

ผลของการละลายปลาทูน่าด้วยน้ำต่อปริมาณเกลือ
EFFECT OF CONVECTIVE THAWING ON DESALTING OF FROZEN TUNA



ปฏิญานีพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

ผลของการละลายปลาทูน่าด้วยน้ำต่อปริมาณเกลือ

EFFECT OF CONVECTIVE THAWING ON DESALTING OF FROZEN TUNA



วราภรณ์ เปียศิริ
อุดมพร โชติรัตนฤทธิ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF CONVECTIVE THAWING
ON DESALTING OF FROZEN TUNA



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF FOOD ENGINEERING
DEPARTMENT OF FOOD ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ผลของการละลายปลาทูน่าด้วยน้ำต่อปริมาณเกลือ

EFFECT OF CONVECTIVE THAWING ON DESALTING OF FROZEN TUNA

ผู้จัดทำ

นางสาววารารณณ์ เปียศิริ รหัสนักศึกษา 52011059

นางสาวอุดมพร โชติรัตน์ฤทธิ รหัสนักศึกษา 52011469



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการ	ผลของการละลายปลาทูน่าด้วยน้ำต่อปริมาณเกลือ	
นักศึกษา	นางสาววรรณีย์ เปี้ยศิริ	รหัสนักศึกษา 52011059
	นางสาวอุดมพร โชติรัตนฤทธิ	รหัสนักศึกษา 52011469
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์	
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร	
ปีการศึกษา	2555	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของการละลายปลาทูน่าแช่แข็งพันธุ์ทองแถบที่สภาวะต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือในปลาทูน่า โดยทำการทดสอบการละลายปลาทูน่าแช่แข็งทั้งตัว จนอุณหภูมิเนื้อติดกระดูกอยู่ระหว่าง 0 ถึง -2 องศาเซลเซียส ในกระบวนการแปรรูปในระดับอุตสาหกรรมและห้องปฏิบัติการ การเก็บตัวอย่างเนื้อเพื่อทดสอบจะแบ่งเนื้อออกเป็น 2 ส่วน คือเนื้อติดผิวและเนื้อติดกระดูก การละลายระดับห้องปฏิบัติการใช้การพาความร้อน 3 วิธี คือ สภาวะน้ำนิ่ง, สภาวะน้ำวนด้วยอัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที และน้ำวนด้วยอัตราการไหล 200 ลิตรต่อนาที ซึ่งการทดลองในระดับอุตสาหกรรม พบว่า การลดลงของปริมาณเกลือไม่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่า การละลายในสภาวะน้ำนิ่ง น้ำวนด้วยอัตราการไหล 30 และ 200 ลิตรต่อนาที มีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนอยู่ในช่วง 15-20 W/m²K, 20-25 W/m²K และ 27-30 W/m²K ตามลำดับ โดยเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเพิ่มขึ้น มีผลให้เวลาละลายและปริมาณเกลือหลังละลายลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งการละลายในสภาวะน้ำวนด้วยอัตราการไหล 200 ลิตรต่อนาที ทำให้ปริมาณเกลือลดลงมากที่สุด จาก 4.94±1.05 เป็น 2.42±1.07 บริเวณเนื้อติดผิวและ 2.46±0.84 เป็น 0.37±0.22 บริเวณเนื้อติดกระดูก โดยลดลงคิดเป็นร้อยละ 51.01 และร้อยละ 84.96 จากปริมาณเกลือเริ่มต้น

Project Title	EFFECT OF CONVECTIVE THAWING ON DESALTING OF FROZEN TUNA		
Student	Miss Waraporn Piasiri	ID : 52011059	
	Miss Udornporn Chotirattanarit	ID : 52011469	
Project Advisor	Asst.Prof.Dr. Pimpen Pornchaloempong		
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Food Engineering		
Academic Year	2012		

Abstract

The objective of this project was to investigate effect of convective thawing on desalting of frozen skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*). The whole fish were thawed from frozen state until their backbone temperature reached 0-(-2) °C in the processing plant of a canned tuna manufacturer. Two positions of fish meat in frozen state and after thawing were sampling: meat near skin and near backbone. In the laboratory scale, 3 thawing methods were used including still water, circulated water with flow rate of 30 liters per minute and circulated water with flow rate of 200 liters per minute. The experimental result in the industrial scale indicated there was not significantly different in salt reduction after thawing. The result from the laboratory scale showed that the convective heat transfer coefficient during thawing for still water, circulated water with flow rate of 30 and 200 liters per minute were 15-20, 20-25, and 27-30 W/m²K. By increasing heat transfer coefficient, the thawing times and percentage of salt reduction were significantly decreased. Thawing with circulated water with flow rate of 200 liters per minute gave the highest reduction of salt concentration from 4.94±1.05 to 2.42±1.07 at near skin position and 2.46±0.84 to 0.37±0.22 at near backbone position which are 51.01 and 84.96 percent reduction from initial salt concentrations.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำความเมตตาช่วยเหลือ ให้การสนับสนุนการทำรูปเล่ม ตลอดจนการตรวจสอบรายงานและเทคนิคการนำเสนอรายงาน จนกระทั่งการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ อาจารย์สมักร รักแม่ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษา คำแนะนำ การแก้ปัญหาต่างๆ ในการปฏิบัติการทดลองตลอดการดำเนินโครงการ

ขอขอบคุณ บริษัท ไทยยูเนี่ยน โฟรเซน โปรดักส์ จำกัด (มหาชน) และบริษัท ไทยรวมสินพัฒนาอุตสาหกรรม จำกัด ที่เปิดโอกาสให้ศึกษากระบวนการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง การวิเคราะห์ปริมาณเกลือ รวมถึงให้ความอนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์ และตัวอย่างปลาทูน่าแช่แข็งพันธุ์ท้องแถบที่ใช้ในการทดลองตลอดการดำเนินโครงการ

ขอขอบคุณ คุณนิธิ นิกรปรณ์ ผู้ช่วยผู้จัดการทั่วไป และ คุณสุธิดา ทรัพย์ช่วงโชติ ผู้จัดการฝ่ายพัฒนากระบวนการผลิต ของบริษัท ไทยยูเนี่ยน โฟรเซน โปรดักส์ จำกัด (มหาชน) ที่ได้เสียสละเวลา มาดูแล ควบคุม ในการปฏิบัติการทดลองและช่วยติดต่อประสานงานกับทางบริษัท รวมถึงให้ คำปรึกษา คำแนะนำ การแก้ไขปัญหาต่างๆ และการเตรียมตัวอย่าง อุปกรณ์ สถานที่ที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ รศ.ดร.ปิติเขต สุรักษา อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมสารสนเทศ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ในเรื่องทฤษฎีอลวนที่ใช้ในการทดลองในขั้นตอนละลายปลาทูน่างานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ อาจารย์เชื้อ นกอยู่ อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมการวัดคุม ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ในการพัฒนาปรับปรุงชุดทดลองตลอดการดำเนินการ จนกระทั่งการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ รศ.ดร. ปานมนัส ศิริสมบุรณ์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองตลอดการดำเนินโครงการ

ขอขอบคุณ คุณอำนาจ คุตะคุ ที่ให้ความช่วยเหลือในการขนถ่ายปลาทูน่าจากบริษัท ไทยยูเนี่ยน โฟรเซน โปรดักส์ จำกัด (มหาชน) รวมถึงอุปกรณ์ต่างๆ และคำแนะนำในการติดตั้งระบบไฟฟ้าของชุด อุปกรณ์ทดลอง คุณวรารักษ์ มาไพศาลทรัพย์ นักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการ ที่ช่วยเตรียม อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ พ่อ แม่และทุกคนในครอบครัวที่ให้โอกาสได้ศึกษาเล่าเรียนและให้กำลังใจทรงพร กำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมา

ขอขอบคุณ นายฉัตรวัฒน์ เทศะแพทย์, นายทรงเผ่า กางถิ่น และนายทรงศักดิ์ ภูจิตน้ำ นักศึกษา ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมการวัดคุม ที่ให้ความช่วยเหลือต่างๆ ให้กำลังใจ และช่วยกันพัฒนาปรับปรุงชุดทดลองจนสำเร็จ คุณวสันต์ อินทร์ตา และเพื่อนๆ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร (รุ่นที่ 14) ที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

คณะผู้จัดทำ
นางสาววรารักษ์ เปียศิริ
นางสาวอุดมพร โชติรัตนฤทธิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	3
2.1 ความสำคัญของอุตสาหกรรมการแปรรูปปลาทูน่า	3
2.2 ปลาทูน่า	4
2.3 การแช่แข็งและการเก็บรักษาปลาทูน่า	8
2.4 กระบวนการการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง	9
2.5 การละลาย	11
2.5.1 การละลายอาหารแช่แข็ง	11
2.5.2 ผลกระทบของวิธีการละลายต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร	13
2.6 จุลินทรีย์กับการละลาย	14
2.7 การลดปริมาณเกลือในอาหาร	15
2.7.1 การพาความร้อน	15
2.7.2 การแพร่สัมประสิทธิ์การแพร่	15
บทที่ 3 การศึกษาผลของขนาดและตำแหน่งเนื้อต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือในปลาทูน่า ในระดับอุตสาหกรรม	18
3.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ	18
3.2 ขอบเขตการศึกษา	18
3.3 วิธีการทดลอง	18
3.3.1 ตัวอย่างปลา	19
3.3.2 การละลาย และการนึ่ง	19
3.3.3 การเก็บตัวอย่างเนื้อปลา	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณเกลือในเนื้อปลาทูน่า	22
3.4 ผลและวิจารณ์ผล	23
บทที่ 4 ผลของการละลายปลาทูน่าด้วยน้ำต่อปริมาณเกลือ	30
4.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ	30
4.2 ขอบเขตการศึกษา	30
4.3 วิธีการทดลอง	30
4.3.1 ตัวอย่างปลาทูน่า	30
4.3.2 การเตรียมตัวอย่างปลาทูน่าก่อนการละลาย	31
4.3.2.1 การวัดขนาดและชั่งน้ำหนัก	31
4.3.2.2 การเก็บตัวอย่างเนื้อปลาทูน่าก่อนละลาย	31
4.3.2.3 การเสียบเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิ	33
4.3.3 ชุดอุปกรณ์ละลายปลาทูน่า	34
4.3.4 การทดลองละลายปลา	36
4.3.5 การหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของการละลายโดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง ที่สภาวะต่างกัน	38
4.3.6 การเก็บตัวอย่างเนื้อปลาหลังละลาย	38
4.4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	39
4.4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของการละลายปลาด้วยน้ำ	39
4.4.2 ผลการละลายด้วยน้ำที่สภาวะต่างๆ ต่อปริมาณเกลือ	41
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	50
5.1 สรุปผลการทดลอง	51
5.2 ข้อเสนอแนะ	51
บรรณานุกรม	52
ภาคผนวก	54

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1	
รูปที่ 2.1 ผลิตภัณฑ์ปลาทูน่าแปรรูปจากประเทศไทย	3
รูปที่ 2.2	
รูปที่ 2.2 ภาพจำลองลักษณะของปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบ	5
รูปที่ 2.3	
รูปที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของ Skipjack Tuna 100 grams	5
รูปที่ 2.4	
รูปที่ 2.4 ปริมาณน้ำใน Skipjack Tuna 100 grams	6
รูปที่ 2.5	
รูปที่ 2.5 ปริมาณโปรตีนใน Skipjack Tuna 100 grams	6
รูปที่ 2.6	
รูปที่ 2.6 ปริมาณไขมันใน Skipjack Tuna 100 grams	6
รูปที่ 2.7	
รูปที่ 2.7 ปริมาณแร่ธาตุใน Skipjack Tuna 100 grams	7
รูปที่ 2.8	
รูปที่ 2.8 ปริมาณวิตามินใน Skipjack Tuna 100 grams	7
รูปที่ 2.9	
รูปที่ 2.9 ภาพจำลองเรือที่ใช้วิธีการแช่แข็งแบบจุ่ม	8
รูปที่ 2.10	
รูปที่ 2.10 กระบวนการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง	9
รูปที่ 2.11	
รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Specific enthalpy กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป	12
รูปที่ 2.12	
รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ละลายกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป	12
รูปที่ 2.13	
รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ Specific enthalpy ของอาหารแช่แข็ง	13
รูปที่ 2.14	
รูปที่ 2.14 ปริมาณเกลือที่สภาวะต่างกักับเวลาที่ใช้	16
รูปที่ 3.1	
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลอง	18
รูปที่ 3.2	
รูปที่ 3.2 การเตรียมตัวอย่างปลา	19
รูปที่ 3.3	
รูปที่ 3.3 ภาพจำลองการละลายปลาทูน่าด้วยถังละลายในระดับอุตสาหกรรม	20
รูปที่ 3.4	
รูปที่ 3.4 ภาพจำลองการวัดอุณหภูมิที่ตัวปลาขณะละลาย	20
รูปที่ 3.5	
รูปที่ 3.5 การเก็บตัวอย่างเนื้อปลา	21
รูปที่ 3.6	
รูปที่ 3.6 ตำแหน่งของเนื้อติดผิวและเนื้อติดกระดูก	21
รูปที่ 3.7	
รูปที่ 3.7 ภาพจำลองการเก็บตัวอย่างเนื้อปลาทูน่า (ก่อนละลาย, หลังละลาย และหลังนึ่ง)	22
รูปที่ 3.8	
รูปที่ 3.8 ปริมาณเกลือก่อนละลายเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทูน่าแต่ละขนาด	24
รูปที่ 3.9	
รูปที่ 3.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (%by weight) ก่อนละลาย หลังละลายและหลังนึ่งเฉลี่ย	25
รูปที่ 3.10	
รูปที่ 3.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (%by weight) ในสภาวะต่างๆของปลาขนาดเล็ก (1.01-1.40 kg)	26
รูปที่ 3.11	
รูปที่ 3.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (%) โดยน้ำหนัก บริเวณเนื้อติดผิวในสภาวะต่างๆ ของปลาขนาดกลาง (1.41-1.80 kg)	26
รูปที่ 3.12	
รูปที่ 3.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (%) โดยน้ำหนัก บริเวณเนื้อติดกระดูกในสภาวะต่างๆ ของปลาขนาดกลาง (1.41-1.80 kg)	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (%by weight) บริเวณเนื้อติดผิว ในสภาวะต่างๆ ของปลาขนาดใหญ่ (1.81-2.30 kg)	28
รูปที่ 3.14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (%by weight) บริเวณเนื้อติดกระดูก ในสภาวะต่างๆ ของปลาขนาดใหญ่ (1.81-2.30 kg)	28
รูปที่ 4.1 การตรวจสอบปริมาณเกลือด้วยเครื่อง NIR เพื่อคัดเลือกตัวอย่างปลา และสุ่มตัวอย่าง ตัดสัญลักษณ์	30
รูปที่ 4.2 การวัดขนาดปลาหน้า	31
รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างเนื้อปลาหน้า	32
รูปที่ 4.4 การเจาะตัวอย่างปลาและตำแหน่งที่เสียบเทอร์โมคัปเปิล	33
รูปที่ 4.5 แบบจำลองชุดอุปกรณ์การละลายปลาหน้าระดับห้องปฏิบัติการ	34
รูปที่ 4.6 ชุดอุปกรณ์การละลายปลาหน้าระดับห้องปฏิบัติการ	35
รูปที่ 4.7 หม้อต้ม (Heater)	35
รูปที่ 4.8 การละลายในสภาวะน้ำนิ่ง	36
รูปที่ 4.9 ตำแหน่งการวางปลา ในสภาวะน้ำวนที่อัตราการไหลต่างๆ	37
รูปที่ 4.10 การละลายในสภาวะน้ำวนที่อัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที	37
รูปที่ 4.11 ตัวอย่างปลาหน้าหลังละลาย	38
รูปที่ 4.12 ตัวอย่างกราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้และอุณหภูมิที่ทำนายได้ จากแบบจำลองของการละลายในสภาวะน้ำนิ่ง	39
รูปที่ 4.13 ตัวอย่างกราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้และอุณหภูมิที่ทำนายได้ จากแบบจำลองของการละลายในสภาวะน้ำวน ด้วยอัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที	40
รูปที่ 4.14 ตัวอย่างกราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้และอุณหภูมิที่ทำนายได้ จากแบบจำลองของการละลายในสภาวะน้ำวน ด้วยอัตราการไหล 200 ลิตรต่อนาที	40
รูปที่ 4.15 ปริมาณเกลือก่อนละลายเฉลี่ย (%by weight) ของตัวอย่างปลาหน้าที่ใช้ในสภาวะต่างๆ	42
รูปที่ 4.16 ปริมาณเกลือก่อนละลายบริเวณเนื้อติดผิวเฉลี่ย (%by weight) ของปลาหน้า ที่ใช้ในสภาวะต่างๆ	43
รูปที่ 4.17 ปริมาณเกลือก่อนละลายบริเวณเนื้อติดกระดูกเฉลี่ย (%by weight) ของปลาหน้า ที่ใช้ในสภาวะต่างๆ	44
รูปที่ 4.18 ปริมาณเกลือก่อนละลายเฉลี่ย (%by weight) ของปลาหน้าแต่ละสภาวะ	45
รูปที่ 4.19 ผลของการละลายในสภาวะต่างๆ ต่อปริมาณเกลือที่ลดลง (%)	45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.20 ปริมาณเกลือก่อนละลายบริเวณเนื้อติดผิวเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทูน่าที่ใช้ในสภาวะต่างๆ	46
รูปที่ 4.21 ผลของการละลายในสภาวะต่างๆ ต่อปริมาณเกลือบริเวณเนื้อติดผิวที่ลดลง (%)	47
รูปที่ 4.22 ปริมาณเกลือก่อนละลายบริเวณเนื้อติดกระดูกเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทูน่าที่ใช้ในสภาวะต่างๆ	48
รูปที่ 4.23 ผลของการละลายในสภาวะต่างๆ ต่อปริมาณเกลือบริเวณเนื้อติดกระดูกที่ลดลง (%)	48
รูปที่ 5.1 ลักษณะรอยเจาะและการอุตรอยแผล	51



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 3.1 ปริมาณเกลือก่อนละลายเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทูน่าแต่ละขนาด	23
ตารางที่ 3.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ	24
ตารางที่ 3.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (%) โดยน้ำหนักในสภาวะก่อนการละลาย (Frozen fish) หลังการละลาย (After Thawing) และหลังการนึ่ง (After Pre-cooking) ต่อขนาดปลา	25
ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน และ SE ของน้ำที่สภาวะการละลายต่างๆ	41
ตารางที่ 4.2 ปริมาณเกลือก่อนละลายเฉลี่ย (%by weight) ตัวอย่างปลาทูน่าที่ใช้ในสภาวะต่างๆ	41
ตารางที่ 4.3 ปริมาณเกลือก่อนละลายบริเวณเนื้อติดผิวเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทูน่าที่ใช้ในสภาวะต่างๆ	42
ตารางที่ 4.4 ปริมาณเกลือก่อนละลายบริเวณเนื้อติดกระดูกเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทูน่าที่ใช้ในสภาวะต่างๆ	43
ตารางที่ 4.5 ปริมาณเกลือเฉลี่ย (%by weight) ของตัวอย่างปลาทูน่าที่ใช้ในสภาวะต่างๆ	44
ตารางที่ 4.6 ปริมาณเกลือหลังละลายบริเวณเนื้อติดผิวเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทูน่าที่ใช้ในสภาวะต่างๆ	46
ตารางที่ 4.7 ปริมาณเกลือหลังละลายบริเวณเนื้อติดกระดูกเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทูน่าที่ใช้ในสภาวะต่างๆ	47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

อุตสาหกรรมแปรรูปปลาหมึกกระป๋อง เป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญของไทย ปัจจุบันประเทศไทยผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์ปลาหมึกกระป๋องเป็นอันดับ 1 ของโลก และไทยยังเป็นผู้นำเข้าปลาหมึกรายใหญ่โดยนำเข้าคิดเป็นร้อยละ 90 ของปลาหมึกทั้งหมด ในช่วงเดือนมกราคม - ตุลาคม 2555 มีปริมาณการนำเข้ารวม 669,603 ตัน นำไปใช้ในการผลิตปลาหมึกกระป๋องในช่วงเดือนมกราคม - ตุลาคม เกือบทั้งหมด ปริมาณ 456,890 ตัน คิดเป็นร้อยละ 68.23 ของปริมาณปลาหมึกแช่แข็งที่นำเข้าทั้งหมด (กระทรวงพาณิชย์, 2555.)

ปัจจุบันเนื่องจากต้นทุนวัตถุดิบมีแนวโน้มสูงขึ้น การกำหนดโควตาการจับปลาหมึกในแต่ละปีส่งผลให้ผู้ผลิตไม่สามารถต่อรองคุณสมบัติของวัตถุดิบปลาหมึกที่ต้องการนำมาผลิตได้ ผู้ผลิตจึงหันมาพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์และประสิทธิภาพกระบวนการผลิตแทน อีกทั้งผู้บริโภคใส่ใจสุขภาพมากขึ้น ผู้บริโภคจึงเลือกรับประทานปลาหมึกที่มีปริมาณเกลือโซเดียมต่ำ ดังนั้นการควบคุมปริมาณเกลือในอาหารจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพราะการบริโภคเกลือมากเกินไปจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพในหลายด้าน เช่น ความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ โรคหลอดเลือดในสมอง มะเร็ง และโรคกระดูกพรุน เป็นต้น โดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา แนะนำให้บริโภคโซเดียมไม่เกินวันละ 4000 มิลลิกรัม (กระทรวงสาธารณสุข, 2541)

วสันต์และคณะ (2554) ได้ศึกษาผลของการละลายต่อปริมาณเกลือในเนื้อปลา ระหว่างกระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ด้วยการสุ่มตัวอย่างปลาหมึกแช่แข็ง 3 ขนาด ได้แก่ ขนาดเล็ก น้ำหนัก 1.01-1.40 กิโลกรัม ขนาดกลาง น้ำหนัก 1.41-1.80 กิโลกรัม และขนาดใหญ่ น้ำหนัก 1.81-2.50 กิโลกรัม แบ่งมาทดลองละลายในถังขนาดความจุ 400 ลิตร ชุดละ 30 ตัว ละลายด้วยระบบน้ำไหลสลับและไม่วนกลับมาใช้ใหม่ หลังจากการละลายนำปลากลับสู่ระบบการผลิตปกติ พร้อมกับสุ่มเก็บตัวอย่างเนื้อปลาหมึกในสภาวะก่อนละลาย หลังละลาย และหลังนึ่ง เพื่อวัดปริมาณเกลือ สรุปได้ว่า การละลายเป็นขั้นตอนหลักที่สามารถลดปริมาณเกลือในเนื้อปลาหมึกได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ระดับของเกลือที่ลดลงยังสูงกว่าปริมาณเกลือที่ผู้ประกอบการต้องการ คือ ต้องการให้เนื้อปลาหลังการนึ่งมีปริมาณเกลือต่ำกว่าร้อยละ 2 ของน้ำหนักเนื้อปลา ซึ่งถ้าสามารถลดปริมาณเกลือในเนื้อปลาได้ จะส่งผลต่อการตลาดและภาพลักษณ์ดีของผลิตภัณฑ์ปลาหมึกกระป๋องต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของการละลายปลาหมึกแช่แข็ง ต่อการลดปริมาณเกลือในปลาหมึก ในสภาวะการผลิตระดับอุตสาหกรรม (บทที่ 3)

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการละลายปลาหมึกแช่แข็ง ด้วยน้ำนิ่ง น้ำวนที่อัตราการไหลต่างกัน ต่อการลดปริมาณเกลือในปลาหมึกด้วยชุดทดลอง ระดับปฏิบัติการ (บทที่ 4)

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 สามารถนำข้อมูลที่ได้มาใช้ประยุกต์ใช้ปรับปรุงและพัฒนาอุปกรณ์และกรรมวิธีการผลิต ช่วยให้ขั้นตอนการละลายปลาทูน่าแช่แข็งเพื่อลดปริมาณเกลือในเนื้อปลาทูน่า มีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.3.2 ทราบวิธีการละลายที่มีสามารถลดปริมาณเกลือในเนื้อปลาทูน่าหลังการละลายให้อยู่ในระดับที่ผู้ประกอบการต้องการ



บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ความสำคัญของอุตสาหกรรมการแปรรูปปลาทูน่า

ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากปลาทูน่าจัดเป็นอาหารเพื่อสุขภาพมีแนวโน้มการบริโภคของตลาดโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปลาทูน่ากระป๋องได้รับการยอมรับและเป็นที่ยอมรับบริโภคในประเทศไทย เดิมนั้นภาพลักษณ์ของสินค้าเป็นสินค้าคุณภาพ ราคาจะอยู่ในระดับสูงกว่าปลากระป๋องประเภทอื่นๆ แต่ปัจจุบันได้รับการยอมรับในฐานะที่เป็นสินค้าเพื่อสุขภาพ และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง รวมทั้งการปรับเปลี่ยนรสชาติของปลาทูน่ากระป๋อง จากเดิมที่มีเพียงปลาทูน่าในน้ำมันและน้ำเกลือ มาเป็นสลัดทูน่า และปลาทูน่าปรุงรสด้วยเครื่องแกงที่เป็นที่รู้จักของคนไทย เช่น เขียวหวาน พะแนง มีสมัน เป็นต้น ซึ่งนับว่าเป็นการเพิ่มความหลากหลาย และเพิ่มโอกาสในการเลือกซื้อให้กับผู้บริโภค



รูปที่ 2.1 ผลิตภัณฑ์ปลาทูน่าแปรรูปจากประเทศไทย

สำหรับประเทศไทยอุตสาหกรรมปลาทูน่ากระป๋องเป็นอุตสาหกรรมสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ โดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ของประเทศไทยผลิตเพื่อส่งออกในปี 2540-2544 สร้างรายได้ให้ประเทศกว่าปีละ 500 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ หรือกว่า 22,000 ล้านบาทและในช่วงปี 2545-2549 ยอดรายได้เพิ่มเป็นปีละกว่า 850 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯหรือกว่า 38,000 ล้านบาทอุตสาหกรรมแปรรูปทูน่ายังเป็นแหล่งรองรับแรงงานกว่า 32,000 คนในแต่ละปี (บวร กิติไพศาลนนท์ สำนักนโยบายอุตสาหกรรมรายสาขา 2, 2551)

อุตสาหกรรมแปรรูปทูน่าของประเทศไทย ในปัจจุบันได้ก้าวขึ้นมาเป็นผู้ผลิต และส่งออกชั้นนำของโลก มีศักยภาพด้านการผลิตและการแข่งขัน ได้รับการยอมรับทั้งคุณภาพและมาตรฐานความปลอดภัย โดยสถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรม ได้ประเมินภาพรวมการส่งออกอาหารของไทยปี 2555 ว่าจะมีมูลค่าการส่งออกราว 1,013,250 ล้านบาท ขยายตัวเพิ่มขึ้น 5.1% โดยในปีที่ผ่านมา ยอด

การส่งออกมีมูลค่ารวม 964,500 ล้านบาท เพิ่มขึ้น 120% จากเมื่อ 10 ปีก่อน เป็นสินค้าอุตสาหกรรม ที่ทำให้ประเทศ ได้เปรียบดุลการค้ารวมกว่า 600,000 ล้านบาทในปีที่ผ่านมา และเป็นอันดับ 1 เมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมอื่นๆครองส่วนแบ่งตลาดโลกประมาณร้อยละ 40 (ทีมเศรษฐกิจไทยรัฐออนไลน์, 2556)

ปัจจุบันอุตสาหกรรมแปรรูปปลาทูน่า ต้องนำเข้าปลาทูน่าแช่แข็ง มาใช้เป็นวัตถุดิบมากกว่าร้อยละ 90 โดยปลาทูน่าที่นำเข้า เป็นปลาทูน่าสายพันธุ์ท้องแถบมากที่สุด ในช่วงเดือนมกราคม-ตุลาคม 2555 มีปริมาณการนำเข้ารวม 669,603 ตัน คิดเป็นมูลค่ารวม 47,421 ล้านบาท และนำไปใช้ในการผลิตปลาทูน่ากระป๋องในช่วงเดือนมกราคม-ตุลาคม เกือบทั้งหมดมีปริมาณ 456,890 ตันมูลค่า 67,010 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 68.23 ของปริมาณปลาทูน่าแช่แข็งที่นำเข้าทั้งหมด (สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์, 2555)

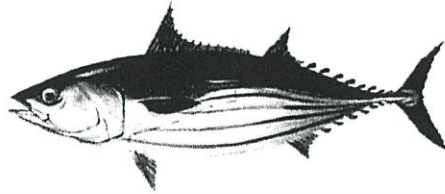
อุตสาหกรรมปลาทูน่ากระป๋องของไทยกำลังประสบปัญหาที่สำคัญหลายประการ ปัญหาหลักคือปัญหาด้านวัตถุดิบ ทั้งนี้เนื่องจากธุรกิจการทำประมงของไทยยังมีศักยภาพในการจับปลาทูน่าได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ของภาคอุตสาหกรรม พิจารณาได้จากการที่ประเทศไทยมีเรือประมงสำหรับจับปลาทูน่าและเก็บรักษาปลาทูน่าในเชิงพาณิชย์เพื่อนำมาป้อนโรงงานอุตสาหกรรมเพียง 1 ลำในปี 2544 และเพิ่มเป็น 8 ลำในปี 2548 และยังมีปัญหาไม่สามารถออกเรือได้บ่อยครั้ง เนื่องจากต้นทุนราคาน้ำมันที่เพิ่มขึ้น และปัญหาเรื่องความผันผวนทั้งในด้านปริมาณและราคาของวัตถุดิบ รวมถึงต้นทุนในด้านแรงงานค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับประเทศคู่แข่งในระดับเดียวกันเช่นอินโดนีเซีย

นอกจากอุตสาหกรรมแปรรูปทูน่ายังประสบกับปัญหา การแข่งขันที่รุนแรงจากการให้สิทธิพิเศษทางศุลกากร (GSP) ของประเทศผู้นำเข้าเช่นสหรัฐอเมริกาและสหภาพยุโรปที่ให้กับประเทศต่างๆในอัตราที่ไม่เท่าเทียมกัน ประกอบกับยังใช้มาตรการกีดกันทางการค้าที่มีใช้ภายในรูปแบบต่างๆ ส่งผลให้ความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมปลาทูน่ากระป๋องของไทยลดน้อยลงจากเดิมด้วย ในขณะที่ประเทศคู่แข่งกลับได้รับการช่วยเหลือด้าน GSP ทำให้อุตสาหกรรมปลาทูน่ากระป๋องของไทยสูญเสียตลาดไปบางส่วน

เพื่อรักษาความเป็นผู้นำในการส่งออกปลาทูน่ากระป๋องต่อไปซึ่งภาคเอกชนควรให้ความสำคัญอย่างยิ่งกับการพัฒนารูปแบบของผลิตภัณฑ์ให้มีความหลากหลายตามความต้องการของผู้บริโภคได้คุณภาพตามมาตรฐานสากลและร่วมมือกันหาตลาดใหม่ๆ นอกจากนี้ควรพิจารณาสรรหาประโยชน์จากการทำข้อตกลงการค้าเสรีโดยเน้นสินค้าทูน่าแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพซึ่งจะเป็นจุดขายหนึ่งที่จะส่งผลต่อการผลิตและการส่งออกปลาทูน่ากระป๋องของไทยในอนาคตได้เพิ่มขึ้น

2.2 ปลาทูน่า

อุตสาหกรรมการแปรรูปปลาทูน่ามีวัตถุดิบหลัก คือ ปลาทูน่า ซึ่งส่วนใหญ่เป็นปลาทูน่าแช่แข็งที่ได้จากการนำเข้ามีสัดส่วนประมาณร้อยละ 90 ของวัตถุดิบที่ใช้ทั้งหมด แหล่งนำเข้าสำคัญ คือ ไต้หวัน ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ กิริบати หมู่เกาะโซโลมอน และปาปัว-นิวกินี โดยราคาจะแปรผันตามชนิดของปลาทูน่า ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชนิดหลัก ได้แก่ปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ (Skipjack Tuna), ปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง (Yellow Fin Tuna) และ ปลาทูน่าพันธุ์ครีบยาว (Long Fin Tuna) ในที่นี้จะขอล่าวถึงเฉพาะที่ใช้ผลิตในระดับอุตสาหกรรมคือ ปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ



รูปที่ 2.2 ภาพจำลองลักษณะของปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบ

(อ้างอิง : <http://www.fisheries.go.th/marine/DeepSea/images/SpeciesTuna.htm>)

ปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบ หรือที่รู้จักในชื่อ Skipjack Tuna มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Katsuwonus pelamis* อยู่ในวงศ์ Scombridae และ subfamily Scombrinae เป็นปลาทูน่าขนาดเล็กที่อาศัยอยู่ในมหาสมุทรในเขตร้อนลักษณะที่สังเกตเห็นได้ชัด คือ ลำตัวเป็นรูปทรงเรียวยาวแบบกระสวย ไม่มีกระเพาะลม ด้านข้างลำตัวมีแถบสีดำทอดตามยาวกับลำตัว 4-5 แถบ ความยาวประมาณ 18-32 นิ้ว น้ำหนักประมาณ 3-7 กิโลกรัม เนื้อมีสีค่อนข้างดำ คุณภาพจึงด้อยกว่าปลาทูน่าครีบลีงและครีบบาว แต่ราคาโดยเฉลี่ยจะถูกกว่า

องค์ประกอบหลักของเนื้อปลาคือ น้ำ โปรตีน และไขมันรวมกันประมาณร้อยละ 98 ของน้ำหนักปลาสด ส่วนองค์ประกอบอื่นๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และเกลือแร่ดังนี้

Nutrition Facts	
Serving Size 100 grams	
Amount Per Serving	
Calories 103	Calories from Fat 9
% Daily Value*	
Total Fat 1g	2%
Saturated Fat 0g	2%
Trans Fat	
Cholesterol 47mg	16%
Sodium 37mg	2%
Total Carbohydrate 0g	0%
Dietary Fiber 0g	0%
Sugars 0g	
Protein 22g	
Vitamin A 1%	Vitamin C 2%
Calcium 3%	Iron 7%
*Percent Daily Values are based on a 2,000 calorie diet. Your daily values may be higher or lower depending on your calorie needs.	
NutritionData.com	

รูปที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของ Skipjack Tuna 100 grams

(อ้างอิง : <http://nutritiondata.self.com/facts/finfish-and-shellfish-products/4147/2>)

1) น้ำ ปลาประกอบด้วยน้ำถึงร้อยละ 70.6 ทั้งนี้แตกต่างกันตามชนิดและถิ่นที่อยู่อาศัย น้ำในตัวปลาจะไม่เปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งที่ 0 องศาเซลเซียส แต่จะแข็งตัวที่อุณหภูมิประมาณ -0.9 องศาเซลเซียส เนื่องจากความคงตัวของน้ำในเนื้อปลาเกิดความชื้นในเนื้อปลารวมกับสารคอลลอยด์ ในรูปของน้ำอิสระ (Free water) คือ น้ำที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางหรือตัวทำละลายให้สารอื่น เช่น โปรตีน สารคอลลอยด์ต่างๆ ระเหยกลายเป็นไอน้ำได้ง่าย เปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งเร็ว อีกรูปแบบหนึ่ง คือ Bound water คือ น้ำที่มีการยึดเหนี่ยวกันกับสารอื่น เป็นน้ำที่อยู่บริเวณผิวของสารคอลลอยด์ ในโปรตีนและผนังเซลล์ ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนน้ำจะระเหยช้ากว่าน้ำอิสระ ทำให้ต้องใช้ความร้อนสูงในการระเหย

Other	
Amounts Per Selected Serving	%DV
Alcohol	0.0 g
Water	70.6 g
Ash	1.3 g
Caffeine	-
Theobromine	-

รูปที่ 2.4 ปริมาณน้ำใน Skipjack Tuna 100 grams

2) โปรตีนเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพมีกรดอะมิโนที่จำเป็นที่ร่างกาย ได้แก่ Lysine, Isoleucine, Leucine, Methionine, Phenylalanine, Threonine, Tryptopan และ Valine

Protein & Amino Acids	
Amounts Per Selected Serving	%DV
Protein	22.0 g 44%

รูปที่ 2.5 ปริมาณโปรตีนใน Skipjack Tuna 100 grams

3) ไขมันปลาที่มีไขมันอยู่ในเนื้อจะทำให้เนื้อนุ่มไขมันปลามีคุณสมบัติพิเศษ คือ ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มาก (Poly unsaturated fatty acid) โดยเฉพาะกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ที่ตำแหน่ง โอเมก้า - 3 (Omega -3) ที่พบบ่อย คือ กรดอีโคซาเพนตะอีนอิก (Eicosapentaenoic acid, EPA) และกรดโดโคซาเฮกซาอีนอิก (Docosahexaenoic acid, DHA) ซึ่งกรดไขมัน 2 ชนิดนี้สามารถช่วยลดคอเลสเตอรอลในเลือดได้ แต่ไขมันของสัตว์น้ำมีความไม่อิ่มตัวสูง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย

Total Fat 1g	2%
Saturated Fat 0g	2%
Trans Fat	
Cholesterol 47mg	16%

รูปที่ 2.6 ปริมาณไขมันใน Skipjack Tuna 100 grams

4) แร่ธาตุแร่ธาตุทั้งหมดหรือเก่าในสัตว์น้ำมีปริมาณอยู่ระหว่างร้อยละ 1-2 ซึ่งแร่ธาตุที่สำคัญในสัตว์น้ำมีปริมาณแสดงไว้ดังรูป 2.7

Minerals		
Amounts Per Selected Serving		%DV
Calcium	29.0 mg	3%
Iron	1.3 mg	7%
Magnesium	34.0 mg	8%
Phosphorus	222 mg	22%
Potassium	407 mg	12%
Sodium	37.0 mg	2%
Zinc	0.8 mg	5%
Copper	0.1 mg	4%
Manganese	0.0 mg	1%
Selenium	36.5 mcg	52%
Fluoride	-	-

รูปที่ 2.7 ปริมาณแร่ธาตุใน Skipjack Tuna 100 grams

5) วิตามินในปลาทูน่ามีวิตามินที่ละลายได้ในน้ำคือวิตามินบีต่างๆ วิตามินซี ส่วนวิตามินที่ละลายได้ในไขมันคือวิตามินเอ ดี อี เค พบมากบริเวณตับและเนื้อเยื่อส่วนที่มีไขมันสะสมอยู่มาก

Vitamins		
Amounts Per Selected Serving		%DV
Vitamin A	52.0 IU	1%
Vitamin C	1.0 mg	2%
Vitamin D	-	-
Vitamin E (Alpha Tocopherol)	-	-
Vitamin K	-	-
Thiamin	0.0 mg	2%
Riboflavin	0.1 mg	6%
Niacin	15.4 mg	77%
Vitamin B6	0.9 mg	43%
Folate	9.0 mcg	2%
Vitamin B12	1.9 mcg	32%
Pantothenic Acid	0.4 mg	4%
Choline	-	-
Betaine	-	-

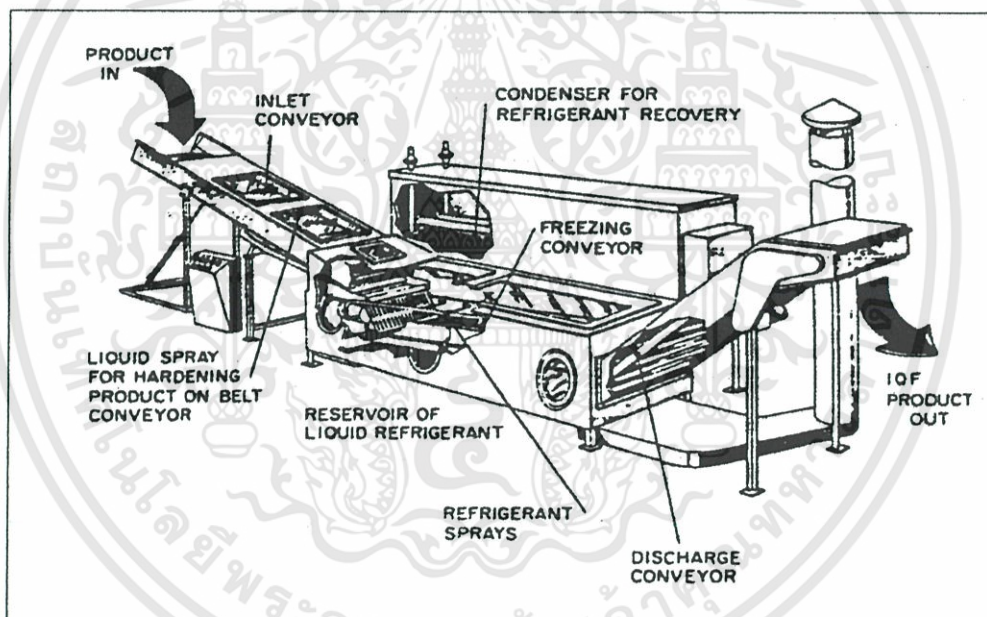
รูปที่ 2.8 ปริมาณวิตามินใน Skipjack Tuna 100 grams

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การแช่แข็งและการเก็บรักษาปลาทูน่า (Freezing)

การแช่แข็งที่ใช้ในการเก็บรักษาปลาทูน่า คือ การแช่แข็งแบบจุ่ม (Immersion freezing) คือ ให้ความเย็นด้วยการแช่ผลิตภัณฑ์ลงในของเหลวที่เย็นจัด (freezant) เพื่อให้อุณหภูมิของอาหารลดลงต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส โดยทำเครื่องทำความเย็นทำเป็นรูปถัง มีชุดท่อทำความเย็นวางรอบถัง ของเหลวที่ใช้แช่ผลิตภัณฑ์ ต้องเป็นของเหลวที่มีจุดเยือกแข็งต่ำกว่าอุณหภูมิที่ต้องการ การแช่แข็งวิธีนี้เหมาะสำหรับแช่แข็งสัตว์น้ำที่มีขนาดใหญ่และการแช่ทั้งตัว โดยของเหลวที่เย็นจัด (freezant) ต้องมีคุณสมบัติคือ จุดเยือกแข็ง (freezing point) ต่ำ อยู่ในสภาวะของเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่าความหนืดต่ำ เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีไม่เป็นพิษ ไม่มีกลิ่น ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของอาหาร

ตัวอย่างของของเหลวที่ใช้ในการแช่เยือกแข็งแบบจุ่ม เช่น น้ำเกลือ (brine) โดยใช้สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ หรือ แคลเซียมคลอไรด์ โดยใช้สารละลายเกลือที่กล่อมตัว ทำให้เย็นจัดแล้วจุ่มอาหารลงไป ซึ่งใช้ในการแช่แข็งอาหารทะเล ปลาสด ปูที่จับได้ในเรือ แต่มีข้อเสียคือทำให้ปลาแช่แข็งมีรสเค็ม อื่นๆ เช่น โพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol), กลีเซอรอล (glycerol), น้ำเชื่อม เป็นต้น



รูปที่ 2.9 ภาพจำลองเรือที่ใช้วิธีการแช่แข็งแบบจุ่ม

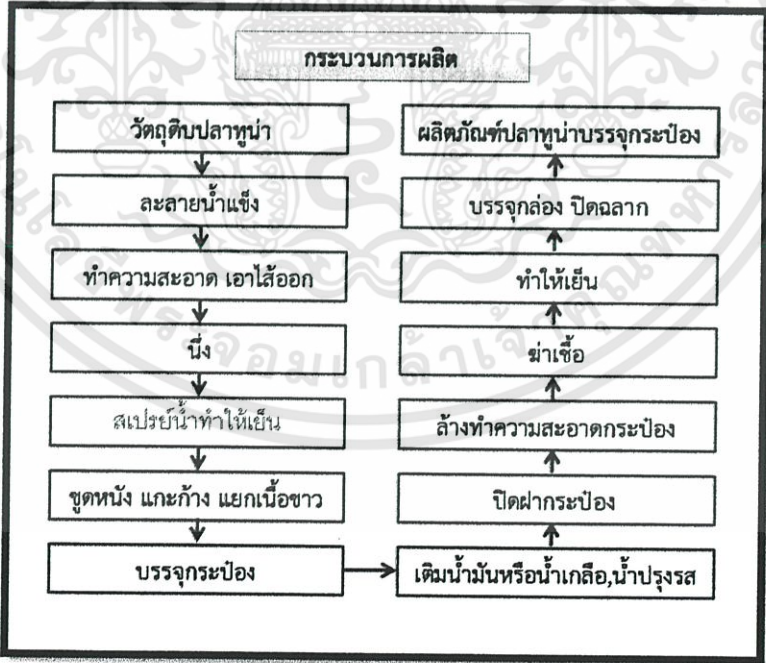
(อ้างอิง : Immersion freezing, www.foodnetworksolution.com)

การเก็บรักษาปลาทูน่าหรือการทำความเย็น ใช้การทำ Brine cooler คือการนำน้ำเข้าไปดูดซับอุณหภูมิในตัวปลาและทุกส่วนของตัวปลาให้อุณหภูมิต่ำน้ำและเกลือเป็นปัจจัยสำคัญในการทำระบบ Brine cooler คุณสมบัติของเกลือในการผสมกับน้ำเกลือจะช่วยชะลอการเกิดแบคทีเรียได้ดีในการผสมระหว่างน้ำและเกลือจะต้องได้ตามสัดส่วนมาตรฐานของขนาดความเข้มข้นเรือปริมาตรความจุประมาณ 60 ลูกบาศก์เมตร ตามสัดส่วนแล้วจะใช้เกลือ 29 กิโลกรัมต่อน้ำจืด 100 กิโลกรัมได้สารละลายเข้มข้นที่

เรียกว่า น้ำไบรน์ (Brine) ซึ่งเกลือจะทำให้ น้ำมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งโดยยังคงสภาพเป็นของเหลว เมื่อได้น้ำไบรน์แล้ว จะทำการหมุนเวียนน้ำไบรน์เพื่อทำอุณหภูมิให้ต่ำลง การหมุนเวียนจะใช้ปั๊มดูดน้ำไบรน์ผ่านเครื่องทำความเย็นแล้วส่งกลับสู่บ่อห้องเย็นอย่างเดิมซึ่งจะทำการหมุนเวียนต่อเนื่องกันจนได้ อุณหภูมิ -17 ถึง -21.2 องศาเซลเซียส อย่างรวดเร็ว ในขณะที่ทำความเย็นจะตรวจค่าความเค็มและอุณหภูมิ เพื่อป้องกันการแข็งตัวของน้ำไบรน์ โดยอุณหภูมิที่กำหนดอยู่ที่ -17 องศาเซลเซียส และความหนาแน่นที่ 22.4% หลังจากนั้นจึงหยุดการหมุนเวียนน้ำไบรน์เพื่อป้องกันการตกผลึกหรือการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำที่เป็นส่วนผสมอยู่ก่อนแช่ปลาจะต้องถ่ายน้ำไบรน์ให้เหลือ 1 ใน 3 ของบ่อ เพื่อป้องกันการกระแทกและการลอยตัวของปลาทูน่า หลังจากนั้นตักปลาใส่ในบ่อให้เต็มแล้วจึงปล่อยน้ำไบรน์ให้เต็มล้นตัวปลา เพื่อให้ปลาทุกตัวจมอยู่ในน้ำไบรน์ ปกติแล้วน้ำไบรน์จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อแช่ปลาลงไป เนื่องจากจากองค์ประกอบต่างๆของตัวปลาจะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น 0-10 องศาเซลเซียส จึงต้องมีระบบหมุนเวียนความเย็นผ่าน Brine cooler จนได้อุณหภูมิประมาณ -15 องศาเซลเซียส ปลาจึงคงสภาพแข็งตัวได้ดีขึ้น หลังจากแช่ปลาทูน่าในน้ำไบรน์ไว้ 1 คืน ระบบจะทำความเย็นใหม่รักษาให้อุณหภูมิปลาทั้งตัวอยู่ที่ -10 องศาเซลเซียสนาน 3 วัน หลังจากนั้นจะระบายน้ำไบรน์ออกจนแห้งเหลือแต่ตัวปลาแล้วทำความเย็นอีกครั้งด้วยระบบท่อคอยด์รอบผนังบ่อจนอุณหภูมิได้ถึง -40 องศาเซลเซียส (ศูนย์พัฒนาการประมงแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้, 2553)

2.4 กระบวนการการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง

กระบวนการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง มีขั้นตอนดังรูปที่ 2.10 และมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.10 กระบวนการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง

1) การเตรียมวัตถุดิบ (Raw Material) ก่อนการนำวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการผลิตจะต้องมีการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆของปลาคือเหงือกตาผิวหนังและความยืดหยุ่นของเนื้อปลาต้องอยู่ในสภาพที่ดีไม่มีลักษณะเสื่อมคุณภาพ

2) การละลายน้ำแข็ง (Thawing) ภายหลังจากการตรวจสอบคุณภาพปกติปลาที่นำจะอยู่ในสภาพแช่แข็งที่อุณหภูมิอย่างน้อย -18 องศาเซลเซียส โดยจะถูกนำมาละลายน้ำแข็งด้วยน้ำอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในสภาวะน้ำไหลวน วนน้ำกลับมาใช้ใหม่สำหรับระยะเวลาจะแตกต่างกันขึ้นกับปริมาณปลาและขนาดของตัวปลาโดยละลายในห้องที่อุณหภูมิปกติ เพื่อเพิ่มอุณหภูมิในตัวปลาขึ้นเป็น -2 ถึง 2 องศาเซลเซียส จึงหยุดละลาย เพราะหากอุณหภูมิสูงกว่านี้จะทำให้เนื้อปลาเสื่อมสภาพจากการเข้าทำลายของจุลินทรีย์และเอนไซม์ต่างๆ

3) การตัดปลา (Butchering or Cutting) ปลาที่ผ่านกระบวนการละลายน้ำแข็งจะถูกนำมาผ่าท้องควักไส้และอวัยวะภายในอื่นๆออก และล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะสูญเสียน้ำหนักปลาประมาณร้อยละ 3 ถึงร้อยละ 6

4) การนึ่งปลา (Pre-cooking) ปลาที่ผ่านการควักไส้และทำความสะอาดแล้วจะถูกนำมานึ่งในหม้อนึ่งไอน้ำ (Retort) ที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส ที่ความดันประมาณ 1-2 บาร์ ระยะเวลาขึ้นอยู่กับขนาดปลา โดยจะนึ่งจนอุณหภูมิเนื้อติดกระดูกอยู่ที่ 50 ถึง 70 องศาเซลเซียส การนึ่งปลาทำให้หนังและกระดูกปลาแยกออกจากเนื้อปลา และทำให้ชุดเนื้อออกง่ายและเป็นการเพิ่มความเหนียวและการตกตะกอนของโปรตีนอีกด้วย

5) การลดอุณหภูมิ (Cooling down) ปลาที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำเรียบร้อยแล้วจะถูกนำไปยังห้องพักปลาและฉีดย่น้ำลงไปบนตัวปลาเพื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงจนเท่าอุณหภูมิห้อง เพื่อป้องกันการเกิดการOvercooking ในขั้นตอนนี้จะระเหยเป็นไอ ทำให้น้ำหนักของปลาลดลงไขมันและน้ำมันในตัวปลาจะมารวมกันอยู่ที่บริเวณชั้นผิวหนังปลา

6) การขูดปลา (Cleaning/Trimming) ปลาที่ผ่านการนึ่งและลดอุณหภูมิลงแล้วจะถูกนำมาขูดหนังแยกหัวปลากรดกและก้างออกเหลือเพียงเนื้อปลาที่สะอาดและพร้อมจะบรรจุกระป๋องในขั้นตอนต่อไป

7) การบรรจุ (Canning) การบรรจุเนื้อปลาลงในกระป๋องขนาดต่างๆอาจใช้เครื่องจักรหรือมือจากนั้นอาจเติมน้ำมันพืช น้ำเกลือ ซอสมะเขือเทศ หรือซอสปรุงรสอื่นๆ ลงไปเพื่อถนอมคุณภาพเนื้อปลาและตรงกับความต้องการของลูกค้า

8) การไล่อากาศและปิดผนึก (Exhausting and Seaming) กระป๋องที่ผ่านการบรรจุเรียบร้อยแล้วจะถูกวางบนสายพานเพื่อผ่านไบนรางซึ่งมีการพ่นไอน้ำบนช่องว่างเหนือกระป๋อง เพื่อไล่อากาศออกก่อนการปิดผนึกเมื่อไอน้ำเกิดการควบแน่นจะเกิดเป็นสุญญากาศขึ้นภายในกระป๋อง

9) การนึ่งฆ่าเชื้อ (Retorting) ภายหลังจากการปิดผนึกปลากระป๋องจะผ่านการนึ่งเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นพาหะนำโรคและเชื้ออื่นๆที่ทำให้เกิดความเสียหายการทำลายจุลินทรีย์นี้ ไม่ถือเป็นการทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมดที่มีอยู่ (Absolute sterilization) เนื่องจากใช้ความร้อนที่ระดับ 116 องศาเซลเซียส ในเวลา 90 นาที ซึ่งหากใช้ความร้อนในระดับที่สูงกว่านี้จะทำให้อาหารสูญเสียลักษณะทางกายภาพที่ดี เช่น กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อ และคุณค่าทางอาหารไปมาก การฆ่าเชื้อจึงเป็นแบบทางการค้า (Commercial

sterilization) ซึ่งจะใช้ความร้อนในการหยุดยั้งจุลินทรีย์ก่อให้เกิดโรคทั้งหมดและพวกที่ทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของโปรตีน

10) การลดอุณหภูมิของปลาระบอบอย่างรวดเร็วยุทธ (Final Cooling down) หลังจากนึ่งฆ่าเชื้อแล้ว ต้องลดอุณหภูมิของปลาระบอบอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันความร้อนที่สะสมทำให้เนื้อปลาเปื่อยยุ่ยเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านสีรสชาติและคุณค่าทางอาหารลดลง ทั้งยังป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เจริญในที่อุณหภูมิสูง (Thermophilic microbes) ที่หลงเหลือจากการทำลายด้วยความร้อน ในช่วงการลดอุณหภูมิจะเกิดสภาวะสุญญากาศขึ้นภายในกระป๋องและทำให้ปลาระบอบเสื่อมคุณภาพได้ น้ำที่ใช้ในการลดอุณหภูมิต้องใช้น้ำสะอาดปราศจากแบคทีเรีย โดยทั่วไปจะมีการเติมคลอรีนลงไปให้น้ำมีส่วนผสมของคลอรีนประมาณ 5 ส่วนในล้านส่วน (5 ppm) และทำการลดอุณหภูมิลงเหลือราว 35-40 องศาเซลเซียส เพื่อให้ความร้อนที่เหลืออยู่ทำให้กระป๋องแห้งได้เองเพื่อป้องกันการเกิดสนิมได้ง่าย หรืออาจใช้พัดลมเป่าที่ด้านนอกกระป๋องเพื่อให้กระป๋องแห้งเร็วขึ้น

11) การปิดฉลากและบรรจุกล่อง (Labeling and Packaging) หลังจากปลาระบอบผ่านการลดอุณหภูมิจนเท่ากับอุณหภูมิห้องและแห้งสนิทแล้วจะถูกนำมาปิดฉลากและบรรจุในกล่องกระดาษ เพื่อทำการเก็บรักษาและขนส่งต่อไป

2.5 การละลาย (Thawing)

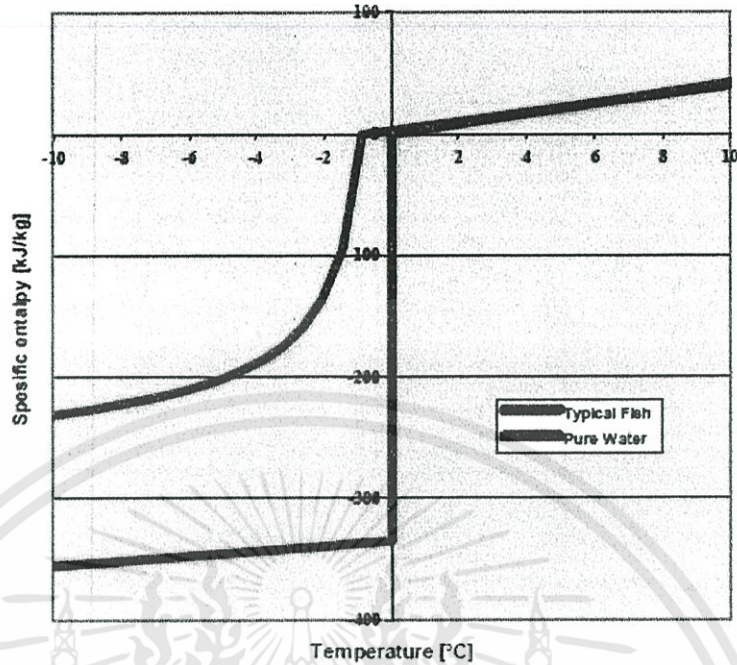
การละลาย หมายถึง กระบวนการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็ง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์น้ำแข็งละลายกลับสู่สถานะของเหลว ซึ่งหากละลายไม่ดีอาจมีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้วิธีการละลายมีหลายวิธี เช่น อาศัยโลหะ อากาศ หรือน้ำ เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน

ในที่นี้เป็นวิธีการละลายโดยใช้น้ำ (Water thawing) ทำได้โดยใช้น้ำที่มีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในการละลาย โดยควบคุมให้มีการไหลเวียนของน้ำที่อัตรา 0.5-1.5 เมตรต่อนาที แต่การใช้น้ำทำการละลายผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งไม่เป็นที่นิยมเพราะใช้เวลานาน กอปรกับการใช้น้ำทำละลายจะทำให้เนื้อของผลิตภัณฑ์แฉะและเลอะ แม้ผลิตภัณฑ์อาจมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่การใช้น้ำทำละลายจะทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียกลิ่นและรสของอาหาร อีกทั้งหากใช้น้ำวนทำละลายผลิตภัณฑ์จะทำให้ใช้เวลานานมากขึ้น และต้องควบคุมคุณภาพของน้ำที่ใช้ให้สะอาดเพื่อป้องกันการแพร่ของจุลินทรีย์

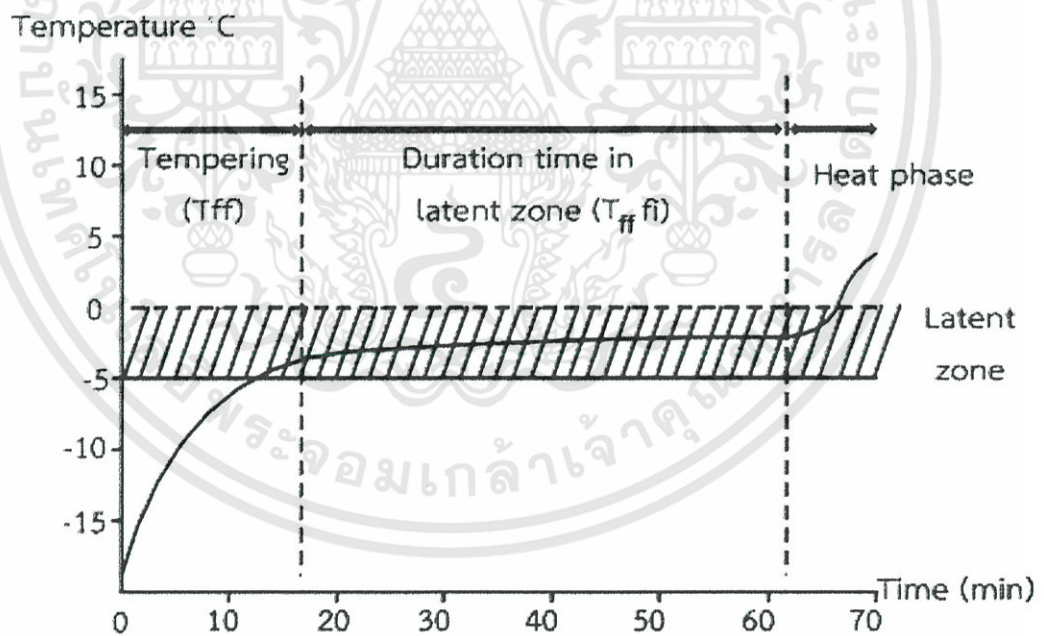
2.5.1 การละลายอาหารแช่แข็ง

อาหารแช่แข็งเกิดการละลายได้ก็ต่อเมื่อน้ำแข็งในอาหารแช่แข็งเกิดการหลอมเหลวขึ้น โดยการให้พลังงานแก่อาหารแช่แข็ง เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Specific enthalpy หรือเรียกว่า ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าหรือออกจากระบบในกระบวนการที่ความดันคงที่กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง พบว่า การละลายนั้นเป็นการดูดกลืนพลังงานค่า Specific enthalpy จึงเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 2.11 พบว่าน้ำบริสุทธิ์มีเส้นกราฟค่อนข้างคงที่ ในขณะที่ตัวอย่างปลามีเส้นกราฟการละลายไม่คงที่ เนื่องจากมีส่วนประกอบอื่นนอกจากน้ำ เช่น โปรตีน ไขมัน และอื่นๆ

ในกระบวนการละลายอาหารแช่แข็งตั้งแต่อุณหภูมิที่ทำการแช่แข็งจนกระทั่งถึงอุณหภูมิหลอมเหลวแบ่งกระบวนการได้ 3 ระยะ ดังรูปที่ 2.12 และ 2.13

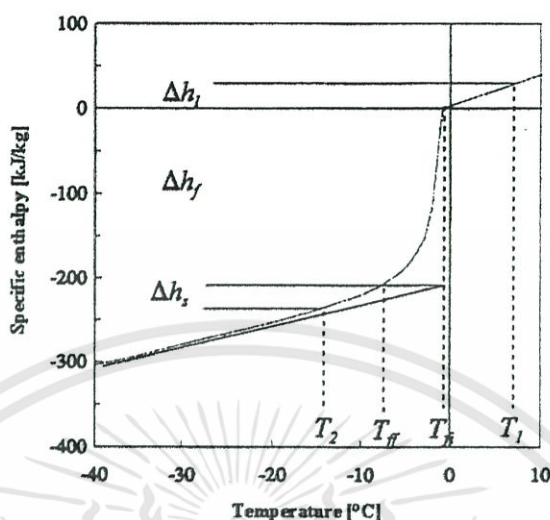


รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Specific enthalpy กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป
(ที่มา: Haugland, 2002)



รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ละลายกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป
(ดัดแปลงจาก: Haugland, 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ Specific enthalpy ของอาหารแช่แข็ง
(ที่มา: Haugland, 2002)

ระยะที่ 1 อุณหภูมิอาหารแช่แข็งอยู่ในช่วง Tempering phase ($T < T_{ff}$) พลังงานความร้อนที่เพิ่มให้ คือ Δh_s ทำให้อุณหภูมิในอาหารแช่แข็งเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเกิดการหลอมเหลวของน้ำแข็งภายในอาหาร ระยะนี้ค่อนข้างสั้น ค่าความจุความร้อนจำเพาะต่ำ (Specific heat capacity, C_p) และค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) สูง

ระยะที่ 2 เรียกว่า Latent zone phase ($T_{ff} < T < T_f$) น้ำแข็งเกิดการหลอมเหลวเนื่องจากพลังงานความร้อนที่เพิ่มให้ คือ Δh_f โดยอุณหภูมิของอาหารในระยะนี้ค่อนข้างคงที่ จนกระทั่งถึงจุด T_f ซึ่งเป็นอุณหภูมิเยือกแข็งของอาหาร หรือเรียกว่า Freezing point ระยะนี้ถือว่าเป็นระยะที่มีความสำคัญต่อกระบวนการละลายอาหารแช่แข็ง เนื่องจากเป็นระยะที่น้ำแข็งเริ่มเปลี่ยนเฟสหรือเกิดการละลายของผลึกน้ำแข็ง ถ้าช่วงนี้ใช้เวลานานจะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ที่ใหญ่ขึ้น (Recrystallization) ซึ่งสามารถทำลายเนื้อเยื่อโครงสร้างและเนื้อเยื่อสัมผัสของอาหาร ดังนั้นกระบวนการละลายอาหารแช่แข็งที่ดีควรทำให้กระบวนการผ่านระยะ Latent zone phase อย่างรวดเร็ว

ระยะที่ 3 เรียกว่า Heating phase ($T > T_f$) เป็นระยะหลังจากน้ำแข็งละลายหมด ในระยะนี้ค่าความจุความร้อนต่ำ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากพลังงานความร้อนที่เพิ่มให้ คือ Δh_c (Haugland, 2002)

2.5.2 ผลกระทบของวิธีการละลายต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร

Shirai, T และ Yoshikawa T. (1999) รายงานว่า การละลายอาหารแช่แข็งเป็นขั้นตอนสำคัญในการแปรรูปอาหาร ปัจจุบันวิธีการละลายที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม ได้แก่ การปล่อยให้ละลายที่อุณหภูมิห้อง และการแช่ในน้ำ เพื่อให้เป็นศูนย์กลางช่วยถ่ายเทความร้อน เป็นวิธีที่ง่าย ไม่ซับซ้อน ต้นทุนการผลิตต่ำ แต่ใช้เวลานานและส่งผลกระทบต่อการใช้สูญเสียคุณภาพของอาหารอย่างมาก เช่น เกิด

การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการละลาย เกิดการเสื่อมเสียของคุณภาพสีและเนื้อสัมผัส รวมทั้งคุณค่าทางโภชนาการ และเสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารพิษจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างการละลายอีกด้วย

จากข้อมูลที่กล่าวถึงการละลายมาแล้วข้างต้น จะเห็นว่า การละลายอาหารแช่แข็ง สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีการ ตามลักษณะของกลไกการถ่ายเทความร้อน คือ การใช้ตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนให้กับผลิตภัณฑ์ และ การใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่สร้างความร้อนให้เกิดขึ้นภายในผลิตภัณฑ์

Miao, Y et. Al. (2007) รายงานว่า การวางสุริมิแช่แข็งทิ้งไว้ให้ละลายตามธรรมชาติ เป็นวิธีการละลายแบบดั้งเดิม มีอัตราการละลายช้า เนื่องจากระหว่างการละลายผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กที่อยู่รอบๆ โครงสร้างเซลล์ในอาหารจะรวมตัวกันเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ แทรกอยู่ระหว่างโครงสร้างเซลล์และความคมของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะทำลายผนังโครงสร้างเซลล์ในอาหาร ส่งผลให้สูญเสียของเหลวภายในเซลล์ หรือที่เรียกว่า การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการละลาย (Drip Loss) ดังนั้นการละลายอาหารแช่แข็งที่อัตราการละลายที่ช้า จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อาหารสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางกายภาพ และเสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารพิษเนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

2.6 จุลินทรีย์กับการละลาย

ในระหว่างการละลายอาหารมีแนวโน้มที่จะเกิดการเสื่อมเสียอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ ฉะนั้นอาจกล่าวได้ว่า กระบวนการละลายเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดความเสียหายได้มากกว่ากระบวนการแช่แข็ง ดังนั้นการละลายที่ใช้เวลานาน โดยทั่วไปจะให้อาหารที่มีคุณภาพดีกว่าการใช้เวลานาน การละลายจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่มีผลเสีย คือ

1. การเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ที่ใหญ่ขึ้น (Recrystallization) ซึ่งสามารถทำลายเนื้อเยื่อโครงสร้างและเนื้อเยื่อสัมผัสของอาหาร
2. การเกิดปฏิกิริยาเคมีในอัตราที่สูงอย่างรวดเร็ว มีผลเสียต่อสี กลิ่น รสและคุณภาพทางอาหาร
3. มีผลให้เกิดการปรับตัวและเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิด โดยเฉพาะหากเวลาในการละลายนั้นนาน อย่างไรก็ตามในเรื่องของการอยู่รอดของจุลินทรีย์นี้เกิดขึ้นกับปัจจัยหลายประการ คือ ชนิดของจุลินทรีย์ ความเร็ว และอุณหภูมิในการแช่แข็ง องค์ประกอบของอาหารที่อาจปกป้องการทำลายเซลล์จุลินทรีย์โดยผลึกน้ำแข็ง ความเร็ว และอุณหภูมิในการละลายน้ำแข็ง ดังนั้น ในรายงานทางวิชาการจึงพบว่า การที่ทิ้งให้อาหารละลายอย่างช้าๆ ทำให้จุลินทรีย์บางชนิดเกิดขึ้นได้

อัตราการละลายอาหารแช่แข็งช้าหรือเร็ว มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์โดยการละลายอาหารแช่แข็งอย่างรวดเร็วจะเป็นการควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเจริญของเชื้อก่อโรค แต่ถ้าอาหารถูกละลายอย่างช้าๆ อุณหภูมิบนผิวหน้าของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้จุลินทรีย์เจริญได้ แม้ว่าบริเวณภายในของอาหารจะยังคงเป็นน้ำแข็งอยู่ ดังนั้นการทำให้อาหารแช่แข็งละลายอย่างรวดเร็วเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียน้อยกว่าการทำให้อาหารละลายอย่างช้าๆ (Ray, 1996)

2.7 การลดปริมาณเกลือในอาหาร

2.7.1 การพาความร้อน

การพาความร้อน แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การพาความร้อนแบบบังคับ (Force Convection) คือ การพาความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงภายนอกบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่ และการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural Convection) คือ ปริมาณความร้อนที่อยู่ในของไหลทำให้ความหนาแน่นของส่วนต่างๆของของไหลต่างกันทำให้ของไหลเกิดการหมุนเวียนพาความร้อนไปถ่ายเทให้กับส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า การพาความร้อนแบบนี้เป็นการพาความร้อนแบบอิสระ จึงเกิดขึ้นค่อนข้างช้า

ฉัตรชัยและคณะ, 2552 จากการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองเพื่อละลายปลาทูน่า ผลการคำนวณด้วยแบบจำลองเพื่อหาเวลาที่ใช้ในการละลายปลาทูน่าพันธุ์ทองแดงด้วยน้ำที่มีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่าง 6-24 วัตต์ต่อตารางเมตร และอุณหภูมิภายในตัวปลาระหว่าง -21 ถึง -3 องศาเซลเซียส โดยกำหนดให้อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการละลาย 15 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงขึ้นจะใช้เวลาในการละลายปลาทูน่าลดลง โดยปลาที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นจาก 2.5 เป็น 3.5 และ 4.5 กิโลกรัม จะใช้เวลามากขึ้นตามลำดับ

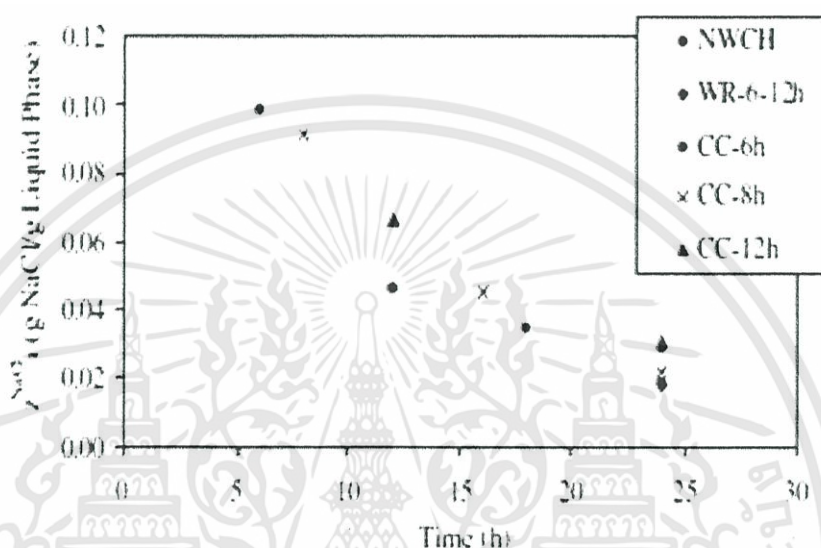
เมื่อเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเวลาที่ใช้ในการละลายปลาทูน่าทั้งน้ำหนัก 2.5 กิโลกรัม และ 3.5 กิโลกรัม จะลดลงและยังสังเกตได้อีกว่า ที่อุณหภูมิเริ่มต้นภายในต่ำกว่า -6 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อเวลาที่ใช้ละลายน้อยมาก เนื่องจากน้ำในตัวปลา มีสถานะเป็นของแข็ง ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) มีค่าสูงมาก ส่งผลให้การส่งถ่ายความร้อนภายในตัวปลาทำได้ดี จึงทำให้การละลายปลาทำได้อย่างรวดเร็ว และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลงอย่างมาก เมื่อค่าอุณหภูมิภายในตัวปลาเพิ่มสูงขึ้นจนสูงกว่า -2 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิของจุดเยือกแข็งปลาทูน่า ส่งผลให้ความสามารถในการส่งผ่านความร้อนลดลง จึงทำให้การละลายช้าลง แต่ถ้าเรามองถึงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะเห็นว่าถ้าเราเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะสามารถประหยัดเวลาในการละลายได้อย่างมาก

2.7.2 การแพร่สัมประสิทธิ์การแพร่

การแพร่ในของเหลว เป็นปรากฏการณ์การส่งผ่านชนิดหนึ่งที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ ปรากฏการณ์การแพร่จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อของเหลวที่มีความเข้มข้นของสารผสมที่แตกต่างกัน (ไกรฤกษ์, 2554) สภาวะการละลายโดยมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำออก ส่งผลให้มีความแตกต่างของความเข้มข้นของสารผสมระหว่างเนื้อปลาและน้ำที่ละลาย ทำให้เกิดการถ่ายโอนโมเลกุลมากขึ้น เพราะหากเกิดความสมดุลของสารผสมระหว่างเนื้อปลาและน้ำแล้ว สารผสมจะไม่สามารถถ่ายโอนโมเลกุลระหว่างกันได้ ซึ่งอธิบายจากหลักสมดุลมวล (Barutet al., 2003)

Barut et al. (2003) ทำการทดลองลดปริมาณเกลือด้วยน้ำที่สภาวะต่างกัน ในการทดลองใช้ปลาคอดเค็มจากนอร์เวย์มีน้ำหนักของเกลือและน้ำคือ 0.2 และ 0.52 ตามลำดับ เนื้อปลาคอดที่ใช้ในกระบวนการลดเกลือต้องมีมิติ $6 \times 2.5 \times 1$ ลูกบาศก์เซนติเมตร และน้ำหนักเฉลี่ย 22.5 ± 2 กรัม โดยการทดลองแบ่งเป็นสองชุด แต่ละชุดใช้เวลาในการลดปริมาณเกลือเท่ากับ 24 ชั่วโมง ชุดแรกเป็นการทดลองลดปริมาณเกลือที่สภาวะดั้งเดิมไม่มีการเปลี่ยนน้ำออก ชุดที่สองเป็นการลดปริมาณเกลือโดยมีการเปลี่ยนน้ำออกสองแบบ แบบแรกเปลี่ยนน้ำในชั่วโมงที่ 6 และชั่วโมงที่ 12 และแบบที่สองเป็นการลดปริมาณ

เกลือโดยเปลี่ยนน้ำทุกๆ 6, 8 และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยจำนวนครั้งในการเปลี่ยนน้ำจะได้ 4, 3 และ 2 ครั้ง ตามลำดับ และที่ขั้นสุดท้ายของการลดเกลือทุกๆแบบ จะมีการตรวจหาปริมาณเกลือและน้ำการเปลี่ยนน้ำที่ชั่วโมงที่ 6 และชั่วโมงที่ 12 สามารถจะเกลือออกได้ดีกว่าการละลายแบบเดิมที่ไม่มีการเปลี่ยนน้ำส่วนการเปลี่ยนน้ำทุก 6, 8 และ 12 ชั่วโมง ให้ผลในการลดปริมาณเกลือสูงที่สุดดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ปริมาณเกลือที่สภาวะต่างกับกับเวลาที่ใช้

(NWCH:ไม่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำ, WR - 6 – 12h :มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหลังจากผ่านไป 6 และ 12 ชั่วโมง, CC - 6H, CC - 8h, CC - 12h :การเปลี่ยนแปลงของน้ำทุก 6, 8 และ 12 ชั่วโมงตามลำดับ)

Andreset al. (2003) ทำการวิเคราะห์การลดลงของเกลือในปลาสดขนาดตัวอย่าง $2 \times 1 \times 1$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่สภาวะต่างๆ โดยทำการทดลองการเพิ่มระดับการกระตุ้นน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ 8 ชั่วโมง ที่ระดับต่างกันคือ 0, 60, 100, 300 และ 500 รอบต่อนาที และทำการทดลองกับตัวอย่างขนาด $2 \times 1 \times 1$ ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้การทำให้เป็นสุญญากาศขนาด 50 มิลลิบาร์ แบบเป็นจังหวะที่เวลาการทดลองที่ 0, 5, 15 และ 30 นาที ผลการทดลองสรุปว่าการเพิ่มระดับการกระตุ้นน้ำมีผลต่อการพาเกลือออกจากตัวอย่าง และผลของการใช้สุญญากาศแบบเป็นจังหวะที่เวลาต่างกัน ผลของการพาเกลือมีผลที่เวลา 15 และ 30 นาที

อิติมาและคณะ (2551) ทำการศึกษาหากรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับการล้างและลดความเค็มของแมงกะพรุนแห้ง จากการทดลองด้วยเครื่องล้างโดยใช้แรงเหวี่ยงจากด้านบน โดยมีมอเตอร์เป็นตัวส่งกำลังให้ใบพัดหมุน ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องโดยปรับค่าอัตราส่วนแมงกะพรุนต่อน้ำโดยน้ำหนัก 1:10, 0.8:10, 0.6:10 และความเร็วรอบมอเตอร์ที่ 60, 90 และ 120 รอบต่อนาที ที่อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางถัง 0.417:1, 0.646:1 และ 0.771:1 เพื่อทดสอบหาความเร็วเฉลี่ยของน้ำจากผิวน้ำถึงระดับความสูง 5 เซนติเมตรจากกันถึง ที่ทำให้แมงกะพรุนสะอาด รวมถึงคุณสมบัติและคุณภาพต่างๆ ได้แก่ ปริมาณเกลือเนื้อสัมผัส ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณน้ำ และพีเอช จากการทดสอบ

พบว่า ควรใช้อัตราส่วนแอมงกะพรุนต่อน้ำโดยน้ำหนักที่ 1:10 ความเร็วเฉลี่ยของน้ำที่สามารถล้างแอมงกะพรุนให้สะอาดมีค่าประมาณ 2.2 เมตรต่อวินาที ระยะเวลาการล้างและลดความเค็มทั้งสิ้น 40 นาทีต่อครั้ง และเมื่อทำตรวจสอบค่าคุณสมบัติและคุณภาพของแอมงกะพรุนหลังล้าง พบว่า ปริมาณน้ำอิสระและค่าพีเอชมีค่าสูงขึ้น ปริมาณเกลือมีค่าลดลง ระยะเวลาที่ใช้ในการล้างสั้นกว่าวิธีที่โรงงานใช้ 75 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณการใช้น้ำลดลง 37 เปอร์เซ็นต์ จุดคุ้มทุน 8,977 กิโลกรัม ปัจจุบันโรงงานล้างอยู่ 125 กิโลกรัมต่อวัน ดังนั้นสามารถคุ้มทุนได้ในระยะเวลา 72 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การศึกษาผลของขนาดและตำแหน่งเนื้อต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือในปลาทูน่า ในระดับอุตสาหกรรม

3.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

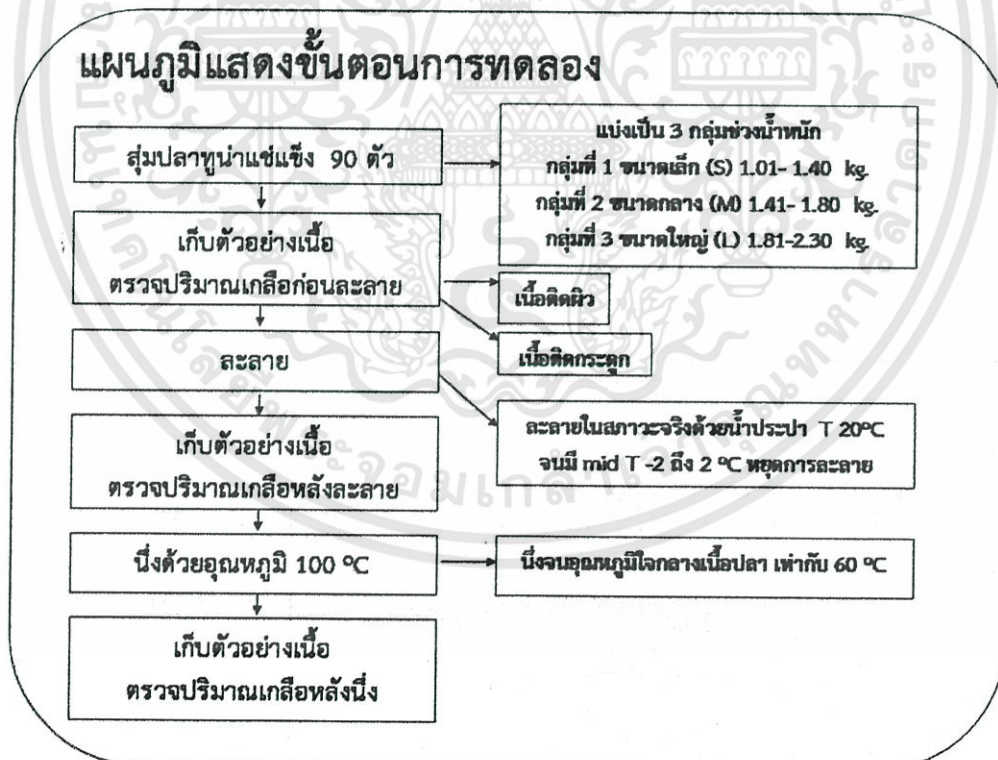
เพื่อศึกษาผลของขนาดและตำแหน่งเนื้อในตัวปลาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือในปลาทูน่า ระหว่างกระบวนการแปรรูป (ก่อนการละลาย หลังการละลาย และหลังการนึ่ง) ในสภาวะการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

3.2 ขอบเขตการศึกษา

3.2.1 ปลาทูน่าพันธุ์ทองแดงจำนวน 90 ตัว แบ่งเป็น 3 ขนาด คือ ปลาทูน่าขนาดเล็ก (S) น้ำหนัก 1.01-1.40 กิโลกรัม ปลาทูน่าขนาดกลาง (M) น้ำหนัก 1.41-1.80 กิโลกรัม และปลาทูน่าขนาดใหญ่ (L) น้ำหนัก 1.81-2.30 กิโลกรัม

3.2.2 ละลายปลาทูน่าจนอุณหภูมิเนื้อติดกระดูก (Back bone) อยู่ระหว่าง 0 ถึง 2 องศาเซลเซียสหยุดการละลาย

3.3 วิธีการทดลอง



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 ตัวอย่างปลา

ตัวอย่างปลาทูน่าแช่เยือกแข็งพันธุ์ท้องแถบ สุ่มตัวอย่างจากสภาวะการผลิตจริงระดับอุตสาหกรรม โดยกำหนดให้มีอุณหภูมิกึ่งกลางตัวปลา (Backbone) น้อยกว่าหรือเท่ากับ -18 องศาเซลเซียส จัดเก็บใน ห้องแช่แข็งที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ -20 องศาเซลเซียส จำนวน 90 ตัว แบ่งปลาเป็น 3 กลุ่มช่วงน้ำหนัก คือ

- กลุ่มที่ 1 ขนาดเล็ก size 01 น้ำหนัก 1.01-1.40 กิโลกรัม 30 ตัว
- กลุ่มที่ 2 ขนาดกลาง size 02 น้ำหนัก 1.41-1.80 กิโลกรัม 30 ตัว
- กลุ่มที่ 3 ขนาดใหญ่ size 61 น้ำหนัก 1.81-2.30 กิโลกรัม 30 ตัว

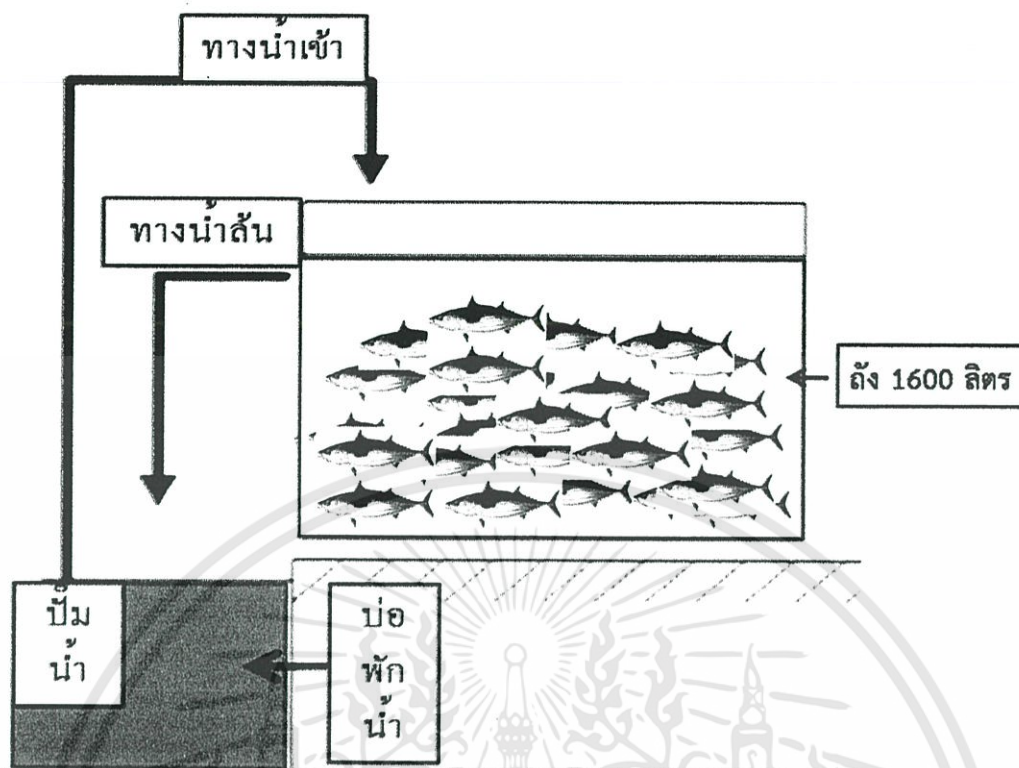
ติดสัญลักษณ์เพื่อบอกลำดับ และช่วงน้ำหนักของปลาทุกตัว ดังรูป 3.2



รูปที่ 3.2 การเตรียมตัวอย่างปลา

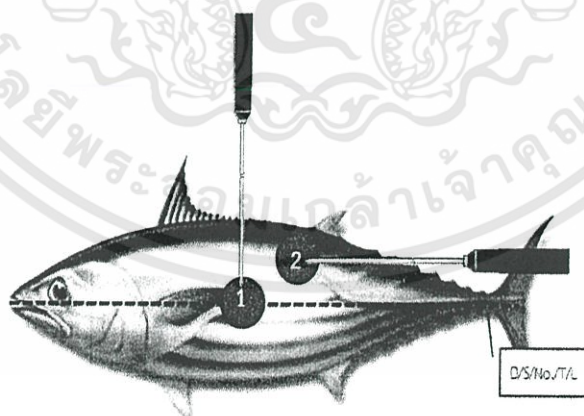
3.3.2 การละลาย และการนึ่ง

การละลายปลาทูน่าแช่แข็ง จะละลายในถังละลายปลาของโรงงานในสภาวะการผลิตจริง ซึ่งเป็นถังละลายขนาดความจุของน้ำ 1600 ลิตร ใช้ตัวอย่างปลาจำนวน 10 ตัวต่อถังละลายตามแผนการผลิตจริง โดยปล่อยน้ำให้ไหลล้นออกตลอดเวลา น้ำล้นออกจากถังละลายและวนน้ำที่ใช้ละลายแล้วกลับมาใช้อีก ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ภาพจำลองการละลายปลาทูน่าด้วยถังละลายในระดับอุตสาหกรรม

จากนั้นใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบดิจิตอล วัดอุณหภูมิบนตัวปลา 2 จุด คือบริเวณเนื้อติดกระดูกที่กึ่งกลางตัวปลา และส้อมวัดบริเวณเนื้อด้านซ้ายหรือขวา 1 จุด โดยบันทึกค่าอุณหภูมิทุก 1 นาที ดังรูปที่ 3.4 และหยุดละลายเมื่ออุณหภูมิทุกจุด อยู่ในช่วง -2 ถึง 2 องศาเซลเซียส



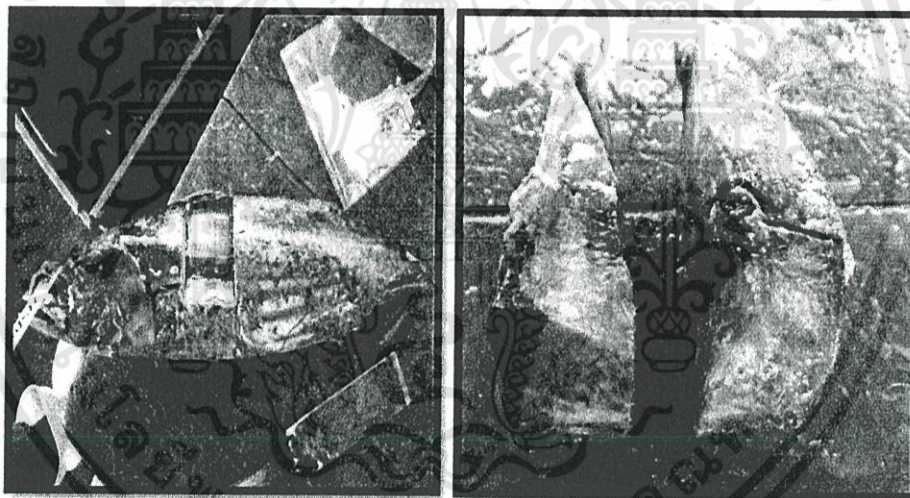
รูปที่ 3.4 ภาพจำลองการวัดอุณหภูมิที่ตัวปลาขณะละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

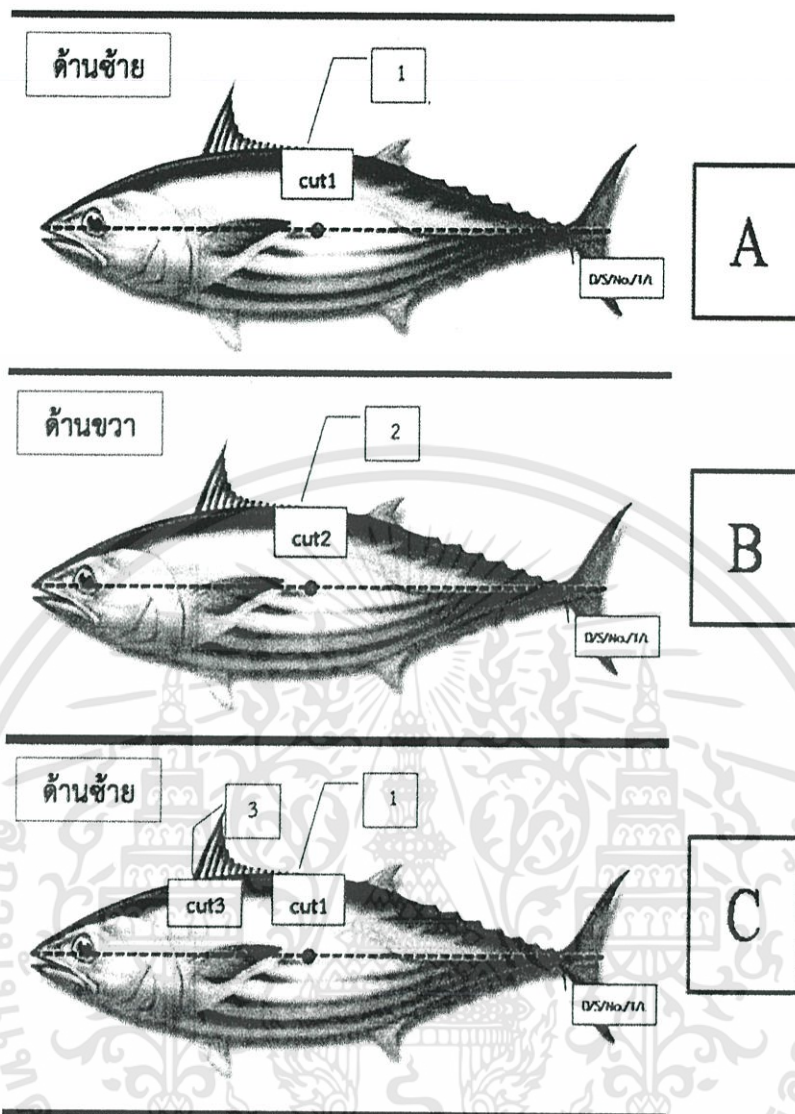
หลังการละลายเก็บตัวอย่างเนื้อปลาทูน่า จากนั้นนำไปนึ่งโดยวางตัวอย่างปลาแบบสุ่มบนชั้นตะแกรง มีล้อ วางปลาให้ด้านที่ถูกตัดตัวอย่างก่อนการละลายคว่ำลง เพื่อป้องกันน้ำที่ออกจากปลาที่วางด้านบนชั้นวางไหลลงมาถูกเนื้อบริเวณที่ตัดเป็นตัวอย่าง เช่นตะแกรงที่วางปลาเป็นชั้นเข้าหม้อนึ่งแบบใช้ไอน้ำ นึ่งโดยใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที, 2 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง 30 นาที จนอุณหภูมิใจกลางเนื้อปลาเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส สำหรับปลาทูน่าขนาดเล็ก, ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ตามลำดับ หลังจากนึ่งเสร็จเก็บตัวอย่างเก็บตัวอย่างปลาทันที เพื่อนำตัวอย่างปลาเนื้อปลาไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณเกลือ ทันที เพื่อนำตัวอย่างปลาเนื้อปลาไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณเกลือ

3.3.3 การเก็บตัวอย่างเนื้อปลา

การเก็บตัวอย่างเนื้อปลาทูน่าแช่แข็ง เก็บตัวอย่างโดยการตัดชิ้นเนื้อปลาขนาด 4 x 5 ตารางเซนติเมตร โดยเก็บตัวอย่างก่อนการละลายบริเวณหลังถึงกลางตัวปลาให้ลึกถึงกระดูกปลา เลาะเอาเลือดและหนังออก สำหรับปลาขนาดกลางและขนาดใหญ่แบ่งเนื้อเป็น 2 ส่วน คือเนื้อส่วนติดผิวหนังด้านบนตัวปลากับเนื้อติดกระดูกแกนกลางตัวปลา นำไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณเกลือทันที หลังการละลายตัดตัวอย่างเหมือนก่อนละลาย บริเวณหลังอีกแถบหนึ่งที่ไม่ตรงกับบริเวณเดิม นำไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณเกลือทันที และหลังนึ่งตัดตัวอย่างปลาเหมือนก่อนละลาย โดยเลือกบริเวณที่ไม่ติดตำแหน่งที่เคยตัดไปแล้วนำไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณเกลือทันทีดังรูปที่ 3.5 และ 3.6



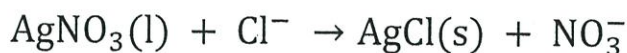
รูปที่ 3.5 การเก็บตัวอย่างเนื้อปลา



รูปที่ 3.7 ภาพจำลองการเก็บตัวอย่างเนื้อปลาทูน่า A : ก่อนละลาย, B : หลังละลาย และ C : หลังนึ่ง

3.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณเกลือในเนื้อปลาทูน่า

การวิเคราะห์ปริมาณเกลือในเนื้อปลาทูน่า ทำตาม AOAC (2005) 971.27 เริ่มจากนำตัวอย่างเนื้อปลาที่เก็บในขั้นตอนก่อนการละลาย หลังการละลาย และหลังการนึ่ง มาบดละเอียดโดยเครื่องปั่นละเอียด แล้วนำมาชั่งน้ำหนักตัวอย่างละ 1-5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งสองตำแหน่ง บนที่ก้นน้ำหนัก นำตัวอย่างเนื้อปลาใส่ในบีกเกอร์ขนาด 80 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงในตัวอย่างปริมาณ 60 มิลลิลิตร ทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่อง Auto Titrator ประมาณ 20 วินาที จากนั้นตรวจวัดปริมาณเกลือโดยการไตเตรทด้วยซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) เข้มข้น 0.1 N (Specific Molarity, mol/L) เพื่อซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) ทำปฏิกิริยากับ Cl^- ตกตะกอนเป็นซิลเวอร์คลอไรด์ (AgCl) ดังสมการ



การไตเตรทใช้เครื่องไตเตรทอัตโนมัติ (Mettler Toledo Auto-titrator) เครื่องจะทำการหยดสารซิลเวอร์ไนเตรทลงในตัวอย่างโดยอัตโนมัติ จากนั้นเครื่องทำการหาจุดยุติจากกราฟ (ซิลเวอร์ไอออนทำปฏิกิริยาพอดีกับคลอไรด์ไอออน) และนำปริมาณซิลเวอร์ไนเตรทที่ใช้มาคำนวณหาร้อยละของเกลือต่อน้ำหนักตัวอย่างเนื้อปลาหน้า Detection Limit : 0.10% ดังสมการ

$$\% \text{Salt} = \frac{\text{mL AgNO}_3 \times \text{N AgNO}_3 \times \text{D}}{\text{g}} \times 100$$

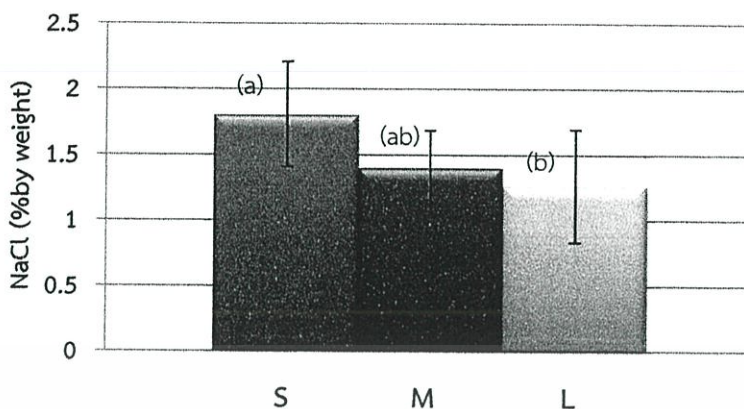
กำหนดให้ mL AgNO₃ คือ ปริมาณซิลเวอร์ไนเตรทที่ใช้ในการไตเตรท (มิลลิลิตร, ml)
 N AgNO₃ คือ Specific Molarity ของซิลเวอร์ไนเตรท (โมลต่อลิตร, mol/L)
 D คือ ความหนาแน่น (Density) ของซิลเวอร์ไนเตรท
 D = 0.05844 กิโลกรัมต่อลิตร (kg/m³, kg/L)
 D = 5.844 กรัมต่อลิตร (g/m³, g/L)
 g คือ ปริมาณตัวอย่างเนื้อปลาที่ใช้ในการทดลอง (กรัม, g)

3.4 ผลและวิจารณ์ผล

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเกลือก่อนละลาย จากปลาหน้าแช่แข็ง 3 ช่วงน้ำหนัก คือ น้ำหนัก 1.01-1.40 กิโลกรัม น้ำหนักระหว่าง 1.41-1.80 กิโลกรัม และน้ำหนักระหว่าง 1.81-2.30 กิโลกรัม จำนวนช่วงน้ำหนักละ 30 ตัว ได้ผลดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปริมาณเกลือก่อนละลายเฉลี่ย (%by weight) ของปลาหน้าแต่ละขนาด

ขนาด/ช่วงน้ำหนัก (kg)	จำนวนตัวอย่าง (ตัว)	ปริมาณเกลือเฉลี่ย(%) Mean ± SD
S/1.01-1.40	30	1.48 ± 0.40 (a)
M/1.41-1.80	30	1.40 ± 0.28 (ab)
L/1.81-2.30	30	1.26 ± 0.43 (b)



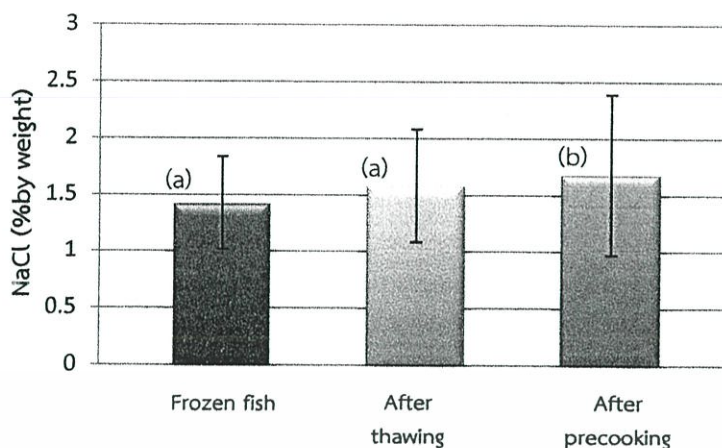
รูปที่ 3.8 ปริมาณเกลือก่อนละลายเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทุ่น้ำแต่ละขนาด

จากรูปที่ 3.8 แสดงปริมาณเกลือก่อนละลายเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทุ่น้ำแต่ละขนาด ขนาดละ 30 ตัว พบว่า ขนาดเล็ก (S) มีปริมาณเกลือก่อนละลาย 1.48 ± 0.40 ขนาดกลาง (M) ที่มีปริมาณเกลือก่อนละลาย 1.40 ± 0.28 และขนาดใหญ่ (L) มีปริมาณเกลือก่อนละลาย 1.26 ± 0.43 จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี DMRT ที่ระดับ 0.05 พบว่า ปลาขนาดเล็กและขนาดกลางไม่แตกต่างกัน ปลาขนาดกลางและขนาดใหญ่มีปริมาณเกลือสูงไม่แตกต่างกัน ส่วนปลาขนาดเล็กและปลาขนาดใหญ่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการทดลองวิเคราะห์ปริมาณเกลือก่อนละลาย (Frozen fish) หลังละลาย (After Thawing) และหลังนึ่ง (After Pre-cooking) ของปลาทุ่น้ำรวมทั้ง 3 ช่วงน้ำหนัก ทั้ง 90 ตัว ได้ผลดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ

ขั้นตอนการตรวจเกลือ	จำนวนตัวอย่าง (ตัว)	ปริมาณเกลือเฉลี่ย (%) Mean \pm SD
ก่อนละลาย (Frozen fish)	90	1.42 ± 0.41 (b)
หลังละลาย (After Thawing)	90	1.58 ± 0.5 (ab)
หลังนึ่ง (After Pre-cooking)	90	1.68 ± 0.71 (a)



รูปที่ 3.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (%by weight) ก่อนละลาย หลังละลายและหลังนึ่งเจ็ลลี่

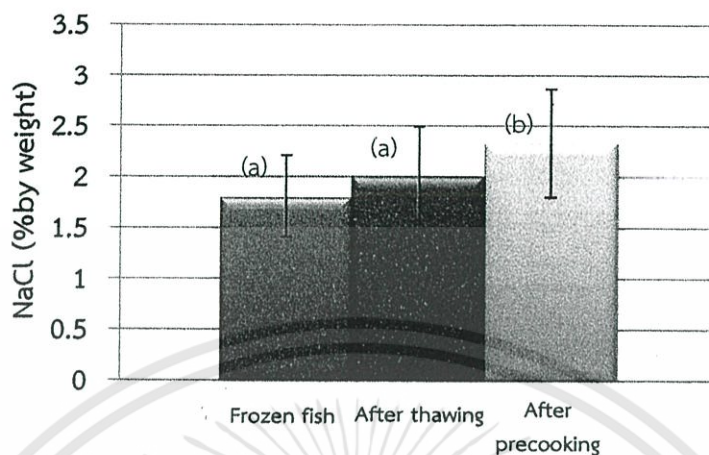
จากรูปที่ 3.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (%by weight) ก่อนละลาย หลังละลายและหลังนึ่งเจ็ลลี่ของปลาทูน่า โดยไม่คำนึงถึงขนาด น้ำหนัก และตำแหน่งเนื้อ จำนวน 90 ตัว พบว่า ก่อนละลายมีปริมาณเกลือเท่ากับ 1.42 ± 0.41 จากนั้นเมื่อละลายในสภาวะการผลิตจริงระดับอุตสาหกรรมทำให้หลังละลายมีปริมาณเกลือเพิ่มสูงขึ้นจากก่อนละลายเป็น 1.58 ± 0.5 และเมื่อนึ่งด้วยหม้อนึ่งไอน้ำที่อุณหภูมิ 100°C ทำให้หลังนึ่งปริมาณเกลือเพิ่มสูงขึ้นจากหลังละลายเป็น 1.68 ± 0.71 จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี DMRT ที่ระดับ 0.05 พบว่า เมื่อเทียบปริมาณเกลือก่อนละลายกับหลังละลายไม่แตกต่างกัน แต่ปริมาณเกลือก่อนละลายและหลังละลาย เทียบกับหลังนึ่งมีปริมาณเกลือสูงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากเมื่อนำปลาทูน่าหลังละลายไปนึ่งด้วยหม้อนึ่งไอน้ำ ความร้อนในหม้อนึ่งจะทำให้น้ำในตัวปลาระเหยออก ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, Aw) จึงลดลง ในขณะที่ปริมาณเกลือยังคงอยู่ในเนื้อปลา ดังนั้นปริมาณเกลือหลังนึ่งจึงสูงกว่าหลังละลาย

จากการวิเคราะห์ปริมาณเกลือก่อนการละลายปลาทูน่า 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก น้ำหนัก 1.01-1.40 กิโลกรัม, ขนาดกลาง น้ำหนัก 1.41-1.80 กิโลกรัม และขนาดใหญ่ น้ำหนัก 1.81-2.30 กิโลกรัม แสดงผลดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (%) โดยน้ำหนักในสภาวะก่อนการละลาย (Frozen fish), หลังการละลาย (After Thawing) และหลังการนึ่ง (After Pre-cooking) ต่อขนาดปลา

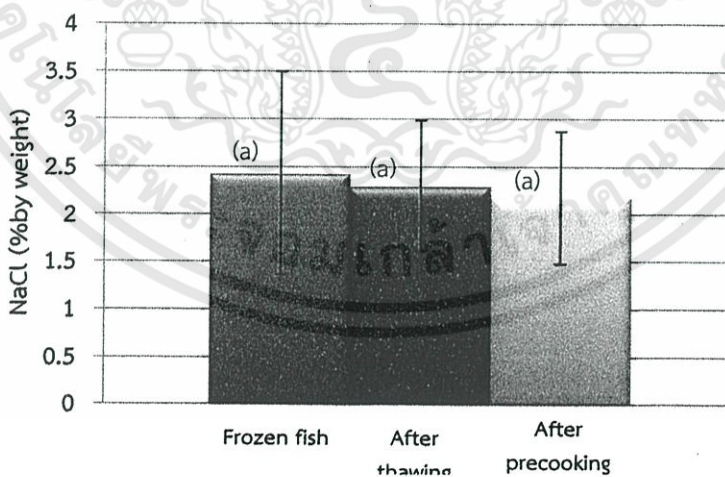
ปริมาณเกลือเฉลี่ย (%) Mean ± SD							
Size	Fish weight (Kg)	Frozen fish		After Thawing		After Pre-cooking	
		Surface	Backbone	Surface	Backbone	Surface	Backbone
S	1.01-1.40	1.80±0.40	1.80±0.40	2.01±0.48	2.01±0.48	2.33±0.53	2.33±0.53
M	1.41-1.80	2.42±1.07	0.37±0.22	2.29±0.90	0.81±0.49	2.17±0.67	1.06±0.77
L	1.81-2.30	1.77±0.78	0.74±0.41	1.85±0.81	0.92±0.91	1.87±0.80	0.89±0.46

จากผลการทดลองในตารางที่ 3.3 นำมาสร้างเป็นแผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือในเนื้อปลา (%) โดยน้ำหนักบริเวณเนื้อติดผิวและเนื้อติดกระดูกในสภาวะต่างๆได้ดังนี้



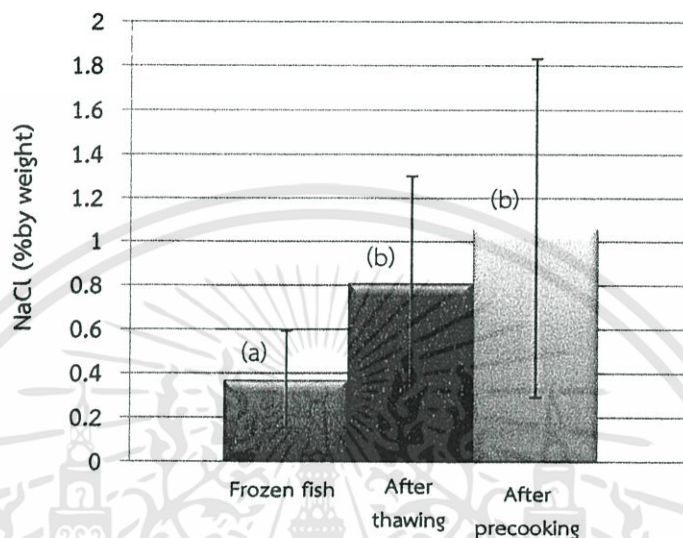
รูปที่ 3.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (%by weight) ในสภาวะต่างๆของปลาขนาดเล็ก (1.01-1.40 kg)

จากรูปที่ 3.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (%by weight) ในสภาวะต่างๆของปลาขนาดเล็ก น้ำหนัก 1.01-1.40 กิโลกรัม พบว่า ก่อนละลายมีปริมาณเกลือเท่ากับ 1.80 ± 0.40 หลังละลายมีปริมาณเกลือเพิ่มสูงขึ้นเป็น 2.01 ± 0.48 และหลังนึ่งมีปริมาณเกลือสูงขึ้นอีกเป็น 2.33 ± 0.53 จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี DMRT ที่ระดับ 0.05 พบว่า ปริมาณเกลือก่อนละลายและหลังละลาย ไม่แตกต่างกัน แต่ก่อนละลายและหลังละลายเทียบกับหลังนึ่งมีปริมาณเกลือสูงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



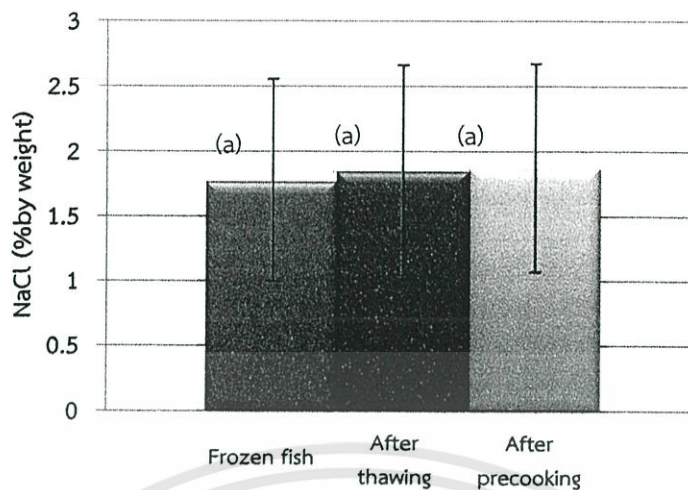
รูปที่ 3.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (%by weight) บริเวณเนื้อติดผิวในสภาวะต่างๆของปลาขนาดกลาง (1.41-1.80 kg)

จากรูปที่ 3.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (%by weight) ในสภาวะต่างๆของปลาขนาดกลาง น้ำหนัก 1.41-1.80 กิโลกรัม บริเวณเนื้อติดผิว พบว่า ก่อนละลายมีปริมาณเกลือเท่ากับ 2.42 ± 1.07 หลังละลายมีปริมาณเกลือลดลงเป็น 2.29 ± 0.90 และหลังนึ่งมีปริมาณเกลือลดลงอีกเป็น 2.17 ± 0.67 จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี DMRT ที่ระดับ 0.05 พบว่า ปริมาณเกลือก่อนละลาย หลังละลายและหลังนึ่งมีปริมาณเกลือสูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



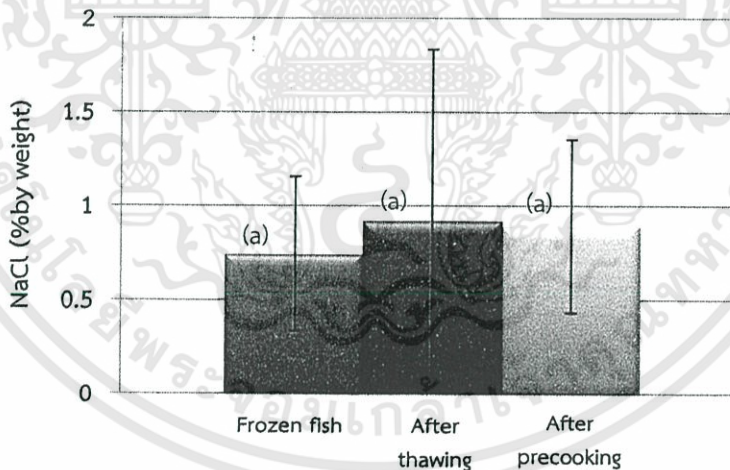
รูปที่ 3.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (%by weight) บริเวณเนื้อติดกระดูกในสภาวะต่างๆของปลาขนาดกลาง (1.41-1.80 kg)

จากรูปที่ 3.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (%by weight) ในสภาวะต่างๆของปลาขนาดกลาง น้ำหนัก 1.41-1.80 กิโลกรัม บริเวณเนื้อติดกระดูก พบว่า ก่อนละลายมีปริมาณเกลือเท่ากับ 0.37 ± 0.22 หลังละลายมีปริมาณเกลือเพิ่มสูงขึ้นเป็น 0.81 ± 0.49 และหลังนึ่งมีปริมาณเกลือเพิ่มขึ้นอีกเป็น 1.06 ± 0.77 จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าปริมาณเกลือก่อนละลายและหลังละลายมีปริมาณเกลือสูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี DMRT ที่ระดับ 0.05 พบว่า ปริมาณเกลือหลังละลายและหลังนึ่งมีปริมาณเกลือสูงไม่แตกต่างกัน แต่ปริมาณเกลือก่อนละลายแตกต่างกับหลังละลายและหลังนึ่งอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 3.13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (%by weight) บริเวณเนื้อติดผิวในสถานะต่างๆของปลาขนาดใหญ่ (1.81-2.30 kg)

จากรูปที่ 3.13 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (%by weight) ในสถานะต่างๆของปลาขนาดใหญ่ น้ำหนัก 1.81-2.30 กิโลกรัม บริเวณเนื้อติดผิว พบว่า ก่อนละลายมีปริมาณเกลือเท่ากับ 1.77 ± 0.78 หลังละลายมีปริมาณเกลือเพิ่มสูงขึ้นเป็น 1.85 ± 0.81 และหลังนึ่งมีปริมาณเกลือเพิ่มขึ้นอีกเป็น 1.87 ± 0.80 จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี DMRT ที่ระดับ 0.05 พบว่า ปริมาณเกลือก่อนละลาย หลังละลาย และหลังนึ่งมีปริมาณเกลือสูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 3.14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (%by weight) บริเวณเนื้อติดกระดูกในสถานะต่างๆของปลาขนาดใหญ่ (1.81-2.30 kg)

จากรูปที่ 3.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (%by weight) ในสถานะต่างๆของปลาขนาดใหญ่ น้ำหนัก 1.81-2.30 กิโลกรัม บริเวณเนื้อติดกระดูก พบว่า ก่อนละลายมีปริมาณเกลือเท่ากับ 0.74 ± 0.41 หลังละลายมีปริมาณเกลือเพิ่มสูงขึ้นเป็น 0.92 ± 0.91 และหลังนึ่งมีปริมาณเกลือลดลงจากหลัง

ละลายเป็น 0.89 ± 0.46 จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี DMRT ที่ระดับ 0.05 พบว่า ปริมาณเกลือก่อนละลาย หลังละลาย และหลังนี้จะมีปริมาณเกลือสูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เนื่องจากน้ำจัดเป็นตัวทำละลายที่ดี สามารถชะละลายเกลือออกจากเนื้อปลาได้ โดยอาศัยวิธีการแพร่ ดังนั้นปริมาณเกลือหลังละลายต้องลดลงจากก่อนละลาย แต่ผลการทดลองส่วนใหญ่ปริมาณเกลือหลังละลายเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า การละลายปลาและกรรมวิธีการผลิตในสภาวะการผลิตจริงในอุตสาหกรรมทำให้ปริมาณเกลือในเนื้อปลาหลังการละลาย และหลังการนึ่งเพิ่มขึ้นจากก่อนละลาย โดยเฉพาะเนื้อส่วนติดกระดูก ที่ปริมาณเกลือเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ถือได้ว่าเป็นสภาวะการละลายที่ไม่เหมาะสม นอกจากจะไม่ช่วยให้ปริมาณเกลือลดลง กลับทวีปัญหาให้ปริมาณเกลือในเนื้อปลาสูงขึ้นอีกด้วย อีกทั้งปริมาณเกลือในเนื้อปลาทუნายังมีความแปรปรวนอยู่ โดยเฉพาะเนื้อส่วนติดกระดูกที่ปริมาณเกลือเพิ่มสูงขึ้น ทั้งๆที่ควรจะลดลง เพราะเกลือจะออสโมซิสจากความเข้มข้นสูงไปความเข้มข้นต่ำ การที่ปริมาณเกลือเพิ่มขึ้นแสดงว่าน้ำที่ใช้ละลายมีปริมาณเกลือสูงกว่าเนื้อติดผิว และเนื้อติดผิวมีปริมาณเกลือสูงกว่าเนื้อติดกระดูก เกลือจึงออสโมซิสเข้าเนื้อปลาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทดลองละลายปลานั้น ผู้ทดลองต้องละลายปลารวมกับปลาจำนวนมากที่ใช้ผลิตในสภาวะการผลิตจริง ทำให้น้ำที่ใช้มีความเข้มข้นของปริมาณเกลือสูง อีกทั้งการเก็บตัวอย่างเนื้อปลา ผู้ทดลองจำเป็นต้องตัดตัวอย่างเนื้อปลาให้ได้น้ำหนักถึง 50-100 กรัม ต่อการทดสอบ 1 ครั้ง เกิดเป็นผลใหญ่จึงอาจทำให้น้ำที่ใช้ในการละลายสัมผัสกับเนื้อปลาด้านใน ทำให้ปริมาณเกลือในเนื้อปลาที่สภาวะต่างๆคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง

จากการศึกษากระบวนการผลิตพบว่า การนำเกลือออกจากเนื้อปลาทუნ่าต้องอาศัยตัวกลางในการพาเกลือออกจากเนื้อปลา ซึ่งการละลายโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางเป็นขั้นตอนที่มีความเป็นไปได้มากที่สุดที่สามารถลดปริมาณเกลือในเนื้อปลาทუნ่าได้ โดยเลือกศึกษาปลาทუნ่าพันธุ์ทองแถบขนาดกลาง น้ำหนักระหว่าง 1.41- 1.80 กิโลกรัม ซึ่งมีปริมาณเกลือมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดเล็กและขนาดใหญ่ จากการทดลองดังกล่าวทำให้ทราบถึงข้อมูลพื้นฐานของปริมาณเกลือในปลาทუნ่า เพื่อนำมาวิเคราะห์และวางแผนการทดลอง โดยเลือกใช้ตัวอย่างจากผลการทดลองในโรงงานและได้ศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่าง การวิเคราะห์ปริมาณเกลือ เพื่อเป็นแนวทางการปฏิบัติในการทดลองต่อไป

บทที่ 4

ผลของการละลายปลาทูน่าด้วยน้ำต่อปริมาณเกลือ

4.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาผลของการละลายปลาทูน่าแช่แข็ง ด้วยน้ำนิ่ง และน้ำวนที่อัตราการไหลต่างกัน ต่อการลดปริมาณเกลือในปลาทูน่า ที่เนื้อตำแหน่งต่างกัน ในชุดทดลองระดับปฏิบัติการ

4.2 ขอบเขตการศึกษา

4.2.1 ใช้ปลาทูน่าแช่แข็งพันธุ์ทองแถบ น้ำหนัก 1.41-1.80 กิโลกรัม ที่ปริมาณเกลือในเนื้อปลาเริ่มต้นสูง อยู่ในระดับใกล้เคียงกัน จำนวน 90 ตัว

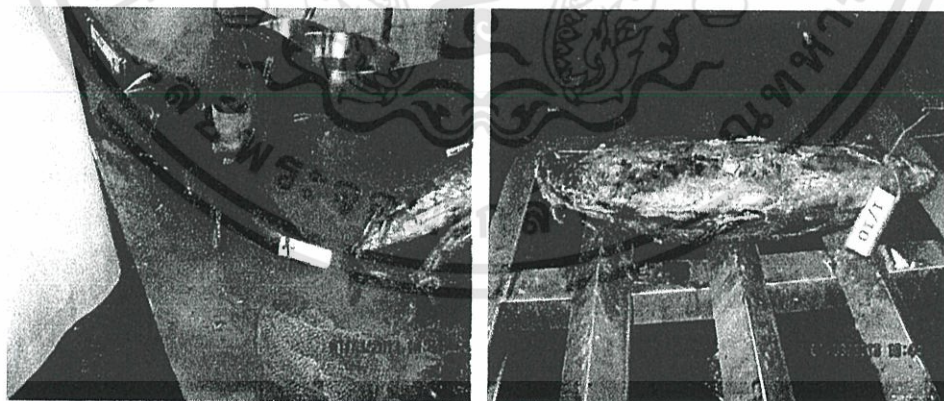
4.2.2 ละลายปลาทูน่าจนอุณหภูมิเนื้อติดกระดูก (back bone temperature) อยู่ระหว่าง 0 ถึง 2 องศาเซลเซียสจึงหยุดการละลาย

4.3 วิธีการทดลอง

4.3.1 ตัวอย่างปลาทูน่า

ปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบขนาดกลาง (size 02) น้ำหนัก 1.41-1.80 กิโลกรัม ทั้งสิ้นจำนวน 90 ตัว โดยได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ไทยยูเนี่ยน โฟรเซ่น โปรดักส์ จำกัด (มหาชน) อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร

ปลาที่ใช้ในการทดลองนี้ คัดเลือกเฉพาะปลาที่มีปริมาณเกลือเริ่มต้นสูงและอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน คัดเลือกด้วยการวัดปริมาณเกลือเริ่มต้นด้วยเครื่อง NIR (Near-infrared spectroscopy) ที่ได้รับอนุเคราะห์จากบริษัท ไทยรวมสินพัฒนาอุตสาหกรรม จำกัด สุ่มแบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 30 ตัว ติดสัญลักษณ์เพื่อบอกลำดับปลาทุกตัว ดังแสดงในรูป 4.1



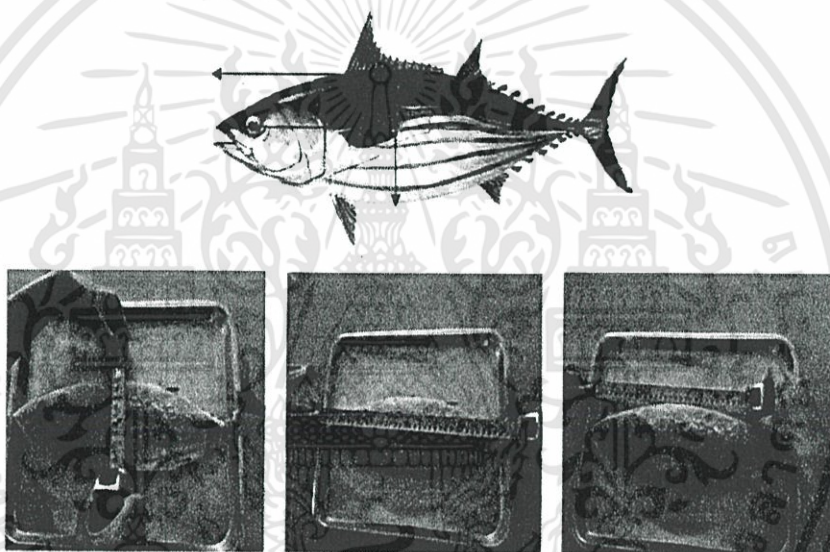
รูปที่ 4.1 การตรวจสอบปริมาณเกลือด้วยเครื่อง NIR เพื่อคัดเลือกตัวอย่างปลา และสุ่มตัวอย่าง ติดสัญลักษณ์

ปลาตัวอย่างถูกขนส่งมายังสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยบรรจุในถังเก็บความเย็น รักษาอุณหภูมิของตัวปลาด้วยน้ำแข็งแห้ง ใช้เวลาในการเดินทาง 1 ชั่วโมง 30 นาที และเมื่อถึงสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แยกปลาใส่ถุงแล้วเก็บไว้ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะทดลอง

4.3.2 การเตรียมตัวอย่างปลาท่อนก่อนการละลาย

4.3.2.1 การวัดขนาดและชั่งน้ำหนัก

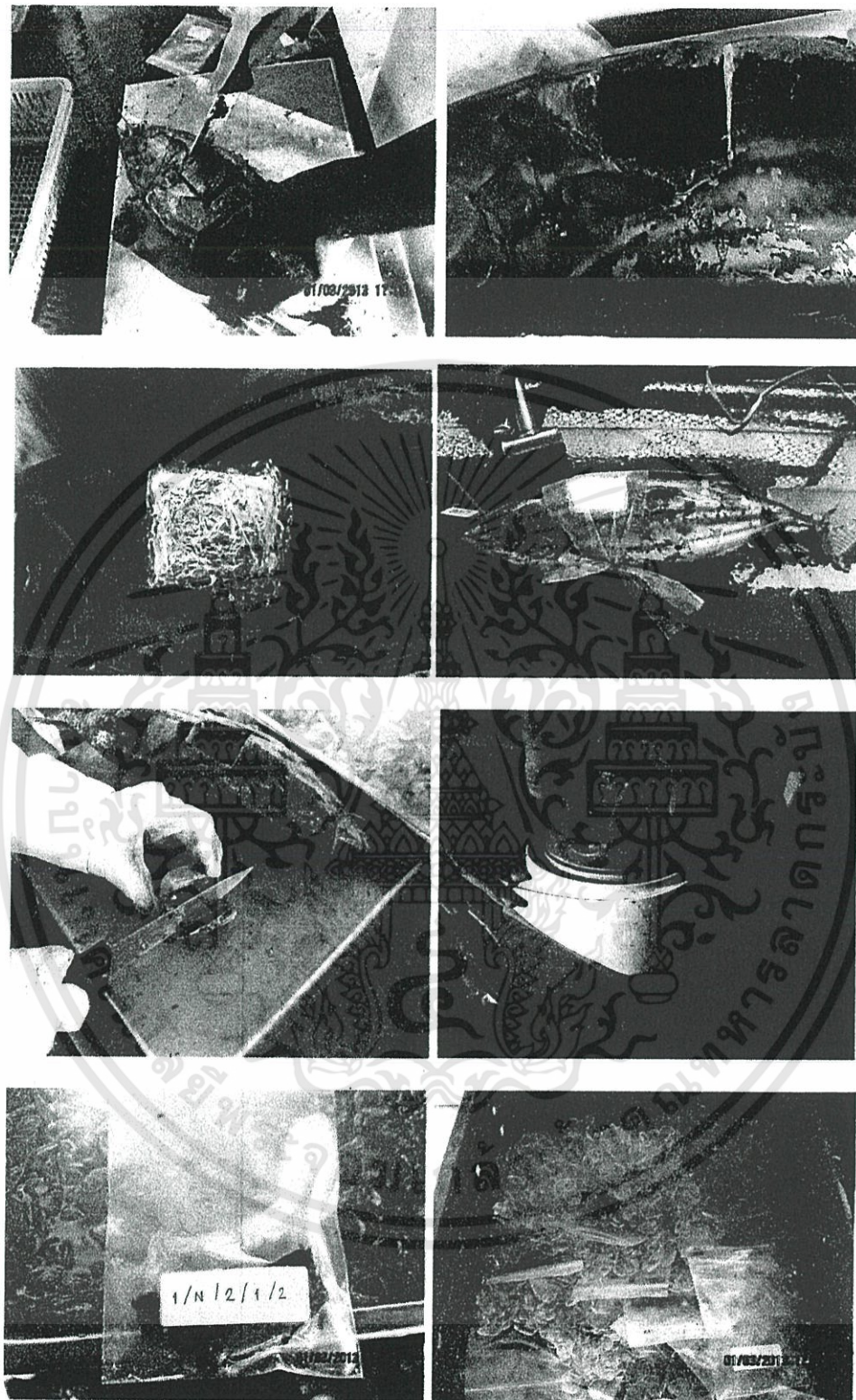
ปลาท่อนที่ใช้ในการทดลองทุกตัว ถูกชั่งน้ำหนัก และวัดขนาด 3 จุด คือ ความกว้าง ความยาว และความหนาของตัวปลา ดังรูปที่ 4.2 โดย วัดความยาวจากหัวปลาถึงโคนหาง วัดความกว้างจากจุดที่กว้างที่สุดของตัวปลา และวัดความยาวจากหัวปลาไปจนถึงครีบหลัง ปลาแต่ละตัวถูกติดสัญลักษณ์บอกลำดับน้ำหนัก และขนาดตัวปลา จากนั้นนำไปแช่ในตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.2 การวัดขนาดปลาท่อน

4.3.2.2 การเก็บตัวอย่างเนื้อปลาท่อนก่อนละลาย

เก็บตัวอย่างของเนื้อปลาท่อนก่อนละลายเพื่อตรวจหาปริมาณเกลือในเนื้อปลาท่อน โดยปลา 1 ตัว จะเก็บตัวอย่างเนื้อ 1 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ใช้มีดคมตัดตัวอย่างเนื้อสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 4x5 ตารางเซนติเมตร บริเวณเนื้อส่วนหัวถึงลงไปจนถึงกระดูกแกนกลางตัวปลา แผลที่เกิดจากการเจาะเนื้อปลาท่อนก่อนละลาย จะถูกปิดให้สนิท ด้วยดินน้ำมันห่อฟอยด์ห่ออาหารและปิดแผลด้วยกาวแข็งไม่ละลายน้ำให้พอดีกับขนาดแผลที่เจาะ จากนั้นผูกด้วยผ้าตาข่ายเพื่อป้องกันน้ำซึมเข้าเนื้อขณะละลาย แบ่งตัวอย่างเนื้อปลาท่อนเป็นสองส่วนคือ ส่วนเนื้อติดผิวและเนื้อติดกระดูก เอาเลือดและหนังออก ปั่นให้ละเอียด จากนั้นเก็บไว้ในถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียสเพื่อรอตรวจวิเคราะห์ปริมาณเกลือ

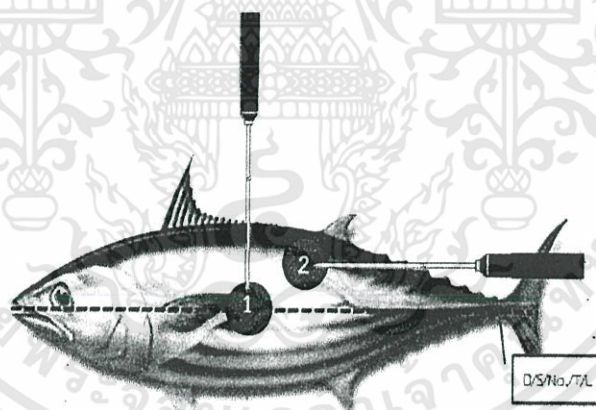


รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างเนื้อปลาทูน่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.3 การเสียบเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิ

หลังเก็บตัวอย่างเนื้อก่อนละลายแล้ว ได้สุ่มปลา 2 ตัว เพื่อเสียบเทอร์โมคัปเปิล สำหรับวัดอุณหภูมิภายในเนื้อปลา แสดงในรูปที่ 4.4 โดยการ เจาะรูปลาแซ่แข็งด้วยสว่านไฟฟ้า ขนาดหัวเจาะ 1.6 มิลลิเมตร ปลา 1 ตัวเจาะรู 2 ตำแหน่ง ตำแหน่งที่ 1 เจาะบริเวณกึ่งกลางตัวปลาจนถึงเนื้อติดกระดูก และตำแหน่งที่ 2 เจาะบริเวณผิวหนังข้างเหนือรูเจาะที่ตำแหน่งที่ 1 และวัดมุมตรงตำแหน่งที่เจาะ คือ ความยาวจากหัวถึงตำแหน่งที่เจาะ (X) ความกว้างจากครีบหลังลงมาถึงตำแหน่งที่เจาะ (Y) และความลึกจากตำแหน่งที่เจาะลงไปเนื้อปลา (Z)



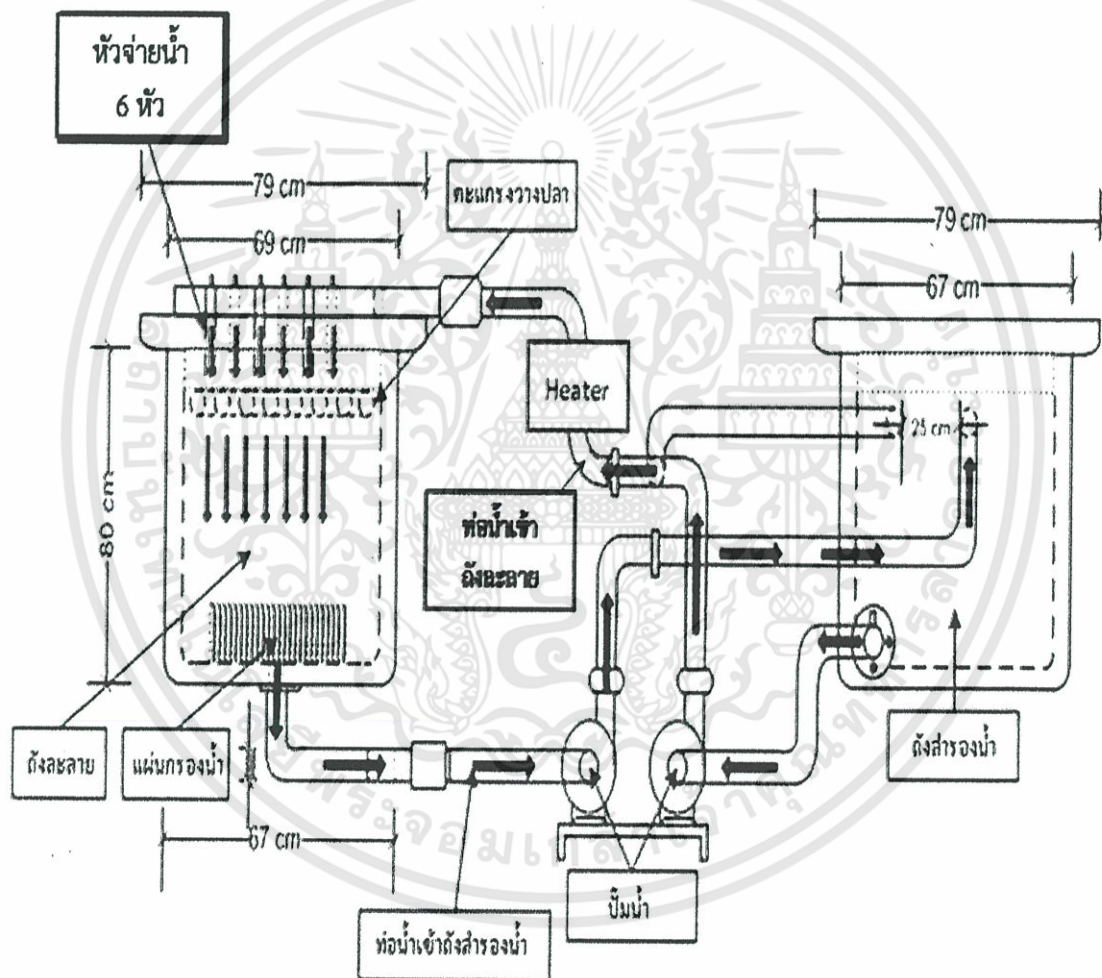
รูปที่ 4.4 การเจาะตัวอย่างปลาและตำแหน่งที่เสียบเทอร์โมคัปเปิล

ก่อนการละลาย จะเก็บปลาทูน่าที่ เสียบสายเทอร์โมคัปเปิลแล้วไว้ที่ตู้แช่เยือกแข็ง เพื่อให้อุณหภูมิเริ่มต้น ในตัวปลาใกล้เคียงกัน

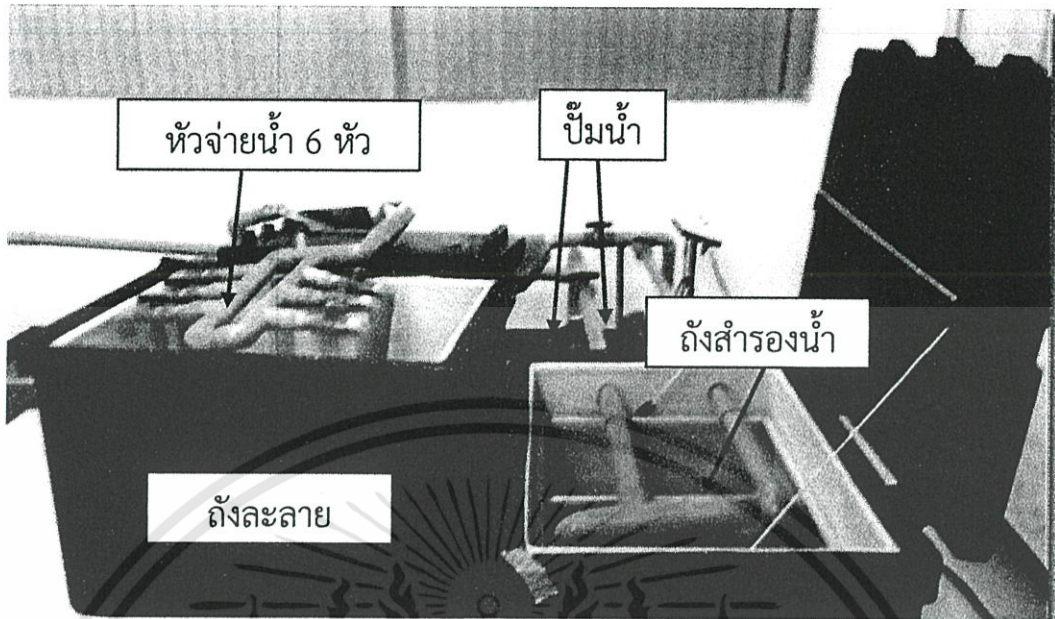
4.3.3 ชุดอุปกรณ์ละลายปลาทุ่น

ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้ดัดแปลงจากชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยของ วสันต์และคณะ (2554) ประกอบด้วย ถังละลายขนาดบรรจุ 400 ลิตร และถังสำรองน้ำขนาด 400 ลิตร เป็นถังหุ้มฉนวน เชื่อมต่อกันด้วยท่อพีวีซีและปั้มน้ำ 2 ตัว โดยน้ำจากถังสำรอง จะถูกปั้มน้ำแรกส่งเข้าสู่ถังละลาย ทางท่อด้านบน ผ่านหัวจ่าย 6 หัว ที่ต่อขนานกันเพื่อให้น้ำกระจายสม่ำเสมอระหว่างการละลาย และปั้มน้ำที่สองดูดน้ำออกจากถังละลาย อัตราการไหลของน้ำขาเข้า และขาออกจากถังละลาย ปรับได้ด้วยวาล์ว ภายในถังละลาย มี ตะแกรงเจาะรู เพื่อวางตัวอย่างอย่างปลาทุ่น

งานวิจัยนี้ ดัดแปลงชุดอุปกรณ์ละลายโดยการเพิ่มหม้อต้มน้ำและชุดควบคุมอุณหภูมิ เพื่อรักษาอุณหภูมิน้ำให้คงที่ ที่ 20 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้



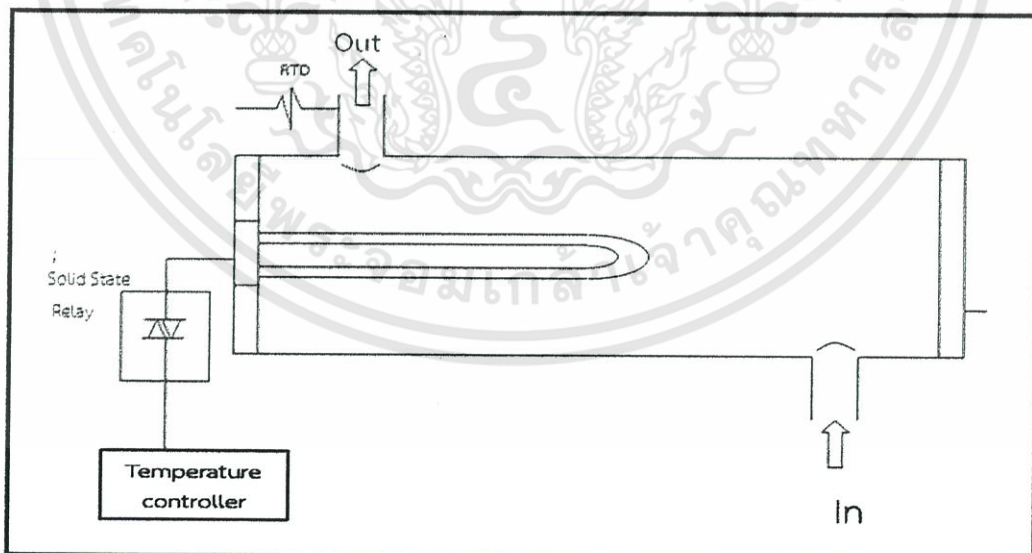
รูปที่ 4.5 แบบจำลองชุดอุปกรณ์การละลายปลาทุ่นระดับห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 4.6 ชุดอุปกรณ์การละลายปลาทูน่าระดับห้องปฏิบัติการ

หม้อต้มน้ำ (Heater)

หม้อต้มน้ำที่ใช้ในการทดลองเป็นหม้อต้มน้ำขนาด 2 ลิตร ใช้ฮีตเตอร์แบบจุ่มในการให้ความร้อนเพื่อรักษาอุณหภูมิน้ำให้คงไว้ที่ 20 องศาเซลเซียส ก่อนปล่อยเข้าถังละลายผ่านหัวจ่ายน้ำ 6 หัว ควบคุมการทำงานด้วย ชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) และมี โซลิดสเตตรีเลย์ (solid state relay) ติดตั้งไว้เพื่อป้องกันการลัดวงจร และกำหนดให้ขนาดของท่อขาออกเล็กกว่าท่อขาเข้าเพื่อชะลอน้ำให้ฮีตเตอร์ทำความร้อนได้ทัน แสดงดังรูป 4.7



รูปที่ 4.7 หม้อต้ม (Heater)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller)

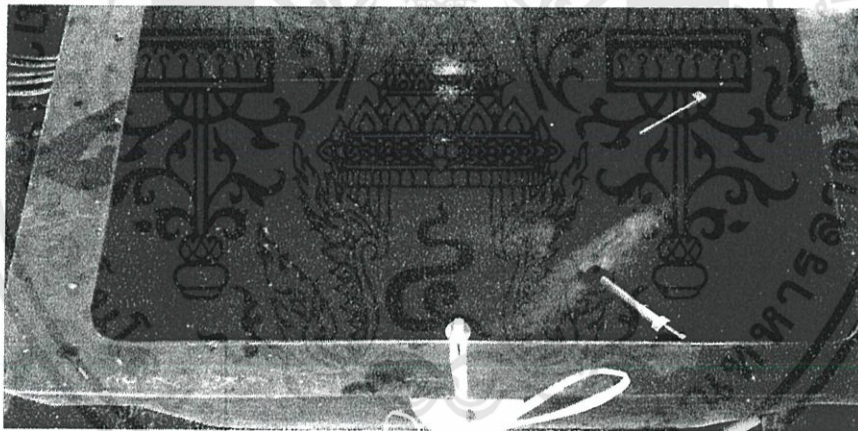
ชุดควบคุมอุณหภูมิ มีไว้เพื่อควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์ภายในหม้อต้ม โดยติดตั้ง RTD บริเวณปลายท่อหัวจ่ายน้ำ เพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำขาออกและส่งสัญญาณไปยัง ชุดควบคุมอัตโนมัติที่จะสั่งการไปยังฮีตเตอร์อีกที

4.3.4 การทดลองละลายปลา

ในงานวิจัยจึงได้กำหนดสภาวะที่ใช้ละลายปลาหน้า 3 สภาวะ คือ สภาวะน้ำนิ่ง สภาวะน้ำวนที่อัตราการไหล 30 ลิตรต่ออนาที และสภาวะน้ำวนที่อัตราการไหล 200 ลิตรต่ออนาที ดังนี้

การละลายปลาหน้าในสภาวะน้ำนิ่ง

สภาวะน้ำนิ่ง เป็นการละลายด้วยน้ำโดยอาศัยการพาความร้อนแบบธรรมชาติ โดยใช้ถังละลายขนาดบรรจุ 200 ลิตร น้ำที่ใช้ละลายเป็นน้ำสะอาด คงอุณหภูมิเริ่มต้น 20 องศาเซลเซียส ระหว่างละลายปลา วัดอุณหภูมิที่ตัวปลา 2 จุด (หัวข้อ 4.3.2.3) ดังรูปที่ 4.8 การละลายจะดำเนินการจนตัวอย่างปลาหน้ามีอุณหภูมิใจกลางตัวปลา อยู่ระหว่าง 0 ถึง 2 องศาเซลเซียส บันทึกเวลาที่ใช้ในการละลาย จากนั้นนำตัวอย่างปลามาเก็บตัวอย่างเนื้อหลังละลายเพื่อวัดปริมาณเกลือเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก (รายละเอียดในหัวข้อ 4.3.6) การทดลองแต่ละครั้งใช้ตัวอย่างทดลองจำนวน 10 ตัว ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง นำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

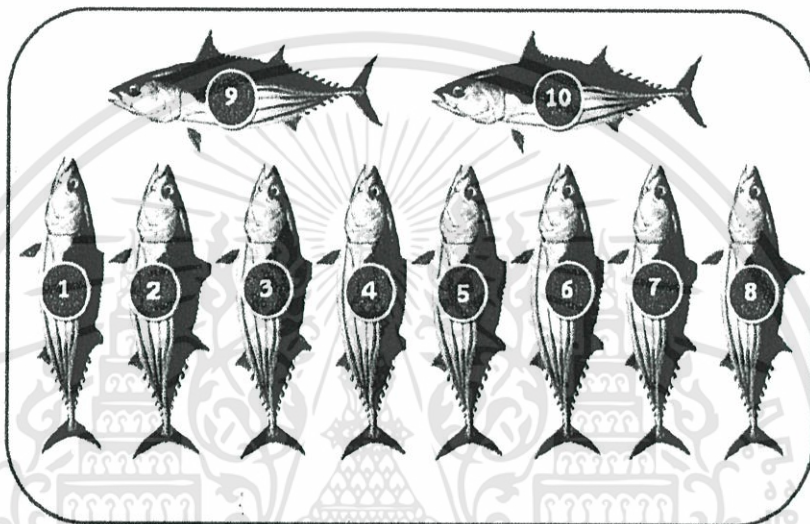


รูปที่ 4.8 การละลายในสภาวะน้ำนิ่ง

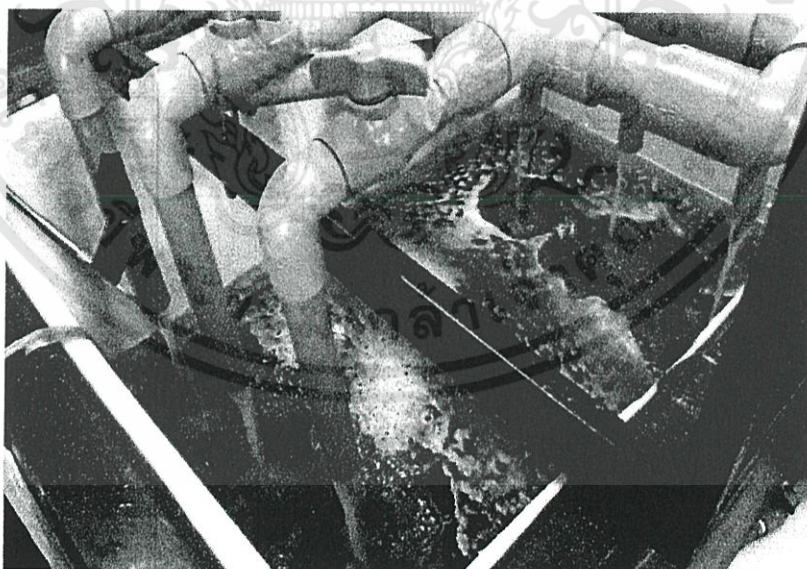
การละลายปลาหน้าในสภาวะน้ำวนที่อัตราการไหลต่างกัน

การละลายปลาหน้าในสภาวะน้ำวนใช้ชุดทดลองในห้องปฏิบัติการที่กล่าวไว้ในข้อ โดยปรับอัตราการไหลของน้ำได้ด้วยวาล์วและวัดอัตราการไหลด้วยการวัดปริมาตรของน้ำในเวลาที่กำหนด ให้น้ำมีอัตราการไหลต่ำคงที่ประมาณ 30 ลิตรต่ออนาที และปรับอัตราการไหลของน้ำให้สูง คือให้มีอัตราการไหล 200 ลิตรต่ออนาที โดยมีลักษณะและการจัดเรียงตัวปลา จำนวน 10 ตัวต่อการทดลอง 1 ครั้ง ให้วางตามแนวนอน โดยผลที่เจาะอยู่ด้านล่าง ดังรูป 4.9 และ 4.10

ในระหว่างละลายปลาวัตถุดิบที่ตัวปลา 2 จุด คือ อุณหภูมิใจกลางตัวปลา (Back bone Temperature) และส้อมวัดอีก 1 จุด เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (รายละเอียดในหัวข้อที่ 4.3.5) พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิน้ำที่ใช้ละลาย บันทึกค่าอุณหภูมิทุก 1 นาที จนตัวอย่างปลาทูนามีอุณหภูมิใจกลางตัวปลา อยู่ระหว่าง 0 ถึง 2 องศาเซลเซียสจึงหยุดการละลาย บันทึกเวลาที่ใช้ในการละลาย (min) จากนั้นนำตัวอย่างปลามาเก็บตัวอย่างเนื้อหลังละลายเพื่อวัดปริมาณเกลือเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก (รายละเอียดในหัวข้อ 4.3.3) การทดลองแต่ละครั้งใช้ตัวอย่างทดลองจำนวน 10 ตัว ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง นำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย เช่นเดียวกันกับการละลายในสภาวะน้ำนิ่ง



รูปที่ 4.9 ตำแหน่งการวางปลา ในสภาวะน้ำวนที่อัตราการไหลต่างๆ



รูปที่ 4.10 การละลายในสภาวะน้ำวนที่อัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 การหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของการละลายโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางที่สภาวะต่างกัน

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) ของการละลายปลาทูน่าแช่แข็งที่ใช้น้ำเป็นตัวกลางในสภาวะต่างกัน ได้จากเปรียบเทียบอุณหภูมิของปลาทูน่าที่ได้จากการทดลอง กับอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้แบบจำลองที่ทำนายอุณหภูมิในปลาทูน่าระหว่างการละลาย ที่พัฒนาโดย พิมพ์เพ็ญและคณะ (2554)

ค่า h ได้จากการเปรียบเทียบ ค่า h ที่ทำให้ผลต่างของอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองและการคำนวณแตกต่างกันน้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยประเมิน ค่า h ที่ทำให้ ค่า Standard Error Mean (SE) ต่ำกว่า 1.5 องศาเซลเซียส ทั้งสองตำแหน่ง (วสันต์และคณะ, 2554)

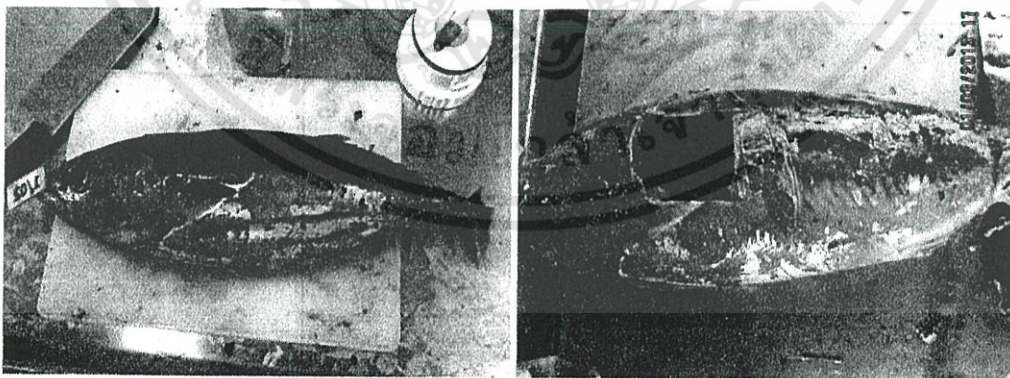
$$SE (\text{Std. Error Mean}) = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^n (T_{\text{predict}} - T_{\text{experiment}})^2}{n}}$$

เมื่อ

T_{predict} คือ อุณหภูมิภายในเนื้อปลาที่ได้จากการคำนวณที่เวลาใดๆ (°C)
 $T_{\text{experiment}}$ คือ อุณหภูมิภายในเนื้อปลาทูน่าที่ได้จากการทดลองที่เวลาใดๆ (°C)
 n คือ จำนวนข้อมูล

4.3.6 การเก็บตัวอย่างเนื้อปลาล้างละลาย

เก็บตัวอย่างของเนื้อปลาล้างละลายเพื่อตรวจหาปริมาณเกลือในเนื้อปลาล้าง โดยปลา 1 ตัว จะเก็บตัวอย่างเนื้อ 1 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.11 โดยใช้มีดคมตัดผ้าตาข่าย นำกาวและดินน้ำมันออกจากนั้นกลับด้านตัวปลาเพื่อตัวอย่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 4x5 ตารางเซนติเมตร บริเวณเนื้อกลางลำตัว ค่อนไปทางส่วนหัว แต่ไม่ตรงกับแผลที่ตัดตัวอย่างก่อนละลาย ตัดสีกกลงไปจนติดกระดูกแกนกลางตัวปลา แบ่งตัวอย่างเนื้อปลาล้างเป็นสองส่วนคือ ส่วนเนื้อติดผิวและเนื้อติดกระดูก เอาเลือดและหนังออก ปั่นให้ละเอียด จากนั้นเก็บไว้ในถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียสเพื่อรอตรวจวิเคราะห์ปริมาณเกลือ

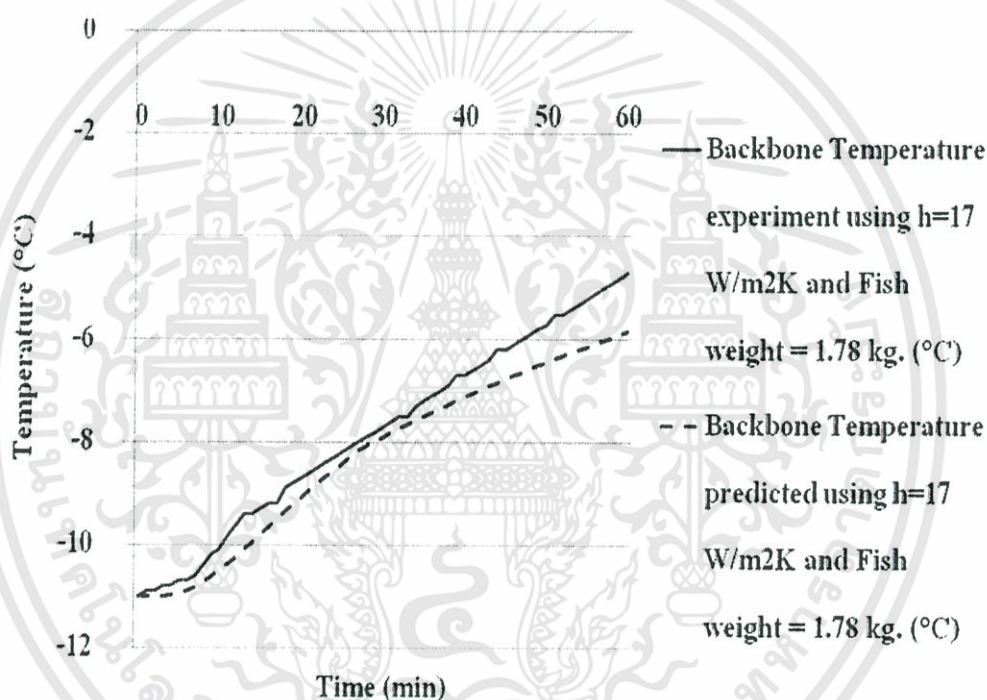


รูปที่ 4.11 ตัวอย่างปลาล้างละลาย

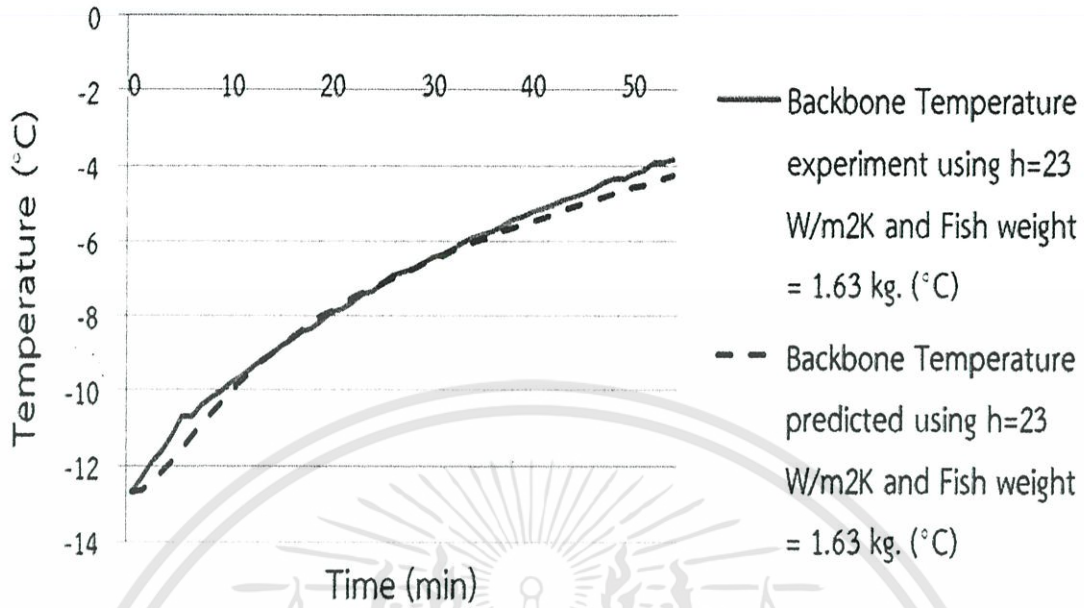
4.4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของการละลายปลาด้วยน้ำ

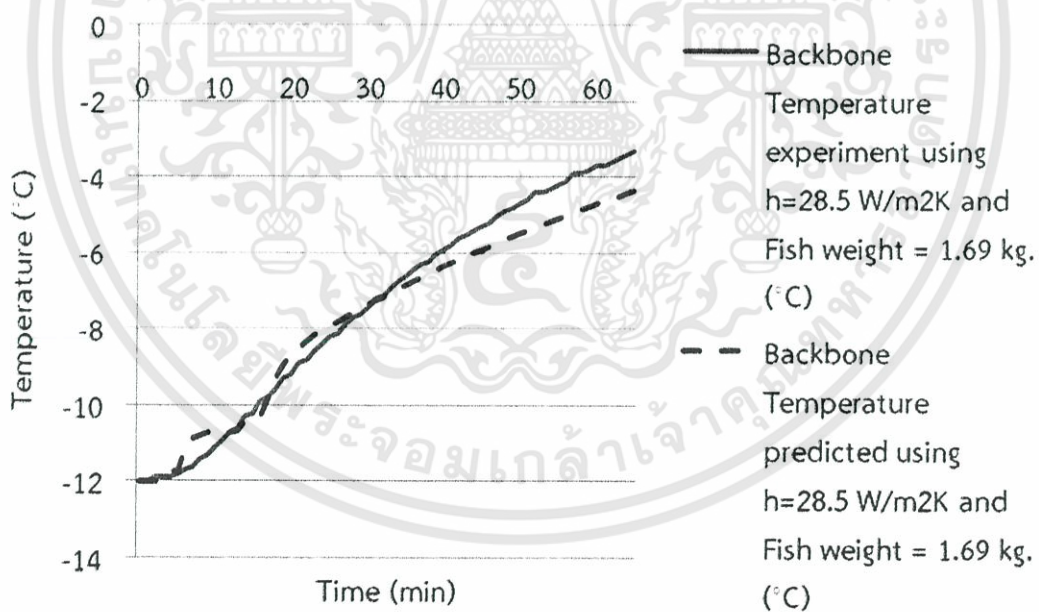
ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนปลาหุ่่น้ำหนักระหว่าง 1.41 - 1.80 กิโลกรัม ประเมินโดยใช้ อุณหภูมิภายในตัวปลา 2 ตำแหน่ง ระหว่างการละลาย จากอุณหภูมิเริ่มต้น -10 - (-13) องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิใจกลางได้ 0 องศาเซลเซียส โดยการเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ทำให้ อุณหภูมิที่วัดได้จากการทดลองกับอุณหภูมิที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองมี ค่า Standard Error Mean (SE) น้อยที่สุด ตัวอย่างกราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้และอุณหภูมิที่ทำนายได้จากแบบจำลอง ของการละลายในสภาวะน้ำนิ่ง น้ำวนที่อัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที และ น้ำวนที่อัตราการไหล 200 ลิตรต่อนาที แสดงดัง รูปที่ 4.12, 4.13 และ 4.14



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างกราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้ และอุณหภูมิที่ทำนายได้จากแบบจำลองของการละลายในสภาวะน้ำนิ่ง



รูปที่ 4.13 ตัวอย่างกราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้และอุณหภูมิที่ทำนายได้จากแบบจำลองของการละลายในสภาวะน้ำวน ด้วยอัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.14 ตัวอย่างกราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้และอุณหภูมิที่ทำนายได้จากแบบจำลองของการละลายในสภาวะน้ำวน ด้วยอัตราการไหล 200 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการประเมินค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนปลาทונה แสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของการละลายในสภาวะน้ำนิ่งมีค่าต่ำที่สุดคือ อยู่ระหว่าง 15 - 20 W/m^2K เมื่อละลายปลาในสภาวะน้ำวน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 20 - 25 W/m^2K และเมื่อเพิ่ม อัตราการไหลเป็น 200 ลิตรต่อนาที ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเพิ่มขึ้นเป็น 27 - 30 W/m^2K ซึ่งค่าที่ได้ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ ฉัตรชัย และคณะ (2552)

เวลาที่ใช้ละลายปลาทונה ดังตารางที่ 4.1 พบว่า การละลายปลาในสภาวะน้ำนิ่งใช้เวลา 103 - 110 นาที และเมื่อละลายโดยใช้น้ำวนจะช่วยลดเวลาการละลายลง เนื่องจากเป็นสภาวะที่มีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงขึ้น โดยการละลายในสภาวะน้ำวนที่มีอัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที ใช้เวลา 86 - 99 นาที อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของการละลายด้วยน้ำวน มาเป็น 200 ลิตรต่อนาที เวลาที่ใช้ในการละลายลดลงเพียงเล็กน้อย ใช้เวลา 81-84 นาที

ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน และ SE ของน้ำที่สภาวะการละลายต่างๆ

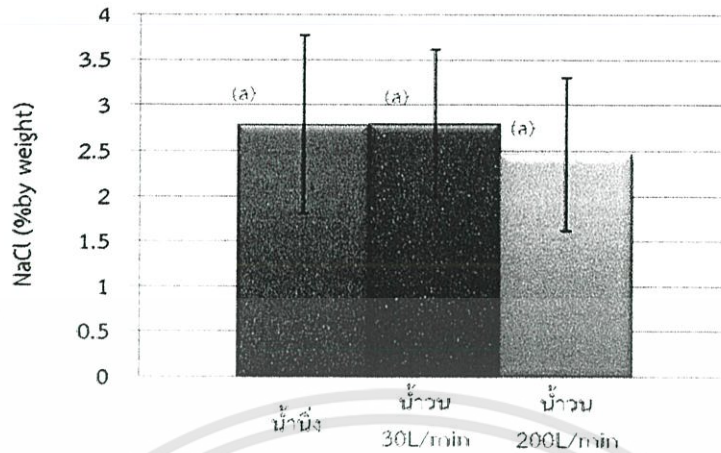
สภาวะการละลาย	น้ำหนัก (Kg)	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m^2K)	SE. ($^{\circ}C$)	เวลาที่อุณหภูมิเนื้อติดกระดูกถึง 0 $^{\circ}C$ (min)
น้ำนิ่ง	1.78	17	1.69	110
น้ำวน อัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที	1.63	23	1.89	86
น้ำอลวน อัตราการไหล 200 ลิตรต่อนาที	1.69	28.5	1.09	81

4.4.2 ผลการละลายด้วยน้ำที่สภาวะต่างๆต่อปริมาณเกลือ

จากการทดลองเพื่อศึกษาของการละลายปลาทונהด้วยน้ำต่อปริมาณเกลือ พบว่าปริมาณเกลือก่อนละลายของปลาทונהแช่แข็ง น้ำหนักระหว่าง 1.41-1.80 กิโลกรัม จำนวน 90 ตัว ที่สุ่มแบ่งละลายใน 3 สภาวะ คือ สภาวะน้ำนิ่ง สภาวะน้ำวนที่มีอัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที และสภาวะน้ำวนที่มีอัตราการไหล 200 ลิตรต่อนาที มีผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณเกลือก่อนละลายเฉลี่ย (%by weight) ของตัวอย่างปลาทונהที่ใช้ในสภาวะต่างๆ

สภาวะ	จำนวนตัวอย่าง (ตัว)	ปริมาณเกลือเฉลี่ย(% Mean \pm SD)
สภาวะน้ำนิ่ง	30	2.79 \pm 0.98 (a)
สภาวะน้ำวน (30 l/min)	30	2.80 \pm 0.81 (a)
สภาวะน้ำวน (200 l/min)	30	2.46 \pm 0.84 (a)



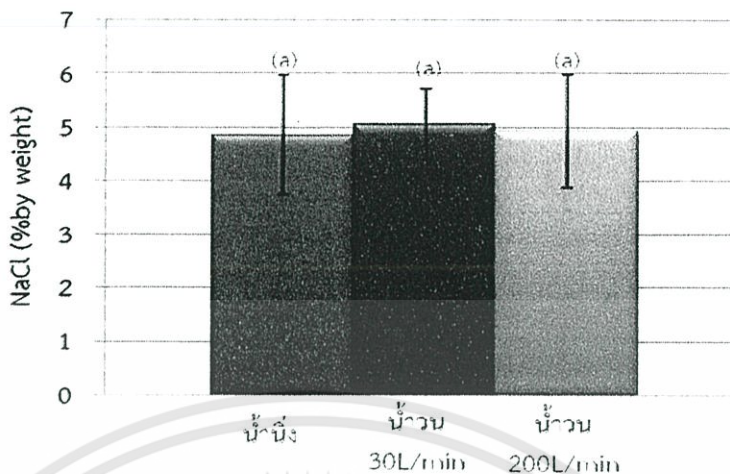
รูปที่ 4.15 ปริมาณเกลือก่อนละลายเฉลี่ย (%by weight) ของตัวอย่างปลาทุ่นที่ใช้ในสภาวะต่างๆ

จากรูป 4.15 แสดงปริมาณเกลือก่อนละลายเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทุ่นที่ใช้ในสภาวะต่างๆ คือ สภาวะน้ำนิ่ง สภาวะน้ำวนด้วยอัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที และสภาวะน้ำวนด้วยอัตราการไหล 200 ลิตรต่อนาที พบว่า สภาวะน้ำนิ่งมีค่า 2.79 ± 0.98 สภาวะน้ำวนด้วยอัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที มีค่า 2.80 ± 0.81 และสภาวะน้ำวนด้วยอัตราการไหล 200 ลิตรต่อนาที มีค่า 2.46 ± 0.84 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี DMRT ที่ระดับ 0.05 พบว่า ปริมาณเกลือก่อนละลายของตัวอย่างปลาทุ่นที่ใช้ในสภาวะน้ำนิ่ง สภาวะน้ำวนที่อัตราการไหล 30 และ 200 ลิตรต่อนาที มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการทดลองดังกล่าว เมื่อแยกวิเคราะห์ปริมาณเกลือในเนื้อปลาทุ่นที่ตำแหน่ง เนื้อติดผิวและเนื้อติดกระดูก แสดงผลดังตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 ปริมาณเกลือก่อนละลายบริเวณเนื้อติดผิวเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทุ่นที่ใช้ในสภาวะต่างๆ

สภาวะ	จำนวนตัวอย่าง (ตัว)	ปริมาณเกลือเฉลี่ย(%) Mean ± SD
สภาวะน้ำนิ่ง	30	4.85±1.11 (a)
สภาวะน้ำวน (30 l/min)	30	5.06±0.66 (a)
สภาวะน้ำวน (200 l/min)	30	4.94±1.05 (a)

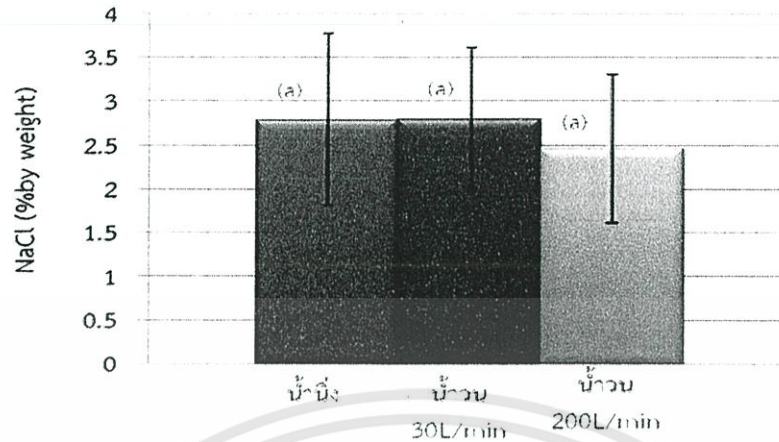


รูปที่ 4.16 ปริมาณเกลือก่อนละลายบริเวณเนื้อติดผิวเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทูน่าที่ใช้ในสภาวะต่างๆ

จากรูป 4.16 แสดงปริมาณเกลือก่อนละลายบริเวณเนื้อติดผิวเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทูน่าที่ใช้ในสภาวะต่างๆ คือ สภาวะน้ำนิ่ง สภาวะน้ำวนด้วยอัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที และสภาวะน้ำวนด้วยอัตราการไหล 200 ลิตรต่อนาที สภาวะละ 30 ตัว พบว่า สภาวะน้ำนิ่งมีค่า 4.85 ± 1.11 สภาวะน้ำวนด้วยอัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที มีค่า 5.06 ± 0.66 และสภาวะน้ำวนด้วยอัตราการไหล 200 ลิตรต่อนาที มีค่า 4.94 ± 1.05 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี DMRT ที่ระดับ 0.05 พบว่า ปริมาณเกลือก่อนละลายของตัวอย่างปลาทูน่าที่ใช้ในสภาวะน้ำนิ่ง สภาวะน้ำวนที่อัตราการไหล 30 และ 200 ลิตรต่อนาที มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.4 ปริมาณเกลือก่อนละลายบริเวณเนื้อติดกระดูกเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทูน่าที่ใช้ในสภาวะต่างๆ

สภาวะ	จำนวนตัวอย่าง (ตัว)	ปริมาณเกลือเฉลี่ย(%) Mean \pm SD
สภาวะน้ำนิ่ง	30	2.79 \pm 0.98 (a)
สภาวะน้ำวน (30 l/min)	30	2.80 \pm 0.81 (a)
สภาวะน้ำวน (200 l/min)	30	2.46 \pm 0.84 (a)



รูปที่ 4.17 ปริมาณเกลือก่อนละลายบริเวณเนื้อติดกระดูกเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทูน่าที่ใช้ในสภาวะต่างๆ

จากรูป 4.17 แสดงปริมาณเกลือก่อนละลายบริเวณเนื้อติดกระดูกเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทูน่าที่ใช้ในสภาวะต่างๆ คือ สภาวะน้ำนิ่ง สภาวะน้ำวนด้วยอัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที และสภาวะน้ำวนด้วยอัตราการไหล 200 ลิตรต่อนาที สภาวะละ 30 ตัว พบว่า สภาวะน้ำนิ่งมีค่า 2.79 ± 0.98 สภาวะน้ำวนด้วยอัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที มีค่า 2.80 ± 0.81 และสภาวะน้ำวนด้วยอัตราการไหล 200 ลิตรต่อนาที มีค่า 2.46 ± 0.84 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี DMRT ที่ระดับ 0.05 พบว่า ปริมาณเกลือก่อนละลายบริเวณเนื้อติดกระดูกของตัวอย่างปลาทูน่าที่ใช้ในสภาวะน้ำนิ่ง สภาวะน้ำวนที่อัตราการไหล 30 และ 200 ลิตรต่อนาที มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

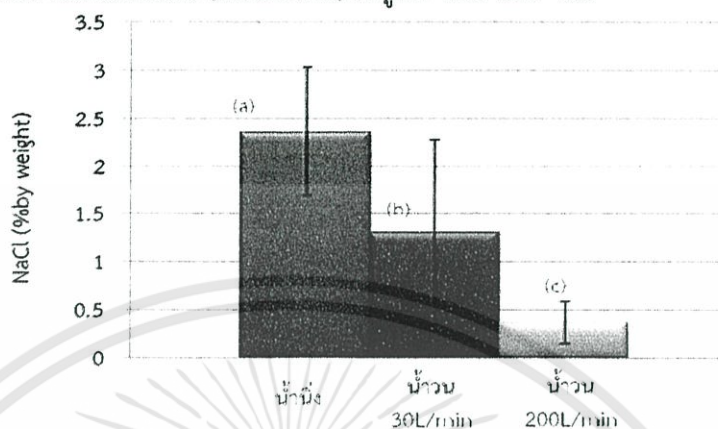
จากรูป 4.15, 4.16 และ 4.17 พบว่า ปริมาณเกลือก่อนละลายของปลาทูน่า ทั้งบริเวณเนื้อติดผิวและเนื้อติดกระดูกมีค่าสูงอยู่ในระดับเดียวกันเนื่องจากก่อนการทดลองได้คัดเลือกปลาทูน่าให้มีปริมาณเกลือสูง อยู่ในระดับใกล้เคียงกันด้วยเครื่อง NIR

จากนั้นเมื่อละลายตัวอย่างปลาทูน่าในชุดอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการแล้ว พบว่าปริมาณเกลือในเนื้อปลาทูน่าหลังการละลายมีค่าลดลงทั้ง 3 สภาวะ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

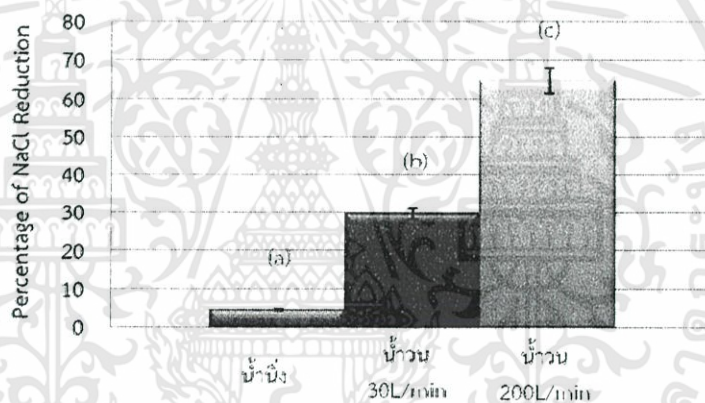
ตารางที่ 4.5 ปริมาณเกลือเฉลี่ย (%by weight) ของตัวอย่างปลาทูน่าที่ใช้ในสภาวะต่างๆ

สภาวะ	จำนวน (ตัว)	ปริมาณเกลือเฉลี่ย (%) Mean ± SD		ปริมาณเกลือที่เปลี่ยนแปลงเฉลี่ย (%)
		ก่อนละลาย	หลังละลาย	
สภาวะน้ำนิ่ง	30	2.79 ± 0.98 (a)	2.36 ± 0.67 (a)	4.55 (a)
สภาวะน้ำวน 30 L/min	30	2.80 ± 0.81 (a)	1.31 ± 0.97 (b)	29.8 (b)
สภาวะน้ำวน 200 L/min	30	2.46 ± 0.84 (a)	0.37 ± 0.22 (c)	64.76 (c)

จากผลการทดลองการละลายปลาทุ่น้ำหนักระหว่าง 1.41 – 1.80 กิโลกรัม ในสภาวะต่างๆ จำนวนสภาวะละ 30 ตัว ปริมาณเกลือหลังละลาย และปริมาณเกลือที่ลดลงมีการเปลี่ยนแปลงไป คิดเป็นร้อยละจากปริมาณเกลือเริ่มต้น (ก่อนละลาย) ดังรูปที่ 4.18 และ 4.19



รูปที่ 4.18 ปริมาณเกลือหลังละลายเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทุ่น้ำหนักแต่ละสภาวะ



รูปที่ 4.19 ผลของการละลายในสภาวะต่างๆ ต่อปริมาณเกลือที่ลดลง (%)

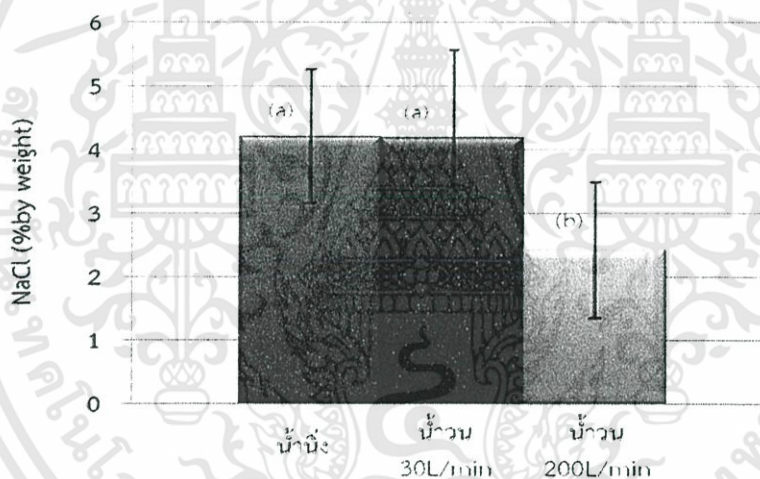
จากรูป 4.18 แสดงปริมาณเกลือหลังละลายเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทุ่น้ำหนักที่ใช้ในสภาวะต่างๆ คือ สภาวะน้ำนิ่ง สภาวะน้ำวนด้วยอัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที และสภาวะน้ำวนด้วยอัตราการไหล 200 ลิตรต่อนาที พบว่า สภาวะน้ำนิ่งมีค่าลดลงจากก่อนละลายเป็น 2.36 ± 0.67 สภาวะน้ำวนด้วยอัตราการไหล 30 และ 200 ลิตรต่อนาที มีค่าลดลงเป็น 1.31 ± 0.97 และ 0.37 ± 0.22 ตามลำดับ และจากรูปที่ 4.19 พบว่า การละลายมีผลต่อการลดลงของปริมาณเกลือในเนื้อปลาหลังการละลาย โดยการละลายสภาวะน้ำนิ่ง สามารถลดปริมาณเกลือได้คิดเป็นร้อยละ 4.55 ส่วนการละลายในสภาวะน้ำวนที่อัตราการไหลของน้ำ 30 และ 200 ลิตรต่อนาที สามารถลดปริมาณเกลือได้คิดเป็นร้อยละ 29.8 และร้อยละ 64.76 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี DMRT ที่ระดับ 0.05 พบว่า ปริมาณเกลือหลังละลายและร้อยละของปริมาณเกลือที่ลดลงของตัวอย่างปลาทุ่น้ำหนักที่ใช้ในสภาวะน้ำนิ่ง สภาวะน้ำวนที่อัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที และสภาวะน้ำวนที่อัตราการไหล 200 ลิตรต่อนาทีที่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากนั้นเมื่อแยกวิเคราะห์ผลของปริมาณเกลือในเนื้อปลาทูน่าที่ตำแหน่ง เนื้อติดผิว และเนื้อติดกระดูก แสดงผลดังตารางที่ 4.6 และ 4.7

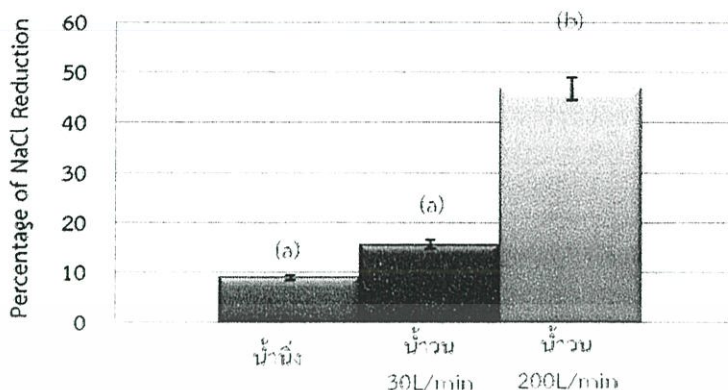
ตารางที่ 4.6 ปริมาณเกลือหลังละลายบริเวณเนื้อติดผิวเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทูน่าที่ใช้ในสภาวะต่างๆ

สภาวะ	จำนวน (ตัว)	ปริมาณเกลือเฉลี่ย(%) Mean \pm SD		ปริมาณเกลือที่เปลี่ยนแปลงเฉลี่ย (%)
		ก่อนละลาย	หลังละลาย	
สภาวะน้ำนิ่ง	30	4.85 \pm 1.11 (a)	4.21 \pm 1.05 (a)	8.98 \pm 0.3 (a)
สภาวะน้ำวน 30 L/min	30	5.06 \pm 0.66 (a)	4.19 \pm 1.38 (a)	15.68 \pm 0.31 (b)
สภาวะน้ำวน 200 L/min	30	4.94 \pm 1.05 (a)	2.42 \pm 1.07 (b)	46.66 \pm 0.33 (c)

จากผลการทดลองการละลายปลาทูน่าน้ำหนักระหว่าง 1.41 – 1.80 กิโลกรัม ในสภาวะต่างๆ จำนวนสภาวะละ 30 ตัว ปริมาณเกลือหลังละลายบริเวณเนื้อติดผิว และปริมาณเกลือที่ลดลงมีการเปลี่ยนแปลงไป คิดเป็นร้อยละจากปริมาณเกลือเริ่มต้น (ก่อนละลาย) ดังรูปที่ 4.20 และ 4.21



รูปที่ 4.20 ปริมาณเกลือก่อนละลายบริเวณเนื้อติดผิวเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทูน่าที่ใช้ในสภาวะต่างๆ



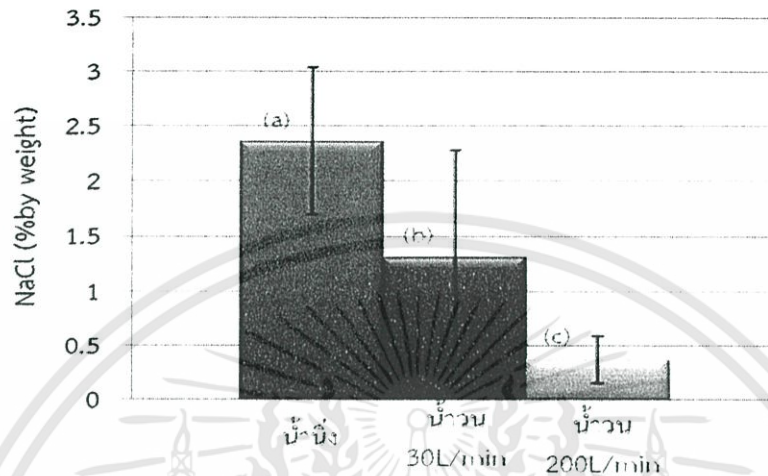
รูปที่ 4.21 ผลของการละลายในสภาวะต่างๆ ต่อปริมาณเกลือบริเวณเนื้อติดผิวที่ลดลง (%)

จากรูป 4.20 แสดงปริมาณเกลือหลังละลายบริเวณเนื้อติดผิวเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทูน่าที่ใช้ในสภาวะต่างๆ คือ สภาวะน้ำนิ่ง สภาวะน้ำวนด้วยอัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที และสภาวะน้ำวนด้วยอัตราการไหล 200 ลิตรต่อนาที พบว่า สภาวะน้ำนิ่งมีค่าลดลงจากก่อนละลายเป็น 4.21 ± 1.05 สภาวะน้ำวนด้วยอัตราการไหล 30 และ 200 ลิตรต่อนาที มีค่าลดลงเป็น 4.19 ± 1.38 และ 2.42 ± 1.07 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี DMRT ที่ระดับ 0.05 พบว่า ปริมาณเกลือหลังละลายของตัวอย่างปลาทูน่าที่ใช้ในสภาวะน้ำนิ่ง สภาวะน้ำวนที่อัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที มีค่าไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเกลือหลังละลายของตัวอย่างปลาทูน่าในสภาวะน้ำวนที่อัตราการไหล 200 ลิตรต่อนาที พบว่า มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และจากรูปที่ 4.21 พบว่าการละลายมีผลต่อการลดลงของปริมาณเกลือในเนื้อปลาหลังการละลาย โดยการละลายสภาวะน้ำนิ่งสามารถลดปริมาณเกลือได้คิดเป็นร้อยละ 8.98 ± 0.3 ส่วนการละลายในสภาวะน้ำวนที่อัตราการไหลของน้ำ 30 และ 200 ลิตรต่อนาที สามารถลดปริมาณเกลือได้คิดเป็นร้อยละ 15.68 ± 0.31 และร้อยละ 46.66 ± 0.33 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ (ที่ระดับ 0.05) พบว่า ร้อยละของปริมาณเกลือที่ลดลงของตัวอย่างปลาทูน่าที่ใช้ในสภาวะน้ำนิ่ง สภาวะน้ำวนที่อัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที และสภาวะน้ำวนที่อัตราการไหล 200 ลิตรต่อนาที มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

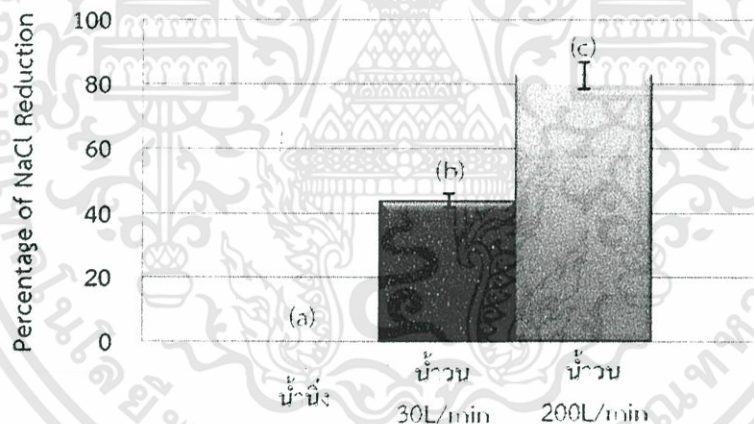
ตารางที่ 4.7 ปริมาณเกลือหลังละลายบริเวณเนื้อติดกระดูกเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทูน่าที่ใช้ในสภาวะต่างๆ

สภาวะ	จำนวน (ตัว)	ปริมาณเกลือเฉลี่ย (%) Mean \pm SD		ปริมาณเกลือที่เปลี่ยนแปลงเฉลี่ย (%)
		ก่อนละลาย	หลังละลาย	
สภาวะน้ำนิ่ง	30	2.79 ± 0.98 (a)	2.36 ± 0.67 (a)	0.12 ± 0.54 (a)
สภาวะน้ำวน 30 L/min	30	2.80 ± 0.81 (a)	1.31 ± 0.97 (b)	43.91 ± 0.62 (b)
สภาวะน้ำวน 200 L/min	30	2.46 ± 0.84 (a)	0.37 ± 0.22 (c)	82.87 ± 0.12 (c)

จากผลการทดลองการละลายปลาทุ่นน้ำหนักระหว่าง 1.41 – 1.80 กิโลกรัม ในสภาวะต่างๆ จำนวนสภาวะละ 30 ตัว ปริมาณเกลือหลังละลายบริเวณเนื้อติดกระดูก และปริมาณเกลือที่ลดลงมีการเปลี่ยนแปลงไป คิดเป็นร้อยละจากปริมาณเกลือเริ่มต้น (ก่อนละลาย) ดังรูปที่ 4.22 และ 4.23



รูปที่ 4.22 ปริมาณเกลือก่อนละลายบริเวณเนื้อติดกระดูกเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทุ่นที่ใช้ในสภาวะต่างๆ



รูปที่ 4.23 ผลของการละลายในสภาวะต่างๆ ต่อปริมาณเกลือบริเวณเนื้อติดกระดูกที่ลดลง (%)

จากรูป 4.22 แสดงปริมาณเกลือหลังละลายบริเวณเนื้อติดกระดูกเฉลี่ย (%by weight) ของปลาทุ่นที่ใช้ในสภาวะต่างๆ คือ สภาวะน้ำนิ่ง สภาวะน้ำวนด้วยอัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที และสภาวะน้ำวนด้วยอัตราการไหล 200 ลิตรต่อนาที พบว่า สภาวะน้ำนิ่งมีค่าลดลงจากก่อนละลายเป็น 2.36 ± 0.67 สภาวะน้ำวนด้วยอัตราการไหล 30 และ 200 ลิตรต่อนาที มีค่าลดลงเป็น 1.31 ± 0.97 และ 0.37 ± 0.22 ตามลำดับ และ จากรูปที่ 4.23 พบว่า การละลาย มีผลต่อการลดลงของปริมาณเกลือในเนื้อปลาหลังการละลาย โดยการละลายสภาวะน้ำนิ่ง สามารถลดปริมาณเกลือได้คิดเป็นร้อยละ โดยการละลายสภาวะน้ำนิ่ง สามารถลดปริมาณเกลือได้คิดเป็นร้อยละ 0.12 ± 0.54 ส่วนการ

ละลายในสภาวะน้ำวนที่อัตราการไหลของน้ำ 30 และ 200 ลิตรต่อนาที สามารถลดปริมาณเกลือได้ คิดเป็นร้อยละ 43.91 ± 0.62 และร้อยละ 82.87 ± 0.12 ตามลำดับ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ ด้วยวิธี DMRT ที่ระดับ 0.05 พบว่า ปริมาณเกลือหลังละลายและร้อยละของปริมาณเกลือที่ลดลงของ ตัวอย่างปลาพุงที่ใช้ในสภาวะน้ำนิ่ง สภาวะน้ำวนที่อัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที และสภาวะน้ำวน ที่อัตราการไหล 200 ลิตรต่อนาทีที่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากการเปรียบเทียบดัง ผลการละลายปลาพุงในสภาวะน้ำนิ่ง น้ำวนที่อัตราการไหลของน้ำ 30 ลิตรต่อนาที และน้ำวนที่อัตราการไหลของน้ำ 200 ลิตรต่อนาที ต่อปริมาณเกลือเฉลี่ยในเนื้อปลา พบว่า การละลายปลาทั้งสามสภาวะ มีผลต่อการลดลงของปริมาณเกลือในเนื้อปลาหลังการละลาย โดยการละลายสภาวะน้ำวนที่อัตราการไหลของน้ำ 200 ลิตรต่อนาที สามารถลดปริมาณเกลือทั้งใน ตำแหน่งเนื้อติดผิวและเนื้อติดกระดูกได้มากที่สุด คือลดลงจาก ร้อยละ 4.94 เป็น 2.42 และ 2.46 เป็น 0.37 คิดเป็นร้อยละของปริมาณเกลือที่ลดลงจากก่อนละลาย ร้อยละ 46.66 และ 82.87 ตามลำดับ

จากผลการทดลอง สรุปได้ว่า ปริมาณเกลือในตำแหน่งเนื้อติดผิวสูงกว่าเนื้อติดกระดูก เนื่องจากการละลายอาศัยการแพร่ของน้ำและการออสโมซิสของเกลือในการลดปริมาณเกลือในเนื้อปลา โดยเนื้อติดผิวที่สัมผัสน้ำก่อนจะถูกชะละลายเกลือออกก่อน และเมื่อเวลาผ่านไปเนื้อติดกระดูกจะถูก ละลายและเกลือในเนื้อติดกระดูกก็就会被ชะละลายออกมายังเนื้อติดผิวอย่างช้าๆ จนอุณหภูมิเนื้อติด กระดูกถึง 0 องศาเซลเซียส หยุดละลาย เกลือในเนื้อติดผิวยังไม่หมด เป็นผลให้เนื้อติดผิวมีปริมาณ เกลือสูงกว่าเนื้อติดกระดูก อีกทั้งสภาวะการละลายที่มีอัตราการไหลของน้ำสูง จะทำให้น้ำสัมผัสเนื้อ ปลามากกว่าสภาวะน้ำนิ่ง ซึ่งค่าอัตราการไหลสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนด้วย กล่าวคือ เมื่อละลายปลาด้วยน้ำในสภาวะน้ำวนที่มีสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูง ส่งผลให้เวลาที่ใช้ ละลายลดลงมากกว่าการละลายในสภาวะน้ำนิ่ง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

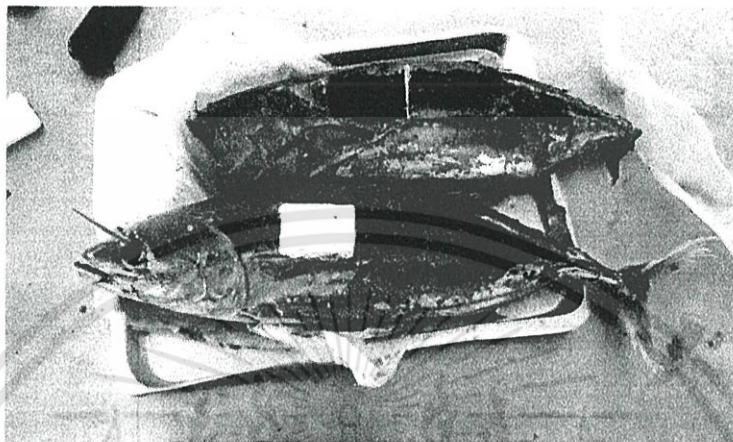
5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาปริมาณเกลือระหว่างการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ปริมาณเกลือหลังกระบวนการละลาย และหลังกระบวนการนึ่งเพิ่มขึ้นจากก่อนกระบวนการละลาย โดยเฉพาะเนื้อส่วนติดกระดูกที่ปริมาณเกลือเพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งขนาดน้ำหนักของปลาหูนามีผลต่อปริมาณเกลือที่ลดลง โดยปลาหูน่าขนาดกลางมีปริมาณเกลือมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ผลของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและเวลาของการละลายปลาหูน่าขนาดน้ำหนักระหว่าง 1.41 - 1.80 กิโลกรัม ด้วยน้ำในสภาวะต่างๆ พบว่า การละลายในสภาวะน้ำอวลวนที่มีอัตราการไหล 200 ลิตรต่อนาที ใช้เวลาในการละลายระหว่าง 81-84 นาที ซึ่งใช้เวลาน้อยที่สุด และมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่าง 27 - 30 $W/m^2.K$ ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่มีค่ามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับอีกทั้งสองสภาวะ จึงสรุปว่าเมื่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่ามากขึ้นจะใช้เวลาการละลายน้อยลงผลของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนวิธีการละลายในสภาวะนึ่ง น้ำวน และน้ำอวลวน มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเพิ่มขึ้นตามสภาวะการละลาย ทำให้ใช้เวลาที่ใช้ในการละลายทุกช่วงน้ำหนักลดลงผลการละลายปลาหูน่าในสภาวะน้ำนึ่ง น้ำวนและน้ำอวลวนต่อปริมาณเกลือเฉลี่ยในเนื้อปลา พบว่า กระบวนการละลายปลาทั้งสามสภาวะ มีผลต่อการลดลงของปริมาณเกลือในเนื้อปลาหลังกระบวนการละลาย โดยการละลายที่สภาวะน้ำอวลวน สามารถลดปริมาณเกลือทั้งในตำแหน่งเนื้อติดผิวและเนื้อติดกระดูกได้มากที่สุด คือลดลงจาก ร้อยละ 4.94 เป็น 2.42 และ 2.46 เป็น 0.37 คิดเป็นร้อยละของปริมาณเกลือที่ลดลงจากก่อนละลาย ร้อยละ 51.01 และ 84.96 ตามลำดับ และขนาดมีความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในการละลาย โดยการละลายปลาหูน่าที่ขนาดใหญ่จะใช้เวลามากกว่าปลาหูน่าขนาดเล็กผลของตำแหน่งเนื้อต่อปริมาณเกลือยังไม่เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณเกลือเริ่มต้นของปลาหูน่าและสภาวะที่ใช้ละลาย

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1. การละลายในระดับการทดลองมีจำนวนปลาน้อยกว่าในระดับอุตสาหกรรมซึ่งอาจทำให้ปริมาณเกลือหลังการละลาย เวลา ในการทดลองน้อยกว่า ควรหาจำนวนปลาที่เหมาะสมต่อการละลาย เช่น อาจคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ต่อจำนวนปลาที่ทำการละลาย
- 5.2.2. การเก็บตัวอย่างเนื้อปลาหูน่าเพื่อวิเคราะห์ปริมาณเกลือควรคำนึงถึงตำแหน่งของการเจาะ ขนาดของตัวอย่าง ความลึกของตัวอย่าง และตำแหน่งที่เก็บก่อนและหลังการละลายควรเป็นตำแหน่งเดียวกัน
- 5.2.3. การเก็บตัวอย่างเนื้อปลาหูน่าควรใช้มีดคมที่ทำเป็นทอสีเหลี่ยมขนาดเล็กในการเจาะแทนการใช้มีดตัด เพื่อลดขนาดรอยแผลและโอกาสในการซึมผ่านของน้ำลง

5.2.4. ขนาดรอยแผลของการเก็บตัวอย่างเนื้อปลาหน้าเพื่อวิเคราะห์ปริมาณเกลือมีขนาดใหญ่ ทำให้ต้องใช้ดินน้ำมันอุดรอยแผล เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำซึมเข้าไป แต่ไม่สามารถปิดให้สนิทได้ ที่บริเวณรอยแผลจึงมีโอกาสที่น้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปได้



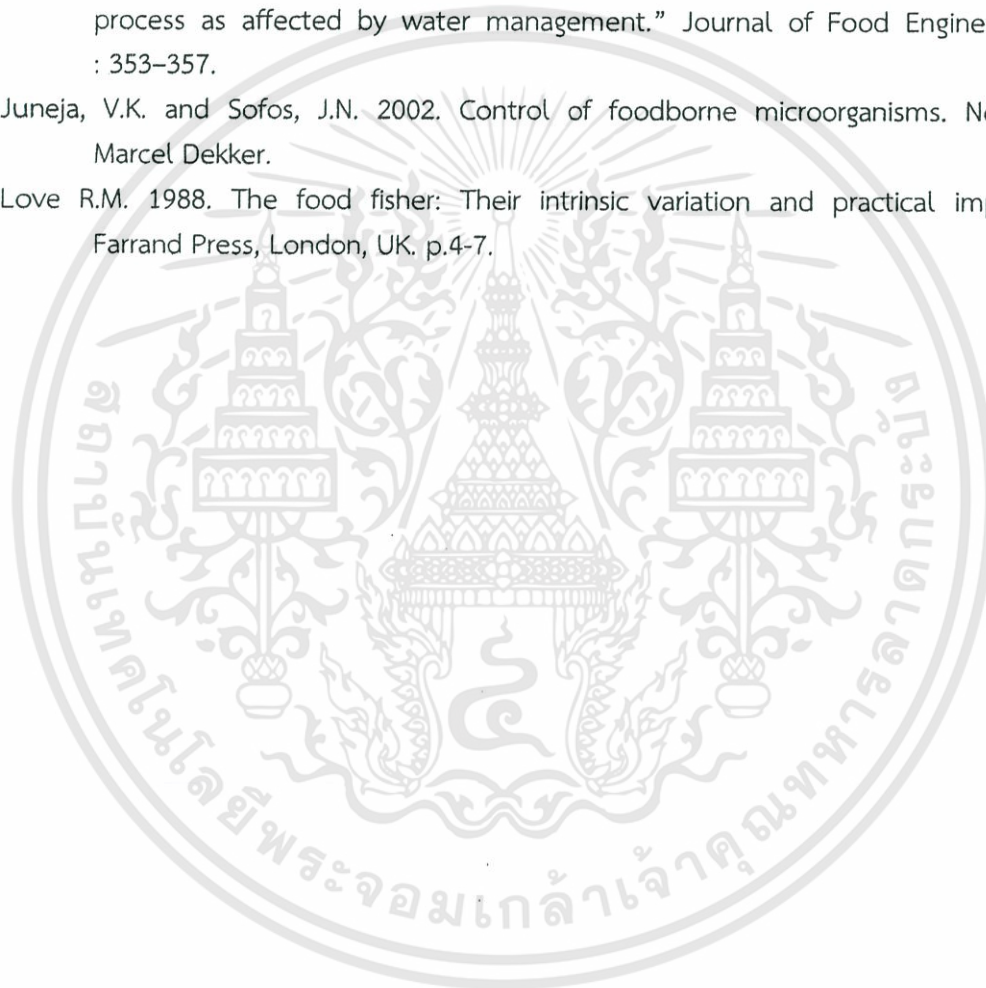
รูปที่ 5.1 ลักษณะรอยเจาะและการอุดรอยแผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กนกเดือน เฉิดอารี, กิตินันท์ ปิยะพันธ์วงศ์ และศุภวรรณ ปิระจิตร. 2544 “ผลของความร้อนต่อคุณภาพของปลาทูน่า 2 สายพันธุ์.” ปรึญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- กระทรวงพาณิชย์. “การส่งออก.” [ออนไลน์]. ปรากฏ: http://www.opsmoc.go.th/infor/menucom/th/stru_export/export_topn_re/report.asp. 2555.
- กระทรวงสาธารณสุข. “ฉลากโภชนาการ.” [ออนไลน์]. ปรากฏ: http://iodinethailand.fda.moph.go.th/fda/new/images/cms/top_upload/1170743873_182.pdf. 2541.
- ไกร มะโน. 2555. “ชนิดของปลาทูน่า.” [ออนไลน์]. ปรากฏ: <https://www.fisheries.go.th/marine/DeepSea/images/SpeciesTuna.htm>.
- ไกรฤกษ์ อบรมสุข. 2554. “สัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient).” [ออนไลน์]. ปรากฏ: <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/physical-chem1/Lecture5.htm>.
- จเร วงษ์ผึ้ง, วรมน อนันต์ และวสันต์ อินทร์ตา. 2554. “การลดปริมาณเกลือในปลาทูน่าระหว่างการละลายด้วยน้ำ.” ปรึญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ฉัตรชัย ก่อไพบุลย์และคณะ. 2552. “การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองทำนายอุณหภูมิระหว่างการละลายปลาทูน่าพันธุ์ ท้องแถบและประยุกต์ใช้ประโยชน์.” ปรึญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ทิพาพร อยู่วิทยา และสุวิทย์ เตีย. 2547. “การศึกษาสมบัติค่าการนำไฟฟ้าของซูริมิแช่เยือกแข็งและผลของขนาดผลึกน้ำแข็ง ที่มีต่อกระบวนการละลายด้วยวิธี Ohmic.” วิทยานิพนธ์
- ธิดิมา พุฒวันเพ็ญ, วิทวัส มิ่งขวัญ, ศิวพร เจริญศิริสุทธิกุล. 2551 “การศึกษาหากรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับการ ล้างและลดความเค็มของแมงกระพรุนแห้ง” ปรึญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ประสิทธิ์ สายสิทธิ์. 2514. ผลิตภัณฑ์ประมงและหลักการถนอมอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: คุรุสภาลาดพร้าว.
- มัทนา แสงจินดา. 2545. ผลิตภัณฑ์ประมงของไทย. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศูนย์พัฒนาการประมงแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้. 2553. การแปรรูปปลากระตัก ตอนที่ 2. [ออนไลน์]. ปรากฏ: http://www.youtube.com/watch?v=_UAqJY1vg7E.
- ศูนย์วิจัยกลีกรไทย จำกัด. 2553. “การส่งออกปลาทูน่ากระป๋องและปรุงแต่ง...ครั้งหลังปี'53 มีแนวโน้มเติบโตต่อเนื่อง.” [ออนไลน์]. ปรากฏ: www.positioningmag.com/prnews.aspx?id=88290
- My firstbrain. 2012. “โซเดียม: เกลือแร่ที่จำเป็นต่อร่างกาย.” [ออนไลน์]. ปรากฏ: https://www.myfirstbrain.com/student_view.aspx?ID=58686.

- Ana Andrés, Sneyder Rodríguez-Barona, and Jose Manuel Barat. 2005. "Analysis of some cod - desalting process variables." *Journal of Food Engineering*.70: 67–72.
- Anders, Haugland. 2002. *Industrial Thawing of Fish to improve quality yield and capacity*. Norway : Norwegian University of Science and Technology.
- Condé Nast web site. 2012. "Skipjack Tuna raw." [online]. Available: <http://nutritiondata.self.com/facts/finfish-and-shellfish-products/4147/2>.
- J.M. Barat, S. Rodríguez-Barona, M. Castelló, A. Andrés, and P. Fito. 2004. "Cod desalting process as affected by water management." *Journal of Food Engineering*. 61 : 353–357.
- Juneja, V.K. and Sofos, J.N. 2002. *Control of foodborne microorganisms*. New York: Marcel Dekker.
- Love R.M. 1988. *The food fisher: Their intrinsic variation and practical implication*. Farrand Press, London, UK. p.4-7.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การศึกษาปริมาณเกลือระหว่างกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากปลาทูน่า
ในระดับอุตสาหกรรม**

ตารางที่ 1 ขนาดและน้ำหนักของปลาทูน่าขนาดเล็ก ช่วงน้ำหนัก 1.01-1.40 กิโลกรัม

ลำดับตัว	น้ำหนักปลา (kg)	ความยาว (cm)	ความกว้าง (cm)	ระยะ y (cm)
1	1.1	34.5	13	6.1
2	1.14	34.5	13	6.6
3	1.12	35.5	13	6.2
4	1.19	37.5	12.5	6.7
5	1.08	34	13	6.2
6	1.21	37	13	6.3
7	1.14	34	12	6.1
8	1.29	38	14	6.6
9	1.15	35	12.5	6.1
10	1.05	34	12	6.7
11	1.06	34	12.5	6
12	1.11	35	12.5	6.2
13	1.32	36.5	13	6.8
14	1.2	34	12.5	6.3
15	1.12	35	13.5	6.3
16	1.06	34.5	14	6.1
17	1.15	34.5	13.5	6.9
18	1.32	37	14	6.8
19	1.03	33	12	5.8
20	1.03	34.5	12	6.1
21	1.15	36	13	6.1
22	1.14	35	14	6.6
23	1.19	36	13	5.7
24	1.14	36.5	14	5.3
25	1.06	35.5	13	6
26	1.12	37	13	5.4
27	1.24	37	13.5	5.9
28	1.13	35	14	6.4
29	1.09	34.5	13	4.9
30	1.04	34	13.5	5.6
AVG	1.139	35.28	13.05	6.16
SD	0.08	1.26	0.64	0.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ขนาดและน้ำหนักของปลาหน้าขนาดกลาง ช่วงน้ำหนัก 1.41-1.80 กิโลกรัม

ลำดับตัว	น้ำหนักปลา (kg)	ความยาว (cm)	ความกว้าง (cm)	ระยะ y (cm)
1	1.75	40	14	7.7
2	1.77	41	13	7.4
3	1.68	40.5	12	6.8
4	1.71	39.5	14	6.9
5	1.68	39	14	7.5
6	1.7	42	13	7.5
7	1.68	41.5	15	7.3
8	1.65	40	14	7.5
9	1.74	39.5	14	7.2
10	1.59	38.5	14	7.3
11	1.72	40	15	8.7
12	1.78	41.5	15	7.6
13	1.61	40	14.5	6.8
14	1.77	41	14	7.9
15	1.85	41.5	15	7.3
16	1.81	41.5	14.5	8
17	1.78	41	15	6.8
18	1.85	42	15	7.3
19	1.81	40	15	8.1
20	1.66	38	14	7.4
21	1.62	40	15	7.1
22	1.57	38	15	6.1
23	1.74	39.5	14.5	7.8
24	1.8	41.5	15	7.1
25	1.8	41	14	6.2
26	1.67	40	14	6.9
27	1.41	38	14	6.6
28	1.44	38	14	6.5
29	1.68	41.5	15	6.7
30	1.47	40	14	7.5
AVG	1.693	40.18	14.28	7.25
SD	0.11	1.2	0.7	0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ขนาดและน้ำหนักของปลาหน้าขนาดใหญ่ ช่วงน้ำหนัก 1.81-2.30 กิโลกรัม

ลำดับตัว	น้ำหนักปลา (kg)	ความยาว (cm)	ความกว้าง (cm)	ระยะ y (cm)
1	2.20	44.5	17	8.1
2	2.18	44.5	17.5	8.5
3	2.11	42	17.5	8.5
4	2.15	41	17.5	8.1
5	2.23	41	18	8.5
6	2.01	41	17	7.7
7	2.15	41	17.5	8.7
8	2.26	43	18	8.4
9	2.19	40	17	8.3
10	1.91	41	17.5	8.7
11	2.08	46	16	8.5
12	1.99	42	17.5	7.7
13	2.02	42	16	7.6
14	2.19	41	17	8.6
15	2.21	42	17.5	8.4
16	1.96	40	16	7.8
17	1.97	40	17	8.4
18	2.16	41.5	18.5	8.3
19	2.01	41.5	16	8.5
20	2.18	42.5	17.5	8.6
21	2.28	41	17	8.7
22	2.27	44	18	8.3
23	2.02	41	17	7.8
24	1.84	41.5	16.5	7.6
25	2.07	42	17.5	8.2
26	1.98	44	16	8
27	2.20	40	17.5	8.5
28	2.21	43	17	8.4
29	2.31	42	17	8.8
30	2.07	43.5	16.5	8.6
AVG	2.11	41.98	17.12	8.29
SD	0.12	1.5	0.7	0.3

หมายเหตุ : ความยาว คือ ระยะจากหัวถึงหางปลา

ความกว้าง คือ ระยะของส่วนที่กว้างที่สุดของตัวปลา

ระยะ y คือ ระยะจากหัวถึงครีบหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ปริมาณเกลือร้อยละโดยน้ำหนักของปลาหูฉลามขนาดเล็ก ช่วงน้ำหนัก 1.01-1.40 กิโลกรัม

ลำดับตัว	ก่อนละลาย (Frozen fish)	หลังละลาย (After Thawing)	หลังนึ่ง (After Pre-cooking)
1	1.9	2.02	2.68
2	1.31	1.61	1.94
3	1.59	1.55	2.4
4	1.62	1.51	2.21
5	1.93	1.93	3.7
6	1.74	2.16	1.29
7	1.97	2.24	2.9
8	1.76	2.2	2.08
9	1.52	1.63	2.25
10	2.04	1.66	2.19
11	2.16	2.69	2.68
12	1.65	1.62	1.94
13	1.76	1.96	2.4
14	2.16	2.01	2.21
15	2.83	3.54	3.7
16	1.17	1.5	1.29
17	1.72	2.01	2.9
18	1.99	2.03	2.08
19	1.6	2.12	2.25
20	1.91	1.75	2.19
21	1.41	1.66	1.64
22	1.85	2.15	2.64
23	1.23	1.8	2.38
24	1.78	2.52	2.23
25	1.6	1.8	2.29
26	3.02	2.22	2.72
27	2.03	3.16	2.13
28	1.9	2.18	2.52
29	1.21	2.09	2.03
30	1.54	1.12	2.09
AVG	1.80	2.01	2.33
SD	0.40	0.48	0.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ปริมาณเกลือร้อยละโดยน้ำหนัก บริเวณเนื้อติดผิวของปลาทุ่นาขนาดกลาง ช่วงน้ำหนัก 1.41-1.80 กิโลกรัม

ลำดับตัว	ก่อนละลาย (Frozen fish)	หลังละลาย (After Thawing)	หลังนึ่ง (After Pre-cooking)
1	1.33	2.58	1.9
2	2.44	2.24	2.08
3	6.53	5.65	4.46
4	1.63	3.22	2.99
5	1.84	3.2	3
6	2.48	2.6	2.15
7	2.46	2.44	2.28
8	0.89	1.19	0.91
9	2.83	2.83	2.33
10	2.33	2.4	1.19
11	3.36	2.79	2.32
12	3.23	2.54	2.62
13	2.27	1.95	2.01
14	1.63	2.31	2.23
15	2.12	2.04	2.17
16	1.74	1.4	1.97
17	2.49	2.75	2.45
18	1.87	1.98	2.59
19	2	2.3	2.85
20	1.97	2.91	2.83
21	2.5	2.1	1.58
22	3.12	1.94	2.04
23	2.19	0.74	1.82
24	1.12	1.61	1.7
25	2.67	1.82	1.56
26	1.13	1.8	2.57
27	3.54	2.88	2.16
28	3.84	0.46	1.3
29	3.57	2.34	1.67
30	1.47	1.83	1.46
AVG	2.42	2.29	2.17
SD	1.07	0.90	0.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 ปริมาณเกลือร้อยละโดยน้ำหนัก บริเวณเนื้อติดกระดูกของปลาทูน่าขนาดกลาง ช่วง น้ำหนัก 1.41-1.80 กิโลกรัม

ลำดับตัว	ก่อนละลาย (Frozen fish)	หลังละลาย (After Thawing)	หลังนึ่ง (After Pre-cooking)
1	0.24	0.68	0.94
2	0.23	0.49	0.81
3	0.63	2.28	3.53
4	1.25	0.92	2.8
5	0.41	0.83	1.82
6	0.26	0.65	1.42
7	0.25	0.79	0.84
8	0.38	0.31	0.78
9	0.34	0.48	1.42
10	0.22	0.92	1.4
11	0.48	1.06	1.82
12	0.25	0.61	1.12
13	0.27	0.78	0.99
14	0.36	1.68	1.43
15	0.25	0.56	1.38
16	0.23	0.29	0.83
17	0.25	0.16	1.15
18	0.26	0.81	1.94
19	0.22	0.37	1.15
20	0.23	0.66	1.14
21	0.53	0.57	0.34
22	0.67	0.69	0.35
23	0.27	1.47	0.3
24	0.17	0.38	0.4
25	0.18	0.5	0.2
26	0.23	0.73	0.29
27	0.39	1.1	0.3
28	0.43	0.83	0.28
29	0.57	2.12	0.29
30	0.66	0.5	0.28
AVG	0.37	0.81	1.06
SD	0.22	0.49	0.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 ปริมาณเกลือร้อยละโดยน้ำหนัก บริเวณเนื้อติดผิวของปลาทุ่นขนาดใหญ่ ช่วงน้ำหนัก 1.81-2.30 กิโลกรัม

ลำดับตัว	ก่อนละลาย (Frozen fish)	หลังละลาย (After Thawing)	หลังนึ่ง (After Pre-cooking)
1	1.66	2.71	2.5
2	2.76	1.4	1.32
3	2.39	0	0
4	0.97	1.66	1.58
5	1.26	1.34	1.67
6	3.65	2.02	3.06
7	1.99	1.73	2.41
8	2.09	1.42	1.84
9	1.66	0.17	1.82
10	1.41	2.53	2.55
11	1.57	2.06	2.3
12	0.91	1.65	0.81
13	2.64	3.22	2.55
14	0.85	1.68	1.48
15	0.33	1.94	1.39
16	1.61	1.85	1.84
17	1.76	1.96	2.49
18	2.55	1.66	1.63
19	3.38	2.75	4.14
20	0.9	1.86	1.5
21	1.09	1.82	1.5
22	3.05	3.02	2.56
23	1.88	1.35	1.65
24	2.05	1.31	1.64
25	1.78	3.65	0.57
26	1.9	0.73	2.42
27	0.57	0.72	2.81
28	1.57	2.57	1.5
29	1.55	2.49	0.9
30	1.41	2.33	1.66
AVG	1.77	1.85	1.87
SD	0.78	0.81	0.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 ปริมาณเกลือร้อยละโดยน้ำหนัก บริเวณเนื้อติดกระดูกของปลาทูน่าขนาดใหญ่ ช่วงน้ำหนัก 1.81-2.30 กิโลกรัม

ลำดับตัว	ก่อนละลาย (Frozen fish)	หลังละลาย (After Thawing)	หลังนึ่ง (After Pre-cooking)
1	0.93	0.22	0.75
2	1.03	0.22	0.71
3	0.38	0	0
4	0.27	0.27	1.14
5	0.67	0.22	0.48
6	1.01	0.25	1.18
7	0.46	0.24	1.15
8	0.64	0.21	0.55
9	0.29	1.3	0.85
10	0.84	0.31	1.86
11	0.82	0.49	1.17
12	0.23	0.3	0.89
13	0.88	0.27	0.03
14	0.25	0.27	1.96
15	0.28	0.26	0.89
16	0.44	0.15	0.92
17	0.52	0.35	0.65
18	0.3	0.32	0.57
19	1	0.3	1.85
20	0.54	2.01	0.56
21	1.13	1.81	0.58
22	0.74	2.86	0.6
23	1.63	2.04	0.64
24	0.4	1.58	0.68
25	0.69	2.2	0.89
26	0.65	2.84	1.17
27	1.65	0.7	1.59
28	1.36	2.6	0.87
29	1.66	1.72	0.78
30	0.65	1.29	0.6
AVG	0.74	0.92	0.89
SD	0.41	0.91	0.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาปริมาณเกลือในการละลายด้วยน้ำที่สภาวะต่างๆ

ตารางที่ 9 ขนาดและน้ำหนักของปลาทูน่าที่ใช้ทดลองในสภาวะน้ำนิ่ง (Still water)

ลำดับตัว	น้ำหนักปลา (kg)	ความยาว (cm)	ความกว้าง (cm)	ระยะ y (cm)
1	1.78	40.64	16.51	7.4
2	1.79	41.91	15.24	8.2
3	1.67	39.37	15.24	7.5
4	1.61	39.37	13.97	7.7
5	1.61	39.37	15.24	6.9
6	1.66	39.37	15.24	7.3
7	1.71	38.1	16.51	7.7
8	1.78	39.37	15.24	7.5
9	1.46	35.56	16.256	7.4
10	1.81	39.37	15.24	7.2
11	1.48	39.37	15.24	7
12	1.71	40.64	16.51	7.6
13	1.68	39.37	15.24	7.8
14	1.8	39.37	15.24	7.3
15	1.8	40.64	15.24	7.8
16	1.67	38.1	15.24	7.4
17	1.41	40.64	15.24	7.4
18	1.45	39.37	15.24	7.4
19	1.67	40.64	13.97	7.3
20	1.82	40.64	16.51	7.4
21	1.65	40.64	16.51	7.6
22	1.63	38.1	15.24	7.5
23	1.72	40.64	15.24	7.8
24	1.8	40.64	15.24	7.6
25	1.8	41.91	16.51	7.4
26	1.8	40.64	16.51	7.5
27	1.8	43.18	15.24	7.9
28	1.43	38.1	15.24	6.6
29	1.62	40.64	15.24	7.2
30	1.71	40.64	15.24	7.9
AVG	1.68	38.66	15.49	7.47
SD	0.12	6.58	0.68	0.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10 ขนาดและน้ำหนักของปลาทูน่าที่ใช้ทดลองในสภาวะน้ำวน ด้วยอัตราการไหล 30 ลิตร ต่อนาที (Force convection circulated by water flow rate 30 litter per minute)

ลำดับตัว	น้ำหนักปลา (kg)	ความยาว (cm)	ความกว้าง (cm)	ระยะ y (cm)
1	1.78	40.64	15.24	7.3
2	1.68	40.64	15.24	7.9
3	1.80	39.37	15.24	7.6
4	1.74	39.37	13.97	7.4
5	1.45	38.10	15.24	7
6	1.75	38.10	15.24	7.6
7	1.65	38.10	15.24	7.4
8	1.76	40.64	15.24	6.9
9	1.79	40.64	15.24	7.5
10	1.77	38.10	15.24	7.2
11	1.75	38.10	16.51	7.2
12	1.63	40.64	13.97	7.8
13	1.56	38.10	15.24	7.2
14	1.50	39.37	15.24	7.2
15	1.79	40.64	15.24	7.6
16	1.56	39.37	15.24	6.9
17	1.82	38.10	15.24	7.5
18	1.75	40.64	15.24	7.3
19	1.71	38.10	15.24	7.1
20	1.78	40.64	15.24	7.2
21	1.64	40.64	15.24	7.6
22	1.71	40.64	16.51	7.6
23	1.80	40.64	16.51	7.9
24	1.79	38.10	17.78	6.9
25	1.62	36.83	15.24	6.8
26	1.69	40.64	15.24	7.5
27	1.64	40.64	15.24	7.2
28	1.68	39.37	13.97	7.3
29	1.75	40.64	15.24	7.5
30	1.61	38.10	15.24	7.5
AVG	1.70	39.45	15.32	7.35
SD	0.09	1.22	0.73	0.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 ขนาดและน้ำหนักของปลาที่จับทดลองในสภาวะน้ำวน ด้วยอัตราการไหล 200 ลิตร ต่อ นาที (Force convection circulated by water flow rate 200 litter per minute)

ลำดับตัว	น้ำหนักปลา (kg)	ความยาว (cm)	ความกว้าง (cm)	ระยะ y (cm)
1	1.62	39.37	15.24	7.2
2	1.56	36.83	15.24	7.4
3	1.54	39.37	15.24	6.3
4	1.76	36.83	15.24	7.9
5	1.69	40.64	15.24	7.3
6	1.54	36.83	15.24	7.2
7	1.44	38.1	16.51	6.6
8	1.72	39.37	15.24	7.8
9	1.56	36.83	13.97	7.1
10	1.75	39.37	16.51	7.7
11	1.78	39.37	16.51	7.5
12	1.67	38.1	13.97	7.3
13	1.73	40.64	15.24	7
14	1.72	39.37	15.24	7.9
15	1.63	38.1	15.24	7.6
16	1.47	38.1	13.97	7.3
17	1.68	40.64	16.51	7.5
18	1.6	39.37	15.24	7.3
19	1.77	39.37	17.53	7.1
20	1.79	39.37	16.51	7.3
21	1.72	41.91	13.97	7.7
22	1.74	38.1	15.24	7.5
23	1.59	36.83	15.24	7.3
24	1.72	40.64	15.24	7.6
25	1.76	40.64	16.51	7.3
26	1.76	39.37	16.51	7.4
27	1.7	40.64	15.24	7.8
28	1.67	40.64	16.51	7.8
29	1.59	40.64	15.24	7.2
30	1.58	36.83	15.24	7.3
AVG	1.66	39.07	15.49	7.37
SD	0.09	1.45	0.87	0.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 ปริมาณเกลือร้อยละโดยน้ำหนัก บริเวณเนื้อติดผิวของปลาทูน่าที่ใช้ทดลองในสภาวะน้ำนิ่ง (Still water)

ลำดับตัว	ก่อนละลาย (Frozen fish)	หลังละลาย (After Thawing)
1	3.27	5.34
2	4.72	5.92
3	4.88	1.69
4	5.9	3.08
5	6.98	4.93
6	3.98	4.25
7	6.26	4.05
8	4.46	4.51
9	4.68	4.6
10	5.96	4.38
11	3.06	2.34
12	5.97	4.81
13	5.34	4.57
14	5.33	2.32
15	5.74	5.99
16	3.93	4.94
17	5.03	3.72
18	4.03	3.73
19	2.88	4.29
20	5.75	3.4
21	5.01	4.83
22	4.86	4.98
23	7.16	4.47
24	4.55	6.14
25	4.54	3.89
26	5.04	3.95
27	5.1	3.96
28	5.06	4.69
29	3.11	2.72
30	2.8	3.67
AVG	4.85	4.21
SD	1.11	1.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13 ปริมาณเกลือร้อยละโดยน้ำหนัก บริเวณเนื้อติดกระดูกของปลาทูน่าที่ใช้ทดลองใน
สภาน้ำนิ่ง (Still water)

ลำดับตัว	ก่อนละลาย (Frozen fish)	หลังละลาย (After Thawing)
1	2.4	1.44
2	2.73	3.1
3	4.09	1.31
4	4.56	2.11
5	3.62	3.16
6	1.37	2.57
7	2.62	2.25
8	2.18	2.82
9	1.99	2
10	4.26	2.17
11	4.26	1.07
12	2.26	2.92
13	3.18	2.32
14	3.41	1.52
15	2.77	3.3
16	2.89	2.35
17	2.07	2.11
18	2.4	2.03
19	1.07	2.37
20	2.03	1.88
21	3.06	2.62
22	1.86	2.98
23	3.94	2.95
24	3.23	3.83
25	2.62	2.26
26	4.56	2.44
27	3.02	2.91
28	1.71	2.86
29	0.87	2.21
30	2.61	0.87
AVG	2.79	2.36
SD	0.98	0.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14 ปริมาณเกลือร้อยละโดยน้ำหนัก บริเวณเนื้อติดผิวของปลาทูน่าที่ใช้ทดลองในสภาวะ
 น้ำวน ด้วยอัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที (Force convection circulated by water flow rate
 30 litter per minute)

ลำดับตัว	ก่อนละลาย (Frozen fish)	หลังละลาย (After Thawing)
1	6.57	5.92
2	5.58	5.9
3	4.42	3.3
4	6.37	2.68
5	4.93	5.1
6	5.26	3.32
7	6.08	3.17
8	4.92	3.58
9	4.83	4.69
10	4.72	1.22
11	4.81	4.65
12	5.89	4.36
13	4.83	5.35
14	5.83	1.95
15	4.32	6.39
16	4.62	5.46
17	4.53	4.77
18	3.91	5
19	5.95	4.97
20	5.19	5.89
21	4.18	3.46
22	5.47	3.78
23	4.17	5.45
24	4.52	3.25
25	5.17	4.09
26	5.37	2.03
27	4.98	5.76
28	5.1	4.36
29	4.98	4.44
30	4.43	1.31
AVG	5.06	4.19
SD	0.66	1.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15 ปริมาณเกลือร่อยละโดยน้ำหนัก บริเวณเนื้อติดกระดูกของปลาทูน่าที่ใช้ทดลองในสภาวะน้ำวน ด้วยอัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที (Force convection circulated by water flow rate 30 litter per minute)

ลำดับตัว	ก่อนละลาย (Frozen fish)	หลังละลาย (After Thawing)
1	4.17	0.79
2	2.9	2.36
3	2.87	1.43
4	3.89	1.23
5	3.19	1
6	3.55	1.01
7	3.47	1.94
8	1.99	0.93
9	2.33	0.84
10	2.7	0.68
11	1.95	0.96
12	4.48	0.81
13	1.57	5.53
14	3.84	0.46
15	2.55	1.64
16	1.47	1
17	1.42	1.07
18	1.78	0.96
19	2.9	0.61
20	2.6	0.65
21	2.5	1.21
22	1.92	3.1
23	3.22	0.81
24	2.89	1.09
25	3.51	1.31
26	3.2	0.75
27	2.38	2.3
28	3.57	1.17
29	3.2	0.79
30	1.94	0.98
AVG	2.80	1.31
SD	0.81	0.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 16 ปริมาณเกลือร้อยละโดยน้ำหนัก บริเวณเนื้อติดผิวของปลาทูน่าที่ใช้ทดลองในสภาวะ
 น้ำวน ด้วยอัตราการไหล 200 ลิตรต่อนาที (Force convection circulated by water flow rate
 200 litter per minute)

ลำดับตัว	ก่อนละลาย (Frozen fish)	หลังละลาย (After Thawing)
1	3.42	1.33
2	5.48	2.44
3	4.08	6.53
4	5.47	1.63
5	5.46	1.84
6	4.66	2.48
7	5.12	2.46
8	4.58	0.89
9	5.12	2.83
10	5.36	2.33
11	5.17	3.36
12	6.31	3.23
13	4.51	2.27
14	5.11	1.63
15	4.3	2.12
16	6.53	1.74
17	2.44	2.49
18	3.93	1.87
19	5.28	2
20	5.66	1.97
21	5.11	2.5
22	2.13	3.12
23	6.59	2.19
24	4.35	1.12
25	6.55	2.67
26	5.6	1.13
27	4.97	3.54
28	3.98	3.84
29	5.17	3.57
30	5.86	1.47
AVG	4.94	2.42
SD	1.05	1.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 17 ปริมาณเกลือร้อยละโดยน้ำหนัก บริเวณเนื้อติดกระดูกของปลาทูน่าที่ใช้ทดลองในสภาวะน้ำวน ด้วยอัตราการไหล 200 ลิตรต่อนาที (Force convection circulated by water flow rate 200 litter per minute)

ลำดับตัว	ก่อนละลาย (Frozen fish)	หลังละลาย (After Thawing)
1	2.64	0.24
2	2.78	0.23
3	2	0.63
4	3.36	1.25
5	3.73	0.41
6	1.4	0.26
7	4.14	0.25
8	1.38	0.38
9	2.42	0.34
10	1.76	0.22
11	1.87	0.48
12	2.4	0.25
13	2.99	0.27
14	2.44	0.36
15	1.87	0.25
16	3.41	0.23
17	2.12	0.25
18	1.76	0.26
19	3.15	0.22
20	2.29	0.23
21	4.29	0.53
22	1.43	0.67
23	2.91	0.27
24	1.48	0.17
25	1.76	0.18
26	3.09	0.23
27	3.45	0.39
28	1.59	0.43
29	2.57	0.57
30	1.17	0.66
AVG	2.46	0.37
SD	0.84	0.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาที่ใช้ในการละลายและค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของการละลายปลาด้วยน้ำในสภาวะต่างๆ

ตารางที่ 18 เวลาที่อุณหภูมิบริเวณ Backbone ถึง 0 องศาเซลเซียส ในสภาวะการละลายด้วยน้ำนิ่ง

น้ำหนัก (kg)	ความยาว (cm)	อุณหภูมิเริ่มต้น (°C)	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m ² .K)	อุณหภูมิน้ำเฉลี่ย (°C)	เวลาที่อุณหภูมิ Backbone ถึง 0 °C (min)
1.78	39.37	-11	17	19.26	110
1.67	38.1	-13	17.5	19.26	102
1.80	40.64	-13.1	17.5	18.17	109

ตารางที่ 19 เวลาที่อุณหภูมิบริเวณ Backbone ถึง 0 องศาเซลเซียส ในสภาวะการละลายด้วยน้ำวน อัตราการไหล 30 ลิตรต่อนาที

น้ำหนัก (kg)	ความยาว (cm)	อุณหภูมิเริ่มต้น (°C)	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m ² .K)	อุณหภูมิน้ำเฉลี่ย (°C)	เวลาที่อุณหภูมิ Backbone ถึง 0 °C (min)
1.75	38.1	-12	23	20.16	99
1.76	40.64	-13.5	23	20.16	99
1.63	40.64	-12.7	23	20	86
1.71	38.1	-12.7	23	20	86
1.64	40.64	-11.5	23	20	87
1.69	40.64	-11	23	20	87

ตารางที่ 20 เวลาที่อุณหภูมิบริเวณ Backbone ถึง 0 องศาเซลเซียส ในสภาวะการละลายด้วยน้ำวน อัตราการไหล 200 ลิตรต่อนาที

น้ำหนัก (kg)	ความยาว (cm)	อุณหภูมิเริ่มต้น (°C)	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m ² .K)	อุณหภูมิน้ำเฉลี่ย (°C)	เวลาที่อุณหภูมิ Backbone ถึง 0 °C (min)
1.69	40.64	-12	28.5	20	81
1.54	36.83	-10.5	29	20	81
1.61	40.64	-13.1	28	20	90
1.60	39.37	-13.1	29	20	90
1.74	38.1	-12.2	28	20	87
1.59	36.81	-13	28	20	87

