดจะเป็นชนิด 76°oil และ 92 °oil ตัวเลขนี้หมายถึง ค่าจุดหลอมละลายเป็นองศาฟาเรนไฮต์ เช่น 76°oil เป็นน้ำมันมะพร้าวชนิดไม่ผ่านการไฮโดรจิเนชัน แต่ถ้าเป็น 92 °oil เป็นน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านการไฮโดรจิเนชัน เพียงบางส่วน น้ำมันมะพร้าวเป็นน้ำมันที่ทนต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันมาก เนื่องจากมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวน้อยมาก ซึ่งสมบัตินี้ทำให้น้ำมันมะพร้าวถูกนำไปใช้ประโยชน์มากมาย นอกจากนี้กรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำในน้ำมันมะพร้าว ช่วยทำให้น้ำมันมะพร้าวมีความหนืดต่ำกว่าน้ำมันชนิดอื่น ทำให้ไม่รู้สึกเป็นมัน (Greasy) เมื่ออยู่ในปากและยังใช้เป็นตัวเคลือบพวกธัญพืชและแครกเกอร์ เป็นต้น น้ำมันมะพร้าวเมื่อเกิดการไฮโดรไลซิสเพียงเล็กน้อยจะทำให้มีกรดไขมันอิสระเกิดขึ้นซึ่งมีกลิ่นแรงและกลิ่นเหม็นคล้ายสบู่ การเกิดไฮโดรไลซิสนี้จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อมีความชื้นและจะเกิดเร็วขึ้นหากมีเอนไซม์ไลเพสปนอยู่

น้ำมันถั่วเหลือง

น้ำถั่วเหลืองเป็นน้ำมันที่มีปริมาณการผลิตมากที่สุดในโลก สกัดได้จากเมล็ดของถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merr) (Salunkhe *et al.,* 1982) ซึ่งมีน้ำมันประมาณร้อยละ 20 ต่อน้ำหนักแห้งและมีน้ำมันพืชที่มีกรดลิโนเลนิกสูงที่สุด น้ำมันถั่วเหลืองยังมีปริมาณโทโคฟีรอลประมาณ 1300 ppm (ในน้ำมันถั่วเหลืองที่ยังไม่กลั่น:Crude oil) และยังมีโอเมก้า 6 และ 3 ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย (O' Brien, 2009) การสกัดแยกเอาน้ำมันออกมาจากเมล็ดถั่วเหลืองใช้วิธีบีบหรือใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย น้ำมันที่ได้จะนำมาผ่านกระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์และอาจทำไฮโดรจิเนชันเพียงบางส่วนก็ได้ น้ำมันถั่วเหลืองมักนิยมใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเนยเทียมหรือมาร์การีนและเนยขาว น้ำมันถั่วเหลืองยังนำไปใช้ผสมกับน้ำมันพืชชนิดอื่นด้วยแต่มีข้อเสียคือ จะเกิดออกซิเดชันได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับอากาศและความร้อนสูง น้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการรีไฟน์และกำจัดกลิ่นแล้วจะนำไปใช้ประโยชน์เป็นน้ำมันทอดอาหาร น้ำมันสลัด เนยขาว เนยเทียมและใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตปลาทูน่าบรรจุกระป๋อง กรดไขมันที่สำคัญในน้ำมันถั่วเหลือง คือ กรดลิโนเลอิกมีอยู่ประมาณร้อยละ 43-56 กรดลิโนเลนิกประมาณร้อยละ 5-11 และกรดไขมันชนิดอิ่มตัวประมาณร้อยละ 11-26 ของกรดไขมันทั้งหมด (ดังแสดงใน Table 2) การที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมีปริมาณสูงทำให้เกิดออโตออกซิเดชันและการหืนได้ง่าย (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548)

Table 2 Fatty acid composition of palm vegetable oil

Fatty acid	Carbon atom	Coconut oil	Palm oil	Soybean oil
Saturated fatty acid				
Caproic acid	6	-	-	-
Caprylic acid	8	7.1	-	-
Capric acid	10	7.3	-	-
Lauric acid	12	54.0	-	0.1
Myristic acid	14	17.4	2.5	0.3
Palmetic acid	16	6.1	4.8	10.8
Stearic acid	18	1.6	3.6	3.2
Arachidic acid	20	-	-	0.1
Behenic acid	22	-	-	0.1
Oleic acid	18:1	5.0	45.2	24
Linoleic acid	18:2	1.3	7.9	54.4
Linolenic acid	18:3	7.9	-	6.8
Gadoleic acid	20:1	-	-	-
Erucic acid	22:1	-	-	-
Over all saturated fatty acid	-	91.4	53.1	85.2

Source: นิธิยา รัตนาปนนท์ (2548)

น้ำมันรำข้าว (Rice bran oil)

น้ำมันรำข้าว พบปริมาณ ร้อยละ 17-20 ของปริมาณข้าวที่ผ่านการสีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ กลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ ฟอสโฟลิพิด ไกลโคลิพิด สเตอรอล โทโคฟีรอล และแวกซ์ เป็นต้น องค์ประกอบหลักของกรดไขมันของน้ำมันรำข้าวประกอบด้วย กรดปาลมิติก กรดโอเลอิก กรดลิโนเลอิคและ กรดลิโนเลนิค (Orthoefer, 1996) น้ำมันรำข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการกลั่นจะมี แกมมา-โอไรซานอล ประมาณ 15,000 ppm (Rogers *et al.,* 1993) อีกทั้งยังมี

วิตามินอี ในรูปโทโคเฟอรอลทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Yamaoka *et al.,* 1991) น้ำมันรำข้าว ใช้ทั้งเป็นน้ำมันบริโภคและใช้ในอุตสาหกรรม

1.2.5.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ในการทอด

Mittal และ Paul (1996) กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ในการทอด เป็นผลจากการใช้งานอย่างต่อเนื่องของน้ำมันที่ใช้ทอด โดยน้ำมันที่ใช้ในการทอดนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ได้แก่

1. ความชื้นจากอาหาร

2. ออกซิเจนในอากาศ

3. อุณหภูมิที่ใช้ในการทอด อาหารส่วนใหญ่ เป็นอาหารที่ปรุงอย่างรวดเร็วและเปลี่ยนไปเป็นสีทอง เนื้อสัมผัสกรอบและมีรสชาติดี ซึ่งอุณหภูมิในการทอดจะอยู่ระหว่าง 160 ถึง 190 เซลเซียส

4. สิ่งที่ปนเปื้อนจากส่วนประกอบในอาหาร

ปัจจัยต่างๆดังกล่าว จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำมันที่เกิดขึ้นใน 3 ช่วงของการใช้งานน้ำมัน ซึ่งมีความแตกต่างกันของสภาวะแวดล้อม ได้แก่

1. ช่วงการเก็บรักษา (The storage period) ในช่วงนี้เป็นช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มต้นไปจนกระทั่ง ถึงช่วงที่น้ำมันอยู่ในเครื่องทอด โดยในช่วงดังกล่าวนี้น้ำมันจะสัมผัสกับอากาศ

2. ช่วงการเตรียมการ (The standby period) ในช่วงนี้เป็นช่วงที่ประกอบไปด้วยช่วงเวลา เมื่อน้ำมันได้รับความร้อน ในขณะที่อยู่ในเครื่องทอดก่อนทำการทอดและช่วงเวลาในการเย็นตัวของน้ำมันเมื่อการทอดนั้นสิ้นสุดลง โดยในช่วงเวลาดังกล่าวนี้น้ำมันจะมีการสัมผัสกับอากาศและอุณหภูมิ

3. ช่วงการทอด (The frying period) ในช่วงนี้เป็นช่วงที่มีการใช้งานน้ำมันขณะทำการทอด โดยในช่วงนี้น้ำมันจะมีการสัมผัสกับอากาศ อุณหภูมิสูง ไอน้ำ และอาหาร

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอดจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมัน การเปลี่ยนแปลงทางเคมีนั้น จะเป็นผลจากปฏิกิริยาเคมีต่างๆที่เกิดขึ้น ในระหว่างกระบวนการทอดได้แก่ การเพิ่มขึ้นของค่าเพอร์ออกไซด์ การเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระ เป็นต้น ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพนั้น มักจะเป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของ น้ำมัน ได้แก่ สีที่เข้มขึ้นของน้ำมันที่ใช้ทอด ความหนืดของน้ำมันสูงขึ้น เป็นต้น

1.2.5.3 การดูดซับน้ำมัน

Mellema (2003) กล่าวว่า ขณะทอดแบบน้ำมันท่วม น้ำในส่วนเปลือกนอกจะระเหยออกจากอาหาร การไหลของไอน้ำจะไหลออกอย่างต่อเนื่อง น้ำจำนวนหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ออกจากแกนกลางของชิ้นอาหารสู่เปลือกนอกของชิ้นอาหาร ไอน้ำจะออกมาแล้วน้ำมันจะเข้าไปแทนที่ กลไกการดูดซับน้ำมันมี 2 กลไก คือ

1. กลไกการควบแน่น (Condensation mechanism) การสังเกตน้ำมันที่ถูกดูดขึ้นมาอย่างรวดเร็วหลังจากยกชิ้นอาหารออกจากน้ำมัน เป็นการเกิดการรวมตัวกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีความดันไอสูง ความดันไอจะหนีออกจากอาหารซึ่งสร้างความดันสูงภายในรูพรุน ทำให้น้ำมันไม่สามารถแทรกซึมลงไปในอาหารได้ การกั้นการหนีของไอน้ำอาจดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งหลายวินาที เมื่ออาหารออกจากน้ำมัน หลังจากอุณหภูมิลดลงและความดันไอในขอบนอกเกิดการควบแน่น ความดันที่มากเกินไปจะเปลี่ยนไปเป็นความดันไอที่ลดลง ดังนั้นรูพรุนที่ขอบนอกจะมีน้ำมันจะไหลเข้าสู่รูพรุน (Mellema, 2003)

2. กลไกแคปิลลารี (Capillary mechanism) ขณะที่ทอดหรือหลังจากการทอดอาหารระยะของรูพรุนที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันมี 4 กรณี ดังแสดงใน Figure 3 และ Figure 3a น้ำมันไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนได้เพราะ ผนังของรูพรุน (ในชิ้นอาหาร) เต็มไปด้วยน้ำ ในกระบวนการทอด พบว่า น้ำในส่วนรูพรุนไม่ถูกดันให้ออกไป ดังนั้นน้ำมันจึงไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปในรูพรุนที่ยังมีน้ำอยู่เพราะรูพรุนเต็มไปด้วยไอน้ำ ไอน้ำสามารถเกิดอันตรกิริยากับส่วนที่ไม่ชอบน้ำได้และอาหารอาจเปียกด้วยน้ำมันได้ดีกว่า ไอน้ำในรูพรุนดังกล่าว จะแสดงคุณสมบัติไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์จึงเกิดการดูดซับน้ำมันได้มากกว่าน้ำ ช่องของรูพรุนที่ยาวจะเพิ่มการดูดซับน้ำมัน นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะของชิ้นอาหาร หากชิ้นอาหารมีลักษณะเป็นพื้นผิวขรุขระ พบว่า การดูดซับน้ำมันจะมีมากขึ้น ส่วนใน Figure 3c จะพบในสถานการณ์ที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปเมื่อรูพรุนเต็มไปด้วยไอน้ำ Figure 3d ต่างจาก Figure 3a ตรงที่เกิดการดูดซับน้ำมันแล้วเนื่องจากการควบแน่นของไอ การควบแน่นของไอในรูพรุนเพิ่มแรงขับเคลื่อนของการดูดซับน้ำมันที่สัมพันธ์กับทุกสถานการณ์ที่รูพรุนในขอบนอกที่มีไอน้ำ สังเกตว่าไอน้ำที่มีแบบปกติหรือระหว่างเวลาที่ใช้ทอด ผลของการควบแน่นนำไปสู่การดูดซับน้ำมันหลังจากยกอาหารขึ้นจากน้ำมัน (Mellema, 2003)

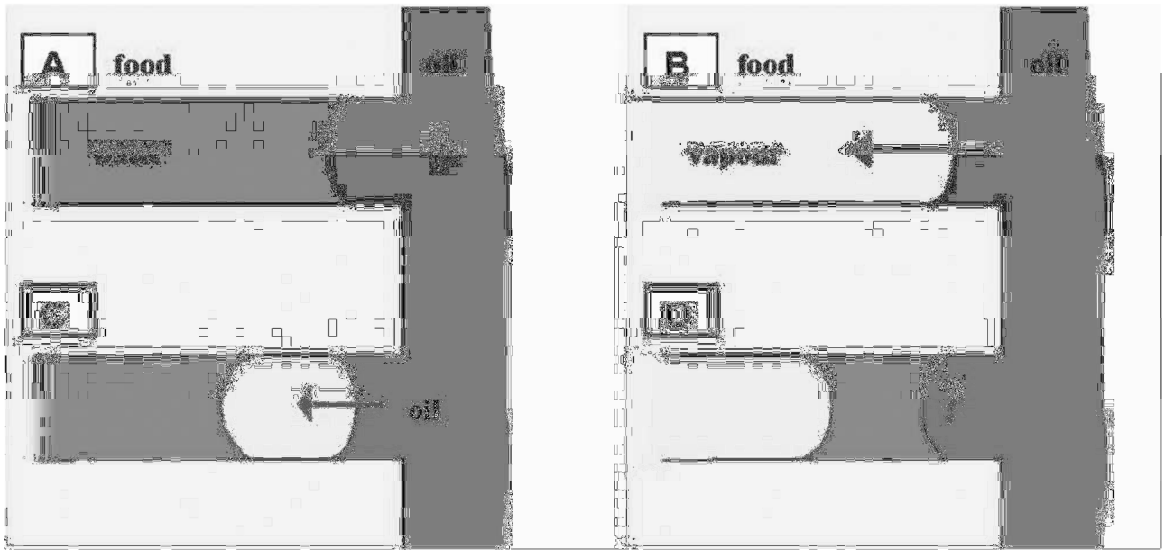


Figure 3 Oil absorption of food pieces, a) Pores are filled with water, b) Pores are filled with vapor, d) Oil absorption of food piece by pore filled with water and vapor

Source: Mellema (2003).

Kassama และ Ngadi (2004) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของรูพรุนของเนื้อไก่ในระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม โดยตัวอย่างที่ใช้ มีขนาด 20x15x10 มม. (ความกว้าง x ยาว x หนา) ทอดที่อุณหภูมิ 170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการทอด คือ 5 จนถึง 900 วินาที จากนั้นดูขนาดของรูพรุนของชิ้นเนื้อไก่ โดยทำการวัดหลังจากทำการทอดที่ระยะเวลาต่างๆ (Figure 4 และ 5)

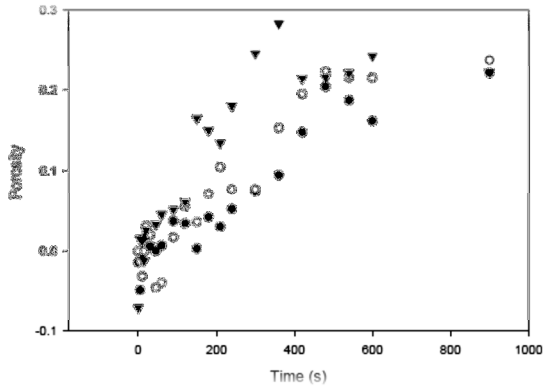


Figure 4 Change in porosity with frying time at different temperatures in de-boned chicken meatslabs. (•) 170 °C, (o) 180 °C, and (▾) 190 °C.

Source: Kassama และ Ngadi (2004)

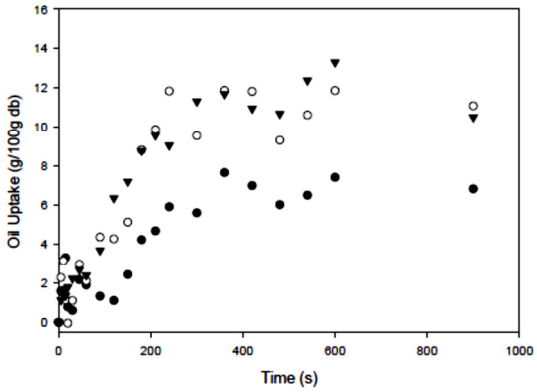


Figure 5 Oil uptake as a function of frying time during deep-fat frying of deboned chicken meatslabs at different frying oil temperature. (•) 170 °C, (▾) 180 °C, and ( ) 190 °C. Source : Kassama และ Ngadi (2004)

ผลการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงรูพรุนที่อุณหภูมิทั้ง 3 นั้น ในขั้นต้นของการทอดนั้นพบว่า ค่าความพรุนของไก่ทอดจะเป็นลบ จุดสูงสุดของค่าความพรุนที่สังเกตได้คือการทอดที่เวลา 360 วินาที อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส โดยมีค่าความพรุนคือ 0.238 และ ค่าความพรุนเริ่มลดลงเหลือ 0.220 เมื่อทอดที่ระยะเวลา 900 วินาที ที่อุณหภูมิ 180 และ 170 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งลักษณะการเกิดรูพรุนในผลิตภัณฑ์นั้น แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นลักษณะที่แปรผันตรงกับระยะเวลาในการทอดที่เวลาประมาณ 420 วินาที และหลังจากนั้น รูพรุน มีแนวโน้มที่จะเล็กลง สัมพันธ์กับการดูดซึมน้ำมันที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่หลังจากการทอดที่เวลา 360 วินาที และค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ เมื่อถึงเวลา 900 วินาที สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kassama และ Ngadi (2005) ศึกษาผลของระยะเวลาและอุณหภูมิในการทอดต่อลักษณะโครงสร้างของรูขุมขนไก่ โดยใช้ไก่ขนาด 5 cm x 3 cm x 1cm พบว่าโครงสร้างของรูขุมขนในไก่ทอดนั้นมีอิทธิพลต่อการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น โดยขนาดรูขุมขนของไก่ทอดมีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อทอดในระยะเวลาที่น้อยๆ เช่นเดียวกับระยะเวลาในการทอดที่เพิ่มขึ้นขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของรูขุมขนไก่ที่ได้จะลดลงจาก 1.17-0.25 ไมโครเมตรและมีค่าความพรุนที่ 0.71-0.37 หลังจากทอดเป็นระยะเวลา 360 วินาที Adedeji และคณะ (2009) ศึกษาการใช้ไมโครเวฟในการให้ความร้อนกับตัวอย่างนักเก็ตไก่ก่อนทอด เพื่อลดการดูดซับน้ำมัน จากการทดลองพบว่าผิวที่เคลือบบนนักเก็ตไก่สามารถลดการดูดซับน้ำมันได้ถึง ร้อยละ 26.22 และ 33.51 เมื่อให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 1 และ 2 นาที ตามลำดับ ที่ระดับพลังงาน 14.1 วัตต์ต่อกรัม

1.2.5.4 กระบวนการถ่ายโอนมวลของน้ำมัน

การถ่ายโอนมวลของน้ำมันภายใต้สภาวะบรรยากาศประกอบด้วย 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงการทอดและช่วงการเย็นตัว น้ำมันที่ถูกดูดซึมในอาหารโดยส่วนใหญ่ คือ น้ำมันที่เกิดจากการถ่ายโอนในระหว่างการตั้งทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำมัน หรือในช่วงของการเปลี่ยนแปลงความดันและช่วงเวลาในการเย็นตัวลงของอาหาร โดยในช่วงการทอดนั้น เป็นช่วงที่มีคุณสมบัติแบบเดียวกับช่วงเริ่มต้นของการได้รับความร้อน ภายใต้สภาวะบรรยากาศนั้นในช่วงการทอด เมื่ออาหารได้รับความร้อนจากอุณหภูมิห้อง จนถึงอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำและน้ำเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอออกไปจากรูพรุนของอาหาร พร้อมๆกับอากาศในรูพรุนนั้น อาหารในช่วงดังกล่าว มีอุณหภูมิและความดันภายในรูพรุนของอาหารเพิ่มสูงขึ้นในอัตราที่เร็วมาก ในระหว่างสภาวะดังกล่าว ความดันของ รูพรุนของอาหารมีค่าน้อยมาก ดังนั้นในช่วงดังกล่าว จึงไม่มีแรงขับดันน้ำมันเข้าสู่อาหาร แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงการเย็นตัว แรงขับดันน้ำมันจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากความดันภายในรูพรุนของอาหารลดลงทำให้น้ำมันสามารถเข้าสู่รูพรุนของเนื้ออาหารได้ (Garayo and moreira, 2002)

1.2.5.5 การเปลี่ยนแปลงของน้ำมันระหว่างการทอด

Choe และ Min (2007) กล่าวว่า ในขณะที่มีการทอดอาหารจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งเป็นผลมาจากออกซิเจน (ทั้งจากชิ้นอาหารเองหรืออากาศ) ความชื้นของชิ้นอาหารและอุณหภูมิสูงที่ใช้ทอด โดยการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ คือ น้ำมันมีความหนืด สี และ ฟองเพิ่มมากขึ้น ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี น้ำมันจะมีกรดไขมันอิสระ สารประกอบคาร์บอนิล และผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเพิ่มขึ้น อีกทั้งลดความไม่อิ่มตัวของไขมัน คุณภาพของ กลิ่น รส และ ระดับโภชนาการ (กรดไขมันที่จำเป็น) ลงด้วย สำหรับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมันจะเกิดปฏิกิริยา 3 แบบ คือ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจากน้ำ ปฏิกิริยาออกซิเดชันจากออกซิเจนละการเกิดโพลิเมอไรเซชัน จากความร้อน ดังแสดงใน Figure 6 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นทั้ง 3 แบบ จัดเป็นปฏิกิริยาเคมีพื้นฐานในน้ำมันทอด จะทำให้เกิดสารประกอบที่ระเหยได้และระเหยไม่ได้ โดยที่สารประกอบที่ระเหยได้ส่วนใหญ่จะระเหยไปในบรรยากาศพร้อมไอน้ำ และยังคงมีสารประกอบที่ระเหยได้บางส่วนในน้ำมัน ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีต่อไป หรือถูกดูดซับในอาหารทอด ส่วนสารประกอบที่ระเหยไม่ได้ในน้ำมัน จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีในน้ำมันและอาหารทอด โดยสารประกอบที่ระเหยไม่ได้จะมีผลต่อความคงตัวของกลิ่นและคุณภาพรวม ทั้งลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารทอดระหว่างการเก็บรักษา การทอดแบบน้ำมันท่วม มีผลลดกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันและเพิ่ม ฟอง สี ความหนืด ความหนาแน่น

ความร้อนจำเพาะ ปริมาณกรดไขมันอิสระ สารมีขั้วและสารประกอบพอลิเมอร์ (Choe and Min, 2007)

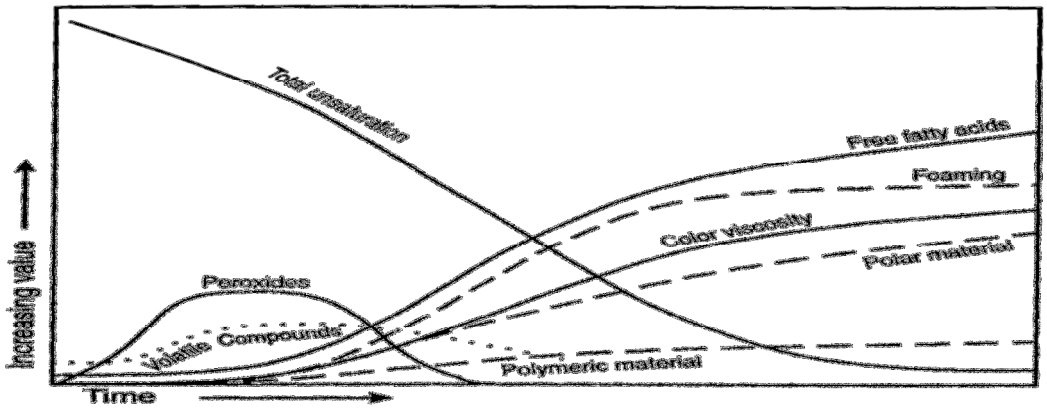


Figure 6 Physical and chemical changes of oil during deep-fat frying

Source: Choe และ Min (2007)

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมัน

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เป็นปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นในขณะที่มีการทอดแบบน้ำมันท่วม เนื่องจากน้ำจากชิ้นอาหารและอุณหภูมิที่ใช้ทอดอาหาร ปฏิกิริยา De-esterification ทำให้เกิดการสลายพันธะระหว่างกลีเซอไรด์และกรดไขมัน ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำระเหยกลายเป็นไอจากอาหารขณะทอดที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยานี้เกิดเป็นไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดในน้ำมันชนิดที่เป็นสายสั้นและไม่อิ่มตัวมากกว่าในน้ำมันที่เป็นสายยาวและอิ่มตัว เพราะกรดไขมันที่เป็นสายสั้นและไม่อิ่มตัว สามารถละลายน้ำได้มากกว่ากรดไขมันที่เป็นสายยาวและอิ่มตัว การเกิดไขมันอิสระในปริมาณที่มากขณะทอด จะทำให้ลดจุดเกิดควันของน้ำมันลง ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพของน้ำมัน แม้การเกิดกรดไขมันอิสระจากปฏิริยาไฮโดรไลซิส มีปริมาณน้อยกว่า การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันก็ตาม (Choe and Min, 2007)

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน

เป็นปฏิกิริยาหลักที่มีผลต่อกลิ่นรส สี คุณค่าทางโภชนาการและ มีผลต่อการเกิดกลิ่นหืน ออกซิเจนเป็น ปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของน้ำมัน ในขณะทอดภายใต้สภาวะ

บรรยากาศ (Dana and Saguy, 2003) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิสูงมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่รวดเร็วกว่าการเกิดออโตออกซิเดชัน พันธะคู่ในโมเลกุลของไขมันและน้ำมัน สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศได้อย่างช้า ๆ ทำให้เกิดเป็น Primary, Secondary และ Tertiary oxidation products ซึ่งสารเหล่านี้ หากมีปริมาณมากอาจทำให้สมบัติ ของไขมันและน้ำมันเปลี่ยนไปจนไม่สามารถนำไปบริโภคได้ (Choe and Min, 2007) กระบวนการออโตออกซิเดชัน จะทำให้เกิดความผิดปกติของ กลิ่น และ รสชาติของไขมัน น้ำมัน และอาหารที่มีไขมันและน้ำมันเป็นส่วนผสม เรียกว่า เกิดการหืน การหืนส่วนใหญ่จะหมายถึง การเสื่อมลงของไขมัน น้ำมัน และผลิตภัณฑ์อาหาร ที่มีไขมันหรือน้ำมันมากที่สุด น้ำมันเมื่อสัมผัสกับอากาศ พบว่าออกซิเจนในอากาศจะทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ทำให้เกิดการเหม็นหืน ส่งผลให้มีกลิ่นเหม็นและรสชาติผิดปกติ ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้น 3 ขั้น ดังนี้ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548)

1. ปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบปฐมภูมิ

เกิดขึ้นเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนและมีออกซิเจน ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดเป็นสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ตรงตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว แต่เนื่องจาก สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ไม่เกิดการสะสม เนื่องจากไม่คงตัวเมื่ออุณหภูมิสูง สามารถสลายตัวอยู่ในรูปไดเมอร์และผลิตภัณฑ์ที่สามารถระเหยได้และอนุมูลอิสระเหล่านี้สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อไปได้อีก ค่าเพอร์ออกไซด์ จึงใช้ระบุปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดหลังการทอดมากกว่า จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของน้ำมันในกระบวนการผลิต (Figure 7)

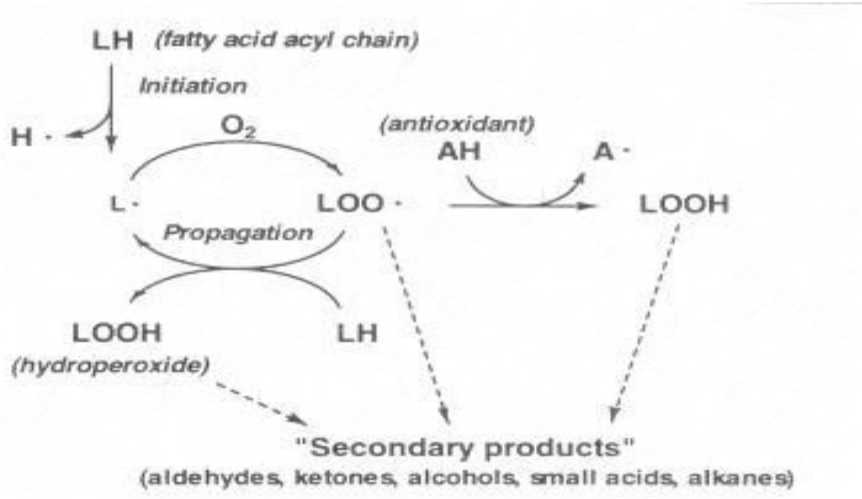


Figure 7 Oxidation reaction

Source: Choe และ Min (2007)

2. ปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบทุติยภูมิ

การรวมตัวกันของไฮโดรเพอร์ออกไซด์เมื่ออุณหภูมิสูง นำไปสู่การเกิดของผลิตภัณฑ์ขั้นที่สองของการเกิดออกซิเดชัน เช่น แอลกอฮอล์ คาร์บอนิลและกรดไขมันอิสระ แอลดีไฮด์ที่ไม่เสถียร สามารถเกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันเกิดเป็นไดแอลดีไฮด์เพิ่มขึ้น เช่น มาโลนาลดีไฮด์ การเกิดมาโลนาลไฮด์ เป็นพื้นฐานของกรดไธโอบาบิทูริก การแตกตัวของกรดไขมันที่เกิดจากไตรกลีเซอไรด์ ทำให้เกิดสารที่มีขนาดโมเลกุลทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ซึ่งสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กโดยทั่วไปสามารถระเหยได้และมีผลทำให้เกิด กลิ่น รสที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวผลิตภัณฑ์อาหารทอด

3. ปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบตติยภูมิ

เมื่ออนุมูลอิสระมีจำนวนมากพอและทำปฏิกิริยากันเอง เกิดเป็นสารประกอบใหม่ที่ไม่ใช่อนุมูลอิสระและมีความคงตัว เมื่อไม่มีอนุมูลอิสระเหลือทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับออกซิเจนแล้ว หากยังมีออกซิเจนเหลืออยู่มากพอก็จะเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้นอีกครั้ง เป็นปฏิกิริยาที่ใช้พลังงานประมาณ 80 กิโลแคลอรี (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) นอกจากนั้นการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันของผลิตภัณฑ์จาก ปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบทุติยภูมิทำให้น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้น สีของน้ำมันกลายเป็นสีที่เข้มขึ้นและเกิดชั้นสีน้ำตาลที่บริเวณผิวหน้าของน้ำมัน พอลิเมอร์ไรเซชันเกิดมากในน้ำมันที่มีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว เช่น น้ำมันถั่วเหลือง

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเร็วของออโตออกซิเดชัน ได้แก่ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548)

1. ปริมาณหรือความเข้มข้นของออกซิเจนในอากาศ
2. ระดับความไม่อิ่มตัว ของกรดไขมัน
3. ปริมาณของสารต้านออกซิเดชันที่มีในน้ำมันตามธรรมชาติ
4. ปริมาณและชนิดของสารประกอบอินทรีย์บางชนิด เช่น เอนไซม์ไลพอกซิเดส
5. ธรรมชาติของวัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ
6. แสงและอุณหภูมิขณะเก็บรักษา

การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเนื่องจากความร้อน

มีลักษณะคล้ายกับปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบตติยภูมิแต่ไม่ได้เกี่ยวกับการเกิดออกซิเดชัน อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปนำไปสู่การเกิดสารพวกโมโนเมอร์ไซคลิก ไดเมอร์และ พอลิเมอร์ กรดไขมันชนิดอิ่มตัวมีความคงตัวมากกว่ากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว แต่ที่อุณหภูมิมากกว่า 150 องศาเซลเซียส กรดไขมันจะแตกตัวเป็นกรดคาร์บอกซิลิกและกลุ่มของสารพวกแอลดีไฮด์ คีโตนและคาร์บอนกลุ่มอื่น การเกิดไดเมอร์และพอลิเมอร์ขึ้นกับชนิดของน้ำมัน อุณหภูมิที่ใช้ทอดและจำนวนครั้งของการใช้น้ำมันซ้ำ เมื่อจำนวนที่ใช้น้ำมันซ้ำและอุณหภูมิที่ใช้ทอดเพิ่มขึ้นปริมาณ

พอลิเมอร์จะสูงขึ้นด้วย (Choe and Min, 2007) ส่วนน้ำมันที่มีกรดลิโนเลอิกสูงจะเกิดพอลิเมอร์มากกว่ากรดไขมันที่มีโอเลอิกสูง การเกิดสารพอลิเมอร์ทำให้น้ำมันเกิดการเสื่อมเสีย เพิ่มความหนืด ลดการถ่ายโอนความร้อน เกิดฟองขณะทอดแบบน้ำมันท่วมและเกิดสารที่ไม่เป็นที่ต้องการ นอกจากนี้ยังเกิดการดูดซับน้ำมันในชิ้นอาหารมากขึ้นด้วย

1.2.5.6 วิธีวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมัน

วิธีวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันแสดงดัง Table 3 โดยค่าเพอร์ออกไซด์และคอนจูเกตเตดไดอีนเป็นวิธีที่ใช้วัดปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นปฐมภูมิ สามารถใช้อธิบายได้ในช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยา จากนั้นจึงเป็นค่าคาร์บอนิล ค่าพาราอะนิซิดีน ค่า TBARS และสารประกอบที่ระเหยได้และค่าทางประสาทสัมผัส ซึ่งเป็นวิธีวัดผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นทุติยภูมิ (Warner and Nelsen, 1996)

Table 3 Method to measure oxidation in oils and fat-contianing food

Methods	Parameters
Sensory	Odors/Flavors
Peroxide value	Peroxides
TBARS	Malonaldehyde + unknown compounds
Carbonyl value	All carbonyl functions
p-Anisidine value	Gamma and beta unsaturated carbonyls
Ultraviolet absorption	Conjugated dienes/trienes
Gas chromatography	Volatile compounds

ที่มา: Warner and Nelsen (1996)

ค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide value)

ไฮโดรเพอร์ออกไซด์หรือเรียกทั่วไปว่าเพอร์ออกไซด์ เป็นผลิตภัณฑ์หลักขั้นแรกของปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมัน ซึ่งเกิดมาจากออกซิเจนทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัว ไฮโดรเพอร์ออกไซด์จะสะสมไปจนถึงจุดหนึ่งที่มากที่สุด จากนั้นจึงสลายตัวไปเป็นสารประกอบอื่น เช่น คาร์บอนิลซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ กลิ่น รส เช่น การเกิด กลิ่นหืน หรือการ

เปลี่ยนสีของน้ำมัน (Warner and Nelsen, 1996) ดังนั้น Peroxide value คือ ปริมาณออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำมันและไขมันหมายถึง จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.002 นอร์มัล ที่ใช้ในการไตเทรตไขมันหรือน้ำมัน 1 กรัม หรือหมายถึง จำนวนมิลลิกรัมสมบูรณ์ของเพอร์ออกไซด์ออกซิเจนที่มีในไขมันหรือน้ำมัน 1 กิโลกรัม ถ้าค่า Peroxide value สูง แสดงว่าไขมันหรือน้ำมันเกิด lipid oxidation มาก มีกลิ่นเหม็นหืนมาก (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) วิธีการหาค่าเพอร์ออกไซด์ที่ใช้โดยทั่วไปคือ วิธีการไตเตรทกับไอโอดีน(Iodometrictitration) เป็นวิธีดั้งเดิมจะเป็นวิธีการที่วัดปริมาณไอโอดีนที่เกิดขึ้นจากการออกซิไดซ์ของโพแทสซียม ไอโอไดด์โดยเพอร์ออกไซด์ในสภาวะที่เป็นกรดดังสมการที่ 1 ปริมาณไอโอดีนที่เกิดขึ้นจะถูกไตเตรท โดยโซเดียมไทโอซัลเฟต โดยมีน้ำแป้งเป็นดัชนีชี้จุดยุติดังสมการที่ 2 ค่าที่ได้รายงานปริมาณเพอร์ออกไซด์เป็นมิลลิกรัมสมมูลย์ต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม

$$ROOH + 2I^- + 2H^+ \longrightarrow ROH + I_2 + H_2O \text{.....(1)}$$

$$I_2 + 2Na_2S_2O_3 \longrightarrow Na_2S_4O_6 + 2NaI \text{.....(2)}$$

ค่าพาราอะนิสิดีน (*p*-Anisidine value)

ค่าพาราอะนิสิดีนเป็นค่าที่วัดผลิตภัณฑ์ขั้นทุติยภูมิจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ส่วนใหญ่เป็น Conjugated dienals และ 2-alkenals แอลดีไฮด์ที่เกิดจากการสลายตัวของไฮโดรเพอร์ออกไซด์ เป็นผลให้ กลิ่น รสในน้ำมันที่ถูกออกซิไดซ์เปลี่ยนไป แอลดีไฮด์ (Aldehyde) บางตัว (2-alkenal และ 2,4-dienals) ทำปฏิกิริยากับพาราอะนิสิดีน ให้สารที่มี สีเหลือง วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 350 นาโนเมตร และความเหลืองของสารขึ้นอยู่กับปริมาณ แอลดีไฮด์ (Warner and Nelsen, 1996)

ค่า TBARS

การหาค่า TBARS เป็นวิธีสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ในการตรวจวัดสารที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวของเพอร์ออกไซด์โดยเน้นแอลดีไฮด์ ที่ได้จากกรดไขมันที่มีคาร์บอนไม่อิ่มตัวมากกว่า 2 ตำแหน่งคือ มาลอนแอลดีไฮด์ (MA) เป็นหลักปฏิกิริยาการเกิดมาลอนแอลดีไฮด์ดัง Figure 8 การตรวจวัดเป็นการตรวจวัดสารมีสีชมพูถึงสีแดงที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างมาลอนแอลดีไฮด์ (Malon aldyhyde) จำนวน 1 โมลกับ 2-thiobabituric acid (TBA) จำนวน 2 โมล โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารที่เกิดขึ้นที่ความยาวคลื่นแสง 532 นาโนเมตร

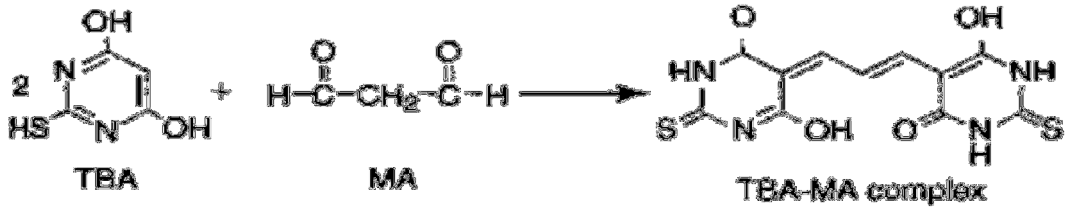


Figure 8: Reaction Malon aldyhyde and TBA

Source: Pegg (2005)

1.2.5.7 การทอด

Saguy และ Dana (2003 อ้างโดย Dana and Sam, 2006) กล่าวว่า การทอดคือการจุ่มอาหารลงในน้ำมันร้อน จุดประสงค์ของการทอดคือ การปรุงอาหารให้สุกภายในระยะเวลาที่รวดเร็วและก่อให้เกิดลักษณะที่เฉพาะตัว เช่น ความกรอบ สี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส กระบวนการทอดเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและมีหลายปัจจัยเป็นตัวกำหนดโดยพื้นฐานแล้ว การทอดเป็นการระเหยน้ำซึ่งมี 3 ลักษณะที่สำคัญ คือ

1. อุณหภูมิของน้ำมันที่สูง (ประมาณ 180 องศาเซลเซียส) การถ่ายเทความร้อนที่รวดเร็วและใช้เวลาในการทอดที่สั้น

2. อุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์ไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส

3. กระบวนการนี้ต้องไม่เกี่ยวข้องกับน้ำจากแหล่งอื่น ยกเว้นน้ำที่ระเหยจากตัวผลิตภัณฑ์เอง น้ำที่ระเหยออกไปนั้นจะถูกแทนที่ด้วยน้ำมันทอดซึ่งถูกดูดซับเข้าไปในผลิตภัณฑ์

1.2.5.8 ชนิดของการทอด

การทอดเป็นการใช้ไขมันหรือน้ำมันเป็นตัวนำความร้อนที่จะทำให้อาหารสุกโดยไขมันหรือน้ำมันช่วยหล่อลื่นไม่ให้อาหารติดภาชนะที่ใช้ทอด ให้สีและเพิ่มรสชาติ การทอดแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การทอดแบบน้ำมันท่วมและการทอดแบบน้ำมันตื้น

1. การทอดแบบน้ำมันท่วม (Deep fat frying) การทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นวิธีพื้นฐานของการเตรียมอาหาร ทำให้เกิดคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสที่ต้องการ ได้แก่ ด้านกลิ่นรส สีน้ำตาลทองและลักษณะเนื้อสัมผัสที่กรอบของอาหารทอด (Warner, 1996) Saguy และ Dana (2003 อ้างโดย Mellema, 2003) การทอดแบบน้ำมันท่วมคือ การจุ่มอาหารในน้ำมันที่ร้อน อุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว น้ำที่ผิวเดือดอย่างรวดเร็ว น้ำมันที่อยู่บริเวณผิวถูกทำ

ให้เย็นลงซึ่งน้ำมันนี้จะซึมเข้าไปในอาหาร โดยการพาความร้อนดังแสดงใน Figure 9 แต่ถ้าปริมาณของน้ำมันมากเกินไปจนถึงจุดวิกฤติอุณหภูมิของน้ำมันจะมีผลอย่างมาก เมื่อเริ่มเดือดการพาความร้อนเกิดจากเทอบูแลนของความดันไอน้ำ เนื่องจากการระเหยลักษณะที่ปรากฏจะทำให้ผิวหน้าชิ้นอาหารแห้งและนำไปสู่การหดตัวและพัฒนาการเป็นรูพรุนและผิวขรุขระ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หากเกิดการระเหยอย่างรุนแรงจะเกิดรูพรุนขนาดใหญ่ น้ำภายในอาหารร้อนขึ้น เมื่ออาหารทอดโดยใช้เวลานานปริมาณน้ำในส่วนเปลือกนอกจะลดลงอย่างช้า ๆ จึงเป็นการลดปริมาณฟองอากาศที่จะเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวหน้า อุณหภูมิที่ผิวหน้าสูงขึ้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีเชิงกายภาพ เช่น การเกิดปฏิกิริยาการเกิดน้ำตาล ซึ่งทำให้เกิดผลดีทางด้านสีของเปลือกนอกของชิ้นอาหารดัง Figure 9 การทอดแบบน้ำมันท่วมสามารถผลิตกลิ่นที่ต้องการกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ การเปลี่ยนสีที่สม่ำเสมอคุณภาพสีเนื้อสัมผัสของชิ้นอาหารทอดและคุณภาพทางโภชนาการ (Choe and Min, 2007) Mittal และ Paul (1996) พบว่าอาหารส่วนใหญ่เป็นอาหารที่ปรุงสุกอย่างรวดเร็วและเปลี่ยนเป็นสีทอง เนื้อสัมผัสกรอบและมีรสชาติดีซึ่งอุณหภูมิในการทอดจะอยู่ระหว่าง 160 ถึง 190 เซลเซียส

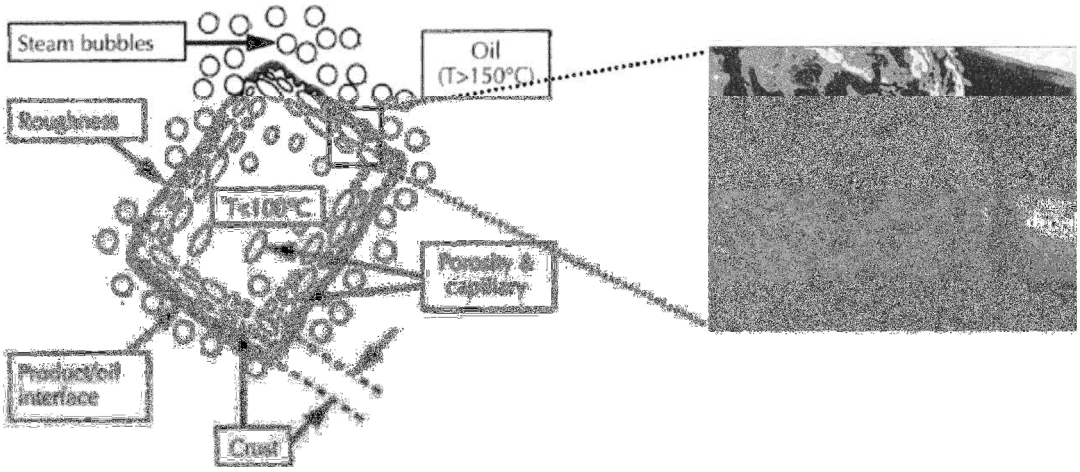


Figure 9 Scanning Electron Microscope deep-fat frying potato(a)Scanning Electron Microscope deep-fat frying potato crust (b)

Source: Saguy และ Dana (2003 อ้างโดย Mellema, 2003)

2. การทอดแบบน้ำมันตื้น (Shallow frying) เป็นการทอดโดยใช้น้ำมันน้อยเหมาะกับการทอดในครัวเรือน หรือการทอดอาหารบางชนิดที่ไม่ต้องการความสม่ำเสมอของสี เช่น โรตี เนื้อและเบอร์เกอร์ เป็นต้น คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารทอดขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันที่ใช้ ซึ่ง

น้ำมันจะต้องมีคุณภาพที่เหมาะสม เนื่องจากน้ำมันที่ใช้ทอดเป็นตัวกลางที่ถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารและทำให้อาหารสุก นอกจากนั้นยังช่วยหล่อลื่นไม่ให้อาหารติดกับภาชนะที่ทอด (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548)

1.2.5.9 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทอด (Singh, 1995; Mellema, 2003)

กระบวนการทอดอาหารทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารในลักษณะต่างๆ สามารถแบ่งได้เป็น 4 ช่วง ดังนี้

1. ช่วงแรกของการให้ความร้อน (Initial heating) เป็นช่วงที่ทำให้อุณหภูมิบริเวณผิวของอาหารเพิ่มขึ้นจนมีอุณหภูมิเท่ากับจุดเดือดของน้ำ การถ่ายเทความร้อนเป็นการพาแบบธรรมชาติที่ยังไม่มีการระเหยของน้ำ

2. ช่วงการเดือดของน้ำที่บริเวณผิวอาหาร (Surface boiling) น้ำที่ผิวของอาหารจะระเหยกลายเป็นไอ ผิวหน้าเริ่มแห้งกลายเป็นเปลือกแข็ง การถ่ายเทความร้อนเป็นการพาแบบบังคับ

3. ช่วงอัตราการระเหยลดลง (Falling rate) เป็นช่วงที่อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของอาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากการสูญเสียน้ำจากภายในชิ้นอาหารและอัตราการระเหยน้ำเริ่มช้าลงอาหารเริ่มสุกและเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพเช่น เกิดเจลาติไนซ์ของแป้ง

4. จุดยุติการเกิดฟอง (Bubble end point)จะเกิดขึ้นเมื่ออาหารถูกทอดเป็นเวลานานน้ำจะระเหยได้ช้าทำให้ปริมาณฟองของไอน้ำที่ออกจากผิวอาหารลดลง

1.2.5.10 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทอด

ปัจจัยที่มีผลต่อการทอดคือ เวลาที่ใช้ในการทอด พื้นที่ผิว ปริมาณน้ำในอาหาร ชนิดของวัตถุที่ใช้เป็นแป้งชุบทอดและน้ำมันที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับน้ำมันของอาหาร (Choe and Min, 2007)

Choe และ Min (2007) กล่าวว่า การทอดเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนมีปัจจัยมากมายที่มีผลต่อกระบวนการทอดอาหาร ได้แก่

1. ปัจจัยที่ขึ้นกับกระบวนการ ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำมันที่ใช้ทอด (Temperature), เวลาในการทอดและชนิดของการทอด (Fryer type) ได้แก่ แบบกะ หรือแบบต่อเนื่อง (Continuous)

2. ปัจจัยที่ขึ้นกับน้ำมันที่ใช้ในการทอด (Frying oil) ได้แก่ คุณสมบัติของน้ำมันทั้งเชิงกายภาพและเชิงเคมี สารเติมแต่งและสิ่งปนเปื้อน Li และคณะ (2007) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพนักเก็ตไก่ ทอดที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30, 60, 90, 120, 180, 240 และ

300 วินาที สำหรับสัดส่วนของน้ำมันคาโนลาที่ Hydrogenated กับคาโนลา Non-hydrogenated ซึ่งเป็นน้ำมันที่ใช้ทอดในการศึกษาครั้งนี้ มีการใช้ที่ระดับคือ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่า เมื่อระยะเวลาในการทอดเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ลดลง (L *) ในขณะที่สีแดง (a*) และสีเหลือง (b *) เพิ่มขึ้น

3. ปัจจัยที่ขึ้นอยู่กับอาหาร ได้แก่ คุณสมบัติของอาหารเชิงกายภาพและเชิงเคมี การเตรียมและส่วนประกอบที่มีการแลกเปลี่ยนกับน้ำมัน พื้นที่ผิวปริมาณน้ำในอาหาร ชนิดของวัตถุที่ใช้จะมีผลต่อปริมาณการดูดซับน้ำมันของอาหาร การถ่ายโอนมวลสารจะเกิดขึ้นในขณะ ทำการทอดและขณะที่ตั้งที่ไว้ให้เย็นตัว โดยจะเป็นการถ่ายโอนมวลของน้ำ อากาศ และน้ำมัน (Garayo and Moreira, 2002; Barrufet and Moreira, 1998)

1.2.5.11 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำมันระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม

การเสื่อมเสียของน้ำมันเป็นเรื่องที่ซับซ้อนเพราะการเสื่อมเสียนั้น เกิดจากการเปลี่ยนแปลงหลายอย่าง เช่น ความไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน อุณหภูมิของน้ำมัน การดูดซับออกซิเจน และธรรมชาติของอาหาร (Nawar, 1996)

องค์ประกอบของกรดไขมัน (Fat acid composition)

จำนวนและตำแหน่งของพันธะคู่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน กรดไขมันที่จัดตัวในรูปซิส (Cis) จะถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายกว่า การจัดตัวในรูปทรานส์ (Trans) ไอโซเมอร์ (Figure 10) กับ Conjugated double bonds ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยามากกว่า Nonconjugated double bonds (Nawar, 1996)

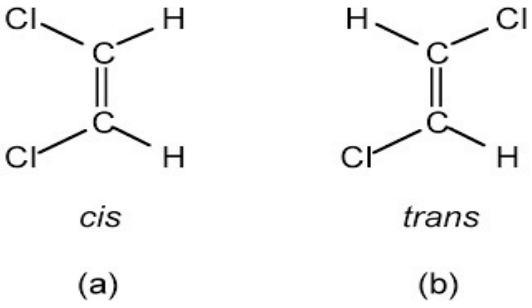


Figure 10 Isomer cis and trans

Source :Nawar (1996)

พื้นที่ผิว (Surface area)

อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้นโดยตรงต่อสัดส่วนของพื้นที่ผิวของไขมันที่สัมผัสอากาศ นอกจากนี้อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรที่เพิ่มขึ้นจะลดออกซิเจนในส่วนของบรรยากาศ จึงทำให้มีผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันน้อยลงด้วย (Nawar, 1996)

การเติมน้ำมันใหม่ (Replenishment of fresh oil)

อัตราส่วนของน้ำมันใหม่ต่อน้ำมันทั้งหมดที่มากกว่า จะทำให้น้ำมันทอดมีคุณภาพดีกว่า (Paul and Mittal, 1997) อีกทั้งการเติมน้ำมันใหม่บ่อยๆ จะลดการก่อตัวของสารประกอบมีขั้ว (Polar compounds) ไดเอซิลกลีเซอรอล (Diacylglycerols) และกรดไขมันอิสระ จึงเป็นการเพิ่มอายุการใช้งานและคุณภาพของน้ำมัน (Romero *et al.,* 1998) Sanchez-Muniz และคณะ (1993) กล่าวว่า การเติมน้ำมันใหม่จะช่วยปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอดหลังการทอดครั้งที่ 30 เท่านั้น Cuesta และคณะ (1993) กล่าวว่า การเปลี่ยนน้ำมันบ่อย ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่าปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเมื่อทอดมันฝรั่งแบบน้ำมันท่วม

เวลาและอุณหภูมิที่ทอด (Frying time and temperature)

เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระ สารประกอบมีขั้วทั้งหมดเพิ่มขึ้น ค่าพาราอะนิสิดีนเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งค่าเหล่านี้บ่งบอกถึงการเสื่อมเสียของน้ำมันที่เพิ่มขึ้นด้วย (Houhoula *et al.,* 2002)

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำมัน (Dissolved oxygen contents in oil)

การใช้ก๊าซไนโตรเจนหรือคาร์บอนไดออกไซด์ฉีดพ่นในน้ำมัน จะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมันลดลงและลดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะป้องกันน้ำมันจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่า เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความสามารถในการละลายและมีความหนาแน่นมากกว่าก๊าซไนโตรเจน (Przybylski and Eskin, 1998)

องค์ประกอบของอาหาร (Food compositions)

นอกจากกระบวนการทอดจะทำให้เกิดการเสื่อมเสียในน้ำมันทอดแล้ว ส่วนประกอบจากอาหารที่ละลายในน้ำมันขณะทอด รวมถึงสารประกอบที่มีสีและไขมันจากอาหารจะส่งเสริมให้ อัตราการเสื่อมสภาพของน้ำมันที่ใช้ทอดเพิ่มมากขึ้น (Melton *et al.,* 1994) ผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน จะมีองค์ประกอบที่ต่างกัน (ปริมาณความชื้น ไขมันและโปรตีน)

1.2.5.12 สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไก่ทอดในการทอดแบบน้ำมันท่วม

อุณหภูมิและเวลาในการทอดแบบน้ำมันท่วมที่เหมาะสมสำหรับการทอด เนื้อไก่ เนื้อควาย เนื้อวัว และผลิตภัณฑ์นักเกตไก่ พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อไก่และไก่ทอดด้วยการทอดในน้ำมันท่วม คือ อุณหภูมิในช่วง 160-190 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที (Table 4)

Table 4 Deep-fat frying condition

Samples	Deep-fat frying condition		Refferences
	Temperature (°C)	Time (min)	
1. Chicken meat	180	5	Sensoy *et al.,* (2013)
2. Buffalo meat	180	-	Juarez *et al.,* (2010)
3. Chicken nugget	160	5	Ngadi *et al.,* (2009)
4. Beef	150	1.5	HongxiaandHongjun (2008)
5. Chicken nugget	190	5	Michael *et al.,* (2007)

1.2.6 การให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟ

การใช้ไมโครเวฟในการแปรรูปอาหาร เป็นที่นิยมเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องในอุตสาหกรรมอาหาร สามารถนำไมโครเวฟมาใช้ในกระบวนการต่างๆได้หลายกระบวนการ ได้แก่ การลวก (Blanching) การทำให้สุก (Cooking) การทำแห้ง (Drying) การพาสเจอไรส์ (Pasteurizing) การสเตอริไลส์ (Sterilizing) การละลายน้ำแข็ง (Thawing) การอบ (Baking) รวมทั้งกระบวนการอื่นๆ เช่น การควบคุมจุลินทรีย์การยับยั้งเอนไซม์และการควบคุมแมลงเป็นต้น (Rosenberg and Boegl, 1987, Mudgett, 1986) และในปัจจุบันนี้เนื่องจากกระแสความต้องการของผู้บริโภคทางด้าน

อาหารมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยผู้บริโภคต้องการอาหารที่มีคุณภาพที่ใกล้เคียงกับของสด มีคุณภาพสูงมีความสะดวกสบายในการเตรียม อีกทั้งมีอายุการเก็บรักษาอย่างเพียงพอโดยเฉพาะอาหารที่ปรุงสุกได้อย่างรวดเร็ว (Quick cooking dishes) ที่ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น จึงทำให้มีการศึกษาการใช้ไมโครเวฟเพื่อดัดแปลงและปรับปรุงกระบวนการแปรรูปอาหาร

1.2.6.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต (มปป.) รายงานถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจะเกี่ยวข้องกับระบบไมโครเวฟและวัตถุที่ถูกทำให้ร้อน ขึ้นปัจจัยหลักของอาหาร ที่บรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุที่ใช้กับไมโครเวฟ ได้แก่

1. อุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ เมื่ออาหารได้รับความร้อนจากไมโครเวฟ การเพิ่มของอุณหภูมิจะขึ้นกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอาหารหลายอย่าง โดยอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญ ในการกำหนดอัตราและเวลาการให้ความร้อน โดยทั่วไปในกระบวนการให้ความร้อนใดๆ อุณหภูมิเริ่มต้นยิ่งสูงอาหารจะยิ่งสุกเร็วขึ้น

2. ขนาดของอาหารเมื่อทำให้ชิ้นอาหารร้อนขึ้น อาหารที่มีขนาดเหมือนกันจะร้อนขึ้นอย่างสม่ำเสมอและขนาดของชิ้นอาหารที่เล็กกว่าต้องการพลังงานน้อยกว่าอาหารที่มีขนาดใหญ่กว่า

3. รูปร่างลักษณะสัณฐานของอาหารมีความสำคัญ โดยอาหารที่มีรูปร่างไม่สม่ำเสมออาจเป็นการให้ความร้อนมากเกินไป (Over heating) ส่วนอาหารที่มีรูปร่างกลมมน มีแนวโน้มที่จะร้อนขึ้นอย่างสม่ำเสมอมากกว่าชิ้นอาหารที่มีมุมแหลมหรือที่มีทั้งส่วนหนาและบางอย่างไรก็ตาม ทรงกลมหรือผิวที่โค้งคล้ายกับทรงกลม อาจจะมีส่วนตรงกลางที่ร้อนกว่า แต่การให้ความร้อนมากเกินไป ไม่สามารถสังเกตได้ในชิ้นอาหารที่มีขนาดรัศมีเกิน 0–50 มิลลิเมตร

4. ความหนาแน่นหรือความเป็นเนื้อเดียวกันอาหาร โดยส่วนใหญ่มักมีความเป็นเนื้อเดียวกันที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งมีผลต่ออาหารที่ทำให้ร้อนขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในด้านการให้ความร้อนที่สม่ำเสมออาหารที่แน่นกว่า มีแนวโน้มที่จะใช้เวลาในการให้ความร้อนนานกว่าอาหารที่มีองค์ประกอบที่เปิดและเป็นรูพรุนมากกว่า

5. ความร้อนจำเพาะ เป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่ควบคุมการให้ความร้อนอาหาร ความจุความร้อนจำเพาะนิยามให้เป็นปริมาณความร้อนที่ต้องการ เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของมวลหนึ่งหน่วยขึ้น 1 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการวัดความสามารถของสารที่จะจุความร้อน เมื่อเปรียบเทียบ

กับน้ำหน่วยของความจุความร้อนจำเพาะคือ จูล/กรัมองศาเซลเซียส (J/g °C) ความจุความร้อนของน้ำเท่ากับ 1.0 J/g °C ส่วนไขมันส่วนใหญ่ประมาณ 0.5 J/g °C

1.2.6.2 ผลของพลังงานไมโครเวฟต่อการเปลี่ยนแปลงอาหารแช่เยือกแข็ง

การเกิดปฏิกิริยาเคมี

การดูดซับพลังงานควอนตัมมีผลให้ระดับโมเลกุลเปลี่ยนแปลง พลังงานควันตัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่างๆแสดงใน Table 5 จะเห็นได้ว่ารังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ สามารถสลายพันธะเคมีได้ทุกชนิดในสารอินทรีย์แสดงดัง Table 6 ขณะที่คลื่นไมโคเวฟมีพลังงานควันตัมเพียง 0.000012 อิเล็กตรอนโวลต์ ในการสลายพันธะเคมี ซึ่งจะเห็นได้ว่าพลังงานควันตัมของไมโครเวฟมีค่าต่ำเกินกว่าที่จะสลายพันธะเคมี และส่งเสริมการเกิดอนุมูลอิสระที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไป ถ้าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆเนื่องจากพลังงานควันตัม พลังงานส่วนนี้น่าจะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน (Rosen, 1972)

Table 5 Quantum energy of electromagnetic radiation

Radiation type	Wave length (cm)	Quantum energy (eV)
Gamma ray	10^{-10}	1,240,000
X-ray	10^{-9}	124,000
Ultraviolet	0.00003	4.1
Violet	0.00005	2.5
Infrared	0.01	0.012
Microwave	10	0.000012
Radio	30,000	0.000000004

Source: Rosen (1972)

Table 6 Chemical bond energy compared to the energy quantum

Bond	Energy (eV)
H-OH	5.2
$H\text{-}CH_3$	4.5
$H\text{-}NHCH_3$	4.0
$H_3C\text{-}CH_3$	3.8
$H_3C\text{-}COOH$	2.4

Source: Rosen (1972)

ลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

การอบด้วยไมโครเวฟมีผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่เกิดสีน้ำตาล เนื่องจากพลังงานไมโครเวฟทำให้อุณหภูมิของชิ้นอาหารไม่สูงพอที่จะเกิดสีน้ำตาล สารสีน้ำตาลมีผลต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์ การไม่เกิดสีน้ำตาลส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ขาดรสชาติ และการใช้ไมโครเวฟในการให้ความร้อนแก่อาหารแช่เยือกแข็ง มีผลทำให้อาหารที่ผ่านความร้อนแล้วแช่เยือกแข็งมีลักษณะชื้นเนื่องจากความชื้นออกมาจากภายใน การใช้ไมโครเวฟจะใช้เวลาในการทำให้เกิดความร้อนสั้นจึงมีเวลาไม่เพียงพอจะทำให้น้ำระเหยออกไปจนถึงระดับที่จะทำให้อาหารกรอบได้ ถ้าเป็นการอบหรือทอดผิวด้านนอกจะได้รับอุณหภูมิสูงทำให้ความชื้นระเหยออกไปได้ (Dziezak, 1990)

การสูญเสียเนื่องจากการทำละลายอาหารแช่เยือกแข็ง (Drip loss)

การใช้พลังงานไมโครเวฟในการทำละลายสามารถลดของเหลวที่ได้ลงร้อยละ 5-10 (Giese, 1992) เนื่องจากการใช้พลังงานไมโครเวฟจะทำให้เวลาที่ใช้ในการทำละลายสั้นลง ทำให้ผลึกน้ำแข็งที่มีอยู่เดิมเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อย การเกิดของเหลวที่ได้จากการทำละลายจึงลดลง Ziauddin (1993) ศึกษาผลของวิธีการทำละลายที่แตกต่างกันต่อค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการทำละลาย ได้แก่ การทำละลายที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิแช่เย็น ให้น้ำไหลผ่านและทำละลายด้วยตู้ไมโครเวฟของเนื้อควายชิ้นแช่เยือกแข็งด้วยกระแสลมเย็น พบว่าการทำละลายด้วยตู้ไมโครเวฟทำให้ค่าการสูญเสียเนื่องจากการทำละลายต่ำที่สุดและมีค่าแตกต่างจากวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ

การทำละลายต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

การทำละลายให้สมบูรณ์ที่อุณหภูมิห้องต้องใช้ระยะเวลา 2-5 วัน ซึ่งส่งผลให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตและเกิดการเน่าเสียบริเวณผิวของอาหาร ขณะที่ทำละลายที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส จะใช้ระยะเวลานานมาก ส่วนการทำละลายด้วยพลังงานไมโครเวฟจะใช้ระยะเวลาสั้นมาก การให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทั่วไปและจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสียบริเวณใกล้ผิว อย่างไรก็ตามยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ (Mermelstein, 1989) พลังงานไมโครเวฟไม่มีผลต่อจุลินทรีย์ในแง่ของการทำลาย (Carroll, 1989)

1.2.6.3 ข้อดีและข้อเสียของการใช้ไมโครเวฟ (Li and Sun, 2002)

การใช้ไมโครเวฟในกระบวนการแปรรูป โดยส่วนใหญ่ใช้ร่วมกับการใช้ความร้อนวิธีดั้งเดิม ซึ่งข้อดีและข้อเสียของการใช้ไมโครเวฟมีดัง Table 7

Table 7 Advantage and disadvantage of using microwaves

Advantages	Disadvantages
1. Short time	1. Deterioration of food
2. Small area for keep	2. High cost
3. Maintenance of nutrition	3. Difficulty for maintenance
4. Food safety	4. Unable brown color of product

Source: สายสนม ประดิษฐ์ดวง (2540)

1.2.6.4 สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไก่ทอดด้วยไมโครเวฟ

การใช้ไมโครเวฟ จาก Table 8 สภาวะของกำลังไฟฟ้าและเวลาที่เหมาะสมสำหรับผลิตเนื้อหรือไก่ทอดด้วยการใช้ไมโครเวฟ คือ กำลังไฟในช่วง 296-900 วัตต์ เวลา 1-2 นาที

Table 8 Optimum conditions for the production of fried chicken frozen

Samples	Microwave conditions		References
	Power (Watt)	Time (min)	
1.Goat meat	700	2	Das and Rajkumar (2013)
2.Chicken breastmeat	296	2	Sensoy *et al.,* (2013)
3.Meat from industry	900	1	Beszedes *et al.,* (2011)
4.Chicken breast meat	365	1.5	Barutcu*et al.,* (2009)

1.3 วัตถุประสงค์

1. ศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับผลิตไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

2. ศึกษาวิธีการให้ความร้อนซ้ำ (Reheat) ที่เหมาะสมสำหรับไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคด้วยวิธีการทอดและไมโครเวฟ

3. ศึกษาผลของการแช่แข็งและทำละลาย (Freeze-thawcycle) ต่อคุณภาพไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

4. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เคมีและทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่แข็งพร้อมบริโภคระหว่างการเก็บรักษา

5. ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

บทที่ 2
วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุอุปกรณ์

วัสดุ

1. เนื้ออกไก่ผลิตโดยบริษัทเบทาโกร จำกัดมหาชน
2. น้ำมันปาล์มตรามรกต ผลิตโดยบริษัทมรกต อินดัสตรี้ส์ จำกัด มหาชน กรุงเทพฯ

สารเคมี

เกรดวิเคราะห์สำหรับการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับใช้ในการทอดไก่ประกอบด้วย
   1.1 เครื่องทอด (Fritel Professional/TurboSF-professonal 3 L/Limbelgium)
   1.2 เทอร์โมคัปเปิล (Union/305/Kowloon/Hong Kong)
   1.3 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง(Sartorius/BP 2100-S/Switzerland)
   1.4 ห้องแช่เย็นสำหรับแช่แข็ง (Air blast) -18 ^{o}C
   1.5 เตาอบไมโครเวฟ (ER-D33SC (S)/Toshiba)
2. อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ
   2.1 เครื่องวัดค่าสี (Hunter Lab/ColorFlex/USA)
   2.2 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Analyzer (TA-XT2i, Texture Expert Version 1.17: Stable Micro System, Godalming Surrey, England)
3. อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์สมบัติทางเคมี
   3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีนและไขมัน
   3.2 เครื่องมือวัดค่าการดูดกลืนแสง UV-VIS Spectrophotometer (/UV 1700 Pharma Spec/Shimadzu/Japan)
   3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์
   3.4 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแน่ง (Mettler Toledo/AB 204-S/Switzerland)

2.2 วิธีการ

2.2.1 ศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับผลิตไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

2.2.1.1 ศึกษาชนิดของสารปรุงแต่งที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการรักษาคุณภาพของเนื้อไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

นำเนื้อออกไก่ (ไม่มีหนัง) ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งมาทำละลาย โดยเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นตัดชิ้นเนื้อไก่ให้มีขนาด 9.0 x 7.0 x2.0 ซม. และมีน้ำหนัก 125±5 กรัม สำหรับส่วนผสมในการทำไก่ทอดมีดังนี้เนื้อไก่ 96.4%, กระเทียม 0.8 %, พริกไทยขาว 0.3 %, ซีอิ๊วขาว 1.3%, น้ำปลา 0.5%, ผงชูรส 0.5% และเกลือ 0.2% หลังจากนั้นนำเนื้อไก่ที่ผ่านการคลุกเคล้ากับส่วนผสมข้างต้นมาแบ่งเป็น 4 ชุดการทดลองดังนี้

1. ชุดควบคุม (ไม่ใช้สารละลายน้ำเกลือและโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต) ในการทดลองนำเนื้อออกไก่และส่วนผสมคลุกเคล้านวดให้เข้ากันเป็นระยะเวลา 3 นาที

2. ใช้น้ำเกลือที่ความเข้มข้น 1 % โดยทำการฉีดเข้าในเนื้อออกไก่ให้ได้น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น 10% ของน้ำหนักเนื้อ จากนั้นผสมคลุกเคล้าและนวดให้เข้ากัน 3 นาที

3. ใช้โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.3 % ละลายน้ำเล็กน้อย หลังจากนั้นผสมในส่วนผสมที่ใช้หมักไก่ ต่อมาทำการคลุกเคล้าและนวดให้เข้ากันกับเนื้อออกไก่

4. ใช้น้ำเกลือที่มีความเข้ม 1% ฉีดเข้าในเนื้อออกไก่ให้ได้น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น 10% ร่วมกับโซเดียมไตรโพลี ฟอสเฟต 0.3% หลังจากนั้นนำเนื้อออกไก่คลุกเคล้ากับส่วนผสมให้เข้ากัน

หลังจากนั้นนำตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่างบรรจุใส่ถุงพลาสติกและแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-7 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำตัวอย่างออกจากตู้เย็นและนวดตัวอย่างแต่ละตัวอย่างเป็นเวลา 1 นาที นำตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่างไปทอดในน้ำมันปาล์ม (อัตราส่วนเนื้อออกไก่ 1 กิโลกรัมต่อน้ำมันปาล์ม 3 ลิตร) ที่อุณหภูมิ 175±5 องศาเซลเซียส และควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล (อุณหภูมิแกนกลางเนื้อไก่ 72 องศาเซลเซียส) หลังจากนั้นทอดต่อไปเป็นเวลา13 นาที ยกไก่ทอดและพักให้สะเด็ดน้ำมัน ทำการสุ่มตัวอย่างไก่ทอดแต่ละชุดมาวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ เคมีและประสาทสัมผัสดังนี้

ทดสอบทางด้านกายภาพ

1. วิเคราะห์ค่าสีผิวภายนอกและสีผิวภายในของเนื้อออกไก่ ใช้ระบบ CIE ด้วยเครื่องวัดค่าสี Hunter lab รุ่น Colour Qurest XT แสดงค่าสีในรูป L^*, a^*และ b^*

2. วิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเนื้อไก่

โดยใช้เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ทำการตัดชิ้นเนื้อไก่ขนาด 1.0 x 2.0 x 0.5 cm. และวิเคราะห์หาค่าแรงเฉือน (Shear) ด้วย Warner-Bratzler (Dawson *et al.,* 1991)

ทดสอบทางด้านเคมี

1. การหาค่าการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการปรุง (Cooking loss)

นำเนื้ออกไก่ที่ผ่านการทอดพักไว้ให้เย็น ทำการชั่งน้ำหนักก่อนและหลังคำนวณหาค่าการสูญเสียน้ำหนักดังนี้

$$\text{การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการปรุง (Cooking loss)} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนปรุง} - \text{น้ำหนักหลังปรุง})}{\text{น้ำหนักก่อนปรุง}} \times 100$$

2. วิเคราะห์ปริมาณความชื้นและไขมัน (Crude Fat) ตามวิธีการของ AOAC (2000)

ทดสอบทางประสาทสัมผัส

วิธีวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัสการทดสอบชิมในเชิงพรรณนา (Quantitative Descriptive Analysis, QDA) ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ได้รับการฝึกฝนจำนวน 15 คน ในการวิเคราะห์ตรวจสอบสีภายนอกและภายในกลิ่น ความฉ่ำน้ำความนุ่มเนื้อรสชาติ โดยใช้สเกลเชิงเส้นความยาว 15 เซนติเมตร จากนั้นนำมาทดสอบเพื่อหาความชอบรวมโดยใช้ 9-Point hedonic scale กับผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน เพื่อคัดเลือกหาสูตรผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด

2.2.1.2 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับผลิตไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

นำไก่ทอดที่ผ่านการคัดคุณภาพและได้รับคะแนนการยอมรับสูงสุดจากข้อ 2.2.1.1 มาทอดด้วยน้ำมันที่อุณหภูมิ 160±5, 175±5 และ 190±5 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนเนื้อไก่ต่อน้ำมัน (1:3) ทำการทอด 3 ครั้งและใช้ระยะเวลาในการทอด 13 นาทีในแต่ละอุณหภูมิการทอด เมื่อครบระยะเวลาการทอด พักไก่ทอดให้สะเด็ดน้ำมันและทำการสุ่มตัวอย่างไก่ทอดเพื่อวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ เคมีและประสาทสัมผัสดังนี้

ทดสอบทางด้านกายภาพ

1. วิเคราะห์ค่าสีผิวภายนอกและสีผิวภายในของเนื้ออกไก่เช่นเดียวกับข้อ 2.2.1.1

2. วิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเนื้อไก่ โดยใช้เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) เช่นเดียวกับข้อ 2.2.1.1

ทดสอบทางด้านเคมี

1. การหาค่าการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการปรุง (Cooking loss) เช่นเดียวกับข้อ 2.2.1.1

2. วิเคราะห์ความชื้นตามวิธีการของ AOAC (2000)

3. วิเคราะห์ปริมาณไขมันตามวิธีการของ AOAC (2000)

ทดสอบทางประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 2.2.1.1 เพื่อคัดเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับผลิตไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

2.2.2 ศึกษาผลของการให้ความร้อนซ้ำ (Reheat) ต่อไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

นำผลิตภัณฑ์ไก่ทอดจากข้อ 2.2.1 มาให้ความร้อนซ้ำ (Reheat) 2 วิธีคือการทอด (Frying) และการให้ความร้อนด้วยเตาอบไมโครเวฟ (Microwave) เพื่อคัดเลือกวิธีการให้ความร้อนซ้ำที่ให้ลักษณะของไก่ทอดหลังการแช่เยือกแข็งดีที่สุด โดยกระบวนการผลิตไก่ทอดแช่เยือกแข็งสำหรับการทอดซ้ำ (Frying Reheating) คือนำเนื้ออกไก่หมักจากข้อ 2.2.1.1 มาทำการทอดที่อุณหภูมิที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.2.1.2 โดยทำการวัดอุณหภูมิจุดกึ่งกลางเนื้อจนถึง 72 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำขึ้นพักให้สะเด็ดน้ำมัน ทำให้เย็นภายในระยะเวลา 30 นาทีและทำการบรรจุแบบสภาพบรรยากาศปกติในถุงพลาสติกชนิด HDPE หลังจากนั้นนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

กระบวนการผลิตไก่ทอดแช่เยือกแข็งสำหรับการใช้เตาอบไมโครเวฟ (Microwave Reheating) คือนำเนื้ออกไก่หมักจากข้อ 2.2.1.1 มาทำการทอดที่อุณหภูมิที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.2.1.2 คือ ใช้อุณหภูมิ 175 ± 5 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทอด 13 นาที หลังจากนั้นนำขึ้นพักให้สะเด็ดน้ำมัน ทำให้เย็นภายในระยะเวลา 30 นาทีและทำการบรรจุแบบสภาพบรรยากาศปกติในถุงพลาสติกชนิด HDPE หลังจากนั้นนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

2.2.2.1 กระบวนการผลิตไก่ทอดแช่เยือกแข็งโดยผ่านการให้ความร้อนด้วยเตาอบไมโครเวฟ (Microwave Reheating)

นำไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคทอด ให้ความร้อนโดยเลือกระดับไมโครเวฟที่ระดับกำลังไฟฟ้าสูง (800 วัตต์) ตัดบรรจุภัณฑ์ออกเล็กน้อย นำเข้าเตาอบไมโครเวฟระยะเวลา 3-4 นาที นำตัวอย่างไก่ทอดมาวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ เคมีและประสาทสัมผัสดังนี้หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนซ้ำไปวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ เคมีและประสาทสัมผัส ดังนี้

ทดสอบทางด้านกายภาพ

1. วิเคราะห์ค่าสีผิวภายนอกและสีผิวภายในของเนื้อออกไก่เช่นเดียวกับข้อ 2.2.1

2. วิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเนื้อไก่ โดยใช้เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) เช่นเดียวกับข้อ 2.2.1

ทดสอบทางด้านเคมี

1. การหาค่าการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการปรุง (Cooking loss) เช่นเดียวกับข้อ 2.2.1

2. วิเคราะห์ความชื้นตามวิธีการของ AOAC (2000)

3. วิเคราะห์ปริมาณไขมันตามวิธีการของ AOAC (2000)

ทดสอบทางประสาทสัมผัส

ทดสอบเช่นเดียวกับข้อ 2.2.1 เพื่อคัดเลือกหาสภาวะในการให้ความร้อนซ้ำ (Reheat) ต่อคุณลักษณะของไก่ทอดหลังการแช่เยือกแข็งดีที่สุด

2.2.2.2 กระบวนการผลิตไก่ทอดแช่เยือกแข็งโดยผ่านการให้ความร้อนซ้ำด้วยวิธีการทอด (ทอดในขณะแช่เยือกแข็ง)

นำไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค ทอดในน้ำมันที่อุณหภูมิ 175 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5-7 นาที ทอดจนได้อุณหภูมิภายในชิ้นไก่ 72 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นตักไก่ขึ้นพักให้สะเด็ดน้ำมันนำตัวอย่างไก่ทอดมาวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ เคมีและประสาทสัมผัสดังนี้

ทดสอบทางด้านกายภาพ

1. วิเคราะห์ค่าสีผิวภายนอกและสีผิวภายในของเนื้อออกไก่เช่นเดียวกับข้อ 2.2.1

2. วิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเนื้อไก่ โดยใช้เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) เช่นเดียวกับข้อ 2.2.1

ทดสอบทางด้านเคมี

1. การหาค่าการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการปรุง (Cooking loss)เช่นเดียวกับข้อ 2.2.1

2. วิเคราะห์ความชื้นตามวิธีการของ AOAC (2000)

3.วิเคราะห์ปริมาณไขมันตามวิธีการของ AOAC (2000)

ทดสอบทางประสาทสัมผัส

ทดสอบเช่นเดียวกับข้อ 2.2.1 เพื่อคัดเลือกหาสภาวะในการให้ความร้อนซ้ำ (Reheat) ต่อคุณลักษณะของไก่ทอดหลังการแช่เยือกแข็งดีที่สุด

2.2.3 ศึกษาผลของการแช่เยือกแข็งและทำละลาย (Freeze-Thawing) ต่อคุณภาพไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

นำตัวอย่างไก่ที่ได้มาผ่านกรรมวิธีการผลิตที่เหมาะสมจากการคัดเลือกได้ในหัวข้อ 2.2.1 มาทำละลายและให้ความร้อนซ้ำด้วยวิธีที่คัดเลือกได้ในหัวข้อ 2.2.2 หลังจากนั้นมาทำการละลายที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสในตู้เย็นจนอุณหภูมิจุดกึ่งกลางของชิ้นเนื้ออยู่ที่ 0-2 องศาเซลเซียส แล้วนำกลับไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมงก่อนนำมาทำละลาย จำนวนครั้งที่ทำละลายตัวอย่าง 3 ครั้งก่อนและหลังการแช่เยือกแข็งและทำละลายแต่ละครั้งจะทำการชั่งน้ำหนักไก่เพื่อหาน้ำหนักที่หายไประหว่างการทำละลายของไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค และนำเนื้อไก่ที่ผ่านการแช่แข็งและทำละลายเป็นจำนวน 1, 2 และ 3 ครั้งมาทำการให้ความร้อนซ้ำตามวิธีการที่คัดเลือกได้ในข้อ 2.2.2 ก่อนนำไปทดสอบทางด้านกายภาพ เคมีและประสาทสัมผัสดังนี้โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการแช่แข็งและทำละลาย (Freeze-Thaw)

ทดสอบทางด้านกายภาพ

1. วิเคราะห์ค่าสีผิวภายนอกและสีผิวภายในของเนื้อออกไก่เช่นเดียวกับข้อ 2.2.1 และ 2.2.2

2. วิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเนื้อไก่ โดยใช้เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) เช่นเดียวกับข้อ 2.2.1และ 2.2.2

ทดสอบทางด้านเคมี

1. การคำนวณร้อยละของน้ำหนักที่หายไประหว่างการละลาย (Thawing loss %)

$$\text{Thawing loss (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างแช่แข็ง} - \text{น้ำหนักหลังการละลาย}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างแช่แข็ง}} \times 100$$

2. วิเคราะห์ความชื้นตามวิธีการของ AOAC (2000)

3. วิเคราะห์ปริมาณไขมันตามวิธีการของ AOAC (2000)

4. วิเคราะห์ปริมาณ Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) (Trout and Dale, 1990)

ทดสอบทางประสาทสัมผัส

นำไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค ให้ความร้อนโดยเลือกระดับไมโครเวฟที่ระดับกำลังไฟฟ้าสูง (800 วัตต์) ตัดบรรจุภัณฑ์ออกเล็กน้อย นำเข้าเตาอบไมโครเวฟระยะเวลา 3-4

นาที นำมาทดสอบเพื่อหาความชอบรวมโดยใช้ 9-Point hedonic scale กับผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน

2.2.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคระหว่างการเก็บรักษา

นำผลิตภัณฑ์ไก่ทอดพร้อมบริโภคเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 เดือน และทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี ประสาทสัมผัสและจุลินทรีย์ในเดือนที่ 0, 1, 2, 3 และ 4 หลังการให้ความร้อนซ้ำดังนี้

ทดสอบทางด้านกายภาพ

1. วิเคราะห์ค่าสีผิวภายนอกและสีผิวภายในของเนื้ออกไก่เช่นเดียวกับข้อ 2.2.1-2.2.3

2. วิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเนื้อไก่ โดยใช้เครื่องมือวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) เช่นเดียวกับข้อ 2.2.1-2.2.3

ทดสอบทางด้านเคมี

นำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ ตามวิธีการของ (AOAC, 2000) เมื่อเริ่มต้นการเก็บรักษาดังนี้

1. การหาค่าการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการปรุง (Cooking loss) เช่นเดียวกับข้อ 2.2.1

2. วิเคราะห์ความชื้นตามวิธีการของ AOAC (2000)

3. วิเคราะห์ปริมาณไขมันตามวิธีการของ AOAC (2000)

4. วิเคราะห์ปริมาณ Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) (Trout and Dale, 1990)

5. วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl Method (AOAC., 2000)

ทดสอบทางประสาทสัมผัส

นำมาทดสอบเพื่อหาความชอบรวมโดยใช้ 9-Point hedonic scale เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคระหว่างการเก็บรักษา

ทดสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์

ตรวจสอบชนิดและปริมาณของแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิต่ำ (Psychrophiles และ Coliforms) ตามวิธีการของ (AOAC., 1999)

2.2.5 ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคที่ผ่านการพัฒนาแล้ว โดยทำการเก็บรักษา 4 เดือนและทดสอบการยอมรับ (Acceptance tests) โดยใช้ hedonic scale การทดสอบโดยการแจกผลิตภัณฑ์พร้อมแบบทดสอบ จากนั้นรวบรวมแบบสอบถามทั้งหมดตรวจความถูกต้อง ทำการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล

2.2.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) วิเคราะห์ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน โดยใช้ (Analysis of Variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan’s Multiple Range Test (DMRT) จากโปรแกรมสำเร็จรูป

บทที่ 3
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 ศึกษากรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับผลิตไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

3.1.1 ศึกษาชนิดของสารปรุงแต่งที่เหมาะสมใช้ในการรักษาคุณภาพของเนื้อไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

3.1.1.1 การวิเคราะห์ค่าสีของเนื้อไก่ทอดจากการใช้สารปรุงแต่ง

จากการทดลองพบว่าค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ของสีผิวด้านนอก (Outside color) และสีด้านใน (Inner color) ของตัวอย่างไก่ทอดที่ใช้สารปรุงแต่งในการรักษาคุณภาพเนื้อไก่เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (Treatment1) แสดงดังTable 9 ผลการทดลองปรากฏว่า ค่าความสว่างของชิ้นเนื้อไก่ทอดที่ผ่านการเติมสารปรุงแต่งในส่วน สีผิวด้านนอก (Outside color) ในตัวอย่างที่ 4 มีความสว่างมากกว่าชุดควบคุม ในขณะที่ค่า ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ค่าสีด้านใน (Inner color) ของตัวอย่างที่มีค่าความสว่าง (L^*) ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) สำหรับค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) แตกต่างกัน ($p<0.05$) ชิ้นเนื้อไก่ทอดที่ผ่านการเติมสารปรุงแต่งในส่วนสีผิวด้านในและด้านนอก ซึ่งมีค่าความสว่าง (L^*) สูง โดยเฉพาะในชุดการทดลองที่ 4 เนื่องจากสารประกอบฟอสเฟตที่มีเกลือร่วมด้วยจะแสดงคุณสมบัติเพิ่มความเป็นกรด-ด่างของชิ้นเนื้อไก่ทอด ทำให้ในเนื้อมีพีเอชสูงและห่างจากจุด Isoelectric point ที่อยู่ในช่วง 5.2-5.3 ทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อพองตัวขึ้นและจับกันแน่นเนื่องจากน้ำสามารถแทรกตัวเข้าไปอยู่ในโครงสร้างได้ปริมาณมาก จึงสามารถป้องกันการแพร่ของออกซิเจนจากด้านนอกเข้าสู่ชิ้นเนื้อภายในได้ ส่งผลให้สามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจาก Oxymyoglobin ไปเป็น Metmyoglobin ดังนั้นจึงทำให้การเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นเนื้อภายในที่ผ่านการแช่สารประกอบฟอสเฟตจากสีแดงเป็นสีแดงปนน้ำตาลมีน้อยกว่าชิ้นเนื้อไก่ด้านนอกที่ผ่านการเติมสารประกอบฟอสเฟตและไม่เติมสารประกอบฟอสเฟต (ชุดควบคุม) นอกจากนี้การลดค่าความสว่าง (L^*) และการเพิ่มขึ้นของสีแดง (a^*) ที่เกิดกับสีผิวด้านนอก (Outside color) เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล

จากความร้อนระหว่างกระบวนการทอดเรียกว่าปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction)(Yamsaengsung, 2001) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Roldan และคณะ (2014) ศึกษาผลของสารประกอบฟอสเฟตต่อคุณสมบัติด้านสีของเนื้อแกะ สำหรับสีเหลือง (b^*) ของชิ้นเนื้อไก่ด้านนอก (Outside color) จะมีค่าสูงกว่าสีด้านใน (Inner color) เนื่องจากผิวชิ้นอาหารด้านนอกสัมผัสกับ

น้ำมันที่ได้รับความร้อนจากการทอดแบบน้ำมันท่วม ส่งผลให้ชิ้นอาหารที่ผิวด้านนอกมีสีเหลืองมากกว่าผิวด้านใน

Table 9 Color value of fried chicken injected with various additives

Treat	Outside-Color			Inner - color		
ment	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
1	42.24 ± 5.17^{a}	5.94 ± 1.14^{ns}	19.34 ± 2.29^{ab}	52.57 ±4.74^{ns}	1.3 ± 0.32^{a}	11.02 ± 0.82^{a}
2	47.51 ± 5.71^{b}	6.36 ± 1.92^{ns}	21.90 ± 4.00^{b}	54.15 ±4.72^{ns}	2.01 ± 0.28^{c}	12.70 ± 1.06^{c}
3	43.15 ± 4.89^{a}	5.24 ± 1.90^{ns}	18.75 ± 3.22^{a}	53.55 ±4.24^{ns}	1.73 ± 0.33^{b}	11.58 ±0.40^{ab}
4	48 .81 ± 3.78^{b}	5.58 ± 1.08^{ns}	19.63 ± 2.24^{ab}	54.60 ±3.16^{ns}	1.62 ± 0.28^{b}	12.05 ±1.40^{bc}

Values are showed as mean±SD. Symbols bearing different letters in the same column are significantly different (p<0.05). *Treatment (1): Control (not add saline and sodium tripolyphosphate), (2) 1% saline injection, (3) 0.3% sodium tripolyphosphates and (4) 1.0% saline and 0.3% sodium tripolyphosphates .

3.1.1.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเนื้อไก่ทอดที่เติมสารปรุงแต่งโดย Texture analyzer

ในการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเนื้อไก่ทอดที่ผ่านการเติมสารปรุงแต่งวิเคราะห์ตามวิธีการของ Dawson และคณะ (1991) โดยทำการวัดค่าแรงเฉือน (Shear) ผลการทดลองปรากฏดังแสดงใน Table 10 จากผลการทดลองเมื่อเติมสารประกอบโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตหรือน้ำเกลืออย่างเดียว หรือสารประกอบฟอสเฟตร่วมกับน้ำเกลือ ส่งผลให้ค่าแรงเฉือนลดต่ำลงและลดลงต่ำสุดเมื่อใช้น้ำเกลือร่วมกับสารประกอบฟอสเฟต (Treatment 4) ซึ่งแสดงว่าความเหนียวของชิ้นเนื้อไก่ทอดลดลงและชิ้นเนื้อไก่มีความฉ่ำน้ำมากขึ้น จากการเติมสารปรุงแต่งเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (Treatment 1) เนื่องจากสารปรุงแต่งที่เติมลงไปจะส่งผลให้การสูญเสียน้ำในโครงสร้างชิ้นไก่ทอดลดลง ทำให้ชิ้นไก่ทอดสามารถอุ้มน้ำไว้ในโครงสร้างได้ (Xiong *et al.,* 2000) Gonzalez และคณะ(2001) กล่าวว่าการใช้สารประกอบฟอสเฟตร่วมกับน้ำเกลือ สามารถเพิ่มผลผลิตผลิตภัณฑ์หลังให้ความร้อนและเพิ่มความนุ่มเนื้อของเนื้อไก่ได้ โดยสารสารประกอบฟอสเฟตสามารถเพิ่มการละลายของไมโอซินและแอกติน ส่งผลให้การอุ้มน้ำของเนื้อหน้าอกไก่หลังระยะเกร็งตัวเพิ่มมากขึ้น ส่วนสารละลายเกลือสามารถเสริมฤทธิ์ของสารโพลิฟอสเฟตในการเพิ่มการ

พองตัวและการสกัดไมโอซิน โดยมีผลเร่งการแตกตัวของแอคโตไมโอซิน (Xiong *et al.,* 2000) นอกจากนี้สารละลายเกลือยังสามารถเพิ่มความนุ่มเนื้อได้โดยไม่มีผลต่อกลิ่นรส โดยที่คลอไรด์อิออน มีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์คาลเพน (Gonzalez *et al.,* 2001) Nayak และคณะ (1998) ศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ (ร้อยละ 2) ร่วมกับโซเดียมไตรโพลิฟอสเฟต (ร้อยละ 0 หรือ 0.4) ในกล้ามเนื้อวัวส่วน Semimembranosus และ Adductor muscle ทั้งชนิดที่มีไขมันสูง (HF, ไขมันร้อยละ 30) และชนิดที่มีไขมันต่ำ (LF, ไขมันร้อยละ 10) พบว่าฟอสเฟตสามารถเพิ่มการละลายของโปรตีนในขณะที่โซเดียมคลอไรด์ (ร้อยละ 2) สามารถเพิ่มการละลายของไมโอซินใน LF (Low fat) ดังนั้น สารทั้ง 2 ชนิดนี้จึงสามารถเพิ่มความนุ่มเนื้อให้กับเนื้อไก่ทอดได้ Sheard และ Tali (2004) ศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อหมูที่ผ่านการต้มและฉีดน้ำเกลือและสารประกอบโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตด้วยเครื่อง Texture analyzer ผลปรากฏว่าค่าแรงเฉือนมีค่าลดลง ลักษณะตัวอย่างมีความฉ่ำน้ำมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างชุดควบคุมที่ไม่ฉีดน้ำเกลือและสารประกอบโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต

Table 10 Shear value of fried chicken injected with various additives

Treatment	Shear value (Kg)
1 (Control)	4.14 ± 0.38^{d}
2	3.21 ± 0.25^{b}
3	3.51 ± 0.38^{c}
4	2.78 ± 0.28^{a}

Values are showed as mean±SD. Symbols bearing different letters in the same column are significantly different (p<0.05). *Treatment (1): Control (not add saline and sodium tripolyphosphate), (2) 1% saline injection, (3) 0.3% sodium tripolyphosphates and (4) 1.0 saline and 0.3% polyphosphates .

3.1.1.3 การหาค่าการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการปรุง (Cooking loss) ในผลิตภัณฑ์ไก่ทอดที่ใช้สารปรุงแต่ง

ผลของการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการทอดไก่แสดงดัง Table 11 จากผลการทดลองพบว่าชุดทดลองที่ 4 (ฉีดน้ำเกลือ 1% และโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.3%) มีค่าการสูญเสียน้ำหนัก (Cooking loss) น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) และตัวอย่างที่เติม

น้ำเกลือและสารประกอบฟอสเฟตอย่างเดียว ($p<0.05$) เนื่องจากเมื่อใช้สารประกอบฟอสเฟตร่วมกับน้ำเกลือจะทำให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อไก่ทอดเพิ่มมากขึ้น โดยแสดงเป็นค่า Cooking loss ที่สูญเสียไปน้อยที่สุด แต่เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ใช้น้ำเกลือ (Treatment 2) หรือสารประกอบฟอสเฟต (Treatment 3) และไม่ใช้สารประกอบฟอสเฟตและน้ำเกลือ (Control) จะทำให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ค่าร้อยละของของเหลวที่ไหลออกมาทั้งหมด (Cooking loss) บอกถึงความคงตัวของน้ำที่อยู่ในระบบโดยของเหลวที่ไหลออกมาน้อย แสดงว่าน้ำมีความคงตัวอยู่ในตัวอย่างเนื้อไก่ทอดสูงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nute และคณะ (1999) ได้ศึกษาผลของการฉีดน้ำเกลือและโพลีฟอสเฟตในเนื้อหมูเพื่อปรับปรุงความฉ่ำน้ำและและความนุ่มเนื้อหลังจากปรุงสุก พบเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักจากการใช้โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตที่ 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ในเนื้อหมูสำหรับทำสเต๊กและถูกนำไปย่างจนกระทั่งแกนกลางมีอุณหภูมิที่ 72.5 องศาเซลเซียส คือ 34 และ 37.31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมมีค่าการสูญเสียน้ำสูงถึง 39 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการทดลอง Somboonpanyaku และคณะ (2007) ได้ศึกษาการใช้เกลือในแป้งชุบทอดเนื้ออกไก่ที่ระดับ (0-3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) และฟอสเฟต (0 และ0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) พบว่าค่าการสูญเสียน้ำลดลงเมื่อมีปริมาณเกลือเพิ่มขึ้นจากระดับ 0 ถึง 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

Table 11 Cooking loss of fried chicken injected with various additives

Treatment	Cooking loss (%)
1 (Control)	43.49 ± 1.05^{c}
2	41.16 ± 1.09^{b}
3	41.80 ± 1.03^{b}
4	39.07 ± 1.34^{a}

Values are showed as mean±SD. Symbols bearing different letters in the same column are significantly different ($p<0.05$). *Treatment (1): Control (not add saline and sodium tripolyphosphate), (2) 1.0% saline injection, (3) 0.3% sodium tripolyphosphates and (4) 1.0% saline and 0.3% sodium tripolyphosphates .

3.1.1.4 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและไขมันของเนื้อไก่ทอดที่เติมสารปรุงแต่ง

จากการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นและไขมันในตัวอย่างไก่ทอด ที่มีการเติมสารปรุงแต่งโดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) พบว่าการใช้น้ำเกลือที่มีความเข้ม 1% ร่วมกับโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.3 เปอร์เซ็นต์ (Treatment 4) ทำให้ความชื้นของไก่ทอดเพิ่มสูงสุดและขณะเดียวกันไขมันมีปริมาณน้อยที่สุดดัง Table 12 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จากการเติมน้ำเกลือหรือโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว (p<0.05) เนื่องจากสารประกอบฟอสเฟตช่วยในการสกัดโปรตีนไมโอฟิบริลาออกมาได้มาก ไมโอฟิบริลาเป็นเส้นใยโครงสร้างของกล้ามเนื้อประกอบด้วยแอกตินและไมโอซินจับตัวกัน เรียกว่า แอกโตไมโอซินรวมตัวกันเป็นจำนวนมาก ฟอสเฟตจะช่วยทำให้โปรตีนแอกโตไมโอซินสามารถแยกตัวออกจากกันเป็นแอกตินและไมโอซินเข้าไปจับน้ำ (Theno *et al.,*1978) ในระหว่างโครงสร้างจะมีช่องว่างให้น้ำแทรกอยู่ได้ทำให้น้ำไม่เกิดการไหลออกมาจากโครงสร้าง ดังนั้นการสูญเสียน้ำหนักภายหลังการทอด จึงลดน้อยลง Sheard และคณะ (1999) พบว่าการใช้สารฟอสเฟตทำให้การสูญเสียน้ำหนักภายหลังการต้มสุกลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นปริมาณความชื้นในตัวอย่างไก่ทอดที่เติมโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตจึงเพิ่มขึ้น สำหรับเกลือที่เติมลงไปจะเป็นส่วนช่วยเสริมการอุ้มน้ำในเนื้อไก่ทอดให้เพิ่มมากขึ้น โดยเกลือจะแตกตัวเป็นประจุบวกและประจุลบ เกิดอันตรกิริยาแบบ Dipole-ion กับโมเลกุลของน้ำจึงทำให้เกลือสามารถละลายน้ำได้และเกลือยังช่วยเพิ่ม Ionic strength ให้กับโมเลกุลของโปรตีน โดยเกลือจะเพิ่มประจุบวกและลบให้โมเลกุลโปรตีนซึ่งมีสมบัติเป็น Amphoteric ก่อให้เกิดแรงผลักกันระหว่างสายของโปรตีน ทำให้สายโปรตีนสามารถเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลของน้ำด้วยพันธะไฮโดรเจนได้มากขึ้น ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า Salting in (Theno *et al.,*1978) ส่งผลให้ปริมาณความชื้นในตัวอย่างไก่ทอดที่เติมน้ำเกลือร่วมกับโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตเพิ่มมากขึ้นสูงสุดเมื่อเทียบกับชุด Control (Treatment1) สำหรับปริมาณไขมันในเนื้อไก่ทอดที่เติมน้ำเกลือที่มีความเข้มข้น 1% ร่วมกับโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.3% (Treatment 4) มีค่าต่ำสุดเนื่องจากในระหว่างกระบวนการทอดไก่ จะมีกระบวนการถ่ายโอนความร้อนและถ่ายโอนมวลเกิดขึ้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) สำหรับกระบวนทอดจะเกิดการถ่ายโอนมวลที่ส่งผลให้ความดันไอสูงขึ้น ความดันไอจะหนีออกจากรูพรุนชิ้นอาหารพร้อมทั้งถ่ายโอนมวลของน้ำมันหรือไขมันออกไปจากชิ้นอาหารด้วย จึงส่งผลให้ปริมาณไขมันในชิ้นเนื้อไก่ทอดลดลง (Mellema, 2003) นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสมบัติของสารประกอบฟอตเฟตที่เติมลงไป ซึ่งสามารถทำให้โครงสร้างของชิ้นไก่ทอดสามารถกักเก็บน้ำไว้ภายในโครงสร้าง ได้ส่งผลให้การระเหยหรือการแพร่ออกของน้ำออกจากชิ้นไก่ทอด เนื่องจากผลของความร้อนในระหว่างกระบวนการทอดมีค่าลดลง ทำให้ปริมาณของน้ำมันที่แพร่เข้าสู่รูพรุนของชิ้นไก่ทอดในระหว่างการทอดเพื่อมาแทนที่น้ำที่แพร่

ออกไปจากรูพรุนชิ้นไก่ทอดจึงมีค่าลดลง (Fiszman and Salvador, 2003) Wichachuchoet (2010) ศึกษาปริมาณไขมันในเนื้อน่องไก่ทอดที่มีการทอดในน้ำมันทอด 3 อุณหภูมิคือ 170, 180, และ 190 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการทอดที่ 15, 18 และ 21 นาที ผลปรากฏว่าอุณหภูมิในการทอด 190 องศาเซลเซียส เวลาทอด 21 นาที พบปริมาณไขมันที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อน่องไก่ที่ผ่านการทอดสูงสุดคือ 2.90±0.14 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

Table 12 Moisture and Fat content of fried chicken injected with various additives

Treatment*	Moisture (%)	Fat (%)
1 (Control)	43.81 ± 1.23^{a}	5.49 ± 0.60^{b}
2	45.86 ± 1.10^{b}	5.03 ± 0.33^{a}
3	44.29 ± 1.41^{a}	5.47 ± 0.41^{b}
4	49.85 ± 1.12^{c}	4.92 ± 0.25^{a}

Values are showed as mean±SD. Symbols bearing different letters in the same column are significantly different (p<0.05). *Treatment (1): Control (not add saline and sodium tripolyphosphate), (2) 1.0% saline injection, (3) 0.3% sodium tripolyphosphates and (4) 1.0% saline and 0.3% sodium tripolyphosphates .

3.1.1.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือกหาสูตรผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม

การหาความชอบรวมโดยใช้ 9-point hedonic scale

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ 9–point hedonic scale พบว่าค่าสีด้านนอกและด้านในของชุดตัวอย่างที่ 4 แตกต่างกับชุดตัวอย่างที่ 1 (ชุดควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญที่ p<0.05 แต่ไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ 2 และ 3 ค่าความฉ่ำน้ำ (Juiciness) และความนุ่มเนื้อ (Tenderness) พบว่าตัวอย่างที่ 4 ได้รับการยอมรับสูงสุดจากผู้ทดสอบชิม ในขณะที่รสชาติ (Flavor) ของไก่ทอดทั้ง 4 ตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ p> 0.05 แสดงใน Table 13ดังนั้น ความชอบรวมของตัวอย่างที่ 4 จึงได้คะแนนความชอบรวมสูงสุดคือ 8.63±0.55 คะแนนความชอบรวมที่ได้รับการยอมรับสูงสุดในตัวอย่างที่ 4 ได้แสดงให้เห็นถึงผลของน้ำเกลือและโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตที่มีต่อลักษณะและคุณภาพของอาหารโดยเฉพาะในกลุ่มผู้บริโภคผลิตภัณฑ์จากเนื้อ ฟอสเฟตสามารถช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส สี กลิ่น และรสชาติของอาหารได้ดี ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Froning,1995) อย่างไรก็ตาม ผลจากการยอมรับสูงสุด

ในตัวอย่างที่ 4 ในด้านของค่าสีด้านนอก ค่าสีภายใน กลิ่น ความฉ่ำน้ำ ความนุ่มเนื้อ รสชาติ และความชอบรวม จึงนำตัวอย่างที่ 4 ไปใช้ในการทดลองต่อไป

Table 13 Sensory score of fried chicken injected with various additives

Treatment	Outside color	Inner color	Ordor	Juiciness	Tenderness	Flavor	Overall
1	7.36 ± 0.55^{a}	7.56 ± 0.56^{a}	8.43 ± 0.50^{a}	8.00 ± 0.45^{a}	8.03 ± 0.76^{a}	8.53 ± 0.50^{ns}	7.83 ± 0.46^{a}
2	7.43 ± 0.50^{ab}	7.93 ± 0.52^{b}	8.76 ± 0.43^{b}	8.10 ± 0.60^{a}	8.20 ± 0.48^{a}	8.60 ± 0.49^{ns}	8.20 ± 0.48^{b}
3	7.56 ± 0.62^{ab}	$7.76\ 0.72^{ab}$	8.63 ± 0.49^{ab}	8.00 ± 0.37^{a}	8.13 ± 0.62^{a}	8.50 ± 0.50^{ns}	8.00 ± 0.78^{ab}
4	7.73 ± 0.63^{b}	8.30 ± 0.65^{c}	8.80 ± 0.40^{b}	8.53 ± 0.50^{b}	8.53 ± 0.50^{b}	8.70 ± 0.46^{ns}	8.63 ± 0.55^{c}

Values are showed as mean±SD. Symbols bearing different letters in the same column are significantly different ($p<0.05$). *Treatment (1): Control (not add saline and sodium tripolyphosphate), (2) 1.0% saline injection, (3) 0.3% sodium tripolyphosphates and (4) 1.0 % saline and 0.3% soduim tripolyphosphates .

การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธีวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัสแบบพรรณนา QDA

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธีวิเคราะห์แบบพรรณนา (QDA) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน พบว่าตัวอย่างของไก่ทอดทั้ง 4 ตัวอย่าง ในด้านของสีภายนอกระดับความเข้มที่ 9.17±1.13 ถึง 9.33±0.90, สีภายในระดับความเข้มที่ 8.44±1.08 ถึง 8.81±0.92, กลิ่นหืนระดับความเข้ม 3.06±0.53 ถึง 3.54±0.94, กลิ่นเครื่องเทศ ระดับความเข้ม 4.40±0.96 ถึง 5.14 ± 0.92, กลิ่นไหม้ระดับความเข้ม 3.17±0.97, รสชาติหวานระดับความเข้ม 4.77±0.74 ถึง 5.56±0.72, รสชาติเค็มระดับความเข้ม 5.28±0.82 ถึง 6.04 ± 0.98, ความฉ่ำน้ำระดับความเข้ม 5.47±0.80 ถึง 7.05±0.46 และความนุ่มเนื้อระดับความเข้มคือ 6.03±0.58 ถึง 6.71±0.75

ดังนั้นในชุดทดลองที่ 4 ใช้น้ำเกลือร่วมกับสารประกอบฟอสเฟต ผลการทดสอบพบว่า ได้รับคะแนนการยอมรับจากการวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัสแบบพรรณนา QDA ดังนี้ คือ สีภายนอกที่ 9.17±1.13, สีภายใน 8.55±0.62, กลิ่นหืน 3.06±0.53, กลิ่นเครื่องเทศ 5.14±0.92, กลิ่นไหม้ 3.50±0.80, รสชาติหวาน 5.15 ± 0.99, รสชาติเค็ม 6.04±0.98, ความฉ่ำน้ำ 7.05±0.46 และความนุ่มเนื้อ 6.71±0.75 ซึ่งมีความสอดคล้องกับคะแนนความชอบจาก วิธี 9 point hedonic scale ดังนั้นผลของการใช้เกลือร่วมกับไตรโพลีฟอสเฟตส่งผลให้ตัวอย่างเนื้อไก่ทอดมี

ความฉ่ำน้ำและความนุ่มเนื้อได้ดีเมื่อเทียบกับชุดตัวอย่างที่ 1 (Control) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Torley และคณะ (2000) พัฒนาผลิตภัณฑ์ผงหมักไก่เนื้อนุ่มโดยใช้สารประกอบฟอสเฟตในกลุ่มโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ผลการทดลองปรากฏว่า Sodium Tripolyphosphate: Sodium Acid Pyrophosphate: Sodium erythorbate (STPP:SAPP:SE) อัตราส่วน 70:20:10 ร้อยละ 10 ได้รับคะแนนจากผู้บริโภคมากที่สุด

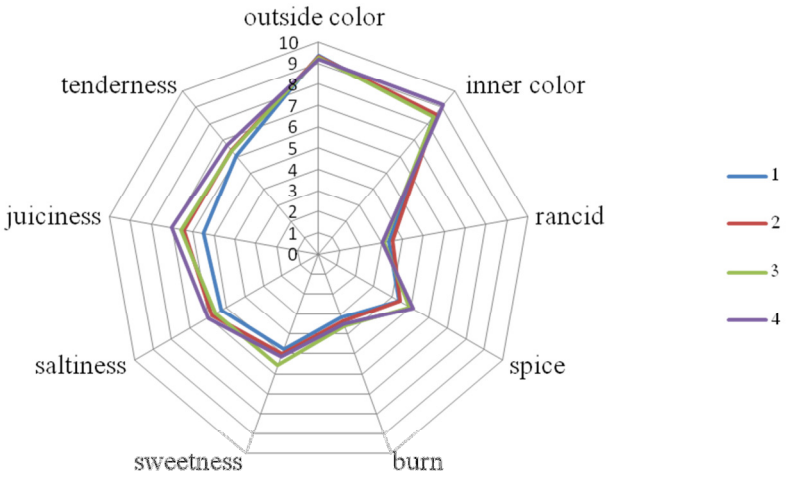


Figure 11 Quantitative Descriptive Analysis of of fried chicken injected with various additives Treatment (1): Control (not add saline and sodium tripolyphosphate), (2) 1.0% saline injection, (3) 0.3% sodium tripolyphosphates and (4) 1.0%saline and 0.3% sodium tripolyphosphates

3.1.2 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับผลิตไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

3.1.2.1 การวิเคราะห์ค่าสีของเนื้อไก่ทอดที่อุณหภูมิทอดแตกต่างกัน

ผลค่าสีของการทอดไก่ที่อุณหภูมิแตกต่างกันแสดงดัง Table 14 เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทอดเพิ่มขึ้นจาก 160 เป็น 190 องศาเซลเซียส ผลปรากฏว่าค่าสีของผิวด้านนอก (Outside-color) มีค่าความสว่างลดลง ในขณะที่ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) มีค่าเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 190±5 องศาเซลเซียส ในขณะเดียวกันค่าสีของผิวด้านใน (Inner-color) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ก็จะเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่างของชิ้นเนื้อไก่ด้านนอกที่สัมผัสกับความร้อน เนื่องจากน้ำมันที่ใช้ทอดมีค่าลดลงและเกิดความเป็นสีแดง สีเหลือง และสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดที่เพิ่มขึ้น Krokida และคณะ (2001) รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงสีของอาหารทอดจะเพิ่มมาก

ขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น Wichachuchoet (2010) ศึกษาค่าสีของน่องไก่หลังจากทอดที่อุณหภูมิ 170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15, 18 และ 21 นาที ผลปรากฏว่าค่า L^* มีค่าลดลงในขณะที่ค่า a^*และ b^* มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทอดสูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Krokida และคณะ (2001) รายงานค่าสีในมันฝรั่งทอดที่อุณหภูมิ 150, 170 และ 190 ±2 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 1, 3, 5, 7, 10, 13, 15 และ 20 นาที พบว่าเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ทอดมันฝรั่งมีผลต่อค่าความสว่างเช่นเดียวกัน

Table 14 Color value of fried chicken frying at different temperature

Temperature (±5°C)	Outside-Color			Inner-color		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
160	52.47 ± 2.59^{a}	5.36 ± 1.30^{a}	22.23 ± 4.35^{b}	55.82 ± 3.41^{ns}	1.74 ± 0.30^{ns}	12.06 ±1.41^{ns}
175	48.13 ± 3.59^{b}	6.02 ± 1.59^{b}	20.20 ± 2.18^{ab}	54.22 ±2.45^{ns}	1.67 ± 0.29^{ns}	12.03 ± 0.78^{ns}
190	47.28 ± 4.14^{b}	6.84 ± 1.68^{b}	18.64 ± 4.03^{a}	54.16 ±2.72^{ns}	1.63 ± 0.35^{ns}	12.04 ± 1.60^{ns}

Values are showed as mean±SD. Symbols bearing different letters in the same column are significantly different (p<0.05)

3.1.2.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเนื้อไก่ทอดที่อุณหภูมิทอดแตกต่างกันโดย Texture analyzer

ในการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเนื้อไก่ทอดที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิแตกต่างกันด้วยวิธีการของ Dawson และคณะ (1991) โดยทำการวัดค่าแรงเฉือน (Shear) ผลการทดลองปรากฏดังแสดงใน Table 15 จากตารางผลการทดลอง สรุปว่าค่าแรงเฉือนจากการทอดไก่ที่อุณหภูมิ 160 และ 175±5 องศาเซลเซียส มีค่าแรงเฉือนที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) และมีค่าน้อยกว่าค่าแรงเฉือนที่เกิดจากการทอดไก่ที่อุณหภูมิ 190±5 องศาเซลเซียส ค่าแรงเฉือนจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามอุณหภูมิในการทอดที่เพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามความแตกต่างของผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำที่อยู่ในอาหารที่เกิดการระเหยเมื่ออุณหภูมิในการทอดเพิ่มสูงขึ้น โดยอาหารทอดที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการทอดเป็นระยะเวลานานจะพบว่า ปริมาณความชื้นในส่วนของผิวนอกของชิ้นอาหารลดน้อยลง ทำให้ตรงส่วนผิวของไก่ทอดที่สูญเสียความชื้นมากนั้นมีความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อทอดที่อุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าแรงเฉือนมีค่าสูงขึ้นด้วย แสดงให้เห็นว่าบริเวณผิวของไก่ทอดมี

ความเหนียวและแข็งมากขึ้น ดังนั้นที่อุณหภูมิ 190±5 องศาเซลเซียส จึงพบว่าเนื้อไก่ทอดมีค่าแรงเฉือนมากที่สุดคือ 3.19 ± 0.14 กิโลกรัม

Table 15 Shear value of fried chicken frying at different temperature

Temperature (±5) °C	Shear value (Kg)
160	2.70 ± 0.24^{a}
175	2.80 ± 0.16^{a}
190	3.19 ± 0.14^{b}

Values are showed as mean ± SD. Symbols bearing different letters in the same column are significantly different (p<0.05).

3.1.2.3 การหาค่าการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการปรุง (Cooking loss) ในผลิตภัณฑ์ไก่ทอดที่อุณหภูมิทอดแตกต่างกัน

การสูญเสียน้ำในระหว่างการทอดไก่แสดงดัง Table 16 จากตารางพบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ทอดไก่มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 160±5 ถึง 190±5 องศาเซลเซียส ค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) โดยเฉพาะไก่ทอดที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 190 ±5 องศาเซลเซียส มีค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการทอดสูงสุด เนื่องจากในระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม (Deep-fat frying) น้ำที่ส่วนเปลือกชิ้นอาหารจะระเหยและเคลื่อนที่ออกจากอาหาร ส่งผลให้ปริมาณความชื้นในชิ้นอาหารลดลง Alvarado (2013) ศึกษาปริมาณความชื้นที่เปลือกนอกและแกนกลางโดยใช้เมททิลเซลลูโลสเคลือบชิ้นนักเกตไก่และทอดที่อุณหภูมิ 175 และ 190 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 30, 60, 120 และ 240 วินาที ผลปรากฏว่า การทอดที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียสเกิดการสูญเสียความชื้นในช่วง 60 วินาทีแรกของการทอดมากที่สุด Li และคณะ (2013) ศึกษาผลของอุณหภูมิสุดท้ายของการปรุงอาหารในเนื้ออกเป็ด โดยเนื้อจะถูกแล่จากนั้นนำไปใส่ถุงพลาสติกและทำให้สุกในหม้อต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 95 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิภายในเนื้อเป็ดสูงขึ้นค่าการสูญเสียน้ำก็จะเพิ่มมากขึ้น ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำจะลดลงเมื่ออุณหภูมิในการทอดเพิ่มขึ้น โดยความสามารถในการอุ้มน้ำของกล้ามเนื้อนั้นมีความสัมพันธ์กับความร้อนหรืออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง หากอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นยังส่งผลต่อการเสียสภาพของโปรตีนไมโอไฟบริลลาในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนโดยเฉพาะไมโอซินและแอคตินที่อยู่ภายในโครงสร้างกล้ามเนื้อ ดังนั้น

ของเหลวจากเส้นใยกล้ามเนื้อจึงถูกขับออกมาได้มากขึ้น ส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อ (Barbantia and Pasquini, 2005)

Table 16 Cooking loss of fried chicken frying at different temperature

Temperature (±5) °C	Cooking loss (%)
160	37.50±0.94[a]
175	38.96±1.22[a]
190	41.03±0.89[b]

Values are showed as mean±SD. Symbols bearing different letters in the same column are significantly different (p<0.05).

3.1.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและไขมันของเนื้อไก่ทอดที่อุณหภูมิทอดต่างๆ

ปริมาณความชื้นและไขมัน ในชิ้นตัวอย่างเนื้อไก่ทอดจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ทอดไก่มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 160±5 ถึง 190±5 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ดัง Table 17 เนื่องจากในระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม (Deep-fat frying) น้ำที่ส่วนเปลือกชิ้นอาหารจะระเหยและเคลื่อนที่ออกจากอาหาร ส่งผลให้ปริมาณความชื้นในชิ้นอาหารลดลง (Alvarado, 2013) นอกจากนี้ยังเกิดขึ้น เนื่องจากในระหว่างกระบวนการทอดไก่จะมีกระบวนการถ่ายโอนความร้อนและถ่ายโอนมวลเกิดขึ้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) สำหรับกระบวนทอดจะเกิดการถ่ายโอนมวลที่ส่งผลให้ความดันไอสูงขึ้น ความดันไอจะหนีออกจากรูพรุนชิ้นอาหารพร้อมทั้งถ่ายโอนมวลของน้ำมัน หรือไขมันออกไปจากชิ้นอาหาร จึงส่งผลให้ปริมาณไขมันในชิ้นเนื้อไก่ทอดนั้นลดลง (Mellema, 2003) รวมทั้งน้ำที่มีอยู่ตรงบริเวณเปลือกหรือผิวด้านนอกของชิ้นอาหาร เมื่อได้รับอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดสูงขึ้น พบว่าไอน้ำจะค่อยๆ ระเหยอย่างต่อเนื่อง ทำให้บริเวณเปลือกนอกของชิ้นอาหารมีลักษณะแข็งขึ้นเป็นผลให้ไอน้ำที่ยังคงเคลื่อนตัวจากด้านในออกมาบริเวณผิวด้านนอกได้น้อยลง จึงทำให้เกิดการดูดซับน้ำมันได้น้อยลง (Alvarado, 2013) Akinbode และคณะ (2011) ศึกษาผลของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันในไก่ทอดนักเก็ตด้วยการทอดแบบน้ำมันท่วม ผลการทดลองปรากฏว่าเมื่อเวลาที่ใช้ในการทอดเพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 240 วินาที ภายใต้อุณหภูมิที่ใช้ทอด 3 อุณหภูมิ คือ 170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส ปริมาณไขมันในตัวอย่างไก่ทอดนักเก็ตจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย

Table 17 Moisture and fat content of fried chicken frying at different temperature

Temperature (±5) °C	Moisture (%)	Fat (%)
160	50.46 ± 0.61^{b}	5.65 ± 0.47^{b}
175	49.64 ± 0.67^{b}	5.00 ± 0.27^{a}
190	49.56 ± 0.61^{a}	4.89 ± 0.43^{a}

Values are showed as mean±SD. Symbols bearing different letters in the same column are significantly different (p<0.05).

3.1.2.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือกหาสูตรผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม

การหาความชอบรวมโดยใช้ 9-point hedonic scale

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ 9 – point hedonic scale ของไก่ทอดที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 160, 175 และ 190 ± 5 องศาเซลเซียส พบว่า การทอดที่อุณหภูมิ 175±5 องศาเซลเซียส ได้รับคะแนนความชอบ ด้านสีด้านนอกและด้านใน กลิ่น ความฉ่ำน้ำ ความนุ่มเนื้อ และความชอบรวมสูงสุดที่คะแนน 8.46 ± 0.74, 8.32 ± 0.76, 8.07 ± 0.68, 8.14 ± 0.88 และ 8.44 ± 0.66 ตามลำดับ (p< 0.05) แสดงดัง Table18 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Moeller และคณะ (2010) ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อหมูที่ผ่านการต้มสุก ผลปรากฏว่า เมื่ออุณหภูมิในการต้มเพิ่มขึ้นจาก 62.8, 68.3, 73.9 และ 79.4 องศาเซลเซียส พบว่า ลักษณะความนุ่มเนื้อก็จะลดลงส่งผลให้คะแนนการยอมรับของผู้ทดสอบชิมลดลง คือ 6.24, 5.86, 5.48 และ 5.09 ตามลำดับ ดังนั้นจากผลการทดลองพบว่า คะแนนการยอมรับจากตัวอย่างไก่ทอดสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 175 ± 5 องศาเซลเซียส จึงนำตัวอย่างที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิดังกล่าวไปทำการทดลองต่อไป

Table 18 Sensory score of fried chicken frying at different temperature

Temperature (±5°C)	Outside - color	Inner - color	Ordor	Juiciness	Tenderness	Flavor	Overall
160	7.26 ± 0.83[b]	8.01 ± 0.95[ns]	8.01 ± 0.93[b]	7.86 ± 0.83[b]	7.29 ± 0.97[b]	8.29 ±0.80[ns]	7.97 ± 0.91[b]
175	8.46 ±0.74[c]	8.04 ± 0.81[ns]	8.32 ± 0.76[c]	8.07 ± 0.68[c]	8.14 ± 0.88[c]	8.37 ±0.74[ns]	8.44 ± 0.66[c]
190	6.97 ±0.99[a]	7.91± 0.87[ns]	7.16 ±0.90[a]	7.00 ± 0.79[a]	6.90 ± 0.95[a]	8.13 ±0.78[ns]	7.33 ±0.97[a]

Values are showed as mean±SD. Symbols bearing different letters in the same column are significantly different (p<0.05).

การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธีวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัสแบบพรรณนา QDA

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธีวิเคราะห์แบบพรรณนา (QDA) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน พบว่า ตัวอย่างไก่ทอดที่ผ่านการทอดทั้ง 3 อุณหภูมิ คือ 160, 175 และ 190 ±5 องศาเซลเซียส ปรากฏดัง Figure 12 โดยสีภายนอกมีระดับความเข้มที่ 9.03±0.50 ถึง 10.25 ± 0.51 สีภายในมีระดับความเข้มที่ 8.99±0.62 ถึง 9.29 ± 0.39 กลิ่นหืนมีระดับความเข้มที่ 3.09±0.35 ถึง 3.67 ± 0.43 กลิ่นเครื่องเทศมีระดับความเข้มที่ 5.09 ± 0.64 ถึง 5.10 ± 0.94 กลิ่นไหม้มีระดับความเข้ม 3.03 ± 0.70 ถึง 3.85 ± 0.47 รสชาติหวานมีระดับความเข้มที่ 5.33 ± 0.56 ถึง 5.6 ± 0.46 รสชาติเค็มมีระดับความเข้มที่ 5.00 ± 0.37 ถึง 5.11 ± 0.27 ความฉ่ำน้ำมีระดับความเข้มที่ 6.34 ± 0.29 ถึง 7.04 ± 0.41 และมีความนุ่มเนื้อที่ระดับความเข้มที่ 6.29 ± 0.45 ถึง 6.85 ± 0.63 สำหรับการทอดโดยใช้อุณหภูมิ 175 ±5 องศาเซลเซียส ผลปรากฏว่าได้รับคะแนนการยอมรับสูงสุด โดยวิธี 9 point hedonic scale มีค่าที่กำหนดได้ดังนี้ สีภายนอกที่ 9.28 ± 0.37 สีภายใน 9.26 ± 0.28 กลิ่นหืน 3.09 ± 0.35 กลิ่นเครื่องเทศ 5.08 ± 0.58 กลิ่นไหม้ 3.36 ± 0.87 รสชาติหวาน 5.40 ± 0.80 รสชาติเค็ม 5.16 ± 0.27 ความฉ่ำน้ำ 7.04 ± 0.41และความนุ่มเนื้อ 6.85 ± 0.63 จากผลการทดลองที่ปรากฏดังกล่าวพบว่า อุณหภูมิมีผลต่อการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อไก่ทอด โดยเฉพาะคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสเรื่องความฉ่ำน้ำ ซึ่งพบว่าในการทอดที่อุณหภูมิ 175 ±5 องศาเซลเซียส มีค่าความฉ่ำน้ำที่ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับสูงสุด ในขณะเดียวกันค่าสีที่เข้มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้คะแนนความชอบนั้นลดลงเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะการทอดที่อุณหภูมิ 190 ± 5 องศาเซลเซียส

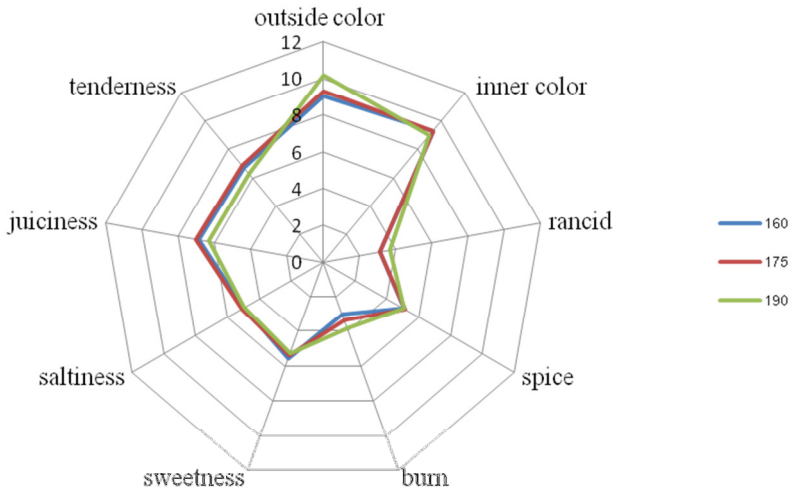


Figure 12 Quantitative Descriptive Analysis of fried chicken frying at difference temperature Treatment :Temperatureat: 160 ± 5 °C, 175 ± 5 °C, 190 ± 5 °C.

3.2 ศึกษาผลของการให้ความร้อนซ้ำ (Reheat) ด้วยไมโครเวฟและการทอดต่อคุณภาพไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

3.2.1 การวิเคราะห์ค่าสีของไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟและการทอด

การเปลี่ยนแปลงค่าสีของไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคโดยการให้ความร้อนซ้ำแสดงดัง Table 19 จากตารางพบว่าค่าสีด้านนอกของเนื้อไก่ทอดแช่เยือกแข็ง ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟและการทอด แสดงด้วย ค่า L^*, a^* และ b^* ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้ง 2 วิธี (p<0.05) สำหรับค่าสีภายในเนื้อไก่พบว่าค่า L^*, a^* และ b^* มีความแตกต่างกันระหว่าง 2 วิธี (p<0.05) เช่นเดียวกัน เมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟและการทอดค่าความสว่าง (L) ของสีภายนอกเนื้อไก่มีค่าความสว่างน้อยกว่าสีภายในเนื้อไก่ (p<0.05) ค่าสีแดง (a) ภายนอกเนื้อไก่มีค่ามากกว่าสีภายในเนื้อไก่ (p<0.05) และค่าสีเหลือง (b) ของชิ้นเนื้อไก่ทอดด้านนอกมีสีเข้มกว่าสีด้านใน (p<0.05) การเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นเนื่องจากในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนซ้ำโดยวิธีการทอด พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการทอดเพิ่มขึ้นร่วมกับอุณหภูมิที่ใช้ทอดที่สูง (175 ±5 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เพิ่มมากขึ้นเรียกว่าปฏิกิริยาเมลลาร์ดโดยจะพบในกระบวนการทอดมากกว่าการใช้ไมโครเวฟ ซึ่งใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อนสั้น ส่งผลให้ชิ้นเนื้อสัมผัสกับความร้อนได้น้อยกว่าการให้ความร้อนซ้ำด้วยการทอด ดังนั้น สีเนื้อ

ด้านนอกที่สัมผัสความร้อนด้วยการทอดโดยตรง จะพบค่าความสว่าง (L^*) น้อยกว่า สีด้านในเมื่อใช้ไมโครเวฟ ส่วนค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ของชิ้นเนื้อที่สัมผัสความร้อนด้วยการทอดจะมีสีเข้มกว่าสีด้านใน เนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดและผลของน้ำมันที่สัมผัสชิ้นอาหาร ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าว เช่น ค่าวอเตอร์แอคติวิตี (a_w) ค่า pH องค์ประกอบของอาหาร และอุณหภูมิ Wichachuchoet (2010) ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาทอด โดยทอดน่องไก่ในน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการทอดเพิ่มขึ้น ค่า L^* จะลดลงในขณะที่ค่า a^* เพิ่มขึ้น Nikmaram และคณะ (2011) ศึกษาลักษณะสีของเนื้อวัว ที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเทียบกับการทอด ผลปรากฏว่าค่าสีสว่าง ของชิ้นเนื้อที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ มีค่ามากกว่าการทอด สำหรับค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ของชิ้นเนื้อที่ผ่านกระบวนการไมโครเวฟ จะมีค่าน้อยกว่าผ่านกระบวนการทอด

Table 19 Color value of frozen ready to eat fried chicken with reheating by frying and microwave method

Color	Reheat methods	$\bar{x}$	S.D.	t	p
Outside color					
L^*	Frying	23.47	0.47	53.91	0.000
	Microwave	30.45	0.48		
a^*	Frying	15.94	0.74	21.92	0.000
	Microwave	12.03	0.55		
b^*	Frying	26.12	0.63	15.53	0.000
	Microwave	23.44	0.63		
Inner color					
L^*	Frying	44.74	0.84	11.59	0.000
	Microwave	47.09	0.64		
a^*	Frying	2.14	0.12	10.54	0.000
	Microwave	1.74	0.15		
b^*	Frying	12.23	0.35	14.96	0.000
	Microwave	10.41	0.52		

The values are significantly different (p<0.05).

3.2.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟและการทอด

ลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคที่ผ่านการให้ความร้อนซ้ำแสดงดัง Table 20 จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนซ้ำ ด้วยวิธีการทอด จะมีความเหนียวมากกว่าตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนซ้ำด้วยการใช้ไมโครเวฟ ส่งผลให้ค่าแรงเฉือนในตัวอย่างไก่ทอดแช่เยือกแข็งที่ผ่านการให้ความร้อนซ้ำด้วยการทอดจึงมีค่ามากกว่าแรงเฉือนที่ผ่านการให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟ (p<0.05) เนื่องจากพลังงานจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เนื้อเยื่อเกี่ยวพันและโปรตีนกล้ามเนื้อกลุ่มไมโอไฟบริลลา (Nikmaram *et al.,* 2011) เกิดการเสียภาพ การให้ความร้อนด้วยการทอดจึงทำให้โปรตีนดังกล่าวเสียสภาพ ส่งผลทำให้ เนื้อที่ผ่านการให้ความร้อนซ้ำด้วยการทอด จึงมีความเหนียวมากกว่าการให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟ Combes และคณะ (2004) กล่าวว่ากระบวนการทำอาหารที่แตกต่างกันทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกันของเนื้อ โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของไมโอไฟ บริลลา ฟิลาเมน และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน

ซึ่งอาจสรุปได้ว่า ความร้อนทำให้เกิดการหดตัวของ ผลิตภัณฑ์สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nikmaram และคณะ (2011) ศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อวัวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเทียบกับการทอด ผลปรากฏว่า ค่าแรงเฉือนของชิ้นเนื้อที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟมีค่าน้อยกว่าการทอด แสดงว่าความนุ่มเนื้อของชิ้นเนื้อที่ผ่านกระบวนการไมโครเวฟจะมีค่ามากกว่า และมีความเหนียวน้อยกว่าตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทอด

Table 20 Shear value of frozen ready to eat fried chicken with reheating by frying and microwave method

Reheat	**Shear value (kg)**			
methods	$\bar{x}$	**S.D.**	**t**	**p**
Frying	4.39	0.55	6.49	0.000
Microwave	3.39	0.45		

The values are significantly different (p<0.05).

3.2.3 การหาค่าการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการปรุง (Cooking loss) ของไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟและการทอด

การสูญเสียน้ำระหว่างการปรุง (Cooking loss) หลังการให้ความร้อนซ้ำทั้ง 2 วิธี พบว่ามีความแตกต่างกัน ($p<0.05$) โดยพบว่าตัวอย่างที่ถูกเตรียมสำหรับวิธีการให้ความร้อนซ้ำโดยวิธีการทอดนั้น มีการสูญเสียน้ำในระหว่างการทอดน้อยกว่าการใช้ไมโครเวฟ แสดงดัง Table 21 เนื่องจากการทอดในขั้นตอนนี้จะใช้ระยะเวลาที่น้อยกว่าและมีวัตถุประสงค์ให้แกนกลางของเนื้อไก่มีอุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส จึงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำน้อยกว่าตัวอย่างที่ถูกเตรียมไว้สำหรับการใช้ความร้อนซ้ำโดยการใช้ไมโครเวฟ ดังนั้นเมื่อระยะเวลาต่างกันทำให้ค่าการสูญเสียน้ำในขั้นตอนนี้มีความแตกต่างกันด้วย การสูญเสียน้ำหลังการให้ความร้อนซ้ำโดยวิธีการทอดและการใช้ไมโครเวฟมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญคือ 10.66±0.03 และ12.45±2.94 เปอร์เซ็นต์($p<0.05$) แสดงดัง Table 21 เนื่องจากการให้ความร้อนซ้ำโดยการใช้ไมโครเวฟใช้กำลังไฟฟ้า ความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเวลาน้อยเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการ จึงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมากกว่ารวมทั้งการให้ความร้อน ภายในระยะเวลาสั้นด้วยความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่สูงยังทำให้โปรตีนภายในเนื้อเกิดการ Heat shock (Nikmaram *et al.,* 2011) จึงส่งผลให้การสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็ว นอกจากนั้นในกระบวนการให้ความร้อนพบว่า การเสียสภาพของโปรตีนจะแตกต่างกันโดยส่วนใหญ่จะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง เช่น เซลล์เมมเบนเบรนถูกทำลาย การหดตัวของกลุ่มเส้นใยเนื้อ ไมโอไฟบริลลาและซาร์โคพลาสมิก (Tornberg, 2005) ดังนั้นการสูญเสียน้ำ ก็จะเกิดมากขึ้นเมื่อโปรตีนมีการเสียสภาพมากยิ่งขึ้น Adedeji และคณะ (2009) ศึกษาการสูญเสียน้ำ (Cooking loss) ในนักเกตไก่โดยใช้ไมโครเวฟให้ความร้อน (Preheated) เป็นระยะเวลา 1-2 นาที จากนั้นนำตัวอย่างเก็บในตู้เย็น 24 ชั่วโมง จึงนำมาทอดที่อุณหภูมิ 160±2 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลา 0, 60, 120, 180, 240 และ 300 วินาที ผลการทดลองปรากฏว่าความชื้นลดลงจาก 1.22 ถึง 0.82 เปอร์เซ็นต์ Nikmaram และคณะ (2011) ศึกษาลักษณะการสูญเสียน้ำหลังการให้ความร้อนโดยวิธีการทอดและการใช้ไมโครเวฟของเนื้อวัว ผลปรากฏว่าการสูญเสียน้ำหนัก (Cooking loss) ของเนื้อที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟมีค่ามากกว่าการทอด

Table 21 Cooking loss of frozen ready to eat fried chicken with reheating by frying and microwave method

Cooking loss (%)	Reheat methods	$\bar{x}$	S.D.	t	p
Preheated	Frying	32.18	2.33	7.73	0.000
	Microwave	39.41	1.56		
Reheated	Frying	10.66	0.63	10.78	0.000
	Microwave	12.45	2.94		

The values are significantly different (p<0.05).

3.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและไขมันของไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟและการทอด

3.2.4.1 ปริมาณความชื้นของไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟและการทอด

การให้ความร้อนซ้ำแก่ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค พบว่าความชื้นจากวิธีการให้ความร้อนซ้ำโดยการทอดและใช้ไมโครเวฟมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) คือ 53.20±0.55 และ 50.18±0.45 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แสดงดัง Table 22 การสูญเสียความชื้นในระหว่างการทอดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งความร้อนแรกเริ่มจะเกิดขึ้นจากความชื้นที่ระเหยออกจากเนื้อไก่ ต่อมาก็จะเกิดการสูญเสียความร้อนอย่างต่อเนื่องจากอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้นแต่จะน้อยกว่าการใช้ไมโครเวฟ ซึ่งกำลังไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำให้โปรตีนเสียสภาพได้มากกว่า ส่งผลให้เกิดการสูญเสียความชื้นที่สูงกว่าการให้ความร้อนซ้ำด้วยการทอด (Nikmaram *et al.,* 2011) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Adedeji และคณะ (2009) ศึกษาปริมาณความชื้นในนักเกตไก่โดยใช้ไมโครเวฟให้ความร้อน (Preheated) เป็นระยะเวลา 1-2 นาที ผลการทดลองปรากฏว่าความชื้นลดลงจาก 1.22 ถึง 0.82 เปอร์เซ็นต์ Math และคณะ (2004) ศึกษาปริมาณความชื้นในถั่วเขียวผิวดำที่ผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิที่ใช้ทอด 165, 175 และ 185 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 ถึง 40 วินาที ผลปรากฏว่า ปริมาณความชื้นจะลดลงจาก 2.7 เป็น 2.0 เปอร์เซ็นต์

Table 22 Moisture content of frozen ready to eat fried chicken with reheating by frying and microwave method

Reheat methods	Moisture (%)			
	$\bar{x}$	S.D.	t	p
Frying	53.20	0.55	12.76	0.000
Microwave	50.18	0.45		

The values are significantly different (p<0.05).

3.2.4.2 ปริมาณไขมันของไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟและการทอด

ปริมาณไขมันในไก่ทอดแช่เยือกแข็งหลังการให้ความร้อนซ้ำด้วยการทอดและไมโครเวฟ คือ 5.65±0.47 และ 4.90±0.47 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แสดงดัง Table 23 ปริมาณไขมันที่เกิดจากการใช้ไมโครเวฟ ซึ่งมีกำลังไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงจะทำให้โปรตีนเสียสภาพได้มากกว่า ส่งผลให้เกิดการสูญเสียไขมันเกิดขึ้นสูงกว่าการให้ความร้อนซ้ำด้วยการทอด (Nikmaram *et al.,* 2011) และยังพบว่าการทอดที่ใช้เวลานานจะทำให้เกิดการดูดซับของน้ำมันในระหว่างการทอดได้มากกว่า จึงทำให้ตัวอย่างไก่ทอดแช่เยือกแข็งที่ผ่านการให้ความร้อนซ้ำด้วยการทอดมีปริมาณไขมันสูง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Wichachuchoet (2010) ศึกษาปริมาณไขมันในน่องไก่ทอดที่อุณหภูมิ 170 180 และ 190 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการทอด 15, 18 และ 21 นาที พบว่าที่เวลาในการทอด 21 นาที มีปริมาณไขมันในตัวอย่างมากที่สุด Math และคณะ (2004) ศึกษาปริมาณไขมันในถั่วเขียวผิวดำที่ผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิที่ใช้ทอด 165, 175 และ 185 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 ถึง 40 วินาที ผลปรากฏว่าปริมาณไขมันจะเพิ่มขึ้นจาก 0.3 ถึง 47.3 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณความชื้นจะลดลงจาก 2.7 ถึง 2.0 เปอร์เซ็นต์ Garcia-Arias และคณะ (2003) ศึกษาปริมาณไขมันในตัวอย่างปลาซาร์ดีนแล่ที่ผ่านการให้ความร้อน ด้วยไมโครเวฟเทียบกับการทอด ผลปรากฏว่าปริมาณไขมันในตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ คือ 14.60±0.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าไขมันในตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยการทอด คือ 21.23±0.13 เปอร์เซ็นต์

Table 23 Fat content of frozen ready to eat fried chicken with reheating by frying and microwave method

Reheat methods	Fat (%)			
	$\bar{x}$	S.D.	t	p
Frying	5.65	0.67	3.52	0.003
Microwave	4.90	0.47		

The values are significantly different (p<0.05).

3.2.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือกหาสูตรผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม

3.2.5.1 การหาความชอบรวมโดยใช้ 9-point hedonic scale

ผลของวิธีการให้ความร้อนซ้ำในตัวอย่างไก่ทอดแช่เยือกแข็งต่อคะแนนความชอบ พบว่าคะแนนความชอบ ด้านค่าสีภายนอก ความฉ่ำน้ำ และรสชาติ ของการให้ความร้อนซ้ำทั้ง 2 วิธี คือการทอดและการใช้ไมโครเวฟไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05)สำหรับ ด้านค่าสีภายใน กลิ่น ความนุ่มเนื้อและความชอบรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) จากผลการทดลองดังกล่าว พบว่าคะแนนความชอบจากวิธีการให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟได้รับคะแนนที่สูงกว่าการให้ความร้อนซ้ำด้วยวิธีการทอด ในด้าน สีด้านใน กลิ่น ความฉ่ำน้ำ ความนุ่มเนื้อ รสชาติและความชอบรวม (Table 24) ถึงแม้ว่าค่าสีด้านนอกจะได้รับคะแนนความชอบน้อยว่า แต่เมื่อพิจารณาในหลายปัจจัยทำให้การให้ความร้อนซ้ำแก่ ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคด้วยการใช้ไมโครเวฟได้รับการคัดเลือกเพื่อนำไปศึกษาในด้านอื่นๆ ต่อไป

Table 24 Sensory score of frozen ready to eat fried chicken with reheating by frying and microwave method

Attributes	Reheat method	$\bar{x}$	S.D.	t	p
Outside –color	Frying	8.07	0.86	1.96	0.052
	Microwave	7.83	0.74		
Inner - color	Frying	8.03	0.84	2.39	0.018
	Microwave	8.30	0.64		
Odor	Frying	7.66	0.47	8.50	0.000
	Microwave	8.40	0.67		
Juiciness	Frying	7.77	0.77	2.00	0.460
	Microwave	8.00	0.79		
Tenderness	Frying	7.96	0.76	3.83	0.000
	Microwave	8.33	0.54		
Flavor	Frying	8.67	0.47	0.48	0.633
	Microwave	8.70	0.46		
Overall	Frying	8.13	0.72	5.23	0.000
	Microwave	8.63	0.55		

The values are significantly different (p<0.05).

3.2.5.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธีวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัสแบบพรรณนาQDA

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยการวิเคราะห์แบบพรรณนา (QDA) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน พบว่าไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคที่ใช้วิธีการให้ความร้อนซ้ำโดยวิธีการทอดและการใช้ไมโครเวฟได้กำหนดค่าสีของแต่ละวิธีการดัง Figure 13 สีภายนอกระดับความเข้มที่ 10.28±0.59 และ 90±0.47 ตามลำดับ สีภายในระดับความเข้มที่ 9.16±0.60 และ 9.19±0.30 ตามลำดับ กลิ่นหืนระดับความเข้ม 4.80±0.44 และ 3.47±0.44 ตามลำดับ กลิ่นเครื่องเทศมีระดับความเข้ม 4.09±0.42 และ 4.58±0.45 ตามลำดับกลิ่นไหม้ระดับความเข้ม 4.32±0.75 และ 4.28±0.94 ตามลำดับ รสชาติหวานระดับความเข้ม 4.95±0.69 และ 5.18±0.82 ตามลำดับ รสชาติเค็ม

ระดับความเข้ม 5.10±0.45 และ 5.18±0.37 ตามลำดับ ความฉ่ำน้ำระดับความเข้ม 5.86±0.75 และ 6.77±0.60 ตามลำดับ และความนุ่มเนื้อระดับความเข้มระหว่าง 6.03±0.65 และ 6.32±0.73 ตามลำดับ

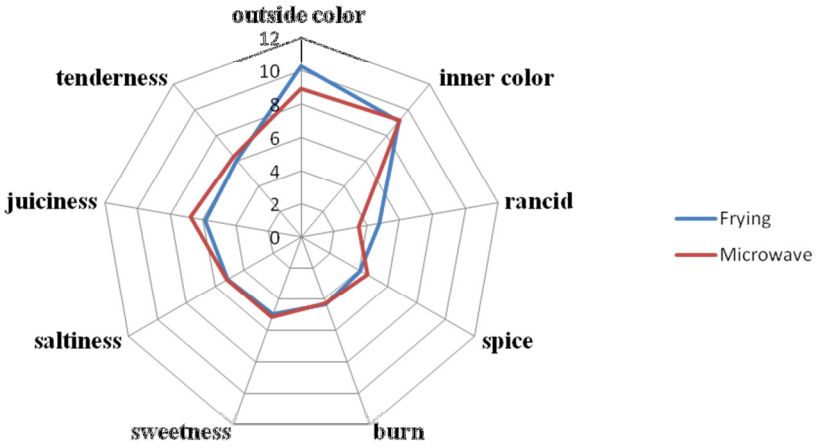


Figure 13 Quantitative Descriptive Analysis of frozen ready to eat fried chicken with reheating by frying and microwave method

3.3 ศึกษาผลของการแช่แข็งและทำละลาย (Freeze-Thawing) ต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

3.3.1 การวิเคราะห์ค่าสีหลังการแช่แข็งและทำละลาย (Freeze-Thawing) ของผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

ค่าสีของไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคที่ผ่านการแช่แข็ง-ทำละลาย (Freeze-Thawing)ซ้ำ แสดงดัง Table 25 ค่าสีของตัวอย่างควบคุม (Control), 1, 2 และ 3 ทั้งค่าสีภายนอกและภายในของเนื้อไก่ทอดแช่เยือกแข็งมีค่า L^* และ b^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) สำหรับค่า a^* ของไก่ทอดที่ผ่านการแช่แข็งและทำละลาย (Freeze-Thawing) จำนวน 1, 2 และ 3 รอบ พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) แต่ความเป็นสีแดงจะลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างชุดควบคุมที่ไม่ผ่านการแช่แข็งและทำละลาย (Freeze-Thawing) เนื่องจากกระบวนการดังกล่าว ส่งผลให้เกิดกระบวนการออโต้ออกซิเดชันของไมโอโกลบิน (สีแดง) เป็นเมทไมโอ

โกลบิน (น้ำตาลแดง) (Brown and Mebine, 1969) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Utrera และคณะ (2012) ศึกษาค่าสีของตัวอย่างแฮมที่ผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสและทำละลายที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ผลการทดลองปรากฏว่าค่า L^*และ b^*เมื่อเทียบกับตัวอย่างไม่ผ่านการแช่แข็งและทำละลายมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) เช่นเดียวกับ Leygonie และคณะ (2012) ศึกษาค่าสีของเนื้อนกกระจอกเทศที่ผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสและทำละลายที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าการทำละลายไม่ผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี (p>0.05) ดังนั้นการแช่แข็ง-ทำละลาย (Freeze-Thawing) ซ้ำ จึงไม่มีผลต่อค่าสีของไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

Table 25 Color value of freeze-thaw of frozen ready to eat fried chicken

Freezing-Thawing cycle	Outside-Color			Inner-Color		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
0 (Control)	29.89 ± 1.56^{ns}	12.44 ± 1.84^{b}	23.15 ± 1.05^{ns}	46.22 ± 2.08^{ns}	1.50 ± 0.25^{b}	11.41± 0.94^{ns}
1	29.90 ± 1.75^{ns}	11.13 ± 1.08^{a}	22.94 ± 1.21^{ns}	47.53 ± 2.35^{ns}	1.45± 0.06^{ab}	11.48± 0.19^{ns}
2	29.12 ± 1.78^{ns}	11.61 ± 0.80^{ab}	22.68 ± 1.05^{ns}	47.41 ± 2.79^{ns}	1.49 ± 0.5^{b}	11.32± 0.25^{ns}
3	30.31 ± 1.69^{ns}	11.55 ± 0.79^{ab}	22.97 ± 1.55^{ns}	47.36 ± 1.49^{ns}	1.36 ± 0.5^{a}	11.42± 0.28^{ns}

Values are showed as mean ± SD. Symbols bearing different letters in the same column are significantly different (p <0.05).

3.3.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสหลังการแช่แข็งและทำละลาย (Freeze-Thawing) ของผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

ผลของการแช่แข็ง-ทำละลาย (Freeze-Thawing)ของไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสแสดงดัง Table 26 จากผลการทดลองพบว่า ค่าแรงเฉือนมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) เมื่อมีการทำละลายตัวอย่างเป็นระยะเวลา 1, 2 และ 3 รอบ เปรียบเทียบกับตัวอย่างชุดควบคุม (Control) ที่ไม่ได้ผ่านการแช่แข็ง-ทำละลาย (Freeze-Thawing) ค่าแรงเฉือนสามารถบ่งบอกถึงความนุ่มเนื้อหรือความเหนียว ซึ่งเป็นลักษณะทางประสาทสัมผัสที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด จากผลการทดลองสรุปว่า การแช่แข็งและทำละลายซ้ำไม่มีผลต่อตัวอย่าง นอกจากนั้นยังเกิดเนื่องจากความผันผวนของอุณหภูมิอาจทำให้การแช่แข็งซึ่งอุณหภูมิต่ำลงจะเกิดอัตราการเกิดผลึกใหม่ (Recrystallization) ในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อทำละลายจะทำให้เกิดการละลายของน้ำแข็งบางส่วน ซึ่งวัฏจักรนี้จะเกิดขึ้นควบคู่กันเสมอ จึงไม่เกิด

การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำละลาย (Erickson and Hung, 1997) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Choi และคณะ (2005) ศึกษาค่าแรงเฉือนของอกไก่และน่องไก่ที่ผ่านการแช่แข็งและทำละลายที่ 0 องศาเซลเซียส พบว่าค่าแรงเฉือนของเนื้ออกและน่องไก่มีค่า 36.41 และ 37.50 นิวตันตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) Yu และคณะ (2005) ศึกษาผลของการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส และทำละลายที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียสในตัวอย่างขาไก่ต่อค่าแรงเฉือน ผลปรากฏว่ามีค่าไม่แตกต่างกันคือ 37.50±3.04 และ 37.50±3.38 นิวตันตามลำดับ Utrera และคณะ (2012) ศึกษาลักษณะทางเนื้อสัมผัสของตัวอย่างแฮมที่ผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส และทำละลายที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ผลปรากฏว่า ค่าความแข็งเมื่อเทียบกับตัวอย่างไม่ผ่านการแช่แข็งและทำละลายมีค่า 28.66±4.46 และ 25.55±2.81 นิวตันตามลำดับและมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05)

Table 26 Shear value of freeze-thaw of frozen ready to eat fried chicken

Freezing–Thawing cycle	Shear value (kg)
0 (Control)	3.83 ± 0.12^{ns}
1	3.73 ± 0.10^{ns}
2	3.82 ± 0.18^{ns}
3	3.86 ± 0.29^{ns}

Values are shown as mean ± SD. Symbols bearing different letters in the same column are significantly different (p<0.05).

3.3.3 การหาค่าสูญเสียน้ำหนักระหว่างการแช่แข็งและการทำละลาย (Thawing loss) ของผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

ผลการแช่แข็งและการทำละลาย (Freeze- thawing) ในไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค พบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการแช่แข็งและทำละลาย จำนวน 0, 1, 2 และ 3 รอบ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อจำนวนรอบการละลายเพิ่มขึ้น ดังTable 27 แต่จะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนครั้งการแช่แข็งและละลายเพิ่มขึ้น Nummer และคณะ (2009) ศึกษาการละลายเนื้ออกไก่แช่แข็งที่อุณหภูมิ -22 °C ก่อนนำตัวอย่างไปทำละลายในตู้เย็นที่อุณหภูมิ0 - 2.7 °C และทำละลายด้วยน้ำร้อน 60 องศาเซลเซียส แล้วนำไปย่าง ผลปรากฏว่า เมื่อเวลาในการทำ

ละลายเพิ่มขึ้นจากเวลา 10-15 ชั่วโมง มีค่า Thawing loss (%) คือ 1.3, 1.5, 1.6 และ 1.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกับการละลาย โดยการใช้น้ำร้อนมีค่า Thawing loss (%) คือ 2.1, 2.4, 2.5 และ 2.6 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Yu และคณะ (2005) ศึกษาผลของการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส และทำละลายที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียสในตัวอย่างขาไก่ต่อค่า Thawing loss (%) ผลปรากฏว่ามีค่าไม่แตกต่างกันคือ 0.56±0.33 และ0.66±0.08 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เช่นเดียวกับ Leygonie และคณะ (2012) ศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อนกกระจอกเทศที่ผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสและทำละลายที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ค่า Thawing loss (%) น้อยมาก เนื่องจากความผันผวนของอุณหภูมิอาจทำให้การแช่แข็งซึ่งอุณหภูมิต่ำลงจะเกิดอัตราการเกิดผลึกใหม่ (Recrystallization) ในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อทำละลายจะทำให้เกิดการละลายของน้ำแข็งบางส่วน ซึ่งวัฏจักรนี้จะเกิดขึ้นควบคู่กันเสมอจึงไม่เกิดการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำละลาย (Erickson and Hung, 1997)

Table 27 Thawing loss of freeze-thaw of frozen ready to eat fried chicken

Thawing loss cycle	Thawing loss (%)
0 (Control)	0.00 ± 0.00^{a}
1	0.12 ± 0.24^{ab}
2	0.19 ± 0.29^{ab}
3	0.26 ± 0.32^{b}

Values are shown as mean ± SD. Symbols bearing different letters in the same column are significantly different ($p<0.05$).

3.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและไขมันหลังการแช่แข็งและทำละลาย(Freeze-Thawing) ของผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

หลังจากตัวอย่างผ่านการแช่แข็ง-ทำละลาย (Freeze-Thawing) พบว่า ปริมาณความชื้นและไขมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ดังแสดงใน Table 28 เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Choi และคณะ (2005) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการทำละลายในเนื้ออกไก่ และน่องไก่ที่อุณหภูมิ 2 และ 0 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณของไขมันและความชื้นไม่มีความแตกต่าง Utrera และคณะ (2012) ศึกษาปริมาณความชื้นและไขมันของตัวอย่างแฮมที่ผ่านการแช่แข็งที่

อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสและทำละลายที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ผลปรากฏว่า ปริมาณความชื้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างไม่ผ่านการแช่แข็งและทำละลายมีค่า 71.48±1.87 และ 72.91±1.18 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สำหรับปริมาณไขมันเมื่อเทียบกับตัวอย่างไม่ผ่านการแช่แข็งและทำละลาย มีค่า 6.20±0.88 และ 6.01±0.81 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับและมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) Erickson และ Hung (1997) กล่าวว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแช่แข็งและทำละลายทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและไขมันในตัวอย่างน้อยมาก เนื่องจากความผันผวนของอุณหภูมิอาจทำให้การแช่แข็ง ซึ่งอุณหภูมิต่ำลงส่งผลให้เกิดอัตราการเกิดผลึกใหม่ (Recrystallization) ในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นที่ใช้ในการทำละลายจะทำให้เกิดการละลายของน้ำแข็งบางส่วน ซึ่งวัฏจักรนี้จะเกิดขึ้นควบคู่กันเสมอภายในระบบ จึงไม่เกิดการสูญเสียปริมาณความชื้นและไขมันระหว่างการทำละลายออกจากระบบตัวอย่าง

Table 28 Moisture and fat content of freeze-thaw of frozen ready to eat fried chicken

Freezing –Thawing cycle	Moisture (%)	Fat (%)
0 (Control)	50.60 ± 1.59^{ns}	4.97 ± 0.22^{ns}
1	50.98 ± 1.16^{ns}	4.90 ± 0.34^{ns}
2	50.31 ± 1.09^{ns}	4.89 ± 0.43^{ns}
3	50.90 ± 1.78^{ns}	4.85 ± 0.26^{ns}

Values are shown as mean ± SD. Symbols bearing different letters in the same column are significantly different (p<0.05).

3.3.5 การวิเคราะห์ค่า TBARS ต่อการแช่แข็งและทำลาย (Freeze-Thawing) ของผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

จากการวิเคราะห์หาค่า TBARS หลังการแช่แข็งและทำละลาย (Freeze-Thawing) ของผลิตภัณฑ์ ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคแสดงดังใน Table 29 จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อแช่แข็งและทำละลายตัวอย่างแล้ววิเคราะห์ค่า TBARS จะมีค่ามากกว่าและแตกต่างจากตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่แข็งและทำละลาย (Freeze-Thawing) การแช่แข็งและทำละลาย (Freeze-Thawing) ผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคเป็นเวลา 1 และ 2 รอบพบว่าค่า TBARS ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) คือ 1.46 ± 0.73 และ 1.49 ± 0.13 มิลลิกรัมมาโลนาลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แต่ค่า TBARS จะแตกต่างกันเมื่อทำการแช่แข็งและทำละลาย (Freeze-Thawing) รอบที่ 3

คือ 1.76±0.87 มิลลิกรัมมาโลนาลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม เนื่องจาก Thio barbituric acid reactive substances (TBARS) เป็นสารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด (Lipid oxidation) โดยการวัดปริมาณแอลดีไฮด์ (Aldehyde) ในรูปมาโลนาลดีไฮด์(Malon aldehyde) ที่มีอยู่ในน้ำมันหรือไขมัน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) ดังนั้นเมื่อไขมันที่อยู่ในตัวอย่างสัมผัสกับน้ำและออกซิเจนในอากาศมากขึ้น จึงส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากขึ้น ดังนั้น TBARS ก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วยเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่แข็งและทำละลาย (Freeze-Thawing) นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของกรดไขมันที่ประกอบอยู่ภายในอาหารด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rosario-Ramirez และคณะ (2004) ศึกษาค่า TBARS ของเนื้อหมูสับทอดที่ผ่านการทำเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า เมื่อเวลาในการทำเย็นเพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 10 วัน ค่า TBARS จะเพิ่มขึ้นด้วยจาก 0.25 ถึง 2.00 มิลลิกรัมมาโลนาลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง Utrera และคณะ (2012) ศึกษาค่า TBARS ของตัวอย่างแฮมที่ผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสและทำละลายที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ผลปรากฏว่า ค่า TBARS เมื่อเทียบกับตัวอย่างไม่ผ่านการแช่แข็งและทำละลายมีค่า 0.15±0.04 และ 0.13±0.02 มิลลิกรัมมาโลนาลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่างตามลำดับและมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05)

Table 29 TBARS of freeze-thaw of frozen ready to eat fried chicken

Freeze-Thawing circle	TBARS(mg MDA/kg)
0 (Control)	1.22 ± 0.78^{a}
1	1.46 ± 0.73^{b}
2	1.49 ± 0.13^{b}
3	1.76 ± 0.87^{c}

Values are shown as mean ± SD. Symbols bearing different letters in the same column are significantly different (p<0.05).

3.3.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่แข็งและทำละลาย (Freeze-Thawing)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไก่ทอดแช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่แข็ง และทำละลายด้วยการทดสอบคะแนนความชอบโดยใช้ 9-point hedonic scale แสดงใน Table 30 จากตารางพบว่า ค่าสีด้านนอก สีภายในกลิ่น ความฉ่ำน้ำความนุ่มเนื้อ รสชาติ และความชอบรวม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p> 0.05$)

Table 30 Sensory score of freeze-thaw of frozen ready to eat fried chicken

Freezing – Thawing cycle	Outside - color	Inner - color	Odor	Juiciness	Tenderness	Flavor	Overall
0(Control)	8.17 ± 0.80^{ns}	8.15 ± 0.57^{a}	8.31 ± 0.71^{ns}	8.43 ± 0.49^{ab}	8.18 ± 0.70^{ns}	8.43 ± 0.63^{ns}	8.41 ± 0.68^{ns}
1	8.16 ± 0.89^{ns}	8.46 ± 0.50^{b}	8.28 ± 0.64^{ns}	8.56 ± 0.56^{b}	8.14 ± 0.67^{ns}	8.47 ± 0.65^{ns}	8.42 ± 0.49^{ns}
2	8.01 ± 0.89^{ns}	8.35 ± 0.50^{ab}	8.26 ± 0.63^{ns}	8.31 ± 0.46^{a}	8.06 ± 0.63^{ns}	8.41 ± 0.73^{ns}	8.31 ± 0.68^{ns}
3	8.02 ± 0.77^{ns}	8.30 ± 0.46^{a}	8.32 ± 0.71^{ns}	8.37 ± 0.48^{a}	8.10 ± 0.77^{ns}	8.45 ± 0.63^{ns}	8.36 ± 0.77^{ns}

Values are shown as mean±SD. Symbols bearing different letters in the same column are significantly different ($p<0.05$).

3.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่แข็งพร้อมบริโภคระหว่างการเก็บรักษา

3.4.1 การวิเคราะห์ค่าสีระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

ผลการวัดค่าสีในผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค โดยผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 4 เดือน ดัง Table 31 พบว่าเมื่อทำการวัดค่าสีภายนอกและภายใน (L^*, a^*และ b^*) ของตัวอย่างที่เก็บรักษา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน ปรากฏว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยสีผิวด้านนอกจะมีความสว่าง (L^*) น้อยกว่า สีผิวด้านใน เช่นเดียวกับค่าสีแดง(a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากลักษณะของเนื้อที่ผ่านการปรุงและมาทำการแช่แข็ง เมื่อเก็บนานขึ้นจะส่งผลให้คุณภาพของเนื้อเสื่อมสลายลงได้มากกว่าเนื้อสด โดยเกิดเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อไก่กับโพรออกซิแดนซ์ (Kristensen and Purslow,2001) ในกลุ่มของฮีมโปรตีน (ไมโอโกลบิน) ส่งผลให้สีด้านนอกมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าสีด้านใน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tymoszczyk (2014) วิเคราะห์ค่าสีจากลูกชิ้นเนื้อไก่งวง (Turkey meatball) โดยตัวอย่างจะถูกนำไปอบและบรรจุในถุงพลาสติกในสภาวะปกติและสูญญากาศ หลังจากนั้นทำการแช่แข็งที่อุณหภูมิ-20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 วัน พบว่าค่าความสว่าง (L) ในช่วง 40-90 วันมีค่าเท่ากับ 59.00±5.22, 59.14±3.50, 59.69±4.08, 59.78±3.25, 59.82±4.15 และ 59.55±3.83 ตามลำดับเช่นเดียวกับค่า (a)

และค่า (b) ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) Rosario และคณะ (2004) ศึกษาค่าสีจากตัวอย่างเนื้อหมูสับทอดที่ผ่านการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 3, 7 และ 10 วัน ผลปรากฏว่าค่าความสว่าง (L) มีค่าลดลง สำหรับค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้นในอัตราที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเวลา 0 วันและ Tironi และคณะ (2010) ศึกษาค่าสีจากตัวอย่างปลากะพงแดงทอดที่ผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิ-15 และ -25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 1, 3 และ 5 เดือนค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

Table 31 Color value of frozen ready to eat fried chicken during storage

Month	**Outside-color**			**Inner-color**		
	*L**	*a**	*b**	*L**	*a**	*b**
0 Control	32.06 ± 1.68^{ns}	12.20±0.84^{ns}	23.12±0.59^{ns}	46.47±0.90^{ns}	1.84± 1.23^{ns}	9.91 ± 0.99^{a}
1	31.06 ± 1.31^{ns}	12.07±1.14^{ns}	23.32±1.02^{ns}	47.15±0.87^{ns}	1.79 ± 1.45^{ns}	10.47±0.72^{ab}
2	31.43 ± 1.55^{ns}	12.26±0.72^{ns}	22.97±1.12^{ns}	47.06±0.99^{ns}	1.72 ± 1.24^{ns}	10.31±1.03^{ab}
3	31.45 ± 1.65^{ns}	12.34±0.82^{ns}	23.10±1.02^{ns}	46.70±0.78^{ns}	1.70 ± 1.18^{ns}	10.84±1.25^{ab}
4	31.86 ± 1.40^{ns}	12.25±1.16^{ns}	22.87±1.06^{ns}	46.57±0.86^{ns}	1.84 ± 1.44^{ns}	11.17±1.14 ^{b}

Values are shown as mean±SD. Symbols bearing different letters in the same column are significantly different (p<0.05).

3.4.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

ผลการวัดค่าเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคที่ระยะเวลาการเก็บรักษา เป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน พบว่าค่าแรงเฉือนที่วัดได้ คือ 3.50 ± 0.66 ถึง 3.89 ± 0.79 Kg และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) ดังแสดงใน Table 32 ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกล้ามเนื้อในกลุ่มไมโอไฟบริลลา ทำให้เนื้อมีลักษณะแข็งมากขึ้นจึงทำให้แรงเฉือนมีค่ามากขึ้นด้วย (Ganhao *et al.,* 2010)

Table 32 Shear value of frozen ready to eat fried chicken during storage

Month	**Shear force (Kg)**

0 (Control)	3.76 ± 0.72^{ns}
1	3.50 ± 0.66^{ns}
2	3.68 ± 0.60^{ns}
3	3.66 ± 0.77^{ns}
4	3.89 ± 0.79^{ns}

Values are shown as mean±SD. Symbols bearing different letters in the same column are significantly different ($p<0.05$).

3.4.3 การหาค่าการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการปรุง (Cooking loss) ระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

ผลการศึกษาการสูญเสียน้ำในผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน พบว่าการสูญเสียน้ำหนัก (Cooking loss) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ดังแสดงใน Table 33 โดยค่าการสูญเสียน้ำหนักในผลิตภัณฑ์ (Cooking loss) มีค่าอยู่ระหว่าง 57.19 ± 1.03 ถึง 57.43 ± 1.01 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาในสภาวะแช่แข็งทำให้โปรตีนโครงสร้างกลุ่มไมโอไฟบริลลาเกิดการเสียสภาพ ดังนั้นโปรตีนจึงสูญเสียความสามารถในการแสดงสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนคือการอุ้มน้ำ เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจึงทำให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักในผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคเพิ่มขึ้นด้วย สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Chueachuaychoo (2010) ศึกษาผลของอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 3, 6 และ 9 วัน ต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก (Cooking loss) ของเนื้อไก่ ผลการทดลองพบว่า เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าการสูญเสียน้ำหนัก (Cooking loss) ก็เพิ่มขึ้นด้วย

Table 33 Cooking loss of frozen ready to eat fried chicken during storage

Month	**Cooking loss (%)**

0 (Control)	57.31 ± 0.89^{ns}
1	57.19 ± 1.03^{ns}
2	57.43 ± 1.01^{ns}
3	57.25 ± 1.04^{ns}
4	57.40 ± 1.51^{ns}

Values are shown as mean ± SD. Symbols bearing different letters in the same column are significantly different ($p<0.05$).

3.4.4 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและไขมันระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

ผลิตภัณฑ์ไก่ทอดที่ผ่านการเก็บรักษาในระยะเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน ผลปรากฏว่า ค่าความชื้นในตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง ร้อยละ 49.20 ± 1.34 ถึง 50.05 ± 1.92 และมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>$ 0.05) ดังแสดงใน Table 34 ซึ่งปริมาณความชื้นและไขมันทั้งหมดจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความชื้นและไขมันที่จะเกิดขึ้นเมื่อทำการแช่แข็งในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง พบว่าอุณหภูมิที่เย็นจัดจะทำให้ความชื้นในเซลล์เคลื่อนที่ด้วย กลไกออสโมซิสและไขมัน ซึ่งไม่สามารถเกิดอันตรกิริยากับโปรตีนที่เสียสภาพได้ ดังนั้นในระหว่างการเก็บรักษาจึงเกิดการขับเคลื่อนของความชื้นและไขมัน บริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ออกสู่สิ่งแวดล้อม จึงทำให้ปริมาณความชื้นและไขมันในตัวอย่างลดลง (Erickson and Hung, 1997) นอกจากนี้ยัง เกิดเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ใน การเก็บรักษาในสภาวะแช่แข็ง ทำให้โปรตีนโครงสร้างกลุ่มไมโอไฟบริลลาที่เป็นองค์ประกอบภายในเนื้อสัตว์เกิดการเสียสภาพ ดังนั้นโปรตีนจึงสูญเสียความสามารถในการแสดงสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนคือการอุ้มน้ำ เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจึงทำให้ค่าการสูญเสียน้ำในผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคเพิ่มขึ้นด้วย (Chueachuaychoo,2010) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Vongsawasdi และคณะ (2008) ศึกษาปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากเก็บรักษาไก่ทอดที่อุณหภูมิ เป็นเวลา 0 ถึง 90 วัน ผลการทดลองสรุปว่า เมื่อเวลาที่ใช้เก็บรักษาตัวอย่างเพิ่มขึ้น พบว่าปริมาณความชื้นในตัวอย่างลดลงด้วยแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>$ 0.05)

ผลการศึกษาปริมาณไขมันในการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค พบว่าปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 4.87± 0.31 ถึง 5.01 ± 0.14 และมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>$ 0.05)

Table 34 Moisture and fat content of frozen ready to eat fried chicken during storage

Month	Moisture (%)	Fat (%)
0 (Control)	50.05 ± 1.92^{ns}	5.01 ± 0.14^{ns}
1	50.01 ± 1.74^{ns}	4.99 ± 0.16^{ns}
2	49.85 ± 1.61ns	4.97 ± 0.18^{ns}
3	49.80 ± 1.39ns	4.89 ± 0.23^{ns}
4	49.20 ± 1.34^{ns}	4.87 ± 0.31^{ns}

Values are shown as mean ± SD. Symbols bearing different letters in the same column are significantly different ($p<0.05$).

3.4.5 การวิเคราะห์ค่า TBARS ระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

ผลการศึกษาพบว่า ค่า TBARS จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจากเดือนที่ 0 ถึง 4 ดัง Table 35 โดยเดือนที่ 0 (Control) คือ 1.37 ± 0.14 มิลลิกรัมมาโลนาลแอลดีไฮด์ ต่อกิโลกรัมและมีอัตราการเพิ่มสูงขึ้นในเดือนที่ 1, 2, 3 และ 4 คือ 1.86 ± 0.18, 2.12 ± 0.19, 2.32 ± 0.26 และ 2.91 ± 0.13 มิลลิกรัมมาโลนาลแอลดีไฮด์ ต่อกิโลกรัมตามลำดับ ($p<$ 0.05) เนื่องจาก ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่แข็งจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมัน ไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อไก่อย่างรวดเร็ว เกิดเป็นสารระเหยง่ายกลุ่มมาโลนาลแอลดีไฮด์ (Malonal aldehyde) ที่มีอยู่ในน้ำมันหรือไขมัน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) มากขึ้นด้วย ดังนั้นตัวอย่างที่มีการออกซิเดชันสูงก็จะมีค่า TBARS สูงด้วยเช่นเดียวกัน Soyer และคณะ (2010) ศึกษาปริมาณ TBARS ในเนื้อหน้าอกไก่ที่ทอดแบบน้ำมันท่วม โดยอุณหภูมิที่ใช้เก็บ -18 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน ผลปรากฏว่าค่า TBARS จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจาก 0, 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 เดือน เช่นเดียวกับการศึกษาในเนื้อหมูสับทอด (Rosario *et al.,* 2004) และการวิเคราะห์ในตัวอย่างลูกชิ้นเนื้อไก่งวง (Turkey meatball) TBARS จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน(Tymoszczyk, 2014)

Table 35 TBARS of frozen ready to eat fried chicken during storage

Month	TBARS (mgMDA/kg)
Control	1.37 ± 0.14^{a}

1	1.86 ± 0.18^{b}
2	2.12 ± 0.19^{c}
3	2.32 ± 0.26^{d}
4	2.91 ± 0.13^{e}

Values are shown as mean ± SD. Symbols bearing different letters in the same column are significantly different ($p<0.05$).

3.4.6 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

ผลการศึกษา ปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค พบว่า การแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์ในระยะเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน พบปริมาณของโปรตีนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยปริมาณโปรตีนในตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง ร้อยละ 44.47± 1.46 ถึง 45.38± 0.71 ($p< 0.05$) ดังแสดงใน Table 36 เนื่องจากในระหว่างกระบวนการเก็บรักษาตัวอย่างจะเกิดกระบวนการออกซิเดชันและการเสียสภาพของโปรตีนที่ส่งผลให้โปรตีนมีความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงส่งผลให้ปริมาณความชื้นและไขมันลดลงด้วย แต่ไม่ได้มีผลทำให้ปริมาณโปรตีนลดลง

Table 36 Protein content of frozen ready to eat fried chicken during storage

Month	**Protein (%)**
Control	45.24 ± 0.53^{ns}

1	44.56 ± 0.91^{ns}
2	44.47 ± 1.46^{ns}
3	45.38 ± 0.71^{ns}
4	45.14 ± 1.90^{ns}

Values are shown as mean ± SD. Symbols bearing different letters in the same column are significantly different ($p<0.05$).

3.4.7 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งที่ผ่านการเก็บรักษา

ผลการทดลองพบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบแก่ผลิตภัณฑ์ในระดับชอบมากในด้านสีด้านนอก สีด้านใน กลิ่น ความฉ่ำน้ำ ความนุ่มเนื้อ รสชาติและความชอบรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดัง Table 37 ดังนั้นการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคที่เวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน ไม่มีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ผลการทดลองสอดคล้องกับ Tymoszczyk (2014) ได้ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ Flavor profile พบว่า ในระหว่างการเก็บรักษาลูกชิ้นเนื้อไก่งวง (Turkey meatball) โดยทำการแช่แข็งเป็นเวลา 0 ถึง 90 วัน และทดสอบชิมในปัจจัยด้านเครื่องเทศรวมทั้งกลิ่นทุกๆ 10 วันพบว่า คะแนนไม่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

Table 37 Sensory score of frozen ready to eat fried chicken during storage

Month	Outside-color	Inner-color	Odor	Juiciness	Tenderness	Flavor	Overall
0	8.18 ± 0.87^{a}	8.19 ± 0.80^{a}	8.31 ± 0.78^{a}	8.39 ± 0.73^{a}	8.17 ± 0.86^{a}	8.43 ± 0.67^{a}	8.38 ± 0.66^{a}

1	8.20±0.85[a]	8.44±0.67[b]	8.28±0.73[a]	8.52±0.58[a]	8.13±0.85[a]	8.49±0.65[a]	8.40±0.70[a]
2	8.04±1.03[a]	8.38±0.70[ab]	8.26±0.84[a]	8.33±0.73[a]	8.09±0.79[a]	8.41±0.70[a]	8.34±0.70[a]
3	8.09±1.08[a]	8.32±0.75[ab]	8.27±0.83[a]	8.31±0.89[a]	8.10±0.82[a]	8.50±0.67[a]	8.33±0.76[a]
4	8.22±0.80[a]	8.35±0.65[a]	8.29±0.68[a]	8.47±0.84[a]	8.14±0.57[a]	8.48±0.59[a]	8.42±0.80[a]

Values are shown as mean ± SD. Symbols bearing different letters in the same column are significantly different ($p<0.05$).

3.4.8 การศึกษาจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา

จากการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ในไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 0 ถึง 4 เดือน พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 10 โคลีนีต่อกรัม จุลินทรีย์ชนิด Coliforms น้อยกว่า 3 MPN/g และ Phychophile น้อยว่า 10 CFU/gโคลิฟอร์ม (Coliform) คือ กลุ่มของแบคทีเรีย แกรมลบ (Gram negative bacteria) ไม่ทนความร้อน สามารถทำลายได้ง่ายด้วยความร้อนระดับการพาสเจอไรซ์ (Pasteurization) ไม่ผลิตเอนไซม์ออกซิเดส (Oxidase negative) แบคทีเรียในกลุ่มโคลิฟอร์มส่วนใหญ่ไม่ใช่จุลินทรีย์ก่อโรค (Non-pathogen) แต่ปริมาณของโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Coliforms bacteria count) ใช้เป็นดัชนีชี้สุขาภิบาลอาหาร (Food sanitation) การพบ โคลิฟอร์มแบคทีเรียในอาหารและน้ำปริมาณมากบ่งชี้ถึงความไม่สะอาดและไม่ถูกสุขลักษณะ Phychophile คือ แบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิต่ำสามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 12-15 องศาเซลเซียส และสามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (Freezing point) ของอาหาร อุณหภูมิต่ำสุดที่เจริญได้อาจถึง -5 องศาเซลเซียส เชื้อกลุ่มนี้เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียอาหารที่เก็บรักษาแบบแช่เย็น (Cold storage) อาหารแช่เยือกแข็ง (Frozen food) หรือระหว่างการหลอมละลายอาหารแช่เยือกแข็ง (thawing) (นิธิยา รัตนาปนนท์ และพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2557)

3.5 ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคที่ผ่านการพัฒนาแล้ว โดยทำการทดสอบแบบ CLT (Central Location Test) กับกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายคือ บุคคลทั่วไปในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยสงขลา จำนวน 150

คน ซึ่งผู้บริโภคเป้าหมายแต่ละคนจะได้รับผลิตภัณฑ์ตัวอย่างคนละ 1 ชิ้นพร้อมน้ำจิ้ม ข้าวเหนียวและหอมเจียว พร้อมแบบทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคคนละ1 ชุด เพื่อใช้เก็บข้อมูลที่มีต่อผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

3.5.1 ข้อมูลเกี่ยวกับผู้บริโภคเป้าหมาย

จากการทดสอบแบบสอบถามจากผู้บริโภคจำนวน 150 คน พบว่ากลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายส่วนใหญ่ร้อยละ 73 เป็นเพศหญิงมีอายุอยู่ในช่วง 20-30 ปี คิดเป็นร้อยละ 42 การศึกษาส่วนใหญ่อยู่ในช่วงปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 79 อาชีพทั้งหมดเป็นนักศึกษา คิดเป็นร้อยละ 79 มีรายได้ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 5001-10,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 67 ดังแสดงใน Table 38

Table 38 Query information about the target consumer of 150 people

General Information	Amount of people	Percent
Sex		

Male	40	27
Female	110	73
Age		
≤ 20 years	56	37
20-30 years	62	42
31-40 years	17	11
≥41 years	15	10
Education Background		
Elementary education	2	1
Secondary education	8	5
Senior High School /	17	12
Vocational Certificate		
Vocational Diploma	0	0
Bachelor's degree	118	79
Others	5	3
Occupation		
Student/College student	118	79
Government employee/	9	6
State Enterprises		
Company Employee	0	0
Business owner	16	11
Others	7	4

Table 38 (cont) Query information about the target consumer of 150 people

General Information	Amount of people	Percent
Monthly Income		

Less than 5,000 baht	30	20
5001-10,000 baht	100	67
10,001 - 15,000 baht	9	6
15,001 - 20,000 baht	11	7
More than 20,000 baht	0	0

3.5.2 การยอมรับของผู้บริโภคภายหลังการทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคหลังทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค พบว่าค่า สีภายนอกได้รับคะแนนการยอมรับชอบมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 42 ค่าสีภายในคะแนนความชอบมากร้อยละ 46.7 ความฉ่ำน้ำชอบมากที่สุด ร้อยละ 40 กลิ่นชอบมากที่สุด ร้อยละ 45.3 ความนุ่มเนื้อชอบมากที่สุด ร้อยละ 37.3 รสชาติมีคะแนนความชอบมากที่สุด ร้อยละ 48 และความชอบรวมผู้บริโภคให้ความชอบส่วนใหญ่อยู่ในระดับชอบมาก คิดเป็นร้อยละ 42 ดังแสดงใน Table 39

Table 39 Sensory score of frozen ready to eat fried chicken product

	Acceptance (%)

Attributes	dislike extremely	dislike very much	dislike moderately	dislike slightly	neither like nor dislike	like slightly	like moderately	like very much	like extremely
Outside - color	0	0	0	0	0	12	13.3	32.7	42
Inner - color	0	0	0	0	1	1	16.7	46.7	35.3
Juiciness	0	0	0	0	0	4	23.3	32.7	40
Odor	0	0	0	0	5.4	5.3	16	28	45.3
Tenderness	0	0	0	0	1	6.7	21.3	34	37.3
Flavor	0	0	0	0	1.4	1.3	11.3	38	48
Overall	0	0	0	0	0	1	9.3	56.7	33.3

บทที่ 4
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 บทสรุป

4.1.1 สารปรุงแต่งเพื่อรักษาคุณภาพของเนื้อไก่และอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดที่เหมาะสมสำหรับผลิตไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคคือ การใช้น้ำเกลือที่มีความเข้มข้น 1% ฉีด เข้าในเนื้ออกไก่ร่วมกับโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.3% และใช้อุณหภูมิทอด 175±5 องศาเซลเซียสโดยสารปรุงแต่งและอุณหภูมิดังกล่าว จะให้คุณสมบัติทางกายภาพ (ค่าสีและเนื้อสัมผัส) คุณสมบัติทางเคมี (ค่าการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการปรุง (Cooking loss) ปริมาณความชื้นและไขมัน) และลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส (สีภายนอกและภายในกลิ่น ความฉ่ำน้ำ ความนุ่มเนื้อรสชาติและความชอบรวม) โดยเฉพาะคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสเรื่องความฉ่ำน้ำเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด

4.1.2 การให้ความร้อนซ้ำ (Reheat) 2 วิธีคือการทอด (Frying) และการให้ความร้อนด้วยเตาอบไมโครเวฟ (Microwave oven) เพื่อคัดเลือกวิธีการให้ความร้อนซ้ำที่ให้ลักษณะของไก่ทอดหลังการแช่เยือกแข็งดีที่สุด พบว่าวิธีการให้ความร้อนซ้ำด้วยไมโครเวฟทำให้เนื้ออกไก่มีค่าแรงตัด 2.39 Kg ค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุง (Cooking loss) ร้อยละ 51.86 ได้รับคะแนนความชอบที่สูงกว่าการให้ความร้อนซ้ำด้วยวิธีการทอดในด้าน สีด้านใน กลิ่น ความฉ่ำน้ำ ความนุ่มเนื้อ รสชาติและความชอบรวม ถึงแม้ว่าค่าสีด้านนอกจะได้รับคะแนนความชอบน้อยว่า แต่เมื่อพิจารณาในหลายปัจจัยเช่น ลักษณะเนื้อสัมผัสทำให้การให้ความร้อนซ้ำแก่ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคด้วยการใช้ไมโครเวฟ ได้รับการคัดเลือกเพื่อนำไปศึกษาในการทดลองตอนต่อไป

4.1.3 ผลของการแช่แข็งและทำละลาย (Freeze-Thawing) ต่อคุณภาพไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค พบว่าการ แช่แข็ง-ทำละลาย (Freeze-Thawing) เป็นระยะเวลา 1, 2 และ3 รอบ เปรียบเทียบกับตัวอย่างชุดควบคุม (ไม่ผ่านการแช่แข็ง-ทำละลาย) ให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกัน

4.1.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ของผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่แข็งพร้อมบริโภคระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน พบว่าคุณสมบัติทางกายภาพ (ค่าสีและเนื้อสัมผัส)ลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส (สีภายนอกและภายใน กลิ่นความฉ่ำน้ำความนุ่มเนื้อรสชาติ และความชอบรวม) และคุณสมบัติทางเคมี (ค่าการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการปรุง (Cooking loss) ปริมาณความชื้นและไขมันและปริมาณโปตีน) ไม่แตกต่างกันยกเว้นปริมาณ TBARS ที่จะเพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณจุลินทรีย์ในไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 0 ถึง 4 เดือน

พบว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 10 โคลีนีต่อกรัม จุลินทรีย์ที่พบเป็นชนิด Coliforms น้อยกว่า 3 MPN/g และ Phychophile น้อยว่า 10 CFU/g

4.1.5 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภคที่ผ่านการพัฒนาแล้ว พบว่าค่าสีภายนอก ค่าสีภายใน ความฉ่ำน้ำ กลิ่น ความนุ่มเนื้อ รสชาติ และความชอบรวมผู้บริโภคให้ความชอบส่วนใหญ่อยู่ในระดับ ชอบมากถึงชอบมากที่สุด

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 การศึกษาชนิดของสารปรุงแต่งที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการรักษาคุณภาพของเนื้อไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค ควรจะเพิ่มสารปรุงแต่งชนิดอื่นด้วยเพื่อใช้เปรียบเทียบในการคัดเลือกหาชนิดสารปรุงแต่งที่เหมาะสมเช่น Bicarbonate, โซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟต (Sodium Acid Pyrophosphate, SAPP) และโซเดียมอีรีโธรเบท (Sodium erythorbate, SE) เป็นต้น

4.2.2 ศึกษาในตัวอย่างไก่ทอด ชิ้นส่วนอื่นที่ได้รับความนิยม เช่น น่องไก่ น่องติดสะโพก หรือเนื้อหน้าอกที่ติดหนัง เพราะส่วนของไขมันจะทำให้ไก่ทอดมีรสชาติดีขึ้น แต่จะมีผลต่อการแปรรูป การเก็บรักษา และการให้ความร้อนซ้ำ

เอกสารอ้างอิง

การประเมินผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตรโดยประสาทสัมผัส. 2010. ประเภทของการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.agro.cmu.ac.th/e_books/605331/five.htm#3.2 (22 ตุลาคม 2554)

ชมภู่ ยิ้มโต. 2550. การถนอมอาหาร. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ

นิธิยา รัตนาปนนท์ และ พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2557. Coliform / โคลิฟอร์ม (ออนไลน์) : สืบค้นจาก : http//www.foodnetwork solution.com/wiki/word/1127/coliform (15 มกราคม 2557)

เบญจรัก วายุภาพ, วราพร ลักษณลม้าย, ชลธิชา เอี่ยมชื่น. ศศิวิมล สุจริต และ วรรัตน์ ใจเจริญธรรมกุล. 2551. การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันที่ใช้ทอดซ้ำสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารทอดประเภทต่างๆ. ว. อาหาร. 38 : 65-73.

ไพศาล วุฒิจำนง และ สุรางค์ กสิสุวรรณ. 2537. รายงานการวิจัยการศึกษากรรมวิธีการแช่เยือกแข็ง การละลายน้ำแข็ง เทคนิคการอบและอายุการเก็บรักษาของขนมพายชั้นแช่เยือกแข็ง. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. หน้า 53.

รัชนี ตัณฑะพานิชกุล. 2547. เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์. *ใน* เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. หน้า 213-233. มหาวิทยาลัยรามคำแหง. กรุงเทพฯ

วิกิพีเดียสารานุกรมเสรี. 2010. Fried chicken (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://th.asiaonline.com/article?article=Popcorn_chicken (20 ธันวาคม 2553)

วิไล รังสาดทอง. 2546. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 3. บริษัทเท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชัน จำกัด. กรุงเทพฯ

สายสนม ประดิษฐดวง. 2540. กระบวนการแช่เยือกแข็งอาหาร. *ใน* วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร. หน้า 131-163. บริษัทเท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พัลลิเคชัน จำกัด. กรุงเทพฯ

Adedeji, A. A., Liu, L. and Ngadi, M. O. 2011.Microstructural evaluation of deep-fat fried chicken nugget batter coating using confocal laser scanning microscopy. J. Food Eng. 102: 49-57.

Adedeji, A. A., Ngadi, M. O., Raghavan, G. S.V. and Wang, Y. 2009. Effect of microwave pretreatment on mass transfer during deep-fat frying of chicken nugget. J. Food Sci. 42: 438 – 440.

Adeedeji, G. S. V., Ngadi., M. O. and Raghavan. 2009. Effect of microwave pretreatment on mass transfer during deep-fat frying of chicken nugget. J. Food Sci. 42: 438– 440.

Alvarado, C., Lalam, S., Sandhu, J. S., Takhar, P. and Thompson, L. D. 2013.Experimental study on transport mechanisims during deep fat frying of chicken nuggets. J. Food Sci. 50: 110 - 119.

Anderson, B. A., Erdogdu, F., Singh, R. P. and Sun, S. 2004. Thawing and freezing of selected meat products in household refrigerators. INT. J. REFRIG. 27: 63 – 72.

AOAC International. 1999. *In* P. Cunniff (Ed.), Official methods of analysis of AOAC International (16^{th}ed.). Giathersburg, MD, USA : AOAC International.

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis: 16thEd. Association of Official Analytical Chemists.

Bacteriological Analytical Manual. 2001. U.S. Department of Health and Human Services. U. S. Food and Drug Administration Center of Food Safety and Applied Nutrition.

Balavi Natural Health Center. 2005. Dangers from cooking oil reuse. (Online) Avaiable: http://www.balavi.com/eng/content_article/a000030.html (9 January 2014)

Barbantia, D. and Pasquini, M. 2005. Influence of cooking conditions on cooking loss and tenderness of raw and marinated chicken breast meat. LWT-Food Sci. Technol. 38: 895 – 901.

Barrufet, M. A. and Moreira, R. G 1998. A new approach to describe oil absorption in fried food: a simulation study. J. Food Eng. 35:1 - 22.

Barbut, S. and Mittal, G.S. 1990. Influence of the freezing rate on the rheological and gelation properties of dark poultry meat. T. Poultry Sci. 69: 827 - 832.

Barutcu, I. Sahin, S. and Sumnu, G. 2009. Effect of microwave frying and different flour types and addition on the microstructure of batter coatings. J. Food Eng. 95:684 - 692.

Beszedes, S., Laszlo, Z., Horvath, Z. H., Szabo, G. and Hodur, C. 2011. Comparison of the effects of microwave irradiation with different intensities on the biodegradability of sludge from the dairy-and meat-industry. J. Bioresource Technol. 102: 814 - 821.

Betti, B., Omana, D. A. and Plastow, G. 2011. Effect of different ingredients on color and oxidative characteristics of high pressure processed chicken breast meat with special emphasis on use of β-glucan as a partial salt replacer. J. Innov. Food Sci. Emerg. 12: 244 – 254.

Bilgin, V., Dalmıs, U., Ozalp, B. and Soyer, A. 2010. Effects of freezing temperature and duration of frozen storage on lipid and protein oxidation in chicken meat. J. Chem.120: 1025 – 1030.

Brown, W. D. and Mebine, L. B. 1969. Autoxidation of oxymyogrobin. J. Biol. Chem. 244: 6696 - 6701.

Bucher, O., Aoust, J. Y. D. and Holley, R. A. 2008. Thermal resistance of *Salmonella serovars* isolatedfrom raw, frozen chicken nuggets/strips, nugget meat and pelleted broiler feed. Int. J. Food Microbiol. 124: 195 - 198.

Buchley, D., J., Galvin, Morrissey, P. A. and Sheehy, P. J. A. 1998.Lipid stability in meat and meat products. Meat Sci. 49: 73 - 86.

Chinga, W. H., Lamb, G. C., Leunga, D. Y. and Leunga, M. 2007. Fluid dynamics and heat transfer in cold water thawing. J. Food Eng. 78: 1221 – 1227.

Choe, E. and Min, D. B. 2007. Chemistry of deep-fat frying oils. J. Food Sci. 72: 77 - 86.

Choi, J. J., Jeong, J.Y., Kim, C. J., Lee, E. S., Paik, H. D. and Yu, L. H. 2005. Effects of thawing temperature on the physicochemical properties of pre-rigor frozen chicken breast and leg muscles. Meat Sci. 71: 375 - 382.

Chueachuaychoo, A. 2010. Quality Changes of Fresh and Processed Spent Hen Pectoralis major Muscles during Chilled and Frozen Storage. Ph. D. Food Technology. Prince of Songkla University

Combes, S., Lepetit, J., Darche, B. and Lebas, F. 2004. Effect of cooking temperatureand cooking time on Warnere Bratzler tenderness measurement and collagen content in rabbit meat. Meat Sci. 66: 91 - 96.

Cuesta, C. Sanchez-Muniz, F. J. Garrido-Polonio, C. Lopez-Varela, S. and Arroyo, R. 1993. Thermooxidative and hydrolytic changes in sunflower oil used in frying with a fast turnover of fresh oil. J. Am. Oil Chem. Soc. 70: 1069 - 1073.

Dana, D. I. and Sam, S. 2006. Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth. J. Adv. Colloid. Interfac. 128: 267 - 272.

Darre, Hansen, E., Hviid, M., Skibsted, L. H. and Trinderup, R. A. 2003. Thaw drip loss and protein chrarization of drip from air-frozen, cryogen-frozen, and pressure-shift-frozen pork long gissimus dorsimus dorsi in relation to ice crystal size. J. Eur. Food Rec. Techno. 218: 2 - 6.

Das, A. K. and Rajkumar, V. 2013. Effect of different fat level on microwave cooking properties of goat meat patties. J. food Sci. Technol. 50: 1206 - 1211.

Dawson, P. L., Shldon, B. W. and Miles, J. J. 1991. Effect of aseptic processing on the texture of chicken meat. J. Poultry sci, 70: 2359 - 2367.

Dziezak, J. D. 1990. Phosphate improve many foods. J. Food Technol. 44: 80 - 90.

Erickson, M. C. and Hung, Y. C. 1997. Moisture Migration and Ice Recystallisation in frozen Food, In Quality in Frozen Food. p. 67 - 163. Chapman & Hall. New York

Fennema, O. R., Powrie, W. D. and Marth, E.H. 1973. Low-temperature preservation of foods and living matter. Marcel Dekker, N. Y.

Fiszman, S. M. and Salvador, A. 2003. Recent development in coating batters. J. Trends. Food Sci Technol. 14: 399 - 407.

Gamble, M. M. and Rice, P. 1987. Effect of pre-fry drying on oil uptake and distribution in potato chip manfacture. J. Food Sci. 22: 535 - 548.

Ganfao, R., Morcuende, D. and Estevez, M. 2010. Tryptophan depletion and formation of -α aminoadipic and γ glutamic semi aldehydes in porcine burger patties with added phenilic- rich fruit extracts. J. Agric. Food Chem. 58: 3541 - 3548.

Garayo, J. and Moreira, R. G. 2002. Vacuum fring of potato chips. J. Food Eng. 55: 181 - 191.

Garcia Arias, M.T., Alvarez Pontes, E., Garcia Linares, M. C., Garcia Fernadez, M. C. and Sanchez Muniz, F. J. 2003. Cooking freezing reheating (CFR) of sardine (Sardina pilchardus) fillet. Food Chem. 83: 349 - 356.

Garcia segovia, P. A., Andres bello, A. and Martinez, J. 2007. Effect of cooking method on mechanical properties, color and structure of beef mucle (M. pectoralis). J. Food Eng. 80: 813 - 821.

Giannou, V., Kessoglou, V. and Tzia, C. 2003. Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough. J. Treans Food Sci. Tech. 14: 99 - 108.

Gonzalez, C. B., Salitto, V. A., Carduza, F. J., Pazos, A. and Lasta, J. A. 2001. Effect of calcium chloride marination on bovine Custaneus trunci muscle. Meat Sci. 57: 251 - 256.

Gunter, H. and Hautzinger, P. 2007. Meat processing technology for small-to mediumscale producers. Food and Agriculture Organization of the United Nations regional office for Asia and the Pacific. Bangkok.

He, H. and Hoseney, R. C. 1990. Change in bread firmness and moisture during long-time storage. J. Cereal Chem. 67: 603 - 605.

Hongxia, D. and Hongjun, L. 2008. Antioxidant effect of Cassia essential oil on deep-freid beef during the frying process. Meat Sci. 78: 461 - 468.

Houhoula. D. P., Oreopoulou, V. and Tzia, C. 2002. A kinetic study of oil deterioration during frying and a comparison with heating. J. Am. Oil Chem Soc. 72: 133 - 137.

Juarez, M., Failla, S., Ficco, A., Pena, F., Aviles, C. and Polvillo, O. 2010. Buffalo meat composition as affected by different cooking methods. J. Food Bioprod Process. 88: 145 - 148.

Juneja, A. and Vijay, K. 2006. Delayed Clostridium perfringens growth from a spore inocula by sodium lactate in sous-vide chicken products. J. Food Microbiology. 23: 105 – 111.

Kassama, L.S. and Ngadi, M.O. 2005. Pore structure charaterization of deep-fat-fried chicken meat. J. Food Eng. 66: 369 - 375.

Kerry, J. F., Kerry, J. P., Sullivan, M. G. O. and Yusop, S. M. 2010 .Effect of marinating time and low pH on marinade performance and sensory acceptability of poultry meat. Meat Sci. 85: 657 – 663.

Kristensen, L. and Purslow, P. P. 2001. The effect of processing temperature and addition of monoand di valent salt on the heme iron ratio in meat. Food. Chem. 73: 433 - 443.

.Krokida, M. K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z. B. and Marinos-Kouris, D. 2001. Color changes during deep fat frying. J. Food Eng. 48: 219 - 225.

Kummerow, F. A., Leszczynski, D. E. and Pikul, J. 1985. Oxidation products in chicken meat after frozen stored, microwave and convection oven cooking, refrigeration, and reheating. Poultry Sci. 64: 93 - 100.

Lawson, H. W. 1985. Standards for Fats and Oils. AVI Publishing Company, Inc. Westport.

Le, B. A., Grinand, C., Cleach, S. L., Martinez, S. and Quilin, E. 1999. Influence of storage condition on frozen French bread dough. J. Food Eng. 39: 289 - 291.

Leygonie, C., Britz, T. J. and Hoffman, L. C. 2012. Meat quality comparison fresh and frozen/thawed ostrich Miliofibularis. Meat Sci. 91: 364 - 368.

Li, B. and Sun, D.W. 2002. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods –A review. J. Food Eng. 54: 175 – 182.

Li, C., Gao, F., Wang, D., Xu, W. and Zhou, G. 2013. Effect of final cooked temperature on tenderness, protein solubility and microstructure of duck breast muscle. J. Sci. 51: 266 - 274.

Li, Y., Ngadi, M. and Oluka, S. 2007. Quality change in chicken nuggets fried in oil with different degrees of hydrogenation. LWT. 40: 1874 - 1789.

Liao, G. Z., Wang, G. Y., Xu , X. L. and Zhou, G. H. 2010. Effect of cooking methods on the formation of heterocyclic aromatic amines in chicken and duck breast. Meat Sci. 85: 149 – 154.

Mackay, S. 2000. Techniques and types of fat used in deep fat frying. *In* The heart foundation of New Zealand. P. 49 - 50.

Math, R. G., Velu, V., Nagender, A. and Rao, D. G. 2004. Effect of frying conditions on moisture, fat, and density of papad. J. Food Eng. 64: 429 - 434.

McMillin, K. W. 2008. Where is MAP going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. Meat Sci. 80: 43 - 65.

Mellema, M. 2003. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried food. J. Trends. Food Sci Technol. 14: 364 - 373

Melton, S. L., Jafar, S., Sykes, D. and Trigiano, M. K. 1994. Review of stability measurements of frying oils and fried food flavor. J. Am. Oil Chem. Soc. 71: 1301 - 1308.

Michael, N., Yunsheng, L. and Sylvester, O. 2007. Quality changes in chicken nuggets fried in oils with different degrees of hydrogenatation. J. LWT. 40: 1784 - 1791.

Mittal, G. S. and Paul, S. 1996. Dynamics of fat/oil degration during frying base on optical properties. J. Food Eng. 19: 201 - 221.

Moeller, S. J., Miller, R. K., Aldredge, T. L., Logan, K. K., Box-Steffensmeier, J. M. and Stahl, C. A. 2010. Trained sensory perception of pork eating quality as affected by fresh and cookied pork quality attributes and end-point cooked. Meat Sci. 85: 96 - 103.

Mua, J. P. and Jackson, D. S. 1998. Retrogradation and gel texture attibutes of corn starch amylose and amylopectin frations. J. Ceareal Sci. 27: 157 - 166.

National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods. 2007. Response to the questions-posed by the food safety and inspection service regarding consumer guidelines for the safe cooking of poultry products. J. Food Prot. 70: 251 – 260.

Nawar, W. W. 1996. Lipid. *In* Food Chemistry. (Fenema, O. R., ed.). p. 225 - 319. Marcle Dekker, Inc. New York.

Nayak, R., Kenney, PB., Slider, S., Head, M. K. and Killeter, J. 1998. Myofibrillar protien solubility of model beef batters as affected by low levels of calcium magnesium and zinc chloride. J. Food Sci. 63: 951 - 954.

Ngadi, M. O., Wang, Y., Adedeji, A. A. and Raghavan, G. S. V. 2009. Effect of microwave pretreatment on mass transfer during deep-fat frying of chicken nugget. LWT- Food Sci. Technol. 42: 438 - 440.

Nikmaram, P., Yarmand, M. S., Emamjomeh, Z. and Darehabi, H. K. 2011.The effect of cooking methods on texture and microstructure properties of veal muscle (Longissimus dorsi). Glob Veter. 6: 201 - 207.

Nummer, B. A., Schaffner, D. and Shrestha, S. 2009. Sensory quality and food safety of boneless chicken breast portions thawed rapidly by submersion in hot water. J. Food Control. 20: 706 - 708.

Nute, R. I., Perry, A. A., Richardson. and Sheard, P. R. 1999. Injection of water and polyphosphate into pork to improve juiciness and tenderness after cooking. Meat Sci. 51: 371 - 376.

O'Brien, R. D. 2009. Raw materials.*In* Fats and Oils: Formulating and Processing for Applications. 3 nd ed. (O' Brien, R. D., ed.). p. 1-66. CRC Press. New York.

Orthoefer, F. T. 1996. Rice bran oil.*In* Edible Oil & Fat Products: Oils and oil seeds. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. Vol. II. 5th ed. (Hui, Y. H., ed.). p. 393 - 409. A Wiley Interscience Publication, Inc. New York.

Paine, F. A. and Paine, H. Y. 1992.Frozen foods. *In* A handbook of food packaging. P. 248 - 264. Blackie Academic& Professional. New York.

Paul, S. and Mittal, G. S. 1997. Regulating the use of degraded oil/fat in deep-fat/oil food frying. J. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 37: 635 - 662.

Pegg, R. B. 2005. Spectrophotometric measurement of secondary lipid oxidation products.*In* Handbook of Food Analytical Chemistry. (Wrolstad, R.E., Acree, T.E., Decker, E.A ., Penner, M. H., Reid, D.S., Schwartz, S.J., Shoemaker, C. F. ,Smith, D. M. and Sporns,P. eds.). John Wiley and Sons, Inc., Hoboken.

Przybylski, R. and Eskin, N. A. M. 1988.A comparative study on the effectiveness of nitrogen or carbon dioxide flushing in preventing oxidation during the heating of oil. J. Am. Oil Chem. Soc. 65: 629 - 633.

Rogers, E. J., Rice, S. M., Nicolosi, R. J., carpenter, D. R., McClelland, C. A. and Romanczyk, L. J. 1993. Identification and quantitation of gamma-oryzanol components and simultaneous assessment of tocols in rice bran oil. J. Am. Oil Chem. Soc. 70: 301 - 307.

Roldan, M., Antequera, T., Perez-Palacios, T. and Ruiz, J. 2014. Effect of added phosphate and type of cooking method on physic-chemical and sensory features of cooked lamb loins. Meat Sci. 97: 69 - 75.

Romero, A., Cuesta, C. and Sanchez-Muniz, F. J. 1998.Effect of oil replenishment during deep fat frying of frozen foods in sunflower oil and high-oleic acid sunflower oil. J. Am. Oil Chem. Soc. 75: 161 - 167.

Rosario-Ramirez, M., Morcuende, D., Estevez, M. and Cava, R. 2004. Effects of the type of frying with culinary fat and refrigerated storage on lipid oxidation and colour of fried pork chops. Food Chem. 88: 85 - 94.

Rosen, C. G. 1972. Effects of microwaves on food and related materials. J. Food Technol. 9: 345 - 356.

Rousseau, D. R. and Marangoni, A. G. 1998. Chemical interesterification of food lipid: Theory and Practice. *In* Food Lipids Chemistry, Nutrition, and Biotechnology. (Akoh, C. C. and Min, D. B., eds.). p. 251 - 282. Marcel Dekker. New York.

Saguy, I. S. and Dana, D. 2003. Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. J. Food Eng. 56: 143 - 152.

Salunkhe, D. K., Chavan, J. K., Adsule, R. N. and Kadam, S. S. 1992. Oil palm. *In* World oilseeds: Chemistry, Technology and Utilization (Salunkhe, D. K., ed.). p. 217 - 248. Van Nostrand Reinhold. New York.

Salunkhe, D. K., Sathe, S. K. and Reddy, N. R. 1982. Legume lipids. *In* Chemistry and biochemistry of food legumes. (Arora, S. K., ed.). p. 52. Oxford and IBH, New Delhi.

Sanchez-Muniz, F. J., Cuesta, C., Lopez-Varela, M. C., Garrido-Polonio, M. C. and Arroyo, R. 1993. Evaluation of the thermal oxidation rate of sunflower oil using various frying methods.In Proceeding of World Conference on Oilseed and Technology and Utillzation. Applewhite, T. H. (ed.). p. 448 - 452. Am. Oil Chem. Soc., Champaign.

Sensoy, I., Sahin, S. and Sumnu, G. 2013. Microwave frying compared with conventional frying via numerical simulation. J. Food. Bioprocess Tech. 6: 1414 - 1419.

Sheard, P. R. and Tali, A. 2004. Injection of salt, tripolyphosphate and bicarbonate marinade solutions to improve the yield and tenderness of cooked pork loin. Meat Sci. 68: 305 - 311.

Sheard, P. R., Nute, G. R. Richardson, R. I. Perry, A. and Taaylor, A. A. 1999. Injection of water and polyphosphate into pork to improve juiciness and tenderness after cooking. Meat Sci. 51: 371 - 376.

Singh, R. P. 1995. Heat and mass transfer in food during deep-fat frying. J. Food Technol. 45: 68 - 71.

Somboonpanyakul, P., Barbut, SH. and Chinprahast, N. 2007. Texture and sensory quality of poultry meat batter containning malva nut gum, salt and phosphaste. LWT-Food Sci. Technol. 40: 498 - 505.

Soyer, A., Ozalp, B., Dalmis, U. and Bilgin, V. 2010. Effects of freezing temperature and duration of frozen storage on lipid and protein oxidation in chicken meat. Food Chem. 120: 1025 - 1030.

Theno, D. M., Siegel, D. G. and Schmidt, G. R. 1978. Meat massaging: Effects of salt and phosphate on the ultrastructure of cured porcine muscle. J. Food Sci. 43: 488 - 492.

Thorvaldsson, K. and Skjoldebrand, C. 1996. Water transport in meat during reheating. J. Food Eng. 29: 13 - 21.

Tironi, V., Lamballerie, M. D. and Le-Bail, A. 2010. Quality changes during the frozen storageof seabass (Dicentrarchus labrax) muscle after pressure shift freezing and pressure assisted thawing . J. Innov Food Sci. Emerg. 11: 565 - 573.

Torley, P. J., Bruce, R. A. and Trout, R. C. 2000. The effect of ionic strength, polyphosphates type, pH, cooking temperature and preblending on the functional properties of normal and pale, soft, exudative (PSE) pork. Meat Sci. 55: 451 - 462.

Tornberg, E. 2005. Effects of heat on meat proteins e implications on structure and quality of meat products. Meat Sci. 70: 493 - 508.

Trout, G. R. and Dale, S. 1990. Prevention of warmed-over flavor in cooked beef: effect of phosphate type, phosphate concentration, a lemon juice/phosphate blend, and beef extract.J. Agric. Food Chem. 38: 665 - 669.

Tymoszczyk, M. K. 2014. The effect of antioxidants, packaging type and frozen storage time on the quality of cooked turkey meatball. Food Chem. 148: 276 - 283.

United States Department of Agro - Food Safety Inspection Service. 2006. Focus on: Chicken (ออนไลน์). สืบค้นจาก http://www.fsis.usda.gov/Fact_Sgeets/ Chicken_Food_Safety_Focus/index.asp. (10 ตุลาคม 2553)

United States Food and Drug Administration. 2005. Food code 3.501.13 (ออนไลน์). สืบค้นจาก http://www.cfsan.fda.gov/~acrobat/fc05-3.pdf. (10 ตุลาคม 2553)

Utrera, M., Armenteros, M., Ventanas, S., Solano, F. and Estevez, M. 2012. Pre-freezing raw hams affects quality traits in cooked hams: Potential influence of protein oxidation. Meat Sci. 92: 596 - 603.

Warner, K. and Nelsen, T. 1996. AOCS collaborative study on sensory and volatile compound analysis of vegetable oils. J. Am. Oil Chem. Soc. 73: 157 - 166.

Wichachuchoet, S. 2010. Some factor affecting on the quality of chicken fried oil. M. Sc. Food Science and Technology. Prince of Songkla University.

Xiong, Y. L. 1997. Protein denaturation and functionality losses. *In* Quality in frozen food. (Erickson, M. C. and Hung, Y., eds.). p. 111 - 140. Chapman& Hall. New York.

Xiong, Y. L. 2000. Protien oxidation and implications for muscle foods quality. *In* Antioxidants in muscle foods: nutritional strategies to improve quality. p. 85 - 112

Yamaoka, M., Carrillo, M. J. H., Nakahara, T. and Komiyama, K. 1991. Antioxidative activities of tocotrienols on phosphatelipid liposomes. J. Am. Oil Chem. Soc. 68: 114 - 118.

Yamsaengsung, R. 2001. Deep-Fat-Frying. Department of Chemical Unit Operation: Deep-Fat-Frying Department of Chemical Engineering, Prince of Songkla University.

Yu, L. H., Lee, E. S. Jeong, J. Y. Paik, H. D., Choi, J. H. and Kim, C. J. 2005. Effect of thawing temperature on the physicochemical of pre-rigor frozen chicken breast and leg muscles. Meat Sci. 71: 375 - 382.

Zayas, J. F. 1997. Solubility of protein.*In* Functionality of proteins in food. P. 6 - 75. Springer Verlag. Heidelberg.

Zhang, W. and Jackson, D. S. 1992. Retrogradation behavior of wheat starch gels with differing molecular profiles. J. Food Sci. 57: 1428 - 1432.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC., 2000)

เครื่องมือ และอุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. โถดูดความชื้น (desiccator)
4. ภาชนะอะลูมิเนียมมีฝาปิด (moisture can)

วิธีการ

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105±2°ซเป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนัก
2. ทำซ้ำเช่นข้อที่ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ประมาณ 1-2 กรัม ใส่ลงในภาชนะหาความชื้น ซึ่งทราบน้ำหนักแล้ว
4. นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105±2°ซเป็นเวลาประมาณ 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนักจากนั้นนำกลับเข้าไปในตู้อบอีกครั้ง
5. ทำซ้ำเช่นข้อที่ 4 จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
6. คำนวณปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{(W_1 - W_2) \times 100}{W_1}$$

กำหนดให้ W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม) การวิเคราะห์

2. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC., 2000)

เครื่องมือ และอุปกรณ์

1. อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (soxhlet apparatus) ประกอบด้วยขวดก้นกลม (สำหรับใส่ตัวทำละลาย) ซอคเลต (soxhlet) อุปกรณ์ควบแน่น (condenser) และเตาให้ความร้อน (heating mantle)

2. หลอดใส่ตัวอย่าง (extraction thimble)

3. สำลี

4. ตู้อบลมร้อน (hot air oven)

5. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

6. โถดูดความชื้น (desiccator)

สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether)

วิธีการ

1. อบขวดก้นกลมสำหรับหาปริมาณไขมัน ซึ่งมีขนาดบรรจุ 250 มิลลิลิตร ในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 ± 2°ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้นปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของขวดก้นกลมลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก

2. ทำซ้ำเช่นข้อที่ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

3. ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนักประมาณ 1-2 กรัม ห่อให้มิดชิด แล้วใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง คลุมด้วยสำลีเพื่อให้สารตัวทำละลายมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ

4. นำหลอดตัวอย่างใส่ลงในซอคเลตเติมสารตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในขวดหาไขมันประมาณ 150 มิลลิลิตร แล้ววางบนเตาให้ความร้อน

5. ทำการสกัดไขมันเป็นเวลา 14 ชั่วโมง โดยปรับเตาความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นตัวจากอุปกรณ์ควบแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที

6. เมื่อครบ 14 ชั่วโมงแล้ว นำหลอดใส่ตัวอย่างออกจากซอคเลต และกลั่นเก็บสารทำละลายจนเหลือสารทำละลายในขวดก้นกลมเพียงเล็กน้อยด้วยเครื่องระเหยสูญญากาศ

7. นำขวดหาไขมันอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80-90°ซ จนแห้งใช้เวลาประมาณ 30 นาที นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของขวดก้นกลมลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก

8. ทำซ้ำเช่นข้อที่ 7 จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

9. คำนวณหาปริมาณไขมันจากสูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{W_2 \times 100}{W_1}$$

กำหนดให้ W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักไขมันหลังอบ (กรัม)

3. การวิเคราะห์ค่าสี

อุปกรณ์

เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Flex

การวิเคราะห์

1. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเข้าสู่โปรแกรมสำเสร็จรูปโดยทำการเลือก start » program » Hunter Lab » Universal V 3.73

2. ทำการ Calibrate เครื่องวัดค่าสีด้วยแผ่นสีมาตรฐาน ดังนี้

2.1 เลือก Standardize เลือกขนาด Port 0.5 นิ้ว

2.2 วางแผ่นสีมาตรฐานสีดำ โดยวางด้านสีดำมัน ลงบน Port

2.3 วางแผ่นสีมาตรฐานสีขาว โดยใช้จุดสีขาวบนแผ่นสีอยู่กึ่งกลาง Port

3. กำหนดค่าในการวัด โดยเลือก Active view เลือกคำสั่งต่างๆดังนี้

3.1 Scale เลือก CIE Lab เพื่อให้เครื่องวัดค่าสีในระบบ Hunter Lab (ค่าที่วัดได้จะเป็นค่า L*, a*และ b*)

3.2 เลือกค่าแหล่งกำเนิดเสียง (Illuminant) และค่าแสงแหล่งอ้างอิง (MI Illuminant) กับ D65

3.3 เลือกองศาการมอง (observer) 2° หรือ 10°

3.4 แหล่งแสงอ้างอิง (MI : Illuminant) เลือกเช่นเดียวกับแหล่งกำเนิดแสง

4. วางตัวอย่างลงบน Port ให้ปิดรูของ Port สนิท

5. ปิดฝาครอบ เพื่อไม่ให้เกิดแสงรบกวนจากภายนอก

6. เริ่มวัดค่าสีโดยเลือก Read sample และรอจนเครื่องอ่านค่าสี

4. การวัดเนื้อสัมผัส (Dowson *et al.*, 1991)

การเข้าโปรแกรม Texture Expert

1. เปิด Stabilizer และกดปุ่มสีแดง (Reset) ก่อนเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์

2. ทำการเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่อง Texture analyzer

3. Double click ที่ Icon ของ Texture Expert English

4. Click เลือก User name เป็น Food จากนั้น Click ที่ปุ่ม OK

5. Click ที่

ปุ่ม Restart ปรากฏหน้าจอพร้อมใช้งานโปรแกรม Texture Expert

6. Click ที่แถบเมนู T.A. จากนั้น Click เลือก Calibrate Force

7. ตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีหัววัด และตัวอย่างอยู่ที่ฐานของเครื่อง Texture analyzer จากนั้น Click ที่ปุ่ม OK

8. รอจนหน้าจอปรากฏข้อความว่าให้วางตุ้มหนัก 5 kg. บน T.A.'s Calibration Platform

9. วางตุ้มน้ำหนัก 5 kg. ที่ตำแหน่ง T.A.'s Calibration Platform บนตัวเครื่อง Texture analyzer

10. Click ที่ปุ่ม OK

11. รอจนหน้าจอปรากฏข้อความว่า "Calibrate Successful"

12. ยกตุ้มน้ำหนักลงจาก T.A.'s Calibration Platform

13. Click ที่ปุ่ม OK

อุปกรณ์

1. Blade Holder

2. Warner - Bratzler Blade

3. Slotted Blade Insert

4. HDP Table

วิธีการวัด

1. ต่อ Warner-Bratzler Blade เข้ากับ Blade Holder

2. ต่อ Blade Holder เข้ากับแขนสำหรับต่อหัววัดของเครื่อง texture analyser

3. ต่อ HDP Table เข้ากับฐานเครื่อง

4. วาง Slotted Blade Insert บน HDP Table

5. Click ที่แถบเมนู T.A. จากนั้น Click เลือก Calibrate Probe

6. ตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีตัวอย่าง หรือสิ่งของวางทิ้งไว้ที่ฐานเครื่อง กดปุ่ม Fast และปุ่ม ↓ที่คีย์บอร์ดของเครื่อง texture analyser เพื่อเลื่อนตำแหน่งของหัววัดให้มาอยู่ใกล้กับฐานเครื่อง

7. กำหนดระยะทางในการเคลื่อนที่กลับไปของหัววัด เมื่อหัววัดสัมผัสกับฐานเครื่องแล้ว โดยใช้ความสูงของตัวอย่างที่ต้องการวัดเป็นเกณฑ์ (ให้ระยะทางมากว่าความสูงของตัวอย่างเล็กน้อย)

8. Click ที่ปุ่ม OK รอให้หัววัดเคลื่อนลงสัมผัสกับฐานวางตัวอย่างแล้วเคลื่อนกลับขึ้นไปเป็นระยะทางเท่ากับที่กำหนดไว้

9. Click ที่แถบเมนู T.A. จากนั้น Click เลือก T.A. settings

10. ปรากฏหน้าจอสำหรับกำหนดตัวแปรเพื่อสั่งงานเครื่อง ทำการกำหนดตัวแปรต่างๆ Click ที่ปุ่ม update

11. Click ที่แถบเมนู T.A. จากนั้น Click เลือก Run a Test

12. ปรากฏหน้าจอสำหรับระบุรายละเอียดในการวัดตัวอย่าง ทำการระบุรายละเอียดต่างๆ วางชิ้นตัวอย่าง (เนื้อไก่) บน Slotted Blade Insert

13. กดปุ่ม Fast และปุ่ม ↓ที่คีย์บอร์ดของเครื่อง texture analyser เพื่อเลื่อนตำแหน่งของ Warner-Bratzler Blade ให้มาอยู่ใกล้กับตัวอย่าง Click ที่ปุ่ม OK

14. Warner-Bratzler Blade จะเคลื่อนที่ตัดตัวอย่างด้วยความลึก 30 มิลิเมตร แล้วจะเคลื่อนออกจากตัวอย่างกลับสู่ตำแหน่งเดิม

15. เมื่อการวัดเสร็จสิ้นลง จะปรากฏกราฟ

16. เมื่อจะทำการวัดตัวอย่างต่อไป ให้เช็ดเศษตัวอย่างออกจาก Warner-Bratzler Blade และนำตัวอย่างขึ้นวาง

17. Click แถบเมนู T.A. จากนั้น Click เลือกQuick Test Run

18. เครื่องจะทำการวัดตัวอย่างโดยมีรายละเอียดและตำแหน่งการเก็บข้อมูลเหมือนเดิม

วิธีการอ่านค่า

1. Click ที่แถบเมนู Goto ⟶ Min Time

2. Click ที่แถบเมนู Process Data ⟶ Anchor

3. Click ที่แถบเมนู Goto ⟶ Max Force

4. ใส่ค่าแรง 100% กด Ok

5. Click ที่แถบเมนู ProcessData ⟶ Mark Force

6. ค่าแรงอ่านได้คือค่า firmness ของตัวอย่าง

7. Click ที่แถบเมนู ProcessData ⟶ Mark Distance

8. ค่าระยะทางที่อ่านได้คือ แรงต้านการตัดที่ผิวหน้าของตัวอย่าง

9. Click ที่แถบเมนู GoTo ⟶ Specified Force

10. ใส่เป็นแรง 0.0 g

11. Click ที่แถบเมนู ProcessData ⟶ Anchor

12. Click ที่แถบเมนู ProcessData ⟶ Area

13. ค่าพื้นที่ที่อ่านได้คือ งานที่ต้องใช้ในการตัดตัวอย่างเป็นระยะทาง 30 mm.

5. การวัดค่า Thiobarbituric acid-reactive substance (TBARS) (Trout and Dale, 1990)

อุปกรณ์

1. หลอดทดลอง พร้อมฝาเกลียว
2. บีกเกอร์ขนาด 15 มิลลิลิตร
3. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
4. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
5. เครื่องเหวี่ยงแยก

สารเคมี

สารละลาย TBARS : ผสมกรดไทโอบาบิทูริก 0.0375กรัม กรดไตรคลอโรอะซีติก 15 กรัม และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.25 โมลาร์ จำนวน 0.875 มิลิลิตรให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรจนได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 15มิลลิลิตร แล้วผสมกับสารละลาย TBARS 2.5 มิลลิลิตร หลังจากนั้นโฮโมจิไนส์เป็นเวลา 2 นาที

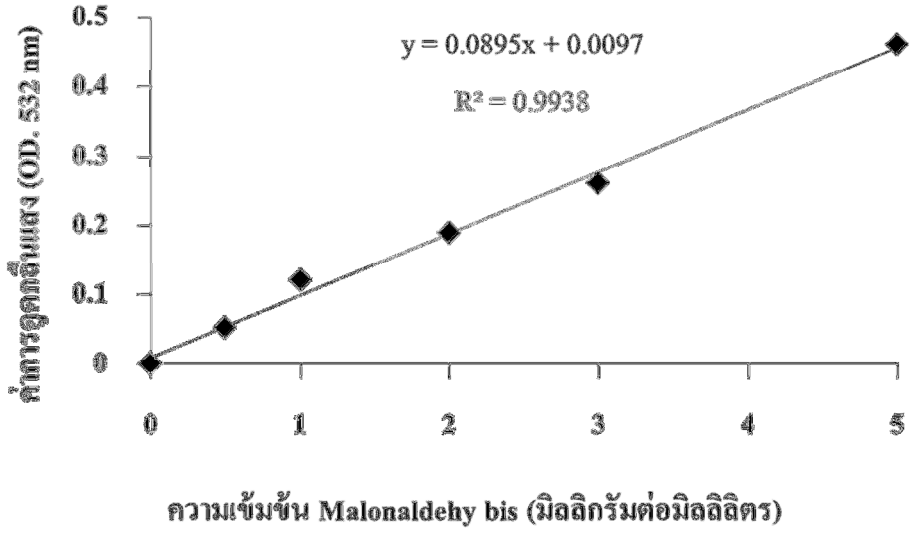
2. เทตัวอย่างในหลอดทดลอง แล้วนำไปวางในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 95-100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที

3. ทำให้เย็นโดยนำหลอดทดลองให้ไหลผ่านน้ำเป็นเวลา 2 นาที

4. นำตัวอย่างไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็ว 3600 g นาน 2 นาที

5. นำสารละลายใสที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ 532 นาโนเมตร

6. เตรียมกราฟมาตรฐานโดยใช้ Malonaldehy bis (dimethyl acetal) (MDA) ที่ความเข้มข้นจาก 0 ถึง 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรและแสดงผลค่า TBARS ในรูปของมาโลอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมของตัวอย่าง



Appendic Figure 1 Standard curve for determining Marlon aldehyde, Malonaldehy bis (dimethyl acetal)

6. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธี Kjeldahl Method (AOAC., 2000)

อุปกรณ์

1. เครื่องกลั่นโปรตีน
2. หลอดย่อยโปรตีนขนาด 250-300 มิลลิกรัม
3. เตาย่อยโปรตีน
4. บิวเรตขนาด 25 มิลลิลิตร
5. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
6. ปิเปต
7. เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. สารเร่งปฏิกิริยา: คอปเปอร์ซัลเฟต (Cu_2SO_4) 1 ส่วนต่อโปแตสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 9 ส่วน
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 40% (น้ำหนักโดยปริมาตร)
4. สารละลายกรดบอริก (H_3BO^3) เข้มข้น 4% (น้ำหนักโดยปริมาตร)

5. สารละลายอินดิเคเตอร์: นำเมทิลเรด (Methyl red) ความเข้มข้น 0.1% ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ผสมกับโบรโมครีซอลกรีน (Bromocresol green) ความเข้มข้น 0.2% ในสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 95% ปริมาณ 200 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 0.5-1 กรัม ใส่ในหลอดย่อยโปรตีน
2. เติมสารเร่งปฏิกิริยา 5 กรัม และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร
3. นำไปย่อยบนเตาย่อยโปรตีนจนได้สารละลายสีฟ้าใส
4. ทิ้งไว้ให้เย็นและเติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร
5. จัดอุปกรณ์กลั่น
6. นำขวดชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมกรดบอริก 40 มิลลิลิตร และอินดิเคเตอร์ 1 หยด แล้วนำไปรองรับของเหลวที่กลั่นได้โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มอยู่ในสารละลายกรด
7. นำขวดรูปชมพู่ออกแล้วล้างปลายของอุปกรณ์ควบแน่นด้วยน้ำกลั่นลงในขวดแล้วไตรเตรทสารละลายที่กลั่นได้ด้วยสารละลายกรดเกลือเข้มข้น 0.02 นอร์มอล ซึ่งเมื่อไตรเตรทสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง
8. ทำ Blank ด้วยวิธีเดียวกัน ตั้งแต่ข้อ 2-6

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{(A-B) \times N \times 1.4007 \times \text{Factor}}{W}$$

โดยที่ A = ปริมาณสารละลายกรดเกลือที่ใช้ไตรเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาณสารละลายกรดเกลือที่ไตรเตรทกับ blank (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือ (นอร์มอล)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

1.4007 = น้ำหนักสมมูลของไนโตรเจน

Factor = 6.25

ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์

การวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดโดยวิธีStandard plate count แบบ Pour plate (AOAC, 1999)

อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Plate count agar (PCA)
2. สารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.85

อุปกรณ์

1. เครื่องตีป่นไฟฟ้า (Stomacher)
2. อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างอาหาร 10 กรัม ใส่ในจานเลี้ยงเชื้อที่ฆ่าเชื้อแล้วด้วยวิธีปราศจากเชื้อ
2. นำตัวอย่างอาหารและสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.85 ปริมาณ 90 มิลลิลิตร เทลงในถุงพลาสติกเพื่อตีป่นด้วยเครื่องตีป่นไฟฟ้า โดยใช้ความแรงระดับปานกลางเป็นระยะเวลา 1 นาที ตัวอย่างอาหารจะมีระดับความเจือจาง 1:10
3. เจือจางอาหารด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.85 ปริมาณ 9 มิลลิลิตร ให้มีระดับความเจือจางที่ต้องการ (1:100, 1:1000)
4. ปิเปตตัวอย่างอาหาร 1 มิลลิลิตร จากแต่ละระดับความเจือจาง 3 ระดับ ระดับละ 3 ซ้ำ ลงในจานเพาะเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว
5. เททับด้วยอาหาร PCA ประมาณ 15 มิลลิลิตร
6. หมุนจานเพาะเชื้อเบาๆ แลวตั้งทิ้งให้อาหารแข็งตัวประมาณ 15 นาที
7. บ่มจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ในลักษณะคว่ำจานเพาะเชื้อเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง
8. ตรวจนับจำนวนโคโลนีจากจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนประมาณ 30–300 โคโลนีและรายงานผลเป็นจำนวน Colony Forming Unit (CFU)/กรัมตัวอย่าง

การคำนวนจำนวนCFU/กรัมตัวอย่าง คำานวณ

CFU =ค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนี X ระดับความเจือจาง

ภาคผนวก ค แบบสอบถามสำหรับวิเคราะห์การยอมรับของผู้บริโภค

1. แบบสอบถามการยอมรับของผู้บริโภคไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

ข้อมูลของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. ลักษณะทางประชากรศาสตร์

1.1 เพศ ☐ชาย ☐ ☐หญิง

1.2 อายุ
☐ต่ำกว่า 20 ปี
☐ 21 – 30 ปี
☐ 31 – 40 ปี
☐ อายุ 41 ปีขึ้นไป

1.3 อาชีพ
☐รับราชการ / รัฐวิสาหกิจ
☐ พนักงานบริษัท
☐ ค้าขาย / ธุรกิจส่วนตัว
☐ นักเรียน / นักศึกษา
☐ อื่นๆ.....

1.4 การศึกษา
☐ประถมศึกษา
☐ มัธยมต้น
☐ มัธยมปลาย / ปวช.
☐ อนุปริญญา / ปวส.
☐ ปริญญาตรี
☐ อื่นๆ.....

1.5 รายได้ต่อเดือน
☐ น้อยกว่า 5,000 บาท
☐ 5,001 – 10,000 บาท
☐ 10,001 – 15,000 บาท
☐ 15,001 – 20,000 บาท
☐ มากกว่า 20,000 บาท

2. แบบสอบถามการยอมรับของผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ไก่ทอดแช่เยือกแข็งพร้อมบริโภค

การทดสอบ 9 - Point Hedonic Scale

วันที่……

ให้ ผู้ชิมประเมินตัวอย่างจำนวน 1 ตัวอย่าง โดยการเขียนหมายเลขรหัสของตัวอย่างอาหารลงบนช่องที่กำหนดระดับ ความชอบหรือไม่ชอบที่มีต่อตัวอย่าง

9 = ชอบมากที่สุด	8 = ชอบมาก	7 = ชอบปานกลาง
6 = ชอบเล็กน้อย	5 = เฉย ๆ	4 = ไม่ชอบเล็กน้อย
3 = ชอบปานกลาง	2 = ไม่ชอบมาก	1 = ไม่ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะที่ประเมิน

สีด้านนอก .....

สีด้านใน .....

กลิ่น .....

ความฉ่ำน้ำ ……

ความนุ่มเนื้อ ……

รสชาติ ……

ความชอบรวม .....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

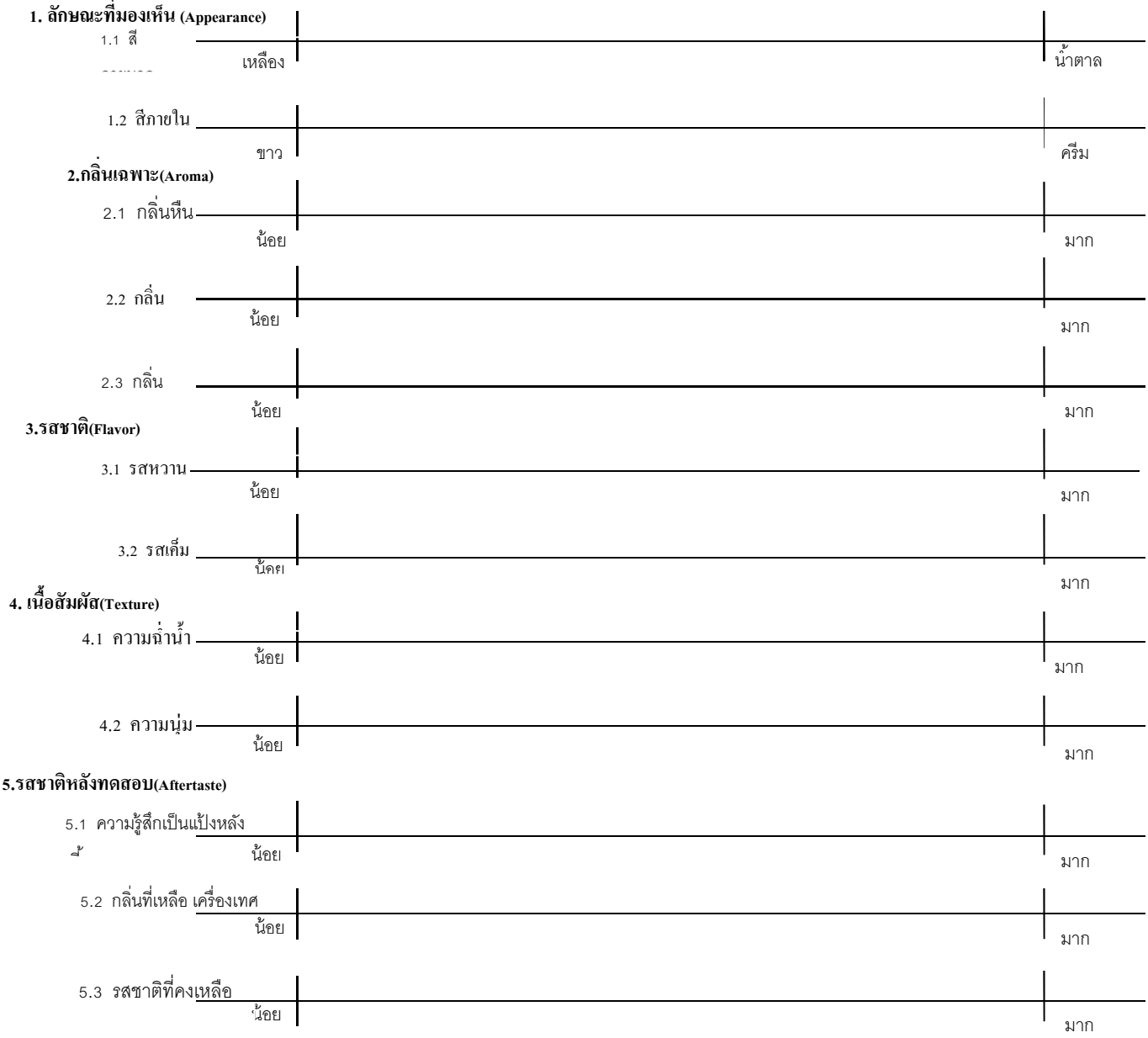
หมายเหตุ : ลักษณะของไก่ทอดจะมีน้ำตาลแดง กลิ่นหอมเครื่องเทศ เนื้อนุ่ม รสชาติ เค็มเล็กน้อย

3. การวิเคราะห์ประเภทการพรรณนาเชิงปริมาณ (QDA)

ชื่อ.....วันที่.....รหัส.....

โปรดทดสอบชิมตัวอย่างไก่ทอดและตอบคำถามแต่ละคำถาม และให้ขีดเส้นตรงในแนวตั้งบนเส้นตรงที่กำหนดให้ในแต่ละตำแหน่งที่อธิบายคุณสมบัติของตัวอย่างได้ดีที่สุด รับการนำเสนอตัวอย่างให้เพียงพอ และเวลาพอเพียงในการประเมินในแต่ละลักษณะ

หลังจากที่ท่านตอบคำถามทั้งหมดแล้ว คืนแบบสอบถาม ตัวอย่างและรอคอยตัวอย่างต่อไปถ้าท่านมีคำถามใดๆ ต้องการไก่ทอดเพิ่ม หรืออื่นๆโปรดถามผู้ทดลองได้



ข้อเสนอแนะ

.....

.....