



การเตรียมและการใช้ประโยชน์ผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิจากเนื้อไก่และเศษเหลือ
Preparation and Utilization of Surimi-like from Chicken Meat and by-products

อารีย์ โต้ะเต็ม

Aree Tokdem

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Food Technology
Prince of Songkla University**

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์	การเตรียมและการใช้ประโยชน์ผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิจากเนื้อไก่และ เศษเหลือ
ผู้เขียน	นางสาวอารีย์ โตะเต็ม
สาขาวิชา	เทคโนโลยีอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	คณะกรรมการสอบ
.....ประธานกรรมการ
(ดร.เสาวคนธ์ วัฒนจันทร์)	(ดร.พิทยา อุดลยธรรม)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมกรรมการ
.....	(ดร.เสาวคนธ์ วัฒนจันทร์)

.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.สุทนต์ วัฒนกุล)	(ศาสตราจารย์ ดร.สุทนต์ วัฒนกุล)

.....กรรมการ
	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวรรณ ถาวรชินสมบัติ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การเตรียมและการใช้ประโยชน์ผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิจากเนื้อไก่และเศษเหลือ
ผู้เขียน	นางสาวอารีย์ โตะเต็ม
สาขาวิชา	เทคโนโลยีอาหาร
ปีการศึกษา	2551

บทคัดย่อ

ผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิ (surimi-like) เตรียมจากเนื้อหน้าอก (BM) และเนื้อเศษเหลือจากการตัดแต่งเนื้อไก่ (FT) โดยใช้วิธีในการผลิตเหมือนซูริมิจากเนื้อปลา การล้างเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือด้วยสารละลายต่างๆ คือ น้ำประปา (WAT) สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.1 M (SALT) หรือ สารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 M พีเอช 7.2 (BUF) พบว่าการล้างมีผลทำให้ปริมาณความชื้น คอลลาเจนทั้งหมด โปรตีนไมโอไฟบริล และพีเอช เพิ่มขึ้น แต่ปริมาณโปรตีนไขมัน และเถ้า ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม จากการศึกษารูปแบบและน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนโดย SDS-PAGE พบว่าการล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์และสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ มีจำนวนแถบโปรตีนในช่วง 36 kDa ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและตัวอย่างที่ล้างด้วยน้ำ การล้างด้วยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ มีผลทำให้ค่า Z^* ของซูริมิจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือสูงสุด (76.6 และ 66.8) ค่า a^* และ b^* ลดลงต่ำสุด (4.1 และ 3.4) (18.9 และ 18.3) ตามลำดับ และจากการเตรียมเจล พบว่าตัวอย่างเจลจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่ล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ มีค่าแรงก่อนเจาะทะลุสูงสุด (582.4 กรัม และ 422.5 กรัม ตามลำดับ) ส่วนตัวอย่างที่ล้างด้วยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์มีค่าแรงก่อนเจาะทะลุต่ำสุด (370.9 กรัม และ 285.3 กรัม ตามลำดับ) แต่การล้างเนื้อทั้งสองชนิดด้วยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ มีค่าระยะทางก่อนเจาะทะลุสูงสุด (11.5 มิลลิเมตร และ 13.3 มิลลิเมตร ตามลำดับ) สอดคล้องกับลักษณะโครงสร้างทางจุลภาค โดยพบว่าเจลที่เตรียมจากเนื้อที่ผ่านการล้างด้วยน้ำประปาและสารละลายโซเดียมคลอไรด์ มีลักษณะโครงข่ายร่างแหที่เป็นระเบียบ โครงข่ายร่างแหเชื่อมต่อกันแน่นและความหนาของเส้นใยโปรตีนมากขึ้น

เมื่อศึกษาสภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสมกับการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่ระดับ 30-70 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ตามด้วยการให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ให้ค่าแรงก่อนเจาะทะลุสูงสุด (792.5 กรัม และ 533.5 กรัม สำหรับเจลซูริมิจากเนื้อ

หน้าอกและเนื้อเศษเหลือ ตามลำดับ) เมื่อศึกษาถึงอัตราส่วนผสมระหว่างผลิตภัณฑ์เลียนแบบชูริมิ จากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือ (BM:FT) ต่อคุณภาพของชูริมิเจต พบว่าเมื่ออัตราส่วนลดลง (10:0-1:9) มีผลทำให้ ค่า L^* และ a^* ของชูริมิเจตค่อยๆลดลง ส่วนค่า b^* ค่อยๆเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ค่าแรงก่อนเจาะทะลุของตัวอย่างเจตมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ จาก 683.5 กรัม เหลือ 278.3 กรัม ส่วนระยะทางก่อนเจาะทะลุมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 9.1 มิลลิเมตร เป็น 11.6 มิลลิเมตร

เมื่อนำชูริมิผสมจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่อัตราส่วน 9:1 7:3 3:7 และ 2:8 มาใช้เป็นสารเชื่อมในเนื้อไก่จืดรูปที่ร้อยละ 5 10 และ 15 พบว่า ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุกเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม แต่การเติมชูริมิผสมที่ร้อยละ 10 และ 15 ลดค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุกเมื่อเทียบกับการเติมที่ร้อยละ 5 การใช้ชูริมิผสมที่อัตราส่วน 9:1 และ 7:3 ที่ระดับร้อยละ 15 มีผลให้ค่าแรงเนียนของเนื้อไก่จืดรูปสูงกว่าการเติมที่อัตราส่วนอื่นๆ ซึ่งค่าแรงเนียนจะอยู่ในช่วง 1426.7-1345.1 กรัม เมื่อทำการวัดค่าทางลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis) พบว่าการเติมชูริมิผสมมีผลลดค่าความแข็ง และเพิ่มความยืดหยุ่นของเนื้อไก่จืดรูป โดยที่ร้อยละ 10 และ 15 ค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น ความยืดเกาะ และความเหนียวของเนื้อไก่จืดรูป มีค่าไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) ชูริมิผสมที่อัตราส่วนและระดับการใช้ต่างๆ ไม่มีผลต่อค่า L^* และ b^* ของเนื้อไก่จืดรูป โดยมีค่า L^* ในช่วง 79.1-77.1 ค่า b^* อยู่ในช่วง 16.9-15.7 แต่มีผลลดค่า a^* อย่างเห็นได้ชัดโดยการใช้ที่ระดับสูงขึ้นไปมีผลลดค่า a^* ลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การทดสอบทางประสาทสัมผัสเนื้อไก่จืดรูปที่เติมชูริมิผสมที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ร้อยละ 10 และที่อัตราส่วน 2:8 ร้อยละ 15 พบว่า คะแนนความชอบในด้านสี ลักษณะปรากฏ การยืดเกาะและการเชื่อมตัวของชิ้นเนื้อ การแตกของชิ้นเนื้อ และความชอบรวม ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) อย่างไรก็ตามการใช้ชูริมิผสมที่อัตราส่วน 2:8 ที่ร้อยละ 15 มีคะแนนความชอบในทุกลักษณะสูงกว่าชุดการทดลองอื่น เมื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาค พบว่าการเติมชูริมิลงไปผลิตภัณฑ์เนื้อไก่จืดรูปจะเกิดการเชื่อมติดกัน โดยมีลักษณะของเนื้อชูริมิแทรกอยู่ตามช่องว่างระหว่างชิ้นเนื้อ และบางส่วนของเคลือบบนผิวชิ้นเนื้อทำให้มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน โดยเฉพาะการใช้ชูริมิผสมที่อัตราส่วน 2:8 ที่ระดับร้อยละ 15 ส่วนชุดควบคุมที่เติมเกลือ ชิ้นเนื้อไก่จะเกิดการเชื่อมติดกันระหว่างชิ้นเนื้อเพียงอย่างเดียว

Thesis Title	Preparation and Utilization of Surimi-like from Chicken Meat and by-products
Author	Miss Aree Tokdem
Major Program	Food Technology
Academic Year	2008

ABSTRACT

Surimi-like prepared from chicken breast muscle (*Pectoralis major*); (BM) and flake boneless meat trimming; (FT) was based on the process for surimi production. The effects of washing solutions: tap water (WAT), 0.1M sodium chloride (SALT) or sodium phosphate buffer pH 7.2 (BUF) on chemical compositions of meat raw materials were studied. Washing increased moisture, total collagen and myofibrillar protein contents and pH ($P < 0.05$) but decreased protein, fat and ash contents of samples ($P < 0.05$), compared to those found in unwashed sample. The SDS-PAGE protein pattern of washed samples with SALT and BUF solutions showed a decreased in protein molecular weight of 36 kDa compared to unwashed and WAT washed samples. Washing with BUF solution yielded surimi-like from BM and FT with the highest L^* value (BM; 76.6 and FT; 66.8) but the lowest a^* , b^* value (BM; 4.1 and FT; 3.4), (BM; 18.9 and FT; 18.3). Surimi-like gel prepared from BM and FT washed with SALT solution had the highest breaking force (BM; 582.4 g and FT; 422.5 g, respectively) while those washed with BUF processed the lowest breaking force (BM; 370.9 g and FT; 285.3 g) and the highest deformation of surimi-like gel (BM; 11.5 mm and FT; 13.3 mm). Microstructure of surimi-like gel washed with WAT and SALT solutions had the regular aggregated structure and more fibrous matrix.

The effect of gel setting temperatures 30°C to 70°C and ratio of BM:FT (9:1, 8:2, 7:3, 5:5, 3:7, 2:8 and 1:9) on gel properties was investigated. Surimi-like gel set at 60°C for 30 min, followed by heating at 90°C for 20 min had the highest breaking force (BM; 792.5 g and FT; 533.5 g), compared with samples from other conditions. The effect of mixing ratio between BM and FT surimi from 10:0 to 1:9 on quality of surimi-like gel were studied. Color L^* and a^* value of surimi-like gel decreased but b^* increased when the mixing ratio of BM:FT was decreased

($P < 0.05$). The breaking force of surimi-like gel decreased from 683.5 g to 278.3 g while deformation increased from 9.1 mm to 11.6 mm with decreasing FT ratio.

The utilization of mixed BM:FT surimi-like (at ratio 9:1, 7:3, 3:7 and 2:8) as a binder in restructure chicken meat product at 5, 10 and 15% was investigated. Binding with mixed BM:FT surimi-like resulted in higher cooking loss of restructure chicken meat as compared to the control ($P < 0.05$). However, cooking loss of product decreased when mixed BM:FT was used at higher level (10-15%). At mixing ratio of 9:1 and 7:3 with 15%, higher shear value of restructure chicken meat was obtained (1,426.7-1,345.2 g) as compared to the other treatments. Texture profile analysis of the restructured product as affected by the binder was determined. The decrease in hardness with an increase in springiness was found in the restructured chicken meat bound with mixed BM:FT surimi-like. However, using mixed BM:FT surimi-like at 10-15% showed no significant difference in hardness, springiness, cohesiveness and adhesiveness of the restructured chicken meat. Mixing ratio and binding percentage of surimi-like had no influence on L^* and b^* of the restructured chicken meat but resulted in decreased a^* value ($P < 0.05$) as binding percentage increased. Sensory evaluations of the restructured chicken meat bound with mixed BM:FT surimi-like at 10% and 15% were determined. The sensory score on color, appearance, cohesiveness, separation, and overall liking for all treatments were not significantly different ($P > 0.05$). However, the restructured chicken meat bound with 15% BM:FT surimi-like (2:8) showed the highest score for all sensory characteristics. Microstructure of the restructured chicken meat was examined by using SEM. The results showed that surimi-like could combine and cover the pieces of chicken meat, resulting in more strengthening structure of the restructured meat.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีนั้น ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.เสาวคนธ์ วัฒนจันทร์และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ศาสตราจารย์
ดร.สุทธวัฒน์ เบญจกุล ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำในการค้นคว้าวิจัย และตรวจทานแก้ไขการ
เขียนวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณประธานกรรมการสอบ ดร.พิทยา อุดลยธรรม
และกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวรรณ ถาวรชินสมบัติ ที่ตรวจทานและให้คำแนะนำ
ในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร และบัณฑิต
วิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยและค่าใช้จ่ายระหว่างการศึกษา
นอกจากนี้ขอขอบพระคุณบริษัท แมน เอ โฟรสเซนฟูคส์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ ใส้เซลล์โลส
เพื่อใช้เป็นวัสดุในการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบุคลากรคณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือใน
การทดลอง รวมทั้งการให้คำแนะนำในการปฏิบัติงาน

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่เป็นกำลังใจในการศึกษา ขอบคุณพี่ๆ และ
น้องๆ ที่คอยให้กำลังใจในระหว่างการทำทดลองและการเขียนวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ

อารีย์ ไต้ะเต็ม

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ.....	(8)
LIST OF TABLES.....	(12)
LIST OF FIGURES.....	(13)
บทที่	
1. บทนำ.....	1
บทนำตั้งเรื่อง.....	1
การตรวจเอกสาร.....	2
1. เนื้อไก่.....	2
1.1 ลักษณะทางโภชนาการ.....	2
1.2 ปริมาณการผลิต.....	3
1.3 ปริมาณการบริโภคเนื้อไก่ในประเทศไทย.....	4
1.4 ปริมาณการส่งออก.....	5
2. การใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้และเศษเหลือ.....	6
3. โปรตีนกล้ำเนื้อ.....	7
3.1 โปรตีนไมโอไฟบริล.....	7
3.2 โปรตีนซาร์โคพลาสมิก.....	9
3.3 โปรตีนสโตรมา.....	9
4. สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนกล้ำเนื้อ.....	10
5. ผลของสภาวะการแปรรูปต่อโปรตีน.....	11
5.1 ผลของความร้อนต่อโครงสร้างและพันธะภายในของโปรตีน.....	11
5.2 ผลของความร้อนต่อการเกิดเจลโปรตีนกล้ำเนื้อ.....	13
6. การสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนกล้ำเนื้อ.....	17
6.1 ความร้อน.....	17
6.2 สภาวะความเป็นกรดหรือเบส.....	18
6.3 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอออน.....	18
7. ชูริมิและผลิตภัณฑ์เลียนแบบชูริมิ.....	20
	(8)

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
7.1 ชูริมิ.....	20
7.2 ผลึกภัณฑ์เลียนแบบชูริมิ.....	21
8. การล้าง.....	22
9. ลักษณะและคุณภาพของน้ำที่ใช้.....	24
10. ระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ.....	26
11. ปริมาณเกลือที่เติมลงไปในเรื่องต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ.....	26
12. สารประกอบฟอสเฟต.....	27
13. กลไกการเกิดเจลและการเซตตัวของเจลโปรตีน.....	30
13.1 การสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน.....	30
13.2 การจับเรียงตัวของโปรตีน.....	31
13.3 พันธะที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลของชูริมิ.....	32
13.4 การให้ความร้อน.....	33
14. ผลึกภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป.....	35
14.1 เนื้อขึ้นรูป.....	35
14.2 กลไกการขึ้นรูป.....	36
14.3 กรรมวิธีการผลิตเนื้อขึ้นรูป.....	36
14.4 กระบวนการผลิตเนื้อขึ้นรูป.....	37
14.5 ปัจจัยที่มีผลในการขึ้นรูป.....	39
วัตถุประสงค์.....	42
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ.....	43
วัสดุ.....	43
อุปกรณ์.....	43
วิธีการทดลอง.....	44
1. ศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตผลึกภัณฑ์เลียนแบบชูริมิจาก เนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือจากโรงงานแปรรูปเนื้อไก่.....	44
1.1 การเตรียมวัตถุดิบ.....	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
1.2 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ.....	45
2. ศึกษาผลของการล้างด้วยสารละลายต่อคุณภาพของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิ.....	45
2.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี.....	47
2.2 ศึกษาลักษณะทางกายภาพ.....	47
2.3 ตรวจสอบสมบัติการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิ.....	48
2.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ.....	49
3. ศึกษาสภาวะการให้ความร้อนและอัตราส่วนระหว่างผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิจากเนื้ออกและเนื้อเศษเหลือต่อความสามารถในการเกิดเจล.....	49
3.1 ศึกษาสภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสมกับการเกิดเจล.....	49
3.2 ศึกษาอัตราส่วนระหว่างผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือต่อความสามารถในการเกิดเจล.....	50
3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ.....	50
4. ศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิผสมจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือเป็นสารยึดเกาะขึ้นเนื้อในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่ขึ้นรูป.....	51
4.1 การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์เนื้อไก่ขึ้นรูป.....	51
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ.....	52
3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	53
1. คุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิ.....	53
1.1 องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของวัตถุดิบ.....	53
2. ผลของสารละลายที่ใช้ล้างต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิ.....	54
2.1 ผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิที่ทำจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือ.....	54
2.2 ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิที่ทำจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือ.....	60

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 สมบัติการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิ.....	62
3. ศึกษาสภาวะการให้ความร้อนและอัตราส่วนระหว่างผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิ จากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศเหลือต่อความสามารถในการเซตตัวของเจล.....	68
3.1 สภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสมกับการเกิดเจล.....	68
3.2 อัตราส่วนระหว่างผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศ เหลือต่อความสามารถในการเซตตัวของเจล.....	71
4. ผลการใช้ผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิผสมจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศเหลือเป็น สารยึดเกาะขึ้นเนื้อในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่ขึ้นรูป.....	74
4.1 ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุก.....	74
4.2 ค่าแรงเฉือน.....	75
4.3 ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยวิธี Texture Profile Analysis.....	76
4.4 ค่าสี.....	78
4.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ.....	79
4.6 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาค.....	81
4. สรุป.....	83
เอกสารอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก.....	102
ก การวิเคราะห์ทางกายภาพ.....	103
ข การวิเคราะห์ห้อยค์ประกอบทางเคมี.....	107
ค การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	122
ประวัติผู้เขียน.....	139

LIST OF TABLES

Table	Page
1. Chemical compositions of different parts of chicken.....	3
2. Quantity consuming of chicken meat in Thailand.....	5
3. The quantity and exported value of chicken meat of Thailand in year 1997-1998.....	5
4. Effect of some factors on gelation property of protein.....	11
5. Properties of interactions stabilizing the secondary, tertiary and quaternary structures of proteins.....	12
6. Conformational changes which may occur during the thermal denaturation of nature.	14
7. Thermal transition temperature (T1, T2, T3) and total enthalpy of transition (ΔH) of chicken breast muscle treated with phosphates.....	19
8. Proximate compositions of chicken breast muscle and flake boneless meat trimming.	54
9. Chemical compositions of surimi-like from chicken breast muscle (BM) and flake boneless meat trimming (FT) washed with different solutions.....	57
10. Color L^* , a^* , b^* values of surimi-like from chicken breast muscle (BM) and flake boneless meat trimming (FT) washed with different solutions.....	61
11. Color L^* , a^* , b^* values of surimi-like gel from chicken breast muscle (BM) and flake boneless meat trimming (FT) washed with different solutions.....	64
12. Color L^* , a^* , b^* values of surimi-like gels prepared from various ratio of BM:FT and heating at 60°C for 30 min, following at 90°C for 20 min.....	71
13. Texture of restructured chicken meat binding with various ratio of mixed surimi, BM:FT (9:1, 7:3, 3:7, 2:8) at 5, 10 and 15 percent.....	77
14. Color L^* , a^* , b^* values of restructured chicken meat binding with various ratio of mixed surimi, BM:FT (9:1, 7:3, 3:7, 2:8) at 5, 10 and 15 percent.....	78
15. Sensory evaluation (9-point hedonic scale) of restructured chicken meat binding with various ratio of mixed surimi, BM:FT (9:1, 7:3, 3:7, 2:8) at 10 and (2:8) at 15 percent.....	80

LIST OF FIGURES

Figure		Page
1.	The amount and productions of chicken meat of Thailand during year 2545-2551.....	3
2.	Quantity consuming of chicken meat in Thailand and quantity consuming per person per year.....	4
3.	Molecular structure of myosin.....	8
4.	Composition structure of thin filament.....	9
5.	Changes of protein structure during heat treatment.....	13
6.	Myosin gelation induced by heating.....	16
7.	Thermal transition of chicken breast muscle treated with 2.0% NaCl 0.25% sodium pyrophosphate and 0.50% sodium tripolyphosphate.....	20
8.	Flow diagram preparation of surimi-like from chicken breast muscle and flake boneless meat trimming.....	47
9.	Chicken breast muscle (BM) after stored at -20°C.....	53
10.	Flake boneless meat trimming (FT) after stored at -20°C.....	53
11.	SDS-PAGE pattern of surimi-like from chicken breast muscle (BM) and flake boneless meat trimming (FT) washed with different solutions.....	60
12.	pH of surimi-like gels from chicken breast muscle (BM) and flake boneless meat trimming (FT) washed with different solutions.....	62
13.	Cooking loss of surimi-like gels from chicken breast muscle (BM) and flake boneless meat trimming (FT) washed with different solutions.....	63
14.	Breaking force and deformation of surimi-like gels from chicken breast muscle (BM) and flake boneless meat trimming (FT) washed with different solutions.....	65
15.	Microstructure of surimi gel from chicken breast muscle (BM) and flake boneless meat trimming (FT) washed with different solutions.....	67
16.	Breaking force and deformation of surimi-like gels from chicken breast muscle (BM) and flake boneless meat trimming (FT) washed with SALT solutions with different heating conditions.....	70

LIST OF FIGURES (CONTINUED)

Figure		Page
17.	Cooking loss of surimi-like gels prepared from various ratio of BM:FT with 2 stepped heating at 60°C for 30 min, following at 90°C for 20 min.....	72
18.	Breaking force and deformation of surimi-like gels prepared from various ratio of BM:FT with 2 stepped heating at 60°C for 30 min, followed by at 90°C for 20 min....	73
19.	Cooking loss of restructured chicken meat binding with various ratio of mixed surimi, BM:FT (9:1, 7:3, 3:7, 2:8) at 5, 10 and 15 percent.....	75
20.	Shear force of restructured chicken meat binding with various ratio of mixed surimi, BM:FT (9:1, 7:3, 3:7, 2:8) at 5, 10 and 15 percent.....	76
21.	Microstructure of restructured chicken meat binding with various ratio of mixed surimi, BM:FT (9:1, 7:3, 3:7, 2:8) at 10 and (2:8) at 15 percent.....	82

บทที่ 1

บทนำ

บทนำตั้งเรื่อง

ปัจจุบันการบริโภคเนื้อสัตว์ปีกในประเทศไทยและทั่วโลกเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้อุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อสัตว์ปีกขยายตัวอย่างกว้างขวาง ในปี 2548 พบว่าการส่งออกไก่เนื้อและผลิตภัณฑ์มีมูลค่าเพิ่มขึ้นถึง 19,164,805,615 บาท (กรมปศุสัตว์, 2548) ผลจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมแปรรูปไก่เนื้อดังกล่าวก่อให้เกิดเศษชิ้นเนื้อไก่ระหว่างการแปรรูปเพิ่มขึ้นซึ่งเศษชิ้นเนื้อที่เหลือเหล่านี้ ยังมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษชิ้นเนื้อไก่จำนวนมากที่จะต้องมีการนำผลพลอยได้และของเหลือจากการแปรรูปมาใช้ประโยชน์มีการศึกษาโดยนำเศษเหลือจากการตัดแต่งหรือเนื้อที่คุณภาพต่ำและราคาถูกมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิ (Yang and Froning, 1992) ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป (restructured meat) (McCormick *et al.*, 1993) และผลิตภัณฑ์อื่นๆ โดยจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีและมูลค่าสูงขึ้น

ซูริมิกำเนิดขึ้นที่ประเทศญี่ปุ่นเป็นวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ลูกชิ้นปลา ปลาก้อน ไส้กรอกปลา เบอเกอร์ปลาและทอดมันปลา เป็นต้น (Suzuki, 1981) โดยนำเนื้อปลามาสับละเอียดแล้วใช้น้ำล้างเอาส่วนประกอบอื่นๆออกไปเหลือไว้เฉพาะโปรตีนไมโอไฟบริลเข้มข้นจากกล้ามเนื้อปลาแล้วผสมสารป้องกันการเสียดสภาพธรรมชาติของโปรตีนเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง (cryoprotectant) ซูริมิปกติจะทำมาจากเนื้อปลาสีขาว เช่น ปลา Alaska Pollack และปลาอื่นๆอีกหลายชนิดซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมกันอย่างแพร่หลายและความนิยมนี้นำไปสู่การศึกษาพัฒนาประยุกต์การผลิตซูริมิจากเนื้อแดงและเนื้อสัตว์ปีกที่เรียกว่าผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิ (surimi-like) (จักรี ทองเรือง, 2539)

ผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้วัตถุดิบพวกเนื้อและเศษเหลือ เช่น เนื้อที่ติดตามข้อหรือกระดูกที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้โดยผ่านเครื่องรีดแยก (Mechanically Debone Meat; MDM) เนื้อที่แยกออกได้ด้วยมือ (Hand Boned Meat; HBM) พวกอวัยวะและเครื่องใน เป็นต้น ซึ่งจะมีวิธีการในการผลิตเหมือนกับซูริมิจากปลา โดยจะเป็นการยกระดับคุณภาพของเนื้อเศษเหลือขึ้นมาส่วนมากจะนำไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เพื่อทดแทนเนื้อแดงในบางส่วน เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป snack food นักเก็ต ไส้กรอกชนิดที่มีไขมันต่ำ เนื้อสัตว์เทียม เป็นต้น (Park *et al.*, 1996) ซึ่งจะเห็นว่าคู่ทางทางการตลาดของผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิจาก

เนื้อและเศษเหลือเหล่านี้มีขนาดที่ค่อนข้างยาวไกล ความสนใจในการใช้ประโยชน์จากเศษเหลือ เป็นสิ่งกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาขั้นตอนกระบวนการผลิตให้มีลักษณะคล้ายกับซูริมิจากปลา โดยอาศัยคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนไมโอไฟบริลในการทำผลิตภัณฑ์เพราะโปรตีนไมโอไฟบริลที่เข้มข้นเมื่อได้รับความร้อนจะทำให้เกิดเจลที่แข็งแรง ยืดหยุ่นและทำให้เกิดการเชื่อมกันของชิ้นเนื้อสุกที่เพียงพอ Chen และ Trout (1991a) พบว่าสามารถใช้ซูริมิเป็นตัวเชื่อมในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณลักษณะเนื้อสัมผัสตามความต้องการของผู้บริโภค ดังนั้นจึงต้องการศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบ (เนื้อเศษเหลือจากโรงงานแปรรูปเนื้อไก่) กระบวนการผลิตซูริมิ สภาพการเกิดเจลที่เหมาะสม และศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิเป็นสารยึดเกาะชิ้นเนื้อ (binder) ในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่ขึ้นรูปเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์จากเนื้อไก่อีกประเภทหนึ่ง

การตรวจเอกสาร

1. เนื้อไก่

1.1 ลักษณะทางโภชนาการ

สัตว์ปีกเศรษฐกิจที่นำมาใช้เป็นอาหารที่เกี่ยวข้องในชีวิตประจำวันของมนุษย์และได้รับความนิยมนมากที่สุด คือ ไก่ (อาวธ ดันโซ, 2538) ซึ่งกว่า 20 ปีมาแล้วปริมาณการบริโภคเนื้อสัตว์คิดเป็นจำนวนประชากรต่อคนพบว่านิยมบริโภคเนื้อไก่มากเป็นสัดส่วนถึง 2 เท่าของการบริโภคเนื้อวัว เนื้อสุกรและปลา (Dubberley, 2006) เนื้อไก่เป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่มีไขมันต่ำกว่าเนื้อสุกรและเนื้อโคให้พลังงาน 165 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม (สุวรรณ เกษตรสุวรรณ, 2529) มีกรดไขมันทั้งชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว โดยทั่วไปเนื้อไก่ไม่เหนียว เคี้ยวหรือบดง่าย ย่อยง่าย กลืนรสกลมกลืนเข้ากันได้กับเครื่องปรุงหรืออาหารต่างๆ ได้ดี องค์ประกอบทางเคมีของไก่ทั้งตัวโดยเฉลี่ยประกอบด้วยน้ำร้อยละ 74.0 โปรตีนร้อยละ 19.0 ไขมันร้อยละ 5.0 และเถ้าร้อยละ 0.8 (สุวรรณ เกษตรสุวรรณ, 2529) สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของไก่ในแต่ละส่วน พบว่าในส่วนของเนื้อขาวจะมีปริมาณโปรตีนสูงสุด เนื้อดำจะมีปริมาณโปรตีนลดลงและมีปริมาณไขมันมากกว่าเมื่อเทียบกับส่วนของเนื้อขาว ส่วนหนังไก่ เครื่องในและ Mechanically Separated Chicken; MSC พบว่ามีปริมาณโปรตีนต่ำและไขมันสูง (Heerden, *et al.*, 2002) (Table 1)

Table 1. Chemical compositions of different parts of chicken.

Percentage	Skin	White muscle	Dark muscle	Entrail	MSC*
Water	44.37	74.01	72.47	69.64	69.12
Lipid	45.20	2.91	8.91	16.93	15.18
Protein	10.57	23.29	19.16	11.22	13.93
Ash	0.51	1.11	1.00	1.76	1.16

Source : Modified from Heerden *et al.* (2002)

Note : * MSC : Mechanically Separated Chicken

1.2 ปริมาณการผลิต

เนื้อไก่เป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญ มีปริมาณการผลิตคิดเป็นร้อยละ 93.02 ของสินค้าปศุสัตว์เมื่อเปรียบเทียบกับสินค้าปศุสัตว์อื่นๆของไทย ปริมาณการผลิตไก่เนื้อในประเทศไทยในช่วง 6 ปีที่ผ่านมา (ปี พ.ศ. 2545-2550) พบว่าประเทศไทยมีปริมาณการผลิตไก่เนื้อไม่ต่ำกว่า 1 ร้อยล้านตัว ณ วันที่ 1 ม.ค. ของทุกปีและนับตั้งแต่ปี 2548 เป็นต้นมา (Figure 1) ปริมาณการผลิตไก่เนื้อเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ จากข้อมูลของสมาคมผู้ผลิตไก่เพื่อส่งออกไทย พบว่าล่าสุดปี 2550 ไทยติดอันดับผู้ผลิตไก่อันดับ 10 ของโลก และเป็นผู้ส่งออกเนื้อไก่อันดับ 5 ของโลก (สถิติสินค้าปศุสัตว์, 2550; สมาคมผู้ผลิตไก่เพื่อส่งออกไทย, 2551)

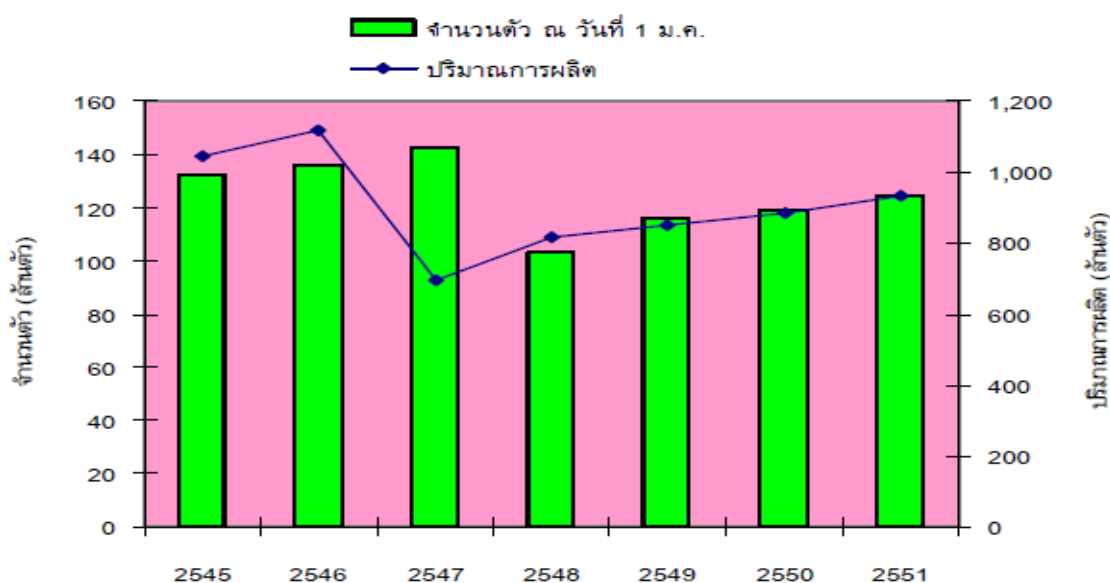


Figure 1. The amount and productions of chicken meat of Thailand during year 2545-2551.

ที่มา : ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2551)

1.3 ปริมาณการบริโภคเนื้อไก่ในประเทศไทย

ปริมาณการบริโภคเนื้อไก่ในปี 2549 เท่ากับ 982 พันตัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 13.0 เมื่อเทียบกับในปี 2548 ที่มีปริมาณการบริโภค 872 พันตัน และในปี 2550 การบริโภคเนื้อไก่ในภาพรวมปรับตัวลดลงจากปี 2549 ร้อยละ 10.0 อยู่ที่ 883 พันตัน (Figure 2) เนื่องจากผู้ผลิตปรับลดการผลิตภายในประเทศลงเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาด โดยปริมาณการบริโภคเนื้อไก่และผลิตภัณฑ์เท่ากับ 14.2 กก./คน/ปี สำหรับในปี 2551 ปริมาณการบริโภคเนื้อไก่รวมทั้งประเทศเท่ากับ 935 พันตัน และปริมาณบริโภคต่อคนต่อปีจะเพิ่มขึ้นเป็น 14.7 กก./คน/ปี (Table 2) ทั้งนี้เนื่องจากความต้องการบริโภคเนื้อไก่ในตลาดต่างประเทศขยายตัวสูงขึ้นมาก ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร รายได้และรสนิยมการบริโภคที่เปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ ประชาชนหันมาบริโภคเนื้อไก่มากขึ้นเนื่องจากความกังวลทางด้านสุขภาพที่เพิ่มมากขึ้น

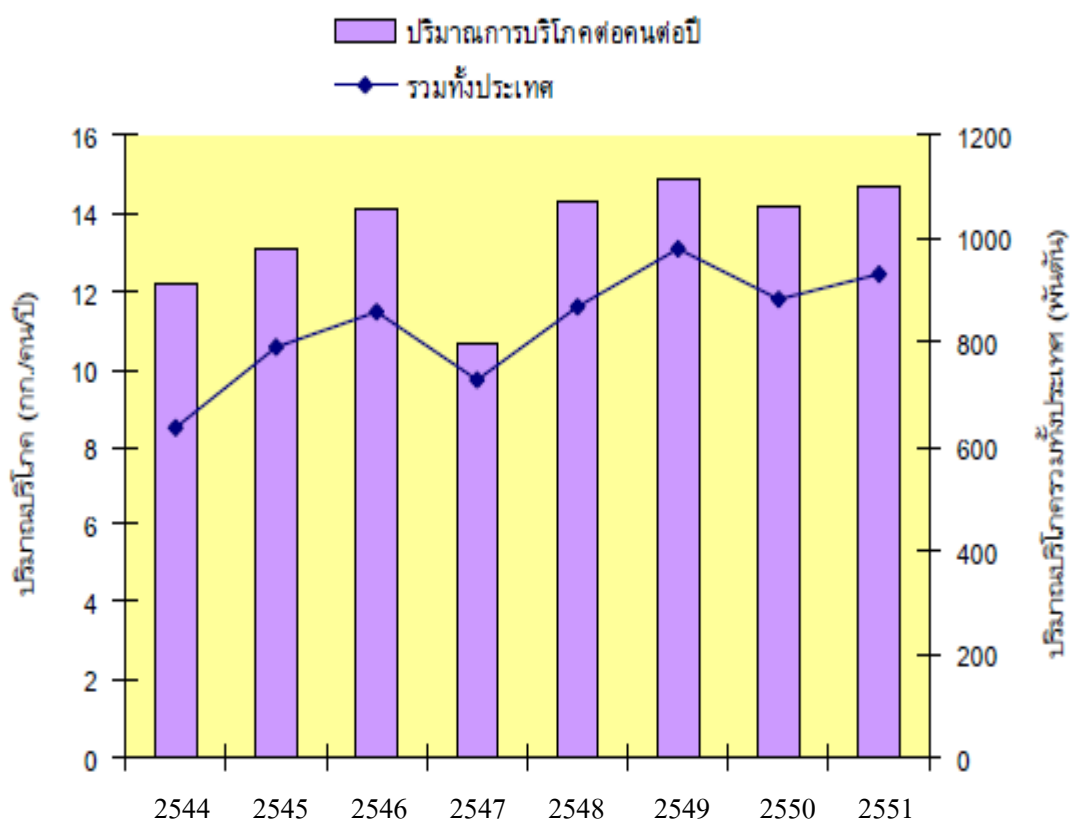


Figure 2. Quantity consuming of chicken meat in Thailand and quantity consuming per person per year.

ที่มา : สมาคมผู้ผลิตไก่เพื่อส่งออกไทย (2551)

Table 2. Quantity consuming of chicken meat in Thailand.

Chicken consumption	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Total (100xTon/year)	673	790	859	731	872	982	883	935
Individual (kg/man/year)	12.20	13.06	14.13	10.60	14.3	14.9	14.2	14.7

ที่มา : สมาคมผู้ผลิตไก่เพื่อส่งออกไทย (2551)

1.4 ปริมาณการส่งออก

การส่งออกเนื้อไก่ของไทยเพิ่มขึ้นตามลำดับ พบว่าในปี 2549 มีการส่งออกทั้งสิ้น 310,230.60 ตัน มูลค่า 37,148.56 ล้านบาท เพิ่มขึ้นจากปี 2548 ร้อยละ 6.41 ส่วนในปี 2550 ไทยส่งออกเนื้อไก่ได้ประมาณ 350,107.76 ตัน มูลค่าส่งออกเป็น 40,971.23 ล้านบาท ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.29 เมื่อเทียบกับปีก่อน สำหรับตลาดส่งออกเนื้อไก่ปรุงสุกของไทยยังคงเป็นญี่ปุ่นและสหภาพยุโรป ส่วนตลาดอื่นๆ ได้แก่ สิงคโปร์ ฮองกง เกาหลีใต้ และเวียดนาม ตลาดมีการขยายตัวเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะ ตลาดฮองกง และสำหรับปี 2551 สมาคมผู้ผลิตไก่เพื่อส่งออกไทยส่งออกเนื้อไก่ได้ประมาณ 330,000 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2550 ร้อยละ 3.13 คิดเป็นมูลค่า 36,961 ล้านบาท (Table 3) เนื่องจากคาดว่าจะส่งออกไปตลาด EU ได้ ไก่ก็เลี้ยงกับจำนวนโควตาที่ได้รับ และจะส่งออกไปยังตลาดญี่ปุ่นได้มากขึ้น

Table 3. The quantity and exported value of chicken meat of Thailand in year 1997-1998.

	Quantity					Value					
	1997		1998		change (%)	1997		1998		Value (million baht)	
The market exports	quantity (ton)	proportion (%)	quantity (ton)	proportion (%)		(Mil. USD)	proportion (%)	(Mil. USD)	proportion (%)	1997	1998
Japan	143,000	44.69	150,000	45.45	4.90	460	44.69	525.00	44.45	16.02	16.80
EU	150,000	46.88	155,000	46.97	3.33	483	46.88	543.00	46.97	16.80	17.36
Other	27,000	8.43	25,000	7.58	-7.41	87	8.44	88.00	7.58	3.02	2.80
Total	320,000	100.00	330,000	100.00	3.13	1,030	100.00	1,155	100.00	35.84	36.96

ที่มา : สมาคมผู้ผลิตไก่เพื่อส่งออกไทย (2551)

2. การใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้และเศษเหลือ

ผลที่ได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อสัตว์ปีก คือ ผลิตภัณฑ์ (Product) ผลพลอยได้ (By-Product) และของเหลือ (Waste) ไม่ว่าจะแปรรูปอุตสาหกรรมใดๆก็จะได้ผลทั้ง 3 อย่าง ซึ่งถ้าไม่มีการนำผลพลอยได้และของเหลือมาใช้ประโยชน์จะทำให้เกิดการสูญเปล่ามาก ดังนั้นจำเป็นมากที่จะต้องมีการนำผลพลอยได้และของเหลือมาใช้ประโยชน์ซึ่งจะเพิ่มมูลค่าได้มากและเป็นการช่วยลดต้นทุนของผลิตภัณฑ์โดยทางอ้อมด้วย

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อสัตว์เป็นอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นควบคู่กับโรงชำแหละเนื้อ ผลพลอยได้และเศษเหลือจากสัตว์ของโรงชำแหละเนื้อเป็นปัญหาสำคัญของโรงงานที่ควรหาทางกำจัดหรือนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุดและลดการสูญเสียสิ่งที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่างๆไปโดยเปล่าประโยชน์ ผลพลอยได้จากสัตว์ส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในอาหารสัตว์และอาหารสัตว์เลี้ยงแต่มีไม่น้อยที่ใช้เป็นอาหารมนุษย์เพราะแต่ละประเทศจะมีประเพณีความเชื่อถือและค่านิยมแตกต่างกันไป ผลผลิตพลอยได้จากสัตว์ในประเทศหนึ่งอาจจะเป็นอาหารที่ดีสำหรับประชากรประเทศอื่นก็ได้ ผลผลิตพลอยได้ที่มีประโยชน์ในอุตสาหกรรม เช่น เครื่องในสัตว์ เลือด กระดูก ไขมัน หนัง ต่อมและเนื้อเยื่อ

Desmond และ Kenny (1998) ได้ศึกษาการผลิตซูริมิจากหัวใจวัวและนำเอาซูริมิจากหัวใจวัวใส่ลงในไส้กรอกเฟรนช์เฟอ์เตอร์เพื่อทดแทนเนื้อแดงในบางส่วน โดยทดแทนในระดับร้อยละ 0, 3, 7, 10 และ 15 พบว่า เมื่อนำไส้กรอกเฟรนช์เฟอ์เตอร์ที่ผ่านการทำสุกแล้วมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเพื่อหาปริมาณไขมัน โปรตีน และความชื้น พบว่า ทุกชุดการทดลองที่เติมซูริมิปริมาณโปรตีนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ปริมาณความชื้นและไขมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และการทดแทนในระดับต่างๆไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการทำสุก (cooking loss) แต่แรงต้านการเฉือน (Shear force) และคุณสมบัติการอุ้มน้ำ (Water holding capacity; WHC) มีค่าลดลง เมื่อทำการศึกษาคูสมบัติทางประสาทสัมผัส พบว่า การทดแทนที่ระดับร้อยละ 7 และ 10 ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบและให้คะแนนการยอมรับมากที่สุด และสามารถใช้ทดแทนได้สูงสุดถึงร้อยละ 15 โดยคะแนนการยอมรับทางด้านเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างจากชุดควบคุม

McCormick และคณะ (1993) ได้ศึกษาการผลิตสเต็กเนื้อขึ้นรูปที่มีปริมาณเกลือต่ำ โดยใช้ผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิจากเนื้อแกะติดกระดูกที่แยกด้วยมือ (Hand boned meat; HBM) และเนื้อแกะติดกระดูกที่แยกด้วยเครื่องจักร (Mechanically separate meat; MSM) เป็นสารเชื่อม (binder) เปรียบเทียบกับการใช้เกลือและฟอสเฟตและการใช้ซูริมิจากปลา พบว่าจะได้ปริมาณผลผลิตหลังการให้ความร้อน (cooked yield) และความแข็งแรงในการเชื่อม (bind strength) ต่ำกว่าสเต็กเนื้อ

จึ้นรูปที่ไ้ใช้เกลือและฟอสเฟต แต่มีความแข็งแรงในการเชื่อมสูงกว่าการใช้ซุริมิจากเนื้อปลา เมื่อทำการศึกษาคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส พบว่า การเติม HBM และ MSM ที่ร้อยละ 5 จะทำให้ค่าความความแข็งแรงของการเชื่อมสูงกว่าการใช้ซุริมิจากปลา นอกจากนี้ยังสามารถนำเนื้อแคะติดกระดูกที่แยกด้วยเครื่องจักรที่ไม่ผ่านการล้างมาเป็นสารช่วยเชื่อมได้เช่นกัน โดยใช้ในปริมาณร้อยละ 11 แต่พบว่าจะเกิดกลิ่นหืนได้ง่าย

3. โปรตีนกล้ามเนื้อ

กล้ามเนื้อของสัตว์ประกอบด้วยโปรตีนหลายชนิด แต่ละชนิดมีหน้าที่แตกต่างกันโดยสามารถจำแนกโปรตีนกล้ามเนื้อได้เป็น 3 ชนิด คือ โปรตีนไมโอไฟบริล (myofibrillar protein) โปรตีนซาร์โคพลาสมิก (sarcoplasmic protein) และโปรตีนสโตรมา (stroma protein) (Suzuki, 1981) โปรตีนกล้ามเนื้อสัตว์มีสมบัติเชิงหน้าที่หลายประการ เช่น ความสามารถในการละลาย การเกิดฟอง การเกิดเจล การเกิดอิมัลชัน เป็นต้น

3.1 โปรตีนไมโอไฟบริล (myofibrillar protein)

เป็นโปรตีนหลักในกล้ามเนื้อสามารถสกัดได้ด้วยสารละลายที่มีค่าความแรงไอออนมากกว่า 0.15 (อยู่ในช่วง 0.3-1.0) โดยทั่วไปเนื้อสัตว์ประกอบด้วยโปรตีนไมโอไฟบริลร้อยละ 55 โดยมีบทบาทสำคัญต่อการยึดหดตัวของกล้ามเนื้อ โปรตีนชนิดนี้มีความสำคัญต่อการเคลื่อนที่ นอกจากนี้ยังมีความสำคัญต่อการอุ้มน้ำของเนื้อและความสามารถในการเกิดเจล โปรตีนกลุ่มนี้ประกอบด้วย

3.1.1 ไมโอซิน (myosin)

มีอยู่ประมาณร้อยละ 45 ของโปรตีนไมโอไฟบริล ไมโอซินประกอบด้วยโซ่พอลิเปปไทด์เหมือนกัน 2 โซ่ มีโครงสร้างเป็นแอลฟา-เฮลิคัล (α -helical structure) โมเลกุลของไมโอซินมีเอนไซม์ ATPase อยู่บริเวณหัวทั้งสอง (globular head) ซึ่งสามารถมีอันตรกิริยา (interaction) กับแอกติน มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 500,000 ดาลตัน ถูกไฮโดรไลซ์ได้โดยเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน เช่น ทริปซิน เมื่อผ่านการไฮโดรไลซ์จะได้เป็น 2 ส่วนคือ เมอโรไมโอซินเบา (light meromyosin) และเมอโรไมโอซินหนัก (heavy meromyosin) เมื่อเมอโรไมโอซินหนัก ถูกย่อยโดยเอนไซม์ทริปซิน หรือ ไคโมทริปซิน หรือ ปาเปน จะได้เป็นส่วนหัวและส่วนคอ เรียกว่า S-2 เมอโรไมโอซินหนักมีกิจกรรมของเอนไซม์ ATPase และมีส่วนที่จับกับแอกตินซึ่งไม่พบในเมอโรไมโอซินเบา (McCormick, 1994; Xiong, 1997; สุทธิวัฒน์ เบญจกุล, 2548) (Figure 3)

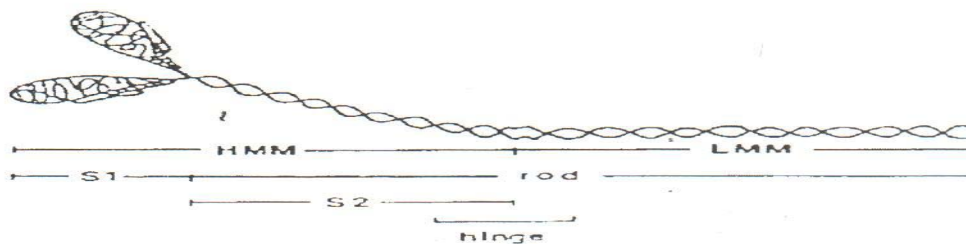


Figure 3. Molecular structure of myosin.

Source : Xiong (1997)

Note : HMM : Heavy meromyosin; LMM : Light meromyosin

S1 : Subfragment-1;

S2 : Subfragment-2

3.1.2 แอกติน (actin)

เป็นโปรตีนที่สำคัญของฟิลาเมนต์บาง (thin filament) มีประมาณร้อยละ 20 ของโปรตีนไมโอไฟบริล เป็นโปรตีนหน่วยย่อยที่มีรูปร่างทรงกลม เมื่อจี-แอกติน เชื่อมต่อกันตามยาว จะเกิดเป็น fibrous actin หรือ เอฟ-แอกติน และ เอฟ-แอกตินสองเส้นขดเป็นเกลียวกันเรียกว่า super helix (Foegeding *et al.*, 1996) แอกตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 42,000-48,000 ดาลตัน ประกอบด้วยกรดอะมิโนประมาณ 374-375 ตัว จับอยู่กับโทรโปนินและโทรโปไมโอซิน สามารถ มีอันตรกิริยากับส่วนหัวของไมโอซินและสามารถสกัดได้โดยใช้สารละลายเกลือ (Suzuki, 1981; สุทธิวัฒน์ เบญจกุล, 2548) (Figure 4)

3.1.3 โทรโปไมโอซิน (tropomyosin)

เป็นโปรตีนที่มีลักษณะเป็นแท่ง (rod like molecule) มีประมาณร้อยละ 5 ของโปรตีน มีประจุสูง ประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดที่เป็นกรดและด่างจำนวนมาก มีจุด isoelectric point เท่ากับ 5.1 โมเลกุลของโทรโปไมโอซินประกอบด้วยโซ่พอลิเปปไทด์ 2 สายมาต่อกันปลายต่อปลายเกิดเป็นเส้นบางยาว แอกตินฟิลาเมนต์ประกอบด้วยเส้นโทรโปไมโอซินพันไปตามผิวนอกของสายโซ่คู่ที่ขดเป็นเกลียวของเอฟ-แอกติน ในโทรโปไมโอซินแต่ละเส้นประกอบด้วย จี-แอกติน 7 โมเลกุลในแอกตินฟิลาเมนต์ (Xiong, 1997)

3.1.4 โทรโปนิน (troponin)

เป็นโปรตีนทรงกลม (globular protein) มีประจุค่อนข้างสูง เรียงตัวตามร่องของสายโซ่คู่ของเอฟ-แอกติน และคร่อมบนเส้นโทรโปไมโอซิน หรืออาจอยู่ใกล้ส่วนปลายของโมเลกุลของโทรโปไมโอซิน โทรโปนินสามารถพบอยู่เป็นระยะๆตามความยาวของแอกติน

ฟิลาเมนต์ มีประมาณร้อยละ 8-10 ของโปรตีนไมโอไฟบริล สามารถจับกับแคลเซียมและมีบทบาทสำคัญต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อ (McCormick, 1994; Xiong, 1997)

- โทรโปนิน-ซี (troponin C) ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่เป็นกรดและมีบทบาทในการจับกับแคลเซียมอ่อนและมีผลต่อ calcium sensitivity (น้ำหนักโมเลกุล 17,000-18,000 ดาลตัน)
- โทรโปนิน-ไอ (troponin I) สามารถยับยั้งกิจกรรมของ ATPase (น้ำหนักโมเลกุล 20,000-24,000 ดาลตัน) มักจับกับโทรโปนิน-ซีและแอกตินอย่างแน่นหนา แต่จะจับกับโทรโปไมโอซินหรือโทรโปนิน-ที แบบหลวมๆ
- โทรโปนิน-ที (troponin T) ทำหน้าที่จับกับโทรโปไมโอซินที่บริเวณ I-band (น้ำหนักโมเลกุล 37,000-40,000 ดาลตัน) (Foegeding *et al.*, 1996; สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2548)

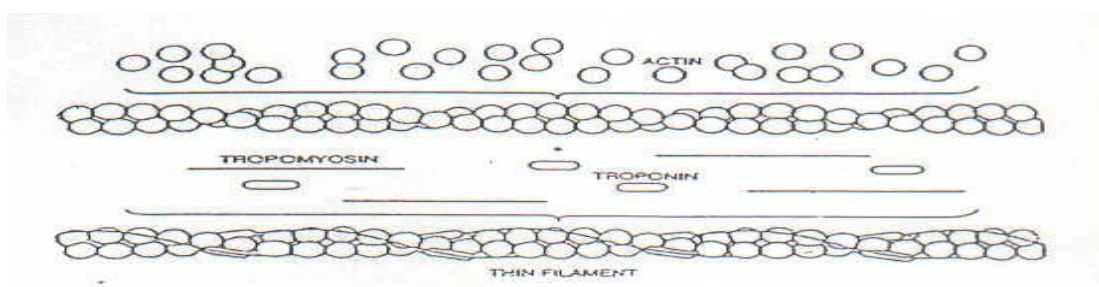


Figure 4. Composition structure of thin filament.

Source : Foegeding *et al.* (1996)

3.2 โปรตีนซาร์โคพลาสมิก (sarcoplasmic protein)

มีอยู่ประมาณร้อยละ 30 ของโปรตีนทั้งหมด สามารถละลายน้ำหรือสารละลายที่มีความแรงของไอออนต่ำได้ โปรตีนชนิดนี้ได้แก่ ไมโอโกลบิน ฮีโมโกลบินและเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับไกลโคไลซิส วัฏจักรกรดซิตริกและลูกโซ่การขนส่งอิเล็กตรอน (Suzuki, 1981; Foegeding *et al.*, 1996)

3.3 โปรตีนสโตรมา (stoma protein)

เป็นส่วนที่เหลือจากการสกัดโปรตีนซาร์โคพลาสมิกและโปรตีนไมโอไฟบริลเนื่องจากไม่สามารถสกัดได้ด้วยน้ำ กรดหรือสารละลายต่างและสารละลายเกลือที่เป็นกลาง (Suzuki, 1981) มีประมาณร้อยละ 15 ของโปรตีนทั้งหมดพบอยู่ในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) ได้แก่ คอลลาเจน อิลาสตินและเรติคิวลิน โปรตีนชนิดนี้ส่งผลต่อคุณภาพเนื้อโดยตรงเนื่องจากคุณสมบัติ

โดยธรรมชาติของโปรตีนนี้จะไม่ละลายน้ำ ทำให้ความสามารถในการเกิดอิมัลชันต่ำ อีกทั้งเมื่อสัตว์มีอายุมากขึ้นการ cross-link ของกล้ามเนื้อจะมากขึ้น ทำให้เกิดความนุ่มเนื้อต่ำ และเนื่องจากโปรตีนมีประจุและหมู่อะมิโนที่ชอบน้ำต่ำ จึงทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ ซึ่งโปรตีนที่พบมากที่สุด คือ คอลลาเจน (Zayas, 1997)

คุณสมบัติที่สำคัญของคอลลาเจน (Pearson and Young, 1989)

- เมื่ออยู่ในกรดหรือเบสเจือจาง คอลลาเจนจะไม่ละลายแต่จะพองตัว
- ถ้าความเข้มข้นของกรดหรือเบสมากขึ้นจะทำลายสะพานเชื่อมของคอลลาเจนได้บ้าง ทำให้คุณสมบัติในการละลายเพิ่มขึ้น พบว่าในสัตว์อายุน้อยจะมีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายในกรดมากกว่าสัตว์อายุมาก
- คอลลาเจนจะหดตัวลง 1/3 ของความยาวเดิม เมื่อถูกความร้อนประมาณ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งระดับอุณหภูมินี้คืออุณหภูมิในการหดตัว (shrink temperature) จะเปลี่ยนแปลงมากน้อยตามชนิดของคอลลาเจน
- ถ้าให้ความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิที่ทำให้คอลลาเจนหดตัวได้จะทำให้คอลลาเจนเปลี่ยนเป็นเจลาตินแต่ทั้งนี้ต้องมีน้ำอยู่ด้วยในขณะที่ให้ความร้อน
- โดยทั่วไปคอลลาเจนประกอบด้วยกรดอะมิโนที่สำคัญ คือ ไกลซีนร้อยละ 33 ไฮดรอกซีโพลีนร้อยละ 10 โพรลีนร้อยละ 12-15 ไฮดรอกซีไลซีนน้อยกว่าร้อยละ 1 และอะลานีนร้อยละ 11

4. สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนกล้ามเนื้อ

สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน คือ สมบัติทางกายภาพและเคมีของโปรตีนที่มีผลต่อพฤติกรรมของโปรตีนในอาหารระหว่างการผลิต การเก็บรักษา การเตรียมก่อนบริโภคและการบริโภค สมบัติเชิงหน้าที่จึงเป็นสมบัติที่มีผลต่อคุณภาพและระดับการยอมรับทางประสาทสัมผัสของอาหาร (Kinsella, 1976)

การเกิดเจลของโปรตีนก็เป็นสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนเช่นกัน โดยเกิดจากโมเลกุลของโปรตีนจับกันด้วยพันธะต่างๆ เกิดเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติที่สามารถจับน้ำหรือสารอื่นๆ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำไว้ภายใน ซึ่งในอาหารประเภทเนื้อสัตว์และสัตว์น้ำโปรตีนที่สามารถเกิดเป็นโครงข่ายได้นั้นเป็นกลุ่มโปรตีนไมโอไฟบริล (Myofibril protein) (Sikorski, 2001) และเจลที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 3 กลุ่ม (Table 4) ได้แก่ปัจจัยจากคุณสมบัติภายในของโปรตีนเอง โดยเฉพาะ โครงสร้างโมเลกุลทั้งที่เป็น

โครงสร้างตามธรรมชาติหรือโครงสร้างภายหลังการสูญเสียสภาพธรรมชาติ ปัจจัยสิ่งแวดล้อมรวมทั้งสภาวะของกระบวนการแปรรูป (Kinsella, 1976)

Table 4. Effect of some factors on gelation property of protein.

Intrinsic factors	Environmental factors	Processing treatments
Composition of proteins	pH	Heating
Conformation of proteins	Redox status	pH
Mono or Multicomponent	Salt, Ions	Ionic strength
Homogeneity-Heterogeneity	Water	Reducing agents
	Carbohydrate	Storage conditions
	Lipids	Drying
	Surfactants	Physical, Chemical
	Flavors	Enzymatic modification

Source : Kinsella (1976)

5. ผลของสภาวะการแปรรูปต่อโปรตีน

โครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนแบ่งได้เป็นโครงสร้างแบบปฐมภูมิ ทุติยภูมิ ตติยภูมิและ จตุรภูมิ ซึ่งโครงสร้างของโมเลกุลต่างๆ เหล่านี้เกิดจากการจับกันด้วยพันธะหลายรูปแบบและแต่ละพันธะนั้นมีความคงตัวต่อสภาวะต่างๆ ได้แตกต่างกัน (Table 5)

5.1 ผลของความร้อนต่อโครงสร้างและพันธะภายในของโปรตีน

กลไกการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนด้วยความร้อนมีความซับซ้อนมาก โดยมีผลต่อความคงตัวของพันธะที่มีใช้พันธะ โควาเลนต์ ได้แก่พันธะไฮโดรเจน อันตรกิริยาแรงกระทำระหว่างประจุและแรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งเป็นอันตรกิริยาที่คายความร้อนในธรรมชาติ ดังนั้นจึงไม่คงตัวที่อุณหภูมิสูงและคงตัวที่อุณหภูมิต่ำ อย่างไรก็ตามพันธะเปปไทด์ไฮโดรเจนในโปรตีนเป็นพันธะที่แฝงอยู่ในส่วนกลางของโครงสร้างจึงสามารถคงตัวอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง ในอีกทางหนึ่งอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกเป็นอันตรกิริยาที่ดูดความร้อน ดังนั้นจึงสามารถคงตัวที่อุณหภูมิสูงและไม่คงตัวที่อุณหภูมิต่ำ แต่ความคงตัวของอันตรกิริยาของไฮโดรโฟบิก มีอย่างจำกัดโดยมีความแข็งแรงมากที่สุดที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส (Damodaran, 1996)

Table 5. Properties of interactions stabilizing the secondary, tertiary and quaternary structures of proteins.

Type of interaction	Energy (ki.mol ⁻¹)	Functional Group involved	Destabilizing conditions	Stabilizing conditions
Covalent and Semi-covalent bond)	330-400 (peptide bond) 200 (S-S bond)	-NH-CO-(peptide bond) Cystine S-S	Reducing agents: β-mercaptoethanol, dithiothreitol (S-S bonds)	Increased reactivity of SH group above pH7
Electrostatic	42-48	Amino acid residues with carboxyl COO ⁻ (e.g Asp, Glu) and amino HN ₄ ⁺ (e.g His, Arg, Lys) group	Salt solutions, high or low pH values, pressure	
Hydrogen bonds	8-40	H atom of OH or NH (proton donor) group shared with CO (proton acceptor) group, e.g -N-H----O=C -O-H----O=C	Solutions with guanidine HCl, urea or detergents, heating	Cooling
Hydrophobic	4-12	Amino acid residues with aliphatic (e.g. Leu, Ite, Val) or aromatic (e.g. Phe, Try) side chains	Detergents, pressure (aliphatic side chains), heating at high temperatures	Moderate heating, pressure (stacking of aromatic side chains)
Vander Waals	1-9	Permanent, induced and instantaneous dipoles		

Source : Messen *et al.* (1997)

เมื่อมีการให้ความร้อนกับโปรตีน โปรตีนมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นสายโซ่ด้านข้างของโปรตีนที่อยู่ภายในโครงสร้างโปรตีนมีการคลายตัวมากขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของโครงสร้างโปรตีน ดังเช่นจากจตุรภูมิเป็นตติยภูมิ จากตติยภูมิเมื่อมีการคลายตัวของโครงสร้างเฮลิกซ์ แล้วพันธะโควาเลนต์จะถูกทำลายและในที่สุดพันธะเปปไทด์ของกรดอะมิโนก็ถูกทำลายไปด้วยความร้อน (Finley, 1989) (Figure 5)

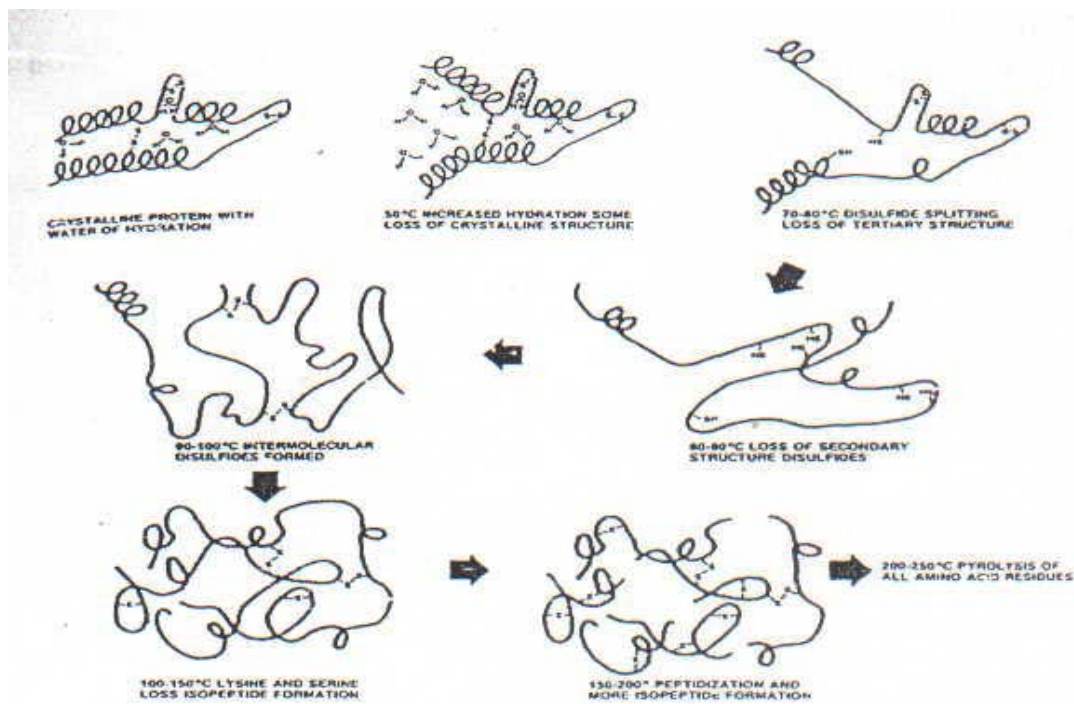


Figure 5. Changes of protein structure during heat treatment.

Source : Finley (1989)

5.2 ผลของความร้อนต่อการเกิดเจลโปรตีนกล้ามเนื้อ

โดยทั่วไปโครงข่ายเจลของโปรตีนประกอบด้วยพันธะไฮโดรเจน อันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก อันตรกิริยาแรงกระทำระหว่างประจุและพันธะไดซัลไฟด์ ทั้งนี้การกระจายตัวของแรงเหล่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโปรตีน สภาวะในการให้ความร้อน การสูญเสียสภาพธรรมชาติอย่างต่อเนื่องและสภาวะแวดล้อมของโปรตีน (Damodaran, 1996)

โครงข่ายเจลที่ไม่สามารถฟื้นกลับได้ของโปรตีนกล้ามเนื้อซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกและมีความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง สามารถแบ่งขั้นตอนในการเกิดเจลเป็น 2 ขั้นตอน (Ziegler and Aton, 1984) คือขั้นตอนการแตกตัวของโปรตีนไมโอไฟบริล โดยเกิดการบวม (swelling) ของไมโอไฟบริลที่เกิดจากแรงผลักระหว่างประจุภายในเส้นใยโปรตีน การแยกออกจาก

กันของเส้นใยโปรตีนและการแยกออกของแอกตินจากไมโอซิน หรือการแยกของแอกโตไมโอซิน จากโครงสร้างไมโอไฟบริล (Table 6) ซึ่งแสดงถึงการสูญเสียสภาพธรรมชาติเนื่องจากความร้อนของโปรตีนแอกโตไมโอซินธรรมชาติและขั้นตอนที่สอง คือขั้นตอนการเกิดเจล โปรตีนที่สูญเสียสภาพธรรมชาติเริ่มเกิดพันธะที่มีไข่ม้วนระ โควาลেন্টในการสร้างโครงข่ายโมเลกุลอย่างมีระเบียบ ในระหว่างการให้ความร้อน

Table 6. Conformational changes which may occur during the thermal denaturation of nature.

Temperature	Protein (s) or segment involved	Description of events
30-35	Native tropomyosin	Thermally dissociate from the F-actin backbone
38	F-actin	Super helix dissociate into single chains
40-45	Myosin	Dissociate into light and heavy chains
	Head	Possibly some conformational chains
	Hinge	Helix to random coil transformation
45-50	Actin, myosin	Actin-myosin complex dissociate
50-55	Light meromyosin	Helix to coil transformation and rapid aggregation
> 70	Actin	Major conformational changes in the G-actin monomer

Source : Ziegler and Aton (1984)

ในองค์ประกอบทั้งหมดของโปรตีนไมโอไฟบริล ไมโอซินเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญ ที่มีผลต่อการเกิดเจล (Asghar *et al.*, 1985) การแผ่ตัวออกจากโครงสร้างไมโอซินแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่อยู่อาศัยของสัตว์นั้นๆ โดยไมโอซินจากปลามีความคงตัวต่ออุณหภูมิ (thermal stability) น้อยกว่าสัตว์เลือดอุ่น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอันเนื่องมาจากอุณหภูมิสูง (thermal denaturation) และอุณหภูมิต่ำ (Freeze denaturation) จึงเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าสัตว์เลือดอุ่น การสูญเสียโครงสร้างตามธรรมชาติของไมโอซินสกัดจากกระต่ายเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 62 องศาเซลเซียส ในขณะที่ไมโอซินจากปลาการ์ฟสูญเสียโครงสร้างที่อุณหภูมิ 52 องศาเซลเซียส (Akahane *et al.*, 1985) สำหรับการสูญเสียโครงสร้างตามธรรมชาติของแอกตินเป็นไปในลักษณะเดียวกันคือแอกตินของกระต่ายและปลาการ์ฟเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 82 องศาเซลเซียสและ 75 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และได้มีการรายงานว่าปลาที่อาศัยอยู่ในเขตนํ้าเย็นมากขึ้น ไมโอซินจะมีความคงตัวต่อความร้อนน้อยลงโดยติดตามได้จากการสูญเสีย ATPase activity ซึ่งแสดงถึงการ

เปลี่ยนแปลงโครงสร้างส่วนหัวของไมโอซินและจากการสูญเสียโครงสร้างแอลฟาเฮลิกซ์ในส่วนหาง (Ogawa *et al.*, 1993)

องค์ประกอบที่มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดเจลของโมเลกุลไมโอซิน คือ ไมโอซินเส้นหนัก (Myosin heavy chain; MHC) โดย Samejima และคณะ (1984) Chan และคณะ (1992a, b) และ Yongsawatdigul และคณะ (1997) ศึกษาความยืดหยุ่นของเจล พบว่าความยืดหยุ่นของซุริมิเจลจาก Pacific whiting มีค่าแปรผันตามปริมาณไมโอซินเส้นหนัก ซุริมิที่ผลิตจากปลาที่มีเอนไซม์โปรตีเนสอยู่ในกล้ามเนื้อเป็นจำนวนมากมักจะเกิดปัญหาทำให้เจลมีลักษณะยุ่ยและเนื่องจากเอนไซม์เหล่านี้สามารถเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายของไมโอซินโดยใช้ไมโอซินเส้นหนักเป็นสารตั้งต้น ได้เป็นอย่างดี

แอกตินนั้นไม่มีคุณสมบัติในการจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างสามมิติ แต่อย่างไรก็ตาม Yasui และคณะ (1980) พบว่าตัวอย่างเจลที่มีส่วนผสมระหว่างไมโอซินและแอกตินมีค่าความแข็งแรงมากกว่าตัวอย่างที่มีไมโอซินแต่เพียงอย่างเดียว จึงถือว่าแอกตินมีส่วนส่งเสริม (synergistic effect) ความแข็งแรงของเจลซึ่งเกิดจากการรวมตัวระหว่างเอฟ-แอกติน และไมโอซินบางส่วนเกิดเป็นแอกโตไมโอซินซึ่งเป็นตัวเชื่อมกับไมโอซินที่เหลืออยู่ในรูปอิสระและทำให้เกิดโครงสร้างเจลของแอกโตไมโอซิน (Samejima *et al.*, 1982) ทั้งนี้เนื่องจากโทรโปไมโอซินเป็นโปรตีนที่ทนต่อความร้อนได้สูงจึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านโครงสร้าง และไม่เกิดการจัดเรียงตัวเป็นโครงข่ายร่างแห

ส่วนหางของไมโอซินที่เป็นเกลียวแอลฟา-เฮลิกซ์ มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดเจลโครงข่ายร่างแห (Samejima *et al.*, 1981) ค่าความแข็งแรงของเจลที่เตรียมจากส่วนของเกลียวแอลฟา-เฮลิกซ์ มีค่าสูงกว่าเจลที่ได้จากส่วนเอส-1 (S-1) โครงสร้างตัวอย่างที่เตรียมจากเอส-1 มีลักษณะการต่อเรียงกันเป็นแถว (bead-like structure) และไม่เกิดเป็นร่างแห ผลลัพธ์ที่ได้มีลักษณะเป็นตะกอนของโปรตีน (curd) มากกว่าเจล ซึ่งแสดงว่าส่วนเอส-1 ไม่มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดเจลส่วนเจลที่เกิดจากส่วนที่เป็นแอลฟา-เฮลิกซ์ มีลักษณะเนื้อสัมผัสและโครงสร้างใกล้เคียงกับเจลที่เตรียมจากไมโอซิน ดังนั้นส่วนหางของโมเลกุลไมโอซินจึงเป็นบริเวณที่เกิดการเชื่อมต่อระหว่างโมเลกุลเกิดเป็นโครงสร้างสามมิติของเจล Ishioroshi และคณะ (1981) ศึกษาการเกิดเจลในส่วนHMM เปรียบเทียบกับส่วน LMM พบว่า HMM เกิดเจลที่แข็งแรงน้อยกว่า LMM แต่มีความแข็งแรงมากกว่าเจลที่เตรียมจากเอส-1 นอกจากนี้เจลที่เกิดจาก LMM มีความแข็งแรงใกล้เคียงกับตัวอย่างที่เตรียมจากส่วนแอลฟา-เฮลิกซ์ ซึ่งแสดงว่าส่วนหางที่มีโครงสร้างแอลฟา-เฮลิกซ์ มีความสำคัญต่อการเกิดโครงสร้างและลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลซุริมิ

Sano และคณะ (1990a, b) รายงานว่าไมโอซินจากปลาคาร์พเริ่มจัดเรียงตัวเป็นร่างแหที่อุณหภูมิ 30-45 องศาเซลเซียส โดยเกิดจากส่วนของ LMM เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 50

องศาเซลเซียส บริเวณ HMM โดยเฉพาะส่วนหัว (globular head) นั้นเกาะตัวรวมกันด้วยอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีกรดอะมิโนที่ไม่ชอบน้ำอยู่เป็นจำนวนมากและถูกปล่อยระหว่างการให้ความร้อน (Sano *et al.*, 1990b) นอกจากนี้ Sano และคณะ (1990b) พบว่า HMM ไม่สามารถเกิดเจลได้ในขณะที่ LMM สามารถเกิดการจัดเรียงตัวเป็นร่างแหซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Samejima และคณะ (1981) ที่กล่าวข้างต้น อย่างไรก็ตาม Taguchi และคณะ (1987) ได้เสนอกลไกการเกิดเจลที่แตกต่างออกไป คือ การจัดเรียงตัวของ HMM โดยเฉพาะในส่วนของเฮส-1 เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 50 องศาเซลเซียส ส่วนของ LMM เริ่มคลายตัวออกจากกันและจัดเรียงตัวเป็นร่างแหซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gill และ Conway (1989) ที่พบว่าส่วนหางของไมโอซินซึ่งสกัดจากปลาคอดคลายตัวออกทำให้กรดอะมิโนที่ไม่ละลายน้ำ (hydrophobic amino acids) หันออกสู่ภายนอกและเกิดอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกระหว่างสายไมโอซิน จากปลาคอดและปลาแฮร์ริ่งเริ่มต้นที่บริเวณ HMM S-2 ที่อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส ส่วนของ LMM เริ่มจับตัวเป็นร่างแหที่อุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส ซึ่งความแตกต่างระหว่างสองกลไกนี้สามารถเปรียบเทียบให้เห็นแสดงดัง Figure 6

การให้ความร้อนกับโซลที่อุณหภูมิสูงกว่า 60-70 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดโครงสร้างโปรตีนที่มีการจัดเรียงตัวอย่างมีระเบียบ (Stone and Stanley, 1992) โดย Itoh และคณะ (1980) รายงานว่าการเกิดพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างโมเลกุลโปรตีนโดยผ่านกระบวนการ S-S interchange หรือ SH-SS-interchange มีผลต่อการเกิดโครงข่ายของเจลโมเลกุลไมโอซินประกอบด้วยหมู่ซัลไฟด์ริสมากกว่า 40 หมู่ โดยส่วนใหญ่จะพบบริเวณส่วนหัวของไมโอซิน HMM S-1 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chan และคณะ (1995) ที่พบว่าพันธะโควาเลนต์ชนิดที่ไม่ใช่พันธะไดซัลไฟด์มีส่วนร่วมในการเกิดพอลิเมอร์เซชันของไมโอซินเส้นหนัก

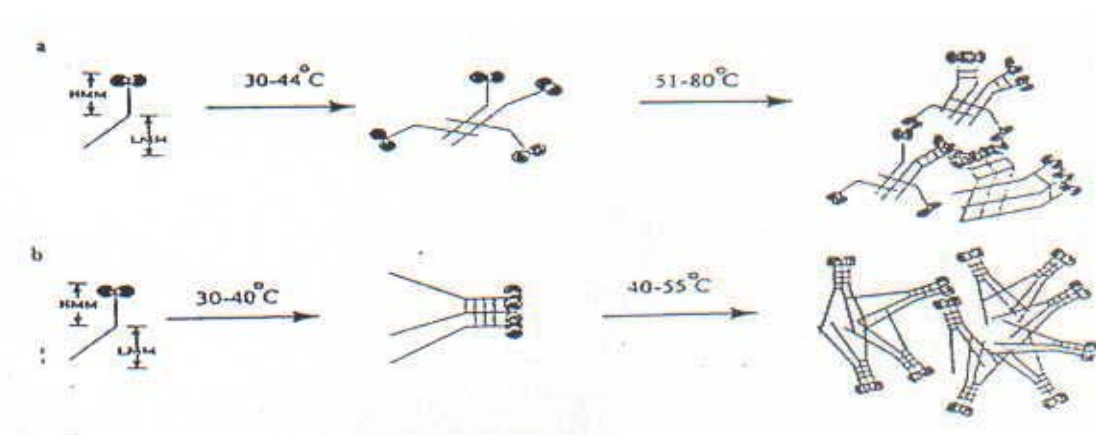


Figure 6. Myosin gelation induced by heating.

Source : Sano *et al.* (1990a) and Chan *et al.* (1993)

6. การสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนกล้ามเนื้อ

การสูญเสียสภาพธรรมชาติเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างของโมเลกุลของโปรตีน โดยไม่ทำลายพันธะโควาเลนต์ หรือ พันธะเปปไทด์ภายในโมเลกุลของโปรตีนนั้นๆ และไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงตัวของกรดอะมิโนในโมเลกุลโปรตีน แต่เป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่สลับซับซ้อนของโมเลกุลจากจตุรภูมิหรือตติยภูมิเป็นทุติยภูมิหรือปฐมภูมิ (นิธิยา รัตนานพนท์, 2539) โดยเกิดจากแรงกระทำระหว่างพันธะของโครงสร้างโปรตีน ถูกทำลายทำให้ α -helix และ β -sheet คลี่ออก เกิดลักษณะการรวมกลุ่มกันและตกตะกอนของโปรตีน (Ophardt, 2003) สาเหตุการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนกล้ามเนื้อเป็นผลมาจาก

6.1 ความร้อน

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พันธะไฮโดรเจนจำนวนหนึ่งในโมเลกุลโปรตีนจะอ่อนลงและเกิดการแยกสลาย ทำให้โมเลกุลของโปรตีนมีโครงสร้างที่อ่อนตัวและเปิดออก ถ้าการให้ความร้อนหยุดลงเมื่อโปรตีนอยู่ในสภาวะนี้จะทำให้โครงสร้างของโปรตีนกลับไปอยู่ในสภาพเดิม แต่เมื่อให้ความร้อนเพิ่มขึ้น พันธะไฮโดรเจนที่จับกันแน่นเป็นโครงสร้างแบบเกลียว (helical) จะแยกออก เกิดการเสียดสภาพของโปรตีนแบบคืนกลับไม่ได้ (irreversible denaturation) (FST 605, 2005)

เมื่อให้ความร้อนกับโปรตีนไมโอไฟบริลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างซึ่งจะมีผลต่อความนุ่มเนื้อ โดยเมื่อให้ความร้อนกับไมโอซินในช่วง 45-50 องศาเซลเซียส การละลายของโปรตีนค่อยๆลดลงจนถึงอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส โปรตีนไมโอซินจะไม่ละลาย ซึ่งในช่วงอุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส นี้ทำให้โปรตีนซาร์โคพลาสติก ละลายและค่อยๆลดลงจนโปรตีนสูญเสียสภาพที่อุณหภูมิ 62 องศาเซลเซียส และเมื่อให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 60-75 องศาเซลเซียส มีผลต่อโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน คือที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส ทำให้คอลลาเจนเกิดการหดตัวอย่างทันที ทำให้น้ำออกจากร่างแหไมโอไฟบริล เนื้อจะเหนียวขึ้นเรียกว่า collagen shrinkage ซึ่งที่อุณหภูมิประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส คอลลาเจนจะเริ่มละลายและละลายเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากคอลลาเจนเปลี่ยนเป็นเจลาติน แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าการละลายของคอลลาเจนจะเพิ่มขึ้น (ที่อุณหภูมิประมาณ 98 องศาเซลเซียส) เนื้อจะมีความเหนียวเพิ่มขึ้นเนื่องจากโปรตีนไมโอไฟบริลสูญเสียสภาพ เกิดการรวมกลุ่มกันเป็นก้อนโปรตีนที่แข็งขึ้น อีกทั้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นี้ทำให้แอกโตไมโอซินคลายออก แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้จะทำให้เกิดพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) ระหว่างสายเปปไทด์ของแอกโตไมโอซิน ทำให้เนื้อเหนียวเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนโปรตีนแอกตินจะสูญเสียการละลายเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงถึง

80 องศาเซลเซียส โดยโปรตีนแอกตินอย่างเดียวไม่มีผลต่อความนุ่มเนื้อแต่มีผลต่อการเกิดเจลเมื่อรวมกับไมโอซิน (Cross, *et al.*, 1986)

การให้ความร้อนที่เหมาะสมในการแปรรูปผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และสัตว์ปีก มีความสำคัญอย่างมากในอุตสาหกรรมเพื่อให้สามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงรูปแบบโปรตีนเมื่อให้ความร้อนสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนได้จากค่า denaturation temperature; T_d และ total enthalpy; ΔH จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Differential Scanning Colorimeter; DSC

6.2 สภาวะความเป็นกรดหรือเบส

โปรตีนโดยส่วนใหญ่มี pH อยู่เหนือ pI ทำให้ประจุโดยรวมเป็นลบ แต่ถ้าในสภาวะที่เป็นกรดทำให้โปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลง คือ pH ลดลงเข้าใกล้ pI โปรตีนจึงมีประจุรวมเข้าใกล้ศูนย์ ทำให้โปรตีนรวมกลุ่มกันและตกตะกอน ถ้า pH ต่ำกว่า pI มากๆ โปรตีนสูญเสียประจุลบ มีประจุบวกที่เด่นทำให้ในบริเวณที่มีความหนาแน่นของประจุมากจะเกิดแรงผลักรวม โมเลกุลมาก โปรตีนจึงคลายตัวออก การคลายตัวออกมากทำให้หมู่ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ออกมาเกิด hydrophobic interaction โปรตีนจะเกิดการรวมตัวกันในสภาพที่ไม่กลับคืน เกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติ (FST 605, 2005)

6.3 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างไอออน (ionic strength)

การเติมเกลือที่มากขึ้นจนถึงจุดที่เหมาะสมทำให้ค่า ionic strength สูงขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อการละลายของโปรตีน โดยทั่วไปโปรตีนจะละลายในสารละลายเกลือเจือจางมากกว่าในน้ำบริสุทธิ์ เกลือมีความเกี่ยวข้องกับประจุของโปรตีน โดยไปทำให้ประจุบน โมเลกุลโปรตีนเปลี่ยนไปคือ เมื่อเกลือมีมากขึ้นจนมีความเข้มข้นสูงเกินจุดที่เหมาะสมจะทำให้เกลือแย่งจับน้ำกับโปรตีน เรียกว่าปรากฏการณ์ salting-out โปรตีนจึงสูญเสียน้ำจากโครงสร้างและการละลายต่ำลงเป็นผลให้โปรตีนสูญเสียสภาพธรรมชาติ (FST 605, 2005)

Table 7. Thermal transition temperature (T1, T2, T3) and total enthalpy of transition (ΔH) of chicken breast muscle treated with phosphates.

Type of phosphate	%	Breast muscle			
		T1 (peak1)	T2 (peak2-3)	T3 (peak5)	ΔH
Pyrophosphate	0	58.7c	67.6a	78.6a	11.1b
	0.25	58.6c	62.5c	77.5a	13.4a
	0.50	59.9b	62.9c	77.7a	14.2a
	0.75	59.9b	64.7b	75.5b	12.5ab
	1.00	60.8a	65.3b	74.3b	13.0a
Triphosphate	0	58.7ab	67.6a	78.6a	11.1b
	0.25	59.1ab	63.4c	77.3a	13.6a
	0.50	58.4b	64.2bc	77.5a	12.5ab
	0.75	59.6a	64.7b	75.0b	12.1ab
	1.00	59.4a	65.3b	75.0b	12.3ab

Source : Modified from Kijowski and Mast (1988)

Note : a,b,c Means with different letters in the same column are significant difference ($P < 0.05$).

Kijowski และ Mast (1988) พบว่าการใช้เกลือในเนื้ออกไก่ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1-4 เมื่อความเข้มข้นของเกลือเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิที่โปรตีนเสียสภาพ (denaturation temperature; Td) และค่าเอนทัลปี (total enthalpy; ΔH) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยจะไปลดความคงตัวของโปรตีนกล้ามเนื้อและเมื่อมีการใช้โซเดียมไทรโพลฟอสเฟตและโซเดียมไดโรฟอสเฟตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0-1 นั้น ฟอสเฟตทั้งสองชนิดจะให้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนที่คล้ายคลึงกัน โดยพบว่าการใช้สารประกอบฟอสเฟตทำให้ไมโอซิน (peak1) มีค่า Td เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น แตกต่างจากเนื้อไก่ที่ไม่ใช้ฟอสเฟตอย่างมีนัยสำคัญ (Table 7) แสดงถึงการที่ฟอสเฟตทำให้ไมโอซินมีความคงตัวของความร้อนเพิ่มขึ้น แต่มีผลทำให้ความคงตัวของความร้อนของแอกตินลดลง เมื่อความเข้มข้นของฟอสเฟตเท่ากับร้อยละ 0.75-1.0 (peak 5) และเมื่อมีการใช้โซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2 ร่วมกับโซเดียมไทรโพลฟอสเฟตและโซเดียมไดโรฟอสเฟตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 และ 0.50 พบว่าทำให้ค่า Td และ ΔH ของโปรตีนกล้ามเนื้อลดลง (Figure 7) ซึ่งลักษณะการเกิดฟิสิก เช่นนี้คล้ายกับการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนเมื่อมีการใช้เกลืออย่างเดียวในเนื้อ

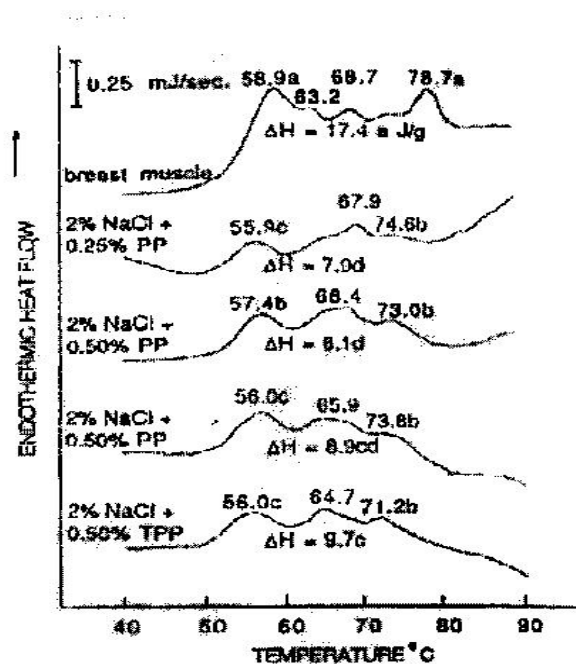


Figure 7. Thermal transition of chicken breast muscle treated with 2.0% NaCl 0.25% sodium pyrophosphate and 0.50% sodium tripolyphosphate.

Source : Kijowski and Mast (1988)

7. ชูริมิและผลิตภัณฑ์เลียนแบบชูริมิ

7.1 ชูริมิ (surimi)

ชูริมิคือ เนื้อปลาสดที่ผ่านการล้างน้ำ (washing) และสะเด็ดน้ำ (dewatering) เพื่อกำจัดโปรตีนซาร์โคพลาสมิก (sarcoplasmic protein) และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) ออก เพื่อให้โปรตีนไมโอไฟบริล (myofibrillar protein) เข้มข้นมากขึ้น เหตุผลหลักในการกำจัดโปรตีนซาร์โคพลาสมิก คือ โปรตีนเหล่านี้ไม่มีคุณสมบัติในการเกิดเจล นอกจากนี้เพื่อกำจัดเอนไซม์ที่อยู่ในเซลล์กล้ามเนื้อ โดยเฉพาะโปรตีนเนสซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เร่งการย่อยสลายโปรตีน และโปรตีนไมโอไฟบริลซึ่งเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นต่อการเกิดเจลได้ จึงทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของชูริมิที่ปนเปื้อนด้วยเอนไซม์ชนิดนี้ไม่มีความเหนียวยืดหยุ่นและมีคุณภาพต่ำ

การผลิตชูริมิเริ่มจากการนำปลามาตัดหัวและควักไส้ออก ล้างน้ำให้สะอาด ผ่านเข้าเครื่องแยกเนื้อปลาออกจากก้างปลา (belt-drum type meat separator) ซึ่งอาศัยหลักการบีบเนื้อปลาให้ผ่านเข้าไปในรูขนาด 3-5 มิลลิเมตร บนลูกกลิ้ง เนื้อปลาที่ได้จะผ่านการล้างด้วยน้ำเย็นอุณหภูมิ 5-10 องศาเซลเซียส ในปริมาณ 5-10 เท่าของน้ำหนักเนื้อปลา การล้างจะทำอย่างน้อย 3 ครั้ง ขึ้นอยู่กับชนิดของปลา สภาวะของปลา ชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ล้างและคุณภาพของชูริมิที่ต้องการ

ในโรงงานผลิตซูริมิบนเรือจะล้างปลาเพียงครั้งเดียวด้วยน้ำ 2-3 เท่า เนื่องจากถูกจำกัดด้วยปริมาณน้ำ วัตถุประสงค์ของการล้างเพื่อกำจัดโปรตีนที่ละลายได้ในน้ำ ไขมัน เอนไซม์ และสารที่ไม่พึงปรารถนาออก การล้างน้ำครั้งสุดท้ายจะใช้สารละลายเกลือร้อยละ 0.1-0.3 เพื่อให้ไล่น้ำออกได้ง่าย การล้างเนื้อปลามากเกินไปทำให้เนื้อปลาอูม่น้ำมาก หลังจากนั้นเนื้อปลาจะผ่านเข้าเครื่องบีบน้ำออก (screw press) แล้วผ่านเข้าเครื่องแยกก้างและสิ่งเจือปน (strainer) ผสมกับสารป้องกันโปรตีนเสียสภาพเนื่องจากการแช่เยือกแข็งซึ่งจะเป็นพวก น้ำตาล ซอร์บิทอล และฟอสเฟต สับผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน บรรจุลงในถุง แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า -35 องศาเซลเซียส และเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า -30 องศาเซลเซียส (Susuki, 1981) ซูริมิที่มีคุณภาพดีจะให้เจลที่มีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นสูง สามารถนำไปแปรรูป เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสหลากหลายชนิดที่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์อาหารทะเลเลียนแบบหรืออาหารทะเลจากซูริมิ (surimi seafood) เช่น เนื้อปูเทียม เป็นต้น (Park *et al.*, 1997)

7.2 ผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิ (surimi-like)

ผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิ (surimi-like) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเอาเนื้อหรือเศษเหลือของเนื้อสัตว์หรือสัตว์ปีกที่ไม่ใช่เนื้อปลาเช่น เนื้อวัว หมู แกะ ไก่ ตับ ปอด ลิ้น และหัวใจ เป็นต้น มาผ่านกรรมวิธีการผลิตเช่นเดียวกับการทำซูริมิ ได้แก่การแยกเนื้อ การล้าง การกำจัดน้ำส่วนเกิน การเติมสาร cryoprotectant เช่นน้ำตาล นวดให้เข้ากันและแช่เยือกแข็ง McCormick และคณะ (1993) ศึกษาการผลิตผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิจากเนื้อแกะผลิตโดยการใช้เนื้อแกะติดกระดูกที่แยกด้วยมือ (Hand Bond Meat; HBM) เปรียบเทียบกับเนื้อแกะติดกระดูกที่แยกด้วยเครื่องจักร (Mechanical Separated Meat; MSM) พบว่าการแยกเนื้อด้วยเครื่องจักรจะได้ผลผลิตมากกว่าการแยกด้วยมือ โดย MSM มีชิ้นส่วนของกระดูกปนอยู่สูงและมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันน้อยกว่า HBM แต่ปริมาณโปรตีนและไขมันใกล้เคียงกัน เมื่อนำเนื้อแกะติดกระดูกที่แยกได้ทั้ง 2 วิธีมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิ พบว่าการล้างทำให้โปรตีนและไขมันในผลิตภัณฑ์ที่ได้ลดลงแต่ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ความสามารถในการอุ้มน้ำและความสามารถในการละลายของคอลลาเจน ใน MSM มีค่าสูงกว่า HBM นอกจากนี้การล้างยังมีผลลดปริมาณอนุภาคกระดูกและเพิ่มปริมาณร้อยละของคอลลาเจนใน MSM อีกด้วย เมื่อใช้ MSM และ HBM เป็นสารเชื่อม (binder) ในสเต็กเนื้อขึ้นรูปเปรียบเทียบกับการใช้เกลือและฟอสเฟตและการใช้ซูริมิเนื้อปลา พบว่าจะได้ปริมาณผลผลิตหลังการให้ความร้อน (cooked yield) และความแข็งแรงในการเชื่อม (bind strength) ต่ำกว่าสเต็กเนื้อขึ้นรูปที่ใช้เกลือและฟอสเฟต แต่มีความแข็งแรงในการเชื่อมสูงกว่าสเต็กเนื้อขึ้นรูปที่ใช้ซูริมิเนื้อปลา ผลิตภัณฑ์สเต็กเนื้อขึ้นรูปที่ใช้ MSM และ HBM พบว่าผู้บริโภคชอบมากกว่าสเต็ก

เนื้อขึ้นรูปที่ใช้ซูริมิจากปลาเนื่องจากมีปริมาณเกลือและฟอสเฟตต่ำซึ่งตรงกับความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบัน

Knight (1992) ศึกษาการผลิตซูริมิจากเนื้อไก่ (chicken surimi) หรือ light surimi ayami มีวิธีการผลิตที่ใกล้เคียงกับการผลิตซูริมิจากเนื้อปลาโดยให้เหตุผลของการเลือกเนื้อไก่มาทำซูริมิคือ

ข้อดี

1. มีไขมันและคอเลสเตอรอลในปริมาณต่ำกว่าเนื้อชนิดอื่น เช่นเนื้อวัว เนื้อหมู
2. ผลิตภัณฑ์มีสีขาว
3. ลดโอกาสในการเกิดกลิ่นหืน
4. สามารถปรับปรุงคุณสมบัติด้านรีโอโลยี (rheology) เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อชนิดอื่น

ข้อเสีย

1. มีส่วนที่เป็นสีเข้ม (dark color)
2. มีขนาดของเส้นใยเล็กทำให้มีคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสต่ำ
3. อายุการเก็บสั้น

8. การล้าง

การล้างสามารถกำจัดโปรตีนที่ละลายน้ำ และองค์ประกอบที่ไม่ต้องการออกไป เช่น เลือด ไขมัน รวมทั้งเอนไซม์ต่างๆ ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนไมโอไฟบริลสูงขึ้น การล้างมักล้างด้วยน้ำเย็น (อุณหภูมิ 5-10 องศาเซลเซียส) จนกระทั่งเนื้อปลาไม่มีสีและกลิ่น การล้างมักกระทำหลายครั้งเพื่อกำจัดโปรตีนที่ละลายน้ำออกให้หมด การล้างแต่ละครั้งใช้ปริมาณน้ำ 5-10 เท่าของเนื้อปลาสด ทำการล้างอย่างน้อย 2-3 ครั้ง ระหว่างการล้างมีการกววนหรือคนอย่างช้าๆ และสม่ำเสมอ เพื่อป้องกันการจับตัวของเนื้อปลาสด (pulping) โดยปกติใช้วิธีการล้างในถัง 3 ถัง ซึ่งเรียงต่อกันแบบต่อเนื่อง แต่สำหรับการผลิตซูริมิบนเรือมักทำการล้างครั้งเดียว โดยใช้น้ำที่มีปริมาตร 2-3 เท่าของเนื้อปลาสด (Suzuki, 1981)

การล้างเป็นจำนวนหลายๆครั้งจะมีผลต่อการเพิ่มคุณสมบัติการชอบน้ำ (hydrophilic properties) ซึ่งทำให้การกำจัดน้ำยากขึ้น ดังนั้นในการล้างครั้งสุดท้ายจึงนิยมใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.1-0.3 เพื่อให้การกำจัดน้ำออกจากเนื้อง่ายขึ้นและเพื่อรักษาระดับพีเอชของเนื้อ นอกจากนี้ถ้าปลาไม่สด การกำจัดน้ำจะกระทำได้ยาก การลด pH ของเนื้อปลาให้เข้าใกล้จุด pI จึงเป็นอีกวิธีหนึ่งในการกำจัดน้ำออกจากเนื้อปลาสด (Suzuki, 1981)

การล้างเนื้อปลาสดเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการผลิตซูริมิเนื่องจาก

- สามารถปรับปรุงความสามารถในการเกิดเจล
- สามารถยับยั้งการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนจากการแช่เยือกแข็ง (freeze denaturation of protein) ซึ่งมีสาเหตุมาจากเกลือและสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำมีความเข้มข้นสูงขึ้น ความเข้มข้นของเกลือจะสูงขึ้นเมื่อน้ำในเซลล์เปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็ง ส่งผลต่อค่า ionic strength และ pH ซึ่งเป็นสาเหตุของการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน
- ปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของซูริมิ ปัญหาของการผลิตซูริมิอีกประการหนึ่งคือ การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์ TMO demethylase (TMAOase) ซึ่งจะย่อยสลายไตรเมทิลเอมีนออกไซด์เปลี่ยนเป็น ไคเมทิลเอมีนและฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งฟอร์มาลดีไฮด์ จะเร่งให้เกิดการรวมตัว (cross-linkages) ของโมเลกุลโปรตีน ทำให้ซูริมามีเนื้อสัมผัสที่เหนียวและแข็งมากขึ้น (rubber) (Crawford *et al.*, 1979) ดังนั้นการล้างเนื้อปลาสดเพื่อกำจัดไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของฟอร์มาลดีไฮด์ และลดปริมาณเอนไซม์จึงสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าว
- ลดปริมาณเอนไซม์โปรตีเนสในกล้ามเนื้อ กระบวนการล้างและกำจัดน้ำของซูริมิสามารถกำจัดเอนไซม์โปรตีเนส Chang-Lee และคณะ (1989) พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์โปรตีเนสลดลงเหลือร้อยละ 56.3 ภายหลังจากล้าง 2 ครั้งโดยใช้สัดส่วนของเนื้อปลาแปซิฟิกไวทิง ต่อน้ำล้างเท่ากับ 1:3
- ลดกลิ่นคาวปลาในเนื้อปลาสด การล้างเนื้อปลาสามารถลดปริมาณสารต่างๆที่ก่อให้เกิดกลิ่นคาวหรือกลิ่นที่ไม่ต้องการออกจากเนื้อปลา มีผลให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น
- ปรับปรุงสีของซูริมิ การล้างมีผลในการลดสีของเนื้อปลา โดยพบว่าการล้างด้วยจำนวนครั้งที่เพิ่มขึ้นมีผลให้สีมีการยอมรับมากขึ้น (Roussel and Cheftel, 1988; Kim *et al.*, 1996) อย่างไรก็ตามการล้างเนื้อปลาสดด้วยจำนวนครั้งที่เพิ่มขึ้นมีผลให้เนื้อปลาสดมีการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น และมีผลให้การย่อยสลายของโปรตีนไมโอไฟบริลเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้การบีบน้ำยากขึ้นตลอดจนมีผลทำให้ความสามารถในการเกิดเจล ลดลง (Pacheco-Aguilar *et al.*, 1989) ในการผลิตซูริมิจากปลาที่มีเนื้อสีคล้ำนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงหรือพัฒนากระบวนการในการลดสีของเนื้อปลาสด
- ลดปฏิริยาออกซิเดชันของไขมันในเนื้อปลาสด Huang และคณะ (1998) พบว่าปฏิริยาออกซิเดชันของเนื้อปลานิลลดลงเมื่อผ่านการล้างด้วยน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อปลาสดที่ไม่ล้างน้ำระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะการแช่เย็นและสภาวะแช่แข็ง ทั้งนี้อาจเนื่องจาก

การล้างสามารถลดปริมาณไขมัน รวมทั้งเลือดและโปรออกซิแดนซ์ต่างๆ ในเนื้อปลาส่งผลให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันลดลง

9. ลักษณะและคุณภาพของน้ำที่ใช้ล้าง

น้ำที่ใช้ล้างเนื้อปลาบดมีผลต่อคุณภาพของซูริมี ปัจจัยที่มีผล เช่น อุณหภูมิ ความกระด้าง ฟิเอช และความเค็ม ส่วนปริมาณคลอรีนมีผลต่อการฟอกสีและการกำจัดกลิ่นในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นคุณภาพของน้ำที่ใช้พอสรุปได้ดังนี้ (Lee, 1986)

- อุณหภูมิของน้ำควรต่ำเพียงพอเพื่อไม่ให้โปรตีนในเนื้อปลาบดสูญเสียสมบัติการเกิดเจล อุณหภูมิที่เหมาะสมควรน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปสมบัติการเกิดเจลของโปรตีนลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น
- น้ำที่ใช้ควรเป็นน้ำอ่อน ปราศจากแคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส ส่วนเหล็กและแมงกานีส เป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสีของซูริมี ionic strength ของน้ำที่ใช้ล้างมีผลต่อการสะสมน้ำของเนื้อปลาบด โดยปกติเนื้อปลาบดมีแนวโน้มอุ้มน้ำมากขึ้น เมื่อมีการล้างจำนวนครั้งมากขึ้น ดังนั้นมีการเติมเกลือลงในน้ำล้างสุดท้ายเพื่อเพิ่ม ionic strength ของน้ำล้าง สภาวะที่ก่อให้เกิดการชอนน้ำนั้นจะเกิดขึ้นต่ำสุดเมื่อมี ionic strength ระหว่าง 0.005-0.1 (Okada and Tamoto, 1986a,b) ซึ่งเป็นสภาวะที่ใกล้เคียงกับการใช้เกลือแกงร้อยละ 0.03-0.6 (Toyoda *et al.*, 1992)
- ฟิเอชของน้ำควรมีค่าใกล้เคียงกับฟิเอชของเนื้อ (ฟิเอช 6.5-7.0) เพื่อให้เนื้อบดมีสมบัติการอุ้มน้ำสูงสุด ฟิเอชของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับฟิเอชของเนื้อ น้ำที่ใช้ล้างควรมีค่าใกล้เคียงกับเนื้อเพื่อคงรักษาสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากเนื้อ ในกรณีที่ฟิเอชของเนื้อลดต่ำลงจึงจำเป็นต้องล้างด้วยสารละลายต่างเพื่อปรับฟิเอช โดยทั่วไปมักใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต (Toyoda *et al.*, 1992)
- จำนวนครั้งและระยะเวลาในการล้าง จะขึ้นอยู่กับชนิดองค์ประกอบและความสดของเนื้อที่นำมาล้าง โดยทั่วไปองค์ประกอบที่ละลายน้ำจะอยู่รูปอิสระซึ่งจะถูกชะล้างอย่างรวดเร็วในการล้างด้วยน้ำแรกและการกำจัดองค์ประกอบที่ละลายน้ำยังขึ้นกับระยะเวลาในการกวน (Lee, 1986a) โปรตีนที่สกัดได้ส่วนมากจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อใช้ระยะเวลาในการล้างเพิ่มขึ้น ดังนั้นระยะเวลาที่เนื้อซูริมีอยู่ในน้ำควรสั้นที่สุดแต่นานเพียงพอในการสกัดหรือชะล้างโปรตีนชนิดละลายน้ำได้ Lee (1986b) พบว่าการล้างแต่ละครั้งอย่างต่อเนื่องจะทำให้ได้ค่าความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นและหลังจากนั้นค่อยๆคงที่โดยอัตราส่วนน้ำต่อเนื้อที่เหมาะสมต่อการล้างคือ 3:1

Yang และ Froning (1992) พบว่าชูริมิจากเนื้อไก่ที่ผ่านการล้าง กำจัดไขมัน แล้วกรองผ่านตะแกรงขนาด 1.4 mm สามารถกำจัดไขมัน โปรตีนและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันออกไปโดยชูริมิไก่ที่ผ่านการล้างจะมีความแข็งแรงของเจลมากกว่าเนื้อไก่บดที่ไม่ผ่านการล้าง เนื่องจากการล้างเป็นการกำจัดไขมัน โปรตีนซาร์โคพลาสติก และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันออกไปจากเนื้อบด นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่า โปรตีนซาร์โคพลาสติก และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันจะไปรบกวนการสร้างโครงข่าย 3 มิติของโปรตีนไมโอไฟบริล ในระหว่างการให้ความร้อน นอกจากนี้ยังพบว่าสารเคมีที่ใช้ในการล้างมีผลต่อคุณสมบัติของเจล การล้างเนื้อไก่บดด้วยน้ำ สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ร้อยละ 0.5 สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมฟอสเฟต (pH 7.2 ความแรงของ อีออน 0.1) หรือสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.1 โมลาร์ เพิ่มความแข็งแรงของเจลเปรียบเทียบกับเนื้อไก่บดที่ไม่ผ่านการล้าง การเลือกใช้สารละลายในการล้างมีผลต่อความขาวของเนื้อไก่บด (L^*) พบว่าค่าความขาวเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) สำหรับการล้างเนื้อไก่บดด้วยน้ำและสารละลายอื่นๆ แต่ค่าสีแดง (a^*) ลดลงแตกต่างกัน เมื่อล้างเนื้อไก่บดด้วยน้ำค่าสีแดงลดลงร้อยละ 27 แต่การล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ สารละลายโซเดียมฟอสเฟตและสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตมีผลให้ค่าสีแดง (a^*) ลดลงร้อยละ 70 72 และ 80 ตามลำดับ (Dawson *et al.*, 1989) เนื้อไก่บดที่ผ่านการล้างจะอุ้มน้ำซึ่งจะมีอิทธิพลต่อเนื้อสัมผัส พบว่าค่าแรงตึงของเจลเพิ่มขึ้นเมื่อล้างด้วยสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตและลดต่ำลงเมื่อล้างด้วยสารละลายอื่น ค่า Gumminess และ Chewiness มีค่าเพิ่มขึ้นหลังผ่านการล้างด้วยน้ำและสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และหลังการให้ความร้อนพบว่าเนื้อไก่บดที่ผ่านการล้างด้วยน้ำมีความแข็งแรงของเจลสูงสุดเมื่อเทียบกับสารละลายอื่นๆ

เทวินทร์ ธรรมสอน (2539) พบว่า การล้างเนื้อไก่ด้วยสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 0.5 ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.038 โมลาร์ พีเอช 7.2 โซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 และน้ำประปาทำให้ปริมาณไขมันลดลง ปริมาณความชื้น ค่าแรงยึดเกาะขึ้นเนื้อ ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือและค่าความสว่าง (L^*) สูงขึ้น ส่วนค่าสีแดง (a^*) ลดลง ยกเว้นการล้างเนื้อไก่ด้วยน้ำประปา ไม่ช่วยปรับปรุงคุณภาพสี เนื้อที่ผ่านการล้างด้วยโซเดียมคลอไรด์ มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการใช้ผลิตชูริมิมากที่สุดเนื่องจากมีปริมาณผลผลิตโปรตีน (recovery protein) สูง ให้ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือใกล้เคียงกับการล้างด้วยสารละลายอื่นๆ และให้ค่ายึดเกาะขึ้นเนื้อสูงที่สุด

Dawson และคณะ (1989) พบว่าโปรตีนที่สูญเสียไปกับการล้างคือ โปรตีนซาร์โคพลาสติก โปรตีนที่สูญเสียไปนี้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ ชนิดของวัตถุดิบ สารละลายที่ใช้ล้าง เทคนิคและวิธีการล้าง เป็นต้น นอกจากนี้ พบว่าในการล้างเนื้อไก่ ทำให้ปริมาณโปรตีนและความชื้นของเนื้อที่ล้างมีค่าสูงขึ้น เป็นเพราะปริมาณไขมันที่ลดลง การล้างเนื้อด้วยสารละลายที่มี

พีเอชเป็นกลางจนถึงด่างทำให้ประจุบวก-ลบ ในระหว่างหมู่ต่างๆของโปรตีนเกิดการผลักกันเป็นผลทำให้เกิดช่องว่างระหว่างสายเปปไทด์เนื้อจึงสามารถอุ้มน้ำได้มากขึ้น

10. ระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ

ตามปกติค่าความเป็นกรด-ด่างหรือค่าพีเอชของกล้ามเนื้อในขณะที่มีชีวิตจะอยู่ที่ระดับ 7 หรือต่ำกว่าเล็กน้อย เมื่อสัตว์ ถูกฆ่าจะทำให้ค่าพีเอชภายในกล้ามเนื้อลดลงจนกระทั่งถึงจุดหนึ่งซึ่งจะไม่ลดลงอีกต่อไป ที่จุดนี้จะมีค่าพีเอชประมาณ 5.5-6.0 สภาวะความเป็นกรด-ด่าง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการอุ้มน้ำของกล้ามเนื้อ ซึ่ง water holding capacity; WHC จะต่ำสุดที่ pH ประมาณ 5.0-5.5 ซึ่งก็คือ pI ของโปรตีนส่วนใหญ่ อธิบายได้ว่าในสภาวะแวดล้อมที่โปรตีนกล้ามเนื้อมี pH ใกล้เคียงกับ pI ทำให้โมเลกุลโปรตีนจะมีประจุรวมเป็นศูนย์ ไม่มีแรงผลักกันระหว่างโมเลกุล โปรตีนเกิดเป็นโครงสร้างที่จับกันแน่นขึ้น ทำให้ที่ว่างสำหรับการจำกัดน้ำไว้ในโครงสร้างมีน้อย ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนจึงต่ำ (Huff-Lonergan and Lonergan, 2005) แต่ถ้า pH ของโปรตีนอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่สูงกว่า pI จะทำให้ประจุรวมเป็นลบ หรือต่ำกว่า pI จะทำให้ประจุรวมเป็นบวก จึงเกิดแรงผลักกันภายในโครงสร้างทำให้โปรตีนมีช่องว่างระหว่างโมเลกุลขยายใหญ่ขึ้น ส่งผลให้น้ำจากภายนอกเข้ามาสู่ภายใน โครงสร้าง จึงทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนเพิ่มขึ้นด้วย (Zayas, 1997; Ruusunen and Puolanne, 2005)

11. ปริมาณเกลือที่เติมลงไปในเรื่องต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ

เกลือ (NaCl) มีความสำคัญต่อประจุของโปรตีน ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อหรือการพองตัว ขึ้นอยู่กับ pH ของเนื้อสัตว์ ซึ่ง NaCl จะเพิ่มการอุ้มน้ำเมื่อโปรตีนมี pH สูงกว่า pI และลดลงเมื่อ pH ต่ำกว่า pI (Hamm, 1975) การเติมเกลือในเนื้อจะทำให้ค่าความแรงของไอออน (ionic strength) เพิ่มขึ้น ค่ากิจกรรมของน้ำ (A_w) ต่ำลง เกลือจะแตกตัวเป็น Na^+ และ Cl^- ซึ่งเกี่ยวข้องกับการที่ Cl^- ไปจับกับประจุบวกของโปรตีนไมโอไฟบริล ที่หมู่อะมิโนโปรตีนจึงมีประจุลบมากขึ้น ทำให้เกิดแรงผลักกันให้โครงร่างของโปรตีนเปิดออก ส่งผลให้น้ำสามารถเข้ามาในร่างแหของโปรตีนได้มากขึ้น ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนกล้ามเนื้อจึงเพิ่มขึ้น (Zayas, 1997; Ruusunen and Puolanne, 2005) ถ้าใส่เกลือมากเกินไป เกลือส่วนที่เหลือจากการจับกับโปรตีนจะไปเกาะกับน้ำเกิดการดึงน้ำแย่งกับโปรตีน เนื่องจากเกลือมีความสามารถในการรวมตัวกับน้ำดีกว่าโปรตีนจะจับกับน้ำ จึงเป็นสาเหตุให้โปรตีนเสียน้ำ โปรตีนมีโอกาสรวมกันตกตะกอนออกมาได้ (Zayas, 1997; Ruusunen and Puolanne, 2005)

แม้ว่าเกลือมีบทบาทที่สำคัญในการช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์ แต่หากมีปริมาณโซเดียมที่เข้าสู่ร่างกาย (sodium intake) มากเกินไป ซึ่งส่วนใหญ่มาจากโซเดียมคลอไรด์นั้น จะมีผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภค ทำให้เกิดความดันโลหิตสูง ดังนั้นการลดปริมาณเกลือในผลิตภัณฑ์จะทำให้ลดปริมาณโซเดียมที่เข้าสู่ร่างกายได้ แต่ในผลิตภัณฑ์อาจทำให้สูญเสียคุณสมบัติเชิงหน้าที่หลายประการ เช่น การป้องกันการเกิด cooking loss คุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัส เป็นต้น ซึ่งการใช้ฟอสเฟตสามารถใช้แทนเกลือได้อย่างมีประสิทธิภาพในผลิตภัณฑ์เนื้อหลายชนิด (Trout and Schmidt, 1984; Ruusunen and Puolanne, 2005)

12. สารประกอบฟอสเฟต

สารประกอบฟอสเฟตเป็นสารประกอบที่ผลิตได้จากกรดฟอสฟอริก โดยนำกรดชนิดนี้มาทำให้เป็นกลางเพียงบางส่วนหรือทั้งหมด โดยการเติมอ็อกไซด์ที่เป็นต่าง ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม และ แคลเซียม (Dziezak, 1990) ฟอสเฟตเป็นสารที่ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารหลายชนิด เช่น เนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์นม ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ และผลิตภัณฑ์อาหารทะเล ในสหรัฐอเมริกาได้มีการรับรองให้สารพอลิฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบของอาหารที่ปลอดภัย (GRAS) นอกจากนี้มีมาตรฐานกำหนด (Standard of identity) ของผลิตภัณฑ์อาหารทะเล ซึ่งระบุใน Code of Federal Regulations (US Food Drug Administration) (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2548)

12.1 คุณสมบัติของสารประกอบฟอสเฟต สารประกอบฟอสเฟตมีสมบัติและหน้าที่ในอาหาร

- สมบัติการเป็นบัฟเฟอร์ ออร์โทฟอสเฟตมีสมบัติการเป็นบัฟเฟอร์ที่ดีที่สุดสำหรับช่วงพีเอช 2-3, 5.5-7.5 และ 10-12 ส่วนสารประกอบพอลิฟอสเฟตชนิดโซ่ยาวมีสมบัติการเป็นบัฟเฟอร์ต่ำ และสมบัติการเป็นบัฟเฟอร์จะลดลงเมื่อความยาวโซ่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้สารประกอบฟอสเฟตสามารถใช้ในการปรับพีเอช ทั้งนี้ควรพิจารณาเลือกชนิดที่เหมาะสม เนื่องจากสารประกอบฟอสเฟตมีทั้งชนิดที่เป็นกรดและเป็นต่าง
- สมบัติในการจับอ็อกไซด์ของโลหะ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง และเหล็ก ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสี และกลิ่นของอาหาร การใช้ฟอสเฟตจับอ็อกไซด์ของโลหะจึงสามารถลดปัญหาดังกล่าว สารพอลิฟอสเฟตชนิดสายโซ่ให้ผลจับโลหะที่ดี แต่ประสิทธิภาพการจับโลหะจะลดลงเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น
- สมบัติเป็นสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ ฟอสเฟตสามารถแตกตัวเป็นประจุลบมากกว่า 1 ประจุ เช่น ออร์โทฟอสเฟตให้ประจุตั้งแต่ 1-3 อะตอม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพีเอช

สำหรับสารพอลิฟอสเฟตจะมีประจุลบมากเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นสารประกอบพอสเฟตจึงสามารถจับกับองค์ประกอบอื่นๆในอาหาร ก่อให้เกิดความคงตัวหรือการกระจายตัวขององค์ประกอบ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นสารให้ความคงตัวของอิมัลชัน (emulsifier) ในอาหารบางชนิด

12.2 การใช้สารประกอบพอสเฟตในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

ไฟโรฟอสเฟต และไตรพอลิฟอสเฟตสามารถเพิ่มการละลายของโปรตีน และสามารถแทรกซึมผ่านชั้นเนื้อได้ดีกว่าเฮกซะเมตาพอสเฟต ทั้งนี้เนื่องจากเฮกซะเมตาพอสเฟตมีโมเลกุลขนาดใหญ่ จึงเกิดการซึมผ่านได้น้อย และเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอัตราการแพร่ และการดูดซับลดลงอาจจะเป็นผลจาก salting-out จากความแรงไอออนที่สูงขึ้น พอสเฟตที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (ร้อยละ 1.6) สามารถช่วยให้น้ำซึมผ่านชั้นเนื้อได้ในระดับลึก ขณะที่พอสเฟตที่ระดับความเข้มข้นสูง (ร้อยละ 3.2) ร่วมกับสารละลายเกลือสามารถเพิ่มการซึมผ่านน้ำที่ชั้นผิวหนังของชั้นเนื้อ (Xiong and Kupski, 1999) ไฟโรฟอสเฟตสามารถซึมผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อได้มากที่สุด สังเกตได้จากการละลายของโปรตีนที่เพิ่มขึ้น ทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อเกิดการพองตัว (Offer and Trinick, 1983) และไฟโรฟอสเฟตยังทำให้เกิดการแตกตัวของแอกโตไมโอซินเป็น ไมโอซิน และแอกตินซึ่งเกิดการแตกตัวของแอกโตไมโอซินทำให้เกิดการขยายตัวของช่องว่างในไมโอไฟบริลทำให้เพิ่มการดูดซับน้ำ (Bendall, 1954) นอกจากนี้การใช้พอสเฟตร่วมกับสารละลายเกลือสามารถเพิ่มสมบัติการเชื่อมประสานของลูกชิ้นเนื้อ (Moore *et al.*, 1976) โดยสามารถเร่งการแตกตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อและเพิ่มการละลายโปรตีนไอโอไฟบริล (Theno *et al.*, 1978)

Maki และ Froning (1987) พบว่า การใช้โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตร้อยละ 12 ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 7 ในไก่วงสามารถเพิ่มการสกัดไมโอไฟบริล การคลุกเคล้าสามารถเพิ่มการสกัดโปรตีนโดยไม่ขึ้นกับปริมาณโซเดียมคลอไรด์ และหรือพอสเฟตสามารถเพิ่มคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสได้ โดยพอสเฟตสามารถช่วยทำให้เนื้ออุ้มน้ำได้เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าพีเอชและความแรงไอออนเพิ่มขึ้นและทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับแมกนีเซียมและแคลเซียมบนโปรตีนทำให้โปรตีนสามารถแตกตัวและมีสมบัติในการรวมตัวหรือจับน้ำได้มากขึ้น

Capita และคณะ (2000) ศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อไก่หลังจากแช่ในสารละลายไตรโซเดียมพอสเฟต (ร้อยละ 8 และ 10) นาน 15 นาที เปรียบเทียบกับเนื้อไก่ที่ผ่านการแช่น้ำ (ชุดควบคุม) พบว่า คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่น การยอมรับรวมไม่มีความแตกต่างกัน ยกเว้นการใช้ไตรโซเดียมพอสเฟตร้อยละ 12 มีผลให้ สี กลิ่น และการยอมรับรวมมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุม ส่วน Chang และRegenstein (1997) ศึกษาผลของการเติม โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต และโซเดียมเฮกซะเมตาพอสเฟต (ความเข้มข้นร้อยละ 0.5) ในเนื้อปลาทอดบดระหว่าง

การเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ต่อสมบัติการอุ้มน้ำ และการละลายของโปรตีนจากเนื้อปลาสด พบว่า เนื้อปลาคอดที่เติมโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตมีสมบัติการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น รวมทั้งเพิ่มการสกัดโปรตีนที่ละลายได้มากกว่า การใช้โซเดียมไตรฟอสเฟต อย่างไรก็ตาม ฟอสเฟตทั้ง 2 ชนิด ให้การอุ้มน้ำและปริมาณโปรตีนที่ละลายได้มากกว่าชุดควบคุมจากการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต (ร้อยละ 4) ต่อสมบัติการอุ้มน้ำ และการละลายโปรตีน พบว่าเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 0.7 ส่งผลให้ค่าการอุ้มน้ำน้อยลง แม้ว่าโปรตีนที่ละลายได้ยังคงเพิ่มขึ้น Yasui และคณะ (1964) พบว่า เฮกซะเมตาฟอสเฟตสามารถจับกับแอคโตไมโอซินได้มากกว่าฟอสเฟตชนิดอื่น โดยทั่วไปความสามารถในการสกัดโปรตีนที่ละลายได้ เช่น ไมโอซินเส้นหนักมีความสัมพันธ์กับค่าการอุ้มน้ำที่สูงขึ้นแต่การสกัดไมโอซินเส้นหนักที่มากเกินไปเป็นสาเหตุให้เกิดการทำลายโครงสร้างของโปรตีนชนิดไม่ละลายน้ำ รวมทั้งยับยั้งอันตรกิริยาระหว่าง ไมโอซินเส้นหนักกับน้ำ ส่งผลให้การอุ้มน้ำของกล้ามเนื้อลดลง

12.3 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของฟอสเฟต

โดยทั่วไปฟอสเฟตมักใช้ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน สารประกอบฟอสเฟตซึ่งจะช่วยทำให้เพิ่มการอุ้มน้ำได้มากกว่าการใช้โซเดียมคลอไรด์อย่างเดียว (Shultz *et al.*, 1973; Trout and Schmidt, 1986) สารประกอบฟอสเฟตสามารถใช้ในการเพิ่มผลผลิตและลดการสูญเสียของเนื้อสัตว์ปีก Froning และ Sackett (1985) แช่เนื้อไก่กึ่งวงในสารละลายฟอสเฟตชนิดต่างๆ ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 10 (โซเดียมไตรฟอสเฟต และหรือฟอสเฟตผสม) ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ (ร้อยละ 7) พบว่าการใช้ฟอสเฟตร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ สามารถลดการสูญเสียความชื้น และลดน้ำหนักที่สูญเสียหลังการให้ความร้อนของเนื้อไก่กึ่งวง โดยไม่มีผลต่อค่าแรงเฉือน เมื่อนำเนื้อไก่กึ่งวงมาทำเป็นลูกชิ้น พบว่าการใช้ฟอสเฟตร่วมกับโซเดียมคลอไรด์สามารถเพิ่มสมบัติทางประสาทสัมผัส (ความสามารถในการจับตัว ความนุ่ม และกลิ่นรส) ของลูกชิ้นโดยสามารถเพิ่มการสกัดโปรตีนไมโอไฟบริลได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว Xiong และคณะ (2000a) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อไก่เมื่อใช้สารประกอบฟอสเฟตชนิดต่างๆ ที่ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ร่วมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (ความเข้มข้น 0.1-1.0 โมลาร์) พบว่า ไฟโรฟอสเฟต และไตรฟอสเฟต ให้ผลเหมือนกันคือสามารถช่วยในการสกัดโปรตีน ในขณะที่ออร์โทฟอสเฟตให้ผลเหมือนชุดควบคุม แต่เฮกซะเมตาฟอสเฟตสามารถสกัดโปรตีนในระดับปานกลาง สารประกอบฟอสเฟตมีผลต่อโครงสร้างระดับจุลภาค กล่าวคือทำให้ไมโอซินมีโครงสร้างที่หลวมขึ้นส่งผลให้การอุ้มน้ำได้มากขึ้น

การใช้สารประกอบฟอสเฟตร่วมกับโซเดียมคลอไรด์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดโปรตีน โดยสามารถลดความเข้มข้นของการใช้โซเดียมคลอไรด์ในการสกัดโปรตีนไมโอไฟบริลเมื่อเทียบกับการใช้โซเดียมคลอไรด์เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ Xiong และคณะ (2000b) ยังเปรียบเทียบผลของโซเดียมคลอไรด์ (ความเข้มข้น 0.1-1.0 โมลาร์) ร่วมกับโซเดียมไทรฟอสเฟตเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ที่พีเอชต่างๆ ต่อโปรตีนไมโอไฟบริลจากกล้ามเนื้อไก่ 2 ชนิด หลังระยะเกร็งตัว คือกล้ามเนื้อขาว *Pectoralis major* (PM, white) และกล้ามเนื้อแดง *Gastrocnemius* (Gas, red) พบว่า เมื่อพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้นสามารถสกัดโปรตีนได้เพิ่มขึ้น และสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างได้ชัดเจนกว่าที่พีเอชต่ำ โดยที่พีเอชเท่ากับ 6 สามารถสกัดโปรตีนจากเนื้อขาวได้มากกว่าเนื้อแดง และไมโอไฟบริลของเนื้อขาวสามารถขยายตัวได้มากกว่าเนื้อแดง ทั้งนี้เป็นผลจากความสามารถในการดูดซับน้ำที่แตกต่างกันระหว่างเนื้อขาวและเนื้อแดง นอกจากนี้การใช้ ไทรฟอสเฟตร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ สามารถเพิ่มการพองตัว และลดความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ Young และ Lyon (1986) พบว่าการใช้โซเดียมไทรฟอสเฟต ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ สามารถเพิ่มการอุ้มน้ำและเพิ่มปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในเนื้อไก่บด (grind tissue) แต่การใช้โซเดียมไทรฟอสเฟตร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ในสภาวะที่ไม่มีโซเดียมคลอไรด์ ให้ผลดังกล่าวข้างต้นลดลง อย่างไรก็ตามการแช่ชิ้นเนื้อไก่ในสารละลายโซเดียมไทรฟอสเฟตร่วมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และแคลเซียมคลอไรด์สามารถเพิ่มการอุ้มน้ำเพิ่มผลผลิตของผลิตภัณฑ์หลังให้ความร้อนและเพิ่มความนุ่มของเนื้อไก่ได้มากกว่าการแช่เนื้อไก่เพียงอย่างเดียว

13. กลไกการเกิดเจลและการเซตตัวของเจลโปรตีน

โครงสร้างเจลโปรตีนเกิดจากโมเลกุลของโปรตีนจับกันด้วยพันธะต่างๆ เป็นโครงข่ายสามมิติที่สามารถอุ้มน้ำหรือสารอื่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำไว้ภายใน (Damodaran, 1989) การเกิดเจลของโปรตีนสามารถแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ (Oakenfull *et al.*, 1997)

13.1 การสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน (denaturation)

การเกิดเจลของโปรตีนกล้ามเนื้อซึ่งประกอบด้วยโปรตีนไมโอไฟบริล สามารถเกิดได้ในสภาวะที่มีการเติมเกลือร้อยละ 2-3 ภายใต้สภาวะดังกล่าวโปรตีนมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนและอออน (โซเดียมและคลอไรด์อออน) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวประกอบด้วยการบวม (swelling) ของไมโอไฟบริลเนื่องจากแรงผลักของประจุระหว่างเส้นใยโปรตีน (myofilament) การแยกของเส้นใยโปรตีนคือ การแยกแอกตินจากไมโอซินหรือการแยก

ของแอกโตไมโอซินจากโครงสร้างไมโอไฟบริล (depolymerization) ไมโอซินและแอกโตไมโอซิน มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดเจลและมีผลต่อการเกิดเจลของกล้ามเนื้อปลาที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ไมโอซินจัดเป็นโปรตีนที่สำคัญที่สุดต่อการเกิดเจล (Xiong, 1997) การใช้เกลือผสมในเนื้อปลาและเนื้อปลาสดที่ผ่านการล้างน้ำทำให้โปรตีนไมโอไฟบริลซึ่งเป็นโปรตีนที่ละลายในเกลือและโปรตีนส่วนใหญ่ในเนื้อปลาที่ผ่านการล้างเกิดการคลายตัว นอกจากนี้การให้ความร้อนกับโปรตีนมีผลให้โปรตีนเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติเช่นกัน

13.2 การจับเรียงตัวของโปรตีน (aggregation)

การจับเรียงตัวของโมเลกุลโปรตีนมีความสำคัญต่อการเกิดโครงสร้างสามมิติ การเกิดเจลแตกต่างจากขั้นตอนการจับตัวตกตะกอน (coagulation) ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบสุ่มและแบบไม่เป็นระเบียบ ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของโปรตีน ได้แก่ อัตราการให้ความร้อน ชนิดโปรตีน ความเข้มข้นและพีเอช (Stone and Stanley, 1992) รวมถึงอัตราการให้ความร้อนและระยะเวลาการให้ความร้อนซึ่งส่งผลกระทบต่อการคลายตัวและลักษณะของโปรตีนเจลที่เกิดขึ้นเช่นกัน (Foegeding *et al.*, 1986) โดยการให้ความร้อนที่มากเกินไปแก่โปรตีนทำให้โปรตีนไม่สามารถเกิดเจลได้เมื่อนำมาให้ความเย็นเรียกว่า metasol (Domodaran, 1989; Okenfull *et al.*, 1997) นอกจากกระบวนการให้ความร้อนมีผลต่อการเกิดเจลของโปรตีนแล้ว กระบวนการทางเคมีและกายภาพสามารถเหนี่ยวนำการเกิดเจลของโปรตีนได้ แต่อาจให้เจลที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น การใช้ความดันสูงและวิธีการทางเคมี ได้แก่ การใช้กรด เอนไซม์ การเชื่อมประสานรวมถึงการใช้เกลือและยูเรีย วิธีการดังกล่าวมีผลต่ออันตรกิริยาระหว่างโปรตีน-โปรตีนที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อสมบัติของเจลที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ปัจจัยอื่นๆ มีผลต่อสมบัติของเจล เช่น ความเข้มข้นของโปรตีน การสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนอันเนื่องมาจาก พีเอช อุณหภูมิ ความแรงของไอออน และความดัน เป็นต้น (Totosaus *et al.*, 2002)

การให้ความร้อนแก่ชูริมิที่อุณหภูมิซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิที่มีการตกตะกอนซึ่งมีค่าประมาณ 40-50 องศาเซลเซียส ส่งผลให้โปรตีนสามารถคลายตัวบางส่วนและจับรวมตัวบางส่วนด้วยพันธะชนิดอื่นที่ไม่ใช่พันธะโควาเลนต์เกิดเป็นโครงข่ายเจลที่มีความยืดหยุ่น (elastic) และมีเนื้อละเอียด เรียกว่า “ซูวาริ” Benjakul และคณะ (2003) พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ตัวมีผลต่อสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของเจลชูริมิ โดยการแช่ตัวที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการแช่ตัวระหว่าง 0-8 ชั่วโมง ทำให้ค่าแรงเจาะทะลุ (breaking force) และระยะทางก่อนการเจาะทะลุ (breaking deformation) ของชูริมิเพิ่มขึ้นซึ่งความแข็งแรงของเจลที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของพันธะชนิดที่ไม่ใช่พันธะไดซัลไฟด์ (non-disulfide bond) การเชื่อมประสานของไมโอซินเส้นหนัก (myosin heavy chain; MHC) มีสาเหตุจากเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสภายในกล้ามเนื้อ

(endogenous transglutaminase; TGase) นอกจากนี้ Kumazawa และคณะ (1996) พบว่าปริมาณพันธะ ϵ -(γ -Glutamyl) lysine ในซูริมิจากปลาอแลสกาพอลลอคมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการแช่ตัวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ดังนั้นเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส ภายในกล้ามเนื้อจึงมีบทบาทสำคัญต่อการแช่ตัวของซูริมิโดยอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมประสานโปรตีนในกล้ามเนื้อแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของปลา (Benjakul and Visessanguan, 2003)

13.3 พันธะที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลของซูริมิ

สำหรับพันธะที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลของโปรตีนไมโอไฟบริลจากเนื้อปลามีอยู่หลายชนิดดังนี้

13.3.1 แรงดึงดูดไฮโดรโฟบิก

ซึ่งเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างกรดอะมิโนที่ไม่ละลายน้ำ (hydrophobic amino acid) อันเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของโมเลกุลไมโอซิน แรงดึงดูดไฮโดรโฟบิกจะเกิดมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะการคลายตัวของกลุ่มอะมิโนที่ไม่ละลายน้ำจะเกิดได้มากที่อุณหภูมิสูง (Howe *et al.*, 1994)

13.3.2 พันธะไดซัลไฟด์ (disulfide linkage)

ซึ่งเป็นพันธะโควาเลนต์ประเภทหนึ่ง มีค่าพลังงานพันธะในช่วง 330-380 kJ/mol (Cheftel *et al.*, 1985) ดังนั้นพันธะนี้จึงมีความแข็งแรงมากกว่าแรงดึงดูดไฮโดรโฟบิก กรดอะมิโนที่สามารถสร้างพันธะนี้คือ กรดอะมิโนที่มีหมู่ซัลไฮดริล (sulfhydryl group, -SH) เช่น ซิสตีอีน (cysteine) Samejima และคณะ (1981) พบว่า ส่วน globular head ของไมโอซิน หรือ S-1 เป็นบริเวณที่มีกลุ่มซัลไฮดริลมาก การเชื่อมต่อของ globular head ระหว่างโมเลกุลไมโอซิน จึงสันนิษฐานได้ว่าเกิดจากพันธะไดซัลไฟด์ เมื่อนำเจลนั้นมาทำเย็น ความแข็งแรงของเจลเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากบทบาทของพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นการตรวจวัดคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของเจลโดยเฉพาะเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบคุณภาพจำเป็นต้องวิเคราะห์ที่อุณหภูมิห้องคงที่ ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักจะวิเคราะห์ที่อุณหภูมิห้อง (NFI, 1991)

13.3.3 พันธะโควาเลนต์

ที่เกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างกลุ่มแกมมา-คาร์บอกซีเอไมด์ (γ -carboxyamide) ของกรดอะมิโนกลูตามีน (glutamine) และกลุ่มเอพซิลอน-อะมิโน (ϵ -amino) ของกรดอะมิโนไลซีน (lysine) มีบทบาทสำคัญต่อเนื้อสัมผัสของซูริมิเจล (Kamath *et al.*, 1992) เนื่องจากพันธะโควาเลนต์มีค่าพลังงานพันธะที่สูง การเพิ่มพันธะชนิดนี้จึงมีผลให้เจลที่ได้มีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นสูง การเชื่อมโยงระหว่างกรดอะมิโนทั้งสองชนิดนี้เกิดจากการทำงานของเอนไซม์

ทรานส์กลูตามิเนส (transglutaminase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีอยู่ในเนื้อปลาตามธรรมชาติ (endogenous enzyme) ปริมาณเอนไซม์มีความแตกต่างกันในปลาแต่ละชนิด (Araki and Seki, 1993) การเพิ่มพันธะ ϵ -(γ -glutamyl)-lysine สามารถทำได้โดยบ่มซูริมีที่อุณหภูมิที่เหมาะสมก่อนนำไปทำให้สุก ซึ่งเรียกกระบวนการดังกล่าวว่า setting หรือ ซูวาริ (suwari)

13.4 การให้ความร้อน

การให้ความร้อนโดยตรงโดยปราศจากการแช่ตัว ก่อให้เกิดการคลายตัวของโมเลกุลโปรตีนอย่างรวดเร็ว ทำให้โปรตีนมีแนวโน้มรวมตัวกันอย่างรวดเร็ว และโครงข่ายเจลที่ได้ไม่ต่อเนื่องและน้ำถูกปลดปล่อยออกจากโครงข่ายเจล (Niwa, 1992) นอกจากนี้การให้ความร้อนกับเจลซูริมีนานเกินไป พลังงานความร้อนที่มากเกินไปสามารถทำลายพันธะระหว่างโมเลกุลโปรตีน ส่งผลให้เจลมีความแข็งแรงลดลง (Wu *et al.*, 1985; Niwa, 1992)

13.4.1 การแช่ตัว (setting suwari)

เมื่อให้ความร้อนต่อเนื้อปลาสด ณ อุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้โปรตีนตกตะกอน (coagulation temperature) ซึ่งมีค่าประมาณ 40-50 องศาเซลเซียส โปรตีนสามารถคลายตัวบางส่วนและจับตัวกันด้วยพันธะชนิดอื่นที่ไม่ใช่พันธะโควาเลนต์ เกิดเป็นโครงข่ายของเจลที่โปร่งแสง (translucent) มีความยืดหยุ่น (elastic) และมีเนื้อละเอียด (Lanier *et al.*, 1982; Liu *et al.*, 1982) ไมโอซินส่วนหางมีผลต่อการเกิดโครงข่ายดังกล่าว (Samejima *et al.*, 1981) โดยอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก มีส่วนสำคัญในการเกิดโครงข่ายของเจล ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า setting หรือ suwari การแช่ตัวของโปรตีนแตกต่างกันตามชนิดของปลา (Niwa *et al.*, 1980; Taguchi *et al.*, 1987; Hasting *et al.*, 1990) ทั้งนี้เกิดจากความแตกต่างของโมเลกุลไมโอซิน (Niwa *et al.*, 1980; Taguchi *et al.*, 1987) และความแตกต่างในความสามารถในการเกิดโครงข่ายของโปรตีน (cross-link) (Gill and Conway, 1989; Lee *et al.*, 1990)

13.4.2 การอ่อนตัวของเจล (gel-weakening; modori)

เมื่อให้ความร้อนแก่ซูริมีจนอุณหภูมิสูงกว่า 40-50 องศาเซลเซียส โครงสร้างบางส่วนของซูวาริถูกทำลาย ส่งผลให้เจลมีความอ่อนตัว เรียกว่า โมโดริ ปรากฏการณ์ดังกล่าวขึ้นอยู่กับชนิดของปลา (Shimizu *et al.*, 1981) และได้รับการพิสูจน์ว่าเป็นผลโดยตรงจากเอนไซม์โปรตีเนสซึ่งมีอยู่ในกล้ามเนื้อปลาหรือโปรตีเนส ที่พบในส่วนซาร์โคพลาสมิก ซึ่งสามารถชะล้างออกไปบางส่วนระหว่างการล้างเนื้อปลาสด (Suwansakornkul *et al.*, 1993) โปรตีเนสซึ่งทำงานได้ดีที่พีเอชเป็นด่าง (alkaline proteinase) มีผลต่อการอ่อนตัวของเจล (Lanier *et al.*, 1981) นอกจากนี้ เอนไซม์คาเทปซิน ซึ่งพบมากในปลาบางชนิด เช่น แปะซิฟิกไวทิง มีผลต่อการเกิดโมโดริ (An *et al.*,

1994) Jiang และคณะ (1997) รายงานว่า คาเทปซิน B และ L มีผลต่อการอ่อนตัวของเจลจากปลาแมคเคอเรล

13.4.3 การเกิดเจล (Kamaboko)

เจลซึ่งเกิดจากโครงสร้างโปรตีนที่มีการจับเรียงตัวอย่างมีระเบียบสามารถเกิดขึ้นเมื่อให้ความร้อนต่อโซล ณ อุณหภูมิสูงกว่า 60-70 องศาเซลเซียส (Stone and Stanley, 1992) คามาโบโกะมีลักษณะยืดหยุ่นไม่ใส เกิดขึ้นเมื่อให้ความร้อนผ่านระยะโมโคริ (75 องศาเซลเซียส ขึ้นไป) ซึ่งในช่วงนี้โมเลกุลของโปรตีนไมโอไฟบริลจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงกว่าโครงสร้างเจลซูวารี การจับตัวหรือการจัดเรียงตัวจะเกิดพันธะไฮโดรเจนหรือพันธะไฮโดรโฟบิก

โครงสร้างตาข่ายของแอกโตไมโอซินที่ถูกสร้างขึ้นในช่วงซูวารีสามารถถูกทำลายลงได้ในช่วงอุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส โดยผลของเอนไซม์โปรตีเนส มีกิจกรรมที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ทำให้เจลมีลักษณะอ่อนตัวลงเรียกเจลดังกล่าวว่า โมโคริ เมื่อให้ความร้อนกับเจลซูวารีที่อุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส ทำให้โครงสร้างโมเลกุลของแอกโตไมโอซินมีการจัดเรียงตัวกันอย่างแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งการเกิดโครงสร้างที่แข็งแรงของโปรตีนไมโอไฟบริล นั้นเกิดจากรูปร่างของโมเลกุลที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากความร้อน ทำให้เกิดปฏิกิริยาของอนุมูลบนผิวของโมเลกุลของโปรตีนโดยทั่วไปพันธะระหว่างโมเลกุลภายในเจลเป็นพันธะไฮโดรโฟบิกมากกว่าพันธะไฮโดรเจน

Smyth และ O'Neill (1997) พบว่าเจลซูวารีจากเนื้อไก่ไม่สามารถประเมินค่าความแข็งแรงของเจลจนกระทั่งให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส การให้ความร้อนน้อยกว่า 60 องศาเซลเซียส เจลจะนุ่มและอ่อน แต่เจลจะแข็งแรงขึ้นระหว่างอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเกิดการจับตัวกันระหว่างโปรตีนกับโปรตีน อย่างไรก็ตามความแข็งแรงของเจลไม่แตกต่างกันระหว่าง 70 องศาเซลเซียส และ 80 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นในระบบกล้ามเนื้อระหว่างอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส เป็นจุดวิกฤติในโครงสร้างการเกิดเจล ความร้อนที่ทำให้เกิดเจลจะเป็นจุดที่สำคัญที่มีผลต่อความคงตัวและมีผลต่อเนื้อสัมผัสมากกว่ากระบวนการอื่นๆ (Siegle and Schmidt, 1979) Park และคณะ (1996) กล่าวว่าตัวชี้วัดที่ใช้อธิบายคุณสมบัติเนื้อสัมผัสของเจลซูวารีคือความแข็งแรงของเจล (hardness) และการยึดเกาะกันของเจล (cohesiveness) เมื่อให้ความร้อน แต่จะพบว่าการศึกษาการยึดเกาะของเจลมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ดังนั้นจะมีเพียงค่าความแข็งแรงของเจล เท่านั้นที่ใช้เป็นดัชนีอธิบายได้ เมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูวารีจากเนื้อวัว เนื้อหมู และซูวารีจากปลา โดยวัดความแข็งแรงของเจลหลังจากการให้ความร้อน โดยตัวอย่างจะถูกให้ความร้อนอย่างช้าๆ จาก 35-80 องศาเซลเซียส ในอัตราเร็วคงที่ 0.5 องศาเซลเซียส ต่อนาที จะเห็นว่าเจลของผลิตภัณฑ์

ชุนริจะมีค่าความแข็งแรงมากที่สุดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นระยะที่อุณหภูมิเกิดเจลอย่างสมบูรณ์ (คามาโบโกะ) และที่อุณหภูมิต่ำๆ 40-45 องศาเซลเซียส ความแข็งแรงของเจลชุนริมาจากปลา จะมีความแข็งแรงมากที่สุด มากกว่าผลิตภัณฑ์ชุนริจากเนื้อวัวและเนื้อหมู และเมื่อให้ความร้อนที่มากกว่า 45 องศาเซลเซียส ความแข็งแรงของเจลชุนริจากเนื้อวัวและเนื้อหมูจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ประมาณ 10 เท่าของเดิม ในขณะที่เจลชุนริจากปลาเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ที่อุณหภูมิมากกว่า 55 องศาเซลเซียส จนถึง 80 องศาเซลเซียส ความแข็งแรงของเจลชุนริจากเนื้อวัวมากกว่าเนื้อหมูและเนื้อปลาตามลำดับ โดยที่ความแข็งแรงของเจลชุนริจากปลาจะลดลงที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ในขณะที่เจลชุนริจากเนื้อวัว และเนื้อหมูจะมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากว่าปริมาณโปรตีนของกล้ามเนื้อสัตว์แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ซึ่งไมโอซินจากปลาจะมีความคงตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า ไมโอซินจากสัตว์เลือดอุ่น นอกจากนี้เมื่อทำการศึกษาค่าความแข็งแรงของเจลชุนริจากเนื้อวัว เนื้อหมู และชุนริจากปลาที่อุณหภูมิเดียวกันคือ ที่ 60 และ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จะพบว่าความแข็งแรงของเจลจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของปริมาณโปรตีน ไมโอไฟบริล ในสัตว์แต่ละชนิดและระดับอุณหภูมิที่ใช้โดยจะเห็นว่าแต่ละระดับโปรตีนของเจลชุนริจากเนื้อวัวจะมีความแข็งแรงที่สุดและเจลชุนริจากเนื้อหมู และปลามี ความแข็งแรงรองลงมาตามลำดับและที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ค่าความแข็งแรง ของเจล ที่มีความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 10 จะสูงกว่าเจลที่เกิดจากอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าระดับการให้ความร้อนและปริมาณความเข้มข้นของโปรตีน ไมโอไฟบริลมีผลต่อความแข็งแรงของเจล

14. ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป

14.1 เนื้อขึ้นรูป (restructured meat)

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเนื้อเยื่อกล้ามเนื้ออาจเป็นส่วนที่มีราคาต่ำหรือเศษเนื้อที่เหลือจากการตัดแต่ง ผ่านกรรมวิธีทำให้เกาะกันเป็นก้อนเนื้อใหม่ ที่มีความสม่ำเสมอ มีกลิ่นรส สี และเนื้อสัมผัสคล้ายกับเนื้อที่มีคุณภาพดี แต่มีราคาต่ำกว่าเนื้อสัตว์สด (Mandigo, 1986) ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปที่ดีจะต้องคงรูปได้ดี มีการเกาะกันระหว่างชิ้นเนื้อทั้งหมดเป็นก้อนเดียวกัน การเกาะกันของชิ้นเนื้อเกิดขึ้นเนื่องจากโปรตีน ไมโอไฟบริลที่ละลายออกมาในสารละลายเกลือ ทำหน้าที่เป็นตัวยึดชิ้นเนื้อให้ติดกันได้เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นเจล ซึ่งเจลที่เกิดขึ้นนี้สามารถยึดเกาะชิ้นเนื้อได้แน่น (Siegel and Schmidt, 1979a) Siegel และ Schmidt (1979a,b) พบว่าโปรตีนที่ให้ค่าแรงยึดเกาะชิ้นเนื้อดีที่สุดคือ ไมโอซิน Macfarlane และคณะ (1977) พบว่าในสภาวะที่มีความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์มากกว่า 1.0 โมลาร์ ขึ้นไปโปรตีนที่ให้ค่าแรงยึดเกาะชิ้นเนื้อที่ดีที่สุดคือ ไมโอซิน รองลงมาคือ แอคโตไมโอซิน ส่วนโปรตีนซาร์โคพลาสมิคไม

สามารถยืดเกาะขึ้นเนื้อได้ แต่ในสถานะที่ไม่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์โปรตีนผสมระหว่างไมโอซินและซาร์โคพลาสมิคจะให้ค่าแรงยืดเกาะขึ้นเนื้อสูงที่สุด

14.2 กลไกการขึ้นรูป

เศษเนื้อที่ดีและการเชื่อมระหว่างเศษชิ้นเนื้อที่ดี เป็นสิ่งสำคัญที่จะบ่งชี้ถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จึงต้องทราบถึงหลักการเชื่อมติดกันของกล้ามเนื้อเพื่อการผลิตเนื้อขึ้นรูปที่มีคุณภาพดี การผลิตเนื้อขึ้นรูปอาศัยหลักการของการเชื่อมติดของเศษเนื้อพิจารณาได้จากโปรตีนที่ละลายได้ในกล้ามเนื้อโดยการให้ความร้อนให้เศษเนื้อรวมกันเป็นก้อนขึ้นเนื้อทำให้เกิดแรงเชื่อมและแรงดึงดูคในชิ้นเนื้อสุดท้ายทำให้ทนต่อการแตกหักและยังคงรูปก้อนเนื้ออยู่ในขณะตัดและรับประทาน (Jolley and Purslow, 1988)

กลไกการเชื่อมติดกันของกล้ามเนื้อของผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปเกิดจากแรงยึดเหนี่ยวของเส้นใยกล้ามเนื้อและโปรตีนที่ละลายได้ในกล้ามเนื้อ (ไมโอซิน) ซึ่มีออกมาจากเศษชิ้นเนื้อและเป็นตัวเชื่อมเศษชิ้นเนื้อเข้าด้วยกันเมื่อได้รับความร้อน การละลาย และการสกัด โปรตีนที่ผิวของเศษ ชิ้นเนื้อส่งเสริมให้เกิดการเคลือบยึดเหนี่ยวกัน เนื่องจากโปรตีนที่ละลายได้ถูกสกัดจากภายในสู่ภายนอกของเศษชิ้นเนื้อแทนที่อากาศจากผิวชิ้นเนื้อในระหว่างการผลิต ลักษณะการยึดเหนี่ยวของชิ้นเนื้อ ไชมัน และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันบนผิวของชิ้นเนื้อไม่อยู่ในตำแหน่งที่ดีแล้ว จะทำให้ไขมัน ไม่ถูกเคลือบด้วยสารละลายและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันไม่ยึดติดกันด้วยดี โดยโปรตีนไมโอไฟบริลที่ละลายออกมา โดยปกติเมื่อแรงยึดเหนี่ยวถูกทำให้เกิดขึ้นโดยความร้อนจะเหนี่ยวนำให้เกิดเจล หรือปฏิกิริยาโพลีเมอร์ซึ่งถูกเหนี่ยวนำโดยทางเคมี พันธะที่แข็งแรงทางกัระหว่างสารเชื่อมกับผิวของเนื้อเกิดได้เนื่องจาก

- การเชื่อมติดกันระหว่างสารเชื่อมกับโมเลกุลโพลีเมอร์ของกล้ามเนื้อ
- การกระจายของโมเลกุลของสารเชื่อมเข้าสู่ผิวของกล้ามเนื้อ
- แรงไฟฟ้าสถิตเนื่องจากความสามารถในการเชื่อมกันของสารเชื่อมกับกล้ามเนื้อ
- เกิดพันธะเคมีรวมทั้งการยึดเหนี่ยวของแรงวาเลนต์โควาเลนต์ และการยึดเหนี่ยวของพันธะไฮโดรเจน

14.3 กรรมวิธีการผลิตเนื้อขึ้นรูปมี 3 กรรมวิธี (Pearson and Tauber, 1984)

14.3.1 การตัดเป็นก้อนและขึ้นรูป (Chunking and Forming)

ทำเนื้อเป็นก้อนโดยบดผ่านเครื่องบดเนื้อชนิดหยาบ เช่นเครื่องบดเนื้อหรือโดยใช้เครื่องตัดเนื้อตัดเป็นชิ้นลูกเต๋า (dicing machine) ให้มีขนาดของชิ้นเนื้อไม่เกิน 1.5 ลูกบาศก์นิ้ว แล้วผสมกับเกลือ ฟอสเฟต และส่วนผสมอื่นๆ ที่ช่วยในการปรุงรส ขั้นตอนการผสมเนื้อช่วยให้

เกิดการสกัดโปรตีนไมโอไฟบริล อาจเติมสารเชื่อมเพื่อช่วยให้เกิดการเชื่อมของชิ้นเนื้อ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปแท่งสี่เหลี่ยมยาว (Meat loaves) ซึ่งจะขึ้นรูปโดยอัดใส่ไส้เทียมหรือแม่พิมพ์ แล้วแช่เยือกแข็งทันที หลังจากนั้นบ่ม แล้วหั่นเป็นชิ้นที่มีความหนาตามต้องการ แช่เยือกแข็งอีกครั้ง และเก็บที่อุณหภูมิ แช่เยือกแข็ง ข้อดีของเนื้อขึ้นรูปชนิดนี้คือ มีเนื้อสัมผัสและโครงสร้างคล้ายชิ้นเนื้อ แต่มีข้อเสียคือเกิดออกซิเดชันได้ง่าย ซึ่งแก้ไขได้โดยการใช้สารกันหืนในปริมาณที่เหมาะสม ในระหว่างการผลิต

14.3.2 การหั่นเป็นแผ่นและขึ้นรูป (Flaking and Forming)

หั่นเนื้อเป็นแผ่นบาง ผสมกับเกลือและฟอสเฟตจนมีความเหนียวปานกลาง อัดใส่ถุงพลาสติกภายใต้สุญญากาศ แช่เยือกแข็ง บ่ม แล้วอัดด้วยแรงดันให้มีรูปร่างตามต้องการ หั่นเป็นชิ้น บรรจุและเก็บที่อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง เนื้อขึ้นรูปชนิดนี้นิยมผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สด เช่น เนื้อสเต็ก เนื้ออบ เนื้อทอด และเนื้อย่าง มักใส่เกลือปริมาณร้อยละ 0.5-1.0 และโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 0.25 ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนและให้กลิ่นรสที่ดี ข้อดีของเนื้อขึ้นรูปชนิดนี้คือ มีเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสคล้ายชิ้นเนื้อปกติ ซึ่งอยู่ระหว่างเนื้ออบและชิ้นเนื้อ สามารถทำให้เป็นชิ้นที่มีขนาดและรูปร่างตามต้องการ ปราศจากกระดูก จัดเป็นการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่มีราคาต่ำให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้นแต่มีข้อเสีย คือใช้แรงงานและค่าใช้จ่ายมากและผลิตภัณฑ์เกิดการออกซิเดชันได้ง่ายซึ่งปัญหานี้แก้ไขได้โดยการผสมภายใต้สุญญากาศหรือใส่สารกันหืนในระหว่างการผลิต

14.3.3 การฉีกและขึ้นรูป (Tearing and Forming)

วิธีนี้ได้รับความนิยมน้อย เนื่องจากต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการฉีกเนื้อให้ขาดจากกัน แต่มีข้อดีคือ ผลิตภัณฑ์ไม่เกิดออกซิเดชันได้ง่าย และมีเนื้อสัมผัสเป็นเนื้อเดียวกัน และคล้ายชิ้นเนื้อมากที่สุด

14.4 กระบวนการผลิตเนื้อขึ้นรูป

14.4.1 วัตถุดิบ

นิยมใช้เนื้อที่มีคุณภาพปานกลาง หรือเนื้อที่มีขนาดเล็กจากการตัดแต่งซากหรืออาจใช้เนื้อที่มีความเหนียวมาก เนื้อสัตว์ที่มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ไม่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตเนื้อขึ้นรูป เพราะสามารถเกิดปัญหาด้านสีและการออกซิเดชันของไขมันได้ ดังนั้นจึงควรล้างเนื้อสัตว์ที่นำมาทำการผลิตก่อนเพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ปนเปื้อน (Mandogo, 1986) ในการเตรียมวัตถุดิบควรตัดแต่งเนื้อเยื่อเกี่ยวพันและไขมันบางส่วนออก ซึ่งปริมาณไขมันในเนื้อขึ้นรูปจะอยู่ใน

สัดส่วนร้อยละ 1.5-22 ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้บริโภค การกำจัดเนื้อเยื่อเกี่ยวพันจะทำให้เนื้อชิ้นรูปที่ได้มีเนื้อสัมผัสนุ่มซึ่งแก้ปัญหาความเหนียวได้ (Savell *et al.*, 1982)

14.4.2 การทำนุ่ม

เนื้อที่มีความเหนียวสามารถทำให้นุ่มได้โดยใช้เครื่องทำนุ่มแบบใบมีด (blade tenderization) นิยมใช้กับการผลิตเนื้อชิ้นรูปชนิดตัดเป็นก้อนและชิ้นรูปเนื้อเหนียวที่ใช้ในการทำนุ่มวิธีนี้ได้แก่เนื้อสัตว์ป่า เนื้อส่วนที่ใช้งานหนัก เนื้อพังผืด และเนื้อที่มีไขมันมาก (Booren *et al.*, 1981a; Pearson and Tauber, 1984) Booren และคณะ (1981b) รายงานว่าการทำนุ่มเป็นสิ่งจำเป็นในการผลิตสเต็กชิ้นรูปชนิดตัด และชิ้นรูป (sectioned and formed restructured steak)

14.4.3 การลดขนาดของชิ้นเนื้อ

ทำได้โดยการบดผ่านเครื่องบดเนื้อชนิดหยาบ การหั่นเป็นแผ่น หรือการบดผ่านเครื่องบด วิธีหลังนี้ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวซึ่งจำเป็นสำหรับการสกัดไมโอซิน และช่วยให้มีการเชื่อมชิ้นเนื้อได้ดี (Pearson and Tauber, 1984) การลดขนาดของชิ้นเนื้อ มีผลต่อเนื้อสัมผัส การอุ้มน้ำ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (Huffman and Cordray, 1979) และขนาดของชิ้นเนื้อที่ใช้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของเนื้อชิ้นรูปที่ต้องการ ทั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาในสเต็กเนื้อหมูชิ้นรูปซึ่งพบว่า ชิ้นเนื้อชิ้นใหญ่ทำให้การยึดติดของสเต็กลดลง แต่ขนาดของชิ้นเนื้อในช่วง 3.0-12.7 มิลลิเมตร ไม่มีผลต่อคุณภาพของเนื้อสเต็กชิ้นรูปที่ผลิตได้ในด้านความสามารถในการอุ้มน้ำ ความนุ่ม กลิ่นรส และลักษณะปรากฏรวม (Chesney *et al.*, 1978) Acton (1972) ได้ทำการศึกษาขนาดของชิ้นเนื้อไก่ ที่มีผลต่อการสกัดโปรตีน โดยทำการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายเกลือแกลง 0.1 โมลาร์ ปริมาตรร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อขนาดของชิ้นเนื้อลดลงมีผลทำให้โปรตีนที่สกัดได้และแรงในการ ยึดเกาะระหว่างชิ้นเนื้อเพิ่มขึ้น

14.4.4 การสกัดโปรตีน

ในการสกัดโปรตีนจากชิ้นเนื้อ ต้องอาศัยกลไกจากการทำงานของเกลือแกลงและฟอสเฟต จะสกัดได้ดีขึ้นเมื่อมีการใช้แรงจากภายนอก เช่น การนวดผสม เมื่อนำเนื้อผ่านความร้อนในการทำให้สุก โปรตีนที่ถูกสกัดจะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมชิ้นเนื้อให้ติดกันจึงมีลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายก้อนเนื้อที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการชิ้นรูป กระบวนการที่ใช้ในการสกัดโปรตีน ได้แก่ การนวด (tumbling, massaging) การผสม (mixing) โดยมีการเติมเกลือแกลง และฟอสเฟต หลังจากการผสมผ่านไป 30 วินาที แต่ถ้าสูตรที่มีการเติมน้ำ มักจะนิยมละลายเกลือแกลงและฟอสเฟตในน้ำก่อนเพื่อการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ แรงจากการผสมจะทำให้เนื้อเยื่อถูกฉีกขาดซึ่งจะช่วยให้การสกัดโปรตีนได้ดีขึ้น เวลาในการผสมควรนานเพียงพอที่จะสกัดโปรตีนได้เพียงพอถ้ามีการเติมส่วนผสมอื่น เช่น สารเพิ่มการยึดเกาะ (binder) จะต้องใช้เวลาในการผสมนานขึ้นเพื่อให้สารนั้นเคลือบชิ้นเนื้อได้

สม่ำเสมอ (Booren *et al.*, 1981c) แต่เวลาที่เหมาะสมก็ขึ้นอยู่กับรูปแบบของเครื่องผสม ความเร็วรอบและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ที่ต้องการ การผสมเป็นเวลานานเกินไปจะทำให้เนื้อนุ่มและลักษณะกล่ำนเนื้อเสียไป (Booren *et al.*, 1981a) Booren และคณะ (1981b) พบว่า การใช้อุณหภูมิการผสมระหว่าง -5 องศาเซลเซียส ถึง 2 องศาเซลเซียส จะสกัดโปรตีนดีที่สุดและการผสมภายใต้สภาพสุญญากาศยังช่วยเพิ่มการสกัดโปรตีนและทำให้การยึดเกาะของผลิตภัณฑ์เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสดีขึ้น

14.4.5 การขึ้นรูปและการเก็บรักษา

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์นิยมขึ้นรูปเป็นท่อน (meatlog) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆกัน โดยการอัดเนื้อที่ผ่านการผสมแล้วลงในไส้แล้วนำไปแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง แล้วนำมาปรับอุณหภูมิที่ -5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-36 ชั่วโมง นำท่อนเนื้อที่ปรับอุณหภูมิแล้วอัดให้เป็นรูปร่างตามแบบที่ต้องการโดยใช้เครื่องอัดความดัน (hydraulic press) หลังจากนั้นท่อนเนื้อจะถูกหั่นเป็นชิ้นขนาดสม่ำเสมอ และทำการแช่แข็งอย่างรวดเร็วเพื่อช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ สีของชิ้นเนื้อจะคงตัวดีที่สุดเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส (Zachariah and Satterlee, 1973)

14.5 ปัจจัยที่มีผลในการขึ้นรูป

14.5.1 สารช่วยในการเชื่อมประสานของโปรตีน

คุณลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปคือ ความสามารถในการคงรูปของผลิตภัณฑ์ มีการยึดเกาะกันระหว่างชิ้นเนื้อจนมีลักษณะเป็นก้อนเดียวกัน เนื้อสัตว์ต่างชนิดกันก็มีความสามารถในการยึดเกาะแตกต่างกัน เช่น เนื้อโคมีความสามารถในการยึดเกาะมากกว่าเนื้อหมูและเนื้อไก่ ส่วนเนื้อที่มีไขมันและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันจะมีความสามารถในการยึดเกาะต่ำ

กลไกการยึดเกาะกันของชิ้นเนื้อ เกิดขึ้นเนื่องจากการเชื่อมตัวกันของชั้นโปรตีนที่อยู่บริเวณผิวของชิ้นเนื้อ (surface protein matrix) ซึ่งโปรตีนดังกล่าวนี้ได้มาจากการสกัดโปรตีนในชิ้นเนื้อเองหรือการเติมโปรตีนจากแหล่งอื่น (non meat protein) ลงไปในช่วงการผสม แต่โปรตีนจากเนื้อจะมีประสิทธิภาพในการยึดเกาะดีกว่าโปรตีนที่เติมลงไป และจากกลไกที่โปรตีนกล่ำนเนื้อสามารถละลายได้ดีในสารละลายเกลือเจือจาง ดังนั้น ในการผลิตเนื้อขึ้นรูปจึงมีการเติมเกลือแกงเพื่อช่วยในการสกัดโปรตีนจากเส้นใยกล่ำนเนื้อ โปรตีนที่มีความสำคัญต่อการยึดเกาะของชิ้นเนื้อคือ โปรตีนไมโอซิน แต่อย่างไรก็ตามโปรตีนแอคโตไมโอซิน แอกติน ก็มีความสามารถในการยึดเกาะได้เช่นเดียวกันแต่ด้อยกว่าโปรตีนไมโอซิน ในสภาพเนื้อดิบเนื้อมีการยึดเกาะกันใน

ลักษณะที่ไม่แข็งแรงพอต้องมีกรให้ความร้อน เพื่อให้โปรตีนที่สกัดเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ เกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงยึดติดกันแน่น (cohesive structure)

14.5.1.1. เกลือ

เกลือเป็นส่วนสำคัญในผลิตภัณฑ์เนื้อ โดยทำหน้าที่เป็นตัวให้รสชาติ ช่วยสกัดโปรตีนในกล้ามเนื้อเพื่อทำหน้าที่ประสานไขมันและน้ำไม่ให้แยกจากกัน ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของเนื้อและผลิตภัณฑ์ โดยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แต่อาจเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป การใช้โซเดียมคลอไรด์ในผลิตภัณฑ์เนื้อวัวบดทำให้ผลิตภัณฑ์แข็งแรงและมีความนุ่มน้อยกว่าการผสมด้วยโปแตสเซียมคลอไรด์แต่ไม่มีผลในด้านความนุ่มและกลิ่นรส การใช้เกลือร้อยละ 2.2 และฟอสเฟตร้อยละ 0.5 ในผลิตภัณฑ์ทำให้โปรตีนเริ่มเกิดเจลที่ 52 องศาเซลเซียส (Bater, *et al.*, 1992) Wheeler และคณะ (1990) พบว่า เนื้อวัวขึ้นรูปที่ไม่มีเกลือมีปริมาณกรดไทโอบาบิวริก (thiobarbituric acid; TBA) ต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดที่มีเกลือร้อยละ 0.375 และ 0.750 Akamittath และคณะ (1990) รายงานว่าเกลือเร่งการเกิดออกซิเดชันของไขมันในสเต็กขึ้นรูปที่ผลิตจากเนื้อหมูและเนื้อไก่วง กล่าวคือเมื่อเปรียบเทียบกับ สเต็กขึ้นรูปที่มีเกลือร้อยละ 0.5 และไม่มีเกลือ ที่อายุการเก็บ 6 สัปดาห์ พบว่า สเต็กขึ้นรูปที่ผลิตจากเนื้อหมู มีค่า TBA เพิ่มขึ้นจาก 0.21 และ 0.14 เป็น 1.93 และ 0.53 ตามลำดับ ทำนองเดียวกับ สเต็กขึ้นรูปที่ผลิตจากเนื้อไก่วง มีค่า TBA เพิ่มขึ้นจาก 1.34 และ 0.49 เป็น 3.23 และ 0.90 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดออกซิเดชันของเม็ดย่างรวดเร็ว อาจเป็นตัวกระตุ้นที่เป็นการเริ่มต้นของการเกิดออกซิเดชันของไขมันในระบบของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Akamittath, *et al.*, 1990) Siegel และ Schmidt (1979b) พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเกลือจากร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 6 ทำให้แรงยึดเกาะขึ้นเนื้อของไมโอซินเพิ่มขึ้นจาก 11.65 กรัม/ตารางเซนติเมตร เป็น 36.35 กรัม/ตารางเซนติเมตร แต่ผู้บริโภคไม่ยอมรับรสชาติของผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณเกลือสูงมาก นอกจากนี้แล้วปริมาณเกลือมีผลต่อการเพิ่มค่า TBA อย่างรวดเร็วและสีของผลิตภัณฑ์ไม่คงตัว โดยทั่วไปปริมาณที่เหมาะสมของเกลืออยู่ในช่วงร้อยละ 0.5-0.75 (Mandigo, 1986)

14.5.1.2. ฟอสเฟต

สารประกอบฟอสเฟตถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในผลิตภัณฑ์เนื้อ โดยฟอสเฟตกลุ่ม เตตราไพโรฟอสเฟต และ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตนิยมนำมาใช้มากที่สุด เนื่องจากมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามในทางการค้าจะใช้ฟอสเฟตกลุ่มต่างๆ ผสมกันเพื่อให้ได้ผลที่ดีที่สุดต่อผลิตภัณฑ์ในทุกๆ ด้าน ฟอสเฟตถูกใช้อย่างแพร่หลายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงในการเชื่อมประสาน (binding strength) ความสามารถในการอุ้มน้ำและผลผลิตเมื่อสุก (cooked yield) ของผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป รวมถึงการป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมัน

การยอมรับผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับระดับของการพัฒนาการเชื่อมระหว่างชั้นเนื้อ ฟอสเฟตสามารถที่จะทำให้เกิดการเพิ่มของพีเอช และความแรงอ่อนในผลิตภัณฑ์เนื้อ โดยทั่วไปฟอสเฟตนิยมใช้ร่วมกับเกลือทั้งนี้เพื่อเพิ่มลักษณะปรากฏที่ดีของผลิตภัณฑ์และลดปริมาณการใช้เกลือลงเนื่องจากข้อด้อยที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้เกลือ เช่นการเปลี่ยนแปลงสี และการเกิดกลิ่นหืน (Wheeler, *et al.*, 1990) ฟอสเฟตอนุญาตให้ใช้ถึงระดับร้อยละ 0.5 อย่างไรก็ตามฟอสเฟตมีราคาที่สูงกว่าที่ค่อนข้างสูงไม่ละลายในน้ำเกลือ และทำให้การดูดซึมสังกะสี แคลเซียมและเหล็กของร่างกายสูญเสียไป ซึ่งญี่ปุ่นและบางประเทศในแถบยุโรปได้มีการควบคุมและจำกัดการนำเข้าผลิตภัณฑ์เนื้อที่มีการเติมฟอสเฟตลงไป Mandigo (1986) พบว่า โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ร้อยละ 0.12 ช่วยลดค่าการสูญเสียเนื่องจากการหุงต้ม เพิ่มความชุ่มฉ่ำของเนื้อ และปรับปรุงสีของเนื้อ Siegel และ Schmidt (1979b) ยังพบว่าสารประกอบฟอสเฟตช่วยเพิ่มค่าแรงยึดเกาะชั้นเนื้ออีกด้วย

14.5.2 สารยึดเกาะชั้นเนื้อ

สารยึดเกาะที่ใช้กับเนื้อขึ้นรูป หรือ โปรตีนของชั้นเนื้อที่ละลายออกมาจะทำหน้าที่เป็นสารยึดเกาะที่สมบูรณ์ เมื่อมีการให้ความร้อนเป็นตัวเหนียวทำให้เกิดการรวมตัวกันของโปรตีน และเมื่อให้ความร้อนต่อไป โปรตีนจะเกิดการคลายตัวและทำปฏิกิริยากันเป็นโครงร่างตาข่าย (Pepper and Schmidt, 1975; Siegel and Schmidt, 1979a) Siegel และคณะ (1979) พบว่าการเติมสารช่วยเพิ่มการยึดเกาะลงในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป กลูเตนจะมีแรงยึดเกาะระหว่างโมเลกุลมากกว่า SPI (Soy Protein Isolate) นอกจากนั้น Apichartsrangkoon (2002) รายงานว่ากลูเตนประกอบด้วยโปรตีน 2 ชนิด คือ กลูเตลิน ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น และความเหนียว ส่วนไกลอะดลิน จะเป็นตัวยึดเกาะที่ดี จึงทำให้กลูเตนมีแรงยึดเกาะระหว่างโมเลกุลสูงขึ้นไป นอกจากนี้ Tsai (1998) ศึกษาผลการใช้ SPI ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2.0 จะทำให้คุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อวัวขึ้นรูปเพิ่มขึ้นเมื่อมีการให้อุณหภูมิสูงขึ้น Chin และคณะ (1999) รายงานว่า SPI มีโปรตีนสูงมาก เนื่องจากในกระบวนการผลิตได้มีการสกัดเอาเฉพาะ โปรตีนออกมา จึงทำให้ SPI มีคุณสมบัติเป็นสารยึดเกาะที่ดี

สารยึดเกาะช่วยให้ประสิทธิภาพในการยึดเกาะชั้นเนื้อได้ดีขึ้น เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ ลดการสูญเสียน้ำหนักขณะสุก โดยปกติแล้วการเติมเกลือเพียงอย่างเดียวก็เพียงพอสำหรับทำให้ชั้นเนื้อยึดเกาะติดกันในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป แต่การเติมสารยึดเกาะอื่นๆ เช่น โปรตีนจากแหล่งอื่น ก็จะเป็นการเพิ่มแรงยึดเกาะให้กับเนื้อ Siegel และคณะ (1979) ศึกษาความสามารถในการยึดเกาะชั้นเนื้อของโปรตีนที่ได้มาจากเนื้อสัตว์ที่มีความเข้มข้นของเกลือร้อยละ 8.0 และฟอสเฟตร้อยละ 2.0 พบว่า กลูเตนจากข้าวสาลี และไข่ขาวให้ค่าแรงยึดเกาะชั้นเนื้อสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เติมสารยึดเกาะและตัวอย่างที่เติมนมผงพร่องมันเนยแคลเซียมต่ำ พลาสมาจากเลือด โค และ

โปรตีนจากถั่วเหลือง ปันดคา เจริญกิจ (2536) พบว่า การเติมซูรีมีร้อยละ 3.0 ในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปกึ่งสุกทำให้ความนุ่มและการจับตัวของชิ้นเนื้อดีขึ้นโดยไม่พบความแตกต่างของคุณภาพทางประสาทสัมผัส แต่การเติมซูรีมีมากกว่าร้อยละ 3.0 ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นปลา (fish odor) รวิชชัย สุภวิทพัฒนา (2537) พบว่าการเติมไข่ขาวผงร้อยละ 3.0 ในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปให้ค่าแรงยึดเกาะและการประเมนทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด แต่การเติมไข่ขาวผงในปริมาณที่สูงกว่าร้อยละ 3.0 จะทำให้ค่าแรงยึดเกาะชิ้นเนื้อลดลง นวรัตน์ อังศ์วัฒน์ (2537) พบว่าการเติมอัลจินเต ร้อยละ 5.0 ทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปมีความนุ่มมากขึ้นและลดการสูญเสียเนื่องจากการหุงต้มได้ดี

14.5.3 ขนาดของชิ้นเนื้อ

Acton (1972) พบว่าการสกัดโปรตีนที่ผิวเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของชิ้นเนื้อเล็กลง เนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิว แต่ชิ้นเนื้อที่มีขนาดเล็กเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะคล้ายเนื้อบดไม่เหมือนกับผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป

14.5.4 ปริมาณไขมัน

ไขมันมีหน้าที่สำคัญในด้านให้ความชุ่มฉ่ำและกลิ่นของเนื้อในผลิตภัณฑ์สุดท้าย (Mandigo, 1986) แต่ไขมันจะลดความสามารถในการยึดเกาะชิ้นเนื้อเพราะไขมันจะเป็นตัวขัดขวางการเชื่อมตัวของโปรตีน นันทโรจน์ เขื่อนแก้ว (2535) พบว่าการเติมไขมันวัวที่ระดับร้อยละ 10 ได้ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปซึ่งผู้บริโภคยอมรับมากที่สุด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูรีมีจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือจากโรงงานแปรรูปเนื้อไก่
2. เพื่อศึกษาผลของการล้างด้วยสารละลายต่อคุณภาพของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูรีมี
3. เพื่อศึกษาสภาวะการให้ความร้อนและอัตราส่วนระหว่างผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูรีมีจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือต่อความสามารถในการเกิดเจล
4. เพื่อศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูรีมีผสมจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือเป็นสารยึดเกาะชิ้นเนื้อในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่ขึ้นรูป

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุ

1. วัตถุดิบ

1.1 เนื้อหน้าอกไก่ (chicken breast muscle; BM) ได้จากการแยกกล้ามเนื้อส่วน *Pectoralis major* จากไก่กระทงอายุในช่วง 32-35 วัน น้ำหนักขณะมีชีวิตประมาณ 1.5-1.7 กิโลกรัม ซึ่งผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาไม่เกิน 6 เดือน

1.2 เนื้อเศษเหลือจากการตัดแต่ง (flake boneless meat trimming; FT) จากโรงงานแปรรูปเนื้อไก่กระทง บริษัทสหฟาร์ม (CP) จำกัด จังหวัด เพชรบูรณ์ โดยใช้เศษเหลือจากการตัดแต่งชิ้นเนื้อหลายส่วนรวมกัน ซึ่งผ่านการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาไม่เกิน 3 เดือน

1.3 ไม้เซลลูลอส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร

1.4 ไม้พลาสติก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.5 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร

2. สารเคมี

2.1 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบทางเคมี

2.2 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบโปรตีนและสมบัติทางเคมี-กายภาพของโปรตีน

2.3 สารป้องกันโปรตีนเสียสภาพเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง ได้แก่ น้ำตาลซูโครส โซรบีทอล และโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต

2.4 สารละลายโซเดียมคลอไรด์

2.5 สารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.2 (ionic strength 0.1)

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ทางเคมี

2. เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ ยี่ห้อ Polytron รุ่น PT-MR 2100 ประเทศสวีเดน

3. เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น ColorFlex ประเทศสหรัฐอเมริกา

4. เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ยี่ห้อ Stable Micro System รุ่น TA-XT2i ประเทศอังกฤษ
5. เครื่องหมุนเหวี่ยงควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Sorvall รุ่น RC-5B plus ประเทศสหรัฐอเมริกา
6. เครื่องกวนชนิดแม่เหล็ก ยี่ห้อ IKA labortechnik รุ่น BIG SQUID ประเทศเยอรมัน
7. อ่างควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Memmert รุ่น W 350 ประเทศเยอรมัน
8. ชุดอิเล็กโตรโพรซิซิส ยี่ห้อ Bio-Rad รุ่น Mini-Protein II ประเทศสหรัฐอเมริกา
9. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น UV-16001 ประเทศออสเตรเลีย
10. เครื่องวัดค่าพีเอช ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น SevenGO SG2-FK2 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
11. เครื่อง Basket centrifuge ยี่ห้อ Grandimpianti S.p.A รุ่น CE21K ประเทศอิตาลี
12. กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JEM-5800LV ประเทศญี่ปุ่น
13. เครื่องสับผสม ยี่ห้อ Panasonic รุ่น MK-5086M ประเทศมาเลเซีย
14. เครื่องบดผสม ยี่ห้อ T.D Chemical Trader รุ่น EC 20 ประเทศอังกฤษ
15. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BP 2100S ประเทศเยอรมัน
16. เครื่องชั่งไฟฟ้าละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AB 204 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
17. อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส

วิธีการทดลอง

1. ศึกษาคุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือจากโรงงานแปรรูปเนื้อไก่

1.1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำเนื้อหน้าอกที่ได้จากการแยกกล้ามเนื้อส่วน *Pectoralis major* จากไก่กระทงอายุในช่วง 32-35 วัน น้ำหนักขณะมีชีวิตประมาณ 1.5-1.7 กิโลกรัม ซึ่งผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาไม่เกิน 6 เดือน และเนื้อเศษเหลือจากการตัดแต่ง จากโรงงานแปรรูปเนื้อไก่กระทง โดยใช้เศษเหลือจากการตัดแต่งชิ้นเนื้อหลายส่วนรวมกัน ซึ่งผ่านการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาไม่เกิน 3 เดือน มาทำละลายและนำมาบดผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จะได้เนื้อไก่บด เพื่อทำการวิเคราะห์

องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของวัตถุดิบ และเนื้อไก่อีกส่วนหนึ่งนำไปศึกษาผลของการล้างต่อคุณภาพของวัตถุดิบ เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และ โครงสร้างระดับจุลภาค

1.2 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

นำเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือ ที่ผ่านการบด มาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น (proximate analysis)

-วิเคราะห์ปริมาณ โปรตีนโดยวิธีเจดาร์ล (Kjeldahl method) (AOAC, 1999) (ภาคผนวก ข3)

-วิเคราะห์ปริมาณไขมัน โดยวิธีสกัดด้วย Soxhlet apparatus โดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย (A.O.A.C., 1999) (ภาคผนวก ข2)

-วิเคราะห์ปริมาณความชื้นโดยวิธีอบแห้งในตู้อบไฟฟ้า (AOAC, 1999) (ภาคผนวก ข1)

-วิเคราะห์เถ้า โดยเผาในเตาเผาอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส (AOAC, 1999) (ภาคผนวก ข4)

-วิเคราะห์ พีเอช ของเนื้อไก่บด โดยใช้ digital pH-meter ตามวิธีของ Benjakul และคณะ (1997) โดยชั่งเนื้อไก่บด 5 กรัม เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร นำไปโฮโมจีไนส์ เป็นเวลา 2 นาที วัดค่า pH ของตัวอย่าง (ภาคผนวก ข6)

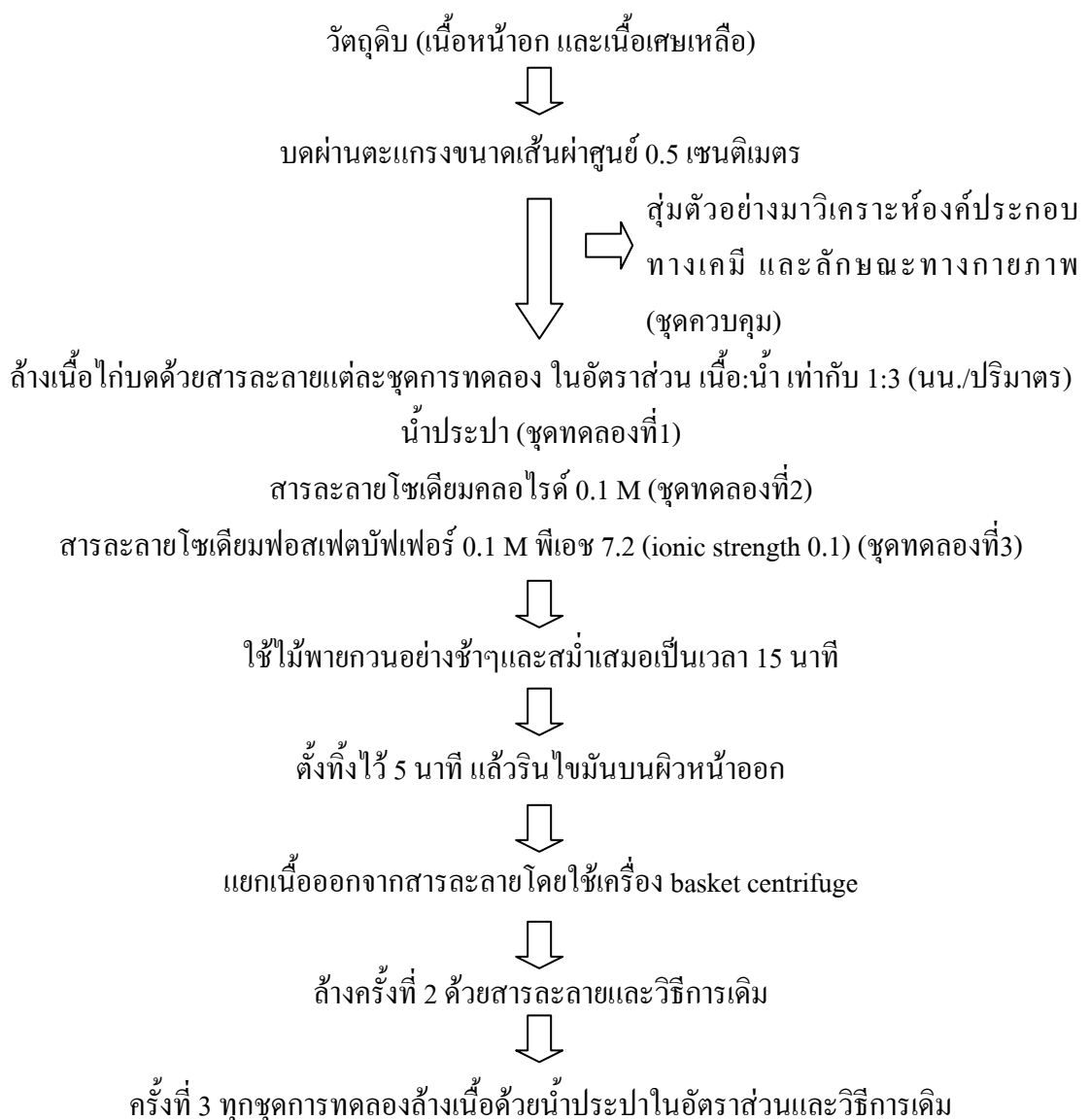
-วิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจนทั้งหมด (Total collagen) ตามวิธีของ Liu และคณะ (1996) จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณไฮดรอกซีโพรลีน (hydroxyproline) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสง ตามวิธีของ Bergman และ Loxley (1963) (ภาคผนวก ข8)

-วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนไมโอไฟบริล (Myofibrillar protein) (ภาคผนวก ข7) โดยละลายใน 0.6 M KCl ตามวิธีของ Yang และ Froning (1992) และตรวจสอบปริมาณโปรตีนโดยวิธีไบยูเรต ตามวิธีของ Copeland (1994) (ภาคผนวก ข5)

2. ศึกษาผลของการล้างด้วยสารละลายต่อคุณภาพของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิ

นำเนื้อไก่บดจากเนื้อทั้ง 2 ชนิด มาล้างด้วยสารละลาย 3 ชนิดคือ น้ำประปา (tap water; WAT (ชุดทดลองที่ 1)) สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.1 M (sodium chloride solution; SALT (ชุดทดลองที่ 2)) สารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 M พีเอช 7.2 (ionic strength 0.1) (sodium phosphate buffer solution; BUF (ชุดทดลองที่ 3)) โดยสารละลายเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน ก่อนนำมาใช้ การล้างใช้อัตราส่วนของเนื้อต่อสารละลายเท่ากับ 1:3

(นน./ปริมาตร) ขณะทำการล้างให้ใช้ไม้พายกวาดอย่างช้าๆและสม่ำเสมอเป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที แล้วรินไขมันบนผิวหน้าออก จากนั้นแยกเนื้อออกจากสารละลายโดยใช้เครื่อง basket centrifuge ล้างเนื้อครั้งที่ 2 ด้วยสารละลายและวิธีการเดิม ในครั้งที่ 3 ทุกชุดการทดลองล้างเนื้อด้วยน้ำประปาในอัตราส่วนและวิธีการเดิม แล้วนำเนื้อมาแยกน้ำโดยใช้เครื่อง basket centrifuge แล้วทำการสุ่มตัวอย่างที่ผ่านการล้างมาวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี และลักษณะทางกายภาพ แล้วจึงเติมสารป้องกันการเสียดสภาพของโปรตีนเนื่องจากการแช่เยือกแข็ง คือ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ร้อยละ 0.25 น้ำตาลซูโครสร้อยละ 4.0 และซอร์บิทอลร้อยละ 4.0 นำส่วนผสมทั้งหมดมาผสมให้เข้ากันในเครื่องบดผสม hobart ยี่ห้อ T.D Chemical Trader เป็นเวลา 5 นาที แล้วบรรจุลงในถุงโพลีเอทิลีน (Low density polyethylene; LDPE) ถุงละ 0.5 กิโลกรัม ปิดผนึกและแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส โดยดัดแปลงวิธีของ Yang และ Froning (1992) (Figure 8)



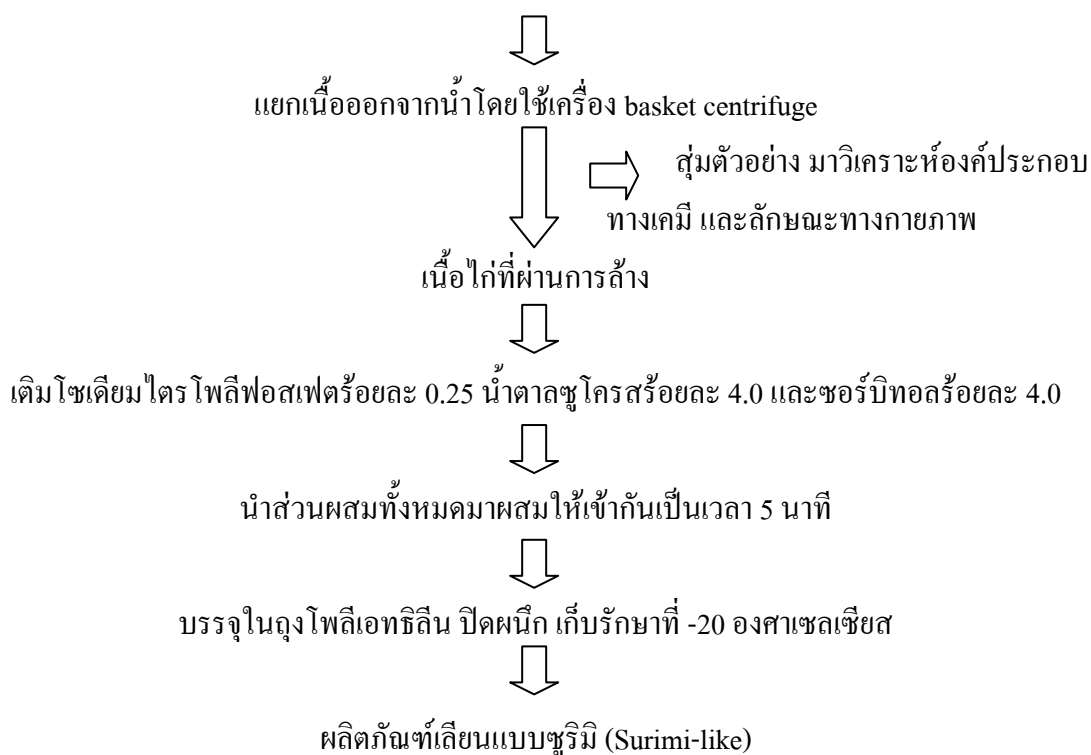


Figure 8. Flow diagram preparation of surimi-like from chicken breast muscle and flake boneless meat trimming.

Source : Modified from Yang and Froning (1992)

2.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี

นำผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิ (เนื้อหน้าอก และเนื้อเศษเหลือ) (surimi-like) มาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เช่นเดียวกับข้อ 1.2 เปรียบเทียบกับชุดที่ไม่ผ่านการล้าง (control) และตรวจสอบรูปแบบโปรตีนโดยใช้ SDS-PAGE (10% running gel และ 4% stacking gel) ตามวิธีของ Laemmli (1970) (ภาคผนวก ข9)

2.2 ศึกษาลักษณะทางกายภาพ

วิเคราะห์ค่าสี (L^* , a^* , b^*) ของตัวอย่างที่ผ่านการล้าง ด้วยสารละลายต่างๆ ทั้ง 3 ชุด การทดลองและชุดควบคุม โดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab และรายงานค่าในระบบ CIE (Complete International Commission on Illumination) (ภาคผนวก ก1)

2.3 ตรวจสอบสมบัติการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิ

นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิ (จากเนื้อหน้าอก และเนื้อเศษเหลือ) ที่ผ่านการล้างด้วยสารละลาย 3 ชนิด มาทำละลายให้มีอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และปรับความชื้นให้ได้ร้อยละ 85 จากนั้นผสมกับเกลือร้อยละ 2.0 เป็นเวลา 3 นาที โดยใช้ blender และทำการอัดตัวอย่างในไส้เซลลูโลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ความยาว 30 เซนติเมตร นำตัวอย่างไปให้ความร้อนในอ่างควบคุมอุณหภูมิ จนอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เท่ากับ 80 องศาเซลเซียส แล้วทำให้เย็นโดยแช่ในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ตามวิธีการของ Yang และ Froning (1992) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 18-24 ชั่วโมง นอกจากนี้ทำการเตรียมเจลจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่ไม่ผ่านการล้าง โดยนำเนื้อมาบดผสมกับโซเดียมไทรโพลิฟอสเฟตร้อยละ 0.25 น้ำตาลซูโครสร้อยละ 4.0 และซอร์บิทอลร้อยละ 4.0 แล้วเตรียมเจลเช่นเดียวกับเจลจากผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิ เพื่อใช้เป็นชุดควบคุม (control) แล้วทำการวิเคราะห์ค่าดังต่อไปนี้

-ค่าพีเอช ของเนื้อไก่บด โดยใช้ digital pH-meter ตามวิธีของ Benjakul และคณะ (1997) โดยชั่งเนื้อไก่บด 5 กรัม เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร นำไปโฮโมจีไนส์ เป็นเวลา 2 นาที วัดค่า pH ของตัวอย่าง (ภาคผนวก ข6)

-ค่าสี โดยเครื่องวัดสี Hunter Lab และรายงานค่าในระบบ CIE (L^* , a^* , b^*) (ภาคผนวก ก1)

-ค่าการสูญเสียน้ำหนัก ตามวิธีการของ Yang และ Froning (1992) (ภาคผนวก ก5)

-ค่าแรงและระยะทางก่อนเจาะทะลุ (breaking force และ deformation) นำตัวอย่างซูริมิเจลออกมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อปรับอุณหภูมิตัวอย่างให้เท่ากับอุณหภูมิห้อง ตัดตัวอย่างเจลยาวท่อนละ 2.5 เซนติเมตร จำนวน 12 ท่อนต่อ 1 ตัวอย่าง นำไปวัดค่าแรงและระยะทางก่อนเจาะทะลุ (breaking force และ deformation) ของเจลด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) โดยใช้หัววัดที่มีหัวกดปลายมน (spherical probe) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ตัวอย่างเจลแต่ละท่อนจะถูกกดด้วยหัวกดจนกระทั่งผิวหน้าแตก น้ำหนักที่กด คือค่าแรง (force) แสดงค่าเป็นกรัม และความลึกของหัวกดที่กดลงในตัวอย่างจนแตก คือค่าความลึกก่อนเจลแตก (deformation) แสดงค่าเป็นมิลลิเมตรหรือค่าความเหนียวหรือความยืดหยุ่นของเจล (Lanier, 1992) (ภาคผนวก ก4)

-ลักษณะ โครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) รุ่น JSM-5800LV, JEOL ตามวิธีของ Wattanachant และคณะ (2005) โดยนำชิ้นตัวอย่าง แช่ในสารละลายฟอสเฟตปีฟเฟอร์ 0.1 M (พีเอช 7.3) ที่ประกอบด้วย glutaraldehyde เข้มข้นร้อยละ 2.5 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วล้างตัวอย่าง

ด้วยน้ำกลั่นและกำจัดน้ำออกโดยการแช่ในเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 25, 50, 70, 95 และเอทานอลบริสุทธิ์ (2 ครั้ง) ตามลำดับ ทำการตัดชิ้นเนื้อให้เป็นชิ้นขนาด 0.5 X 0.5 เซนติเมตร จากนั้นนำชิ้นส่วนหนึ่งของตัวอย่างมาตรวจสอบ (specimens) และถ่ายภาพโดยใช้เครื่อง SEM ที่ acceleration voltage 10 kV และ a working distance 10-13 mm ทำการบันทึกภาพ micrographs และ thermal prints ที่กำลังขยาย X 10,000 และถ่ายภาพจำนวน 3 รูปต่อตัวอย่าง (ภาคผนวก ข10)

2.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยคัดเลือกสารละลายที่มีคุณสมบัติในการล้างที่ดีที่สุดและพิจารณาจากสมบัติการเกิดเจลที่ทำให้เจลมีความแข็งแรงสูงสุด (ค่าแรงก่อนเจาะทะลุ) เพื่อเตรียมวัตถุดิบที่จะใช้ในการทดลองข้อต่อไป

3. ศึกษาสถานะการให้ความร้อนและอัตราส่วนระหว่างผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือต่อความสามารถในการเกิดเจล

3.1 ศึกษาสถานะการให้ความร้อนที่เหมาะสมกับการเกิดเจล

นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายที่ให้เจลที่มีความแข็งแรงสูงสุด (เนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือ) (ในข้อ 2.3) มาทำละลายให้มีอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วปรับความชื้นของตัวอย่างให้เท่ากับร้อยละ 85 โดยใช้ น้ำแข็ง สับผสมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2.0 เป็นเวลา 3 นาที โดยใช้เครื่อง blender ควบคุมอุณหภูมิระหว่างสับผสมให้ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส อดตัวอย่างที่ผสมแล้วใส่ใส่หลอดโลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 30 เซนติเมตร มัดหัวท้ายให้แน่น เตรียมประมาณ 4-5 แห่งต่อชุดการทดลองแล้วนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆรวม 5 ชุดการทดลอง คือ ที่อุณหภูมิ 30 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ตามด้วยการให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที โดยดัดแปลง วิธีของ Park และคณะ (1996) หลังจากนั้นทำให้เย็นในน้ำเย็นแล้วนำ surimi-like gel เก็บในตู้เย็นเป็นเวลา 18-24 ชั่วโมงก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพของเจล

3.1.1 การวิเคราะห์คุณภาพเจล

ทำการวิเคราะห์ ค่าแรงและระยะทางก่อนเจาะทะลุ (breaking force และ deformation) ตามวิธีของ Lanier (1992) เช่นเดียวกับข้อ 2.3

3.2 ศึกษาอัตราส่วนระหว่างผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือต่อความสามารถในการเกิดเจล

นำผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิจากเนื้อหน้าอก และเนื้อเศษเหลือที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายที่ให้เจลที่มีความแข็งแรงสูงสุด (เนื้อหน้าอก และเนื้อเศษเหลือ) (ในข้อ 2.3) มาศึกษาอัตราส่วนการใช้ที่เหมาะสม โดยศึกษาการใช้ที่อัตราส่วน (w/w) ผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิจากเนื้อหน้าอก:ผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิจากเนื้อเศษเหลือ ที่ระดับต่างๆ คือ ชุดทดลองที่ 1 (9:1) ชุดทดลองที่ 2 (8:2) ชุดทดลองที่ 3 (7:3) ชุดทดลองที่ 4 (5:5) ชุดทดลองที่ 5 (3:7) ชุดทดลองที่ 6 (2:8) ชุดทดลองที่ 7 (1:9) และชุดทดลองที่ 8 ผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิจากเนื้อหน้าอก (ชุดควบคุม) โดยนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิ มาทำละลายให้มีอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนข้างต้น (w/w) ปรับความชื้นของตัวอย่างให้เท่ากับร้อยละ 85 โดยใช้น้ำแข็ง สับผสมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2.0 เป็นเวลา 3 นาที โดยใช้เครื่อง blender ควบคุมอุณหภูมิระหว่างสับผสมให้ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส อัดตัวอย่างที่ผสมแล้วใส่ใส่เซลลูโลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 30 เซนติเมตร มัดหัวท้ายให้แน่น เตรียมประมาณ 4-5 แท่งต่อชุดการทดลองแล้วนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อน ที่อุณหภูมิการเซตเจลที่ศึกษาได้จากข้อ 3.1.1 และทำการบันทึกอุณหภูมิกึ่งกลางของทุกชุดการทดลอง หลังจากนั้นทำให้เย็นในน้ำเย็นแล้วนำ surimi-like gel เก็บในตู้เย็นเป็นเวลา 18-24 ชั่วโมงก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพของเจล

-ค่าแรงและระยะทางก่อนเจาะทะลุ โดยใช้เครื่อง Texture analyzer เช่นเดียวกับข้อ

3.1.1

-ค่าสี โดยเครื่องวัดสี Hunter Lab และรายงานค่าในระบบ CIE (L^* , a^* , b^*)

-ค่าการสูญเสียน้ำหนัก ตามวิธีการของ Yang และ Froning (1992)

3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) จำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) เพื่อคัดเลือกชุดการทดลองที่มีคุณสมบัติในการเซตเจลที่ดี

4. ศึกษาการใช้ผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิผสมจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือเป็นสารยึดเกาะขึ้นเนื้อในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่จิ้งรูป

นำผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิผสมตามอัตราส่วนของชุดการทดลองที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.2 โดยคัดเลือกชุดการทดลองที่อัตราส่วนผสม เนื้อหน้าอก:เนื้อเศษเหลือ ในระดับ สูง กลาง และต่ำ (ชุดการทดลองที่ 1(9:1) 3(7:3) 5(3:7) และ 6(2:8)) โดยนำมาวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง เพื่อให้คลายความเย็น จากนั้นนำมาสับผสมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 1.0 เป็นเวลา 3 นาที โดยใช้เครื่อง blender นำเนื้อหน้าอกไก่มาตัดให้เป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาด 1 x 1.5 x 1 เซนติเมตร จากนั้นผสมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.0 แล้วจึงเติมผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิที่สับผสมแล้วจำนวน 3 ระดับ คือร้อยละ 5 10 และ 15 ก่อนเติมน้ำร้อยละ 5.0 และ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 0.2 แล้วนำทั้งหมดมาผสมให้เข้ากัน จากนั้นบรรจุเนื้อที่ผสมเสร็จแล้วในใส่พลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.5 เซนติเมตร ความยาว 30 เซนติเมตร ตามวิธีของ ปันดดา เจริญกิจ (2536) เก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง จากนั้นนำมาละลาย ก่อนนำมาทำให้สุกโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาทีตามด้วยการ ให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที นำเนื้อมาตัดเป็นชิ้นด้วยเครื่องหั่นเนื้อให้มีความหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร แล้วนำไปตรวจสอบคุณภาพต่างๆ โดยทำการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้เติมผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิ

4.1 การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์เนื้อไก่จิ้งรูป

- ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุก ตามวิธีการของ Yang และ Froning (1992)
 - ค่าแรงเฉือน (Shear force value) โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer ติดตั้งอุปกรณ์หัววัดแบบ Warner-Bratzler Blade โดยดัดแปลงวิธีของ Cheng และ Sun (2004) (ภาคผนวก ก2)
 - ลักษณะเนื้อสัมผัส ด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer ตามวิธีของ Bourne (1978) โดยวิเคราะห์ ค่าความแข็ง (Hardness) ความยืดหยุ่น (Springiness) การยึดเกาะ (Cohesiveness) และ ความเหนียว (Adhesiveness) (ภาคผนวก ก3)
 - ค่าสี โดยเครื่องวัดสี Hunter Lab และรายงานค่าในระบบ CIE (L^* , a^* , b^*)
- จากนั้นทำการคัดเลือกผลิตภัณฑ์เนื้อไก่จิ้งรูปที่มีคุณสมบัติฟอรั่มเจลได้ดี สามารถทำให้ชิ้นเนื้อเกาะตัวกันและไม่มีการแตกตัวของชิ้นเนื้อ มาตรวจสอบคุณภาพต่อ คือ
- การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยทดสอบ สี ลักษณะปรากฏ การยึดเกาะและการเชื่อมตัวของชิ้นเนื้อ การแตกของชิ้นเนื้อ และความชอบรวม โดยผู้บริโภคร่วมไปจำนวน 30 คน ด้วยวิธีการ Hedonic scale แบบ 9 ระดับคะแนน (9-point hedonic scale) กำหนดให้ระดับคะแนน 1

หมายถึงไม่ชอบมากที่สุดไปจนถึงระดับคะแนน 9 หมายถึงชอบมากที่สุด ออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) (ภาคผนวก ก6)

-ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) รุ่น JSM-5800LV, JEOL ตามวิธีของ Wattanachant และคณะ (2005) เช่นเดียวกับวิธีในข้อ 2.3 และทำการบันทึกภาพ micrographs และ thermal prints ที่กำลังขยาย X 60 และถ่ายภาพจำนวน 3 รูปต่อตัวอย่าง

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล (4 อัตราส่วนผสม X 3 ระดับ) ใน CRD (Completely Randomized Design) จำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. คุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิ

1.1 องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของวัตถุดิบ

เนื้อหน้าอกไก่และเนื้อเศษเหลือจากการตัดแต่งชิ้นเนื้อหลายส่วนรวมกัน ได้จากโรงงานแปรรูปเนื้อไก่กระแทง บริษัทสหฟาร์ม จำกัด (Figure 9 และ 10)



Figure 9. Chicken breast muscle (BM) after stored at -20°C .



Figure 10. Flake boneless meat trimming (FT) after stored at -20°C .

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อหน้าอก (BM) และเนื้อเศษเหลือ (FT) พบว่าเนื้อเศษเหลือ มีปริมาณความชื้น โปรตีน และโปรตีนไมโอไฟบริล น้อยกว่าเนื้อหน้าอก แต่มีปริมาณไขมัน เถ้า คอลลาเจนทั้งหมด และฟิเอช มากกว่าเนื้อหน้าอก (Table 8) ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจาก เนื้อเศษเหลือ เป็นเศษเนื้อที่ได้จากการตัดแต่งชิ้นเนื้อหลายส่วนรวมกัน จึงทำให้มีปริมาณไขมัน และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันปนอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อหน้าอก ซึ่งพบว่ากล้ามเนื้อส่วนอกเป็นเนื้อที่มีคุณภาพดี และจากรายงานของ Heerden และคณะ (2002) พบว่า เนื้อไก่ในส่วนของเนื้อขาวจะมีปริมาณโปรตีนสูงสุด เนื้อดำจะมีปริมาณโปรตีนลดลงและมีปริมาณไขมันมากกว่า

เมื่อเทียบกับส่วนของเนื้อขาว ส่วนหนังไก่ เครื่องใน และ Mechanically Separated Chicken; MSC พบว่ามีปริมาณ โปรตีนต่ำและไขมันสูง จึงทำให้องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดนี้ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

Table 8. Proximate compositions of chicken breast muscle and flake boneless meat trimming.

Material	Moisture (%)	Protein (% ,dbs.)	Fat (% ,dbs.)	Ash (% ,dbs.)	Myofibrillar protein (mg/g meat, dry wt.)	Collagen (mg/g meat, dry wt.)	pH
BM	78.6±0.3 ^b	98.1±0.3 ^b	18.2±0.1 ^a	5.6±4.5 ^a	389.7±3.6 ^b	22.4±0.1 ^a	6.2±0.1 ^a
FT	76.1±0.1 ^a	71.9±0.2 ^a	22.6±0.2 ^b	5.9±0.1 ^b	335.6±2.0 ^a	42.7±0.1 ^b	6.6±0.1 ^b

Note : Means in the same column with different letters are significant differences ($P < 0.05$).

Mean ± Standard deviation.

2. ผลของสารละลายที่ใช้ล้างต่อคุณภาพทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิ

2.1 ผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิที่ทำจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือ

2.1.1 ปริมาณความชื้น

การล้างเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือด้วยสารละลายต่างกัน 3 ชนิดคือ น้ำประปา (WAT) สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.1 M (SALT) และ สารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 M พีเอช 7.2 (ionic strength 0.1) (BUF) มีผลทำให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Table 9) และพบว่าเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่ล้างด้วยสารละลาย โซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (BUF) มีปริมาณความชื้นสูงสุด คือร้อยละ 82.5 และ 81.6 ตามลำดับ เป็นผลเนื่องจากความแตกต่างของพีเอชเริ่มต้นของสารละลายที่ใช้ล้าง เนื่องจากพีเอชมีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนกล้ามเนื้อ เมื่อพีเอชของสารละลายสูงกว่าพีเอชของเนื้อ มีผลทำให้โปรตีนกล้ามเนื้อมีประจุรวมเป็นลบ จึงเกิดแรงผลักกันระหว่างประจุภายในโครงสร้าง ทำให้โปรตีนมีช่องว่างระหว่างโมเลกุลขยายใหญ่ขึ้น ส่งผลให้น้ำจากภายนอกเข้ามาสู่ภายในโครงสร้างเป็นผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อไก่เพิ่มขึ้น (Dawson *et al.*, 1988) Yang และ Fronning (1992) พบว่า เนื้อโครงไก่ที่แยกเนื้อด้วยเครื่องรีดแยก (Mechanically Debone

Chicken Meat; MDCM) เมื่อผ่านการล้างมีผลทำให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

เทวินทร์ ธรรมสอน (2539) พบว่า เนื้อโครงไก่ที่ไม่ผ่านการล้างมีปริมาณความชื้นอยู่ร้อยละ 67.61 เมื่อล้างเนื้อโครงไก่ด้วยสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 0.5 สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.2 ความเข้มข้น 0.038 โมล สารละลายโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 และน้ำประปา ทำให้ปริมาณความชื้นสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Dawson และคณะ (1988); Lin และ Chen (1989) และให้ผลเช่นเดียวกับการล้างเนื้อปลาในกระบวนการผลิตซูริมิ (Suzuki, 1981) ทั้งนี้เป็นเพราะการพองตัวและการดูดซับน้ำของเนื้อไก่ในระหว่างกระบวนการล้าง และจากการศึกษาพบว่าเนื้ออกไก่และเนื้อเศษเหลือที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ มีปริมาณความชื้นสูงกว่าการล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และน้ำประปา ตามลำดับ ($P < 0.05$) ซึ่งเป็นเพราะสารจำพวกฟอสเฟตทำให้โปรตีนมีความสามารถในการอุ้มน้ำมากขึ้น (Shahidi *et al.*, 1992) ส่วนการล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ จะมีผลทำให้ค่า ionic strength เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณชื้นลดลง (A_w)

2.1.2 ปริมาณโปรตีน

การล้างเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือด้วยน้ำประปา (WAT) สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (SALT) และสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (BUF) (Table 9) มีผลทำให้ปริมาณโปรตีนในเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือลดลงตามลำดับ ในขณะที่ชุดควบคุม มีปริมาณโปรตีนสูงสุด อยู่ร้อยละ โดยน้ำหนักแห้ง 98.1 และ 80.3 ตามลำดับ เป็นผลเนื่องจากในระหว่างขั้นตอนการล้างทำให้เกิดการสูญเสียโปรตีนซาร์โคพลาสซึม ซึ่งเป็นโปรตีนที่สามารถละลายได้ในน้ำออกไปในระหว่างกระบวนการล้าง ส่วนการล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้เกิดการละลายของโปรตีนไมโอไฟบริลออกมาบางส่วน และการล้างด้วยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์มีผลทำให้โปรตีนมีความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์สุดท้ายจึงทำให้ปริมาณโปรตีนทั้งหมดลดลง ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับ Ensoy และคณะ (2004) ที่ศึกษาลักษณะคุณภาพของซูริมิจากเนื้อไก่ไขในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่แข็ง โดยพบว่า การลดลงของปริมาณโปรตีนทั้งหมด เกิดจากการสูญเสียโปรตีนที่ละลายในน้ำได้และการเพิ่มสูงขึ้นของปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์สุดท้าย

2.1.3 ปริมาณโปรตีนไมโอไฟบริล

เนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือมีปริมาณโปรตีนไมโอไฟบริลสูงสุดเมื่อล้างด้วยน้ำประปา (662.1 และ 516.1 มิลลิกรัมต่อกรัมเนื้อน้ำหนักแห้ง) รองลงมาคือสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (658.7 และ 512.8 มิลลิกรัมต่อกรัมเนื้อน้ำหนักแห้ง) และสารละลายโซเดียมฟอสเฟต

บัพเฟอร์ (657.1 และ 509.8 มิลลิกรัมต่อกรัมเนื้อน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ($P < 0.05$) (Table 9) การเพิ่มขึ้นของโปรตีนไมโอไฟบริล เนื่องจากการลดลงของไขมันและโปรตีนซาร์โพลัสติก ภายหลังการล้าง ในกล้ามเนื้อสัตว์ โปรตีนไมโอไฟบริลมีผลต่อการฟอร์มเจล เมื่อความเข้มข้นของโปรตีนไมโอไฟบริลเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นคุณสมบัติเชิงหน้าที่ดีในผลิตภัณฑ์

2.1.4 ปริมาณไขมัน

ปริมาณไขมัน เนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายต่างๆ มีปริมาณไขมันลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Table 9) โดยพบว่าเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่ล้างด้วยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัพเฟอร์ (BUF) มีปริมาณไขมันเหลืออยู่น้อยที่สุด มีอยู่ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง 10.9 และ 15.2 ตามลำดับ ส่วนการล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (SALT) และน้ำประปา ปริมาณไขมันเหลืออยู่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) เนื่องจากกระบวนการล้างมีผลช่วยกำจัดไขมันออกจากเนื้อไก่บด โดยอาศัยจากความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างเนื้อไก่บดกับสารละลายที่ใช้ล้าง ส่วนชุดควบคุมมีปริมาณไขมันสูงสุด มีอยู่ 18.2 และ 22.6 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Yang และ Froning (1992) พบว่า ชูริมิจากเนื้อไก่ที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยเครื่องรีดแยก เมื่อผ่านการล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ หรือสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ปริมาณไขมันลดลงอย่างเด่นชัด เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อไก่ที่ไม่ผ่านการล้าง Huang และคณะ (1998) พบว่า การล้างด้วยน้ำช่วยลดปริมาณไขมัน รวมทั้งเลือดและโปรออกซิแดนซ์ต่างๆ ในเนื้อปลา ส่งผลให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันของเนื้อปลานิลลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อปลาบดที่ไม่ล้างน้ำระหว่างการเก็บรักษาในสภาวะการแช่เย็นและสภาวะแช่แข็ง

2.1.5 ปริมาณเถ้า

การล้างเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือด้วยสารละลาย ต่างๆ มีผลทำให้ปริมาณเถ้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Table 9) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ระหว่างชนิดของสารละลายที่ใช้ล้าง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Shahidi และคณะ (1992) พบว่าเนื้อไก่ที่ผ่านการแยกเนื้อด้วยเครื่องรีดแยก ปริมาณเถ้าลดลง เมื่อผ่านการล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต และน้ำประปา นอกจากนี้ Ensoy และคณะ (2004) พบว่า ชูริมิจากเนื้อไก่ที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต สารละลายโซเดียมฟอสเฟต สารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัพเฟอร์ และน้ำประปา มีผลทำให้ปริมาณเถ้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ระหว่างชนิดของสารละลายที่ใช้ล้าง

Table 9. Chemical composition of surimi-like from chicken breast muscle (BM) and flake boneless meat trimming (FT) washed with different solutions.

Composition	Materials	WAT solution	SALT solution	BUF solution	Unwashed (Control)
Moisture (%)	BM	79.7±0.1 ^b	80.6±0.1 ^c	82.5±0.1 ^d	78.6±0.3 ^a
	FT	79.5±0.1 ^b	80.4±0.1 ^c	81.6±0.2 ^d	76.1±0.1 ^a
Protein (%.dbs.)	BM	97.6±0.3 ^c	96.6±0.1 ^b	95.4±0.4 ^a	98.1±0.3 ^d
	FT	77.1±0.1 ^b	79.6±0.2 ^c	76.6±0.4 ^a	80.3±0.2 ^d
Fat (%.dbs.)	BM	11.8±1.7 ^b	11.3±1.0 ^b	10.9±1.5 ^a	18.2±0.1 ^c
	FT	17.1±1.1 ^b	16.3±1.5 ^b	15.2±1.1 ^a	22.6±0.2 ^c
Ash (%.dbs.)	BM	4.9±2.6 ^a	4.6±1.1 ^a	5.2±2.6 ^b	5.6±4.5 ^c
	FT	5.4±1.0 ^b	4.8±2.0 ^a	5.4±2.5 ^b	5.9±0.1 ^c
Collagen (mg/g meat, dry wt.)	BM	36.9±0.05 ^b	40.7±0.08 ^b	42.9±0.3 ^b	22.4±0.1 ^a
	FT	79.5±0.1 ^b	96.9±0.3 ^c	97.3±0.3 ^c	42.7±0.1 ^a
Myofibrillar protein (mg/g meat,dry wt.)	BM	662.1±3.2 ^c	658.7±1.7 ^b	657.1±4.5 ^b	389.7±3.6 ^a
	FT	516.1±2.0 ^c	512.8±2.6 ^c	509.8±4.6 ^b	335.6±2.0 ^a
pH	BM	6.6±0.05 ^b	6.7±0.01 ^c	7.3±0.01 ^d	6.2±0.01 ^a
	FT	6.8±0.02 ^b	6.9±0.04 ^c	7.4±0.01 ^d	6.6±0.01 ^a

Note : Means in the same row with different letters are significant differences (P<0.05).

Mean ± Standard deviation.

2.1.6 ปริมาณคอลลาเจนทั้งหมด

เป็นการวัดปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ เนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่ผ่านการล้างด้วยสารละลาย ต่างๆ มีผลทำให้ปริมาณคอลลาเจนทั้งหมด เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Table 9) ซึ่งปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นเมื่อตัวอย่างผ่านกระบวนการล้างและการกรอง เนื่องจากคุณสมบัติของโปรตีนชนิดนี้จะไม่ละลายน้ำ โดยพบว่าชุดควบคุมมีปริมาณคอลลาเจนทั้งหมด (น้ำหนักแห้ง) อยู่ 22.4 มิลลิกรัมต่อกรัมเนื้อ (เนื้อหน้าอก) และ 42.7 มิลลิกรัมต่อกรัมเนื้อ (เนื้อเศษเหลือ) โดยปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นสูงสุด เมื่อล้างเนื้อเศษเหลือด้วยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (97.3 มิลลิกรัมต่อกรัมเนื้อ) สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (96.9 มิลลิกรัมต่อกรัมเนื้อ) และน้ำประปา (79.5 มิลลิกรัม

ต่อกรัมเนื้อ) ตามลำดับ แต่เนื้อออกไก่ที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (42.9 มิลลิกรัมต่อกรัมเนื้อ) สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (40.7 มิลลิกรัมต่อกรัมเนื้อ) และน้ำประปา (36.9 มิลลิกรัมต่อกรัมเนื้อ) มีปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) เนื่องจากเนื้อเศษเหลือ เป็นเศษเนื้อที่ได้จากการตัดแต่งชิ้นเนื้อหลายส่วนรวมกัน จึงทำให้มีปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันปนอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อหน้าอก ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Ensoy และคณะ (2004) พบว่า เนื้อที่ไม่ผ่านการล้างมีปริมาณคอลลาเจนอยู่ 99.5 มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน และปริมาณคอลลาเจนเพิ่มขึ้นเมื่อล้างด้วยสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต (118.5 มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน) สารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (132.9 มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน) สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (140.2 มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน) และน้ำประปา (140.9 มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน) ตามลำดับ ($P>0.05$)

2.1.7 ค่าพีเอช

เนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่ไม่ผ่านการล้าง (ชุดควบคุม) มีพีเอช 6.2 และ 6.6 ตามลำดับ แต่เมื่อผ่านการล้างด้วยน้ำประปา สารละลายโซเดียมคลอไรด์ และสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ มีผลทำให้ค่าพีเอชของเนื้อไก่เพิ่มขึ้น โดยพบว่าการล้างด้วยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์มีผลทำให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นสูงสุด 7.3 และ 7.4 ตามลำดับ (Table 9) การเพิ่มขึ้นของค่าพีเอช เป็นผลเนื่องจากการล้างด้วยสารละลายต่างๆจะช่วยกำจัดหรือลดปริมาณกรดแลกติกที่เกิดจากกระบวนการไกลโคไลซิส ออกจากเนื้อไก่ในระหว่างการล้าง นอกจากนี้พบว่า การล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ มีความสำคัญต่อประจุของโปรตีน ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อหรือการพองตัว ขึ้นอยู่กับ pH ของเนื้อสัตว์ ซึ่งสารละลายโซเดียมคลอไรด์ จะเพิ่มการอุ้มน้ำเมื่อโปรตีนมี pH สูงกว่า pI และลดลงเมื่อ pH ต่ำกว่า pI (Hamm, 1975) โซเดียมคลอไรด์จะทำให้ค่า ionic strength เพิ่มขึ้น โดยจะแตกตัวเป็น Na^+ และ Cl^- ซึ่งเกี่ยวกับการที่ Cl^- ไปจับกับประจุบวกของโปรตีนไมโอไฟบริลที่หมู่อะมิโน โปรตีนจึงมีประจุลบมากขึ้น ทำให้เกิดแรงผลักกันในโครงร่างของโปรตีนเปิดออก ทำให้สามารถชะล้าง กรดแลกติก ออกจากเนื้อได้ดีกว่า ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการล้างด้วยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่เป็นค่า เป็นการช่วยทำให้ pH ของโปรตีนในเนื้อสัตว์สูงขึ้นจากจุด pI จึงทำให้ค่าพีเอชของเนื้อไก่เพิ่มขึ้น มีผลในการปรับปรุงความสามารถของโปรตีนในการอุ้มน้ำได้ เป็นอย่างดี โดย โซเดียมฟอสเฟตทำหน้าที่เข้าจับกับส่วนของโปรตีนที่มีประจุบวกจึงทำให้ส่วนที่มีประจุลบสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำได้ จากความสามารถในการจับน้ำได้มากขึ้น ส่งผลให้ในระหว่างการล้างสามารถชะล้างเอาพวก ไบมัน เอนไซม์ เม็ดสี และ กรดแลกติก ออกจากเนื้อได้ดีกว่า Toyoda และคณะ (1992) กล่าวว่า พีเอชของน้ำควรมีค่าใกล้เคียงกับพีเอชของเนื้อ (พีเอช 6.5-7.0) เพื่อให้เนื้อบดมีสมบัติการอุ้มน้ำสูงสุด พีเอช

ของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับพีเอชของเนื้อ น้ำที่ใช้ล้างควรมีค่าใกล้เคียงกับเนื้อเพื่อคงรักษาสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากเนื้อ ในกรณีที่พีเอชของเนื้อลดต่ำลงจึงจำเป็นต้องล้างด้วยสารละลายต่าง เพื่อปรับพีเอช โดยทั่วไปมักใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต (สุทธวัฒน์, 2548)

2.1.8 การตรวจสอบรูปแบบและน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีน

นำเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่ผ่านการล้างมาตรวจสอบรูปแบบและน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนโดย SDS-PAGE (Figure 11) พบว่ามีแถบโปรตีนในช่วงน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 205-14.2 kDa โดยน้ำหนักโมเลกุลที่ 205 kDa เป็นแถบโปรตีนไมโอซินเส้นหนัก (MHC) ซึ่งตัวอย่างที่ไม่ผ่านการล้างและผ่านการล้างด้วยสารละลายต่างๆ มีความหนาและความเข้มของแถบโปรตีนไมโอซินเส้นหนัก ไม่แตกต่างกัน แต่พบว่าที่น้ำหนักโมเลกุล 45 kDa แถบโปรตีนแอกตินจากเนื้อเศษเหลือที่ไม่ผ่านการล้างและผ่านการล้างด้วยสารละลายต่างๆ มีความหนาและความเข้มของแถบโปรตีนแอกติน มากกว่าเนื้ออกไก่ นอกจากนี้พบว่าเนื้อทั้ง 2 ชนิดที่ล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (แถวที่ 3 และ 4) มีจำนวนแถบโปรตีนในช่วง 36 kDa ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ล้างด้วยน้ำและไม่ผ่านการล้าง เนื่องจากการล้างด้วยสารละลายดังกล่าวสามารถกำจัดโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 36 kDa ออกไป อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงรูปแบบโปรตีนจากเนื้ออกไก่และเนื้อเศษเหลือที่ล้างด้วยสารละลายต่างๆ ไม่แตกต่างกันอย่างเด่นชัด แต่จากผลของการล้างแสดงให้เห็นว่าเกิดการสูญเสียแถบโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำในระหว่างการล้างเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อที่ไม่ผ่านการล้าง เช่นเดียวกับการรายงานของ Karthikeyan และคณะ (2006) พบว่า รูปแบบโปรตีนจากปลาปากคมที่ไม่ผ่านการล้าง ที่น้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 45-36 kDa แถบโปรตีนมีความเด่นชัดเมื่อเปรียบเทียบกับแถบโปรตีนอื่นๆ และพบว่าเนื้อที่ผ่านการล้างด้วยน้ำ แถบโปรตีนไมโอซินเส้นหนักมีความหนาและความเข้มของแถบเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนครั้งของการล้างเพิ่มขึ้น และพบว่าเนื้อที่ผ่านการล้าง แถบโปรตีนที่น้ำหนักโมเลกุล 55 kDa ความหนาและความเข้มของแถบโปรตีนลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อที่ไม่ผ่านการล้าง

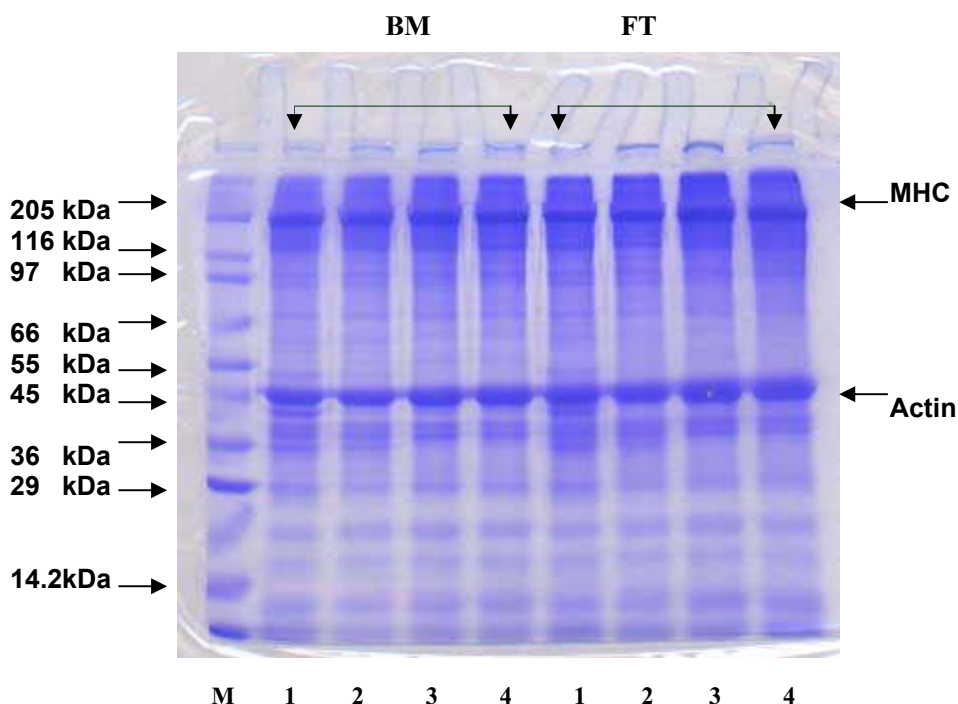


Figure 11. SDS-PAGE pattern of surimi-like from chicken breast muscle (BM) and flake boneless meat trimming (FT) washed with different solutions.

Note : M; High molecular weight maker, 1; unwashed, 2; WAT solution, 3; SALT solution, 4; BUF solution.

2.2 ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิที่ทำจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือ

2.2.1 ค่าสี

ค่าสีที่วัดได้จากเครื่องวัดสี Hunter lab ในระบบ CIE ประกอบด้วยค่า L^* , a^* และ b^* ของเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือก่อนและหลังการล้างด้วยสารละลายต่างๆ (Table 10) พบว่าเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายต่างๆ มีผลทำให้ค่า L^* เพิ่มขึ้น แต่ค่า a^* และ b^* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยพบว่า การล้างด้วยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ มีผลทำให้ค่า L^* สูงสุด (BM; จาก 60.1 เป็น 76.6 และ FT; จาก 58.4 เป็น 66.8) ค่า a^* และ b^* ลดลงต่ำสุด (BM; จาก 7.9 เป็น 4.1 และ FT; จาก 9.3 เป็น 3.4) (BM; จาก 23.4 เป็น 18.9 และ FT; จาก 20.8 เป็น 18.3) ตามลำดับ เนื่องจากสารละลายที่เป็นด่างสามารถปรับปรุงความขาวของซูริมิได้เพิ่มขึ้น โดยสามารถลดปริมาณไมโอโกลบินในกล้ามเนื้อได้มากกว่าการล้างด้วยสารละลายชนิดอื่นๆ การล้างด้วยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ช่วยกำจัดเลือดออกจากเนื้อได้ดี เนื่องจากทำให้ พิเศษของโปรตีนในเนื้อสัตว์สูงขึ้น มีผลในการ

ปรับปรุงความสามารถของโปรตีนในการอุ้มน้ำได้เป็นอย่างดี โดยโซเดียมฟอสเฟตทำหน้าที่เข้าจับกับส่วนของโปรตีนที่มีประจุบวกจึงทำให้ส่วนที่มีประจุลบสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำได้จากความสามารถในการจับน้ำได้มากขึ้น ส่งผลให้ในระหว่างการล้างสามารถชะล้าง เลือด เม็ดสีออกจากเนื้อได้ดีกว่า ทำให้ค่าความสว่างของเนื้อเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Chaijan และคณะ (2004) ศึกษาการผลิตซูริมิจากปลาซาร์ดีนและปลาแมกเคอเรลที่ผลิตโดยกระบวนการแบบดั้งเดิม (การล้างด้วยน้ำกลั่นหรือสารละลายโซเดียมคลอไรด์) และกระบวนการใช้ค่า่าง พบว่าการใช้ค่า่างสามารถปรับปรุงความขาวของซูริมิจากปลาซาร์ดีนได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากสามารถลดปริมาณไมโอโกลบินในกล้ามเนื้อได้มากกว่าวิธีการล้างแบบดั้งเดิม

Table 10. Color L^* , a^* , b^* values of surimi-like from chicken breast muscle (BM) and flake boneless meat trimming (FT) washed with different solutions.

Color	Materials	WAT solution	SALT solution	BUF solution	Unwashed (Control)
L^*	BM	72.6±0.5 ^b	76.3±0.4 ^c	76.6±0.4 ^c	60.1±0.8 ^a
	FT	65.2±0.8 ^b	65.6±1.2 ^b	66.8±0.8 ^c	58.4±0.8 ^a
a^*	BM	5.6±0.2 ^c	4.7±0.3 ^b	4.1±0.3 ^a	7.9±0.6 ^d
	FT	5.4±0.4 ^c	3.8±0.2 ^b	3.4±0.2 ^a	9.3±0.3 ^d
b^*	BM	20.1±0.2 ^b	20.5±0.3 ^b	18.9±0.3 ^a	23.4±0.7 ^c
	FT	18.1±0.5 ^a	19.5±0.7 ^b	18.3±0.3 ^a	20.8±0.4 ^c

Note : Means in the same row with different letters are significant differences ($P < 0.05$).

Mean ± Standard deviation.

Allen และคณะ (1998) รายงานว่าเนื้อส่วนอกของไก่กระทงที่แบ่งเป็น dark meat ($L < 45$) และ light meat ($L > 50$) เมื่อนวดในสารละลายเกลือและฟอสเฟต ทำให้ค่า L^* เพิ่มขึ้น ค่า a^* และ b^* ลดลง เมื่อเทียบกับเนื้อไก่ที่ไม่ได้หมัก ขณะที่ Smith และ Young (2005) รายงานว่าเนื้อส่วนอกของไก่กระทงที่ถูกหมักด้วยส่วนผสมของ น้ำ เกลือ และฟอสเฟตในสัดส่วนที่แตกต่างกัน พบว่าไม่มีความแตกต่างของค่าสีในเนื้อดิบและเนื้อที่ผ่านการให้ความร้อน

2.3 สมบัติการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิ

2.3.1 ค่าพีเอช

เจลซูริมิจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายต่างๆ (Figure 12) พบว่าเจลซูริมิที่ไม่ผ่านการล้าง (ชุดควบคุม) มีค่าพีเอช (BM; 6.4 และ FT; 6.6) ต่ำกว่าเจลซูริมิที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายต่างๆ ซึ่งเจลซูริมิมีค่าพีเอชสูงสุดในเนื้อไก่ที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (BM; 7.2 และ FT; 7.1) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับข้อ 2.1.7

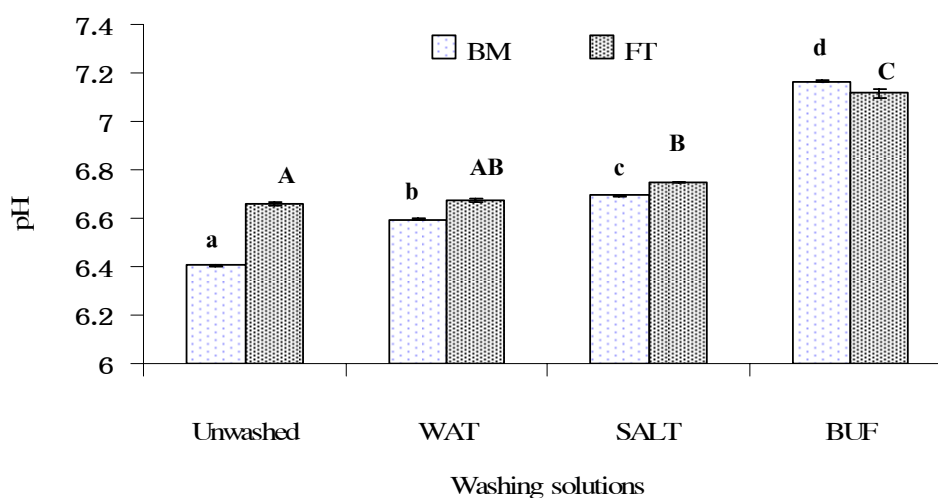


Figure 12. pH of surimi-like gels from chicken breast muscle (BM) and flake boneless meat trimming (FT) washed with different solutions.

Bars represent the standard deviation of six determinations.

Different letters in the same raw material indicate significant differences ($P < 0.05$).

2.3.2 ค่าการสูญเสียน้ำหนัก (cooking loss)

ตัวอย่างเจลของผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายต่างๆและไม่ผ่านการล้าง (ชุดควบคุม) ให้ความร้อนจนอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เท่ากับ 80 องศาเซลเซียส มีค่าการสูญเสียน้ำหนักแตกต่างกัน ($P < 0.05$) (Figure 13) ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนมีผลทำให้เกิดการเสียดสภาพของโปรตีน จึงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำออกจากโครงสร้างของโปรตีน และการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมิผลทำให้ความสามารถในการจับน้ำ (water binding capacity) ของโปรตีนลดลง โดยอุณหภูมิสูงมีผลทำให้พันธะไฮโดรเจนลดลง และลดการจับกับน้ำของหมู่มี่มีประจุ (Damodaran, 1996) ดังนั้นความร้อนจึงมีผลต่อค่าการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่าง โดยพบว่า ตัวอย่างเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่ไม่ผ่านการล้างมีค่าการสูญเสียน้ำหนักสูงสุด (BM; ร้อยละ 21.67 และ FT;

ร้อยละ 25.56) ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์มีค่าการสูญเสียน้ำหนักต่ำสุด (BM; ร้อยละ 12.64 และ FT; ร้อยละ 13.58) ตามลำดับ เป็นผลมาจากการล้างด้วยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ มีผลในการปรับปรุงความสามารถของโปรตีนในการอุ้มน้ำได้ เป็นอย่างดี โดยโซเดียมฟอสเฟตทำหน้าที่เข้าจับกับส่วนของโปรตีนที่มีประจุบวกจึงทำให้ส่วนที่มีประจุลบสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำได้มากขึ้น ส่วนการล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ มีผลช่วยลดค่าการสูญเสียน้ำหนักได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ล้างด้วยน้ำประปา และชุดควบคุม เนื่องจากสารละลายโซเดียมคลอไรด์ มีความสำคัญต่อประจุของโปรตีนซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อหรือการพองตัว ขึ้นอยู่กับ pH ของเนื้อสัตว์ ซึ่งสารละลายโซเดียมคลอไรด์ จะเพิ่มการอุ้มน้ำเมื่อโปรตีนมี pH สูงกว่า pI และลดลงเมื่อ pH ต่ำกว่า pI (Hamm, 1975) โซเดียมคลอไรด์จะทำให้ค่า ionic strength เพิ่มขึ้น โดยจะแตกตัวเป็น Na^+ และ Cl^- ซึ่งเกี่ยวกับการที่ Cl^- ไปจับกับประจุบวกของโปรตีนไมโอไฟบริลที่หมู่อะมิโน โปรตีนจึงมีประจุลบมากขึ้น ทำให้เกิดแรงผลักรันในโครงสร้างทำให้โปรตีนมีช่องว่างระหว่างโมเลกุลขยายใหญ่ขึ้น ส่งผลให้น้ำจากภายนอกเข้ามาสู่ภายใน โครงสร้างจึงทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนเพิ่มขึ้นด้วย และการล้างด้วยน้ำประปามีผลทำให้ค่าการสูญเสียน้ำหนัก น้อยกว่าชุดควบคุม

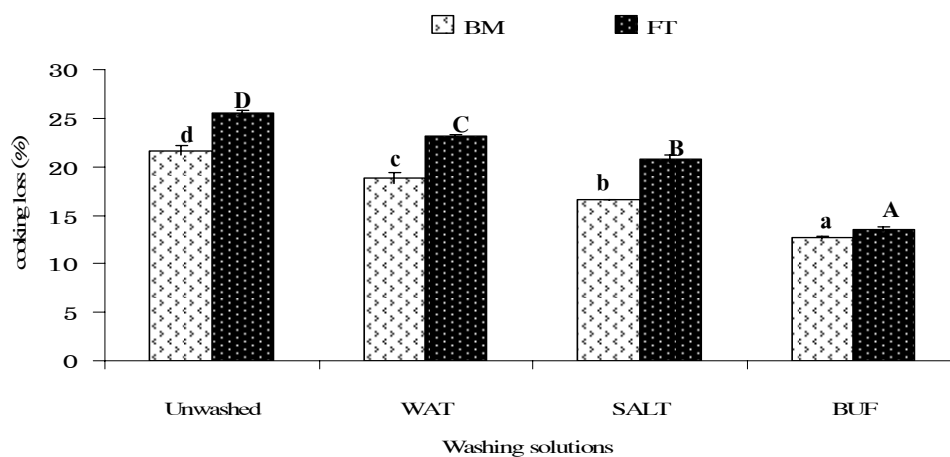


Figure 13. Cooking loss of surimi-like gels from chicken breast muscle (BM) and flake boneless meat trimming (FT) washed with different solutions.

Bars represent the standard deviation of six determinations.

Different letters in the same raw material indicate significant differences ($P < 0.05$).

2.3.3 ค่าสี

ตัวอย่างเจลของผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายต่างๆและไม่ผ่านการล้าง (ชุดควบคุม) ให้ความร้อนจนอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เท่ากับ 80 องศาเซลเซียสแล้วทำการวัดค่าสีของเจล (Table 11) พบว่าค่าความสว่าง (L^*) ของเจลซูริมิจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือเพิ่มขึ้น ส่วนค่า a^* และ b^* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยพบว่า การล้างด้วยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ มีผลทำให้ ค่า a^* และ b^* ลดลงต่ำสุด เนื่องจากสารละลายที่เป็นด่างสามารถปรับปรุงความขาวของเจลซูริมิได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากสามารถลดปริมาณไมโอโกลบินในกล้ามเนื้อ ได้มากกว่าการล้างด้วยสารละลายชนิดอื่นๆ ซึ่งให้ผลสัมพันธ์กับค่าสีของวัตถุดิบเนื้อไก่ที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายต่างๆเช่นเดียวกับข้อ 2.2.1

Table 11. Color L^* , a^* , b^* values of surimi-like gels from chicken breast muscle (BM) and flake boneless meat trimming (FT) washed with different solutions.

Color	Materials	WAT solution	SALT solution	BUF solution	Unwashed (Control)
L^*	BM	80.1±0.5 ^c	77.3±1.3 ^a	78.4±0.3 ^b	78.3±0.3 ^b
	FT	75.4±0.4 ^b	76.7±0.6 ^c	77.7±1.2 ^d	72.3±0.7 ^a
a^*	BM	0.12±0.2 ^b	0.34±0.6 ^b	-1.14±0.5 ^a	1.05±0.2 ^c
	FT	-0.9±0.1 ^c	-1.3±0.1 ^b	-1.6±0.1 ^a	0.8±0.2 ^d
b^*	BM	14.1±0.2 ^{bc}	14.0±0.2 ^b	10.0±0.6 ^a	14.7±0.3 ^c
	FT	14.5±0.3 ^b	14.4±0.3 ^b	13.5±0.5 ^a	16.0±0.2 ^c

Note : Means in the same row with different letters are significant differences ($P<0.05$).

Mean ± Standard deviation.

2.3.4 ค่าแรงและระยะทางก่อนเจาะทะลุ (breaking force และ deformation)

ค่าแรงและระยะทางก่อนเจาะทะลุ ในตัวอย่างเจลของผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายต่างๆและไม่ผ่านการล้าง (ชุดควบคุม) ให้ความร้อนจนอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เท่ากับ 80 องศาเซลเซียส (Figure 14 (A)) พบว่า ตัวอย่างเจลซูริมิจากเนื้อหน้าอก และเนื้อเศษเหลือที่ล้างสารละลายโซเดียมคลอไรด์ มีค่าแรงก่อนเจาะทะลุ สูงสุด (BM; 582.37 กรัม และ FT; 422.45 กรัม) และตัวอย่างเจลซูริมิจากเนื้อหน้าอก ที่ล้างด้วยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์มีค่าแรงก่อนเจาะทะลุต่ำสุด (BM; 370.9 กรัม) ส่วนค่าระยะทางก่อนเจาะทะลุ (Figure 14

(B)) ซึ่งแสดงถึงค่าความยืดหยุ่น พบว่า ตัวอย่างเจลซูริมิจากเนื้อหน้าอก และเนื้อเศษเหลือที่ล้างสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัพเฟอร์มีค่าระยะทางก่อนเจาะทะลุ สูงสุด (BM; 11.50 มิลลิเมตร และ FT; 13.25 มิลลิเมตร) ค่าแรงและระยะทางก่อนเจาะทะลุมีความเกี่ยวเนื่องกับค่าการสูญเสียน้ำหนัก (Figure 13) เมื่อสูญเสียน้ำหนักออกจากตัวอย่างน้อยแสดงว่าสามารถกักเก็บน้ำไว้ในตัวอย่างได้มาก ทำให้ตัวอย่างเจลซูริมิจึงมีความแข็งแรงลดลงแต่ความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น มีผลให้ค่าระยะทางก่อนการเจาะทะลุเพิ่มขึ้น เป็นผลเนื่องจากโซเดียมฟอสเฟตบัพเฟอร์จะช่วยเพิ่มพีเอชของโปรตีน มีผลในการปรับปรุงความสามารถของโปรตีนในการอุ้มน้ำได้เป็นอย่างดี Lanier (1992) ได้กล่าวว่า สมบัติและลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของโปรตีนและปริมาณของแข็งที่สามารถกักเก็บน้ำได้

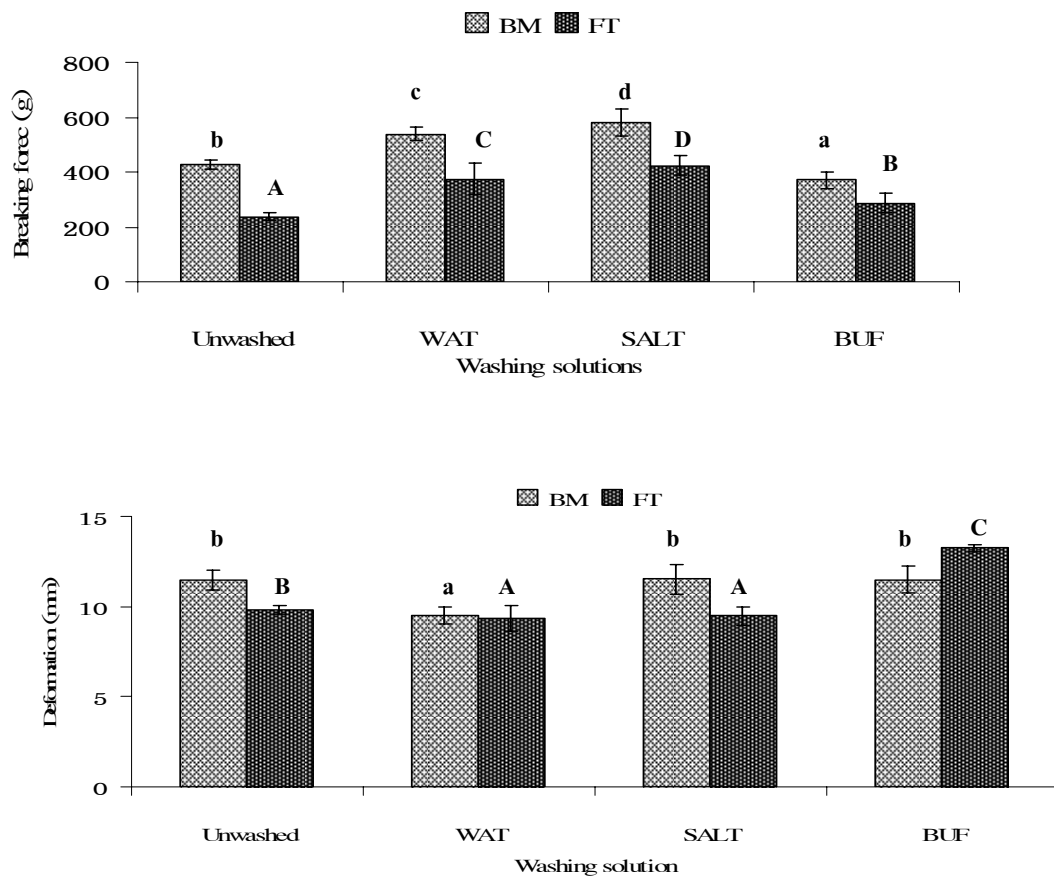


Figure 14. Breaking force and deformation of surimi-like gels from chicken breast muscle (BM) and flake boneless meat trimming (FT) washed with different solutions.

Bars represent the standard deviation of six determinations.

Different letters in the same raw material indicate significant differences ($P < 0.05$).

2.3.5 โครงสร้างทางจุลภาคของเจลด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)

โครงสร้างทางจุลภาคของตัวอย่างเจลซูริมิที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายต่างๆและไม่ผ่านการล้าง (ชุดควบคุม) ให้ความร้อนจนอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เท่ากับ 80 องศาเซลเซียสเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างเจลซูริมิจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่ล้างสารละลายต่างๆ (Figure 15) พบว่า เจลซูริมิจากเนื้อเศษเหลือมีลักษณะเป็นโครงข่ายร่างแหที่เป็นระเบียบ มีความต่อเนื่องและความหนาของเส้นใยโปรตีนน้อย และมีช่องว่างภายในโครงข่ายขนาดใหญ่กว่าเจลซูริมิจากเนื้อหน้าอก นอกจากนี้และพบว่า เจลที่เตรียมจากเนื้อที่ผ่านการล้างด้วยน้ำประปาและสารละลายโซเดียมคลอไรด์ มีลักษณะโครงข่ายร่างแหที่เป็นระเบียบ มีความต่อเนื่องของเส้นใยโปรตีน โครงข่ายร่างแหเชื่อมต่อกันแน่น ทำให้มีช่องว่างภายในโครงสร้างของโปรตีนน้อย และความหนาของเส้นใยโปรตีนมากขึ้น เนื่องจากการรวมตัวกันหรือการตกตะกอนของโปรตีนเนื่องจากความร้อน ซึ่งสอดคล้องกับค่าแรงก่อนเจาะทะลุที่มีค่าสูงสุดในตัวอย่างเนื้อที่ล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนมีผลทำให้เกิดการรวมกลุ่มของโปรตีน และทำให้เกิดเจลได้ด้วยพันธะต่างๆ ดังเช่น พันธะไดซัลไฟด์ อันตรกิริยาไฮโดรโฟบิก อันตรกิริยาแรงกระทำระหว่างประจุ (Messens *et al.*, 1997) Ishioroshi และคณะ (1982) (อ้างโดย Benjakul *et al.*, 2001) อธิบายการเกิดเจลด้วยความร้อนว่าเกิดจากไมโอซินเส้นหนัก (HMM) และเส้นเบา (LMM) โดยไมโอซินเส้นหนักมีการรวมกลุ่มในลักษณะคล้ายฟองน้ำ (sponge-like network) และไมโอซินเส้นเบารวมกันเป็นโครงข่ายแบบเลซี่ (lacy-like network) ซึ่งส่งผลให้มีค่าแรงก่อนเจาะทะลุสูง นอกจากนี้ พบว่าเจลซูริมิที่เตรียมจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ มีลักษณะโครงข่ายร่างแหที่เป็นระเบียบ มีความต่อเนื่องของเส้นใยโปรตีนน้อยกว่า และมีขนาดช่องว่างภายในโครงข่ายโปรตีนมากกว่าและขนาดใหญ่กว่า ซึ่งสอดคล้องกับค่าแรงก่อนเจาะทะลุที่มีค่าลดลง

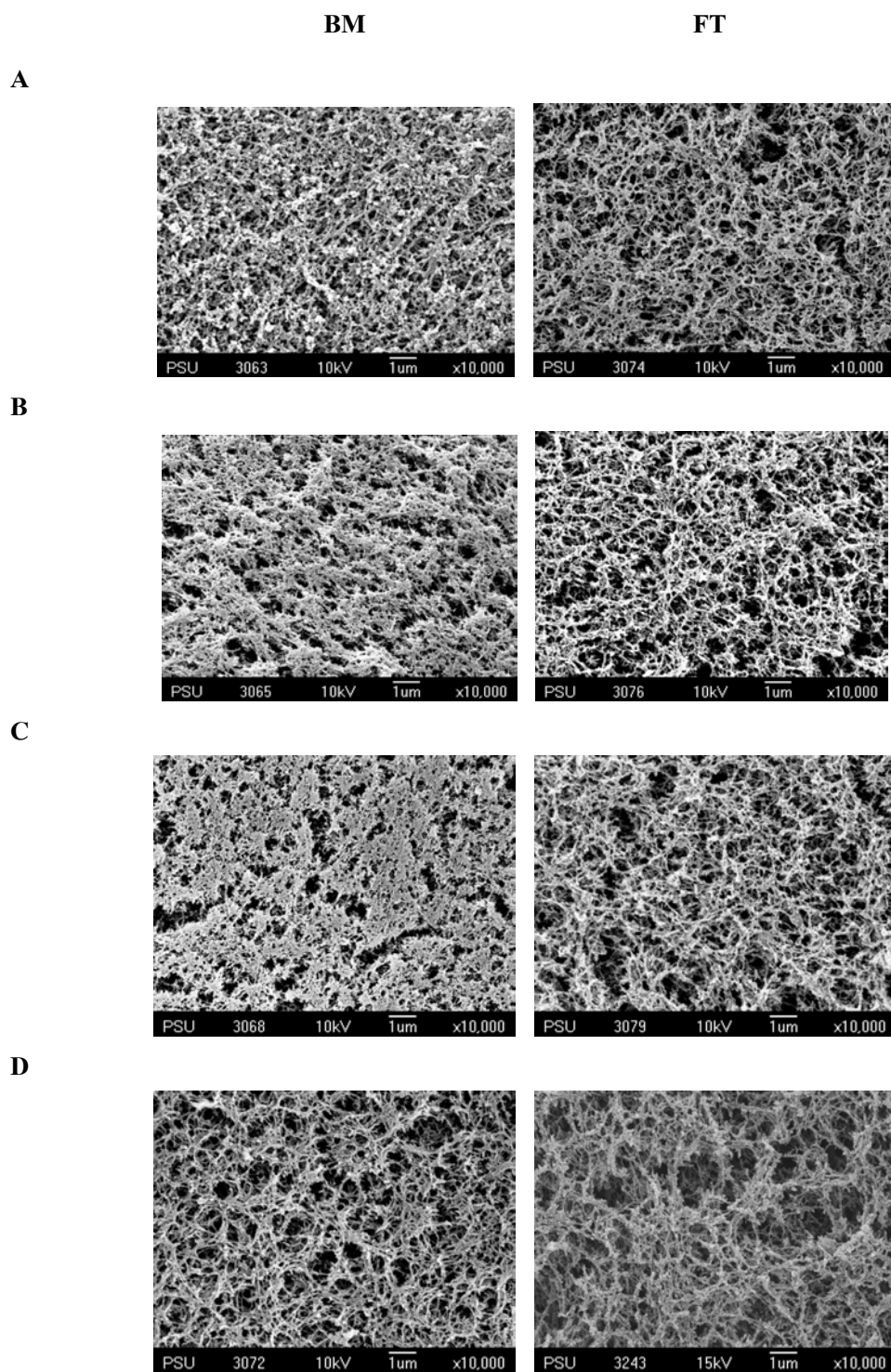


Figure 15. Microstructure of surimi-like gels from chicken breast muscle (BM) and flake boneless meat trimming (FT) washed with different solutions.

Note : A; unwashed, B; WAT solution, C; SALT solution, D; BUF solution.

3. สภาพการให้ความร้อนและอัตราส่วนระหว่างผลิตภัณฑ์เลียนแบบชูริมิจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือต่อความสามารถในการเซตตัวของเจล

3.1 สภาพการให้ความร้อนที่เหมาะสมกับการเกิดเจล

วิธีการเตรียมเจลมีความสำคัญต่อคุณภาพของเจล การเตรียมเจลโดยการให้ความร้อน 2 ครั้งมีผลทำให้ค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของเจลเพิ่มขึ้น (Lanier, 1986) การเตรียมเจลโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำในครั้งแรกก่อนแล้วตามด้วยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงอีกครั้งเป็นการสร้างความคงตัวให้แก่เจล การให้ความร้อนครั้งแรกเป็นการให้ความร้อนในระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเกิดเจลของโปรตีนของเนื้อแต่ละชนิด เพื่อให้การเกิดเจลหรือการสร้างร่างแหโปรตีนอย่างมีระเบียบ ก่อนนำไปให้ความร้อนครั้งที่ 2 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เพื่อให้โปรตีนที่เกิดเจลอย่างสมบูรณ์ เป็นผลให้เจลมีความคงตัวและเจลมีคุณภาพสูงทั้งทางด้านความแข็งและความยืดหยุ่น Lanier และคณะ (1982) รายงานว่า การให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลาหนึ่งก่อนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงมีผลให้เจลที่ได้มีความคงตัวและมีความแข็งแรงดี ซึ่งการเตรียมเจลในลักษณะนี้ การคลายตัวของโปรตีนจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ทำให้ปฏิกิริยาการสร้างสะพานเชื่อมระหว่างโปรตีนที่คลายตัวออกมาเกิดขึ้นอย่างมีระเบียบ โครงสร้างของเจลจึงมีความต่อเนื่อง (Foegeding *et al.*, 1986; Park, 1995)

สภาพการให้ความร้อนแบบสองขั้นตอนที่อุณหภูมิ 30 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ตามด้วยการให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ต่อความสามารถในการเซตตัวของเจล (Figure 16) พบว่าเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นจาก 30-60 องศาเซลเซียส เจลชูริมิจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือ มีค่าแรงและระยะทางก่อนเจาะทะลุเพิ่มขึ้น แต่ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พบว่าค่าแรงก่อนเจาะทะลุของเจลชูริมิจากเนื้อหน้าอกลดลง Smyth และ O'Neill (1997) พบว่าการให้ความร้อนน้อยกว่า 60 องศาเซลเซียส เจลจะนุ่มและอ่อน แต่เจลจะแข็งแรงขึ้นระหว่างอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเกิดการจับตัวกันระหว่างโปรตีนกับโปรตีน อย่างไรก็ตามความแข็งแรงของเจลไม่แตกต่างกันระหว่าง 70 องศาเซลเซียส และ 80 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าในระบบกล้ามเนื้อระหว่างอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส เป็นจุดวิกฤติในโครงสร้างการเกิดเจล Siegle และ Schmidt (1979) กล่าวว่าความร้อนที่ทำให้เกิดเจลจะเป็นจุดที่สำคัญที่มีผลต่อความคงตัวและมีผลต่อเนื้อสัมผัสมากกว่ากระบวนการอื่นๆ จากผลการทดลองพบว่าสภาพการให้ความร้อนแบบสองขั้นตอนที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลของชูริมิจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือ คือการให้ความร้อนครั้งแรกที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ตามด้วยการให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ

90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ซึ่งให้ค่าแรงและระยะทางก่อนเจาะทะลุสูงกว่าที่สภาวะอื่นๆ Park และคณะ (1996) ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์เลียนแบบชูริมิจากเนื้อวัว เนื้อหมู และชูริมิจากปลาโดยวัดความแข็งแรงของเจล หลังจากการให้ความร้อน โดยตัวอย่างจะถูกให้ความร้อนอย่างช้าๆ จาก 35-80 องศาเซลเซียส ในอัตราเร็วคงที่ 0.5 องศาเซลเซียส ต่อนาที จะเห็นว่าเจลของผลิตภัณฑ์ชูริมิจะมีความแข็งแรงมากที่สุด ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นระยะที่อุณหภูมิเกิดเจลอย่างสมบูรณ์ (คามาโบโกะ) และที่อุณหภูมิต่ำๆ 40-45 องศาเซลเซียส ความแข็งแรงของเจลชูริมิจากปลาจะมีความแข็งแรงมากที่สุด และพบว่าความแข็งแรงของเจลชูริมิจากปลาจะลดลงที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ในขณะที่เจลชูริมิจากเนื้อวัว และเนื้อหมูจะมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้น แต่จากผลการทดลองเจลชูริมิจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่ให้ความร้อนแบบสองขั้นตอนพบว่าเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที เจลจะมีความแข็งแรงสูงสุด นอกจากนี้เมื่อทำการศึกษาค่าความแข็งแรงของเจลชูริมิจากเนื้อวัว เนื้อหมู และชูริมิจากปลาที่อุณหภูมิเดียวกันคือ ที่ 60 และ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาทีจะพบว่าความแข็งแรงของเจลจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของปริมาณโปรตีนไมโอไฟบริล จากผลการทดลองเจลจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือพบว่า เจลจากเนื้อหน้าอกจะมีค่าแรงก่อนเจาะทะลุสูงกว่าเจลจากเนื้อเศษเหลือ เนื่องจากเนื้อหน้าอกมีปริมาณโปรตีนไมโอไฟบริลมากกว่าเนื้อเศษเหลือ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Park และคณะ (1996) โดยพบว่าระดับโปรตีนของเจลชูริมิจากเนื้อวัวจะมีความแข็งแรงที่สุดและเจลชูริมิจากเนื้อหมู และปลามีความแข็งแรงรองลงมาตามลำดับ ส่วนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ค่าความแข็งแรง ของเจล ที่มีความเข้มข้นโปรตีนมากกว่าร้อยละ 10 จะสูงกว่าเจลที่เกิดจากอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากว่าปริมาณโปรตีนของกล้ามเนื้อสัตว์แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ซึ่งไมโอซินจากปลาจะมีความคงตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าไมโอซินจากสัตว์เลือดอุ่น ซึ่งจากการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าระดับการให้ความร้อนและปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนไมโอไฟบริลมีผลต่อความแข็งแรงของเจล

ค่าแรงและระยะทางก่อนเจาะทะลุของเจลชูริมิจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ตามด้วยการให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที พบว่าเจลชูริมิที่ได้จากเนื้อหน้าอกมีลักษณะเป็นแบบ rigid gel แต่เจลที่ได้จากเนื้อเศษเหลือมีลักษณะเป็นแบบ elastic gel เนื่องจากปริมาณและชนิดของโปรตีนในเนื้อแต่ละชนิดแตกต่างกัน พบว่าเจลจากเนื้อหน้าอกให้ค่าแรงก่อนเจาะทะลุสูงกว่าเนื้อเศษเหลือ เนื่องจากในเนื้อหน้าอกจะมีปริมาณโปรตีนไมโอไฟบริลสูง การเกิดเจลของโปรตีนจะเกิดการเชื่อมกันด้วยพันธะ โควาเลนต์หรือพันธะ ไดซัลไฟด์ ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของเจล

เพิ่มขึ้น ส่วนเจลจากเนื้อเศษเหลือให้ค่าระยะทางก่อนเจาะทะลุสูงกว่าเนื้อหน้าอก เนื่องจากในเนื้อเศษเหลือมีปริมาณโปรตีนคอลลาเจนปนอยู่เป็นจำนวนมาก การเกิดเจลของโปรตีนคอลลาเจนจะเกิดการเชื่อมด้วยพันธะไฮโดรเจน ส่งผลให้เจลที่ได้มีลักษณะมีความยืดหยุ่นสูง นอกจากนี้พบว่าเจลซูริมิจากเนื้อหน้าอกเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นจาก 50-70 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าระยะทางก่อนเจาะทะลุเพิ่มขึ้น Fox and Condon (1982) พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดเจลจากโปรตีนไมโอซินคือ 60-70 องศาเซลเซียส ที่ pH เท่ากับ 6.0 และมีการเติมโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ในปริมาณ 0.5 M (2-3%) ส่วนเจลซูริมิจากเนื้อเศษเหลือเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นจาก 30-70 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าระยะทางก่อนเจาะทะลุเพิ่มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้น ความร้อนจะเปลี่ยนคอลลาเจนให้กลายเป็นเจลาติน

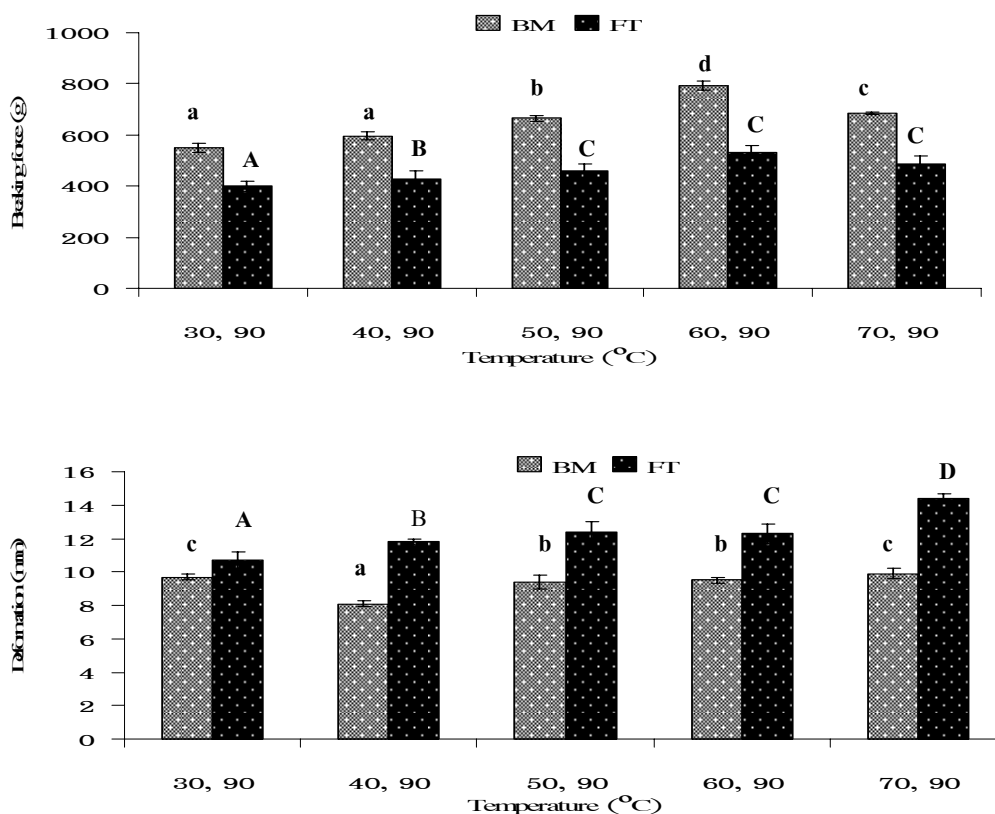


Figure 16. Breaking force and deformation of surimi-like gels from chicken breast muscle (BM) and flake boneless meat trimming (FT) washed with SALT solutions with different heating conditions.

Bars represent the standard deviation of six determinations.

Different letters in the same raw material indicate significant differences ($P < 0.05$).

3.2 อัตราส่วนระหว่างผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือต่อความสามารถในการเซตตัวของเจล

3.2.1 ปริมาณความชื้น

เมื่ออัตราส่วนของเนื้อหน้าอกต่อเศษเหลือลดลง มีผลทำให้ ค่า L^* และ a^* ค่อยๆลดลง ส่วนค่า b^* ค่อยๆเพิ่มขึ้น (Table 12) เนื่องจากเนื้อเศษเหลือเป็นเนื้อที่ได้จากการตัดแต่งชิ้นเนื้อหลายส่วนรวมกัน มีปริมาณไขมัน และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันปนอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่ออัตราส่วนการใช้เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) ลดลง และค่าสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถบ่งชี้ถึงคุณภาพของตัวอย่างได้

Table 12. Color L^* , a^* , b^* values of surimi-like gels prepared from various ratio of BM:FT and heating at 60°C for 30 min, following at 90°C for 20 min.

Ratio (BM:FT)	L^*	a^*	b^*
10:0 (Control)	78.3±0.5 ^d	1.03±0.1 ^d	14.3±0.1 ^b
9:1	77.8±0.4 ^c	1.32±0.3 ^c	13.2±0.5 ^a
8:2	77.9±0.6 ^{cd}	0.89±0.2 ^d	13.2±0.4 ^a
7:3	76.9±0.4 ^b	0.29±0.2 ^c	13.4±0.4 ^a
5:5	77.2±0.5 ^b	-0.07±0.2 ^b	13.9±0.3 ^{ab}
3:7	76.4±0.5 ^a	-0.16 ±0. ^{ab}	14.2±0.8 ^b
2:8	76.4±0.7 ^a	-0.34±0.1 ^a	14.1±0.2 ^b
1:9	76.3±0.3 ^a	-0.34±0.2 ^a	14.6±0.2 ^b

Note : Means in the same column with different letters are significant difference ($P<0.05$).

Mean ± Standard deviation.

3.2.2 ค่าการสูญเสียน้ำหนัก

ตัวอย่างของเจลซูริมิที่เตรียมจากเนื้อหน้าอกและเศษเหลือที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งให้ความร้อนแบบสองขั้นตอน ให้ความร้อนครั้งแรกที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ตามด้วยการให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที พบว่าค่าการสูญเสียน้ำหนักจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเมื่ออัตราส่วนของเนื้อหน้าอกต่อเศษเหลือลดลง (Figure 17) เป็นผลเนื่องจากเนื้อเศษเหลือมีปริมาณ โปรตีน ไมโอไฟบริลอยู่น้อยกว่าเนื้อหน้าอก เมื่ออัตราส่วนการใช้

เพิ่มขึ้น ความสามารถในการกักเก็บน้ำของโปรตีนในตัวอย่างจะน้อยลง ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนไมโอไฟบริลมีผลต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก

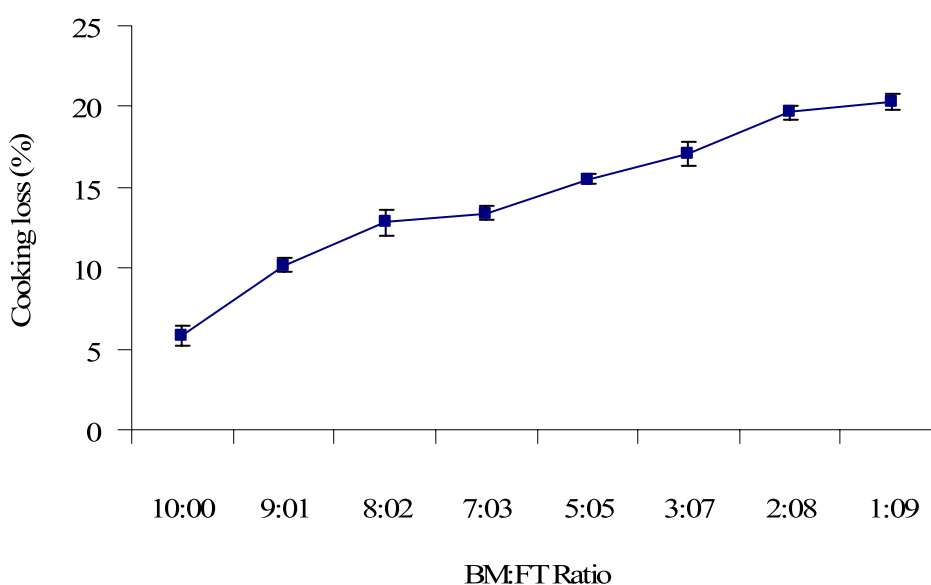


Figure 17. Cooking loss of surimi-like gels prepared from various ratio of BM:FT with 2 stepped heating at 60°C for 30 min, followed by at 90°C for 20 min.

3.2.3 ค่าแรงและระยะทางก่อนเจาะทะลุ

ค่าแรงและระยะทางก่อนเจาะทะลุในตัวอย่างเจลซูริมิที่เตรียมจากเนื้อหน้าอกและเศษเหลือที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งให้ความร้อนแบบสองขั้นตอนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ตามด้วยการให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที (Figure 18) พบว่าที่อัตราส่วนของเนื้อหน้าอกต่อเศษเหลือลดลง ส่งผลให้ค่าแรงก่อนเจาะทะลุของตัวอย่างเจลที่อัตราส่วนต่างๆ มีแนวโน้มลดลงตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบกับชุดควบคุมซึ่งมีค่าแรงก่อนเจาะทะลุสูงสุด (683.5 กรัม) เป็นผลเนื่องจากอัตราส่วนของเนื้อหน้าอกต่อเนื้อเศษเหลือลดลงส่งผลให้มีปริมาณโปรตีนไมโอไฟบริลลดลง ความสามารถในการกักเก็บน้ำไว้ในตัวอย่างจึงลดลงด้วย ซึ่งสอดคล้องกับค่าการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างเจลที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าระยะทางก่อนเจาะทะลุ พบว่า ที่อัตราส่วนของเนื้อหน้าอกต่อเศษเหลือลดลง มีผลทำให้ค่าระยะทางก่อนเจาะทะลุสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เนื่องจากเนื้อเศษเหลือมีปริมาณคอลลาเจนสูง (Table 9) หลังให้ความร้อนคอลลาเจนจะกลายเป็นเจลลาตินจึงส่งผลให้ค่าระยะทาง

ก่อนเจาะทะลุสูงขึ้น และเมื่อทำการจัดระดับชั้นของซูริมิตามคุณภาพความแข็งแรงของเจลซูริมิที่ทำจากเนื้อปลา ตามวิธีของ Lanier (1992) พบว่าที่อัตราส่วน 9:1-7:3 มีค่าแรงก่อนเจาะทะลุเท่ากับ 663.4-521.6 ซึ่งเป็นระดับชั้น FA ที่อัตราส่วน 5:5-3:7 มีค่าแรงก่อนเจาะทะลุเท่ากับ 390.3-388.7 ซึ่งเป็นระดับชั้น AA และที่อัตราส่วน 2:8-1:9 มีค่าแรงก่อนเจาะทะลุเท่ากับ 275.3-278.3 ซึ่งเป็นระดับชั้น B โดยทั่วไปค่าความแข็งแรงของเจลตามมาตรฐานไม่ควรต่ำกว่า 350 กรัม ดังนั้นจากการทดลองจะได้ว่าที่อัตราส่วน 3:7 เป็นอัตราส่วนที่ต่ำที่สุดที่สามารถให้ความแข็งแรงของเจลตามมาตรฐานที่กำหนดไว้

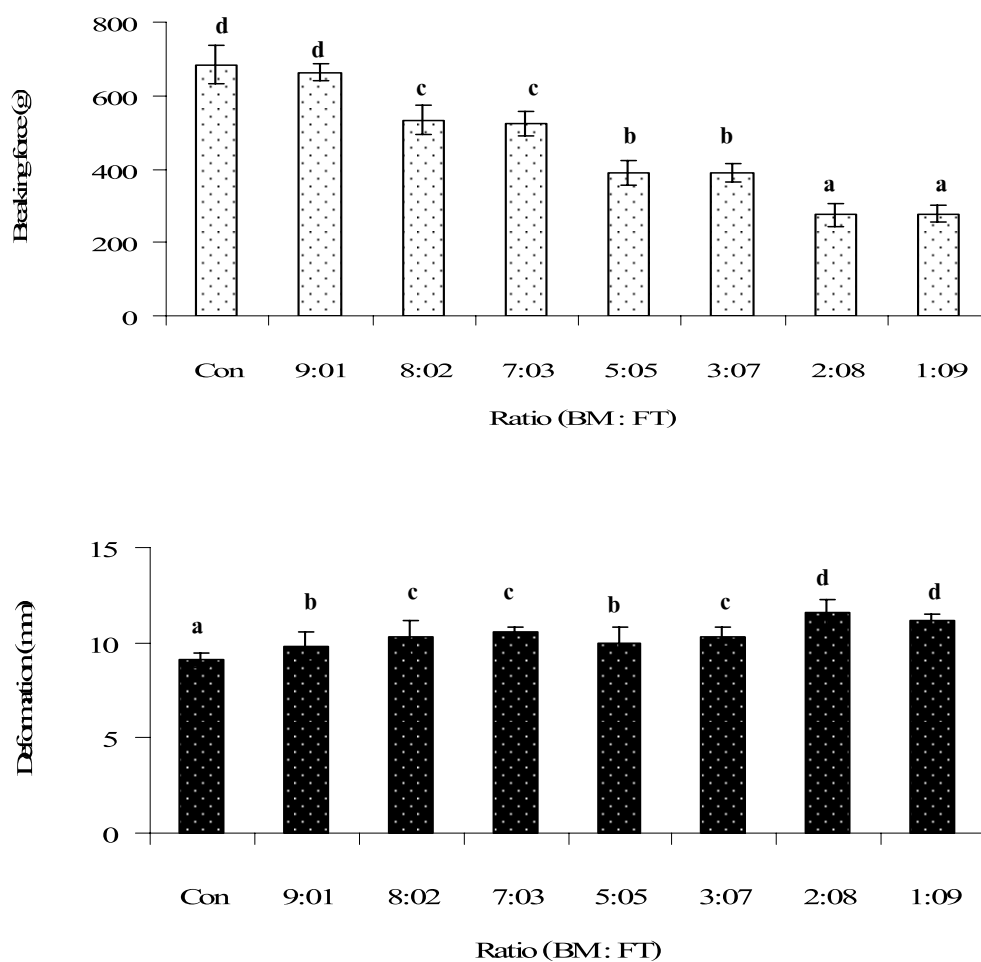


Figure 18. Breaking force and deformation of surimi-like gels prepared from various ratio of BM:FT with 2 stepped heating at 60°C for 30 min, followed by at 90°C for 20 min. Bars represent the standard deviation of six determinations. Different letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

4. ผลการใช้ผลิตภัณฑ์เลียนแบบชูริมิผสมจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือเป็นสารยึดเกาะขึ้นเนื้อในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่ชิ้นรูป

4.1 ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุก (cooking loss)

ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุกของเนื้อไก่ชิ้นรูป (Figure 19) โดยคัดเลือกชุดการทดลองที่อัตราส่วนผสม เนื้อหน้าอก:เนื้อเศษเหลือ ในระดับ สูง กลาง และต่ำ พบว่าการใช้ชูริมิผสมที่อัตราส่วน 9:1 7:3 3:7 และ 2:8 เป็นสารเชื่อม มีผลให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุกเพิ่มสูงกว่าตัวอย่างชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมชูริมิอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเติมที่ร้อยละ 5 ในทุกๆอัตราส่วนมีผลทำให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุกสูงสุดเมื่อเพิ่มปริมาณชูริมิมีผลให้ค่าการสูญเสียน้ำลดลง ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการเติมชูริมิจากปลาในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปพบว่าการเติมร้อยละ 1.5 ไม่สามารถลดค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุก (Chen และ Trout, 1991b) แต่พบว่าการเติมที่ร้อยละ 10 และ 15 ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุกลดลงไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แสดงให้เห็นว่าการเติมชูริมิผสมในปริมาณสูงขึ้นทำให้เนื้อไก่ชิ้นรูปมีความสามารถในการอุ้มน้ำมากขึ้นและเนื้อสัมผัสดีขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติของโปรตีนไมโอไฟบริล เมื่อได้รับความร้อนแล้วจะจับตัวกันด้วยพันธะไฮโดร โคร โฟบิกและไดซัลไฟด์ (Messens *et al.*, 1997) ทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายสามมิติที่สามารถจับน้ำไว้ภายใน ปันดดา เจริญกิจ (2536) พบว่าการเติมชูริมิจากปลาร้อยละ 3 5 และ 7 ลดการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุก นอกจากนี้ เทวินทร์ ธรรมสอน (2539) พบว่าเนื้อขึ้นรูปที่เติมชูริมิจากเนื้อโครงไก่ร้อยละ 5 10 และ 15 มีค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุกลดลงตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับชุดที่ไม่เติม ซึ่งแตกต่างจากผลการทดลองที่ได้ทำการศึกษาในครั้งนี้ โดยพบว่าชุดควบคุมมีค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุกต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นๆ

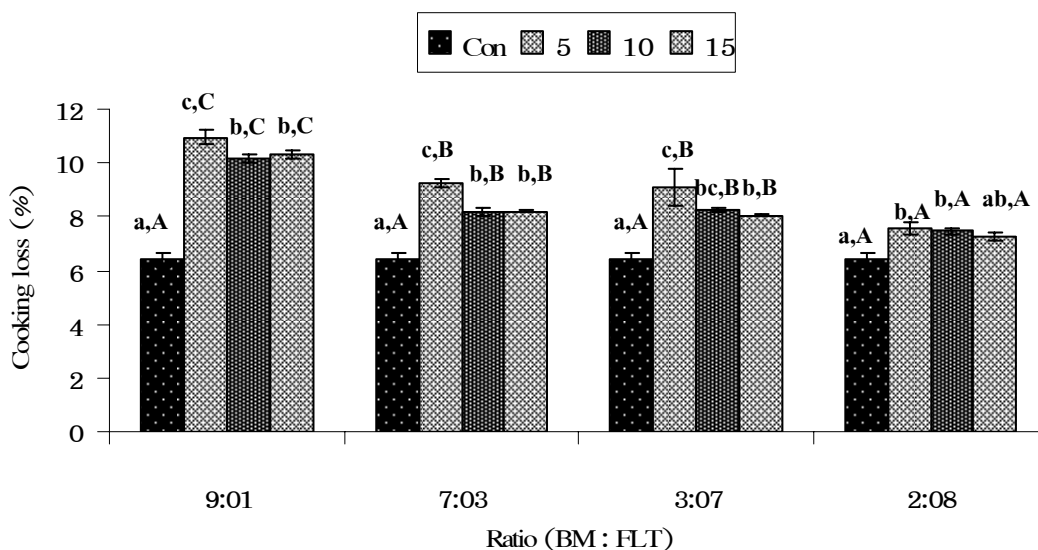


Figure 19. Cooking loss of restructured chicken meat binding with various ratio of mixed surimi, BM:FT (9:1, 7:3, 3:7, 2:8) at 5, 10 and 15 percent.

^{a-c} : Different letters within the same ratio of mixed surimi (BM:FT) indicate significant differences ($P < 0.05$).

^{A-C} : Different letters within the same percentage of surimi-like indicate significant differences ($P < 0.05$).

4.2 ค่าแรงเฉือน (shear force)

จากการวิเคราะห์ค่าแรงเฉือนของตัวอย่างเนื้อไก่ชิ้นรูปที่ใช้ผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิผสมจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่อัตราส่วน 9:1 7:3 3:7 และ 2:8 เพื่อศึกษาระดับการใช้เป็นสารเชื่อมที่ร้อยละ 5 10 และ 15 โดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าที่อัตราส่วนเดียวกันแต่เติมสารเชื่อมในระดับต่างกันค่าแรงเฉือนที่วัดได้ไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) (Figure 20) แต่พบว่าที่อัตราส่วนแตกต่างกัน และเติมสารเชื่อมในระดับเดียวกัน ค่าแรงเฉือนของตัวอย่างเนื้อไก่ชิ้นรูปที่วัดได้แตกต่างกัน ($P < 0.05$) โดยพบว่าที่อัตราส่วน 3:7 และ 2:8 จะมีค่าแรงเฉือนน้อยกว่าที่อัตราส่วน 9:1 และ 7:3 เมื่อเติมในระดับเดียวกัน เนื่องจากปริมาณโปรตีนไมโอไฟบริลที่มีอยู่ในอัตราส่วน 3:7 และ 2:8 มีอยู่น้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนไมโอไฟบริลมีคุณสมบัติที่เมื่อได้รับความร้อนแล้วจะจับกันด้วยพันธะต่างๆ เกิดโครงร่างตาข่ายสามมิติที่สามารถจับน้ำไว้ภายใน มีความคงตัวมากขึ้น ส่งผลให้ค่าแรงเฉือนสูงขึ้น และพบว่าที่อัตราส่วน 9:1 และ 7:3 มีค่าแรงเฉือนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1345.17 – 1426.75 กรัม

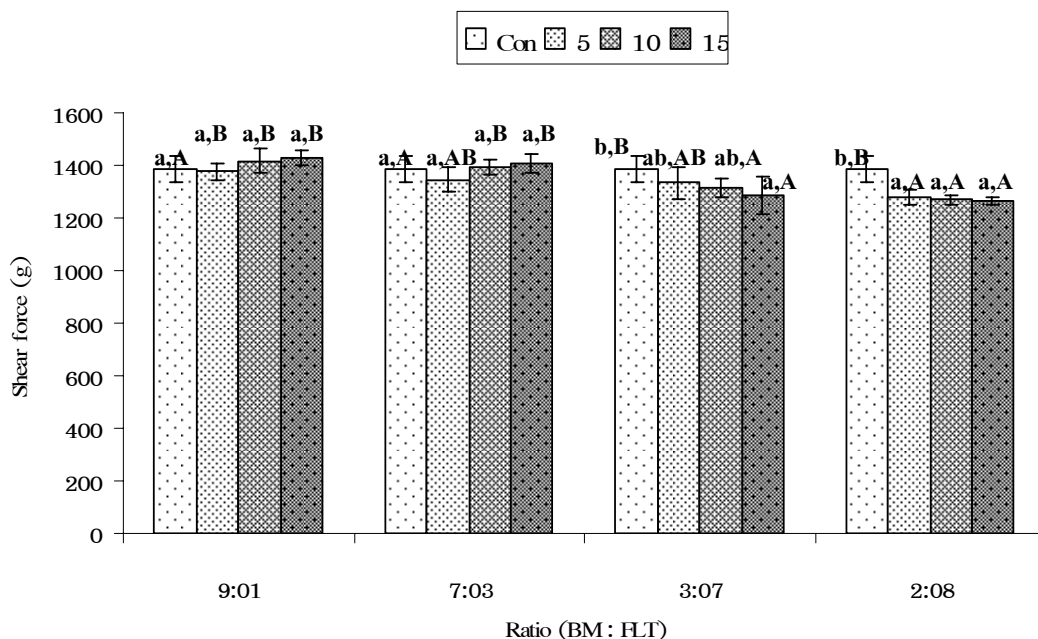


Figure 20. Shear force of restructured chicken meat binding with various ratio of mixed surimi, BM:FT (9:1, 7:3, 3:7, 2:8) at 5, 10 and 15 percent.

^{a-b} : Different letters within the same ratio of mixed surimi (BM:FT) indicate significant differences ($P<0.05$).

^{A-B} : Different letters within the same percentage of surimi-like indicate significant differences ($P<0.05$).

4.3 ลักษณะเนื้อสัมผัส

การวัดเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) ด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) เป็นวิธีที่สามารถเลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์โดยใช้แรงกดชิ้นอาหาร 2 ครั้ง ซึ่งเป็นการเลียนแบบการบดเคี้ยวของฟัน ได้นิยามพารามิเตอร์ต่างๆ Hardness (N/g), Gumminess (N/g), Springiness, Cohesiveness, Chewiness (N/g) และ Adhesiveness (N/g) เพื่อเลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัส โดยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) ของตัวอย่างเนื้อไก่ชิ้นรูปที่ใช้ผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิผสมจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่อัตราส่วน 9:1 7:3 3:7 และ 2:8 เพื่อศึกษาระดับการใช้เป็นสารเชื่อม ที่ร้อยละ 5 10 และ 15 (Table 13) พบว่าที่อัตราส่วนต่างกัน แต่เติมซูริมิเป็นสารเชื่อมที่ระดับเดียวกัน ค่าความแข็ง (Hardness) และความยืดหยุ่น (Springiness) ในตัวอย่างเนื้อไก่ชิ้นรูปมีค่าแตกต่างกัน ($P<0.05$) โดยที่อัตราส่วน 9:1 เติมที่ร้อยละ 5 10 และ 15 มีค่าความแข็ง และความยืดหยุ่นสูงที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนต่ำกว่า

ซึ่งสอดคล้องกับค่าแรงเหวี่ยง และพบว่าเมื่อเติมในปริมาณที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของเนื้อไก่ขึ้นรูปลดลง ส่วนค่าการยึดเกาะกัน (Cohesiveness) และความเหนียว (Adhesiveness) พบว่าในแต่ละอัตราส่วนและเติมที่ระดับต่างๆไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) นอกจากนี้พบว่าในแต่ละอัตราส่วนการเติมที่ร้อยละ 10 และ 15 ค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น การยึดเกาะกัน และความเหนียวพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$)

Table 13. Texture of restructured chicken meat binding with various ratio of mixed surimi, BM:FT (9:1, 7:3, 3:7, 2:8) at 5, 10 and 15 percent.

Surimi BM:FT Ratio	Binding level (%)	Hardness (N)	Springiness	Cohesiveness	Adhesiveness (N)
Control	0	10.52±0.4	0.75±0.02	0.41±0.02	4.39±0.2
9:1	5	11.10±0.5 ^{b,B}	0.80±0.03 ^{b,B}	0.45±0.04 ^{a,A}	4.61±0.3 ^{a,A}
	10	10.56±0.1 ^{ab,C}	0.82±0.03 ^{b,C}	0.47±0.1 ^{a,A}	4.65±0.2 ^{a,A}
	15	10.17±0.4 ^{a,BC}	0.80±0.01 ^{b,B}	0.46±0.02 ^{a,A}	4.61±0.3 ^{a,A}
7:3	5	10.27±0.2 ^{ab,A}	0.74±0.04 ^{a,AB}	0.44±0.02 ^{a,A}	4.68±0.3 ^{a,A}
	10	10.19±0.5 ^{ab,BC}	0.79±0.02 ^{a,ABC}	0.43±0.04 ^{a,A}	4.28±0.7 ^{a,A}
	15	9.77±0.1 ^{a,B}	0.77±0.01 ^{a,AB}	0.45±0.08 ^{a,A}	4.67±0.2 ^{a,A}
3:7	5	10.21±0.3 ^{bc,A}	0.70±0.1 ^{ab,A}	0.49±0.1 ^{a,A}	4.85±0.4 ^{a,A}
	10	9.79±0.4 ^{b,B}	0.80±0.02 ^{b,BC}	0.50±0.1 ^{a,A}	4.70±0.5 ^{a,A}
	15	8.68±0.2 ^{a,A}	0.69±0.07 ^{a,A}	0.53±0.07 ^{a,B}	4.48±0.1 ^{a,A}
2:8	5	10.19±0.1 ^{b,A}	0.75±0.1 ^{a,AB}	0.46±0.1 ^{a,A}	4.52±0.3 ^{a,A}
	10	8.39±0.4 ^{a,A}	0.72±0.1 ^{a,A}	0.48±0.04 ^{a,A}	4.24±0.1 ^{a,A}
	15	8.46±0.4 ^{a,A}	0.73±0.07 ^{a,AB}	0.43±0.02 ^{a,A}	4.28±0.2 ^{a,A}

Note : Mean ± Standard deviation

^{a-b} : Different letters within the same ratio of mixed surimi (BM:FT) indicate significant differences ($P<0.05$).

^{A-C} : Different letters within the same percentage of surimi-like indicate significant differences ($P<0.05$).

4.4 ค่าสี

จากการวัดค่าสีของตัวอย่างเนื้อไก่ชิ้นรูป โดยใช้เครื่องวัดค่าสีด้วยระบบ CIE L^* , a^* , b^* (Table 14) พบว่า ตัวอย่างเนื้อไก่ชิ้นรูปที่ใช้ผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิผสมจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศเหลือที่อัตราส่วนต่างๆกัน เมื่อเติมในระดับเดียวกันมีค่า L^* และ b^* ของเนื้อไก่ชิ้นรูปไม่แตกต่างกัน โดยพบว่า ค่า L^* จะอยู่ในช่วง 79.078-77.078 และค่า b^* จะอยู่ในช่วง 16.921-15.708 ส่วนค่า a^* พบว่าการเติมสารเชื่อมในระดับที่สูงขึ้นจะมีผลทำให้ค่าสีแดงของเนื้อไก่ชิ้นรูปลดลงตามลำดับ ($P>0.05$)

Table 14. Color L^* , a^* , b^* values of restructured chicken meat binding with various ratio of mixed surimi, BM:FT (9:1, 7:3, 3:7, 2:8) at 5, 10 and 15 percent.

Surimi BM:FT Ratio	Binding level (%)	L^*	a^*	b^*
Con	0	78.6±0.9	0.7±0.3	16.9±0.7
9:1	5	78.3±0.3 ^{ab, A}	0.2±0.3 ^{ab, A}	16.0±0.6 ^{ab, A}
	10	77.5±0.5 ^{a, AB}	0.2±0.4 ^{ab, A}	16.5±0.5 ^{ab, AB}
	15	77.9±0.3 ^{ab, AB}	0.2±0.2 ^{a, A}	15.8±0.4 ^{a, A}
7:3	5	78.4±0.8 ^{a, A}	0.4±0.3 ^{b, B}	16.5±1.0 ^{a, A}
	10	78.3±0.6 ^{a, B}	0.4±0.1 ^{b, B}	15.8±0.5 ^{a, AB}
	15	78.3±0.7 ^{a, AB}	0.3±0.2 ^{a, A}	15.7±0.6 ^{a, A}
3:7	5	78.3±0.4 ^{b, A}	0.5±0.1 ^{b, B}	16.3±0.5 ^{a, A}
	10	77.0±0.6 ^{a, A}	0.3±0.4 ^{b, B}	16.9±1.0 ^{a, B}
	15	77.7±0.7 ^{ab, A}	0.3±0.5 ^{a, AB}	16.5±1.0 ^{a, A}
2:8	5	78.3±0.9 ^{ab, A}	0.4±0.1 ^{b, B}	16.4±0.2 ^{ab, A}
	10	77.5±0.6 ^{a, AB}	0.2±0.3 ^{a, A}	15.7±0.2 ^{a, A}
	15	79.0±1.0 ^{b, B}	0.2±0.7 ^{a, A}	16.5±0.8 ^{ab, A}

Note : Mean ± Standard deviation

^{a-b} : Different letters within the same ratio of mixed surimi (BM:FT) indicate significant differences ($P<0.05$).

^{A-B} : Different letters within the same percentage of surimi-like indicate significant differences ($P<0.05$).

4.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ

จากการวิเคราะห์ผลทางกายภาพของตัวอย่างเนื้อไก่ชิ้นรูปที่เดิมผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิผสมจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่อัตราส่วน 9:1 7:3 3:7 และ 2:8 ที่ระดับการเป็นสารเชื่อมที่ร้อยละ 5 10 และ 15 พบว่าที่อัตราส่วนต่างๆการเติมที่ร้อยละ 10 และ 15 ให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุก ค่าแรงเฉือน ลักษณะเนื้อสัมผัส และ ค่าสี โดยรวมไม่แตกต่างกัน จึงคัดเลือกเนื้อไก่ชิ้นรูปที่เดิมซูริมิผสมจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่อัตราส่วนต่างๆที่ร้อยละ 10 มาทั้งหมด และคัดเลือกที่เติมร้อยละ 15 ที่อัตราส่วน 2:8 มาด้วย แล้วทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส และจากการทดสอบความชอบโดยวิธี 9-point hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ทดสอบลักษณะด้านต่างๆ ได้แก่ สี ลักษณะปรากฏ การยึดเกาะและการเชื่อมตัวของชิ้นเนื้อ การแตกของชิ้นเนื้อ และความชอบรวม (Table 15)

4.5.1 ค่าสี (Color)

คะแนนเฉลี่ยของความชอบด้านสีของเนื้อไก่ชิ้นรูปที่เดิมผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิผสมจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่อัตราส่วน 9:1 7:3 3:7 และ 2:8 ที่ระดับร้อยละ 10 พบว่าอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 6.8-7.3 ซึ่งผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบด้านสีไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่ที่อัตราส่วน 2:8 ที่ระดับร้อยละ 15 พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง โดยมีคะแนนอยู่ที่ 7.4

4.5.2 ลักษณะปรากฏ (Appearance)

คะแนนเฉลี่ยของความชอบด้านลักษณะปรากฏด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อไก่ชิ้นรูปที่เดิมผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิผสมจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่อัตราส่วน 9:1 7:3 3:7 และ 2:8 ที่ร้อยละ 10 พบว่าไม่ส่งผลต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของตัวอย่าง ($P>0.05$) โดยมีคะแนนเฉลี่ยความชอบด้านลักษณะปรากฏของเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วง 6.8-7.3 คือมีความชอบในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง แต่ที่อัตราส่วน 2:8 ที่ระดับร้อยละ 15 พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบสูงสุดอยู่ในระดับชอบปานกลาง โดยมีคะแนนอยู่ที่ 7.6 ซึ่งพบว่าการเติมในระดับที่สูงขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏที่ดีขึ้น

4.5.3 การยึดเกาะและการเชื่อมตัวของชิ้นเนื้อ (Cohesiveness)

คะแนนเฉลี่ยของความชอบด้านการยึดเกาะและการเชื่อมตัวของเนื้อไก่ชิ้นรูปที่เดิมผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิผสมจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่อัตราส่วน 3:7 และ 2:8 พบว่าอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 6.8-6.8 ซึ่งผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบน้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากการยึดเกาะและการเชื่อมตัวของชิ้นเนื้อไม่ดี มีรอยแยกภายในชิ้นเนื้อ เป็นผลเนื่องจากที่อัตราส่วน 3:7 และ 2:8 มีสัดส่วนของเนื้อเศษเหลือปนอยู่สูงทำให้มีปริมาณ โปรตีน

ไมโอไฟบริลน้อยกว่า จึงส่งผลให้การเชื่อมตัวของชิ้นเนื้อ และการยึดเกาะภายในชิ้นเนื้อเกิดได้ไม่ดี จึงมีรอยแตกในบางจุด มองดูไม่เป็นเนื้อชิ้นเดียวกัน แต่ถ้าเติมในระดับที่สูงขึ้น (ร้อยละ15) จะมีผลทำให้คะแนนความชอบเพิ่มขึ้นอยู่ในระดับปานกลางโดยมีคะแนนอยู่ที่ 7.3 ซึ่งไม่แตกต่างจากชุดควบคุม และที่อัตราส่วน 9:1 และ 7:3 ($P>0.05$)

Table 15. Sensory evaluation (9-point hedonic scale) of restructured chicken meat binding with various ratio of mixed surimi, BM:FT (9:1, 7:3, 3:7, 2:8) at 10 and (2:8) at 15 percent.

Sensory characteristics	Score					
	Control	9:1 (10%)	7:3 (10%)	3:7 (10%)	2:8 (10%)	2:8 (15%)
Color	7.1±1.0 ^{ab}	7.3±1.0 ^{ab}	7.3±0.8 ^{ab}	7.3±0.9 ^{ab}	6.8±1.3 ^a	7.4±0.8 ^b
Appearance	7.0±1.0 ^a	7.1±1.0 ^{ab}	7.3±1.2 ^{ab}	6.9±0.9 ^a	6.8±1.1 ^a	7.6±0.8 ^b
Cohesiveness	7.2±0.8 ^{ab}	7.1±0.7 ^{ab}	7.2±1.1 ^{ab}	6.8±1.0 ^a	6.8±0.8 ^{ab}	7.3±0.7 ^b
Separation	6.9±1.0 ^{ab}	7.2±1.0 ^{ab}	7.3±1.0 ^b	6.7±1.0 ^a	6.9±0.8 ^{ab}	7.4±0.6 ^b
Overall liking	7.0±1.0 ^a	7.2±0.9 ^a	7.2±1.0 ^a	7.0±0.9 ^a	7.0±0.9 ^a	7.3±0.6 ^a

Note : Means in the same row with different letters are significant differences ($P<0.05$).

Mean ± Standard deviation.

4.5.4 การแตกของชิ้นเนื้อ (Separation)

คะแนนเฉลี่ยของความชอบด้านการแตกของชิ้นเนื้อของเนื้อไก่ชิ้นรูปที่เดิมผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิผสมจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเสกเหลือที่อัตราส่วน 7:3 (10%) และ 2:8 (15%) มีค่าสูงกว่าที่อัตราส่วนอื่นแสดงถึงเนื้อไก่ชิ้นรูปมีการแตกของชิ้นเนื้อน้อยกว่าที่อัตราส่วนอื่นๆ ($P>0.05$) ซึ่งผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบมากที่สุด โดยมีคะแนนอยู่ที่ 7.3 และ 7.4 เนื้อไก่ชิ้นรูปที่มีการแตกของชิ้นเนื้อน้อยแสดงว่ามีการเชื่อมระหว่างชิ้นเนื้อได้ดี ส่วนที่อัตราส่วนอื่นๆ และชุดควบคุมพบว่าคะแนนเฉลี่ยของความชอบด้านการแตกของชิ้นเนื้อของเนื้อไก่ชิ้นรูปไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$)

4.5.5 ความชอบรวม (Overall liking)

ผลคะแนนความชอบรวมของเนื้อไก่ชิ้นรูปที่เดิมผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิผสมจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเสกเหลือที่อัตราส่วน 2:8 ที่ร้อยละ 15 ได้คะแนนความชอบรวมมากที่สุดเท่ากับ 7.3 คะแนน อย่างไรก็ตามคะแนนความชอบรวมของเนื้อไก่ชิ้นรูปทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แสดงว่าการเติมผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิผสมจากเนื้อหน้าอกและ

เนื้อเยื่อเหลือที่อัตราส่วน 9:1 7:3 3:7 และ 2:8 ที่ร้อยละ 10 และ 15 ไม่มีผลต่อคะแนนความชอบรวม โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบรวมของเนื้อไก่ชิ้นรูปอยู่ในช่วง 7.0-7.3 คะแนน คือผู้ทดสอบชิมมีระดับชอบปานกลาง และเมื่อพิจารณาคะแนนความชอบของเนื้อไก่ชิ้นรูปทุกชุดการทดลอง พบว่าคะแนนความชอบในทุกลักษณะไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$)

4.6 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาค

โครงสร้างทางจุลภาคของเนื้อไก่ชิ้นรูปที่ใช้ผลิตภัณฑ์เลียนแบบชูริมิผสมจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเยื่อเหลือที่อัตราส่วน 9:1 7:3 3:7 และ 2:8 เป็นสารเชื่อม ที่ระดับร้อยละ 10 และ 15 เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่เดิมเกลือ พบว่า ทุกชุดการทดลองที่ใช้ชูริมิเป็นสารเชื่อม ชิ้นเนื้อไก่จะเกิดการเชื่อมติดกัน โดยมีลักษณะของเนื้อชูริมิแทรกอยู่ตามช่องว่างระหว่างชิ้นเนื้อ และบางส่วนของเกลือบนผิวชิ้นเนื้อทำให้มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนชุดควบคุมที่เดิมเกลือ พบว่า ชิ้นเนื้อไก่จะเกิดการเชื่อมติดกันระหว่างรอยต่อของชิ้นเนื้อเพียงอย่างเดียว ซึ่งเกิดจากการละลายของโปรตีนไมโอไฟบริลทำให้ชิ้นเนื้อติดกัน และพบว่าที่อัตราส่วน 2:8 ที่ระดับการใช้ ร้อยละ 10 การเชื่อมอาจจะทำให้ชิ้นเนื้อเชื่อมติดกันไม่หมด เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนไมโอไฟบริลอยู่ในปริมาณน้อยกว่าชุดการทดลองอื่นๆ แต่ถ้าเพิ่มระดับจาก ร้อยละ 10 มาเป็นร้อยละ 15 พบว่า ชิ้นเนื้อจะเชื่อมติดกันหมด เนื่องจากปริมาณชูริมิที่เพิ่มขึ้นจะไปแทรกอยู่ตามช่องว่างระหว่างชิ้นเนื้อ (แสดงตามลูกศรชี้) ทำให้ชิ้นเนื้อสามารถเชื่อมติดกันได้มากขึ้น

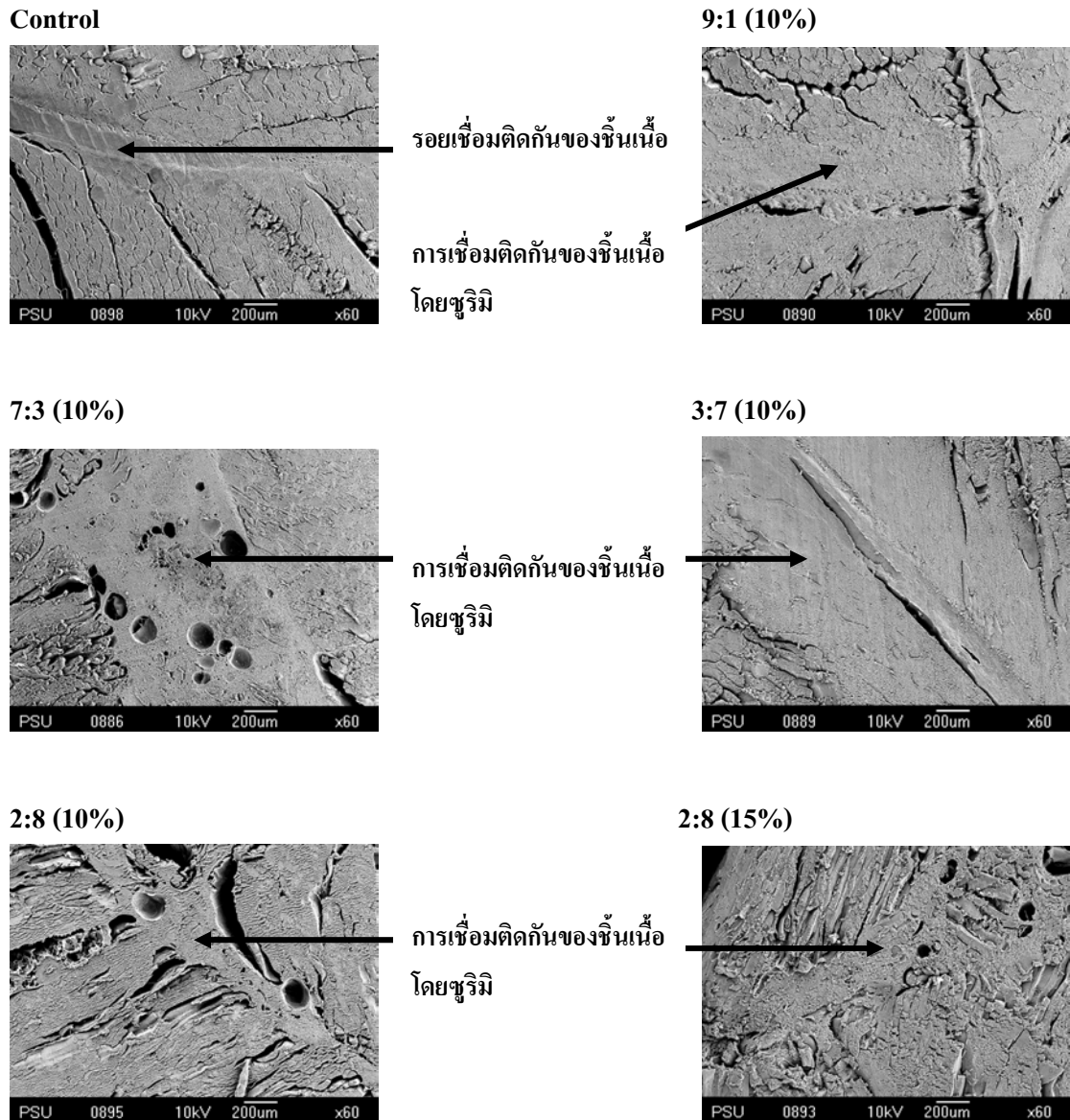


Figure 21. Microstructure of restructured chicken meat binding with various ratio of mixed surimi, BM:FT (9:1, 7:3, 3:7, 2:8) at 10 and (2:8) at 15 percent.

บทที่ 4

สรุป

การผลิตผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิจากเนื้อหน้าอกไก่และเนื้อเศษเหลือจากโรงงานแปรรูปเนื้อไก่ เป็นการเพิ่มการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบ โดยใช้คุณสมบัติเชิงหน้าที่สำคัญของโปรตีนไมโอไฟบริลในการทำให้เกิดเจลที่ดี ซึ่งทั้งนี้จะต้องขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และสภาวะการเกิดเจลที่เหมาะสม จากการศึกษาพบว่า เนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายต่างๆ มีปริมาณความชื้น คอลลาเจนทั้งหมด โปรตีนไมโอไฟบริล และฟิเอชเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณโปรตีน ไขมันและเถ้าลดลง และพบว่าตัวอย่างที่ล้างด้วยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ มีผลทำให้ค่า L^* สูงสุด ค่า a^* และ b^* ลดลงต่ำสุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการล้างช่วยปรับปรุงคุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิ โดยสามารถกำจัดโปรตีนที่ละลายในน้ำ ไขมัน เลือด รวมทั้งแสดงให้เห็นว่าเกิดการสูญเสียแถบโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำในระหว่างการล้าง ทำให้ปริมาณโปรตีนไมโอไฟบริลเพิ่มขึ้น และเมื่อตรวจสอบคุณภาพเจลพบว่าตัวอย่างที่ล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ มีค่าแรงก่อนเจาะทะลุสูงสุด ส่วนตัวอย่างที่ล้างด้วยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์มีค่าแรงก่อนเจาะทะลุต่ำสุด ดังนั้นตัวอย่างที่ล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ มีคุณสมบัติทำให้เจลมีความแข็งแรงมากที่สุด โดยมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดเจล คือที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ตามด้วยการให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ให้ค่าแรงก่อนเจาะทะลุสูงสุด การผสมอัตราส่วนระหว่างผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือลดลง มีผลทำให้เจลซูริมิมีสีคล้ำขึ้น ในขณะที่ค่าแรงก่อนเจาะทะลุ มีแนวโน้มลดลงตามลำดับ ส่วนค่าระยะทางก่อนเจาะทะลุมีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณการใช้เนื้อเศษเหลือ ผลการใช้ผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิผสมจากเนื้อหน้าอกและเนื้อเศษเหลือที่อัตราส่วน 9:1 7:3 3:7 และ 2:8 เพื่อศึกษาระดับการเติมผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิผสม ที่ร้อยละ 5 10 และ 15 เป็นสารเชื่อมในเนื้อไก่ขึ้นรูปพบว่า การเติมผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิผสมที่อัตราส่วนต่างๆในระดับร้อยละ 10 และ 15 ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุกในเนื้อไก่ขึ้นรูปลดลงไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) ส่วนค่าแรงเฉือนพบว่าที่อัตราส่วน 9:1 และ 7:3 มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1426.75-1345.17 กรัม ลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าในแต่ละอัตราส่วนการเติมที่ร้อยละ 10 และ 15 ค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น การยึดเกาะ และความเหนียวไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) ค่าสี พบว่า ค่า L^* จะอยู่ในช่วง 79.0-77.0 และค่า b^* จะอยู่ในช่วง 16.9-15.7 ส่วนค่า a^* ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อมีการใส่ซูริมิเป็นสารเชื่อม โดยการเติมสารเชื่อมใน

ระดับที่สูงขึ้นจะมีผลทำให้ค่าสีแดงของเนื้อไก่ขึ้นรูปลดลงตามลำดับ ($P>0.05$) และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส เนื้อไก่ขึ้นรูปที่เติมซูริมิผสมจากเนื้ออกและเนื้อเศษเหลือที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ร้อยละ 10 และ อัตราส่วน 2:8 ที่ร้อยละ 15 พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนในด้าน สี ลักษณะปรากฏ การบิเคาะและการเชื่อมตัวของชิ้นเนื้อ การแตกของชิ้นเนื้อ และความชอบรวม ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) ยกเว้นที่อัตราส่วน 2:8 ที่ร้อยละ 15 จะมีคะแนนความชอบในทุกๆลักษณะสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ซึ่งพิจารณาจากลักษณะโครงสร้างทางจุลภาค พบว่า ทุกชุดการทดลองที่ใช้ซูริมิเป็นสารเชื่อม ชิ้นเนื้อไก่จะเกิดการเชื่อมติดกัน โดยมีลักษณะของเนื้อซูริมิแทรกอยู่ตามช่องว่างระหว่างชิ้นเนื้อ และบางส่วนจะเคลือบบนผิวชิ้นเนื้อทำให้มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนชุดควบคุมที่เติมเกลือ พบว่า ชิ้นเนื้อไก่จะเกิดการเชื่อมติดกันระหว่างรอยต่อของชิ้นเนื้อเพียงอย่างเดียว

เอกสารอ้างอิง

- กรมปศุสัตว์. 2548. สถิติการส่งออกไก่เนื้อและผลิตภัณฑ์ (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.dld.go.th/ict/stat_web/yearly/yearly48/book/stat.html (20 ตุลาคม 2548).
- จักรี ทองเรือง. 2539. ชูริมิ. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. กรุงเทพมหานคร.
- เทวินทร์ ธรรมสอน. 2539. การเตรียมและการใช้ชูริมิจากเนื้อ ไก่ในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รัชชชัย ศุภวิทิตพัฒนา. 2537. การใช้ไข่ขาวผงในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นวรรตน์ อังศ์วัฒน์. 2537. การใช้อัลจินเตเป็นสารช่วยยึดเกาะในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นันทโรจน์ เขื่อนแก้ว. 2535. ผลของไขมันวัวและสารกันหืนต่อคุณภาพของเนื้อวัวขึ้นรูป. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิธิยา รัตนานพนธ์. 2539. เล็มอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. กรุงเทพมหานคร.
- ปนัดดา เจริญกิจ. 2536. ผลของชูริมิ สารกันหืนและอุณหภูมิภายในต่อคุณภาพของเนื้อขึ้นรูปกึ่งสุก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2551. อุตสาหกรรมไก่ (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://www.nfi.or.th/infocenter/th/home/default.asp> (1 มกราคม 2548).
- สถิติสินค้าปศุสัตว์. 2550. อุตสาหกรรมไก่ (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://www.nfi.or.th/infocenter/th/forecast/default.asp> (1 มกราคม 2548).

สมาคมผู้ผลิตไก่เพื่อส่งออกไทย. 2551. อุตสาหกรรมไก่ (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://www.nfi.or.th/infocenter/th/home/default.asp> (1 มกราคม 2548).

สุวรรณ เกษตรสุวรรณ. 2529. ไช้และเนื้อไก่. พิมพ์ครั้งที่ 2. บุรพาสาน์. กรุงเทพมหานคร.

สุทธวัฒน์ เบญจกุล. 2548. เคมีและคุณภาพสัตว์น้ำ. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพมหานคร.

อาวุธ ต้นโช. 2538. การผลิตสัตว์ปีก. ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตเนื้อสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพมหานคร.

Acton, J. C. 1972. The effect of meat particle size on extractable protein, cooking loss and strength in chicken loaves. *J. Food Sci.* 37: 240-243.

Akahane, T., Chihara, S., Niki, T., Sano, T., Tsuchiya, T., Noguchi, S. F., Ookamimi. H. and Matsumoto, J. 1985. Differential scanning calorimetric studies on thermal behaviors of myofibrillar proteins. *Bull Jap. Soc. Sci. Fish.* 51: 1841-1846.

Akamittath, J. G., Brekke, C. J. and Schanus, E. G. 1990. Lipid oxidation and color stability in restructured meat systems during frozen storage. *J. Food Sci.* 55: 1513-1517.

Allen, C. D., Fletcher, D. L., Northcutt, J. K. and Russel, S. M. 1998. The relationship of broiler breast color to meat quality and shelf-life. *Poultry Sci.* 77: 361-366.

An, H., Weerasinghe, V., Seymour, T. A. and Morrissey, M. T. 1994. Cathepsin degradation of Pacific whiting surimi protein. *J. Food Sci.* 59: 1013-1017.

AOAC. 1999. Official Methods of Analysis. 16th Ed. Association of Official Analytical Chemists Washington.

Apichartsrangkoon, A. 2002. Dynamic viscoelastic properties of heated gluten/soy protein gels. *J. Food Sci.* 67: 653-657.

Araki, H. and Seki, N. 1993. Comparison of reactivity of transglutaminase to various fish actomyosin. *Nippon Suisan Gakkaishi.* 59: 711-716.

- Asghar, A., Samejima, K and Yasui, T. 1985. Functionality of muscle protein in gelation mechanism of structured meat products. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutri.* 22: 27-106.
- Bater, B., Descamps, O. and Maiesurer, A. J. 1992. Kappa-carageenan effects on the gelation properties of simulate over-roasted turkey breast juice. *J. Food Sci.* 57: 845-847.
- Bendall, J. R. 1945. The swelling effect of polyphosphates lean meat. *J. Sci. Food Agric.* 5: 468-475.
- Benjakul, S., Seymour, T. A., Morrissey, M. T. and An, H. 1997. Physicochemical changes in Pacific whiting muscle protein during ice storage. *J. Food Sci.* 62: 729-733.
- Benjakul, S., Visessanguan, W., Lshizaki, S. and Tanaka, M. 2001. Differences in gelation characteristic of natural actomyosin from two species of bigeye snapper, *Priacanthus tayenus* and *Priacanthus macracanthus*. *J. Food Sci.* 66: 1311-1318.
- Benjakul, S. and Visessanguan, W. 2003. Transglutaminase-mediated setting in bigeye snapper surimi. *Food Res. Int.* 36: 253-258.
- Benjakul, S., Visessanguan, W. and Tueksuban, J. 2003. Changes in physico-chemical properties and gel-forming ability of lizard fish (*Saurida tumbil*) during post-mortem storage in ice. *Food Chem.* 80: 535-544.
- Bergman, I. and Loxley, R. 1963. Two improved and simplified methods for the spectrophotometric determination of hydroxyproline. *Anal. Chem.* 35: 1961-1965.
- Booren, A. M. and Mandigo, R. W. 1981. Maximizing color in restructured steaks. *Meat Ind.* 27: 36-46.
- Booren, A. M., Mandigo, R. W., Olson, D. G. and Jones, K. W. 1981a. Effect of muscle type and mixing time on sectioned and formed beef steaks. *J. Food Sci.* 46: 1665-1672.
- Booren, A. M., Mandigo, R. W., Olson, D. G. and Jones, K. W. 1981b. Vacuum mixing influence of characteristics of sectioned and formed beef steak. *J. Food Sci.* 46: 1673-1677.

- Booren, A. M., Mandigo, R. W., Olson, D. G. and Jones, K. W. 1981c. Effects of blade tenderization, vacuum mixing, salt addition and mixing time on binding of meat pieces into sectioned and formed beef steaks. *J. Food Sci.* 46: 1678-1685.
- Bourne, M. C. 1978. Texture profile analysis. *Food Technol.* 32: 62-65.
- Capita, R., Calleja, C. A., Sierra, M., Moreno, B. and Fernandez, M. D. C. G. 2000. Effect of trisodiumphosphate solutions washing on the sensory evaluation of poultry meat. *Meat Sci.* 55: 417-474.
- Chaijan, M., Benjakul, S., Visessanguan, W. and Faustman, C. 2004. Characteristics and gel properties of muscles from sardine (*Sardinella gibbosa*) and mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) caught in Thailand. *Food Res. Int.* 37: 1021-1030.
- Chan, J. K., Gill, T. A. and Paulson, A. T. 1992a. Cross-linking of myosin heavy chains from cod herring and silver hake during thermal setting. *J. Food Sci.* 57: 906-912.
- Chan, J. K., Gill, T. A. and Paulson, A. T. 1992b. The dynamic of thermal denaturation of fish myosin. *Food Res. Int.* 25: 117-123.
- Chan, J. K., Gill, T. A. and Paulson, A. T. 1993. Thermal aggregation of myosin subfragment from cod and gerring. *J. Food Sci.* 58: 1057-1061, 1069.
- Chan, J. K., Gill, T. A., Thompson, J. W. and Singer, D. S. 1995. Herring surimi during low temperature setting physicochemical and textural properties. *J. Food Sci.* 60: 1248-1253.
- Chang, C. C. and Regenstein, J. M. 1997. Water uptake, protein solubility, and protein changes of cod mince stored on ice as affected by polyphosphate. *J. Food Sci.* 62: 305-309.
- Chang-Lee, N. V., Pacheco-Aguilar, R., Crowder, D. L. and Lampila, L. E. 1989. Proteolytic activity of surimi from Pacific whiting (*Merluccius productus*) and heat-set gel texture. *J. Food Sci.* 54: 1116-1121.

- Cheftel, J. D., Cuq, J. L. and Lorient, D. 1985. Amino Acids, Peptides, and Protein. *In* Food Chemistry. 2nd ed. (Fenema, O. R., ed). p. 245-370. Marcel Dekker. New York.
- Chen, C. M. and Trout, G. R. 1991a. Color and its stability in restructured beef steaks during frozen storage: effects of various binders. *J. Food Sci.* 56: 1461-1475.
- Chen, C. M. and Trout, G. M. 1991b. Sensory, instrumental texture profile and cooking properties of restructured beef steaks made with various binders. *J. Food Sci.* 56: 1457-1460.
- Cheng, Q. and Sun, D. 2004. Quality of pork ham as affected by locations within sample, cooking methods and storage. *J. Food Eng.* 65: 551-556.
- Chesney, M. S., Mandigo, R. W. and Campbell, J. F. 1978. Properties of restructured pork products as influenced by meat particle size, temperature and comminution method. *J. Food Sci.* 43: 1535-1537.
- Chin, K. B., Keeto, J. T., Longnecker, M. T. and Lamkey, J. W. 1999. Utilization of soy protein isolate and konjac blend in a low-fat bologna (model system). *Meat Sci.* 53: 45-57.
- Crawford, D. L., Law, D. K., Babbitt, J. K. and McGill, L. A. 1979. Comparative stability and desirability of frozen Pacific hake fillet and minced flesh blocks. *J. Food Sci.* 44: 363-366.
- Copeland, R. A. 1994. Methods for Protein Analysis. *In* A Practical Guide to Laboratory Protocols. (Copeland, R. A., ed.). p. 228-231. Chapman & Hall. New York.
- Cross, H. R., Durland, P. R. and Seideman, S. C. 1986. Sensory Qualities of Meat. *In* Muscle as Food. (Bechtel, P. J., ed.). p. 279-320. Academic Press. Orlando.
- Damodaran, S. 1989. Interrelationship of molecular and functional properties of food protein. *In* Food Proteins. (Kinsella, J. E. and Soucie, G. S., eds.). p. 21-25. Champaign: The American Oil Chemist's Society.

- Damodaran, S. 1996. Amino acids, peptides, and protein. *In* Food Chemistry. (Fennema, O. R. ed.). p. 943-1012. Marcel Dekker. New York.
- Dawson, P. L., Sheldon, B. W. and Ball, H. R. Jr. 1988. Extraction of lipid and pigment components from mechanically deboned chicken meat. *J. Food Sci.* 53: 1615-1618.
- Dawson, P. L., Sheldon, B. W. and Ball, H. R. Jr. 1989. A pilot-plant washing procedure to remove fat and color components from mechanically deboned chicken meat. *Poultry Sci.* 68: 741-749.
- Desmond, E. M. and Kenny, T. A. 1998. Preparation of surimi-like extract from beef hearts and its utilization in frankfurters. *Meat Sci.* 50: 81-89.
- Dubberley, M. 2006. Creating delicious chicken dishes (online). Available : <http://www.foodproductdesign.com/archive/2002/0802cc.htm> (20 March 2006).
- Dziezak, J. D. 1990. Phosphates improve many foods. *Food Technol.* 44: 80-92.
- Ellinger, R. H. 1972. Phosphate in Food Processing. *In* CRC Handbook of Food Additives. Vol. I. (Furia, T. E., ed.). p. 617-780. CRC Press. Cleveland.
- Ensoy, U., Kolsarici, N. and Candogan, K. 2004. Quality characteristics of spent layer surimi during frozen storage. *Eur Food Res Technol.* 219: 14-19.
- Finley, J. W. 1989. Effect of processing on proteins: an overview. *In* Protein Quality and the Effects of Processing. (Phillips, R. D. and Finley, J. W., eds.). p. 1-7. Marcel Dekker. New York.
- Froning, G. W. and Sackett, B. 1985. Effect of salt and phosphates during tumbling of turkey breast muscle on meat characteristics. *Poultry Sci.* 64: 1328-1333.
- Foegeding, E. A., Allen, C. E. and Dayton, W. R. 1986. Effect of heating rate on thermal formed myosin, fibrinogen and albumin gels. *J. Food Sci.* 51: 104-108.

- Foegeding, E., Lanier, T. C. and Hultin, H. O. 1996. Characteristics of edible plant tissues. *In* Food chemistry. (Fennema, O. R., ed.). p. 943-1012. Marcel Dekker. New York.
- FST 605. 2005. Protein denaturation (online). Available : <http://www.class.fst.ohio-state.edu/FST605/lectures/Lect11.html> (24 March 2006).
- Gill, T. A. and Conway, J. T. 1989. Thermal aggregation of cod muscle proteins using 1-ethyl-3-(3-dimethylaminopropyl) carbodiimide as a zero-length cross-linker. *Agric. Biol Chem.* 53: 2553-2562.
- Hamm, R. 1975. Water holding capacity of meat. *In* Meat (Cole, D. J. A., ed.). p.321-337. The AVI publishing company : Westport.
- Hasting, R. J., Keay, J. N. and Yong, K. W. 1990. The properties of surimi and kamaboko gel from nine species of fish. *Int. J. Food Sci. Tech.* 25: 281-285.
- Heerden, S. M., Schonfeldt, H. C., Smith, M. F. and Jansen van Rensburg, D. M. 2002. Nutrient content of south african chickens. *J. Food Comp Anal.* 15: 47-64.
- Howe, J. R., Hamann, D. D., Lanier, T. C. and Park, J. W. 1994. Fracture of alaska pollock gels in water: effect of minced muscle processing and test temperature. *J. Food Sci.* 59: 777-780.
- Huang, C., Lai, H. and Weng, Y. 1998. Suitability of hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus*) muscle for gel formation. *Int. J. Food Sci. Technol.* 33: 339-343.
- Huffman, D. L. and Cordray, C. J. 1979. Restructured fresh meat cuts from chilled and hot processed pork. *J. Food Sci.* 44: 1564-1577.
- Huff-Lonergan, E. and Lonergan, S. M. 2005. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Sci.* 71: 194-204.

- Ishioroshi, M., Samejima, K., Arie, Y. And Yasui, T. 1981. Further studies on the roles of the head and tail regions of the myosin molecule in heat-induced gelation. *J. Food Sci.* 47: 114-124.
- Itoh, Y., Yoshinaka, K. and Ikeda, S. 1980. Formation of polymeric molecules resulting from the intermolecular SS bonds formation during gel formation of carp actomyosin by heating. *Nippon Suisan. Gakkaishi.* 46: 621-624.
- Jiang, S. T., Lee, B. L., Tsao, C. Y. and Lee, J. J. 1997. Mackerel cathepsins B and L effects on thermal degradation of surimi. *J. Food Sci. Technol.* 62: 310-314.
- Jolley, P. D. and Purslow, P. P. 1988. Reformed meat products-fundamental concepts and new developments food structure its creation and evaluation. Butterworths. p. 231-264.
- Kamath, G. G., Lanier, T. C., Foegeding, E. A. and Hamann, D. D. 1992. Non disulfide covalent cross-linking of myosin heavy chain in setting of alaska pollock and atlantic croaker surimi. *J. Food Boichem.* 16: 151-172.
- Kijowski, J. M. and Mast, M. G. 1988. Effect of sodium chloride and phosphates on the thermal properties of chicken meat proteins. *J. Food Sci.* 53: 367-370.
- Kim, J. M., Liu, C. H., Eun, J. B., Park, J. W., Oshimi, R., hayasi, K., Ott, B., Aramaki, T., Sekine, M., Horikita, V., Fujimoto, K, Alkawa, T., Welch, L. and Long, R. 1996. Surimi from fillet frames of channel catfish. *J. Food Sci.* 61: 428-431.
- Kinsella, J. E. 1976. Function properties of protein in foods: a survey. *Critical Rev. Food Sci. Nutri.* 8: 219-229.
- Knigth, M. K. 1992. Red Meat and Poultry Surimi. *In The Royal Society of Chemistry.* (Ledward, D. A., Johnston, D. E. and Knigth, M. K., eds.). Griffith Laboratories, Cotes park estate, Somercotes.

- Kumazawa, Y., Nakanishi, K., Yasueda, H. and Motoki, M. 1996. Purification and characterization of transglutaminase inhibitor. *J. Food Sci.* 60: 715-717.
- Laemmli, U. K. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of head of bacteriophage T4. *Nature.* 227: 680-685.
- Lanier, T. C., Lin, T. M., Liu, Y. M. and Hamann, D. D. 1982. Heat gelation properties of actomyosin and surimi prepared from Atlantic croaker. *J. Food Sci.* 47: 1921-1926.
- Lanier, T. C. 1986. Functional properties of surimi. *Food Technol.* 40: 107-112.
- Lanier, T. C. and Lee, C. M. 1992. Measurement of surimi composition and functional properties. *In Surimi Technology.* (Lanier, T. C. and Lee, C.M., eds.). p. 123-163. Marcel Dekker. New York.
- Lee, C. M. 1986. Surimi manufacturing and fabric-catic of surimi based products. *Food Technol.* 40: 115-124.
- Lee, C. M. 1986a. Surimi manufacturing. PH.D. Dissertation. North Carolina State University.
- Lee, C. M. 1986b. A pilot plant study of surimi making properties of red hake (*Urophycis chuss*). *In Symp. On Engineered Seafoods Including Surimi* (Martin, R. and Colletts,R., eds.). p. 225-243. Nationnal Fisheries Institute. Washington.
- Lee, C. M. 1990. Countercurrent and continuous washing systems. *In Engineered Seafood Including Surimi.* (Martin, R.E. and collette, R.L., esd.). Park Ridge, NJ: Noyes Data Corp.
- Lin, S. W. and Chen, T. C. 1989. Yield, colour and compositions of washed, kneaded and heated mechanically deboned poultry meat. *J. Food Sci.* 54: 561-563.
- Liu, Y. M., Lin T. S. and Lanier, T. C. 1982. Thermal denaturation and aggregation of actomyosin from Atlantic croaker. *J. Food Sci. Technol.* 23: 607-610.

- Liu, A., Nishimura, T. and Takahashi, K. 1996. Relationship between structural properties of intramuscular connective tissue and toughness of various chicken skeletal. *Meat Sci.* 43: 43-49.
- Macfarlane, J. J., Schmidt, G. R. and Turner, R. H. 1977. Binding of meat pieces: A composition of myosin, actomyosin and sarcoplasmic protein as binding agents. *J. Food Sci.* 42: 1603-1605.
- Maki, A. A. and Froning, G. W. 1987. Effect on the quality characteristics of turkey breast muscle of tumbling whole carcasses in the percent of salt and phosphate. *Poultry Sci.* 66: 1180-1183.
- Mandigo, R. W. 1986. Restructuring muscle foods, texturizing processes for engineered foods. *Food Technol.* 40: 80-85.
- McCormick, R. J., Buyren, S., Field Rule, D. C. and Busboom, J. R. 1993. Surimi-like product from mutton. *J. Food Sci.* 58: 497-500.
- McCormick, R. T. 1994. Structure and properties of tissues. *In* Muscle Food. (Kinsman, D.M., Kotula, A.W. and Breidenstein, B.C., eds.). p. 25-26. Chapman & Hall. New York.
- Messen, W., Camp, J. V. and Huyghebaert, A. 1997. The use of high pressure to modify the functionality of food protein: a review. *Trends Food Sci. Technol.* 8: 107-112.
- Moore, S. L., Theno, D. M., Anderson, C. R. and Schmidt, G. R. 1976. Effect of salt, phosphate, and nonmeat protein on binding strength and cook yields of beef rolls. *J. Food Sci.* 62: 402-403, 405.
- NFI. 1991. A manual of standard methods for measuring, specifying the properties of surimi. National Fisheries Institute: Washington, DC.

- Niwa, E., Koshiha, K., Matsuzaki, M., Nakayama, T. and Hamada, I. 1980. Species specificities of myosin heavy chain in setting and returning. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* 46: 1497-1501.
- Niwa, E. 1992. Chemistry of surimi gelation. *In* Surimi technology. (Lanier, T.C. and Lee, C.M., eds.). p. 389-428. Marcel Dekker. New York.
- Oakenfull, D., Pearce, J. and Burley, R. W. 1997. Protein gelation. *In* Food Protein and their Applications. (Damodaran, S. and Paraf, A., eds.). p. 111-142. Marcel Dekker. New York.
- Offer, G. and Trinick, J. 1983. On the mechanism of water holding in meat: the swelling and shrinking of myofibrils. *Meat Sci.* 8: 245-281.
- Ofstad, R., Grahl-Madsen, E., Gundersen, B., Lauritzen, K., Solberg, T. And Solberg, C. 1993. Stability of cod (*Gadusmorhua* L.) surimi processed with CaCl₂ and MgCl₂ added to the wash water. *J. Food Sci. Technol.* 28: 419-424.
- Ogawa, M., Ehara, T., Tamiya, T. and Tsuchiya, T. 1993. Thermal stability of fish myosin. *Comp. Biochem. Physiol.* 106B 3: 517-521.
- Okada, M. and Tomato, K. 1986a. Introduction to surimi manufacturing technology Overseas Fishery Cooperation Foundation.
- Okada, M. and Tomato, K. 1986b. Science of alaska pollack surimi-manufacturing frozen surimi. Oversea Fishery Cooperation Foundation.
- Okenfull, D., Pearce, J. and Burley, R. W. 1997. Protein gelation. *In* Food Protein and their Application. (Damodaran, S. and Paraf, A., eds.). p. 111-142. Marcel Dekker. New York.
- Ophardt, C.E. 2003. Denaturation of proteins (online). Available : <http://www.elmhurst.edu~chm/vchembook/568denaturation.html> (24 May 2006).

- Pacheco-Aquilar, R., Crawford, D. L. and Lampila, L. E. 1989. Procedure for the efficient washing of minced whiting (*Merluccius* products) flesh for surimi production. *J. Food Sci.* 54: 248-252.
- Park, J. W. 1995a. Effects of Salt, surimi and /or starch content on fracture properties of gel at various test temperatures. *J. of Aquatic Food Product Technol.* 4: 75-84.
- Park, J. W. 1995b. Surimi gel colors as affected by moisture content and physical conditions. *J. Food Sci.* 60: 15-18.
- Park, S., Brewer, M. S., Novakofski, J., Bechtel, P. J. and Mckeith, F. K. 1996. Process characteristics for a surimi-like material made from beef and pork. *J. Food Sci.* 61: 422-427.
- Park, J. W., Lin, T. M. and Yongsawatdigul, J. 1997. New development in manufacturing of surimi and surimi seafood. *Food Rev. Int.* 13: 577-610.
- Pearson, A. M. and Tauber, F. W. 1984. *Processed Meat*. 2nd ed. AVI. Publishing Co., Inc. Westport.
- Pearson, A. M. and Young, R. B. 1989. *Muscle and meat Biochemistry*. Academic Press. San Diego.
- Pepper, F. H. and Schmidt, G. R. 1975. Effect of blending time, salt, phosphate and hot-boned beef on binding strength and cook yield of beef rolls. *J. Food Sci.* 40: 227-230.
- Roussel, H. and Cheftel, J. C. 1988. Characteristics of surimi and kamaboko from sardines. *Int. J. Food Sci. Technol.* 23: 607-610.
- Ruusunen, M. and Puolanne, E. 2005. Reducing sodium intake from meat products. *Meat Sci.* 70: 531-541.

- Sano, T., Noguchi, S. F., Matsumoto, J. J. and Tsuchiya, T. 1990a. Effect of ionic strength dynamic viscoelastic behavior of myosin during thermal gelation. *J. Food Sci.* 55: 51-54, 70.
- Sano, T., Noguchi, S. F., Matsumoto, J. J. and Tsuchiya, T. 1990b. Thermal gelation characteristics of myosin subfragments. *J. Food Sci.* 70: 51-54.
- Samejima, K., Ishioroshi, M. and Yasui, T. 1981. Relative role of the head and the tail portions of the molecule in heat-induced gelation of myosin. *J. Food Sci.* 46: 1412-1418.
- Samejima, K., Ishioroshi, M. and Yasui, T. 1982. heat induced gelling properties of actomyosin effect of tropomyosin and troponin. *Agric. Biol Chem.* 46: 353-540.
- Samejima, K., Yamauchi, H., Asghar, A and Yasui, T. 1984. Role of myosin heavy chains from rabbit skeletal muscle in the heat induced gelation mechanism. *Agric. Biol Chem.* 48: 353-540.
- Sano, T., Noguchi, S. F., Matsumoto, J. J. and Tsuchiya, T. 1990b. Thermal gelation characteristics of myosin subfragments. *J. Food Sci.* 70: 55-58.
- Savell, J. W., McKeith, F. K., Murphey, C. E., Smith, G. C. and Carpenter, Z. L. 1982. Singular and combined effects of electrical stimulation, post-mortem aging and blade tenderization on the palatability attributes of beef from young bulls. *Meat Sci.* 6: 97-107.
- Seki, H., Wakameda, A., Ozaki, H., Nonaka, M. and Arai, K. 1986. Effect of CaCl_2 on water-holding capacity of alaska pollack myofibrils and on their thermal stability. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 52: 1771-1775.
- Shahidi, F., Synowiecki, J. and Onodonalore, A. C. 1992. Effect of aqueous washings on colour and nutrient quality of mechanically deboned chicken meat. *Meat Sci.* 32: 279-289.
- Shimizu, Y., Machida, R., and Takenami, S. 1981. Species variation in the gel-forming characteristics of fish meat paste. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* 47: 95-105.

- Shultz, G. W. and Wierbicki, E. 1973. Effect of sodium chloride and condensed phosphates on the water-thawed fish from unfrozen fish by comparison of lysosomal enzyme activity. *Nippon suisan Gakkaishi*. 53: 1841-1845.
- Siegel, D. G., Church, K. E. and Schmidt, G. R. 1979. Gel structure of nonmeat proteins as relate to their ability to bind meat pieces. *J. Food Sci.* 44: 1276-1284.
- Siegel, D. G. and Schmidt, G. R. 1979a. Crude myosin fractions as meat binders. *J. Food Sci.* 44: 1129-1131.
- Siegel, D. G. and Schmidt, G. R. 1979b. Ionic, pH and temperature effect on the binding ability of myosin. *J. Food Sci.* 44: 1686-1689.
- Sikorski, Z. E. 2001. Functional properties of protein in food systems. *In Chemical and Functional Properties of Food Protein*. (Sikorski, Z.E., ed.). p. 133-126. Technomic Publishing Company. Pennsylvania.
- Smith, D. P. and Young, L. L. 2005. The effect of pressure and phosphates on yield, shear, and color of marinated broiler breast meat. *Proceedings 17th European Symposium on Quality of Poultry Meat*. p. 139-144.
- Smyth, Anne B. and O'Neill, Eileen. 1997. Heat-induced gelation properties of surimi from mechanically separated chicken. *J. Food Sci.* 62: 326-330.
- Stone, A. P. and Stanley, D. W. 1992. Mechanisms of fish muscle gelation. *Food Res. Int.* 25: 381-385.
- Suwansakornkul, P., Itoh, Y., Hara, S. and Obatake, A. 1993. The gel-forming characteristics of lizard fish. *Nippon-Suisan-Gakkaishi*. 59: 1029-1037.
- Suzuki, T. 1981. *Fish and krill protein: processing technology*. Applied Science Publishers Ltd., London.

- Taguchi, T., Ishizaka, M., Tanaka, M., Nakashima, Y. and Amano, K. 1987. Protein-protein interaction of fish myosin fragment. *J. Food Sci.* 52: 1103-1108.
- Tamoto, T. 1971. Effect of leaching on the freezing denaturation of surimi protein. *New Food Industry.* 13: 61-66.
- Theno, D. M., Siegel, D. G. and Schmidt, G. R. 1978. Meat massaging: Effect of salt and phosphate on the microstructure of binding junctions in sectioned and formed hams. *J. Food Sci.* 43: 493-498.
- Trout, G. R. and Schmidt, G. R. 1984. Effect of phosphates type and concentration, salt level and method of preparation on binding in restructured beef rolls. *J. Food Sci.* 49: 687-694.
- Trout, G. R. and Schmidt, G. R. 1986. Effect of phosphates on the functional properties of restructured beef rolls: The role of pH, ionic strength and phosphate type. *J. Food Sci.* 51: 1416-1423.
- Totosaus, A., Montejano, J. G., Salazar, J. A. and Guerreor, I. 2002. A Review of physical and chemical protein gel-induction. *J. Food Sci.* 37: 589-601.
- Toyoda, K., Kimura, I., Fujita, T., Noguchi, F. S. and Lee, C. M. 1992. The surimi manufacturing process. *In Surimi Technology.* (Lanier, T. C. and Lee, C. M., eds.). p. 99-112. Marcel Dekker. New York.
- Tsai, J. H., Chuan, K. L. and Chuang, J. L. 1986. Chymotrypsins in digestive tract of crustacean decapod (shrimp) *Comp. Biochem. Physiol.* 858: 235-240.
- Wattanachant, S., Benjakul, S. and Ledward, D. A. 2005. Effect of heat treatment on changes in texture, structure and properties of Thai indigenous chicken muscle. *Food Chem.* 93: 337-348.

- Wheeler, T. L., Seideman, S. C., Rolan, T. L. and Davis, G. W. 1990. Effect of mechanically separated beef with various chloride salts in restructured beef steaks. *J. Food Sci.* 55: 342-345.
- Wu, M. C., Hamann, D. D. and Lanier, T. C. 1985. Thermal transitions of admixed starch fish protein systems during heating. *J. Food Sci.* 50: 20-25.
- Xiong, Y. L. 1997. Structure-function relationships of muscle protein. *In Food Proteins and their Applications.* (Damodaran, S. and Paraf, A., eds.) p. 341-392. Marcel Dekker. New York.
- Xiong, Y.L. and Kupski, D.R. 1999. Monitoring phosphate marinade penetration in tumbled chicken fillets using a thin-slicing, Dye-Tracing method. *Poultry Sci.* 78: 1048-1052.
- Xiong, Y. L., Lou, X., Wang, C., Moody, W. G. and Harmon, R. J. 2000a. Protein extraction from chicken myofibrils irrigated with various polyphosphate and NaCl solution. *J. Food Sci.* 56: 96-100.
- Xiong, Y. L., Lou, X., Wang, C., Moody, W. G. and Harmon, R. J. 2000b. Salt and pyrophosphate-induced structural changes in myofibrils from chicken red and white muscle. *J. Sci. Food Agric.* 80: 1176-1182.
- Yasui, T., Sakanishi, M. and Hashimoto, Y. 1964. Effect of inorganic polyphosphate on the solubility and extractability of myosin B. *J. Agric. Food. Chem.* 12: 392-399.
- Yasui, T., Ishioroshi, M. and Samejima, K. 1980. Heat-induced gelation of myosin in the presence of actin. *J. Food Biochem.* 4: 61-78.
- Young, L. L. and Lyon, B. G. 1986. Effect of sodium tripolyphosphate in the presence and absence of calcium chloride and sodium chloride on water retention properties and shear resistance of chicken breast meat. *Poultry Sci.* 65: 898-902.

- Yang, T. S., and Froning, G. W. 1992. Selected washing processes affect thermal gelation properties and microstructure of mechanically deboned chicken meat. *J. Food Sci.* 57: 325-329
- Yongsawatdigul, J., Park, J. W. and Kolbe, E. 1997. Degradation kinetics of myosin heavy chain of Pacific whiting surimi. *J. Food Sci.* 62: 724-728.
- Zachariah, N. Y. and Satterlee, L. D. 1973. Effect of light, pH and buffer strength on the autoxidation of porcine, ovine and bovine myoglobin at freezing temperatures. *J. Food Sci.* 38: 400-418.
- Zayas, J. F. 1997. *Functionality of Protein in Food*. Springer-Verlag, Berlin.
- Ziegler, G. R. and Aton, J. C. 1984. Mechanism of gel forming by proteins of muscle tissue. *Food Technol.* 38: 77-82.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางกายภาพ

1. การวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดค่าสี

เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องวัดค่าสียี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Flex ประเทศสหรัฐอเมริกา

วิธีการ

1. วางตัวอย่างลงบน Port ซึ่งมีขนาด 1.0 นิ้ว
2. ใช้ฝาครอบปิดตัวอย่าง เพื่อมิให้แสงรบกวนจากภายนอก
3. เริ่มวัดค่าสีโดยใช้ระบบสีของ CIE Color System ค่าที่วัดได้จะเป็นค่า L^* a^* และ b^*

2. การวัดค่าแรงเคี้ยว โดยดัดแปลงวิธีของ Cheng และ Sun (2004)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ยี่ห้อ Stable Micro System รุ่น TA-XT2i
2. เครื่องสไลด์

วิธีการ

1. ตัดตัวอย่างให้มีขนาด 1 x 3x 0.5 เซนติเมตร (Figure appendix A1)
2. นำตัวอย่างที่เตรียมได้ไปวัดค่าแรงเคี้ยว โดยใช้หัวแบบ Warner-Bratzler Blade กำหนดให้ความเร็วของหัววัดเท่ากับ 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที
3. ค่าแรงเคี้ยวอ่านจากค่าแรงสูงสุด (peak force) ของ shear force profile (Figure appendix A2)

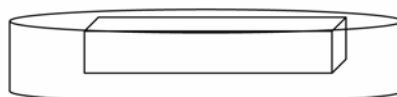


Figure appendix A1. Sample preparation of restructured meat for Warner-Bratzler shear test.

Source : Modified from Cheng and Sun (2004)

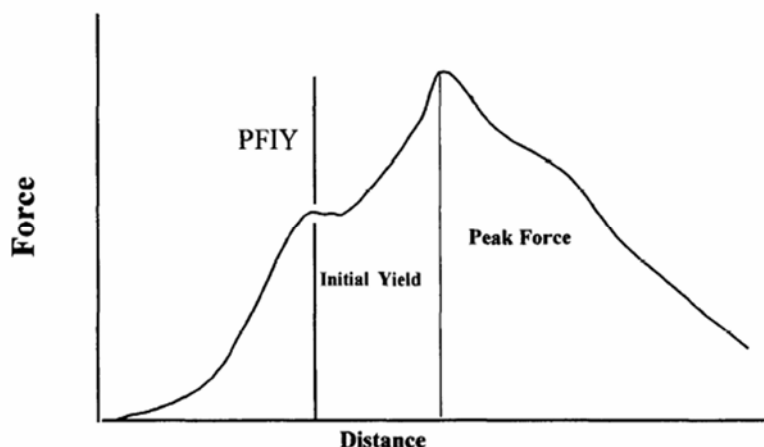


Figure appendix A2. Shear force profile.

Source : Honikel (1998)

3. การวัดเนื้อสัมผัส Texture Profile Analysis (TPA) โดยวิธีของ Bourne (1978)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ยี่ห้อ Texture Analyzer รุ่น TA-XT2i
2. หัววัด cylinder ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร

วิธีการ

นำตัวอย่างเจล มาวัดค่าเนื้อสัมผัส Texture Profile Analysis โดยใช้หัว cylindrical ความเร็ว 5 มิลลิเมตรต่อวินาที และกดลงตามความสูงของชิ้นตัวอย่างร้อยละ 50 ตามโปรแกรมการวัดค่า Texture Profile Analysis ที่กดตัวอย่าง 2 ครั้ง และรายงานผลเป็นค่าความแข็ง (hardness) ความยืดหยุ่น (springiness) การยึดเกาะ (cohesiveness) และค่าความเหนียว (adhesiveness)

4. การวัดค่าแรงและระยะทางก่อนเจาะทะลุ โดยดัดแปลงวิธีของ Lanier (1992)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ยี่ห้อ Texture Analyzer รุ่น TA-XT2i
2. หัววัด spherical ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร

วิธีการ

นำตัวอย่างเจลเจล มาวัดค่าแรงเจาะทะลุและระยะทางก่อนเจาะทะลุ โดยใช้หัว spherical ความเร็ว 1.1 มิลลิเมตรต่อวินาที กดลงตัวอย่างลงไปจนกระทั่งเจาะทะลุเนื้อเจล วัดค่าแรงสูงสุดที่

ใช้เป็นแรงก่อนเจาะทะลุ รายงานผลเป็นหน่วยกรัม (g) และระยะทางก่อนเจาะทะลุ รายงานผลเป็นหน่วยมิลลิเมตร (mm)

5. การตรวจสอบค่าการสูญเสียน้ำหนัก โดยวิธีของ Yang และ Froning (1992)

เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการ

1. นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์เลียนแบบซูริมิ (เนื้อหน้าอก และเนื้อเศษเหลือ) ที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายต่างๆ มาทำละลายให้มีอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างแต่ละชุดการทดลอง 250 กรัม และปรับความชื้นให้ได้ร้อยละ 85 จากนั้นผสมกับเกลือร้อยละ 2.0 เป็นเวลา 3 นาที โดยใช้ blender และทำการอัดตัวอย่างในไส้เซลลูโลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ความยาว 30 เซนติเมตร
3. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อนให้ความร้อนแล้วลบด้วยน้ำหนักไส้เซลลูโลส
4. นำตัวอย่างไปให้ความร้อนในอ่างควบคุมอุณหภูมิ จนอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เท่ากับ 80 องศาเซลเซียส
5. ทำให้เย็นโดยแช่ในน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส
6. ลอกไส้เซลลูโลสออก นำเจลซูริมิมาชับน้ำด้วยกระดาษกรอง
7. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังให้ความร้อน

สูตรคำนวณ

$$\text{ค่าการสูญเสียน้ำหนัก (\% โดยน้ำหนัก)} = \frac{(W_1 - W_2) \times 100}{W_1}$$

โดย W_1 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนแปรรูป (g)

W_2 = น้ำหนักตัวอย่างหลังแปรรูป (g)

หมายเหตุ หักลบน้ำหนักไส้เซลลูโลส

6. แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Hedonic 9 Scale

ชื่อ.....วันที่.....เวลา.....

ชื่อผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์เนื้อไก่จุ่มรูป

คำชี้แจง กรุณาชิมตัวอย่างที่น่าเสนอจากทางซ้ายไปขวาแล้วให้คะแนนความชอบของแต่ละตัวอย่างที่ตรงกับความรู้สึกของท่านที่มีต่อผลิตภัณฑ์มากที่สุด โดยมีระดับคะแนนความชอบดังนี้

- | | |
|---------------------|------------------|
| 1 = ไม่ชอบมากที่สุด | 6 = ชอบเล็กน้อย |
| 2 = ไม่ชอบมาก | 7 = ชอบปานกลาง |
| 3 = ไม่ชอบปานกลาง | 8 = ชอบมาก |
| 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย | 9 = ชอบมากที่สุด |
| 5 = เฉยๆ | |

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง					
สี						
ลักษณะปรากฏ						
การยัดเกาะและการเชื่อมตัวของชิ้นเนื้อ						
การแตกของชิ้นเนื้อ						
ความชอบรวม						

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

ขอบคุณค่ะ

ภาคผนวก ข การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1999)

เครื่องมือและอุปกรณ์

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

วิธีการ

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก
2. ทำซ้ำกับข้อที่ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 mg
3. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ประมาณ 1-2 ใสลงในภาชนะหาความชื้น ซึ่งทราบน้ำหนักแล้ว
4. นำไปอบในตู้ไฟฟ้าที่อุณหภูมิ $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลาประมาณ 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นในอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำกลับไปเข้าตู้อบอีกครั้ง
5. ทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อที่ 4 จนผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 mg

สูตรคำนวณ

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

โดย W_1 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (g)

W_2 = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)

2. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 1999)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (soxhlet apparatus) ประกอบด้วยขวดกลม (สำหรับใส่ตัวทำละลาย) ซอกเลต (soxhlet)
2. อุปกรณ์ควบแน่น (condenser) และเตาให้ความร้อน (heating mantle)
3. หลอดใส่ตัวอย่าง (extraction thimble)
4. สำลี
5. คู่อบไฟฟ้า
6. เครื่องชั่งไฟฟ้า
7. โถดูดความชื้น (desiccator)

สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether)

วิธีการ

1. อบขวดกลมสำหรับหาปริมาณไขมัน ซึ่งมีขนาดบรรจุ 250 ml ในคู่อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
2. นำออกจากคู่อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นกระทั่งอุณหภูมิของขวดกลมลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก
4. ทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อที่ 1 จนผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 mg
5. ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนักประมาณ 1-2 g ห่อให้มีมิดชิด แล้วใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง คลุมด้วยสำลีเพื่อให้สารตัวทำละลายมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ
6. นำหลอดตัวอย่างใส่ลงในซอกเลต เติมสารตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในขวดหาไขมันประมาณ 150 ml แล้ววางบนเตาให้ความร้อน
7. ทำการสกัดไขมันเป็นเวลา 14 ชั่วโมง โดยปรับเตาความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นตัวจากอุปกรณ์ควบแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที
8. เมื่อครบ 14 ชั่วโมงแล้ว นำหลอดใส่ตัวอย่างออกจากซอกเลต และกลั่นเก็บสารทำละลายจนเหลือสารทำละลายในขวดกลมเพียงเล็กน้อยด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ

9. นำขวดหาไขมันอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 80-90°C จนแห้งใช้เวลาประมาณ 30 นาที นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นจนกระทั่งอุณหภูมิของขวดก้นกลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก
10. ทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อที่ 7 จนผลต่างของน้ำหนักสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 mg

สูตรคำนวณ

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

โดย W_1 = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)

W_2 = น้ำหนักไขมันหลังอบ (g)

3. การวิเคราะห์โปรตีนโดยวิธี Kjeldahl Method (AOAC, 1999)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดย่อยโปรตีน ขนาด 200 ml
2. อุปกรณ์ให้ความร้อน
3. อุปกรณ์กลั่นโปรตีน (semi-microdistillation)
4. ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) ขนาด 125 ml
5. ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 100 ml
6. ปิเปต ขนาด 5, 10 ml
7. บิวเรตต์
8. ตู้ดูดควัน
9. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
10. ลูกแก้ว (glass bead)
11. เตาย่อย (VELP DK6)
12. เครื่องดักจับไอกรด (scrubber)

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4)
2. ตัวเร่งผสม (Catalyst) ระหว่าง $CuSO_4$ กับ K_2SO_4 อัตราส่วน (Cu : K_2SO_4) คือ 1 : 10
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40 %
4. กรดไฮโดรคลอริกที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน (HCl 0.1 N)

5. กรดบอริกเข้มข้น 4 %
6. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต
7. อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator ระหว่าง Methylene blue 0.1 g กับ Methyl red 0.2 g ละลายในแอลกอฮอล์ 90 % 100 ml)

การทำมาตรฐานสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต
 - 1.1 ชั่งโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตที่ผ่านการอบแห้ง (อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) ด้วยเครื่องชั่งละเอียดให้น้ำหนักอยู่ในช่วง 2.0-2.2 g บันทึกน้ำหนักที่ชั่ง
 - 1.2 นำมาละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 100 ml เขย่าขวดให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน
 - 1.3 คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอน
2. การเตรียมสารละลาย 0.1 M HCl จากกรดเกลือเข้มข้น
 - 2.1 รินกรดเกลือเข้มข้นจากขวดลงในบีกเกอร์ขนาด 50 ml (ทำในตู้ควัน)
 - 2.2 ตวงกรดเกลือเข้มข้นให้มีปริมาตร 4.0-4.5 ml ด้วยกระบอกตวงขนาด 10 ml
 - 2.3 เทกรดเกลือเข้มข้นที่ตวงแล้วลงในน้ำกลั่นปริมาตร 500 ml ที่บรรจุอยู่ในบีกเกอร์ขนาด 600 ml คนให้สารละลายเข้ากันดี
 - 2.4 สารละลาย HCl ที่เตรียมขึ้นนี้มีความเข้มข้นประมาณ 0.1 M ถ่ายเก็บในขวดแก้วเพื่อเก็บสารละลายนี้ไว้ใช้ต่อไป
3. การทำมาตรฐานสารละลายกรดเกลือ
 - 3.1 ปิเปตสารละลายกรดเกลือมา 25 ml ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 ml
 - 3.2 เติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด เขย่าสารละลายในขวดให้เข้ากัน
 - 3.3 ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานทุติยภูมิโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนกระทั่งสารละลายในขวดเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน บันทึกปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์
 - 3.4 ไทเทรตซ้ำ 2 ครั้ง
 - 3.5 คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดเกลือ

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน ประมาณ 1-2 g ใส่ลงในขวดย่อยโปรตีน
2. การย่อย

- 2.1. เติมตัวเร่งผสม (Catalyst) ระหว่าง CuSO_4 กับ K_2SO_4 (CuSO_4 0.5 g และ K_2SO_4 5 g) ในขวดย่อยโปรตีน เพื่อเร่งปฏิกิริยาการย่อย
- 2.2. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 ml (ค่อยๆ ใสตามข้างขวด) เขย่าเบาๆ จนแข็งไม่จับ เป็นก้อน ปิดปากขวดด้วยกระดาษแก้วกลม
- 2.3. ย่อยบนอุปกรณ์ให้ความร้อนอ่อนๆ จนได้สารละลายสีเขียวใส
- 2.4. ปล่อยให้เย็น
3. การกลั่น
 - 3.1. เมื่อสารละลายมีอุณหภูมิลดลงแล้วจึงเติมน้ำกลั่น 20 ml และเติมสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40 %
 - 3.2. จัดอุปกรณ์กลั่น
 - 3.3. เติมกรดบอริกเข้มข้น 4 % ปริมาตร 25 ml ลงในขวดรูปชมพู่ แล้วหยดอินดิเคเตอร์ 5-6 หยด นำไปกรองรับของเหลวรองรับสารละลายที่กลั่นได้ โดยใช้อุปกรณ์ ควบแน่นจุ่มในสารละลายกรดบอริก
 - 3.4. กลั่นจนกระทั่งไม่มีแอมโมเนียเหลือ สารละลายที่กลั่นได้ประมาณ 150 ml
4. การไทเทรต
 - 4.1. ไทเทรตสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน สังกะสีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงอ่อน จุดปริมาตรของ กรดไฮโดรคลอริกที่ใช้
 - 4.2. ทำ blank โดยใส่สารเคมีและขั้นตอนการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง แต่ไม่ใส่ ตัวอย่าง

สูตรคำนวณ

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\% โดยน้ำหนัก)} = \frac{1.4007 \times N \times (A-B) \times F}{W}$$

โดย A = ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่าง

B = ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตกับ blank

W = น้ำหนักตัวอย่าง

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มอล)

F = แฟกเตอร์เท่ากับ 5.95

4. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 1999)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ถ้วยครุชเชิล
2. เตาไฟฟ้า
3. เตาเผา
4. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
5. เดซิเคเตอร์

วิธีการ

1. เเผาครุชเชิลเพื่อหาน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 5 g ใส่ครุชเชิล นำไปเผาบนเตาไฟฟ้าจนควันหมด
3. นำไปเผาคือในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550°C นานประมาณ 2-3 ชั่วโมงจนกระทั่งได้เถ้าสีขาวหรือสีเทา
4. จากนั้นนำมาใส่เดซิเคเตอร์ ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปชั่ง เเผาตัวอย่างซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนได้น้ำหนักต่างกันไม่เกิน 1 mg

สูตรคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้า (\% โดยน้ำหนัก)} = \frac{(W_2 - W) \times 100}{(W_1 - W)}$$

โดย W = น้ำหนักของครุชเชิล (g)

W_1 = น้ำหนักของครุชเชิลและตัวอย่างก่อนเผา (g)

W_2 = น้ำหนักของครุชเชิลและตัวอย่างหลังเผาจนน้ำหนักคงที่ (g)

5. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยไบยูเรท โดยวิธีของ Copeland (1994)

สารเคมี

1. สารละลายโปรตีนมาตรฐาน Bovine Serum Albumin (BSA) เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
2. สารละลายไบยูเรท : ซังคอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 1.5 กรัม โซเดียมโปแตสเซียมทาทเรต 6.0 กรัม เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 500 มิลลิเมตร กวนจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 10 จำนวน 300 มิลลิเมตรในขณะที่กวน ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1000 มิลลิลิตร

วิธีการ

1. ดูดสารละลายโปรตีน 500 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง
2. เติมสารละลายไบยูเรท 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย Vortex mixer วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที
3. นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน BSA

การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1. ดูดสารละลาย BSA เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จำนวน 100 200 300 400 และ 500 ไมโครลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 500 ไมโครลิตร
2. เติมสารละลายไบยูเรท จำนวน 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย Vortex mixer วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที
3. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร
4. เขียนกราฟมาตรฐาน และหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย BSA กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร แสดงดังภาพประกอบภาคผนวกที่ 4 ปริมาณโปรตีนคำนวณได้โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร แทนค่าในสมการของกราฟมาตรฐาน BSA

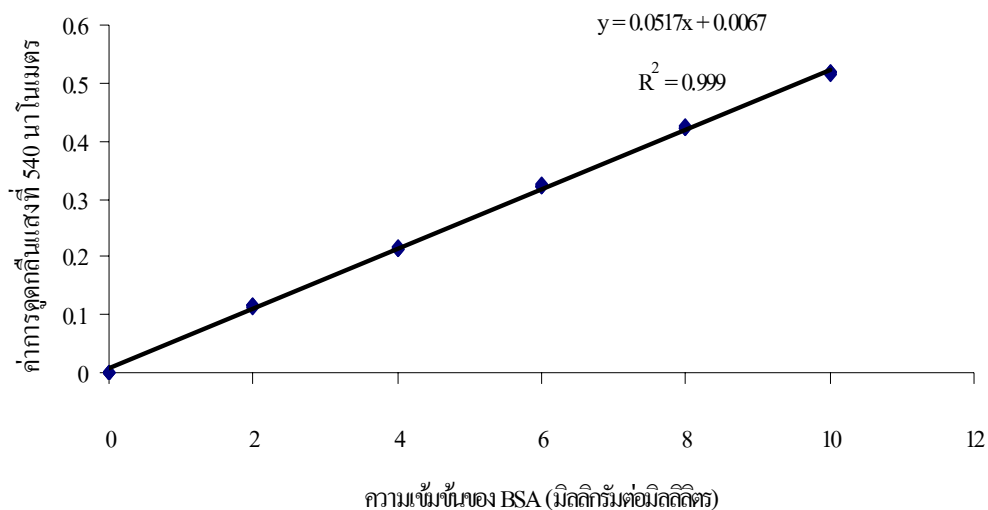


Figure appendix B1. BSA standard graph

6. การวัดค่าพีเอช โดยวิธีของ Benjakul และคณะ (1997)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดพีเอช
2. บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. กระจกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ในภาชนะบรรจุ 50 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร โฮโมจิไนส์เป็นเวลา 2 นาที
2. วัดค่าพีเอชด้วยเครื่องวัดพีเอช

7. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนไมโอไฟบริล (Myofibrillar protein) โดยวิธีของ Yang และ Froning (1992)

สารเคมี

1. KCl 0.6 โมลาร์ (เย็น)
2. Tris buffer 0.02 M (pH 7.2)

วิธีการ

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 1 กรัม
2. เติม 0.6 M KCl - 0.02 M Tris buffer ที่เย็น 19 มล. จนได้ปริมาตร 20 มิลลิลิตร
3. โฮโมจิไนส์ นาน 1 นาที
4. คนผสมที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน
5. เหวี่ยงแยกที่ 12,000 x g นาน 40 นาที
6. นำโปรตีนส่วนใสมาตรวจสอบด้วยวิธี ไบยูเรท
7. เจือจางโปรตีนส่วนใสด้วยน้ำเปล่า เพื่อให้ความเข้มข้นของ Salt เท่ากับ 0.1 M
8. เหวี่ยงแยกที่ 2,000 x g นาน 20 นาที
9. นำโปรตีนส่วนใสที่ได้มาตรวจสอบด้วยวิธี ไบยูเรท

สูตรคำนวณ

$$\text{ปริมาณโปรตีนไมโอไฟบริล} = x - y$$

โดย x = ปริมาณโปรตีนที่สกัดด้วย 0.6 M KCl

y = ปริมาณโปรตีนที่สกัดด้วย 0.1 M KCl

8. การวิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจนทั้งหมด (Total collagen) โดยวิธีของ Liu และคณะ (1996) จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณไฮดรอกซีโพรลีน (hydroxyproline) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงตามวิธีของ Bergman และ Loxley (1963)

สารเคมี

1. Ringer's solution
2. HCl 6 N
3. Oxidant solution
4. Ehrlich's reagent solution
5. NaOH 1, 10 N
6. Hydroxyproline standard solution

วิธีการ

1. การเตรียมสารละลายตัวอย่าง
 - 1.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่สับละเอียด 1.0 กรัม ใน test tube
 - 1.2 เติม HCl 6 N ปริมาณ 10 มิลลิลิตร

- 1.3 นำไปให้ความร้อนใน oil bath ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง
 - 1.4 ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
 - 1.5 ทำให้ใสด้วย active carbon แล้วกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4
 - 1.6 ทำให้เป็นกลางด้วย NaOH 10, 1 N และ HCl 1 N
 - 1.7 ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร
 - 1.8 นำตัวอย่างมาทดสอบหาปริมาณ hydroxyproline และ คำนวณเป็นปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดโดยใช้เฟลคเตอร์ เท่ากับ 7.25
2. หาปริมาณ hydroxyproline
- 2.1 ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 0.2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง
 - 2.2 เติม isopropanol 0.4 มิลลิลิตร และ Oxidant solution 0.2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 4 นาที
 - 2.3 เติม Ehrlich's reagent solution 2.6 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที
 - 2.4 ทำให้เย็น โดยผ่านน้ำ 2-3 นาที แล้วเติม isopropanol 6.6 มิลลิลิตร (ปรับปริมาตร)
 - 2.5 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 558 นาโนเมตร (ภายในเวลา 4 ชั่วโมง)

การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1. ทำสารละลาย hydroxyproline เข้มข้น 400 ppm ให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 0 5 10 20 30 และ 40 ppm (mg/l) และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 25 มิลลิลิตร
2. เติม isopropanol 0.4 มิลลิลิตร และ Oxidant solution 0.2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 4 นาที
3. เติม Ehrlich's reagent solution 2.6 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที
4. ทำให้เย็น โดยผ่านน้ำ 2-3 นาที แล้วเติม isopropanol 6.6 มิลลิลิตร (ปรับปริมาตร)
5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 558 นาโนเมตร (ภายในเวลา 4 ชั่วโมง)
6. เขียนกราฟมาตรฐาน และหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย hydroxyproline กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 558 นาโนเมตร แสดงดังภาพประกอบภาคผนวกที่ 4 ปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดคำนวณได้โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 558 นาโนเมตร แทนค่าในสมการของกราฟมาตรฐาน hydroxyproline

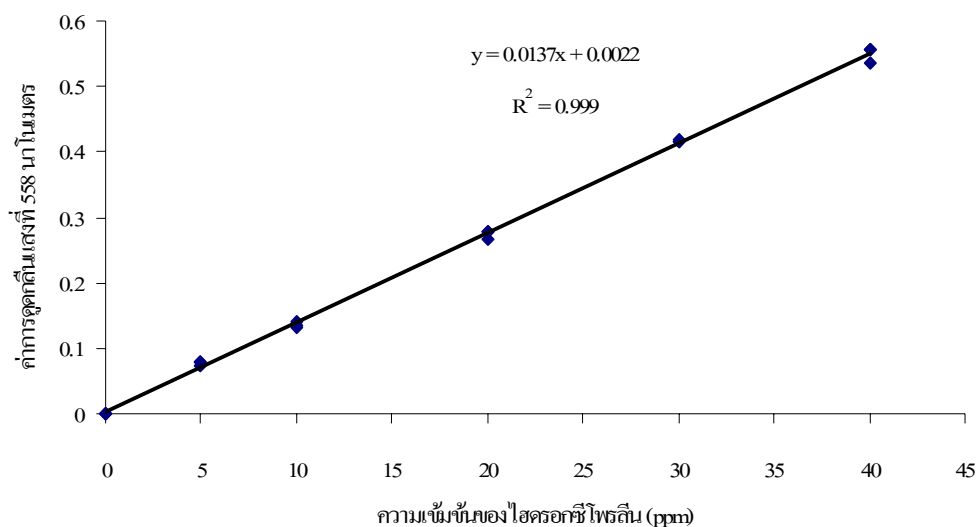


Figure appendix B2. Hydroxyproline standard graph

สูตรคำนวณ

ปริมาณคอลลาเจนทั้งหมด

ตัวอย่าง ชุดควบคุม (Control)

0.2053 (558 nm)

Standard Hydroxyproline

 $y = 0.0137x + 0.0022$ ($R^2 = 0.999$)โดย y = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 558 นาโนเมตร x = ปริมาณคอลลาเจน (มิลลิกรัม/ ลิตร)

ปริมาณของ Hydroxyproline

 $0.2053 + 0.0022$ 0.0137 $= 15.1460$ มิลลิกรัม/ ลิตร

ใน 1000 มิลลิลิตร มีปริมาณ Hydroxyproline

15.1460 มิลลิกรัม

ใน 100 มิลลิลิตร มีปริมาณ Hydroxyproline

 $\frac{15.1460 + 100}{1000}$

1000

 $= 1.5146$ มิลลิกรัม

ใน 100 มิลลิลิตร มาจากเนื้อ 1.0603 กรัม

ดังนั้น ชุดควบคุม มีปริมาณ Hydroxyproline

 $\frac{15.1460 + 100}{1000}$

1000

มีคอลลาเจนทั้งหมด

 $= 1.4285$ มิลลิกรัม/กรัมเนื้อ

$$= 1.4285 \times 7.25$$

$$= 10.3564 \text{ มิลลิลิตร/กรัมเนื้อ}$$

หมายเหตุ Factor = 7.25

9. การตรวจสอบรูปแบบโปรตีนไมโอไฟบริลโดยใช้วิธี Sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) โดยดัดแปลงวิธีของ Laemmli (1970)

เครื่องมือและอุปกรณ์

ชุดอิเล็กโตรโฟรีซิสแบบมินิเจล

สารเคมี

1. Acrylamide/bis-acrylamide: ละลาย acrylamide 29.2 กรัม และ bis-acrylamide 0.80 กรัม ในน้ำกลั่น ปริมาณให้ได้ 100 มิลลิลิตร เก็บใส่ขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ใช้ได้ประมาณ 1 เดือน หลังเตรียม
2. สารละลายบัฟเฟอร์ทริสไฮโดรคลอไรด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ พีเอช 8.8
3. สารละลายบัฟเฟอร์ทริสไฮโดรคลอไรด์เข้มข้น 1.5 โมลาร์ พีเอช 6.8
4. สารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตเข้มข้นร้อยละ 10 (เก็บที่อุณหภูมิห้อง)
5. สารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตเข้มข้นร้อยละ 5 (เก็บที่อุณหภูมิห้อง)
6. Sample buffer (non reducing buffer):

ทริสไฮโดรคลอไรด์ 0.1514 กรัม

กลีเซอรอล 2.5 มิลลิลิตร

โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต 0.25 กรัม

EDTA 0.0186 กรัม

โบรโมฟินอลบลู 0.25 กรัม

นำมาละลายในน้ำกลั่น ปรับพีเอชให้ได้ 6.8 แล้วปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร

7. Sample buffer (reducing buffer):

ทริสไฮโดรคลอไรด์ 0.1514 กรัม

กลีเซอรอล 2.5 มิลลิลิตร

โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต 0.25 กรัม

EDTA 0.0186 กรัม

เบต้า-เมอแคปโตเอทานอล 0.25 มิลลิลิตร

โบรโมฟินอลบลู 0.25 กรัม

นำมาละลายในน้ำกลั่น ปรับพีเอชให้ได้ 6.8 แล้วปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร

8. Electrode buffer:

ทริสไฮโดรคลอไรด์ 3.0 กรัม

กลีเซอรอล 14.4 มิลลิลิตร

โซเดียมโคเคซิลซัลเฟต 1.0 กรัม

นำมาละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

9. Catalyst ประกอบด้วย

สารละลายแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตเข้มข้นร้อยละ 10 (เตรียมก่อนใช้)

TEMED (N,N,N,N-tetramethy ethylenediamine)

10. โปรตีนมาตรฐานที่ทราบน้ำหนักโมเลกุล High Molecular Weight (Sigma)

ประกอบด้วย myosin, β -galactosidase, phosphorylas b, fructose-6-phosphate kinase, albumin, glutamic dehydrogenase, ovalbumin และ glyceraldehydes-3 phosphatedehy deogenase มีน้ำหนักโมเลกุล 205,000 116,000 97,000 84,000 66,000 55,000 45,000 และ 36,000 คาลตัน ตามลำดับ

11. สีย้อมโปรตีน Coomassie Brilliant Blue R-250

12. Staining solution: ละลาย Coomassie Brilliant Blue R-250 0.04 กรัม ในเมทานอล 100 มิลลิลิตร คนจนละลาย แล้วเติม Glacial acetic acid 15 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 85 มิลลิลิตร

13. Destaining solution 1: ผสมเมทานอล 50 มิลลิลิตร กรดอะซิติก 75 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 875 มิลลิลิตร

วิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่าง 3 กรัม ผสมกับสารละลายโซเดียมโคเคซิลซัลเฟตเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 27 มิลลิลิตร โฮโมจีไนส์ 1 นาที บ่มที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง นำสารละลายมาเหวี่ยงแยกที่ความเร็ว 5,500xg นาน 15 นาที นำสวอนใส่ที่ได้มาผสมกับ Sample buffer (อัตราส่วน 1:1) ให้มีความเข้มข้นโปรตีนเท่ากับ 4 ไมโครกรัมต่อไมโครลิตร ต้มสารผสมในน้ำเดือด นาน 3 นาที ทำให้เย็นเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

2. การเตรียม running gel (10% gel) (สำหรับเจล 2 แผ่น)

30% Acrylamide/ 0.8% bis-acrylamide	0.665 มิลลิลิตร
สารละลายบัฟเฟอร์ทริสไฮโดรคลอไรด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ พีเอช 8.8	1.250 มิลลิลิตร
น้ำกลั่น	3.000 มิลลิลิตร
สารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตเข้มข้นร้อยละ 10 100 ไมโครลิตร	
สารละลายแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตเข้มข้นร้อยละ 10 50 ไมโครลิตร	
TEMED	5 ไมโครลิตร

เขย่าให้เข้ากัน แล้วดูดใส่ในแผ่นเจล แผ่นละ 3.5 มิลลิลิตร

3. การเตรียม stacking gel (สำหรับเจล 2 แผ่น)

30% Acrylamide/ 0.8% bis-acrylamide	0.665 มิลลิลิตร
สารละลายบัฟเฟอร์ทริสไฮโดรคลอไรด์เข้มข้น 1.5 โมลาร์ พีเอช 6.8	1.250 มิลลิลิตร
น้ำกลั่น	3.000 มิลลิลิตร
สารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตเข้มข้นร้อยละ 10 50 ไมโครลิตร	
สารละลายแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตเข้มข้นร้อยละ 10 25 ไมโครลิตร	
TEMED	3 ไมโครลิตร

เขย่าให้เข้ากันแล้วเทใส่แผ่นเจล

8. การแยกโปรตีน โดยเจลอิเล็กโตรโฟรีซิส

ประกอบชุดเจลอิเล็กโตรโฟรีซิส จากนั้นเติม electrod buffer ให้เต็ม electrod buffer ด้านใน จากนั้นเติมตัวอย่างที่เตรียมจากข้อ 1 จำนวน 5 ไมโครลิตร จะได้ความเข้มข้นของโปรตีน 20 ไมโครกรัมต่อไมโครลิตร แล้วเติม electrod buffer ใน chamber ด้านนอกต่อชุดอิเล็กโตรโฟรีซิสเข้ากับตัวให้กระแสไฟฟ้า เปิดกระแสไฟฟ้า 30mA (สำหรับเจล 2 แผ่น) รอจนสีของโบรมอีนอลบลูเคลื่อนที่จนเกือบสุดปลายกระจก จึงหยุดการให้กระแสไฟฟ้า

9. การย้อมสีโปรตีนในเจล

นำเจลมาย้อมสีโดยแช่ใน Staining solution นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมาแช่ใน Destaining solution 1 นาน 15 นาที แล้วนำมาแช่ทิ้งไว้ข้ามคืนใน Destaining solution

10. การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด โดยดัดแปลงวิธีของ Wattanachant และคณะ (2005)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. มีดตัดเนื้อเยื่อ
2. คีมจับ
3. ขวดแก้วสำหรับแช่เนื้อเยื่อ
4. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM)

สารเคมี

1. 2.5% glutaraldehyde
2. 0.1M phosphate buffer, pH 7.2
3. distilled water
4. 25 50 70 90 และ absolute ethanol
5. ไนโตรเจนเหลว

วิธีการ

1. ทำการตัดชิ้นตัวอย่าง ขนาด 0.5 x 0.5 x 1 เซนติเมตร
2. แช่ชิ้นตัวอย่าง ในสารละลาย 2.5% glutaraldehyde ใน 0.1M phosphate buffer, pH 7.2 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
3. ล้างชิ้นตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น
4. ทำการดึงน้ำในเนื้อเยื่อออกโดยการแช่ในสารละลายเอทานอลที่ระดับความเข้มข้น 25 50 70 90 และ absolute ethanol 2 ครั้ง ตามลำดับโดยแช่เป็นเวลา 1 ชั่วโมงในแต่ละความเข้มข้น
5. ทำการตัดชิ้นตัวอย่างให้เป็น fragment เล็กๆ โดยใช้ไนโตรเจนเหลว ให้ทำการตัดแบบขวางและแบบตามยาว
6. นำตัวอย่างแช่ไว้ใน absolute ethanol แล้วส่งตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดต่อไป

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

Table appendix C1. ANOVA between different solutions of BM on moisture content of surimi-like.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	24.597	3	8.199	2812.472	.000
Within Groups	.023	8	.003		
Total	24.620	11			

Table appendix C2. ANOVA between different solutions of FT on moisture content of surimi-like.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	49.295	3	16.432	7027.117	.000
Within Groups	.019	8	.002		
Total	49.314	11			

Table appendix C3. ANOVA between different solutions of BM on protein content of surimi-like.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8.920	3	2.973	1012.906	.000
Within Groups	.023	8	.003		
Total	8.943	11			

Table appendix C4. ANOVA between different solutions of FT on protein content of surimi-like.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	14.510	3	4.837	11051.605	.000
Within Groups	.004	8	.000		
Total	14.514	11			

Table appendix C5. ANOVA between different solutions of BM on fat content of surimi-like.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6.907	3	2.302	1627.920	.000
Within Groups	.011	8	.001		
Total	6.918	11			

Table appendix C6. ANOVA between different solutions of FT on fat content of surimi-like.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	12.635	3	4.212	2565.455	.000
Within Groups	.013	8	.002		
Total	12.648	11			

Table appendix C7. ANOVA between different solutions of BM on ash content of surimi-like.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.074	3	.025	37.292	.000
Within Groups	.005	8	.001		
Total	.079	11			

Table appendix C8. ANOVA between different solutions of FT on ash content of surimi-like.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.127	3	.042	39.532	.000
Within Groups	.009	8	.001		
Total	.136	11			

Table appendix C9. ANOVA between different solutions of BM on total collagen content of surimi-like.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	18.576	3	6.192	5584.358	.000
Within Groups	.009	8	.001		
Total	18.585	11			

Table appendix C10. ANOVA between different solutions of FT on total collagen content of surimi-like.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	143.748	3	47.916	18920.240	.000
Within Groups	.020	8	.003		
Total	143.768	11			

Table appendix C11. ANOVA between different solutions of BM on myofibrillar protein content of surimi-like.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4654.373	3	1551.458	1085022.598	.000
Within Groups	.011	8	.001		
Total	4654.384	11			

Table appendix C12. ANOVA between different solutions of FT on myofibrillar protein content of surimi-like.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1103.496	3	367.832	315542.090	.000
Within Groups	.009	8	.001		
Total	1103.505	11			

Table appendix C13. ANOVA between different solutions of BM on pH of surimi-like.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.924	3	.641	527.203	.000
Within Groups	.010	8	.001		
Total	1.934	11			

Table appendix C14. ANOVA between different solutions of FT on pH of surimi-like.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.930	3	.310	354.171	.000
Within Groups	.007	8	.001		
Total	.937	11			

Table appendix C15. ANOVA between different solutions of BM on color L^* , a^* , b^* values of surimi-like.

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
L^*	Between Groups	904.645	3	301.548	98384.444	.000
	Within Groups	.049	16	.003		
	Total	904.694	19			
a^*	Between Groups	41.589	3	13.863	10746.450	.000
	Within Groups	.021	16	.001		
	Total	41.609	19			
b^*	Between Groups	54.466	3	18.155	18110.012	.000
	Within Groups	.016	16	.001		
	Total	54.482	19			

Table appendix C16. ANOVA between different solutions of FT on color L^* , a^* , b^* values of surimi-like.

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
L^*	Between Groups	215.474	3	71.825	73290.345	.000
	Within Groups	.016	16	.001		
	Total	215.489	19			
a^*	Between Groups	108.733	3	36.244	33024.491	.000
	Within Groups	.018	16	.001		
	Total	108.751	19			
b^*	Between Groups	23.784	3	7.928	9272.474	.000
	Within Groups	.014	16	.001		
	Total	23.798	19			

Table appendix C17. ANOVA between different solutions of BM on pH of surimi-like gels.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.783	3	.261	583.681	.000
Within Groups	.004	8	.000		
Total	.786	11			

Table appendix C18. ANOVA between different solutions of FT on pH of surimi-like gels.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.409	3	.136	708.084	.000
Within Groups	.002	8	.000		
Total	.410	11			

Table appendix C19. ANOVA between different solutions of BM on cooking loss of surimi-like gels.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	241.541	3	80.514	48132.604	.000
Within Groups	.013	8	.002		
Total	241.554	11			

Table appendix C20. ANOVA between different solutions of FT on cooking loss of surimi-like gels.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	130.229	3	43.410	102528.092	.000
Within Groups	.003	8	.000		
Total	130.232	11			

Table appendix C21. ANOVA between different solutions of BM on color L^* , a^* , b^* values of surimi-like gels.

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
L^*	Between Groups	20.108	3	6.703	7869.743	.000
	Within Groups	.014	16	.001		
	Total	20.122	19			
a^*	Between Groups	12.447	3	4.149	97621.765	.000
	Within Groups	.001	16	.000		
	Total	12.447	19			
b^*	Between Groups	70.117	3	23.372	35957.292	.000
	Within Groups	.010	16	.001		
	Total	70.127	19			

Table appendix C22. ANOVA between different solutions of FT on color L^* , a^* , b^* values of surimi-like gels.

		Sum of				
		Squares	df	Mean Square	F	Sig.
L^*	Between Groups	82.244	3	27.415	29275.027	.000
	Within Groups	.015	16	.001		
	Total	82.259	19			
a^*	Between Groups	17.805	3	5.935	6558.158	.000
	Within Groups	.014	16	.001		
	Total	17.820	19			
b^*	Between Groups	16.978	3	5.659	3950.558	.000
	Within Groups	.023	16	.001		
	Total	17.000	19			

Table appendix C23. ANOVA between different solutions of BM on breaking force and deformation of surimi-like gels.

		Sum of				
		Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Breaking force	Between Groups	85022.739	3	28340.913	1068460.436	.000
	Within Groups	.212	8	.027		
	Total	85022.951	11			
Deformation	Between Groups	9.449	3	3.150	11810.833	.000
	Within Groups	.002	8	.000		
	Total	9.451	11			

Table appendix C24. ANOVA between different solutions of FT on breaking force and deformation of surimi-like gels.

		Sum of		Mean		
		Squares	df	Square	F	Sig.
Breaking force	Between Groups	63667.115	3	21222.372	10523490.072	.000
	Within Groups	.016	8	.002		
	Total	63667.131	11			
Deformation	Between Groups	31.519	3	10.506	17510.370	.000
	Within Groups	.005	8	.001		
	Total	31.523	11			

Table appendix C25. ANOVA between different heating conditions of BM on breaking force and deformation of surimi-like gels washed with SALT solution

		Sum of		Mean		
		Squares	df	Square	F	Sig.
Breaking force	Between Groups	103642.214	4	25910.554	26804020.941	.000
	Within Groups	.010	10	.001		
	Total	103642.224	14			
Deformation	Between Groups	5.902	4	1.476	5147.349	.000
	Within Groups	.003	10	.000		
	Total	5.905	14			

Table appendix C26. ANOVA between different heating conditions of FT on breaking force and deformation of surimi-like gels washed with SALT solution

		Sum of		Mean		
		Squares	df	Square	F	Sig.
Breaking force	Between Groups	32821.991	4	8205.498	17094787.104	.000
	Within Groups	.005	10	.000		
	Total	32821.996	14			
Deformation	Between Groups	21.593	4	5.398	12085.672	.000
	Within Groups	.004	10	.000		
	Total	21.598	14			

Table appendix C27. ANOVA between various ratio of BM: FT on color L^* value of surimi-like gels.

Type III Sum of						
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Corrected Model	51.216(a)	7	7.317	36.429	.000	
Intercept	571788.032	1	571788.032	2846941.754	.000	
treat	51.216	7	7.317	36.429	.000	
Error	17.674	88	.201			
Total	571856.921	96				
Corrected Total	68.890	95				

^a R Squared = 0.743 (Adjusted R Squared = 0.723)

Table appendix C28. ANOVA between various ratio of BM: FT on color a^* value of surimi-like gels.

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	37.451(a)	7	5.350	109.864	.000
Intercept	10.787	1	10.787	221.511	.000
treat	37.451	7	5.350	109.864	.000
Error	4.285	88	.049		
Total	52.523	96			
Corrected Total	41.736	95			

Table appendix C29. ANOVA between various ratio of BM: FT on color b^* value of surimi-like gels.

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	54.430(a)	7	7.776	64.671	.000
Intercept	19140.225	1	19140.225	159190.452	.000
treat	54.430	7	7.776	64.671	.000
Error	10.581	88	.120		
Total	19205.236	96			
Corrected Total	65.011	95			

Table appendix C30. ANOVA between various ratio of BM: FT on breaking force of surimi-like gels.

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2656534.481(a)	7	379504.926	5931.735	.000
Intercept	26153590.591	1	26153590.591	408785.659	.000
treat	2656534.481	7	379504.926	5931.735	.000
Error	7165.619	112	63.979		
Total	28817290.690	120			
Corrected Total	2663700.099	119			

Table appendix C31. ANOVA between various ratio of BM: FT on deformation of surimi-like gels.

Type III Sum of					
Source	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	65.921(a)	7	9.417	59.765	.000
Intercept	12933.563	1	12933.563	82079.654	.000
treat	65.921	7	9.417	59.765	.000
Error	17.648	112	.158		
Total	13017.133	120			
Corrected Total	83.569	119			

Table appendix C32. ANOVA between various ratio of BM: FT (9:1, 7:3, 3:7, 2:8) at 5, 10 and 15 percent on cooking loss of restructured chicken meat.

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	309.056(a)	15	20.604	81.273	.000
Intercept	4018.131	1	4018.131	15849.834	.000
Ratio	41.818	3	13.939	54.985	.000
level	157.544	3	52.515	207.148	.000
Ratio * level	109.694	9	12.188	48.077	.000
Error	8.112	32	.254		
Total	4335.299	48			
Corrected Total	317.168	47			

Table appendix C33. ANOVA between various ratio of BM: FT (9:1, 7:3, 3:7, 2:8) at 5, 10 and 15 percent on shear force of restructured chicken meat.

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	229093.194(a)	15	15272.880	6.446	.000
Intercept	146646270.456	1	146646270.456	61889.250	.000
Ratio	130642.527	3	43547.509	18.378	.000
level	32512.650	3	10837.550	4.574	.006
Ratio * level	65938.016	9	7326.446	3.092	.004
Error	151647.683	64	2369.495		
Total	147027011.333	80			
Corrected Total	380740.877	79			

Table appendix C34. ANOVA between various ratio of BM: FT (9:1, 7:3, 3:7, 2:8) at 5, 10 and 15 percent on texture (hardness) of restructured chicken meat.

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	38.358(a)	15	2.557	20.102	.000
Intercept	6390.803	1	6390.803	50237.228	.000
Ratio	12.627	3	4.209	33.086	.000
level	17.065	3	5.688	44.716	.000
Ratio * level	8.666	9	.963	7.569	.000
Error	6.106	48	.127		
Total	6435.268	64			
Corrected Total	44.465	63			

Table appendix C35. ANOVA between various ratio of BM: FT (9:1, 7:3, 3:7, 2:8) at 5, 10 and 15 percent on texture (springiness) of restructured chicken meat.

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.085(b)	15	.006	2.291	.015
Intercept	37.103	1	37.103	14937.804	.000
Ratio	.034	3	.011	4.568	.007
level	.016	3	.005	2.161	.105
Ratio * level	.035	9	.004	1.575	.150
Error	.119	48	.002		
Total	37.308	64			
Corrected Total	.205	63			

Table appendix C36. ANOVA between various ratio of BM: FT (9:1, 7:3, 3:7, 2:8) at 5, 10 and 15 percent on texture (cohesiveness) of restructured chicken meat.

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.070(c)	15	.005	1.706	.082
Intercept	13.469	1	13.469	4923.893	.000
Ratio	.020	3	.007	2.448	.075
level	.033	3	.011	3.980	.013
Ratio * level	.017	9	.002	.701	.705
Error	.131	48	.003		
Total	13.670	64			
Corrected Total	.201	63			

Table appendix C37. ANOVA between various ratio of BM: FT (9:1, 7:3, 3:7, 2:8) at 5, 10 and 15 percent on texture (adhesiveness) of restructured chicken meat.

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.950(d)	15	.130	1.053	.422
Intercept	1302.687	1	1302.687	10550.823	.000
Ratio	.554	3	.185	1.496	.228
level	.655	3	.218	1.768	.166
Ratio * level	.741	9	.082	.667	.735
Error	5.926	48	.123		
Total	1310.563	64			
Corrected Total	7.876	63			

Table appendix C38. ANOVA between various ratio of BM: FT (9:1, 7:3, 3:7, 2:8) at 5, 10 and 15 percent on color L^* value of restructured chicken meat.

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	19.881	15	1.325	1.824	.050
Intercept	489430.363	1	489430.363	673642.549	.000
Ratio	3.310	3	1.103	1.518	.218
level	10.822	3	3.607	4.965	.004
Ratio * level	5.749	9	.639	.879	.548
Error	46.499	64	.727		
Total	489496.743	80			
Corrected Total	66.380	79			

Table appendix C39. ANOVA between various ratio of BM: FT (9:1, 7:3, 3:7, 2:8) at 5, 10 and 15 percent on color a^* value of restructured chicken meat.

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5.065	15	.338	1.872	.043
Intercept	11.567	1	11.567	64.143	.000
Ratio	.765	3	.255	1.414	.247
level	3.155	3	1.052	5.833	.001
Ratio * level	1.145	9	.127	.705	.702
Error	11.541	64	.180		
Total	28.174	80			
Corrected Total	16.606	79			

Table appendix C40. ANOVA between various ratio of BM: FT (9:1, 7:3, 3:7, 2:8) at 5, 10 and 15 percent on color b^* value of restructured chicken meat.

Source	Type III Sum of				
	Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	15.563	15	1.038	1.594	.101
Intercept	21609.067	1	21609.067	33201.428	.000
Ratio	1.885	3	.628	.966	.415
level	6.935	3	2.312	3.552	.019
Ratio * level	6.743	9	.749	1.151	.341
Error	41.654	64	.651		
Total	21666.284	80			
Corrected Total	57.217	79			

Table appendix C41. ANOVA between various ratio of BM: FT (9:1, 7:3, 3:7, 2:8) at 10 and (2:8) at 15 percent on sensory evaluation (9-point hedonic scale) of restructured chicken meat.

Source	SV	SS	df	MS	F	Sig
Color	Treatment	7.867	5	1.573	1.530	0.183
	Error	178.933	174	1.028		
	Total	9518.000	180			
Appearance	Treatment	10.978	5	2.196	2.161	0.061
	Error	176.800	174	1.016		
	Total	9290.000	180			
Cohesiveness	Treatment	7.561	5	1.512	1.530	0.105
	Error	141.833	174	0.815		
	Total	9209.000	180			
Separation	Treatment	9.844	5	1.969	2.214	0.055
	Error	154.733	174	0.815		
	Total	9210.000	180			
Overall liking	Treatment	2.294	5	0.459	0.555	0.734
	Error	143.767	174	0.826		
	Total	9291.000	180			

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นางสาวอารีย์ โตะเต็ม		
รหัสประจำตัวนักศึกษา	4882052		
วุฒิการศึกษา	วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
	วิทยาศาสตรบัณฑิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	2548
	(วิทยาศาสตรและเทคโนโลยีกาอาหาร)		

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

- ทุนการพัฒนาสาขาอุตสาหกรรมเกษตรสู่ความเป็นเลิศ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

- Tokdem, A., Wattanachant, S. and Benjakul, S. 2007. Effect of washing solution on characteristics of surimi-like from chicken breast muscle and flake boneless meat trimming. In Proceeding of 10th ASEAN FOOD CONFERENCE 2007: Food for Mankind-Contribution of Science and Technology. Kuala Lumpur, Malaysia. 21-23 August 2007.
- Tokdem, A., Wattanachant, S. and Benjakul, S. 2008. Surimi-like processed from chicken breast muscle and flake boneless meat trimming. In Proceeding of 10th Mae Fah Luang Symposium on the Occasion 10th Anniversary . Mae Fah Luang University, Chiangrai, Thailand. 26-28 November 2008.