

โปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่: การเตรียมและการใช้ในผลิตภัณฑ์นักเก็ต



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เพื่ออุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2566

PROTEIN CONCENTRATE FROM CHICKEN FRAME: PREPARATION AND APPLICATION IN
NUGGET PRODUCT



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Science for Industry
Faculty Of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2023

หัวข้อวิทยานิพนธ์	โปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่: การเตรียมและการใช้ใน ผลิตภัณฑ์นักเก็ต
โดย	น.ส.ชนากานต์ มณฑาทิพย์กุล
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์เพื่ออุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.สาริศา สุริยรักษ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โปธิยะราช)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ
.....	
(รองศาสตราจารย์ ดร.จิรารัตน์ อนันตกุล)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.สาริศา สุริยรักษ์)	
.....	กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิษฐา ธนานุวงศ์)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.วรรณพ วิเศษสงวน)	

ชานกานต์ มณฑาทิพย์กุล : โปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่: การเตรียมและการใช้ในผลิตภัณฑ์นักร้องไก่. (PROTEIN CONCENTRATE FROM CHICKEN FRAME: PREPARATION AND APPLICATION IN NUGGET PRODUCT) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร.สาริศา สุริยรักษ์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดโปรตีนจากโครงไก่ เพื่อเตรียมโปรตีนเข้มข้นและนำมาศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่และศึกษาผลของการเติมโปรตีนเข้มข้นต่อคุณภาพและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์นักร้องไก่ ผลการศึกษาการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่างๆที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.5 - 11.5 และระยะเวลาในการสกัด 30 - 300 นาที ด้วยวิธีปั่นผิวตบสนองและการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลางพบว่าสมการการทำนายผลตอบสนองประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นมีความเหมาะสมในการอธิบายความสัมพันธ์และทำนายค่าของตัวแปรอิสระให้ความสัมพันธ์กับผลตอบสนองที่ต้องการ โดยค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ของตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นในระบบฐานแห้ง (Dry basis) รวมถึงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่ามากกว่า 0.80 และมีค่า Root Mean Square Error (RMSE) ต่ำหมายความว่าความแตกต่างเฉลี่ยกำลังสองระหว่างค่าที่ได้จากการทำนายกับค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าต่ำ เมื่อพิจารณาค่า Adjusted r-Squared พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ การทำนายภาวะการสกัดโปรตีนจากโครงไก่จากการกำหนดเกณฑ์ของค่าประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นที่สุดพบว่าภาวะค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10.15 และระยะเวลาในการสกัดเท่ากับ 185 นาที เป็นภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสกัดโปรตีนจากโครงไก่ โดยค่าผลตอบสนองที่ได้จากการทำนายจากสมการมีความแตกต่างจากค่าที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 12.67% เมื่อนำโปรตีนเข้มข้นที่ผลิตในภาวะที่เหมาะสมที่สุดมาทดสอบความสามารถในการอุ้มน้ำและค่าความสามารถในการเกิดอิมัลชันพบว่ายังมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำกว่าเนื้อไก่ส่วนขาและส่วนอก ($p < 0.05$) จึงนำโปรตีนเข้มข้นมาพัฒนาสมบัติเชิงหน้าที่พบว่าการพัฒนาโปรตีนเข้มข้นด้วยกระบวนการปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและความดันและการปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและส่วนผสม (โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท แป้งข้าวสาลี แป้งมันสำปะหลัง) และความดันส่งผลให้โปรตีนเข้มข้นมีความสามารถในการเกิดอิมัลชันและความสามารถในการคงตัวของอิมัลชันสูงกว่าโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงอยู่ในช่วงระหว่าง 6.03 - 12.27% และ 4.93 - 6.83% ตามลำดับ รวมถึงมีความสามารถในการละลายที่ดีกว่าเนื้อไก่ในช่วง pH เท่ากับ 6 - 7 เมื่อนำโปรตีนเข้มข้นเติมลงในผลิตภัณฑ์นักร้องไก่จะเห็นได้ว่าการเติมโปรตีนเข้มข้นที่สัดส่วนเท่ากับ 12.50% ส่งผลทำให้เนื้อไก่มีค่า Hardness, Gumminess และ Chewiness สูงกว่าสูตรปกติระหว่าง 3899.44 - 4324.59, 2676.22 - 3243.04 และ 2363.65 - 3011.87 g-force ในขณะที่ปริมาณโปรตีนและค่าสีของตัวอย่างนักร้องไก่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม นอกจากนี้การเติมโปรตีนเข้มข้นมีส่งผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตสูงกว่าสูตรปกติ โดยประสิทธิภาพในการผลิตของสูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและส่วนผสม (โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท แป้งข้าวสาลี แป้งมันสำปะหลัง) และความดันมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 136.43% แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากต้นทุนในระดับ Commercial production scale พบว่าการเติมโปรตีนเข้มข้นด้วยกระบวนการปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและความดันมีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด รวมถึงมีปริมาณโปรตีนและคุณภาพด้านสีไม่แตกต่างจากสูตรปกติ จึงเลือกโปรตีนเข้มข้นด้วยกระบวนการปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและความดันเป็นกระบวนการปรับปรุงที่ดีที่สุด โดยในระยะเวลา 1 เดือนจะสามารถผลิตนักร้องไก่จากโปรตีนเข้มข้นได้ทั้งหมด 1250 กิโลกรัมและสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ที่ 175 บาทต่อเดือน

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์เพื่ออุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2566

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

6272031223 : MAJOR SCIENCE FOR INDUSTRY

KEYWORD: Chicken frame, Protein concentrate, Response surface methodology, Chicken nugget

Chanakan Montatipkul : PROTEIN CONCENTRATE FROM CHICKEN FRAME: PREPARATION AND APPLICATION IN NUGGET PRODUCT. Advisor: Asst. Prof. KIATTISAK DUANGMAL, Ph.D. Co-advisor: SARISA SURİYARAK, Ph.D.

The purpose of this research were to study the extraction method and optimal condition for alkaline extraction of protein from chicken frame and to study physicochemical and functional properties of the obtained protein concentrate and to investigate the effect of protein concentrate on properties of chicken nuggets and texture of cooked chicken nugget. Alkaline extraction conditions, pH of 8.5 - 11.5 and extraction time of 30 - 300 minute, were optimized using response surface methodology with central composite design. The results showed that process yield was suitable to predict desired responses for protein extraction production. The multiple regression analysis of response models showed that r^2 values was greater than 0.8. A low RMSE value means of the predicted value was close to the experimental values. The Adjusted r -Squared value was close to r^2 values. Protein extraction condition with pH 10.15 and extraction time of 185 mins was the optimal condition to obtain high process yield. Validation of response model showed that the predicted values of process yield was different from observed value about 12.67%. Protein concentrate had significantly lower water holding capacity and emulsifying properties than chicken breast and leg ($p < 0.05$). Protein concentrates obtained from two treatment processes (protein concentrates treated with salt, phosphate and pressure; protein concentrates treated with salt, phosphate, ISP, flour, and pressure) showed significantly higher emulsifying activity index (6.03 - 12.27%) and emulsion stability index (4.93 - 6.83%) than breast and leg. All protein concentrates exhibited higher solubility in the range of pH 6 - 7. A chicken nugget formulation added with protein concentrate at 12.5% displayed higher overall process yield. Hardness, Gumminess and Chewiness for samples formulated with protein concentrates were higher than the control in the range of 3899.44 - 4324.59, 2676.22 - 3243.04 and 2363.65 - 3011.87 g-force ($p < 0.05$). Protein content and color value showed no significant differences ($p \geq 0.05$) compared to control. Highest process yield can be archived from the formulation with partial substitution of the meat and water by protein concentrates treated with salt, phosphate, ISP, flour and pressure, with up to 136.43% process yield. On the other hands, commercial production scale cost shows that the nugget formulation with partial substitution of protein concentrates treated with salt, phosphate and pressure, has the lowest cost while does not has significant influence on the nugget quality in terms of color and protein content. The production of 1,250 kilograms of chicken nuggets from concentrated protein would save production costs approximately 175 baht per month.

CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Science for Industry

Student's Signature

Academic Year: 2023

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดีโดยความกรุณาและการสนับสนุนอย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.สาริศา สุริยรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้สละเวลาอันมีค่าในการชี้แนะแนวทางการแก้ปัญหาและอุปสรรค ให้การสนับสนุนและความช่วยเหลือตลอดมา รวมถึงให้คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. จิราวัฒน์ อนันตกุล (ประธานคณะกรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์) รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิษฐา ธนาบุวงค์ (กรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์) และดร.วรรณพ วิเศษสงวน กรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์จากภายนอกมหาวิทยาลัย) ที่ให้ความรู้ พร้อมทั้งข้อเสนอแนะต่างๆ อันเป็นประโยชน์เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ท่านต่างๆ อันผู้เขียนมิได้เอ่ยนามที่ได้อบรมสั่งสอนให้ความรู้ทางด้านวิชาการแก่ผู้เขียน รวมทั้งได้แต่งตำราให้ผู้เขียนได้ใช้ค้นคว้า อ้างอิง จนทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้

ขอขอบพระคุณฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ บริษัท บี ฟู้ดส์โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด จังหวัดลพบุรี ที่ให้คำแนะนำและให้การช่วยเหลือเป็นอย่างดีในการสนับสนุนทรัพยากรและวัตถุดิบ เพื่อส่งเสริมในด้านต่างๆของการทำวิจัย อันเป็นประโยชน์ในการทำวิจัยเป็นอย่างมาก รวมถึงคุณสาคร จุฬรัตน์และคุณอรรครพล หาญกมลศิริที่ได้ให้ความกรุณาเมตตาในการให้คำแนะนำ ข้อมูลต่างๆ และความช่วยเหลือในการทำวิจัยตลอดมา

ขอขอบพระคุณภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยอำนวยความสะดวกด้านสถานที่ในการดำเนินการทดลองรวมถึงอุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการดำเนินงานวิจัย จนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณโครงการวิทยาศาสตร์เพื่ออุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ โครงการแพลตฟอร์มการศึกษาครบวงจรเพื่อการพัฒนาการศึกษาปริญญาโทและการวิจัยพัฒนานวัตกรรมของภาคอุตสาหกรรม หน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนากำลังคนและทุนด้านการพัฒนา สถาบันอุดมศึกษา การวิจัยและการสร้างนวัตกรรม (บพค.) สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ (สอวช.) ที่ได้จัดทำหลักสูตรการศึกษาที่สอดคล้องกับความต้องการของภาคอุตสาหกรรม โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) ที่ช่วยให้คำปรึกษาและดูแลโครงการให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายขอขอบพระคุณครอบครัวและญาติ สำหรับกำลังใจและการสนับสนุนมาตลอด ส่งผลให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์.....	2
2.1 กระบวนการในโรงงานปี. ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล.....	2
2.1.1 กระบวนการในโรงงานชำแหละไก่	2
2.1.2 การนำโครงไก่ไปใช้ประโยชน์.....	3
2.2 โครงไก่และลักษณะของโครงไก่.....	3
2.3 โปรตีนกล้ามเนื้อไก่.....	3
2.3.1 โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ (Myofibrillar proteins)	3
2.3.2 โปรตีนซาร์โคพลาสมิก (Sarcoplasmic proteins)	4
2.3.3 โปรตีนสโตรมา (Stroma proteins).....	4
2.4 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน (Functional properties of proteins).....	4
2.4.1 ความสามารถในการละลาย (Solubility)	4
2.4.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity)	5
2.4.3 สมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifying properties)	5
2.5 กระบวนการสกัดโปรตีน (Protein extraction)	7

2.5.1	กระบวนการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่าง	7
2.5.2	ปัจจัยที่สำคัญต่อกระบวนการสกัดโปรตีน.....	9
2.5.3	การศึกษาภาวะการสกัดโปรตีนด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง.....	12
2.6	การปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนเข้มข้น.....	14
2.7	ผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่.....	15
บทที่ 3	อุปกรณ์ ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย.....	19
3.1	วัตถุประสงค์ สารเคมี เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง	19
3.1.1	วัตถุประสงค์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	19
3.1.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง (Machine Instrument)	20
3.2	ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย.....	21
3.2.1	ศึกษาสมบัติด้านเคมีและกายภาพของโครงไก่.....	21
3.2.2	ศึกษาภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสกัดโปรตีนจากโครงไก่ในการเตรียมโปรตีนเข้มข้น.....	22
3.2.3	ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของโปรตีนเข้มข้นและสมบัติเชิงหน้าที่ของเนื้อไก่ส่วนนอกเนื้อไก่ส่วนขาและโปรตีนเข้มข้น.....	27
3.2.4	ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีที่แตกต่างกัน.....	31
3.2.5	ศึกษาการใช้ประโยชน์ของโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ในผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่.....	32
3.2.6	ศึกษาความเป็นไปได้ และความคุ้มค่าของการผลิตจากการใช้โปรตีนเข้มข้นในผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่.....	38
บทที่ 4	ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	40
4.1	สมบัติด้านเคมีและกายภาพของโครงไก่	40
4.1.1	สัดส่วนองค์ประกอบของโครงไก่ตัดบั่นท้าย	40
4.1.2	องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อที่แยกจากโครงไก่ตัดบั่นท้าย	40
4.2	ภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสกัดโปรตีนจากโครงไก่ในการเตรียมโปรตีนเข้มข้น	41

4.2.1	ผลของภาวะการสกัดโปรตีนต่อผลการตอบสนองของโปรตีนเข้มข้น	41
4.2.2	ผลของการสร้างสมการพหุคูณของผลตอบสนอง	43
4.2.3	ผลการตรวจสอบการใช้ได้ของสมการ	47
4.3	ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของโปรตีนเข้มข้นและสมบัติเชิงหน้าที่ของเนื้อไก่ส่วนอก เนื้อไก่ส่วนขาและโปรตีนเข้มข้น	48
4.3.1	สมบัติทางเคมีกายภาพของโปรตีนเข้มข้น	48
4.3.2	สมบัติเชิงหน้าที่ของเนื้อไก่ส่วนอก เนื้อไก่ส่วนขา และโปรตีนเข้มข้น	49
4.4	ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 54	
4.4.1	สมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนที่ละลายในน้ำกลั่นและละลายในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1% w/v ของเนื้อไก่ส่วนอก เนื้อไก่ส่วนขา โปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงและโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่ผ่านการปรับปรุง	54
4.4.2	ความสามารถในการละลายของโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีที่แตกต่างกันในช่วง pH 3 - 11	55
4.5	การใช้ประโยชน์ของโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ในผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่	56
4.5.1	การคัดเลือกสูตรนักเก็ตไก่ที่มีการผสมโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่	56
4.5.2	ความสามารถในการอุ้มน้ำของ Raw batter nugget	57
4.5.3	องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่	58
4.5.4	สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่	60
4.5.5	ประสิทธิภาพในการผลิตของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่	63
4.5.6	ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่	65
4.6	ความเป็นไปได้ และความคุ้มค่าของการผลิตจากการใช้โปรตีนเข้มข้นในผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่	67
4.6.1	คำนวณต้นทุนของนักเก็ตไก่ที่มีการผสมโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่	67
4.6.2	ความคุ้มค่าของการใช้โปรตีนเข้มข้นในนักเก็ตไก่	69
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	72

5.1 สรุปผลการทดลอง	72
5.2 ข้อเสนอแนะ	73
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์ทางเคมี.....	75
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	83
บรรณานุกรม.....	94
ประวัติผู้เขียน.....	100



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 การออกแบบแผนการทดลองสำหรับการผลิตโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่.....	23
ตารางที่ 4.1 สัดส่วนของเนื้อที่แยกจากโครงไก่ ไขมัน และโครงกระดูกไก่ต่อโครงไก่ตัดบั่นท้าย	40
ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อที่แยกจากโครงไก่ตัดบั่นท้าย.....	41
ตารางที่ 4.3 ผลของภาวะการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่างต่อปริมาณร้อยละโปรตีนที่ได้ (protein content) ปริมาณร้อยละไขมันที่ได้ (fat content) ประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้น (Process yield) และประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนจากเนื้อบริเวณโครงไก่ (Protein yield).....	42
ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, r^2) ค่า Adjusted r-Squared และค่า Root Mean Square Error (RMSE) ของสมการผลตอบแทนในระบบฐานแห้ง (Dry basis)	45
ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของผลตอบแทนสำหรับการผลิตโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ในภาวะการสกัดที่เหมาะสมที่สุดในระบบฐานแห้ง (Dry basis).....	47
ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนเข้มข้นจากภาวะการสกัดที่เหมาะสมที่สุด	48
ตารางที่ 4.7 ค่าสีของโปรตีนเข้มข้นจากภาวะการสกัดที่เหมาะสมที่สุด	49
ตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นเกลือและความเร็วในการปั่นเหวี่ยงต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อไก่ส่วนนอก เนื้อไก่ส่วนขา และโปรตีนเข้มข้น	51
ตารางที่ 4.9 สมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนที่ละลายในน้ำกลั่นและละลายในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1% w/v ของเนื้อไก่ส่วนนอก เนื้อไก่ส่วนขา และโปรตีนเข้มข้น	52
ตารางที่ 4.10 ผลของความเข้มข้นเกลือต่อการละลายของโปรตีนและสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของเนื้อไก่ส่วนนอก เนื้อไก่ส่วนขา โปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงและผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีที่แตกต่างกัน	55
ตารางที่ 4.11 การ balance ผลิตรัณฑ์นักเก็ตไก่สูตรควบคุมเปรียบเทียบกับสูตรปกติ.....	57
ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบความสามารถในการอุ้มน้ำของ Raw batter nugget สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง	58

ตารางที่ 4.13 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง.....	59
ตารางที่ 4.14 ค่าสีด้านนอกของผลิตภัณฑ์นักเก็ตสูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรที่เติมโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีต่างๆ	61
ตารางที่ 4.15 ค่าสีด้านในของผลิตภัณฑ์นักเก็ตสูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรที่เติมโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีต่างๆ.....	62
ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการผลิต (Overall process yield) ของการผลิตนักเก็ตไก่สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง	64
ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางเนื้อสัมผัสของการผลิตนักเก็ตไก่สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง.....	66
ตารางที่ 4.18 องค์ประกอบในการคำนวณต้นทุนนักเก็ตไก่ในหน่วยบาทต่อหนึ่งกิโลกรัมนักเก็ตไกระดับ pilot scale	68
ตารางที่ 4.19 องค์ประกอบในการคำนวณต้นทุนนักเก็ตไก่ในหน่วยบาทต่อหนึ่งกิโลกรัมนักเก็ตไกระดับ production scale	71

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 กระบวนการฆ่าเหาะไก่.....	2
ภาพที่ 2.2 กระบวนการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่าง	8
ภาพที่ 2.3 กระบวนการผลิตนักเก็ตไก่	16
ภาพที่ 3.1 เครื่อง Vacuum jacket pot ที่โรงงานผลิตน้ำชูภายในเครือเบทาโกร	22
ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการผลิตโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่.....	24
ภาพที่ 3.3 กระบวนการปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่โปรตีนเข้มข้น	31
ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการผลิตนักเก็ตไก่สูตรควบคุม	33
ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการผลิตนักเก็ตไก่สูตรที่ 3-6.....	34
ภาพที่ 3.6 กราฟแสดงค่าจากการวัดเนื้อสัมผัส	38
ภาพที่ 4.1 ลักษณะของโครงไก่ตัดบั่นทำของบริษัท บี. ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ..	40
ภาพที่ 4.2 กราฟพื้นผิวผลตอบสนองต่างๆสำหรับการผลิตโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่.....	46
ภาพที่ 4.3 ผลของความเป็นกรด-ด่างต่อความสามารถในการละลาย ของเนื้อไก่ส่วนอก เนื้อไก่ส่วนขา และโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่.....	53
ภาพที่ 4.4 ผลของความเป็นกรด-ด่างต่อความสามารถในการละลายของโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ ที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายต่าง.....	56
ภาพที่ 4.5 ลักษณะภายในของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่สูตรปกติ (A) สูตรควบคุม (B) สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยความดัน (C) สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือและความดัน (D) สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและความดัน (E) สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟต และส่วนผสม (โปรตีนถั่วเหลืองไฮโซเลท แป้งข้าวสาลี แป้งมันสำปะหลัง) และความดัน (F) ตามลำดับ.....	60
ภาพที่ 4.6 กระบวนการทำงานในการคิดต้นทุนการผลิตนักเก็ต	67

บทที่ 1

บทนำ

บริษัท บีฟู้ด โปรดักส์อินเตอร์เนชันแนล จำกัด ดำเนินธุรกิจการผลิตเนื้อไก่สด เนื้อไก่สดแช่แข็ง และเนื้อไก่ปรุงสุกคุณภาพในเครือเบทาโกร ซึ่งในกระบวนการผลิตก่อให้เกิดของเหลือจากการชำแหละไก่ คือ ไครงไก่ โดยน้ำหนักไครงไก่คิดเป็นร้อยละ 18 - 22 ของน้ำหนักซากไก่ โดยในปี 2020 ปริมาณไครงไก่เฉลี่ยต่อวันของทั้งระบบคิดเป็นน้ำหนักประมาณ 150 ตัน ซึ่งบางส่วนได้มีการนำไปใช้ ในปัจจุบันมีการนำไครงไก่มาใช้งานหลากหลาย เช่น การขายสด การชำแหละเนื้อบางส่วนและกระดุกอ่อนไปใช้งาน การผลิตเป็นน้ำซุบเข้มข้น การผลิต Mechanically deboned chicken meat โดยมีสัดส่วนการใช้งานภายในเครื่องระหว่าง 56.74 - 65.10% เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกและผลิตภัณฑ์นึ่งกึ่งทอด โดย Mechanically deboned chicken meat มีโปรตีนประมาณร้อยละ 13 - 15 ไขมันประมาณร้อยละ 13 - 15 และความชื้นประมาณร้อยละ 69 - 70 แต่อย่างไรก็ตามปริมาณไครงไก่ในระบบยังคงเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก รวมถึงการนำ Mechanically deboned chicken meat มาใช้ประโยชน์ยังมีข้อจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีสีเข้มและมีส่วนของไขกระดูกปนออกมากับเนื้อในระหว่างการผลิต ส่งผลให้สามารถใส่ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกและผลิตภัณฑ์นึ่งกึ่งทอดในปริมาณที่จำกัดเพราะจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกและผลิตภัณฑ์นึ่งกึ่งทอดทั้งในด้านสีและกลิ่น ดังนั้น เมื่อพิจารณาไครงไก่ที่ไม่ผ่านการบด โดยนำมาชำแหละเนื้อไก่และไขมันที่ติดในไครงไก่พบว่ามีความชื้นร้อยละ 14 - 15 และ 9 - 10 ของซากไก่ตามลำดับทั้งนี้ขึ้นกับการชำแหละและการใช้ประโยชน์ของไครงไก่ในแต่ละช่วงเวลา จากข้อมูลข้างต้นพบว่า ยังมีปริมาณเนื้อไก่ในไครงไก่ในปริมาณที่มาก หากมีการวิจัยที่สามารถนำโปรตีนจากไครงไก่มาใช้จะสามารถช่วยเพิ่มการนำไปใช้ของไครงไก่และเพิ่มมูลค่าของไครงไก่ให้มากกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน โดยการนำไครงไก่มาผ่านกระบวนการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่าง เพื่อนำโปรตีนสกัดเข้มข้นที่ได้มาใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งปัจจุบันมีการใช้งานโปรตีนเข้มข้นในโรงงานอย่างหลากหลาย โดยอาศัยสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนในด้านต่างๆ เช่น ความสามารถในการอุ้มน้ำ การเกิดเจล และอิมัลชัน เป็นต้น แต่ยังไม่มีการสกัดโปรตีนจากไครงไก่มาใช้

ดังนั้นทางผู้วิจัยร่วมกับโครงการ Hi-Fi และบริษัทฯ จึงมีความเห็นร่วมกันที่จะนำโปรตีนหรือเนื้อจากไครงไก่มาใช้ประโยชน์สำหรับผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากไครงไก่อังมีเนื้อไก่อัดในปริมาณสูงประมาณร้อยละ 14 - 15 ซึ่งเป็นเนื้อไก่ที่มีโปรตีนสูงถึงประมาณร้อยละ 18 การนำไครงไก่มาผ่านกระบวนการสกัดโปรตีนด้วยกระบวนการสกัดและภาวะที่เหมาะสม เพื่อเตรียมโปรตีนเข้มข้น และนำมาศึกษาสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของโปรตีนเข้มข้นจากไครงไก่ เพื่อนำโปรตีนสกัดเข้มข้นที่ได้มาใช้ประโยชน์สำหรับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์นึ่งกึ่งทอด

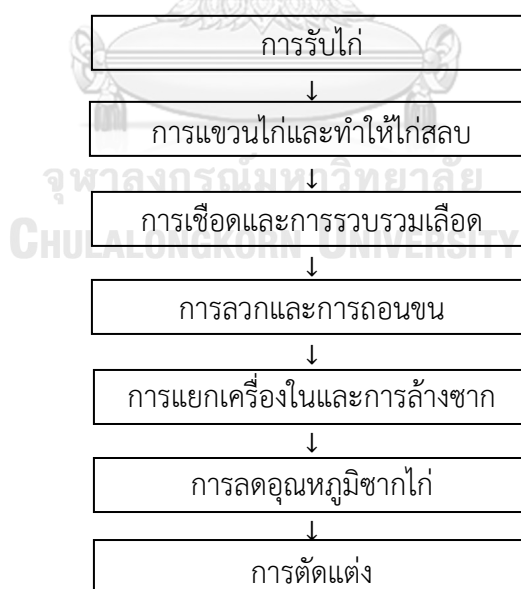
บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 กระบวนการในโรงงานปี. ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล

2.1.1 กระบวนการในโรงงานชำแหละไก่

ตั้งแต่การรับไก่ (Live bird receiving) ไก่จะถูกขนส่งมาบริเวณพัก เพื่อให้ไก่ลดความเครียดลง และรอตรวจคุณภาพ จากนั้นนำขาแขวนบนราวแขวน และเคลื่อนไปยังห้องที่มีแสงสีน้ำเงิน เพื่อให้ไก่รู้สึกสงบตามหลัก animal welfare ก่อนนำเข้าสู่เครื่องช็อตไฟฟ้า เพื่อให้ไก่สลบ และส่งเข้าห้องเชือดต่อไป ไก่จะถูกเชือดที่คอและถูกผ่านลงไปจนถึงลวกไก่ เพื่อให้สามารถถอนขนได้ง่ายไก่ที่ลวกแล้วจะถูกป้อนเข้าไปในเครื่องถอนขนไก่และผ่านกระบวนการแยกเครื่องในและล้างซาก (Evisceration and Carcass Washing) เริ่มจากการตัดหัวไก่เจาะกันแล้วนำเครื่องในออก แต่ละส่วนจะถูกแยกออกจากกัน ตัวไก่ที่ถูกควักไส้และเครื่องในออกแล้วจะถูกทำความสะอาดอีกครั้งโดยล้างทั้งด้านในและด้านนอกตัวไก่ จากนั้นทำการลดอุณหภูมิซากและนำไปผ่านการตัดแต่ง (สำนักงานพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าปศุสัตว์, 2564) ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 กระบวนการชำแหละไก่

2.1.2 การนำโครงไก่ไปใช้ประโยชน์

ปัจจุบันกระบวนการชำแหละไก่ของโรงงานทำให้เกิดโครงไก่โดยเฉลี่ยต่อวันทั้งระบบคิดเป็นน้ำหนักประมาณ 150 ตัน (อ้างอิงข้อมูลจากปี 2563) โครงไก่มีราคาขายที่หน้าโรงงานที่ค่อนข้างต่ำ หากมีการวิจัยที่สามารถนำโปรตีนจากโครงไก่มาใช้จะสามารถช่วยเพิ่มมูลค่าของโครงไก่ให้มากกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งมีการนำไปใช้ประโยชน์ในหลายช่องทาง เช่น การขายสด การชำแหละเนื้อบางส่วนและกระดูกอ่อนไปใช้งาน การผลิตเป็นน้ำซุบเข้มข้น การแยกเนื้อไก่จากกระดูกด้วยเครื่อง เพื่อผลิตเป็น Mechanically deboned chicken meat โดยมีสัดส่วนการใช้งานภายในเครื่องระหว่าง 56.74-65.10% แต่อย่างไรก็ตามการนำ Mechanically deboned chicken meat มาใช้ยังมีข้อจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีสีเข้มรวมถึงมีจุลินทรีย์ในปริมาณสูงระหว่างกระบวนการแยกกระดูกมีส่วนของไขกระดูกปนออกมากับเนื้อและเกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ ทำให้ Mechanically deboned chicken meat มีอายุการเก็บหลังเปิดใช้งานค่อนข้างสั้นตามข้อมูลของบริษัท บี ฟู้ดส์โปรดักส์ อินเตอร์เนชันแนล จำกัด บรรจุในถุง High-density polyethylene สามารถเก็บที่อุณหภูมิ -18°C ระยะเวลา 18 เดือนและหากเปิดใช้งานสามารถเก็บแช่เย็นที่อุณหภูมิ $0-4^{\circ}\text{C}$ ระยะเวลา 12 - 24 ชั่วโมง

2.2 โครงไก่และลักษณะของโครงไก่

โครงไก่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมเนื้อไก่ที่ได้จากส่วนคอและโครงลำตัวที่แยกชิ้นส่วนออก ปีกและขาออกไปแล้ว เมื่อชำแหละเนื้อไก่และไขมันที่ติดในโครงไก่พบว่ามีประมาณ 14-15% และ 9-10% ของซากไก่ตามลำดับ โดยเหลือโครงไก่หลังการชำแหละประมาณร้อยละ 70-75 ของซากไก่ องค์ประกอบหลักของโครงไก่จากโรงงานบี ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชันแนล จำกัด เป็นโปรตีน 13-15% ไขมัน 13-15% ความชื้น 69-70% และเถ้า 1-2% สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chambers and Fortin (1984) ซึ่งองค์ประกอบหลักของโครงไก่เป็นโปรตีน 16.9-17.9% ไขมัน 14.2-15.3% ความชื้น 64.3-65.5% และเถ้า 2.59-2.78%

2.3 โปรตีนกล้ามเนื้อไก่

โปรตีนสามารถจำแนกโดยใช้สมบัติด้านการละลายได้เป็น 3 ชนิดคือ โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ (Myofibrillar proteins) โปรตีนซาร์โคพลาสซึมิก (Sarcoplasmic proteins) และโปรตีนสโตรมา (Stroma proteins) (Smith & Young, 2007)

2.3.1 โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ (Myofibrillar proteins)

เป็นโปรตีนหลักในกล้ามเนื้อ ซึ่งโดยทั่วไปเนื้อสัตว์ทั่วไปประกอบด้วยโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ร้อยละ 50-56% มีบทบาทสำคัญในการอุ้มน้ำของเนื้อและความสามารถในการเกิดเจล

โปรตีนกลุ่มนี้สามารถละลายในสารละลายเกลือ (salt soluble proteins) ที่ความเข้มข้นมากกว่า 1% โดยปกติสามารถละลายในสารละลายเกลือในช่วงความเข้มข้น 0.3-0.6 โมลาร์ (Cercel et al., 2015)

2.3.2 โปรตีนซาร์โคพลาสมิก (Sarcoplasmic proteins)

เนื้อสัตว์ทั่วไปประกอบด้วยโปรตีนซาร์โคพลาสมิกร้อยละ 30-35% ของโปรตีนทั้งหมด สามารถละลายน้ำ โปรตีนกลุ่มนี้ได้แก่ ไมโอโกลบิน และเอนไซม์ชนิดต่างๆที่เกี่ยวข้องกับระบบเมแทบอลิซึม (metabolism)

2.3.3 โปรตีนสโตรมา (Stroma proteins)

เป็นโปรตีนที่ไม่สามารถสกัดได้ด้วยน้ำ กรดหรือด่างและสารละลายเกลือมีประมาณร้อยละ 3-6 ของโปรตีนทั้งหมดในเนื้อสัตว์ทั่วไป พบอยู่ในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันส่งผลกับคุณภาพของเนื้อ

2.4 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน (Functional properties of proteins)

การใช้โปรตีนจากวัตถุดิบที่แตกต่างกันส่งผลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ในแต่ละด้านที่แตกต่างกัน กระบวนการผลิตอาหารส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการนำสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ความสามารถในการละลาย (Solubility) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) สมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifying properties) การเกิดเจล (Gelation) โดยอาจนำไปทดแทนวัตถุดิบบางชนิดในสูตรอาหาร เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและปรับปรุงคุณลักษณะของอาหาร ลดต้นทุนในกระบวนการผลิตหรือใช้เพื่อการกล่าวอ้างทางโภชนาการ

2.4.1 ความสามารถในการละลาย (Solubility) วิทยาลัย

ความสามารถในการละลายเป็นความสามารถพื้นฐานที่สำคัญ เนื่องจากเป็นสมบัติที่ส่งผลกับสมบัติเชิงหน้าที่ในด้านอื่น ความสามารถในการละลายขึ้นอยู่กับสมดุลของโมเลกุลที่ชอบน้ำ และโมเลกุลที่ไม่ชอบน้ำของโปรตีน (hydrophilicity – hydrophobicity balance) รวมถึงค่า pH และ ionic strength ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประจุสุทธิบนผิวโปรตีน

หากค่า pH อยู่สูงหรือต่ำกว่าค่า pI ของโปรตีน โปรตีนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของประจุ ส่งผลให้เกิดแรงผลักทางไฟฟ้าสถิต (electrostatic repulsion) ระหว่างสายโปรตีน ทำให้โปรตีนมีความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่อปรับค่า pH ของโปรตีนเข้าใกล้จุด pI โปรตีนจะมีความสามารถในการละลายน้อยที่สุด เนื่องจากเกิดอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนกับโปรตีนมากกว่าโปรตีนกับตัวทำละลาย โมเลกุลโปรตีนจึงเกิดการรวมตัวกันและเกิดการตกตะกอน

เกลือมีผลต่อการละลายของโปรตีน โดยเมื่อค่า ionic strength ต่ำ ไอออนของเกลือจะจับกับประจุตรงข้ามของโปรตีน ทำให้การละลายของโปรตีนเพิ่มขึ้น เรียกว่า salting in

ในขณะที่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเกลือหรือ ionic strength มากกว่า 0.6 M จะทำให้การละลายของโปรตีนลดลง เนื่องจากไอออนของเกลือจะแย่งจับโมเลกุลน้ำที่ล้อมรอบโปรตีน ทำให้โปรตีนรวมตัวกัน และเกิดการตกตะกอน เรียกว่า salting out (Hall, 1995)

Nahar, Zakaria, Hachim and Bari (2017) ศึกษาผลของ pH และความเข้มข้นของเกลือที่มีต่อความสามารถในการละลายโปรตีนของเนื้อไก่ โดยศึกษาเกลือ 3 ชนิด (NaCl, Na₂SO₄ และ (NH₄)₂SO₄) ที่ระดับ pH ที่แตกต่างกัน 5 ระดับ (5.0, 6.0, 7.0, 8.0 และ 9.0) และความเข้มข้นของเกลือ 5 ระดับ (0.4, 0.8, 1.2, 1.6 และ 2.0 M) โดยวางแผนการทดลองทางสถิติแบบ General Linear Model วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยใช้ analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Tukey's test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม Minitab16 software จากการศึกษากเกลือที่ต่างกัน 3 ชนิดพบว่าความสามารถในการละลายของโปรตีนเพิ่มขึ้นตามลำดับของชนิดเกลือดังนี้ Na₂SO₄ > (NH₄)₂SO₄ > NaCl เมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจาก pH 5.0 เป็น 8.0 พบว่าความสามารถในการละลายของโปรตีนเพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจาก pH 8.0 เป็น 9.0 พบว่าความสามารถในการละลายของโปรตีนลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าความสามารถในการละลายของโปรตีนเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของเกลือเพิ่มขึ้นที่ 1.2-1.6 M

2.4.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity)

ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนเป็นสมบัติที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของเนื้อที่มีการบดหรือสับ เช่น นกเก็ต ไส้กรอก ซึ่งค่าความสามารถในการอุ้มน้ำจะมีค่าลดลงเมื่อโปรตีนมีการเสียสภาพธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น (Lawrie & Ledward, 2006) ความสามารถในการอุ้มน้ำหรือยึดจับน้ำของโปรตีน หมายถึง จำนวนกรัมของน้ำที่โปรตีนสามารถยึดจับได้ต่อกรัมของโปรตีนเริ่มต้น โดยการยึดจับน้ำของโปรตีนจะอาศัยการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของโปรตีนกับโมเลกุลของน้ำแล้วกักเก็บน้ำไว้ภายในโครงสร้างของโปรตีน ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สัดส่วนของประจุโมเลกุลที่มีขั้วและโมเลกุลที่ไม่มีขั้วของโปรตีน อุณหภูมิ ค่า pH และ ionic strength เป็นต้น (Hall, 1995)

2.4.3 สมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifying properties)

ระบบอิมัลชันคือ ระบบที่ประกอบด้วยของเหลว 2 ภูมิภาคคือ 1.ภูมิภาคกระจาย 2. ภูมิภาคต่อเนื่อง โดยแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (oil in water) และอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (water in oil) สมบัติการเป็นอิมัลชันของโปรตีนขึ้นกับโครงสร้างของโปรตีน สัดส่วนของโครงสร้างที่ชอบน้ำ-ไม่ชอบน้ำและความสามารถในการเกิดอันตรกิริยาในระบบ (Farooq & Boye, 2011) สมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนมีความสัมพันธ์กับสัดส่วนของกรดอะมิโนที่มีขั้วและไม่มีขั้ว โดยโปรตีนที่มีสัดส่วนกรดอะมิโนที่ไม่มีขั้วสูงจะสามารถดูดซับบนผิวเม็มน้ำมันได้มาก

ส่งผลให้เกิดอิมัลชันได้ดี สมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนจะพิจารณาจากค่า emulsifying activity index (EAI) และค่า emulsion stability index (ESI) ซึ่งค่า EAI และ ESI บ่งชี้ถึงความสามารถของโปรตีนในการเกิดอิมัลชันและทำให้อิมัลชันเสถียร นอกจากนี้สมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนยังขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายและค่า pH โปรตีนแต่ละชนิดมีความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่แตกต่างกัน นอกจากนี้การเติมเกลือยังทำให้โปรตีนทำงานเป็นอิมัลซิไฟเออร์ดีขึ้น เนื่องจากโปรตีนมีการละลายที่มากขึ้น (Kinsella & Melachouris, 2009)

Ganie, Rather, Wani, Gani, Masoodi and Wani (2015) ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนไอโซเลตจากเนื้อไก่ โดยการเตรียมโปรตีนไอโซเลตด้วยวิธี pH shift จากการศึกษาพบว่าโปรตีนไอโซเลตจากเนื้อไก่มีปริมาณความชื้น 2.82% ปริมาณโปรตีน 81.0% ปริมาณไขมัน 5.68% และปริมาณเถ้า 3.50% โปรตีนไอโซเลตจากเนื้อไก่มีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (Oil holding capacity) เท่ากับ 1.0 mL/g และค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) เท่ากับ 2.5 mL/g ค่า emulsifying activity index และ emulsifying stability index มีค่ามากที่สุดที่สภาวะ pH 7.0 เท่ากับ 503.90 m²/g และ 21.0 นาที ตามลำดับ ในขณะที่ความสามารถในการเกิดโฟมสามารถเกิดได้ดีที่ค่า pH 3 และความสามารถในการละลายของโปรตีนไอโซเลตจากเนื้อไก่มีค่าการละลายต่ำสุดที่ pH 5

Omana, Xu, Moayedi and Betti (2010) ศึกษาการสกัดโปรตีนจากเนื้อไก่ส่วนสะโพกด้วยต่าง เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบ โดยสกัดโปรตีนภายใต้สภาวะ pH ที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 10.5, 11.0, 11.5 และ 12.0 จากผลการทดลองพบว่าเมื่อสกัดโปรตีนภายใต้สภาวะที่มี pH สูง (pH เท่ากับ 11.5 และ 12.0) ความสามารถในการละลายน้ำของโปรตีนมีค่าลดลง ในขณะที่ปริมาณ Hydrophobicity protein มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับการสกัดโปรตีนที่ค่า pH เท่ากับ 10.5 และ 11.0 แม้ว่าความสามารถในการละลายของโปรตีนจะลดลง แต่พบว่าค่าผลผลิตจากการสกัดโปรตีนมีค่าสูงขึ้นที่สภาวะที่มี pH สูง เมื่อพิจารณาความสามารถในการเกิดอิมัลชันพบว่ามีความมากที่สุดที่สภาวะ pH 11.0 และผลการวิเคราะห์การขยายตัวของโฟมของ myofibrillar protein มีค่ามากที่สุดที่สภาวะการสกัด pH เท่ากับ 11.5 อย่างไรก็ตามสรุปได้ว่ากระบวนการสกัดโปรตีนจากเนื้อไก่ส่วนสะโพกด้วยต่างที่ pH 10.5 และ 11.0 มีประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนจากเนื้อไก่ส่วนสะโพกมากที่สุด

Adebowale and Lawal (2003) ศึกษาความสามารถในการละลายและการเกิดเจลของโปรตีนเข้มข้นจาก Mucua bean จากผลการทดลองพบว่าโปรตีนเข้มข้นจาก Mucua bean มีค่าการละลายต่ำสุดที่ pH 4-5 เนื่องจากช่วง pI ของ Mucua bean อยู่ที่ค่า pH ประมาณ 4-5 ทำให้ประจุสุทธิรวมมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ และสามารถเกิดอันตรกิริยากับน้ำได้น้อยลง ในขณะที่เมื่อทดสอบ

ความสามารถในการเกิดเจลพบว่าโปรตีนเข้มข้นจาก Mucua bean สามารถเกิดเจลได้ที่ความเข้มข้นของโปรตีน 12% ขึ้นไป

Wang, Zhou, Wang, Li, Xu and Chen (2019) ศึกษาความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนที่สกัดจากอกไก่ เมื่อเติม CaCl_2 และผ่านกระบวนการใช้แรงดันสูง โดยการแปรระดับ CaCl_2 ที่ 20, 60, 100 mM และผ่านกระบวนการแรงดันสูง 200 MPa เป็นเวลา 10 นาที จากผลการทดลองพบว่ากระบวนการใช้ CaCl_2 ที่ระดับ 20 mM และผ่านกระบวนการแรงดันสูง 200 MPa เป็นเวลา 10 นาที ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนสกัดจากอกไก่สูงขึ้น เนื่องจากเกิดการเสริมสร้างพันธะไฮโดรเจนและพันธะไดซัลไฟด์ระหว่าง Myofibrillar protein ส่งผลให้โครงสร้างเกลียวแอลฟา (alpha-helix) คลายตัวและเกิดการสร้างโครงร่างแห อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ CaCl_2 ที่ระดับมากกว่า 60 mM และผ่านกระบวนการแรงดันสูงส่งผลให้เกิดการเหนียวนำพันธะไฮโดรเจนน้อยลงและอาจส่งผลต่อการสร้างโครงร่างแหเกิดเป็นโพรงขนาดใหญ่

จากข้อมูลพบว่าโปรตีนเข้มข้นมีความสามารถในการละลายซึ่งเป็นความสามารถพื้นฐานที่สำคัญและเป็นสมบัติที่ส่งผลกับสมบัติเชิงหน้าที่ในด้านอื่น มีความสามารถในการอุ้มน้ำ สมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์และความสามารถในการเกิดเจล การนำมาผ่านกระบวนการสกัดเพื่อแยกโปรตีนด้วยสารละลายต่างเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากสามารถเตรียมโปรตีนเข้มข้นได้ และช่วยเพิ่มความหลากหลายในการนำไปใช้งานและใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร

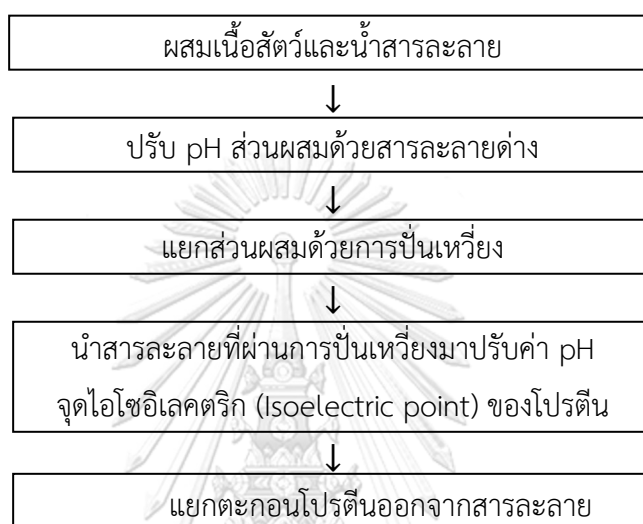
2.5 กระบวนการสกัดโปรตีน (Protein extraction)

กระบวนการสกัดโปรตีนมีหลายวิธี เช่น การสกัดด้วยตัวทำละลายต่างๆ การสกัดด้วยวิธีทางกายภาพ และการสกัดด้วยเอนไซม์หรือการใช้กระบวนการข้างต้นร่วมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีน การสกัดโปรตีนโดยใช้สารละลายและภาวะการสกัดที่ต่างกัน มีผลต่อปริมาณผลผลิตของโปรตีนที่ได้ เนื่องจากโดยทั่วไปโปรตีนละลายได้ดีในสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกัน การใช้สภาวะการสกัดที่ไม่เหมาะสมอาจจะทำให้สามารถสกัดโปรตีนได้ปริมาณผลผลิตน้อย และอาจสูญเสียสมบัติการใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆได้

2.5.1 กระบวนการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่าง

หลักการของกระบวนการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่าง คือ กระบวนการปรับเปลี่ยนค่า pH (pH-shift process) โดยการละลายโปรตีนเนื้อไก่ด้วยสารละลายต่าง ภายใต้อุณหภูมิต่ำ เพื่อแยกโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ (Myofibrillar proteins) และ โปรตีนซาร์โคพลาสมิค (Sarcoplasmic proteins) ออกมาในสารละลายที่มีการปรับสภาวะเป็นด่าง และปรับค่า pH มาที่จุดไอโซอิเล็กตริก (Isoelectric point) ของโปรตีนเนื้อสัตว์ จากนั้นจึงทำการแยกตะกอนโปรตีนออกจาก

สารละลายดังภาพที่ 2.2 กระบวนการ pH shift สามารถใช้ได้กับการสกัดโปรตีนจากวัสดุเหลือทิ้ง เช่น โคร่งไก่ หัวปลา เครื่องใน และโปรตีนกล้ามเนื้อจากเนื้อสัตว์อื่นๆ เช่น หมู ไก่ วัว ปลาหมึก เป็นต้น หากต้องการเก็บรักษาด้วยการแช่เยือกแข็ง สามารถทำได้โดยการนำไปผสมกับสารป้องกันการเสียหายของโปรตีนภายใต้สภาวะแช่เยือกแข็ง เช่น น้ำตาลทราย ซอร์บิทอล และสารประกอบกลุ่มฟอสเฟต เป็นต้น (Hultin & Kelleher, 2000)



ภาพที่ 2.2 กระบวนการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่าง

Omana, Xu, Moayed and Betti (2010) ศึกษาการสกัดโปรตีนจากเนื้อไก่ส่วนสะโพกด้วยต่าง เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบ โดยสกัดโปรตีนภายใต้สภาวะ pH ที่แตกต่างกัน 4 ระดับคือ 10.5, 11.0, 11.5 และ 12.0 พบว่าสมบัติด้านการละลายน้ำของโปรตีนลดลงและปริมาณ Hydrophobicity ของ protein เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อสกัดภายใต้สภาวะที่มี pH สูง ค่า pH เท่ากับ 11.5 และ 12.0 เมื่อเทียบกับค่า pH ที่ 10.5 และ 11.0 แม้ว่าความสามารถในการละลายของโปรตีนจะลดลง แต่พบว่าค่าผลผลิตจากการสกัดโปรตีนมีค่าสูงขึ้นที่สภาวะที่มี pH สูง ความสามารถในการเกิดอิมัลชันมีค่ามากที่สุดที่สภาวะ pH 11.0 และผลการวิเคราะห์การขยายตัวของโฟมของ myofibrillar protein มีค่ามากที่สุดที่สภาวะ pH 11.5

Hrynets, Omana, Xu and Betti (2011) ศึกษาสมบัติทางเคมีของโปรตีนไอโซเลทจากเนื้อไก่ที่ได้จากการแยกกระดูกด้วยเครื่อง (MSTM) โดยกระบวนการปรับ pH โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการสกัดโปรตีนจาก MSTM และศึกษาผลของการปรับค่า pH ต่อสมบัติทางเคมี โดยทดลองภายใต้สภาวะ pH ที่แตกต่างกัน 4 ระดับคือ 2.5, 3.5, 10.5 และ 11.5 พบว่าค่าผลผลิตโปรตีน (Protein yield) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่การทดลองภายใต้สภาวะ pH 2.5, 10.5 และ 11.5 ในขณะที่การสกัดโปรตีนภายใต้สภาวะ pH

เท่ากับ 3.5 ส่งผลให้ค่าผลผลิตโปรตีนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการศึกษาภาวะการสกัดโปรตีนที่ pH แตกต่างกันพบว่า การตกตะกอนโปรตีนที่ภาวะ pH 10.5 ได้ค่าผลผลิตปริมาณโปรตีนสูงที่สุดและที่ภาวะ pH 2.5 ได้ค่าต่ำที่สุด

Widyasari and Rawdkuen (2017) ศึกษาการสกัดเจลาตินจากตีนไก่ด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 2 วิธีคือสารละลายกรดที่สภาวะ acetic acid 0.2% (v/v) ระยะเวลา 40 นาทีและ ultrasound สภาวะ 300 W ระยะเวลา 100 นาที โดยวิเคราะห์สมบัติในด้านต่างๆ เช่น ประสิทธิภาพในการผลิต ค่าพีเอช ค่าสี ค่าองค์ประกอบทางเคมี (ความชื้น, โปรตีน, ไขมัน และเถ้า) ค่า Fourier Transform Infrared (FTIR) ค่าแรงกดสูงสุด และค่ารูปแบบโปรตีนของเจลาตินด้วยวิธี gel electrophoresis และเปรียบเทียบกับค่าสีเจลาตินทางการค้าในรูปแบบผงและเจลาตินจากการทดลองพบว่ากระบวนการสกัดเจลาตินจากตีนไก่ด้วยสารละลายกรดมีประสิทธิภาพในการผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 4.05% (wet weight) หรือ 12.64% (dry weight) อีกทั้งกระบวนการสกัดเจลาตินด้วยสารละลายกรดได้ปริมาณโปรตีนสูงกว่า ($90.06 \pm 1.43\%$) เทียบกับกระบวนการ ultrasound ($88.35 \pm 2.10\%$) ในขณะที่กระบวนการสกัดด้วย ultrasound มีปริมาณความชื้นต่ำกว่า ($5.40 \pm 2.44\%$) เทียบกับการใช้สารละลายกรด ($6.73 \pm 2.44\%$) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าเจลาตินที่สกัดจากตีนไก่ด้วยสารละลายกรด, ultrasound และเจลาตินทางการค้าในรูปแบบผงและเจลาติน มีค่าองค์ประกอบทางเคมี (ความชื้น, โปรตีน, ไขมัน และเถ้า) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) การสกัดเจลาตินจากตีนไก่ด้วยสารละลายกรด และ ultrasound ส่งผลให้ได้เจลาตินที่ได้มีค่า pH ระหว่าง 6.13-6.49 ในขณะที่เจลาตินทางการค้ามีค่า pH เท่ากับ 5.03

2.5.2 ปัจจัยที่สำคัญต่อกระบวนการสกัดโปรตีน

2.5.2.1 ค่าความเป็นกรดต่าง และอัตราส่วนต่อสารละลายที่ใช้

กระบวนการการสกัดโปรตีนและการละลายของโปรตีนแต่ละชนิดจะขึ้นกับค่า pH ของสารละลาย เนื่องจาก pH มีผลต่อประจุสุทธิของโปรตีนและมีผลต่อการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนและโปรตีน และโปรตีนและน้ำ โปรตีนจะเกิดการตกตะกอนเมื่อปรับค่า pH ของโปรตีนให้เข้าใกล้หรือเท่ากับค่า pI โดยโมเลกุลโปรตีนเข้าใกล้กันได้มากขึ้นและรวมตัวกันเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่เกิดการตกตะกอนในที่สุด เช่น โปรตีนโมโอซินมีค่า isoelectric point เท่ากับ 5.5 ที่ค่า pH 5.5 จะเกิดพันธะระหว่างโปรตีนกับน้ำน้อย และเกิดพันธะระหว่างโปรตีนกับโปรตีนมาก ส่งผลให้โปรตีนเกิดการตกตะกอน (Cercel et al., 2015) ในขณะที่หากโปรตีนมีประจุเป็นบวกหรือลบจะส่งผลให้ปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนกับโปรตีนเกิดน้อย เนื่องจากมีแรงผลักทางประจุไฟฟ้า (electrostatic repulsive) แต่จะเกิดปฏิสัมพันธ์กับน้ำได้มาก

Ferreira, Flávia, Jane, Edwin, Luis, Fabiola and Rita (2007) ศึกษาผลของ pH และความเข้มข้นของเกลือที่มีต่อความสามารถในการละลายและความหนาแน่นโปรตีนของไข่ขาว โดยศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่แตกต่างกัน 5 ระดับคือ 3.0, 4.6, 6.0, 8.0 และ 9.0 และความเข้มข้นของเกลือที่แตกต่างกัน 5 ระดับคือ 0.05, 0.1, 0.2, 0.35 และ 0.5 mol/l และชนิดเกลือที่แตกต่างกัน 3 ชนิดคือ NaCl, Na₂SO₄ และ (NH₄)₂SO₄ ที่ภาวะอุณหภูมิห้อง จากผลการศึกษาพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ความเข้มข้นและชนิดของเกลือมีผลต่อความสามารถในการละลายของโปรตีนไข่ขาว ความสามารถในการละลายของโปรตีนเพิ่มขึ้นตามค่า pH ที่เพิ่มขึ้น โดยมีความสามารถในการละลายที่สูงขึ้นที่ pH 8.0 และ 9.0 และมีความสามารถในการละลายที่ต่ำลงที่ pH 4.6 เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นเกลือที่ pH 3.0 พบว่าความหนาแน่นของโปรตีนไข่ขาวมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเกลือ Na₂SO₄ และ (NH₄)₂SO₄ เพิ่มขึ้น

2.5.2.2 ความแรงไอออนของสารละลายสกัด

เนื่องจากหมู่ที่มีประจุของโปรตีนทำปฏิกิริยากับไอออนของเกลือ ทำให้การละลายเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่ง แต่เมื่อความเข้มข้นของเกลือเพิ่มขึ้นจะทำให้การละลายของโปรตีนเริ่มลดลง โปรตีนจะสามารถละลายได้ที่ความเข้มข้นไอออน 0.3-0.6 โมลาร์ (Cercel et al., 2015)

Nahar, Zakaria, Hashim and Bari (2017) ศึกษาผลของ pH และความเข้มข้นของเกลือที่มีต่อความสามารถในการละลายโปรตีนของเนื้อไก่ โดยศึกษาเกลือ 3 ชนิด (NaCl, Na₂SO₄ และ (NH₄)₂SO₄) ที่ระดับ pH ที่แตกต่างกัน 5 ระดับ (5.0, 6.0, 7.0, 8.0 และ 9.0) และความเข้มข้นของเกลือ 5 ชนิด (0.4, 0.8, 1.2, 1.6 และ 2.0 M) พบว่าความสามารถในการละลายของโปรตีนเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของเกลือเพิ่มขึ้น โดยโปรตีนมีความสามารถในการละลายสูงที่สุดที่ความเข้มข้นเกลือ NaCl 1.6 M ความเข้มข้นเกลือ Na₂SO₄ และ (NH₄)₂SO₄ 1.2 M นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของโปรตีนที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก pH 5.0 เป็น 8.0 และลดลงจาก pH 8.0 เป็น 9.0

2.5.2.3 เวลาที่ใช้ในการสกัด

เมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นการละลายของไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นจนสูงสุด และมีแนวโน้มคงที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิในการสกัดและค่าความเป็นกรด-ด่าง ขนาดโครงไก่ เป็นต้น Batista (1999) ศึกษาการสกัดโปรตีนจากเนื้อปลา Hake และ monkfish ด้วย alkaline method พบว่าระยะเวลาในการสกัดมีผลต่อปริมาณโปรตีนสกัดที่ได้ โดยเมื่อสกัดโปรตีนที่ pH 12 อัตราส่วนเนื้อปลาต่อสารละลายสกัด 1:10 อุณหภูมิ 22-23 องศา

เซลเซียส พบว่าปริมาณร้อยละโปรตีนสกัดที่ได้เพิ่มขึ้นประมาณ 3% เมื่อระยะเวลาการสกัดเพิ่มขึ้น จาก 60 นาทีเป็น 120 นาที

2.5.2.4 อุณหภูมิ

โดยทั่วไปการละลายของโปรตีนจะเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 0 ถึง 40 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 40 หรือ 50 องศาเซลเซียส โปรตีนจะเกิดการแปลงสภาพ หรือเสียสภาพ ส่งผลให้สมบัติการละลายลดลง จากผลการศึกษาพบว่า hydrogen bonding, Van der Waal จะมีแรงยึดเหนี่ยวอ่อนตัวลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

Kumoro, Sofiah, Aini, Retnowati and Budiyati (2010) ศึกษาผลของอุณหภูมิและขนาดอนุภาคต่อกระบวนการสกัดโปรตีนที่ละลายน้ำได้ด้วยสารละลายต่างจากผงกระดูกไก่ (Chicken bone waste) โดยสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่างที่ภาวะ pH เท่ากับ 10.5 เวลาในการสกัด 1 ชั่วโมง และใช้สัดส่วนของผงกระดูกไก่ต่อน้ำเท่ากับ 1:4 w/v ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 100 rpm โดยแปรค่าอุณหภูมิ 3 ระดับและขนาดอนุภาค 2 ระดับดังนี้ 30, 55 และ 80 องศาเซลเซียส และขนาดอนุภาค 150 และ 250 μm จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและขนาดอนุภาคส่งผลให้สามารถสกัดโปรตีนได้มากขึ้น ที่ภาวะอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และขนาดอนุภาค 250 μm สามารถสกัดโปรตีนได้มากที่สุด เท่ากับ 630.99 mg/L

2.5.2.5 อัตราส่วนโครงไก่ต่อสารละลายสกัด

การสกัดโปรตีนดีขึ้น เมื่อใช้อัตราส่วนตัวอย่างต่อสารละลายสกัดในปริมาณน้อย เนื่องจากตัวอย่างสามารถสัมผัสสารละลายได้ทั่วถึงเพิ่มขึ้น แต่การใช้อัตราส่วนปริมาตรสารละลายสูงจะทำให้โปรตีนที่สกัดได้มีความเจือจางเนื่องจากมีปริมาณการละลายปนอยู่กับโปรตีนที่สกัดได้ โดยสัดส่วนของของแข็งต่อสารละลายขึ้นอยู่กับจุดประสงค์การนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปใช้งานต่อ (Jafari et al., 2020)

2.5.2.6 ขนาดชิ้นส่วนของวัตถุดิบ

ในการกระบวนการสกัดโปรตีน ขนาดชิ้นส่วนส่งผลต่อพื้นที่ผิวสัมผัสกับสารสกัด เนื่องจากการลดขนาดชิ้นส่วนส่งผลให้พื้นที่สัมผัสกับสารสกัดเพิ่มขึ้น

Russin, Arcand and Boye (2007) ศึกษาผลของขนาดอนุภาคต่อกระบวนการสกัดโปรตีนไอโซเลตจากแป้งถั่วเหลือง โดยศึกษาขนาดอนุภาคของ defatted soy flour ที่แตกต่างกัน 3 ขนาดคือ 89.5 ± 1.1 , 184.2 ± 1.6 และ 223.4 ± 6.4 mm พบว่าเมื่อใช้ขนาดอนุภาคเล็กส่งผลให้ได้ %protein recovery เพิ่มขึ้น โดยเมื่อลดขนาดอนุภาคจาก 223.4 ± 6.4

mm เป็น 89.5 ± 1.1 ส่งผลให้ %protein recovery เพิ่มขึ้นจาก 40% เป็น 52% ในขณะที่ % total solids recovery เพิ่มขึ้นจาก 23% เป็น 32% เมื่อพิจารณาปริมาณร้อยละโปรตีนของโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลตพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้ขนาดอนุภาคในกระบวนการสกัดที่แตกต่างกัน ($P=0.00008$)

Nguyen and Le (2019) ศึกษาผลของสัดส่วนวัตถุดิบต่อสารละลาย ultrasonic power ค่าความเป็นกรดต่าง อุณหภูมิ และเวลาต่อปริมาณร้อยละ protein yield ของการสกัดโปรตีนจากเมล็ดถั่วลันเตา จากผลการทดลองพบว่าการลดขนาดของวัตถุดิบจาก $151 \mu\text{m}$ เป็น $124 \mu\text{m}$ ส่งผลให้ปริมาณร้อยละ protein yield เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 19 ที่ภาวะการทดลองด้วยสัดส่วนของวัตถุดิบและสารละลาย 1:20 (w/v) ultrasonic power 30 W/g sample ค่าความเป็นกรดต่าง 6.8 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการสกัด 15 นาที ส่งผลให้ได้ปริมาณร้อยละ protein yield สูงที่สุดเท่ากับ $87.7 \pm 0.7\%$

2.5.2.7 ความแรงในการปั่นเหวี่ยง

กระบวนการที่อาศัยแรงหมุนเหวี่ยงในการทำให้อนุภาคของโปรตีนหรืออนุภาคสิ่งเจือปนอื่นๆ หลุดออกจากกัน โดยอาศัยหลักการเร่งให้อนุภาคตกตะกอนเร็วขึ้น ภายใต้สนามของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แรงนอนกันของอนุภาคจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงหนีศูนย์กลาง ทำให้อนุภาคนอนกันด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน ภายใต้สนามแรงหนีศูนย์กลางอนุภาคจะตกตะกอนด้วยอัตราเร็วที่ไม่เท่ากัน

Kain and Chen (2010) ศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ (อุณหภูมิ อัตราส่วนตัวอย่างต่อสารละลาย เวลาในการสกัด ผลของขั้นตอนการสกัดที่ต่อเนื่องกันและความแรงในการปั่นเหวี่ยง) ต่อการสกัดโปรตีนจากกากถั่วลิสง โดยพิจารณาตัวแปรทั้งหมด 5 ตัวแปรคือ อุณหภูมิ อัตราส่วนตัวอย่างต่อสารละลาย เวลาในการสกัด ผลของขั้นตอนการสกัดที่ต่อเนื่องกัน และความแรงในการปั่นเหวี่ยง พบว่าร้อยละประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นลดลงจาก 17.60% เป็น 15.00% เมื่ออุณหภูมิในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 40 เป็น 60 องศาเซลเซียส ในขณะที่เมื่อลดอัตราส่วนตัวอย่างต่อสารละลายและใช้ความแรงในการปั่นเหวี่ยงเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณร้อยละโปรตีนที่ได้เพิ่มขึ้น โดยแรงปั่นเหวี่ยงที่เหมาะสมที่สุดคือที่ 4000 rpm

2.5.3 การศึกษาภาวะการสกัดโปรตีนด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง

การศึกษาภาวะการสกัดโปรตีนด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง หรือที่เรียกว่า Response Surface Methodology เป็นวิธีการที่ใช้การประยุกต์เครื่องมือทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการหาภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการศึกษาหลายตัวแปรร่วมกัน โดยการออกแบบการทดลองที่มี

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาและตัวแปรตอบสนอง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติ ในรูปแบบการออกแบบพื้นที่การตอบสนอง จากนั้นกำหนดเกณฑ์ของตัวแปรที่ต้องการเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมที่สุด (Khuri,2017) การออกแบบการทดลองด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนองสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น The 2^k factorial design, The plackett-burman design, The 3^k factorial design, The central composite design, The box-behnken design และ The san cristobal design เป็นต้น โดยการออกแบบการทดลองแบบ central composite design เป็นหนึ่งในวิธีการที่ได้รับความนิยมในการหาภาวะการสกัดที่เหมาะสม

Rafieian, Keramat and Kadivar (2013) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาตินจาก chicken deboner residue ด้วยการใช้วิธีพื้นผิวตอบสนองและออกแบบการทดลองแบบ Central composite design โดยศึกษา 3 ตัวแปรคือ ความเข้มข้นของ HCl (1.64, 3, 5, 7 และ 8.36% w/v) อุณหภูมิในการสกัด (53.18, 53.2, 60, 70, 80 และ 86.80°C) และเวลาที่ใช้ในการสกัด (1.95, 4, 7, 10 และ 12.05 ชั่วโมง) และติดตามผลตอบสนองทั้งหมด 4 ผลตอบสนองคือ ประสิทธิภาพในกระบวนการสกัด ค่า Strength of Gelatin ค่าความหนืด และค่าสีด้านความสว่าง พบว่าภาวะความเข้มข้น HCl 6.73% w/v อุณหภูมิในการสกัด 86.8 °C เป็นเวลา 1.95 ชั่วโมง เป็นภาวะการสกัดที่เหมาะสมในการผลิตเจลาตินจาก chicken deboner residue ให้มีค่าประสิทธิภาพในกระบวนการสกัด ค่า G-f ค่าความหนืด และค่าสีด้านความสว่างสูงที่สุด โดยจากการตรวจสอบการใช้งานได้ของสมการพบว่าค่าประสิทธิภาพในกระบวนการสกัด ค่า G-f ค่าความหนืด และค่าสีด้านความสว่างที่ได้จากการทำนายจากสมการมีค่าใกล้เคียงกับค่าจากการทำการทดลองจริง โดยมีค่าแตกต่างกันระหว่าง 1.14-18.02%

Parés, Toldra, Camps, Geli, Saguer and Carretero (2020) ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนสกัดจากหัวใจหมู ด้วยการใช้วิธีพื้นผิวตอบสนองและออกแบบการทดลองแบบ Central composite design โดยศึกษา 2 ตัวแปรคือ ค่า pH (4.3, 5.0, 6.5, 8.0 และ 8.6) และค่า ionic strength (0%, 0.58%, 2%, 3.42% และ 4%) และติดตามผลตอบสนองในด้านสมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนที่สกัดได้ จากผลการทดลองพบว่าภาวะการสกัดที่เป็นกรด (pH < 5) และค่าความเข้มข้นเกลือสูง (2-4%) เป็นภาวะการสกัดที่เหมาะสมในการผลิตโปรตีนที่มีสมบัติการเกิดโฟมดีที่สุดในขณะที่ภาวะการสกัดที่ pH มากกว่า 5 และค่าความเข้มข้นเกลือต่ำเท่ากับ 0.58% เป็นภาวะการสกัดที่เหมาะสมในการผลิตโปรตีนที่มีสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ดีที่สุดในเมื่อพิจารณาการสกัดในช่วง pH 6.5-8.0 และค่าความเข้มข้นเกลือสูง (2-4%) พบว่าโปรตีนเข้มข้นที่ได้มีสมบัติด้านการเกิดเจลดีที่สุดใน

Erge and Zorba (2018) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาตินจาก mechanically deboned meat ด้วยสารละลายต่างด้วยการใช้วิธีพื้นผิวตอบสนองและออกแบบ การทดลองแบบ Central composite design โดยศึกษา 3 ตัวแปรคือความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (2.9–3.4g/100 ml) อุณหภูมิในการสกัด (76-82 °C) และเวลาที่ใช้ในการสกัด (105-183 นาที) ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติด้าน rheological พบว่าอุณหภูมิและเวลา ในการสกัดเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อร้อยละประสิทธิภาพในการผลิต ในขณะที่เดียวกันความ เข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และเวลาที่ใช้ในการสกัดเป็นปัจจัยสำคัญต่อค่า gel strength จากการทดลองพบว่าที่ภาวะความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3 g/100 ml อุณหภูมิ 82 °C และเวลาในการสกัด 150 นาที เป็นภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสกัดเจลาตินจาก mechanically deboned meat เพื่อให้ gelatin yield สูงที่สุด

2.6 การปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนเข้มข้น

กระบวนการปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจะช่วยเพิ่มความหลากหลายในการนำ โปรตีนไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยการนำไปทดแทนวัตถุดิบบางชนิดในสูตรอาหาร เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร อีกทั้งเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและปรับปรุงคุณลักษณะของอาหาร ด้วยการอาศัยสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนเข้มข้นในด้านต่างๆ เช่น ความสามารถในการเกิดเจล การ ละลาย การเกิดโฟม ความสามารถในการอุ้มน้ำ การปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนเข้มข้น สามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการปรับปรุงทางกายภาพด้วยความร้อน วิธีการปรับปรุงโดยไม่ใช้ ความร้อน เช่น วิธีทางกลด้วยความดัน

Kongpun (1999) ศึกษาสมบัติการเกิดเจลของปลา *Saurida undosquamis* และปลา *Oreochromis niloticus* ที่ผ่านการล้างน้ำเกลือร้อยละ 0.3 และเตรียมเจล โดยการเติมเกลือร้อยละ 3 เปรียบเทียบกับเนื้อปลาสดที่ไม่ผ่านการล้างน้ำ พบว่า การล้างเนื้อปลาสดทั้งสองชนิดช่วยให้เจลมีความ แข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยจากการศึกษาการให้ความร้อนพบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศา เซลเซียส ระยะเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10 นาที ส่งผลให้เจลมีค่าความแข็งแรงสูงที่สุด

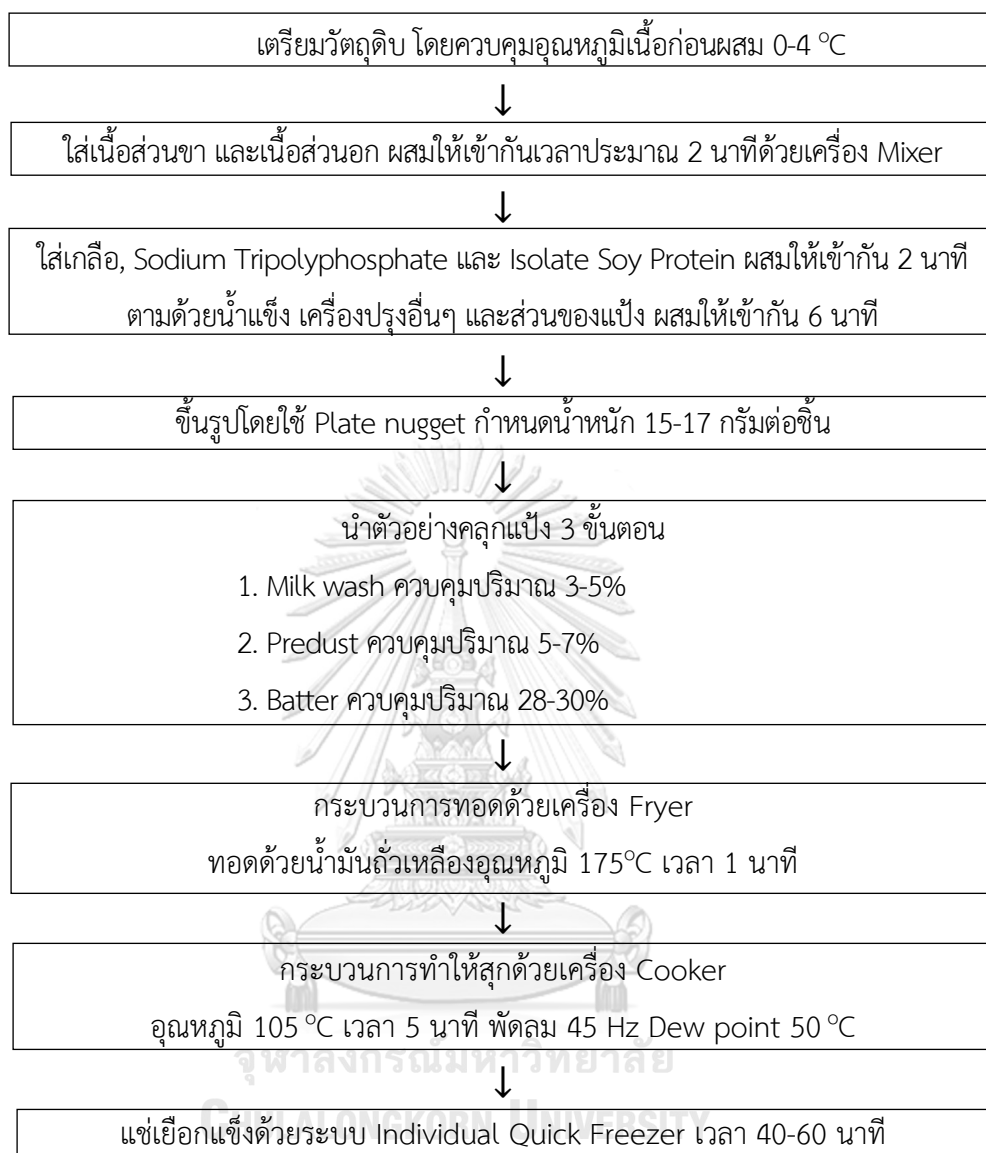
Sung, Chen, Liu and Su (2006) ศึกษาการปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนถั่วเหลือง ไอโซเลต โดยวิธี Chemical Phosphorylation ด้วย sodium trimetaphosphate 7.5% และ ควบคุมให้เกิดปฏิกิริยา phosphorylation ที่สภาวะ pH 11.5 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าผลิตภัณฑ์โปรตีนที่ได้มีสมบัติในการละลายน้ำได้ดีขึ้นในช่วงสภาวะที่เป็น กรดระหว่าง 3.7-4.5 รวมถึงมีสมบัติในการจับกับน้ำ การเกิดอิมัลชัน และการเกิดฟองดีขึ้น นอกจากนี้

ยังพบว่าโปรตีนถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการ phosphorylation สามารถป้องกันไลซีนไม่ให้เปลี่ยนเป็น lysinoalanine ในสถานะต่าง

Schroeder (2013) ศึกษาผลของเวลาในการ vacuum tumbling การลดปริมาณเกลือ และการเติมฟอสเฟตต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์เนื้ออกไก่วง จากผลการทดลองพบว่า การลดปริมาณความเข้มข้นของเกลือที่ 1% ส่งผลให้การยอมรับด้านเนื้อสัมผัสลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับ การเติมเกลือที่ 1.5% และ 2.0% การเพิ่มเวลาในการ tumbling จาก 1 ชั่วโมงเป็น 3 ชั่วโมงไม่ส่งผลให้ตัวอย่างมีค่า Cook yield, Sliceability, Fold Test และลักษณะทางเนื้อสัมผัสแตกต่างจากสูตรควบคุมที่เติมเกลือ 2.0% น้ำตาล 1.0% และฟอสเฟส 0.35% ของน้ำหนักเนื้อเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ในขณะที่การเติมฟอสเฟตที่ปริมาณ 0.35% ช่วยปรับปรุงลักษณะทางเนื้อสัมผัสของเนื้ออกไก่วงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเติมฟอสเฟตที่ปริมาณ 0.35% ส่งผลให้เนื้อสัมผัสในด้าน cohesiveness, springiness และ chewiness เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้เติมฟอสเฟส เนื่องจากฟอสเฟตช่วยเพิ่ม cooking yield และ tensile strength

2.7 ผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่

ผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ผลิตจากการนำเนื้อสัตว์มาสับเป็นชิ้นเล็กแล้วนำผสมกับส่วนผสมต่างๆ จากนั้นนำมาชุบแป้ง ผ่านกระบวนการทอด การทำให้สุกและเก็บรักษาโดยการแช่เยือกแข็ง เพื่อถนอมอาหารให้สามารถเก็บไว้ได้นานขึ้น นักเก็ตไก่เป็นผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ปรุงสุกกลุ่มอิมัลชันประกอบด้วยองค์ประกอบหลักคือ โปรตีนจากกล้ามเนื้อสัตว์ ไขมัน เกลือ น้ำและเครื่องปรุงอื่นๆ โดยมีโปรตีนจากเนื้อสัตว์ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์จากธรรมชาติในการสร้างระบบอิมัลชันที่เสถียร โปรตีนแอคตินและไมโอซินในเนื้อสัตว์ที่ละลายได้ในน้ำเกลือจะละลายออกจากเนื้อเยื่อในปริมาณมากพอจะหุ้มอนุภาคไขมัน ซึ่งกระจายตัวอยู่ในส่วนผสม เมื่อนำส่วนผสมไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนระหว่างการทำให้สุกจะทำให้เกิดการสร้างโครงร่างเจลของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ที่เสถียรและมีอนุภาคของไขมันกระจายอยู่ภายในโครงสร้าง ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความเสถียรของระบบอิมัลชันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ขนาดของโมเลกุลโปรตีนและไขมัน ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้และกระบวนการสับผสม ซึ่งส่งผลต่อผลิตภัณฑ์สุดท้ายและค่าประสิทธิภาพในการผลิต (Devatkal et al., 2014) การผลิตนักเก็ตไก่ของบริษัท บี. ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด มีกระบวนการดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 กระบวนการผลิตนั้กเก็ตไก่

Perlo, Bonato, Teira, Fabre, and Kueider (2006) ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ และ สมบัติด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์นั้กเก็ตไก่เสริมด้วย washed mechanically deboned chicken meat (WM) ที่ระดับการแทนที่ที่แตกต่างกัน 4 ระดับคือ 10% 20% 30% และ 40% พบว่าเมื่อแทนที่ WM ที่ระดับ 20% ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนหยาบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และเมื่อแทนที่ WM ที่ระดับ 40% ส่งผลให้ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่ ค่าสี $L^* a^* b^*$ ของสูตรผสม WM ที่อัตราส่วนต่างๆ แตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ดี เมื่อพิจารณาค่า ΔE ซึ่งบอกความแตกต่างของสีเมื่อเทียบกับสูตรควบคุมพบว่า

ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า คะแนนการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าสามารถแทนที่ hand deboned skinless chicken breasts ด้วย washed mechanically deboned chicken meat (WM) ในผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ที่ระดับการแทนที่ 40% ได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อความแตกต่างด้านประสาทสัมผัส แต่ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางเคมีเล็กน้อย

Chinprahast, Kuakpetoon and Aunarat (1997) ศึกษาการใช้ประโยชน์จากเนื้อไก่แยกกระดูกด้วยเครื่อง (Mechanically deboned chicken meat) ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ จากผลการทดลองพบว่าการใช้ Mechanically deboned chicken meat ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มมากขึ้น จากการวัดค่าทางเนื้อสัมผัสพบว่าค่า firmness และ adhesiveness ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าสัดส่วนเนื้ออกไก่ต่อเนื้อไก่แยกกระดูกด้วยเครื่องที่อัตราส่วน 60 : 40 ได้รับความชอบมากที่สุด

Verma, Banerjee and Banerjee (2013) ศึกษาผลของการทดแทนเกลือและเติมแป้ง pea hull ที่ระดับ 8%, 10% และ 12% ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่พบว่าการลดปริมาณเกลือจาก 2.0% เป็น 1.2% ส่งผลต่อให้เกิดอิมัลชัน ค่า pH ของผลิตภัณฑ์ ค่า emulsion stability ค่า cooking yield และปริมาณเถ้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์สูตรควบคุม จากการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส พบว่าผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ที่ลดปริมาณเกลือ ได้รับความชอบด้านลักษณะปรากฏ รสชาติ เนื้อสัมผัส ความเค็ม ความชุ่มน้ำ และความชอบไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม ($p \geq 0.05$) ในขณะที่การเติมแป้ง pea hull ที่ระดับ 8%, 10% และ 12% ส่งผลให้ปริมาณความชื้นและปริมาณโปรตีนของผลิตภัณฑ์นักเก็ตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จากการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส พบว่าผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ที่เติมแป้ง pea hull ที่ระดับ 8%, 10% และ 12% ได้รับความชอบด้านลักษณะปรากฏ รสชาติ เนื้อสัมผัส ความชุ่มน้ำ และความชอบแตกต่างจากสูตรควบคุม ($p < 0.05$) โดยมีแนวโน้มของความชอบลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณแป้ง pea hull เนื่องจากการเติมแป้ง pea hull ทำให้รสชาติเนื้อของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ลดลง จากผลการทดสอบจากประสาทสัมผัสพบว่าสูตรที่เหมาะสมที่สุดคือการลดปริมาณเกลือจาก 2.0% เป็น 1.2% และเติมแป้ง pea hull 8% เพื่อเป็นแหล่งไฟเบอร์และทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณไขมันลดลง เนื่องจากไม่มีผลกระทบต่อลักษณะทางกายและเคมี

Nath, Kumar, Praveen and Ganguly (2016) ศึกษาผลของการแทนที่เนื้อสัตว์และไขมันด้วย โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นและน้ำมันมะกอกต่อคุณลักษณะทางกายและเคมี เนื้อสัมผัสและจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ จากผลการทดลองพบว่า การเพิ่มโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น 35%

และน้ำมันมะกอก 5% ในผลิตภัณฑ์นั้กเก็ตไก่ ส่งผลดีต่อคุณภาพด้านเคมีกายภาพ จุลินทรีย์ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์นั้กเก็ตไก่ ตัวอย่างนั้กเก็ตไก่ที่เติมโปรตีนจากถั่วเหลือง 35% และน้ำมันมะกอก 5% มีปริมาณไขมันและค่าการสูญเสียระหว่างกระบวนการทำให้สุกน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าตัวอย่างนั้กเก็ตไก่ที่เติมโปรตีนจากถั่วเหลือง 35% และน้ำมันมะกอก 5% มีคะแนนทางประสาทสัมผัสในด้านรสชาติ Juiciness เนื้อสัมผัสและคะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) นั้กเก็ตไก่ที่เติมโปรตีนจากถั่วเหลือง 35% และน้ำมันมะกอก 5% สามารถเก็บที่อุณหภูมิ $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ระยะเวลา 10 วันและที่อุณหภูมิ $-18 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ระยะเวลา 60 วัน

Yeater, Casco, Miller and Alvarado (2017) ศึกษาผลของการเติมโปรตีนจากพืชที่อัตราส่วนแตกต่างกัน (10%, 20%, 30% และ 40%) ในผลิตภัณฑ์นั้กเก็ตไก่ เพื่อวิเคราะห์ผลประสิทธิภาพในการผลิตในกระบวนการต่างๆ เช่น batter breader pickup (%), par fry yield (%), cook loss (%) ค่าสี การทดสอบเนื้อสัมผัสและผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ออกแบบการทดลองแบบ Randomized complete block design จากผลการทดลองพบว่าการเติมโปรตีนจากพืชที่ระดับต่างๆ (10%, 20%, 30% และ 40%) ไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในด้านประสิทธิภาพในการผลิต (pickup, par-fry pickup และ cook loss) สี และเนื้อสัมผัส ($p \geq 0.05$) จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าผู้ทดสอบรู้สึกถึงกลิ่นของถั่วมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเติมโปรตีนจากพืชที่ระดับ 30% และ 40% ($p < 0.05$) จึงควรทำการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์นั้กเก็ตไก่ของผู้บริโภคต่อไปเมื่อเติมโปรตีนจากพืชที่ระดับ 30% และ 40%

บทที่ 3

อุปกรณ์ ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบ สารเคมี เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

3.1.1 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

โครงไก่ตัดบั่นท่าย เนื้อไก่ส่วนอก และเนื้อไก่ส่วนขา	สนับสนุนจากบริษัท บี. ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด จังหวัด ลพบุรี ประเทศไทย บรรจุลงในถุงพลาสติก High-Density Polyethylene (HDPE) บรรจุถุงละ 1 กิโลกรัมแล้วเก็บที่อุณหภูมิ -18 °C
โซเดียม ไตรฟอสเฟต (Sodium triphosphate)	Aditya Birla Chemicals (Thailand) Ltd., Thailand
เกลือ (Salt)	Thai Refined Salt Co.,Ltd., Thailand
ผงพริกไทยขาว (White Pepper Powder)	Penney Trading Co.,Ltd, Thailand
น้ำตาล (Sugar)	Boontanawat Sugar Trading Co., Ltd, Thailand
ผงกระเทียม (Garlic Powder)	Penney Trading Co.,Ltd, Thailand
ผงปรุงรส (Seasoning)	McCormick (Thailand) Ltd., Thailand
ไดโซเดียม ไรโบนิวคลีโอไซด์ (Disodium ribonucleotide)	Better Pharma Co.,Ltd., Thailand
โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท (Soy Protein Isolate)	Better Pharma Co.,Ltd., Thailand
แป้งข้าวสาลี (Native wheat flour)	Dia Merchandise Co.,Ltd., USA
แป้งมันสำปะหลัง (Tapioca starch)	Siam Quality Starch Co.,Ltd., Thailand
น้ำแข็ง (Ice)	สนับสนุนจากบริษัท บี. ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด จังหวัด ลพบุรี ประเทศไทย
แป้งมันสำปะหลังดัดแปร (Modified tapioca starch)	Dia Merchandise Co.,Ltd., Thailand
แป้งทอดกรอบ (Crispy flour)	McCormick (Thailand) Ltd., Thailand

Boric acid	Carlo Erba Reagenti, Italy
Bovine serum albumin	Merck, Germany
Bromocresol green	Merck, Germany
Bromophenol blue	Merck, Germany
Butanol	Fischer, UK
Copper sulfate	QReC™, New Zealand
Ethyl Alcohol	QReC™, New Zealand
Folin-Ciocalteu's phenol reagent	Sigma Aldrich, Switzerland
Hydrochloric acid	J.T. Baker, PA
Methyl red	Merck, Germany
Petroleum ether	Fischer, UK
Potassium sodium tartrate	Carlo Erba Reagenti, Italy
Sodium hydroxide	Univar, NSW, Australia
Sodium carbonate	QReC™, New Zealand
Sodium dodecyl sulfate	Loba Chemie, India
Sulfuric acid	QReC™, New Zealand

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง (Machine Instrument)

เครื่องบดเนื้อไก่รุ่น M-18-N	CUTER, China
เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดหยาบรุ่น JS3002G	Mettler Toledo, Columbus, Ohio
เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียดรุ่น Sartorius BSA 310s	Sartorius, Goettingen, Germany
เครื่องผสมเนื้อรุ่น HL 11007	Dynasty, Bangkok, Thailand
เครื่อง Refrigerated laboratory centrifuge รุ่น MPW-352R	Gibthai, Bangkok, Thailand
เครื่อง Refrigerated laboratory centrifuge รุ่น EER-5000VA	Thermo Scientific, Cambridge, UK
เครื่อง cooker รุ่น TSH 630/6000	Stork, Utrecht, Netherlands
เครื่อง Air Blast Freezer รุ่น AOFP 101	Electrolux, Bangkok, Thailand
เครื่องวัดอุณหภูมิ (Anritsu BS-Series)	Anritsu, Fukushima, Japan
เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer)	Stable Micro Systems, Surrey, UK

รุ่น TA.XT2i	
หัววัดรูปทรงกระบอก (Probe) รุ่น SMS P/75	Stable Micro Systems, Surrey, UK
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 mm	
เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียดรุ่น BSA 310s	Sartorius, Göttingen, Germany
เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (Horiba รุ่น F-21)	Horiba, Kyoto, Japan
ผ้ากรองไนลอน 100 microns และ 25 microns	T.N.absolute Co.,Ltd., Bangkok, Thailand
เครื่องทอดรุ่น TBM 400/3000 (Fryer)	Stork, Utrecht, Netherlands
เครื่องนวดเนื้อสุญญากาศ (Vacuum Tumbler)	Wastro, Switzerland
รุ่น MGH-20	
เครื่อง Vacuum jacket pot	Baan K. Angthoag International Co.,Ltd., Bangkok, Thailand
เครื่อง Pressing machine	Zboss, Bangkok, Thailand
ชุดเครื่องวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน	Buchi, Flawil, Switzerland
- เครื่องย่อยรุ่น K-424	
- เครื่องตักจับไอกรด รุ่น B-414	
- เครื่องกลั่น รุ่น K-355	
ตู้อบลมร้อนรุ่น FED400	Binder, Tuttlingen, Germany
Soxlet apparatus รุ่น EV-16	Gerhardt, Königswinter, Germany
Magnetic stirrer รุ่น C-MAG HS 7	Staufen, Köngen, Germany
Homogenizer X10/20	Ystral, Ballrechten-Dottingen, Germany
เตาเผา (Muffle furnace) รุ่น SI-234	Fisher Scientific, Hessen, Germany
Spectrophotometer รุ่น Thermo Spectronic	Fisher Scientific, Rochester, New York
เครื่อง Centrifuge รุ่น EER-5000VA	Thermo Scientific, Cambridge, UK

3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

3.2.1 ศึกษาสมบัติด้านเคมีและกายภาพของโครงไก่

นำโครงไก่ตัดบั่นท่ายแช่แข็ง มาจากบริษัท บี. ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ลพบุรี ประเทศไทย มาละลายที่อุณหภูมิห้องจนอุณหภูมิ 0-4 °C มาวิเคราะห์สัดส่วนองค์ประกอบและองค์ประกอบทางเคมีดังนี้

3.2.1.1 วิเคราะห์สัดส่วนองค์ประกอบของโครงไก่ตัดบั่นท้าย

นำโครงไก่ตัดบั่นท้ายจำนวน 50 โครงมาแยกสัดส่วน 3 ส่วน (เนื้อที่แยกจากโครงไก่ตัดบั่นท้าย ไขมัน และโครงไก่) และรายงานผลเป็นร้อยละต่อน้ำหนักโครงไก่ตัดบั่นท้าย

3.2.1.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อที่แยกจากโครงไก่ตัดบั่นท้าย

3.2.1.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC. (2019)

3.2.1.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ตามวิธี AOAC. (2019)

3.2.1.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ตามวิธี AOAC. (2019)

หมายเหตุ: ส่งตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ในข้อ 3.2.1.2.1-3.2.1.2.3 ที่ Betagro Science Center

3.2.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสกัดโปรตีนจากโครงไก่ในการเตรียมโปรตีนเข้มข้น

ศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดโปรตีนจากโครงกระดูกไก่ด้วยการใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) ด้วยวิธีการสกัดด้วยสารละลายต่าง โดยใช้เครื่อง Vacuum jacket pot ที่โรงงานผลิตน้ำซุภายในเครือเบทาโกรดังภาพที่ 3.1 โดยกำหนดตัวแปรอิสระ 2 ตัวแปร ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (8.5-11.5) และระยะเวลาในการสกัด (30 - 300 นาที) และติดตามค่าตัวแปรตอบสนองได้แก่ปริมาณร้อยละโปรตีนที่ได้ (Protein content) ปริมาณร้อยละไขมันที่ได้ (Fat content) ประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้น (Process yield) และประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนจากเนื้อบริเวณโครงไก่ (Protein yield) โดยมีขั้นตอนการศึกษา ดังนี้



ภาพที่ 3.1 เครื่อง Vacuum jacket pot ที่โรงงานผลิตน้ำซุภายในเครือเบทาโกร

3.2.2.1 ออกแบบแผนการทดลองและวิธีการทดลอง

ตัวแปรอิสระที่กำหนดในศึกษาภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสกัดโปรตีนจากโครงไก่ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) ใช้การออกแบบแผนการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (Central Composite Design, CCD) ที่มีการกำหนด

ระดับของปัจจัย 5 ระดับ คือ $-\alpha$, -1, 0, 1, α ($\alpha = 1.414$) กำหนดลำดับการทดลอง 9 ลำดับ ดังตารางที่ 3.1 โดยมีขั้นตอนการผลิตโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ (ภาพที่ 3.2) ดังนี้

- ใส่โครงไก่แช่แข็ง 15 kg และสารละลายต่างในการสกัดแช่เย็นอุณหภูมิ 0-4°C 60 kg ลงในเครื่อง Vacuum jacket pot ขนาด 100 L เปิดเครื่องเพื่อปั่นตัวอย่างประมาณ 30 นาที จากนั้นนำตัวอย่างสารละลายไปวัดค่า pH เพื่อปรับค่า pH ของสารละลายให้ได้อยู่ที่ประมาณค่า pH ที่ต้องการ เปิดเครื่องเพื่อปั่นตัวอย่างตามเวลา

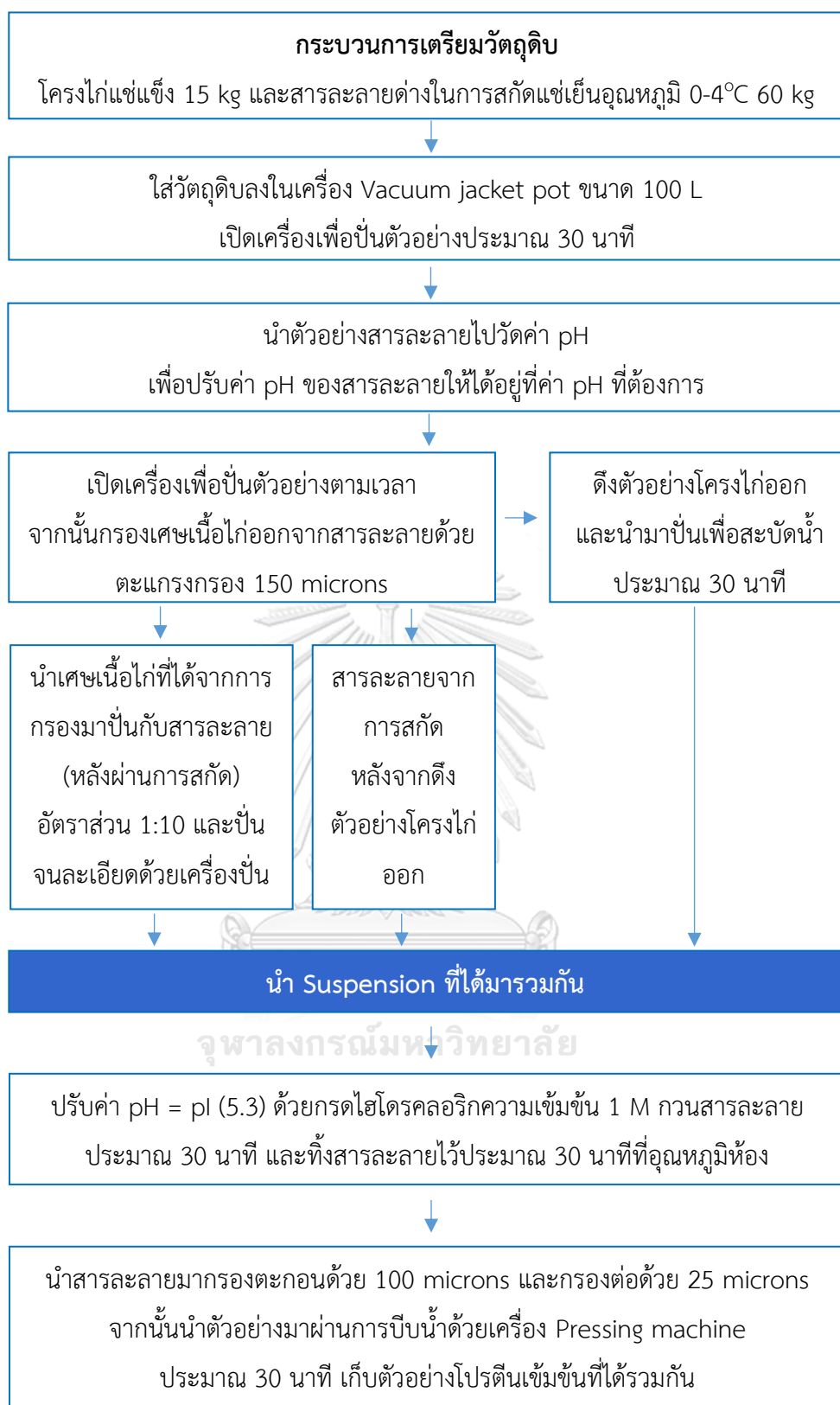
- จากนั้นตั้งตัวอย่างโครงไก่ออก และนำมาปั่นเพื่อสกัดน้ำประมาณ 30 นาที กรองเศษเนื้อไก่ออกจากสารละลายด้วยตะแกรงกรอง 150 microns นำเศษเนื้อไก่ที่ได้จากการกรองมาปั่นกับสารละลาย(หลังผ่านการสกัด) อัตราส่วน 1:10 และปั่นจนละเอียดด้วยเครื่องปั่น

- นำ Suspension ที่ได้มารวมกัน และนำมาตกตะกอนโปรตีน โดยการปรับค่า pH = pI (5.3) ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 M กวนสารละลายประมาณ 30 นาที และทิ้งสารละลายไว้ประมาณ 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง นำสารละลายมากรองตะกอนด้วย 100 microns และกรองต่อด้วย 25 microns จากนั้นนำตัวอย่างมาผ่านการบีบน้ำด้วยเครื่อง Pressing machine ประมาณ 30 นาที เก็บตัวอย่างโปรตีนเข้มข้นที่ได้รวมกัน เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลตอบสนองด้านต่างๆ

ตารางที่ 3.1 การออกแบบแผนการทดลองสำหรับการผลิตโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่

Treatment	ระดับของปัจจัย		ตัวแปรอิสระ	
	X1*	X2*	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ระยะเวลาในการสกัด(นาที)
1	-1	-1	8.94	69.54
2	+1	-1	11.06	69.54
3	-1	+1	8.94	260.46
4	+1	+1	11.06	260.46
5	-1.414	0	8.50	165
6	+1.414	0	11.50	165
7	0	-1.414	10.00	30
8	0	+1.414	10.00	300
9	0	0	10.00	165

*X1 และ X2 คือ ค่าความเป็นกรด-ด่างและระยะเวลาในการสกัดโปรตีน



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการผลิตโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่

3.2.2.2 วิเคราะห์ผลตอบสนอง

นำโปรตีนเข้มข้นที่ได้จากแต่ละภาวะการทดลองมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ได้แก่ 1. น้ำหนักโปรตีนเข้มข้นที่ได้ (kg) 2. ปริมาณความชื้นที่ได้ (Moisture content, %) 3. ปริมาณร้อยละโปรตีนที่ได้ (Protein content, %) 4. ปริมาณร้อยละไขมันที่ได้ (Fat content, %) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยใช้ analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Turkey's test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม SPSS จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลตอบสนอง 4 ค่าบนฐานแห้ง (Dry basis) ดังนี้

- ปริมาณร้อยละโปรตีนที่ได้ (Protein content, %) ในระบบ Dry basis ด้วยสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{Protein content (\%)} = [A / (100 - F)] \times 100$$

เมื่อ A = ปริมาณร้อยละโปรตีนที่ได้ (Protein content, %) ในระบบ wet basis

F = ปริมาณร้อยละความชื้นที่ได้ (Moisture content, %)

- ปริมาณร้อยละไขมันที่ได้ (Fat content, %) ในระบบ Dry basis ด้วยสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{Fat content (\%)} = [G / (100 - F)] \times 100$$

เมื่อ G = ปริมาณร้อยละไขมันที่ได้ (Fat content, %) ในระบบ wet basis

F = ปริมาณร้อยละความชื้นที่ได้ (Moisture content, %)

- ประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้น (Process yield, %) ในระบบ Dry basis ด้วยสูตรคำนวณ ดังนี้

$$\text{Process yield (\%)} = [(B \times (100 - F)) / (E \times (100 - H))] \times 100$$

เมื่อ B = น้ำหนักโปรตีนเข้มข้น (g)

F = ปริมาณร้อยละความชื้นที่ได้ (Moisture content, %)

E = น้ำหนักโครงไก่เริ่มต้น (g)

H = ปริมาณร้อยละความชื้นของโครงไก่บดที่ได้ (%) ในระบบ wet basis

- ประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนจากเนื้อบริเวณโครงไก่ (Protein yield, %) ในระบบ dDry basis ด้วยสูตรคำนวณ ดังนี้

$$\text{Protein yield (\%)} = [(I \times (B \times (100 - F)) / (J \times D \times (E \times (100 - K)))] \times 100$$

- เมื่อ I = ปริมาณร้อยละโปรตีนที่ได้ (Protein content, %) ในระบบ dry basis
 B = น้ำหนักโปรตีนเข้มข้น (g)
 F = ปริมาณร้อยละความชื้นที่ได้ (Moisture content, %)
 J = ปริมาณร้อยละโปรตีนที่ได้ของเนื้อที่แยกจากโครงไก่ (%) ในระบบ dry basis
 D = ค่าเฉลี่ยร้อยละสัดส่วนเนื้อที่แยกจากโครงไก่ (%)
 E = น้ำหนักโครงไก่เริ่มต้น (g)
 K = ปริมาณร้อยละความชื้นที่ได้ของเนื้อที่แยกจากโครงไก่ (Moisture content, %)

3.2.2.3 การสร้างสมการพหุคูณ

ทดลองสกัดโปรตีนจากโครงไก่ตามแบบแผนการทดลองที่กำหนดแล้วนำไปวิเคราะห์ผลตอบสนองบนฐานแห้ง (Dry basis) ตามการคำนวณข้อ 3.2.2.2 นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance) ด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ (Multiple regression analysis) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับผลตอบสนองต่างๆ ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบพหุคูณกำลังสอง (Second-order polynomial model) และอธิบายความสัมพันธ์ในรูปของกราฟพื้นผิวตอบสนองด้วยโปรแกรม Design-Expert® Software Version 11 (Stat-Ease, Inc., MN) เพื่อพิจารณาสมการที่ได้และคัดเลือกสมการจากค่า Root Mean Square Error (RMSE) มีค่าต่ำ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination) มีค่ามากกว่า 0.80 และค่า Adjusted R-squared มีค่าใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination) เพื่อนำไปใช้ในการหาภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดโปรตีนจากโครงไก่

การศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดโปรตีนจากโครงกระดูกไก่ด้วยการใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (RSM) โดยกำหนดตัวแปรอิสระ 2 ตัวแปร ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (8.5-11.5) และระยะเวลาในการสกัด (30 - 300 นาที) และติดตามค่าตัวแปรตอบสนอง ได้แก่ Protein content, Fat content, Process yield และ Protein yield ทดลองสกัดโปรตีนจากโครงไก่ตามแบบแผนการทดลองที่กำหนดแล้วนำไปวิเคราะห์ผลตอบสนองบนฐานแห้ง (Dry basis) นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance) ด้วยวิธีวิเคราะห์ Multiple regression analysis ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับผลตอบสนองต่างๆ ในรูปของแบบจำลอง Second-order polynomial model และอธิบายความสัมพันธ์ในรูปของกราฟพื้นผิวตอบสนองด้วยโปรแกรม Design-Expert® Software Version 11 (Stat-Ease, Inc., MN)

3.2.2.4 ตรวจสอบการใช้ได้ของสมการ

ตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของสมการที่ใช้ในการทำนายค่าของตัวแปรอิสระที่สัมพันธ์กับค่าผลตอบสนองต่าง ๆ โดยการทดลองสกัดโปรตีนจากโครงไก่ด้วยภาวะการสกัดที่เหมาะสมที่สุดจากข้อ 3.2.2.3 จำนวน 3 ซ้ำ นำโปรตีนเข้มข้นที่ผลิตได้มาวิเคราะห์สมบัติด้านต่างๆตามข้อ 3.2.2.2 เพื่อพิจารณาผลการตรวจสอบการใช้ได้ของสมการจากการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%error) ระหว่างค่าที่ได้จากการทำนายจากสมการกับค่าที่ได้จากการทดลองของผลตอบสนองต่างๆ

3.2.3 ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของโปรตีนเข้มข้นและสมบัติเชิงหน้าที่ของเนื้อไก่ส่วนอกเนื้อไก่ส่วนขาและโปรตีนเข้มข้น

เตรียมโปรตีนเข้มข้นด้วยภาวะการสกัดที่เหมาะสมที่สุดที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.2.2 แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18°C ในถุง Nylon จากนั้นนำตัวอย่างมาละลายที่อุณหภูมิห้องจนอุณหภูมิ $0-4^{\circ}\text{C}$ ก่อนนำตัวอย่างมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่

3.2.3.1 วิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของโปรตีนเข้มข้น

วิเคราะห์สมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของโปรตีนเข้มข้น ดังนี้

3.2.3.1.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

- การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นตามวิธี AOAC. (2019) ภาคผนวก ก. 1
- การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนตามวิธี AOAC. (2019) ภาคผนวก ก. 2
- การวิเคราะห์ปริมาณไขมันตามวิธี AOAC. (2019) ภาคผนวก ก. 3
- การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าตามวิธี AOAC. (2019) ภาคผนวก ก. 4
- การวิเคราะห์กากอาหารตามวิธี AOAC. (2019) ภาคผนวก ก. 5
- การวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรตจากการคำนวณ โดยนำผลบวกขององค์ประกอบอื่นที่วิเคราะห์ได้หักออกจาก 100
- การวิเคราะห์โซเดียมคลอไรด์ตามวิธี AOAC. (2019) ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่ Betagro Science Center

3.2.3.1.2 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

วิเคราะห์ค่าสีในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ โดยใช้โปรแกรม Image J ตามวิธีของ Leon และคณะ (2006) วัดความเข้มของสีในระบบ RGB และแปลงค่าสีไปเป็นระบบ CIE $L^*a^*b^*$ รายงานผลของค่า Chroma และ Hue angle ตามวิธีของ Duangmal และคณะ (2008)

การวิเคราะห์ค่า Chroma (C^*) ด้วยสูตรคำนวณ ดังนี้

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

การวิเคราะห์ค่า Hue angle (h^*) ด้วยสูตรคำนวณ ดังนี้

$$h^* = \tan^{-1}(b^*/a^*)$$

3.2.3.2 วิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ของเนื้อไก่ส่วนอก เนื้อไก่ส่วนขา และโปรตีนเข้มข้น

นำตัวอย่างโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่ผ่านการสกัดด้วยภาวะการสกัดที่ได้รับคัดเลือกเก็บในถุง Nylon ที่อุณหภูมิ $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ จากนั้นนำตัวอย่างมาละลายที่อุณหภูมิห้องจนอุณหภูมิ $0-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ก่อนนำมาทดสอบสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนเข้มข้นเปรียบเทียบกับเนื้อไก่ส่วนอกและส่วนขาดังนี้

3.2.3.2.1 ศึกษาผลของความเข้มข้นเกลือและความเร็วในการปั่นเหวี่ยงต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ

นำโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการสกัดด้วยภาวะที่เหมาะสมที่สุด เนื้อไก่ส่วนขาและส่วนอกที่ผ่านกระบวนการบดด้วยเพลส 5 mm. จำนวน 1 รอบมาศึกษาความสามารถในการอุ้มน้ำที่ภาวะต่าง ๆ ได้แก่สารละลายเกลือที่ความเข้มข้น 0.3 mol/L และ 0.6 mol/L และแรงปั่นเหวี่ยงที่ 1000 g และ 2000 g ทั้งนี้วิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำด้วยวิธี centrifugation method โดยดัดแปลงจากวิธีของ Zhang และคณะ (1995)

ซึ่งตัวอย่างที่ระบุน้ำหนักแน่นอนประมาณ 20 กรัม ใส่ในหลอดปั่นเหวี่ยงขนาด 250 mL ชั่งน้ำหนักสารละลายปริมาณ 32 mL ในหน่วยกรัมและใส่ในหลอดปั่นเหวี่ยงขนาด 250 mL นำมาปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงเป็นเวลา 15 นาที อุณหภูมิ $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อครบเวลาค่อยๆเทสารละลายออกจากหลอด โดยส่วนของน้ำที่ใกล้ตัวอย่างใช้ dropper ในการดูดสารละลาย ชั่งน้ำหนักสารละลายที่เหลือจากการปั่นเหวี่ยง และทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ จากนั้นคำนวณความสามารถในการอุ้มน้ำดังสมการ

$$\text{ความสามารถในการอุ้มน้ำ (\%)} = \frac{A - B}{C} \times 100$$

เมื่อ $A =$ น้ำหนักสารละลายที่เติมใส่ตัวอย่าง (กรัม)

$B =$ น้ำหนักสารละลายหลังปั่นเหวี่ยง (กรัม)

$C =$ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

3.2.3.2.2 ศึกษาสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนที่ละลายในน้ำกลั่น และละลายในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1% w/v

นำโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการสกัดด้วยภาวะที่เหมาะสมที่สุด เนื้อไก่ ส่วนขาและส่วนอกที่ผ่านกระบวนการบดด้วยเพลส 5 mm. จำนวน 1 รอบมาศึกษาสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนที่ภาวะต่าง ๆ ได้แก่ 1.การละลายในน้ำกลั่น 2.การละลายในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1% w/v โดยวิเคราะห์ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน และความคงตัวของอิมัลชันที่ได้ ตามวิธีการดัดแปลงจากวิธีของ Krasaechol และคณะ (2008)

วิเคราะห์ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2 กรัมผสมกับน้ำกลั่นหรือสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1% w/v ปริมาณ 200 มิลลิลิตร จากนั้นปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที เวลา 5 นาที นำสารละลายหลังปั่นเหวี่ยงเฉพาะส่วนใสจำนวน 30 มิลลิลิตรมาเติมน้ำมันข้าวโพด 10 มิลลิลิตรผสมด้วย Homogenizer ที่ความเร็ว 21,000 รอบต่อนาที ระยะเวลา 1 นาที อุณหภูมิห้อง เจือจางอิมัลชันที่ได้ด้วย 0.1% SDS ในอัตราส่วน 1:50 (V/V) จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร คำนวณความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (Emulsion activity index, EAI) ดังสมการ

$$EAI (m^2/g) = \frac{2 \times \tau}{c \times \phi}$$

$$\tau (\text{ค่าความขุ่น}) = \frac{2.303 \times A_0 \times F}{I}$$

เมื่อ

A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 นาโนเมตร

F = จำนวนเท่าที่ใช้เจือจางอิมัลชัน

C = ปริมาณโปรตีนเริ่มต้น (กรัม/มิลลิลิตร)

ϕ = สัดส่วนของน้ำมันที่ใช้ในการทำให้เกิดอิมัลชัน

I = ระยะความกว้างของเซลล์

วิเคราะห์ความคงตัวของอิมัลชันที่ได้ โดยการตั้งสารละลายอิมัลชันไว้ 10 นาที จากนั้นดูดส่วนที่เป็นอิมัลชันมาเจือจางอิมัลชันที่ได้ด้วย 0.1% SDS ในอัตราส่วน

1:50(V/V) ก่อนนำไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร คำนวณความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion stability index, ESI) ดังสมการ

$$ESI (\text{min}) = \frac{\Delta t \times \tau}{\Delta \tau}$$

เมื่อ

$\Delta \tau$ = ค่าความขุ่นที่เปลี่ยนไป

Δt = ระยะเวลาที่เปลี่ยนไป (นาที)

3.2.3.2.3 วิเคราะห์ความสามารถในการละลายของโปรตีนในช่วง pH 3 - 11

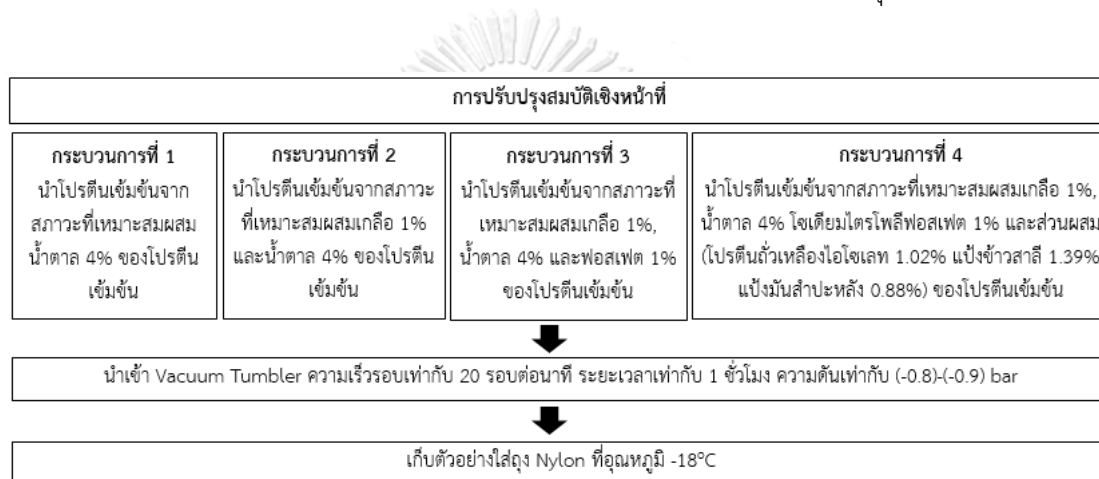
นำโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการสกัดด้วยภาวะที่เหมาะสมที่สุด เนื้อไก่ส่วนขาและส่วนอกที่ผ่านกระบวนการบดด้วยเพลส 5 mm. จำนวน 1 รอบมาศึกษาความสามารถในการละลายที่ภาวะ pH ต่าง ๆ ได้แก่ 3, 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 8, 9, 10 และ 11 โดยดัดแปลงจากวิธีของ Menezes และคณะ (2015) เตรียมตัวอย่างปริมาณ 4 กรัมผสมกับน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร เพื่อเตรียมสารละลายโปรตีนเข้มข้น 2% จากนั้นกวนช้าๆด้วย Magnetic stirrer 30 นาที นำมาปรับ pH ที่ภาวะต่างๆ โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก และโซเดียมคลอไรด์ เข้มข้น 1 N และกวนด้วย Magnetic stirrer 30 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 1,000 g เป็นเวลา 15 นาที อุณหภูมิ 4 °C วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในสารละลายส่วนใสด้วยวิธี Lowry ดังภาคผนวก ก.6 และปริมาณโปรตีนทั้งหมดด้วย Kjeldahl method จากนั้นคำนวณความสามารถในการละลายดังสมการ

$$\text{ความสามารถในการละลาย (\%)} = \frac{\text{ปริมาณโปรตีนในสารละลายส่วนใส (กรัม)} \times 100}{\text{ปริมาณโปรตีนทั้งหมด (กรัม)}}$$

ข้อ 3.2.3.2.1 -3.2.3.2.3 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองทางสถิติแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยใช้ analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Tukey's test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม SPSS version 22 for Windows (SPSS Inc., Chicago, IL)

3.2.4 ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

นำโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการสกัดด้วยภาวะการสกัดที่ได้รับคัดเลือกมาผ่านการปรับปรุงด้วย 4 กระบวนการ โดยใช้วัตถุดิบในการปรับปรุงที่แตกต่างกันดังภาพที่ 3.3 เพื่อให้สอดคล้องกับกระบวนการผลิตภายในโรงงานและใช้ความดันในการปรับปรุง เพื่อให้วัตถุดิบดูดซึมเข้าโปรตีนเข้มข้นได้เร็วขึ้น นำตัวอย่างโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุงเก็บในถุง Nylon ที่อุณหภูมิ -18°C จากนั้นนำตัวอย่างมาละลายที่อุณหภูมิห้องจนอุณหภูมิ $0-4^{\circ}\text{C}$ ก่อนนำไปวิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ดังข้อ 3.2.4.1-3.2.4.2 เปรียบเทียบกับโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่ไม่ผ่านการปรับปรุง



ภาพที่ 3.3 กระบวนการปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่โปรตีนเข้มข้น

3.2.4.1 ศึกษาสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนที่ละลายในน้ำกลั่นและละลายในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1% w/v ของเนื้อไก่ส่วนนอก เนื้อไก่ส่วนขา โปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงและโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่ผ่านการปรับปรุงข้อ 3.2.3.2.2

3.2.4.2 วิเคราะห์ความสามารถในการละลายของโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีที่แตกต่างกันในช่วง pH 3 - 11 ตามข้อ 3.2.3.2.3

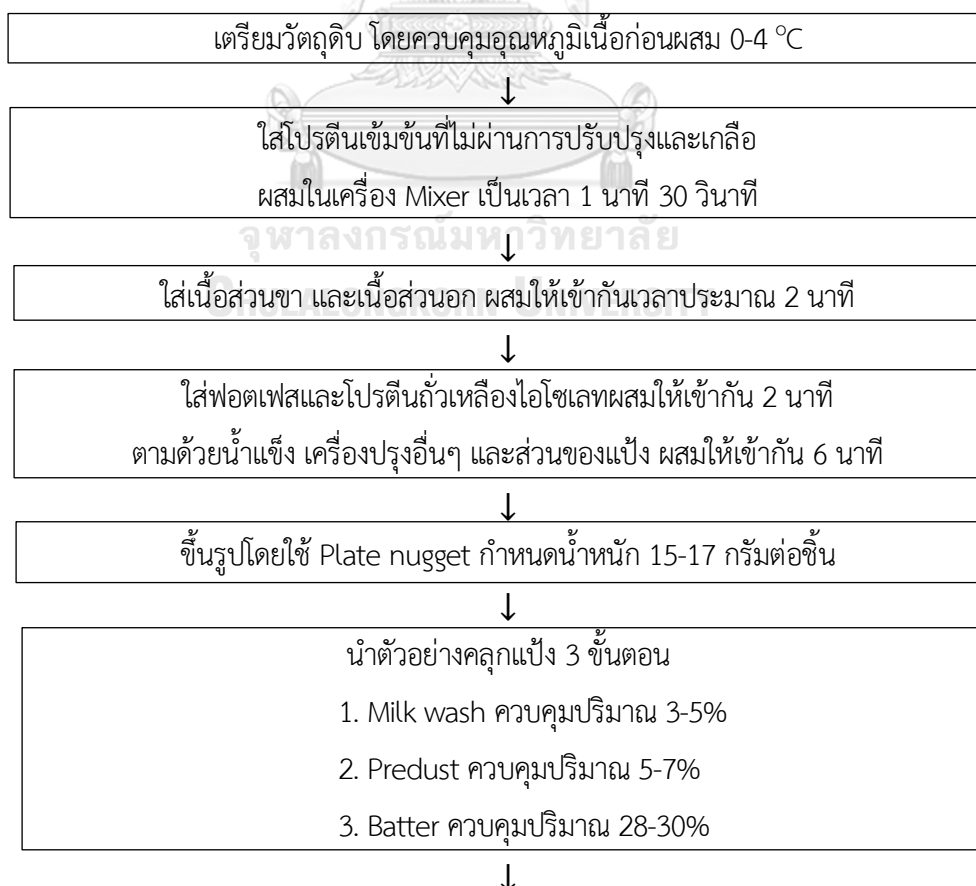
ข้อ 3.2.4.1-3.2.4.2 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองทางสถิติแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยใช้ analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Tukey's test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม SPSS version 22 for Windows (SPSS Inc., Chicago, IL)

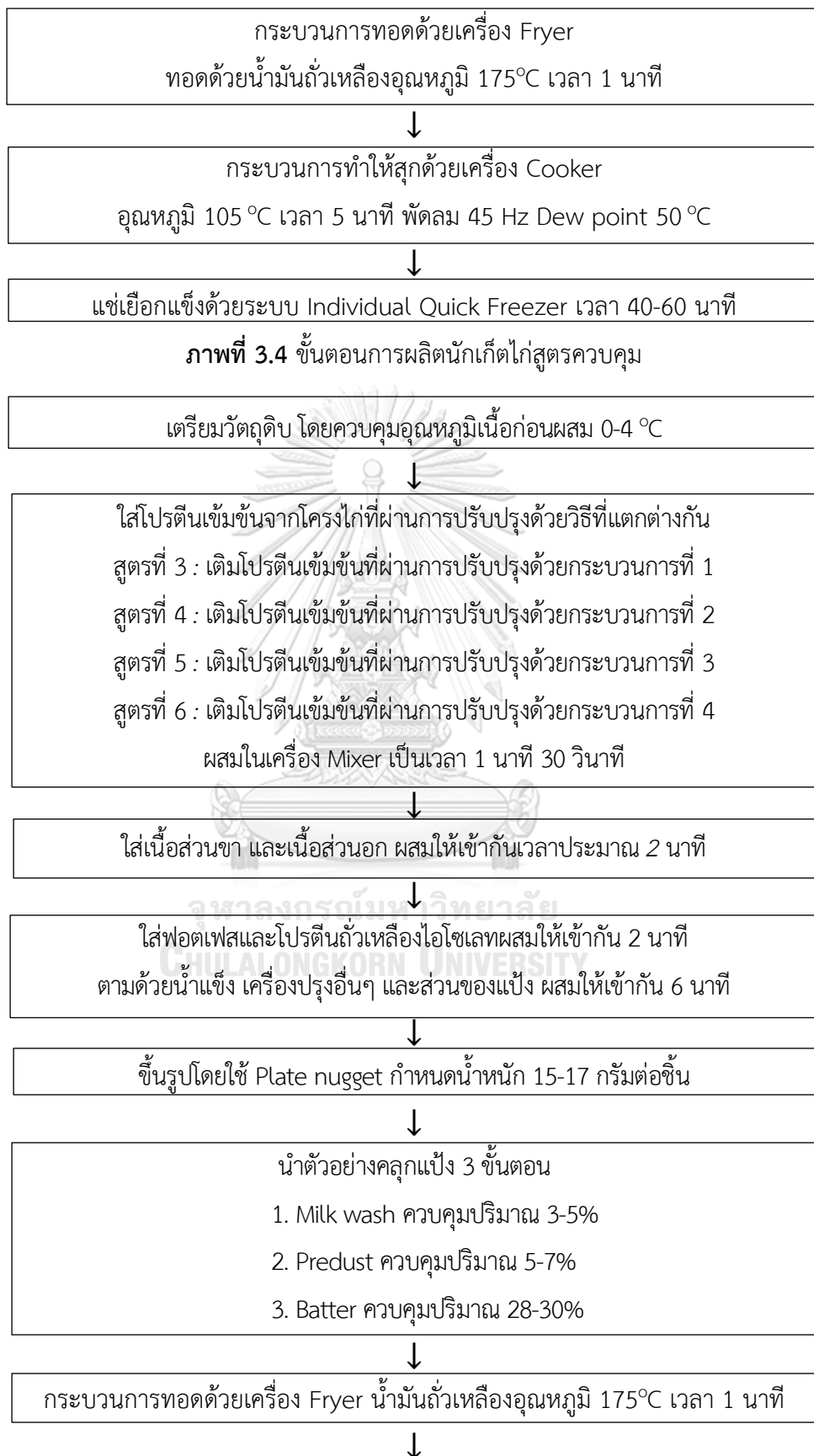
3.2.5 ศึกษาการใช้ประโยชน์ของโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ในผลิตภัณฑ์นั้กเกิดไก่

คัดเลือกสูตรนั้กเกิดไก่ที่มีการผสมโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ โดยแทนที่เนื้อไก่และน้ำในผลิตภัณฑ์นั้กเกิดที่อัตราส่วน 12.5% จำนวน 6 สูตร (ตารางที่ 3.2) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นเก็บตัวอย่างนั้กเกิดแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18°C เพื่อเตรียมนำไปวิเคราะห์สมบัติตามข้อ 3.2.5.2-3.2.5.6

3.2.5.1 ศึกษาการคัดเลือกสูตรนั้กเกิดไก่ที่มีการผสมโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่

ทดลอง preliminary เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมในการเติมโปรตีนเข้มข้นในผลิตภัณฑ์นั้กเกิดไก่ โดยมีขั้นตอนการผลิตนั้กเกิดไก่สูตรปกติตามกระบวนการภายในโรงงานดังภาพที่ 2.3 นำโปรตีนเข้มข้นที่ไม่ผ่านการปรับปรุงและผ่านการปรับปรุงมาทดแทนเนื้อไก่ส่วนนอก เนื้อไก่ส่วนขาและน้ำในสูตรนั้กเกิดปกติ โดยสูตรที่เติมโปรตีนเข้มข้นที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคือสูตรควบคุมขั้นตอนการผลิตดังภาพที่ 3.4 และสูตรที่เติมโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกระบวนการที่แตกต่างกันคือสูตรที่ 3-6 ขั้นตอนการผลิตดังภาพที่ 3.5 โดยกำหนดปริมาณการทดแทนจากการ balance ปริมาณความชื้น ปริมาณไขมันและปริมาณโปรตีนของสูตรผลิตภัณฑ์นั้กเกิดไก่ที่มีการเติมโปรตีนเข้มข้นให้มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5%, 1% และ 1% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรปกติ ได้สูตรตามตารางที่ 3.2





3.2.5.2 วิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำของ Raw batter nugget

นำ Raw batter nugget สูตรที่ 1-6 มาวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำ โดยดัดแปลงจากวิธีของ Jridi และคณะ (2015) ซึ่งนำหน้าตัวอย่าง Raw batter nugget (Uncooked) ประมาณ 20 กรัม ห่อตัวอย่างให้มิดชิดด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 จำนวน 3 แผ่น จากนั้นปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็ว 1000g เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 4 °C ซึ่งนำหน้าตัวอย่างหลังการปั่นเหวี่ยง และคำนวณความสามารถในการอุ้มน้ำดังสมการ

$$\text{ความสามารถในการอุ้มน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักหลังการปั่นเหวี่ยง (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักก่อนการปั่นเหวี่ยง (กรัม)}}$$

3.2.5.3 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่

นำผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่สูตรที่ 1-6 มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีดังนี้

3.2.5.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC. (2019) ภาคผนวก ก. 1

3.2.5.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ตามวิธี AOAC. (2019) ภาคผนวก ก. 2

3.2.5.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ตามวิธี AOAC. (2019) ภาคผนวก ก. 3

3.2.5.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ตามวิธี AOAC. (2019) ภาคผนวก ก. 4

3.2.5.3.5 การวิเคราะห์ใยอาหาร ตามวิธี AOAC. (2019)

3.2.5.3.6 การวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรตจากการคำนวณ โดยนำผลบวกขององค์ประกอบอื่นที่วิเคราะห์ได้หักออกจาก 100

หมายเหตุ: ส่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์เพื่อวิเคราะห์ในข้อ 3.2.5.3 ที่ Betagro Science Center

3.2.5.4 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่

นำตัวอย่างนักเก็ตไก่สูตรที่ 1-6 วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นวิเคราะห์ค่าสีภายในด้วยการหั่นครึ่งตรงกึ่งกลาง และภายนอกของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ด้วยระบบ CIE L*a*b* โดยใช้โปรแกรม Image J วัดความเข้มของสีในระบบ RGB และแปลงค่าสีไปเป็นระบบ CIE L*a*b* รายงานผลของค่า Chroma, Hue angle และค่า ΔE ด้วยสูตรคำนวณดังนี้ (Duangmal et al., 2008)

การวิเคราะห์ค่า Chroma (C*) ด้วยสูตรคำนวณ ดังนี้

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

การวิเคราะห์ค่า Hue angle (h*) ด้วยสูตรคำนวณ ดังนี้

$$h^* = \tan^{-1} (b^*/a^*)$$

การวิเคราะห์ค่า ΔE ด้วยสูตรคำนวณ ดังนี้

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2}$$

เมื่อ ΔE = The color difference

L^* = lightness from black (0) to white (100)

a^* = greenness (-) to redness (+) of color

b^* = blueness (-) to yellowness (+) of the color

3.2.5.5 วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการผลิตของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่

วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการผลิตของนักเก็ตไก่สูตรที่ 1-6 ตามสูตรการคำนวณของทางโรงงานปี ฟู้ดส์โปรดักส์ อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด ดังนี้

$$\text{Process yield (\%)} = \frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \frac{D}{100} \times \frac{E}{100} \times \frac{F}{100} \times \frac{G}{100} \times \frac{H}{100} \times 100$$

เมื่อ A = Mixing yield (%) = [น้ำหนักหลัง Mixing \div น้ำหนักก่อน Mixing] \times 100

B = Forming yield (%) = [น้ำหนักหลัง Forming \div น้ำหนักก่อน Forming] \times 100

C = Milk wash yield (%) = [น้ำหนักหลัง Milk wash \div น้ำหนักก่อน Milk wash] \times 100

D = Predusting yield (%) = [น้ำหนักหลัง Predusting \div น้ำหนักก่อน Predusting] \times 100

E = Batter yield (%) = [น้ำหนักหลัง Batter \div น้ำหนักก่อน Batter] \times 100

F = Frying yield (%) = [น้ำหนักหลัง Frying \div น้ำหนักก่อน Frying] \times 100

G = Cooking yield (%) = [น้ำหนักหลัง Cooking \div น้ำหนักก่อน Cooking] \times 100

H = Freezing yield (%) = [น้ำหนักหลัง Freezing \div น้ำหนักก่อน Freezing] \times 100

3.2.5.6 วิเคราะห์ลักษณะทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่

วิเคราะห์ลักษณะทางเนื้อสัมผัสของตัวอย่างนักเก็ตไก่สูตรที่ 1-6 ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสด้วยวิธีการทดลองดัดแปลงจาก Bala และคณะ (2015)

การเตรียมตัวอย่าง

- วางตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้องจนอุณหภูมิใจกลางผลิตภัณฑ์ประมาณ 25°C

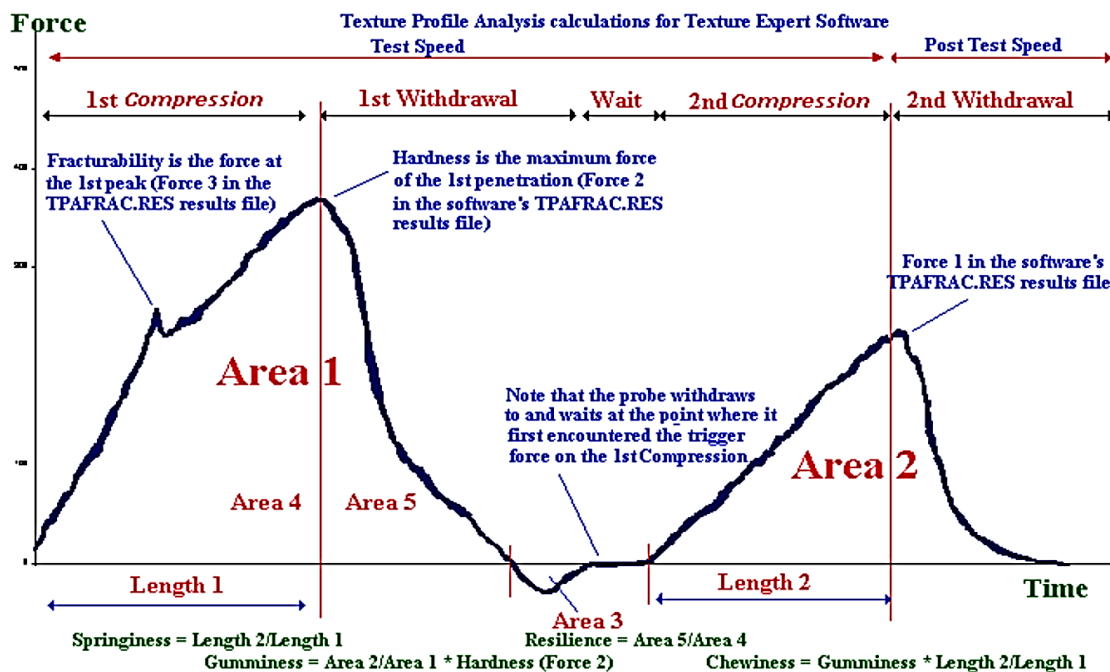
วิธีการทดลอง

- ประกอบหัววัดรูปทรงกระบอก (Probe) รุ่น P/75 เส้นผ่านศูนย์กลาง 75 mm เข้ากับเครื่องวัดเนื้อสัมผัส
- Calibrate force โดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 1,000 กรัม

- Calibrate Height โดยตั้งระยะหัววัดให้ห่างจากแท่นวางตัวอย่าง 25 mm
- เลือกรูปแบบการวิเคราะห์เป็นแบบ Texture Profile Analysis (TPA) จากนั้นจึงตั้งค่าเครื่องให้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Mode	:	Measure for compression
Option	:	Texture Profile Analysis
Force Unit	:	gram
Pre-test speed	:	1 mm / sec
Test-speed	:	5 mm / sec
Strain	:	75% strain (75%ของระยะความสูงตัวอย่าง)
Trigger-type	:	Auto-10 g
Time	:	3 sec

- วางตัวอย่างนักเกิดบนแท่นวางตัวอย่างครั้งละ 1 ชิ้น โดยให้แนวหัววัดอยู่ตรงกลางของตัวอย่างนักเกิด
- ควบคุมสถานะการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ จากนั้นวัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัสดังภาพที่ 3.6
- บันทึกค่าที่ประมวลผลได้จากเครื่อง ดังนี้
 1. ค่า Hardness คือ แรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกด มีหน่วยเป็นหน่วยของแรง เช่น นิวตัน (N)
 2. ค่า Adhesiveness คือ งานที่ต้องใช้ในการดึงหัววัดออกจากผิวหน้าของตัวอย่าง เป็นพื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งแรก จากภาพที่ 3.6 คือ Area 3
 3. ค่า Cohesiveness คือ แรงยึดเกาะกันภายในอาหาร เป็นอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟส่วนที่เป็นค่าบวกของการกดครั้งที่ 2 และครั้งที่ 1 จากภาพที่ 3.6 คือ $\text{Area2} / \text{Area1}$
 4. ค่า Springiness คือ ความสูงของอาหารที่คืนกลับระหว่างสิ้นสุดการกดครั้งแรกกับเริ่มการกดครั้งที่ 2 จากภาพที่ 3.6 คือ $\text{Length2} / \text{Length1}$
 5. ค่า Gumminess คือ พลังงานที่ต้องใช้ในการบดเคี้ยวอาหาร semi-solid ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะกลืนได้ หาได้จาก $\text{Hardness} \times \text{Cohesiveness}$
 6. ค่า Chewiness คือ พลังงานที่ต้องใช้ในการบดเคี้ยวอาหาร solid ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะกลืนได้ หาได้จาก $\text{Gumminess} \times \text{Springiness}$



ภาพที่ 3.6 กราฟแสดงค่าจากการวัดเนื้อสัมผัส

ที่มา : <http://ahbey92.blogspot.com>

ข้อ 3.2.5.2-3.2.5.6 วางแผนการทดลองทางสถิติแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยใช้ analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Tukey's test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม SPSS version 22 for Windows (SPSS Inc., Chicago, IL)

3.2.6 ศึกษาความเป็นไปได้ และความคุ้มค่าของการผลิตจากการใช้โปรตีนเข้มข้นในผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่

3.2.6.1 การคำนวณต้นทุนของนักเก็ตไก่ที่มีการผสมโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่

คำนวณต้นทุนการผลิตของนักเก็ตไก่สูตรที่ 1-6 จากข้อ 3.2.5 ที่ระดับ pilot scale ใน ห้องแลปแผนกพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนาดการทดลอง 5 กิโลกรัมและระดับ production scale ที่ การผลิตในโรงงานขนาดการทดลอง 500 กิโลกรัม ตามสูตรการคำนวณของทางโรงงานปี ฟู้ดส์โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ดังนี้

$$\text{ต้นทุนการผลิต (บาท/กิโลกรัมสินค้าหนักเกิด)} = A + B + C + D$$

เมื่อ A= ต้นทุนเนื้อประกอบด้วยเนื้อไก่ส่วนขาและส่วนอก และโปรตีนเข้มข้น คำนวณดังสมการ

$$\text{ต้นทุนเนื้อ (บาท/1 กิโลกรัมสินค้าหนักเกิด)} = X \times Y \times Z$$

เมื่อ X = ราคาเนื้อไก่ส่วนอก เนื้อไก่ส่วนขา และโปรตีนเข้มข้น (บาท/1 กิโลกรัมเนื้อ)

Y = สัดส่วนของเนื้อ (%) คือ ปริมาณเนื้อส่วนนั้นๆ ในสูตรการผสมน้กเกิด

Z = สัดส่วนเนื้อทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตสินค้าหนักเกิด 1 กิโลกรัม คำนวณดังสมการ

$$= \frac{1 \text{ (kg)}}{\text{Process yield ในระดับ pilot scale รวม defect + allowance (\%)}}$$

เมื่อ Process yield ในระดับ pilot scale = Process yield ที่ได้จากการทำแลป

Defect (%) = เปอร์เซ็นต์สินค้าที่ไม่ได้ตามมาตรฐาน

Allowance (%) = เปอร์เซ็นต์สินค้าที่เกินจากน้ำหนักถุงตามมาตรฐาน

B = เครื่องปรุงและแป้ง ประกอบด้วย 14 ส่วนคือ ฟอสเฟส เกลือ ผงพริกไทย น้ำตาล ผงกระเทียม ผงปรุงรส ไตโซเดียมโรโบนิวคลีโอไทด์ โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท แป้งข้าวสาลี แป้งมันสำปะหลัง น้ำแข็ง น้ำ แป้งคลุกทอด และน้ำมันทอด ในหน่วยบาทต่อ 1 กิโลกรัมสินค้าหนักเกิด

C = Overhead คือค่าใช้จ่ายภายในโรงงานในกระบวนการผลิต ประกอบด้วย ค่าแรงงาน ค่าเสื่อมสภาพเครื่องมือ และค่าใช้จ่ายน้ำและไฟ ในหน่วยบาทต่อ 1 กิโลกรัมสินค้าหนักเกิด

D = บรรจุกัมภ์ คือค่าใช้จ่ายในส่วนของบรรจุกัมภ์ในหน่วยบาทต่อ 1 กิโลกรัมสินค้าหนักเกิด

3.2.6.2 การคำนวณความคุ้มทุนของการใช้โปรตีนเข้มข้นในน้กเกิดไก่

ศึกษาความคุ้มทุนของการผลิตน้กเกิดไก่จากการใช้โปรตีนเข้มข้นในผลิตภัณฑ์น้กเกิดโดยคำนวณต้นทุนการผลิตน้กเกิดไก่ที่เติมโปรตีนเข้มข้นจากสูตรที่ต้นทุนต่ำที่สุดในข้อ 3.2.6.1 ที่ระดับ production scale เปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิตน้กเกิดสูตรปกติซึ่งไม่มีการเติมโปรตีนเข้มข้น เพื่อดูปริมาณค่าใช้จ่ายที่สามารถลดลงได้ โดยประเมินจากปริมาณการผลิตโปรตีนเข้มข้นสูงสุดที่สามารถทำได้ที่โรงงานผลิตน้ำซุภายในเครือบริษัท เบทาโกร จำกัด

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 สมบัติด้านเคมีและกายภาพของโครงไก่

โครงไก่ที่ใช้ในการทดลองเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการชำแหละไก่ของบริษัท ปีฟู้ด โปรดักส์ อินเตอร์เนชันแนล จำกัด

4.1.1 สัดส่วนองค์ประกอบของโครงไก่ตัดบั้นท้าย

ผลการแยกสัดส่วนองค์ประกอบของโครงไก่ (เนื้อที่แยกจากโครงไก่ตัดบั้นท้าย ไขมัน และโครงไก่) แสดงในตารางที่ 4.1 และมีลักษณะดังภาพที่ 4.1 จากข้อมูลพบว่ามีปริมาณเนื้อที่แยกจากโครงไก่ตัดบั้นท้ายในปริมาณที่มากถึง 14.87%

ตารางที่ 4.1 สัดส่วนของเนื้อที่แยกจากโครงไก่ ไขมัน และโครงกระดูกไก่ต่อโครงไก่ตัดบั้นท้าย

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์ (%)
เนื้อที่แยกจากโครงไก่ตัดบั้นท้าย	14.87 ± 2.42
ไขมัน	9.87 ± 3.66
โครงไก่	75.26 ± 3.81

รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล



ภาพที่ 4.1 ลักษณะของโครงไก่ตัดบั้นท้ายของบริษัท ปี. ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชันแนล จำกัด

4.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อที่แยกจากโครงไก่ตัดบั้นท้าย

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน และปริมาณความชื้น) ของเนื้อที่แยกจากโครงไก่ตัดบั้นท้ายแสดงในตารางที่ 4.2 จากข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่าเนื้อที่แยกจากโครงไก่ตัดบั้นท้ายยังมีปริมาณโปรตีนอยู่มาก หากมีการวิจัยที่สามารถสกัดโปรตีนจากโครงไก่มาใช้จะสามารถช่วยเพิ่มการนำไปใช้ของโครงไก่และเพิ่มมูลค่าของโครงไก่ให้มากกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อที่แยกจากโครงไก่ตัดบั่นท้าย

องค์ประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์ (%)
ปริมาณโปรตีน (Protein content)	18.50 ± 0.31
ปริมาณไขมัน (Fat content)	1.53 ± 0.57
ปริมาณความชื้น (Moisture content)	78.01 ± 0.83

รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล

4.2 ภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสกัดโปรตีนจากโครงไก่ในการเตรียมโปรตีนเข้มข้น

นำโครงไก่มาศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดโปรตีนด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง และติดตามค่าตัวแปรตอบสนองได้แก่ปริมาณร้อยละโปรตีนที่ได้ ปริมาณร้อยละไขมันที่ได้ ประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นและประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนจากเนื้อบริเวณโครงไก่ เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดโปรตีนจากโครงไก่และนำมาศึกษาสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเป็นสารยึดเกาะ (Binding agent) สำหรับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์

4.2.1 ผลของภาวะการสกัดโปรตีนต่อผลการตอบสนองของโปรตีนเข้มข้น

ผลการวิเคราะห์ (ปริมาณร้อยละโปรตีนที่ได้ ปริมาณร้อยละไขมันที่ได้ ประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นและประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนจากเนื้อบริเวณโครงไก่) ในระบบ dry basis ของโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่แปรค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.5-11.5 และระยะเวลาในการสกัด 30 - 300 นาที แสดงดังตารางที่ 4.3

ผลการทดลอง (ตารางที่ 4.3) และผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในรูปแบบ Quadratic model (ตารางที่ ข.1) ซึ่งให้เห็นว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ระยะเวลาในการสกัดและอิทธิพลร่วมระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างและระยะเวลาในการสกัดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณร้อยละโปรตีนที่ได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาผลตอบสนองพบว่าปริมาณร้อยละโปรตีนที่ได้เพิ่มขึ้นมีค่าอยู่ในช่วง 51.26 – 84.25%

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลการทดลองปริมาณร้อยละไขมันที่ได้(ตารางที่ 4.3) และผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในรูปแบบ Quadratic model (ตารางที่ ข.2) ซึ่งให้เห็นว่าระยะเวลาในการสกัดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณร้อยละไขมันที่ได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างและอิทธิพลร่วมระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่าง และระยะเวลาในการสกัดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณร้อยละไขมันที่ได้อย่างมีนัยสำคัญ จากผลการวิเคราะห์

ปริมาณร้อยละไขมันที่ได้พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 6.01 – 33.92% เนื่องจากโครงไก่ยังมีส่วนของไขมันติดอยู่ในโครงไก่มาก (ประมาณ 9.87%) ส่งผลให้มีไขมันบางส่วนอยู่ในโปรตีนเข้มข้น

หากสามารถสกัดโปรตีนจากโครงไก่ได้ดีจะได้ผลผลิตจากกระบวนการสกัดโปรตีนในปริมาณมาก เพื่อให้ได้ผลผลิตจากกระบวนการสกัดโปรตีนที่สูง จะต้องละลายโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ (Myofibrillar proteins) และโปรตีนซาร์โคพลาสมิค (Sarcoplasmic proteins) ออกมาในสารละลายที่มีการปรับภาวะเป็นด่างและปรับค่า pH มาที่จุดไอโซอิเล็กตริก (Isoelectric point) ของโปรตีนเนื้อสัตว์ จากนั้นจึงทำการแยกตะกอนโปรตีนออกจากสารละลาย (Hultin & Kelleher, 2000) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นดังตารางที่ 4.3 และผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในรูปแบบ Quadratic model ดังตารางที่ ข.3 ซึ่งให้เห็นว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ระยะเวลาในการสกัด และอิทธิพลร่วมระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างและระยะเวลาในการสกัดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาผลตอบสนองพบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.01 – 5.28% และการผลิตด้วยการสกัดโปรตีนในภาวะที่ลำดับการทดลองที่ 9 ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นสูงสุดที่ 5.28%

ตารางที่ 4.3 ผลของภาวะการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่างต่อปริมาณร้อยละโปรตีนที่ได้ (protein content) ปริมาณร้อยละไขมันที่ได้ (fat content) ประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้น (Process yield) และประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนจากเนื้อบริเวณโครงไก่ (Protein yield)

ลำดับการทดลอง*	Protein content** (%)	Fat content** (%)	Process yield** (%)	Protein yield** (%)
1	79.13 ^a ± 4.13	16.11 ^c ± 0.68	0.09 ^e ± 0.02	0.82 ^e ± 0.12
2	51.26 ^c ± 0.71	33.92 ^a ± 5.73	0.01 ^e ± 0.00	0.07 ^e ± 0.03
3	84.25 ^a ± 1.08	6.01 ^e ± 0.15	3.37 ^b ± 0.26	33.77 ^b ± 2.29
4	52.77 ^c ± 5.76	9.72 ^{de} ± 4.01	1.52 ^d ± 0.02	9.54 ^d ± 0.04
5	53.32 ^c ± 7.87	9.01 ^{de} ± 2.62	2.36 ^c ± 0.16	15.00 ^c ± 0.60
6	81.51 ^a ± 2.76	5.78 ^e ± 0.90	1.75 ^d ± 0.08	16.97 ^c ± 1.20
7	54.89 ^c ± 6.13	14.63 ^{cd} ± 3.81	0.23 ^e ± 0.01	1.48 ^e ± 0.09
8	83.64 ^a ± 3.04	6.60 ^e ± 0.40	3.49 ^b ± 0.06	34.75 ^b ± 0.65
9	62.20 ^b ± 1.53	25.75 ^b ± 1.66	5.28 ^a ± 0.07	39.14 ^a ± 1.25

*ลำดับการทดลอง 1-9 อธิบายไว้ดังตารางที่ 3.1

** ระบบ Dry basis

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

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนจากเนื้อบริเวณโครงไก่ (ตารางที่ 4.3) และผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในรูปแบบ Quadratic model (ตารางที่ ข.4) ซึ่งให้เห็นว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ระยะเวลาในการสกัด และอิทธิพลร่วมระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างและระยะเวลาในการสกัดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนจากเนื้อบริเวณโครงไก่อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาผลตอบสนองพบว่าค่าอยู่ในช่วง 0.07 – 39.14% และการผลิตด้วยการสกัดโปรตีนในภาวะที่ลำดับการทดลองที่ 9 ทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนจากเนื้อบริเวณโครงไก่สูงสุดที่ 39.14% โดยจากผลการทดลองพบว่าการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนจากเนื้อบริเวณโครงไก่สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นกล่าวคือเมื่อประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนจากเนื้อบริเวณโครงไก่เพิ่มขึ้นเช่นกัน

4.2.2 ผลของการสร้างสมการพหุคูณของผลตอบสนอง

จากการพิจารณาผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance) (ตารางที่ ข.1 – ข.4) ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple regression analysis) ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (ค่าความเป็นกรด-ด่างและระยะเวลาในการสกัด) กับผลตอบสนองต่างๆ ได้แก่ ปริมาณร้อยละโปรตีนที่ได้ ปริมาณร้อยละไขมันที่ได้ ประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นและประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนจากเนื้อบริเวณโครงไก่ โดยพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ค่า p-Value ต้องมีค่าน้อยกว่าเท่ากับ 0.05 พบว่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ของตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กับปริมาณร้อยละไขมันที่ได้ ประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้น และประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนจากเนื้อบริเวณโครงไก่ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณร้อยละโปรตีนที่ได้ ($p > 0.05$)

นำผลการวิเคราะห์การถดถอยของการทดลองมาสร้างสมการหรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีรูปแบบของสมการเป็นแบบพหุคูณกำลังสอง (Second-order polynomial model) ด้วยรูปแบบ quadratic model ซึ่งใช้สำหรับการทำนายค่าของตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับค่าผลตอบสนองต่าง ๆ ตามที่ต้องการ สมการของผลตอบสนองต่าง ๆ แสดงดังข้างล่างนี้

$$Y_1 = +268.34399 - 40.56213X_1 + 0.036702X_2 + 1.98707X_1^2 + 0.000346972X_2^2 - 0.0089288X_1X_2$$

$$r^2 = 0.2035$$

$$Y_2 = -709.32468 + 137.82992X_1 + 0.49535X_2 - 6.50421X_1^2 - 0.000626503X_2^2 - 0.034837X_1X_2$$

$$r^2 = 0.6381$$

$$Y_3 = -165.50663 + 32.23011X_1 + 0.12451X_2 - 1.59189X_1^2 - 0.000207379X_2^2 - 0.0043768X_1X_2$$

$$r^2 = 0.9532$$

$$Y_4 = -1247.96015 + 239.42854X_1 + 1.13184X_2 - 11.62401X_1^2 - 0.00131809X_2^2 - 0.05797X_1X_2$$

$$r^2 = 0.9088$$

เมื่อ X_1 และ X_2 คือ ค่าความเป็นกรด-ด่างและระยะเวลาในการสกัด

Y_1 = ปริมาณร้อยละโปรตีนที่ได้ (Protein content) ในระบบฐานแห้ง

Y_2 = ปริมาณร้อยละไขมันที่ได้ (Fat content) ในระบบฐานแห้ง

Y_3 = ประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้น (Process yield) ในระบบฐานแห้ง

Y_4 = ประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนจากเนื้อบริเวณโครงไก่ (Protein yield) ในระบบฐานแห้ง

r^2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination)

ผลการพิจารณาความเหมาะสมของการสร้างสมการการทำนายของผลตอบสนองต่างๆ (ตารางที่ 4.4) พบว่าสมการทำนายประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นมีค่า coefficient of determination (r^2) สูงที่สุดเท่ากับ 0.9532 อธิบายได้ว่าสมการมีความเหมาะสมในการทำนาย 95.32% ในขณะที่สมการทำนายปริมาณร้อยละโปรตีนที่ได้มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.2035 อธิบายได้ว่าสมการมีความเหมาะสมในการทำนาย 20.35% โดยค่า coefficient of determination (r^2) ของสมการปริมาณร้อยละโปรตีนที่ได้และปริมาณร้อยละไขมันที่ได้มีค่าต่ำกว่า 0.80 จึงไม่มีความเหมาะสมในการนำมาทำนายค่าของตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาที่สัมพันธ์กับค่าผลตอบสนอง Joglekar and May (1987) รายงานว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ หรือ coefficient of determination (r^2) ควรมีค่ามากกว่า 0.80 จึงบ่งชี้ว่าสมการที่ใช้มีความเหมาะสมในการทำนายค่าของตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาที่สัมพันธ์กับค่าผลตอบสนอง

ในการคัดเลือกสมการเพื่อใช้งาน ค่า Adjusted r-Squared ควรมีค่าใกล้เคียงกับ coefficient of determination ผลการทดลองพบว่าสมการทำนายประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้น และประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนจากเนื้อบริเวณโครงไก่มีค่า adjusted r-Squared ใกล้เคียงกับ coefficient of determination ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมในการนำมาทำนายค่าของตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาที่สัมพันธ์กับค่าผลตอบสนอง

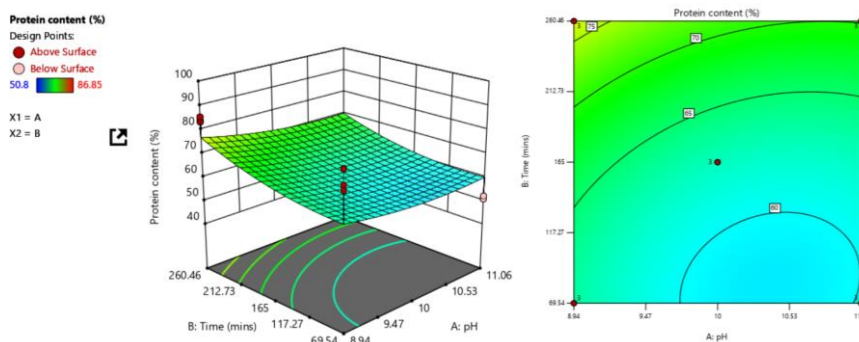
เมื่อพิจารณาค่า Root Mean Square Error (RMSE) ควรมีค่าต่ำ จึงจะแสดงให้เห็นว่าสมการพหุคูณสามารถทำนายค่าได้ใกล้เคียงกับความจริง ผลการทดลองพบว่าสมการทำนายประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นมีค่าต่ำที่สุด สมการทำนายประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นจึงมีความเหมาะสมที่สุดในการอธิบายความสัมพันธ์และทำนายค่าของตัวแปรอิสระให้มีความสัมพันธ์กับค่าผลตอบสนองที่ต้องการ

ดังนั้น สมการประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นจึงมีความเหมาะสมในการทำนายค่าของตัวแปรอิสระให้มีความสัมพันธ์กับค่าผลตอบสนองที่ต้องการ

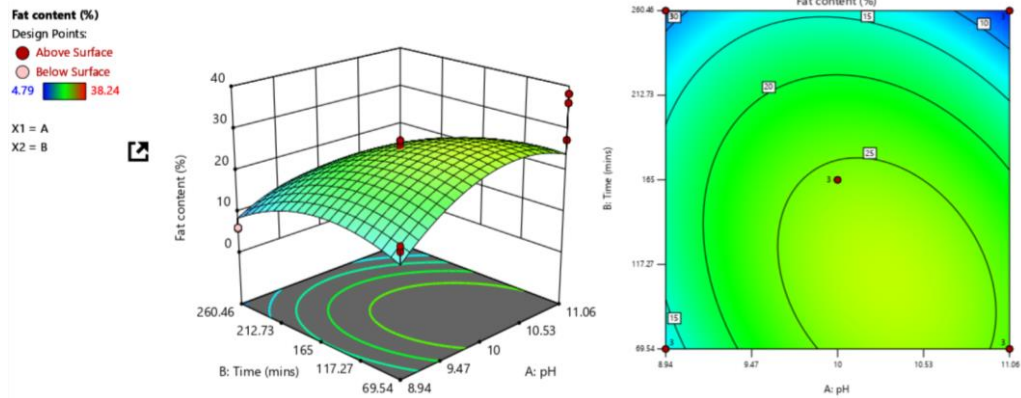
ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, r^2) ค่า Adjusted r -Squared และค่า Root Mean Square Error (RMSE) ของสมการผลตอบสนองในระบบฐานแห้ง (Dry basis)

สมการผลตอบสนอง	r-Squared	Adjusted r-Squared	RMSE
Protein content (%)	0.2035	0.0138	12.38
Fat content (%)	0.6381	0.5520	5.39
Process yield (%)	0.9532	0.9420	0.36
Protein yield (%)	0.9088	0.8871	4.36

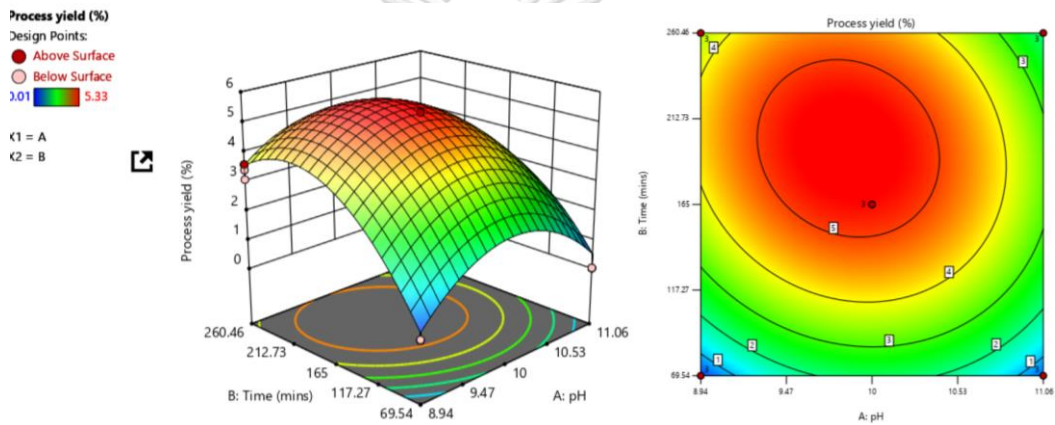
ภาพกราฟพื้นผิวผลตอบสนองแบบสามมิติ (three-dimensional (3D) response surface plots) แสดงดังภาพที่ 4.2 จากการพิจารณากราฟที่ 4.2 A และ B พบว่าไม่มีจุดยอดสูงสุดเกิดขึ้นในกราฟ จึงบ่งชี้ได้ว่าการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด-ด่าง และระยะเวลาในการสกัดมีผลให้โปรตีนเข้มข้นมีปริมาณร้อยละโปรตีนที่ได้และปริมาณร้อยละไขมันที่ได้สูงสุดอยู่นอกเขตพื้นที่การทดลอง ในขณะที่เมื่อพิจารณากราฟที่ 4.2 C และ D พบว่าการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาและค่าความเป็นกรด-ด่างในการสกัดมีผลให้โปรตีนเข้มข้นมี ประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นและประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนจากเนื้อบริเวณโครงไก่เพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นและประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนจากเนื้อบริเวณโครงไก่สูงสุดในเขตพื้นที่การทดลอง เมื่อพิจารณาจากกราฟพบว่ามีจุดยอดสูงสุดเกิดขึ้นในกราฟ จึงบ่งชี้ได้ว่ากราฟ ประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นและประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนจากเนื้อบริเวณโครงไก่มีความเหมาะสมในการทำนายค่าของตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา



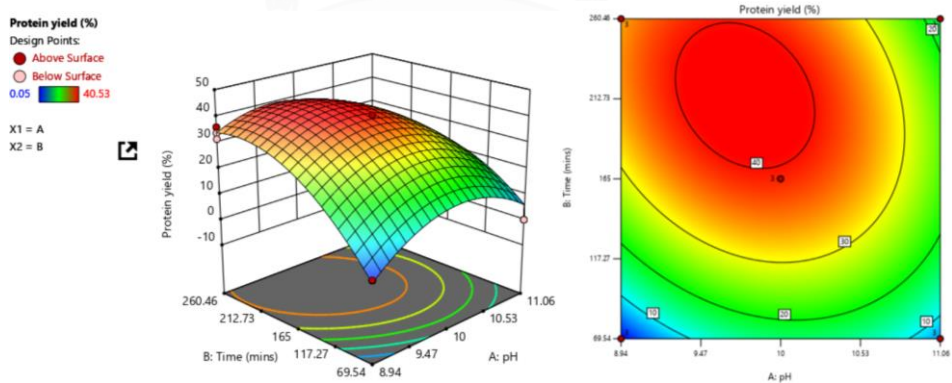
(A) กราฟพื้นผิวผลตอบสนองของปริมาณร้อยละโปรตีนที่ได้



(B) กราฟพื้นผิวผลตอบสนองของปริมาณร้อยละไขมันที่ได้



(C) กราฟพื้นผิวผลตอบสนองของประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้น



(D) กราฟพื้นผิวผลตอบสนองของประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนจากเนื้อบริเวณโครงไก่
 ภาพที่ 4.2 กราฟพื้นผิวผลตอบสนองต่างๆสำหรับการผลิตโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่

ดังนั้น จากการพิจารณาพบว่าสมการการทำนายผลตอบสนองประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้น ในระบบฐานแห้ง (Dry basis) จึงมีความเหมาะสมในการอธิบายความสัมพันธ์และทำนายค่าของตัวแปรอิสระให้มีความสัมพันธ์กับผลตอบสนองที่ต้องการ

การคัดเลือกภาวะการสกัดโปรตีนที่เหมาะสมจึงทำนายจากสมการประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นในระบบฐานแห้ง โดยกำหนดให้ค่าประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นสูงสุดได้ภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ภาวะค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10.15 และระยะเวลาในการสกัดเท่ากับ 185 นาที

4.2.3 ผลการตรวจสอบการใช้ได้ของสมการ

นำสมการการทำนายผลตอบสนองประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณมาตรวจสอบ ความเที่ยงตรงและความถูกต้องของสมการ โดยการทดลองสกัดโปรตีนด้วยภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ภาวะค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10.15 และระยะเวลาในการสกัดเท่ากับ 185 นาทีและนำไปวิเคราะห์ผลตอบสนองในด้านต่างๆ ได้แก่ ปริมาณร้อยละโปรตีนที่ได้ ปริมาณร้อยละไขมันที่ได้ ประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นและประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนจากเนื้อบริเวณโครงไก่ พิจารณาผลการตรวจสอบการใช้ได้ของสมการการทำนายจากการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%error) ระหว่างค่าที่ได้จากการทำนายกับค่าที่ได้จากการทดลองของผลตอบสนอง

ผลการตรวจสอบการใช้ได้ของสมการการทำนายของผลตอบสนองต่างๆ (ตารางที่ 4.5) พบว่าประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นในระบบฐานแห้งมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 12.67% โดย %error ของประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นสามารถยอมรับได้ เนื่องจากปริมาณเนื้อของโครงไก่ตัดบั้นท้าย ซึ่งเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตมีความแปรปรวนของปริมาณเนื้อที่ติดกับโครงไก่ประมาณ $14.87 \pm 2.42\%$ เป็นผลให้กระบวนการสกัดโปรตีนมีการแปรปรวนของค่าประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้น โดยผลตอบสนองประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงกว่า 1.05% ของงานวิจัยที่ศึกษาความเหมาะสมของภาวะการผลิต Soluble Protein และ Collagen Peptides จาก Mechanically deboned chicken meat (Pap et al., 2022) เนื่องจากงานวิจัยดังกล่าวทำนายผลตอบสนองในระบบ wet basis

ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของผลตอบสนองสำหรับการผลิตโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ในภาวะการสกัดที่เหมาะสมที่สุดในระบบฐานแห้ง (Dry basis)

ผลตอบสนอง	ค่าที่ได้จากการทำนาย	ค่าที่ได้จากการทดลอง*	%error
Process yield (%)	5.35	4.67 ± 0.66	12.67%

*รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจากการทดลอง 3 ซ้ำ

สมการของผลตอบสนองประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้นจึงมีความเหมาะสมในการทำนายภาวะในการสกัดโปรตีนสำหรับการผลิตโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการได้ ดังนั้นจึงคัดเลือกภาวะที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10.15 และระยะเวลาในการสกัดเท่ากับ 185 นาที ในการผลิตโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่มีประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนสูงที่สุด

4.3 ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของโปรตีนเข้มข้นและสมบัติเชิงหน้าที่ของเนื้อไก่ส่วนอก เนื้อไก่ส่วนขาและโปรตีนเข้มข้น

4.3.1 สมบัติทางเคมีกายภาพของโปรตีนเข้มข้น

4.3.1.1 องค์ประกอบทางเคมี

ผลการศึกษาร้อยละขององค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนเข้มข้น (ตารางที่ 4.6) พบว่าปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้าของโปรตีนเข้มข้นมีค่าสูงกว่าเนื้อไก่ส่วนอกและเนื้อไก่ส่วนขา ในขณะที่ปริมาณโปรตีนและปริมาณไขมันมีค่าต่ำกว่าเนื้อไก่ส่วนอกและเนื้อไก่ส่วนขา เนื่องจากโปรตีนเข้มข้นที่สกัดจากโครงไก่มีปริมาณความชื้นสูงกว่าเนื้อไก่ส่วนอกและเนื้อไก่ส่วนขา

งานวิจัยของ Kucukylmaz, Bozkurt, Cath, Herken, Cinar and Bintas (2011) พบว่าองค์ประกอบหลักของเนื้อไก่ส่วนอกเป็นโปรตีน 22.40% ไขมัน 2.41% ความชื้น 74.10% และเถ้า 1.15% ในขณะที่เนื้อไก่ส่วนขาเป็นโปรตีน 18.60% ไขมัน 6.54% ความชื้น 73.40% และเถ้า 0.94%

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนเข้มข้นจากภาวะการสกัดที่เหมาะสมที่สุด

องค์ประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์(%)
ปริมาณโปรตีน	7.21 ± 0.09
ปริมาณไขมัน	1.80 ± 0.17
ปริมาณความชื้น	89.78 ± 0.03
ปริมาณเถ้า	0.63 ± 0.14
ปริมาณกากอาหาร	0.15 ± 0.04
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	0.44 ± 0.07
ปริมาณโซเดียมคลอไรด์	0.95 ± 0.00

รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจากการทดลอง

4.3.1.2 สมบัติทางกายภาพ

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าสีของโปรตีนเข้มข้น โปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่มีสีสว่างและแดงน้อยกว่า Mechanically deboned chicken meat โดย Mechanically deboned chicken meat ภายในโรงงานมีค่า L* เท่ากับ 59.52 ± 0.51 a* เท่ากับ 12.15 ± 0.93 และ b* เท่ากับ 18.20 ± 0.86 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Thein and Vangnai (2015) พบว่า Mechanically deboned chicken meat มีค่า L* เท่ากับ 59.90 ± 2.36 a* เท่ากับ 12.70 ± 0.52 และ b* เท่ากับ 17.90 ± 0.60 ในขณะที่โปรตีนเข้มข้นมีแดงมากกว่าเนื้อไก่ส่วนนอกและเนื้อไก่ส่วนขา โดยเนื้อไก่ส่วนนอกมีค่า L* เท่ากับ 61.80 ± 1.05 a* เท่ากับ 2.09 ± 0.14 และ b* เท่ากับ 3.55 ± 0.14 และเนื้อไก่ส่วนขามีค่า L* เท่ากับ 62.59 ± 1.18 a* เท่ากับ 3.07 ± 0.13 และ b* เท่ากับ 3.56 ± 0.30

จากงานวิจัยของ Kucukyilmaz, Bozkurt, Cath, Herken, Cinar and Bintas (2011) เนื้ออกไก่มีค่า L* เท่ากับ 60.6 a* เท่ากับ 1.99 และ b* เท่ากับ 3.84 และเนื้อไก่ส่วนขามีค่า L* เท่ากับ 64.1 a* เท่ากับ 2.91 และ b* เท่ากับ 3.91 ดังนั้นจากข้อมูลพบว่าโปรตีนเข้มข้นมีสีที่ค่อนข้างใกล้เคียงกับเนื้อไก่ จึงสามารถนำมาทดแทนเนื้อไก่ได้

ตารางที่ 4.7 ค่าสีของโปรตีนเข้มข้นจากภาวะการสกัดที่เหมาะสมที่สุด

ค่าสี	ค่าที่ได้
L*	70.51 ± 6.19
a*	4.69 ± 0.66
b*	11.71 ± 1.21
Chroma	12.64 ± 0.93
Hue angle	67.95 ± 4.60

รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจากการทดลอง 3 ซ้ำ

4.3.2 สมบัติเชิงหน้าที่ของเนื้อไก่ส่วนนอก เนื้อไก่ส่วนขา และโปรตีนเข้มข้น

4.3.2.1 ผลของความเข้มข้นเกลือและความเร็วในการปั่นเหวี่ยงต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ

ผลการศึกษาความเข้มข้นเกลือในสารละลายที่ใช้ในการปั่นเหวี่ยงและความเร็วในการปั่นเหวี่ยงต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อไก่ส่วนนอก เนื้อไก่ส่วนขาและโปรตีนเข้มข้นแสดงดังตารางที่ 4.8 และผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังตารางที่ ข.5-ข.10

เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเกลือในสารละลายที่ใช้ในการปั่นเหวี่ยงส่งผลให้เนื้อไก่มีความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มความเข้มข้น

ของเกลือไมโอไฟบริลจะเกิดการขยายตัวหลังจากดูดซึมน้ำ เนื่องจาก Thick filament เกิดการ depolymerize เป็นโมเลกุลไมโอซิน ทำให้เกิดการขยายตัวของกล้ามเนื้อและสามารถอุ้มน้ำได้มากขึ้น (Zhang et al., 1995) สารละลายเกลือนอกจากจะช่วยให้กล้ามเนื้อขยายตัวแล้วยังเพิ่มความแข็งแรงในการยึดจับโมเลกุลของน้ำ โดยสารประกอบเกลือมีผลต่อการเกิดปฏิสัมพันธ์ของพันธะต่างๆ ทำให้มีปริมาณโปรตีนละลายออกมามากขึ้น ปริมาณโปรตีนที่สูงกว่าจะยึดจับโมเลกุลของน้ำได้มากขึ้น ส่งผลให้กักเก็บโมเลกุลของน้ำไว้ภายในโปรตีนเพิ่มขึ้น

ในส่วนของโปรตีนเข้มข้นพบว่ามีความสามารถในการอุ้มน้ำติดลบเมื่อปั่นเหวี่ยงที่ความเข้มข้น 0.3 mol/L เนื่องจากตัวอย่างมีปริมาณความเข้มข้นสูงจึงไม่สามารถอุ้มน้ำและสูญเสียปริมาณน้ำในตัวอย่างเมื่อมีแรงปั่นเหวี่ยง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเกลือจะมีการสูญเสียน้ำน้อยกว่า ทั้งนี้เพราะเกลือที่อยู่ในสารละลายสามารถสร้างอันตรกิริยากับโปรตีนได้มากขึ้นจึงช่วยในการอุ้มน้ำมากขึ้น ดังนั้นเมื่อเทียบที่ความเข้มข้นเกลือต่างๆ จึงพบว่าความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุดที่ความเข้มข้นของเกลือเท่ากับ 0.6 mol/L

เมื่อพิจารณาผลของแรงปั่นเหวี่ยง (ตารางที่ 4.8) พบว่าเมื่อใช้แรงปั่นเหวี่ยงเพิ่มขึ้นจาก 1000 g เป็น 2000 g พบว่าความสามารถในการอุ้มน้ำมีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่มแรงในการปั่นเหวี่ยงส่งผลให้เกิดการบีบน้ำออกจากกล้ามเนื้อสัตว์มากขึ้น (Zhang et al., 1995) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างความเข้มข้นเกลือและแรงปั่นเหวี่ยงต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อไก่ส่วนอก เนื้อไก่ส่วนขาและโปรตีนเข้มข้น ($p > 0.05$) โดยเนื้อไก่ส่วนอกและเนื้อไก่ส่วนขามีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงกว่าโปรตีนเข้มข้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากความเข้มข้นและปริมาณของโปรตีนที่มีในตัวอย่งมีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ ปริมาณโปรตีนที่สูงกว่าจะยึดจับโมเลกุลของน้ำได้มากขึ้น ส่งผลให้กักเก็บโมเลกุลน้ำไว้ภายในโปรตีนเพิ่มขึ้น (ประเสริฐ เตชชีวงศ์, 2555) โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเกลือส่งผลให้เนื้อไก่มีความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่โปรตีนเข้มข้นสามารถกักเก็บและอุ้มน้ำได้ที่ความเข้มข้นเกลือ 0.6 mol/L แต่ไม่มีความสามารถในการอุ้มน้ำที่ความเข้มข้นเกลือ 0.3 mol/L เนื่องจากตัวอย่างมีปริมาณน้ำและความเข้มข้นในตัวอย่งสูง เมื่อพิจารณาแรงในการปั่นเหวี่ยงพบว่าความสามารถในการอุ้มน้ำมีค่าลดลง แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

งานวิจัยของ Majid, Rameez Raja, Depeesh, Raza Ali, Lokesh, Kabir, Anees, Zafar and Muhammad (2017) ศึกษาความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อไก่ โดยการปั่นเหวี่ยงตัวอย่างที่ความเร็วรอบ 10000 rpm อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 15 นาทีในสารละลายเกลือความ

เข้มข้น 0.6 mol/L อัตราส่วนเนื้อไก่ต่อสารละลายที่ 1 : 3 พบว่าเนื้อไก่ส่วนอกด้านซ้ายและขวามีความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 14.16% และ 8.33% ตามลำดับ ในขณะที่เนื้อไก่ส่วนปีกด้านซ้ายและขวามีค่าเท่ากับ 16.02% และ 12.49% ตามลำดับและเนื้อไก่ส่วนต้นขาด้านซ้ายและขวามีค่าเท่ากับ 14.16% และ 15.83% ตามลำดับ ทั้งนี้ความสามารถในการอุ้มน้ำขึ้นอยู่กับชิ้นส่วนไก่ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นเกลือและความเร็วในการปั่นเหวี่ยงต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อไก่ส่วนอก เนื้อไก่ส่วนขา และโปรตีนเข้มข้น

แรงในการปั่นเหวี่ยง (g)	ความเข้มข้นของเกลือ (mol/L)	Water holding capacity (%)		
		เนื้อไก่ส่วนอก	เนื้อไก่ส่วนขา	โปรตีนเข้มข้น
1000	0.0	9.63 ^{aC} ± 4.65	9.57 ^{aBC} ± 1.82	-7.49 ^{bC} ± 1.21
	0.3	10.48 ^{aB} ± 1.19	12.84 ^{aB} ± 2.98	-4.47 ^{bB} ± 2.50
	0.6	27.64 ^{aA} ± 3.89	24.19 ^{aA} ± 5.29	2.95 ^{bA} ± 3.98
2000	0.0	5.08 ^{aC} ± 2.05	8.96 ^{aC} ± 1.60	-7.81 ^{bC} ± 4.17
	0.3	7.89 ^{aB} ± 0.85	11.70 ^{aB} ± 2.88	-4.30 ^{bB} ± 2.32
	0.6	26.26 ^{aA} ± 4.99	27.52 ^{aA} ± 3.67	2.80 ^{bA} ± 1.17

รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจากการทดลอง 3 ซ้ำ

a,b,c... ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่กำกับด้วยอักษรต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

A,B,C... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยอักษรต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

4.3.2.2 สมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนที่ละลายในน้ำกลั่นและละลายในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1% w/v

สมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนที่ละลายในน้ำกลั่นและละลายในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1% w/v ของเนื้อไก่ส่วนอก เนื้อส่วนขา และโปรตีนเข้มข้นแสดงดังตารางที่ 4.9 และผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังตารางที่ ข.11 ผลการทดลองพบว่าที่ภาวะการละลายในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1% w/v ส่งผลให้ค่า emulsifying activity index (EAI) ของเนื้อไก่และโปรตีนเข้มข้นสูงกว่าภาวะไม่มีเกลือ เนื่องจากการเติมเกลือช่วยสกัดโปรตีนออกจากเส้นใยกล้ามเนื้อ โดยเกลือมีผลต่อการเกิดปฏิสัมพันธ์ของพันธะต่างๆ ทำให้มีปริมาณโปรตีนละลายออกมามากขึ้น ทำให้มีความสามารถในการสร้างอิมัลชันเพิ่มขึ้น (Stefansson & Hultin, 1994) ที่ภาวะการละลายในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1% w/v แสดงค่า EAI สูงกว่า แต่มีค่า ESI ต่ำกว่าภาวะไม่มีเกลือ อาจเนื่องมาจากปริมาณโปรตีนที่บริเวณ oil-water

interface มากขึ้น ส่งผลให้โมเลกุลโปรตีนเกิดอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนได้มากขึ้น แทนที่จะเกิดอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนกับน้ำมัน เพื่อรักษาความคงตัวของอิมัลชัน ทำให้อนุภาคน้ำมันเกิดการรวมตัวกันเองได้ง่ายเป็นสาเหตุให้ความคงตัวของอิมัลชันลดลง (ประเสริฐ เตชชีวะพงศ์, 2555)

เมื่อพิจารณาสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของเนื้อไก่ส่วนนอก เนื้อไก่ส่วนขา และโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่พบว่ามีความสามารถในการเกิดอิมัลชันและความสามารถในการคงตัวของอิมัลชันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเนื้อไก่ส่วนนอกมีค่า EAI สูงกว่าเนื้อไก่ส่วนขา และโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ เนื่องจากเนื้อไก่ส่วนนอกมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยเท่ากับ 21.08% มากกว่าเนื้อไก่ส่วนขาและโปรตีนเข้มข้นที่มีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยเท่ากับ 17.34% และ 7.21% ตามลำดับ เนื้อไก่ส่วนนอกจึงมีโปรตีนที่มีคุณสมบัติในการละลายที่มากกว่าที่จะเคลื่อนที่ไปยังบริเวณ oil-water interaction และโอบล้อมโมเลกุลน้ำมันส่งผลให้มีความสามารถในการสร้างระบบอิมัลชันเพิ่มขึ้น (Rao et al., 2002) ในขณะที่เมื่อพิจารณาค่า ESI พบว่าเนื้อไก่ส่วนขา มีค่าต่ำกว่าเนื้อไก่ส่วนนอกและโปรตีนเข้มข้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องจากเนื้อไก่ส่วนนอกและโปรตีนเข้มข้นมีคุณสมบัติในการละลายที่มากกว่าเนื้อไก่ส่วนขา เมื่อระยะเวลาผ่านไปโมเลกุลโปรตีนที่มีคุณสมบัติในการละลายสูงกว่าจะเคลื่อนที่มาบริเวณ oil-water interface มากขึ้นและเกิดการคลายตัวล้อมเม็ดน้ำมันได้เพิ่มขึ้น เป็นสาเหตุให้ความคงตัวของอิมัลชันสูง (ประเสริฐ เตชชีวะพงศ์, 2555)

ตารางที่ 4.9 สมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนที่ละลายในน้ำกลั่นและละลายในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1% w/v ของเนื้อไก่ส่วนนอก เนื้อไก่ส่วนขา และโปรตีนเข้มข้น

Samples	ละลายในน้ำกลั่น		ละลายในน้ำเกลือ	
	EAI (m^2/g)	ESI (min)	EAI (m^2/g)	ESI ^{ns} (min)
เนื้อไก่ส่วนนอก	60.39 ^a ±1.54	39.70 ^a ±2.66	64.53 ^a ±0.31	25.17±1.15
เนื้อไก่ส่วนขา	57.10 ^b ±2.84	37.71 ^b ±4.50	63.65 ^a ±2.21	25.90±2.69
โปรตีนเข้มข้น	41.11 ^c ±1.02	39.04 ^a ±3.34	49.46 ^b ±2.64	25.68±1.31

รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจากการทดลอง 3 ซ้ำ

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

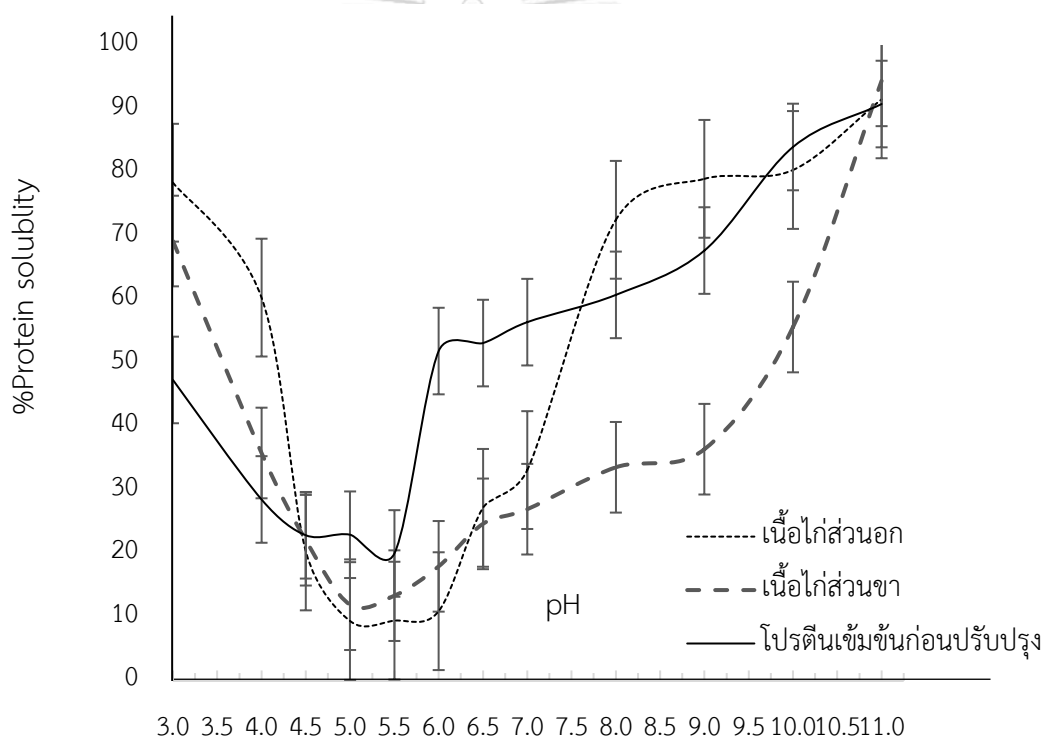
ns เป็นค่าเฉลี่ยที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.3.2.3 ความสามารถในการละลายของโปรตีนในช่วง pH 3 – 11

สมบัติการละลายเป็นสมบัติที่มีความสำคัญในการเลือกนำโปรตีนเข้มข้นไปประยุกต์ใช้ในอาหารชนิดต่าง ๆ เนื่องจากความสามารถในการละลายของโปรตีนมีอิทธิพลต่อสมบัติด้านอื่นของอาหาร หากโปรตีนละลายได้น้อยหรือมีอันตรกิริยากับโมเลกุลน้ำต่ำจะมีผลต่อ

การจำกัดการนำโปรตีนไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหาร จากกราฟการละลาย (ภาพที่ 4.3) พบว่าโปรตีนเข้มข้นมีความสามารถในการละลายต่ำที่สุดที่ pH 5.5 และความสามารถในการละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH สูงหรือต่ำกว่าช่วงดังกล่าว เนื่องจากจุดไอโซอิเล็กทริก (Isoelectric point) ของโปรตีนในเนื้อไก่อยู่ในช่วง pH 5 – 6

เมื่อเปรียบเทียบเนื้อไก่กับโปรตีนเข้มข้นพบว่ามีรูปแบบการละลายที่แตกต่าง โดยพบว่าโปรตีนเข้มข้นมีความสามารถในการละลายที่ดีกว่าเนื้อไก่ในช่วง pH เท่ากับ 6-7 เนื่องจากในกระบวนการสกัดโปรตีนเข้มข้นมีการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ส่งผลให้โปรตีนเกิดแรงผลักภายในโมเลกุลโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ ทำให้โปรตีนสามารถจับน้ำได้เพิ่มขึ้น จึงเกิดการกระจายตัวในน้ำและเกิดการละลายง่ายกว่าเนื้อไก่ ส่งผลให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.3 ผลของความเป็นกรด-ด่างต่อความสามารถในการละลายของเนื้อไก่ส่วนนอก เนื้อไก่ส่วนขา และโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่

4.4 ศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

4.4.1 สมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนที่ละลายในน้ำกลั่นและละลายในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1% w/v ของเนื้อไก่ส่วนอก เนื้อไก่ส่วนขา โปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงและโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่ผ่านการปรับปรุง

ผลการศึกษาสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของเนื้อไก่ส่วนอก เนื้อส่วนขา โปรตีนเข้มข้นที่ไม่ผ่านการปรับปรุงและโปรตีนเข้มข้นหลังการปรับปรุงด้วยวิธีต่างๆ (ตารางที่ 4.10) พบว่าเนื้อไก่ส่วนอก เนื้อไก่ส่วนขา โปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงและผ่านกระบวนการปรับปรุงมีความสามารถในการเกิดอิมัลชันและความสามารถในการคงตัวของอิมัลชันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโปรตีนที่ละลายในน้ำกลั่นและละลายในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1% w/v พบว่าการละลายในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ส่งผลให้ความสามารถในการเกิดอิมัลชันและความสามารถในการคงตัวของอิมัลชันมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการละลายในน้ำกลั่น เนื่องจากการเติมเกลือช่วยสกัดโปรตีนออกจากเส้นใย ทำให้มีปริมาณโปรตีนละลายออกมามากขึ้นและเกิดระบบอิมัลชันได้ดียิ่งขึ้น (Stefansson & Hultin, 1994)

เมื่อเปรียบเทียบ emulsifying activity index (EAI) และ emulsion stability index (ESI) ของโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงและโปรตีนที่ผ่านการปรับปรุง พบว่าการปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและความดันและการปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟต และส่วนผสม (โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท แป้งข้าวสาลี แป้งมันสำปะหลัง) และความดัน โปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟต และส่วนผสม (โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท แป้งข้าวสาลี แป้งมันสำปะหลัง) และความดันส่งผลให้ความสามารถในการเกิดอิมัลชันสูงกว่าโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าสูงกว่าเท่ากับ 26.61% และ 29.85% ตามลำดับ เนื่องจากการปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟต และส่วนผสม (โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท แป้งข้าวสาลี แป้งมันสำปะหลัง) และความดันส่งผลให้โปรตีนเข้มข้นมีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดีและมีส่วนที่กระจายตัวได้ดีทั้งในน้ำ (hydrophillic region) และส่วนที่ละลายได้ดีในไขมัน (lyophillic region) เกิดการละลายไปยังบริเวณ oil-water interface และเกิดการดูดซับได้อย่างรวดเร็ว และคลายตัวยึดจับโมเลกุลน้ำมันและโมเลกุลน้ำ ทำให้เกิดระบบอิมัลชันได้ดี

ตารางที่ 4.10 ผลของความเข้มข้นเกลือต่อการละลายของโปรตีนและสมบัติการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของเนื้อไก่ส่วนอก เนื้อไก่ส่วนขา โปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงและผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

Samples	ละลายในน้ำกลั่น		ละลายในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1% w/v	
	EAI (m ² /g)	ESI (min)	EAI (m ² /g)	ESI (min)
เนื้อไก่ส่วนอก	60.39 ^a ±1.54	39.70 ^b ±2.66	64.53 ^a ±0.31	25.17 ^c ±1.15
เนื้อไก่ส่วนขา	57.10 ^b ±2.84	37.71 ^c ±4.50	63.65 ^a ±2.21	25.90 ^c ±2.69
โปรตีนเข้มข้นที่ไม่ผ่านการปรับปรุง	41.11 ^d ±1.02	39.04 ^b ±3.34	49.46 ^c ±2.64	25.68 ^c ±1.31
โปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยความดัน	42.22 ^d ±1.02	39.20 ^b ±2.31	49.45 ^c ±0.35	25.15 ^c ±0.92
โปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือและความดัน	43.61 ^d ±0.74	43.61 ^a ±1.82	51.19 ^c ±1.22	29.18 ^b ±1.45
โปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือฟอสเฟตและความดัน	52.05 ^c ±0.14	43.36 ^a ±3.61	55.49 ^b ±2.15	32.51 ^a ±1.94
โปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือฟอสเฟต และส่วนผสม (โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท แป้งข้าวสาลี แป้งมันสำปะหลัง) และความดัน	53.38 ^c ±2.51	43.97 ^a ±2.98	57.16 ^b ±1.94	33.45 ^a ±2.38

รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจากการทดลอง 3 ซ้ำ

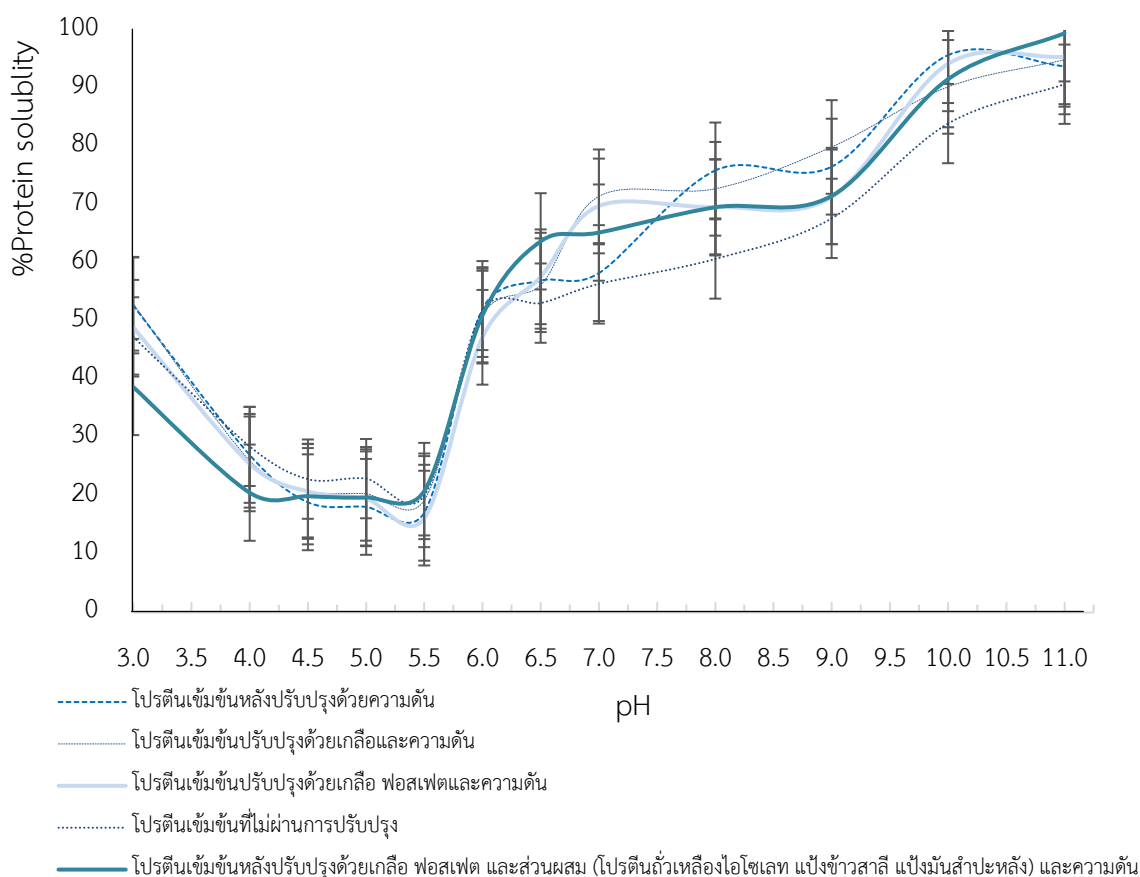
a,b,c... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยอักษรต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.4.2 ความสามารถในการละลายของโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีที่แตกต่างกันในช่วง pH 3 - 11

จากกราฟการละลาย (ภาพที่ 4.4) พบว่าโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุงและไม่ผ่านการปรับปรุงมีความสามารถในการละลายคล้ายคลึงกันในช่วง pH 3 - 11 โดยโปรตีนเข้มข้นทุกตัวอย่างมีความสามารถในการละลายต่ำที่สุดที่ pH 5.5 และความสามารถในการละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH สูงหรือต่ำกว่าช่วงดังกล่าว เนื่องจากที่ค่า pH ช่วงดังกล่าวจะทำให้โมเลกุลโปรตีนมีประจุสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ ทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนกับโปรตีนมากกว่าโปรตีนกับตัวทำละลาย โมเลกุลโปรตีนจึงเคลื่อนที่เข้าใกล้กันมากขึ้นและจับตัวกัน ทำให้ความสามารถในการละลายของโปรตีนลดลง ในขณะที่เมื่อค่า pH ของสารละลายห่างจากจุด pI ความสามารถในการละลายของ

โปรตีนจะเพิ่มขึ้น (ประเสริฐ เตชชีวพงศ์, 2555) ดังนั้นจึงควรนำโปรตีนไปใช้งานในผลิตภัณฑ์ที่มีช่วง pH เท่ากับ 6-7 เนื่องจากโปรตีนเข้มข้นมีความสามารถในการละลายสูง โดยหากโปรตีนนั้นละลายได้น้อยหรือมีอันตรกิริยากับโมเลกุลน้ำที่ต่ำจะเป็นตัวจำกัดการนำโปรตีนนั้น ๆ ไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหาร โดย Raw batter nugget ส่วนใหญ่มีค่า pH ในช่วง 6.30 – 6.38 (Kim et al., 2015) สอดคล้องกับค่า pH ของ Raw batter nugget ในโรงงานมีค่าเท่ากับ 6.25-6.40 ซึ่งช่วง pH ดังกล่าวโปรตีนเข้มข้นที่เติมลงไปสามารถละลายน้ำได้ดี



ภาพที่ 4.4 ผลของความเป็นกรด-ด่างต่อความสามารถในการละลายของโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ ที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายต่าง

4.5 การใช้ประโยชน์ของโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ในผลิตภัณฑ์นั้กเกิดไก่

4.5.1 การคัดเลือกสูตรนั้กเกิดไก่ที่มีการผสมโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่

ผลการคัดเลือกสูตรนั้กเกิดไก่ที่มีการผสมโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่โดยการ balance สูตรนั้กเกิดดังตารางที่ 4.11 จากสูตรปกติหรือสูตรที่มีการผลิตภายในโรงงานปัจจุบันมี ปริมาณโปรตีนรวมในสูตรเท่ากับ 17.07 ปริมาณไขมันรวมในสูตรเท่ากับ 4.47 และปริมาณความชื้น

รวมในสูตรเท่ากับ 69.28 กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาณความชื้นรวมในสูตรแตกต่างจากสูตรควบคุมไม่เกิน 1.00% ปริมาณไขมันรวมในสูตร และปริมาณโปรตีนรวมในสูตรไม่เกิน 5.00% จึงเลือกการเติมโปรตีนเข้มข้นในสูตรผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ที่สัดส่วน 12.50% โดยแทนที่ในเนื้อไก่ส่วนนอก เนื้อไก่ส่วนขาและน้ำเท่ากับ 17.50% 1.28% และ 51.28% ตามลำดับ ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนรวมในสูตรควบคุมและสูตรที่ 3-6 เท่ากับ 16.41 ปริมาณไขมันรวมในสูตรเท่ากับ 4.60 และปริมาณความชื้นรวมในสูตรเท่ากับ 69.73 คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 3.87% 2.91% และ 0.65% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 การ balance ผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่สูตรควบคุมเปรียบเทียบกับสูตรปกติ

ส่วนประกอบ(%)	สูตรปกติ			สูตรควบคุมและสูตรที่ 3-6				
	สัดส่วน	องค์ประกอบทางเคมี			สัดส่วน	องค์ประกอบทางเคมี		
		โปรตีน	ไขมัน	ความชื้น		โปรตีน	ไขมัน	ความชื้น
เนื้อส่วนขา	39.00	6.76	4.27	28.42	38.50	6.68	4.22	28.05
เนื้อส่วนนอก	40.00	8.43	0.18	30.94	33.00	6.96	0.15	25.52
โปรตีนเข้มข้น	-	-	-	-	12.50	0.90	0.23	11.22
โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท	2.25	1.87	0.01	0.18	2.25	1.87	0.01	0.18
โซเลท								
เครื่องปรุงอื่นๆ	9.00	-	-	-	9.00	-	-	-
น้ำแข็ง	9.75	-	-	9.75	4.75	-	-	4.75
รวม	100	17.07	4.47	69.28	100	16.41	4.60	69.73

4.5.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำของ Raw batter nugget

ความสามารถในการอุ้มน้ำของ Raw batter nugget สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุงแสดงดังตารางที่ 4.12 และผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังตารางที่ ข.11 Raw batter nugget สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและความดัน และสูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟต และส่วนผสม (โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท แป้งข้าวสาลี แป้งมันสำปะหลัง) และความดันมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงกว่า Raw batter nugget สูตรปกติและสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดย Raw batter nugget มีค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียไปลดลง 3.21% และ 3.95% ตามลำดับจากสูตรปกติ เนื่องจากเกลือที่เติมในการกระบวนการปรับปรุงจะแตกตัวให้ประจุบวก (Na^+) และประจุลบ (Cl^-) ทำให้เกิดแรงผลักภายในโมเลกุลโปรตีนไมโอสิบิลลาร์ ส่งผลให้โปรตีนสามารถจับน้ำได้เพิ่มขึ้นและเกิดการขยายตัวของ

ช่องว่างภายในโมเลกุล ทำให้มีความสามารถอุ้มน้ำได้มากขึ้น (Puolanne et al., 2001) ส่งผลให้โครงสร้างผลิตภัณฑ์แข็งแรงมากขึ้นและสามารถรักษาโมเลกุลน้ำไว้ภายในโครงสร้างได้ดีขึ้น

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบความสามารถในการอุ้มน้ำของ Raw batter nugget สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Samples	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (%)
สูตรปกติ	85.37 ^b ± 0.23
สูตรควบคุม	85.94 ^b ± 0.73
สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยความดัน	85.56 ^b ± 0.60
สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือและความดัน	85.57 ^b ± 0.28
สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและความดัน	88.11 ^a ± 0.47
สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟต และส่วนผสม (โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท แป้งข้าวสาลี แป้งมันสำปะหลัง) และความดัน	88.74 ^a ± 0.57

รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจากการทดลอง 3 ซ้ำ

a,b,c... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยอักษรต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

4.5.3 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่

ผลของการเติมโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีที่แตกต่างกันต่อองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่แสดงในตารางที่ 4.13 และผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังตารางที่ ข.12-17 ปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน ปริมาณเถ้า ปริมาณใยอาหาร และปริมาณคาร์โบไฮเดรตระหว่างตัวอย่างนักเก็ตสูตรปกติที่ไม่เติมโปรตีนเข้มข้นและตัวอย่างที่เติมโปรตีนเข้มข้นมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่ปริมาณโปรตีนระหว่างตัวอย่างนักเก็ตสูตรปกติที่ไม่เติมโปรตีนเข้มข้นและตัวอย่างที่เติมโปรตีนเข้มข้นมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ผลการทดลองพบว่าปริมาณความชื้นมีค่าอยู่ในช่วง 55.53-64.13% โดยนักเก็ตสูตรที่เติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยความดันมีปริมาณความชื้นสูงที่สุด ในขณะที่ปริมาณความชื้นของนักเก็ตสูตรปกติต่ำที่สุดเท่ากับ 55.53% ปริมาณไขมันของนักเก็ตมีค่าอยู่ในช่วง 7.51-8.38% โดยสูตรปกติสูงที่สุดเท่ากับ 8.38% ปริมาณเถ้ามีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 2.07-3.25% และปริมาณใยอาหารมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.34-0.60% ปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 13.74-20.89%

ตารางที่ 4.13 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ไก่เกิดไก่ สุตรปกติ สุตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Samples	Proximate composition (%)						
	Moisture	Protein ^{ns}	Fat	Ash	Fiber	Carbohydrate	
สูตรปกติ	55.53 ^d ±0.32	12.13±0.35	8.38 ^a ±0.11	3.25 ^a ±0.07	0.34 ^b ±0.01	20.89 ^a ±0.58	
สูตรควบคุม	62.53 ^{bc} ±0.07	12.45±0.20	7.64 ^b ±0.12	2.13 ^{bc} ±0.02	0.53 ^{ab} ±0.03	15.25 ^b ±0.19	
สูตรเต็มโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยความดัน	64.13 ^a ±0.23	12.10±0.09	7.96 ^{ab} ±0.38	2.07 ^c ±0.01	0.60 ^a ±0.03	13.74 ^c ±0.45	
สูตรเต็มโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือและวิตามิน	61.95 ^c ±0.34	12.62±0.16	7.88 ^{ab} ±0.08	2.17 ^b ±0.01	0.47 ^{ab} ±0.17	15.10 ^b ±0.09	
สูตรเต็มโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและวิตามิน	62.77 ^b ±0.18	12.53±0.10	7.60 ^b ±0.08	2.14 ^{bc} ±0.01	0.57 ^{ab} ±0.09	14.97 ^b ±0.11	
สูตรเต็มโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและส่วนผสม (โปรตีนถั่วเหลืองไฮโซเลท แป้งข้าวสาลี และแป้งมันสำปะหลัง) และความดัน	62.60 ^{bc} ±0.32	12.56±0.16	7.51 ^b ±0.25	2.16 ^b ±0.01	0.54 ^{ab} ±0.14	14.52 ^{bc} ±0.47	

รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจากการทดลอง 3 ซ้ำ

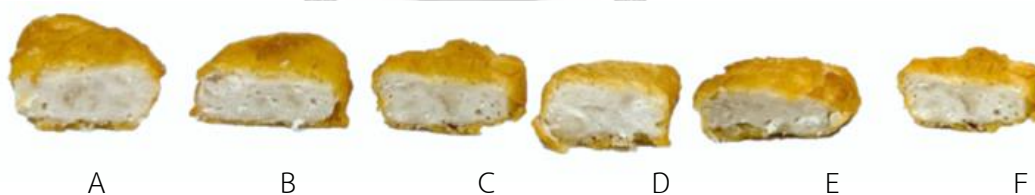
a,b,c... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยอักษรต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

ns เป็นค่าเฉลี่ยที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05)

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเถ้าและปริมาณใยอาหารของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ที่เติมโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุงมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติจากสูตรควบคุม ($p > 0.05$) ในขณะที่ปริมาณความชื้นและปริมาณคาร์โบไฮเดรตแตกต่างจากสูตรควบคุมเล็กน้อย เนื่องจากกระบวนการผลิตในขั้นตอนการคลุกแป้งมีค่าเบี่ยงเบนในแต่ละกระบวนการ จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์นักเก็ตมีปริมาณแป้งที่ติดไปกับ Raw batter nugget ไม่เท่ากัน

4.5.4 สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่

ผลของการเติมโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีที่แตกต่างกันต่อค่าสีด้านในและด้านนอกบริเวณผิวแป้งของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่แสดงดังตารางที่ 4.14-4.15 (ภาพที่ 4.5) และผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังตารางที่ ข.18-22 พบว่าค่าสีในด้านค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของตัวอย่างปกติและสูตรที่แทนที่เนื้อไก่และน้ำด้วยโปรตีนเข้มข้นมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) รวมถึงเมื่อพิจารณาค่า Chroma และ Hue angle ของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่สูตรที่แทนที่เนื้อไก่และน้ำด้วยโปรตีนเข้มข้นพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน ($p > 0.05$) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่า ΔE พบว่ามีค่าน้อยกว่า 3 โดยสูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและความดันมีค่า ΔE น้อยที่สุดเท่ากับ 0.40 และสูตรควบคุมมีค่า ΔE มากที่สุดเท่ากับ 1.34 เมื่อเทียบกับตัวอย่างสูตรปกติ ซึ่งจากงานวิจัยของ Luchese et al. (2018) พบว่ามนุษย์ไม่สามารถแยกความแตกต่างของสีได้ เมื่อค่า ΔE น้อยกว่า 3 ดังนั้น การเติมโปรตีนเข้มข้นในผลิตภัณฑ์นักเก็ตจึงไม่ส่งผลต่อค่าสีโดยรวมของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่



ภาพที่ 4.5 ลักษณะภายในของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่สูตรปกติ (A) สูตรควบคุม (B) สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยความดัน (C) สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือและความดัน (D) สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและความดัน (E) สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟต และส่วนผสม (โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท แป้งข้าวสาลี แป้งมันสำปะหลัง) และความดัน (F) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.14 ค่าสีด้านนอกของผลิตภัณฑ์ขนมปังเกิดสูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรที่เติมโปรตีนเข้มข้นผ่านการปรับปรุงวิธีต่างๆ

Samples	สีด้านนอก					
	L ^{*ns}	a ^{*ns}	b ^{*ns}	Chroma ^{ns}	Hue ^{ns}	ΔE
สูตรปกติ	66.50±2.49	1.41±0.10	47.78±1.68	47.80±1.68	88.31±0.07	-
สูตรควบคุม	67.82±2.44	1.41±0.03	47.53±1.99	47.55±1.99	88.30±0.10	1.34
สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยวิตามิน	66.74±2.37	1.41±0.02	47.32±0.65	47.34±0.65	88.30±0.03	0.53
สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือและความมัน	65.71±2.26	1.43±0.01	47.55±1.64	47.57±1.64	88.28±0.06	0.82
สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและความมัน	66.82±1.31	1.43±0.02	47.54±0.61	47.56±0.61	88.27±0.01	0.40
สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟต และ	66.73±0.65	1.42±0.03	46.89±0.40	46.91±0.40	88.27±0.02	0.92
ส่วนผสม (โปรตีนถั่วเหลืองไฮโซเลท แป้งข้าวสาลี แป้งมัน						
สำปะหลัง) และความมัน						

รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ns เป็นค่าเฉลี่ยที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05)

ตารางที่ 4.15 ค่าสีด้านในของผลิตภัณฑ์กันเกิดสูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรที่เติมโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีต่างๆ

Samples	สีด้านใน					
	L* ^{ns}	a* ^{ns}	b* ^{ns}	Chroma ^{ns}	Hue ^{ns}	ΔE
สูตรปกติ	73.83±2.04	4.48±0.33	12.42±0.23	13.21±0.31	70.20±1.12	-
สูตรควบคุม	71.28±1.12	4.13±0.12	12.23±0.15	12.90±0.15	71.35±0.48	1.98
สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยวิตามิน	72.00±2.02	3.96±0.26	13.00±0.10	13.59±0.17	73.08±0.93	1.99
สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือและความดัน	74.59±1.10	4.13±0.36	12.62±0.37	13.28±0.34	71.88±1.67	1.20
สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและความดัน	74.26±1.00	4.10±0.10	13.19±0.35	13.81±0.36	72.75±0.28	0.96
สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟต และส่วนผสม (โปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลส แบงซ์ข้าวสาลี แบงซ์มันสำปะหลัง) และความดัน	74.55±1.06	4.26±0.28	12.35±0.15	13.07±0.09	70.97±1.34	0.75

รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ns เป็นค่าเฉลี่ยที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.5.5 ประสิทธิภาพในการผลิตของผลิตภัณฑ์นั้กเกิดไก่

ผลของการเติมโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีที่แตกต่างกันต่อ ประสิทธิภาพในการผลิต (Process yield) ของผลิตภัณฑ์นั้กเกิดไก่แสดงดังตารางที่ 4.16 และผลการ วิเคราะห์ทางสถิติดังตารางที่ ข.23-31 ซึ่งให้เห็นว่าค่า Forming yield, Frying yield และ Overall process yield ของตัวอย่างนั้กเกิดที่เติมโปรตีนเข้มข้นมีค่าแตกต่างจากสูตรปกติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ค่า Mixing yield, Milk wash yield, Predust yield, Batter yield, Cooking yield และ Freezing yield มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับสูตรปกติ ($p > 0.05$)

จากผลการทดลองพบว่ากระบวนการ Forming yield ของนั้กเกิดสูตรที่เติมโปรตีน มีค่าสูงกว่านั้กเกิดสูตรปกติ สูตรที่เติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือและความดันและสูตรเติม โปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและความดันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ กระบวนการ Frying yield ของนั้กเกิดสูตรที่เติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือและความดันและ สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและความดันมีค่าสูงกว่าสูตรปกติและสูตรควบคุม อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่งผลให้ Overall process yield ของนั้กเกิดสูตรที่เติมโปรตีนเข้มข้น ปรับปรุงด้วยเกลือและความดันและสูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและความดันมี ค่าสูงขึ้นจากสูตรปกติและสูตรควบคุม จากผลการทดลองเมื่อ Overall process yield สูงขึ้น ส่งผลดี ต่อต้นทุนการผลิต ทำให้ต้นทุนการผลิตมีค่าต่ำลง

เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต (Overall process yield) ของการ ผลิตนั้กเกิดไก่ที่เติมโปรตีนเข้มข้นที่ไม่ผ่านการปรับปรุงและผ่านการปรับปรุงพบว่ามีค่าสูงขึ้นจากสูตร ปกติประมาณ 3.24-4.18% เนื่องจากโปรตีนที่เติมลงไปนั้กเกิดมีกลไกในการทำหน้าที่เป็นสารยึด เกาะและเหนียวทำให้เกิดโครงร่างนั้กเกิดที่แข็งแรงมากขึ้น ซึ่งในเชิงของกระบวนการผลิตของโรงงาน บีฟู้ด โปรดักอินเตอร์เนลชั่นเนลถือว่ามีความแตกต่างกัน (ค่าเบี่ยงเบนการผลิตควบคุมที่ +/- 3%)

โดยเมื่อพิจารณาพบว่าสูตรที่เติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟต แบ่ง ISP และความดันมีค่า Overall process yield สูงที่สุดเท่ากับ 136.43% สอดคล้องกับผลการทดสอบ ความสามารถในการอุ้มน้ำของ raw batter nugget ที่เติมสูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟต และส่วนผสม (โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท แบ่งข้าวสาลี แบ่งมันสำปะหลัง) และความดันมี ความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุด

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการผลิต (Overall process yield) ของการผลิตน้ำกึ่งสุตกรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นขึ้นผ่านการปรับปรุง

Process (%)	Samples						
	สูตรปกติ	สูตรควบคุม	สูตรเต็มโปรตีน เข้มข้นปรับปรุง ด้วยความดัน	สูตรเต็มโปรตีน เข้มข้นปรับปรุงด้วย เกลือและความดัน	สูตรเต็มโปรตีนเข้มข้น ปรับปรุงด้วยเกลือ พอสเฟตและความดัน	สูตรเต็มโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ พอสเฟต และส่วนผสม (โปรตีนถั่วเหลืองไฮโซ เลท แป้งข้าสาลี แป้งมันสำปะหลัง) และความ ดัน	
Mixing yield (%) ^{ns}	99.08±0.62	99.52±0.45	99.35±0.43	99.41±0.22	99.30±0.16	99.18±0.15	
Forming yield (%)	99.05 ^b ±0.25	99.85 ^a ±0.09	99.41 ^{ab} ±0.13	99.20 ^b ±0.15	99.20 ^b ±0.36	99.42 ^{ab} ±0.06	
Milk wash yield (%) ^{ns}	105.28±0.23	106.13±0.58	105.80±0.63	105.77±0.32	105.96±0.06	106.07±0.23	
Predusting yield (%) ^{ns}	107.00±0.39	105.93±1.19	106.39±0.09	106.31±0.48	106.31±0.19	106.20±0.04	
Batter yield (%) ^{ns}	129.82±0.69	130.41±0.50	130.27±0.06	130.18±0.17	130.28±0.24	130.37±0.15	
Frying yield (%)	92.77 ^b ±0.19	92.98 ^b ±0.53	93.86 ^{ab} ±0.94	94.77 ^a ±0.19	94.82 ^a ±0.43	94.34 ^{ab} ±0.74	
Cooking yield (%) ^{ns}	99.01±0.92	100.45±1.09	100.09±0.18	99.68±0.51	100.30±0.03	100.71±0.30	
Freezing yield (%) ^{ns}	99.33±0.19	99.58±0.29	99.38±0.16	99.32±0.18	99.15±0.25	99.16±0.13	
Overall process yield	130.95±2.34 ^d	135.48 ^c ±0.51	135.19 ^c ±1.28	135.45 ^c ±2.07	136.32 ^c ±0.74	136.43 ^c ±1.45	

รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจากการทดลอง 3 ซ้ำ

a,b,c... ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่กำกับด้วยอักษรต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05)

ns เป็นค่าเฉลี่ยที่อยู่ในแถวเดียวกันแต่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ (p>0.05)

4.5.6 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่

ผลของการเติมโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีที่แตกต่างกันต่อลักษณะทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่แสดงดังตารางที่ 4.17 และผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังตารางที่ ข. 32-37 พบว่าค่า Hardness, Gumminess และ Chewiness มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ค่า Cohesiveness และ Adhesiveness ไม่มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่า Hardness คือค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์คำนวณจากแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกัด ดังนั้นเมื่อค่า Hardness มีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสแข็งกว่าสูตรปกติ ค่า Chewiness หรือพลังงานในการเคี้ยวและค่า Gumminess เกิดจากการนำค่าความแข็ง (Hardness) คูณกับค่าการเกาะรวมตัว (Cohesiveness) ผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับค่าความแข็งและค่าการเกาะรวมตัวกัน ซึ่งอนุมานให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์นักเก็ตที่มีการแทนที่เนื้อไก่และน้ำด้วยโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่มีค่าพลังงานในการเคี้ยวสูงกว่าสูตรปกติ โดยค่า Cohesiveness คือ แรงยึดเกาะกันภายในอาหารเป็นอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟส่วนที่เป็นค่าบวกของการกัดครั้งที่ 2 และครั้งที่ 1 ซึ่งหากตัวอย่างมีค่า Cohesiveness เข้าใกล้ 1 หมายความว่าตัวอย่างอาหารนั้นมีการเกาะรวมตัวกันของพันธะภายในผลิตภัณฑ์อาหารได้ดี (นันทวรรณ กิจเจริญถาวรชัย, 2558) จึงส่งผลให้พื้นที่ใต้กราฟส่วนที่เป็นค่าบวกของการกัดครั้งที่ 2 ไม่แตกต่างจากครั้งที่ 1 อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่า Springiness หรือค่าความสูงของอาหารที่คืนกลับระหว่างสิ้นสุดการกัดครั้งแรกกับเริ่มการกัดครั้งที่ 2 พบว่าตัวอย่างนักเก็ตไก่สูตรที่มีการแทนที่เนื้อไก่และน้ำด้วยโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ไม่มีความแตกต่างจากสูตรปกติและสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการทดลองพบว่าการเติมโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่มีเนื้อสัมผัสแข็งขึ้นเมื่อเทียบกับสูตรปกติประมาณ 7.00-13.74% ซึ่งลักษณะของสินค้ายังคงมีความนุ่มอยู่ อาจจะไม่ส่งผลต่อการยอมรับ (Abd-El-Aziz et al., 2021) ในขณะที่การเติมโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีที่แตกต่างกันไม่ส่งผลให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์นักเก็ตแตกต่างกัน และแตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

Shoalb et al. (2018) ศึกษาการใช้โปรตีนจากถั่วและโปรตีนจากข้าวในผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ด้วยอัตราส่วนที่ต่างกัน (3% 6% 9% และ 12%) พบว่าการเติมโปรตีนจากถั่วที่อัตราส่วน 3% และ 6% ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มลง เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม ในขณะที่การเติมโปรตีนจากข้าวส่งผลให้ผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่มีเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้น อาจเกิดจากความไม่สมดุลของระบบอิมัลชัน ทำให้โมเลกุลโปรตีนแยกตัวออกจากไขมันและน้ำ

ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางเนื้อสัมผัสของการผลิตน้ำกึ่งใสสุตรปกติ สุตรควบคุม และสุตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Samples	Hardness (g-force)	Adhesiveness ^{ns}	Springiness ^{ns}	Cohesiveness ^{ns}	Gumminess (g-force)	Chewiness (g-force)
สุตรปกติ	31462.92 ^b ± 802.04	-0.34 ± 0.10	0.84 ± 0.01	0.61 ± 0.03	19172.07 ^b ± 1194.83	16163.68 ^b ± 846.89
สุตรควบคุม	33664.61 ^{ab} ± 2164.76	-0.26 ± 0.11	0.83 ± 0.02	0.65 ± 0.01	22001.23 ^a ± 969.78	18263.69 ^{ab} ± 1350.96
สุตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วย น้ำตาล	35787.51 ^a ± 705.37	-0.43 ± 0.17	0.84 ± 0.00	0.62 ± 0.01	22022.19 ^a ± 25.30	18527.33 ^a ± 69.68
สุตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ และความดัน	35765.41 ^a ± 1439.78	-0.46 ± 0.11	0.83 ± 0.01	0.61 ± 0.01	21848.29 ^a ± 946.03	18179.99 ^{ab} ± 996.86
สุตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและความดัน	35362.36 ^a ± 1008.96	-0.43 ± 0.03	0.86 ± 0.01	0.63 ± 0.04	22250.84 ^a ± 1074.30	19175.55 ^a ± 788.19
สุตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟต และส่วนผสม (โปรตีนถั่วเหลือง ไอโซเลท แป้งข้าวสาลี แป้งมันสำปะหลัง) และความดัน	35768.68 ^a ± 1325.22	-0.56 ± 0.31	0.85 ± 0.02	0.63 ± 0.03	22415.11 ^a ± 291.95	18916.32 ^a ± 423.51

รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจากการทดลอง 3 ซ้ำ

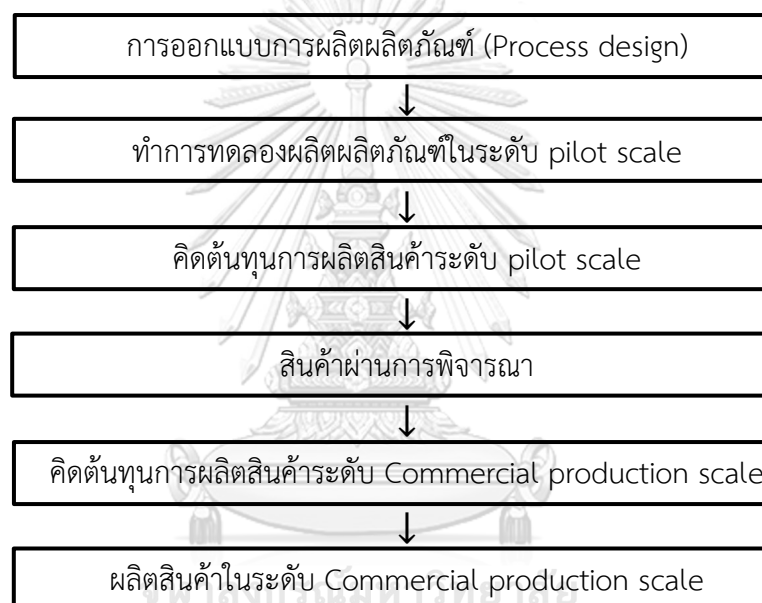
a,b,c... ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยอักษรต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns เป็นค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันโดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.6 ความเป็นไปได้ และความคุ้มค่าของการผลิตจากการใช้โปรตีนเข้มข้นในผลิตภัณฑ์น้ำเก๋เต๋ไก๋

4.6.1 คำนวณต้นทุนของน้ำเก๋เต๋ไก๋ที่มีการผสมโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่

การคิดต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์แสดงดังภาพที่ 4.6 โดยกระบวนการผลิตสินค้า น้ำเก๋เต๋ไก๋ออกแบบการผลิตตามกระบวนการผลิตของโรงงาน บี. ฟู้ดส์ โปรดักส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด จังหวัด ลพบุรี ประเทศไทย ทำการทดลองผลิตภัณฑ์ในระดับ pilot scale ขนาดการทดลอง เริ่มต้นเท่ากับ 5 กิโลกรัมวัตถุดิบ ประเมินต้นทุนในระดับ pilot scale และประเมินความเป็นไปได้ในการผลิต หากสินค้าผ่านการพิจารณาและต้นทุนการผลิตอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ จึงดำเนินการผลิตสินค้าและประเมินต้นทุนระดับ Commercial production scale



ภาพที่ 4.6 กระบวนการทำงานในการคิดต้นทุนการผลิต

4.6.1.1 การคำนวณต้นทุนการผลิตในระดับ Pilot plant

จากตารางที่ 4.18 แสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ น้ำเก๋เต๋ไก๋ประกอบไปด้วย 4 ส่วนประกอบหลักคือ 1. เนื้อ 2. เครื่องปรุงและแป้ง 3. บรรจุภัณฑ์ 4. Overhead ค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนคงที่ประกอบด้วยบรรจุภัณฑ์มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 3.88 บาทต่อหนึ่ง กิโลกรัม น้ำเก๋เต๋ไก๋และ Overhead ในการผลิตหนึ่งกิโลกรัม น้ำเก๋เต๋ไก๋เท่ากับ 35.08 บาท เมื่อพิจารณา ต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตของสูตรปกติ สูตรควบคุมและสูตรที่เติมโปรตีนเข้มข้นพบว่ามีค่าใช้จ่าย ระหว่าง 44.89 - 45.45 บาทต่อหนึ่งกิโลกรัม น้ำเก๋เต๋ไก๋ ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของวัตถุดิบและราคาวัตถุดิบ นั้นๆ (เนื้อไก่ส่วนนอกมีต้นทุนเท่ากับ 72 บาทต่อหนึ่งกิโลกรัม เนื้อไก่ส่วนขา มีต้นทุนเท่ากับ 68 บาท ต่อหนึ่งกิโลกรัม และโปรตีนเข้มข้นมีต้นทุนเท่ากับ 64.37 บาทต่อหนึ่งกิโลกรัม)

ตารางที่ 4.18 องค์ประกอบในการคำนวณต้นทุนที่เกิดขึ้นในหน่วยบาทต่อหนึ่งกิโลกรัมที่เกิดขึ้นได้ระดับ pilot scale

องค์ประกอบ	สูตรปกติ	สูตรควบคุม	สูตรเดิมโปรตีน เข้มข้นปรับปรุง ด้วยความดัน	สูตรเดิมโปรตีน เข้มข้นปรับปรุง ด้วยเกลือและ ความดัน	สูตรเดิมโปรตีน เข้มข้นปรับปรุง ด้วยเกลือฟอสเฟต และความดัน	สูตรเดิมโปรตีน เข้มข้นปรับปรุงด้วย เกลือ ฟอสเฟต และส่วนผสม (โปรตีน ถั่วเหลืองไฮโดรไลส เป็งซาวาสาลี แป้ง มันสำปะหลัง) และความดัน
เนื้อ (บาท/1 กิโลกรัมสินค้าหนักเกิด)	44.89	45.35	45.45	45.37	45.07	45.04
เนื้อไก่ส่วนขา (บาท/1 กิโลกรัมสินค้าหนักเกิด)	21.52	20.53	20.58	20.54	20.41	20.39
ปริมาณเนื้อไก่ส่วนขาในสูตร (%)	39.00	38.50	38.50	38.50	38.50	38.50
เนื้อไก่ส่วนอก (บาท/1 กิโลกรัมสินค้าหนักเกิด)	23.37	18.64	18.67	18.64	18.52	18.51
เนื้อไก่ส่วนอก ในสูตร (%)	40.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00
โปรตีนเข้มข้น (บาท/1 กิโลกรัมสินค้าหนักเกิด)	0.00	6.18	6.20	6.19	6.15	6.14
ปริมาณโปรตีนเข้มข้นในสูตร (%)	0.00	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50
เครื่องปรุงและแป้ง (บาท/1 กิโลกรัมสินค้าหนักเกิด)	28.02	27.48	27.46	27.41	27.28	27.28
น้ำแข็ง (บาท/1 กิโลกรัมสินค้าหนักเกิด)	0.08	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
เครื่องปรุงและแป้ง (บาท/1 กิโลกรัมสินค้าหนักเกิด)	27.94	27.44	27.42	27.37	27.24	27.24
บรรจุภัณฑ์ (บาท/1 กิโลกรัมสินค้าหนักเกิด)	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88
Overhead (บาท/1 กิโลกรัมสินค้าหนักเกิด)	35.08	35.08	35.08	35.08	35.08	35.08
ราคารวม (บาท/1 กิโลกรัมสินค้าหนักเกิด)	111.87	111.78	111.86	111.73	111.31	111.27
Process yield	130.95%	135.48%	135.19%	135.45%	136.32%	136.43%
Process yield (รวม Defect + allowance)	125.75%	130.10%	129.83%	130.07%	130.91%	131.01%

การใช้โปรตีนเข้มข้นในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตนักเก็ตไก่อยู่ระหว่าง 111.27–111.86 บาทต่อหนึ่งกิโลกรัมนักเก็ตไก่ โดยนักเก็ตไก่สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟต แป้ง ISP และความดันมีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดเท่ากับ 111.27 บาทต่อหนึ่งกิโลกรัม สามารถลดต้นทุนจากสูตรปกติได้เท่ากับ 0.60 บาทต่อหนึ่งกิโลกรัม

4.6.1.2 การคำนวณต้นทุนการผลิตในระดับ Commercial production scale

การคำนวณต้นทุนการผลิตในระดับ Commercial production scale แสดงดังตารางที่ 4.19 การคำนวณต้นทุนในระดับ Commercial production scale ดำเนินการโดยการกำหนด Yield ในกระบวนการที่ต้องควบคุมให้เท่ากัน คือ Mixing yield, Forming yield, Milk wash yield, Predusting yield และ Batter yield ในขณะที่ Frying yield, Cooking yield และ Freezing yield คำนวณจากผลการทดลองจริง ค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนคงที่คือ บรรจุมัธ และ Overhead เมื่อพิจารณาต้นทุนวัตถุดิบในส่วนของเนื้อพบว่ามีค่าใช้จ่ายระหว่าง 44.43 - 45.56 บาทต่อหนึ่งกิโลกรัมนักเก็ตไก่ ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของวัตถุดิบที่เติมในสูตร การใช้โปรตีนเข้มข้นในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตนักเก็ตไก่อยู่ระหว่าง 111.12 – 111.99 บาทต่อหนึ่งกิโลกรัมนักเก็ตไก่ โดยนักเก็ตไก่สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและความดันมีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดเท่ากับ 111.12 บาทต่อหนึ่งกิโลกรัม สามารถลดต้นทุนจากสูตรปกติได้เท่ากับ 0.14 บาทต่อหนึ่งกิโลกรัม

จากการพิจารณาต้นทุนในระดับ Pilot plant พบว่านักเก็ตไก่สูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟต และส่วนผสม (โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท แป้งข้าวสาลี แป้งมันสำปะหลัง) และความดันมีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดเท่ากับ 111.27 บาทต่อหนึ่งกิโลกรัม แต่เมื่อพิจารณาในระดับ Commercial production scale พบว่าการเติมโปรตีนเข้มข้นด้วยกระบวนการปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและความดันมีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด จึงเลือกโปรตีนเข้มข้นด้วยกระบวนการปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและความดันเป็นกระบวนการปรับปรุงที่ดีที่สุด เนื่องจากต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดและยังมีวิธีการผลิตที่ง่ายกว่าปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟต และส่วนผสม (โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท แป้งข้าวสาลี แป้งมันสำปะหลัง) และความดัน

4.6.2 ความคุ้มค่าของการใช้โปรตีนเข้มข้นในนักเก็ตไก่

กระบวนการผลิตโปรตีนเข้มข้นด้วยหม้อต้ม Robot ขนาด 100 L ที่โรงงานผลิตซูปภายในเครือเบทาโกร สามารถผลิตโปรตีนเข้มข้นได้ 5 กิโลกรัมต่อวัน ดังนั้น ระยะเวลา 1 เดือน (24 วัน) จะสามารถผลิตโปรตีนเข้มข้นได้ทั้งหมด 24×5 เท่ากับ 120 กิโลกรัมต่อเดือน ในกระบวนการผลิตนักเก็ตไก่ 1000 กิโลกรัมหรือ 1 ตันต้องใช้เวลาโปรตีนเข้มข้นประมาณ 96 กิโลกรัม ดังนั้น ในระยะเวลา 1 เดือนจะสามารถผลิตนักเก็ตไก่จากโปรตีนเข้มข้นได้ทั้งหมด 1250 กิโลกรัมหรือประมาณ

1.25 ต้นต่อเดือน จากการคำนวณต้นทุนเปรียบเทียบการผลิตนักเก็ตไก่สูตรปกติซึ่งไม่มีการเติมโปรตีนเข้มข้นและสูตรที่เติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและความดันที่มีการเติมโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุงความเกลือ ความดัน และฟอสเฟส พบว่าสามารถลดต้นทุนได้ 0.14 บาทต่อหนึ่งกิโลกรัม ดังนั้น ในระยะเวลา 1 เดือนสามารถผลิตนักเก็ตไก่จากโปรตีนเข้มข้นได้ทั้งหมด 1250 กิโลกรัม จะสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ที่ 175 บาทต่อเดือน โดยหากคิดจากการผลิตโปรตีนเข้มข้นที่สามารถทำได้เพียง 5 กิโลกรัมต่อวันจะยังไม่คุ้มค่าการลงทุนผลิตโปรตีนเข้มข้น เนื่องจากโปรตีนเข้มข้น 5 กิโลกรัมต่อวัน ผลิตจากโครงไก่ปริมาณ 30 กิโลกรัม ซึ่งปัจจุบันสามารถขายสดที่หน้าโรงงานที่ 18.62 บาทต่อกิโลกรัม แต่หากสามารถหาเครื่องจักรที่สามารถผลิตโปรตีนเข้มข้นได้ปริมาณต่อวันมากขึ้น จึงจะคุ้มค่าการลงทุนสกัดโปรตีนเข้มข้นมาใช้ในผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การคัดเลือกภาวะการสกัดโปรตีนที่เหมาะสมทำนายจากสมการ Process yield ในระบบฐานแห้ง $-165.50663 + 32.23011X_1 + 0.12451X_2 - 1.59189X_1^2 - 0.000207379X_2^2 - 0.0043768X_1X_2$ เนื่องจากสมการการทำนายมีความเหมาะสมในการอธิบายความสัมพันธ์และทำนายค่าของตัวแปรอิสระให้มีความสัมพันธ์กับผลตอบสนองที่ต้องการ โดยค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ของตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กับ Process yield ในระบบฐานแห้ง (Dry basis) รวมถึงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่ามากกว่า 0.80 และมีค่า Root Mean Square Error (RMSE) ต่ำและเมื่อพิจารณาค่า Adjusted r-Squared พบว่า Process yield มีค่า Adjusted r-Squared ใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ โดยเมื่อกำหนดให้ค่า Process yield สูงที่สุดได้ภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ภาวะค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10.15 และระยะเวลาในการสกัดเท่ากับ 185 นาที โดยค่าผลตอบสนองที่ได้จากการทำนายจากสมการมีความแตกต่างจากค่าที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 12.67%

นำโปรตีนเข้มข้นที่ผลิตในภาวะที่เหมาะสมที่สุดมาทดสอบความสามารถในการอุ้มน้ำพบว่ามีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุดที่ความเข้มข้นของเกลือเท่ากับ 0.6 mol/L เมื่อเทียบกับความเข้มข้น 0.3 mol/L แต่ยังสามารถในการอุ้มน้ำต่ำกว่าเนื้อไก่ส่วนขาอยู่ในช่วงระหว่าง 16.00 - 24.72% และส่วนอกอยู่ในช่วงระหว่าง 12.19 - 24.69% รวมถึงเมื่อพิจารณาค่าความสามารถในการเกิดอิมัลชันพบว่าเนื้อไก่มีค่าสูงกว่าโปรตีนเข้มข้นอยู่ในช่วงระหว่าง 14.19 - 19.28 m²/g จึงนำโปรตีนเข้มข้นมาพัฒนาสมบัติเชิงหน้าที่ทั้งหมด 4 วิธีพบว่าการพัฒนาโปรตีนเข้มข้นด้วยกระบวนการปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและความดันและการปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและส่วนผสม (โปรตีน ถั่วเหลืองไอโซเลท แป้งข้าวสาลี แป้งมันสำปะหลัง) และความดันส่งผลให้โปรตีนเข้มข้นมีความสามารถในการเกิดอิมัลชันและความสามารถในการคงตัวของอิมัลชันสูงกว่าโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ที่ไม่ผ่านการปรับปรุง โดยความสามารถในการเกิดอิมัลชันและความสามารถในการคงตัวของอิมัลชันมีค่าสูงกว่าอยู่ในช่วงระหว่าง 6.03 - 12.27% และ 4.93 - 6.83% ตามลำดับ รวมถึงมีความสามารถในการละลายที่ดีกว่าเนื้อไก่ในช่วง pH เท่ากับ 6 - 7 โดยมี % protein solubility สูงกว่าเนื้อไก่ส่วนขาในช่วงระหว่าง 28.46 - 33.88% และเนื้อไก่ส่วนอกระหว่าง 23.28 - 40.94% รวมถึง Raw batter nugget สูตรที่มีการเติมโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีดังกล่าวมี

ความสามารถในการอุ่มน้ำสูงกว่าสูตรปกติอยู่ในช่วงระหว่าง 2.74 - 3.37% และสูตรควบคุมอยู่ในช่วงระหว่าง 2.17 - 2.80%

เมื่อนำโปรตีนเข้มข้นที่ไม่ผ่านการปรับปรุงและผ่านการปรับปรุงทั้ง 4 วิธีเติมลงในผลิตภัณฑ์ นักเก็ตไก่จะเห็นได้ว่าการเติมโปรตีนเข้มข้นที่สัดส่วนเท่ากับ 12.50% ส่งผลให้ Overall process yield สูงกว่าสูตรปกติอยู่ในช่วงระหว่าง 3.24 - 4.18% โดยประสิทธิภาพในการผลิตของสูตรเติมโปรตีนเข้มข้นปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและส่วนผสม (โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท แป้งข้าวสาลี แป้งมันสำปะหลัง) และความดันมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 136.43% มากกว่าสูตรปกติเท่ากับ 4.18% นอกจากนี้การใช้โปรตีนเข้มข้นมีผลทำให้นักเก็ตไก่มีค่า Hardness, Gumminess และ Chewiness สูงกว่าสูตรปกติ โดย Hardness, Gumminess และ Chewiness มีค่าสูงกว่าสูตรปกติระหว่าง 3899.44 - 4324.59, 2676.22 - 3243.04 และ 2363.65 - 3011.87 g-force ในขณะที่ปริมาณโปรตีนและค่าสีระหว่างตัวอย่างนักเก็ตสูตรปกติและตัวอย่างที่เติมโปรตีนเข้มข้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p 0.05)

จากการพิจารณาสมบัติเชิงหน้าที่พบว่าการพัฒนาโปรตีนเข้มข้นด้วยกระบวนการปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและความดันและการปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและส่วนผสม (โปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท แป้งข้าวสาลี แป้งมันสำปะหลัง) และความดันส่งผลให้โปรตีนเข้มข้นมีสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากต้นทุนในระดับ Commercial production scale พบว่าการเติมโปรตีนเข้มข้นด้วยกระบวนการปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและความดันมีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด รวมถึงมีปริมาณโปรตีนและคุณภาพด้านสีไม่แตกต่างจากสูตรปกติ รวมถึงมีกระบวนการทำงานที่ซับซ้อนน้อยกว่า จึงเลือกโปรตีนเข้มข้นด้วยกระบวนการปรับปรุงด้วยเกลือ ฟอสเฟตและความดันเป็นกระบวนการปรับปรุงที่ดีที่สุด โดยในระยะเวลา 1 เดือนจะสามารถผลิตนักเก็ตไก่จากโปรตีนเข้มข้นได้ทั้งหมด 1250 กิโลกรัมและสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ที่ 175 บาทต่อเดือน

5.2 ข้อเสนอแนะ

การนำโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตนักเก็ตไก่ ถึงแม้ว่าจะทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตนักเก็ตไก่ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามต้นทุนของโปรตีนเข้มข้นจากโครงไก่ยังคงมีค่าสูง ทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตนักเก็ตไก่ไม่ได้แตกต่างเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม ดังนั้นจึงควรดำเนินการดังนี้

- ลดปริมาณความชื้นของโปรตีนเข้มข้นลงด้วยเครื่อง Press hydraulic เพื่อให้สามารถเติมในสูตรนักเก็ตด้วยสัดส่วนโปรตีนเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น โดยการตั้ง target ให้ต้นทุนไม่เกินเนื้อไก่ส่วนนอก (72 บาทต่อกิโลกรัม) ต้องลดปริมาณความชื้นลง 4.23% ให้เหลือปริมาณความชื้นขั้นต่ำเท่ากับ 85.98% ส่งผลให้สามารถเติมในสูตรนักเก็ตได้มากขึ้นเท่ากับ 18.00% จาก 12.50% โดยไม่กระทบ

กับปริมาณความชื้นรวมในสุตรน้กเกิดจากการประเมินต้นทุนส่งผลให้ต้นทุนลดลงเท่ากับ 109.46 บาทต่อกิโลกรัมจากสูตรควบคุมเท่ากับ 111.26 บาทต่อกิโลกรัม

- การเพิ่มสัดส่วนโปรตีนเข้มข้นในสุตรน้กเกิดไ้มากขึ้นโดยไม่ปรับลดปริมาณน้ำแข็งในสุตรน้กเกิด เพื่อให้ต้นทุนการผลิตต่ำลง ตั้งอยู่บนฐานของการคำนวณ Overall process yield เท่ากับ สุตรปกติรวมถึงปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ต้องเติมโปรตีนเข้มข้นในสุตรน้กเกิดจาก 12.50% เป็น 18.00% จะส่งผลให้ต้นทุนลดลงเท่ากับ 109.97 บาทต่อกิโลกรัมจากสูตรควบคุมเท่ากับ 111.26 บาทต่อกิโลกรัม

- นำโปรตีนเข้มข้นไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆที่มีมูลค่าของกำไรสูงกว่าผลิตภัณฑ์น้กเกิดไ้ เช่น ไส้กรอก premium เพื่อให้สามารถขายได้ในมูลค่าที่สูงขึ้น โดยมีแนวโน้มสามารถทดแทนในไส้กรอกได้ เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์กลุ่มเนื้อขึ้นรูปเหมือนกับน้กเกิดไ้



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
วิธีการวิเคราะห์ทางเคมี

ก. 1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

วิเคราะห์ปริมาณความชื้นตามวิธีของ AOAC (2019)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบลมร้อน
2. เครื่องชั่ง (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
3. Desiccator
4. คีมคีบ
5. ถ้วยอลูมิเนียม

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างโปรตีนเข้มข้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 3.5 กรัม ใส่ในถ้วยอลูมิเนียมที่อบแห้งและทราบน้ำหนักแน่นอนอยู่แล้ว
2. อบตัวอย่างให้แห้งในตู้อบลมร้อนที่ 105°C จนมีน้ำหนักคงที่ทศนิยมตำแหน่งที่ 3
3. ทิ้งให้เย็นใน Desiccator
4. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างและคำนวณความชื้น (%โดยน้ำหนักเปียก) ดังสมการ

$$\text{ความชื้น (\%โดยน้ำหนักเปียก)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

5. วิเคราะห์ค่าความชื้นของตัวอย่างโปรตีนเข้มข้น 3 ครั้งที่ได้จากการเตรียมตัวอย่าง 1 ครั้ง

ก. 2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนตามวิธีของ AOAC (2019)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. Kjeldahl tube
2. Flask
3. Pipette
4. กระดาษกรอง whatman No.41 (ashless)
5. Catalyst tablet
6. ปีกเกอร์
7. กระจกบอทดวง

8. น้ำกลั่น
9. Kjeldahl digestion and distillation apparatus
10. Buchi digestion
11. Buchi scrubber
12. เครื่องกลั่นหาปริมาณไนโตรเจน
13. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

สารเคมี

1. Reagent grade conc. H_2SO_4
2. Anhydrous $CuSO_4$
3. Anhydrous Na_2SO_4 (or K_2SO_4)
4. 35% NaOH solution
5. 4% (Saturated) boric acid
6. 0.1 N HCl
7. Methyl red-Bromocresol green solution

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมการย่อยสารตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่างโปรตีนเข้มข้น 1.5 กรัม ใส่ Kjeldahl tube โดยชั่งผ่านกระดาษกรองเบอร์ 41
2. ใส่ Catalyst tablet ลงใน Kjeldahl tube หลอดละ 1 เม็ด
3. ใส่กรด H_2SO_4 20 mL นำไปย่อยประมาณ 20-30 นาที หรือ จนได้สารละลายใสสีน้ำตาล (คล้ายน้ำตาล) *อย่าถอดสายยางเครื่องกำจัดไอกรดออกจนกว่าจะไม่มีไอกรดแล้ว

2. การกลั่น

1. ทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่นทุกหลอดอย่างช้าๆ หลอดละ 25 mL
2. เตรียมการกลั่นโดยใช้เครื่อง Kjeldahl distillation apparatus ต่ออุปกรณ์ให้เรียบร้อย
3. ตั้งระบบให้เครื่อง Preheating ก่อน จากนั้นทำการ Cleaning
4. ตวง 4% boric acid 25 ml ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 mL และหยด Methyl red-Bromocresol green indicator ลงไป 2 หยด โดยนำแต่ละขวดไปรองรับก๊าซ NH_3 ที่เครื่อง Kjeldahl distillation apparatus จาก Kjeldahl tube แต่ละหลอด (สีของสารละลายเป็นสีชมพู)
5. ทำการกลั่นสารตัวอย่างใน Kjeldahl tube ทีละหนึ่งหลอด เริ่มจากหลอดที่ 1 ซึ่งเป็น Blank ไล่ไปเรื่อยๆจนครบจำนวนโดยตั้งระบบ Distillation กำหนดค่า NaOH ที่จะใช้ใน

การทำปฏิกิริยาให้มีปริมาณมากเกินไป (ตั้งไว้ประมาณ 7 mL ก่อน เมื่อเครื่องทำงานจึงกด
เพิ่มลงไปจนเห็นสารละลายใน Kjeldahl tube เป็นสีดำ)

6. นำสารละลายที่กลั่นได้ไปไทเทรตกับ 0.1 N HCl จนได้สีของสารละลายเป็นสีชมพู(จุดยุติ)
อ่านค่าปริมาตรสารละลาย 0.1 N HCl ที่ใช้ในการไทเทรต
7. นำปริมาตร 0.1 N HCl ที่ใช้ในการไทเทรตไปคำนวณหา %N และ % Protein ที่มีใน
ตัวอย่าง ตามสูตรดังนี้

$$\% \text{Nitrogen} = (\text{mL HCl} - \text{mL blank}) \times \text{normality} \times 14.007 \times (100/\text{mg sample})$$

$$\% \text{Protein} = \% \text{N} \times \text{conversion factor}$$

(conversion factor ของโปรตีน = 6.25)

ก. 3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

วิเคราะห์ปริมาณไขมันตามวิธีของ AOAC (2019)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. Soxhlet extractor
2. Hot air oven 105 °C
3. Evaporator
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
5. Thimble
6. กระจกตวงขนาด 100 ml
7. Desiccator

สารเคมี

1. Petroleum ether

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบไล่ความชื้นปริมาณ 5 กรัม ลงใน thimble
2. ชั่ง Flat bottom flasks และจดน้ำหนักที่แน่นอน
3. ประกอบชุดหาไขมันให้เรียบร้อยบนเตาให้ความร้อนโดยเอา thimble ที่มีตัวอย่างใส่ในชุด
Soxhlet และปิดตัวอย่างด้วยสำลี
4. เติม Solvent ใส่ใน bottom flasks ประมาณ 200 มิลลิลิตร
5. เปิดเตาเพื่อให้ความร้อนกับ bottom flasks ไอน้ำของ solvent จะระเหยขึ้นไป และควบแน่น
กลับลงมาใน thimble ซึ่งจะสกัดไขมันที่มีในตัวอย่างออกมา

6. เมื่อสกัดไขมันออกหมดแล้ว นำ thimble ออก แล้วให้ความร้อนต่อไป solvent จะถูกควบแน่นเก็บใน Soxhlet ซึ่งสามารถเอา solvent ไปใช้งานอื่นได้
7. ระเหยตัวทำละลายออกด้วย Rotary vacuum evaporator
8. อบด้วย Hot air oven อุณหภูมิ 100 ± 5 °C เป็นเวลา 1 ชม. ปล่อยให้เย็นใน Desiccator และชั่งน้ำหนัก อบจนกว่าน้ำหนักจะคงที่

$$9. \text{ คำนวณ \% Fat (w/w)} = \frac{\text{น้ำหนักไขมัน (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}} \times 100$$

$$\% \text{ Error (w/w)} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันจากน้ำกลั่น (g)}}{\text{น้ำหนักน้ำกลั่น (g)}} \times 100$$

$$\% \text{ Fat corrected (w/w)} = \% \text{ Fat} - \% \text{ Error}$$

ก. 4 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

วิเคราะห์ปริมาณเถ้าตามวิธีของ AOAC (2019)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เตาเผา (Muffle furnace)
2. เดซิเคเตอร์ (Desiccator)
3. กรูชีเบลพร้อมฝา
4. Hot plate
5. ตู้อุดควัน

วิธีการทดลอง

1. ชั่งกรูชีเบลพร้อมฝาที่เผาและทิ้งให้เย็นแล้ว
2. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งประมาณ 1.00 g ทราบน้ำหนักแน่นอน ใส่ในกรูชีเบลพร้อมฝา
3. นำกรูชีเบลที่บรรจุตัวอย่างไปเผาบนเตา (burner) จนได้เถ้าสีดำและหมดควัน (ทำในตู้อุดควัน)
4. นำไปเผาต่อในเตาเผา (furnace) ที่ 550 °C จนได้เถ้าสีขาวเทา
5. นำกรูชีเบลออกมาจากเตาเผา ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
6. รายงานปริมาณเถ้าในรูปร้อยละโดยน้ำหนัก

$$\% \text{ เถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

ก. 5 การวิเคราะห์ไขมันอาหาร

วิเคราะห์ปริมาณไขมันอาหารดัดแปลงจากวิธีของ AOAC (2019)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. Hot air oven 105 °C
2. เตาเผา (Muffle furnace)
3. ปีกเกอร์ ขนาด 500 mL
4. Nylon bag
5. แท่งแก้วที่มีปลายเป็นยาง
6. กระจกชั่งตวงวัด
7. จานกระเบื้องหรือจานอลูมิเนียม
8. เดซิเคเตอร์ (Desiccator)
9. ครุชีเบลพร้อมฝา

สารเคมี

1. 1.25% (w/w) H_2SO_4
2. 5% (w/w) NaOH
3. 1% (w/w) HCl
4. 95% ethanol
5. น้ำกลั่นต้มเดือดประมาณ 2000-3000 ml.

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันแล้ว 5 กรัม ใส่ในถุง Nylon bag และแขวนในปีกเกอร์ ขนาด 500 ml บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
2. เติม 1.25% H_2SO_4 จนถึงขีดบอกปริมาตร 200 ml
3. ต้มส่วนผสมจนเดือด แล้วต้มต่อด้วยไฟอ่อนอีก 20 นาที ระหว่างต้ม หากปริมาตรลดลงต่ำกว่าขีด 200 ml ให้เติมน้ำกลั่นต้มเดือดลงไปจนถึงขีด ระหว่างต้มคนด้วยแท่งแก้วที่มีปลายเป็นยางเป็นระยะ ๆ
4. ล้างภาควัด้วยน้ำกลั่นต้มเดือดหลายครั้ง จนน้ำล้างที่ผ่านออกมาไม่เป็นกรดอีกต่อไป (ทดสอบความเป็นกรดของน้ำล้างที่ผ่านออกมาด้วยกระดาษลิตมัส)
5. นำกากใส่กลับลงไปในปีกเกอร์ใบเดิม
6. เติม 5% NaOH ปริมาตร 50 ml
7. เติมน้ำกลั่นต้มเดือดจนถึงขีดบอกปริมาตร 200 ml

8. ต้มส่วนผสมจนเดือด แล้วต้มด้วยไฟอ่อนอีก 20 นาที ระหว่างต้ม หากปริมาตรลดลงต่ำกว่าขีด 200 ml ให้เติมน้ำกลั่นต้มเดือดลงไปจนถึงขีด ระหว่างต้มคนด้วยแท่งแก้วที่มีปลายเป็นยาง เป็นระยะ ๆ
9. ล้างกากด้วยน้ำกลั่นต้มเดือดหลายครั้ง จากนั้นชะด้วย 1% HCl 1 ให้ทั่ว แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นต้มเดือด จนน้ำล้างที่ผ่านออกมาไม่เป็นกรด (ทดสอบความเป็นกรดของน้ำล้างที่ผ่านออกมาด้วยกระดาษลิตมัส)
10. ชะกากด้วย 95% ethanol
11. นำกากใส่ลงในจานกระเบื้องหรือจานอลูมิเนียม อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100-105 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
12. นำจานออกมาจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก (หักลบน้ำหนักของภาชนะแล้วให้น้ำหนักตัวอย่างขณะนี้เป็นน้ำหนัก A)
13. ชั่งกรูซีเบลพร้อมฝาที่เผาและทิ้งให้เย็นแล้ว
14. นำกากออกมาใส่กรูซีเบลพร้อมฝาที่เผาและทิ้งให้เย็นแล้ว นำไปเผาบนเตา (burner) จนเถ้าสีดำและหมดควัน (ทำในตู้ควัน)
15. นำไปเผาต่อในเตาเผา (furnace) ที่ 550 °C จนได้เถ้าสีขาวเทา
16. นำกรูซีเบลออกจากเตาเผา ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก (หักลบน้ำหนักของภาชนะแล้วให้น้ำหนักตัวอย่างขณะนี้เป็นน้ำหนัก B)
17. นำน้ำหนัก B มาลบออกจากน้ำหนัก A น้ำหนักที่หายไปในระหว่างการเผาคือ น้ำหนักของ crude fiber
18. รายงานปริมาณ crude fiber ในรูปน้ำหนัก crude fiber(กรัม) ต่อตัวอย่าง 5 กรัม

ก. 6 การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Lowry

วิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนด้วยวิธีดัดแปลงจาก Lowry และคณะ (1951)

สารเคมี

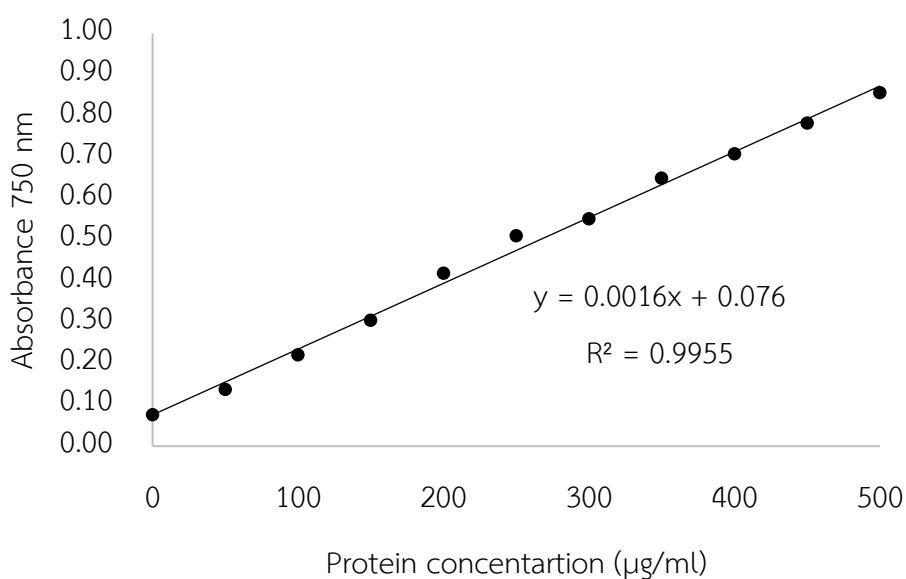
1. Bovine serum albumin (BSA)
2. Copper sulfate
3. Folin-Ciocalteu's phenol reagent
4. Potassium sodium tartrate
5. Sodium carbonate
6. Sodium hydroxide

การเตรียมสารละลาย

1. Solution A: ผสม 0.5 กรัม $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ 1 กรัม $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot (2\text{H}_2\text{O})$ ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง
2. Solution B: ผสม 10 กรัม Na_2CO_3 และ 2 กรัม NaOH ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 500 มิลลิลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง
3. Solution C: ผสม Solution A และ Solution B ด้วยอัตราส่วน 1:50
4. Solution D: ผสม Folin-Ciocalteu reagent กับน้ำกลั่น อัตราส่วน 1:2 เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่ไม่มีแสง

วิธีการทดลอง

1. การสร้างกราฟมาตรฐาน
 - 1.1 ชั่ง BSA 0.05 กรัมละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร จะได้ความเข้มข้นสุดท้ายของ BSA เท่ากับ 500 mg/L จากนั้นปิเปตสารละลายที่เตรียมได้ตามตาราง
 - 1.2 ปิเปตสารละลายแต่ละความเข้มข้น 0.5 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลอง
 - 1.3 เติมน้ำกลั่น Solution C 2.5 มิลลิลิตรในหลอดทดลอง ผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง และไม่มีแสงเป็นเวลา 5-10 นาที
 - 1.4 เติมน้ำกลั่น Solution D ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ 20-30 นาที
 - 1.5 นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 nm
 - 1.6 สร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและปริมาณโปรตีน



ภาพที่ ก.1 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์โปรตีนด้วย Lowry method

ตาราง ก. 1 การเจือจางสารละลาย BSA สำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน

ปริมาตรน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	ปริมาตร BSA (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นโปรตีน (mg/L)
10	0	0
9	1	50
8	2	100
7	3	150
6	4	200
5	5	250
4	6	300
3	7	350
2	8	400
1	9	450
0	10	500

2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในตัวอย่าง

นำสารละลายตัวอย่าง ทำการทดลองตาม 1.2-1.5 คำนวณปริมาณโปรตีนเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางที่ ข.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของร้อยละโปรตีนที่ได้ (Protein content) ที่มี การแปรค่าความเป็นกรด-ด่างและระยะเวลาในการสกัด ในระบบฐานแห้ง (Dry basis)

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Model	5	1078.27	215.65	1.07	0.4034
ความเป็นกรด-ด่าง (X_1)	1	142.09	142.09	0.71	0.4099
ระยะเวลาการสกัด(X_2)	1	838.39	838.39	4.17	0.0539
X_1X_1	1	43.61	43.61	0.22	0.6462
X_2X_2	1	87.25	87.25	0.43	0.5172
X_1X_2	1	9.81	9.81	0.049	0.8273
Residual	21	4221.16	201.01		
Lack of fit	3	4138.49	1379.50	300.36	< 0.0001
Pure error	18	82.67	4.59		
Total	26	5299.43			

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณร้อยละไขมันที่ได้ (Fat content) ที่มีการแปรค่าความเป็นกรด-ด่างและระยะเวลาในการสกัด ในระบบฐานแห้ง (Dry basis)

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Model	5	1521.76	304.35	7.41	0.0004
ความเป็นกรด-ด่าง (X_1)	1	107.75	107.75	2.62	0.1203
ระยะเวลาการสกัด(X_2)	1	781.18	781.18	19.01	0.0003
X_1X_1	1	467.27	467.27	11.37	0.0029
X_2X_2	1	284.45	284.45	6.92	0.0156
X_1X_2	1	149.29	149.29	3.63	0.0704
Residual	21	862.88	41.09		
Lack of fit	3	783.95	261.32	59.59	< 0.0001
Pure error	18	78.93	4.39		
Total	26	2384.64			

ตารางที่ ข.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนเข้มข้น (Process yield) ที่มีการแปรค่าความเป็นกรด-ด่างและระยะเวลาในการสกัด ในระบบฐานแห้ง (Dry basis)

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Model	5	74.67	14.93	85.46	< 0.0001
ความเป็นกรด-ด่าง (X_1)	1	2.94	2.94	16.81	0.0005
ระยะเวลาการสกัด(X_2)	1	33.14	33.14	189.61	< 0.0001
X_1X_1	1	27.99	27.99	160.16	< 0.0001
X_2X_2	1	31.17	31.17	178.33	< 0.0001
X_1X_2	1	2.36	2.36	13.48	0.0014
Residual	21	3.67	0.17		
Lack of fit	3	3.46	1.15	96.44	< 0.0001
Pure error	18	0.21	0.012		
Total	26	78.34	14.93	85.46	< 0.0001

ตารางที่ ข.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนจากเนื้อบริเวณโครงไก่ (Protein yield) ที่มีการแปรค่าความเป็นกรด-ด่างและระยะเวลาในการสกัด ในระบบฐานแห้ง (Dry basis)

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Model	5	5292.45	1058.49	41.86	< 0.0001
ความเป็นกรด-ด่าง (X_1)	1	184.92	184.92	7.31	0.0133
ระยะเวลาการสกัด(X_2)	1	3002.04	3002.04	118.73	< 0.0001
X_1X_1	1	1492.44	1492.44	59.03	< 0.0001
X_2X_2	1	1259.05	1259.05	49.80	< 0.0001
X_1X_2	1	413.43	413.43	16.35	0.0006
Residual	21	530.98	25.28		
Lack of fit	3	512.91	170.97	170.37	< 0.0001
Pure error	18	18.06	1.00		
Total	26	5823.43			

ตารางที่ ข.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อไก่ส่วนนอกเนื้อไก่ส่วนขา และโปรตีนเข้มข้นในภาวะการปั่นเหวี่ยง 1000 g และความเข้มข้นเกลือ 0.00 mol/L

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	2	584.597	292.299	33.242	0.001
Error	6	52.758	8.793		
Total	8	637.355			

ตารางที่ ข.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อไก่ส่วนนอกเนื้อไก่ส่วนขา และโปรตีนเข้มข้นในภาวะการปั่นเหวี่ยง 1000 g และความเข้มข้นเกลือ 0.03 mol/L

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	2	528.362	264.181	47.876	0.000
Error	6	33.108	5.518		
Total	8	561.470			

ตารางที่ ข.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อไก่ส่วนนอก เนื้อไก่ส่วนขา และโปรตีนเข้มข้นในภาวะการปั่นเหวี่ยง 1000 g และความเข้มข้นเกลือ 0.06 mol/L

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	2	1072.824	536.412	27.282	0.001
Error	6	117.972	19.662		
Total	8	1190.795			

ตารางที่ ข.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อไก่ส่วนนอก เนื้อไก่ส่วนขา และโปรตีนเข้มข้นในภาวะการปั่นเหวี่ยง 2000 g และความเข้มข้นเกลือ 0.00 mol/L

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	2	462.775	231.387	28.782	0.001
Error	6	48.236	8.039		
Total	8	511.010			

ตารางที่ ข.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อไก่ส่วนนอก เนื้อไก่ส่วนขา และโปรตีนเข้มข้นในภาวะการปั่นเหวี่ยง 2000 g และความเข้มข้นเกลือ 0.03 mol/L

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	2	420.825	210.413	43.754	0.000
Error	6	28.854	4.809		
Total	8	449.679			

ตารางที่ ข.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อไก่ส่วนนอก เนื้อไก่ส่วนขา และโปรตีนเข้มข้นในภาวะการปั่นเหวี่ยง 2000 g และความเข้มข้นเกลือ 0.06 mol/L

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	2	1101.056	550.528	32.983	0.001
Error	6	100.149	16.691		
Total	8	1201.205			

ตารางที่ ข.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสามารถในการอุ้มน้ำของ Raw batter nugget สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	32.892	6.578	25.002	0.000
Error	12	3.157	0.263		
Total	17	36.049			

ตารางที่ ข.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	32.892	6.578	25.002	0.000
Error	12	3.157	0.263		
Total	17	36.049			

ตารางที่ ข.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณโปรตีนของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	0.771	0.154	3.998	0.023
Error	12	0.463	0.039		
Total	17	1.234			

ตารางที่ ข.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	1.542	0.308	7.468	0.002
Error	12	0.495	0.041		
Total	17	2.037			

ตารางที่ ข.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณน้ำของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	3.116	0.623	752.966	0.000
Error	12	0.010	0.001		
Total	17	3.126			

ตารางที่ ข.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณใยอาหารของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	0.140	0.028	2.838	0.064
Error	12	0.119	0.010		
Total	17	0.259			

ตารางที่ ข.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณคาร์โบไฮเดรตของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	99.869	19.974	146.352	0.000
Error	12	1.638	0.136		
Total	17	101.507			

ตารางที่ ข.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า L* ของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	6.886	1.373	0.330	0.885
Error	12	49.949	4.162		
Total	17	56.815			

ตารางที่ ข.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า a^* ของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	0.002	0.000	0.193	0.959
Error	12	0.025	0.002		
Total	17	0.027			

ตารางที่ ข.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า b^* ของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	1.384	0.277	0.159	0.973
Error	12	20.882	1.740		
Total	17	22.266			

ตารางที่ ข.21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า Chroma ของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	1.384	0.277	0.159	0.973
Error	12	20.882	1.740		
Total	17	22.266			

ตารางที่ ข.22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า Hue ของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	0.005	0.001	0.282	0.914
Error	12	0.041	0.003		
Total	17	0.046			

ตารางที่ ข.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ Mixing yield ของการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำแก๊ตไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	0.337	0.075	0.523	0.755
Error	12	1.731	0.144		
Total	17	2.108			

ตารางที่ ข.24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ Forming yield ของการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำแก๊ตไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	1.179	0.236	5.960	0.005
Error	12	0.475	0.040		
Total	17	1.654			

ตารางที่ ข.25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ Milk wash yield ของการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำแก๊ตไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	1.424	0.285	1.807	0.186
Error	12	1.891	0.158		
Total	17	3.315			

ตารางที่ ข.26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ Predust yield ของการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำแก๊ตไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	1.864	0.373	1.217	0.359
Error	12	3.676	0.306		
Total	17	5.540			

ตารางที่ ข.27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ Battering yield ของการผลิตผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	0.672	0.134	0.963	0.478
Error	12	1.675	0.140		
Total	17	2.347			

ตารางที่ ข.28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ Frying yield ของการผลิตผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	11.714	2.343	7.159	0.003
Error	12	3.927	0.327		
Total	17	15.641			

ตารางที่ ข.29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ Cooking yield ของการผลิตผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	5.611	1.122	2.784	0.068
Error	12	4.837	0.403		
Total	17	10.448			

ตารางที่ ข.30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ Freezing yield ของการผลิตผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	0.375	0.075	1.728	0.203
Error	12	0.520	0.043		
Total	17	0.895			

ตารางที่ ข.31 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของกระบวนการภาพรวม (Overall process yield) ของการผลิตผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	61.984	12.397	5.193	0.009
Error	12	28.646	2.387		
Total	17	90.629			

ตารางที่ ข.32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของผลทดสอบเนื้อสัมผัสด้าน Hardness ผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	46272466.59	9254493.318	5.202	0.009
Error	12	21348349.05	1779029.087		
Total	17	67620815.64			

ตารางที่ ข.33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของผลทดสอบเนื้อสัมผัสด้าน Adhesiveness ผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	0.158	0.032	1.165	0.381
Error	12	0.326	0.027		
Total	17	0.485			

ตารางที่ ข.34 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของผลทดสอบเนื้อสัมผัสด้าน Springiness ผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	0.002	0.000	1.723	0.204
Error	12	0.003	0.000		
Total	17	0.004			

ตารางที่ ข.35 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของผลทดสอบเนื้อสัมผัสด้าน Cohesiveness
ผลิตภัณฑ์น้ำเกี๊ยะไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	0.004	0.001	1.385	0.297
Error	12	0.008	0.001		
Total	17	0.012			

ตารางที่ ข.36 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของผลทดสอบเนื้อสัมผัสด้าน Gumminess
ผลิตภัณฑ์น้ำเกี๊ยะไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	22145173.94	4429034.787	5.901	0.006
Error	12	9006107.610	750508.967		
Total	17	31151281.55			

ตารางที่ ข.37 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของผลทดสอบเนื้อสัมผัสด้าน Chewiness
ผลิตภัณฑ์น้ำเกี๊ยะไก่ สูตรปกติ สูตรควบคุม และสูตรของโปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการปรับปรุง

Source of variance	df	Sum of Square	Mean Square	F	p
Sample	5	17168688.25	3433737.649	4.745	0.013
Error	12	8682986.420	723582.202		
Total	17	25851674.67			

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- นันทวรรณ กิจเจริญถาวรชัย. (2558). การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้กเก็ตไก่เทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประเสริฐ เตชชีวพงศ์. (2555). ผลของสารก่อการจับก้อนและวิธีการทำแห้งต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของ
โปรตีนเข้มข้นจากถั่วเขียวและถั่วอะซูกิ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยี
ทางอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าปศุสัตว์. (2564). คู่มือการปฏิบัติงานในโรงฆ่าสัตว์และ
ฆ่าแหละเนื้อสัตว์ปีกเพื่อการส่งออก. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานพัฒนาระบบและรับรอง
มาตรฐานสินค้าปศุสัตว์.

ภาษาอังกฤษ

- Abd-El-Aziz, N., Sesy, T., & Hashem, S. (2021). Evaluation of nutritional value and
acceptability of chicken nuggets produced by chicken wings and dehydrated
shellfish. *Food and Nutrition Sciences*, 12, 805-817.
- Adebowale, K. O., & Lawal, O. (2003). Foaming, gelation and electrophoretic
characteristics of mucuna bean (*Mucuna pruriens*) protein concentrates. *Food
Chemistry*, 83, 237-246.
- AOAC. (2019). *Official Methods of Analysis*. (19th ed.). Washington, DC: The Association of
the Official Analysis Chemists.
- Bala, A., Gul, K., & Riar, C. S. (2015). Functional and sensory properties of cookies prepared
from wheat flour supplemented with cassava and water chestnut flours. *Cogent
Food and Agriculture*, 1, 1932-2331.
- Batista, I. (1999). Recovery of proteins from fish waste products by alkaline extraction.
European Food Research and Technology, 210(2), 84-89.
- Cercel, F., Stroi, M., Alexe, P., & Ianitchi, D. (2015). Characterization of myofibrillar chicken
breast proteins for obtain protein films and biodegradable coatings generation.
Agriculture and Agricultural Science Procedia, 6, 197-205.

- Chambers, J., & Fortin, A. (1984). Live body and carcass measurements as predictors of chemical composition of carcasses of male broiler chickens. *Poultry Science*, 63, 2187-2196.
- Chinprahast, N., Kuakpetoon, D., & Aunarat, P. (1997). Utilization of mechanically deboned chicken meat in the development of chicken nuggets. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 2, 255-268.
- Devatkal, S., Natha, M., Narsaiah, K., & Patil, R. (2014). Evaluation of quality characteristics of chicken meat emulsion/ nuggets prepared by using different equipment. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 511-518.
- Duangmal, K., Saicheua, B., & Sueeprasan, S. (2008). Colour evaluation of freeze-dried roselle extract as a natural food colorant in a model system of a drink. *LWT - Food Science and Technology*, 41(8), 1437-1445.
- Erge, A., & Zorba, Ö. (2018). Optimization of gelatin extraction from chicken mechanically deboned meat residue using alkaline pre-treatment. *LWT*, 97, 205-212.
- Farooq, Z., & Boye, J. (2011). Novel Food and Industrial Applications of Pulse Flours and Fractions. In (pp. 283-323).
- Ferreira Machado, F., Coimbra, J. S.R., Garcia Rojas, E. E., Minim, L. A., Oliveira, F.C., & Sousa, R.D.C.S. (2007). Solubility and density of egg white proteins: Effect of pH and saline concentration. *LWT - Food Science and Technology*, 40(7), 1304-1307.
- Ganie, T. A., Rather, S. A., Wani, H. M., Gani, A., Masoodi, F. A., & Wani, I. (2015). Physico-chemical and functional properties of chicken meat protein isolate. *Advances in Biomedicine and Pharmacy*, 2, 50-55.
- Hall, G. M. (1995). *Methods of testing protein functionality*. Blackie Academic & Professional London.
- Hrynets, Y., Omana, D., Xu, Y., & Betti, M. (2011). Comparative study on the effect of acid- and alkaline-aided extractions on mechanically separated turkey meat (MSTM): Chemical characteristics of recovered proteins. *Process Biochemistry*, 335-343.
- Hultin, H. O., & Kelleher, S. D. (2000). Surimi processing from dark muscle fish. *Food science and Technology*, 59-78.

- Jafari, S., Doost, A., Nikbakht, M., Boostani, S., & Van der Meeren, P. (2020). Phytoparticles for the stabilization of Pickering emulsions in the formulation of novel food colloidal dispersions. *Food science and Technology*, 98.
- Joglekar, A. M., & May, A. T. (1987). Product excellence through design of experiments. *Cereal Foods World*, 32, 857-868.
- Jridi, M., Abdelhedi, O., Souissi, N., Kammoun, M., Nasri, M., & Ayadi, Mohamed A. (2015). Improvement of the physicochemical, textural and sensory properties of meat sausage by edible cuttlefish gelatin addition. *Food Bioscience*, 12, 67-72.
- Kain, R. J., & Chen, Z. (2010). Physico-functional properties of peanut meal flour as affected by processing methods. *Journal of Food Biochemistry*, 34(2), 229-243.
- Kim, H. Y., Kim, K. J., Lee, J.W., Kim, G. W., Choe, J., Kim, H.W., Yoon, Y., & Kim, C. J. (2015). Quality evaluation of chicken nugget formulated with various contents of chicken skin and wheat fiber mixture. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 35, 19-26.
- Kinsella, J., & Melachouris, N. (2009). Functional properties of proteins in foods: A survey. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 7.
- Kongpun, O. (1999). The gel forming ability of washed and unwashed fish meat (*Lizardfish and Nile tilapia*). *Agriculture and Natural Resources*, 33(2), 258-269.
- Krasaechol, N., Sanguandeeikul, R., Duangmal, K., & Owusu-Apenten, R.K. (2008). Structure and functional properties of modified threadfin bream sarcoplasmic protein. *Food Chemistry*, 107(1), 1-10.
- Küçükyılmaz, K., Bozkurt, M., Çatli, A. U., Herken, E. N., Çinar, M., & Bintaş, E. (2011). Chemical composition, fatty acid profile and colour of broiler meat as affected by organic and conventional rearing systems. *South African Journal of Animal Science*, 42, 360-368.
- Kumoro, A. C., Sofiah, S., Aini, N., Retnowati, D. S., & Budiyati, C. S. (2010). Effect of temperature and particle size on the alkaline extraction of protein from chicken bone waste (chicken bones, extraction, particle size, proteins, temperature). *Reaktor*, 13, 124-130.
- Lawrie, R. A., & Ledward, D. (2006). *Lawrie's Meat Science: Seventh Edition*.

- León, K., Mery, D., Pedreschi, F., & León, J. (2006). Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. *Food Research International*, 39(10), 1084-1091.
- Luchese, C. L., Abdalla, V. F., Spada, J. C., & Tessaro, I. C. (2018). Evaluation of blueberry residue incorporated cassava starch film as pH indicator in different simulants and foodstuffs. *Food Hydrocolloids*, 82, 209-218.
- Majid, S., Rameez Raja, K., Depeesh, K., Raza Ali, M., Lokesh, K., Kabir, A., Anees, M., Zafar, K., & Muhammad Amjad, J. (2017). Comparative study on water holding capacity (WHC) of broiler and layer meat. *Journal of Basic & Applied Sciences*, 13, 100-103.
- Menezes, B. S., Zanette, B., Souza, J. T. A., Cortez-Vega, W., & Prentice, C. (2015). Comparison of physicochemical and functional properties of surimi and protein isolate obtained from mechanically deboned meat of chicken. *International Food Research Journal*, 22, 1374-1379.
- Nahar, M., Zakaria, Z., Hashim, U., & Bari, M. (2017). Effect of pH and salt concentration on protein solubility of slaughtered and non-slaughtered broiler chicken meat. *Sains Malaysiana*, 46, 719-724.
- Nath, P., Kumar, V., Praveen, P., & Ganguly, S. (2016). Effect of chicken skin, soy protein and olive oil on quality characteristics of chicken nuggets. *International Journal of Science, Environment & Technology (Scientific Research Forum, Guwahati, India)*, 5, 1574-1585.
- Nguyen, T., & Le, V. (2019). Effects of technological parameters of ultrasonic treatment on the protein extraction yield from defatted peanut meal. *International Food Research Journal*, 26, 1079-1085.
- Omana, D. A., Xu, Y., Moayed, V., & Betti, M. (2010). Alkali-aided protein extraction from chicken dark meat: Chemical and functional properties of recovered proteins. *Process Biochemistry*, 45(3), 375-381.
- Pap, N., Mäkinen, S., Moilanen, U., Vahvaselkä, M., Maunuksela, J., Kymäläinen, M., & Pihlanto, A. (2022). Optimization of valorization of chicken MDCM to produce soluble protein and collagen peptides. *Applied Sciences*, 12, 1327.

- Parés, D., Toldrà, M., Camps, E., Geli, J., Saguer, E., & Carretero, C. (2020). RSM optimization for the recovery of technofunctional protein extracts from porcine hearts. *Foods*, 9(12).
- Perlo, F., Bonato, P., Teira, G., Fabre, R., & Kueider, S. (2006). Physicochemical and sensory properties of chicken nuggets with washed mechanically deboned chicken meat: Research note. *Meat Science*, 72(4), 785-788.
- Puolanne, E. J., Ruusunen, M. H., & Vainionpää, J. I. (2001). Combined effects of NaCl and raw meat pH on water holding in cooked sausage with and without added phosphate. *Meat Science*, 58(1), 1-7.
- Rafieian, F., Keramat, J., & Kadivar, M. (2013). Optimization of gelatin extraction from chicken deboner residue using RSM method. *Journal of Food Science and Technology*, 50, 1-7.
- Rao, A., Shallo, H. E., Ericson, A. P., & Thomas, R. L. (2002). Characterization of soy protein concentrate produced by membrane ultrafiltration. *Journal of Food Science*, 67, 1412-1418.
- Russin, T. A., Arcand, Y., & Boye, J. I. (2007). Particle size effect on soy protein isolate extraction. *Journal of Food Processing and Preservation*, 31(3), 308-319.
- Schroeder, D. (2013). Effect of vacuum tumbling time, salt level, and phosphate alternatives on processing characteristics of natural deli-style turkey breast. *Animal Science*, 75.
- Shoab, A., Sahar, A., Sameen, A., Saleem, A., & Tahir, A. (2018). Use of pea and rice protein isolates as source of meat extenders in the development of chicken nuggets. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42, e13763.
- Smith, D. P., & Young, L. L. (2007). Marination pressure and phosphate effects on broiler breast fillet yield, tenderness, and color. *Poultry Science*, 86(12), 2666-2670.
- Stefansson, G., & Hultin, H. O. (1994). On the solubility of cod muscle proteins in water. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(12), 2656-2664.
- Sung, H. Y., Chen, H. J., Liu, T. Y., & Su, J. C. (2006). Improvement of the functionalities of soy protein isolate through chemical phosphorylation. *Journal of Food Science*, 48, 716-721.

- Verma, A., Banerjee, R., & Sharma, B. (2013). Quality characteristics of low fat chicken nuggets: effect of salt substitute blend and pea hull flour. *Journal of Food Science and Technology*, 52.
- Wang, Y., Zhou, Y., Wang, X. X., Li, P. J., Xu, B. C., & Chen, C. G. (2020). Water holding capacity of sodium-reduced chicken breast myofibrillar protein gel as affected by combined CaCl_2 and high-pressure processing. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(2), 601-609.
- Widyasari, R., & Rawdkuen, S. (2017). Extraction and characterization of gelatin from chicken feet by acid and ultrasound assisted extraction. *Food and Applied Bioscience Journal*, 2(1), 85-97.
- Yeater, M., Casco, G., Miller, R. K., & Alvarado, C. Z. (2017). Comparative evaluation of texture wheat ingredients and soy proteins in the quality and acceptability of emulsified chicken nuggets. *Poultry Science*, 96(12), 4430-4438.
- Zhang, M., Mittal, G. S., & Barbut, S. (1995). Effects of test conditions on the water holding capacity of meat by a centrifugal method. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 50-55.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาว ชนากานต์ มณฑาทิพย์กุล
วัน เดือน ปี เกิด	27 มิถุนายน 2540
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี จากภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	549 หมู่บ้าน สีวลี 2 ตำบล ประชาธิปัตย์ อำเภอ รัษฎา จังหวัด ปทุมธานี 12130
ผลงานตีพิมพ์	Effect of protein precipitate and mechanically deboned chicken meat as partial meat substitute on the physicochemical properties and texture of chicken nugget. Paper presented at the 24th Food Innovation Asia Conference 2022 (FIAC 2022), Bangkok, Thailand.