

เครื่องละลายเกลือออกจากเนื้อปลาทูน่า / ส่วนการละลายปลาทูน่าแช่แข็ง

EFFECT OF CONVECTIVE THAWING ON TUNA DESALTING

/ PART THAWING FROZEN



T129418



ฉ.พ.
ธ.119ด
2655

เลขหมู่.....**129418**.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....**3 S.A. 2556**.....

b. 129418
i.....

ปริญญาานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF CONVECTIVE THAWING ON TUNA DESALTING
/ PART THAWING FROZEN



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG
ACADEMIC YEAR 2012

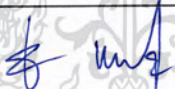
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2555
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ เครื่องละลายเกลือออกจากปลาทูน่า / ส่วนการละลายปลาทูน่าแช่แข็ง
EFFECT OF CONVECTIVE THAWING ON TUNA DESALTING
/ PART THAWING FROZEN

นักศึกษาผู้จัดทำ นายธีรวัฒน์ เทศะแพทย์ รหัสนักศึกษา 52010394
นายทรงเผ่า กางถิ่น รหัสนักศึกษา 52010397
นายทรงศักดิ์ ภูจิตน้ำ รหัสนักศึกษา 52010400

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2555

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ. เชื้อ นกอยู่	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องละลายเกลือออกจากปลาทูน่า / ส่วนการละลายปลาทูน่าแช่แข็ง		
	EFFECT OF CONVECTIVE THAWING ON TUNA DESALTING		
	/ PART THAWING FROZEN		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายฉวีวัฒน์	เกษตรแพทย์	รหัสนักศึกษา 52010394
	นายทรงเผ่า	ทางดิน	รหัสนักศึกษา 52010397
	นายทรงศักดิ์	ภูจิตน้ำ	รหัสนักศึกษา 52010400
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.เชื้อ นกอยู่		
ปีการศึกษา	2555		

บทคัดย่อ

การละลายปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบด้วยน้ำ และผลของการลดปริมาณเกลือในเนื้อปลาทั้งตุ่มล คุณภาพทางจุลินทรีย์ทั้งหมดของน้ำที่ใช้ละลายปลาทั้งหมดถูกละลายจากสภาพแช่เยือกแข็ง จนกระทั่งอุณหภูมิเนื้อติดกระดูกอยู่ระหว่าง 0 ถึง -2 องศาเซลเซียสโดยใช้การพาความร้อน 3 วิธี คือ การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (น้ำนิ่ง), การพาแบบบังคับ (น้ำหมุนเวียนด้วยอัตราการไหล 350 liter/min) และการพาความร้อนแบบอลวน (น้ำหมุนเวียนด้วยอัตราการไหล 350 liter/min) และทำให้อุณหภูมิของน้ำรอบๆตัวปลาแตกต่างกัน 1-2 องศาเซลเซียส การละลายในสภาวะน้ำนิ่ง น้ำวน และน้ำอลวน มีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเท่ากับ 15 - 20 W/m².K, 20 - 25 W/m².K และ 27 - 30 W/m².K ตามลำดับโดยสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเวลาที่ใช้ในการละลายลดลง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณเกลือของปลาที่ละลายในสภาวะน้ำนิ่งมีค่าลดลงจากร้อยละ 4.74 ถึง 3.10 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ปริมาณเกลือของการละลายที่สภาวะน้ำวนและน้ำอลวนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ งานวิจัยนี้ยังพบว่าการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ของน้ำที่ใช้สำหรับละลายด้วยวิธีแตกต่างกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Thesis Title	EFFECT OF CONVECTIVE THAWING ON TUNA DESALTING / PART THAWING FROZEN	
Authors	Mr.Thirawat	Tesapat
	Mr.Songpao	Kangtin
	Mr.Songsak	Phoojitnam
Thesis Advisor	Asst.Prof.Chuae Nokyoo	
Year	2012	

ABSTRACT

The thawing of Skipjack Tuna (*Katsuwonus pelamis*) in water and its effect on the reduction of NaCl concentration in fish muscle as well as microbial quality of thawing water were investigated. The whole fish were thawed from frozen state until their backbone temperature reached 0- (-2) C using 3 convective conditions; natural convection (still water), force convection (circulated water with flow rate of 350 liter/min) and chaotic convection (circulated water with flow rate of 350 liter/min with 1-2 C difference of water temperature surrounding the fish). The convective heat transfer coefficient during thawing were experimentally determined as 15 - 20 W/m².K, 20 - 25 W/m².K, and 27 - 30 W/m².K, for natural convection, force convection and chaotic convection respectively. By increasing the heat transfer coefficient, the thawing time was significantly reduced. The NaCl concentration of the fishes thawed by force convection was significantly reduced from 4.74 to 3.10. However, the NaCl of the fishes thawing by forced convection and chaotic convection were not significantly difference. The research also found that the increasing of Total Aerobic Count of the water used for difference thawing methods were not significantly different.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยจึงขอขอบคุณ ผศ.เชื้อ นกอยู่ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา ให้ความรู้ ความเมตตา ตลอดจนคำชี้แนะและแนวทางในการปรับปรุงข้อบกพร่องที่เป็นประโยชน์เสมอมา งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้จนกระทั่งสำเร็จการศึกษา ขอขอบคุณบริษัท ไทย ยูเนี่ยน ฟอสเฟตส์ ฟู้ดอินดัสตรี จำกัด ที่เปิดโอกาสให้ศึกษากระบวนการผลิตปลาหมึกกระบอง การวิเคราะห์ปริมาณเกลือ รวมถึงตัวอย่างปลาหมึกที่ใช้ในการทดลองทั้งหมดจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมอาหาร ที่ให้ความรู้ คำแนะนำในเรื่องทฤษฎีการละลายเกลือในปลาหมึก อุณหภูมิ อัตราการไหล เพื่อออกแบบเครื่องได้อย่างมีประสิทธิภาพจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณ รศ.ดร.ปิติเขต สุรักษา อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมสารสนเทศ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ในเรื่องทฤษฎีออสโมซิสที่ใช้ในการทดลองในขั้นตอนละลายปลาหมึกจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบพระคุณ พ่อ แม่และทุกคนในครอบครัวที่ให้โอกาสได้ศึกษาเล่าเรียนและให้กำลังใจ คำสั่งทรัพย์ กำลังใจ ความห่วงใยและการสนับสนุนเป็นอย่างดีเสมอมา ขอขอบคุณเพื่อนๆปี4 สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ที่ร่วมกันฟันฝ่าอุปสรรค เป็นกำลังใจและอยู่เคียงข้างกันตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา สุดท้ายนี้ขอขอบคุณโลกใบนี้ที่มี ความดี ความรัก ความอบอุ่น ที่ทำให้ทุกชีวิตได้มีโอกาสได้มาอยู่ร่วมกันบนโลกใบนี้ ขอให้โลกใบนี้จึงมีแต่ความสุขตลอดกาล

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์.....	2
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	3
2.1 ความสำคัญของอุตสาหกรรมปลาทุ่นาแปรรูป.....	3
2.2 ปลาทุ่นาที่ใช้เป็นวัตถุดิบแปรรูป.....	4
2.3 การเก็บรักษาปลาทุ่นา โดยเรือประมง.....	4
2.4 กล้ามเนื้อของปลาทุ่นา.....	5
2.5 องค์ประกอบหลักทางเคมีของปลาทุ่นา.....	6
2.6 กระบวนการผลิตปลาทุ่นากระป๋อง.....	7
2.7 การละลายอาหารแช่เยือกแข็ง.....	8
2.8 จุลินทรีย์กับการละลาย.....	11
2.9 วิธีการละลายอาหารแช่เยือกแข็ง.....	11
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.10.1 การพาความร้อน.....	12
2.10.2 การแพร่สัมประสิทธิ์การแพร่.....	13
2.11 Resistance Temperature Detectors; RTD.....	15
2.12 ฮีตเตอร์ (heater).....	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.13 ความรู้พื้นฐาน เรื่อง โพลีคอสเตตรีเลย์ (solid state relay).....	25
2.14 ความรู้พื้นฐาน : เรื่องระบบการควบคุมอัตโนมัติ.....	25
2.15 PLC (Programmable Logic Controller).....	26
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน(การศึกษาปริมาณเกลือ).....	27
3.1 บทนำ.....	27
3.2 วิธีดำเนินการ.....	29
3.2.1 ตัวอย่างปลา.....	29
3.2.2 การละลายและการนึ่ง.....	29
3.2.3 การเก็บตัวอย่างเนื้อปลา.....	30
3.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณเกลือในเนื้อปลา.....	31
3.3 ผลและวิจารณ์ผล.....	31
3.4 สรุปผลการทดลอง.....	34
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	35
4.1 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	35
4.1.1 ตัวอย่างปลาทูน่า.....	35
4.1.2 การวัดขนาดและชั่งน้ำหนัก.....	35
4.1.3 การเก็บตัวอย่างเนื้อปลาทูน่า.....	36
4.1.4 ชุดอุปกรณ์และวิธีการละลายปลาทูน่า.....	37
4.1.5 การหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของการละลายโดยใช้น้ำ เป็นตัวกลางที่สภาวะต่างกัน.....	39
4.1.6 การเก็บตัวอย่างน้ำและอากาศเพื่อวัดปริมาณจุลินทรีย์.....	40
4.2 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	40
4.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของการละลายปลาด้วยน้ำในสภาวะต่างๆ.....	40
4.2.2 ปริมาณเกลือของเนื้อปลาทูน่าในแต่ละตำแหน่ง.....	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.3 ผลการละลายด้วยน้ำที่สภาวะต่างๆต่อปริมาณเกลือ.....	43
4.2.4 ผลการตรวจจุลินทรีย์ในอากาศและน้ำของการละลายที่สภาวะต่างๆ.....	47
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	48
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	48
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	48

บรรณานุกรม



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าปลาทูน่าสดแช่เย็นแช่แข็งสายพันธุ์ต่างๆ ของประเทศไทย ปี 2553-2554.....	3
2.2 ช่วงองค์ประกอบทางเคมีของปลาทูน่า(กรัม/100กรัม).....	7
3.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือของปลาขนาดต่างๆ.....	32
3.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ.....	33
4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน และ SE ของน้ำที่สภาวะการละลายต่างๆ.....	42
4.2 ผลของปริมาณจุลินทรีย์ในอากาศและน้ำละลายปลาที่สภาวะต่างๆ.....	47



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะการเรียงตัวของกล้ามเนื้อปลาทูน่า.....	5
2.2 สัดส่วนกล้ามเนื้อสีอ่อนและสีเข้มตามภาพตัดขวางลำตัวของปลาทูน่าท้องแถบ.....	6
2.3 แผนผังแสดงกระบวนการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง.....	8
2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Specific enthalpy กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป.....	9
2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ละลายกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป.....	9
2.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ Specific enthalpy ของอาหารแช่แข็ง.....	10
2.7 ปริมาณเกลือที่สภาวะต่างกันกับเวลาที่ใช้.....	14
3.1 ผลิตภัณฑ์ปลาทูน่าเพื่อสุขภาพ.....	27
3.2 การละลายปลาทูน่าด้วยถังละลายในระดับอุตสาหกรรม.....	29
3.3 การนึ่งปลาทูน่าในระดับอุตสาหกรรม.....	30
3.4 การตัดเพื่อเก็บตัวอย่างเนื้อปลาทูน่าก่อนและหลังละลาย.....	30
3.5 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณเกลือ (Mettler Toledo Auto-titrator).....	31
3.6 แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (%) ก่อนการละลาย หลังการละลายและหลังนึ่งต่อขนาดปลา.....	32
3.7 แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (%) ก่อนการละลาย หลังการละลายและหลังการนึ่ง.....	33
4.1 การวัดขนาดปลาทูน่า.....	35
4.2 การเก็บตัวอย่างปลาทูน่าก่อนการทดลอง.....	36
4.3 การเก็บตัวอย่างเนื้อปลาทูน่าแบบ ปลา 1 ตัวต่อ 3 จุดตัวอย่าง.....	36
4.4 (ก) การละลายในสภาวะน้ำนิ่ง (ข) การละลายในสภาวะน้ำวน.....	37
4.5 อุปกรณ์และถังละลายในสภาวะน้ำอวน.....	37
4.6 ชุดอุปกรณ์การละลาย.....	38
4.7 ชุดอุปกรณ์การละลาย (หม้อต้ม).....	38
4.8 การเสียบสาย และการวัดตำแหน่งปลายเทอร์โมคัปเปิล.....	39
4.9 การเก็บตัวอย่างน้ำ อากาศ และตัวอย่างผลตรวจวัดจุลินทรีย์.....	40
4.10 ผลการทำนายสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำในสภาวะน้ำนิ่ง.....	41
4.11 ผลการทำนายสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำในสภาวะน้ำวน.....	41
4.12 ผลการทำนายสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำในสภาวะน้ำอวน.....	42
4.13 ปริมาณเกลือต่อตำแหน่ง A (เนื้อช่วงหัว) B (เนื้อช่วงตัว) และ C (เนื้อช่วงหาง).....	43

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 ปริมาณเกลือเฉลี่ย (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ของปลาทุ่นก่อนการละลาย และหลังการละลายที่สภาวะน้ำวน.....	44
4.15 ผลของการละลายในน้ำวนต่อ ปริมาณเกลือที่ลดลง (ร้อยละโดยน้ำหนัก) หลังการละลาย.....	44
4.16 ปริมาณเกลือ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) เฉลี่ย ของปลาทุ่นก่อนการละลาย และหลังการละลายที่สภาวะน้ำอลวน.....	45
4.17 ผลของการละลายในน้ำอลวนต่อ ปริมาณเกลือที่ลดลง (ร้อยละโดยน้ำหนัก) หลังการละลาย.....	45
4.18 แผนภูมิแสดงปริมาณเกลือ (%) ก่อนการละลายและหลังการละลาย ที่สภาวะน้ำวนและน้ำอลวน.....	46
4.19 แผนภูมิแสดงความแตกต่างของปริมาณเกลือ (%) ก่อนการละลาย และหลังการละลายที่สภาวะน้ำวนและน้ำอลวน.....	46



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปรีญญาภิพนธ์

อุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์จากปลาทูน่าเป็นอุตสาหกรรมอาหารที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากปลาทูน่าที่สำคัญคือ ปลาทูน่ากระป๋องและปรุงแต่ง ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเป็นอันดับหนึ่งของโลก(ศูนย์วิจัยกสิกรไทย ,2553) โดยมีสัดส่วนส่งออกร้อยละ 90 ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ มูลค่าการส่งออกสูง ถึง 51,942.3 ล้านบาท ในปี 2553 และเพิ่มขึ้นเป็น 61,461.7ล้านบาทในปี 2554(กระทรวงพาณิชย์, 2555)วัตถุดิบหลักเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ทูน่ากระป๋อง คือปลาทูน่าสดแช่เยือกแข็ง ซึ่งพึ่งพาการนำเข้าวัตถุดิบหลัก ในสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 80 ของความต้องการใช้ในประเทศ เนื่องจากการประมงทูน่าของไทย ยังไม่สามารถพัฒนาขึ้นมารองรับความต้องการใช้วัตถุดิบได้อย่างเพียงพอจากข้อมูลการนำเข้าปลาทูน่าสดแช่เยือกแข็งของกระทรวงพาณิชย์ในปี 2554 มีมูลค่าสูงถึง 39,519.02 ล้านบาททั้งในปัจจุบัน ปลาทูน่ามีปริมาณในทะเลลดลง มีการกำหนดโควตาการจับปลาทูน่าในแต่ละปีและราคาปลาทูน่ามีแนวโน้มที่สูงขึ้น ทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นและผู้ผลิตยังไม่สามารถต่อรองคุณสมบัติที่เหมาะสมของปลาทูน่าต่อการผลิตได้

ปลาทูน่ากระป๋องเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ เพราะเนื้อปลาเป็นอาหารที่ย่อยง่าย มีกรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential amino acid) ครบทุกชนิดและยังมีกรดไขมันโอเมก้า 3 (Omega-3 fatty acid) เช่นDHAซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย (Essential fatty acid) บริโภคได้ทุกเพศ ทุกวัย และมีการบริโภคกันอย่างกว้างขวางทั่วโลก ปัญหาสำคัญที่มีผลกระทบต่อตลาดปลาทูน่าแปรรูปกระป๋องของไทย คือผลิตภัณฑ์ปลาทูน่ามีปริมาณเกลือสูงซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพผู้บริโภค โดยเฉพาะผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคหลอดเลือดสมองเป็นต้น เพราะหากร่างกายรับเกลือมากเกินไปจะทำให้ความดันโลหิตสูงขึ้นและหัวใจต้องทำงานหนักมากขึ้นปริมาณเกลือ หรือโซเดียมคลอไรด์ 6 กรัมจะมีโซเดียมประมาณ 2,400 มิลลิกรัม ซึ่งเป็นปริมาณสูงสุดที่ควรได้รับและไม่ก่อให้เกิดอันตราย ปัญหาจากผลิตภัณฑ์ปลาทูน่าที่มีปริมาณเกลือสูงนี้มีผลต่อตลาดส่งออก การตัดสินใจซื้อของกลุ่มผู้บริโภคที่รักสุขภาพซึ่งเพิ่มจำนวนมากขึ้นในปัจจุบันปริมาณเกลือในผลิตภัณฑ์จากปลาทูน่าเกิดขึ้นจากกระบวนการแช่เยือกแข็งแบบจุ่ม (Immersion freezing) เพื่อการรักษาความสดของปลา กระบวนการรักษาความสดของปลาทูน่าในเรือประมงทำโดยใช้น้ำไบรม์ (Brine) หรือน้ำเกลือเข้มข้นน้ำไบรม์มีอัตราส่วนน้ำ 100 กิโลกรัมต่อเกลือ 29 กิโลกรัมสามารถทำให้อุณหภูมิต่ำลงถึง -17 ถึง -21.2 องศาเซลเซียส และยังคงสถานะเป็นของเหลว การแช่เยือกแข็งจะแช่ปลาทูน่าที่จับได้ในถังพัก ให้ปลาทุกตัวลงไปจมอยู่ในน้ำไบรม์ 1 คิน เพื่อให้อุณหภูมิของปลาทูน่าเท่ากันให้อุณหภูมิทั่วทั้งตัวปลาได้ -10 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมิที่ -10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน การแช่ในน้ำเกลือทำให้ปลาแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็ว แต่ส่งผลเสียคือ ทำให้เกลือแพร่ (Diffusion) เข้าไปในเนื้อปลา

จากการสำรวจและสอบถามผู้ประกอบการแปรรูปปลาทูน่าแช่แข็ง บริษัท ไทยยูเนียน โพรเซ้น โปรดักส์ จำกัด (มหาชน) พบปัญหาปลาทูน่าแช่แข็งมีปริมาณเกลือสูงเกินกำหนด จาก 1 ใน 3 กลุ่มสินค้า และจากการสุ่มตรวจตัวอย่างจากกลุ่มสินค้าในกระบวนการผลิตปลาทูน่าแปรรูปจากปลาทูน่าแช่แข็ง 3 ขนาดที่พบปัญหาบ่อย ได้แก่ ขนาดน้ำหนักต่ำกว่า 1.4 กิโลกรัม น้ำหนักระหว่าง 1.4 - 1.8 กิโลกรัม และ น้ำหนักระหว่าง 1.8 - 2.5 กิโลกรัม พบปริมาณเกลือในเนื้อปลาทูน่าแช่แข็งก่อนการละลายเฉลี่ย ปริมาณเกลือในเนื้อปลาทูน่าหลังการละลายเฉลี่ย และปริมาณเกลือที่เหลือในผลิตภัณฑ์ปลาทูน่าก่อนการแปรรูปเฉลี่ยมีปริมาณเกินกว่าผู้ประกอบการกำหนด และจากการตรวจวัดปริมาณเกลือสรุปได้ว่าในกระบวนการละลายสามารถลดปริมาณเกลือในเนื้อปลาทูน่าได้มากกว่าขั้นตอนอื่นๆ โดยคาดว่าจะการละลายด้วยน้ำ น้ำเป็นตัวทำละลายที่ดีเนื่องจากคุณสมบัติความมีขั้วในโมเลกุลของน้ำ อีกทั้งเกลือ (NaCl) เป็นสารประกอบไอออนิกที่ละลายน้ำได้ และเกิดกระบวนการแพร่โดยเกลือในตัวปลาที่มีความเข้มข้นสูงกว่าไปยังน้ำที่ใช้ในการละลายซึ่งมีความเข้มข้นต่ำกว่า

โดยจากการสำรวจงานวิจัยที่ผ่านมาไม่พบว่ามีงานวิจัยที่ศึกษาการลดปริมาณเกลือในปลาทูน่าระหว่างขั้นตอนการละลายด้วยน้ำ ซึ่งถ้าลดปริมาณเกลือลงได้ต่ำกว่าร้อยละ 1.2 จะส่งผลต่อการตลาดและภาพลักษณ์ดีของผลิตภัณฑ์ปลาทูน่ากระป๋องที่เป็นอาหารเพื่อสุขภาพในระดับอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

เพื่อศึกษาผลของละลาย (Thawing) ในสภาวะน้ำนิ่ง (Natural convection) น้ำวน (Force convection) และน้ำอลวน (Chaotic convection) ต่อการลดปริมาณเกลือในปลาทูน่าหลังการละลาย

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

- 1) ใช้ปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ (Skipjack tuna) จากแถบมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งเป็นปลาแช่เยือกแข็ง (Frozen fish) มีน้ำหนักระหว่าง 1.4-2.0 กิโลกรัม
- 2) ปลาทูน่าที่ใช้ มีปริมาณเกลือก่อนละลายมากกว่าร้อยละ 1.5 ควบคุมการละลายปลาทูน่าจนอุณหภูมิเนื้อติดกระดูก (Back bone) อยู่ระหว่าง 0 ถึง 2 องศาเซลเซียส มีเป้าหมายให้ปริมาณเกลือหลังการละลายต่ำกว่าร้อยละ 1.2

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบผลของวิธีการละลายที่มีผลต่อการลดลงของปริมาณเกลือและคุณภาพของปลาทูน่าหลังละลาย
- 2) สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาอุปกรณ์ที่ช่วยให้ขั้นตอนการละลายปลาทูน่าแช่แข็งสามารถลดปริมาณเกลือได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งส่งผลต่อการตลาดของปลาทูน่ากระป๋อง

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญของอุตสาหกรรมปลาทูน่าแปรรูป

ปลาทูน่าจัดเป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากผู้บริโภคเห็นว่าปลาทูน่าเป็นอาหารที่สามารถทดแทนเนื้อสัตว์ประเภทอื่นได้ มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น กรดอะมิโนที่จำเป็นแก่ร่างกายและกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเมก้า 3 ซึ่งมีความสามารถช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอล ในเลือด และราคาไม่แพง ปัจจุบันประเทศไทยส่งออกปลาทูน่ากระป๋องมากที่สุดเป็นอันดับ 1 ของโลก แบ่งผลิตภัณฑ์ปลาทูน่ากระป๋องออกเป็น 2 รูปแบบหลัก คือ ปลาทูน่าในน้ำมันพืช (Tuna in oil) และปลาทูน่าในน้ำเกลือ (Tuna in brine) ประเทศไทยมีโรงงานผลิตอาหารทะเลกระป๋องควบคู่กับปลาทูน่ากระป๋องเพื่อการส่งออกจำนวน 29 ราย และที่เป็นโรงงานผลิตปลาทูน่ากระป๋องเพียงอย่างเดียว 24 ราย มีกำลังการผลิตรวม 230,000 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 40 ของกำลังการผลิตอาหารทะเลกระป๋องทั้งหมด

นอกจากจะเป็นผู้ผลิตและส่งออกปลาทูน่ากระป๋องรายใหญ่ของโลกแล้ว ประเทศไทยยังเป็นผู้นำเข้าวัตถุดิบปลาทูน่ารายใหญ่ของโลกด้วย เนื่องจากกว่าร้อยละ 80 ของปลาทูน่าที่ใช้ในการผลิตปลาทูน่ากระป๋องต้องนำเข้าจากประเทศแถบมหาสมุทรแปซิฟิก รองลงมาคือประเทศแถบมหาสมุทรอินเดีย ทั้งนี้เพราะปลาทูน่าที่จับได้จากการทำประมงของไทยมีเพียงร้อยละ 20-25 เท่านั้น ในปี 2553 มีปริมาณนำเข้ารวม 816,473 ตัน มูลค่า 35,816 ล้านบาท ส่วนช่วงเดือนมกราคม-มิถุนายน 2554 มีปริมาณการนำเข้ารวม 465,500 ตัน มูลค่ารวม 22,656 ล้านบาท โดยเป็นการนำเข้าปลาทูน่าสายพันธุ์ท้องแถบมากที่สุดและนำไปใช้ในการผลิตปลาทูน่ากระป๋องเกือบทั้งหมดมีปริมาณ 402,219 ตัน มูลค่า 18,669 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 86.4 ของมูลค่าที่นำเข้าทั้งหมด ดังตารางที่ 2.1 (ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าปลาทูน่าสดแช่เย็นแช่แข็งสายพันธุ์ต่างๆ ของประเทศไทย ปี 2553-2554 (ปริมาณ: ตัน มูลค่า: ล้านบาท)

ชนิด	2553		2554	
			(ม.ค.-มิ.ย.)	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
Albacore	48,892	4,157	19,627	1,682
Yellow fin	111,294	5,687	39,000	2,150
Skipjack	650,448	25,775	402,219	18,669
Others	5,838	195.4	4,653	154
รวม	816,472	35,814	465,499	22,655

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ปลาทูน่าที่ใช้เป็นวัตถุดิบแปรรูป

ปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบ (Skipjack) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Katsuwonus pelamis* เป็นปลาทะเลที่อยู่ในช่วงศ์ Scombridae และใน Subfamily Scombrinae เป็นปลาที่มีลำตัวกลม ปากกว้าง ตาขนาดปานกลาง ครีบหลังเป็นก้านแข็ง ครีบหูมีขนาดเล็กปลายเรียวแหลม ข้างลำตัวมีลายแถบแตกต่างกันออกไป คือ มีสีดำสลับขาวเป็นแนวจากบริเวณครีบหูไปจนถึงครีบหาง หลังมีสีดำปนน้ำเงินเข้ม ท้องสีขาวเงินและมีหนังค่อนข้างบางถลอกได้ง่าย หางมีสีดำแข็งแรง ปลาทูน่าพันธุ์นี้จะมีขนาดเล็ก ลำตัวยาว 18-32 นิ้วและน้ำหนัก 3-7 กิโลกรัม อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่มีอุณหภูมิ 15-25 องศาเซลเซียส ปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบเป็นสายพันธุ์ที่มีอยู่อย่างมากมายและจำหน่ายมากเป็นอันดับแรก แต่เป็นปลาที่มีเนื้อน้อยและมีสีเข้ม จัดเป็นพันธุ์ที่มีคุณภาพต่ำกว่าพันธุ์ครีบเหลืองและครีบยาว

ปลาทูน่าครีบเหลือง (Yellow fin) เป็นสายพันธุ์ที่ผู้ประกอบการไทยใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปลาทูน่ากระป๋องและจำหน่ายมากเป็นอันดับสอง โดยลักษณะของปลาทูน่าพันธุ์นี้จะมีขนาดลำตัวยาว 27-60 นิ้ว และน้ำหนักตั้งแต่ 7-25 กิโลกรัม อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 18-30 องศาเซลเซียส ลักษณะโดยทั่วไปจะเป็นปลาที่มีสีเข้มน้อย และมีปริมาณเนื้อปลามากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ

ปลาทูน่าครีบยาว (Albacore) เป็นสายพันธุ์ที่ผู้ประกอบการไทยใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปลาทูน่ากระป๋องและจำหน่ายมากเป็นอันดับสาม โดยลักษณะของปลาทูน่าสายพันธุ์จะมีขนาดลำตัวยาว 15-36 นิ้ว และน้ำหนักตั้งแต่ 4-15 กิโลกรัม เป็นปลาที่สามารถอยู่ได้ทั้งผิวน้ำที่มีอุณหภูมิ 15-19 องศาเซลเซียสและในน้ำลึกที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 13-25 องศาเซลเซียส ปลาทูน่าครีบยาวเป็นสายพันธุ์เดียวที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตปลาทูน่าเนื้อขาวบรรจุกระป๋อง และเป็นสายพันธุ์ที่จัดว่าเป็นวัตถุดิบที่มีคุณภาพสูงที่สุดเพื่อใช้ในการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง

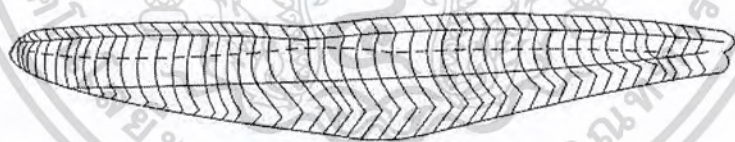
2.3 การเก็บรักษาปลาทูน่า โดยเรือประมง

การเก็บรักษาปลาทูน่าหรือการทำความเย็น ใช้การทำ Brine cooler คือ การนำน้ำเข้าไปดูดซับอุณหภูมิในตัวปลาและทุกๆส่วนของตัวปลาให้อุณหภูมิต่ำ น้ำและเกลือเป็นปัจจัยสำคัญในการทำระบบ Brine cooler เราจึงต้องทำทั้ง 2 อย่างประกอบกัน คุณสมบัติของเกลือในการผสมกับน้ำเกลือจะช่วยชะลอการเกิดแบคทีเรียได้ดี ในการผสมระหว่างน้ำและเกลือจะต้องได้ตามสัดส่วนมาตรฐานของขนาดความเข้มข้นในการทำโบรน์ ซึ่งเรือประมงมีปริมาณความจุในการทำน้ำโบรน์ประมาณ 60 ลูกบาศก์เมตร ตามสัดส่วนแล้วจะใช้เกลือ 29 กิโลกรัมต่อน้ำจืด 100 กิโลกรัม จะได้สารละลายเข้มข้นนี้เรียกว่า น้ำโบรน์ และสามารถทำอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งและยังคงสภาพเป็นของเหลวเมื่อได้น้ำโบรน์แล้วเราจะทำการหมุนเวียนน้ำโบรน์เพื่อทำอุณหภูมิให้ต่ำลง การหมุนเวียนนี้จะทำโดยใช้ปั๊มดูดน้ำโบรน์ผ่านเครื่องทำความเย็นแล้วส่งกลับสู่อ่างเย็นอย่างเดิม ซึ่งจะทำให้การหมุนเวียนอย่างต่อเนื่องกันจนได้อุณหภูมิ -17 ถึง -21.2 องศาเซลเซียส ในเวลาอันรวดเร็ว ในขณะที่ทำความเย็นเราจะทำการตรวจค่าความเค็มและอุณหภูมิเพื่อป้องกันการแข็งตัวของน้ำโบรน์ อุณหภูมิที่กำหนด

ทำน้ำไบรมนอยู่ที่ -17 องศาเซลเซียสและมีความหนาแน่นที่ 22.4% หลังจากนั้นเราจึงหยุดการหมุนเวียนน้ำไบรมน เพื่อป้องกันการตกผลึกหรือการเปลี่ยนสถานะของน้ำที่เป็นส่วนผสมอยู่ ก่อนทำการดองปลาที่จับได้จะทำการถ่ายน้ำไบรมนให้เหลือ 1 ใน 3 ของบ่อน้ำไบรมน เพื่อป้องกันการกระแทกและการลอยตัวของปลาหูนาในขณะทำการดองปลา หลังจากการดองปลาใส่ในบ่อน้ำไบรมนจนเต็มแล้วจึงปล่อยน้ำไบรมนให้เต็มล้นตัวปลา เพื่อให้ปลาทุกตัวจมอยู่ในน้ำไบรมน ตามปกติแล้วน้ำไบรมนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อแช่ปลาลงไป เนื่องมาจากองค์ประกอบต่างๆของตัวปลาจะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น 0-10 องศาเซลเซียส เราจึงต้องทำการหมุนเวียนความเย็นผ่านทาง Brine cooler จนได้อุณหภูมิประมาณ -15 องศาเซลเซียส ในการแช่ที่จ่อมอนิเตอร์ภายในห้องควบคุมเครื่องยนต์ ปลาจึงคงสภาพแข็งตัวได้ดีขึ้น แช่ปลาหูนาในน้ำไบรมนไว้ 1 คืนแล้วทำความเย็นเข้าไปใหม่ให้อุณหภูมิที่ทั้งตัวปลาได้ 10 องศาเซลเซียส จากนั้นจะทำอุณหภูมิที่ขณะนั้นจนถึง 3 วัน หลังจากนั้นทำการถ่ายน้ำไบรมนให้หมดจนแห้งเหลือแต่ตัวปลา แล้วทำความเย็นอีกครั้งด้วยระบบท่อคอยด์รอบผนังบ่อจนอุณหภูมิได้ถึง -40 องศาเซลเซียส (ศูนย์พัฒนาการประมงแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้, 2553)

2.4 กล้ามเนื้อของปลาหูนา

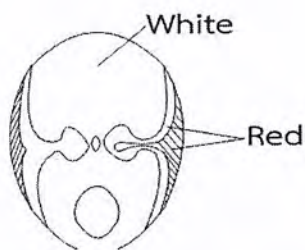
กล้ามเนื้อปลา (Block of muscle, myotomes) เรียงตัวแบบ segment ally ห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (myocomma) กล้ามเนื้อปลาและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันนี้สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ดังรูปที่ 2.1 เมื่อสุกจะเห็นเป็นชั้น (Flakes) เนื้อเยื่อเกี่ยวพันเมื่อรับความร้อนจะละลายกลายเป็นเจล ทำให้เนื้อเยื่อแยกกันได้ง่าย



รูปที่ 2.1 ลักษณะการเรียงตัวของกล้ามเนื้อปลาหูนา

ใต้ผิวหนังปลาจะพบกล้ามเนื้อสีคล้ำ (Red meat หรือ Dark meat) อยู่สองข้างตามเส้นข้างตัว อัตราส่วนระหว่างกล้ามเนื้อสีคล้ำและสีอ่อน (Light meat) แตกต่างกันไปตามชนิดของปลาและส่วนต่างๆของร่างกาย ปลาน้ำลึกมีปริมาณกล้ามเนื้อสีคล้ำน้อยกว่าปลาที่อาศัยอยู่บริเวณผิวน้ำ กล้ามเนื้อสีคล้ำมีปริมาณเฮโมโปรตีน (Haemoprotien) สูงและเป็นสารเริ่มต้นที่ทำให้ไขมันที่มีอยู่มากเสื่อมคุณภาพได้ง่าย เนื้อสีคล้ำทำหน้าที่เป็นคลังเก็บไขมัน ไกลโคเจนและเมตาโบไลต์อื่นๆระดับของสารอนินทรีย์และกรดที่ละลายได้รวมทั้งปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อสีคล้ำต่ำกว่าในเนื้อสีอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 สัดส่วนกล้ามเนื้อสีอ่อนและสีเข้มตามภาพตัดขวางลำตัวของปลาทูน่าทองแถบ

2.5 องค์ประกอบหลักทางเคมีของปลาทูน่า

องค์ประกอบหลักของเนื้อปลาคือ น้ำ โปรตีน และไขมันซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้รวมกันมีถึงร้อยละ 98 ของน้ำหนักปลาสดและองค์ประกอบที่เหลืออื่นๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และเกลือแร่มีอยู่ในปริมาณน้อย แต่ส่วนประกอบเหล่านี้มีความสำคัญต่อสภาพการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อปลาภายหลังการตายซึ่งมีผลกับเนื้อสัมผัสของปลา

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

รูปอิสระ (Free water) น้ำที่อยู่ในสภาพนี้ทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้สารอื่น เช่น โปรตีนและคอลลอยด์ ขณะเดียวกันทำหน้าที่เป็นตัวละลายอื่นๆ ด้วย

รูปยึดเหนี่ยว (Bound water) น้ำในสภาวะนี้จะอยู่ตามผิวของคอลลอยด์ ในโปรตีนและตามผนังเซลล์ เมื่อได้รับความร้อนน้ำที่อยู่ในสภาพนี้จะระเหยไปช้ากว่าน้ำที่อยู่ในรูปอิสระ ดังนั้น จึงต้องใช้ความร้อนสูงซึ่งตรงข้ามกับน้ำอิสระที่ระเหยได้ง่ายและแข็งตัวง่ายกว่า

2) โปรตีน กล้ามเนื้อของปลาประกอบด้วยโปรตีน 2 ประเภท ตามลักษณะการละลาย คือ โปรตีนไม่ละลายน้ำ ได้แก่ โปรตีนที่ยึดเหนี่ยวทำหน้าที่ในการยึดเหนี่ยวตัวของกล้ามเนื้อ มีประมาณร้อยละ 65-75 ของโปรตีนทั้งหมด รวมทั้งโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพันซึ่งมีปริมาณน้อยกว่า มีประมาณร้อยละ 3-10 ของโปรตีนทั้งหมด และโปรตีนไม่ละลายน้ำ ได้แก่ โกลโคโปรตีน เอนไซม์โปรตีนและไมโอโกลบินโปรตีน

3) ไขมัน พบได้ผิวหนังและกล้ามเนื้อ จำแนกได้ 2 ชนิด ไขมันที่ร่างกายเก็บไว้ใช้พลังงาน (Deport-fat) ส่วนไขมันที่ไม่ได้ถูกสะสมเพื่อใช้เป็นพลังงาน (Non-deport-fat) ได้แก่ ฟอสโฟลิปิด องค์ประกอบอื่นๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และแร่ธาตุมีอยู่ในปริมาณน้อย ส่วนประกอบทางเคมีของปลาทูน่าสายพันธุ์ต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิด ภายวิภาค(ตำแหน่งของร่างกายของปลา) และฤดูกาล ซึ่ง

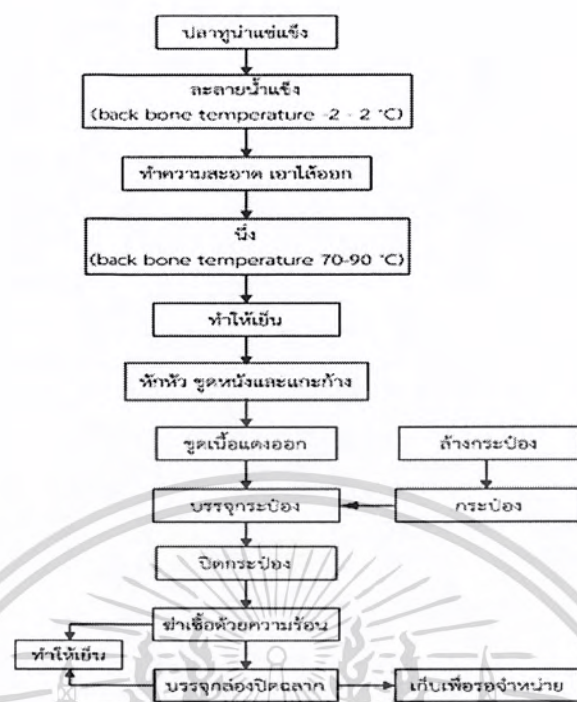
ปลาที่อาศัยอยู่ในแถบร้อนจะไม่พบความแตกต่างเรื่องฤดูกาลอย่างชัดเจน ปลาทูน่าที่ไขมันสูงอาจเปลี่ยนสภาพเป็นปลาไขมันต่ำได้ตามฤดูกาลและแหล่งอาหาร องค์ประกอบทางเคมีของปลาทูน่าสายพันธุ์ต่างๆแสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ช่วงองค์ประกอบทางเคมีของปลาทูน่า(กรัม/100กรัม)

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

2.6 กระบวนการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง

ขั้นตอนกระบวนการผลิตตั้งแต่การรับวัตถุดิบ การตรวจวิเคราะห์ฮีทตามีนและร้อยละปริมาณเกลือเพื่อยอมรับวัตถุดิบ กระบวนการนี้ ขั้นตอนการชุดหนัง แกะเนื้อปลาและการบรรจุ โดยขั้นตอนละเอียดมีดังนี้ นำปลาทูน่าแช่แข็งที่อุณหภูมิกึ่งกลางตัวปลาน้อยกว่าหรือเท่ากับ -18 องศาเซลเซียส จัดเก็บในห้องแช่แข็งที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ -20 องศาเซลเซียสละลายปลาทูน่าแช่แข็งในอ่างละลายน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสที่ปล่อยไหลวนตลอดเวลา ใช้เวลาจนกว่าอุณหภูมิเนื้อติดกระดูกอยู่ระหว่าง -2 ถึง 2 องศาเซลเซียส ตัดหัว คvikไส้และล้างให้สะอาดโดยรักษาอุณหภูมิตัวปลาไม่ให้เกิน 10 องศาเซลเซียสก่อนนี้ จากนั้นนำมาล้างที่อุณหภูมิไอน้ำ 100 องศาเซลเซียสนาน 30 นาที โดยให้อุณหภูมิที่กึ่งกลางตัวปลาประมาณ 70-90 องศาเซลเซียสแล้วทำให้เย็นโดยการสเปรย์น้ำในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 18-20 องศาเซลเซียส ลอกหนังปลาและคัดเลือกเนื้อปลา กำจัดก้างและขูดเนื้อแดง ซึ่งสามารถนำไปทำเป็นอาหารสัตว์ได้ บรรจุเนื้อปลาที่คัดไว้แล้วลงกระป๋อง ปรงแต่งรส ปิดฝากระป๋อง ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนผังแสดงกระบวนการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง

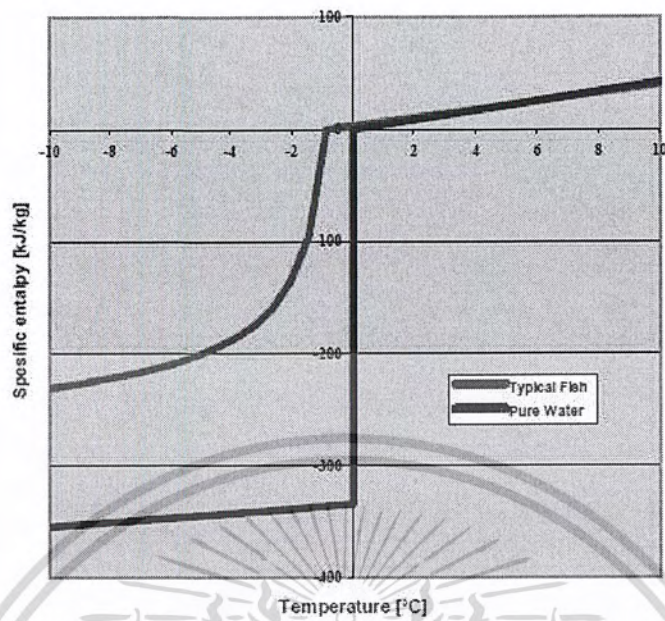
2.7 การละลายอาหารแช่เยือกแข็ง

ปลาทูน่าซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการผลิตทูน่ากระป๋องอยู่ในรูปการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส ดังนั้นในกระบวนการผลิตทูน่ากระป๋องจึงมีขั้นตอนการละลายน้ำแข็งก่อนเพื่อให้ปลาทูน่าพร้อมเป็นวัตถุดิบในขั้นตอนการผลิตต่อไป

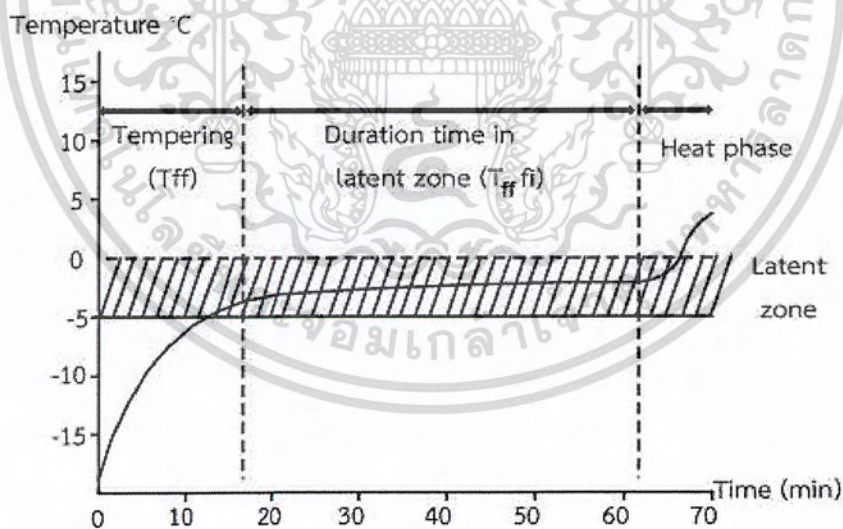
2.7.1 พื้นฐานการละลายอาหารแช่แข็ง

อาหารแช่แข็งเกิดการละลายได้ก็ต่อเมื่อน้ำแข็งในอาหารแช่แข็งเกิดการหลอมเหลวขึ้น โดยการให้พลังงานแก่อาหารแช่แข็ง เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Specific enthalpy หรือเรียกว่า ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าหรือออกจากระบบในกระบวนการที่ความดันคงที่กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป พบว่าการละลายนั้นเป็นการดูดกลืนพลังงานค่า Specific enthalpy จึงเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 2.4 พบว่าน้ำบริสุทธิ์มีเส้นกราฟค่อนข้างคงที่ ในขณะที่ตัวอย่างปลาที่มีเส้นกราฟการละลายไม่คงที่เนื่องจากมีส่วนประกอบอื่นนอกจากน้ำ เช่น โปรตีน ไขมัน และอื่นๆ

ในกระบวนการละลายอาหารแช่แข็งตั้งแต่อุณหภูมิที่ทำการแช่แข็งจนกระทั่งถึงอุณหภูมิหลอมเหลว แบ่งกระบวนการได้ 3 ระยะ ดังรูปที่ 2.5 และ 2.6

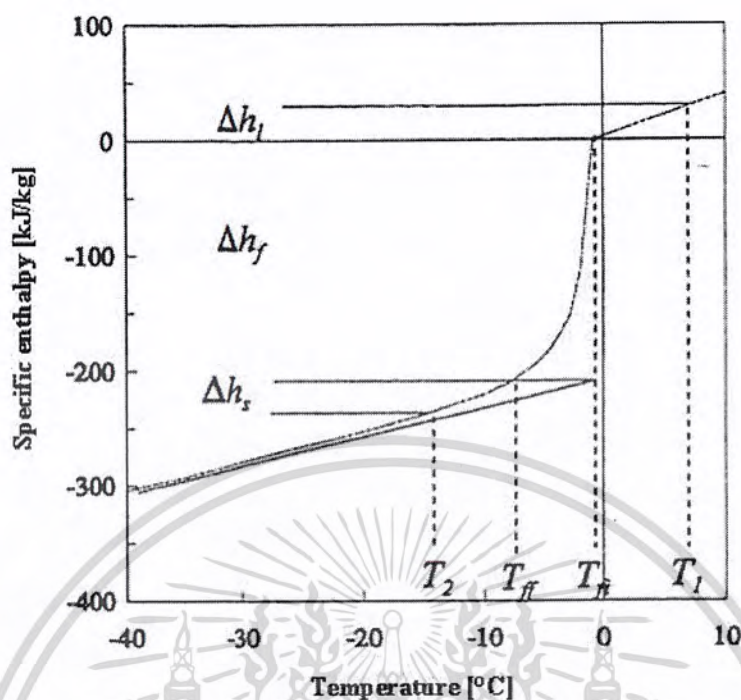


รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Specific enthalpy กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป



รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ละลายกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ Specific enthalpy ของอาหารแช่แข็ง

ระยะที่ 1 อุณหภูมิอาหารแช่แข็งอยู่ในช่วง Tempering phase ($T < T_{ff}$) พลังงานความร้อนที่เพิ่มให้ คือ Δh_s ทำให้อุณหภูมิในอาหารแช่แข็งเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเกิดการหลอมเหลวของน้ำแข็งภายในอาหารระยะนี้ค่อนข้างสั้น 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 โดยอุณหภูมิของอาหารในระยะนี้ค่อนข้างคงที่จนกระทั่งถึงจุด T_f ซึ่งเป็นอุณหภูมิเยือกแข็งของอาหารหรือเรียกว่า Freezing point ระยะนี้ถือว่าเป็นระยะที่มีความสำคัญต่อกระบวนการละลายอาหารแช่แข็ง เนื่องจากเป็นระยะที่น้ำแข็งเริ่มเปลี่ยนแปลงเฟสหรือเกิดการละลายของผลึกน้ำแข็งถ้าช่วงนี้ใช้เวลานานจะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งสามารถทำลายเนื้อเยื่อโครงสร้างและเนื้อเยื่อสัมผัสของอาหาร ดังนั้นกระบวนการละลายอาหารแช่แข็งที่ดีควรทำให้กระบวนการผ่านระยะ Latent zone phase อย่างรวดเร็ว

ระยะที่ 3 เรียกว่า Heating phase ($T > T_f$) เป็นระยะหลังจากน้ำแข็งละลายหมดใน ระยะนี้ ค่าความจุความร้อนต่ำ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากพลังงานความร้อนที่เพิ่มให้ คือ Δh_1

2.8 จุลินทรีย์กับการละลาย

ในระหว่างการละลายอาหารมีแนวโน้มที่จะเกิดการเสื่อมเสีย อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาทางเคมี ภายภาพ และจุลินทรีย์ ฉะนั้นอาจกล่าวได้ว่า กระบวนการละลายเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดความเสียหาย ได้มากกว่ากระบวนการแช่แข็ง ดังนั้นการละลายที่ใช้เวลานานโดยทั่วไปจะให้อาหารที่มีคุณภาพดีกว่า การใช้เวลาสั้น การละลายจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่มีผลเสีย คือ

1) การเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ที่ใหญ่ขึ้น (Recrystallization) ซึ่งสามารถทำลายเนื้อเยื่อโครงสร้าง และเนื้อเยื่อสัมผัสของอาหาร

2) การเกิดปฏิกิริยาเคมีในอัตราที่สูงอย่างรวดเร็ว มีผลเสียต่อสี กลิ่น รสและคุณภาพทางอาหาร

3) มีผลให้เกิดการปรับตัวและเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิดโดยเฉพาะหากเวลาในการละลายนั้นนาน อย่างไรก็ตามในเรื่องของการอยู่รอดของจุลินทรีย์นี้เกิดขึ้นกับปัจจัยหลายประการ คือ ชนิดของจุลินทรีย์ ความเร็วและอุณหภูมิในการแช่แข็ง องค์ประกอบของอาหารที่อาจปกป้องการทำลายเซลล์จุลินทรีย์โดยผลึกน้ำแข็งและความเร็ว อุณหภูมิในการละลายน้ำแข็ง ดังนั้น ในรายงานทางวิชาการจึงพบว่าการที่ทิ้งให้อาหารละลายอย่างช้าๆ ทำให้จุลินทรีย์บางชนิดเกิดขึ้นได้

อัตราการละลายอาหารแช่แข็งช้าหรือเร็วมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยการละลายอาหารแช่แข็งอย่างรวดเร็วจะเป็นการควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเจริญของเชื้อก่อโรค แต่ถ้าอาหารถูกละลายอย่างช้าๆ อุณหภูมิบนผิวหน้าของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้จุลินทรีย์เจริญได้ แม้ว่าบริเวณภายในของอาหารจะยังคงเป็นน้ำแข็งอยู่ ดังนั้นการให้อาหารแช่แข็งละลายอย่างรวดเร็วเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียที่เรียกว่าน้อยกว่าการให้อาหารละลายอย่างช้าๆ

2.9 วิธีการละลายอาหารแช่เยือกแข็ง

วิธีการละลายอาหารแช่เยือกแข็ง สามารถแบ่งออกเป็น 2 หลักการ ขึ้นอยู่กับรูปแบบการให้พลังงานที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนในการละลาย คือ การใช้ตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาหารและการสร้างความร้อนให้เกิดขึ้นภายในอาหารแช่แข็ง

1) การใช้ตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาหาร

ให้ความร้อนผ่านตัวกลางไปสู่ผิวของอาหารแช่เยือกแข็งโดยให้ผิวของอาหารแช่เยือกแข็งสัมผัสกับตัวกลางหรือแหล่งให้ความร้อน เช่น น้ำหรือไอน้ำ อากาศร้อน การให้ความร้อนผ่านแผ่นโลหะร้อนการใช้น้ำหรืออากาศเป็นตัวกลางในการละลายเป็นวิธีการที่นิยมใช้กันในระดับอุตสาหกรรม โดยอาศัยหลักการพาและนำความร้อนของของไหล ให้ของไหลไหลผ่านอาหารแช่เยือกแข็ง ส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอาหารแช่เยือกแข็งกับของไหล ทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะของน้ำแข็งในอาหารแช่เยือกแข็ง จากสถานะของแข็งกลายเป็นสถานะของเหลว วิธีดังกล่าวนี้มีข้อดีในการควบคุมได้ง่าย และมีต้นทุนในการดำเนินงานต่ำแต่วิธีการนี้มีข้อเสียอยู่หลายประการ กล่าวคือ สมบัติการนำความร้อนของน้ำแข็งสูงกว่าน้ำถึง 4 เท่า ดังนั้นเมื่อมีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นที่

ผิวหน้าของอาหาร น้ำแข็งที่ผิวหน้าของอาหารจะละลายกลายเป็นน้ำ ส่งผลให้อัตราการนำความร้อนของผิวอาหารลดลงและส่งผลให้อาหารแช่อยู่ในตัวกลางเป็นเวลานานเนื่องจากอุณหภูมิจุดกึ่งกลางอาหารเพิ่มขึ้นไม่มากนักเพราะ ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางกับอาหารแช่แข็งลดลง อุณหภูมิที่ผิวอาหารเพิ่มขึ้นทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตและอาจเกิดการสูญเสียสารอาหารบางชนิดที่สามารถละลายน้ำได้ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการละลายโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางใช้เวลา น้อยกว่าอากาศเป็นตัวกลางในการละลาย

2) การสร้างความร้อนให้เกิดขึ้นภายในอาหารแช่แข็ง

ทำให้เกิดความร้อนขึ้นในอาหารแช่เยือกแข็ง โดยใช้สมบัติทางไฟฟ้าของอาหารเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน ได้แก่ สมบัติไดอิเล็กตริกในการละลายด้วยไมโครเวฟและสมบัติการนำไฟฟ้าในการละลายด้วยไฟฟ้าโดยตรงหรือ Ohmic รวมทั้งการใช้อุลตราโซนิกในการละลายด้วย เช่น วิธีไมโครเวฟ การใช้ไฟฟ้าโดยตรง

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.10.1 การพาความร้อน

การพาความร้อน (Convection) คือการเคลื่อนที่ของความร้อนในของไหล (ก๊าซหรือของเหลว) โดยที่โมเลกุลของของไหลเคลื่อนที่ที่จะนำพาเอาความร้อนไปด้วย ในขณะที่เดียวกันในโมเลกุลของของไหลเคลื่อนที่นำพาความร้อนไปด้วย ในขณะที่เดียวกันในโมเลกุลของไหลที่เคลื่อนที่ จะเกิดการนำความร้อนเกิดขึ้นด้วย การเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาความร้อนเกิดขึ้นได้

2 รูปแบบ คือ

1) เกิดขึ้นโดยปริมาณความร้อนที่อยู่ในของไหลทำให้ความหนาแน่นของส่วนต่างๆ ของไหลต่างกัน ทำให้ของไหลเกิดการหมุนเวียนพาความร้อนไปถ่ายเทให้กับส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า วิธีนี้เรียกว่าการพาความร้อนแบบอิสระหรือการพาความร้อนในวิถีธรรมชาติ (Free or Natural convection) เช่น การถ่ายโอนความร้อนของอาหารภายในกระป๋องที่ผ่านการทำเย็นหลังจากการฆ่าเชื้อ ภายในกระป๋องมีการเคลื่อนที่ของความร้อนเนื่องจากความหนาแน่น การถ่ายโอนในลักษณะนี้เกิดขึ้นค่อนข้างช้า

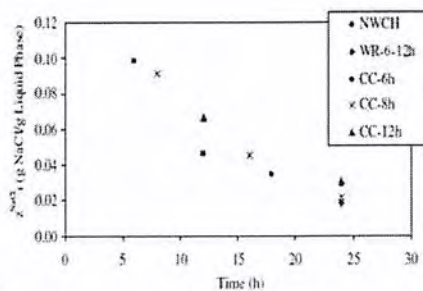
2) เกิดขึ้นโดยทางกลไก เช่น มีการใช้ปั๊มหรือใช้พัดลม บังคับให้เกิดการถ่ายเทความร้อนออกไป วิธีนี้จะเรียกว่า การพาความร้อนในแบบกลไก (Forced convection) การพาความร้อนแบบ บังคับมีประสิทธิภาพมากกว่าแบบธรรมชาติ จากการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองเพื่อละลายปลาหุ่นา ผลการคำนวณด้วยแบบจำลองเพื่อหาเวลาที่ใช้ในการละลายปลาหุ่นาพันธุ์ทองแถบด้วยน้ำ ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่าง 6-24 วัตต์ต่อตารางเมตร และอุณหภูมิภายในตัวปลา ระหว่าง -21 ถึง -3 องศาเซลเซียส โดยกำหนดให้ อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการละลาย 15 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงขึ้น จะใช้เวลาในการละลายปลาหุ่นาลดลงโดย ปลาที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นจาก 2.5 เป็น 3.5 และ 4.5 กิโลกรัม จะใช้เวลามากขึ้นตามลำดับ

เมื่อเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน เวลาที่ใช้ในการละลายปลาทูน้ำหนัก 2.5 กิโลกรัมและ 3.5 กิโลกรัมจะลดลงและยังสังเกตได้อีกว่าที่อุณหภูมิเริ่มต้นภายในต่ำกว่า -6 องศาเซลเซียสจะมีผลต่อเวลาที่ใช้ละลายน้อยมากเนื่องมาจากน้ำในตัวปลาที่มีสถานะเป็นของแข็งค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) มีค่าสูงมากซึ่งจะส่งผลให้การส่งถ่ายความร้อนภายในตัวปลาทำได้ดีจึงทำให้การละลายปลาทำได้อย่างรวดเร็วและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลงอย่างมากเมื่อค่าอุณหภูมิภายในตัวปลาเพิ่มสูงขึ้นจนสูงกว่า -2 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิของจุดเยือกแข็งปลาทูน่าส่งผลให้ความสามารถในการส่งผ่านความร้อนลดลงจึงทำให้การละลายช้าลงแต่ถ้าเรามองถึงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะเห็นว่าถ้าเราเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะสามารถประหยัดเวลาในการละลายได้อย่างมาก

2.10.2 การแพร่สัมประสิทธิ์การแพร่

การแพร่ในของเหลวเป็นปรากฏการณ์การส่งผ่านชนิดหนึ่งที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำปรากฏการณ์การแพร่จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อของเหลวที่มีความเข้มข้นของสารผสมที่แตกต่างกัน (ไกรฤกษ์, 2554) สภาวะการละลายโดยมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำออก ส่งผลให้มีความแตกต่างของความเข้มข้นของสารผสมระหว่างเนื้อปลาและน้ำที่ใช้ละลายทำให้เกิดการถ่ายโอนโมเลกุลมากขึ้น เพราะหากเกิดความสมดุลของสารผสมระหว่างเนื้อปลาและน้ำแล้วสารผสมจะไม่สามารถถ่ายโอนโมเลกุลระหว่างกันได้ซึ่งอธิบายจากหลักสมดุลมวล

การทดลองลดปริมาณเกลือด้วยน้ำที่สภาวะต่างกัน ในการทดลองใช้ปลาคอดเค็มจากนอร์เวย์ มีน้ำหนักของเกลือและน้ำคือ 0.2 และ 0.52 ตามลำดับ เนื้อปลาคอดที่ใช้ในกระบวนการลดเกลือต้องมีมิติ $6 \times 2.5 \times 1$ ลูกบาศก์เซนติเมตร และน้ำหนักเฉลี่ย 22.5 ± 2 กรัม โดยการทดลองแบ่งเป็นสองชุด แต่ละชุดใช้เวลาในการลดปริมาณเกลือเท่ากับ 24 ชั่วโมง ชุดแรกเป็นการทดลองลดปริมาณเกลือที่สภาวะดั้งเดิมไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำออก ชุดที่สองเป็นการลดปริมาณเกลือโดยมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำออกสองแบบ แบบแรกเปลี่ยนน้ำในชั่วโมงที่ 6 และชั่วโมงที่ 12 และแบบที่สองเป็นการลดปริมาณเกลือโดยเปลี่ยนน้ำทุกๆ 6, 8 และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับโดยจำนวนครั้งในการเปลี่ยนน้ำจะได้ 4, 3 และ 2 ครั้งตามลำดับ และที่ขั้นสุดท้ายของการลดเกลือทุกๆแบบจะมีการตรวจหาปริมาณเกลือและน้ำ การเปลี่ยนน้ำที่ชั่วโมงที่ 6 และชั่วโมงที่ 12 สามารถชะเกลือออกได้ดีกว่าการละลายแบบเดิมที่ไม่มีการเปลี่ยนน้ำ ส่วนการเปลี่ยนน้ำทุก 6, 8 และ 12 ชั่วโมงให้ผลในการลดปริมาณเกลือสูงสุดดังรูปที่ 2.7 (NWCH:ไม่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำ, WR - 6 - 12h :มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหลังจากผ่านไป 6 และ 12 ชั่วโมง, CC - 6H, CC - 8h, CC - 12h :การเปลี่ยนแปลงของน้ำทุก 6, 8 และ 12 ชั่วโมงตามลำดับ)



รูปที่ 2.7 ปริมาณเกลือกที่สภาวะต่างกับกับเวลาที่ใช้

การวิเคราะห์การลดลงของเกลือกในปลาทอดขนาดตัวอย่าง $2 \times 1 \times 1$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่สภาวะต่างๆ โดยทำการทดลองการเพิ่มระดับการกระตุ้นน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ 8 ชั่วโมงที่ระดับต่างกันคือ 0, 60, 100, 300 และ 500 รอบต่อนาทีและทำการทดลองกับตัวอย่างขนาด $2 \times 1 \times 1$ ลูกบาศก์เซนติเมตรโดยใช้การทำให้เป็นสุญญากาศขนาด 50 มิลลิบาร์ แบบเป็นจังหวะที่เวลาการทดลองที่ 0, 5, 15 และ 30 นาที ผลการทดลองสรุปว่าการเพิ่มระดับการกระตุ้นน้ำมีผลต่อการพาเกลือกออกจากตัวอย่าง และผลของการใช้สุญญากาศแบบเป็นจังหวะที่เวลาต่างกัน ผลของการพาเกลือกมีผลที่เวลา 15 และ 30 นาที

การศึกษาหากรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับการล้างและลดความเค็มของแมงกะพรุนแห้งจากการทดลองด้วยเครื่องล้างโดยใช้แรงเหวี่ยงจากด้านบน โดยมีมอเตอร์เป็นตัวส่งกำลังให้ใบพัดหมุนทำการทดสอบการทำงานของเครื่องโดยปรับค่า อัตราส่วนแมงกะพรุนต่อน้ำโดยน้ำหนัก 1:10 0.8:10 0.6:10 และความเร็วรอบมอเตอร์ที่ 60, 90 และ 120 รอบต่อนาทีที่อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางถัง 0.417:1 0.646:1 และ 0.771:1 เพื่อทดสอบหาความเร็วเฉลี่ยของน้ำจากผิวน้ำถึงระดับความสูง 5 เซนติเมตรจากกันถึงที่ทำให้แมงกะพรุนสะอาดรวมถึงคุณสมบัติและคุณภาพต่างๆ ได้แก่ ปริมาณเกลือก เนื้อสัมผัส ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณน้ำ และพีเอช จากการทดสอบพบว่า ควรใช้อัตราส่วนแมงกะพรุนต่อน้ำโดยน้ำหนักที่ 1:10 ความเร็วเฉลี่ยของน้ำที่สามารถล้างแมงกะพรุนให้สะอาดมีค่าประมาณ 2.2 เรเดียนต่อวินาที ระยะเวลาการล้างและลดความเค็มทั้งสิ้น 40 นาทีต่อครั้งและเมื่อทำการตรวจสอบค่าคุณสมบัติและคุณภาพของแมงกะพรุนหลังล้างพบว่า ปริมาณน้ำ ปริมาณน้ำอิสระและค่าพีเอชมีค่าสูงขึ้น ค่าปริมาณเกลือกมีค่าลดลง ระยะเวลาที่ใช้ในการล้างสั้นกว่าวิธีที่โรงงานใช้ 75 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณการใช้น้ำลดลง 37 เปอร์เซ็นต์ จุดคุ้มทุน 8,977 กิโลกรัม ปัจจุบันโรงงานล้างอยู่ 125 กิโลกรัมต่อวัน ดังนั้นสามารถคุ้มทุนได้ในระยะเวลา 72 วัน

2.11 Resistance Temperature Detectors; RTD

อาร์ทีดี คือ ตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิที่ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของโลหะซึ่งค่าความต้านทานดังกล่าวจะมีค่าเพิ่มตามอุณหภูมิ ความต้านทานของโลหะที่เพิ่มเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นนี้เรียกว่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบบวก(Positive Temperature Coefficient ; PTC) นอกจากนี้อาร์ทีดียังมีชื่อเรียกได้อีกอย่างว่า เทอร์โมมิเตอร์แบบค่าความต้านทาน (Resistance Temperatures)

ความต้านทานของโลหะที่เพิ่มขึ้นนี้ เรียกว่า “สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบบวก”(Positive Temperature Coefficient ; PTC) นิยมนำไปใช้ในการวัดอุณหภูมิในช่วง -270 to 850 °C. โลหะที่มีความต้านทานจำเพาะต่ำมักจะถูกนำมาใช้เป็นวัสดุ RTD โดยปกติ RTD สามารถแบ่งออกได้ตามวัสดุที่ใช้ทำดังต่อไปนี้

1) แพลทินัม เป็นแบบที่นิยมใช้มากที่สุด เขียนบอกไว้เป็น PT ได้แก่ PT-10 , PT-100, PT-1000 มี Repeatability สูง แต่ Sensitivity น้อย ราคาแพงมากเมื่อเทียบกับนิกเกิลซึ่ง Repeatability น้อย แต่ Sensitivity มาก และราคาถูกกว่า

2) ทังสเตนมีค่าความต้านทานจำเพาะสัมพันธ์สูง มักจะใช้กับการวัดอุณหภูมิที่มีค่าสูง เพราะหากใช้ที่อุณหภูมิปกติจะมีความเปราะและยากต่อการใช้งาน

3) นิกเกิล ใช้กับย่านวัดอุณหภูมิสูง ๆ มีความเป็นเชิงเส้นต่ำ ทำให้เกิดค่าดริฟต์ กับเวลา นอกจากนี้ยังมีวัสดุชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ทำอาร์ทีดีได้แก่ เหล็ก เป็นต้น

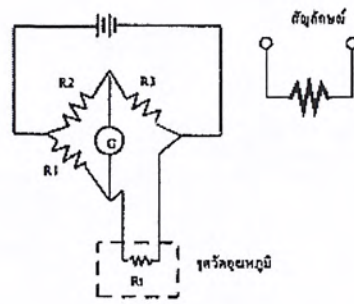
เนื่องจาก RTDs ต้องการกำลัง (current source) จากภายนอก ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนในชิ้นส่วนที่มีความต้านทาน เพราะว่า RTD เป็นตัวต้านทานตัวหนึ่ง(แต่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ) จึงเกิดความร้อนซึ่งกลายเป็นพลังงานที่สูญเสียโดยตัวมันเองเป็นค่า I^2R ทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดอุณหภูมิ ยกตัวอย่างของกรณีนี้ เช่นอุณหภูมิที่วัดจริง 80 °C แต่บวกกับความร้อนจากตัวมันเอง 3°C ทำให้อุณหภูมิที่ตัวมันวัดได้เป็น 83 °C นั่นคือจะผิดพลาดไป 3°C โดยค่าความผิดพลาดที่วัดได้นี้สามารถคำนวณได้จากสมการนี้ $T = P \times S$

RTD ทำจากลวดโลหะที่มีความยาวค่าหนึ่ง ซึ่งที่ 0 °C จะมีค่าความต้านทานค่าหนึ่งตามที่กำหนด ลวดโลหะนี้จะพันอยู่บนแกนที่เป็นฉนวนไฟฟ้า มีคุณสมบัติทนต่อความร้อน และต้องมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวสัมพันธ์กับการขยายตัวของขดลวด RTD จะถูกบรรจุอยู่ใน Metal Sheath ฉนวนที่ใช้เป็นพวกแมกนีเซียมออกไซด์ หรืออะลูมิเนียมออกไซด์

ชนิดของ RTD

RTD 2 สาย

วงจรใช้งานพื้นฐานของ RTD คือ Wheathstone Bridge โดย R_t คือ RTD ซึ่งติดตั้งอยู่ในจุดที่ต้องการวัดอุณหภูมิ มีค่าความต้านทานอีก 3 ค่าในวงจร คือ R_1 , R_2 , และ R_3 ซึ่งต้องอยู่ที่อุณหภูมิห้อง และเป็นความต้านทานชนิดที่มีความถูกต้องสูง



รูปที่ 1 แสดง RTD 2 สาย

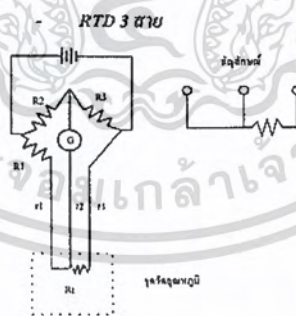
จากรูปที่ 1 วงจร Bridge จะอยู่ในสภาวะสมดุล เมื่อ RTD (R_t) อยู่ที่ 0°C แล้วทำให้

$$\frac{R_t}{R_3} = \frac{R_1}{R_2}$$

สมการที่ 2.1

ซึ่งจะไม่มีกระแสไหลผ่านกัลวานมิเตอร์ เมื่ออุณหภูมิที่ R_t สูงขึ้น ค่า R_t จะเพิ่มขึ้นทำให้ วงจร Bridge ไม่สมดุลและมีกระแสไหลผ่านกัลวานมิเตอร์ เมื่ออุณหภูมิที่ R_t สูงขึ้น ค่า R_t จะเพิ่มขึ้นทำให้ วงจร Bridge ไม่สมดุลและมีกระแสไหลผ่านกัลวานมิเตอร์ อย่างไรก็ตาม RTD 2 สายเหมาะกับงานที่ RTD อยู่ใกล้กับวงจรเท่านั้น ไม่เหมาะกับงานที่ต้องลากสายยาว ๆ เนื่องจากจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นจากค่าความต้านทานสะสมของสายตัวนำ ทำให้ค่าที่อ่านได้ผิดเพี้ยนไป RTD 2 สายจึงเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความถูกต้องสูง

RTD 3 สาย



รูปที่ 2 แสดง RTD 3 สาย

RTD 3 สาย เป็นที่นิยมใช้ที่สุดในอุตสาหกรรม โดยสายทั้ง 3 เป็นแบบที่นิยมใช้ที่สุดในอุตสาหกรรมโดยสายทั้ง 3 ที่อยู่ระหว่างจุดที่วัดกับวงจร จะต้องมีความยาวเท่ากัน และอยู่ในอุณหภูมิเดียวกันตลอดเพื่อให้ค่าความต้านทาน R_1 , R_2 และ R_3 เปลี่ยนไปในทิศทางเดียวกันด้วยขนาดที่เท่ากัน นั่นคือ

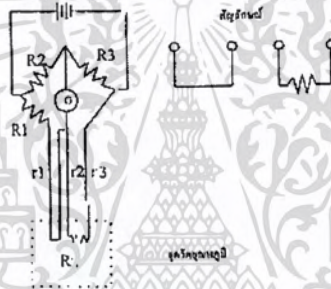
$$\frac{R_t+r_3}{R_3} = \frac{R_1+r_1}{R_2}$$

สมการที่ 2.2

เนื่องจาก r_1 เท่ากับ r_3 เพราะฉะนั้นอุณหภูมิที่วัดจึงขึ้นอยู่กับ R_t เพียงตัวเดียว ทำให้ RTD 3 สายมีความถูกต้องสูงกว่า RTD แบบ 2 สาย

RTD 4 สาย

RTD 4 สายเป็นแบบที่มีความถูกต้องสูงที่สุด เนื่องจากเลื่อนจุดต่อของ Bridge ออกไปอยู่ภายนอกทั้ง 4 จุด สามารถชดเชยความต้านทานของสายตัวนำได้ทั้งหมด โดยสายทั้ง 4 ต้องมีขนาด, ความยาวเท่ากัน และอยู่ในอุณหภูมิเดียวกันตลอดเหมือนกับ RTD 3 สาย



รูปที่ 3 แสดง RTD 4 สาย

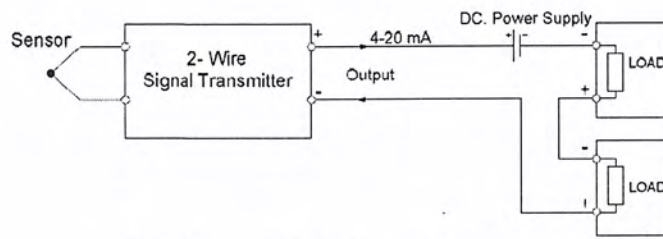
ข้อควรจำในการวัดอุณหภูมิโดยใช้อาร์ทีดี คือ

- 1) ต้องมีการชิลด์สายและเดินสายบิดเกลียวเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน
- 2) อาร์ทีดีมีความเปราะบาง จึงต้องป้องกันและระวังการใช้งาน
- 3) เนื่องจากที่อาร์ทีดีไม่สามารถกำเนิดพลังได้เหมือนกับเทอร์โมคัปเปิล จึงทำให้มีกระแสไหลผ่านและเกิดผลของความร้อนจุด (I^2R) กับตัวมันเอง

2-Wire Signal Transmitter

Signal Transmitter แบบนี้ตั้งรูปด้านล่างใช้สายเพียง 2 เส้น ซึ่งสายเป็น สัญญาณ Output ของ Transmitter และเป็นสายของ Power Supply สำหรับจ่ายเลี้ยงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ภายใน Signal Transmitter Output Signal ของ Transmitter แบบนี้เป็นสัญญาณ 4-20 mA เท่านั้น ข้อดีของ Transmitter แบบนี้คือประหยัดสายในการติดตั้ง

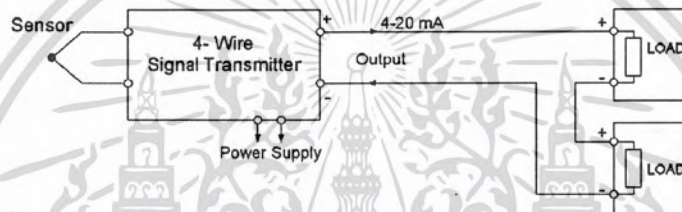
129418



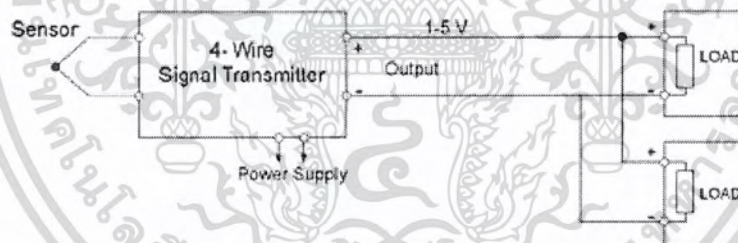
รูปการต่อวงจร 2-Wire Signal Transmitter

4-Wire Signal Transmitter

Signal Transmitter แบบนี้ ใช้สายสัญญาณ 2 เส้นและสาย Power Supply อีก 2 เส้น แยกกันสัญญาณ Output ของ 4 Wire Signal Transmitter มีทั้งที่เป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า มาตรฐาน และสัญญาณแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน สัญญาณจะแตกต่างกันดังรูปด้านล่าง



รูปสัญญาณ Output เป็นแบบกระแส

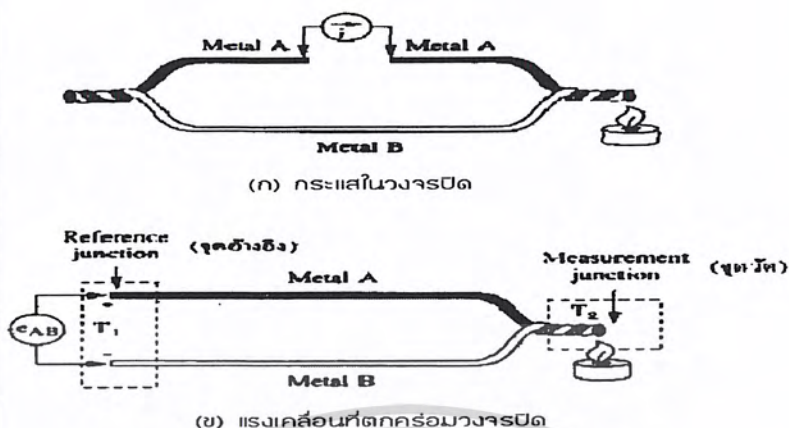


รูปสัญญาณ Output เป็นแบบแรงดัน

เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

เทอร์โมคัปเปิล คืออุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (emf) เทอร์โมคัปเปิลทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว (แตกต่างกันทางโครงสร้างของอะตอม) นำมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่าจุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยเปิดไว้ เรียกว่าจุดอ้างอิง “หากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกัน” ก็จะทำให้มีการนำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองข้าง ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ค้นพบโดย Thomas Seebeck นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันในปี ค.ศ.1821 ในรูปด้านล่างเป็นวงจรที่ใช้อธิบายผลของซีแบ็คดังกล่าว ดังนั้นสิ่งที่ Thermocouple วัดได้จึงเป็นความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ 2 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 แสดงผลของเพลซีแบ็ค

ผลของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากความร้อน (Thermoelectric Effect)

ทฤษฎีพื้นฐานของผลจากเทอร์โมอิเล็กทริก เกิดจากการส่งผ่านทางไฟฟ้าและทางความร้อนของโลหะที่ต่างกันจึงทำให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าตกคร่อมที่โลหะนั้น ความต่างศักย์นี้จะสัมพันธ์กับความจริงที่ว่า อิเล็กตรอนในปลายด้านร้อนของโลหะจะมีพลังงานความร้อนมากกว่าปลายทางด้านเย็น จึงทำให้อิเล็กตรอนมีความเร็วไปหาปลายด้านเย็น ที่อุณหภูมิเดียวกันนี้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะแปรเปลี่ยนไปตามโลหะที่ต่างชนิดกันด้วย ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า โลหะที่ต่างกันจะมีการนำความร้อนที่ต่างกันนั่นเอง.ผลของซีแบ็ค (Seebeck Effect) โดยใช้ทฤษฎีโซลิตสเตต เราสามารถวิเคราะห์ค่าได้จากสมการอินทิเกรตค่าจากย่านของอุณหภูมิดังกล่าว นั่นคือ

$$\epsilon = \int_{T_1}^{T_2} (Q_A - Q_B) dT \tag{สมการที่ 2.3}$$

สมการนี้จะอธิบายผลของซีแบ็ค ซึ่งพบว่า

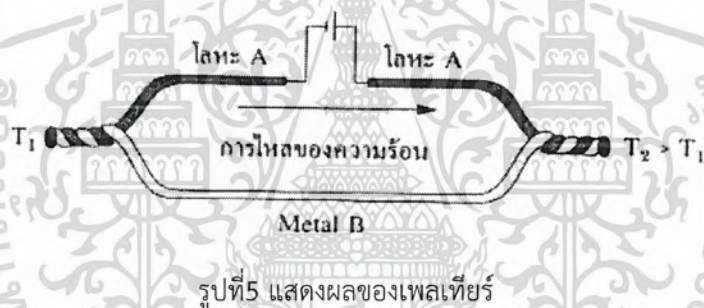
- 1) ค่า emf. ที่เกิดจะเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของอุณหภูมิ จึงเกิดความแตกต่างของค่าคงที่ในการส่งผ่านความร้อนของโลหะ
- 2) ถ้าใช้โลหะชนิดเดียวกันมาทำเทอร์โมคัปเปิลค่า emf. ที่ได้ก็จะมีค่าเป็นศูนย์. ถ้าอุณหภูมิทั้งสองจุดคือจุดวัดและจุดอ้างอิงเหมือนกันค่า emf. ก็จะเป็นศูนย์โดยสูตรที่ง่ายและสามารถนำมาคำนวณได้เช่นกันคือ

$$\varepsilon = \alpha(T_2 - T_1)$$

สมการที่ 2.4

เมื่อ α = ค่าคงที่หรือเรียกว่าสัมประสิทธิ์ของซีแบ็ค; volts/K
 T_1, T_2 = อุณหภูมิที่จุดต่อ; K

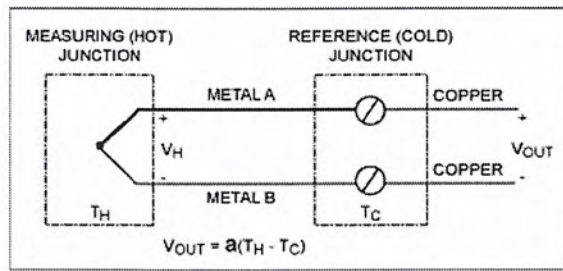
ผลของเพลเทียร์ (Peltier Effects) หากคิดย้อนกลับจากผลของซีแบ็ค นั่นคือใช้โลหะที่แตกต่างกันสองชนิดมาเชื่อมต่อทั้งสองเข้าด้วยกันแล้วจ่ายพลังงานจากภายนอกเข้าไป ก็จะเป็นเหตุให้เกิดกระแสไหลในวงจร เพราะจากคุณสมบัติในการส่งไฟฟ้าและความร้อนของโลหะ พบว่าขั้วหนึ่งจะเกิดความร้อน (T_2) และอีกขั้วหนึ่งจะเกิดความเย็น (T_1) ขึ้น โดยผลดังกล่าวเรียกว่า “ผลของเพลเทียร์” (Peltier effect) และถูกนำไปใช้งานพิเศษสำหรับการทำความเย็นกับส่วนของระบบอิเล็กทรอนิกส์ หรือแม้กระทั่งเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก



จุดอ้างอิงในการวัด (Reference Junction)

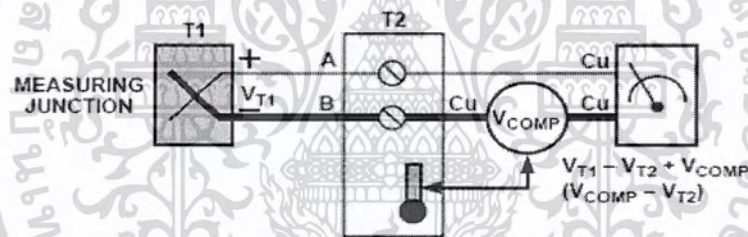
ในวงจรทั่วไปซึ่งใช้ Thermocouple เพื่อทำการวัดอุณหภูมินั้น สายทองแดงจะถูกนำมาต่อเข้ากับ reference junction เพื่อทำการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ตรงจุดนี้จะเกิดจุดเชื่อมต่อระหว่างโลหะเพิ่มขึ้นอีก 2 จุด ซึ่งจะส่งผลให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้เปลี่ยนแปลงไปแต่ถ้าอุณหภูมิ ณ จุดที่เชื่อมต่อกับสายทองแดงทั้ง 2 จุดนั้นมีอุณหภูมิที่เท่ากันแรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก 2 จุดนี้ก็หักล้างกันไปและไม่ส่งผลกระทบต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้า (V_{out}) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรักษาอุณหภูมิทั้งสองจุดนี้ให้มีค่าเท่ากัน และมักเรียกว่าจุดต่อนี้ Isothermal Block

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 วงจรพื้นฐานในการวัดอุณหภูมิโดยใช้ Thermocouple

ในสมัยก่อนนิยมใช้ Ice bath ในการรักษาอุณหภูมิของจุด reference point ให้มีค่าคงที่ตลอดเวลาที่ 0 องศาเซลเซียส และกำหนดเป็นตารางมาตรฐาน (standard table) ระหว่างอุณหภูมิที่ทำการวัดและแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นก็นำไปเปรียบเทียบกับตารางมาตรฐาน ก็จะทราบว่าอุณหภูมิ ณ จุดวัดนั้นมีค่าเท่าไรแต่การใช้งานจริงนั้น ice bath มีข้อยุ่งยากหลายประการ ในภายหลังจึงได้ทำการออกแบบวงจรสำหรับอุณหภูมิที่ reference junction แล้วนำไปสร้างแรงดันเพื่อ compensate กับผลของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ reference junction

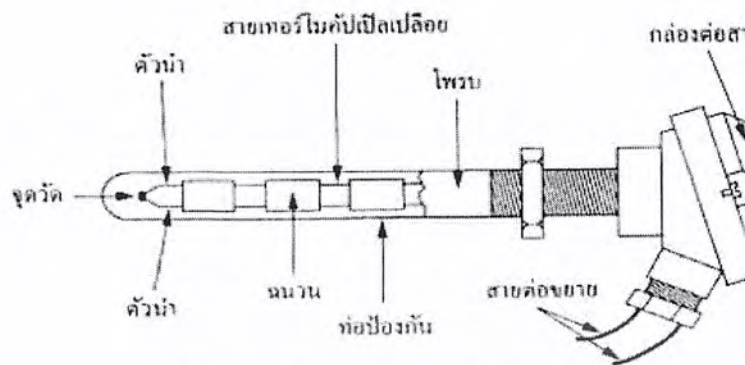


รูปที่ 7 วงจรชดเชยผลของอุณหภูมิที่ reference junction

คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน (Characteristic of Standard Thermocouples)

1) ความไว (Sensitivity) จากตารางแรงเคลื่อนของ NBS แสดงว่าย่านของแรงเคลื่อนจากเทอร์โมคัปเปิลจะมีค่าน้อยกว่า 100 mV แต่ความไวที่แท้จริงในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับการใช้วงจรปรับสภาพสัญญาณและตัวเทอร์โมคัปเปิลเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 แสดงโครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล

2) โครงสร้าง (Construction) โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิลมีลักษณะดังรูปที่ 8 โดยต้องมีลักษณะดังนี้คือ: มีความต้านทานต่ำ ให้สัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง ต้านทานต่อการเกิดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงๆ ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่นำไปใช้วัดค่า และเป็นเชิงเส้นสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ตัวฝึกหรือท่อป้องกันส่วนมากจะทำจากสแตนเลส ความไวของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับความหนาของท่อป้องกันทั้งเยอร์มันเนียมและซิลิคอนจะทำให้คุณสมบัติการเกิดเทอร์โมอีเล็กทริกจึงใช้กันมากในอุปกรณ์ทำความเย็น (peltier element) มากกว่าที่จะใช้เป็นเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิขนาดของสายเทอร์โมคัปเปิลกำหนดได้จากการใช้งานแต่ละอย่าง และมีขนาดจาก #10 ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่คงที่ จนถึงขนาด # 30 หรือแม้กระทั่ง 0.02 mm ซึ่งเป็นสายแบบไมโครไวร์ (micro wire) ที่ใช้กับการวัดอุณหภูมิการกลั่นในงานทางชีววิทยา

3) ย่านการใช้งาน (Range) ย่านอุณหภูมิการใช้งานและความไวในการวัดของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละตัวจะแตกต่างกันตามแต่ละสมาคมจะกำหนด ในส่วนที่สำคัญคือค่าแรงเคลื่อนที่ออกมาจากแต่ละอุณหภูมิจะต้องอ้างอิงกับตารางค่ามาตรฐานของแต่ละสมาคมที่ใช้ให้ถูกต้องเป็นเอกภาพเดียวกันหมดทั้งระบบ

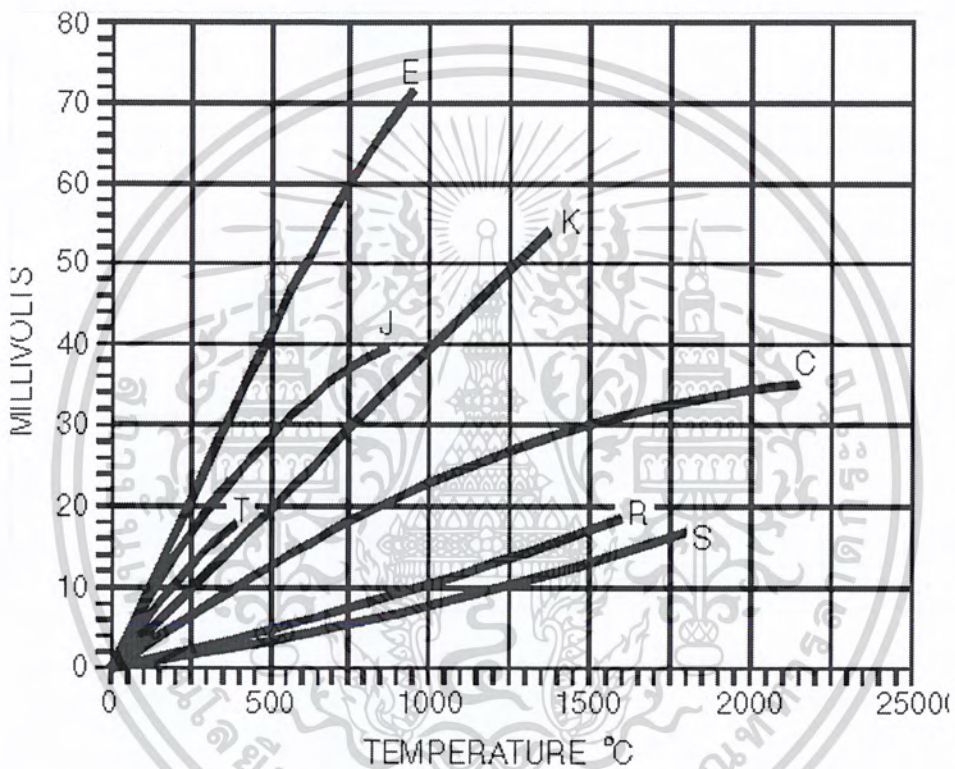
4) เวลาตอบสนอง (Time Response) เวลาตอบสนองของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับขนาดของสายและวัสดุที่นำมาทำท่อป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล

5) การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning) ปกติแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลจะมีขนาดน้อยมากจึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณโดยใช้โอปแอมป์ขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายสูงๆการใช้งานเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน (Characteristic in Application of Thermocouple Standard Type) ในปัจจุบัน พบว่ามีเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานอยู่ 7 ชนิดตามมาตรฐานของ ANSI และ ASTM โดยการจำแนกตามประเภทของวัสดุที่ใช้ทำได้แก่

- เทอร์โมคัปเปิล แบบ S เหมาะกับการใช้งานในสภาวะที่เกิดปฏิกิริยาเคมี
- เทอร์โมคัปเปิล แบบ R เป็นแบบที่เหมาะสมกับการวัดอุณหภูมิสูง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เทอร์โมคัปเปิล แบบ B เหมาะกับการใช้งานในสภาวะที่มีปฏิกิริยาแบบออกซิไดซิง และสภาวะเฉื่อย
- เทอร์โมคัปเปิล แบบ J ใช้แพลทินัมมาทำเป็นเทอร์โมคัปเปิล
- เทอร์โมคัปเปิล แบบ K เป็นแบบที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุด
- เทอร์โมคัปเปิล แบบ T เหมาะกับการวัดอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ
- เทอร์โมคัปเปิล แบบ E ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดเมื่อวัดอุณหภูมิเทียบกับแบบอื่น ๆ ในสภาวะเดียวกัน



รูปที่ 8 แสดงกราฟระหว่างแรงดันและอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลชนิดต่างๆ

RTD ข้อดี/ข้อเสีย

ข้อดี

- 1) stable และ ถูกต้องสูงมากเมื่อเทียบกับวิธีการวัดอื่นๆ
- 2) มีความเป็นเชิงเส้น linear มากกว่า thermocouples

ข้อเสีย

- 1) RTDs แพงกว่า thermistors และ thermocouples
- 2) ต้องการแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า เนื่องจากที่ RTD ไม่สามารถกำเนิดพลังได้เหมือนกับเทอร์

โมคัปเปิล จึงทำให้กระแสไหลผ่านและเกิด self heating ดังที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นจึงควรลดขนาดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสที่ต้องการวัดให้ต่ำสุด โดยการลดแรงเคลื่อนที่แหล่งจ่ายให้ต่ำสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ สภาพแวดล้อมของการวัด จะมีผลทำให้เกิดความผิดพลาดได้ ยกตัวอย่าง ในอากาศอิสระ การเพิ่มของอุณหภูมิ 1C ต่อ mW (ค่าสมมุติ) แต่อาจจะมีการเพิ่มของอุณหภูมิเป็น 10C ต่อ mW(ค่าสมมุติ) ในอากาศซึ่งมีอัตราการไหลที่ความเร็ว 1 m/s

ข้อควรจำในการวัดอุณหภูมิโดยใช้อาร์ทีดี คือ

- 1) ต้องมีการชิลด์สายและเดินสายบิตเกลียวเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน
- 2) อาร์ทีดีมีความเปราะบาง จึงต้องป้องกันและระวังการใช้งาน

2.12 ฮีตเตอร์ (heater)

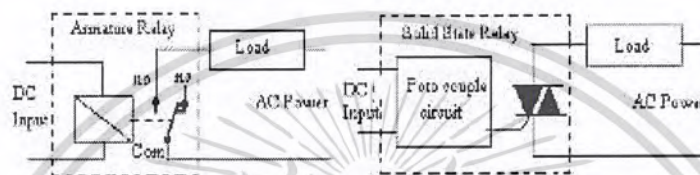
ฮีตเตอร์ (heater) มีลักษณะเป็นแผ่นม้วนกลมประกอบด้วยผิวด้านในบุด้วยฉนวน ถัดเข้าไปจะมีลวดความร้อนที่พันอยู่รอบฉนวนและที่ผิวนอกจะหุ้มไว้ด้วยแผ่นโลหะที่มีสกรูสำหรับประกอบติดเอาไว้และจะต้องให้ผิวของกระบอกสะอาดปราศจากสิ่งอื่นมาคั่น ทั้งนี้เพื่อให้ความร้อนถ่ายเทไปยังกระบอกได้ดีที่สุด

นอกจากนี้ยังมีเครื่องวัดอุณหภูมิแบบใช้ thermoelement ที่สามารถใช้วัดอุณหภูมิได้ดีในช่วง 0-160 °C อุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบ thermoelement จะมีสายต่อออกมาจากกระเปาะซึ่งภายในบรรจุ thermoelement (Fe-Konstantan) วัดค่าได้ถึง 900 °C แต่ถ้าต้องการวัดอุณหภูมิสูงกว่านี้ให้ใช้ thermoelement ที่ทำจาก Nickelchrom-Nickel หรือ Platinrhodium-Platin ขั้วสายสองสายที่วางอยู่นั้นจะนำไปต่อกับหน่วยวัดที่มีเข็มบอกอุณหภูมิ โดยอาศัยหลักการที่ว่า thermoelement เมื่อได้รับความร้อนจะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเกิดขึ้นและแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะวิ่งไปตามสายไฟเข้าเครื่องวัด ซึ่งลักษณะเป็นเครื่องมือวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าแต่สามารถแปรเทียบค่าเป็นอุณหภูมิได้

ในปัจจุบันความก้าวหน้าด้านอิเล็กทรอนิกส์รวดเร็วขึ้นจึงได้มีการสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ออกมาหลายแบบรวมทั้งแบบใช้ Photo cell ประกอบการควบคุม ซึ่งจะศึกษาได้จากตำราและคู่มือด้านเครื่องมือวัดและควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ทั่ว ๆ ไป สำหรับอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิที่ใช้กับเครื่องฉีดพลาสติกโดยเฉพาะก็มีหลายแบบ เช่น แบบใช้ thermoelement, photo cell แบบ induction และแบบใช้อิเล็กทรอนิกส์ ฯลฯ เป็นเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบใช้ thermoelement ซึ่งใช้หลักการเดียวกับเครื่องวัดอุณหภูมิ แต่ได้สร้างวงจรควบคุมประกอบให้ทำงานอยู่ระหว่างค่ากำหนด 2 ค่า ซึ่งเรียกเครื่องควบคุมสองจุด คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึงจุดกำหนดค่าสูงจะตัดวงจรของ heater และถ้าอุณหภูมิลดต่ำลงถึงจุดกำหนดค่าต่ำก็ให้ต่อวงจรและจุดกำหนดนี้สามารถจะปรับตั้งได้ด้วยมือ

2.13 ความรู้พื้นฐาน เรื่องโซลิดสเตตรีเลย์ (solid state relay)

บทบาทโซลิดสเตตรีเลย์ (SolidstateRelay) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้(Interface)ระหว่างภาคควบคุม (Control) ซึ่งเป็นส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ กับวงจรภาคไฟฟ้ากำลัง (Power) โดยที่ภาคทั้งสองจะมีระบบ กราวด์(Ground)ที่แยกออกจากกันทำให้สามารถป้องกันการลัดวงจร(Shortcircuit)และการรบกวนซึ่งกัน และกันได้ โซลิดสเตตรีเลย์อาจถือได้ว่าเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ออกแบบมาเพื่อใช้แทนอาร์เมเจอร์รีเลย์(Armature Relay) แต่มีข้อดีกว่าคือ มีขนาดเล็กกว่า มีความไวในการทำงานที่สูงกว่า มีอายุการทำงานนานกว่า เป็นต้น



รูปที่ 1 วงจรการต่อใช้งานแบบพื้นฐานของอาร์เมเจอร์รีเลย์ และ โซลิดสเตตรีเลย์

2.14 ความรู้พื้นฐาน : เรื่องระบบการควบคุมอัตโนมัติ

การควบคุม (Control) คือการกระทำเพื่อจุดประสงค์ที่จะให้ได้ผลการทำงาน หรือระบบต่าง ๆ ให้มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับค่าที่กำหนดให้มากที่สุดแม้ว่าสภาวะการทำงานหรือสภาพแวดล้อมจะเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม ทั้งนี้ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดี วิธีการควบคุม แบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ

การควบคุมด้วยมือ(ManualControl)

การควบคุมด้วยมือ เป็นวิธีการควบคุมที่ต้องใช้มนุษย์เป็นผู้ตรวจสอบผลที่ปรากฏ(ทางด้านเอาร์ทพุต) แล้วพิจารณาเปรียบเทียบกับ ค่าที่กำหนด หรือไม่แล้วจึงตัดสินใจ ปรับแต่งระบบหรือกระบวนการเพื่อให้ได้ ค่าสุดท้ายตามที่กำหนดไว้

การควบคุมอัตโนมัติ

การแบ่งประเภทของการควบคุมอัตโนมัติ แบ่งได้ตามรูปที่ 6

1) Sequence Control หรือการควบคุมแบบเรียงลำดับ ซึ่งเป็นการควบคุมที่ประกอบด้วยขั้นตอนย่อยๆหลายๆขั้นตอนทำงานเรียงลำดับกันตามที่ได้กำหนดเช่นการควบคุม สายพานลำเลียง การควบคุมไฟจราจร การควบคุมลิฟท์ การควบคุมด้านความปลอดภัยและ Interlock ฯลฯ ลักษณะการ ควบคุมอาจแบ่งได้เป็น 2 วิธีการคือ

- Program Control เป็นการทำงานตามโปรแกรมการทำงาน
- Condition Control เป็นการทำงานตามเงื่อนไขที่ได้รับอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมจะประกอบด้วย อุปกรณ์ไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์ ต่าง ๆ เช่น สวิตช์ปุ่มกด คอนแทคเตอร์ ลิมิตสวิตช์ รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตั้งเวลา อุปกรณ์เซนเซอร์ ฯลฯ และในปัจจุบันนิยมใช้ โปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์(Programmable Controller) สำหรับระบบงานที่มีความซับซ้อนมากๆ

2) Feedback Control

- Automatic Adjustment เป็นการควบคุมให้ผลทางด้านขาออก(Output)คงที่ เช่น การควบคุมแรงดัน ไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้คงที่ การควบคุมความเร็วการหมุน ของมอเตอร์
- Servo mechanism เป็นการควบคุมที่เกี่ยวกับ ตำแหน่ง ความเร็ว อัตราเร่ง ของวัตถุ
- Process control เป็นการควบคุมเกี่ยวกับกระบวนการผลิตในงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความดัน การไหล ระดับ ความชื้น pH ฯลฯ

2.15 PLC

PLC (Programmable Logic Controller) หรือปัจจุบันใช้คำว่า PLC (Programmable Controller) ในที่นี้จะใช้คำว่า PLC แทน PC เพื่อป้องกันความสับสนระหว่างคำว่า PC (Personal Computer)

PLC เป็นอุปกรณ์ที่คิดค้นขึ้นมา เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร หรือ ระบบ ต่างๆ แทนวงจรรีเลย์แบบเก่า ซึ่งวงจรรีเลย์มีข้อเสียคือ การเดินสาย และการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในการควบคุมมีความยุ่งยาก และเมื่อใช้งานไปนานๆ หน้าสัมผัสของรีเลย์จะเสื่อม ดังนั้น ปัจจุบัน PLC จึงเข้ามาทดแทนวงจรรีเลย์ เพราะ PLC ใช้งานได้ง่ายกว่า สามารถต่อเข้ากับ อุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุตได้โดยตรง หลังจากนั้นเพียงแต่เขียนโปรแกรมควบคุมก็สามารถใช้งาน ได้ทันที ถ้าต้องการจะเปลี่ยนเงื่อนไขใหม่ สามารถทำได้โดยเปลี่ยนแปลงโปรแกรมเท่านั้น นอกจากนี้ PLC ยังสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่นเครื่องอ่านบาร์โค้ด (Barcode Reader), เครื่องพิมพ์ (Printer) เป็นต้น ในปัจจุบันนอกจาก PLC จะใช้งานแบบเดี่ยว (Stand alone)แล้ว ยังสามารถต่อ PLC หลายๆตัวเข้าด้วยกัน(Network) เพื่อควบคุมการทำงานของระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อีกด้วย จะเห็นได้ว่าการใช้งาน PLC มีความยืดหยุ่นมากกว่าการใช้งานวงจรรีเลย์แบบเก่า ดังนั้น ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆจึงเปลี่ยนมาใช้ PLC มากขึ้น

บทที่ 3

การศึกษาปริมาณเกลือระหว่างกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากปลาทูน่าในระดับอุตสาหกรรม

3.1 บทนำ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเกลือในเนื้อปลาระหว่างกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากปลาทูน่า โดยได้ศึกษาสภาวะการผลิตจริงในระดับอุตสาหกรรมที่บริษัท พัทยาฟู้ด อินดัสตรี จำกัด ซึ่งเป็นผู้ผลิตผลิตภัณฑ์แปรรูปต่างๆจากเนื้อปลาทูน่าหลายชนิด อาทิเช่น กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับเป็นอาหารมือหลัก เช่น ทูน่าในน้ำมันพืช ทูน่าในน้ำเกลือ ดังรูปที่ 1 กลุ่มผลิตภัณฑ์พร้อมรับประทานได้ทันที เช่น แกงเขียวหวานทูน่า ทูน่าผัดฉ่า และยังผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ มีคุณสมบัติเด่นในด้านไขมันต่ำและเกลือต่ำ เช่น ทูน่าสเต็กในน้ำแร่ ซึ่งเป็นที่นิยมของผู้บริโภคที่รักสุขภาพที่กำลังมีสัดส่วนการตลาดที่สูงเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3.1 ผลิตภัณฑ์ปลาทูน่าเพื่อสุขภาพ

จากการสำรวจปริมาณเกลือในปลาทูน่าแช่แข็ง 3 สายพันธุ์ ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบหลัก คือ ปลาทูน่าพันธุ์ครีบลีออน ปลาทูน่าพันธุ์ครีบน้ำเงิน และปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบ พบว่าปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบแช่เยือกแข็ง มีปริมาณเกลือเริ่มต้นสูงเกินกว่าที่โรงงานกำหนดคือ พบปริมาณเกลือในเนื้อปลาเฉลี่ยเกินกว่าร้อยละ 1.2 ซึ่งเป็นระดับที่ทางโรงงานต้องการลดปริมาณลง เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์ปลาทูน่าที่มีปริมาณเกลือต่ำ เพื่อประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค

ปริมาณเกลือในปลาทูน่าแช่เยือกแข็ง มาจากการแช่เยือกแข็งซึ่งใช้วิธีการจุ่ม โดยการจุ่มและแช่ปลาทูน่าทั้งตัวในน้ำเกลือเข้มข้นเย็นจัด ซึ่งกระทำบนเรือทันทีหลังจากที่จับปลาได้ เพื่อรักษาคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และความสดของเนื้อปลา ปริมาณเกลือเข้มข้นสูงทำให้น้ำเกลือมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส แช่ปลาอยู่ในน้ำเกลือระยะหนึ่งจนอุณหภูมิภายในตัวปลาดำกว่า -18 องศาเซลเซียส ระหว่างการแช่เยือกแข็ง เกลือในน้ำเกลือเกิดการออสโมซิสเข้าไปในตัวปลา ทำให้เนื้อปลามีปริมาณเกลือเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณเกลือในเนื้อปลาแช่แข็งแตกต่างกันขึ้นกับระยะเวลาการแช่ในน้ำเกลือ ขนาดของปลาและตำแหน่งของเนื้อในตัวปลา โดยปกติการรับซ้อปลาทูน่าแช่แข็ง ผู้ประกอบการจะสุ่มตรวจวิเคราะห์ปริมาณเกลือในปลาจากท่าเรือก่อนการรับหรือปฏิเสธวัตถุดิบ

ปริมาณเกลือในปลาทูน่ามีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเพื่อการผลิตผลิตภัณฑ์แปรรูป จากการสำรวจกระบวนการผลิตปลาทูน่ากระป๋องของโรงงาน กระบวนการผลิตเริ่มจากนำปลาทูน่าแช่เยือกแข็งที่ผ่านการคัดขนาดตามน้ำหนัก ปลาขนาดเล็ก มีน้ำหนักต่ำกว่า 1.4 กิโลกรัม ขนาดกลาง ระหว่าง 1.4 - 1.8 กิโลกรัม และ 1.8 - 2.5 กิโลกรัม และขนาดใหญ่มีขนาดมากกว่า 2.5 กิโลกรัม ปลาแต่ละขนาดถูกละลายแยกกันในถังละลายแบบน้ำไหลวนตลอดโดยการพ่นน้ำจากกันถึง ใช้เวลาละลายจนกว่าอุณหภูมิเนื้อติดกระดูกอยู่ระหว่าง -2 ถึง 2 องศาเซลเซียส ซึ่งเวลาที่ใช้น้อยอยู่กับขนาดของปลาเป็นหลักแล้วนำไปควักใส่อก ล้างน้ำให้สะอาดและสะเด็ดออกจากตัวปลา นำปลาไปที่สะอาดแล้ววางเรียงบนชั้นตะแกรงมีล้อเข็น เพื่อนึ่ง (Steaming) ในหม้อนึ่งที่อุณหภูมิไอน้ำ 100 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิเนื้อติดกระดูกอยู่ที่ 70 ถึง 90 องศาเซลเซียส เพื่อให้เนื้อปลาสุก โปรตีนในเนื้อปลาเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติ (Protein denaturation) เกาะตัวกันเป็นก้อน จากนั้นจึงทำให้ปลาเย็นลง โดยการสเปรย์น้ำในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 18 ถึง 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง เพื่อให้อุณหภูมิในตัวปลาลดลงเหลือ 35 องศาเซลเซียส และเป็นการเพิ่มน้ำหนักตัวปลาหลังนึ่ง ขั้นตอนต่อไปเป็นการทำความสะอาด ตัดแต่งและแยกเนื้อหลังการนึ่ง โดยนำปลาไปหักหัว ลอกหนัง แยกก้างและขูดเนื้อแดง ก่อนนำเฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อขาวไปบรรจุกระป๋อง เติมส่วนผสมที่เป็นของเหลว ปิดฝากระป๋อง และฆ่าเชื้อในหม้อฆ่าเชื้อ (Retort) ต่อไป ซึ่งแต่ละขั้นตอนการผลิตล้วนมีผลต่อปริมาณเกลือเนื่องจากการใช้น้ำชะละลาย การเปลี่ยนแปลงสภาพเนื้อปลาด้วยความร้อน แต่ผลดังกล่าวไม่มีการศึกษามาก่อน

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเกลือในเนื้อปลาระหว่างการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของขนาดปลาต่อปริมาณเกลือในเนื้อปลาทูน่าแช่เยือกแข็ง รวมถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือหลังการละลาย และหลังจากการนึ่ง โดยขอบเขตการศึกษา ในปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบ 3 ขนาด คือ ปลาทูน่าที่มีน้ำหนักต่ำกว่า 1.4 กิโลกรัม น้ำหนักระหว่าง 1.4-1.8 กิโลกรัม และขนาดน้ำหนักระหว่าง 1.8-2.5 กิโลกรัม ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง สำหรับการศึกษาแนวทางการลดปริมาณเกลือในเนื้อปลาทูน่าต่อไป

3.2 วิธีดำเนินการ

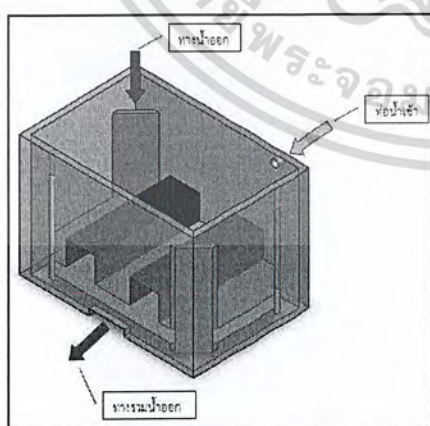
3.2.1 ตัวอย่างปลา

ตัวอย่างปลาทูน่าแช่เยือกแข็งพันธุ์ทองแถบ สุ่มตัวอย่างจากสภาวะการผลิตจริงระดับอุตสาหกรรมที่บริษัท แพทย์ฟูดอินดัสตรี จำกัด ตั้งอยู่ที่ ถนนเศรษฐกิจ ตำบลท่าทราย อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร ปลาทูน่าแช่เยือกแข็ง มีอุณหภูมิที่กลางตัวปลาต่ำกว่าหรือเท่ากับ -18 องศาเซลเซียส จัดเก็บในห้องแช่แข็งที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ -20 องศาเซลเซียส สุ่มเก็บตัวอย่างปลาแช่เยือกแข็งที่เข้าสู่กระบวนการผลิต กลุ่มตัวอย่างละ 10 ตัว ตัดสัญลักษณ์เพื่อระบุตัวปลา โดยสุ่มตัวอย่างปลาทูน่าแช่เยือกแข็ง 3 ชวงน้ำหนัก คือ

- น้ำหนักต่ำกว่า 1.4 กิโลกรัม จำนวน 1 กลุ่มตัวอย่าง
- น้ำหนักระหว่าง 1.4-1.8 กิโลกรัม จำนวน 2 กลุ่มตัวอย่าง
- น้ำหนักระหว่าง 1.8-2.5 กิโลกรัม จำนวน 1 กลุ่มตัวอย่าง

3.2.2 การละลาย และการนึ่ง

ละลายปลาทูน่าแช่เยือกแข็งในชุดทดลองละลายปลาของโรงงาน ซึ่งเป็นถังละลายขนาดความจุของน้ำ 200 ลิตร ใช้จำนวนปลาต่อถังละลาย 40 ตัว โดยปล่อยน้ำให้ไหลล้นออกตลอดเวลา น้ำล้นออกจากถังละลายและไม่ว่าน้ำที่ใช้ละลายแล้วกลับมาใช้อีก ดังรูปที่ 3.2 การละลายจะใช้การควบคุมอุณหภูมิเนื้อติดกระดูกในตัวปลาหลังการละลายอยู่ระหว่าง -2 ถึง 2 องศาเซลเซียส โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล วัดเนื้อติดกระดูกหลังจากละลาย เก็บตัวอย่างเนื้อปลาทูน่า จากนั้นนำไปนึ่งโดยวางตัวอย่างปลาแบบสุ่มบนชั้นตะแกรงมีลวด วางปลาให้ด้านที่ถูกตัดตัวอย่างก่อนการละลายคว่ำลง เพื่อป้องกันน้ำที่ออกจากปลาที่วางด้านบนชั้นวางไหลลงมาถูกเนื้อบริเวณที่ตัดเป็นตัวอย่าง เช่นตะแกรงที่วางปลาเป็นชั้นเข้าหม้อนึ่งแบบใช้น้ำ หลังจากนึ่งเสร็จเก็บตัวอย่างเก็บตัวอย่างปลาทันที เพื่อนำตัวอย่างปลาเนื้อปลาไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณเกลือ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 การละลายปลาทูน่าด้วยถังละลายในระดับอุตสาหกรรม

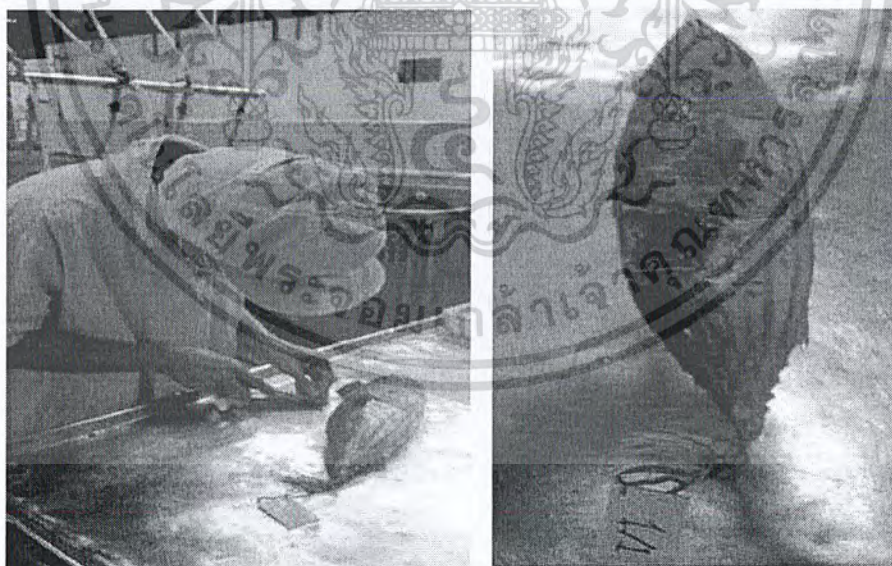
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การนึ่งปลาทูน้าในระดับอุตสาหกรรม

3.2.3 การเก็บตัวอย่างเนื้อปลา

การเก็บตัวอย่างเนื้อปลาทูน้าแช่แข็ง เก็บตัวอย่างโดยการตัดชิ้นเนื้อปลาขนาด 4×5 ตารางเซนติเมตร ดังรูปที่ 3.4 โดยเก็บตัวอย่างก่อนการละลายบริเวณหลังถึงกลางตัวปลาให้ลึกถึงกระดูกปลา เลาะเอาเลือดและหนังออกนำไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณเกลือทันที หลังการละลายตัดตัวอย่างเหมือนก่อนละลาย บริเวณหลังอีกแถบหนึ่งที่ไม่ตรงกับบริเวณเดิม นำไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณเกลือทันที และหลังนั้นก็ตัดตัวอย่างปลาเหมือนก่อนละลาย โดยเลือกบริเวณที่ไม่ติดตำแหน่งที่เคยตัดไปแล้วนำไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณเกลือทันที



รูปที่ 3.4 การตัดเพื่อเก็บตัวอย่างเนื้อปลาทูน้าก่อนและหลังละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณเกลือในเนื้อปลา

นำตัวอย่างเนื้อปลาที่เก็บในขั้นตอนก่อนละลาย หลังละลาย และหลังนี้ บดละเอียดโดยเครื่องปั่นละเอียด แล้วนำมาชั่งน้ำหนักตัวอย่างละ 1-2 กรัม ด้วยเครื่องชั่งสองตำแหน่ง บันทึกรถน้ำหนัก เติมน้ำกลั่นลงในตัวอย่างปริมาณ 50 มิลลิลิตร คนให้ตัวอย่างเข้ากัน โดยหลังจากเติมน้ำกลั่นแล้วให้วิเคราะห์ตัวอย่างภายใน 5 นาที ตรวจวิเคราะห์ปริมาณเกลือโดยการไตเตรทด้วยซิลเวอร์ไอโอดไรต์ (AgNO_3) เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับ Cl^- ตกตะกอนเป็นซิลเวอร์คลอไรด์ (AgCl) ดังสมการ



การไตเตรทใช้เครื่องไตเตรทอัตโนมัติ (Mettler Toledo Auto-titrator, รุ่น DL50 สหรัฐอเมริกา) ดังรูปที่ 3.5 เครื่องจะทำการหยดสารซิลเวอร์ไอโอดไรต์ในเตรทลงในตัวอย่างโดยอัตโนมัติ จากนั้นเครื่องทำการหาจุดยุติจากกราฟ (ซิลเวอร์ไอโอดไรต์ทำปฏิกิริยาพอดีกับคลอไรด์ไอออน) และนำปริมาณซิลเวอร์ไอโอดไรต์ที่ใช้มาคำนวณหาร้อยละของเกลือต่อน้ำหนักตัวอย่างเนื้อปลาหุ้มน้ำ แสดงผลเป็นค่าร้อยละขึ้นที่หน้าจอ



รูปที่ 3.5 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณเกลือ (Mettler Toledo Auto-titrator)

3.3 ผลและวิจารณ์ผล

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเกลือ จากปลาหุ้มน้ำแช่แข็ง 3 ช่วงน้ำหนัก คือ น้ำหนักต่ำกว่า 1.4 กิโลกรัม จำนวน 1 กลุ่มตัวอย่าง น้ำหนักระหว่าง 1.4-1.8 กิโลกรัม จำนวน 2 กลุ่มตัวอย่าง และ น้ำหนักระหว่าง 1.8-2.5 กิโลกรัม จำนวน 1 กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างละ 10 ตัว ได้ผลดังตารางที่ 3.1

จากการวิเคราะห์ปริมาณเกลือก่อนการละลายปลาหุ้มน้ำ 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก(น้อยกว่า 1.4 กิโลกรัม) ขนาดกลาง (1.4-1.8 กิโลกรัม)และขนาดใหญ่ (1.8-2.5 กิโลกรัม) พบว่า ปลาขนาดกลางมี

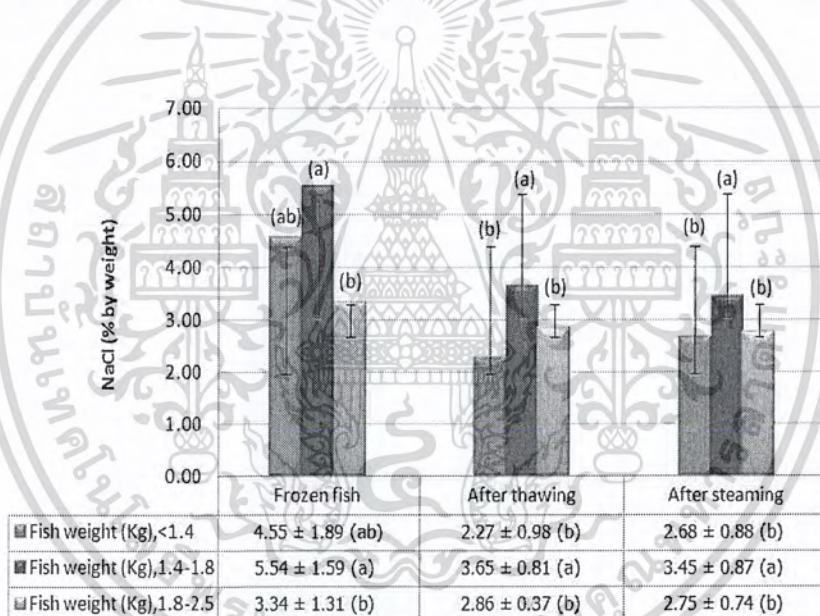
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณเกลือมากที่สุด และมากกว่าในขนาดใหญ่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับ 0.05) ขณะที่ปริมาณเกลือในปลาขนาดเล็กไม่แตกต่างกับขนาดกลางและขนาดใหญ่ เนื่องจากปลาขนาดใหญ่มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรน้อยกว่าทำให้เกิดการออสโมซิสของเกลือเข้าไปในตัวปลาระหว่างการแช่เยือกแข็งน้อยกว่าปลาขนาดกลางและขนาดเล็ก

ตารางที่ 3.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือของปลาขนาดต่างๆ

ขนาด	ช่วงน้ำหนัก (กิโลกรัม/ตัว)	จำนวนตัวอย่างปลาที่ใช้ (ตัว)	ปริมาณเกลือเฉลี่ย(%) Mean \pm SD		
			ก่อนการละลาย	หลังการละลาย	หลังการนึ่ง
เล็ก	น้อยกว่า 1.4	10	4.55 \pm 1.89 (ab)	2.27 \pm 0.98 (b)	2.68 \pm 0.88 (b)
กลาง	1.4-1.8	20	5.54 \pm 1.59 (a)	3.65 \pm 0.81 (a)	3.45 \pm 0.87 (a)
ใหญ่	1.8-2.5	10	3.34 \pm 1.31 (b)	2.86 \pm 0.37 (b)	2.75 \pm 0.74 (b)

หมายเหตุ : เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวนอน

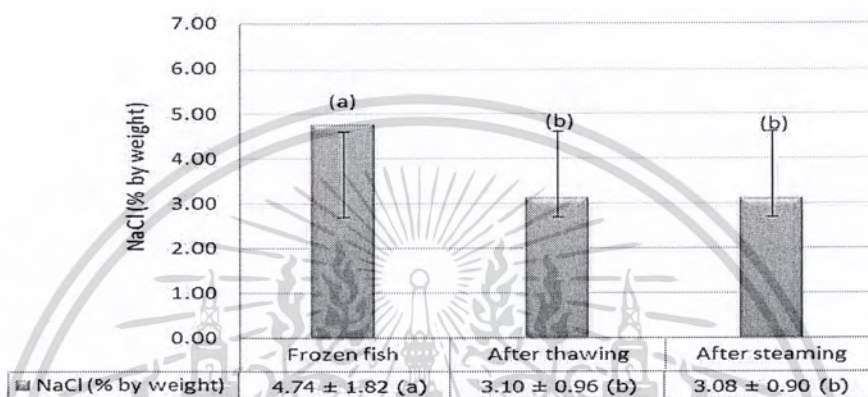


รูปที่ 3.6 แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (%) ก่อนการละลาย หลังการละลายและหลังการละลายต่อขนาดปลา

จากการวิเคราะห์ปริมาณเกลือก่อนการละลายปลาหุ่น่า 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก(น้อยกว่า 1.4 กิโลกรัม) ขนาดกลาง (1.4-1.8 กิโลกรัม)และขนาดใหญ่ (1.8-2.5 กิโลกรัม) พบว่า ปลาขนาดกลางมีปริมาณเกลือมากที่สุด และมากกว่าในขนาดใหญ่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับ 0.05) ขณะที่ปริมาณเกลือในปลาขนาดเล็ก ไม่แตกต่างกับขนาดกลางและขนาดใหญ่ เนื่องจากปลาขนาดใหญ่ มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรน้อยกว่าทำให้เกิด การออสโมซิส ของเกลือเข้าไปในตัวปลาระหว่างการแช่เยือกแข็งน้อยกว่าปลาขนาดกลางและขนาดเล็ก

ตารางที่ 3.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ

ขั้นตอนการตรวจเกลือ	จำนวนตัวอย่างปลาที่ใช้ (ตัว)	ปริมาณเกลือเฉลี่ย(%) Mean \pm SD
ก่อนการละลาย	40	4.74 \pm 1.82 (a)
หลังการละลาย	40	3.10 \pm 0.96 (b)
หลังการนึ่ง	40	3.08 \pm 0.90 (b)



รูปที่ 3.7 แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (%) ก่อนการละลาย หลังการละลายและหลังการนึ่ง

ผลการศึกษาปริมาณเกลือเฉลี่ยของปลาทูน่า 3 ขนาด ที่เปลี่ยนแปลงหลังการละลาย (After thawing) และหลังการนึ่ง(After steaming) พบว่า ปลาหลังการละลายมีปริมาณเกลือลดลงจากปลาแช่แข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับ 0.05) โดยคาดว่า การละลายด้วยน้ำ น้ำเป็นตัวทำละลายที่ดีเนื่องจากคุณสมบัติความมีขั้วในโมเลกุลของน้ำโดยเกลือ(NaCl)เป็นสารประกอบไอออนิกที่ละลายน้ำได้และเกิดกระบวนการแพร่โดยเกลือในตัวปลาที่มีความเข้มข้นสูงกว่าไปยังน้ำที่ใช้ในการละลายซึ่งมีความเข้มข้นต่ำกว่า แต่หลังจากที่นำปลาละลายแล้วไปนึ่งให้สุกพบว่า ปริมาณเกลือในเนื้อปลาเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยและไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตัวอย่างก่อนการนึ่ง เนื่องจากในกระบวนการแพร่ของเกลือต้องอาศัยตัวกลางในการแพร่ ซึ่งในกระบวนการนึ่งไม่มีตัวกลาง แสดงว่า ขั้นตอนการละลายปลาด้วยน้ำเป็นขั้นตอนหลักที่มีผลต่อการลดปริมาณเกลือในปลาทูน่าระหว่างการแปรรูป ซึ่งจะใช้เป็นแนวทางในการศึกษาต่อถึงวิธีการละลายปลาด้วยน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงสุดต่อการลดปริมาณเกลือในปลาทูน่า

3.4 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษากระบวนการผลิตพบว่า การนำเกลือออกจากเนื้อปลาหูต้องอาศัยตัวกลางในการพาเกลือออกจากเนื้อปลา ซึ่งการละลายโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางเป็นขั้นตอนที่มีความเป็นไปได้มากที่สุดที่สามารถลดปริมาณเกลือในเนื้อปลาหูได้ โดยเลือกศึกษาปลาหูนำพันธุ์ทองแถบเนื่องจากปลาสายพันธุ์นี้ตรวจพบปริมาณเกลือในตัวอย่างมากเกินกว่ากำหนด นั่นคือร้อยละ 1.2 ขนาดกลาง น้ำหนักระหว่าง 1.4 - 1.8 กิโลกรัม มีปริมาณเกลือมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดเล็กและขนาดใหญ่ โดยเลือกศึกษาเฉพาะในช่วงระหว่างก่อนการละลายและหลังการละลาย เนื่องจากปริมาณเกลือหลังการละลายลดลงจากช่วงก่อนการละลายมากกว่าช่วงหลังการละลายจนถึงหลังการนึ่ง และจากการทดลองดังกล่าวทำให้ทราบถึงข้อมูลพื้นฐานของปริมาณเกลือในปลาหู เพื่อนำมาวิเคราะห์และวางแผนการทดลอง โดยเลือกใช้ตัวอย่างจากผลการทดลองในโรงงานและได้ศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่างการวิเคราะห์ปริมาณเกลือ เพื่อเป็นแนวทางการปฏิบัติในการทดลองต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลของการละลายปลาทูน่าแช่แข็งต่อปริมาณเกลือ โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางที่สภาวะต่างกัน

4.1 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1.1 ตัวอย่างปลาทูน่า

ปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบ ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท แพทย์ผู้ดอินดัสตรี จำกัด อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร ขนส่งมายังสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยบรรจุในถังเก็บความเย็น รักษาอุณหภูมิของตัวปลาด้วยน้ำแข็งแห้ง

4.1.2 การวัดขนาดและชั่งน้ำหนัก

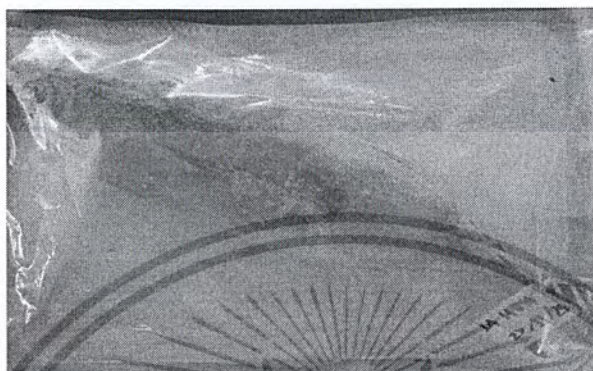
ก่อนการเก็บรักษา ปลาทูน่าที่ใช้ในการทดลองทุกตัว ถูกชั่งน้ำหนัก และวัดขนาด 3 จุด ดังรูปที่ 4.1 โดย วัดความยาวจากหัวปลาถึงโคนหาง วัดความกว้างจากจุดที่กว้างที่สุดของตัวปลา และวัดความยาวจากหัวปลาไปจนถึงครีบหลัง



รูปที่ 4.1 การวัดขนาดปลาทูน่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลาแต่ละตัวถูกติดสัญลักษณ์บอกลำดับ น้ำหนัก และขนาดตัวปลา (แสดงในภาคผนวก ตารางที่ 4) โดยแยกเก็บปลาแต่ละตัวในถุงทนความเย็น ดังแสดงในรูปที่ 4.2 จากนั้นนำไปแช่ในตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.2 การเก็บตัวอย่างปลาทูน่าก่อนการทดลอง

4.1.3 การเก็บตัวอย่างเนื้อปลาทูน่า

เก็บตัวอย่างของเนื้อปลาทูน่าก่อนละลายและหลังละลายเพื่อตรวจหาปริมาณเกลือในเนื้อปลาทูน่า โดยปลา 1 ตัวจะเก็บตัวอย่างเนื้อ 3 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.3 คือ เนื้อช่วงหัว เนื้อกลางลำตัว และเนื้อช่วงหาง ใช้มีดคมตัดตัวอย่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 3x4 ตารางเซนติเมตรและสีกกลงไปในเนื้อปลา 2 เซนติเมตร ผลที่เกิดจากการเจาะเนื้อปลาทูน่าก่อนละลาย จะถูกปิดให้สนิท ด้วยกาวแข็งที่ไม่ละลายน้ำให้พอดีกับขนาดแผลที่เจาะเพื่อป้องกันน้ำเข้าเนื้อขณะละลาย ตัวอย่างเนื้อปลาทูน่าถูกเก็บไว้ในถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิต่ำกว่า -20 องศาเซลเซียสเพื่อรอตรวจวิเคราะห์ปริมาณเกลือ

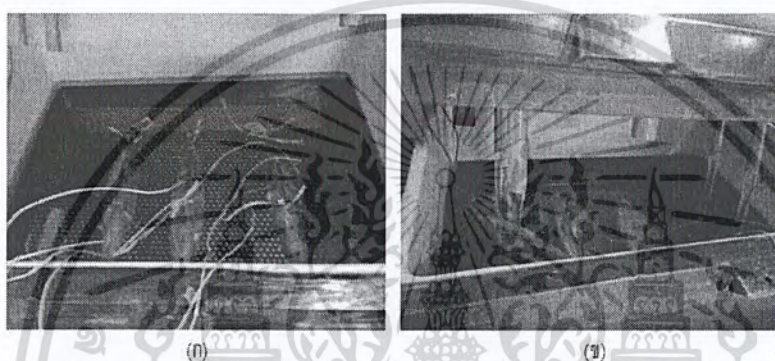


รูปที่ 4.3 การเก็บตัวอย่างเนื้อปลาทูน่าแบบ ปลา 1 ตัวต่อ 3 จุดตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

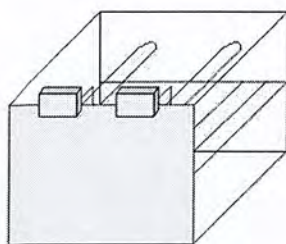
4.1.4 ชุดอุปกรณ์และวิธีการละลายปลาหูนา

ปลาหูนาถูกละลายด้วยชุดอุปกรณ์การละลายปลาหูนา ดังรูป 4.4 และ 4.6 ซึ่งประกอบด้วย ถังที่ใช้ขนาดละลายขนาดบรรจุ 400 ลิตร และถังพักน้ำขนาด 400 ลิตร เชื่อมต่อกันด้วยท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร น้ำถูกหมุนเวียนด้วยปั๊มสองตัว ปั๊มตัวแรกเป็นปั๊มที่ส่งน้ำเข้าจากด้านบนของชุดอุปกรณ์ และปั๊มตัวที่สองดูดน้ำออกจากถังของชุดอุปกรณ์ ผ่านตัวกรองเข้าไปยังถังพักน้ำ ปลาหูนาที่ถูกละลายถูกวางบนตะแกรงเจาะรูให้น้ำผ่านได้ โดยชุดอุปกรณ์สามารถทำละลายได้ 2 สภาวะ คือสภาวะน้ำนิ่ง สภาวะน้ำวน น้ำไหลผ่านท่อพีวีซีที่ต่อขนาน 8 แถว ซึ่งชุดอุปกรณ์สามารถปรับอัตราการไหลได้ด้วยวาล์วและวัดอัตราการไหลด้วยการวัดปริมาตรของน้ำในเวลาที่กำหนด



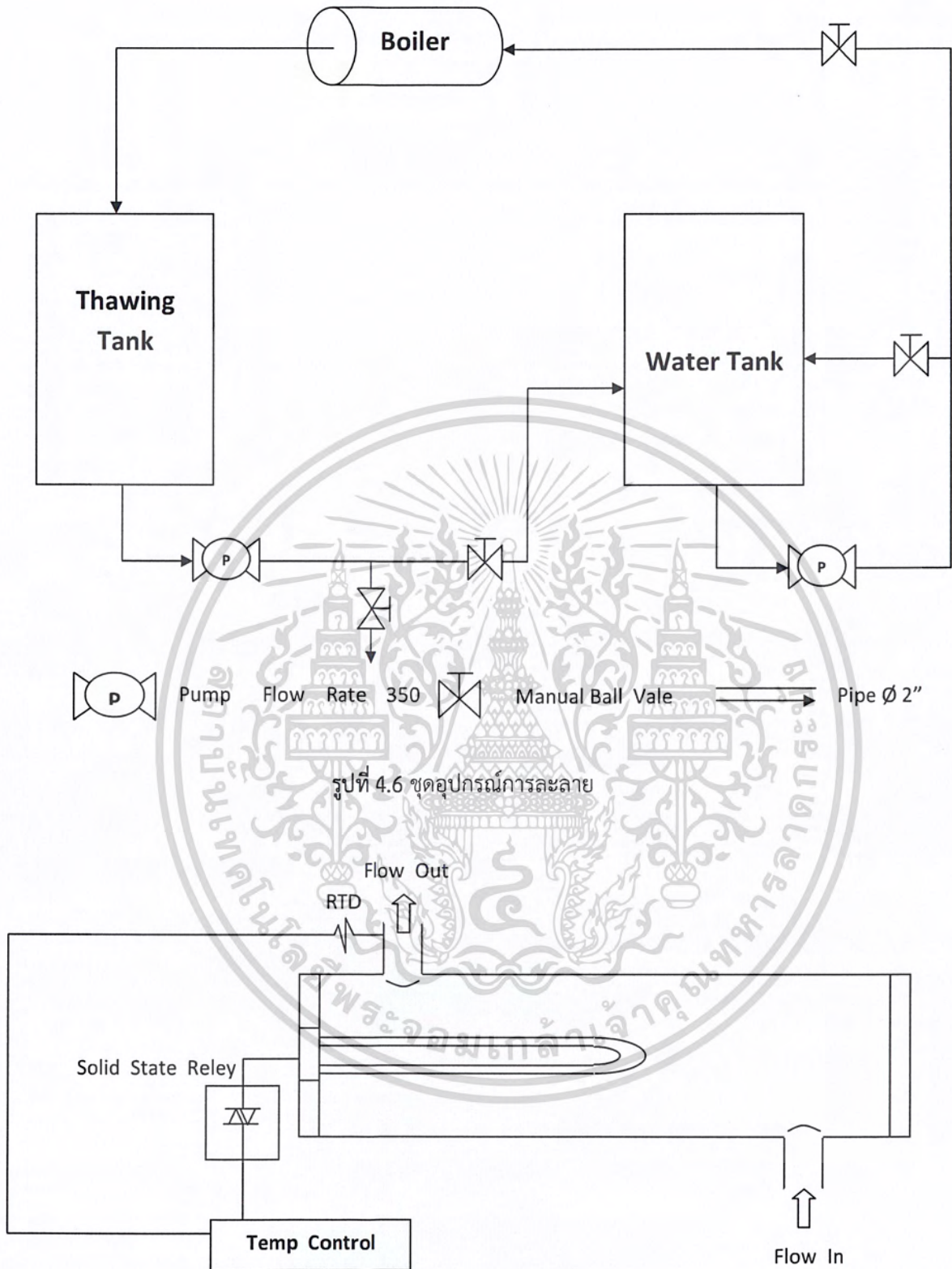
รูปที่ 4.4 (ก) การละลายในสภาวะน้ำนิ่ง (ข) การละลายในสภาวะน้ำวน

สำหรับการละลายด้วยสภาวะน้ำอวน ใช้การปรับอุณหภูมิของน้ำบริเวณเหนือตำแหน่งปลาให้สูงกว่าอุณหภูมิน้ำใต้ตำแหน่งปลาประมาณ 1-2 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดการไหลแบบอวน เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำบริเวณตำแหน่งที่วางปลา โดยการละลายจะทำในถังละลายดังกล่าวข้างต้น และใช้สภาวะเดียวกับน้ำวน คือใช้น้ำที่มีอัตราการไหล 350 ลิตรต่อนาที แต่จะเพิ่มการติดตั้งขดลวดความร้อนขนาด 1,500 วัตต์ (ซึ่งมีลักษณะแบบตัว I นำมาขดเป็นตัว U) 2 ตำแหน่ง คือด้านข้างของถังละลายทั้งสองด้าน ห่างจากขอบถัง ด้านละ 20 เซนติเมตร โดยจุ่มขดลวดลงใต้น้ำ ต่ำจากบริเวณผิวน้ำ 10 เซนติเมตร และปรับตะแกรงวางปลา ให้ต่ำลงจากการละลายในสภาวะน้ำนิ่งและน้ำวน โดยให้อยู่ตรงกลางถัง ดังรูปที่ 4.5 และ 4.7 การละลายน้ำอวนจะวางปลาที่ต้องการละลายในตะแกรงก่อน แล้วเปิดน้ำให้วนในอัตราการไหลที่กำหนด จึงเปิดให้ความร้อนแก่ขดลวด



รูปที่ 4.5 อุปกรณ์และถังละลายในสภาวะน้ำอวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ชุดอุปกรณ์การละลาย (หม้อต้ม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 การหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของการละลายโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางที่สภาวะต่างกัน

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) ของการละลายปลาห่านแช่แข็งที่ใช้น้ำเป็นตัวกลางในสภาวะต่างกัน ได้จากเปรียบเทียบอุณหภูมิของปลาห่านที่ได้จากการทดลอง กับอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้แบบจำลองที่การทำนายอุณหภูมิในปลาห่านระหว่างการละลาย ที่พัฒนาโดยพิมพ์เพ็ญและคณะ

การเสียบสายเทอร์โมคัปเปิลเพื่อ วัดอุณหภูมิของปลาห่านแช่แข็งแสดงในรูปที่ 4.8 โดยการ เจาะรูปลาแช่แข็งด้วยสว่านไฟฟ้า ขนาดหัวเจาะ 1.6 มิลลิเมตร ปลา 1 ตัวเจาะรู 2 ตำแหน่ง ตำแหน่งที่ 1 เจาะบริเวณกึ่งกลางตัวปลาจนถึงเนื้อติดกระดูก และตำแหน่งที่ 2 เจาะบริเวณผิวข้างเหนือรูเจาะที่ตำแหน่งที่ 1 และวัดมุมตรงตำแหน่งที่เจาะ คือ ความยาวจากหัวถึงตำแหน่งที่เจาะ (X) ความกว้างจากครีบหลังลงมาถึงตำแหน่งที่เจาะ (Y) และความลึกจากตำแหน่งที่เจาะลงไปเนื้อปลา (Z)

ก่อนการละลาย จะเก็บปลาห่านที่ เสียบสายเทอร์โมคัปเปิลแล้วไว้ที่ตู้แช่เยือกแข็ง เพื่อให้ อุณหภูมิเริ่มต้น ในตัวปลาใกล้เคียงกัน ระหว่างการละลาย วัดอุณหภูมิภายในตัวปลา และอุณหภูมิของน้ำ บริเวณใกล้กับตัวปลา 1 ตำแหน่ง บันทึกอุณหภูมิทุกๆ 1 นาที



รูปที่ 4.8 การเสียบสาย และการวัดตำแหน่งปลาเทอร์โมคัปเปิล

ค่า h ได้จากการเปรียบเทียบ ค่า h ที่ทำให้ผลต่างของอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองและการคำนวณ แตกต่างกันน้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยประเมิน ค่า h ที่ทำให้ ค่า Standard Error Mean (SE) ต่ำกว่า 1.5 องศาเซลเซียส ทั้งสองตำแหน่ง

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

เมื่อ

T_{predict} คือ อุณหภูมิภายในเนื้อปลาที่ได้จากการคำนวณที่เวลาใดๆ ($^{\circ}\text{C}$)

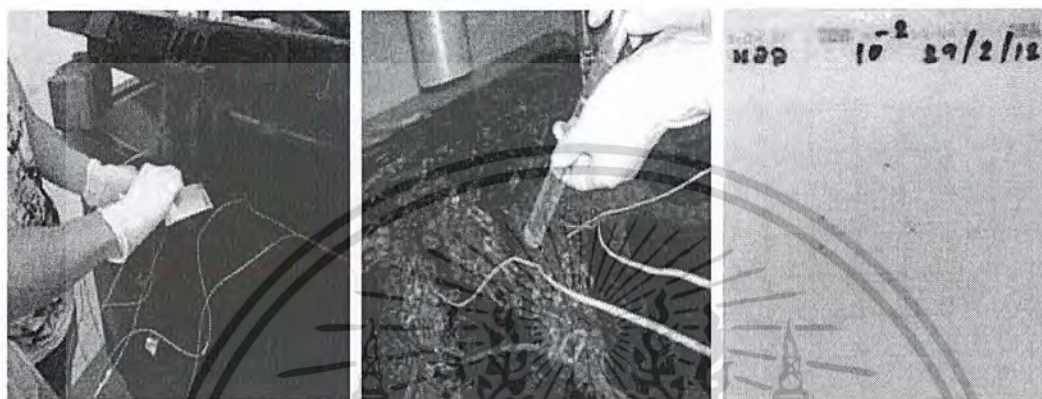
$T_{\text{experiment}}$ คือ อุณหภูมิภายในเนื้อปลาห่านที่ได้จากการทดลองที่เวลาใดๆ ($^{\circ}\text{C}$)

n คือ จำนวนข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 การเก็บตัวอย่างน้ำและอากาศเพื่อวัดปริมาณจุลินทรีย์

เก็บตัวอย่างน้ำ ก่อนละลาย (หลังจากวางปลาลงไปในชุดอุปกรณ์การละลายไปแล้ว 5 นาที) และน้ำหลังจากละลายปลาแล้ว ไปตรวจหาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Aerobic Plate Count) และปริมาณจุลินทรีย์ในอากาศใกล้กับบริเวณชุดอุปกรณ์การละลายปลา โดยใช้วิธี Rapid method ตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์หลังจากการบ่ม ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง



รูปที่ 4.9 การเก็บตัวอย่างน้ำ อากาศ และตัวอย่างผลตรวจวัดจุลินทรีย์

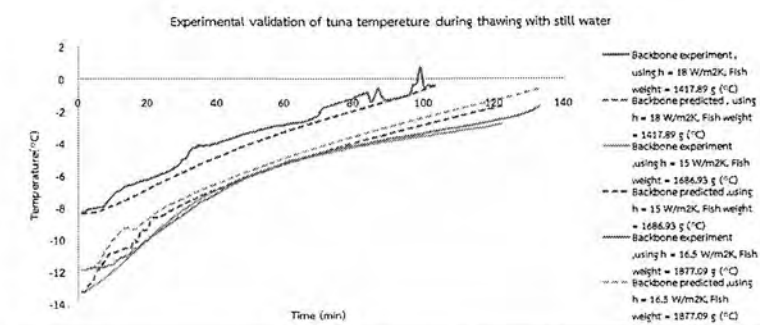
4.2 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของการละลายปลาด้วยน้ำในสถานะต่างๆ

จากตารางที่ 4.1 จะสังเกตเห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสามารถแบ่งออกได้เป็นระดับอย่างชัดเจน ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่าง 15 - 20 $W/m^2.K$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของการละลายในสภาวะน้ำนิ่ง ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่าง 20 - 25 $W/m^2.K$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของสภาวะน้ำวนที่มีอัตราการไหล 350 ลิตร/นาที และค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่าง 27 - 30 $W/m^2.K$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของสภาวะน้ำอลวนที่มีอัตราการไหล 350 ลิตร/นาที

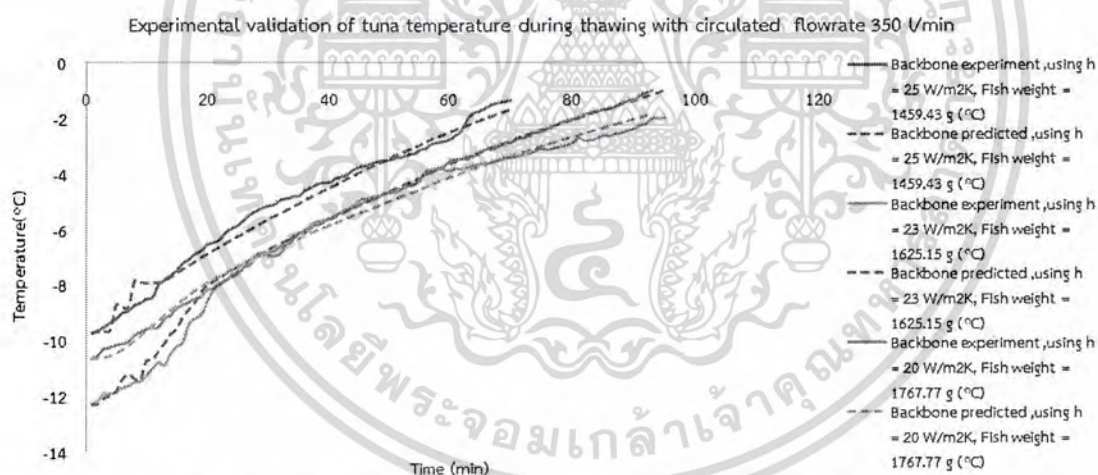
จะเห็นว่าการละลายปลาโดยใช้น้ำในสถานะต่างๆ ปลาท่อน้ำขนาดน้ำหนักระหว่าง 1.4 - 1.6 กิโลกรัม เวลาการละลายในทั้ง 3 สภาวะการละลาย ใช้เวลาระหว่าง 70 - 104 นาที ปลาท่อน้ำขนาดน้ำหนักระหว่าง 1.6 - 1.7 กิโลกรัม ใช้เวลาระหว่าง 83 - 112 นาที และปลาท่อน้ำขนาดน้ำหนักระหว่าง 1.7 - 1.8 กิโลกรัม ใช้เวลาระหว่าง 93 - 133 นาที จึงสรุปว่าเวลาการละลายใช้เวลามากขึ้นเมื่อปลาท่อน้ำมีขนาดน้ำหนักที่มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ผลการทำนายสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำในสภาวะน้ำนิ่ง

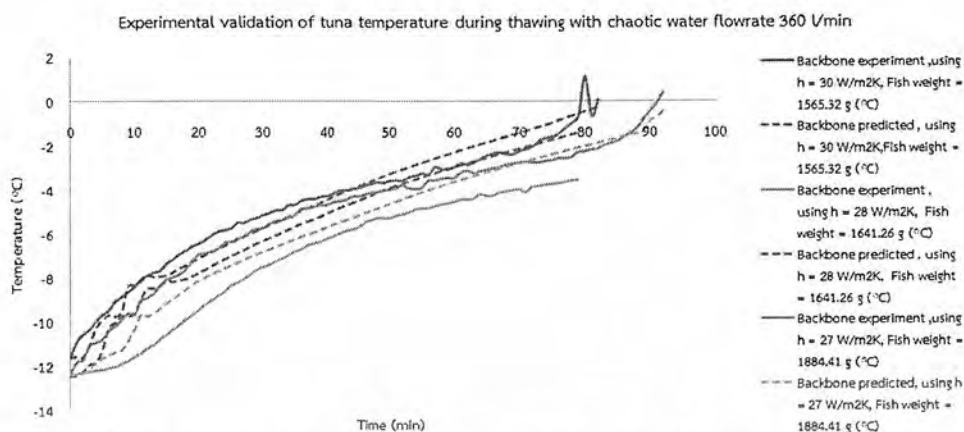
จากกราฟแสดงเวลาที่ใช้ในการละลายปลาทูน่า สภาวะน้ำนิ่ง ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำที่ให้ค่า SE (Std. Error Mean) ต่ำสุด ปลาทูน่าน้ำหนักขนาด 1,417.89 g น้ำหนักขนาด 1,686.93 g และน้ำหนักขนาด 1,877.09 g สามารถทำนายค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเท่ากับ $18 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ที่เนื้อติดกระดูก SE = (0.67°C) , $15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ที่เนื้อติดกระดูก SE = (0.97°C) และ $16.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ที่เนื้อติดกระดูก SE = (1.29°C) ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 ผลการทำนายสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำในสภาวะน้ำวน

จากกราฟแสดงเวลาที่ใช้ในการละลายปลาทูน่า สภาวะน้ำวนอัตราการไหล 350 U/min ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำที่ให้ค่า SE ต่ำสุด ปลาทูน่าน้ำหนักขนาด 1,459.43 g น้ำหนักขนาด 1,625.15 g และน้ำหนักขนาด 1,767.77 g สามารถทำนายค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเท่ากับ $25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ที่เนื้อติดกระดูก SE = (0.48°C) , $23 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ที่เนื้อติดกระดูก SE = (0.71°C) และ $20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ที่เนื้อติดกระดูก SE = (0.44°C) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ผลการทำนายสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำในสภาวะน้ำอลวน

จากกราฟแสดงเวลาที่ใช้ในการละลายปลาหุณา สภาวะน้ำอลวนอัตราการไหล 350 V/min ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำที่ให้ค่า SE ต่ำสุด ปลาหุณาน้ำหนักขนาด 1,565.32 g น้ำหนักขนาด 1,641.26 g และน้ำหนักขนาด 1,884.41 g สามารถทำนายค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเท่ากับ $30 \text{ W/m}^2\text{.K}$ ที่เนื้อติดกระดูก SE = (0.82°C), $28 \text{ W/m}^2\text{.K}$ ที่เนื้อติดกระดูก SE = (1.6°C) และ $27 \text{ W/m}^2\text{.K}$ ที่เนื้อติดกระดูก SE = (0.89°C) ตามลำดับ

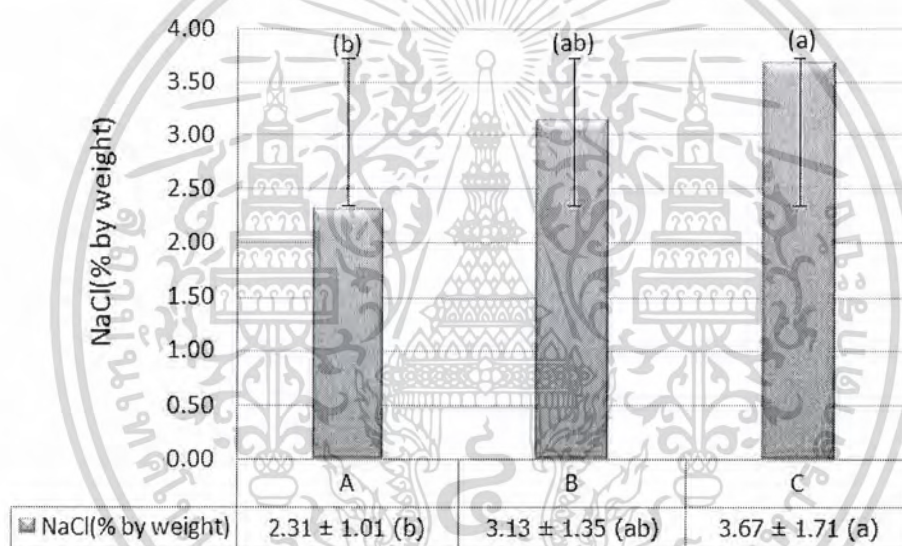
ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน และ SE ของน้ำที่สภาวะการละลายต่างๆ

สภาวะการละลาย	น้ำหนัก (กรัม)	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($\text{W/m}^2\text{.K}$)	SE ($^{\circ}\text{C}$)	เวลาในการละลายที่อุณหภูมิเนื้อติดกระดูกถึง 0°C (นาที)
น้ำนิ่ง	1,451.55	20	0.42	104
	1,417.89	18	0.67	104
	1,637.90	20	0.95	112
	1,686.93	15	0.96	112
	1,877.09	16.5	1.29	133
	1,881.91	20	0.61	133
น้ำวน อัตราการไหล 350 ลิตร/ นาที	1,459.43	25	0.48	70
	1,492.30	25	1.31	70
	1,625.15	23	0.72	95
	1,638.58	25	0.98	95
	1,732.30	20	0.44	93
	1,767.77	20	0.87	93
น้ำอลวน อัตราการไหล 350 ลิตร/ นาที	1,564.22	28	0.83	80
	1,565.32	30	0.82	80
	1,618.71	28	1.05	83
	1,641.26	28	1.06	83
	1693.27	27	1.05	93
1884.41	27	0.89	93	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ปริมาณเกลือของเนื้อปลาทูน่าในแต่ละตำแหน่ง

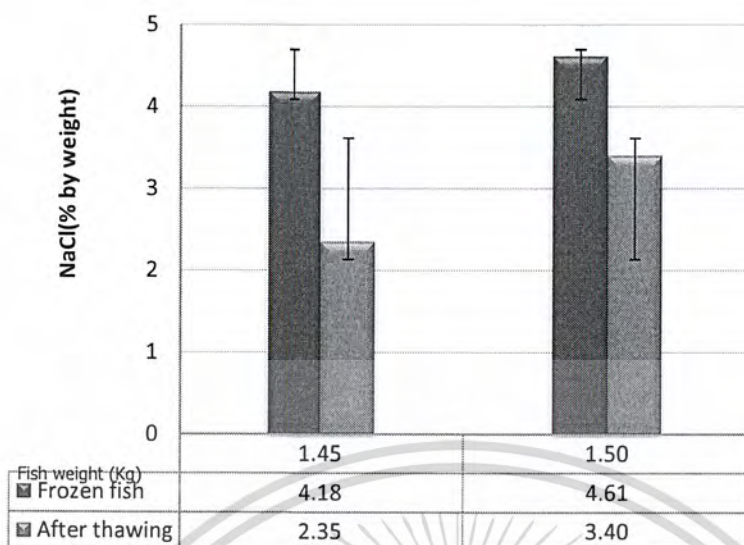
ผลการศึกษาปริมาณเกลือเฉลี่ยของการเจาะปลาทูน่า 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่ง A (เนื้อช่วงหัว) ตำแหน่ง B (เนื้อช่วงตัว) และตำแหน่ง C (เนื้อช่วงหาง) ก่อนการละลาย พบว่า ปริมาณเกลือที่ตำแหน่ง A แตกต่างจากตำแหน่ง C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับ 0.05) ปริมาณเกลือที่ตำแหน่ง B ไม่ต่างจากตำแหน่ง A และ C และพบว่าปริมาณเกลือมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งจากการศึกษากล้ามเนื้อและองค์ประกอบทางเคมีในเนื้อปลาทูน่าพบว่า ตำแหน่ง A เป็นบริเวณที่มีองค์ประกอบอื่นๆ นอกเหนือจากน้ำและโปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบทางเคมีหลักที่เกลือสามารถเข้าไปยึดเกาะได้ จึงพบเกลือในปริมาณที่ต่ำกว่าตำแหน่ง B และตำแหน่ง C ซึ่งในตำแหน่ง B เกลือสามารถออสโมซิสเข้าไปยึดเกาะกับน้ำและโปรตีนที่มีมากกว่าตำแหน่ง A และในส่วนของตำแหน่ง C พบเกลือมากที่สุด เนื่องจากมีโปรตีนมากกว่าทุกส่วน ซึ่งในส่วน C มีร้อยละของไขมันน้อยกว่าส่วน A และ B



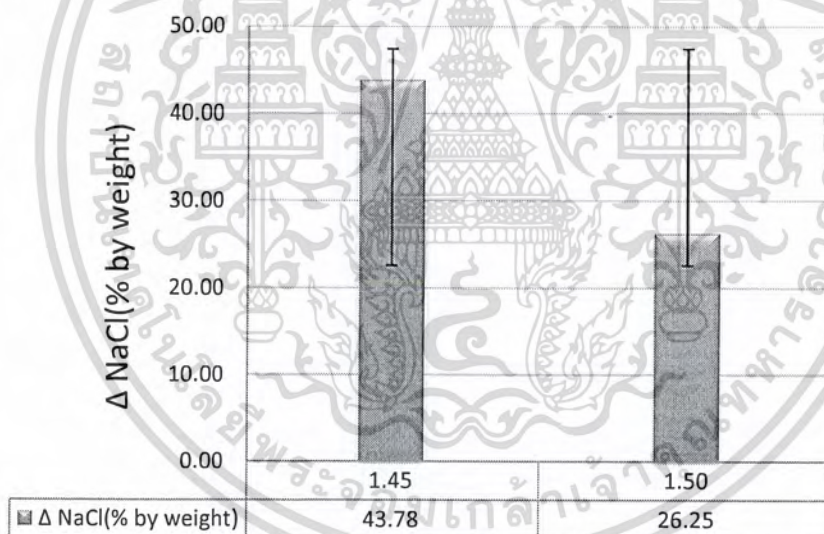
รูปที่ 4.13 ปริมาณเกลือต่อตำแหน่ง A (เนื้อช่วงหัว) B (เนื้อช่วงตัว) และ C (เนื้อช่วงหาง)

4.2.3 ผลการละลายด้วยน้ำที่สภาวะต่างๆต่อปริมาณเกลือ

ผลของการละลายปลาทูน่าน้ำหนัก 1.45 และ 1.50 กิโลกรัม ในน้ำวน ที่อัตราการไหลของน้ำ 350 ลิตรต่อนาที ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) เฉลี่ย (ตำแหน่ง หัว กลางลำตัว และหาง) แสดงในรูปที่ 4.14 และ 4.15 พบว่าปริมาณเกลือหลังการละลาย ลดลงจากร้อยละ 4.18 และ 4.61 เป็นร้อยละ 2.35 และร้อยละ 3.40 โดยปริมาณเกลือลดลงจากเริ่มต้นร้อยละ 43.78 และร้อยละ 26.25 ตามลำดับ



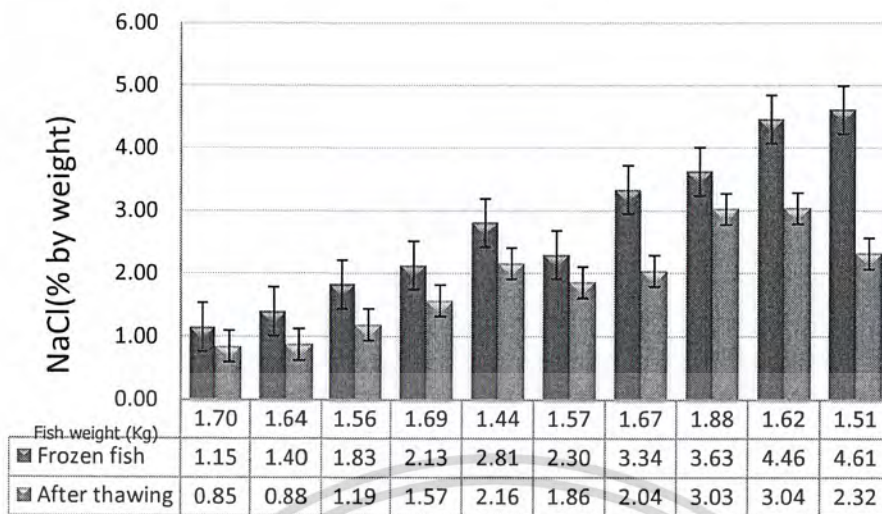
รูปที่ 4.14 ปริมาณเกลือเฉลี่ย (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ของปลาทูน่าก่อนการละลายและหลังการละลายที่สภาน้ำวน



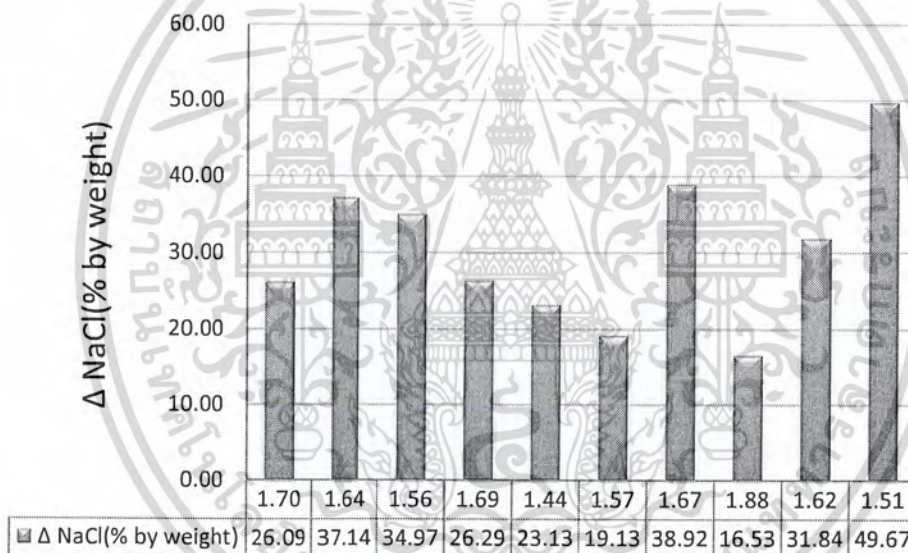
รูปที่ 4.15 ผลของการละลายในน้ำวนต่อ ปริมาณเกลือที่ลดลง (ร้อยละโดยน้ำหนัก) หลังการละลาย

ผลของการละลายปลาทูน่าน้ำหนักระหว่าง 1.4 – 2.0 กิโลกรัม ในน้ำอสุวน ที่อัตราการไหลของน้ำ 350 ลิตรต่อนาที ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) เฉลี่ย (ตำแหน่ง หัว กลางลำตัว และหาง) แสดงในรูปที่ 4.16 และ 4.17 พบว่าปริมาณเกลือเริ่มต้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ คือ น้อยกว่าร้อยละ 3 มากกว่าร้อยละ 3 และมากกว่าร้อยละ 4 พบว่ามีปริมาณเกลือที่ลดลงจากเริ่มต้นอยู่ระหว่างร้อยละ 19.13 – 37.14 ร้อยละ 16.53 – 38.92 และร้อยละ 31.84 – 49.67 ตามลำดับ แต่ทั้งนี้ประสิทธิภาพของการละลายนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณเกลือเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



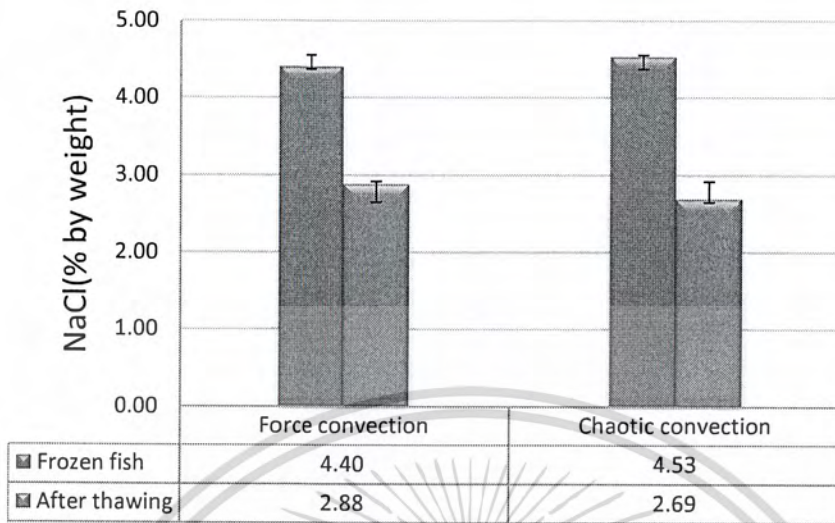
รูปที่ 4.16 ปริมาณเกลือ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) เฉลี่ย ของปลาทูน่าก่อนการละลายและหลังการละลายที่ สภาวะน้ำอสุวน



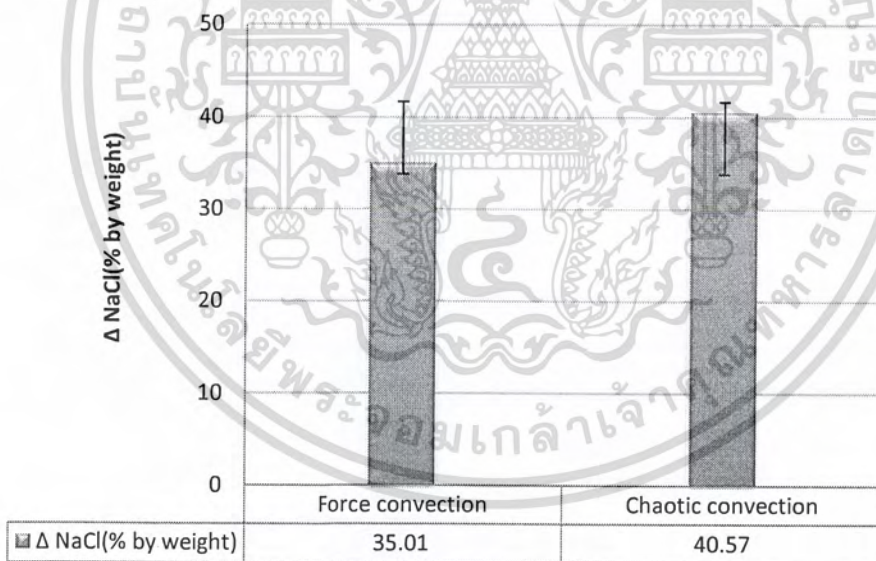
รูปที่ 4.17 ผลของการละลายในน้ำอสุวนต่อ ปริมาณเกลือที่ลดลง (ร้อยละโดยน้ำหนัก) หลังการละลาย

การเปรียบเทียบ ผลการละลายปลาทูน่าในสภาวะน้ำจืดและน้ำอสุวนต่อปริมาณเกลือเฉลี่ยในเนื้อปลา โดยเลือกเปรียบเทียบ เฉพาะปลาที่มีปริมาณเกลือเริ่มต้นเฉลี่ยมากกว่า ร้อยละ 4 สภาวะละ 2 ตัว แสดงในรูปที่ 4.18 และ 4.19 พบว่า การละลายปลาทั้งสองสภาวะ มีผลต่อการลดลงของปริมาณเกลือในเนื้อปลา หลังการละลาย โดยสภาวะน้ำจืดลดปริมาณเกลือจากเริ่มต้น ร้อยละ 4.40 เหลือร้อยละ 2.88 คิดเป็นร้อยละ 35.01 และสภาวะน้ำอสุวน ลดปริมาณเกลือ จากปริมาณเฉลี่ย เริ่มต้นร้อยละ 4.53 เหลือร้อยละ 2.69 คิดเป็นร้อยละ 40.57 ของปริมาณเกลือเริ่มต้น แต่การลดลงของปริมาณเกลือทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แผนภูมิแสดงปริมาณเกลือ (%) ก่อนการละลายและหลังการละลาย
ที่สภาวะน้ำวนและน้ำอลวน



รูปที่ 4.19 แผนภูมิแสดงความแตกต่างของปริมาณเกลือ (%) ก่อนการละลายและหลังการละลาย
ที่สภาวะน้ำวนและน้ำอลวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ผลการตรวจจุลินทรีย์ในอากาศและน้ำของการละลายที่สภาวะต่างๆ

ตารางที่ 4.2 ผลของปริมาณจุลินทรีย์ในอากาศและน้ำละลายปลาที่สภาวะต่างๆ

State	Aerobic Plate Count (\log_{10} CFU/ml) \pm SD			The microbial increase
	Air	Before thawing	After thawing	
Still water	1.00 \pm 0.67	2.60 \pm 0.64	2.72 \pm 0.69	0.12
Circulated water	0.18 \pm 0.21	2.44 \pm 0.01	2.46 \pm 0.01	0.02
Chaotic water	1.35 \pm 0.21	4.69 \pm 0.12	4.70 \pm 0.09	0.01

จากการทดลองละลายปลาทูน่าโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการให้ความร้อนที่สภาวะน้ำนิ่ง น้ำวน และน้ำอลวน พบว่า ในน้ำหลังการละลายทั้ง 3 สภาวะมีปริมาณจุลินทรีย์ใกล้เคียงกับน้ำก่อนการละลาย โดยปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำหลังการละลายที่สภาวะน้ำนิ่งมีปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือ น้ำวนและน้ำอลวน ตามลำดับ แต่ที่สภาวะน้ำอลวนมีปริมาณจุลินทรีย์มากที่สุดในอากาศ น้ำก่อนการละลายและน้ำหลังการละลาย เนื่องจากสภาพอากาศขณะทำการละลาย ในการละลายมีการให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้ละลายและวนน้ำภายในถัง อุณหภูมิที่ผิวของปลาจึงมีค่าสูงพอ เหมาะแก่การเจริญเติบโตและเกิดการกระจายตัวจากรวนน้ำ ทำให้มีปริมาณมาก ซึ่งการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ในกระบวนการผลิตเริ่มต้น อาจส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นอย่างทวีคูณเมื่อวัตถุดิบถูกส่งต่อไปยังกระบวนการอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

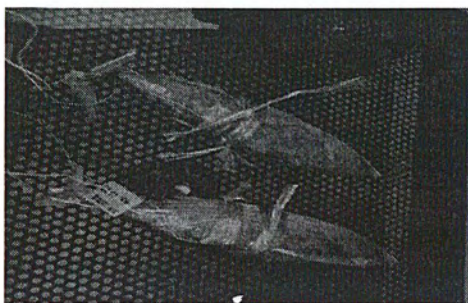
การศึกษาปริมาณเกลือระหว่างกระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ปริมาณเกลือหลังกระบวนการละลายลดลงมากกว่ากระบวนการนี้ ซึ่งขนาดน้ำหนักของปลาทუნามีผลต่อปริมาณเกลือที่ลดลง โดยปลาทუნ่าขนาดกลางมีปริมาณเกลือมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดใหญ่และขนาดเล็ก

ผลของขนาดปลาทუნ่าต่อเวลาที่ใช้ในการละลาย พบว่า ขนาดมีความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในการละลาย การละลายปลาทუნ่าที่ใหญ่กว่าจะใช้เวลามากกว่าปลาทუნ่าขนาดเล็กกว่า ผลของสัมประสิทธิ์การพาความร้อน วิธีการละลายในสภาวะนิ่ง น้ำวน และน้ำอลวน มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเพิ่มขึ้นตามสภาวะการละลาย ทำให้ใช้เวลาที่ใช้ในการละลายทุกช่วง น้ำหนักลดลงและสำหรับผลของปริมาณจุลินทรีย์ต่อสภาวะการละลาย พบว่า การละลายในสภาวะน้ำอลวนเมื่อเพิ่มอุณหภูมิทำให้ลดเวลาในการละลายลงได้ แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่สูงมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์ในน้ำที่ใช้ละลายมากกว่าสภาวะการละลายในน้ำวน และน้ำนิ่ง

การละลายปลาทუნ่าที่สภาวะน้ำวนและน้ำอลวน พบว่า ปริมาณเกลือของน้ำทั้ง 2 สภาวะมีปริมาณเกลือหลังการละลายลดลง การเปรียบเทียบ ผลการละลายปลาทუნ่าในสภาวะน้ำวนและน้ำอลวนต่อปริมาณเกลือเฉลี่ยในเนื้อปลา โดยเลือกเปรียบเทียบ เฉพาะปลาที่มีปริมาณเกลือเริ่มต้นเฉลี่ยมากกว่า ร้อยละ 4 สภาวะละ 2 ตัว สภาวะน้ำวนลดปริมาณเกลือ คิดเป็นร้อยละ 35.01 และสภาวะน้ำอลวน ลดปริมาณเกลือ คิดเป็นร้อยละ 40.57 ของปริมาณเกลือเริ่มต้น แต่การลดลงของปริมาณเกลือทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งปริมาณเกลือหลังการละลายยังสูงกว่าปริมาณเกลือที่ต้องการลดให้ต่ำกว่าร้อยละ 1.2

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) การละลายในระดับการทดลองมีจำนวนปลาน้อยกว่าในระดับอุตสาหกรรมซึ่งอาจทำให้ปริมาณเกลือหลังการละลาย เวลา ในการทดลองน้อยกว่า ควรหาจำนวนปลาที่เหมาะสมต่อการละลาย เช่น อาจคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ต่อจำนวนปลาที่ทำการละลาย
- 2) สายเทอร์โมคัปเปิลที่เสียบเพื่อวัดอุณหภูมิในตัวปลาเมื่อทำการละลายสายอาจหลุดออกจากเนื้อปลา ซึ่งทำให้อุณหภูมิคลาดเคลื่อนเนื่องจากน้ำที่ใช้ละลายซึมผ่านเข้าไป ในการทำการทดลองควรใช้เชือกหรือยางรัดสายเทอร์โมคัปเปิลดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ลักษณะการใช้เชื้อกรดสายเทอร์โมคัปเปิล

- 3) การเก็บตัวอย่างเนื้อปลาทูน่าเพื่อวิเคราะห์ปริมาณเกลือควรคำนึงถึงตำแหน่งของการเจาะขนาดของตัวอย่าง ความลึกของตัวอย่าง และตำแหน่งที่เก็บก่อนและหลังการละลายควรเป็นตำแหน่งเดียวกัน
- 4) หากต้องการใช้วิธีการละลายปลาทูน่าด้วยสถานะน้ำอวลให้มีปริมาณเกลือหลังการละลายต่ำกว่าร้อยละ 1.2 ปลาทูน่าควรมีปริมาณเกลือเริ่มต้นไม่เกินร้อยละ 1.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กนกเดือน เฉิดอารี, กิตินันท์ ปิยะพันธ์วงศ์ และศุภวรรณ ปิระจิตร.2544 “ผลของความร้อนต่อคุณภาพของปลาทูน่า 2 สายพันธ์.”ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ ,สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- กระทรวงพาณิชย์. “การส่งออก.”[ออนไลน์]. ปรากฏ: http://www.opsmoc.go.th/infor/menucomth/stru_export/export_topn_re/report.asp. 2554.
- กระทรวงสาธารณสุข. “ฉลากโภชนาการ.” [ออนไลน์].ปรากฏ: http://iodinethailand.fda.moph.go.th/fda/new/images/cms/top_upload/1170743873_182.pdf. 2541.
- เจษฎา เลิศพิภพเมธา, ชัยพร ลิ้มวรารัตน์ และปวันทิพย์ แสงโสภิต. 2551. “การศึกษาวิธีลดระยะเวลาในกระบวนการละลายปลาทูน่าแช่แข็งด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า.” ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ฉัตรชัย กอไพบูลย์และคณะ. 2552. “การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองทำนายอุณหภูมิระหว่าง การละลายปลาทูน่าพันธ์ ท้องแถบและประยุกต์ใช้ประโยชน์.” ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ทิพาพร อวยุทธยา และสุวิทย์ เตีย.2547. "การศึกษาสมบัติค่าการนำไฟฟ้าของซูริมิแช่เยือกแข็งและผลของขนาดผลึกน้ำแข็ง ที่มีต่อกระบวนการละลายด้วยวิธี Ohmic." วิทยานิพนธ์
- ธิดิมา พุฒวันเพ็ญ,วิหวัธ มิ่งขวัญ,ศิวพร เจริญศิริสุทธิกุล.2551 "การศึกษาหากรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับการ ล้างและลดความเค็มของแมงกระพรุนแห้ง" ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- นงลักษณ์ สุทธิวนิช.2531.คุณภาพสัตว์น้ำ.มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.หน้า 23-35.
- ประสิทธิ์ สายสิทธิ์. 2514. ผลิตภัณฑ์ประมงและหลักการถนอมอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ครูสภาลาดพร้าว.
- มัทนา แสงจินดา. 2545. ผลิตภัณฑ์ประมงของไทย. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิมล เหมาะะจันทร์. 2540. ชีววิทยาปลา. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศูนย์พัฒนาการประมงแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้. 2553. การแปรรูปปลากระตัก ตอนที่ 2. [ออนไลน์]. ปรากฏ:http://www.youtube.com/watch?v=_UAqJY1vg7E.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย จำกัด. 2553. "การส่งออกปลาทูน่ากระป๋องและปรุงแต่ง...ครึ่งหลังปี'53 มีแนวโน้มเติบโตต่อเนื่อง." [ออนไลน์]. ปรากฏ www.positioningmag.com/prnews.aspx?id=88290
- ไกรฤกษ์ อบรมสุข. 2554. "สัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient)." [ออนไลน์]. ปรากฏ: <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/physical-chem1/Lecture5.htm>.
- ClinNutr. "โซเดียม: เกลือแร่ที่จำเป็นต่อร่างกาย." [ออนไลน์]. ปรากฏ: https://www.myfirstbrain.com/student_view.aspx?ID=58686. 2011.
- Monton Suksai. การพาความร้อน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://pirun.ku.ac.th/~g4765306/heat_transfer/convection.htm
- My firstbrain. 2011. "โซเดียม : เกลือแร่ที่จำเป็นต่อร่างกาย." [ออนไลน์]. ปรากฏ https://www.myfirstbrain.com/student_view.aspx?ID=58686.
- Ana André s. et.al.(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.
- J.M. Barat. et.al. (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.
- National fisheries institute. 2554. "Sodium in Canned/Pouch Tuna; A Functional Overview." [online] Available: http://www.healthytuna.com/sites/all/files/Sodium%20in%20Canned_Pouch%20Tuna.pdf.
- Nilsson S. and S. Holmgren. 1986. *Fishes Physiology*. Croom Helm, London, UK. P. 102-103.
- R Engineering Support Co., Ltd. 2554. "Mettler Toledo." [ออนไลน์]. ปรากฏ <http://www.resupport.co.th/equipments/mts.html>.
- ZoLkorn. Cooling Methodology testing [online]. Available: http://www.overclockzone.com/zolkorn/Year2006/06-06/Cooling_Methodology_Testing/.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้