



การพัฒนาเทคนิคการละลายปลาทูน่าแช่แข็งด้วยเทคโนโลยีไฟฟ้าสถิตจาก
ไฟฟ้าแรงดันสูง

Development of Tuna Thawing technique Using Electrostatic
Technology from High Voltage Electricity

ชอนนิกันต์ เกื้อทาน
CHONNIGAN KUETHAN

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา)
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



การพัฒนาเทคนิคการละลายปลาทูน่าแช่แข็งด้วยเทคโนโลยีไฟฟ้าสถิตจาก
ไฟฟ้าแรงดันสูง

Development of Tuna Thawing technique Using Electrostatic
Technology from High Voltage Electricity

ชอนนิกานต์ เกื้อทาน
CHONNIGAN KUETHAN

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา)

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2561


ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อการค้นคว้าอิสระ การพัฒนาเทคนิคการละลายปลาทูน่าแช่แข็งด้วยเทคโนโลยีไฟฟ้าสถิต
จากไฟฟ้าแรงดันสูง
ชื่อ นามสกุล ชนนิกันต์ เกื้อทาน
ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ปริญญา บุญนิษฐ

คณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระได้ให้ความเห็นชอบการค้นคว้าอิสระฉบับนี้แล้ว


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กัณวิช พลุปราษณ์)


..... กรรมการ
(ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล)


..... กรรมการ
(ดร.สุวิทย์ แพงกันยา)


..... กรรมการและที่ปรึกษา
(ดร.ปริญญา บุญนิษฐ)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้นับ
การค้นคว้าอิสระฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล)

วันที่ 28 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2562

ชื่อการค้นคว้าอิสระ	การพัฒนาเทคนิคการละลายปลาทูน่าแช่แข็งด้วยเทคโนโลยีไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง
ชื่อ นามสกุล	ชนนิกานต์ เกื้อทาน
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา และคณะ	วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

วิธีการละลายปลาแช่แข็งด้วยไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูงเป็นวิธีทำให้วัสดุมีอุณหภูมิสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้น และยังทำให้อุณหภูมิของวัสดุเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ใช้เวลาในกระบวนการละลายปลาลดลง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคนิคการละลายปลาทูน่าแช่แข็งด้วยเทคโนโลยีไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูงเปรียบเทียบกับวิธีการแช่ในบ่อพักน้ำ การทดลองดำเนินการโดยนำปลาทูน่าแช่แข็งที่มีอุณหภูมิเริ่มต้น -18°C ละลายน้ำแข็งจากปลาทูน่าด้วยเทคโนโลยีไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูงจนกระทั่งอุณหภูมิของปลาทูน่าเพิ่มขึ้นไม่เกิน 5°C จากนั้นนำไปนึ่งจนกระทั่งปลาทูน่ามีอุณหภูมิ 60°C เปรียบเทียบกับวิธีการแช่ในบ่อพักน้ำ โดยพิจารณาคุณภาพของปลาทูน่าหลังการนึ่งทางด้านร้อยละของเนื้อปลาทูน่าและร้อยละของเลือดปลาทูน่า จากผลการทดลองพบว่า เทคนิคการละลายปลาทูน่าด้วยเทคโนโลยีไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง ทำให้เนื้อปลาทูน่ามีอุณหภูมิที่บริเวณผิวและบริเวณจุดกึ่งกลางใกล้เคียงกัน ให้อายุของเนื้อปลาทูน่าและเลือดปลาทูน่ามากกว่า และบริเวณผิวปลามีรอยไหม้เล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแช่ในบ่อพักน้ำ โดยปลาทูน่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายด้วยเทคโนโลยีไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูงมีอุณหภูมิบริเวณผิวและแกนกลางเป็น 5°C ถึง -2°C ตามลำดับ บริเวณผิวปลาเกิดรอยไหม้เล็กน้อย มีเนื้อปลาร้อยละ 45 และเลือดปลาร้อยละ 5 ในขณะที่ปลาทูน่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายด้วยการแช่น้ำมีอุณหภูมิบริเวณผิวและแกนกลางเป็น 12°C และ -2°C ตามลำดับ บริเวณผิวปลาเกิดรอยไหม้ค่อนข้างมาก มีเนื้อปลาร้อยละ 42 และเลือดปลาร้อยละ 3

คำสำคัญ: เทคโนโลยีไฟฟ้าสถิต, ร้อยละเนื้อปลา, ร้อยละเลือดปลา

Independent Study Title	Development of Tuna Thawing technique Using Electrostatic Technology from High Voltage Electricity
Author	Chonnigan Kuethan
Degree	Master Degree of Engineering
Major program	Sustainable Industrial Management Engineering (Graduate Studies), Faculty of Engineering
Academic Year	2018

ABSTRACT

Frozen fish thawing method using an Electrostatic Technology from a High Voltage Electricity (ETHVE) is one of an alternative method. Due to this method, the material has a uniform temperature and also increase the temperature of the material, resulting in a short time thawing process. Therefore, the objective of this research is to develop the thawing method for frozen tunas using an ETHVE compared to some water immersion method. The experiment was carried out by using frozen tunas with an initial temperature of -18°C , then thawing frozen tunas with the ETHVE until the temperature of the tunas increased to 5°C . Then the tunas were steamed until the temperature of 60°C compared to that water immersion method. The qualities of steamed tunas were determined by percentage of tunas meat and tunas blood. The results showed that the tunas thawing techniques using the ETHVE provided a uniform temperature of tunas meat both the surface and the center the piece of tunas. In addition, this technique also provided a higher percentage of tunas meat and tunas blood and some surface area has slight burns compared to that water immersion method. The frozen tuna, which was thawed by using the ETHVE method, which some surface and center using temperature at 5°C and -2°C respectively. The tunas surface area were slightly burned, the percentage of tunas meat and tonas blood were 45% and 5%, respectively. During the frozen tuna thawing using the water immersion method has the surface and center temperature at 12°C and -2°C , respectively; The tunas surface area were very

burnt, the percentage of tunas meat and tunas blood were 42% and 3%, respectively.

Keywords: Electrostatic Technology, Tunas Meat Percentage, Tunas Blood Percentage.



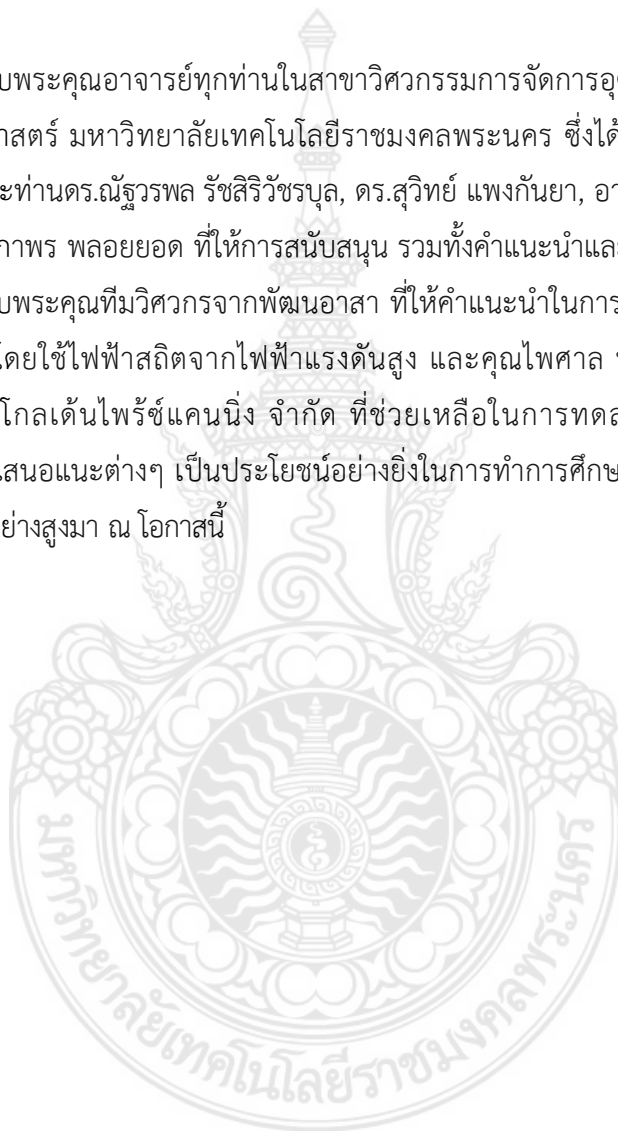
กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยการแนะนำของอาจารย์ ดร.ปริญญ์ บุญนิษฐ และผศ.สหรัตน์ วงษ์ศิริชะ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำโดยตลอด กระทั่งทำการวิจัยจนสำเร็จ วัตถุประสงค์

ขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในสาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ซึ่งได้ให้คำแนะนำต่างๆ ในการทดลอง โดยเฉพาะท่านดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล, ดร.สุวิทย์ แพงกันยา, อาจารย์สุวัสน์ แพงธีระสุขมัย และอาจารย์ประภาพร พลอยยอด ที่ให้การสนับสนุน รวมทั้งคำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ

ขอบพระคุณทีมวิศวกรจากพัฒนาอาสา ที่ให้คำแนะนำในการละลายปลาและอุปกรณ์ในการละลายปลาโดยใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง และคุณไพศาล หวังธำรงค์วิทย์ กรรมการผู้จัดการ บริษัทโกลเด้นไพร์ชแคนนิ่ง จำกัด ที่ช่วยเหลือในการทดลองต่างๆ ด้วยดีตลอดมา ซึ่งคำแนะนำ ข้อเสนอแนะต่างๆ เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำการศึกษานี้ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ชณิกานต์ เกื้อทาน



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(ก)
Abstract	(ข)
กิตติกรรมประกาศ	(ง)
สารบัญ	(จ)
สารบัญตาราง	(ช)
สารบัญภาพ	(ซ)
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 สมมติฐานการวิจัย	3
1.5 กรอบแนวความคิด	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
บทที่ 2 การศึกษาอุตสาหกรรมและทบทวนวรรณกรรม	
2.1 อุตสาหกรรมปลาทูน่า	5
2.2 จุลินทรีย์กับการละลาย	20
2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	21
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	
3.1 วัตถุประสงค์	32
3.2 สํารวจการละลายปลาทูน่าแช่แข็งแบบแช่ในบ่อกักน้ำ	32
3.3 การทดลองกระบวนการละลายปลาทูน่าแช่แข็งด้วยเทคโนโลยีไฟฟ้าสถิต จากไฟฟ้าแรงดันสูง	36
3.4 การรวบรวมข้อมูลและสรุปผลการทดลอง	53

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 ผลการปรับปรุงครั้งที่ 1	54
4.2 ผลการปรับปรุงครั้งที่ 2	57
4.3 ผลการปรับปรุงครั้งที่ 3	60
บทที่ 5 อภิปรายผล	64
บทที่ 6 สรุปผล	69
บทที่ 7 การนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์	
7.1 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพื่อความยั่งยืน	73
7.2 แผนเผยแพร่และการพัฒนาอย่างยั่งยืน	75
เอกสารอ้างอิง	76
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก เอกสารตีพิมพ์ เกียรติบัตร	81
ภาคผนวก ข บันทึกน้ำหนักเนื้อปลาและเลือดปลา	84
ภาคผนวก ค มาตรฐานผลิตภัณฑ์	89
ภาคผนวก ง กลุ่มตัวอย่างทดลองทางสถิติ	97
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	109

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของปลาทูน่า	11
2.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัดของการละลายด้วยเทคโนโลยีแบบต่างๆ	28
3.1 ร้อยละเนื้อสีขาวและร้อยละเลือดของปลาทูน่าที่ผ่านกระบวนการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำ ในเดือนสิงหาคม 2559 ถึง เดือนมีนาคม 2560	36
4.1 อุณหภูมิที่บริเวณจุดกึ่งกลางของปลาทูน่าก่อนและหลังการละลาย และอุณหภูมิที่บริเวณผิวของปลาทูน่าหลังการละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิต (ปรับปรุงครั้งที่ 1)	56
4.2 ปริมาณเนื้อปลาและเลือดปลาของการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต (ปรับปรุงครั้งที่ 1)	56
4.3 อุณหภูมิที่บริเวณจุดกึ่งกลางของปลาทูน่าก่อนและหลังการละลาย และอุณหภูมิที่บริเวณผิวของปลาทูน่าหลังการละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิต (ปรับปรุงครั้งที่ 2)	57
4.4 ปริมาณเนื้อปลาและเลือดปลาของการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต (ปรับปรุงครั้งที่ 2)	59
4.5 อุณหภูมิที่บริเวณจุดกึ่งกลางของปลาทูน่าก่อนและหลังการละลาย และอุณหภูมิที่บริเวณผิวของปลาทูน่าหลังการละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิต (ปรับปรุงครั้งที่ 3)	60
4.6 ปริมาณเนื้อปลาและเลือดปลาของการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต (ปรับปรุงครั้งที่ 3)	62
7.1 รายละเอียดการลงทุนติดตั้งชุดละลายปลาด้วยเทคโนโลยีไฟฟ้าสถิต	69

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 ปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบ (Skipjack tuna)	6
2.2 ปลาทูน่าพันธุ์ครีบลีโง (Yellowfin)	6
2.3 ปลาทูน่าพันธุ์ครีบบยาว (Albacore)	7
2.4 ปลาทูน่าพันธุ์ตาโต (Big Eye)	7
2.5 ปลาทูน่าพันธุ์ครีบน้ำเงิน (Bluefin)	8
2.6 ปลาทูน่าพันธุ์โอดำ (Tongol)	8
2.7 ปลาทูน่าพันธุ์โอดลาย (Bonito)	9
2.8 ลักษณะการเรียงตัวของกล้ามเนื้อปลาทูน่า	9
2.9 สัดส่วนกล้ามเนื้อสีอ่อนและสีเข้มตามภาพตัดขวางลำตัวของปลาทูน่าทองแถบ	10
2.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Specific enthalpy กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป	17
2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ละลายกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป	17
2.12 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับ Specific enthalpy ของอาหารแช่แข็ง	18
3.1 ปลาทูน่าสายพันธุ์ทองแถบขนาด 5-7 กิโลกรัม	32
3.2 กระบวนการละลายปลาทูน่าแช่แข็งโดยแช่ในบ่อพักน้ำ	33
3.3 ลักษณะของปลาทูน่าหลังการนึ่งของการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำ	35
3.4 ลักษณะปลาทูน่าหลังการชุดหนังของการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำ	35
3.5 ชุดควบคุมไฟฟ้าหลัก	37
3.6 Tower light	38
3.7 ชุดควบคุม และสร้างสนามไฟฟ้า	39
3.8 ชุดไฟแสดงสถานะเครื่อง	39
3.9 สายนำสัญญาณ และปากคีบ	40
3.10 ชุดรองรับถังละลายปลา	41
3.11 ชุดรองรับถังละลายปลา	41
3.12 ชุดควบคุม และตรวจจับการเข้ามายังพื้นที่ละลายปลา	42
3.13 กระบวนการละลายปลาทูน่าแช่แข็งโดยใช้เทคโนโลยีไฟฟ้าสถิต	43
3.14 ปลาทูน่าแช่แข็งสายพันธุ์ทองแถบ น้ำหนักในช่วง 5-7 กิโลกรัม	44
3.15 บริเวณจุดเปิดน้ำเพื่อทำการละลายปลา	45
3.16 การวัดอุณหภูมิภายในจุดกึ่งกลางของตัวปลาก่อนทำการละลาย	45

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า	
3.17	เปิดน้ำใส่ถังสแตนเลสให้ท่วมตัวปลา	46
3.18	ถังสแตนเลสเข้าสู่แถวละลายปลา	46
3.19	ถังสแตนเลสบนคัมเปอร์	48
3.20	วัตถุอนุภูมิภาคในจุดกึ่งกลางของตัวปลาทูล่าหลังการละลาย	48
3.21	วัตถุอนุภูมิภาคที่บริเวณผิวหนังของปลาทูล่าหลังการละลาย	49
3.22	การผ่าท้องและนำเครื่องในออก	59
3.23	การเรียงปลาขึ้นรถเข็นนิ่งปลา	50
3.24	ตู้สำหรับนิ่งปลา	50
3.25	ซุ้มสเปรย์สำหรับทำเย็นปลา	51
3.26	การชูดหนังปลา	51
3.27	การชูดสะอาดปลา	52
3.28	ซังน้ำหนักปลาและทำการบันทึกข้อมูล	52
4.1	ลักษณะของปลาที่ละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิตหลังการนิ่ง (ปรับปรุงครั้งที่ 1)	55
4.2	ลักษณะปลาที่ละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิตหลังการชูดหนัง (ปรับปรุงครั้งที่ 1)	55
4.3	ลักษณะของปลาที่ละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิตหลังการนิ่ง (ปรับปรุงครั้งที่ 2)	58
4.4	ลักษณะของปลาที่ละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิตหลังการชูดหนัง (ปรับปรุงครั้งที่ 2)	58
4.5	ลักษณะของปลาที่ละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิตหลังการนิ่ง (ปรับปรุงครั้งที่ 3)	61
4.6	ลักษณะของปลาที่ละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิตหลังการชูดหนัง (ปรับปรุงครั้งที่ 3)	61
5.1	ร้อยละเนื้อปลาทูล่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำและการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต (ปรับปรุงครั้งที่ 1)	64
5.2	ร้อยละของเลือดปลาทูล่าแช่แข็งระหว่างการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำและการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต (ปรับปรุงครั้งที่ 1)	65
5.3	ร้อยละเนื้อปลาทูล่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำและการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต (ปรับปรุงครั้งที่ 2)	65
5.4	ร้อยละของเลือดปลาทูล่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำและการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต (ปรับปรุงครั้งที่ 2)	66

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
5.5 เพอร์เซ็นต์เนื้อปลาทูน่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำและ การละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต (ทดลองครั้งที่ 3)	66
5.6 เพอร์เซ็นต์ของเลือดปลาทูน่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำและ การละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต (ทดลองครั้งที่ 3)	67
7.1 ระยะคืนทุนของโครงการ	74
7.2 ผลตอบแทนของโครงการ	75



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปีพุทธศักราช 2559 ประเทศไทยมีการส่งออกปลาทูน่าปริมาณ 587,242 ตัน มูลค่า 72,761 ล้านบาท โดยส่วนใหญ่ 94% เป็นปลาทูน่ากระป๋องและผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีปริมาณ 550,585 ตัน มูลค่า 68,532 ล้านบาท เมื่อเทียบกับปีพุทธศักราช 2558 พบว่ามีมูลค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.80 (กรมประมง, 2560) และมีแนวโน้มมากขึ้นในปีพุทธศักราช 2560 ประมาณร้อยละ 4.71 (กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ, 2560)

การแปรรูปปลาทูน่ากระป๋อง การละลายปลาเป็นขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบที่สำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากส่งผลต่อคุณภาพของปลาในด้านต่างๆ หลังการละลาย วิธีการละลายที่ใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ คือ การแช่ในบ่อพักน้ำ เพื่อให้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งเป็นวิธีที่มีหลักการที่ไม่ซับซ้อน แต่ส่งผลกระทบต่อ การสูญเสียคุณภาพของปลาทูน่า ปัจจุบันเทคนิคการละลายปลามีหลายวิธี ได้แก่ การละลายด้วยคลื่นอะคูสติก จะช่วยลดระยะเวลาในการละลาย (Kissam, 1981) การละลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิค ช่วยลดระยะเวลาในการละลาย ลดการสูญเสียคุณภาพของวัตถุดิบ (Miao, 2007) การละลายแบบโอห์มมิก ช่วยลดระยะเวลาในการละลาย อุณหภูมิของวัตถุดิบมีความสม่ำเสมอ ลดการใช้ น้ำและรักษาคุณภาพของวัตถุดิบ (Goullieux and Pain, 2005) การละลายแบบคลื่นเสียง ช่วยลดระยะเวลาในการละลาย (Li and Sun, 2002) การละลายแบบคลื่นไมโครเวฟ ช่วยลดระยะเวลาในการละลาย เหมาะสำหรับละลายวัตถุดิบชิ้นใหญ่ (Aider and Halleux, 2008) การละลายโดยเทคโนโลยีแรงดันสูง ช่วยลดระยะเวลาในการละลาย รักษาโครงสร้างเซลล์ของวัตถุดิบ (Makita, 1992) และการละลายแบบไฟฟ้า ช่วยลดระยะเวลาในการละลาย ลดการสูญเสียน้ำหนัก รักษาคุณภาพวัตถุดิบ ลดการใช้ น้ำ และลดการทำลายโครงสร้างเซลล์ของวัตถุดิบ (Tatsukiyo, 1990)

บริษัท โกลเด้นไพร์สแคนนิ่ง จำกัด ผลิตปลาทูน่าแปรรูปบรรจุกระป๋อง กำลังการผลิตเฉลี่ยวันละ 65 ตัน โดยผลิตปลาทูน่าสายพันธ์์ท้องแถบ (Skipjack) เป็นสินค้าหลัก ใช้วิธีละลายปลาทูน่าแช่แข็งแบบแช่ในบ่อพักน้ำ ส่งผลกระทบต่อ การสูญเสียคุณภาพวัตถุดิบมาก ได้แก่ เกิดการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการละลาย จำนวนเนื้อปลาที่ได้อยู่ระหว่างร้อยละ 40-42 สูญเสียเลือดปลาในระหว่างการละลาย ภายหลังจากนี้แล้วจำนวนเลือดปลาอยู่ระหว่างร้อยละ 3-4 รวมถึงอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัว

ปลาและอุณหภูมิผิวปลาแตกต่างกัน เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 10-15 องศาเซลเซียส ซึ่งส่งผลให้บริเวณผิวปลามีหนังถลอกและไหม้ หนังปลามีลักษณะแห้ง นอกจากนี้ยังเสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารพิษจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างการละลายที่ใช้เวลานาน (Shirai and Yoshikawa, 1999)

จากปัญหาดังกล่าว กระบวนการวิจัยจึงหาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตในขั้นตอนละลายปลาทูน่าแช่แข็ง เพื่อคุณภาพของวัตถุดิบที่ดีกว่าภายหลังการนึ่งประกอบด้วย น้ำหนักเนื้อปลาน้ำหนักเลือดปลา และลักษณะหนังปลาดีขึ้น ความต่างของอุณหภูมิแกนกลางตัวปลาและอุณหภูมิผิวปลาต่างกันน้อยลง ด้วยเทคนิคการละลายปลาแบบใช้ไฟฟ้าสถิต ซึ่งเป็นแนวทางที่สำคัญในการพัฒนากระบวนการละลาย เพื่อช่วยเร่งการเปลี่ยนเฟสของน้ำแข็งให้มีระเบียบมากขึ้น และการถ่ายเทความร้อนจากภายในเนื้อปลาทูน่าแช่แข็ง ส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการละลายลดลง กลไกการละลายด้วยไฟฟ้าเทียบกับการละลายโดยกลไกการถ่ายเทความร้อนแบบธรรมชาติ พบว่าการประยุกต์ระบบไฟฟ้าเพื่อการละลายมาใช้ในการละลายอาหารแช่แข็งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการละลาย (Tatsukiyo, 1990)

งานวิจัยนี้ ดำเนินการแปรรูปปลาทูน่าด้วยวิธีการละลายปลาทูน่าแช่แข็งแบบใช้ไฟฟ้าสถิต โดยใช้ถังสแตนเลสเป็นตัวถ่ายเทความร้อนจากไฟฟ้าไปสู่ปลา โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการละลายปลาทูน่าแช่แข็งโดยใช้ไฟฟ้าของ Tatsukiyo เพื่อให้ปลาทูน่ามีคุณภาพที่ดีขึ้นจากเดิม มีเปอร์เซ็นต์เนื้อปลามากขึ้น มีเปอร์เซ็นต์เลือดมากขึ้น สภาพปลาหลังนึ่งไม่ไหม้ หลังละลายปลาอุณหภูมิแกนกลางตัวปลาและอุณหภูมิผิวปลาต่างกันไม่เกิน 5 องศาเซลเซียส

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อแปรรูปปลาทูน่าแช่แข็งให้มีคุณภาพมากขึ้น ในด้านของร้อยละเนื้อปลา ร้อยละเลือดปลา และมีความแตกต่างของอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาและบริเวณผิวปลาลดน้อยลง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 การศึกษานี้ใช้ปลาทูน่าสายพันธุ์ทองแถบ (Skipjack Tuna)
- 1.3.2 การละลายปลาทูน่าแช่แข็งโดยวิธีใช้ไฟฟ้าสถิต
- 1.3.3 การละลายปลาทูน่าแช่แข็งใช้ถังสแตนเลสขนาด 1.6 เมตร x 1.2 เมตร x 1 เมตร
- 1.3.4 การละลายปลาทูน่าแช่แข็งใช้น้ำประมาณ 300/ถัง
- 1.3.5 การบรรจุปลาทูน่าแช่แข็งไม่เกิน 800 กิโลกรัม/ถัง
- 1.3.6 การใช้ปลาทูน่าแช่แข็งก่อนละลายอุณหภูมิของปลาไม่สูงกว่า -13 องศาเซลเซียส
- 1.3.7 การกำหนดอุณหภูมิปลาทูน่าแช่แข็งหลังละลายอยู่ระหว่าง -2 ถึง 5 องศาเซลเซียส
- 1.3.8 การใช้อุณหภูมิน้ำเพื่อละลายปลาทูน่าแช่แข็งไม่สูงกว่า 40 องศาเซลเซียส

1.3.9 การวัดอุณหภูมิต้องใช้เทอร์โมมิเตอร์ชนิดดิจิทัล

1.3.10 การชั่งน้ำหนักปลาหว่านแช่แข็งต้องใช้เครื่องชั่งชนิดดิจิทัล

1.4 สมมติฐานการวิจัย

การละลายปลาหว่านแช่แข็งโดยใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง ไม่ได้ส่งผลให้ร้อยละเนื้อปลา ร้อยละเลือดปลาเพิ่มมากขึ้น และไม่ได้ส่งผลให้ความแตกต่างของอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาและบริเวณผิวปลาลดน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการละลายแบบแช่ในบ่อกักน้ำ

1.5 กรอบแนวความคิด

ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการละลายปลา ร้อยละเนื้อปลา ร้อยละเลือดปลาหลังการละลายปลา และทำการประเมินพร้อมทั้งวิเคราะห์การละลายทั้ง 2 แบบ เพื่อเลือกใช้การละลายในแบบที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากที่สุด

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ได้รับปลาที่เป็นวัตถุดิบมีคุณภาพที่ดีขึ้นในด้านของสีผิวหลังนึ่ง เนื้อสัมผัสแน่นขึ้น
- 1.6.2 ได้รับปลาที่เป็นวัตถุดิบมีจำนวนเนื้อปลาหลังนึ่งเพิ่มมากขึ้น
- 1.6.3 ได้รับปลาที่เป็นวัตถุดิบมีจำนวนเลือดปลาหลังนึ่งเพิ่มมากขึ้น
- 1.6.4 ได้รับผลประกอบการเพิ่มมากขึ้นและใช้พลังงานลดน้อยลง
- 1.6.5 ได้รับการยอมรับจากลูกค้าและสร้างความเชื่อมั่นให้ลูกค้าเพิ่มมากขึ้น

1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ

การละลาย (Thawing) หมายถึง การให้ความร้อนแก่อาหารเพื่อให้น้ำแข็งละลาย

ไฟฟ้า (Electricity) หมายถึง พลังงานรูปแบบหนึ่งที่เกิดจากการแยกตัวออกมา หรือการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ใช้ประโยชน์ในการสร้างพลังงานอื่น

ไฟฟ้าสถิต (Static Electricity) หมายถึง ความไม่สมดุลของประจุไฟฟ้าภายในหรือบนพื้นผิวของวัสดุหนึ่ง ประจุยังคงอยู่กับที่จนกระทั่งสามารถเคลื่อนที่โดยอาศัยการไหลของกระแสไฟฟ้า หรือมีการปลดปล่อยประจุ

ไฟฟ้าแรงดันสูง (High Voltage Electricity) หมายถึง ระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายไฟฟ้าสูงเกินกว่า 1,000 โวลต์ขึ้นไป ระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงจะสามารถส่งกระแสไฟฟ้าไปได้ในระยะทางที่ไกล และมีการสูญเสียทางไฟฟ้าต่ำกว่าระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำ

ปลาทูน่า (Tuna) หมายถึง ปลาทะเลที่มีจำนวนหลายชนิด นิยมนำมารับประทานสด ทำอาหารกระป๋อง และนำมาประกอบอาหาร แต่การจับโดยส่วนใหญ่จะส่งโรงงานแปรรูปเป็นอาหารกระป๋อง

ปลาทูน่าแปรรูป หมายถึง ปลาทูน่าชนิดต่างๆที่ผ่านกรรมวิธี หรือกระบวนการผลิตโดยผ่านขั้นตอนการผลิต ได้แก่ การทำให้สุก การทำความสะอาด และการบรรจุ เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ปลาทูน่า ทั้งที่เป็นผลิตภัณฑ์ปลาทูน่าบรรจุกระป๋อง และไม่บรรจุกระป๋อง

น้ำใช้ (Water) หมายถึง น้ำที่ใช้ในการละลายปลา

อุณหภูมิ (Temperature) หมายถึง ปริมาณของระดับความร้อน หรือความเย็นใดๆ สามารถวัดระดับอุณหภูมิได้จากเครื่องมือวัดที่เรียกว่า เทอร์โมมิเตอร์



บทที่ 2

การศึกษาอุตสาหกรรมและทบทวนวรรณกรรม

การศึกษาระยะปลายปริญญาฯ ในครั้งนี้ เพื่อหาวิธีการละลายที่เหมาะสมและทำให้วัตถุดิบปลาทูน่าหลังละลายมีคุณภาพและใช้ในกระบวนการถัดไปได้โดยมีประสิทธิภาพมากที่สุด ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาถึงอุตสาหกรรมและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องต่างๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางกำหนดแนวทางการศึกษาในครั้งนี้ โดยครอบคลุมเนื้อหาต่างๆ ดังนี้

- 2.1 อุตสาหกรรมปลาทูน่า
- 2.2 จุลินทรีย์กับการละลาย
- 2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ
- 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อุตสาหกรรมปลาทูน่า

2.1.1 ปลาทูน่า

2.1.1.1 ความหมายของปลาทูน่า

ปลาทูน่า หมายถึง ปลาทะเลที่มีจำนวนหลายชนิด นิยมนำมารับประทานสด ทำอาหารกระป๋อง และนำมาประกอบอาหาร แต่การจับโดยส่วนใหญ่จะส่งโรงงานแปรรูปเป็นอาหารกระป๋อง ในการแปรรูปมีด้วยกันหลายชนิด ซึ่งได้มาจาก 2 แหล่ง คือ การจับภายในประเทศ และการนำเข้าจากต่างประเทศ โดยการจับภายในประเทศได้มาจากการประมง ได้แก่ ปลาทองแถบ ปลาครีบน้ำเงิน เหลือง และปลาครีบน้ำเงิน เป็นต้น ส่วนการนำเข้าจากต่างประเทศได้แก่ ปลาครีบน้ำเงิน ปลาครีบน้ำเงิน ปลาตาโต ปลาโอดำ และปลาโอลาย โดยส่วนใหญ่การนำเข้าจากต่างประเทศจะอยู่ในรูปของการแช่เยือกแข็ง ซึ่งวัตถุดิบที่เป็นปลาทูน่าแต่ละชนิด มีรายละเอียดดังนี้

1) ปลาทองแถบ (Skipjack)

ปลาทองแถบเป็นสายพันธุ์ที่มีอยู่อย่างมากมาย และจำหน่ายมากเป็นอันดับแรก ปลาทูน่าพันธุ์นี้มีขนาดเล็ก ลำตัวยาว 12-32 นิ้ว และน้ำหนัก 3-7 กิโลกรัม อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่มีอุณหภูมิ 15-25 องศาเซลเซียส ลักษณะโดยทั่วไป เป็นปลาที่มีเนื้อนุ่ม และมีสีเข้ม จัดเป็นพันธุ์ที่มีคุณภาพต่ำกว่าพันธุ์ครีบน้ำเงิน และปลาครีบน้ำเงิน



ภาพ 2.1 ปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบ (Skipjack tuna)

2) ปลาครีบลีเหลือง (Yellowfin)

ปลาครีบลีเหลืองเป็นสายพันธุ์ที่ผู้ประกอบการส่วนใหญ่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง และจำหน่ายมากเป็นอันดับสอง โดยลักษณะของปลาทูน่าพันธุ์นี้มีขนาดลำตัวยาว 27-60 นิ้ว และน้ำหนักตั้งแต่ 7-25 กิโลกรัม อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 18-30 องศาเซลเซียส ลักษณะโดยทั่วไปจะเป็นปลาที่มีสีเข้มน้อย และมีปริมาณมากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ จึงเป็นที่นิยมที่จะนำปลาสายพันธุ์นี้มาผลิตเป็นปลาทูน่ากระป๋อง



ภาพ 2.2 ปลาทูน่าพันธุ์ครีบลีเหลือง (Yellowfin)

3) ปลาครีบบยาว (Albacore)

ปลาครีบบยาว เป็นสายพันธุ์ที่ผู้ประกอบการไทยใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง และจำหน่ายมากเป็นอันดับสาม ลักษณะของปลาทูน่าสายพันธุ์นี้คือ มีขนาดลำตัวยาว 15-36 นิ้ว และน้ำหนักตั้งแต่ 4-15 กิโลกรัม เป็นปลาที่สามารถอยู่ได้ทั้งผิวน้ำอุณหภูมิ 15-19 องศาเซลเซียส และในน้ำลึกที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 13-25 องศาเซลเซียส ปลาครีบบยาวเป็นสายพันธุ์เดียวที่นำมาเป็นวัตถุดิบที่มีคุณภาพสูงที่สุดเพื่อใช้ในการผลิตปลาทูน่าบรรจุกระป๋อง



ภาพ 2.3 ปลาทูน่าพันธุ์ครีบยาว (Albacore)

4) ปลาตาโต (Big Eye)

ปลาตาโตเป็นสายพันธุ์ที่นิยมบริโภคแบบสด หรือดิบมากกว่านำมาบรรจุกระป๋อง โดยส่วนใหญ่จะส่งออกไปยังตลาดญี่ปุ่นเพื่อนำไปจำหน่ายในตลาดสด เป็นปลาที่มีขนาดลำตัวยาวตั้งแต่ 35-72 นิ้ว และมีน้ำหนักระหว่าง 4-16 กิโลกรัม พบได้ในแหล่งน้ำที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ 13-29 องศาเซลเซียส



ภาพ 2.4 ปลาทูน่าพันธุ์ตาโต (Big Eye)

5) ปลาครีบน้ำเงิน (Bluefin)

ปลาครีบน้ำเงินเป็นสายพันธุ์ที่มีความสำคัญน้อยสำหรับอุตสาหกรรมการแปรรูปปลาทูน่าในประเทศไทย และเป็นปลาที่มีขนาดใหญ่ที่สุด โดยปลาทูน่าสายพันธุ์นี้แบ่งเป็นสองชนิดคือปลาทูน่าครีบน้ำเงินใต้ (Southern Bluefin) มีขนาดลำตัวยาวตั้งแต่ 60-80 นิ้ว และมีน้ำหนัก 40-130 กิโลกรัม และปลาครีบน้ำเงินเหนือ (Northern Bluefin) จะมีขนาดใหญ่กว่ามาก โดยอาจจะมือน้ำหนักสูงถึง 750 กิโลกรัม ปลาครีบน้ำเงินเป็นสายพันธุ์ที่ไม่นิยมบรรจุกระป๋องเพราะมีสีเข้มเกินไป ส่วนใหญ่จะส่งออกไปยังตลาดสดประเทศญี่ปุ่น



ภาพ 2.5 ปลาทูน่าพันธุ์ครีบน้ำเงิน (Bluefin)

6) ปลาโอดำ (Tongol)

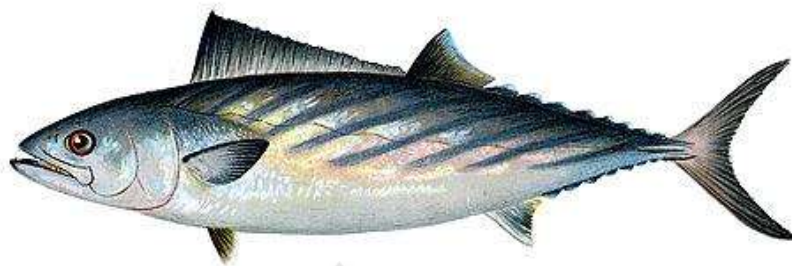
ปลาโอดำเป็นสายพันธุ์ที่สามารถพบได้ตามชายฝั่งทะเลของประเทศไทย และเป็นปลาที่มีขนาดเล็ก โดยมีลำตัวยาวเพียง 70-130 เซนติเมตร น้ำหนัก 1-5 กิโลกรัม จัดอยู่ในประเภทปลาเนื้อขาวที่มีรสชาติดีมาก เนื้อสัมผัสให้ความแน่นคงที่ แต่มีอุตสาหกรรมที่แปรรูปปลาสายพันธุ์นี้จำนวนน้อย



ภาพ 2.6 ปลาทูน่าพันธุ์โอดำ (Tongol)

7) ปลาโอสาย (Bonito)

ปลาโอสายเป็นสายพันธุ์ที่สามารถพบได้ตามชายฝั่งทะเลของประเทศไทย และมีขนาดเล็ก ลำตัวยาว 18-32 นิ้ว และหนัก 1-4 กิโลกรัม ส่วนใหญ่จะนำมาแช่เย็นหรือแช่แข็ง โดยตัดหัวปลา และผ่าท้องนำเครื่องในออกเพื่อจำหน่าย



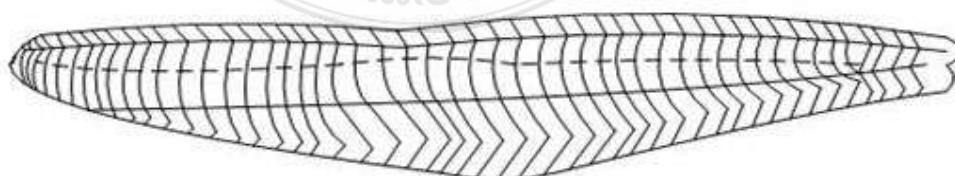
ภาพ 2.7 ปลาทูน่าพันธุ์โอลาย (Bonito)

ปลาทูน่าที่ใช้ในการศึกษา คือ ปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ (Skipjack tuna) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Katsuwonus pelamis* เป็นปลาที่มีรูปร่างเพรียว ลำตัวกลม ปากกว้าง ตาขนาดปานกลาง ครีบหลังเป็นก้านแข็ง ครีบหูมีขนาดเล็กปลายเรียวแหลม ข้างลำตัวมีลายแถบแตกต่างกันออกไป คือ มีสีดำสลับขาวเป็นแนวจากครีบหูไปจนถึงครีบหาง หลังมีสีดำปนน้ำเงินเข้ม ท้องสีขาวเงิน และมีหนังค่อนข้างบางลอกออกได้ง่าย หางมีสีดำแข็งแรง ปลาทูน่าพันธุ์นี้จะมีขนาดเล็ก ลำตัวยาว 18-32 นิ้ว และน้ำหนัก 3-7 กิโลกรัม อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่มีอุณหภูมิ 15-25 องศาเซลเซียส

ปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบเป็นสายพันธุ์ที่มีอยู่อย่างมากมายและจำหน่ายมากเป็นอันดับแรก แต่เป็นปลาที่มีเนื้อน้อย มีสีเข้ม จัดเป็นสายพันธุ์ที่มีคุณภาพต่ำกว่าปลาทูน่าสายพันธุ์ครีวยาวและครีบเหลือง โดยปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบนิยมรับประทานสด และนิยมเนื้อส่วนขาวมาทำปลาทูน่าบรรจุกระป๋อง (พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา, 2556)

2.1.1.2 กล้ามเนื้อของปลาทูน่า

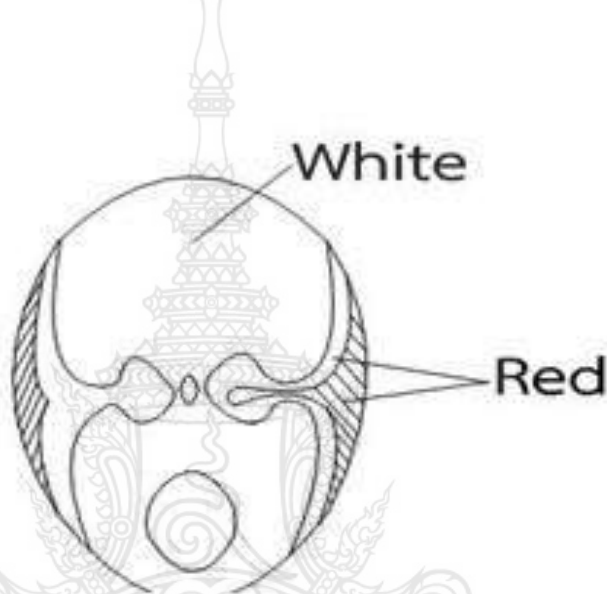
กล้ามเนื้อปลา (Block of muscle, myotomes) เรียงตัวแบบ segment ally ท่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (myocomma) กล้ามเนื้อปลาและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันนี้สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ดังภาพ 2.8 เมื่อสุกจะเห็นเป็นชั้น (Flakes) เนื้อเยื่อเกี่ยวพันเมื่อได้รับความร้อนจะละลายกลายเป็นเจลทำให้เนื้อเยื่อแยกกันได้ง่าย



ภาพ 2.8 ลักษณะการเรียงตัวของกล้ามเนื้อปลาทูน่า

ที่มา: พิมพ์เพ็ญ (2556)

ใต้ผิวหนังปลาจะพบกล้ามเนื้อสีคล้ำ (Red meat หรือ Dark meat) อยู่สองข้างตามเส้นข้างตัวอัตราส่วนระหว่างกล้ามเนื้อสีคล้ำและสีอ่อน (Light meat) แตกต่างกันไปตามชนิดของปลาและส่วนต่างๆของร่างกาย ปลาน้ำลึกมีปริมาณกล้ามเนื้อสีคล้ำน้อยกว่าปลาที่อาศัยอยู่บริเวณผิวน้ำ กล้ามเนื้อสีคล้ำมีปริมาณเฮโมโพรตีน (Haemoprotien) สูงและเป็นสารเริ่มต้นที่ทำให้ไขมันที่มีอยู่มากเสื่อมคุณภาพได้ง่าย เนื้อสีคล้ำทำหน้าที่เป็นคลังเก็บไขมัน ไกลโคเจนและเมตาโบไลต์ อื่นๆระดับของสารอนินทรีย์และกรดที่ละลายได้รวมทั้งปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อสีคล้ำต่ำกว่าในเนื้อสีอ่อน



ภาพ 2.9 สัดส่วนกล้ามเนื้อสีอ่อนและสีเข้มตามภาพตัดขวางลำตัวปลาทูน่าที่องแถบ
ที่ีมา: พิมพ์เพ็ญ (2556)

2.1.1.3 องค์ประกอบหลักทางเคมีของปลาทูน่า

องค์ประกอบหลักของเนื้อปลาคือ น้ำ โปรตีน และไขมันซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้รวมกันมีถึงร้อยละ 98 ของน้ำหนักปลาสดและองค์ประกอบที่เหลืออื่นๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และเกลือแร่มีอยู่ในปริมาณน้อย แต่ส่วนประกอบเหล่านี้มีความสำคัญต่อสภาพการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อปลาภายหลังการตายซึ่งมีผลกับเนื้อสัมผัสของปลา (นงลักษณ์, 2531)

1) น้ำ กล้ามเนื้อปลาประกอบด้วยน้ำร้อยละ 50-85 แตกต่างกันไปตามชนิดและถิ่นที่อยู่อาศัย การไม่กินอาหารของปลาในฤดูวางไข่ ทำให้พลังงานสะสมในกล้ามเนื้อลดลง ปริมาณน้ำในกล้ามเนื้อจึงเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (Sikorski, 1990) น้ำในตัวปลาไม่แข็งที่ 0 องศาเซลเซียส น้ำในตัวปลาแข็งตัวที่ประมาณ -0.9 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง 0 องศาเซลเซียส น้ำในตัวปลาจะแข็งตัวประมาณร้อยละ 90 เท่านั้น ความคงตัวของน้ำในเนื้อปลา เกิดความชื้นในเส้นใยเนื้อปลาเกาะตัวกันแน่นร่วมกับสารคอลลอยด์ น้ำในเนื้อปลามีอยู่ 2 รูปแบบ คือ

ก. รูปีอิสระ (Free water) น้ำที่อยู่ในสภาพนี้ทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้สารอื่น เช่น โปรตีนและคอลลอยด์ ขณะเดียวกันทำหน้าที่เป็นตัวละลายอื่นๆด้วย

ข. รูปียึดเหนี่ยว (Bound water) น้ำในสภาวะนี้จะอยู่ตามผิวของคอลลอยด์ ในโปรตีนและตามผนังเซลล์ เมื่อได้รับความร้อนน้ำที่อยู่ในสภาพนี้จะระเหยไปช้ากว่าน้ำที่อยู่ในรูปีอิสระ ดังนั้น จึงต้องใช้ความร้อนสูงซึ่งตรงข้ามกับน้ำอิสระที่ระเหยได้ง่ายและแข็งตัวง่ายกว่า

2) โปรตีน กล้ามเนื้อของปลาประกอบด้วยโปรตีน 2 ประเภท ตามลักษณะการละลาย คือ โปรตีนไม่ละลายน้ำ ได้แก่ โปรตีนที่ยึดติดได้ทำหน้าที่ในการยึดหดตัวของกล้ามเนื้อ มีประมาณร้อยละ 65-75 ของโปรตีนทั้งหมด รวมทั้งโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพันซึ่งมีปริมาณน้อยกว่า มีประมาณร้อยละ 3-10 ของโปรตีนทั้งหมด และโปรตีนไม่ละลายน้ำ ได้แก่ โกลโคโปรตีน เอนไซม์ โปรตีนและไมโอโกลบินโปรตีน

3) ไขมัน พบได้ผิวหนังและกล้ามเนื้อ จำแนกได้ 2 ชนิด ไขมันที่ร่างกายเก็บไว้ใช้พลังงาน (Deport-fat) ส่วนไขมันที่ไม่ได้ถูกสะสมเพื่อใช้เป็นพลังงาน (Non-deport-fat) ได้แก่ ฟอสโฟลิปิด

องค์ประกอบอื่นๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และแร่ธาตุมีอยู่ในปริมาณน้อย ส่วนประกอบทางเคมีของปลาทუნ่าสายพันธุ์ต่างๆขึ้นอยู่กับชนิด ตำแหน่งของร่างกายของปลา และฤดูกาล ซึ่งปลาที่อาศัยอยู่ในแถบร้อนจะไม่พบความแตกต่างเรื่องฤดูกาลอย่างชัดเจน ปลาทუნ่าที่ไขมันสูงอาจเปลี่ยนสภาพเป็นปลาไขมันต่ำได้ตามฤดูกาลและแหล่งอาหาร องค์ประกอบทางเคมีของปลาทუნ่าสายพันธุ์ต่างๆ แสดงไว้ในตาราง 2.1

ตาราง 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของปลาทუნ่า (กรัม/100 กรัม)

สายพันธุ์ปลา	น้ำ(%)	โปรตีน(%)	ไขมัน(%)	คาร์โบไฮเดรต (%)	เถ้า(%)
Albacore	62.3-78.6	19.1-27.6	0.7-18.2	0.2	1.2-2.4
Skipjack	68-71.1	23.8-26.6	0.3-7.4	-	1.3-1.7
Yellow fin	67.3-77.1	22.9-25.8	0.1-9.5	-	1.3-1.5

ที่มา: พิมพ์พร (2552)

2.1.1.4 การเก็บรักษาปลาทูน่า โดยเรือประมง

การเก็บรักษาปลาทูน่าหรือการทำความเย็น ใช้การทำ Brine cooler คือ การนำน้ำเข้าไปดูดซับอุณหภูมิในตัวปลาและทุกๆ ส่วนของตัวปลาให้อุณหภูมิต่ำ น้ำและเกลือเป็นปัจจัยสำคัญในการทำระบบ Brine cooler เราจึงต้องทำทั้ง 2 อย่างประกอบกัน คุณสมบัติของเกลือในการผสมกับน้ำเกลือจะช่วยชะลอการเกิดแบคทีเรียได้ดี ในการผสมระหว่างน้ำและเกลือจะต้องได้ตามสัดส่วนมาตรฐานของขนาดความเข้มข้นในการทำไบรม์ ซึ่งเรือประมงมีปริมาตรความจุในการทำน้ำไบรม์ประมาณ 60 ลูกบาศก์เมตร ตามสัดส่วนแล้วจะใช้เกลือ 29 กิโลกรัมต่อน้ำจืด 100 กิโลกรัม จะได้สารละลายเข้มข้นนี้เรียกว่า น้ำไบรม์ และสามารถทำอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งและยังคงสภาพเป็นของเหลว เมื่อได้น้ำไบรม์แล้วเราจะทำการหมუნเวียนน้ำไบรม์เพื่อทำอุณหภูมิให้ต่ำลง การหมუნเวียนนี้จะทำโดยใช้ปั๊มดูดน้ำไบรม์ผ่านเครื่องทำความเย็นแล้วส่งกลับสู่ห้องเย็นอย่างเดิม ซึ่งจะทำให้การหมუნเวียนอย่างนี้ต่อเนื่องกันจนได้อุณหภูมิ -17 ถึง -21.2 องศาเซลเซียส ในเวลาอันรวดเร็ว ในขณะที่ทำความเย็นเราจะทำการตรวจค่าความเค็มและอุณหภูมิเพื่อป้องกันการแข็งตัวของน้ำไบรม์ อุณหภูมิที่กำหนดทำน้ำไบรม์อยู่ที่ -17 องศาเซลเซียส และมีความหนาแน่นที่ 22.4% หลังจากนั้นเราจึงหยุดการหมუნเวียนน้ำไบรม์ เพื่อป้องกันการตกผลึกหรือการเปลี่ยนสถานะของน้ำที่เป็นส่วนผสมอยู่ ก่อนทำการดองปลาที่จับได้จะทำการถ่ายน้ำไบรม์ให้เหลือ 1 ใน 3 ของบ่อน้ำไบรม์ เพื่อกันการกระแทกและการลอยตัวของปลาทูน่าในขณะทำการดองปลา หลังจากการดองปลาใส่ในบ่อน้ำไบรม์จนเต็มแล้วจึงปล่อยน้ำไบรม์ให้เต็มล้นตัวปลา เพื่อให้ปลาทุกตัวจมอยู่ในน้ำไบรม์ ตามปกติแล้วน้ำไบรม์จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อแช่ปลาลงไป เนื่องจากองค์ประกอบต่างๆ ของตัวปลาจะทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น 0-10 องศาเซลเซียส เราจึงต้องทำการหมუნเวียนความเย็นผ่านทาง Brine cooler จนได้อุณหภูมิประมาณ -15 องศาเซลเซียส ในการแช่ที่จุ่มอนิเตอร์ภายในห้องควบคุมเครื่องยนต์ ปลาจึงคงสภาพแข็งตัวได้ดีขึ้น แช่ปลาทูน่าในน้ำไบรม์ไว้ 1 คืนแล้วทำความเย็นเข้าไปใหม่ให้อุณหภูมิที่ทั้งตัวปลาได้ -10 องศาเซลเซียส จากนั้นจะทำอุณหภูมิที่ขณะนั้นจนถึง 3 วัน หลังจากนั้นทำการถ่ายน้ำไบรม์ให้หมดจนแห้งเหลือแต่ตัวปลา แล้วทำความเย็นอีกครั้งด้วยระบบท่อคอยด์รอบผนังบ่อจนอุณหภูมิได้ถึง -40 องศาเซลเซียส (ศูนย์พัฒนาการประมงแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้, 2553)

2.1.2 ปลาทูน่าแปรรูป

2.1.2.1 ความหมายของปลาทูน่าแปรรูป

สมัคร รักแม่ (2558) ได้ให้ความหมายของปลาทูน่าแปรรูป หมายถึง ปลาทูน่าชนิดต่างๆที่ผ่านกรรมวิธี หรือกระบวนการผลิตโดยผ่านขั้นตอนการผลิต ได้แก่ การทำให้สุก การทำความสะอาด และการบรรจุ เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ปลาทูน่า ทั้งที่เป็นผลิตภัณฑ์ปลาทูน่าบรรจุกระป๋องและไม่บรรจุกระป๋อง

2.1.2.2 กระบวนการผลิตปลาพ่นาแปรรูป

กระบวนการผลิตปลาพ่นาแปรรูป มีขั้นตอนการผลิตหลัก ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆดังนี้ (บวร กิติไพศาลนนท์, 2552)

1) การตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ ก่อนนำวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการผลิต จะต้องมีการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆของปลา คือ เหงือก ตา ผิวหนัง และความยืดหยุ่นของเนื้อปลา ต้องอยู่ในสภาพที่ดี ไม่มีลักษณะเสื่อมคุณภาพ และการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี โดยมีรายละเอียดของการตรวจประเมินคุณภาพดังนี้

ก. ตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ เพื่อประเมินคุณภาพของวัตถุดิบเบื้องต้น เช่น ชนิด สภาพ อุณหภูมิ และความสดของปลา เป็นต้น หลังจากนั้นคัดแยกปลาที่ไม่ได้คุณภาพออก เช่น ปลาที่บอบช้ำอย่างรุนแรง เหม็นเปรี้ยวและเน่าเสีย

ข. สุ่มตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของผู้บริโภค เช่น โปรท ฮีสตามีน เป็นต้น โดยความถี่ในการสุ่มตรวจ ขึ้นอยู่กับประวัติการควบคุมคุณภาพปลาและความเสี่ยงในการตรวจพบสารดังกล่าว

2) การคัดขนาดวัตถุดิบ พนักงาน ณ จุดเตรียมวัตถุดิบนำวัตถุดิบที่ได้ผ่านการตรวจสอบทั้งคุณภาพทางกายภาพ และทางเคมี เข้าสู่ขั้นตอนการคัดขนาดวัตถุดิบ ซึ่งมีขั้นตอนการคัดขนาดวัตถุดิบ ดังนี้

ก. รับวัตถุดิบ นำปลาลงจากรถบรรทุก โดยเทลงบนสายพานเพื่อคัดขนาดปลา

ข. เทปลาที่ได้รับการคัดขนาดลงในบ่อปลาแต่ละถังเพื่อดำเนินการกำหนดรุ่นการผลิต หากระหว่างกระบวนการ อุณหภูมิปลามากกว่า 5 องศาเซลเซียส ให้ใช้น้ำแข็งกลบตัวปลาเป็นชั้นๆเพื่อช่วยในการลดอุณหภูมิปลา

3) การละลายปลา ซึ่งปลาพ่นาที่เข้าสู่กระบวนการผลิตจะอยู่ในสภาพปลาแช่แข็งจึงต้องนำมาละลายในบ่อละลายปลา ซึ่งเวลาที่ใช้ในการละลายปลา จะขึ้นอยู่กับขนาดของปลา ซึ่งมีขั้นตอนการละลายปลาตามลำดับ ดังนี้

ก. นำปลาแช่แข็งที่คัดขนาดแล้วใส่ในถังละลายปลา แยกตามขนาดปลา จัดถังละลายปลาเข้าตำแหน่งละลาย

ข. เสียบสายยางน้ำเข้าให้ถึงก้นถังละลายปลา เปิดน้ำใส่ถังละลายปลาจนเต็ม จัดสายยางน้ำออกอยู่ในรางระบายน้ำปล่อยให้น้ำไหลผ่านตลอดเวลา บันทึกเวลาการเปิดน้ำในรายงานการละลายปลา เวลาที่ใช้ในการละลายขึ้นกับขนาดของปลา ตามตารางเวลายามาตรฐานของขั้นตอนการละลายปลา

ค. ระหว่างละลาย พนักงานตรวจสอบคุณภาพทำการสุ่มปลาจากด้านล่างของถังละลายปลา วัดอุณหภูมิแกนกลางตัวปลาทุกๆ 30 นาที เมื่ออุณหภูมิได้ (-4) ถึง 0 องศาเซลเซียสให้แจ้งพนักงานวัดอุณหภูมิตัดน้ำและบันทึกเวลาที่ปิดน้ำและละลายปลา ก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการผ่าท้องเพื่อนำเครื่องในออก พนักงานรับวัดอุณหภูมิตำการวัดอุณหภูมิแกนกลางตัวปลาอีกครั้ง

4) การผ่าท้องนำเครื่องในออก โดยปลาที่ผ่านกระบวนการละลายน้ำแข็งจะนำมาผ่าท้องนำเครื่องในออก และล้างออกด้วยน้ำสะอาดเพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพปลา ปลาที่ผ่าท้องแล้วต้องดึงเครื่องในปลาออกให้หมด คัดสิ่งแปลกปลอม เชือกฟาง เป็นต้น หลังจากนั้นพนักงานตรวจสอบคุณภาพปลา ทำการตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ การดมปลา หากพบปลาไม่ได้คุณภาพ ต้องคัดแยกปลาที่เน่าเสียหรือมีกลิ่นผิดปกติออก และจะต้องไม่นำมาผลิต หลังจากนั้นนำปลาที่ผ่านการผ่าท้องนำเครื่องในออก และตรวจสอบคุณภาพแล้วจัดเรียงลงบนตะแกรงเพื่อทำการนึ่ง ควบคุมเวลา (Delay time) ตั้งแต่สิ้นสุดการละลายจนถึงการนำปลาเข้าตู้หนึ่งน้อยกว่า 2 ชั่วโมงสำหรับปลาน้ำหนักน้อยกว่า 5 กิโลกรัม หรือน้อยกว่า 4 ชั่วโมงสำหรับปลาที่น้ำหนัก 5 กิโลกรัมขึ้นไป แต่หากอุณหภูมิปลามากกว่า 5 องศาเซลเซียสต้องนำเข้าตู้หนึ่งภายใน 1 ชั่วโมง (กรมประมง, 2553)

5) การนึ่งปลา พนักงานทำการนึ่งด้วยหม้อไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ความดันประมาณ 1-2 บาร์เป็นเวลา 60-90 นาที เวลาและอุณหภูมิในการนึ่งปลาขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของปลา โดยกำหนดค่าอุณหภูมิหนึ่งตามตารางกำหนดอุณหภูมิหม้อไอน้ำ และกำหนดเวลาที่ใช้ในการนึ่งตามตารางเวลามาตรฐานของขั้นตอนการนึ่งปลา การนึ่งปลาเป็นการทำให้หนังและกระดูกปลาแยกออกจากเนื้อปลา ส่งผลทำให้ขั้นตอนการขูดสะอาดเนื้อปลาออกได้ง่าย อีกทั้งเป็นการเพิ่มความเหนียว และการตกตะกอนของโปรตีนอีกด้วย (Zhang et al., 2002) หลังจากครบระยะเวลาการนึ่งแล้ว พนักงานทำการตรวจสอบอุณหภูมิแกนกลางตัวปลา ซึ่งจะต้องได้อุณหภูมิเฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 65 องศาเซลเซียส

6) การทำเย็นปลา มีวัตถุประสงค์เพื่อลดอุณหภูมิตัวปลาให้ต่ำลง และป้องกันการเกิดความร้อนระอุจากการนึ่ง ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักของปลา และส่งผลต่อร้อยละผลผลิตที่ได้ (%Yield) เนื่องจากน้ำระเหยเป็นไอออกจากตัวปลา นอกจากนี้ไขมันและน้ำมันในตัวปลา จะมารวมกันอยู่ที่บริเวณชั้นผิวหนังปลา เพื่อง่ายต่อการขูดหนังปลา (Zhang et al., 2002) หลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนการนึ่งปลาแล้ว พนักงานลำเลียงรถเข็นปลาไปยังบริเวณหัวฉีดพ่นน้ำเพื่อทำความเย็นปลา โดยพนักงานควบคุมห้องทำความเย็นปลา เปิดปั้มน้ำเข้าท่อเพื่อจ่ายน้ำไปยังหัวฉีดในแต่ละตำแหน่ง และควบคุมระยะเวลาการเปิดปิดน้ำ ในระหว่างการทำเย็น พนักงานควบคุมห้องทำความเย็นปลาติดตามตรวจสอบอุณหภูมิปลาเป็นระยะๆ จนได้อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 35-40 องศาเซลเซียส โดยสุ่มปลา

อย่างน้อย 6 ตัวต่อรอบการผลิต เมื่อได้อุณหภูมิตามที่กำหนดแล้วจึงนำออกจากห้องทำเย็นปลาไปยังห้องชูดปลา เพื่อดำเนินการชูดหนังและชูดสะอาดต่อไป

7) การชูดสะอาดขึ้นปลา โดยปลาที่ผ่านการนึ่งสุกและทำเย็นปลาเพื่อลดอุณหภูมิปลาลงแล้ว นำมาชูดสะอาดเนื้อปลาให้เหลือเพียงเนื้อปลาที่สะอาด และพร้อมสำหรับการบรรจุ ในการผลิตตามหลักกรมประมง จะต้องควบคุมเวลาน้อยกว่าหรือเท่ากับ 6 ชั่วโมง ตั้งแต่เปิดไอน้ำของหม้อนึ่งปลาจนกระทั่งชูดสะอาดเสร็จสิ้น การชูดสะอาดขึ้นปลาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือการชูดหนังและการชูดสะอาด

8) การชูดหนัง ซึ่งหลังจากอุณหภูมิแกนกลางตัวปลาอยู่ระหว่าง 35-40 องศาเซลเซียส พนักงานชูดหนังนำตะแกรงปลาขึ้นโต๊ะเพื่อดำเนินงานชูด โดยพนักงานชูดหนังจะหักหัวปลาหางปลา กระดูกและก้างออก แยกสิ่งแปลกปลอมที่ติดมากับตัวปลา หลังจากนั้นเก็บชิ้นเนื้อที่หัวปลาออกให้หมด พนักงานชูดหนังใช้มีดชูดหนังปลาออกให้หมด โดยชูดขึ้น-ลง ใช้แรงกดมีดพอประมาณ จนกว่าหนังจะหลุดออกมาจนหมดทั้งตัวปลา ต่อมาใช้มีดชูดครีบบลวดวนบนอก โดยใช้มีดชูดจากปลายหางขึ้นไปส่วนหัว จนครีบบลวดหลุดออกหมด บริเวณท้องให้หงายตัวปลาขึ้น แล้วใช้มีดชูดส่วนปลายหางขึ้นไปเพื่อให้หนังบริเวณท้องหลุดออก

9) การชูดสะอาด พนักงานชูดจะต้องตรวจสอบความสมบูรณ์ของการชูดหนัง ซึ่งปลาจะต้องปราศจาก หนัง เกล็ด และครีบบลวด เพื่อพร้อมสำหรับการชูดสะอาด หลังจากนั้นพนักงานชูด จะนำปลาที่ชูดหนังแล้วมาชูดสะอาด โดยการนำปลามาแบ่งเป็น 2 ซีก และใช้มีดกรีดแบ่งครึ่งอีกครั้ง พนักงานชูดสะอาดปลาจับปลาในลักษณะหันส่วนหัวขึ้น แล้วใช้มีดชูดตรงตำแหน่งเลือดออก และใช้สันมือข้างที่จับมีดถูบริเวณร่องเลือดของปลาให้สีของเนื้อปลาสม่ำเสมอ จากนั้นแยกก้างที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 3 มิลลิเมตร ยาวมากกว่า 3 เซนติเมตรออกให้หมด ในระหว่างการชูดสะอาด หากตรวจพบสีผิดปกติ กลิ่นผิดปกติ หรือเนื้อปลาที่มีลักษณะเป็นรูพรุ (Honey Comb) ต้องแยกชิ้นปลาเหล่านั้นออก รมั้ดระวังไม่ให้เศษหนัง เกล็ดปลา ก้างปลา และส่วนอื่นๆ ที่ไม่ใช่ในการบริโภคปลอมปนในเนื้อปลาที่ผ่านการชูดสะอาดแล้ว สิ่งที่ได้จากการชูดสะอาดได้แก่ ชิ้นลอยด์ หรือทูน่าลอยด์ (Tuna loin) และเศษปลาหรือปลาแมว (Tuna flake) ลักษณะการชูดสะอาดของปลาขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้า ซึ่งลักษณะการชูดสะอาดขึ้นปลาโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ คือ Double cleaning เป็นการชูดสะอาดขึ้นปลาให้สะอาดที่สุด โดยมีร่องเลือดสีชมพูอ่อนๆ และมีสีเหลืองของชิ้นเนื้อได้ประมาณร้อยละ 10 Single cleaning เป็นการชูดสะอาดขึ้นปลาให้สะอาดปานกลาง โดยมีร่องเลือดสีชมพู และมีสีเหลืองได้เล็กน้อยถึงปานกลางประมาณร้อยละ 30 และ Single half เป็นการชูดสะอาดขึ้นปลา โดยเฉพาะหัว หนัง และก้างออกเท่านั้น และมีสีผิวเหลืองได้

10) การบรรจุ จะทำการบรรจุเนื้อปลาที่ได้คุณภาพ ผ่านการตัดแต่งและทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วลงในกระป๋องโลหะที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว จากนั้นเติมน้ำปรุงรสตามลงไป โดยอาศัยเครื่องจักรหรือแรงงานคน

11) การไล่อากาศ ก่อนการปิดฝากระป๋องต้องมีการไล่อากาศโดยการพ่นไอน้ำ บริเวณช่องว่างเหนือกระป๋อง เพื่อให้น้ำเกิดการควบแน่นเกิดเป็นสภาวะสุญญากาศที่สามารถป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ใช้ใช้อากาศ รวมทั้งทำลายสปอร์ของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศ

12) การปิดผนึก เมื่อทำการเติมส่วนผสมต่างๆครบแล้ว จะทำการปิดฝากระป๋อง โดยใช้ไอน้ำ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนสิ่งเจือปนจากภายนอก เช่น จุลินทรีย์ สารเคมี เป็นต้น

13) การล้างทำความสะอาดกระป๋อง นำกระป๋องที่ปิดผนึกแล้วมาล้างด้วยน้ำสะอาด เพื่อกำจัดไขมันหรือส่วนผสมที่ติดอยู่ด้านนอกของกระป๋องออก

14) การฆ่าเชื้อ คือการใช้ความร้อนในช่วง 110-120 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นระดับที่สามารถทำลายจุลินทรีย์ชนิดสร้างสารพิษและจุลินทรีย์ชนิดก่อโรค รวมทั้งจุลินทรีย์ชนิดที่ทำให้อาหารเสียภายใต้สภาพการเก็บรักษาอาหารกระป๋องที่อุณหภูมิห้อง ขณะเดียวกัน ความร้อนระดับดังกล่าวนี้ยังคงรักษาคุณภาพอาหารด้าน สี กลิ่น รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการที่ผู้บริโภคยอมรับ

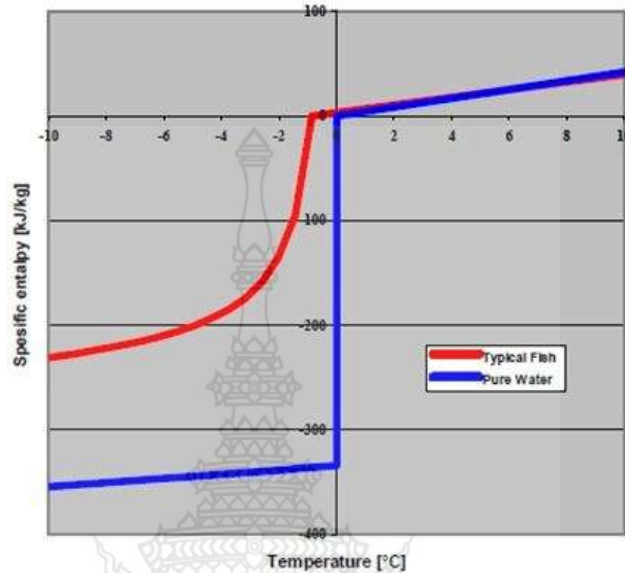
15) การลดอุณหภูมิของกระป๋อง เพื่อป้องกันความร้อนที่สะสมทำให้เนื้อปลาย่อยเกิดการเปลี่ยนแปลงรสชาติ สี สัน และคุณค่าทางอาหารของเนื้อปลา รวมทั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เจริญได้ในอุณหภูมิสูง ที่เกิดขึ้นหลังจากการฆ่าเชื้อ ดังนั้น จะต้องมีการลดอุณหภูมิกระป๋องลงอย่างรวดเร็วในขณะที่ทำการลดอุณหภูมิจะเป็นภาวะสุญญากาศภายในกระป๋อง ซึ่งอาจทำให้ปลาระป๋องเสียได้ น้ำที่ใช้ในการลดอุณหภูมิจึงต้องเป็นน้ำที่สะอาด มีการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค โดยให้มีคลอรีนอิสระ 5 ส่วนในล้านส่วน ทำการลดอุณหภูมิกระป๋องลงจนกระทั่งมีอุณหภูมิประมาณ 35-40 องศาเซลเซียส เพื่อให้ความร้อนที่เหลืออยู่ทำให้กระป๋องแห้งเองหรือเป่าด้วยพัดลม เพื่อป้องกันการเกิดสนิม

16) การปิดฉลาก เมื่ออุณหภูมิของกระป๋องลดลงจนเท่ากับอุณหภูมิห้องและแห้งสนิทแล้ว หลังจากนั้นจะนำไปปิดฉลากบรรจุภัณฑ์ และบรรจุกล่องกระดาษเพื่อการเก็บรักษาและการขนส่งต่อไป

2.1.3 การละลายอาหารแช่แข็ง

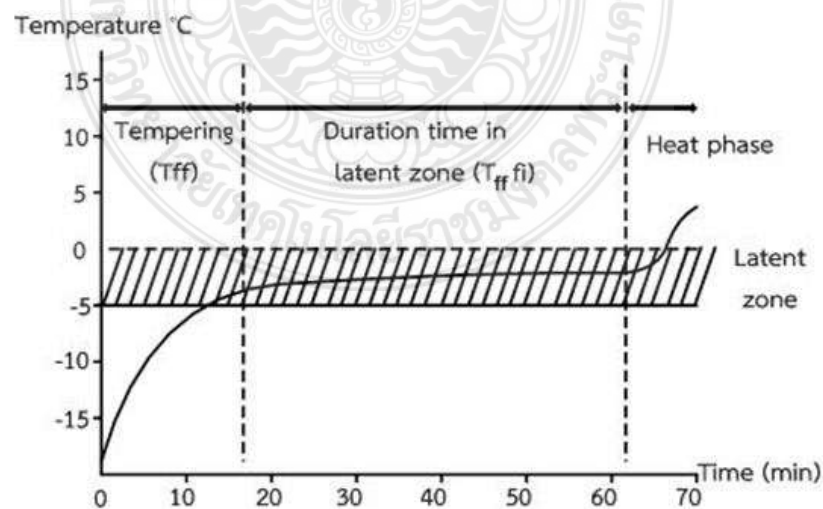
อาหารแช่แข็งเกิดการละลายได้ก็ต่อเมื่อน้ำแข็งในอาหารแช่แข็งเกิดการหลอมเหลวขึ้น โดยการให้พลังงานแก่อาหารแช่แข็ง เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Specific enthalpy หรือเรียกว่า ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าหรือออกจากระบบในกระบวนการที่ความดันคงที่กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป พบว่าการละลายนั้นเป็นการดูดกลืนพลังงานค่า Specific enthalpy จึงเพิ่มขึ้น จากภาพ

2.10 พบว่า น้ำบริสุทธิ์มีเส้นกราฟค่อนข้างคงที่ ในขณะที่ตัวอย่างปลา มีเส้นกราฟการละลายไม่คงที่ เนื่องจากมีส่วนประกอบอื่นนอกจากน้ำ เช่น โปรตีน ไขมัน และอื่นๆ

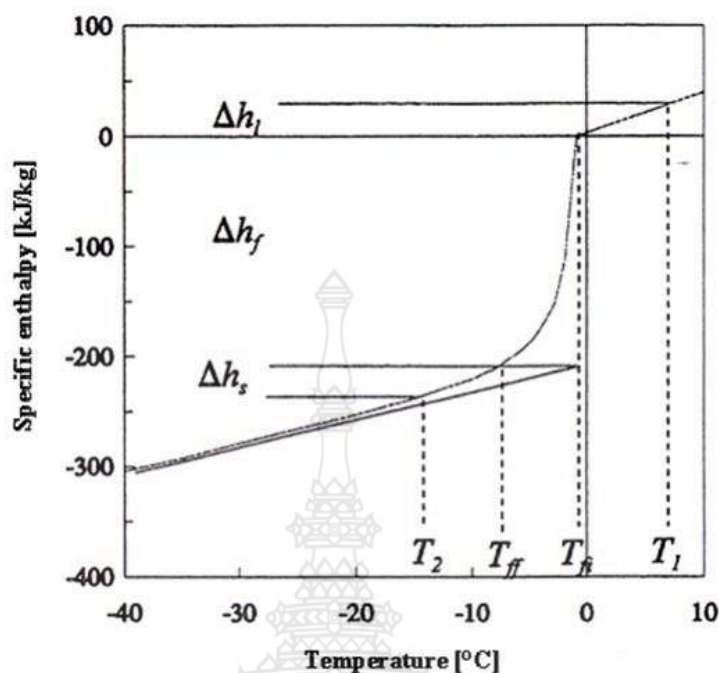


ภาพ 2.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Specific enthalpy กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป
ที่มา: จเร (2544)

ในกระบวนการละลายอาหารแช่แข็งตั้งแต่อุณหภูมิที่ทำการแช่แข็งจนกระทั่งถึงอุณหภูมิหลอมเหลว แบ่งกระบวนการได้ 3 ระยะ ดังภาพ 2.11 และ 2.12



ภาพ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ละลายกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป
ที่มา: จเร (2544)



ภาพ 2.12 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับ Specific enthalpy ของอาหารแช่แข็ง
ที่มา: จเร (2544)

จเร วงษ์ผึ้ง และคณะ (2555) ได้รายงานไว้ว่า ในกระบวนการละลายอาหารแช่เยือกแข็ง ตั้งแต่อุณหภูมิที่ทำการแช่แข็งจนกระทั่งถึงอุณหภูมิหลอมเหลว แบ่งกระบวนการได้ 3 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 อุณหภูมิอาหารแช่แข็งอยู่ในช่วง Tempering phase ทำให้อุณหภูมิในอาหารแช่แข็งเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเกิดการหลอมเหลวของน้ำแข็งภายในอาหาร ระยะนี้ค่อนข้างสั้น ค่าความจุความร้อนจำเพาะต่ำ และค่าการนำความร้อนสูง

ระยะที่ 2 เรียกว่า Latent zone phase (T_{ff} ถึง T_{fi}) น้ำแข็งเกิดการหลอมเหลวเนื่องจากพลังงานความร้อนที่เพิ่มให้ คือ Δh_f โดยอุณหภูมิของอาหารในระยะนี้ค่อนข้างคงที่จนกระทั่งถึงจุด T_{fi} ซึ่งเป็นอุณหภูมิเยือกแข็งของอาหารหรือเรียกว่า Freezing point ระยะนี้ถือว่าเป็นระยะที่มีความสำคัญต่อกระบวนการละลายอาหารแช่แข็ง เนื่องจากเป็นระยะที่น้ำแข็งเริ่มเปลี่ยนเฟสหรือเกิดการละลายของผลึกน้ำแข็ง ถ้าช่วงนี้ใช้เวลานานจะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ที่ใหญ่ขึ้น (Recrystallization) ซึ่งสามารถทำลายเนื้อเยื่อโครงสร้างและเนื้อเยื่อสัมผัสของอาหาร ดังนั้นกระบวนการละลายอาหารแช่แข็งที่ดีควรทำให้กระบวนการผ่านระยะ Latent zone phase อย่างรวดเร็ว

ระยะที่ 3 เรียกว่า Heating phase ($T > T_{fi}$) เป็นระยะหลังจากน้ำแข็งละลายหมดในระยะนี้ ค่าความจุความร้อนต่ำ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากพลังงานความร้อนที่เพิ่มให้ คือ Δh_l

2.1.3.1 วิธีการละลายอาหารแช่เยือกแข็ง

อุมาพร อุประ และคณะ (2555) ได้จำแนกวิธีการละลายอาหารแช่เยือกแข็งออกเป็น 4 วิธี ได้แก่

1) การละลายด้วยเทคโนโลยีคลื่นความถี่ (Acoustic/Ultrasonic Thawing) การนำเอาวัตถุดิบอาหารแช่เยือกแข็งเข้าสู่กระบวนการผลิตขั้นต่อไป จำเป็นต้องนำอาหารแช่เยือกแข็งมาผ่านการละลาย โดยวิธีการละลายที่นิยมใช้ในระดับกระบวนการทางอุตสาหกรรม ซึ่งจะต้องใช้ละลายอาหารแช่เยือกแข็งในปริมาณที่มาก เพื่อเตรียมเข้าสู่กระบวนการผลิต จึงนิยมใช้การละลายน้ำแข็งด้วยวิธีแช่น้ำ โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน วิธีการดังกล่าวใช้เวลาในการละลายที่ยาวนาน ซึ่งปกติการละลายอาหารแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ถึง $2-3$ องศาเซลเซียส จะใช้เวลาประมาณ $10-15$ ชั่วโมง ดังนั้น จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีการสั่นสะเทือนด้วยคลื่นเสียงมาใช้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการละลายด้วยวิธีแช่น้ำ โดยคลื่นเสียงสามารถช่วยเร่งอัตราการเปลี่ยนแปลงของผลึกน้ำแข็งและการถ่ายเทความร้อนจากภายในเนื้ออาหารแช่เยือกแข็ง แม้ว่าการละลายด้วยเทคโนโลยีคลื่นความถี่จะช่วยลดเวลาในการละลาย และลดอัตราการสูญเสียคุณภาพของวัตถุดิบอาหารแช่เยือกแข็งได้เป็นอย่างดี แต่เทคโนโลยีดังกล่าวยังไม่ได้รับความนิยมและนำมาใช้ในกระบวนการละลายในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากยังจำเป็นต้องใช้น้ำในการละลายจำนวนมาก และยังมีข้อจำกัดในด้านต่างๆ ไม่แตกต่างจากวิธีละลายแบบดั้งเดิม

2) การละลายด้วยเทคโนโลยีคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Thawing) คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ระหว่าง 300 MHz – 300 GHz ปัจจุบันได้กำหนดความถี่ของคลื่นไมโครเวฟสำหรับกระบวนการให้ความร้อนไว้ที่ 2 ระดับความถี่ คือ 915 ± 13 MHz และ $2,450 \pm 50$ MHz การเกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟประกอบด้วย การเหนี่ยวนำเชิงไอออน (Ionic Conduction) และกลไกขบวนการหมุนของทั้งสองขั้ว (Dipolar Rotation) ซึ่งค่าความร้อนที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟเหนี่ยวนำให้โมเลกุลของน้ำภายในอาหารและเกิดการหมุนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขั้วไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว ผลของการหมุนนี้ทำให้เกิดการเสียดสีของโมเลกุลของน้ำภายในอาหารก่อให้เกิดความร้อนภายในอาหารได้อย่างรวดเร็ว โดยประสิทธิภาพการเกิดความร้อนด้วยวิธีไมโครเวฟขึ้นอยู่กับสมบัติด้านไดอิเล็กตริกของอาหารในแต่ละชนิด จากจุดเด่นที่น่าสนใจด้านประสิทธิภาพและกลไกการเกิดความร้อนจากภายในเนื้ออาหาร จึงมีการนำคลื่นไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้เพื่อละลายอาหารแช่เยือกแข็งในระดับอุตสาหกรรม

3) การละลายด้วยเทคโนโลยีโอห์มมิก (Ohmic Thawing) สร้างความร้อนจากการต้านทานการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้า โดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านขั้วอิเล็กโทรดที่เป็นโลหะ และเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่อาหาร สามารถสร้างความร้อนในอัตราที่รวดเร็วและเกิดจากภายในตัวอาหาร เทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก สามารถนำมาประยุกต์ใช้การแปรรูปอาหารใน

ลักษณะต่างๆ อาทิเช่น การลวก การพาสเจอร์ไรซ์ การสเตอริไลซ์ การแปรรูปอาหารแบบปลอดเชื้อ และการละลายอาหารแช่เยือกแข็ง จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ซึ่งระบุในแนวทางเดียวกันว่า เทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบโอท้อมีความเหมาะสมอย่างยิ่งในการประยุกต์เพื่อการละลายอาหารแช่เยือกแข็ง มีอัตราการละลายรวดเร็ว และลดอัตราการสูญเสียคุณภาพของอาหารได้ดี

4) การละลายด้วยเทคโนโลยีแรงดันสูง (High Pressure Thawing) เป็นนวัตกรรมสมัยใหม่ในการละลายอาหารแช่เยือกแข็ง โดยใช้หลักการสร้างสภาวะแรงดันอากาศสูงในระบบการละลาย ประมาณ 200-400 เมกะปาสคาล สภาวะดังกล่าวจะทำให้ผลึกน้ำแข็งที่อยู่ในโครงสร้างอาหารสามารถเปลี่ยนเฟสของน้ำแข็งเป็นเฟสของเหลวได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งสามารถลดการรวมตัวของผลึกน้ำแข็งขนาดเป็นผลึกขนาดใหญ่ ส่งผลกระทบต่อการสูญเสียน้ำหนักขณะละลายอาหารแช่แข็ง

2.2 จุลินทรีย์กับการละลาย

จเร วงษ์ผึ้ง และคณะ (2555) ในระหว่างการละลายอาหารมีแนวโน้มที่จะเกิดการเสื่อมเสีย อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ ฉะนั้นอาจกล่าวได้ว่า กระบวนการละลายเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดความเสียหายได้มากกว่ากระบวนการแช่แข็ง ดังนั้นการละลายที่ใช้เวลานานจะทำให้อาหารที่มีคุณภาพดีกว่าการใช้เวลานาน การละลายจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่มีผลเสีย คือ

2.2.1 การเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ที่ใหญ่ขึ้น (Recrystallization) ซึ่งสามารถทำลายเนื้อเยื่อโครงสร้างและเนื้อเยื่อสัมผัสของอาหาร

2.2.2 การเกิดปฏิกิริยาเคมีในอัตราที่สูงอย่างรวดเร็ว มีผลเสียต่อสี กลิ่น รสและคุณภาพทางอาหาร

2.2.3 มีผลให้เกิดการปรับตัวและเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิด โดยเฉพาะหากเวลาในการละลายนั้นนาน อย่างไรก็ตามในเรื่องของการอยู่รอดของจุลินทรีย์นี้เกิดขึ้นกับปัจจัยหลายประการ คือ ชนิดของจุลินทรีย์ ความเร็วและอุณหภูมิในการแช่แข็ง องค์ประกอบของอาหารที่อาจปกป้องการทำลายเซลล์จุลินทรีย์โดยผลึกน้ำแข็งและความเร็ว อุณหภูมิในการละลายน้ำแข็ง ดังนั้น ในรายงานทางวิชาการจึงพบว่าสิ่งที่ทำให้อาหารละลายอย่างช้าๆ ทำให้จุลินทรีย์บางชนิดเกิดขึ้นได้

อัตราการละลายอาหารแช่แข็งช้าหรือเร็วมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยการละลายอาหารแช่แข็งอย่างรวดเร็วจะเป็นการควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเจริญของเชื้อก่อโรค แต่ถ้าอาหารถูกละลายอย่างช้าๆ อุณหภูมิบนผิวหน้าของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้จุลินทรีย์เจริญได้ แม้ว่าบริเวณภายในของอาหารจะยังคงเป็นน้ำแข็งอยู่ ดังนั้นการทำให้อาหารแช่แข็งละลายอย่างรวดเร็วเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียน้อยกว่าการทำให้อาหารละลายอย่างช้าๆ

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

2.3.1 สมมติฐานทางสถิติ

เป็นข้อสมมติเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์หนึ่งตัวหรือมากกว่า ของหนึ่งประชากรหรือหลายประชากร ซึ่งข้อสมมติดังกล่าวอาจเป็นจริงหรือไม่ก็ได้ สมมติฐานที่จะทดสอบ จะเรียกว่าสมมติฐานเพื่อการทดสอบหรือสมมติฐานหลัก (null hypothesis) และแทนด้วย H_0 ส่วนสมมติฐานที่แย้งกับสมมติฐานหลัก เรียกว่าสมมติฐานแย้งหรือสมมติฐานรอง (alternative hypothesis) แทนด้วย H_1

2.3.2 การทดสอบสมมติฐาน

เป็นกระบวนการที่มีระบบและมีกฎเกณฑ์สำหรับการตัดสินใจว่า จะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่ตั้งขึ้น เพื่อการสรุปอ้างอิงค่าสถิติไปสู่พารามิเตอร์

2.3.3 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน

2.3.3.1 ตั้งสมมติฐานทางสถิติ

2.3.3.2 เลือกสถิติที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบสมมติฐาน

2.3.3.3 กำหนดระดับนัยสำคัญหรือระดับความคลาดเคลื่อน และขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

2.3.3.4 กำหนดเขตวิกฤต ในการปฏิเสธสมมติฐาน โดยอาศัยการแจกแจงของตัวอย่างของสถิติที่ใช้ทดสอบ

2.3.3.5 คำนวณค่าสถิติ

2.3.3.6 ทำการตัดสินใจ และสรุปผล

2.3.3 ระดับนัยสำคัญ

ระดับนัยสำคัญ (Level of significance) หมายถึง โอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนในการสรุปผลตามผลการทดสอบสมมติฐาน ซึ่งจะสะท้อนถึงความเชื่อมั่นในการสรุปตามผลการทดลอง หรือเป็นการสรุปว่า ข้อสรุปนั้นเชื่อถือได้มากน้อยเพียงใด ระดับนัยสำคัญทางสถิติ จะกำหนดไว้ไม่เกิน 3 ระดับ คือ .05, .01 และ .001 ซึ่งระดับนัยสำคัญที่ .05 หมายถึง โอกาสที่ไม่เป็นไปตามข้อสรุปมีเพียง .05 ใน 1.00 หรือ 5 ใน 100 ส่วน คือคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ เชื่อถือได้ไม่ต่ำกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ระดับนัยสำคัญที่ .01 และ .001 ก็จะมีเชื่อมั่นได้ 99 เปอร์เซ็นต์ และ 99.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ในการวิจัยทุกประเภท ย่อมต้องการผลที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำสุด และมีความเชื่อมั่นสูงสุดเสมอ ในการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ทดลองกับกลุ่มเล็ก ๆ ควรใช้ระดับนัยสำคัญเป็น .01 หรือ .001 ส่วนในการวิจัยเชิงสำรวจ (Field Studies and Surveys) นิยมใช้เป็นระดับนัยสำคัญที่ .05 (Kohout, 1974)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ำฝน ไชยลังกา (2555) ได้ศึกษางานวิจัยเรื่องผลกระทบต่อวิธีการละลายต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเนื้อไก่แช่เยือกแข็ง ซึ่งงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาอิทธิพลของวิธีการละลายเนื้อไก่แช่เยือกแข็ง (-22 องศาเซลเซียส) ด้วยวิธีการละลายแบบการพาโดยธรรมชาติ การละลายโดยการแช่ในน้ำอุ่นและการละลายโดยการแช่น้ำอุ่นร่วมกับคลื่นอัลตราโซนิคต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อไก่ในระหว่างการละลาย จากการศึกษาพบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการละลายมีค่าเท่ากับ 0.2095, 1.6984 และ 1.1772 องศาเซลเซียสต่อวินาที ตามลำดับ อัตราการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการละลาย (Drip Loss) และการอยู่รอดของจุลินทรีย์ในระหว่างการละลายมีค่าเท่ากับ 8.62 ± 0.43 , 2.45 ± 0.05 , $1.99 \pm 0.12\%$ และ 4.97, 0.32, 0.02×10^5 cfu/g ตามลำดับ โดยวิธีการละลายด้วยการแช่น้ำอุ่นร่วมกับคลื่นอัลตราโซนิค หรือกระบวนการเทอร์โมอัลตราโซนิคเคชั่นมีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อไก่แช่เยือกแข็งน้อยที่สุด

สมัคร รักแม่ (2558) ได้ศึกษางานวิจัยเรื่อง การศึกษาเพื่อลดระยะเวลาการละลายแบบจุ่มของปลาทูน่าแช่แข็ง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาแนวทางในการลดระยะเวลาการละลายแบบจุ่มของปลาทูน่าแช่แข็งพันธุ์ทองแถบ (*Katsuwonus pelamis*) เริ่มจากการศึกษาปัญหาในกระบวนการละลายในถังแบบกะ พบว่าการกระจายตัวอุณหภูมิและความเร็วของน้ำภายในถังมีความแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลกระทบต่อเวลาในการละลายและคุณภาพของปลาทูน่าหลังผ่านกระบวนการละลาย จากนั้นจึงได้ออกแบบถังละลายใหม่ ด้วยการเพิ่มอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นแผงปล่อยน้ำจำนวน 3 แผง โดยแต่ละแผงประกอบด้วยท่อ 3 ท่อรวมทั้งสิ้น 9 ท่อ แต่ละท่อมีการเจาะรูขนาด 2 มิลลิเมตร จำนวน 5 รู เพื่อเพิ่มความเร็วของน้ำในถังละลายและลดปัญหาการกระจายอุณหภูมิที่ไม่เสมอในถังละลายแบบปัจจุบัน หลังจากการออกแบบถังละลายแบบใหม่ จึงทำการทดลองละลายปลาทูน่าขนาด 1.8-2.0 กิโลกรัม โดยใช้น้ำอุณหภูมิ 18 ± 2 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อวินาที เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของถังละลายใหม่ พบว่าถังที่ออกแบบมีการกระจายอุณหภูมิที่ดีกว่า ลดระยะเวลาการละลายได้สูงสุด 18.24 เปอร์เซ็นต์

จเร วงษ์ผึ้ง และคณะ (2555) รายงานว่า จากการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองเพื่อละลายปลาทูน่า ผลการคำนวณด้วยแบบจำลองเพื่อหาเวลาที่ใช้ในการละลายปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบด้วยน้ำที่มีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่าง 6-24 วัตต์ต่อตารางเมตร และอุณหภูมิภายในตัวปลาระหว่าง -21 ถึง -3 องศาเซลเซียสโดยกำหนดให้ อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการละลาย 15 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงขึ้น จะใช้เวลาในการละลายปลาทูน่าลดลงโดยปลาที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นจาก 2.5 เป็น 3.5 และ 4.5 กิโลกรัม จะใช้เวลามากขึ้นตามลำดับ เมื่อเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน เวลาที่ใช้ในการละลายปลาทูน่าทั้งน้ำหนัก 2.5 กิโลกรัม และ 3.5 กิโลกรัม จะลดลงและยังสังเกตได้อีกว่า ที่อุณหภูมิเริ่มต้นภายในต่ำกว่า -6 องศาเซลเซียสจะมีผลต่อ

เวลาที่ใช้ละลายน้อยมากเนื่องจากน้ำในตัวปลา มีสถานะเป็นของแข็ง ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่าสูงมาก ซึ่งจะส่งผลให้การส่งถ่ายความร้อนภายในตัวปลาทำได้ดี จำทำให้การละลายปลาทำได้อย่างรวดเร็วและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลงอย่างมากเมื่อค่าอุณหภูมิภายในตัวปลาเพิ่มสูงขึ้นจนสูงกว่า -2 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิของจุดเยือกแข็งปลาทูน่า ส่งผลให้ความสามารถในการส่งผ่านความร้อนลดลง จึงทำให้การละลายช้าลง แต่ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนหากเพิ่ม จะทำให้ประหยัดเวลาในการละลายได้อย่างมาก

ปวันสา บุญภูมิพัฒน์ และคณะ (2557) ได้ศึกษางานวิจัยเรื่อง ผลของการละลายปลานิลแช่แข็ง ด้วยวิธีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกต่อคุณลักษณะของเนื้อปลานิลและระยะเวลาการละลาย ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการละลายปลานิลแช่แข็งด้วยน้ำ เป็นวิธีการดั้งเดิมที่ใช้ระยะเวลาและปริมาณน้ำมาก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการประยุกต์ใช้วิธีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก การทดลองจะประกอบด้วยการวัดค่าการนำไฟฟ้าของเนื้อปลานิลแช่แข็ง การทดลองละลายเนื้อปลานิลแช่แข็งโดยวิธีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกโดยใช้ความต่างศักย์ที่ 40, 50, 60 และ 70 โวลต์ และวิธีการละลายด้วยน้ำแบบดั้งเดิม หลังจากนั้นเปรียบเทียบคุณภาพของเนื้อปลานิลระหว่างกระบวนการละลายอยู่ในช่วงระหว่าง 0.409-0.668 s/m ที่อุณหภูมิระหว่าง -18 ถึง 30 องศาเซลเซียส การละลายน้ำแข็งโดยใช้ความต่างศักย์ที่ 40 โวลต์ ทำให้ตัวอย่างปลานิลระหว่างการละลายมีอุณหภูมิสม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีและมีสีที่ใกล้เคียงกับวัตถุดิบปลานิลเริ่มต้น นอกจากนี้ยังช่วยลดระยะเวลาและน้ำในการละลายปลานิลได้มาก

อุมาพร อุประ และคณะ (2554) ได้ศึกษางานวิจัยเรื่อง วิธีการละลายแบบรวดเร็วด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ ซึ่งมีการรายงานไว้ว่า การละลายอาหารแช่เยือกแข็งเป็นขั้นตอนในการเตรียมที่สำคัญอย่างยิ่งในการแปรรูปอาหาร ปัจจุบันวิธีการละลายที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้แก่ การปล่อยให้เกิดการละลายที่อุณหภูมิห้องและการใช้แช่ในบ่อน้ำเพื่อให้เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งทั้ง 2 วิธีมีหลักการที่ง่ายและไม่ซับซ้อน แต่ใช้เวลาในการละลายที่ยาวนาน และส่งผลกระทบต่อ การสูญเสียคุณภาพของอาหารอย่างมาก เกิดการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการละลาย และการเสื่อมเสียของคุณภาพในสีและเนื้อสัมผัส รวมทั้งการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ นอกจากนี้ยังเสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารพิษจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างการละลายที่ยาวนาน จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีสมัยใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการละลายอาหารแช่เยือกแข็ง อาทิเช่น การละลายด้วยคลื่นเสียง (Ultrasonic Thawing) การละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Thawing) การละลายด้วยเทคโนโลยีโอห์มมิก (Ohmic Thawing) และการละลายโดยใช้แรงดันสูง (High Pressure Thawing) เพื่อช่วยลดเวลาในการละลาย และลดการสูญเสียคุณภาพของอาหารแช่เยือกแข็ง โดยเทคโนโลยีสมัยใหม่เหล่านี้ สามารถลดต้นทุนในด้านการทำความสะอาด การดูแลรักษา

พื้นที่ในการละลาย และการบำบัดน้ำทิ้งที่เหลือจากการระบวนการละลาย บทความนี้จึงได้นำเสนอ เทคโนโลยีและนวัตกรรมที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการละลายอาหารแช่เยือกแข็ง เพื่อประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม และเป็นแนวทางการพัฒนาในเชิงพาณิชย์

ฤทธิชัย อัครราชันย์ และคณะ (2557) ได้ศึกษางานวิจัยเรื่อง การพัฒนาและปัจจัยที่มีผลต่อการละลายเนื้อไก่แช่แข็งด้วยวิธีเทอร์โมอะคูสติก ซึ่งงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาวิธีการละลายเนื้อไก่แช่แข็งที่แตกต่างกันจำนวน 3 วิธี ได้แก่ การละลายแบบการพาโดยธรรมชาติ การละลายโดยการแช่น้ำ และการละลายโดยการแช่น้ำร่วมกับคลื่นอะคูสติกหรือวิธีเทอร์โมอะคูสติก ผลการศึกษาพบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยในระหว่างการแช่แข็งเนื้อไก่ ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 10 องศาเซลเซียส ลดลงจนเหลือ -22 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 492 นาที หรือคิดเป็นอัตราการแช่แข็งที่ประมาณ $0.0650^0 \text{ minute}^{-1}$ และเนื้อไก่มีจุดเยือกแข็งประมาณ -0.18 องศาเซลเซียส เวลาที่ไม่เลกุลของน้ำในโครงสร้างเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็งทั้งหมด ใช้เวลาประมาณ 250 นาที อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการละลาย และเวลาในการละลายที่อุณหภูมิเริ่มต้น -22 องศาเซลเซียส จนอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส โดยวิธีเทอร์โมอะคูสติก เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการละลายที่ดีที่สุด มีอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการละลายที่เร็วกว่าวิธีการละลายแบบอื่น และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่อยู่รอดในระหว่างการละลายน้อยที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.1772 องศาเซลเซียส, 7.05 นาที และ $0.02 \times 10^5 \text{ cfug}^{-1}$ ตามลำดับ การหารูปแบบสมการความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อไก่แช่แข็งด้วยวิธีเทอร์โมอะคูสติกด้วยเทคนิคการหาพื้นผิว ผลตอบสนองแบบ 3 มิติ เพื่อหารูปแบบความสัมพันธ์ของอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ อัตราการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการละลาย ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่อยู่รอดในระหว่างการละลาย ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการละลาย ซึ่งเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ และระดับความถี่ ซึ่งจะเป็นรูปแบบสมการที่เหมาะสมและสามารถทำนายได้แม่นยำ

Kissam et al. (1981) ได้ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับ การพัฒนาการละลายด้วยคลื่นอะคูสติก (ความถี่ 1500 เฮิรตซ์และระดับพลังงาน 60 วัตต์) ในการละลายปลาแช่เยือกแข็งรูปทรงสี่เหลี่ยม (ความหนา 91 มิลลิเมตร และมีน้ำหนักประมาณ 12.7 กิโลกรัม) ร่วมกับการแช่น้ำ การละลายด้วยคลื่นอะคูสติกใช้เวลาในการละลายน้อยกว่าวิธีการแช่น้ำเพียงอย่างเดียวถึงร้อยละ 71

Miao et al. (2007) รายงานไว้ว่า วิธีการละลายแบบดั้งเดิมมีอัตราการละลายช้า ใช้เวลานาน และใช้พื้นที่มาก ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักของอาหารระหว่างการละลาย เนื่องจากในระหว่างการละลาย ผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กที่อยู่รอบๆ โครงสร้างเซลล์ในอาหารจะรวมตัวกันเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ซึ่งแทรกอยู่ระหว่างโครงสร้างเซลล์ และคมของผลึกน้ำแข็งจะทำลายผนังโครงสร้างเซลล์ในอาหาร ส่งผลทำให้ของเหลวที่เซลล์เกิดการสูญเสียเกิดการสูญเสีย หรือการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการละลาย (Drip Loss) ดังนั้น การละลายอาหารแช่เยือกแข็งที่อัตราการละลายแบบช้าๆจึง

เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อาหารเกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางกายภาพ ทางเคมีของอาหารแช่เยือกแข็งเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ ยังมีโอกาสเกิดความเสี่ยงของการปนเปื้อนสารพิษเนื่องจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

Miao et al. (2007) ได้ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการละลายเนื้อวัวและเนื้อปลาแช่เยือกแข็งด้วยคลื่นอัลตราโซนิก ที่ระดับความถี่ 500 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งพบว่าการละลายด้วยเทคโนโลยีคลื่นความถี่จะช่วยลดเวลาในการละลาย และลดอัตราการสูญเสียคุณภาพของวัสดุอาหารแช่เยือกแข็งได้เป็นอย่างดี

Miao et al. (2007) ได้ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาและเปรียบเทียบอัตราการละลายของซูริมิเนื้อปลาวาตินขนาด 25 กิโลกรัม และถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -23 ± 1 องศาเซลเซียส ระหว่างวิธีการแช่ในอ่างน้ำอุ่นที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดเวลา กับวิธีโอห์มมิกซึ่งแช่ตัวอย่างในอ่างที่มีสารละลายเกลือ พบว่าอัตราการละลายด้วยวิธีโอห์มมิกที่แช่สารละลายเกลือที่ความเข้มข้น ร้อยละ 2 มีอัตราที่เร็วกว่าวิธีแช่ในน้ำอุ่นถึง 9.83 เท่า และหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการละลายและปริมาณความเข้มข้นของสารละลายเกลือสูง จะมีอัตราการละลายที่รวดเร็วกว่าอ่างที่มีความเข้มข้นและสารละลายเกลือต่ำ

Goullieux and Pain (2005) รายงานไว้ว่า การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก เป็นเทคนิคการให้ความร้อนที่มีศักยภาพในการนำมาใช้ทดแทนวิธีดั้งเดิมในกระบวนการละลายน้ำแข็งสำหรับผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ เนื่องจากเทคนิคดังกล่าวอาศัยหลักการสร้างความร้อนโดยตรงภายในผลิตภัณฑ์ จากการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้กลายเป็นพลังงานความร้อน โดยเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำเสมือนตัวต้านทานความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้ขั้วอิเล็กโทรดเพื่อส่งผ่านผลิตภัณฑ์ จะก่อให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นภายในผลิตภัณฑ์และทำให้ออ้อนภายในผลิตภัณฑ์เกิดการเคลื่อนที่ จึงเกิดความร้อนขึ้น ซึ่งอัตราการเกิดความร้อนของผลิตภัณฑ์จะขึ้นกับการนำไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์และความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ใช้เป็นหลัก ซึ่งหากค่าการนำไฟฟ้าภายในผลิตภัณฑ์มีค่าสูงและมีความสม่ำเสมอในทุกๆจุด ก็จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วและผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสม่ำเสมอในทุกๆจุด

Li and Sun (2002) ได้วิเคราะห์จำแนกเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการละลายอาหารแช่เยือกแข็งแบ่งออกเป็น 4 แบบ ได้แก่ การละลายด้วยคลื่นเสียง (Ultrasonic Thawing) การละลายด้วยไมโครเวฟ (Microwave Thawing) การละลายด้วยเทคโนโลยีโอห์มมิก (Ohmic Thawing) การละลายโดยใช้แรงดันสูง (High Pressure Thawing) โดยเทคโนโลยีสมัยใหม่ช่วยลดข้อเสียของการละลายด้วยวิธีดั้งเดิม และนำมาประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม สามารถลดการใช้พื้นที่และตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน รวมถึงลดการสูญเสียคุณภาพในด้านต่างๆได้เป็นอย่างดี แต่องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการละลายอาหารแช่เยือกแข็งด้วยเทคโนโลยีดังกล่าวยังมีจำนวนน้อย

Li and Sun (2002) รายงานไว้ว่า การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก หากเปรียบเทียบกับวิธีการดั้งเดิมในกระบวนการละลายน้ำแข็ง ซึ่งเป็นการแช่น้ำก็มีความเป็นไปได้ว่าจะสามารถลดระยะเวลาใน

การละลายน้ำแข็งลงได้ อีกทั้งระหว่างการละลายผลิตภัณฑ์คาดว่าจะมีอุณหภูมิที่สม่ำเสมอมากกว่า เนื่องจากวิธีการตั้งเดิมอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนแบบการพาและการนำความร้อนซึ่งจะมีข้อจำกัดมาก เนื่องจากผลิตภัณฑ์อาหารมักมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำ นั่นคือมีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อน จึงทำให้อุณหภูมิใจกลางของผลิตภัณฑ์อาหารเปลี่ยนแปลงช้า ในขณะที่อุณหภูมิบริเวณพื้นผิวสูงขึ้นไปมากแล้ว นอกจากนี้วิธีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกคาดว่าจะสามารถลดปริมาณการใช้น้ำและค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียได้ อีกทั้งยังช่วยรักษาคุณค่าทางอาหารและคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย

Li and Sun (2002) ได้เปรียบเทียบการละลายของน้ำแข็งในอาหารด้วยวิธีการละลายด้วยคลื่นเสียงและวิธีแช่ในน้ำ ซึ่งการละลายของอาหารแช่เยือกแข็งเทียบกับการละลายโดยกลไกการถ่ายเทความร้อนแบบธรรมชาติ พบว่า การประยุกต์คลื่นเสียงมาใช้ในการละลายอาหารแช่เยือกแข็ง จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการละลาย เนื่องจากคลื่นเสียงจะช่วยกระตุ้นการเปลี่ยนสถานะของผลึกน้ำแข็งภายในอาหารแช่เยือกแข็งได้ดีกว่าการละลายโดยกลไกการถ่ายเทความร้อนแบบทั่วไป โดยคลื่นเสียงจะเร่งการสั่นสะเทือนของผลึกน้ำแข็งให้เกิดการเสียดสีกันและเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวทันที สามารถลดปรากฏการณ์การรวมตัวของผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ หรือการตกผลึกใหม่ (Recrystallization) ซึ่งการเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวจะส่งผลเสียต่อโครงสร้างเซลล์อาหารหรือการสูญเสียน้ำหนักของอาหารระหว่างการแช่เยือกแข็ง

Aider and Halleux (2008) ได้วิจัยเกี่ยวกับการนำคลื่นไมโครเวฟมาละลายน้ำเชื่อมเมเบิ้ลจากกระบวนการผลิตแบบ Cryoconcentration Technology พบว่า การนำคลื่นไมโครเวฟมาช่วยในการละลายสามารถช่วยลดเวลาในการละลาย อย่างไรก็ตาม การละลายอาหารแช่เยือกแข็งด้วยคลื่นไมโครเวฟมีความเหมาะสมกับชิ้นอาหารที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากความสามารถในการแทรกผ่านของคลื่นไมโครเวฟมีความลึกที่จำกัด (Penetration Depth) แต่เนื่องจากการละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟมีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์มากกว่าการละลายด้วยเทคโนโลยีอื่นๆ จึงได้มีการพัฒนาระบบการละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟในระดับอุตสาหกรรม แต่เป็นลักษณะการใช้งานของการละลายอาหารแช่แข็งบางส่วน เช่น การละลายอาหารแช่เยือกแข็งที่ยังไม่เข้าสู่การเปลี่ยนเฟส เช่น การละลายอาหารแช่เยือกแข็งจากอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ลดลงเหลือ -3 องศาเซลเซียส

Ohtusuki (1993) and Yun et al. (1998) ได้ทำการวิจัยโดยการทดลองนำเทคโนโลยีโอห์มมิกฮีตติ้งมาประยุกต์ใช้ในการละลายอาหารแช่เยือกแข็งชนิดต่างๆ เช่น ปลาทูน่า เนื้อวัว เนื้อเป็ด และไข่ พบว่ามีอัตราการละลายที่รวดเร็ว สามารถช่วยลดเวลาในการละลายได้มากถึงร้อยละ 67-75 และลดอัตราการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการละลายได้มากกว่าวิธีการละลายโดยการแช่ในน้ำ ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อสัมผัส สี และลักษณะทางกายภาพด้านต่างๆ เนื่องจากวิธีการเหนี่ยวนำความร้อนในระหว่างการละลายด้วยเทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก จะเกิดขึ้นทั้ง

ภายนอกและภายในโครงสร้างอาหาร ซึ่งจะช่วยกระตุ้นให้ผลึกน้ำแข็งภายในโครงสร้างเซลล์เปลี่ยนสถานะอย่างรวดเร็ว จากปรากฏการณ์ดังกล่าว จึงช่วยลดการเกิดการตกผลึกใหม่ จากการรวมตัวของผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก ซึ่งจะส่งผลต่อการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างกระบวนการละลาย

Bozkurt and Icier (2009) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับ ผลกระทบและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อวุ้นแช่เยือกแข็งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ในระหว่างการละลายด้วยเทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกจากผลการวิจัยพบว่าเนื้อวุ้นมีคุณภาพที่ดี มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการละลายต่ำ และมีการเปลี่ยนแปลงของสีเพียงเล็กน้อย การพัฒนาเทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก จึงเป็นวิธีการละลายที่มีประสิทธิภาพสูงและได้รับความสนใจอย่างมาก

Makita (1992) and Zhao et al. (1998) ได้วิจัยการละลายด้วยเทคโนโลยีแรงดันสูง สามารถช่วยให้ผลึกน้ำแข็งในอาหารเกิดการเปลี่ยนเฟสจากของแข็งเป็นของเหลวได้อย่างทั่วถึง สามารถช่วยลดเวลาในการละลายโดยใช้เวลาในการละลายเนื้อวุ้นแช่เยือกแข็งเพียง 1 ใน 3 ของวิธีการละลายแบบดั้งเดิม และพบว่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักของอาหารแช่เยือกแข็งในระหว่างการละลายด้วยเทคโนโลยีแรงดันสูงมีค่าเพียงเล็กน้อย และไม่มี ความแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับเนื้อวุ้นสดที่ระดับความชื้นร้อยละ 95 นอกจากนี้ยังพบว่า การละลายด้วยเทคโนโลยีแรงดันสูง สามารถลดเวลาในการละลาย และรักษาโครงสร้างเซลล์ของผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี

Tatsukiyo (1990) ได้ทำการวิจัยการละลายเนื้อวุ้นและปลาทูน่าแช่เยือกแข็งด้วยการแช่น้ำและการให้ความร้อนด้วยวิธีการใช้ไฟฟ้า ซึ่งพบว่าสามารถช่วยลดเวลาและประหยัดพลังงานในกระบวนการละลายได้มากกว่าการแช่น้ำแบบดั้งเดิม นอกจากนี้ยังช่วยลดอัตราการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อวุ้นและปลาทูน่าแช่เยือกแข็งที่เกิดขึ้นในระหว่างการละลาย แนวความคิดดังกล่าวได้รับการสนใจและถูกนำไปออกแบบเพื่อสร้างระบบการละลายอาหารแช่เยือกแข็งด้วยการให้ความร้อนด้วยวิธีการใช้ไฟฟ้า แต่อย่างไรก็ตาม ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำแข็งมีค่าต่ำมาก กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลเข้าสู่ น้ำแข็งได้ ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าของอาหารแช่เยือกแข็งซึ่งน้ำในองค์ประกอบเป็นน้ำแข็ง มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ และกระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่อาหารแช่เยือกแข็งได้เพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเวลาผ่านไปเพียงเล็กน้อย น้ำแข็งที่ชั้นผิวนอกของอาหารแช่เยือกแข็ง เริ่มเกิดการละลายและเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว กระแสไฟฟ้าสามารถไหลเข้าสู่อาหารแช่เยือกแข็งได้มากขึ้น อัตราการเกิดความร้อนและการละลายจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และน้ำแข็งที่ละลายเป็นของเหลวที่ชั้นผิวนอกจะเป็นตัวกลางในการนำความร้อนเข้าสู่ใจกลางและจุดที่ร้อนช้าที่สุดของอาหารแช่เยือกแข็ง ดังนั้น เมื่อน้ำแข็งในองค์ประกอบของอาหารแช่เยือกแข็งเริ่มเกิดการละลาย ค่าการนำไฟฟ้าของอาหารแช่เยือกแข็งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลเข้าสู่อาหารได้มากขึ้น อัตราการเกิดความร้อนสูงขึ้นอย่างมาก และการละลายจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การละลายอาหารแช่เยือกแข็งด้วยวิธีการใช้ไฟฟ้า จึงสามารถใช้แทนระบบการละลายด้วยวิธีการแช่ในน้ำ

สามารถช่วยประหยัดเวลา และลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการละลายของระบบเดิม และช่วยลดปรากฏการณ์การรวมตัวผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็กเป็นผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งผลของการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ จะไปทำลายโครงสร้างผนังของเนื้อเยื่อเซลล์ในอาหารเกิดการฉีกขาดของเหลวต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยสารอาหารที่สำคัญภายในโครงสร้างเซลล์จะไหลซึมออกมา ส่งผลกระทบต่อการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการละลายอาหารแช่เยือกแข็ง ซึ่งเป็นผลเสียต่อ สี รส และการสูญเสียสารอาหาร

Roberts (1998) ได้ทำการวิจัย ออกแบบเครื่องละลายด้วยวิธีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกซ์ใช้ในการละลายปลาทะเลแช่เยือกแข็ง เพื่อใช้งานในระดับอุตสาหกรรม พบว่าสามารถใช้แทนวิธีการละลายโดยการแช่ในน้ำ วิธีดังกล่าวใช้พื้นที่และน้ำปริมาณมากและมีต้นทุนการดำเนินการที่สูงมาก ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนของค่าน้ำที่ใช้ในการละลาย และต้นทุนการบำบัดน้ำทิ้งหลังจากการละลายด้วยวิธีการแช่น้ำจะมีอัตราการเน่าเสียที่สูงมาก เนื่องจากน้ำที่ใช้แช่ในการละลายมีการปนเปื้อนของโปรตีนจากปลา เช่น เลือดหรือเมือกปลาจำนวนมาก โดยเครื่องละลายด้วยวิธีโอห์มมิกซ์สามารถช่วยลดต้นทุนได้มากถึงร้อยละ 48 หรือคิดเป็น 95,000 เหรียญสหรัฐต่อปี และลดปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการละลายได้มากถึง 12.6 พันล้านลิตรต่อปี

จากงานวิจัยพบว่า มีข้อจำกัดของการละลายด้วยเทคโนโลยีแบบต่างๆ ดังตาราง 2.2

ตาราง 2.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัดของการละลายด้วยเทคโนโลยีแบบต่างๆ

ชนิดของการละลาย	ข้อได้เปรียบ	ข้อจำกัด
การละลายด้วยวิธีแช่ในปอน้ำ	- เป็นวิธีที่ง่ายต่อการควบคุมกระบวนการ	- ใช้เวลาในการละลายนาน เสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารพิษของเชื้อจุลินทรีย์ - มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสูง - ใช้พื้นที่ในการละลายมาก และมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำทิ้งสูง
การละลายด้วยคลื่นเสียง	- มีกลไกการทำงานที่ง่ายและทำงานร่วมกับเทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบต่างๆ ได้ - มีอัตราการละลายที่เร็วลดการสูญเสียคุณภาพในระหว่างการละลายได้ดี	- มีอัตราการละลายต่ำเมื่อเทียบกับนวัตกรรมชนิดอื่น จึงมีผลกระทบในด้านของคุณภาพและยังต้องใช้น้ำในการแลกเปลี่ยนความร้อนจึงมีค่าใช้จ่ายที่สูง

ตาราง 2.2 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัดของการละลายด้วยเทคโนโลยีแบบต่างๆ(ต่อ)

ชนิดของการละลาย	ข้อได้เปรียบ	ข้อจำกัด
การละลายด้วยไมโครเวฟ	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถประยุกต์ใช้ในการละลาย - อาหารแช่เยือกแข็งได้ทุกประเภท โดยไม่ต้องสัมผัสกับเนื้ออาหาร - ลดการสูญเสียคุณภาพในระหว่างการละลายได้ดี 	<ul style="list-style-type: none"> - มีความยุ่งยากต่อการควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการละลาย - กระจายความร้อนได้ไม่สม่ำเสมอ รวมทั้งเหมาะสำหรับอาหารที่มีความหนามาก
การละลายด้วยโอห์มมิก	<ul style="list-style-type: none"> - มีอัตราการละลายที่เร็ว และสิ้นสุด - ใช้พื้นที่ในการละลายน้อยและลดการสูญเสียคุณภาพในระหว่างการละลายได้ดี 	<ul style="list-style-type: none"> - มีข้อจำกัดของชนิดอาหารที่เหมาะสม เหมาะกับอาหารที่มีค่านำไฟฟ้าสูง และต้องสัมผัสกับเนื้ออาหารโดยตรง จึงไม่เหมาะกับการละลายอาหารที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์
การละลายด้วยความดันสูง	<ul style="list-style-type: none"> - มีอัตราการละลายที่เร็วและประยุกต์ใช้กับอาหารได้ทุกประเภท โดยไม่ต้องสัมผัสกับเนื้ออาหารโดยตรง - ลดการสูญเสียคุณภาพในระหว่างการละลายได้ดีมาก 	<ul style="list-style-type: none"> - มีกระบวนการควบคุมการละลายที่ซับซ้อนและใช้พลังงานสูงจากการสร้างสภาวะความดันอากาศสูง
การละลายด้วยไฟฟ้า	<ul style="list-style-type: none"> - มีอัตราการละลายที่เร็วและสิ้นสุดเร็ว - ลดการสูญเสียคุณภาพระหว่างการละลายได้ดีมาก - ใช้พื้นที่ในการละลายน้อย - ประยุกต์ใช้กับอาหารได้ทุกประเภท โดยไม่ต้องสัมผัสกับเนื้ออาหารโดยตรง 	<ul style="list-style-type: none"> - ไม่เหมาะกับการละลายอาหารที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์

ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ ได้เลือกใช้วิธีการละลายปลาทูน่าแช่แข็งโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไฟฟ้า เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านทรัพยากร เช่น พื้นที่ และวัตถุดิบปลาทูน่าแช่แข็งไม่ได้อยู่ในบรรจุภัณฑ์ รวมถึงวัตถุดิบที่ใช้ละลายมีปริมาณที่มาก ไม่สามารถสัมผัสกับไฟฟ้าโดยตรงได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

การศึกษาค้นคว้าพัฒนาเทคนิคการละลายปลาทูน่าแช่แข็งด้วยเทคโนโลยีไฟฟ้าสถิต ได้ทำการวิจัยที่ บริษัท โกลเด้นไพร์ซ์แคนนิ่ง จำกัด และได้นำหลักสถิติมาใช้ในการทดลอง เพื่อทดสอบความแตกต่างของข้อมูลจำนวน 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มข้อมูลด้านความแตกต่างของอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลา และบริเวณผิวปลา ปริมาณเนื้อของปลา ปริมาณเลือดปลา ของการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำ และกลุ่มข้อมูลด้านความแตกต่างของอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาและบริเวณผิวปลา ปริมาณเนื้อของปลา ปริมาณเลือดปลา ของการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต โดยมีการทดลองทั้งหมด 8 ชุด ชุดละ 4 การทดลอง ใน 1 ชุดการทดลอง มีปลาปริมาณ 20 ถึง 25 กิโลกรัม รวมทั้งสิ้น 32 การทดลอง ใช้ปลาทูน่าแช่แข็งประมาณ 100 กิโลกรัม

โดยสถิติที่ใช้คือ ไคสแควร์ คำนวณได้จากสูตร

$$X^2 = \sum^k (O_i - E_i)^2 / E_i$$

เมื่อ O_i คือ ความถี่ที่เกิดขึ้นจริงในกลุ่มที่ i

E_i คือ ความถี่ที่คาดหวังในกลุ่มที่ i

K คือ จำนวนประเภทย่อยของกลุ่ม

เมื่อคำนวณ X^2 จากสูตรคำนวณแล้ว นำค่า X^2 ไปเปรียบเทียบกับค่าวิกฤตของ X^2 จากตารางโดยใช้ $df = (r-1)$ ถ้า X^2 ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าวิกฤต (Critical region) แสดงว่า X^2 มีค่านัยสำคัญทางสถิติ จะปฏิเสธ H_0

และเลือกระดับนัยสำคัญโดยระดับนัยสำคัญที่ .01 หมายถึง โอกาสที่ไม่เป็นไปตามข้อสรุปมีเพียง .01 ใน 1.00 หรือ 1 ใน 100 ส่วน คือคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ เชื่อถือได้ไม่ต่ำกว่า 99 เปอร์เซ็นต์

โดยกำหนดวิธีการดำเนินงานวิจัยไว้ ดังนี้

- 3.1 วัตถุประสงค์
- 3.2 สำนวจกระบวนการละลายปลาทูน่าแช่แข็งแบบแช่ในบ่อพักน้ำ
- 3.3 ทดลองระบบการละลายปลาทูน่าแช่เยือกแข็งด้วยเทคโนโลยีไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง
- 3.4 รวบรวมข้อมูลและสรุปผลการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

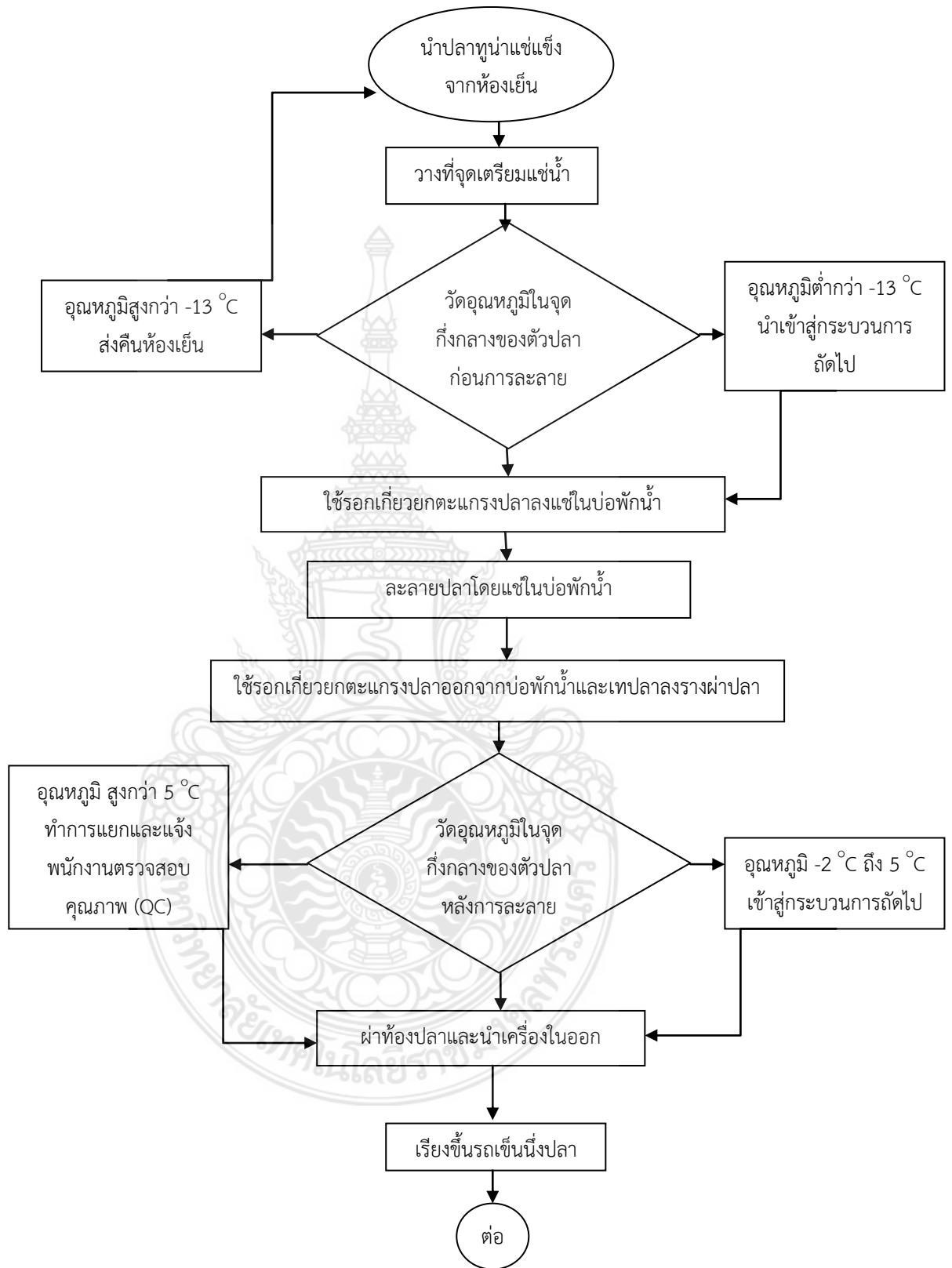
วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ ปลาทูน่าสายพันธุ์ทองแถบ ที่มีขนาดน้ำหนักในช่วง 5-7 กิโลกรัม โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่จุดกึ่งกลางของตัวปลาไม่มากกว่า -13 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพ 3.1



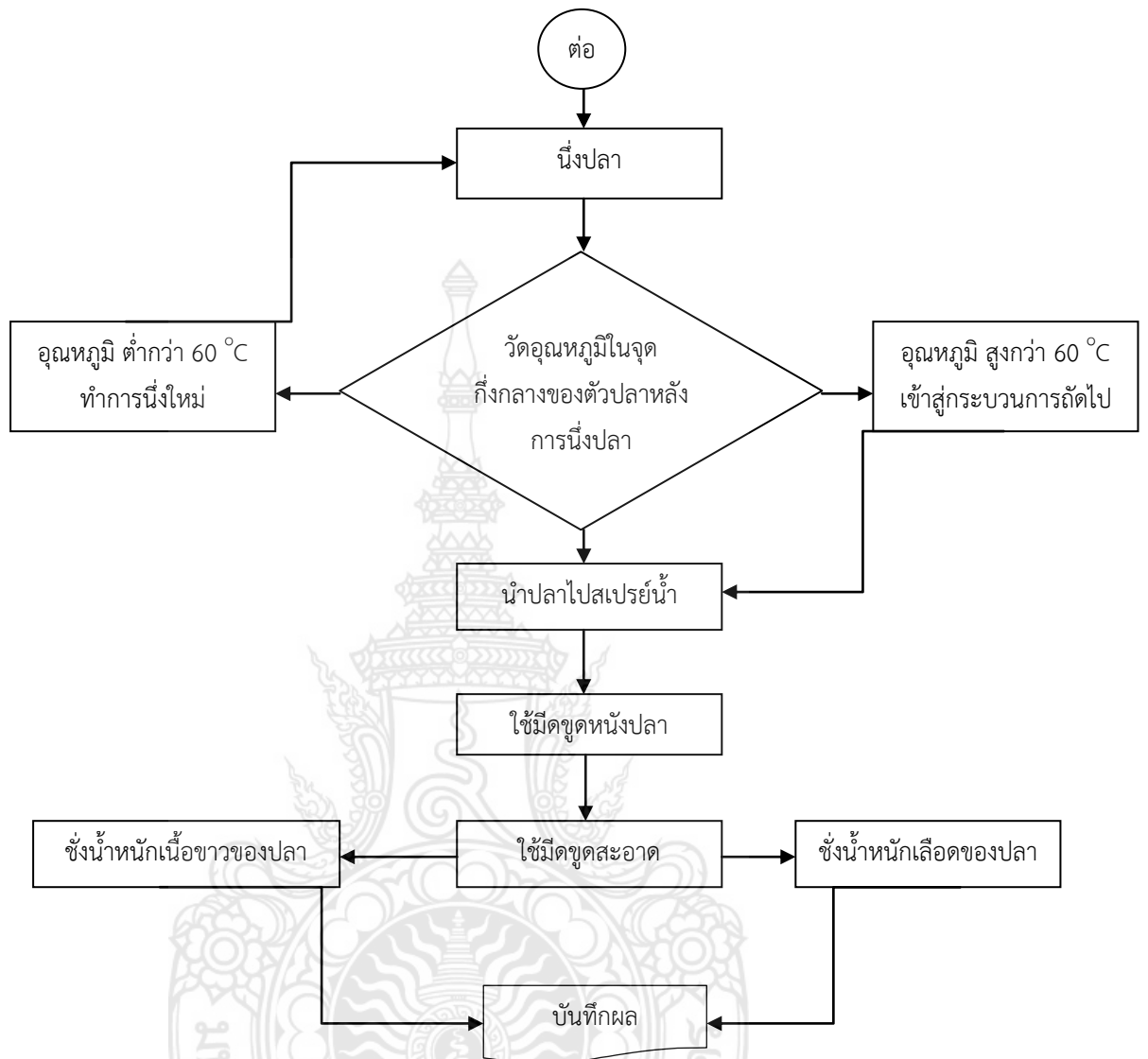
ภาพ 3.1 ลักษณะของปลาทูน่าสายพันธุ์ทองแถบขนาด 5-7 กิโลกรัม

3.2 สำรวจกระบวนการละลายปลาทูน่าแช่แข็งแบบแช่ในบ่อพักน้ำ

ศึกษากระบวนการละลายปลาทูน่าแช่แข็งในปัจจุบันของโรงงานอุตสาหกรรมที่ทำการศึกษา โดยชนิดปลาที่มีการนำมาละลายเพื่อเข้าสู่สายการผลิตคือ ปลาทูน่าสายพันธุ์ทองแถบ ลักษณะการละลายปัจจุบัน คือ นำปลาทูน่าแช่แข็งจากคลังห้องเย็น มาละลายโดยใช้รอกเกี่ยวตะแกรงลงไปแช่ในบ่อพักน้ำ ซึ่งมี 2 บ่อ ละลายได้บ่อละ 8 ตะแกรง จำนวนปลาทูน่าแช่แข็งประมาณ 5-6 ตัน มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำโดยใช้ปั๊มน้ำทุกๆ 1 ชั่วโมง เมื่อทำการละลายเสร็จครบตามเวลาที่ระบุไว้ในวิธีการปฏิบัติงานแล้ว จะนำตะแกรงปลาขึ้นจากบ่อพักน้ำโดยใช้รอกเกี่ยว แล้วเทลงบนรางผ่าปลา เพื่อวัดอุณหภูมิและทำการผ่าท้องนำเครื่องในออกในลำดับถัดไป กระบวนการแสดงดังภาพ 3.2



ภาพ 3.2 กระบวนการละลายปลาทุ่นาแช่แข็งโดยแช่ในบ่อพักน้ำ



ภาพ 3.2 กระบวนการละลายปลาทูน่าแช่แข็งโดยไอน้ำในหม้อหุงข้าว (ต่อ)

การละลายปลาทูน่าโดยวิธีการแช่ในบ่อพักน้ำ เป็นวิธีแบบเดิมที่โรงงานใช้ในการศึกษากระบวนการละลายปลา โดยพบว่าปลาทูน่าแช่แข็งหลังผ่านการละลายมีอุณหภูมิภายในที่จุดกึ่งกลางลำตัวปลา เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ -1.6 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิที่บริเวณผิวของหนังปลาเฉลี่ยเท่ากับ 11.6 องศาเซลเซียส และยังพบว่าปลาทูน่าหลังผ่านกระบวนการนึ่ง มีลักษณะผิวแห้ง บริเวณผิวหนังถลอก และเนื้อปลาเกิดรอยไหม้บางส่วนดังแสดงในภาพ 3.3



ผิวไหม้
แห้ง
หนังถลอก

ภาพ 3.3 ลักษณะของปลาทูน่าหลังผ่านการนึ่งของการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำ

หลังจากผ่านการนึ่งแล้ว จะนำปลาทูน่าไปทำเย็นเพื่อเข้าสู่กระบวนการชุดหนังในลำดับถัดไป โดยพบว่า ปลาทูน่าหลังการชุดหนัง เนื้อปลามีลักษณะแตก และมีเนื้อบางส่วนติดออกไปกับผิวหนัง ทำให้ปรากฏเป็นร่องเนื้อสีขาวลึก ดังแสดงในภาพ 3.4



เนื้อปลาแตก
ชุดผิวปลา
ออกเยอะ

ภาพ 3.4 ลักษณะปลาทูน่าหลังการชุดหนังของการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำ

นอกจากนี้ ยังพบว่า เพอร์เซ็นต์เนื้อสีขาและเปอร์เซ็นต์ของเลือดปลาทูล่า หลังผ่านการละลายปลาแบบแช่ในบ่อกักน้ำ ในช่วงเดือนสิงหาคม 2559 ถึงเดือนมีนาคม 2560 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 42.39 และร้อยละ 3.70 ตามลำดับ แสดงในตาราง 3.1

ตาราง 3.1 ร้อยละเนื้อสีขาและเปอร์เซ็นต์เลือดของปลาทูล่าที่ผ่านกระบวนการละลายแบบแช่ในบ่อกักน้ำ ในเดือนสิงหาคม 2559 ถึง เดือนมีนาคม 2560

เดือน/ปี	ร้อยละเนื้อสีขา	ร้อยละของเลือดปลาทูล่า
สิงหาคม 2559	41.32	3.49
กันยายน 2556	42.93	3.46
ตุลาคม 2559	42.62	3.03
พฤศจิกายน 2559	43.16	3.37
ธันวาคม 2559	42.18	3.92
มกราคม 2560	42.43	4.03
กุมภาพันธ์ 2560	42.27	4.08
มีนาคม 2560	42.26	4.25
เฉลี่ย	42.39	3.70

3.3 การทดลองกระบวนการละลายปลาทูล่าแช่เยือกแข็งด้วยเทคโนโลยีไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

จากเดิมโรงงานทำการศึกษาการละลายปลาทูล่าแช่แข็งโดยใช้วิธีแช่ในบ่อกักน้ำ พบว่าวิธีการดังกล่าว ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพไม่ดี ดังนั้น จึงเปลี่ยนกระบวนการละลาย เป็นการละลายโดยใช้เทคนิคไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.3.1 ติดตั้งชุดละลายไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วย ชุดควบคุมไฟฟ้าหลักและชุดควบคุมและสร้างสนามไฟฟ้า โดยรายละเอียดอธิบายได้ ดังนี้

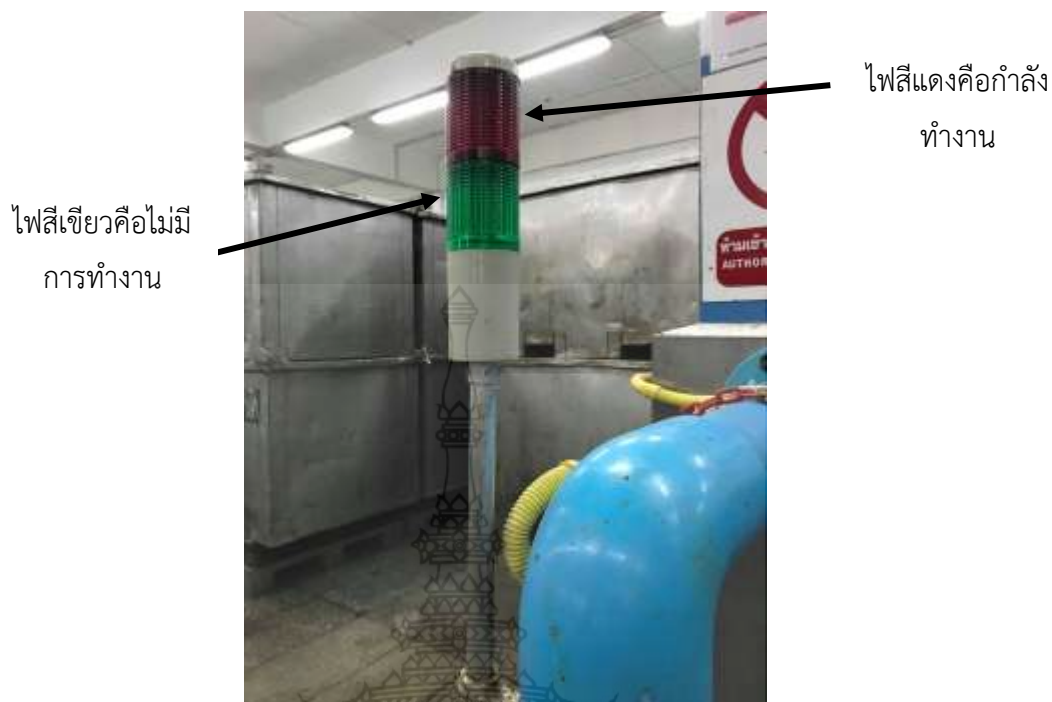
3.3.1.1 ชุดควบคุมไฟฟ้าหลัก

เนื่องจากในการติดตั้ง ได้ออกแบบให้ใน 1 ช่องการละลายปลาจะติดตั้ง ชุดควบคุมและสร้างสนามไฟฟ้า 4 เครื่อง ดังนั้น จะมีชุดควบคุมไฟฟ้าหลักของแต่ละช่องละลายปลา ที่ทำงานอิสระกันของแต่ละช่อง โดยที่ชุดควบคุมหลักของแต่ละช่องจะทำหน้าที่หลักในการจ่ายไฟฟ้าให้ชุดควบคุม และสร้างสนามไฟฟ้าทั้ง 4 เครื่องที่ติดตั้งอยู่ภายในช่อง และเพื่อที่แจ้งเตือนให้กับพนักงานที่อาจจะอยู่ในช่องละลายปลา ได้ทราบว่าจะมีการจ่ายไฟให้กับชุดควบคุมและสร้าง

สนามไฟฟ้า ภายในชุดควบคุมไฟฟ้าหลักจะติดตั้งชุดหน่วงเวลาไว้ โดยจะทำการหน่วงเวลาภายหลัง กดสวิทช์สีเขียวหน้ากล่องควบคุมไฟฟ้าหลักไว้ตามที่กำหนดก่อนที่จะทำการจ่ายไฟ และในช่วงเวลา ของการหน่วงเวลา สัญญาณเสียงจะดัง และจะหยุดลงเมื่อถึงเวลาหน่วงพร้อมกับจ่ายให้กับชุดควบคุม และสร้างสนามไฟฟ้า และไฟ tower light จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีแดง นอกจากนี้ชุดควบคุมหลัก จะทำการตัดวงจรไฟฟ้าที่จ่ายให้ชุดควบคุมและสร้างสนามไฟฟ้าทั้งหมดที่ติดตั้งภายในช่อง หาก เซ็นเซอร์หน้าช่อง ตรวจพบว่าไม่มีวัตถุมาบังแสง infra-red ที่ส่องขวางทางเข้าช่องละลายปลา ขณะมี การจ่ายไฟฟ้าให้กับชุดควบคุมและสร้างสนามไฟฟ้า ถึงแม้ชุดควบคุมและสร้างสนามไฟฟ้าจะไม่ได้ จ่ายสนามไฟฟ้าก็ตาม ซึ่งอาจจะเกิดจาก การเดินผ่านเข้าช่องหรือฝาปิดกล่องเซ็นเซอร์ตกลงมาบัง และเช่นเดียวกันไฟ tower light จะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเขียว ทั้งนี้ไฟฟ้าที่จ่ายมายังชุดหลักของแต่ละ ช่องจะแยกกันคนละวงจร และทุกวงจรจะถูกจ่ายมาจากชุดสำรองไฟฟ้า (UPS) ทำให้เครื่องละลาย สามารถทำงานได้ในสภาวะที่ไฟฟ้ตก กระชาก หรือดับในช่วงขณะ



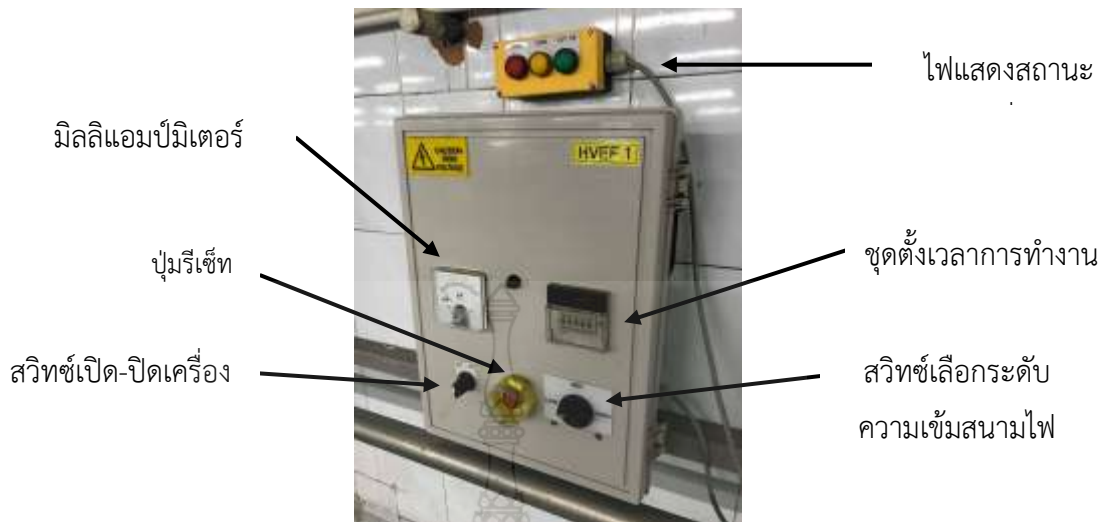
ภาพ 3.5 ชุดควบคุมไฟฟ้าหลัก



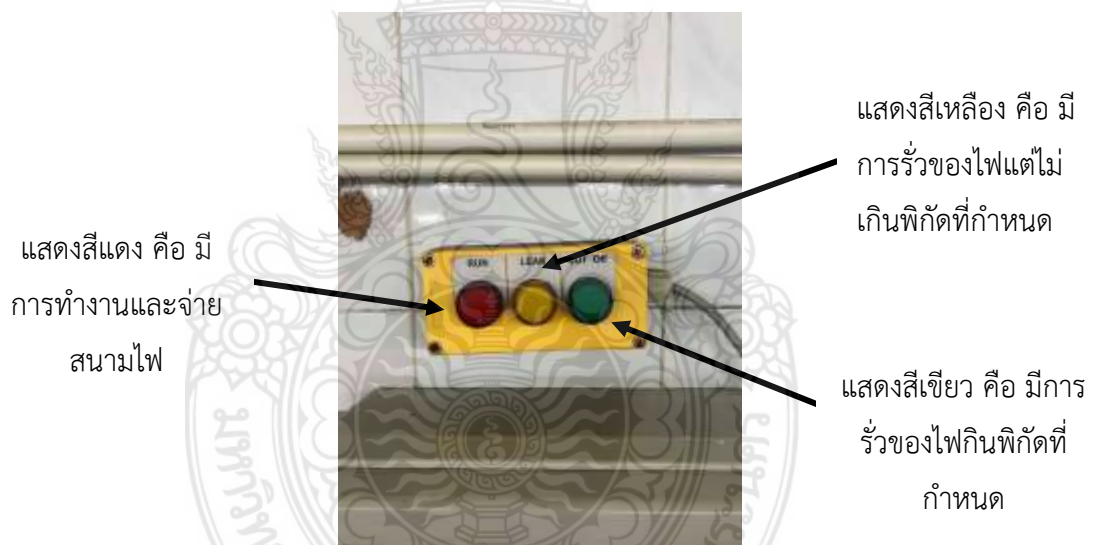
ภาพ 3.6 Tower light

3.3.1.2 ชุดควบคุมและสร้างสนามไฟฟ้า

เป็นอุปกรณ์หลักของเครื่องละลายปลา มีหน้าที่ควบคุมและแสดงสถานะการทำงานของเครื่องละลายปลา ได้แก่ การสั่งให้เริ่มจ่าย และหยุดจ่ายสนามไฟฟ้า การตั้งเวลาการทำงานของเครื่องละลายปลา การกำหนดระดับความเข้มของสนามไฟฟ้า การตรวจสอบสถานะของเครื่องว่าปกติ หรือมีความผิดปกติ เช่น มีการรั่วของไฟฟ้าหรือไม่ การสั่งให้หยุดการทำงานหากมีการรั่วของไฟฟ้าเกินพิกัดที่กำหนด การรีเซ็ตเครื่องภายหลังการแก้ไขข้อบกพร่อง และการแสดงสถานะของเครื่องว่าอยู่ในสถานะทำงาน (มีการจ่ายไฟฟ้า) หรือเสร็จสิ้นการทำงาน ทั้งนี้จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักดังแสดงในภาพ 3.7



ภาพ 3.7 ชุดควบคุม และสร้างสนามไฟฟ้า



ภาพ 3.8 ชุดไฟแสดงสถานะเครื่อง

3.3.1.3 ชุดสายนำสัญญาณและปากคิปลงละลายปลา

เป็นอุปกรณ์สำคัญในการนำไฟฟ้าจากชุดควบคุมและสร้างสนามไฟฟ้าไปยังถังละลายปลาที่ต้องการจะละลาย โดยสายไฟที่ใช้จะต้องเป็นสายคุณภาพสูงเพื่อป้องกันการรั่วไหลของไฟฟ้าในระหว่างทำงาน ดังนั้นจะต้องใช้สายไฟที่มีคุณสมบัติตามที่กำหนด และห้ามทำการต่อสายไฟ และหากพบว่าฉนวนได้รับความเสียหายจะต้องทำการเปลี่ยนสายไฟทั้งเส้น นอกจากนี้ยังมีปากคิปลี่เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอีกชิ้นหนึ่งที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อไฟฟ้าไปยังถังละลายปลา และเนื่องจากชุดควบคุม

และสร้างสนามไฟฟ้าที่ผลิตสามารถละลายปลาได้พร้อมกันมากกว่า 1 ถัง จึงมีความจำเป็นในการที่จะต้องเชื่อมต่อทางไฟฟ้าเข้าหากัน โดยอาศัยสายพ่วงที่มีปากคิบบนอยู่ที่ปลายทั้งสอง และเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดกับสายนำสัญญาณและปากคิบบน จึงแนะนำให้คิบบนกับที่พ่วงสายที่จัดให้ พร้อมทั้งต้องเก็บสายสัญญาณให้เรียบร้อยเมื่อไม่ใช้งาน



ปากคิบบ

ภาพ 3.9 สายนำสัญญาณ และปากคิบบ

3.3.1.4 ชุดรองรับถังละลายปลา

เพื่อป้องกันไม่ให้ไฟฟ้ารั่วลงสู่ดิน จึงจำเป็นที่จะต้องมียุทธรองรับถังละลายปลาซึ่งประกอบด้วย ชิ้นส่วนหลักที่สำคัญดังนี้

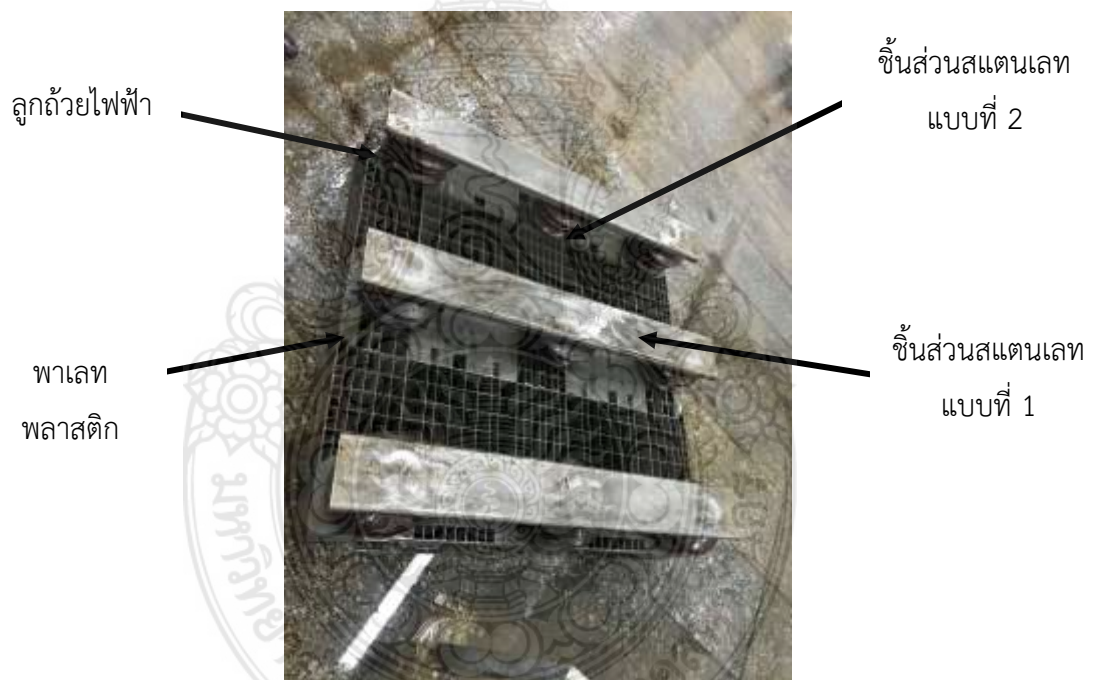
- 1) พาเลทพลาสติก ทำหน้าที่เป็นฐานรองรับชิ้นส่วนอื่นๆ ให้อยู่ในตำแหน่งที่กำหนด
- 2) ลูกถ้วยไฟฟ้า ทำหน้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้าป้องกันไม่ให้ไฟฟ้าจากถังละลายปลาลัดวงจรลงสู่ดิน ทำมาจากเซรามิคคุณภาพสูง มีผิวมันเพื่อไม่ให้น้ำเกาะ
- 3) ชิ้นส่วนสเตนเลส จะประกอบไปด้วยชิ้นส่วน 2 แบบ แบบแรกมีหน้าที่ในการกำหนดตำแหน่งในการวางของลูกถ้วย และป้องกันไม่ให้ลูกถ้วยลื่นตกลงจากพาเลท แบบที่สองมีหน้าที่รองรับถังละลายปลา และกระจายน้ำหนักของถังละลายปลาที่วางอยู่ด้านบนให้ลงบนลูกถ้วยที่รองรับอยู่ด้านล่างให้สมดุลกัน



ถึงละลายปลา
สแตนเลส

ชุดพลาเลข
รองรับถึง

ภาพ 3.10 ชุดรองรับถึงละลายปลา



ลูกถ้วยไฟฟ้า

ชิ้นส่วนสแตนเลส
แบบที่ 2

พลาเลข
พลาสติก

ชิ้นส่วนสแตนเลส
แบบที่ 1

ภาพ 3.11 ชุดรองรับถึงละลายปลา

3.3.1.5 ชุดควบคุม และตรวจจัดการเข้ามายังพื้นที่ละลายปลา

เพื่อให้มีระบบความปลอดภัยที่สมบูรณ์ จึงได้ออกแบบชุดควบคุม และตรวจจัดการเข้ามายังพื้นที่ละลายปลา ถึงแม้ในตัวเครื่องละลายปลาจะมีวงจรที่หยุดการทำงานเมื่อมีกระแสไฟฟ้าสูงกว่าพิกัดที่ตั้งไว้อยู่แล้ว โดยชุดควบคุมนี้ จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ เซ็นเซอร์แสง ทำหน้าที่ตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่ผ่านแนวแสง ติดตั้งอยู่ในกล่องด้านหน้าทางเข้าช่องละลายปลา



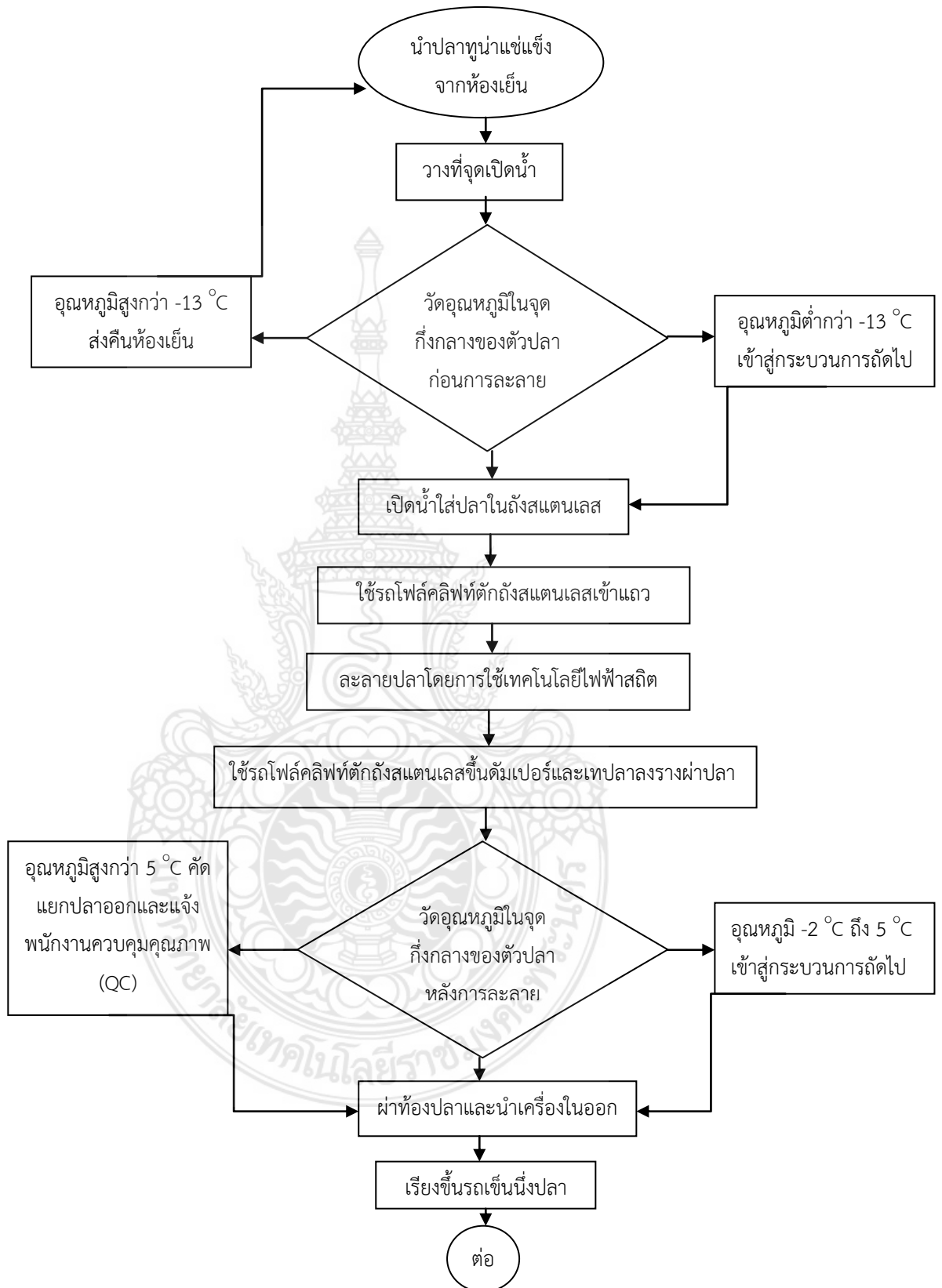
Tower light

เซ็นเซอร์และ
กล่องใส่

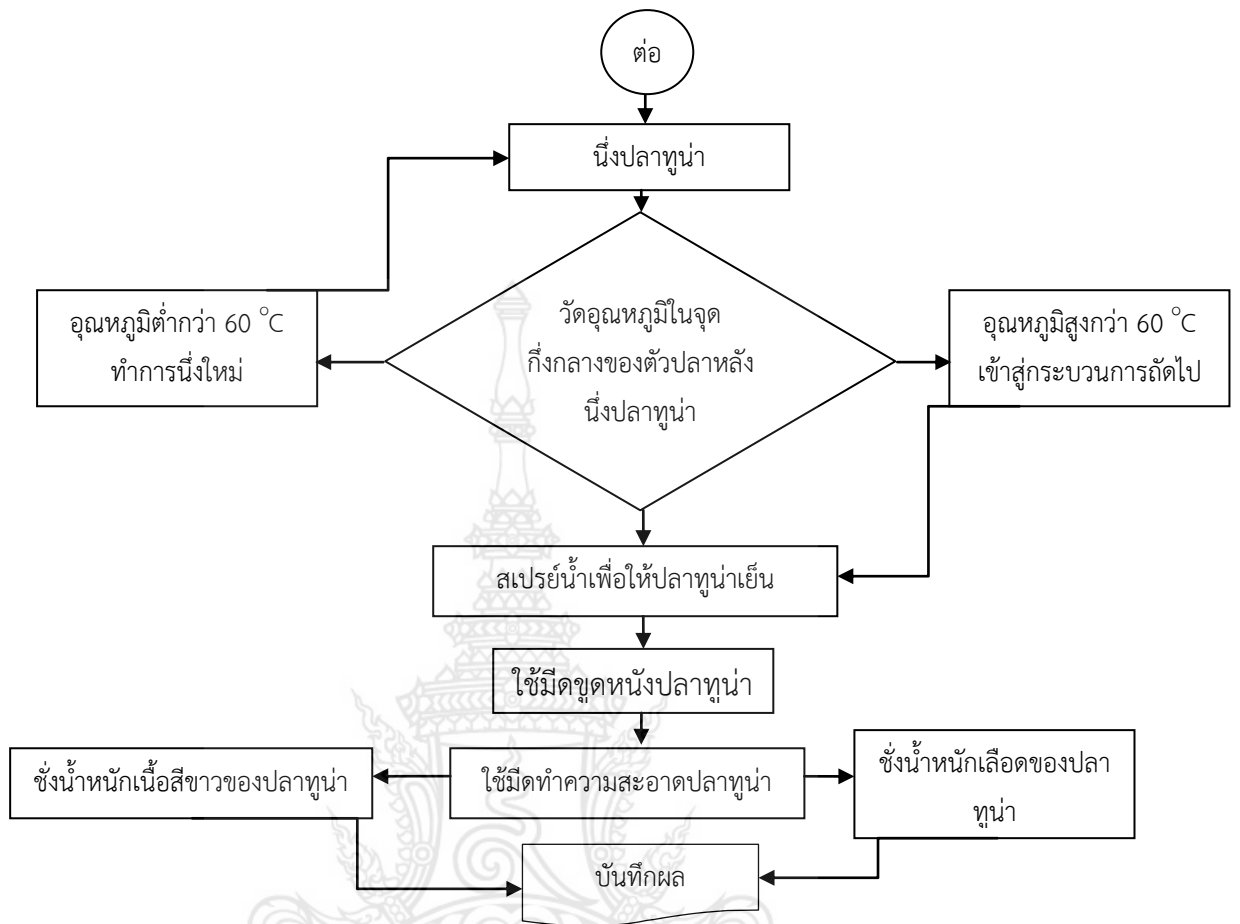
ภาพ 3.12 ชุดควบคุมและตรวจจับการเข้ามายังพื้นที่ละลายปลา

3.3.2 การออกแบบขั้นตอนการทดลอง

การออกแบบขั้นตอนการทดลองกระบวนการละลายปลาทูน่าแช่แข็ง โดยใช้เทคโนโลยีไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง ดังแสดงในภาพ 3.13



ภาพ 3.13 กระบวนการละลายปลาหูน้ําแช่แข็งโดยใช้เทคโนโลยีไฟฟ้าสถิต



ภาพ 3.13 กระบวนการละลายปลาทูน่าแช่แข็งโดยใช้เทคโนโลยีไฟฟ้าสถิต (ต่อ)

จากภาพ 3.13 อธิบายขั้นตอนการทดลองได้ดังนี้

3.3.2.1 นำปลาทูน่าแช่แข็งสายพันธุ์ทองแถบ ที่มีน้ำหนักในช่วง 5-7 กิโลกรัม จากคลังห้องเย็น ปริมาณ 6,487 กิโลกรัม



ภาพ 3.14 ปลาทูน่าแช่แข็งสายพันธุ์ทองแถบ น้ำหนักในช่วง 5-7 กิโลกรัม

3.3.2.2 ใช้รฟโพล์คลิฟท์ตักถังสแตนเลสที่ใส่ปลาวางบริเวณจุดเปิดน้ำ ดังภาพ 3.15 เพื่อเตรียมรวัดอุณหภูมิและเปิดน้ำ เพื่อทำการละลายปลาทูน่าแช่แข็ง



ภาพ 3.15 บริเวณจุดเปิดน้ำเพื่อทำการละลายปลา

3.3.2.3 วัดอุณหภูมิภายในที่บริเวณจุดกึ่งกลางตัวปลาดังภาพ 3.16 โดยใช้หลักการสุ่มของทาโร ยามาเน่ โดยจากปริมาณปลาทูน่าแช่แข็งทั้งหมด 6,487 กิโลกรัม จะสุ่มวัดอุณหภูมิทั้งหมด 98 กิโลกรัม เฉลี่ยเท่ากับ 16 ตัว และทำการบันทึกข้อมูล หากพบว่าอุณหภูมิภายในจุดกึ่งกลางตัวปลาสูงกว่า -13 องศาเซลเซียส ให้ส่งคืนคลังห้องเย็นเพื่อแช่แข็งใหม่ ในขณะที่หากพบว่าอุณหภูมิภายในจุดกึ่งกลางตัวปลาดำกว่าหรือเท่ากับ -13 องศาเซลเซียส ให้เข้าสู่กระบวนการถัดไป



ใช้เทอร์โมมิเตอร์
ชนิดดิจิทัลวัด
อุณหภูมิภายใน
จุดกึ่งกลางปลา
ทูน่า

ภาพ 3.16 การวัดอุณหภูมิภายในจุดกึ่งกลางของตัวปลาก่อนทำการละลาย

3.3.2.4 ดำเนินการเปิดน้ำลงในถังเพื่อให้ท่วมตัวปลาดังภาพ 3.17 โดยปลา 1 ถัง น้ำหนักไม่เกิน 800 กิโลกรัม



น้ำท่วมตัวปลา

ภาพ 3.17 เปิดน้ำใส่ถังสแตนเลสให้ท่วมตัวปลา

3.3.2.5 นำรถโฟล์คลิฟต์ตักถังสแตนเลสเข้าแถวละลายปลา ดังภาพ 3.18 โดย 1 พาเลทวางซ้อนกันได้รวมทั้งหมด 1 พาเลท 2 ถัง



ภาพ 3.18 ถังสแตนเลสเข้าสู่แถวรอการละลายปลา

3.3.2.6 การละลายปลาโดยเทคนิคไฟฟ้าสถิต มีขั้นตอนดังนี้

- 1) สายนำสัญญาณ และปากคีบ คีบกับถังละลายปลาและคีบสายพ่วงต่อ และตรวจสอบให้มั่นใจว่าสายนำสัญญาณอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ ไม่ถูกกดทับ
- 2) เมื่อทำการคีบสายนำสัญญาณครบเรียบร้อยแล้ว ให้ออกจากพื้นที่ช่องละลายปลา ทำการคล้องสายโซ่ทางเข้า และยกฝากล่องเซ็นเซอร์ขึ้น
- 3) กดสวิทช์สีเขียวหน้ากล่องควบคุมไฟฟ้าหลัก เพื่อเริ่มจ่ายไฟให้กับชุดควบคุมและสร้างสนามไฟฟ้า จะได้ยินสัญญาณเสียงดัง และจะหยุดลงเมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้ ไฟ Tower light ที่หน้าช่องทางเข้า และทางเดินจะเปลี่ยนเป็นสีแดงและกระพริบ
- 4) ปิดสวิทช์ด้านหน้าของชุดควบคุมและสร้างสนามไฟฟ้าของเครื่องที่ต้องการใช้งานไปที่ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่ต้องการ (HI, MED หรือ LOW)
- 5) กำหนดเวลาการละลาย โดยกำหนดเวลาที่ต้องการจะละลายที่ชุดตั้งเวลาการทำงาน ปิดสวิทช์เปิด - ปิด ไปยังตำแหน่งเปิด (ON) ไฟแสดงสถานะของชุดควบคุมและสร้างสนามไฟฟ้าสีแดงจะติด หากไฟแสดงสถานะสีเหลืองและแดงติดพร้อมกันแสดงว่ามีการรั่วของไฟฟ้าของถังละลายปลา ปิดสวิทช์ด้านหน้าของชุดควบคุม และสร้างสนามไฟฟ้าของเครื่องไปที่ตำแหน่งปิด (OFF) และเข้าไปตรวจสอบถังละลายชุดนั้น หากไฟแสดงสถานะสีเขียวติด แสดงว่ามีการรั่วของไฟฟ้าของถังละลายปลา หรือสายนำสัญญาณชำรุด เสียหาย ให้ปิดสวิทช์ด้านหน้าของชุดควบคุม และสร้างสนามไฟฟ้าของเครื่องไปที่ตำแหน่งปิด (OFF) และเข้าไปตรวจสอบถังละลาย และสายนำสัญญาณชุดนั้น
- 6) นำอุปกรณ์ตรวจสอบแรงดันไฟฟ้ามาตรวจสอบแรงดันที่จ่าย โดยใช้ปลายของอุปกรณ์สัมผัสกับถังละลายปลา และอ่านค่า เมื่อครบเวลาละลาย จะทำการปิดชุดละลายปลาไฟฟ้าโดยมีขั้นตอน ดังนี้
- 7) ปิดสวิทช์เปิด - ปิด ชุดควบคุม ไปยังตำแหน่งเปิด (OFF)
- 8) ฝากล่องเซ็นเซอร์จะต้องถูกปิดลง ไฟ Tower light ที่หน้าช่องทางเข้าทางเดินจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว และกระพริบ
- 9) นำอุปกรณ์ตรวจสอบแรงดันไฟฟ้า มาตรวจสอบแรงดันโดยใช้ปลายของอุปกรณ์สัมผัสกับถังละลายปลา และจะต้องอ่านค่าได้ศูนย์
- 10) ปลดสายนำสัญญาณ และปากคีบที่คีบกับถังละลายปลา หากมีสายพ่วงต่ออยู่ให้ทำการปลดออกด้วย จากนั้นเก็บสายนำสัญญาณ และสายพ่วงไว้ที่พีกสาย และรวบสายให้เรียบร้อย

3.3.2.7 ใช้โพลีคลิฟท์ตัดถังสแตนเลสขึ้นดัมเปอร์ตั้งภาพ 3.19 และเทปลาลงบนราง
ผ่าปลา



ภาพ 3.19 ถังสแตนเลสบนดัมเปอร์

3.3.2.8 วัดอุณหภูมิภายในจุดกึ่งกลางตัวปลาและบริเวณผิวหนังของปลาดังภาพ
3.20 และ 3.21 โดยใช้หลักการสุ่มของทาโร ยามาเน่ จำนวน 16 ตัว จากทั้งหมด อุณหภูมิภายในจุด
กึ่งกลางของตัวปลาต้องอยู่ระหว่าง -2 ถึง 5 องศาเซลเซียส



ภาพ 3.20 วัดอุณหภูมิภายในจุดกึ่งกลางของตัวปลาทูน่าหลังการละลาย

วัดอุณหภูมิที่
บริเวณ
ผิวหนังปลา
ทูน่า



ภาพ 3.21 วัดอุณหภูมิที่บริเวณผิวหนังของปลาทูน่าหลังการละลาย

3.3.2.9 ผ่าท้องนำเครื่องในของปลาทูน่าออก โดยผ่าจากด้านปลายท้องมาจรดครีบก้น และตัดขั้วไส้ออกดังภาพ 3.22

ปลาที่ผ่าท้อง
และนำเครื่องใน
ออก



ภาพ 3.22 การผ่าท้องและนำเครื่องในออก

3.3.2.10 เรียงปลาขึ้นรถเข็นหนึ่งปลา โดยเรียงตะแกรงทุก 6 ตัว 1 รถเข็นจะมีปลาจำนวน 72 ตัว ดังภาพ 3.23



ภาพ 3.23 การเรียงปลาขึ้นรถเข็นนึ่งปลา

3.3.2.11 นึ่งปลาโดยตู้นึ่งปลา ดังภาพ 3.24 นึ่งปลาได้รอบละ 5 คัน



ภาพ 3.24 ตู้สำหรับนึ่งปลา

3.3.2.12 ทำเย็นปลาโดยใช้น้ำจากซุ้มสเปรย์ ดังภาพ 3.25 โดย 1 ซุ้ม ทำเย็นปลาได้ 5 คันรถหนึ่งปลา



ภาพที่ 3.25 ซุ้มสเปรย์สำหรับทำความเย็นปลา

3.3.2.13 ขูดลอกหนังปลา โดยพนักงานดังภาพ 3.26 ขูดโดยใช้มีดมีด้ามจับขนาดเล็กในการขูด ขูดจากส่วหัวลงไปส่วนหาง แกะหัวปลาออก แล้วส่งต่อให้แผนกขูดทำความสะอาดอีกครั้ง



ภาพ 3.26 การขูดหนังปลา

3.2.3.14 ขูดสะอาดปลา โดยพนักงานแผนกขูดสะอาด ดังภาพ 3.27 ขูดโดยใช้มีดมีด้ามจับขนาดเล็กในการขูด แกะก้างออก ขูดแยกส่วนเลือดออกจากส่วนของเนื้อขาวของปลา จากนั้นส่งต่อให้พนักงานเก็บปลา เพื่อรอชั่งน้ำหนักต่อไป



ภาพ 3.27 การขูดทำความสะอาดปลาหน้า

3.3.2.15 ชั่งน้ำหนักและจดบันทึก ดังภาพ 3.28



← เครื่องชั่งปลา
ชนิดดิจิทัล

ภาพ 3.28 ชั่งน้ำหนักปลาและทำการบันทึกข้อมูล

3.4 การรวบรวมข้อมูลและสรุปผลการทดลอง

ข้อมูลที่รวบรวมเพื่อนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลอง มีดังนี้

3.4.1 อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางและบริเวณผิวของปลาทונה

3.4.2 ลักษณะของปลาทונהหลังการละลายน้ำแข็ง

3.4.3 ลักษณะของปลาทונהหลังการนึ่ง

3.4.4 น้ำหนักของเนื้อปลาทונה

3.4.5 น้ำหนักของเลือดปลาทונה



บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาและการพัฒนาเทคนิคการละลายปลาทูน่าแช่แข็งด้วยเทคโนโลยีไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง ได้ทำการวิจัยที่ บริษัท โกลเด้นไพร์ซแคนนิง จำกัด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการปรับปรุงครั้งที่ 1

ปลาทูน่าสายพันธุ์ทองแถบขนาด 5-7 กิโลกรัม 8 ถึง ปริมาณ 6.487 ตัน อุณหภูมิแกนกลางตัวปลาสุ่มวัดก่อนทำการละลาย เฉลี่ยอยู่ที่ -17.2 องศาเซลเซียส ใช้เวลาละลายปลา 5 ชั่วโมง เมื่ออุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาทูน่าเพิ่มขึ้นเป็น -2 ถึง 5 องศาเซลเซียส จึงใช้รถไฟโพล์คลิฟท์ยกถึงปลาขึ้นจากพาเลท และวางถังละลายปลาบนดัมเปอร์ เทปาลางบนราง แล้วสุ่มวัดอุณหภูมิจุดกึ่งกลางของตัวปลาหลังละลาย เฉลี่ยอยู่ที่ -2.0 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิบริเวณผิวของปลาหลังละลายเฉลี่ยอยู่ที่ 1.7 องศาเซลเซียส แสดงรายละเอียดดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 อุณหภูมิที่บริเวณจุดกึ่งกลางของปลาทูน่าก่อนและหลังการละลาย และอุณหภูมิที่บริเวณผิวของปลาทูน่าหลังการละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิต (ปรับปรุงครั้งที่ 1)

อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของปลาทูน่าก่อนละลาย ($^{\circ}\text{C}$)				อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของปลาทูน่าหลังละลาย ($^{\circ}\text{C}$)				อุณหภูมิที่บริเวณผิวของปลาทูน่าหลังละลาย ($^{\circ}\text{C}$)			
-18	-17	-18	-18	-2.0	-2.2	-1.9	-1.8	1.8	1.6	2.0	2.0
-16	-17	-18	-15	-2.2	-2.0	-2.2	-2.2	1.8	1.8	2.0	1.0
-16	-19	-17	-17	-1.8	-1.9	-1.9	-1.8	1.2	2.0	2.0	1.6
-16	-18	-17	-18	-1.9	-2.0	-2.0	-2.0	1.8	1.8	1.6	1.8
ค่าเฉลี่ย = -17.2				ค่าเฉลี่ย = -2.0				ค่าเฉลี่ย = 1.7			

หลังจากนำเครื่องในออกจากปลาและล้างทำความสะอาดเสร็จ จากนั้นจึงนำปลาดังกล่าวมานึ่งประมาณ 2 ชั่วโมง จนกระทั่งอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของปลาเพิ่มขึ้นถึง 60 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำปลาออกจากตู้นึ่ง โดยพบว่า ปลาทูน่าหลังผ่านกระบวนการนึ่งจะมีลักษณะผิวไม่แห้งจนเกินไป มีน้ำ

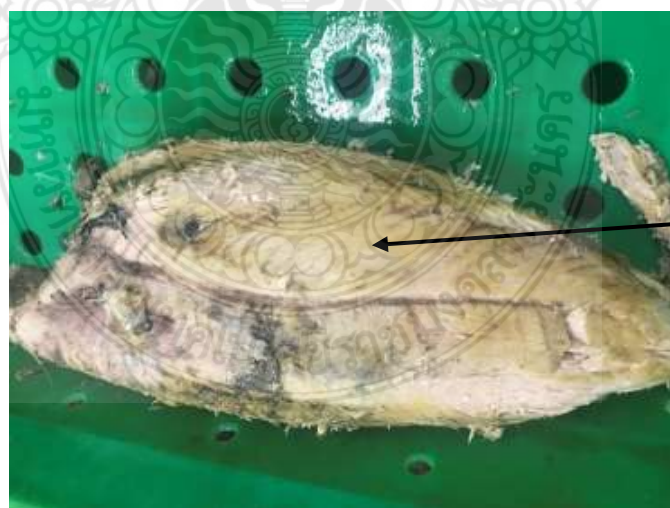
เกาะที่ผิว อย่างไรก็ตาม บริเวณผิวหนังของปลาท่อน่าจะถลอกเป็นบางจุด แต่บริเวณผิวหนังไม่เกิดรอยไหม้ ดังแสดงในภาพ 4.1



หนังปลาดลอก
เล็กน้อย ผิวปลา
ไม่ไหม้

ภาพ 4.1 ลักษณะของปลาที่ละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิตหลังการนิ่ง (ปรับปรุงครั้งที่ 1)

จากนั้นนำปลาไปทำความเย็นโดยการสเปรย์น้ำและเข้าสู่กระบวนการชุดหนัง ลักษณะของปลาหลังการชุดหนัง แสดงดังภาพ 4.2



เนื้อปลาเรียบ
ไม่เป็นร่องลึก
จากการชุดหนัง

ภาพ 4.2 ลักษณะปลาที่ละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิตหลังการชุดหนัง (ปรับปรุงครั้งที่ 1)

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติในด้านของความแตกต่างของอุณหภูมิที่บริเวณจุดกึ่งกลางตัวปลา และบริเวณผิวปลาทูล่าหลังการละลาย โดยใช้ไฟฟ้าสถิตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า

X^2 วิกฤตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่าเท่ากับ 52.19 (ภาคผนวก ง, 108)

$X^2 > X^2$ วิกฤต เพราะฉะนั้น 241.92 > 52.19 (ภาคผนวก ง, 99)

สรุป ปฏิเสธ H_0 คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาและผิวปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำไม่เท่ากับความแตกต่างของอุณหภูมิแกนกลางตัวปลาและผิวปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติในด้านของร้อยละเนื้อปลาทูล่าโดยใช้ไฟฟ้าสถิตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า

X^2 วิกฤตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่าเท่ากับ 52.19

$X^2 < X^2$ วิกฤต เพราะฉะนั้น 13.29 < 52.19 (ภาคผนวก ง, 99)

สรุป ยอมรับ H_0 คือ ร้อยละเนื้อปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำเท่ากับร้อยละเนื้อปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติในด้านของร้อยละเลือดของปลาทูล่าโดยใช้ไฟฟ้าสถิตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า

X^2 วิกฤตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่าเท่ากับ 52.19

$X^2 > X^2$ วิกฤต เพราะฉะนั้น 100.27 > 52.19 (ภาคผนวก ง, 100)

สรุป ปฏิเสธ H_0 คือ ร้อยละเลือดปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำไม่เท่ากับร้อยละเลือดปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

หลังจากชูดหนังและชูดสะอาดแล้ว ทำการชั่งน้ำหนักเนื้อปลา และน้ำหนักเลือดปลา แสดงในตาราง 4.2

ตาราง 4.2 ปริมาณเนื้อปลา และเลือดปลาของการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต (ปรับปรุงครั้งที่ 1)

ปริมาณปลาทูล่าแช่แข็ง (ตัน)	ปริมาณเนื้อ ปลา (ตัน)	ปริมาณเนื้อ ปลา (%)	ปริมาณเลือดของ ปลาทูล่า (ตัน)	ปริมาณเลือด ของปลา (%)
6.487	2.862	44.12	0.463	7.13

จากผลการปรับปรุงการละลายปลาทูล่าแช่แข็งด้วยเทคโนโลยีไฟฟ้าสถิต พบว่า ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาและอุณหภูมิบริเวณผิวของปลา การละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิต ใช้เวลาละลาย 5 ชั่วโมง อุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาหลังการละลายเฉลี่ยอยู่ที่ -2.0 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 1.7 องศาเซลเซียส ซึ่งต่างกัน 3.7 องศาเซลเซียส

ลักษณะปลาหลังการนี้พบว่า ไม่เกิดการไหม้ที่บริเวณผิวของปลา ผิวของปลาถลอกน้อยกว่าการละลายแบบแช่ในบ่อน้ำ และบริเวณผิวของปลาไม่แห้งมาก

ปริมาณเนื้อปลา หรือเปอร์เซ็นต์เนื้อปลา พบว่า ปลาทูน่าแช่แข็งหลังละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิต ผ่านกระบวนการฆ่าห้อง นำเครื่องในออก นึ่ง ซูดหนัง แกะก้าง ซูดเลือดแล้ว ได้จำนวนเนื้อขาวเท่ากับร้อยละ 44.12

ปริมาณเลือดปลาทั้งหมดที่ได้จากปลาทูน่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต เท่ากับร้อยละ 7.13

4.2 ผลการปรับปรุงครั้งที่ 2

ปลาทูน่าสายพันธุ์ทองแถบขนาด 5-7 กิโลกรัม 8 ถัง ปริมาณ 5.642 ตัน อุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาปลาสุ่มวัดก่อนทำการละลาย เฉลี่ยอยู่ที่ -17.3 องศาเซลเซียส ใช้เวลาละลายปลา 5 ชั่วโมง เมื่ออุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาทูน่าเพิ่มขึ้นเป็น -2 ถึง 5 องศาเซลเซียส จึงใช้รถโพลีคลิฟท์ยกถังปลาขึ้นจากพาเลท และวางถังละลายปลาบนดัมเปอร์ เทปาลงบนราง แล้วสุ่มวัดอุณหภูมิจุดกึ่งกลางของตัวปลาหลังการละลาย เฉลี่ยอยู่ที่ -2.0 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิบริเวณผิวหลังการละลายเฉลี่ยอยู่ที่ 1.8 องศาเซลเซียส แสดงรายละเอียดดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 อุณหภูมิที่บริเวณจุดกึ่งกลางของปลาทูน่าก่อนและหลังการละลาย และอุณหภูมิที่บริเวณผิวของปลาทูน่าหลังการละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิต (ปรับปรุงครั้งที่ 2)

อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของปลาทูน่าก่อนละลาย (°C)				อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของปลาทูน่าหลังละลาย (°C)				อุณหภูมิที่บริเวณผิวของปลาทูน่าหลังละลาย (°C)			
-18	-17	-18	-18	-1.8	-2.0	-2.0	-2.2	1.8	1.6	1.0	1.8
-18	-18	-18	-16	-2.0	-2.0	-2.2	-1.7	1.8	1.8	2.0	1.8
-18	-15	-17	-16	-1.8	-1.8	-1.7	-2.0	1.8	1.6	1.9	2.0
-18	-18	-17	-17	-1.8	-2.0	-2.2	-2.2	2.0	1.8	1.8	1.8
ค่าเฉลี่ย = -17.3				ค่าเฉลี่ย = -2.0				ค่าเฉลี่ย = 1.8			

หลังจากนำเครื่องในออกจากปลาและล้างทำความสะอาดเสร็จ จากนั้นจึงนำปลาดังกล่าวมานึ่งประมาณ 3 ชั่วโมง จนกระทั่งอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของปลาเพิ่มขึ้นถึง 60 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำปลาออกจากตู้นี้ โดยพบว่า ปลาทูน่าหลังผ่านกระบวนการนี้จะมีลักษณะผิวไม่แห้งจนเกินไป มีน้ำเกาะที่ผิว อย่างไรก็ตาม บริเวณผิวหนังของปลาทูน่าจะถลอกเป็นบางจุด แต่บริเวณผิวหนังไม่เกิดรอยไหม้ ดังแสดงในภาพ 4.3



หนังปลาเกิด
ถลอกเล็กน้อย
และบริเวณ
ผิวหนังปลา
ไม่เกิดรอยไหม้

ภาพ 4.3 ลักษณะของปลาที่ละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิตหลังการนึ่ง (ปรับปรุงครั้งที่ 2)

จากนั้นนำปลาไปทำเย็นโดยการสเปรย์น้ำและเข้าสู่กระบวนการชุดหนัง สภาพปลาหลังชุดหนัง แสดงดังภาพ 4.4



เนื้อปลาเรียบ
ไม่เป็นร่องลึก
จากการชุดหนัง

ภาพ 4.4 ลักษณะของปลาที่ละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิตหลังการชุดหนัง (ปรับปรุงครั้งที่ 2)

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติในด้านของความแตกต่างของอุณหภูมิที่บริเวณจุดกึ่งกลางตัวปลา และบริเวณผิวหนังปลาพู่หน้าหลังการละลาย โดยใช้ไฟฟ้าสถิตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า

X^2 วิกฤตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่าเท่ากับ 52.19

$X^2 > X^2$ วิกฤต เพราะฉะนั้น $221.08 > 52.19$ (ภาคผนวก ง, 102)

สรุป ปฏิเสธ H_0 คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาและผิวปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำไม่เท่ากับความแตกต่างของอุณหภูมิแกนกลางตัวปลาและผิวปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติในด้านของร้อยละเนื้อปลาที่สูญเสียไปโดยใช้ไฟฟ้าสถิตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า

X^2 วิกฤตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่าเท่ากับ 52.19

$X^2 < X^2$ วิกฤต เพราะฉะนั้น $14.00 < 52.19$ (ภาคผนวก ง, 103)

สรุป ยอมรับ H_0 คือ ร้อยละเนื้อปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำเท่ากับร้อยละเนื้อปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติในด้านของร้อยละเลือดของปลาที่สูญเสียไปโดยใช้ไฟฟ้าสถิตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า

X^2 วิกฤตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่าเท่ากับ 52.19

$X^2 > X^2$ วิกฤต เพราะฉะนั้น $101.62 > 52.19$ (ภาคผนวก ง, 104)

สรุป ปฏิเสธ H_0 คือ ร้อยละเลือดปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำไม่เท่ากับร้อยละเลือดปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

หลังจากชูดหนังและชูดสะอาดแล้ว ทำการชั่งน้ำหนักเนื้อปลา และน้ำหนักเลือดปลา แสดงในตาราง 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณเนื้อปลาและเลือดปลาของการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต (ปรับปรุงครั้งที่ 2)

ปริมาณปลาที่แช่แข็ง (ตัน)	ปริมาณเนื้อปลา (ตัน)	ปริมาณเนื้อปลา (%)	ปริมาณเลือดของปลาที่แช่แข็ง (ตัน)	ปริมาณเลือดของปลา (%)
5.642	2.557	45.32	0.402	7.12

จากผลการปรับปรุงการละลายปลาที่แช่แข็งโดยใช้เทคโนโลยีไฟฟ้าสถิต พบว่า ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจุดกึ่งกลางกลางตัวปลาและอุณหภูมิบริเวณผิวของปลา การละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิตใช้เวลาละลาย 5 ชั่วโมง อุณหภูมิจุดกึ่งกลางหลังการละลายเฉลี่ยอยู่ที่ -2.0 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 1.8 องศาเซลเซียส ซึ่งต่างกัน 3.8 องศาเซลเซียส

ลักษณะปลาหลังนี้พบว่า ไม่เกิดการไหม้ที่บริเวณผิวปลา บริเวณผิวปลาลดลงน้อยกว่าการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำ และบริเวณผิวของปลาไม่แห้งมาก

ปริมาณเนื้อขาว หรือเปอร์เซ็นต์เนื้อขาว พบว่า ปลาทูน่าแช่แข็งหลังละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิต ผ่านกระบวนการฆ่าห้อง นำเครื่องในออก นึ่ง ชูดหนัง แกะก้าง ชูดเลือดแล้ว ได้ปริมาณเนื้อขาว ร้อยละ 45.32

ปริมาณเลือดปลาทั้งหมดที่ได้จากปลาทูน่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต ได้ปริมาณ เลือดปลาร้อยละ 7.12

4.3 ผลการปรับปรุงครั้งที่ 3

ปลาทูน่าสายพันธุ์ท้องแถบขนาด 5-7 กิโลกรัม 8 ถัง ปริมาณ 6.148 ตัน อุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัว ปลาสุ่มวัดก่อนทำการละลาย เฉลี่ยอยู่ที่ -17.2 องศาเซลเซียส ใช้เวลาละลายปลา 5 ชั่วโมง เมื่อ อุณหภูมิจุดกึ่งกลางปลาทูน่าเพิ่มขึ้นเป็น -2 ถึง 5 องศาเซลเซียส จึงใช้รถโฟล์คคลิฟท์ยกถังปลาขึ้นจาก พาเลท และวางถังละลายปลาบนดัมเปอร์ เทปาลงบนราง แล้วสุ่มวัดอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาหลัง การละลาย เฉลี่ยอยู่ที่ -1.9 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิบริเวณผิวของปลาหลังการละลายเฉลี่ยอยู่ที่ 1.9 องศาเซลเซียส แสดงรายละเอียดดังตาราง 4.5

ตาราง 4.5 อุณหภูมิที่บริเวณจุดกึ่งกลางของปลาทูน่าก่อนและหลังการละลาย และอุณหภูมิที่บริเวณ ผิวของปลาทูน่าหลังการละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิต (ปรับปรุงครั้งที่ 3)

อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของ ปลาทูน่าก่อนละลาย (°C)				อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของ ปลาทูน่าหลังละลาย (°C)				อุณหภูมิที่บริเวณผิวของ ปลาทูน่าหลังละลาย (°C)			
-18	-17	-17	-17	-1.8	-2.0	-2.0	-1.8	2.0	2.0	1.8	1.8
-16	-16	-17	-17	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	1.8	1.8	2.0	2.2
-18	-18	-16	-17	-1.6	-1.7	-1.8	-1.8	2.2	1.8	2.2	2.0
-17	-18	-18	-18	-2.0	-1.8	-1.8	-1.7	2.0	1.8	1.8	1.8
เฉลี่ย = -17.2				เฉลี่ย = -1.9				เฉลี่ย = 1.9			

หลังจากนำเครื่องในออกจากปลาและล้างทำความสะอาดเสร็จ จากนั้นจึงนำปลาดังกล่าวมานึ่ง ประมาณ 3 ชั่วโมง จนกระทั่งอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของปลาเพิ่มขึ้นถึง 60 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำ ปลาออกจากตู้หนึ่ง โดยพบว่า ปลาทูน่าหลังผ่านกระบวนการนึ่งจะมีลักษณะผิวไม่แห้งจนเกินไป มีน้ำ เกาะที่ผิว อย่างไรก็ตาม บริเวณผิวหนังของปลาทูน่าจะถลอกเป็นบางจุด แต่บริเวณผิวหนังไม่เกิดรอย ไหม้ ดังแสดงในภาพ 4.5



หนังปลาถลอก
เล็กน้อย และ
บริเวณผิวปลา
ไม่เกิดรอยไหม้

ภาพ 4.5 ลักษณะของปลาที่ละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิตหลังการนิ่ง (ปรับปรุงครั้งที่ 3)

จากนั้นนำปลาไปทำเย็นโดยการสเปรย์น้ำและเข้าสู่กระบวนการชุดหนัง สภาพปลาหลังชุดหนัง แสดงดังภาพ 4.6



เนื้อปลาเรียบ
ไม่เป็นร่องลึก
จากการชุดหนัง

ภาพ 4.6 ลักษณะของปลาที่ละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิตหลังการชุดหนัง (ปรับปรุงครั้งที่ 3)

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติในด้านของความแตกต่างของอุณหภูมิที่บริเวณจุดกึ่งกลางตัวปลา และบริเวณผิวปลาพู่หลังจากการละลาย โดยใช้ไฟฟ้าสถิตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า

χ^2 วิฤตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่าเท่ากับ 52.19

$\chi^2 > \chi^2$ วิกฤต เพราะฉะนั้น $207.62 > 52.19$ (ภาคผนวก ง, 106)

สรุป ปฏิเสธ H_0 คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาและผิวปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำไม่เท่ากับความแตกต่างของอุณหภูมิแกนกลางตัวปลาและผิวปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติในด้านของร้อยละเนื้อปลาท่อนำโดยใช้ไฟฟ้าสถิตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า

χ^2 วิกฤตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่าเท่ากับ 52.19

$\chi^2 < \chi^2$ วิกฤต เพราะฉะนั้น $13.57 < 52.19$ (ภาคผนวก ง, 107)

สรุป ยอมรับ H_0 คือ ร้อยละเนื้อปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำเท่ากับร้อยละเนื้อปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติในด้านของร้อยละเลือดของปลาท่อนำโดยใช้ไฟฟ้าสถิตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า

χ^2 วิกฤตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่าเท่ากับ 52.19

$\chi^2 > \chi^2$ วิกฤต เพราะฉะนั้น $92.20 > 52.19$ (ภาคผนวก ง, 108)

สรุป ปฏิเสธ H_0 คือ ร้อยละเลือดปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำไม่เท่ากับร้อยละเลือดปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

หลังจากชุดหนึ่งและชุดสะอาดแล้ว ทำการชั่งน้ำหนักเนื้อขาว และน้ำหนักเลือดปลา แสดงในตาราง 4.6

ตาราง 4.6 ปริมาณเนื้อปลาและเลือดปลาของการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต (ปรับปรุงครั้งที่ 3)

ปริมาณปลาท่อนำแช่แข็ง (ตัน)	ปริมาณเนื้อ ปลา (ตัน)	ปริมาณเนื้อ ปลา (%)	ปริมาณเลือดของ ปลาท่อนำ (ตัน)	ปริมาณเลือด ของปลา (%)
6.148	2.741	44.58	0.429	6.98

จากผลการปรับปรุงการละลายปลาท่อนำด้วยเทคโนโลยีไฟฟ้าสถิต พบว่า ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาและอุณหภูมิบริเวณผิวของปลา การละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิต ใช้เวลาละลาย 5 ชั่วโมง อุณหภูมิจุดกึ่งกลางหลังละลายเฉลี่ยอยู่ที่ -1.9 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 1.9 องศาเซลเซียส ซึ่งต่างกัน 2.0 องศาเซลเซียส

ลักษณะปลาหลังนี้ ไม่เกิดการไหม้ที่บริเวณผิวปลา บริเวณผิวปลาลดลงน้อยกว่าการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำ และบริเวณผิวของปลาไม่แห้งมาก

ปริมาณเนื้อปลา หรือเปอร์เซ็นต์เนื้อปลาพบว่า ปลาทูน่าแช่แข็งหลังละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิต ผ่านกระบวนการฆ่าห้อง นำเครื่องในออก นึ่ง ชุดหนัง แกะก้าง ชุดเลือดแล้ว ได้ปริมาณเนื้อขาว ร้อยละ 44.58

ปริมาณเลือดปลาทั้งหมดที่ได้จากปลาทูน่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต ได้ปริมาณ เลือดปลาร้อยละ 6.98



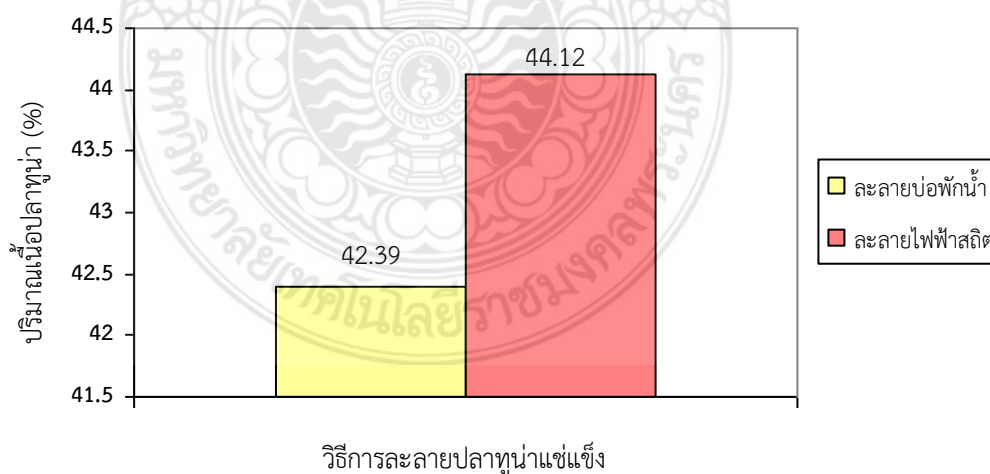
บทที่ 5

อภิปรายผล

ผลการทดลอง พบความแตกต่างของคุณภาพปลาในด้านต่างๆ จากวิธีการละลายปลาทูน่าแช่แข็งที่ต่างกัน ความแตกต่างในด้านของอุณหภูมิแกนกลางตัวปลาและผิวที่พบว่า การละลายปลาโดยใช้ไฟฟ้าสถิต ทำให้ความต่างของอุณหภูมิภายในจุดกึ่งกลางของตัวปลาทูน่าและผิวของปลาทูน่าแตกต่างกันน้อยที่สุด เนื่องจากกลไกการถ่ายเทความร้อนเป็นการค่อยๆ ถ่ายเทความร้อน และจัดเรียงเฟสของน้ำแข็งให้เป็นระเบียบมากยิ่งขึ้น จึงทำให้อุณหภูมิของปลาในถังสแตนเลส ทั้งแกนกลางและผิวมีความแตกต่างกันเล็กน้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tatsukiyo (1990)

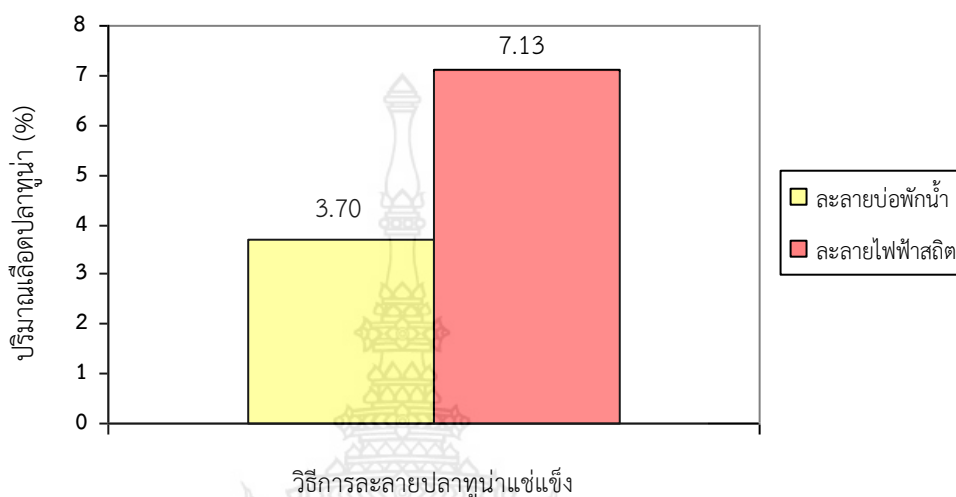
ความแตกต่างในด้านของลักษณะหลังการนึ่งปลา พบว่า ปลาทูน่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายปลาโดยใช้ไฟฟ้าสถิต มีลักษณะที่ดีกว่าปลาทูน่าที่ละลายแบบแช่ในบ่อน้ำ และมีน้ำมันปลาบริเวณผิวปลาที่มากกว่า เนื่องจากอุณหภูมิตั้งต้นของปลาทูน่าหลังละลายหรือก่อนการนึ่งที่สม่ำเสมอทั้งตัวปลา

ความแตกต่างของปริมาณเนื้อปลา พบว่าร้อยละเนื้อขาวของปลาทูน่าที่ละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตสูงกว่าปลาทูน่าที่ละลายแบบแช่ในบ่อน้ำ (ปรับปรุงครั้งที่ 1) ดังภาพ 5.1



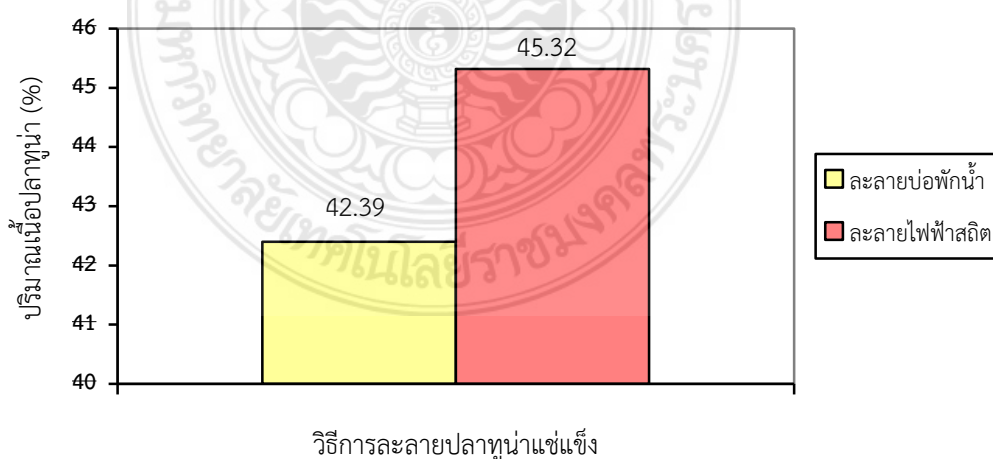
ภาพ 5.1 ร้อยละเนื้อปลาทูน่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายแบบแช่ในบ่อน้ำและการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต (ปรับปรุงครั้งที่ 1)

ความแตกต่างของเลือดปลา พบร้อยละเลือดของปลาทูน่าที่ละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตสูงกว่าปลาทูน่าที่ละลายแบบแช่ในบ่อน้ำ (ปรับปรุงครั้งที่ 1) ดังภาพ 5.2



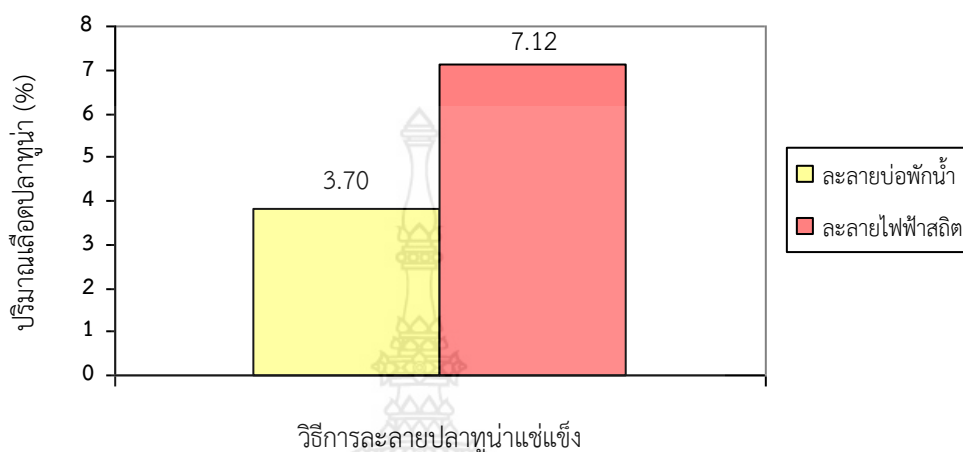
ภาพ 5.2 ร้อยละของเลือดปลาทูน่าแช่แข็งระหว่างการละลายแบบแช่ในบ่อน้ำและการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต (ปรับปรุงครั้งที่ 1)

ความแตกต่างของปริมาณเนื้อปลา พบว่าร้อยละเนื้อขาวของปลาทูน่าที่ละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตสูงกว่าปลาทูน่าที่ละลายแบบแช่ในบ่อน้ำ (ปรับปรุงครั้งที่ 2) ดังภาพ 5.3



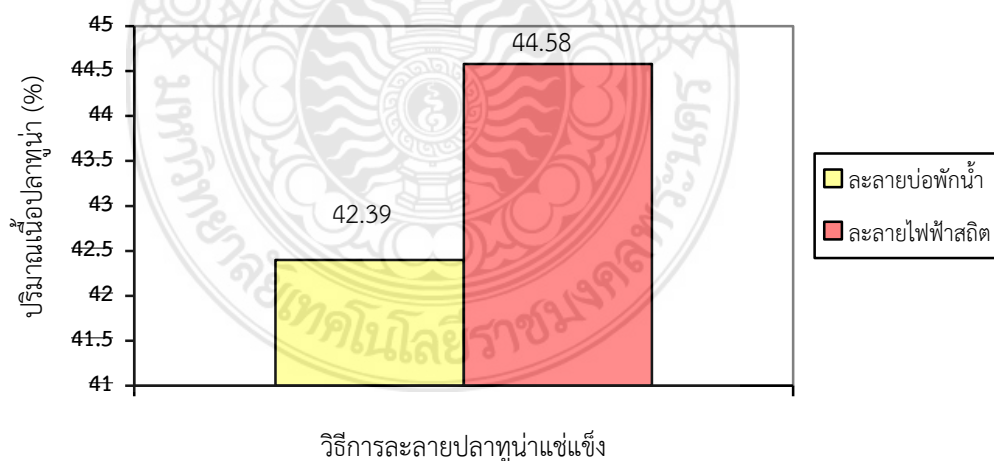
ภาพ 5.3 ร้อยละเนื้อปลาทูน่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายแบบแช่ในบ่อน้ำและการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต (ปรับปรุงครั้งที่ 2)

ความแตกต่างของเลือดปลา พบร้อยละเลือดของปลาทูน่าที่ละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตสูงกว่าปลาทูน่าที่ละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำ (ปรับปรุงครั้งที่ 2) ดังภาพ 5.4



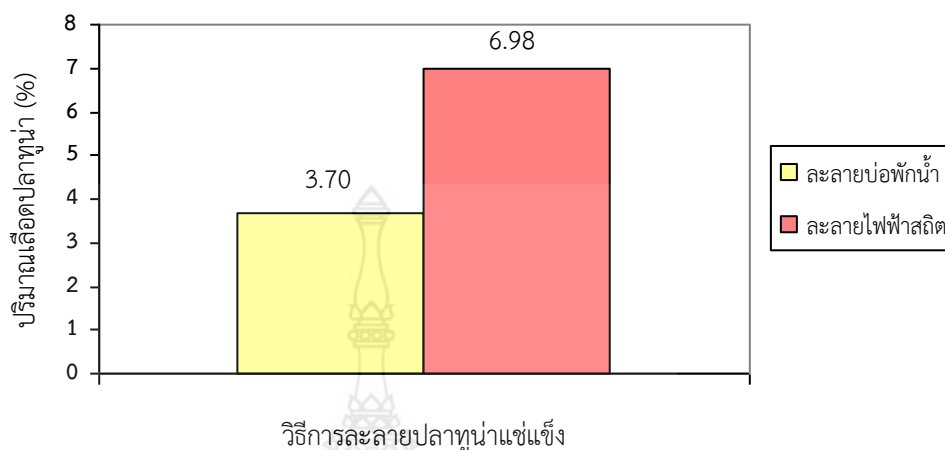
ภาพ 5.4 ร้อยละของเลือดปลาทูน่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำและการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต (ปรับปรุงครั้งที่ 2)

ความแตกต่างของปริมาณเนื้อปลา พบว่าร้อยละเนื้อขาว ของปลาทูน่าที่ละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตสูงกว่าปลาทูน่าที่ละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำ (ปรับปรุงครั้งที่ 3) ดังภาพ 5.5



ภาพ 5.5 ร้อยละเนื้อปลาทูน่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำและการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต (ปรับปรุงครั้งที่ 3)

ความแตกต่างของเลือดปลา พบร้อยละเลือดของปลาทูน่าที่ละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตสูงกว่าปลาทูน่าที่ละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำ (ปรับปรุงครั้งที่ 3) ดังภาพ 5.6



ภาพ 5.6 ร้อยละของเลือดปลาทูน่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำและการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต (ปรับปรุงครั้งที่ 3)

จากผลการปรับปรุงทั้ง 3 ครั้ง สามารถสรุปได้ว่า วิธีการละลายปลาทูน่าโดยใช้ไฟฟ้าสถิตทำให้ร้อยละของเนื้อปลาทูน่าเพิ่มขึ้น 1.73, 2.93 และ 2.19 ตามลำดับ และร้อยละของเลือดปลาเพิ่มขึ้น 3.43, 3.42 และ 3.28 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำ

ปลาทูน่าแช่แข็งที่วิธีการละลายที่แตกต่างกัน คือ การละลายแบบใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน และการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงสูงเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน พบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิแกนกลางตัวปลาและผิวปลา ความแตกต่างของสภาพปลาหลังทำการนึ่ง เปอร์เซ็นต์เนื้อปลาและเปอร์เซ็นต์ของเลือดปลา ที่แตกต่างอย่างชัดเจน ซึ่งจากการวิจัยอภิปรายผลได้ว่า

1. การละลายปลาโดยการใช้ไฟฟ้าสถิตเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ส่งผลให้คุณภาพของปลาทูน่า ในการนำเนื้อปลาไปใช้ในกระบวนการผลิตถัดไปได้ดีกว่าการละลายโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน

2. การปรับปรุงกระบวนการละลายปลาโดยเปลี่ยนจากแช่ในบ่อพักน้ำเป็นการใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง หลังการปรับปรุงจะต้องให้ความสำคัญในเรื่องของขั้นตอนการปฏิบัติงาน เพื่อความปลอดภัยในการทำงานของพนักงาน ต้องให้ความสำคัญในเรื่องของการควบคุมการดำเนินงานและอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาและผิวปลาให้แตกต่างกันน้อยที่สุด เพื่อให้หลังการปรับปรุงกระบวนการมีคุณภาพที่ดี

3. ภายหลังการปรับปรุงกระบวนการละลายปลาโดยเปลี่ยนจากแช่ในบ่อน้ำเป็นการใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง ในจุดของการวางแผนงานละลายปลา ควรมีการเพิ่มจำนวนพนักงานเพื่อปฏิบัติงานในจุดนั้นๆ เพื่องานที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด

4. หากมีการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิปลาไว้ภายในตู้เลี้ยงปลา อาจใช้เวลาในการนึ่งน้อยลงกว่าปัจจุบัน เนื่องจากทำให้ทราบอุณหภูมิภายในจุดกึ่งกลางตัวปลาในขณะที่ปฏิบัติงาน และอาจทำให้ได้น้ำหนักปลาเพิ่มขึ้น เนื่องจากไม่ได้สูญเสียน้ำหนักไปกับการนึ่งปลาที่นานจนเกินไป

5. การวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปทำการวิจัยได้ในด้านของการวิเคราะห์ถึงโภชนาการที่สูญเสียในระหว่างการละลาย



บทที่ 6

สรุปผล

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ทำให้ทราบถึงความแตกต่างของคุณภาพในด้านต่างๆ หลังการละลายของปลาทูน่าแช่แข็งที่วิธีการละลายที่แตกต่างกัน คือ การละลายแบบใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน และการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสเถิตจากไฟฟ้าแรงสูงเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ทั้งความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาและบริเวณผิวปลา ความแตกต่างของสภาพปลาหลังทำการนึ่ง ร้อยละเนื้อปลา และ ร้อยละเลือดปลา ที่แตกต่างอย่างชัดเจน ซึ่งจากการวิจัยสรุปได้ว่า

1) จากการปรับปรุงครั้งที่ 1 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาและอุณหภูมิบริเวณผิวปลา การละลายโดยแช่ในบ่อพักน้ำ อุณหภูมิจุดกึ่งกลางหลังละลายเฉลี่ยอยู่ที่ -1.6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิบริเวณผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 11.6 องศาเซลเซียส ซึ่งต่างกัน 12 องศาเซลเซียส การละลายโดยใช้ไฟฟ้าสเถิต ใช้เวลาละลาย 5 ชั่วโมง อุณหภูมิจุดกึ่งกลางหลังละลายเฉลี่ยอยู่ที่ -2.0 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 1.7 องศาเซลเซียส ซึ่งต่างกัน 3.7 องศาเซลเซียส ความแตกต่างหลังนึ่งพบว่า การละลายโดยแช่ในบ่อพักน้ำ ปลามีผิวไหม้ หน้งถลอก และผิวหนังแห้ง ส่วนการละลายโดยใช้ไฟฟ้าสเถิต ไม่เกิดการไหม้ที่ผิวปลา ผิวปลาทนน้อยกว่า และผิวหนังไม่แห้งมาก ความแตกต่างของจำนวนเนื้อปลา พบว่า ปลาทูน่าแช่แข็งหลังละลายโดยแช่ในบ่อพักน้ำ ผ่านกระบวนการผ่าท้อง นำเครื่องในออก นึ่ง ชุดหนึ่ง แกะก้าง ชุดเลือดแล้ว ได้จำนวนเนื้อปลาเท่ากับร้อยละ 42.39 และปลาทูน่าแช่แข็งหลังละลายโดยใช้ไฟฟ้าสเถิต ผ่านกระบวนการผ่าท้อง นำเครื่องในออก นึ่ง ชุดหนึ่ง แกะก้าง ชุดเลือดแล้ว ได้จำนวนเนื้อปลาเท่ากับร้อยละ 44.12 ความแตกต่างของจำนวนเลือดปลาพบว่า จำนวนเลือดปลาทั้งหมดที่ได้จากปลาทูน่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 3.70 และจำนวนเลือดปลาทั้งหมดที่ได้จากปลาทูน่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสเถิตคิดเป็นร้อยละ 7.13

2) จากการปรับปรุงครั้งที่ 2 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาและอุณหภูมิบริเวณผิว การละลายโดยแช่ในบ่อพักน้ำ อุณหภูมิจุดกึ่งกลางหลังละลายเฉลี่ยอยู่ที่ -1.6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิบริเวณผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 11.6 องศาเซลเซียส ซึ่งต่างกัน 12 องศาเซลเซียส การละลายโดยใช้ไฟฟ้าสเถิต ใช้เวลาละลาย 5 ชั่วโมง อุณหภูมิจุดกึ่งกลางหลังละลายเฉลี่ยอยู่ที่ -2.0 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 1.8 องศาเซลเซียส ซึ่งต่างกัน 3.8 องศาเซลเซียส ความแตกต่างหลัง

นี้พบว่า การละลายโดยแช่ในบ่อพักน้ำ ปลามีผิวใหม่ หนึ่งกลอก และผิวหนึ่งแห่ง ส่วนการละลาย โดยใช้ไฟฟ้าสถิต ไม่เกิดการไหม้ที่ผิวปลา ผิวปลาถลอกน้อยกว่า และผิวไม่แห้งมาก ความแตกต่าง ของจำนวนเนื้อปลา พบว่า ปลาทูน่าแช่แข็งหลังละลายโดยแช่ในบ่อพักน้ำ ผ่านกระบวนการฆ่าห้อง นำเครื่องในออก นึ่ง ชูดหนัง แกะก้าง ชูดเลือดแล้ว ได้จำนวนเนื้อปลาเท่ากับร้อยละ 42.39 และปลา ทูน่าแช่แข็งหลังละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิต ผ่านกระบวนการฆ่าห้อง นำเครื่องในออก นึ่ง ชูดหนัง แกะ ก้าง ชูดเลือดแล้ว ได้จำนวนเนื้อปลาเท่ากับร้อยละ 45.32 ความแตกต่างของจำนวนเลือดปลาพบว่า จำนวนเลือดปลาทั้งหมดที่ได้จากปลาทูน่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำเฉลี่ยเท่ากับ ร้อยละ 3.70 และจำนวนเลือดปลาทั้งหมดที่ได้จากปลาทูน่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายแบบใช้ไฟฟ้า สถิตคิดเป็นร้อยละ 7.12

3) จากการปรับปรุงครั้งที่ 3 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาและอุณหภูมิ บริเวณผิว การละลายโดยแช่ในบ่อพักน้ำ อุณหภูมิจุดกึ่งกลางหลังละลายเฉลี่ยอยู่ที่ -1.6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิวปลาเฉลี่ยอยู่ที่ 11.6 องศาเซลเซียส ซึ่งต่างกัน 12 องศาเซลเซียส การละลาย โดยใช้ไฟฟ้าสถิต ใช้เวลาละลาย 5 ชั่วโมง อุณหภูมิจุดกึ่งกลางหลังละลายเฉลี่ยอยู่ที่ -1.9 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 1.9 องศาเซลเซียส ซึ่งต่างกัน 2.0 องศาเซลเซียส ความแตกต่างหลัง นี้พบว่า การละลายโดยแช่ในบ่อพักน้ำ ปลามีผิวใหม่ หนึ่งกลอก และผิวหนึ่งแห่ง ส่วนการละลาย โดยใช้ไฟฟ้าสถิต ไม่เกิดการไหม้ที่ผิวปลา ผิวปลาถลอกน้อยกว่า และผิวไม่แห้งมาก ความแตกต่าง ของจำนวนเนื้อปลา พบว่า ปลาทูน่าแช่แข็งหลังละลายโดยแช่ในบ่อพักน้ำ ผ่านกระบวนการฆ่าห้อง นำเครื่องในออก นึ่ง ชูดหนัง แกะก้าง ชูดเลือดแล้ว ได้จำนวนเนื้อปลาเท่ากับร้อยละ 42.39 และปลา ทูน่าแช่แข็งหลังละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิต ผ่านกระบวนการฆ่าห้อง นำเครื่องในออก นึ่ง ชูดหนัง แกะ ก้าง ชูดเลือดแล้ว ได้จำนวนเนื้อปลาเท่ากับร้อยละ 44.58 ความแตกต่างของจำนวนเลือดปลาพบว่า จำนวนเลือดปลาทั้งหมดที่ได้จากปลาทูน่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำเฉลี่ยเท่ากับ ร้อยละ 3.70 และจำนวนเลือดปลาทั้งหมดที่ได้จากปลาทูน่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายแบบใช้ไฟฟ้า สถิต คิดเป็นร้อยละ 6.98

สรุปผลการทดลองในส่วนของสมมติฐานงานวิจัย สรุปได้ดังนี้

1. H0 : ร้อยละเนื้อปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำเท่ากับร้อยละเนื้อปลาจาก

การละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

H1 : ร้อยละเนื้อปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำไม่เท่ากับร้อยละเนื้อปลาจาก

การละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01

$$X^2 = \sum (o_i - E_i)^2 / E_i$$

$$= (44.12 - 42.39)^2 / 42.39 + (45.32 - 42.39)^2 / 42.39 + (44.58 - 42.39)^2 / 42.39$$

$$= 0.07 + 0.20 + 0.11 = 0.38$$

X^2 วิกฤตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่าเท่ากับ 9.21

$X^2 < X^2$ วิกฤต เพราะฉะนั้น $0.38 < 9.21$

สรุป ยอมรับ H_0 คือ ร้อยละเนื้อปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อกักน้ำเท่ากับร้อยละเนื้อปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

2. H_0 : ร้อยละเลือดปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อกักน้ำเท่ากับร้อยละเลือดปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

H_1 : ร้อยละเลือดปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อกักน้ำไม่เท่ากับร้อยละเลือดปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01

$$\begin{aligned} X^2 &= \sum (o_i - E_i)^2 / E_i \\ &= (7.13 - 3.70)^2 / 3.70 + (7.12 - 3.70)^2 / 3.70 + (6.98 - 3.70)^2 / 3.70 \\ &= 3.18 + 3.16 + 2.91 = 9.25 \end{aligned}$$

X^2 วิกฤตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่าเท่ากับ 9.21

$X^2 > X^2$ วิกฤต เพราะฉะนั้น $9.25 > 9.21$

สรุป ปฏิเสธ H_0 คือ ร้อยละเลือดปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อกักน้ำไม่เท่ากับร้อยละเลือดปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

3. H_0 : ความแตกต่างของอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาและผิวปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อกักน้ำเท่ากับความแตกต่างของอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาและผิวปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

H_1 : ความแตกต่างของอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาและผิวปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อกักน้ำไม่เท่ากับความแตกต่างของอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาและผิวปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01

$$\begin{aligned} X^2 &= \sum (o_i - E_i)^2 / E_i \\ &= (3.3 - 12)^2 / 12 + (3.2 - 12)^2 / 12 + (2 - 12)^2 / 12 \\ &= 6.31 + 6.45 + 8.33 = 21.10 \end{aligned}$$

X^2 วิกฤตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่าเท่ากับ 9.21

$X^2 > X^2$ วิกฤต เพราะฉะนั้น $21.10 > 9.21$

สรุป ปฏิเสธ H0 คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาและผิวปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำไม่เท่ากับความแตกต่างของอุณหภูมิแกนกลางตัวปลาและผิวปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

สรุปผลการละลายปลาทูน่าแช่แข็งโดยใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง ส่งผลให้ความแตกต่างของอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาและบริเวณผิวปลาแตกต่างกันน้อยลง และปริมาณเลือดปลาหลังการนึ่งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ผิวหนังปลามีลักษณะใหม่น้อยลง สำหรับปริมาณเนื้อปลา ผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ไม่แตกต่างกันกับการละลายปลาทูน่าแช่แข็งโดยวิธีแช่ในบ่อพักน้ำ



บทที่ 7

การนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์

7.1 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพื่อความยั่งยืน

เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน ในการวิเคราะห์โครงการอย่างยั่งยืนนั้นจะให้ความสำคัญกับมูลค่าของผลประโยชน์สุทธิที่ตกอยู่กับผู้เป็นเจ้าของภายในโครงการและมองไปถึงสังคมโดยรวมด้วย ภายใต้การใช้ทรัพยากรที่มีอยู่จำกัดอย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิเคราะห์เป็นการพิจารณาว่าผลประโยชน์มากกว่าหรือน้อยกว่าค่าใช้จ่ายซึ่งการที่ผู้วิเคราะห์โครงการจะเปรียบเทียบค่าของผลประโยชน์กับค่าใช้จ่ายเพื่อพิจารณาว่าโครงการเป็นโครงการที่ดีคุ้มค่าแก่การลงทุนหรือไม่นั้น จำเป็นต้องอาศัยเกณฑ์การตัดสินใจต้องวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพื่อความยั่งยืนเอาไว้ตัดสินใจลงทุนดังนี้

7.1.1 มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิ (Net Present Value : NPV)

การลงทุนติดตั้งชุดละลายปลาโดยเทคโนโลยีไฟฟ้าในปีแรกจำนวน 3,242,600 บาท

ตาราง 7.1 รายละเอียดการลงทุนติดตั้งชุดละลายปลาด้วยเทคโนโลยีไฟฟ้าสกัดจากไฟฟ้าแรงดันสูง

ลำดับที่	รายการ	จำนวนเงิน (บาท)
1	ชุดละลายปลาไฟฟ้า	3,200,000.00
2	เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ	1,600.00
3	ถังละลายปลา	36,000.00
4	เบ็ดเตล็ด	5,000.00
รวมเป็นเงิน (บาท)		3,242,600.00

ภายหลังการละลายปลาโดยใช้เทคโนโลยีไฟฟ้าสกัดจากไฟฟ้าแรงดันสูง จำนวนเนื้อปลาหรือร้อยละเนื้อปลา เท่ากับร้อยละ 45 ถึง 46 ซึ่งมากขึ้นกว่าเดิมประมาณร้อยละ 2 ถึง 3 จำนวนเลือดปลาหรือร้อยละเลือดปลา เท่ากับร้อยละ 5 ถึง 7 ซึ่งมากขึ้นกว่าเดิมประมาณร้อยละ 1 ถึง 3 ใช้น้ำในการละลายลดลงประมาณร้อยละ 69 และใช้ไฟฟ้าลดลงประมาณร้อยละ 52

7.1.2 อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (Rate of Return on Investment)

ทั้งนี้จะตัดสินใจเลือกลงทุนในการละลายปลาโดยเทคโนโลยีไฟฟ้าสถิต โดยที่มีข้อบกพร่องดังเช่น นอกจากจะไม่คำนึงถึงระยะเวลาของการได้มาซึ่งผลประโยชน์ ยังจะให้ความสำคัญกับคุณภาพและความพึงพอใจของลูกค้า ซึ่งอัตราผลตอบแทนจากการลงทุนมีดังนี้

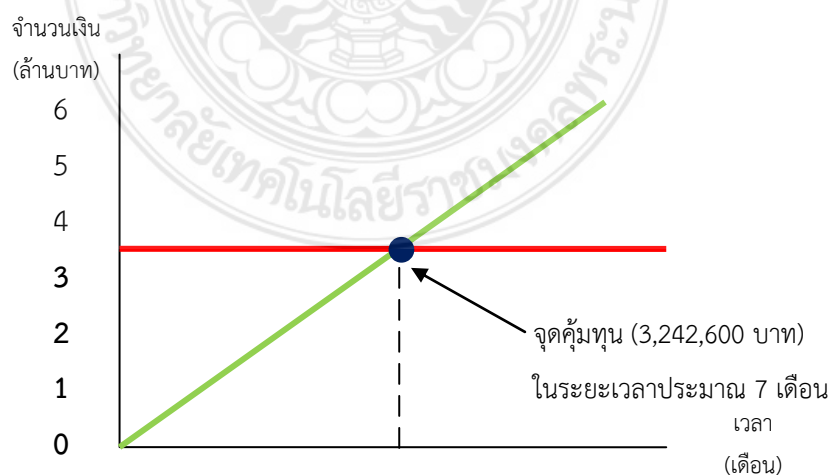
เมื่อจำนวนเนื้อปลาเพิ่มมากขึ้น จำนวนผลิตภัณฑ์สุดท้ายก็เพิ่มมากขึ้นด้วย เช่น ปลาทูน่าห้องแล็บแช่แข็งปริมาณ 65 ตัน ได้เนื้อปลาปริมาณ 29.9 ตัน ร้อยละเนื้อปลาเท่ากับร้อยละ 46.0 สามารถผลิตปลาทูน่าบรรจุกระป๋องขนาด 211×103 ได้จำนวน 787 กระป๋อง บรรจุกระป๋องละ 38 กรัม ซึ่งมากกว่าการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำ 68 กระป๋อง คิดเป็นเงินจำนวน 4,760 บาทต่อวัน 142,800 ต่อเดือน และ 1,713,600 บาทต่อปี

จำนวนเลือดปลาที่เพิ่มมากขึ้น ก็ทำให้ยอดขายเพิ่มมากขึ้นด้วย เช่น ปลาทูน่าห้องแล็บแช่แข็งปริมาณ 65 ตัน ได้เลือดปลาปริมาณ 3.250 ตัน ร้อยละเลือดปลาเท่ากับร้อยละ 5 ขายเลือดปลา 1 กิโลกรัม ราคา 15 บาท ได้เลือดปลาเพิ่มมากขึ้น 0.650 ตัน คิดเป็นเงิน 9,750 บาทต่อวัน 292,500 บาทต่อเดือน 3,510,000 บาทต่อปี

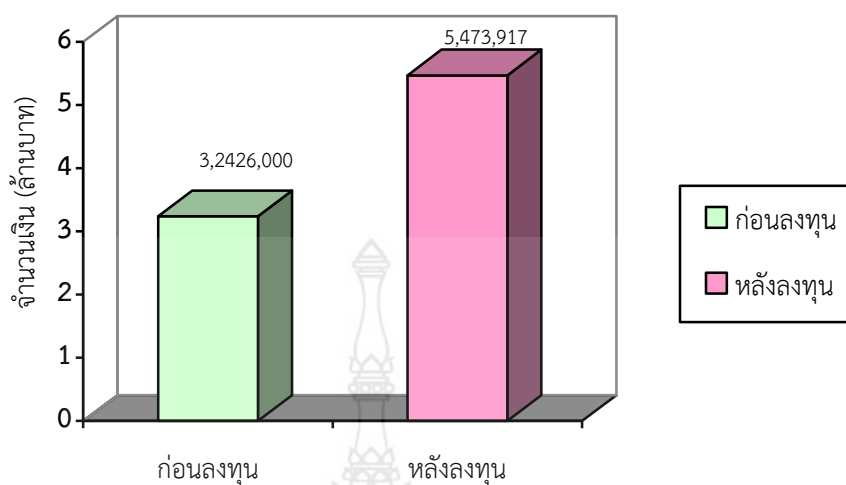
จำนวนการใช้น้ำในการละลายปลาลดลง วันละ 68,800 ลิตร เดือนละ 1,788,800 ลิตร ปีละ 21,465,600 ลิตร คิดเป็นเงิน 225,388 บาทต่อปี

จำนวนการใช้ไฟฟ้าลดลง วันละ 12.82 ยูนิท เดือนละ 333.32 ยูนิท ปีละ 3,999.84 ยูนิท คิดเป็นเงิน 24,928.80 บาทต่อปี

จากข้อมูลดังกล่าวพบว่า การลงทุนด้วยการใช้การละลายปลาโดยเทคโนโลยีไฟฟ้าสถิตสามารถคืนทุนการติดตั้งได้ภายใน 7 เดือนแรกที่ทำกรใช้งาน มูลค่าตอบแทนรวมอยู่ที่ 5,473,917 บาทต่อปี แสดงข้อมูลจุดคุ้มทุนดังภาพ 7.1 และ ภาพ 7.2



ภาพ 7.1 ระยะคืนทุนของโครงการ



ภาพ 7.2 ผลตอบแทนของโครงการ

7.2 แผนการเผยแพร่และการพัฒนาอย่างยั่งยืน

งานวิจัยและการให้บริการวิชาการซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสังคมและชุมชนที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ด้านด้วยกันคือ

- 1) การใช้ประโยชน์เชิงวิชาการ
- 2) การใช้ประโยชน์เชิงสาธารณะ
- 3) การใช้ประโยชน์เชิงนโยบาย
- 4) การใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์

การจัดการความรู้จากงานวิจัยหรืองานสร้างสรรค์ที่สนับสนุนให้มีการเผยแพร่ผลงานวิจัย ในการประชุมวิชาการ การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ใน 4 ด้านตามที่กล่าวการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ ที่ระบุไว้ในรายงานการวิจัยอย่างถูกต้องและมีหลักปรากฏชัดเจน ถึงการนำไปใช้จนก่อให้เกิดประโยชน์ได้จริงอย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

- จเร วงศ์ผึ้ง และคณะ. 2544. ผลของการละลายปลาทูน่าด้วยน้ำต่อปริมาณเกลือ. ปรียญานินพนธ์. วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมอาหาร. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยมหิดล.
- เจษฎา เลิศพิภพเมธา และคณะ. 2551. การศึกษาวิธีการลดระยะเวลาในกระบวนการละลายปลาทูน่าแช่แข็งด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า. ปรียญานินพนธ์. วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมอาหาร. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ทิมมพร ลิ้มจำรูญ. 2559. การส่งออกปลาทูน่ากระป๋อง. สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตรและอุตสาหกรรม. กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ.
- น้ำฝน ไชยลังกา และคณะ. 2555. ผลกระทบของวิธีการละลายต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเนื้อไก่แช่เยือกแข็ง. คณะวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ปวันสา บุญญพิพัฒน์ และคณะ. 2557. ผลของการละลายปลานิลแช่แข็งด้วยวิธีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกต่อคุณลักษณะของเนื้อปลานิลและเวลาการละลาย. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานพนธ์. 2556. ปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบ. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 27 กันยายน 2560 จาก : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3339/skipjacktuna>.
- ฤทธิชัย อัครราชันย์. 2546. การศึกษาค่าการนำไฟฟ้าและวิธีการละลายด้วยวิธี Ohmic ของซูริมิแช่แข็ง. โครงการวิศวกรรมมหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมอาหาร. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ฤทธิชัย อัครราชันย์. 2555. การให้ความร้อนแบบโอห์มมิกในการแปรรูปอาหาร. ปรียญานินพนธ์. สาขาวิศวกรรมอาหาร. คณะวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ฤทธิชัย อัครราชันย์ และคณะ. 2557. การพัฒนาและปัจจัยที่มีผลต่อการละลายเนื้อไก่แช่แข็งด้วยวิธีเทอร์โมอะคูสติก. ปรียญานินพนธ์. สาขาวิศวกรรมอาหาร. คณะวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- สถาบันอาหาร. 2547. พันธุ์ทูน่าที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 27 กันยายน 2560 จาก : www.fishbase.org.com.

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

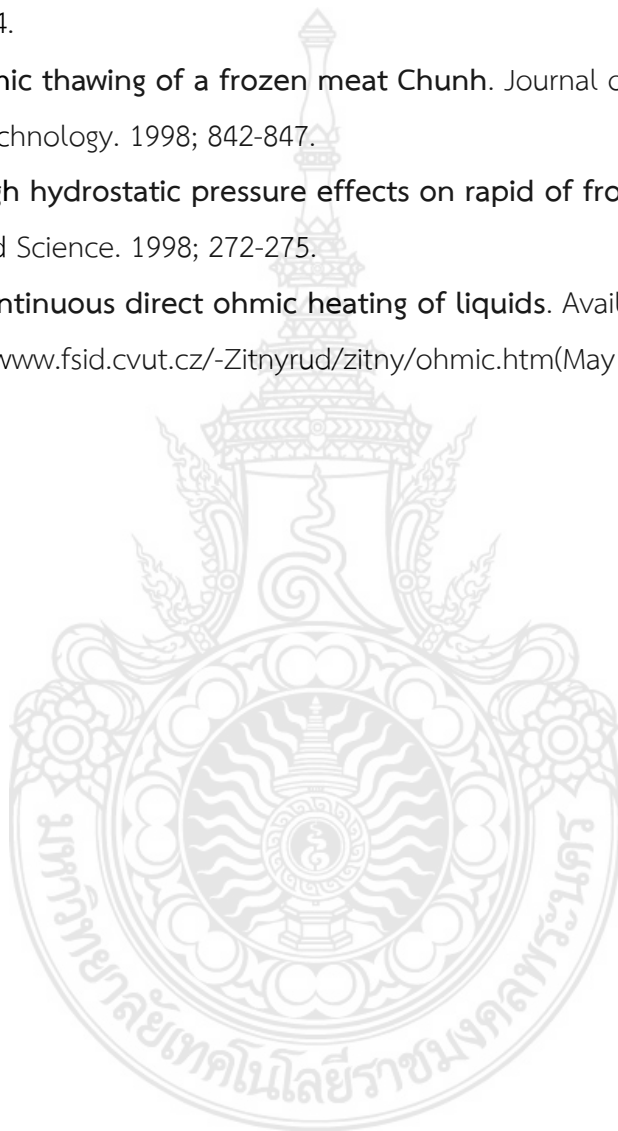
- สถาบันอาหาร. 2559. **อุตสาหกรรมทูน่า**. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 1 กรกฎาคม 2560 จาก :
fic.nfi.or.th/foodsectordatabank-detail.php?id=14.
- สมัคร รักแม่. 2558. **การศึกษาเพื่อลดระยะเวลาการละลายแบบจุ่มของปลาทูน่าแช่แข็ง**.
 ปริญญาทิพนธ์. วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
 ลาดกระบัง.
- สุนันท์ ศรีณนิตย์. **การถ่ายเทความร้อน Heat transfer**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. 2545 :
 สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
- สุวิชาญ เตียวสกุล. 2556. **การปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเนื้อปลาทูน่านึ่งสุกแช่
 เย็น: กรณีศึกษา**. ปริญญาทิพนธ์. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาการจัดการเทคโนโลยี
 อุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อุมาพร อุประ และคณะ. 2555. **วิธีการละลายแบบรวดเร็วด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่**. หน่วยวิจัย
 เทคโนโลยีการอบแห้งและลดความชื้น. คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัย
 แม่โจ้.
- Aider and Halleux. **Passive and microwave-assisted thawing in maple sap
 Cryoconcentration technology**. Journal of food Engineering. 2008; 85: 65-72.
- Assawarachan et al. **Drying paddy by microwave vibro-fluidized drying using
 Single mode application**. International Journal of Food.
 Agriculture&Environment. 2011; 9(2): 50-54.
- Beyza et al. **The effect of thawing methods on the quality of eels(Anguilla)**.
 Food Chemistry. 2008; 111: 377-380.
- Bozkurt and Icier. **Ohmic Thawing of Frozen Beef cuts**. Journal of food Process
 Engineering. 2011.
- Filiz et al. **Effects of ohmic thawing on histological and textural properties of
 beef cuts**. Journal of food Engineering. 2010; 360-365.
- Fu and Hsieh. **Simulation and verification of two-dimensional ohmic heating
 in static system**. Journal of Food Science. 1999; 946-949.
- Goullieux and Pain. Ohmic Heating. In D.w. Sun (edit). **Emerging Technologies
 For Food Processing**. Elsevier Academic Press, California, USA. 2005; 469-500.

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- Jocelyn et al. **High pressure thawing of fish and Shellfish.** Journal of food Engineering. 2002; 83-88.
- Kissam et al. **Water-thawing of fish using low Frequency acoustics.** Journal of Food Science. 1981; 71-75.
- Li and Sun. **Novel methods for rapid freezing and thawing of food-a review.** Journal of food Engineering. 2002; 175-182.
- Makita. **Application of high-pressure and thermo physical properties of water to biotechnology.** Fluid Phase Equilibrium. 1992; 87-95.
- Meredith. **Electrical volumetric heating.** In **Engineers Handbook of Industrial Microwave Heating.** The Institution of electrical Engineers, London, United kingdom. 1998.
- Miao et al. **Studies on ohmic Thawing of frozen surimi.** Food Science and Technology. 2007; 296-300.
- Miles et al. **High power ultrasomic thawing of frozen food.** Journal of food Engineering. 1999; 151-159.
- Ohtsuki. **Process for thawing food stuffs.** European Patent 0409430. 1991.
- Richardson. **Ohmic Heating In lhermal technologies in food processing.** Woodhead publishing limited, Abington Hall, Abington combridgeCB1 6AH, England. 2001.
- Roberts et al. **Design and testing of prototype ohmic thawing unit.** Computers and Electronice in Agriculcture. 1998; 211-222.
- Rouille et al. **High pressure thawing of fish and Shellfish.** Journal of Food Engineering. 2002; 83-88.
- Shirai and Yushikawa. **Changs in components during freezing and thawing for food storage.** Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi (in Japanese). 1999; 151-156.
- Tatsukiyo Ohtsuki. **Process for thawing foodstuffs.** Saiwaicho, okayama-shi, Japan. 1990; 9-25.

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- Termoto and Fuchigami. **Changes in temperature texture and structure of Konnyaku during high pressure Freezing.** Journal of Food Science. 2000; 150-154.
- Yun et al. **Ohmic thawing of a frozen meat Chunh.** Journal of Food Science and Technology. 1998; 842-847.
- Zhao et al. **High hydrostatic pressure effects on rapid of frozen beef.** Journal of Food Science. 1998; 272-275.
- Zitny et al. **Continuous direct ohmic heating of liquids.** Available : <http://www.fsid.cvut.cz/~Zitnyrud/zitny/ohmic.htm>(May 20, 2011).





ภาคผนวก

ภาคผนวก ก เอกสารตีพิมพ์ เกรียติบัตร

ภาคผนวก ข บันทึกน้ำหนักเนื้อปลาและเลือดปลา

ภาคผนวก ค มาตรฐานผลิตภัณฑ์

ภาคผนวก ง กลุ่มตัวอย่างทดลองทางสถิติ

ภาคผนวก ก

เอกสารตีพิมพ์ เกรียติบัตร



ภาคผนวก ก-1 หน้าปกเอกสารตีพิมพ์ การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 7 ประจำปี 2561



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม
นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 7 ประจำปี 2561

การพัฒนาเทคนิคการละลายปลาทูน่าแช่แข็งด้วยเทคโนโลยีไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงสูง Development of Frozen Tuna Thawing Technique Using High Voltage Electrostatic Technology

ชนนิกานต์ เกื้อทาน¹, ปริญญ์ บุญกนิษฐ², สหรัตน์ วงษ์ศิริยะ³

¹สาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

Chonngant.14@hotmail.com

²ฝ่ายผลิต บริษัท โกลเด้นไฟรซ์แคเนดิง จำกัด

บทคัดย่อ

การใช้ระบบไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อนำมาในการทำละลายปลาทูน่าแช่แข็ง เป็นเทคนิคการควบคุมอุณหภูมิเนื้อปลา จาก -18°C เป็น $1-2^{\circ}\text{C}$ เท่าๆ กันตลอดทั้งตัวปลา ก่อนถึงกระบวนการนึ่ง และเมื่อนึ่งให้สุกที่อุณหภูมิ 60°C ผลปรากฏว่า ปลามีผิวหนังเล็กน้อย จากนั้นเมื่อเข้าสู่กระบวนการชุบปลาโดยการแยกหัวปลา หนังปลา และก้างปลาออกให้เหลือเพียงเนื้อปลาและเลือดปลา ปรากฏว่าปริมาณเนื้อปลาที่ได้คิดเป็น 45% ปริมาณเลือดคิดเป็น 5% เมื่อเทียบกับวิธีการเดิม อุณหภูมิในตัวปลาก่อนนึ่งที่แกนกลางและผิวปลาแตกต่างกัน มีอุณหภูมิ -2°C และ 12°C ตามลำดับ ทำให้เมื่อทำการนึ่งปลาก็ดึงผิวใหม่ และเป็นสาเหตุของการสูญเสียเนื้อปลาบริเวณผิวใหม่ ให้ผลผลิตเนื้อปลาเพียง 42% และทำให้เนื้อปลาแห้ง ปริมาณเลือดเพียง 3% สรุปได้ว่า กระบวนการละลายปลาทูน่าด้วยเทคนิคไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง สามารถทำให้เกิดผลผลิตที่สูงขึ้น

คำสำคัญ: คุณภาพ, การละลายปลา, เทคโนโลยีไฟฟ้า, อุณหภูมิ

Abstract

Use of static electricity from high voltage. It is a technique to control tuna temperature from -18°C to $1-2^{\circ}\text{C}$ all together. Before the cooking process and when cooked to the temperature 60°C . Appear tuna have a little burn skin. Then, when entering the tuna de-skinning process. By separating the heads, skin and bone from the body. Leave only meat and blood tuna. Appear the amount of tuna meat accounted for 45%. The amount of tuna blood accounted for 5%. Compared to the original method the temperature in the backbone and tuna skin are different. The temperature is -2°C to 12°C . When cooking tuna, the skin tuna has burned, and Cause loss of tuna meat at burn skin. Only tuna meat 42% and Dried tuna fillets. The amount of blood tuna is only 3%. Concluding that the process of tuna thawing using Static electricity from high voltage, can produce higher yields.

Keywords: Quality, Tuna Thawing, Electricity Technology, Temperature



SIIMC 2018





สถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน และ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
 เกียรติบัตรมอบให้เพื่อแสดงว่า
ชนนิกันต์ เกื้อทาน ปริณัฐ บุญกนิษฐ และ สหรัตน์ วงษ์ศรีชะ
 ได้เข้าร่วมการนำเสนอ และเผยแพร่งานผลงานบทความวิจัย
เรื่อง การพัฒนาเทคนิคการละลายปลาทุ่นน้ำแข็งด้วยเทคโนโลยีไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงสูง
ในการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน
ครั้งที่ 7 ประจำปี 2561 ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา กรุงเทพมหานคร
วันที่ 28 กันยายน 2561

 นางสาวพรวิรัตน์ เพชรภักดี ผู้อำนวยการศูนย์ สถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	 ดร.อุษาวรณ รัชสิริวารกุล ภาควิชาการเกษตรและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	 นายสุริสส์ พงษ์ธีระสุขสมัย เจ้าหน้าที่สาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
---	---	---

ภาคผนวก ก-3 เกียรติบัตร การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และ การจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 7 ประจำปี 2561



ภาคผนวก ข

บันทึกน้ำหนักเนื้อปลาและเลือดปลา

หลังจากได้มีการทดลองใช้การละลายปลาทูน่าแช่แข็งแบบใช้ไฟฟ้าสถิตเปรียบเทียบกับแบบแช่ในบ่อพักน้ำ เมื่อพิจารณาจากจำนวนเนื้อปลาแล้ว ทางบริษัท โกลเด้นไฟร์ซ์แคนนิ่งจำกัด ได้มีการเปลี่ยนแปลงระบบการละลายปลาทูน่าแช่แข็งแบบใหม่ โดยเปลี่ยนจากการละลายแบบบ่อพักน้ำเป็นการละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิต

ข้อมูลน้ำหนักเนื้อปลาทูน่าสายพันธุ์ SKIPJACK ที่ใช้การละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ ได้เก็บข้อมูลเพิ่มเติมในการใช้ระบบการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตทั้งหมด 5 เดือน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



ตาราง 1 บันทึกน้ำหนักเนื้อปลาทูน่าสายพันธุ์ SKIPJACK ประจำเดือน กรกฎาคม ปี 2561

วัน/เดือน/ปี	น้ำหนักปลาแช่แข็ง (Ton)	น้ำหนักเนื้อปลา (Ton)	ร้อยละเนื้อปลา	น้ำหนักเลือดปลา (Ton)	ร้อยละเลือดปลา
02/07/61	35.578	15.711	44.16	2.057	5.78
03/07/61	35.668	16.322	45.76	1.869	5.24
04/07/61	40.829	18.545	45.42	2.622	6.42
05/07/61	32.192	14.941	46.41	2.154	6.69
06/07/61	34.712	15.871	45.72	2.413	6.95
07/07/61	35.726	16.420	45.96	2.666	7.46
09/07/61	32.186	14.635	45.47	2.318	7.20
10/07/61	25.235	11.720	46.44	1.812	7.18
11/07/61	24.587	10.853	44.14	1.645	6.69
12/07/61	35.624	16.608	46.62	2.704	7.59
13/07/61	34.666	15.850	45.72	2.278	6.57
14/07/61	37.008	16.321	44.10	2.628	7.10
16/07/61	32.230	14.549	45.14	2.501	7.76
17/07/61	25.309	11.572	45.72	1.838	7.26
18/07/61	25.852	12.068	46.68	1.764	6.82
19/07/61	34.591	15.642	45.22	2.571	7.43
20/07/61	34.459	15.441	44.81	2.630	7.63
21/07/61	33.464	45.548	46.46	2.390	7.14
23/07/61	29.968	14.055	46.90	2.296	7.66
24/07/61	51.088	22.643	44.32	3.055	5.98
25/07/61	40.189	18.214	45.32	2.299	5.72
26/07/61	34.420	15.951	46.34	2.234	6.49
30/07/61	25.386	11.371	44.79	1.747	6.88

จากตาราง 1 ยอดผลิตปลาทูน่าสายพันธุ์ SKIPJACK ประจำเดือนกรกฎาคม 2561 เท่ากับ 735.389 ตัน น้ำหนักเนื้อปลา เท่ากับ 380.851 ตัน น้ำหนักเลือดปลา เท่ากับ 52.491 ตัน จำนวนเนื้อขาวเฉลี่ยร้อยละ 45.54 และ เลือดปลาเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 6.85

ตาราง 2 บันทึกน้ำหนักเนื้อปลาทูน่าสายพันธุ์ SKIPJACK ประจำเดือน สิงหาคม ปี 2561

วัน/เดือน/ปี	น้ำหนักปลาแช่แข็ง (Ton)	น้ำหนักเนื้อปลา (Ton)	ร้อยละเนื้อปลา	น้ำหนักเลือดปลา (Ton)	ร้อยละเลือดปลา
01/08/61	30.973	14.359	46.36	2.152	6.96
02/08/61	26.793	12.368	46.16	1.734	6.47
03/08/61	23.706	10.761	45.39	1.437	6.06
04/08/61	27.592	12.566	45.54	1.686	6.11
06/08/61	47.473	22.161	46.68	3.081	6.49
07/08/61	42.625	19.719	46.26	3.283	7.70
08/08/61	38.964	18.123	46.51	2.782	7.14
09/08/61	29.453	13.449	45.66	1.797	6.10
10/08/61	30.222	13.739	45.46	2.198	7.27
11/08/61	31.194	14.409	46.19	2.240	7.18
14/08/61	63.595	29.725	46.24	4.764	7.49
15/08/61	58.286	26.672	45.76	3.334	5.72
16/08/61	58.129	25.821	44.42	2.814	4.84
17/08/61	50.517	23.445	46.41	3.082	6.10
18/08/61	15.732	7.165	45.54	1.010	6.42
20/08/61	23.406	10.858	46.39	1.395	5.96
21/08/61	24.807	11.543	46.53	1.355	5.46
22/08/61	17.424	7.869	45.16	10.32	5.92
23/08/61	43.900	20.405	46.48	2.841	6.47
24/08/61	45.405	20.514	45.18	3.242	7.14
27/08/61	51.668	22.548	43.64	3.472	6.72

จากตาราง 2 ยอดผลิตปลาทูน่าสายพันธุ์ SKIPJACK ประจำเดือนสิงหาคม 2561 เท่ากับ 781.864 ตัน น้ำหนักเนื้อปลา เท่ากับ 358.219 ตัน น้ำหนักเลือดปลา เท่ากับ 60.02 ตัน จำนวนเนื้อขาวเฉลี่ยร้อยละ 45.81 และเลือดปลาเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 6.47

ตาราง 3 บันทึกน้ำหนักเนื้อปลาทูน่าสายพันธุ์ SKIPJACK ประจำเดือน กันยายน ปี 2561

วัน/เดือน/ปี	น้ำหนักปลาแช่แข็ง (Ton)	น้ำหนักเนื้อปลา (Ton)	ร้อยละเนื้อปลา	น้ำหนักเลือดปลา (Ton)	ร้อยละเลือดปลา
03/09/61	43.152	19.876	46.06	2.818	6.53
04/09/61	27.073	12.489	46.13	1.809	6.68
05/09/61	30.897	14.377	46.53	1.814	5.87
06/09/61	39.818	17.990	45.18	2.314	5.81
07/09/61	29.680	13.404	15.16	1.609	5.42
08/09/61	27.328	12.752	46.66	1.728	6.32
10/09/61	21.228	9.549	44.98	1.363	6.42
11/09/61	26.127	11.564	44.26	1.683	6.44
12/09/61	34.795	15.780	45.35	2.001	5.75
13/09/61	32.752	14.958	45.67	1.769	5.40
14/09/61	34.027	15.432	45.35	2.297	6.75
15/09/61	31.605	14.346	45.39	1.973	6.24
17/09/61	32.192	14.442	44.86	1.681	5.22
18/09/61	15.730	7.183	45.66	0.944	6.00
19/09/61	39.181	17.698	45.17	2.269	5.79
20/09/61	40.275	18.309	45.46	2.755	6.84
21/09/61	23.556	10.914	46.33	1.678	7.12
22/09/61	26.571	11.920	44.86	1.770	6.66
24/09/61	42.975	19.399	45.14	2.759	6.42
25/09/61	31.054	14.590	46.98	2.211	7.12
26/09/61	47.140	22.232	47.16	3.248	6.89
27/09/61	34.971	16.248	46.46	2.329	6.66
28/09/61	27.465	12.851	46.79	1.854	6.75

จากตาราง 3 ยอดผลิตปลาทูน่าสายพันธุ์ SKIPJACK ประจำเดือนกันยายน 2561 เท่ากับ 696.440 ตัน น้ำหนักเนื้อปลา เท่ากับ 338.303 ตัน น้ำหนักเลือดปลา เท่ากับ 46.676 ตัน จำนวนเนื้อขาวเฉลี่ยร้อยละ 44.42 และ และเลือดปลาเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 6.31

ตาราง 4 บันทึกน้ำหนักเนื้อปลาทูน่าสายพันธุ์ SKIPJACK ประจำเดือน ตุลาคม ปี 2561

วัน/เดือน/ปี	น้ำหนักปลาแช่แข็ง (Ton)	น้ำหนักเนื้อปลา (Ton)	ร้อยละเนื้อปลา	น้ำหนักเลือดปลา (Ton)	ร้อยละเลือดปลา
01/10/61	35.091	15.847	45.46	1.916	5.46
02/10/61	33.203	14.978	45.11	2.032	6.12
03/10/61	34.625	15.554	44.92	2.203	6.56
04/10/61	37.686	17.230	45.72	2.793	7.41
05/10/61	42.774	19.326	45.18	2.841	6.64
06/10/61	36.075	16.458	45.62	2.208	6.12
08/10/61	21.980	10.058	45.76	1.240	5.64
09/10/61	38.850	17.934	46.16	2.390	6.15
10/10/61	57.110	26.368	46.17	3.610	6.32
11/10/61	54.675	25.091	45.89	3.543	6.48
12/10/61	47.625	21.827	45.83	2.801	5.88
15/10/61	24.455	11.233	45.93	1.499	6.13
16/10/61	44.054	20.530	46.60	2.608	5.92
17/10/61	44.008	20.218	45.94	2.852	6.48
18/10/61	19.672	8.922	45.35	1.263	6.42
19/10/61	49.102	22.411	45.64	3.015	6.14
20/10/61	41.142	18.992	46.16	2.403	5.84
22/10/61	32.982	14.978	45.41	1.861	5.64
23/10/61	31.146	14.564	46.76	1.910	6.13
24/10/61	39.438	17.803	45.14	2.154	5.46
25/10/61	29.486	13.299	45.10	1.970	6.68
26/10/61	36.040	16.370	45.42	2.566	7.12
27/10/61	31.355	13.991	44.62	1.926	6.14

จากตาราง 4 ยอดผลิตปลาทูน่าสายพันธุ์ SKIPJACK ประจำเดือนตุลาคม 2561 เท่ากับ 862.574 ตัน น้ำหนักเนื้อปลา เท่ากับ 393.982 ตัน น้ำหนักเลือดปลา เท่ากับ 53.604 ตัน จำนวนเนื้อขาวเฉลี่ยร้อยละ 45.65 และ และเลือดปลาเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 6.12

ภาคผนวก ค

มาตรฐานผลิตภัณฑ์

มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ

ปลาทูน่าและโบนิโตในภาชนะบรรจุปิดสนิท (มกอช. 7015-2549)

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาตินี้ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ปลาทูน่าและโบนิโต ที่อยู่ในวงศ์ Thunnidae บรรจุในภาชนะบรรจุปิดสนิท ภาชนะดังกล่าวทำจากวัสดุที่เป็นโลหะหรือวัสดุอื่น ๆ ที่คงรูปอยู่ได้เท่านั้นหลังกระบวนการให้ความร้อนเพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่เพียงพอในระดับอุตสาหกรรม (commercial sterilization)

1.2 มาตรฐานฯ นี้ ไม่รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเนื้อปลาน้อยกว่า 50% ของส่วนประกอบทั้งหมด

2. นิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานฯ นี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 ปลาทูน่าและโบนิโตในภาชนะบรรจุปิดสนิท (Canned tuna and bonito) หมายถึง ปลาทูน่าหรือโบนิโตที่ผ่านกระบวนการทำลายจุลินทรีย์ด้วยความร้อนที่เพียงพอในระดับอุตสาหกรรมในภาชนะบรรจุปิดสนิท

2.2 ภาชนะบรรจุปิดสนิท (hermetically sealed containers) หมายถึง ภาชนะบรรจุปิดผนึกเพื่อป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์เข้าไปในภาชนะระหว่างและหลังกระบวนการให้ความร้อนที่เพียงพอในระดับอุตสาหกรรม

3. คุณลักษณะ

3.1 ลักษณะของผลิตภัณฑ์

ปลาทูน่าและโบนิโตในภาชนะบรรจุปิดสนิท หมายถึง ผลิตภัณฑ์จากเนื้อปลาตามชนิดที่ระบุต่อไปนี้

- *Thunnus alalunga*
- *Thunnus albacares*
- *Thunnus atlanticus*
- *Thunnus obesus*
- *Thunnus maccoyii*

- *Thunnus thynnus*
- *Thunnus tonggol*
- *Euthynnus affinis*
- *Euthynnus alleteratus*
- *Euthynnus lineatus*
- *Katsuwonus pelamis* (syn. *Euthynnus pelamis*)
- *Sarda chilensis*
- *Sarda orientalis*
- *Sarda sarda*
- *Sarda velox*
- *Auxis thazard*
- *Auxis rochei*
- *Gymnosarda unicolor*

3.2 ลักษณะของกระบวนการผลิต

ผลิตภัณฑ์จะต้องผ่านกระบวนการทำลายจุลินทรีย์ด้วยความร้อนที่เพียงพอในระดับอุตสาหกรรมเพื่อให้อาหารปลอดภัยและเหมาะสมต่อการบริโภค

3.3 รูปแบบของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์มี 5 รูปแบบ ดังนี้

3.3.1 ปลาชิ้นขนาดใหญ่ (solid) มีหนังหรือไม่มีหนัง (skin-on or skinless) ทำจากเนื้อปลาที่ได้จากการตัดปลาตามขวาง บรรจุในภาชนะโดยให้ด้านตัดขวางขนานไปกับก้นภาชนะ สัดส่วนของปลาชิ้นขนาดเล็ก หรือปลาชิ้นขนาดกลางจะต้องไม่เกิน 18 % ของน้ำหนักเนื้อ (drained weight)

3.3.2 ปลาชิ้นขนาดกลาง (chunk) ทำจากเนื้อปลาที่ตัดเป็นชิ้นที่ยังคงโครงสร้างของกล้ามเนื้อปลาอยู่ทุกด้านต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 1.2 cm เนื้อปลาที่มีขนาดเล็กกว่า 1.2 cm มีได้ไม่มากกว่า 30% ของน้ำหนักเนื้อ

3.3.3 ปลาชิ้นขนาดเล็ก (flake or flakes) ทำจากเนื้อปลาที่ผสมกันที่ยังคงโครงสร้างของกล้ามเนื้อปลาอยู่ทุกด้านต้องมีขนาดเล็กกว่า 1.2 cm เนื้อปลาที่มีขนาดเล็กกว่า 1.2 cm มีมากกว่า 30% ของน้ำหนักเนื้อ

3.3.4 ปลาชิ้นย่อย (grated or shredded) ทำจากเนื้อปลาที่สุกแล้วและทำให้มีขนาดเล็ก สม่่าเสมอ แต่เนื้อปลาไม่แตกละเอียด

3.3.5 รูปแบบอื่นๆ มีรูปแบบที่แตกต่างอย่างชัดเจน จากข้อ 3.3.1 ถึงข้อ 3.3.4

4. ส่วนประกอบ

4.1 ส่วนประกอบหลัก

เนื้อของปลาตามทีระบุในข้อ 3.1 ซึ่งมีคุณภาพเหมาะสมแก่การจำหน่ายสดเพื่อการบริโภค

4.2 ส่วนประกอบอื่น

ของเหลวที่ใช้บรรจุและส่วนประกอบอื่นๆ จะต้องมึคุณภาพในระดับที่ใช้สำหรับอาหาร (food grade)

5. ปัจจัยคุณภาพ

5.1 การเสื่อมคุณภาพ

ผลิตภัณฑ์ถือว่าเสื่อมคุณภาพ เมื่อผลการตรวจวิเคราะห์ค่าฮิสตามีนโดยเฉลี่ยของตัวอย่าง เกิน 10 mg/100 g

5.2 คุณภาพของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์จะต้องมีคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานฯ นี้ ไม่พบข้อบกพร่องตามที่ระบุในข้อ 11

6. วัตถุเจือปนอาหาร

ชนิดและปริมาณวัตถุเจือปนอาหารและวัตถุแต่งกลิ่นรสธรรมชาติที่ใช้ในปลาทูน่าและโบนิโต ในภาชนะบรรจุปิดสนิทให้เป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมายที่เกี่ยวข้อง และข้อกำหนดของมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ เรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร

7. สารปนเปื้อน

ชนิดและปริมาณสารปนเปื้อนในปลาทูน่าและโบนิโตในภาชนะบรรจุปิดสนิทให้เป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมายที่เกี่ยวข้อง และข้อกำหนดของมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ เรื่อง สารปนเปื้อน

8. สุขลักษณะ

8.1 ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมใดๆที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

8.2 ต้องปลอดจากเชื้อจุลินทรีย์ที่มีชีวิตและเจริญได้ในระหว่างการเก็บรักษาภายใต้สภาวะปกติ

8.3 ต้องไม่พบสารใดๆ รวมทั้งสารที่เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์ในปริมาณที่ทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ

8.4 ต้องไม่พบข้อบกพร่องที่ภาชนะบรรจุซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ปลอดภัยและไม่เหมาะสมต่อการบริโภค

8.5 ผลิตภัณฑ์ที่ครอบคลุมในมาตรฐานนี้ ควรผ่านการเตรียมและจัดการที่เหมาะสมตามข้อกำหนดการปฏิบัติว่าด้วยเรื่องหลักเกณฑ์ทั่วไปเกี่ยวกับสุขลักษณะอาหาร (CAC/RCP 1-1969, Rev. 4-2003) และหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องต่อไปนี้

- 1) การปฏิบัติที่ดีในการผลิตสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ เล่ม 1 ข้อกำหนดทั่วไป
- 2) การปฏิบัติที่ดีในการผลิตสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ เล่ม 3 การผลิตสัตว์น้ำใน
ภาชนะบรรจุปิดสนิท
- 3) หลักเกณฑ์สากลในการปฏิบัติว่าด้วยเรื่องสุขลักษณะของอาหารกระป๋องที่มี
ความเป็นกรดต่ำ และอาหารกระป๋องที่มีความเป็นกรดหรือที่ผ่านการเพิ่มความเป็นกรดแล้ว
(CAC/RCP 23-1979, Rev.2-1993)

9. เครื่องหมายและฉลาก

ให้เป็นไปตามกฎหมายที่เกี่ยวข้องและมาตรฐาน เรื่อง ฉลาก สำหรับอาหารที่ผ่านการบรรจุแล้ว
(CODEX STAN 1-1985, Rev. 1-1991,1999, 2001, 2004 และ 2005) และข้อกำหนดเพิ่มเติมดังนี้

- 1) ระบุชื่อให้ชัดเจนว่าเป็น “ทูน่า” หรือ “โบนิโต” และอาจใช้คำนำหน้า หรือ
ต่อท้ายด้วยชื่อสามัญของชนิดปลาหรือชื่อวิทยาศาสตร์ของปลาชนิดนั้น ทั้งนี้การระบุชื่อจะต้องเป็นไป
ตามกฎหมายและธรรมเนียมปฏิบัติของแต่ละประเทศที่ผลิตภักณ์นั้นวางจำหน่าย
- 2) ชื่อของผลิตภัณฑ์อาจจะเพิ่มคำที่แสดงคุณภาพหรือคำอธิบายลักษณะสีของ
ผลิตภัณฑ์ เช่น คำว่า “white” ใช้ได้กับปลาบางชนิด
- 3) รูปแบบของผลิตภัณฑ์ ตามข้อ 3.3 จะต้องระบุอยู่ใกล้ชื่อผลิตภัณฑ์
- 4) ชื่อของเหลวที่ใช้บรรจุจะต้องเป็นส่วนหนึ่งของชื่อผลิตภัณฑ์
- 5) น้ำหนักสุทธิเป็น กรัม หรือ กิโลกรัม
- 6) เดือน ปี ที่ผลิต และ เดือน ปี ที่หมดอายุ
- 7) ชื่อและที่ตั้งของผู้ผลิต สำหรับอาหารที่ผลิตในประเทศ ชื่อและที่ตั้งของผู้นำเข้า
และประเทศผู้ผลิตสำหรับอาหารนำเข้า
- 8) รุ่งการผลิต ในกรณีที่ผลิตเพื่อการส่งออกโดยเฉพาะข้อ (5) ถึงข้อ (7) ให้เป็นไปตามข้อตกลง
ของประเทศคู่ค้า

10. วิธีวิเคราะห์และชักตัวอย่าง

10.1 การชักตัวอย่าง

การชักตัวอย่างในปลาทูน่าและโบนิโตในภาชนะบรรจุปิดสนิทให้เป็นไปตามข้อกำหนดของ
กฎหมายที่เกี่ยวข้องและข้อกำหนดของมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ เรื่อง วิธีชัก
ตัวอย่าง

10.2 วิธีวิเคราะห์

10.2.1 การตรวจสอบทางประสาทสัมผัสและทางกายภาพ

การตรวจสอบทางประสาทสัมผัสและกายภาพ ให้ตรวจสอบโดยบุคคลที่ผ่านการ
ฝึกฝนมาโดยเฉพาะ โดยมีขั้นตอนการตรวจสอบทางประสาทสัมผัสและกายภาพเป็นไปตามข้อ

10.2.1.1 และมีวิธีวิเคราะห์ตามข้อ 10.2.1.2 ถึงข้อ 10.2.1.5 และแนวทางการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส สำหรับปลาและสัตว์น้ำมีเปลือกในห้องปฏิบัติการ (Guidelines for the Sensory Evaluation of Fish and Shellfish in Laboratories CAC/GL 31-1999)

10.2.1.1 ขั้นตอนการตรวจสอบทางประสาทสัมผัสและกายภาพ

- 1) ตรวจสอบด้านนอกภาชนะบรรจุอย่างละเอียดเพื่อหาข้อบกพร่องในเรื่องลักษณะที่ผิดปกติของภาชนะบรรจุ หรือฝาภาชนะบรรจุ
- 2) เปิดภาชนะบรรจุตรวจสอบสภาพภายในของภาชนะบรรจุ และชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ ตามวิธีการในข้อ 10.2.1.2 และข้อ 10.2.1.3 หรือ 10.2.1.4
- 3) นำผลิตภัณฑ์ออกจากภาชนะบรรจุ อย่างระมัดระวังและวิเคราะห์รูปแบบของผลิตภัณฑ์ตามวิธีการในข้อ 10.2.1.5
- 4) ตรวจสอบคุณลักษณะการเปลี่ยนสี ตรวจสอบหึ่งแปลกปลอม และผลึกใสของ struvite crystals หากตรวจพบก้างปลาที่ยังแข็งอยู่ แสดงว่าผลิตภัณฑ์นั้นผ่านการให้ความร้อนไม่เพียงพอ และจำเป็นต้องตรวจประเมินด้านการฆ่าเชื้อ
- 5) ตรวจประเมินลักษณะด้านกลิ่น กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส ตามแนวทางการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสสำหรับปลาและสัตว์น้ำมีเปลือกในห้องปฏิบัติการ (CAC/GL 31-1999)

10.2.1.2 การตรวจสอบน้ำหนักสุทธิ

- 1) ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ โดยที่ยังไม่เปิดภาชนะบรรจุ
- 2) เปิดภาชนะบรรจุและค่อยๆ เทส่วนประกอบทั้งหมดที่อยู่ภายในออก
- 3) ชั่งน้ำหนักภาชนะบรรจุเปล่า (รวมฝาภาชนะบรรจุ) หลังจากเทของเหลวและเศษเนื้อที่ติดค้างอยู่ออกแล้ว
- 4) คำนวณน้ำหนักสุทธิ น้ำหนักสุทธิ = น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ทั้งภาชนะบรรจุ - น้ำหนักภาชนะบรรจุเปล่า

10.2.1.3 การตรวจสอบน้ำหนักเนื้อปลา

- 1) ก่อนวิเคราะห์ให้เก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิระหว่าง 20°C ถึง 30°C เป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง
- 2) เปิดภาชนะบรรจุและค่อยๆ เทส่วนประกอบที่อยู่ภายในลงบนตะแกรงทรงกลมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ซึ่งตะแกรงทำด้วยลวดซึ่งเป็นตาสี่เหลี่ยมมีขนาดตา 2.8 mm x 2.8 mm
- 3) เอียงตะแกรงลวดด้วยมุมประมาณ 17 องศา ถึง 20 องศา ปลอ่ยให้สะเก็ดน้ำเป็นเวลา 2 นาที โดยเริ่มจับเวลาตั้งแต่เทเนื้อปลาลงบนตะแกรง
- 4) ชั่งน้ำหนักตะแกรงพร้อมเนื้อปลา

5) คำนวณน้ำหนักเนื้อปลา น้ำหนักเนื้อปลาเท่ากับน้ำหนักตะแกรงพร้อมเนื้อปลาข้อ 4) - น้ำหนักตะแกรงเปล่า

10.2.1.4 การตรวจสอบน้ำหนักเนื้อที่ล้างแล้วสำหรับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุพร้อมซอส

- 1) เก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิระหว่าง 20°C ถึง 30°C เป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมงก่อนนำมาวิเคราะห์
- 2) เปิดภาชนะบรรจุและค่อยๆ เทส่วนประกอบที่อยู่ภายในลงในตะแกรงทรงกลมที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว และล้างซอสที่ติดอยู่บนเนื้อปลาด้วยน้ำสะอาดที่อุณหภูมิประมาณ 35°C ถึง 40°C โดยใช้ขวดล้าง (เช่น พลาสติก) ฉีดน้ำอุ่นลงบนเนื้อปลาบนตะแกรง
- 3) ล้างเนื้อปลาบนตะแกรงด้วยน้ำอุ่นจนกว่าจะหมดซอสที่ติดอยู่ หากจำเป็นให้แยกส่วนประกอบบางอย่างที่ติดอยู่ เช่น เครื่องเทศ, ชิ้นผัก, ผลไม้ ออกด้วยคีม เอียงตะแกรงลวดด้วยมุมประมาณ 17 องศาเซลเซียส ถึง 20 องศาเซลเซียส ปลอ่ยให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 2 นาที จับเวลาตั้งแต่ล้างซอสบนเนื้อปลาจนหมด
- 4) ชั่งน้ำหนักที่ติดอยู่ที่ก้นตะแกรงด้วยกระดาษชั่งแบบประสมงค์ ชั่งน้ำหนักตะแกรงพร้อมเนื้อปลา

5) คำนวณน้ำหนักเนื้อปลาที่ล้างแล้ว

น้ำหนักเนื้อปลาที่ล้างแล้ว = น้ำหนักตะแกรงพร้อมเนื้อปลาข้อ 4) - น้ำหนักตะแกรงเปล่า

10.2.1.5 การตรวจสอบรูปแบบของผลิตภัณฑ์

การตรวจสอบรูปแบบของหน่วยตัวอย่างจะต้องทำตามวิธีปฏิบัติดังต่อไปนี้

- 1) เปิดภาชนะบรรจุ และสะเด็ดน้ำจากเนื้อปลา ปฏิบัติตามวิธีปฏิบัติที่ระบุในข้อ 10.2.1.3
- 2) ย้ายเนื้อปลาจากตะแกรงขนาดตา 2.8 mm ลงบนตะแกรงขนาดตา 1.2 cm ที่ทราบน้ำหนักแล้วพร้อมด้วยภาชนะรองรับ
- 3) แยกชิ้นปลาด้วยช้อนปลายแบน โดยระวังไม่ให้ชิ้นปลาแตก ทำให้เนื้อปลาชิ้นขนาดเล็ก หล่นผ่านตะแกรงลงในภาชนะรองรับ
- 4) แยกเนื้อปลาในภาชนะรองรับเป็นปลาชิ้นขนาดเล็ก ปลาชิ้นย่อย หรือส่วนของปลาที่เหลืออยู่ (paste) ชั่งน้ำหนักแต่ละส่วน
- 5) หากบนฉลากระบุว่าเป็น “ปลาชิ้นขนาดกลาง” ให้บันทึกน้ำหนักตะแกรงพร้อมเนื้อปลา แล้วคำนวณน้ำหนักรวมของปลาชิ้นขนาดใหญ่และปลาชิ้นขนาดกลาง โดยลบน้ำหนักตะแกรงเปล่าออก

6) หากบนฉลากระบุว่า เป็น “ปลาขึ้นขนาดใหญ่” ให้แยกปลาขึ้นขนาดกลางออก จากตะแกรงและบันทึกน้ำหนักตะแกรงพร้อมเนื้อปลา แล้วคำนวณน้ำหนักของปลาขึ้นขนาดใหญ่ โดย ลบน้ำหนักตะแกรงเปล่าออก

11. ข้อบกพร่อง

ผลิตภัณฑ์ลักษณะดังต่อไปนี้ถือว่า มีข้อบกพร่อง

11.1 สิ่งแปลกปลอม

สิ่งที่ปะปนมากับตัวอย่างที่ไม่ใช่ชิ้นส่วนของปลา แม้ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค แต่สามารถมองเห็นได้ง่ายโดยวิธีการตรวจพินิจด้วยตาเปล่าหรือวิธีการอื่น รวมทั้งการใช้แว่นขยาย และ สิ่งแปลกปลอมนั้นแสดงให้เห็นถึงการผลิตที่ไม่เป็นไปตามหลักเกณฑ์การปฏิบัติที่ดีในการผลิตและ สุขาภิบาล

11.2 กลิ่นหรือกลิ่นรส

ตัวอย่างมีกลิ่นหรือกลิ่นรสไม่พึงประสงค์ที่คงทนและชัดเจน เนื่องมาจากการเสื่อม คุณภาพ เช่น กลิ่นหืน

11.3 ลักษณะเนื้อ

3.1 เนื้อปลามีลักษณะนิ่มและมากเกินไป ผิดไปจากลักษณะเฉพาะของชนิดและ รูปแบบของผลิตภัณฑ์นั้นๆ

3.2 เนื้อปลามีลักษณะกระด้างมากเกินไป ผิดไปจากลักษณะเฉพาะของชนิดและ รูปแบบของผลิตภัณฑ์นั้นๆ

3.3 เนื้อปลามีลักษณะพรุณคล้ายรังผึ้งในปริมาณที่มากกว่า 5% ของน้ำหนักเนื้อ

11.4 การเปลี่ยนสี

ตัวอย่างมีสีที่เปลี่ยนไปอย่างชัดเจน มากกว่า 5% ของเนื้อปลา ที่บ่งชี้ให้เห็นถึงการเสื่อม คุณภาพหรือการหืนหรือสีที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการเกิดซัลไฟด์ในเนื้อปลา

11.5 สิ่งที่ไม่พึงประสงค์

ตัวอย่างมีผลึกใสของ struvite (magnesium ammonium phosphate crystal) ขนาด ยาวมากกว่า 5 mm

12. การยอมรับรุ่นสินค้า

รุ่นสินค้า หมายถึง ปลาทูน่าและโบนิตโตในภาชนะบรรจุปิดสนิทที่มีรูปแบบของผลิตภัณฑ์ ส่วนประกอบและขนาดบรรจุเป็นอย่างเดียวกัน ที่ผลิตหรือส่งมอบในคราวเดียวกัน

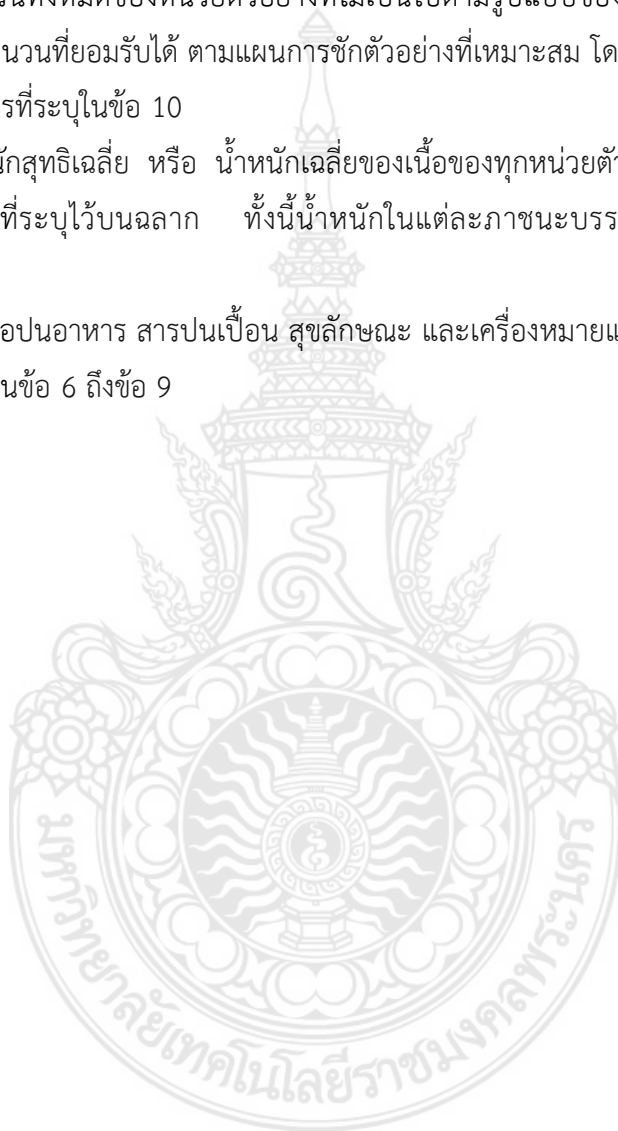
รุ่นสินค้าจะถือว่าเป็นไปตามมาตรฐานฯ นี้ ในกรณีดังต่อไปนี้

12.1 ผลิตภัณฑ์ต้องเป็นไปตามมาตรฐานฯ นี้ เมื่อรุ่นของผลิตภัณฑ์ที่ตรวจสอบเป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับข้อกำหนดเรื่องข้อบกพร่องในข้อ 11 ตามแผนการซักร้อยอย่างที่เหมาะสม โดยผลิตภัณฑ์จะต้องผ่านการทดสอบตามวิธีการที่ระบุในข้อ 10

12.2 จำนวนทั้งหมดของหน่วยตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามรูปแบบของผลิตภัณฑ์ตามที่ระบุในข้อ 3.3 ต้องไม่เกินจำนวนที่ยอมรับได้ ตามแผนการซักร้อยอย่างที่เหมาะสม โดยผลิตภัณฑ์จะต้องผ่านการทดสอบตามวิธีการที่ระบุในข้อ 10

12.3 น้ำหนักสุทธิเฉลี่ย หรือ น้ำหนักเฉลี่ยของเนื้อของทุกหน่วยตัวอย่างที่ทดสอบ จะต้องไม่น้อยกว่าน้ำหนักที่ระบุไว้บนฉลาก ทั้งนี้ น้ำหนักในแต่ละภาชนะบรรจุจะต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุจนเกินไป

12.4 วัตถุเจือปนอาหาร สารปนเปื้อน สุขลักษณะ และเครื่องหมายและฉลากจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุในข้อ 6 ถึงข้อ 9



ภาคผนวก ง

กลุ่มตัวอย่างทดลองทางสถิติ

ตาราง 1 กลุ่มตัวอย่างการทดลองของการปรับปรุงครั้งที่ 1

การทดลองที่	น้ำหนักตัวอย่าง (kg)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ กึ่งกลางและผิวปลา (°C)	ร้อยละเนื้อปลา	ร้อยละเลือดปลา
1	5.48	3	46.62	6.32
2	6.12	2	46.94	6.41
3	6.41	2	45.82	5.79
4	5.72	2	45.94	6.49
5	5.46	3	45.96	6.87
6	5.49	2	46.13	6.53
7	5.14	3	47.44	7.10
8	6.00	3	47.62	6.96
9	5.41	2	46.48	7.82
10	5.92	3	46.44	7.46
11	5.16	2	46.84	6.94
12	6.44	2	47.13	7.83
13	6.21	3	46.39	7.48
14	5.49	3	46.49	6.92
15	5.82	2	46.93	6.84
16	5.53	2	46.62	7.46
17	5.49	2	46.48	7.94
18	5.82	3	46.64	7.82
19	6.14	3	45.94	6.94
20	5.16	3	46.62	6.43
21	6.42	2	45.89	7.14
22	5.49	2	46.54	7.14

ตาราง 1 กลุ่มตัวอย่างการทดลองของการปรับปรุงครั้งที่ 1 (ต่อ)

การทดลองที่	น้ำหนักตัวอย่าง (kg)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ กึ่งกลางและผิวปลา (°C)	ร้อยละเนื้อปลา	ร้อยละเลือดปลา
23	5.82	2	46.14	6.49
24	6.10	3	46.99	7.53
25	6.42	3	46.42	7.62
26	5.41	3	46.44	7.11
27	5.64	2	46.62	6.98
28	5.89	2	46.13	7.42
29	5.33	3	45.96	6.44
30	5.46	3	46.49	7.46
31	5.69	3	47.28	7.82
32	5.49	2	47.49	6.99

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติในด้านของความแตกต่างของอุณหภูมิที่บริเวณจุดกึ่งกลางตัวปลา และบริเวณผิวปลาหน้าหลังการละลาย โดยใช้ไฟฟ้าสถิตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า

χ^2 วิฤตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่าเท่ากับ 52.19

$$\begin{aligned}
 \chi^2 &= \sum^k (O_i - E_i)^2 / E_i \\
 &= (3-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + \\
 &\quad (2-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + \\
 &\quad (2-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + \\
 &\quad (2-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + \\
 &\quad (2-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + \\
 &\quad (3-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + \\
 &\quad (3-12)^2/12 + (2-12)^2/12 \\
 &= 6.79 + 8.33 + 8.33 + 8.33 + 6.79 + 8.33 + 6.79 + 6.79 + 8.33 + \\
 &\quad 6.79 + 8.33 + 8.33 + 6.79 + 6.79 + 8.33 + 8.33 + 8.33 + 6.79 + \\
 &\quad 6.79 + 6.79 + 8.33 + 8.33 + 8.33 + 6.79 + 6.79 + 6.79 + 8.33 + \\
 &\quad 8.33 + 6.79 + 6.79 + 6.79 + 8.33 \\
 &= 241.92
 \end{aligned}$$

$$X^2 > X^2 \text{วิกฤต เพราะฉะนั้น } 241.92 > 52.19$$

สรุป ปฏิเสธ H_0 คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาและผิวปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำไม่เท่ากับความแตกต่างของอุณหภูมิแกนกลางตัวปลาและผิวปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติในด้านของร้อยละเนื้อปลาทูน่าโดยใช้ไฟฟ้าสถิตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า

$$X^2 \text{วิกฤตที่ระดับนัยสำคัญ } 0.01 \text{ มีค่าเท่ากับ } 52.19$$

$$X^2 = \sum^k (O_i - E_i)^2 / E_i$$

$$\begin{aligned} &= (46.62-42.39)^2/42.39 + (46.94-42.39)^2/42.39 + (45.82-42.39)^2/42.39 + \\ & (45.94-42.39)^2/42.39 + (45.96-42.39)^2/42.39 + (46.13-42.39)^2/42.39 + \\ & (47.44-42.39)^2/42.39 + (47.62-42.39)^2/42.39 + (46.48-42.39)^2/42.39 + \\ & (46.44-42.39)^2/42.39 + (46.84-42.39)^2/42.39 + (47.13-42.39)^2/42.39 + \\ & (46.39-42.39)^2/42.39 + (46.49-42.39)^2/42.39 + (46.93-42.39)^2/42.39 + \\ & (46.62-42.39)^2/42.39 + (46.48-42.39)^2/42.39 + (46.64-42.39)^2/42.39 + \\ & (45.94-42.39)^2/42.39 + (46.32-42.39)^2/42.39 + (45.89-42.39)^2/42.39 + \\ & (46.54-42.39)^2/42.39 + (46.14-42.39)^2/42.39 + (46.99-42.39)^2/42.39 + \\ & (46.42-42.39)^2/42.39 + (46.44-42.39)^2/42.39 + (46.62-42.39)^2/42.39 + \\ & (46.13-42.39)^2/42.39 + (45.96-42.39)^2/42.39 + (46.49-42.39)^2/42.39 + \\ & (47.28-42.39)^2/42.39 + (47.49-42.39)^2/42.39 \\ &= 0.42 + 0.49 + 0.28 + 0.30 + 0.30 + 0.33 + 0.60 + 0.65 + 0.39 + \\ & 0.39 + 0.47 + 0.53 + 0.38 + 0.40 + 0.49 + 0.42 + 0.39 + 0.43 + \\ & 0.30 + 0.42 + 0.30 + 0.41 + 0.31 + 0.50 + 0.38 + 0.39 + 0.42 + \\ & 0.33 + 0.30 + 0.40 + 0.56 + 0.61 \\ &= 13.29 \end{aligned}$$

$$X^2 < X^2 \text{วิกฤต เพราะฉะนั้น } 13.29 < 52.19$$

สรุป ยอมรับ H_0 คือ ร้อยละเนื้อปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำเท่ากับร้อยละเนื้อปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติในด้านของร้อยละเลือดของปลาทูน่าโดยใช้ไฟฟ้าสถิตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า

$$X^2 \text{วิกฤตที่ระดับนัยสำคัญ } 0.01 \text{ มีค่าเท่ากับ } 52.19$$

$$X^2 = \sum^k (O_i - E_i)^2 / E_i$$

$$\begin{aligned}
&= (6.32-3.70)^2/3.70 + (6.41-3.70)^2/3.70 + (5.79-3.70)^2/3.70 + \\
&\quad (6.49-3.70)^2/3.70 + (6.87-3.70)^2/3.70 + (6.53-3.70)^2/3.70 + \\
&\quad (7.10-3.70)^2/3.70 + (6.96-3.70)^2/3.70 + (7.82-3.70)^2/3.70 + \\
&\quad (7.46-3.70)^2/3.70 + (6.94-3.70)^2/3.70 + (7.83-3.70)^2/3.70 + \\
&\quad (7.48-3.70)^2/3.70 + (6.92-3.70)^2/3.70 + (6.84-3.70)^2/3.70 + \\
&\quad (7.46-3.70)^2/3.70 + (7.94-3.70)^2/3.70 + (7.82-3.70)^2/3.70 + \\
&\quad (6.94-3.70)^2/3.70 + (6.43-3.70)^2/3.70 + (7.14-3.70)^2/3.70 + \\
&\quad (7.14-3.70)^2/3.70 + (6.49-3.70)^2/3.70 + (7.53-3.70)^2/3.70 + \\
&\quad (7.62-3.70)^2/3.70 + (7.11-3.70)^2/3.70 + (6.98-3.70)^2/3.70 + \\
&\quad (7.42-3.70)^2/3.70 + (6.44-3.70)^2/3.70 + (7.46-3.70)^2/3.70 + \\
&\quad (7.82-3.70)^2/3.70 + (6.99-3.70)^2/3.70 \\
&= 1.86 + 1.98 + 1.18 + 2.10 + 2.72 + 2.16 + 3.12 + 2.87 + 4.59 + \\
&\quad 3.82 + 2.84 + 4.61 + 3.86 + 1.86 + 2.66 + 3.82 + 4.86 + 4.59 + \\
&\quad 2.84 + 2.01 + 3.20 + 3.20 + 2.10 + 3.96 + 4.15 + 3.29 + 2.91 + \\
&\quad 3.74 + 2.03 + 3.82 + 4.59 + 2.93 \\
&= 100.27
\end{aligned}$$

$$X^2 > X^2_{วิกฤต} \text{ เพราะฉะนั้น } 100.27 > 52.19$$

สรุป ยอมรับ H_0 คือ ร้อยละเลือดปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำไม่เท่ากับร้อยละเลือดปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

ตาราง 2 กลุ่มตัวอย่างการทดลองของการปรับปรุงครั้งที่ 2

การทดลองที่	น้ำหนักตัวอย่าง (kg)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ กึ่งกลางและผิวปลา ($^{\circ}\text{C}$)	ร้อยละเนื้อปลา	ร้อยละเลือดปลา
1	5.67	3	46.86	7.12
2	5.89	2	46.12	7.24
3	6.24	2	46.44	6.79
4	5.64	2	45.92	6.92
5	6.22	3	46.68	7.16
6	5.49	2	46.14	7.84
7	6.41	2	46.69	6.92
8	6.69	2	46.66	7.41
9	5.82	3	46.14	7.52
10	5.32	3	46.49	7.62
11	5.46	2	46.87	5.84
12	5.14	2	46.82	6.92
13	6.19	3	46.66	7.44
14	6.43	3	47.42	7.61
15	5.92	4	46.94	7.20
16	5.84	3	46.87	5.99
17	6.14	4	45.92	6.48
18	5.84	4	46.16	6.94
19	6.62	2	47.41	7.41
20	5.49	4	46.43	7.24
21	5.64	4	46.10	7.44
22	5.55	3	46.14	7.14
23	5.78	2	46.62	6.49
24	6.41	4	46.66	6.59
26	5.79	3	46.92	7.56
27	7.12	4	47.18	7.82
28	6.92	4	47.46	7.22

ตาราง 2 กลุ่มตัวอย่างการทดลองของการปรับปรุงครั้งที่ 2 (ต่อ)

การทดลองที่	น้ำหนักตัวอย่าง (kg)	ความแตกต่างของอุณหภูมิที่กึ่งกลางและผิวปลา ($^{\circ}\text{C}$)	ร้อยละเนื้อมีปลา	ร้อยละเลือดปลา
29	5.46	2	46.82	6.89
30	5.68	3	47.14	7.21
31	5.89	4	46.72	7.71
32	5.44	3	47.10	6.88

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติในด้านของความแตกต่างของอุณหภูมิที่บริเวณจุดกึ่งกลางตัวปลาและบริเวณผิวปลาหน้าหลังการละลาย โดยใช้ไฟฟ้าสถิตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า

χ^2 วิฤตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่าเท่ากับ 52.19

$$\begin{aligned} \chi^2 &= \sum^k (O_i - E_i)^2 / E_i \\ &= (3-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + \\ &\quad (2-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + \\ &\quad (2-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + (4-12)^2/12 + \\ &\quad (3-12)^2/12 + (4-12)^2/12 + (4-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (4-12)^2/12 + \\ &\quad (4-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (4-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + \\ &\quad (3-12)^2/12 + (4-12)^2/12 + (4-12)^2/12 + (4-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + \\ &\quad (4-12)^2/12 + (3-12)^2/12 \\ &= 6.79 + 8.33 + 8.33 + 8.33 + 6.79 + 8.33 + 8.33 + 8.33 + 6.79 + \\ &\quad 6.79 + 8.33 + 8.33 + 6.79 + 6.79 + 5.33 + 6.79 + 5.33 + 5.33 + \\ &\quad 8.33 + 5.33 + 5.33 + 6.79 + 8.33 + 5.33 + 6.79 + 6.79 + 5.33 + \\ &\quad 5.33 + 8.33 + 6.79 + 5.33 + 6.79 \\ &= 221.08 \end{aligned}$$

$\chi^2 > \chi^2$ วิฤต เพราะฉะนั้น $221.08 > 52.19$

สรุป ปฏิเสธ H_0 คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาและผิวปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำไม่เท่ากับความแตกต่างของอุณหภูมิแกนกลางตัวปลาและผิวปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติในด้านของร้อยละเนื้อมีปลาหน้าโดยใช้ไฟฟ้าสถิตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า

X^2 วิกฤตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่าเท่ากับ 52.19

$$X^2 = \sum^k (O_i - E_i)^2 / E_i$$

$$\begin{aligned}
 &= (46.86-42.39)^2/42.39 + (46.12-42.39)^2/42.39 + (46.44-42.39)^2/42.39 + \\
 &\quad (45.92-42.39)^2/42.39 + (46.68-42.39)^2/42.39 + (46.14-42.39)^2/42.39 + \\
 &\quad (46.69-42.39)^2/42.39 + (46.66-42.39)^2/42.39 + (46.14-42.39)^2/42.39 + \\
 &\quad (46.49-42.39)^2/42.39 + (46.87-42.39)^2/42.39 + (46.82-42.39)^2/42.39 + \\
 &\quad (46.66-42.39)^2/42.39 + (47.42-42.39)^2/42.39 + (46.94-42.39)^2/42.39 + \\
 &\quad (46.87-42.39)^2/42.39 + (45.92-42.39)^2/42.39 + (46.16-42.39)^2/42.39 + \\
 &\quad (47.41-42.39)^2/42.39 + (46.43-42.39)^2/42.39 + (46.10-42.39)^2/42.39 + \\
 &\quad (46.14-42.39)^2/42.39 + (46.62-42.39)^2/42.39 + (46.66-42.39)^2/42.39 + \\
 &\quad (47.14-42.39)^2/42.39 + (46.92-42.39)^2/42.39 + (47.18-42.39)^2/42.39 + \\
 &\quad (47.46-42.39)^2/42.39 + (46.82-42.39)^2/42.39 + (47.14-42.39)^2/42.39 + \\
 &\quad (46.72-42.39)^2/42.39 + (47.10-42.39)^2/42.39 \\
 &= 0.47 + 0.33 + 0.39 + 0.29 + 0.43 + 0.33 + 0.44 + 0.43 + 0.33 + \\
 &\quad 0.40 + 0.47 + 0.46 + 0.43 + 0.60 + 0.50 + 0.47 + 0.30 + 0.34 + \\
 &\quad 0.59 + 0.39 + 0.32 + 0.33 + 0.42 + 0.43 + 0.53 + 0.48 + 0.54 + \\
 &\quad 0.61 + 0.46 + 0.53 + 0.44 + 0.52 \\
 &= 14.00
 \end{aligned}$$

$$X^2 < X^2 \text{ วิกฤต เพราะฉะนั้น } 14.00 < 52.19$$

สรุป ยอมรับ H_0 คือ ร้อยละเนื้อปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำเท่ากับร้อยละเนื้อปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติในด้านของร้อยละเลือดของปลาทูน่าโดยใช้ไฟฟ้าสถิตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า

X^2 วิกฤตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่าเท่ากับ 52.19

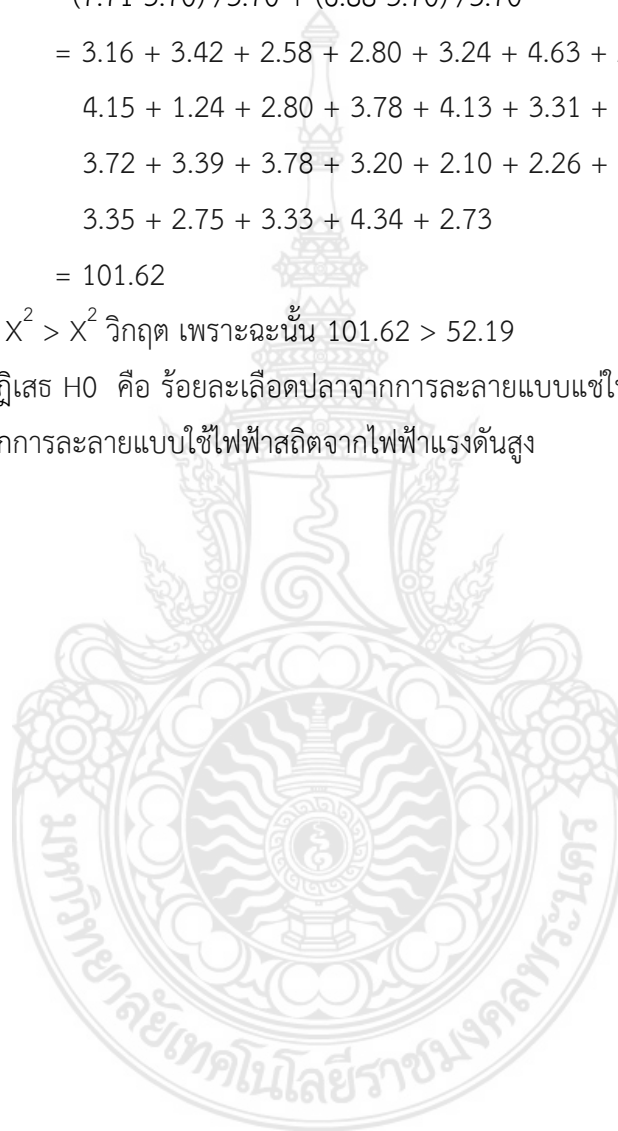
$$X^2 = \sum^k (O_i - E_i)^2 / E_i$$

$$\begin{aligned}
 &= (7.12-3.70)^2/3.70 + (7.24-3.70)^2/3.70 + (6.79-3.70)^2/3.70 + \\
 &\quad (6.92-3.70)^2/3.70 + (7.16-3.70)^2/3.70 + (7.84-3.70)^2/3.70 + \\
 &\quad (6.92-3.70)^2/3.70 + (7.41-3.70)^2/3.70 + (7.52-3.70)^2/3.70 + \\
 &\quad (7.62-3.70)^2/3.70 + (5.84-3.70)^2/3.70 + (6.92-3.70)^2/3.70 + \\
 &\quad (7.44-3.70)^2/3.70 + (7.61-3.70)^2/3.70 + (7.20-3.70)^2/3.70 + \\
 &\quad (5.99-3.70)^2/3.70 + (6.48-3.70)^2/3.70 + (6.94-3.70)^2/3.70 +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (7.41-3.70)^2/3.70 + (7.24-3.70)^2/3.70 + (7.44-3.70)^2/3.70 + \\
& (7.14-3.70)^2/3.70 + (6.49-3.70)^2/3.70 + (6.59-3.70)^2/3.70 + \\
& (6.42-3.70)^2/3.70 + (7.56-3.70)^2/3.70 + (7.82-3.70)^2/3.70 + \\
& (7.22-3.70)^2/3.70 + (6.89-3.70)^2/3.70 + (7.21-3.70)^2/3.70 + \\
& (7.71-3.70)^2/3.70 + (6.88-3.70)^2/3.70 \\
& = 3.16 + 3.42 + 2.58 + 2.80 + 3.24 + 4.63 + 2.80 + 3.72 + 3.94 + \\
& 4.15 + 1.24 + 2.80 + 3.78 + 4.13 + 3.31 + 1.42 + 2.09 + 2.84 + \\
& 3.72 + 3.39 + 3.78 + 3.20 + 2.10 + 2.26 + 2.00 + 4.03 + 4.59 + \\
& 3.35 + 2.75 + 3.33 + 4.34 + 2.73 \\
& = 101.62
\end{aligned}$$

$X^2 > X^2$ วิกฤต เพราะฉะนั้น $101.62 > 52.19$

สรุป ปฏิเสธ H_0 คือ ร้อยละเลือดปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำไม่เท่ากับร้อยละเลือดปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง



ตาราง 3 กลุ่มตัวอย่างการทดลองของการปรับปรุงครั้งที่ 3

การทดลองที่	น้ำหนักตัวอย่าง (kg)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ กึ่งกลางและผิวปลา (°C)	ร้อยละเนื้ปลา	ร้อยละเลือดปลา
1	6.12	4	46.78	7.48
2	6.42	4	46.12	6.64
3	5.71	2	46.26	7.32
4	6.41	3	46.82	7.41
5	5.78	3	46.79	7.64
6	5.42	2	46.14	6.16
7	5.64	4	45.92	6.62
8	6.19	3	45.46	6.43
9	5.44	3	46.81	7.12
10	6.22	4	46.92	6.64
11	5.71	4	46.72	7.71
12	5.64	3	46.62	7.12
13	5.93	2	46.71	6.82
14	5.90	2	46.82	6.91
15	6.10	4	47.17	6.16
16	6.24	3	47.22	7.24
17	5.77	4	46.77	6.43
18	6.72	2	46.17	7.48
19	6.19	4	46.34	6.92
20	6.44	4	46.82	7.42
21	5.46	3	46.71	7.16
22	5.69	3	46.24	6.62
23	5.82	4	46.34	7.14
24	5.54	2	46.79	6.49
25	5.94	4	46.86	6.92
26	5.49	4	46.72	7.24
27	6.19	2	47.17	6.82

ตาราง 3 กลุ่มตัวอย่างการทดลองของการปรับปรุงครั้งที่ 3 (ต่อ)

การทดลองที่	น้ำหนักตัวอย่าง (kg)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ กึ่งกลางและผิวปลา (°C)	ร้อยละเนื้อปลา	ร้อยละ เลือดปลา
28	6.49	3	47.24	6.92
29	5.24	4	46.86	6.16
30	5.41	4	46.24	6.49
31	5.55	3	46.24	6.99
32	6.42	3	46.32	6.44

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติในด้านของความแตกต่างของอุณหภูมิที่บริเวณจุดกึ่งกลางตัวปลา และบริเวณผิวปลาพุน้ำหลังการละลาย โดยใช้ไฟฟ้าสถิตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า

X^2 วิกฤตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่าเท่ากับ 52.19

$$X^2 = \sum^k (O_i - E_i)^2 / E_i$$

$$= (4-12)^2/12 + (4-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (4-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + (4-12)^2/12 + (4-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (4-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + (4-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (4-12)^2/12 + (4-12)^2/12 + (4-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + (4-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (4-12)^2/12 + (4-12)^2/12 + (2-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + (4-12)^2/12 + (4-12)^2/12 + (3-12)^2/12 + (3-12)^2/12$$

$$= 5.33 + 5.33 + 8.33 + 6.79 + 6.79 + 8.33 + 5.33 + 6.79 + 6.79 + 5.33 + 5.33 + 6.79 + 8.33 + 8.33 + 6.79 + 6.79 + 5.33 + 8.33 + 6.79 + 6.79 + 6.79 + 6.79 + 5.33 + 8.33 + 6.79 + 5.33 + 8.33 + 6.79 + 5.33 + 5.33 + 6.79 + 6.79$$

$$= 207.62$$

$$X^2 > X^2 \text{ วิกฤต เพราะฉะนั้น } 207.62 > 52.19$$

สรุป ปฏิเสธ H_0 คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิจุดกึ่งกลางตัวปลาและผิวปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำไม่เท่ากับความแตกต่างของอุณหภูมิแกนกลางตัวปลาและผิวปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติในด้านของร้อยละเนื้อปลาพุน้ำโดยใช้ไฟฟ้าสถิตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า

X^2 วิกฤตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่าเท่ากับ 52.19

$$\begin{aligned}
 X^2 &= \sum^k (O_i - E_i)^2 / E_i \\
 &= (46.78-42.39)^2/42.39 + (46.12-42.39)^2/42.39 + (46.26-42.39)^2/42.39 + \\
 &\quad (46.82-42.39)^2/42.39 + (46.79-42.39)^2/42.39 + (46.14-42.39)^2/42.39 + \\
 &\quad (45.92-42.39)^2/42.39 + (45.46-42.39)^2/42.39 + (46.81-42.39)^2/42.39 + \\
 &\quad (46.92-42.39)^2/42.39 + (46.72-42.39)^2/42.39 + (46.62-42.39)^2/42.39 + \\
 &\quad (46.71-42.39)^2/42.39 + (46.82-42.39)^2/42.39 + (47.17-42.39)^2/42.39 + \\
 &\quad (47.22-42.39)^2/42.39 + (46.77-42.39)^2/42.39 + (46.17-42.39)^2/42.39 + \\
 &\quad (46.34-42.39)^2/42.39 + (46.82-62.39)^2/42.39 + (46.71-42.39)^2/42.39 + \\
 &\quad (46.24-42.39)^2/42.39 + (46.34-42.39)^2/42.39 + (46.79-42.39)^2/42.39 + \\
 &\quad (46.86-42.39)^2/42.39 + (46.72-42.39)^2/42.39 + (47.17-42.39)^2/42.39 + \\
 &\quad (47.24-42.39)^2/42.39 + (46.86-42.39)^2/42.39 + (46.24-42.39)^2/42.39 + \\
 &\quad (46.24-42.39)^2/42.39 + (46.32-42.39)^2/42.39 \\
 &= 0.45 + 0.33 + 0.35 + 0.46 + 0.45 + 0.33 + 0.29 + 0.22 + 0.46 + \\
 &\quad 0.48 + 0.44 + 0.42 + 0.44 + 0.46 + 0.54 + 0.55 + 0.45 + 0.38 + \\
 &\quad 0.37 + 0.46 + 0.44 + 0.44 + 0.37 + 0.46 + 0.47 + 0.44 + 0.54 + \\
 &\quad 0.55 + 0.47 + 0.35 + 0.35 + 0.36 \\
 &= 13.57
 \end{aligned}$$

$$X^2 < X^2 \text{ วิกฤต เพราะฉะนั้น } 13.57 < 52.19$$

สรุป ยอมรับ H_0 คือ ร้อยละเนื้อปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำเท่ากับร้อยละเนื้อปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติในด้านของร้อยละเลือดของปลาทูน่าโดยใช้ไฟฟ้าสถิตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า

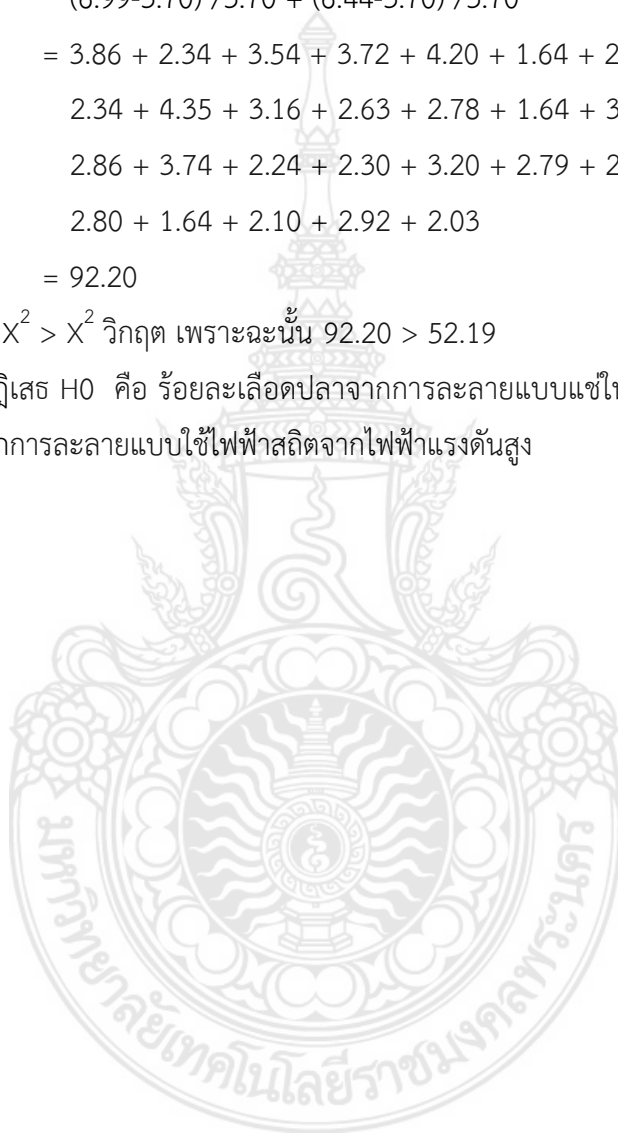
X^2 วิกฤตที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่าเท่ากับ 52.19

$$\begin{aligned}
 X^2 &= \sum^k (O_i - E_i)^2 / E_i \\
 &= (7.48-3.70)^2/3.70 + (6.64-3.70)^2/3.70 + (7.32-3.70)^2/3.70 + \\
 &\quad (7.41-3.70)^2/3.70 + (7.64-3.70)^2/3.70 + (6.16-3.70)^2/3.70 + \\
 &\quad (6.62-3.70)^2/3.70 + (6.43-3.70)^2/3.70 + (7.12-3.70)^2/3.70 + \\
 &\quad (6.64-3.70)^2/3.70 + (7.71-3.70)^2/3.70 + (7.12-3.70)^2/3.70 + \\
 &\quad (6.82-3.70)^2/3.70 + (6.91-3.70)^2/3.70 + (6.16-3.70)^2/3.70 + \\
 &\quad (7.24-3.70)^2/3.70 + (6.43-3.70)^2/3.70 + (7.48-3.70)^2/3.70 +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (6.92-3.70)^2/3.70 + (7.42-3.70)^2/3.70 + (7.16-3.70)^2/3.70 + \\
& (6.62-3.70)^2/3.70 + (7.14-3.70)^2/3.70 + (6.49-3.70)^2/3.70 + \\
& (6.92-3.70)^2/3.70 + (7.24-3.70)^2/3.70 + (6.82-3.70)^2/3.70 + \\
& (6.92-3.70)^2/3.70 + (6.16-3.70)^2/3.70 + (6.49-3.70)^2/3.70 + \\
& (6.99-3.70)^2/3.70 + (6.44-3.70)^2/3.70 \\
& = 3.86 + 2.34 + 3.54 + 3.72 + 4.20 + 1.64 + 2.30 + 2.75 + 3.16 + \\
& 2.34 + 4.35 + 3.16 + 2.63 + 2.78 + 1.64 + 3.39 + 2.01 + 3.86 + \\
& 2.86 + 3.74 + 2.24 + 2.30 + 3.20 + 2.79 + 2.80 + 3.39 + 2.63 + \\
& 2.80 + 1.64 + 2.10 + 2.92 + 2.03 \\
& = 92.20
\end{aligned}$$

$X^2 > X^2$ วิกฤต เพราะฉะนั้น $92.20 > 52.19$

สรุป ปฏิเสธ H_0 คือ ร้อยละเลือดปลาจากการละลายแบบแช่ในบ่อพักน้ำไม่เท่ากับร้อยละเลือดปลาจากการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง



V	α									
	0.995	0.99	0.975	0.95	0.9	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.0393	0.0257	0.01982	0.01393	0.016	2.706	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.010	0.020	0.051	0.103	0.211	4.605	5.991	7.378	9.210	10.597
3	0.072	0.115	0.216	0.352	0.584	6.251	7.815	9.348	11.345	12.838
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.064	7.779	9.488	11.143	13.277	14.860
5	0.412	0.554	0.831	1.145	1.610	9.236	11.070	12.833	15.086	16.750
6	0.676	0.872	1.237	1.635	2.204	10.645	12.592	14.449	16.812	18.548
7	0.989	1.239	1.690	2.167	2.833	12.017	14.067	16.013	18.475	20.278
8	1.344	1.646	2.180	2.733	3.490	13.362	15.507	17.535	20.090	21.955
9	1.735	2.088	2.700	3.325	4.168	14.684	16.919	19.023	21.666	23.589
10	2.156	2.558	3.247	3.940	4.865	15.987	18.307	20.483	23.209	25.188
11	2.603	3.053	3.816	4.575	5.578	17.275	19.675	21.920	24.725	26.757
12	3.074	3.571	4.404	5.226	6.304	18.549	21.026	23.337	26.217	28.300
13	3.565	4.107	5.009	5.892	7.042	19.812	22.362	24.736	27.688	29.819
14	4.075	4.660	5.629	6.571	7.790	21.064	23.685	26.119	29.141	31.319
15	4.601	5.229	6.262	7.261	8.547	22.307	24.996	27.488	30.578	32.801
16	5.142	5.812	6.908	7.962	9.312	23.542	26.296	28.845	32.000	34.267
17	5.697	6.408	7.564	8.672	10.085	24.769	27.587	30.191	33.409	35.718
18	6.265	7.015	8.231	9.390	10.865	25.989	28.869	31.526	34.805	37.156
19	6.844	7.633	8.907	10.117	11.651	27.204	30.144	32.852	36.191	38.582
20	7.434	8.260	9.591	10.851	12.443	28.412	31.410	34.170	37.566	39.997
21	8.034	8.897	10.283	11.591	13.240	29.615	32.671	35.479	38.932	41.401
22	8.643	9.542	10.982	12.338	14.041	30.813	33.924	36.781	40.289	42.796
23	9.260	10.196	11.689	13.091	14.848	32.007	35.172	38.076	41.638	44.181
24	9.886	10.856	12.401	13.848	15.659	33.196	36.415	39.364	42.980	45.559
25	10.520	11.524	13.120	14.611	16.473	34.382	37.652	40.646	44.314	46.928
26	11.160	12.198	13.844	15.379	17.292	35.563	38.885	41.923	45.642	48.290
27	11.808	12.879	14.573	16.151	18.114	36.741	40.113	43.195	46.963	49.645
28	12.461	13.565	15.308	16.928	18.939	37.916	41.337	44.461	48.278	50.993
29	13.121	14.256	16.047	17.708	19.768	39.087	42.557	45.722	49.588	52.336
30	13.787	14.953	16.791	18.493	20.599	40.256	43.773	46.979	50.892	53.672
31	14.458	15.655	17.539	19.281	21.434	41.422	44.985	48.232	52.191	55.003
32	15.134	16.362	18.291	20.072	22.271	42.585	46.194	49.480	53.486	56.328
33	15.815	17.074	19.047	20.867	23.110	43.745	47.400	50.725	54.776	57.648
34	16.501	17.789	19.806	21.664	23.952	44.903	48.602	51.966	56.061	58.964
35	17.192	18.509	20.569	22.465	24.797	46.059	49.802	53.203	57.342	60.275
36	17.887	19.233	21.336	23.269	25.643	47.212	50.998	54.437	58.619	61.581
37	18.586	19.960	22.106	24.075	26.492	48.363	52.192	55.668	59.892	62.883
38	19.289	20.691	22.878	24.884	27.343	49.513	53.384	56.896	61.162	64.181
39	19.996	21.426	23.654	25.695	28.196	50.660	54.572	58.120	62.428	65.476
40	20.707	22.164	24.433	26.509	29.051	51.805	55.758	59.342	63.691	66.766

ภาคผนวก ง-1 ตารางไคสแควร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นามสกุล นางสาวชนนิกานต์ เกื้อทาน
 วัน เดือน ปีเกิด 14 พฤษภาคม 2536
 ภูมิลำเนา เลขที่ 184 หมู่ 3 ตำบลเชียงใน อำเภอเชียงใน จังหวัดอุบลราชธานี 34150
 ที่อยู่ปัจจุบัน เลขที่ 52/172 หมู่บ้านพฤษภา 42 ซอย 12 ถนนเอกชัย ตำบลนาดี อำเภอเมือง
 จังหวัดสมุทรสาคร 74000
 โทรศัพท์มือถือ 0639458944, 096-8036281
 E-mail Chonnigan_14@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
มัธยมศึกษาปีที่ 4-6	โรงเรียนเบ็ญจะมะมหาราช	2551-2553
ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ	2554-2557
ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	กำลังศึกษา

ประวัติการทำงาน

ปีพุทธศักราช	ตำแหน่ง	บริษัท/ลักษณะงาน
มิถุนายน 2558 - กรกฎาคม 2559	Production Supervisor	R.S. Cannery Co., Ltd.
สิงหาคม 2559 - ปัจจุบัน	Production Supervisor	Golden Priced Canning Co., Ltd.

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

Production Supervisor ที่บริษัท โกลเด้นไพร์สแคนนิ่ง จำกัด เลขที่ 55/4 หมู่ที่ 3 ถนน
 โคกขาม ตำบลบางหญ้าแพรก อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร รหัสไปรษณีย์ 74000