

การศึกษาหาหนทางการลดระยะเวลาในการละลายปังกูน่า
A STUDY OF METHODS FOR TUNA THAWING TIME REDUCTION



ปรีชญานี วัฒนสินธ์พานิชย์ ภาควิชาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร

สาขาวิชาประมง

คณะสัตวแพทยศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การศึกษาแนวทางการลดระยะเวลาในการละลายปลาทูน่า

A STUDY OF METHODS FOR TUNA THAWING TIME REDUCTION



ธนภัทร เพชรไพบูลย์
ภาณุกา ตฤชณาปัญญา
อรรรรณ จิตมุง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในเพื่อการที่ถูกต้องเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกแปลงเนื้อหา หรือต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2556

A STUDY OF METHODS FOR TUNA THAWING TIME REDUCTION



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN

FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADAMIC YEAR 2013

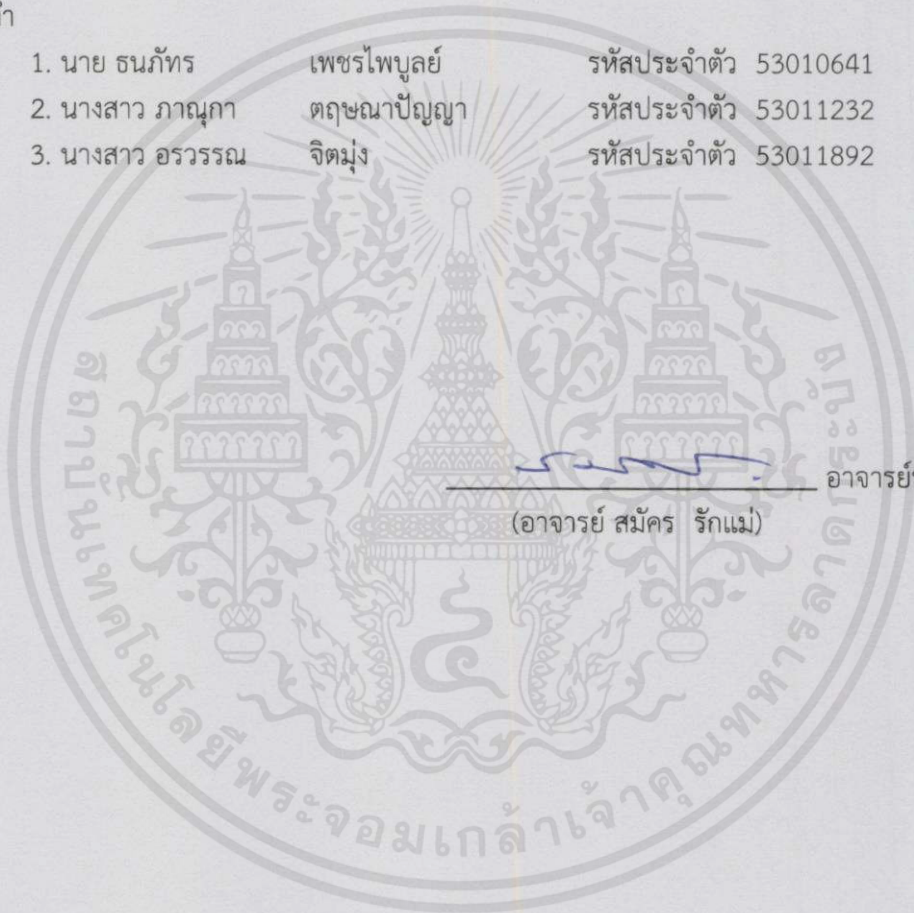
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น สิ่งนี้จัดทำขึ้นโดยอัตโนมัติและจะไม่มีการนำออกไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2556
 สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาแนวทางการลดระยะเวลาในการละลายปลาทูน่า
 A STUDY OF METHODS FOR TUNA THAWING TIME REDUCTION

ผู้จัดทำ

- | | | |
|------------------|-------------|-----------------------|
| 1. นาย ธนภัทร | เพชรไพบุลย์ | รหัสประจำตัว 53010641 |
| 2. นางสาว ภาณุภา | ตฤณนาปัญญา | รหัสประจำตัว 53011232 |
| 3. นางสาว อรวรรณ | จิตมั่ง | รหัสประจำตัว 53011892 |



(อาจารย์ สมัคร รักแม่)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาแนวทางการลดระยะเวลาในการละลายปลาทูน่า		
นักศึกษา	นายธนภัทร	เพชรไพบุลย์	รหัสนักศึกษา 53010641
	นางสาวภาณุภา	ตฤชณาปัญญา	รหัสนักศึกษา 53011232
	นางสาวอรรวรรณ	จิตมุง	รหัสนักศึกษา 53011892
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร		
ปีการศึกษา	2556		
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ สมัคร รักแม่		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ต้องการหาแนวทางในการลดระยะเวลาในการละลายปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบ (*Katsuwonus pelamis*) โดยเริ่มจากการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในถังละลาย พบว่าการละลายในปัจจุบันการกระจายอุณหภูมิและความเร็วของน้ำภายในถังแต่ละตำแหน่งมีความแตกต่างกันมาก ซึ่งทำให้การละลายใช้เวลานานและคุณภาพของปลาทูน่าไม่สม่ำเสมอ งานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบถังละลายสำหรับการทดลองโดยลดขนาดลงครึ่งหนึ่งแล้วทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นแผงกระจายน้ำ จำนวน 3 แผง แต่ละแผงประกอบด้วยท่อ 3 ท่อและเจาะรูขนาด 2 มิลลิเมตร จำนวน 5 รูในแต่ละท่อ จากนั้นได้ทำการทดลองละลายปลาทูน่าขนาด 1.8-2.0 กิโลกรัม โดยควบคุมอุณหภูมิน้ำละลายให้อยู่ในช่วง 18 ± 2 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อวินาที จำนวนตัวอย่าง 100 กิโลกรัม พบว่าสามารถลดระยะเวลาในการละลายลงได้ 18.24 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับถังแบบเดิม นำอัตราส่วนปลาต่ออัตราการไหลของน้ำค่าเดียวกันมาออกแบบแผงปล่อยน้ำของถังที่มีขนาดใหญ่ขึ้น พบว่าท่อควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว ยาว 120 มิลลิเมตร มีรูเจาะ 160 รู ขนาดของรูเท่ากับ 4 มิลลิเมตร และทำจากสแตนเลส 304 หน้า 3 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ การละลาย/ ปลาทูน่า/ การออกแบบถัง

Thesis Title	A study of methods for tuna thawing time reduction		
Student's	Mr. Thanapat	Petchpaibul	student ID 53010641
	Ms. Panuga	Trisanapanya	student ID 53011232
	Ms. Orawan	Jitmung	student ID 53011892
Degree	Bachelor of engineering		
Program	Food Engineering		
Year	2013		
Thesis Advisor	Mr. Samak Rakmae		

ABSTRACT

This research was to study the methods to reduce the tuna thawing time. The old thawing tank was analyzed and found that water temperature distribution and water flow in a tank resulted to high thawing time and non-uniform of tuna quality. This research was to design equipment for improved the water temperature distribution and turbulent flow with small adjustments of the old tank. The 2 times of size reduction tank were built for the experiments and installed with the water distributor that was made of 3 columns and 4 lows of 19 mm diameter PVC pipes and was drilled with 60 holes of diameter 2 mm. The sample tuna weight that used in this research was 1.8 ± 2 kilograms. Water temperature was controlled in the range of 18 ± 2 degree Celsius and water flow rate was 0.5 l/s with 100 kilogram sample. The results showed that a percent of thawing time reduction was 18.24 compared with the old system. The upscale water distributor was evaluated by use the same ratio of water flow rate per sample weight and the optimum pipe should have 1.5 mm diameter with 120 mm pipe length, 160 drilled holes with a 4 mm hole diameter, made of 304 stainless steel and 3 mm of thickness.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keyword: Thawing/ Tuna/ Tank design

กิตติกรรมประกาศ

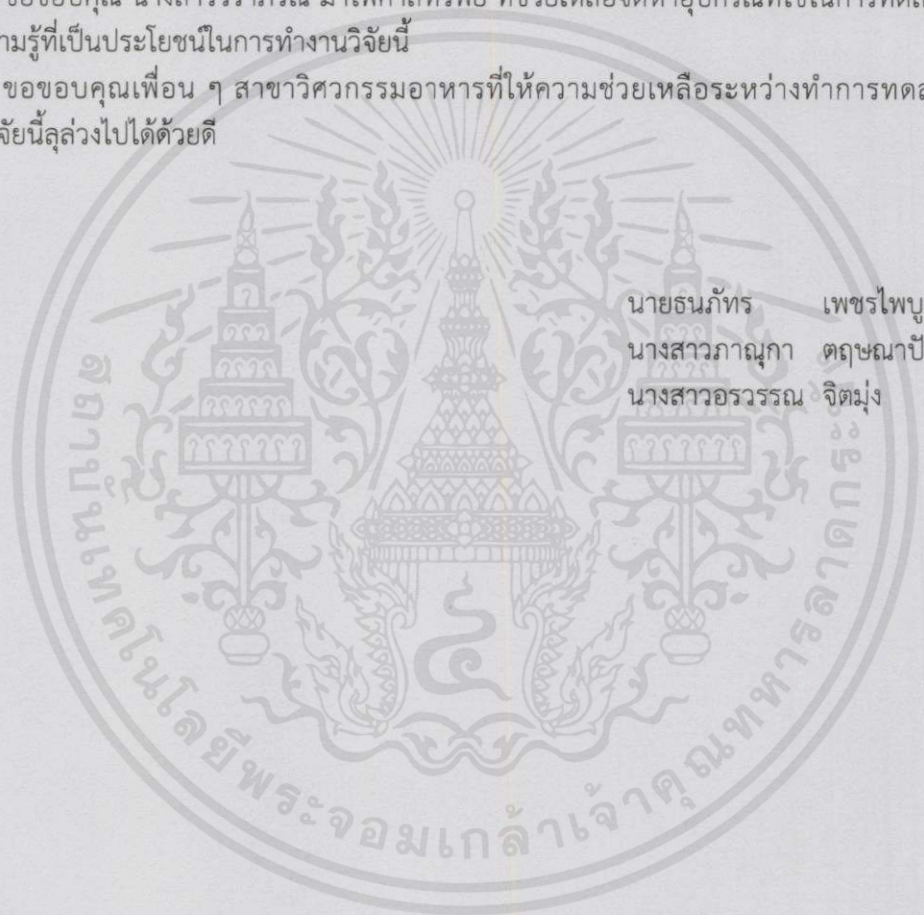
คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์ สมัคร รักแม่ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้ความรู้ ความช่วยเหลือตลอดจนคำแนะนำที่เป็นประโยชน์เสมอมา จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมอาหารทุกท่าน ที่คอยให้คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัยจนสำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ นายอำนาจ คุตะคุ ที่อำนวยความสะดวกและช่วยเหลือจัดหาอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้ง ปรับแต่งระบบการละลาย และให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์ในการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ นางสาวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ ที่ช่วยเหลือจัดหาอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์ในการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ สาขาวิศวกรรมอาหารที่ให้ความช่วยเหลือระหว่างทำการทดลอง จนงานวิจัยนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี



นายธนภัทร เพชรไพบูลย์
นางสาวภาณุกา ตฤชณาปัญญา
นางสาวอรวรรณ จิตมั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
ปกใน(ภาษาไทย).....	I
ปกใน(ภาษาอังกฤษ).....	II
หน้าอวนุมัติ.....	III
บทคัดย่อ(ภาษาไทย).....	IV
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ).....	V
กิตติกรรมประกาศ.....	VI
สารบัญ.....	VII
สารบัญตาราง.....	X
สารบัญรูปภาพ.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร.....	3
2.1 ความสำคัญของอุตสาหกรรมการแปรรูปปลาทูน่า.....	3
2.2 ปลาทูน่า.....	4
2.2.1 โครงสร้างทางกายภาพของปลา.....	5
2.2.1.1 ระบบกล้ามเนื้อของปลา.....	5
2.2.1.2 การเรียงตัวของกล้ามเนื้อปลา.....	5
2.2.2 องค์ประกอบหลักทางเคมีของปลาทูน่า.....	6
2.2.3 สมบัติทางความร้อนของปลาทูน่า.....	8
2.3 ขั้นตอนการผลิตปลาทูน่าเพื่อการแปรรูป.....	9
2.4 การละลายอาหารแช่เยือกแข็ง.....	10
2.4.1 วิธีการละลายอาหารแช่เยือกแข็ง.....	11
2.4.1.1 การใช้ตัวกลางถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์.....	12
2.4.1.2 การสร้างความร้อนให้เกิดขึ้นภายในผลิตภัณฑ์.....	13
2.5 การถ่ายเทความร้อนในกระบวนการละลายโดยใช้น้ำ.....	16
2.6 จุลินทรีย์กับการละลาย.....	17
2.7 อุปกรณ์และเครื่องมือในการวัดอุณหภูมิ.....	18
2.8 วัสดุที่ใช้ในการออกแบบ.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้ให้รับบริการ ซึ่งกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศไม่อนุญาตให้มีการนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบถังละลายแบบใหม่.....	21
3.1 การวิเคราะห์ถังละลายแบบปัจจุบัน.....	21
3.2 แนวทางและการออกแบบถังละลาย.....	22
3.2.1 การออกแบบแผงปล่อยน้ำ.....	22
3.2.2 การหาขนาดและจำนวนรูปปล่อยน้ำ.....	22
3.2.3 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของท่อ.....	24
3.2.4 การติดตั้งแผงปล่อยน้ำ.....	25
บทที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพของถังละลายที่ทำการออกแบบ.....	27
4.1 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	27
4.1.1 การเตรียมตัวอย่างปลาทูก่อนการละลาย.....	27
4.1.1.1 การวัดขนาดและชั่งน้ำหนัก.....	27
4.1.1.2 การเสียบเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิ.....	27
4.2 ชุดอุปกรณ์ละลายปลาทูก่อน.....	28
4.2.1 ระบบการละลายปลาทูก่อน.....	28
4.2.1.1 ระบบละลาย.....	28
4.2.1.2 อุปกรณ์สำหรับวัดการกระจายอุณหภูมิ.....	28
4.2.1.3 อุปกรณ์สำหรับควบคุมอุณหภูมิ.....	29
4.2.2 ชุดควบคุมอุณหภูมิ.....	29
4.3 ขั้นตอนการทดลองละลายปลาทูก่อน.....	30
4.3.1 ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์และระบบ.....	30
4.3.1.1 เตรียมน้ำสำหรับการละลาย.....	30
4.3.1.2 การจัดวางขวดน้ำและปลาทูก่อนแช่แข็ง.....	30
4.3.2 ขั้นตอนการละลายปลาทูก่อน.....	30
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	32
5.1 การกระจายอุณหภูมิในถังแบบปัจจุบันและแบบใหม่.....	32
5.2 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและเวลาที่ใช้ในการละลายปลาทูก่อน.....	32
5.2.1 การละลายปลาทูก่อนในถังละลายแบบปัจจุบัน.....	35
5.2.2 การละลายปลาทูก่อนในถังละลายแบบใหม่.....	36
บทที่ 6 ผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ.....	38
6.1 ผลการดำเนินงาน.....	38
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับกร ใช้งานเพื่อการศีกษาเท่านั้น เมื่อนุญต ให้นำไปเผยแพร่ ใช้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

สารบัญ

บรรณานุกรม

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ภาคผนวก ข.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนจำเพาะและอุณหภูมิของเนื้อปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ.....	9
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อนและอุณหภูมิของเนื้อปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ.....	9
2.3 ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานแบบต่าง ๆ	19
2.4 ตัวอย่างย่านการใช้งานและคุณลักษณะของเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน.....	19
5.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนค่า SE และเวลาที่ใช้ในการละลาย.....	34



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ผลลิตภัณฑ์ปลาทูน่าแปรรูปจากประเทศ.....	3
2.2 ปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ (Skipjack tuna).....	4
2.3 ลักษณะการเรียงตัวของกล้ามเนื้อปลาทูน่า.....	5
2.4 สัดส่วนกล้ามเนื้อสีอ่อนและสีเข้มตามภาพตัดขวางลำตัวของปลาทูน่าท้องแถบ.....	6
2.5 องค์ประกอบทางเคมีของปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ 100 กรัม.....	6
2.6 ปริมาณน้ำของปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ 100 กรัม.....	7
2.7 ปริมาณแร่ธาตุของปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ 100 กรัม.....	8
2.8 ปริมาณวิตามินของปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ 100 กรัม.....	8
2.9 แผนผังกระบวนการละลายปลาทูน่าแช่เยือกแข็ง.....	9
2.10 การแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษาปลาทูน่าภายในเรือ.....	10
2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิกับค่าเอนทัลปีจำเพาะที่เปลี่ยนไป.....	11
2.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ละลายกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป.....	11
2.13 หลักการทำงานของเครื่องละลายอาหารแช่เยือกแข็งโดยใช้ลมพ่น.....	12
2.14 หลักการทำงานของเครื่องละลายอาหารแช่เยือกแข็งโดยใช้น้ำ.....	13
2.15 การละลายของน้ำแข็งในอาหารด้วยวิธีการแช่ในน้ำและการละลายด้วยคลื่นเสียง.....	14
2.16 การเกิดความร้อนในเนื้อสัตว์จากการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก.....	14
2.17 โครงสร้างของโมเลกุลแบบมีขั้วและโครงสร้างของโมเลกุลแบบไม่มีขั้ว.....	15
2.18 การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก.....	16
2.19 วงจรการเกิดปรากฏการณ์ซีเบ็ค.....	18
2.20 แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมคัลเปิลมาตรฐานแบบต่าง ๆ.....	18
2.21 สแตนเลส 304.....	20
3.1 การวิเคราะห์ลักษณะการไหลของน้ำภายในถังละลายด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค.....	21
3.2 ลักษณะการปล่อยน้ำภายในถังละลายที่ออกแบบใหม่.....	21
3.3 แผงปล่อยน้ำของถังละลายแบบใหม่.....	22
3.4 (ก) และ (ข) ขนาดของแผงปล่อยน้ำ (Top view) และ (Side view).....	23
3.5 ขนาดและระยะห่างของรูปล่อยน้ำ.....	24
3.6 การวิเคราะห์เพื่อหาความหนาของท่อปล่อยน้ำ.....	25
3.7 แผงปล่อยน้ำที่มีการเสริมคานเพื่อเพิ่มความแข็งแรง.....	25
3.8 ลักษณะการติดตั้งแผงน้ำปล่อยน้ำและวาล์วภายในถังละลายแบบใหม่.....	26
4.1 ตำแหน่งในการวัดขนาด.....	27
4.2 ตำแหน่งในการเจาะเพื่อวัดอุณหภูมิปลาทูน่า.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.3 การเจาะและการเสียบสายเทอร์โมคัลเบิลเพื่อวัดอุณหภูมิปลาทUNA.....	28
4.4 ระบบการละลายที่ใช้ในการทดลอง.....	28
4.5 (ก) และ (ข) ฮีตเตอร์ส่วนที่ 1 และ ส่วนที่ 2.....	29
4.6 ชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติสำหรับการไปยังฮีตเตอร์.....	29
4.7 การจัดวางขวดน้ำและปลาทUNAแช่เยือกแข็งภายในถังละลาย.....	30
4.8 (ก) และ (ข) ลักษณะการป้อนน้ำสำหรับถังละลายปัจจุบันและถังละลายใหม่.....	30
5.1 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิภายในถังละลาย.....	32
5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาเมื่อทำการปล่อยน้ำอุณหภูมิห้อง ลงในถังละลายแบบปัจจุบันที่บรรจุขวดน้ำแข็ง.....	33
5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาเมื่อทำการปล่อยน้ำอุณหภูมิห้อง ลงในถังละลายแบบใหม่ที่บรรจุขวดน้ำแข็ง.....	33
5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบริเวณเนื้อติดกระดูกของตัวอย่างที่ 1 ที่ได้จากการทดลองและอุณหภูมิที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองกับเวลา สำหรับถังละลายแบบปัจจุบัน.....	35
5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบริเวณเนื้อติดกระดูกของตัวอย่างที่ 2 ที่ได้จากการทดลองและอุณหภูมิที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองกับเวลา สำหรับถังละลายแบบปัจจุบัน.....	35
5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบริเวณเนื้อติดกระดูกของตัวอย่างที่ 1 ที่ได้จากการทดลองและอุณหภูมิที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองกับเวลา สำหรับถังละลายแบบใหม่.....	36
5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบริเวณเนื้อติดกระดูกของตัวอย่างที่ 2 ที่ได้จากการทดลองและอุณหภูมิที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองกับเวลา สำหรับถังละลายแบบใหม่.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

อุตสาหกรรมแปรรูปปลาทุ่นำกระป๋อง เป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญของไทย ปัจจุบันประเทศไทยผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์ทุ่นำกระป๋องเป็นอันดับ 1 ของโลก และไทยยังเป็นผู้นำเข้าปลาทุ่นำรายใหญ่โดยนำเข้าคิดเป็นร้อยละ 90 ของปลาทุ่นำทั้งหมด ในช่วงเดือนมกราคมถึงตุลาคม 2555 มีปริมาณการนำเข้ารวม 669,603 ตัน นำไปใช้ในการผลิตปลาทุ่นำกระป๋องในช่วงเดือนมกราคมถึงตุลาคม เกือบทั้งหมด ปริมาณ 456,890 ตัน คิดเป็นร้อยละ 68.23 ของปริมาณปลาทุ่นำแช่แข็งที่นำเข้าทั้งหมด (กระทรวงพาณิชย์. 2555.)

โดยการนำเข้าปลาทุ่นำที่ทำการจับจากมหาสมุทรแปซิฟิกหรือมหาสมุทรอินเดีย จำเป็นจะต้องผ่านกระบวนการแช่แข็งแบบจุ่มภายในเรือจนบริเวณใจกลางของปลาทุ่นำมีอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อรักษาคุณภาพของปลาทุ่นำ หลังจากนั้นเมื่อปลาทุ่นำผ่านการบวนการขนส่งมายังโรงงานจะถูกเก็บรักษาไว้ในห้องปรับอากาศที่มีอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ดังนั้นก่อนเข้าสู่กระบวนการแปรรูปปลาทุ่นำ จะต้องผ่านกระบวนการละลาย ซึ่งกระบวนการละลายที่ใช้ในปัจจุบันคือ การละลายโดยใช้น้ำที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 20 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเพิ่มจำนวนของ *Psychrotrophic bacteria* และ *Psychrotropic bacteria* ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (*Mesophilic bacteria*) ที่สามารถทนต่อความเย็นได้ โดยช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 20 ถึง 30 องศาเซลเซียส และเป็นแบคทีเรียที่สามารถทนอุณหภูมิได้ต่ำถึง -5 องศาเซลเซียส ซึ่งระยะเวลาที่ใช้สำหรับการละลายปลาจะขึ้นอยู่กับน้ำหนัก โดยปลาที่มีขนาดต่ำกว่า 1.40, 1.41-2.80 และ 2.81-5 กิโลกรัม ใช้ระยะเวลาในการละลาย 1.45-2.30, 2.45-2.80 และ 4-5 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการละลายที่นานจะส่งผลเสียต่อคุณภาพของปลาทุ่นำและเป็นการเพิ่มต้นทุนของกระบวนการผลิต

เนื่องจากในกระบวนการละลายปลาทุ่นำแช่เยือกแข็งนั้นมีการถ่ายเทความร้อนสองรูปแบบ ได้แก่ การถ่ายพาความร้อนบริเวณผิวปลาที่สัมผัสกับน้ำ และการนำความร้อนจากเนื้อปลาด้านนอกเข้าสู่บริเวณใจกลางของตัวปลา (Backbone) โดยค่าตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับการถ่ายเทความร้อน และสามารถปรับแต่งได้ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection coefficient) เพราะค่าดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับความเร็วของน้ำที่ใช้ในกระบวนการละลาย จึงทำการออกแบบถังละลายแบบใหม่เพื่อเพิ่มความเร็วของน้ำและแก้ปัญหาที่การกระจายอุณหภูมิที่ไม่สม่ำเสมอภายในถังละลายแบบปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ศึกษาปัญหาที่เกิดในสภาวะการละลายปลาทุ่นำแช่แข็งในปัจจุบัน

1.2.2 ศึกษาการลดระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการละลายปลาทุ่นำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในสภาวะการละลายปลาทูน่าแช่แข็งในปัจจุบัน
- 1.3.2 ทราบแนวทางการลดปัญหาที่เกิดขึ้นและสามารถลดระยะเวลาในการละลายปลาทูน่าแช่แข็งได้

1.4 ขอบเขตการศึกษา

- 1.4.1 ปลาทูน่าที่ใช้ในการศึกษา คือ ปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบ (Skipjack tuna) ขนาด 1.8–2.0 กิโลกรัม
- 1.4.2 ขนาดของถังที่ใช้ในการกระบวนการละลายเป็นถึงขนาด 1.6×1.2×1 ลูกบาศก์เมตร
- 1.4.3 น้ำที่ใช้ในการละลายควบคุมให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าเท่ากับ 20 องศาเซลเซียส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

2.1 ความสำคัญของอุตสาหกรรมการแปรรูปปลาทูน่า

ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากปลาทูน่าจัดเป็นอาหารเพื่อสุขภาพมีแนวโน้มการบริโภคของตลาดโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปลาทูน่ากระป๋องได้รับการยอมรับและเป็นที่ยอมรับบริโภคในประเทศไทย เดิมนั้นภาพลักษณ์ของสินค้าเป็นสินค้าคุณภาพ ราคาจะอยู่ในระดับสูงกว่าปลากระป๋องประเภทอื่น ๆ แต่ปัจจุบันได้รับการยอมรับในฐานะที่เป็นสินค้าเพื่อสุขภาพ และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง รวมทั้งการปรับเพิ่มรสชาติของปลาทูน่ากระป๋อง จากเดิมที่มีเพียงปลาทูน่าในน้ำมันและน้ำเกลือ มาเป็นสลัดทูน่า และปลาทูน่าปรุงรสด้วยเครื่องแกงที่เป็นที่รู้จักของคนไทย เช่น เขียวหวาน พะแนง มัสมัน เป็นต้น ซึ่งนับว่าเป็นการเพิ่มความหลากหลาย และเพิ่มโอกาสในการเลือกซื้อให้กับผู้บริโภค



รูปที่ 2.1 ผลิตภัณฑ์ปลาทูน่าแปรรูปจากประเทศไทย

อุตสาหกรรมแปรรูปทูน่าของประเทศไทย ในปัจจุบันได้ก้าวขึ้นมาเป็นผู้ผลิต และส่งออกชั้นนำของโลก มีศักยภาพด้านการผลิตและการแข่งขันได้รับการยอมรับทั้งคุณภาพและมาตรฐานความปลอดภัย โดยสถาบันอาหารกระทรวงอุตสาหกรรมได้ประเมินภาพรวมการส่งออกอาหารของไทยปี 2555 ว่าจะมีมูลค่าการส่งออกราว 1,013,250 ล้านบาท ขยายตัวเพิ่มขึ้น 5.1 เปอร์เซ็นต์ โดยในปีที่ผ่านมา ยอดการส่งออกมีมูลค่ารวม 964,500 ล้านบาท เพิ่มขึ้น 120 เปอร์เซ็นต์ จากเมื่อ 10 ปีก่อนเป็นสินค้าอุตสาหกรรมที่ทำให้ประเทศได้เปรียบดุลการค้ารวมกว่า 600,000 ล้านบาท ในปีที่ผ่านมาและเป็นอันดับ 1 เมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมอื่น ๆ ครองส่วนแบ่งตลาดโลกประมาณร้อยละ 40 (ทีมเศรษฐกิจไทยรัฐออนไลน์. 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการค้าขายหรือการตัดสินใจลงทุนได้

ปัจจุบันอุตสาหกรรมแปรรูปปลาทูน่าต้องนำเข้าปลาทูน่าแช่แข็ง มาใช้เป็นวัตถุดิบมากกว่าร้อยละ 90 โดยปลาทูน่าที่นำเข้าเป็นปลาทูน่าสายพันธุ์ทองแถบมากที่สุด ในช่วงเดือนมกราคมถึงตุลาคม 2555 มีปริมาณการนำเข้ารวม 669,603 ตัน คิดเป็นมูลค่ารวม 47,421 ล้านบาท และนำไปใช้ในการ

ผลิตปลาทูน่ากระป๋อง ในช่วงเดือนมกราคมถึงตุลาคมเกือบทั้งหมดมีปริมาณ 456,890 ตัน มูลค่า 67,010 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 68.23 ของปริมาณปลาทูน่าแช่แข็งที่นำเข้าทั้งหมด (กระทรวงพาณิชย์. 2555) และในปี 2555 ไทยสามารถส่งออกปลาทูน่ากระป๋องปริมาณ 5.59 แสนตัน ซึ่งคิดเป็นมูลค่าการส่งออก 88,400 ล้านบาท (กระทรวงพาณิชย์. 2556)

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

นอกจากอุตสาหกรรมแปรรูปทูน่ายังประสบกับปัญหา การแข่งขันที่รุนแรงจากการให้สิทธิพิเศษทางศุลกากร (GSP) ของประเทศผู้นำเข้าเช่นสหรัฐอเมริกาและสหภาพยุโรปที่ให้กับประเทศต่าง ๆ ในอัตราที่ไม่เท่าเทียมกัน ประกอบกับยังใช้มาตรการกีดกันทางการค้าที่มีโทษภาษีในรูปแบบต่าง ๆ ส่งผลให้ความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมปลาทูน่ากระป๋องของไทยลดน้อยลงจากเดิมด้วย ในขณะที่ประเทศคู่แข่งกลับได้รับการช่วยเหลือด้าน GSP ทำให้อุตสาหกรรมปลาทูน่ากระป๋องของไทยสูญเสียตลาดไปบางส่วน

เพื่อรักษาความเป็นผู้นำในการส่งออกปลาทูน่ากระป๋องต่อไปซึ่งภาคเอกชนควรให้ความสำคัญอย่างยิ่งกับการพัฒนารูปแบบของผลิตภัณฑ์ให้มีความหลากหลายตามความต้องการของผู้บริโภคได้คุณภาพตามมาตรฐานสากลและร่วมมือกันหาตลาดใหม่ ๆ นอกจากนี้ควรพิจารณาสรรหาประโยชน์จากการทำข้อตกลงการค้าเสรีโดยเน้นสินค้าทูน่าแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพซึ่งจะเป็นจุดขายหนึ่งที่จะส่งผลต่อการผลิตและการส่งออกปลาทูน่ากระป๋องของไทยในอนาคตได้เพิ่มขึ้น

2.2 ปลาทูน่า

ปลาทูน่าที่ใช้ในการศึกษา คือ ปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบ (Skipjack tuna) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Katsuwonus pelamis* เป็นปลาที่มีรูปร่างเพรียว ลำตัวกลม ปากกว้าง ตาขนาดปานกลาง ครีบหลังเป็นก้านแข็ง ครีบหูมีขนาดเล็กปลายเรียวแหลม ดังรูป 2.2 ข้างลำตัวมีลายแถบแตกต่างกันออกไปคือ มีสีดำสลับขาวเป็นแนวจากบริเวณครีบหูไปจนถึงครีบหาง หลังมีสีดำปนน้ำเงินเข้ม ท้องสีขาวเงิน และมีหนังค่อนข้างบางลอกออกได้ง่าย หางมีสีดำแข็งแรง ปลาทูน่าพันธุ์นี้จะมีขนาดเล็ก ลำตัวยาว 18-32 นิ้วและน้ำหนัก 3-7 กิโลกรัม อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่มีอุณหภูมิ 15-25 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.2 ปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบ (Skipjack tuna)

(ที่มา: PGFF. 2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีใช้งานเพื่อการศึกษารายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้อีกแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบเป็นสายพันธุ์ที่มีอยู่อย่างมากมายและจำหน่ายมากเป็นอันดับแรก แต่เป็นปลาที่มีเนื้อน้อยและมีสีเข้ม จัดเป็นพันธุ์ที่มีคุณภาพต่ำกว่าพันธุ์ครีบเหลืองและครีบบาว โดยปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบเป็นปลาที่นิยมรับประทานสด และนิยมนำเนื้อส่วนขาวมาทำปลาทูน่าบรรจุกระป๋อง (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา. 2556)

2.2.1 โครงสร้างทางกายภาพของปลา

โครงสร้างของสัตว์น้ำที่มีกระดูกสันหลัง แบ่งตามตำแหน่งและหน้าที่ได้ 3 ส่วน คือ

1. โครงสร้างภายนอก (Exoskeleton) ได้แก่ เกล็ดปลา และก้านครีบ
2. กระดูกที่อยู่ภายใน (Endoskeleton) ได้แก่ กระดูกก้าน และกระดูกยางค
3. เนื้อเยื่อเกี่ยวพันและเยื่อหุ้มต่าง ๆ (Membranous skeleton) ได้แก่ เยื่อบุช่วงท้อง เยื่อหุ้มกระดูกอ่อน (Perichondrium) เยื่อหุ้มกระดูก และยึดติดกับกระดูก (Periosteum)

2.2.1.1 ระบบกล้ามเนื้อของปลา

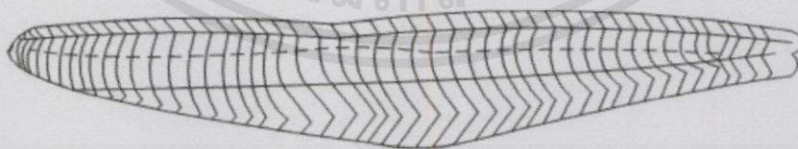
กล้ามเนื้อสัตว์น้ำไม่ซับซ้อนเหมือนสัตว์บก แต่มีต้นกำเนิดและโครงสร้างเหมือน ๆ กันกล้ามเนื้อแบ่งตามหน้าที่ได้ 3 ชนิด คือ

1. กล้ามเนื้อเรียบ (Smooth muscle) ได้แก่ กล้ามเนื้อบริเวณทางเดินอาหารและอวัยวะภายในของปลาอยู่นอกอำนาจการบังคับของจิต (Involuntary muscle)
2. กล้ามเนื้อลาย (Striated muscle หรือ Skeleton muscle) อยู่บริเวณด้านข้างของตัวปลาช่วยในการเคลื่อนไหว สามารถบังคับได้ (Voluntary muscle)
3. กล้ามเนื้อหัวใจ (Cardiac muscle) มีลักษณะค่อนข้างหนาสีแดงเข้มอยู่นอกอำนาจการบังคับของจิต

การแบ่งกล้ามเนื้อนอกจากที่กล่าวมาแล้ว สามารถแบ่งได้ตามความสามารถในการยึด โดยแบ่งได้ 2 ชนิด คือ ยึดติดกับกระดูก (Skeleton muscle) ได้แก่ กล้ามเนื้อลาย และไม่ยึดติดกระดูก (Non-skeleton muscle) ได้แก่ กล้ามเนื้อเรียบและกล้ามเนื้อหัวใจ

2.2.1.2 การเรียงตัวของกล้ามเนื้อปลา

กล้ามเนื้อปลา (Block of muscle, Myotomes) เรียงตัวแบบ Segment ally ห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Myocomma) กล้ามเนื้อปลาและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันนี้สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ดังรูป 2.3 เมื่อสูกจะเห็นเป็นชั้น (Flakes) เนื้อเยื่อเกี่ยวพันเมื่อได้รับความร้อนจะละลายกลายเป็นเจลทำให้เนื้อเยื่อแยกกันได้ง่าย



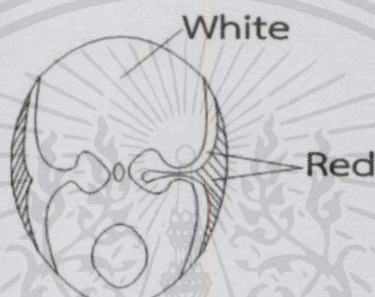
รูปที่ 2.3 ลักษณะการเรียงตัวของกล้ามเนื้อปลาทูน่า

(ที่มา: Love. R. M. 1988)

กล้ามเนื้อประกอบด้วยเซลล์กล้ามเนื้อ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5-3.1 เซนติเมตร ซึ่งล้อมรอบด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ภายในเซลล์กล้ามเนื้อประกอบด้วยไมโอไฟบริลซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-2 มิลลิเมตร แต่ละไมโอไฟบริลประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เรียกว่า ซาร์โคเมียร์

(Sarcomere) ซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลของโปรตีนยึดหดตัวได้ (Contractile protein) คือ แอคติน ไมโอซิน โทรโปไมโอซิน เอนไซม์ และสารประกอบอื่น ๆ

ใต้ผิวหนังปลาจะพบกล้ามเนื้อสีคล้ำ (Red meat หรือ Dark meat) อยู่สองข้างตามเส้นข้างตัว ดังรูป 2.4 อัตราส่วนระหว่างกล้ามเนื้อสีคล้ำและสีอ่อน (Light meat) แตกต่างกันไปตามชนิดของปลาและส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ปลาน้ำลึกมีปริมาณกล้ามเนื้อสีคล้ำน้อยกว่าปลาที่อาศัยอยู่บริเวณผิวน้ำ กล้ามเนื้อสีคล้ำมีปริมาณเฮโมโพรตีน (Hemoprotein) สูงและเป็นสารเริ่มต้นที่ทำให้ไขมันที่มีอยู่มากเสื่อมคุณภาพได้ง่าย เนื้อสีคล้ำทำหน้าที่เป็นคลังเก็บไขมัน ไกลโคเจนและเมตาโบไลต์อื่น ๆ ระดับของสารอนินทรีย์และกรดที่ละลายได้รวมทั้งปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อสีคล้ำต่ำกว่าในเนื้อสีอ่อน (ฉัตรชัย และคณะ. 2552)



รูปที่ 2.4 สัดส่วนกล้ามเนื้อสีอ่อนและสีเข้มตามภาพตัดขวางลำตัวของปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบ (ที่มา: Nilsoson, S. et. al. 1986)

2.2.2 องค์ประกอบหลักทางเคมีของปลาทูน่า

Nutrition Facts	
Serving Size 100 grams	
Amount Per Serving	
Calories 103	Calories from Fat 9
% Daily Value*	
Total Fat 1g	2%
Saturated Fat 0g	2%
Trans Fat	
Cholesterol 47mg	16%
Sodium 37mg	2%
Total Carbohydrate 0g	0%
Dietary Fiber 0g	0%
Sugars 0g	
Protein 22g	
Vitamin A	1% • Vitamin C 2%
Calcium	3% • Iron 7%

*Percent Daily Values are based on a 2,000 calorie diet. Your daily values may be higher or lower depending on your calorie needs.

NutritionData.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยผู้จัดทำไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบ 100 กรัม (ที่มา: <http://nutritiondata.self.com/facts/finfish-and-shellfish-products/4147/2> สืบค้นวันที่ 23 มีนาคม 2557)

องค์ประกอบหลักของเนื้อปลา คือ น้ำ โปรตีน และไขมันซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้รวมกันมีถึงร้อยละ 98 ของน้ำหนักปลาสดและองค์ประกอบที่เหลืออื่นๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และเกลือแร่มีอยู่ในปริมาณน้อย ดังรูป 2.5 แต่ส่วนประกอบเหล่านี้มีความสำคัญต่อสภาพการเจริญตัวของกล้ามเนื้อปลาภายหลังการตายซึ่งมีผลกับเนื้อสัมผัสของปลา (นงลักษณ์. 2531)

1. น้ำ กล้ามเนื้อปลาประกอบด้วยน้ำร้อยละ 70.6 ดังรูป 2.6 ทั้งนี้แตกต่างกันตามชนิดและถิ่นที่อยู่อาศัย การไม่กินอาหารของปลาในฤดูวางไข่ ทำให้พลังงานสะสมในกล้ามเนื้อลดลง ปริมาณน้ำในกล้ามเนื้อจึงเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน น้ำในตัวปลาไม่แข็งที่ 0 องศาเซลเซียส น้ำในตัวปลาแข็งตัวที่ประมาณ -0.9 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง 0 องศาเซลเซียส น้ำในตัวปลาจะแข็งตัวประมาณร้อยละ 90 เท่านั้น ความคงตัวของน้ำในเนื้อปลา เกิดความชื้นในเส้นใยเนื้อปลาเกาะตัวกันแน่นรวมกับสารคอลลอยด์ น้ำในเนื้อปลามีอยู่ 2 รูปแบบ คือ

รูปอิสระ (Free water) น้ำที่อยู่ในสภาพนี้ทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้สารอื่น เช่น โปรตีนและคอลลอยด์ ขณะเดียวกันทำหน้าที่เป็นตัวละลายอื่นๆ ด้วย

รูปยึดเหนี่ยว (Bound water) น้ำในสภาวะนี้จะอยู่ตามผิวของคอลลอยด์ ในโปรตีนและตามผนังเซลล์ เมื่อได้รับความร้อนน้ำที่อยู่ในสภาพนี้จะระเหยไปช้ากว่าน้ำที่อยู่ในรูปอิสระ ดังนั้น จึงต้องใช้ความร้อนสูงซึ่งตรงข้ามกับน้ำอิสระที่ระเหยได้ง่ายและแข็งตัวง่ายกว่า

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

รูปที่ 2.6 ปริมาณน้ำของปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบ 100 กรัม

(ที่มา : <http://nutritiondata.self.com/facts/finfish-and-shellfish-products/4147/2>
สืบค้นวันที่ 23 มีนาคม 2557)

2. โปรตีน กล้ามเนื้อของปลาประกอบด้วยโปรตีน 2 ประเภท ตามลักษณะการละลาย คือ โปรตีนไม่ละลายน้ำ ได้แก่ โปรตีนที่ยึดเหนี่ยวได้ทำหน้าที่ในการยึดเหนี่ยวตัวของกล้ามเนื้อ 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 ปลาทูน่าที่ไขมันสูงอาจเปลี่ยนสภาพเป็นปลาไขมันต่ำได้ตามฤดูกาลและแหล่งอาหาร

เอกสารนี้เป็นของ 4. แร่ธาตุ แร่ธาตุทั้งหมดหรือเก้าในสี่ตัวนี้มีปริมาณอยู่ระหว่างร้อยละ 1-2 ซึ่งแร่ธาตุที่สำคัญในการทำให้เนื้อสัตว์มีปริมาณแสดงไว้ดังรูป 2.7 เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

รูปที่ 2.7 ปริมาณแร่ธาตุของปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบ 100 กรัม

(ที่มา: <http://nutritiondata.self.com/facts/finfish-and-shellfish-products/4147/2>
สืบค้นวันที่ 23 มีนาคม 2557)

5. วิตามิน ประกอบด้วยวิตามินที่ละลายได้ในน้ำ คือ วิตามินบี และซี ส่วนวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน คือ วิตามินเอ ดี อี เค พบมากบริเวณตับและเนื้อเยื่อส่วนที่มีไขมันสะสมอยู่มาก ดังรูป 2.8

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

รูปที่ 2.8 ภาพแสดงปริมาณวิตามินของปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบ 100 กรัม

(ที่มา: <http://nutritiondata.self.com/facts/finfish-and-shellfish-products/4147/2>
สืบค้นวันที่ 23 มีนาคม 2557)

โดยองค์ประกอบจำพวก คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และแร่ธาตุ ในปลาทูน่ามีอยู่ในปริมาณน้อย ส่วนประกอบทางเคมีของปลาทูน่าสายพันธุ์ต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับชนิดกายวิภาค (ตำแหน่งของร่างกายของปลา) และฤดูกาล ซึ่งปลาที่อาศัยอยู่ในแถบร้อนจะไม่พบความแตกต่างเรื่องฤดูกาลอย่างชัดเจน

2.2.3 สมบัติทางความร้อนของปลาทูน่า

1. ค่าความร้อนจำเพาะของปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบ

ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific heat, C_p) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้มวล 1 กิโลกรัมมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะหรือปริมาณความร้อนที่วัสดุสะสมไว้ มีหน่วยเป็น kJ/kg.K

ซึ่งค่าความร้อนจำเพาะของปลาทุ่น้ำพันธุ์ทองแถบในช่วงอุณหภูมิ -40 ถึง 80 องศาเซลเซียส สามารถแบ่งได้ทั้งหมดสามช่วง ได้แก่ ช่วงก่อนการเปลี่ยนเฟส (-40 ถึง -9 องศาเซลเซียส) ช่วงเปลี่ยนเฟส (-9 ถึง -4 องศาเซลเซียส) และช่วงหลังการเปลี่ยนเฟส (4 ถึง 80 องศาเซลเซียส) โดยแต่ละช่วง จะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความจุความร้อนจำเพาะที่แตกต่างกัน (จรรยา, 2552) ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนจำเพาะและอุณหภูมิของเนื้อปลาทุ่น้ำพันธุ์ทองแถบ

	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	สมการ
ช่วงก่อนการเปลี่ยนเฟส	-40 ถึง -9	$C_p = 0.007T^2 + 0.501T + 10.401$
ช่วงเปลี่ยนเฟส	-9 ถึง -1	$C_p = 2.537T + 28.648$
	-1 ถึง 4	$C_p = 3.925 + 18.108$
ช่วงหลังการเปลี่ยนเฟส	4 ถึง 80	$C_p = 0.008T + 3.440$

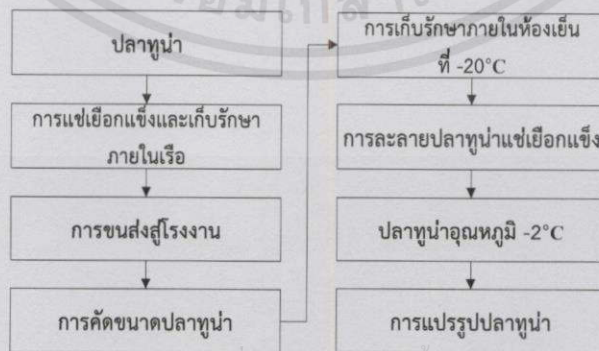
2. ค่าการนำความร้อนของปลาทุ่น้ำพันธุ์ทองแถบ

ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity, k) หมายถึง อัตราการถ่ายเทความร้อนในวัสดุหนา 1 หน่วยที่อุณหภูมิต่างกัน 1 หน่วย มีหน่วยเป็น $\text{W/m}\cdot\text{K}$ โดยค่าการนำความร้อนในเนื้อปลาทุ่น้ำพันธุ์ทองแถบที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ จะมีความสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน (จรรยา, 2552) ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อนและอุณหภูมิของเนื้อปลาทุ่น้ำพันธุ์ทองแถบ

ช่วงอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	สมการ
-21 ถึง -4	$k = -0.0082315T + 1.372261$
-4 ถึง 10	$k = 0.015172T^2 - 0.16642T + 0.477163$
10 ถึง 40	$k = 0.0051T + 0.28$

2.3 ขั้นตอนการผลิตปลาทุ่น้ำเพื่อการแปรรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลนี้โดยไม่ได้รับอนุญาต

รูปที่ 2.9 แผนผังกระบวนการละลายปลาทุ่น้ำแช่เยือกแข็งทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลาทูน่าเมื่อจับจากทะเลจะนำไปแช่เยือกแข็งแบบจุ่ม (Immersion freezing) ภายในถังพักใต้ห้องเรือดังรูป 2.10 เพื่อรักษาความสดของปลา โดยกระบวนการรักษาความสดของปลาทูน่าภายในเรือประมงทำด้วยการใช้น้ำเกลือเข้มข้น ในการผสมน้ำและเกลือจะต้องได้สัดส่วนมาตรฐานของขนาดความเข้มข้นในการน้ำเกลือเข้มข้น ซึ่งเรือประมงมีปริมาตรความจุในการทำน้ำเกลือเข้มข้นประมาณ 60 ลูกบาศก์เมตร ตามสัดส่วนจะใช้น้ำเกลือ 29 กิโลกรัมต่อน้ำจืด 100 กิโลกรัม ซึ่งสามารถทำให้อุณหภูมิลดต่ำลงถึง -17 ถึง -21.2 องศาเซลเซียส และยังคงสถานะเป็นของเหลว โดยให้ปลาทุกตัวจมอยู่ใต้น้ำเกลือเข้มข้น 1 คืน เพื่อให้อุณหภูมิของปลาทูน่าเท่ากัน ให้อุณหภูมิทั่วทั้งตัวปลาได้ -10 องศาเซลเซียส และคงอุณหภูมิที่ -10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน การแช่ในน้ำเกลือทำให้ปลาแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็ว (จเร และคณะ. 2554)



รูปที่ 2.10 การแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษาปลาทูน่าภายในเรือ
(ที่มา: Greenpeace. 2013)

เมื่อเรือเทียบท่าปลาทูน่าแช่เยือกแข็งจะถูกบรรจุลงภายในถังแล้วขนส่งมายังโรงงาน เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการคัดขนาดโดยวิธีการชั่งน้ำหนักและบรรจุลงถังสำหรับละลายปลาทูน่า แล้วนำไปเก็บรักษาภายในห้องเย็นเพื่อรอเข้าสู่กระบวนการละลายซึ่งการละลายจะนำถังสองชั้น ปล่อน้ำเพื่อละลายปลาเข้าสู่ด้านบนของถังละลาย แล้วจึงนำปลาที่ผ่านการละลายเข้าสู่การแปรรูปต่อไป

2.4 การละลายอาหารแช่เยือกแข็ง

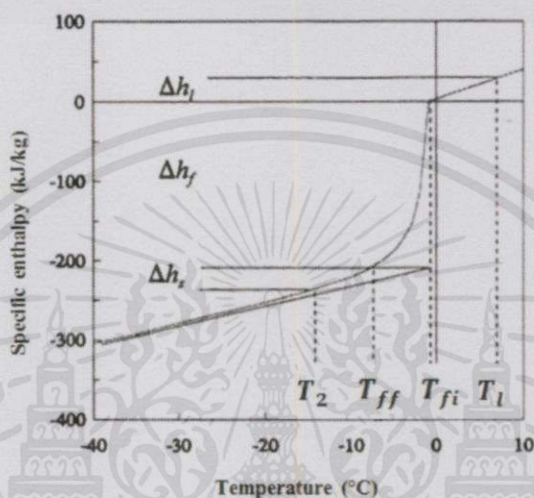
การละลายอาหารแช่เยือกแข็ง หมายถึง การให้ความร้อนแก่อาหารแช่เยือกแข็ง เพื่อให้ให้น้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ละลายอาหารแช่เยือกแข็งเกิดการละลายได้เมื่อน้ำแข็งเกิดการหลอมเหลวจากการให้พลังงานแก่ผลิตภัณฑ์ เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเอนทัลปีจำเพาะ (Specific enthalpy) หรือ ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าหรือออกจากระบบในกระบวนการที่ความดันคงที่กับอุณหภูมิเปลี่ยนไป พบว่า การละลายเป็นการดูดกลืนพลังงาน ค่าเอนทัลปีจำเพาะเพิ่มขึ้น ดังรูป 2.11 พบว่า น้ำบริสุทธิ์มีเส้นกราฟค่อนข้างคงที่ ในขณะที่ตัวอย่างปลา มีเส้นกราฟการละลายไม่คงที่เนื่องจากมีส่วนประกอบอื่นนอกจากน้ำ เช่น โปรตีน ไขมัน และส่วนประกอบอื่นๆ

ในกระบวนการละลายอาหารแช่แข็งตั้งแต่อุณหภูมิที่ทำการแช่แข็งจนกระทั่งถึงอุณหภูมิหลอมเหลว แบ่งกระบวนการได้ 3 ระยะ ดังรูป 2.12

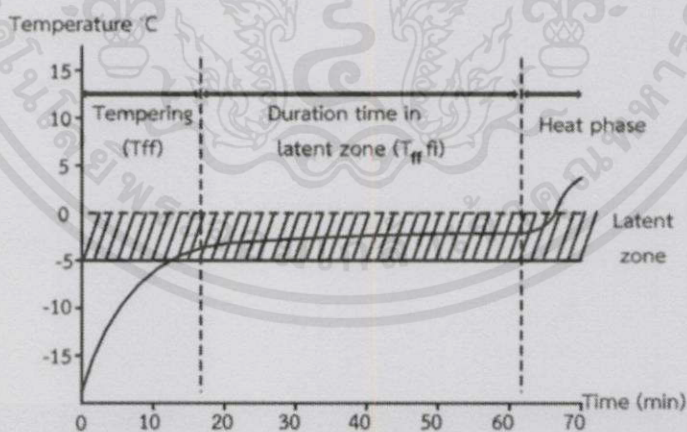
ระยะที่ 1 เรียกว่า Tempering phase ($T < T_m$) พลังงานความร้อนที่ให้คือ Δh_s ทำให้อุณหภูมิในอาหารแช่แข็งเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเกิดการหลอมเหลวของน้ำแข็งภายในอาหาร ระยะนี้ค่อนข้างสั้น ค่าความจุความร้อนจำเพาะต่ำ และค่าการนำความร้อนสูง

ระยะที่ 2 เรียกว่า Latent zone phase ($T_m < T < T_n$) น้ำแข็งเกิดการหลอมเหลว เนื่องจากพลังงานความร้อนที่เพิ่มให้ คือ Δh_f โดยอุณหภูมิของอาหารในระยะนี้ค่อนข้างคงที่จนกระทั่งถึงจุด T_n ซึ่งเป็นอุณหภูมิเยือกแข็งของอาหารหรือเรียกว่า Freezing point

ระยะที่ 3 เรียกว่า Heating phase ($T > T_n$) เป็นระยะหลังจากน้ำแข็งละลายหมด ในระยะนี้ค่าความจุความร้อนต่ำ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากพลังงานความร้อนที่เพิ่มให้ คือ Δh_l (เจษฎา และคณะ. 2551)



รูปที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิกับค่าเอนทัลปีจำเพาะที่เปลี่ยนแปลงไป (ที่มา: Haugland, A. 2002)



รูปที่ 2.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ละลายกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป (ที่มา: Haugland, A. 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2.4.1 วิธีกรละลายอาหารแช่เยือกแข็ง

การละลายอาหารแช่เยือกแข็ง สามารถแบ่งออกได้ 2 วิธี การตามลักษณะของกลไกการถ่ายเทความร้อนในระหว่างการละลาย คือ การใช้ตัวกลางถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์และการสร้าง

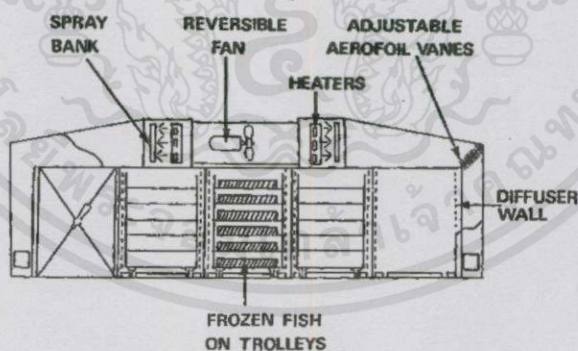
ความร้อนให้เกิดขึ้นภายในผลิตภัณฑ์ (Yaxiang, B. et al. 2011) ในปัจจุบันวิธีการละลายอาหารแช่เยือกแข็งในอุตสาหกรรมการแปรรูปในประเทศไทยส่วนใหญ่ยังใช้การละลายด้วยการใช้ตัวกลางถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ เนื่องจากควบคุมการทำงานง่ายและค่าใช้จ่ายต่ำ เช่น การละลายปลาแช่เยือกแข็งด้วยวิธีการแช่น้ำ การละลายซูริมิแช่เยือกโดยทิ้งไว้ให้เกิดการละลายตามธรรมชาติ ซึ่งมีอัตราการละลายช้า ใช้เวลานาน และใช้พื้นที่มาก สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ นอกจากนี้ยังมีโอกาสเกิดการปนเปื้อนสารพิษเนื่องจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้าช่วย เพื่อเพิ่มอัตราการละลายและลดการสูญเสียคุณภาพของอาหารในระหว่างการละลาย (อุมาพร และคณะ. 2554)

2.4.1.1 การใช้ตัวกลางถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์

เป็นการละลายที่อาศัยตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนสู่ผลิตภัณฑ์ ตัวกลางที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนควรมีอุณหภูมิสูงไม่เกิน 20 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเพิ่มจำนวนของ *Psychrotrophic bacteria* และ *Psychrotropic bacteria* ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (*Mesophilic bacteria*) ซึ่งสามารถทนต่อความเย็นได้ โดยช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 20-30 องศาเซลเซียส และเป็นแบคทีเรียที่สามารถทนอุณหภูมิได้ต่ำถึง -5 องศาเซลเซียส (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานนท์. 2556)

วิธีการใช้ตัวกลางถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ เกิดการละลายบริเวณที่ผิวของผลิตภัณฑ์ก่อน และละลายเข้าไปสู่ภายในเรื่อย ๆ โดยวิธีเหล่านี้เกิดขึ้นได้รวดเร็ว เมื่อความแตกต่างอุณหภูมิของผิวผลิตภัณฑ์และตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนมีมาก และเมื่อผลิตภัณฑ์มีค่าการนำ การแพร่ความร้อนสูง และผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็ก โดยสามารถแบ่ง วิธีการละลายที่เกิดที่ผิวของผลิตภัณฑ์ได้ดังนี้

1. การละลายโดยใช้อากาศนิ่ง (Still air thawing) วิธีการนี้ทำได้โดยวางเพียงวางผลิตภัณฑ์ไว้ในบรรยากาศหรือไว้ในห้องทำความเย็น เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ละลาย แต่เป็นวิธีการที่ใช้ระยะเวลาในการละลายมาก



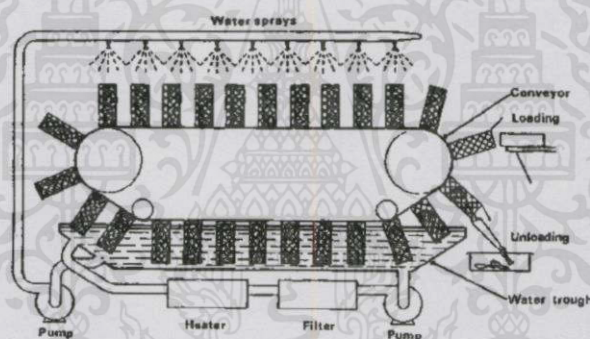
รูปที่ 2.13 หลักการทำงานของเครื่องละลายอาหารแช่เยือกแข็งโดยใช้ลมพ่น
(ที่มา: <http://www.fao.org> สืบค้นวันที่ 18 สิงหาคม 2556)

2. การละลายโดยใช้ลมพ่น (Air blast thawing) เป็นวิธีการที่ใช้ความเร็วของลมพ่นผ่านอาหารแช่เยือกแข็งเพื่อทำการละลายและลมที่ใช้ควรมีความชื้นมากกว่าร้อยละ 90 เพื่อลดการสูญเสียน้ำของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการละลาย ซึ่งวิธีการนี้ผลิตภัณฑ์จะละลายเร็วขึ้นกว่าวิธีการละลายโดยใช้อากาศนิ่ง แต่การใช้ลมที่มีความเร็วสูงเกินไป อาจทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียน้ำหนักและมี

ลักษณะแห่งที่บริเวณผิวของผลิตภัณฑ์ โดยหลักการทำงานของเครื่องละลายอาหารแช่เยือกแข็งโดยใช้น้ำ ดังรูป 2.13

3. การละลายโดยใช้น้ำ (Water thawing) เป็นวิธีการละลายที่นิยมใช้ในระดับกระบวนการอุตสาหกรรม เนื่องจากเหมาะสำหรับละลายอาหารแช่เยือกแข็งในปริมาณที่มากเพื่อเตรียมเข้าสู่กระบวนการผลิต จึงนิยมใช้การละลายน้ำแข็งโดยใช้น้ำ หรือแช่ลงในน้ำ (อุมาพร และคณะ. 2554) ดังรูป 2.14 และเป็นวิธีที่เหมาะสมต่ออุตสาหกรรมการละลายปลาแช่เยือกแข็ง ใช้น้ำอุณหภูมิห้อง ซึ่งยังขาดเขย่น้ำหนักที่สูงสูญเสียไประหว่างการแช่เย็นและการแช่เยือกแข็ง (Beyza, E. et al. 2008)

สำหรับการละลายอาหารชนิดอื่นด้วยวิธีการนี้ ต้องกระทำการด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากน้ำที่ใช้เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนจะเข้าไปภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะทำให้เกิดลักษณะเนื้อคล้ายฟองน้ำ (Sponge) มีผลทำให้คุณภาพเนื้อของผลิตภัณฑ์ต่ำลง เช่น ผลิตภัณฑ์ประเภทเนื้อสัตว์ เนื้อไก่ เนื้อหมู เป็นต้น และยังก่อให้เกิดการสูญเสียผลผลิต (Drip loss) ซึ่งสามารถแก้ไขโดยการบรรจุอาหารแช่เยือกแข็งลงในบรรจุภัณฑ์ก่อนเข้าสู่กระบวนการละลาย อีกทั้งการใช้น้ำซึ่งเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนต้องใช้น้ำในปริมาณมาก เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ นอกจากนั้นคุณภาพของน้ำที่ใช้ในการละลายต้องสะอาดได้มาตรฐาน มิฉะนั้นจะก่อให้เกิดการปนเปื้อนข้าม และเป็นแหล่งกำเนิดของเชื้อจุลินทรีย์



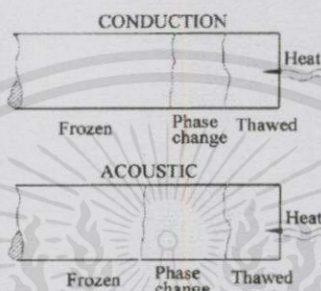
รูปที่ 2.14 หลักการทำงานของเครื่องละลายอาหารแช่เยือกแข็งโดยใช้น้ำ
(ที่มา: <http://www.fao.org> สืบค้นวันที่ 18 สิงหาคม 2556)

4. การละลายด้วยเทคโนโลยีความดันสูง (High pressure thawing) เป็นการให้ความดันสูงแก่อาหารแช่เยือกแข็งภายใต้ของไหล เช่น น้ำ ก๊าซ จุดหลอมเหลวที่ต่ำลงของน้ำแข็งภายใต้ความดันสูงจะก่อให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตัวกลาง และการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น จึงทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ (Heat flux) เพิ่มขึ้น (Jocelyn, R. et al. 2002) อย่างไรก็ตามการละลายด้วยเทคโนโลยีแรงดันสูงมีต้นทุนพลังงานสำหรับการสร้างสถานะแรงดันสูงที่สูงมาก เทคโนโลยีการละลายดังกล่าวจึงไม่เป็นที่นิยมใช้กันในระดับอุตสาหกรรม แม้ว่าจะให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่าการละลายด้วยวิธีการอื่น ๆ (อุมาพร และคณะ. 2554)

2.4.1.2 การสร้างความร้อนให้เกิดขึ้นภายในผลิตภัณฑ์

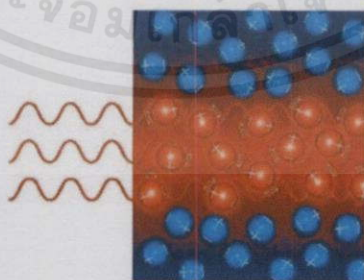
วิธีการสร้างความร้อนให้เกิดขึ้นภายในผลิตภัณฑ์เป็นวิธีค่อนข้างดี ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการละลายอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการใช้ตัวกลางถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ สามารถแบ่งวิธีการละลายที่เกิดขึ้นภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์ได้ดังนี้

1. การละลายด้วยเทคโนโลยีคลื่นความถี่ (Acoustic/Ultrasonic thawing) อุลตราโซนิค (Ultrasonic) เป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะได้ยินมีความถี่สูงเกินกว่า 20 กิโลเฮิร์ตซ์ขึ้นไป สมบัติเด่นของคลื่นย่านอัลตราโซนิค คือ เป็นคลื่นที่มีทิศทาง ทำให้สามารถกำหนดคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจงไม่มีการเลี้ยวเบนที่ขอบ ฟุ้งออกมาเป็นลำแคบ ๆ หรือที่เรียกว่า มิกซ์ทาง (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา. 2556) จึงมีการนำคลื่นเสียงมาใช้ร่วมกับการละลายด้วยน้ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการละลาย โดยคลื่นเสียงสามารถช่วยเร่งอัตราการเปลี่ยนเฟสของผลึกน้ำแข็งและการถ่ายเทความร้อนจากภายในเนื้ออาหารแช่เยือกแข็ง ดังรูป 2.15



รูปที่ 2.15 การละลายของน้ำแข็งในอาหารด้วยวิธีการแช่ในน้ำและการละลายด้วยคลื่นเสียง (ที่มา: Bing, L. et al. 2002)

การประยุกต์คลื่นเสียงมาใช้ในการละลายอาหารแช่เยือกแข็งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการละลาย เนื่องจากคลื่นเสียงจะช่วยกระตุ้นการเปลี่ยนสถานะของผลึกน้ำแข็งภายในวัสดุอาหารแช่เยือกแข็งได้ดีกว่าการละลายโดยกลไกการถ่ายเทความร้อนแบบให้ความร้อนจากภายนอก โดยคลื่นเสียงจะเร่งการสั่นสะเทือนของผลึกน้ำแข็งให้เกิดการเสียดสีกันและเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวทันที สามารถลดปรากฏการณ์การรวมตัวของผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ หรือการตกผลึกใหม่ (Recrystallization) ซึ่งการเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวจะส่งผลเสียต่อโครงสร้างเซลล์อาหารหรือการสูญเสียน้ำหนักของอาหารระหว่างการแช่เยือกแข็ง



รูปที่ 2.16 การเกิดความร้อนในเนื้อวัสดุจากการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก

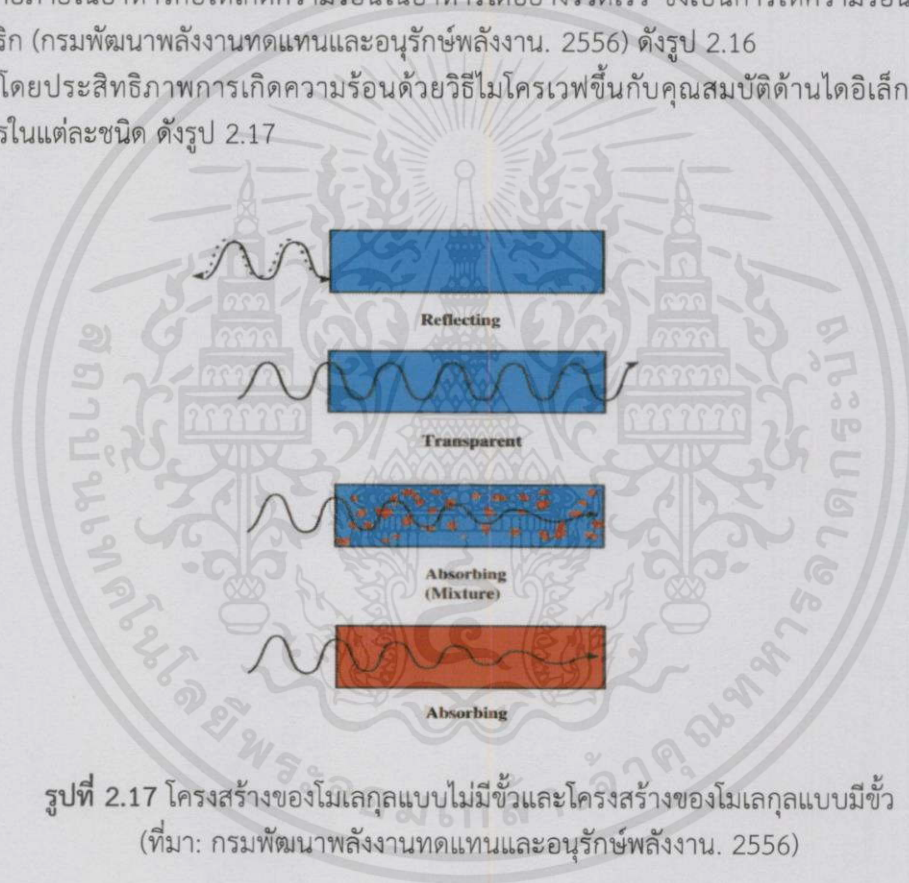
(ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การละลายด้วยเทคโนโลยีคลื่นไมโครเวฟ (Microwave thawing) คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ระหว่าง 300 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 300 จิกะเฮิรตซ์ ปัจจุบันได้กำหนดความถี่ของคลื่นไมโครเวฟสำหรับกระบวนการให้ความร้อนไว้ที่ 2 ระดับความถี่ คือ 915 ± 13 เมกะเฮิรตซ์ และ $2,450 \pm 50$ เมกะเฮิรตซ์

การเกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟประกอบด้วยกระบวนการเหนี่ยวนำเชิงไอออน (Ionic conduction) และกลไกชนิดการหมุนของทั้งสองขั้ว (Dipolar rotation) ซึ่งค่าความร้อนที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟเหนี่ยวนำให้โมเลกุลของน้ำภายในอาหารและเกิดการหมุน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขั้วไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว (อุมาพร และคณะ. 2554) ขั้วไฟฟ้าที่เป็นขั้วบวกและขั้วลบพยายามเรียงตัวตามทิศทางของสนามคลื่นที่ส่งผ่านเข้ามาทำให้เกิดการเสียดสีกันของโมเลกุลเกิดเป็นความร้อนกระจายภายในอาหารก่อให้เกิดความร้อนในอาหารได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556) ดังรูป 2.16

โดยประสิทธิภาพการเกิดความร้อนด้วยวิธีไมโครเวฟขึ้นกับคุณสมบัติด้านไดอิเล็กทริกของอาหารในแต่ละชนิด ดังรูป 2.17

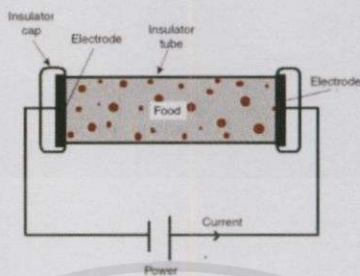


รูปที่ 2.17 โครงสร้างของโมเลกุลแบบไม่มีขั้วและโครงสร้างของโมเลกุลแบบมีขั้ว (ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

การใช้คลื่นไมโครเวฟจะช่วยเร่งอัตราการละลายได้ดี จึงใช้เวลาในการละลายที่น้อยกว่าวิธีการละลายที่เกิดที่ผิวของผลิตภัณฑ์ ไม่ต้องใช้ตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน และใช้พื้นที่ในการละลายน้อย สามารถลดการสูญเสียด้านคุณภาพ และการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างกระบวนการละลายได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม การละลายอาหารแช่เยือกแข็งด้วยคลื่นไมโครเวฟมีความเหมาะสมกับชิ้นอาหารที่มีขนาดเล็ก ไม่เหมาะสมกับชิ้นอาหารที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากความสามารถในการแทรกผ่านของคลื่นไมโครเวฟมีความลึกที่จำกัด (Penetration depth) และความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิในเนื้ออาหาร

3. การละลายด้วยเทคโนโลยีโอห์มมิก (Ohmic thawing) เทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก เป็นการสร้างความร้อนจากการต้านทานการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าภายใน โดยปล่อย

กระแสไฟฟ้าผ่านโลหะที่เป็นขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองข้างผ่านเข้าสู่อาหารแช่เยือกแข็ง ดังรูป 2.18 กระแสไฟฟ้าจะกระตุ้นการเปลี่ยนสถานะของผลึกน้ำแข็งให้เป็นของเหลวอย่างรวดเร็ว มีอัตราการละลายที่รวดเร็ว (Filiz, I. et al. 2010)



รูปที่ 2.18 การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก

(ที่มา: <http://foodpathshala.ning.com> สืบค้นวันที่ 25 สิงหาคม 2556)

ซึ่งวิธีการละลายด้วยเทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูง และจำเป็นต้องสัมผัสกับอาหารแช่เยือกแข็งโดยตรง จึงไม่เหมาะกับการละลายผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเพียงการละลายโดยใช้น้ำ เนื่องจากต้องการศึกษาปัญหาและแนวทางการลดระยะเวลาในการละลายปลาหมึกในปัจจุบัน

2.5 การถ่ายเทความร้อนในกระบวนการละลายโดยใช้น้ำ (Heat transfer in water thawing)

การถ่ายเทความร้อน คือ การถ่ายเทพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ในกระบวนการละลายโดยใช้น้ำจะมีกลไกถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้น 2 แบบคือ

1. การพาความร้อน (Convection) คือ การถ่ายเทความร้อนระหว่างของแข็งกับของไหลที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ซึ่งอัตราในการพาความร้อนจะขึ้นกับตัวแปรต่างๆ ได้แก่ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, พื้นที่ผิวของวัตถุสัมผัสกับของไหลและ ความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลกับอุณหภูมิของวัสดุ โดยการพาความร้อนสามารถจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การพาความร้อนแบบอิสระ (Free convection) และการพาความร้อนแบบบังคับ (Force convection)

2. การนำความร้อน (Conduction) คือ การถ่ายเทความร้อนที่มีอนุภาคของของแข็งเป็นตัวกลาง โดยอัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำจะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ ได้แก่ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน, พื้นที่ผิวที่มีการถ่ายเทความร้อน และอัตราส่วนระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงของระยะทาง โดยการถ่ายเทความร้อนภายในกระบวนการละลายสามารถอธิบายได้จากสมมูลพลังงานระหว่างการพาความร้อน (กฎการเย็นตัวของนิวตัน, Newton's law of cooling) ดังสมการที่ (2.1) จากน้ำเย็นเข้าสู่ผิวของตัวปลา ซึ่งมีค่าเท่ากับการนำความร้อนดังสมการที่ (2.2) (กฎการนำความร้อนของฟูเรียร์, Fourier's of conduction) จากผิวนอกของตัวปลาเข้าสู่เนื้อปลา

ไม่ว่ากรณีบริเวณกระดุกสันหลัง ดังสมการที่ (2.3) อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q = h_c A_h \Delta T \quad (2.1)$$

$$q = -k A_c (dT/dX) \quad (2.2)$$

$$h_c A_h \Delta T = -k A_c (dT/dX) \quad (2.3)$$

เมื่อ h_c คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (W/m K)

A_h คือ พื้นที่ในการนำความร้อน (m^2)

ΔT คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างสภาพแวดล้อมกับผิวของวัสดุ (K)

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m^2)

A_c คือ พื้นที่ในการนำความร้อน (m^2)

T คือ อุณหภูมิของวัสดุ (K)

X คือ ระยะทางในการนำความร้อน (m)

การพาความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการละลายเป็นการพาความร้อนแบบบังคับ เนื่องจากการไหลของน้ำที่ใช้ในกระบวนการละลายเกิดจากการทำงานของปั๊ม โดยปัจจัยที่มีผลกับอัตราการพาความร้อนและสามารถปรับปรุงได้ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Heat transfer coefficient, h_c) ซึ่งตัวแปรที่ปรับค่าได้ คือ ความเร็วของของไหล เมื่อความเร็วของไหลเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าเรย์โนลด์ที่แปรผันตรงกับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น (สุนันท์ ศรีณนิตย. 2545) จากการทดลองละลายเนื้อหมูโดยใช้น้ำเย็นของ Michael, L. et al. (2007) พบว่า เมื่อค่าความเร็วของน้ำที่ใช้ในการละลายมีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และสำหรับการนำความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการละลายจะขึ้นอยู่กับค่าการนำความร้อน ซึ่งมีการคำนวณจากสมบัติทางเคมีของอาหาร ดังนั้นจึงยากต่อการปรับแต่ง

2.6 จุลินทรีย์กับการละลาย

ในระหว่างการละลายอาหารมีแนวโน้มที่จะเกิดการเสื่อมเสียอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาทางเคมี ภายภาพ และจุลินทรีย์ ฉะนั้นอาจกล่าวได้ว่า กระบวนการละลายเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดความเสียหายได้มากกว่ากระบวนการแช่แข็ง ดังนั้นการละลายที่ใช้เวลานาน โดยทั่วไปจะให้อาหารที่มีคุณภาพดีกว่า การใช้เวลานาน การละลายจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่มีผลเสีย คือ

1. การเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ที่ใหญ่ขึ้น (Recrystallization) ซึ่งสามารถทำลายเนื้อเยื่อโครงสร้างและเนื้อเยื่อสัมผัสของอาหาร

2. การเกิดปฏิกิริยาเคมีในอัตราที่สูงอย่างรวดเร็ว มีผลเสียต่อสี กลิ่น รสและคุณภาพทางอาหาร

3. มีผลให้เกิดการปรับตัวและเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิด โดยเฉพาะหากเวลาในการละลายนั้นนาน อย่างไรก็ตามในเรื่องของการอยู่รอดของจุลินทรีย์นี้เกิดขึ้นกับปัจจัยหลายประการ คือ ชนิดของจุลินทรีย์ ความเร็ว และอุณหภูมิในการแช่แข็ง องค์ประกอบของอาหารที่อาจปกป้องการทำลายเซลล์จุลินทรีย์โดยผลึกน้ำแข็ง ความเร็ว และอุณหภูมิในการละลายน้ำแข็ง ดังนั้น ในรายงานทางวิชาการ พบว่า การที่ทิ้งให้อาหารละลายอย่างช้าๆ ทำให้จุลินทรีย์บางชนิดเกิดขึ้นได้

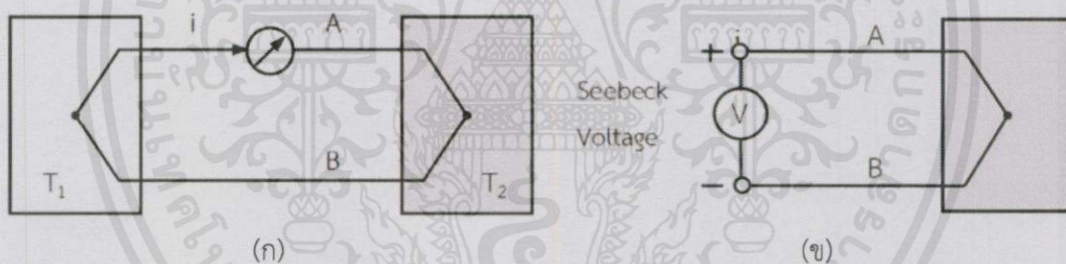
อัตราการละลายอาหารแช่แข็งช้าหรือเร็ว มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์โดยการละลายอาหารแช่แข็งอย่างรวดเร็วจะเป็นการควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเจริญของเชื้อก่อโรค แต่ถ้าอาหารถูกละลายอย่างช้าๆ อุณหภูมิบนผิวหน้าของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำ

ให้จุลินทรีย์เจริญได้แม้ว่าบริเวณภายในของอาหารจะยังคงเป็นน้ำแข็งอยู่ ดังนั้นการทำให้อาหารแช่แข็งละลายอย่างรวดเร็วเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียน้อยกว่าการทำให้อาหารละลายอย่างช้าๆ (วรภรณ์ และคณะ. 2555)

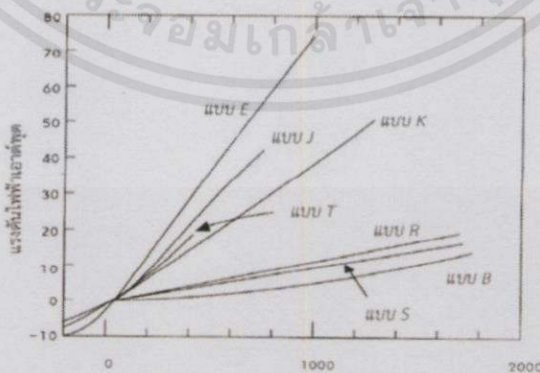
2.7 อุปกรณ์และเครื่องมือในการวัดอุณหภูมิ

เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) เป็นทรานสดิวเซอร์วัดอุณหภูมิที่ทำงานโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้าในรูปของแรงดันไฟฟ้า และจัดเป็นทรานสดิวเซอร์เนื่องจากมีคุณสมบัติในการแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า อยู่ในกลุ่มของทรานสดิวเซอร์ประเภทแอคทีฟสามารถกำเนิดแรงดันไฟฟ้าได้เองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างจุดสองจุด โดยไม่จำเป็นต้องกระตุ้นด้วยแหล่งจ่ายพลังงานจากภายนอก เป็นอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูง สามารถใช้งานได้โดยตรงในรูปของเครื่องมือวัดหรือการส่งสัญญาณทางด้านเอาต์พุตให้กับระบบควบคุม

ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องสำคัญที่เกี่ยวข้องกับเทอร์โมคัปเปิล คือ ปรากฏการณ์ซีเบ็ค (Seebeck effect) เกิดจากการนำโลหะตัวนำต่างชนิดกันสองตัว เช่น บิสมัทกับทองแดงมาเชื่อมปลายเข้าด้วยกัน แล้วให้ความร้อนที่จุดต่อด้านหนึ่ง ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรของเส้นลวดดังรูป 2.19 (ก) ค่าของกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง และเมื่อเป็นวงจรเปิดจะเกิดแรงดันไฟฟ้าที่เรียกว่า แรงดันซีเบ็ค (Seebeck voltage) ดังรูป 2.19 (ข)



รูปที่ 2.19 (ก) และ (ข) วงจรการเกิดปรากฏการณ์ซีเบ็ค



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น" **รูปที่ 2.20** แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานแบบต่างๆ ที่มีการนำไปใช้

เทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน (Standard thermocouple) หมายถึง เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ที่ผู้ผลิตทุกรายกำหนดส่วนผสมของคู่สายเทอร์โมคัปเปิลเป็นมาตรฐานเหมือนกัน สามารถใช้ตารางเทียบมาตรฐานที่หาได้ทั่วไป

สำหรับเทอร์โมคัปเปิลแบบ non-standard หมายถึง เทอร์โมคัปเปิลที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้เฉพาะงานมีคุณสมบัติเฉพาะแตกต่างไปจากแบบมาตรฐาน ตารางการสอบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจะจัดทำมาให้กับเทอร์โมคัปเปิลตัวนั้น ซึ่งต้องเก็บรักษาตารางสอบเทียบอย่างดี

เทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานมี 7 แบบ ได้แก่ เทอร์โมคัปเปิลแบบ S R B J K T และ E สามารถพิจารณาชนิดของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานจากชนิดของโลหะตัวนำที่ทำเป็นเทอร์โมคัปเปิล แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานทั้ง 7 แบบ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังรูป 2.20

ตารางที่ 2.3 ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานแบบต่าง ๆ

มาตรฐาน	ชนิดของวัสดุตัวนำ
Type K	Nickel Chromium/Nickel Aluminium
Type J	Iron/Constantan
Type T	Copper/Constantan
Type E	Nickel Chromium/Constantan
Type N	Nicrosil/Nisil
Type R	Platinum 13%/Rhodium
Type S	Platinum 10%/Rhodium
Type B	Platinum 30%/Rhodium
	*** Constantan: copper 60% + Nickel 40%

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างย่านการใช้งาน และคุณลักษณะของเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน

ชนิดเทอร์โมคัปเปิล	ย่านอุณหภูมิใช้งาน (°ซ)	ย่านอุณหภูมิ (°ซ)	ค่าความผิดพลาด (°ซ)	ค่าความไวสูงสุด (โดยประมาณ) ($\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$)
R	-50 ถึง 1768.1	-50.0 ถึง 250.0 250.0 ถึง 1200.0 1064.0 ถึง 1664.5 1664.5 ถึง 1768.1	-0.02 ถึง 0.02 -0.005 ถึง 0.005 -0.0005 ถึง 0.001 -0.001 ถึง 0.002	6
J	-210 ถึง 1200	-210.0 ถึง 0.0 0.0 ถึง 760.0 760.0 ถึง 1200.0	-0.05 ถึง 0.03 -0.04 ถึง 0.04 -0.04 ถึง 0.03	50
K	-270 ถึง 1372	-270.0 ถึง 0.0 0.0 ถึง 500.0 500.0 ถึง 1372.0	-0.02 ถึง 0.04 -0.05 ถึง 0.04 -0.05 ถึง 0.06	50
T	-270 ถึง 400	-200.0 ถึง 0.0 0.0 ถึง 400.0	-0.02 ถึง 0.04 -0.03 ถึง 0.03	60

(ที่มา: NIST-ITS 90 srdata.nist.gov/its90/main/ สืบค้นวันที่ 23 มีนาคม 2557)

เทอร์โมคัปเปิลแบบ K เป็นเทอร์โมคัปเปิลชนิดที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุด สามารถวัดอุณหภูมิได้สูงกว่าแบบ J และมีราคาถูกกว่า ทนอุณหภูมิได้ถึง 1300 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิต่ำถึง -250 องศาเซลเซียส มีค่าความเป็นเชิงเส้นสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมคัปเปิลชนิดอื่น ให้แรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตสูง (ให้อัตราการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าต่ออุณหภูมิดีกว่าแบบอื่นหรือมีค่าความชันใกล้ 1) สามารถใช้กับงานที่มีการแผ่รังสีความร้อน (Thermal radiation) ได้ ไม่เหมาะกับการใช้งานในสภาวะสุญญากาศ (ยกเว้นการใช้งานในช่วงเวลาสั้น)

เทอร์โมคัปเปิลแบบ T เหมาะสำหรับการวัดอุณหภูมิในย่านต่ำ เช่น การวัดอุณหภูมิในห้องเย็น (Cold storage) และตู้แช่แข็ง (Freezer) มีเสถียรภาพในการวัดที่ดี สามารถทนต่อบรรยากาศที่มีการกัดกร่อนและมีความชื้นได้ดี ไม่เหมาะกับการใช้งานที่ต้องสัมผัสกับการแผ่รังสีความร้อนโดยตรง (นวกัทรพ. 2555)

2.8 วัสดุที่ใช้ในการออกแบบ

วัสดุที่นำมาใช้ในการทำถังละลายจะต้องเป็นวัสดุที่สามารถสัมผัสกับอาหารได้ โดยทั่วไปจะใช้สแตนเลส 304 ดังรูป 2.21 หรือ 316 ซึ่งเป็นโลหะผสม (Alloy) ที่นิยมใช้เพื่อเป็นวัสดุสร้างเครื่องจักรและอุปกรณ์แปรรูปอาหาร (Food processing equipment) เนื่องจากมีความแข็งแรง ทนทาน และทนต่อการกัดกร่อน พื้นผิวที่สัมผัสกับอาหาร (Food contact surface) มีความปลอดภัยและถูกสุขลักษณะทำความสะอาดง่าย เป็นกลาง และไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร

วัสดุที่นำมาทำถังละลายและแผงท่อปล่อยน้ำ จะใช้สแตนเลส 304 เป็นสแตนเลสที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิห้องที่ความดันบรรยากาศ มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.5-8.0 สามารถทนการกัดกร่อนของสารละลายคลอรีนความเข้มข้นไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 2.21 สแตนเลส 304

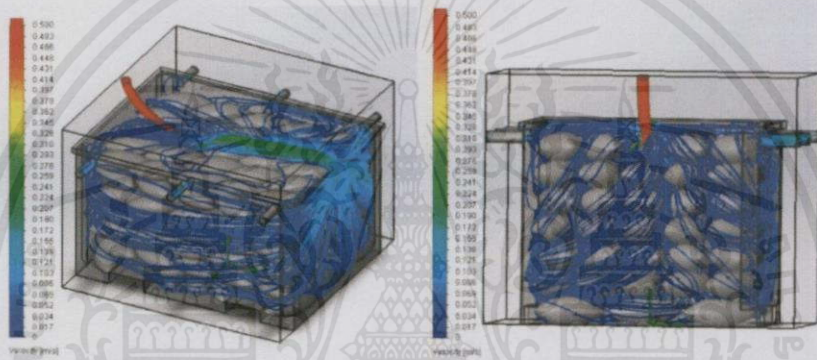
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบถังละลายแบบใหม่

3.1 การวิเคราะห์ถังละลายแบบปัจจุบัน

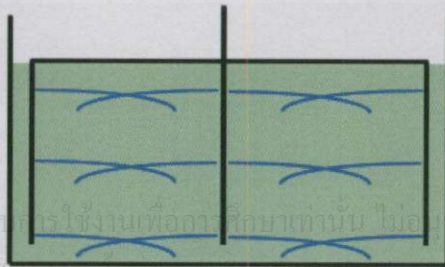
ระบบการละลายในปัจจุบัน เป็นการละลายโดยปล่อยน้ำจากสายยางเข้าสู่บริเวณด้านบนของถังละลาย จากการวิเคราะห์ลักษณะการไหลของน้ำและการกระจายอุณหภูมิภายในถังละลายด้วยโปรแกรมโซลิตเวิร์ค ดังรูป 3.1 พบว่า บริเวณที่ใกล้กับสายยางน้ำจะมีความเร็วสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ ดังนั้นการละลายในปัจจุบันยังคงใช้ระยะเวลาที่นาน ซึ่งส่งผลเสียต่อคุณภาพของปลาที่ผ่านกระบวนการละลาย



รูปที่ 3.1 การจำลองลักษณะการไหลของน้ำภายในถังละลายด้วยโปรแกรมโซลิตเวิร์ค

ระบบการละลายในลักษณะนี้ทำให้ความเร็วของน้ำแต่ละตำแหน่งไม่เท่ากัน โดยสามารถวิเคราะห์ได้ว่าน้ำด้านบนจะมีความเร็วสูง ส่วนน้ำบริเวณด้านล่างจะมีความเร็วต่ำ ซึ่งความเร็วของน้ำจะมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน นอกจากนี้การปล่อยน้ำจากด้านบนลง ทำให้น้ำที่บริเวณด้านล่างมีอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากน้ำได้แลกเปลี่ยนความร้อนกับปลาที่อยู่ด้านบนบางส่วนแล้ว

จากข้อมูลข้างต้น จึงออกแบบถังละลายแบบใหม่จากแนวความคิดเพิ่มการกระจายอุณหภูมิและการเพิ่มความเร็วของน้ำบริเวณด้านล่าง โดยออกแบบแผงปล่อยน้ำใหม่ให้มีรูปล่อยน้ำเพิ่มขึ้น และให้มีลักษณะการปล่อยน้ำ ดังรูป 3.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษานานาชาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

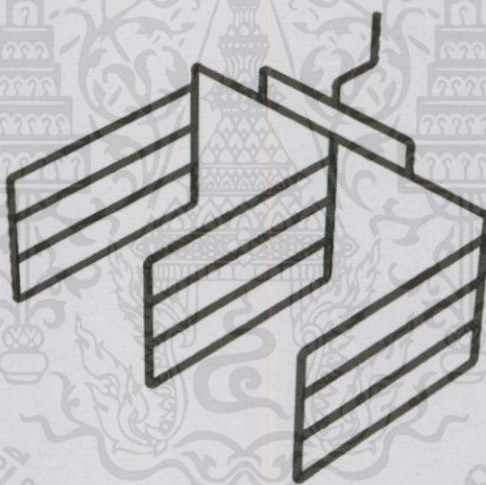
รูปที่ 3.2 ลักษณะการปล่อยน้ำภายในถังละลายที่ออกแบบใหม่

3.2 แนวทางและการออกแบบถังละลาย

การออกแบบถังละลายแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก คือ การออกแบบแผงปล่อยน้ำ ให้เป็นไปตามแนวคิด เพื่อการเพิ่มการกระจายอุณหภูมิและความปั่นป่วนของน้ำภายในถังละลาย ขั้นตอนที่ 2 การหาขนาดและจำนวนของรูปปล่อยน้ำ เป็นการคำนวณเพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และ จำนวนของรูปปล่อยน้ำ ที่ทำให้น้ำไหลออกจากรูด้วยความเร็วเท่ากับสภาวะที่ทำการทดลอง ขั้นตอนที่ 3 คือ การวิเคราะห์ความแข็งแรงของท่อ คือการออกแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนา และวัสดุที่นำมาใช้ทำท่อปล่อยน้ำ เพื่อให้ถังที่ได้ทำการออกแบบใหม่สามารถนำมาใช้ในการปฏิบัติงานได้โดยไม่เกิดความเสียหาย และขั้นตอนที่ 4 คือการติดตั้งแผงปล่อยน้ำ เป็นการนำแผงปล่อยน้ำที่ออกแบบเข้าไปติดตั้งในถังละลายเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

3.2.1 การออกแบบแผงปล่อยน้ำ

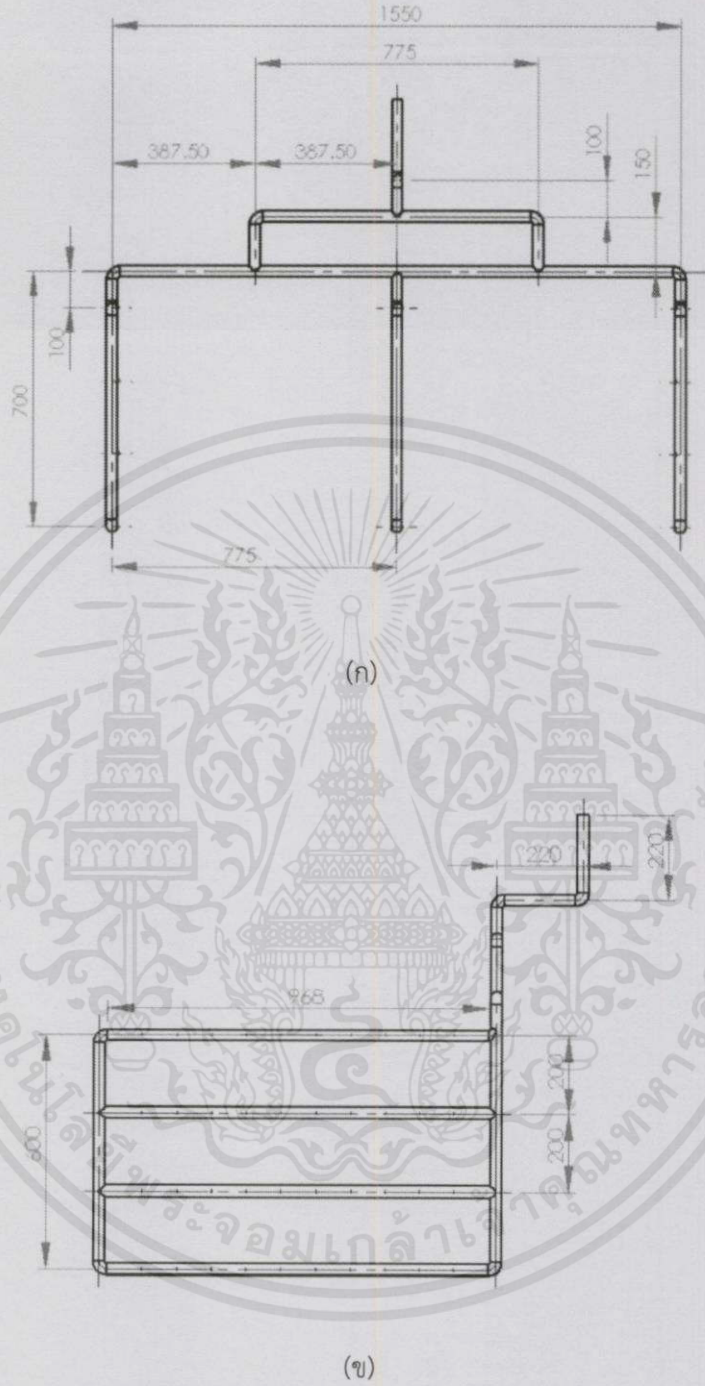
การออกแบบแผงปล่อยน้ำ จะออกแบบให้มีลักษณะเป็นท่อแยกไหล 3 ทาง ซึ่งแต่ละท่อจะต่อกับแผงปล่อยน้ำ ดังรูป 3.3 โดยขนาดของแผงปล่อยน้ำได้ทำการออกแบบให้มีลักษณะดังรูป 3.4 (ก) และ 3.4 (ข) เพื่อให้สามารถใช้ร่วมกับถังละลายขนาด 1.6x1.2x1 ลูกบาศก์เมตร ได้สะดวก



รูปที่ 3.3 แผงปล่อยน้ำของถังละลายแบบใหม่

3.2.2 การหาขนาดและจำนวนรูปปล่อยน้ำ

การหาขนาดรูและจำนวนรูปปล่อยน้ำ ออกแบบจากความเร็วของน้ำที่ออกจากรูของถังละลาย จำลอง จากการคำนวณหาความเร็วของน้ำที่ออกจากรูท่อขนาด 2 มิลลิเมตร จำนวน 60 รู พบว่า น้ำที่ออกจากรูปล่อยน้ำมีความเร็ว 2.65 เมตรต่อวินาที จากการคำนวณอัตราส่วนน้ำที่ใช้การละลายปลา 100 กิโลกรัม อัตราการไหลที่ใช้ เท่ากับ 0.5 ลิตรต่อวินาที ดังนั้นหากต้องการละลายปลาจำนวน 900 กิโลกรัม เมื่อคำนวณตามอัตราส่วนของมวลที่ต้องการละลายจะต้องเพิ่มอัตราการไหลเป็น 4.5 ลิตรต่อวินาที เนื่องจากถังละลายจริงในอุตสาหกรรมมีขนาด 1.6x1.2x1 ลูกบาศก์เมตร จึงกำหนดให้แผงปล่อยน้ำ 3 แผง แผงละ 4 ชั้น แต่ละชั้นมีจำนวนรูปปล่อยน้ำเท่ากับ 40 รู รวมทั้งสิ้น 160 รู



รูปที่ 3.4 (ก) ขนาดของแผงปล่อยน้ำ (Top view)
 (ข) ขนาดของแผงปล่อยน้ำ (Side view)

จากผลการทดลองพบว่าการละลายในถังแบบใหม่โดยใช้อัตราการใช้เท่ากับ 0.5 ลิตรต่อวินาที สามารถลดระยะเวลาในการละลายได้ 18.24 เปอร์เซ็นต์ ของเวลาที่มากที่สุดในการละลายในถังละลายแบบปัจจุบัน จึงทำการคำนวณเพื่อให้ความเร็วของน้ำมีค่าเท่ากับกับสถานะที่ทำการทดลองโดยใช้สมการ (3.1) และ (3.2) จะได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูปล่อยมีค่าเท่ากับ 0.00367 เมตร

$$n_1 A_1 V_1 = n_2 A_2 V_2 \quad (3.1)$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1 A_1 V_1}{n_2 A_2 V_2} \quad (3.2)$$

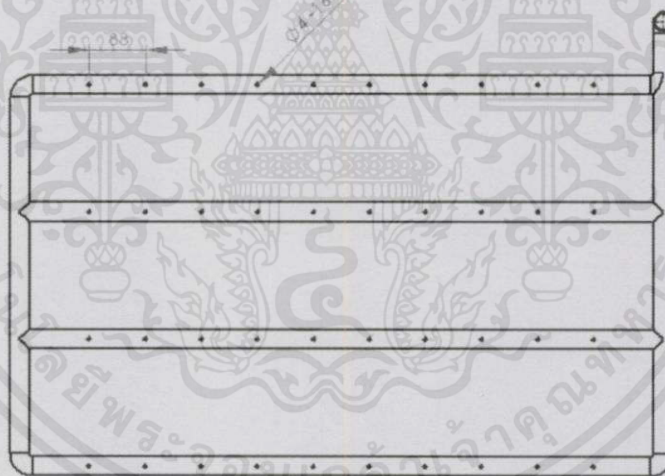
แทนค่า

$$\frac{0.5}{4.5} = \frac{60 \left(\frac{\pi(0.002)^2}{4} \right) (2.65)}{160 \left(\frac{\pi(d_2)^2}{4} \right) (2.65)}$$

$$d_2 = 0.00367 \text{ m}$$

ในทางการปฏิบัติจึงออกแบบให้รูปล่อยน้ำมีขนาด 0.004 เมตร และเพิ่มอัตราการไหลให้มีค่าเท่ากับ 5 ลิตรต่อวินาที นำขนาดรูปล่อยน้ำที่ได้มาหารระยะห่างของรูแต่ละรู โดยวิเคราะห์จากขนาดของโครงสร้างแผงล่อยน้ำ รูปล่อยน้ำมีจำนวนทั้งหมด 160 รู แผงล่อยน้ำมีทั้งหมด 16 ท่อ

ดังนั้นแต่ละท่อจะต้องมีรูปล่อย 10 รูต่อ 1 ท่อ ซึ่งท่อแต่ละท่อมีความยาวเท่ากับ 968 มิลลิเมตร จะได้ว่า ระยะห่างแต่ละรูเท่ากับ 88 มิลลิเมตร ดังรูป 3.5

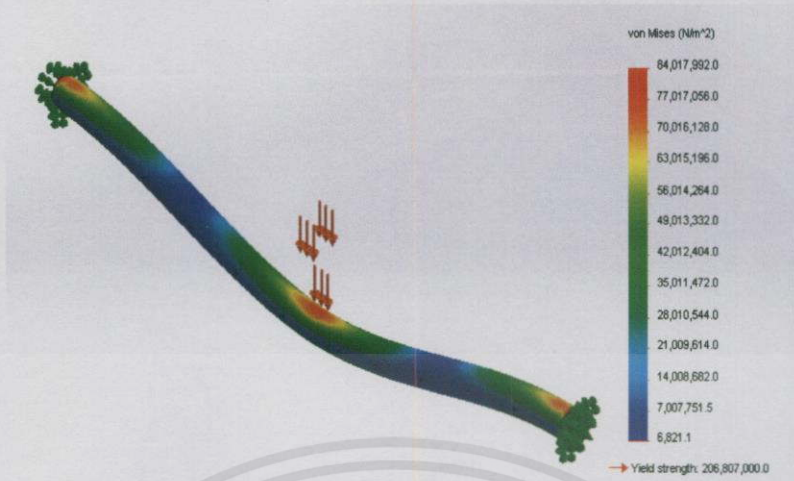


รูปที่ 3.5 ขนาดและระยะห่างของรูปล่อยน้ำ

3.2.3 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของท่อ

สำหรับการวิเคราะห์ความแข็งแรงของท่อ จะใช้โปรแกรมโซลิดเวิร์คซิมูเลชันเพื่อวิเคราะห์ขนาดและความหนาของท่อ โดยมีเงื่อนไขในการวิเคราะห์ 2 แบบ คือ ท่อต้องสามารถรับน้ำหนักของปลาหน้าขนาด 50 กิโลกรัม ซึ่งเป็นขนาดที่ใหญ่ที่สุดได้ และแรงกระทำที่ปลาทำกับท่อเป็นแรงประเภท แรงตกกระทบของวัตถุ (Impact force) ตกกระทบลงบนกึ่งกลางของท่อ

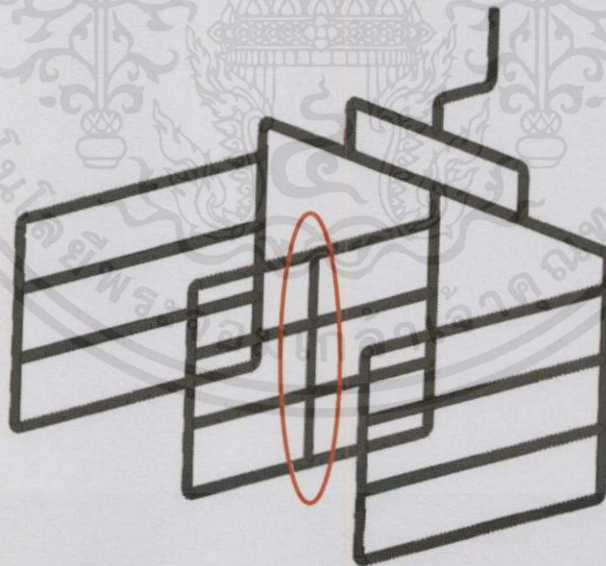
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ มิฉะนั้นผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การวิเคราะห์เพื่อหาความหนาของท่อปล่อยน้ำ

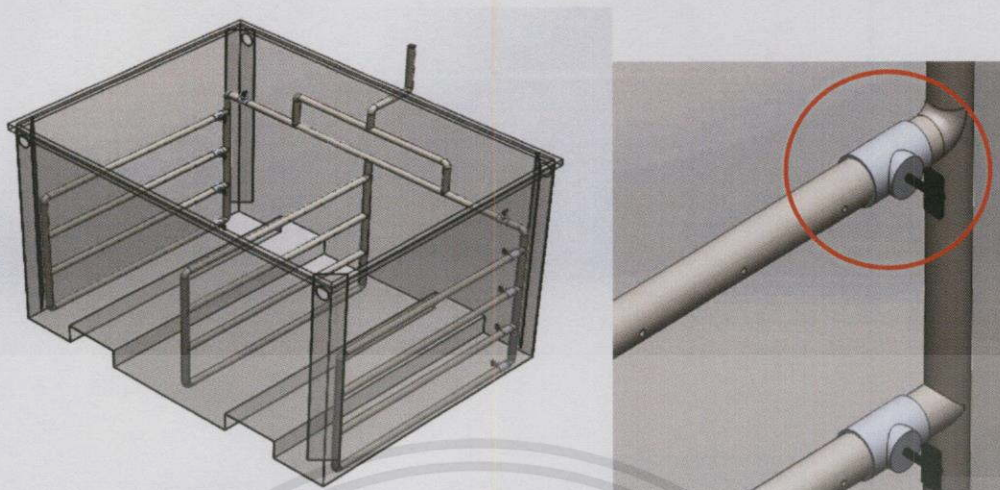
จากการจำลองโดยโปรแกรมโซลิตเวิร์ค พบว่า ท่อสแตนเลส SUS 304 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว หนา 3 มิลลิเมตร สามารถนำมาใช้เพื่อทำท่อปล่อยน้ำได้ โดยมีค่าความปลอดภัย (factor of safety) เท่ากับ 2.46 ดังรูป 3.6

หากต้องการลดขนาดและความหนาของท่อ ทำได้โดยการออกแบบให้บริเวณกึ่งกลางระหว่างท่อมีคานรองรับ เพื่อลดความเค้นที่เกิดจากการโก่งงอของท่อขณะที่มีแรงตกกระทบของวัตถุ ดังรูป 3.7



รูปที่ 3.7 แผงปล่อยน้ำที่มีการเสริมคานเพื่อเพิ่มความแข็งแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
3.2.4 การติดตั้งแผงปล่อยน้ำ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆที่แผงปล่อยน้ำที่ถูกออกแบบจะถูกสวมเข้าทางด้านบนของถังขนาด 1.6x1.2x1 ลูกบาศก์เมตรใช้
 ลักษณะของถังที่ติดตั้งสามารถแสดงได้ดังรูป 3.8



รูปที่ 3.8 ลักษณะการติดตั้งแผงปล่อยน้ำและวาล์วภายในถังละลายแบบใหม่

เนื่องจากแผงปล่อยน้ำถูกออกแบบให้มี 4 ชั้น จึงทำให้น้ำที่ไหลภายในชั้นต่างๆไม่เท่ากัน จึงทำการติดตั้งวาล์วในแต่ละชั้น เพื่อควบคุมอัตราไหลภายในท่อให้ใกล้เคียงกัน การติดตั้งวาล์วจะทำการติดตั้งที่บริเวณที่เชื่อมต่อกับท่อส่งน้ำ ดังรูป 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบประสิทธิภาพของถังละลายที่ทำการออกแบบ

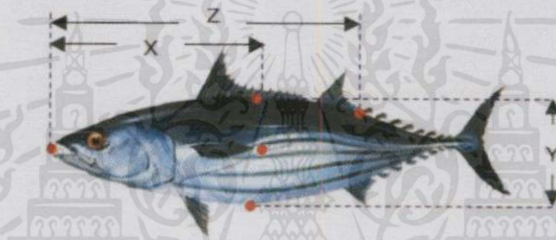
4.1 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1.1 การเตรียมตัวอย่างปลาทุ่นก่อนการละลาย

ใช้ปลาทุ่นพันธุ์ทองแถบ size 02 และ size 61 น้ำหนัก 1.41-1.80 และ 1.81-2.30 กิโลกรัม ตามลำดับ ทั้งสิ้นจำนวน 30 ตัว ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะทำการทดลอง

4.1.1.1 การวัดขนาดและชั่งน้ำหนัก

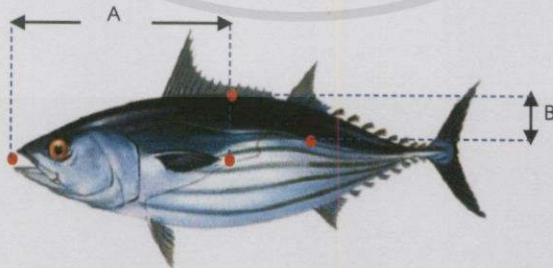
การวัดขนาดกระทำทั้งสิ้น 3 จุด คือ วัดความยาวจากหัวปลาถึงโคนหาง (X) วัดความกว้างจากจุดที่กว้างที่สุดของตัวปลา (Y) และวัดความยาวจากหัวปลาไปจนถึงครีบหลัง (Z) ดังรูป 4.1



รูปที่ 4.1 ตำแหน่งในการวัดขนาด

4.1.1.2 การเสียบเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิ

ทำการเจาะปลาแช่แข็งสำหรับเสียบเทอร์โมคัปเปิล ด้วยสว่านไฟฟ้าขนาดหัวเจาะ 1.6 มิลลิเมตร ดังรูป 4.3 โดยปลา 1 ตัว เจาะรู 2 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ 1 เจาะบริเวณกึ่งกลางตัวปลา จากบริเวณสันปลาจนถึงบริเวณเนื้อติดกระดูก และตำแหน่งที่ 2 เจาะบริเวณผิวข้างตัวปลาพร้อมวัดมุมตรงตำแหน่งที่เจาะ คือ ความยาวจากหัวถึงตำแหน่งที่เจาะ (A) ความกว้างจากครีบหลังลงมาถึงตำแหน่งที่เจาะ (B) และความลึกจากตำแหน่งที่เจาะลงไปเนื้อปลา (C) ดังรูป 4.2



รูปที่ 4.2 ตำแหน่งในการเจาะเพื่อวัดอุณหภูมิปลาทุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



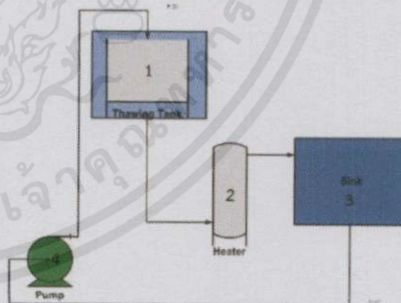
รูปที่ 4.3 การเจาะและการเสียบสายเทอร์โมคัลเปิดเพื่อวัดอุณหภูมิปลาทUNA

4.2 ชุดอุปกรณ์ละลายปลาทUNA

4.2.1 ระบบการละลายปลาทUNA

4.2.1.1 ระบบละลาย

ในการทดลองใช้อุปกรณ์ทั้งหมด 4 ส่วน ได้แก่ ถังละลาย เครื่องทำความร้อน ถังพักน้ำ และปั้มน้ำ ดังรูป 4.4 ซึ่งระบบนี้สามารถควบคุมอัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการละลายได้ โดยการทำงานของระบบที่ใช้ในการทดลอง ปั้มน้ำจะดูดน้ำจากถังพักเข้าสู่ถังละลายบริเวณด้านบนบนสำหรับถังแบบปัจจุบัน และจะถูกปล่อยผ่านแผงปล่อยน้ำสำหรับถังแบบใหม่ และน้ำที่ผ่านการละลายจะไหลจะเข้าสู่กระบอกรวบรวมที่ประกอบด้วยเครื่องทำความร้อน 8500 วัตต์ เพื่อรับความร้อน และเข้าสู่ถังพัก



รูปที่ 4.4 ระบบการละลายที่ใช้ในการทดลอง

4.2.1.2 อุปกรณ์สำหรับวัดการกระจายอุณหภูมิ

วัดการกระจายอุณหภูมิภายในถังละลายปลาทUNA ด้วยการติดเทอร์โมคัลเปิดทั้งหมด 9

ตำแหน่ง โดยแบ่งเป็นการวัด 2 ด้าน คือ ด้านซ้ายและด้านขวา แต่ละด้านแบ่งเป็น 2 ชั้น คือ ชั้นบนและชั้นล่าง แต่ละชั้นมีทั้งหมด 2 แถว คือ แถวหน้าและแถวหลัง และอีกตำแหน่งบริเวณกลางถึงชั้นล่าง

4.2.1.3 อุปกรณ์สำหรับควบคุมอุณหภูมิ

เครื่องทำความร้อน (Heater) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ให้ความร้อนโดยใช้จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดตัวนำงานเกิดความร้อน ซึ่งในระบบการละลายจำลองประกอบด้วยเครื่องทำความร้อนทั้งหมด 8500 วัตต์ โดยจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1. เครื่องทำความร้อนบริเวณทางเข้าถังพัก

การทำงานของเครื่องทำความร้อนส่วนที่ 1 น้ำที่ออกจากถังละลายจะไหลผ่านขดลวดเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน ดังรูป 4.5 (ก) และเข้าสู่ถังพัก

2. เครื่องทำความร้อนที่จุ่มในถังพัก

เครื่องทำความร้อนส่วนนี้จะถูกจุ่มอยู่ในถังพักน้ำ ดังรูป 4.5 (ข) เพื่อช่วยเครื่องทำความร้อนส่วนที่ 1 เนื่องจากความร้อนจากส่วนที่ 1 ไม่เพียงพอต่อการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการละลายต่อไป



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.5 (ก) เครื่องทำความร้อนส่วนที่ 1
(ข) เครื่องทำความร้อนส่วนที่ 2

4.2.2 ชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller)

ชุดควบคุมอุณหภูมิ ดังรูป 4.6 มีไว้เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องทำความร้อน โดยติดตั้งอาร์ทีดีบริเวณปลายท่อหัวจ่ายน้ำ เพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำในระบบ และส่งสัญญาณไปยังชุดควบคุมอัตโนมัติเพื่อสั่งการเครื่องทำความร้อน (Heater)



รูปที่ 4.6 ชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติสำหรับสั่งการเครื่องทำความร้อน

4.3 ขั้นตอนการทดลองละลายพลาสติก

4.3.1 ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์และระบบ

4.3.1.1 เตรียมน้ำสำหรับการละลาย

ปรับน้ำภายในถังพักให้มีอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส โดยควบคุมให้น้ำมีปริมาณ 0.32 ลูกบาศก์เมตร คงที่ตลอดเวลา

4.3.1.2 การจัดวางขวดน้ำและพลาสติกแช่แข็ง

จัดวางขวดขวดน้ำพลาสติก (PET) ขนาด 600 มิลลิเมตร ที่ผ่านการแช่แข็งให้เป็นลักษณะจำนวน 180 ขวด และวางพลาสติกที่เตรียมไว้สำหรับการทดลองจำนวน 3 ตัว บริเวณจุดที่อุณหภูมิของน้ำต่ำที่สุด (Cold point) ดังรูป 4.7



รูปที่ 4.7 การจัดวางขวดน้ำและพลาสติกแช่แข็งภายในถังละลาย

4.3.2 ขั้นตอนการละลายพลาสติก

หลังการเตรียมอุปกรณ์และระบบ ทำการป้อนน้ำจากถังพักที่ควบคุมให้อุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส ดังรูป 4.8 (ก) สำหรับถังละลายใหม่จะทำการเปลี่ยนรูปแบบการป้อนน้ำเข้าสู่ถังละลาย ดังรูป 4.8 (ข) โดยสภาวะที่ทำการทดลอง คือ การละลายด้วยน้ำที่อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อวินาที พร้อมวัดอุณหภูมิภายในถังละลาย (9 ตำแหน่ง) วัดอุณหภูมิพลาสติกจำนวน 3 ตัว ตัวละ 2 จุด คือ บริเวณใจกลางตัวปลา และบริเวณด้านข้างรวมทั้งวัดอุณหภูมิของน้ำภายในพัก



(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.8 (ก) ลักษณะการป้อนน้ำสำหรับถังละลายปัจจุบัน
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอันถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 (ข) ลักษณะการป้อนน้ำสำหรับถังละลายใหม่

ซึ่งระหว่างการทดลองน้ำที่ผ่านการละลายจะมีอุณหภูมิลดต่ำลงจึงใช้เครื่องทำความร้อนปรับอุณหภูมิ โดยการทดลองจะสิ้นสุดเมื่ออุณหภูมิของปลาทุ่นบริเวณจุดที่ช้าที่สุดมีอุณหภูมิลดถึง -2 องศาเซลเซียส



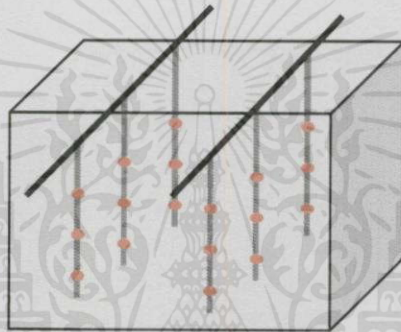
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 การกระจายอุณหภูมิในถังแบบปัจจุบันและแบบใหม่

การกระจายอุณหภูมิของน้ำภายในถังละลายทั้งสองแบบนี้ ประเมินจากการวัดอุณหภูมิทั้งหมด 18 จุด ดังรูป 5.1 ระหว่างที่ทำกรปล่อยน้ำอุณหภูมิห้อง 25–27 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อวินาที เข้าสู่ถังละลายแบบต่าง ๆ ที่บรรจุขวดน้ำแข็งจำนวน 173 ขวด ซึ่งระบบที่ใช้จะมีการวนน้ำที่ออกจากถังละลายมาใช้ใหม่ โดยจะบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำทุก ๆ 10 วินาที และทำการบันทึกเป็นเวลา 15 นาที



รูปที่ 5.1 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิภายในถังละลาย

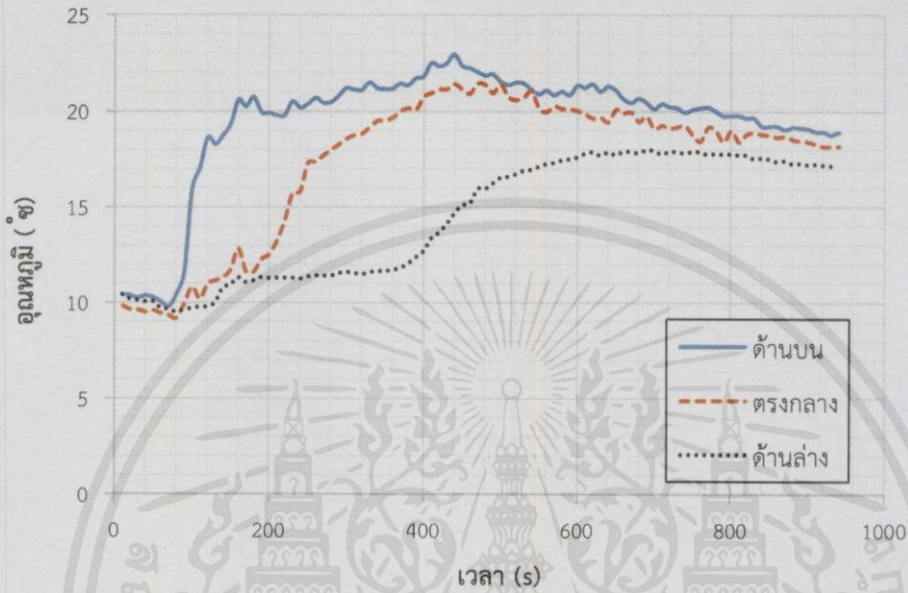
จากรูป 5.2 พบว่า การปล่อยน้ำอุณหภูมิห้องเข้าสู่ถังละลายแบบปัจจุบัน ที่เวลาเดียวกัน อุณหภูมิของน้ำบริเวณด้านบน ตรงกลาง และด้านล่าง จะมีค่าที่แตกต่างกัน โดยในช่วงแรกของการปล่อยน้ำบริเวณด้านบนของถังจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าบริเวณด้านล่าง ซึ่งส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการละลายของแต่ละบริเวณมีความแตกต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพในการละลายของถังแบบปัจจุบันเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอเกิดจุดร้อนช้า (Cold point) คือ บริเวณด้านล่างของถังละลาย

สำหรับการละลายในถังละลายแบบใหม่ ดังรูป 5.2 พบว่า การปล่อยน้ำอุณหภูมิห้องเข้าสู่ถังละลายแบบใหม่ ที่เวลาเดียวกัน แต่ละบริเวณของถังจะมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกันมากกว่าการละลายในถังแบบปัจจุบัน ซึ่งส่งผลให้การละลายมีความสม่ำเสมอมากกว่าถังแบบปัจจุบัน เนื่องจากการปล่อยน้ำแบบทั่วถึงกันทั้งถัง

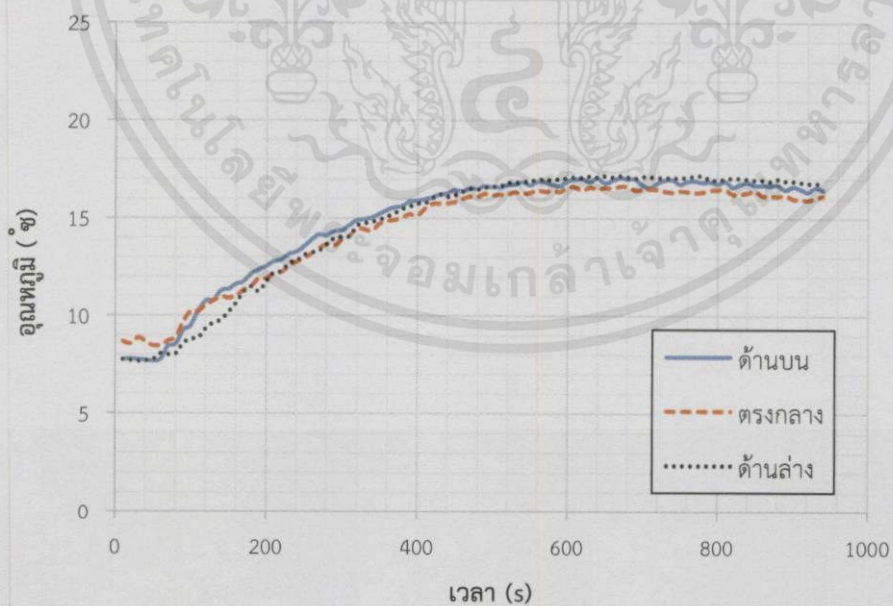
5.2 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและเวลาที่ใช้ในการละลายปลาหุณา

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) ของการละลายปลาหุณาแช่แข็งระหว่างกระบวนการละลาย ได้จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิของปลาหุณาที่วัดได้จากการทดลองกับอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณ เมื่อเวลาเปลี่ยนไป โดยใช้แบบจำลองทำนายอุณหภูมิบริเวณเนื้อติดกระดูกระหว่างกระบวนการละลาย ซึ่งพัฒนาโดย ทิมพ์เพ็ญและคณะ (2554) ซึ่งในการคำนวณโดยการใช้แบบจำลองจะต้องป้อนค่าตัวแปรดังนี้ น้ำหนักของปลาหุณา (กิโลกรัม) ความยาวของตัวปลา (เซนติเมตร) สัมประสิทธิ์การพา

ความร้อนที่คาดเดา (W/m^2K) ระยะเรเดียที่ทำการวัดอุณหภูมิ (เซนติเมตร) ระยะจากหัวจนถึงหลังคريب (Y) (เซนติเมตร) ความยาวจากหัวจนถึงกลางลำตัว (เซนติเมตร) อุณหภูมิเริ่มต้นของเนื้อบริเวณเนื้อติดกระดูก (องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิของน้ำที่บริเวณใกล้ตัวปลาระหว่างกระบวนการละลาย (องศาเซลเซียส)



รูปที่ 5.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาเมื่อทำการปล่อยน้ำอุณหภูมิห้องลงในถังละลายแบบปัจจุบันที่บรรจุขวดน้ำแข็ง



เอกสารนี้รูปที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาเมื่อทำการปล่อยน้ำอุณหภูมิห้องลงในถังละลายแบบใหม่ที่บรรจุขวดน้ำแข็ง

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ทำนายได้จะต้องให้ผลต่างของอุณหภูมิที่ได้จากการทดลอง และการคำนวณมีแตกต่างกันน้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยประเมินค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ทำนาย มีค่า Standard Error Mean (SE) ของอุณหภูมิต่ำกว่า 1.5 องศาเซลเซียสทั้งสองตำแหน่ง (จเรและคณะ. 2554)

$$SE(\text{Std. Error Mean}) = \sqrt{\sum_{n=1}^n \frac{(T_{\text{predict}} - T_{\text{experiment}})^2}{n}} \quad (5.1)$$

เมื่อ T_{predict} คือ อุณหภูมิภายในเนื้อปลาที่ได้จากการคำนวณที่เวลาใด ๆ (องศาเซลเซียส)
 $T_{\text{experiment}}$ คือ อุณหภูมิภายในเนื้อปลาที่ผ่านการทดลองที่เวลาใด ๆ (องศาเซลเซียส)
 n คือ จำนวนข้อมูล

จากผลการทดลองทำการละลายในถังแบบปัจจุบันและถังแบบใหม่ โดยวางตัวอย่างปลาทูน่าที่ตำแหน่งเดียวกัน และทำการควบคุมอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการละลายมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส พบว่า การละลายปลาในถังแบบปัจจุบันที่ตำแหน่งต่าง ๆ ใช้เวลาในการละลายจนปลามีอุณหภูมิใจกลางจนถึง -2 องศาเซลเซียส ใช้เวลาเท่ากับ 144 และ 170 นาที ดังรูป 5.4 และ 5.5 ตามลำดับ และถังแบบใหม่ใช้เวลาเท่ากับ 139 และ 144 นาที ดังรูป 5.6 และ 5.7 ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.1

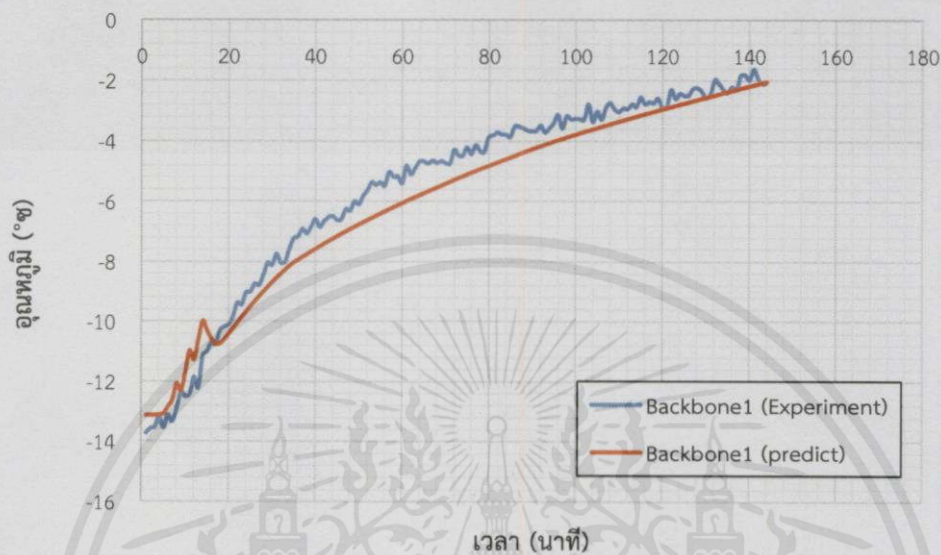
ตารางที่ 5.1 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ค่าSE และเวลาที่ใช้ในการละลาย

	ถังแบบปัจจุบัน		ถังแบบใหม่	
	ปลาตัวที่1	ปลาตัวที่2	ปลาตัวที่1	ปลาตัวที่2
1. ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m^2K)	19	15	23	23
2. ค่าความเบี่ยงเบน (SE)	0.6729	0.8249	0.4965	0.4295
3. เวลาที่ใช้ในการละลาย (นาที)	144	170	139	148

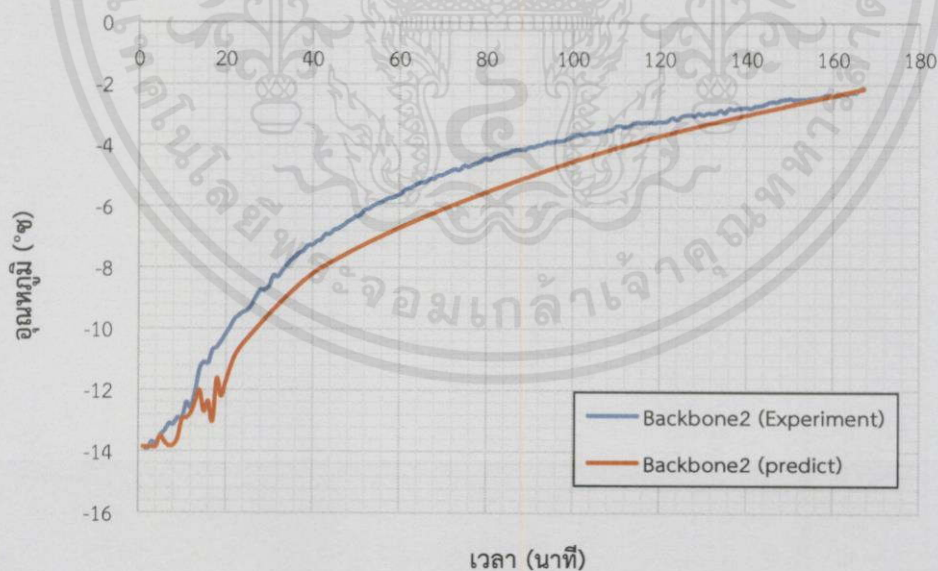
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1 การละลายปลาหุณาในถังละลายแบบปัจจุบัน

การละลายปลาหุณาในถังละลายแบบปัจจุบัน โดยใช้ น้ำอุณหภูมิ 18 ± 2 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อวินาที และทำการบันทึกอุณหภูมิทุก ๆ 60 วินาที ได้ผลดังรูป 5.4 และ 5.5



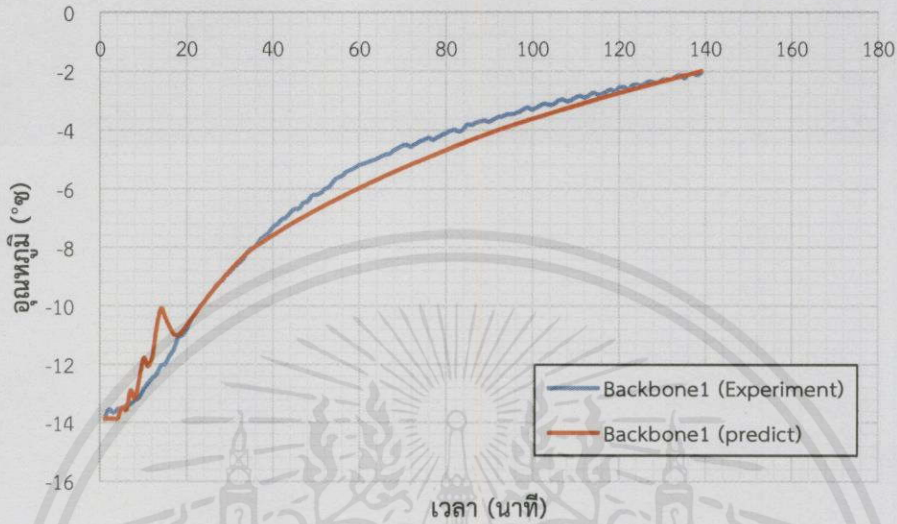
รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบริเวณเนื้อติดกระดูกของตัวอย่างที่ 1 ที่ได้จากการทดลองและอุณหภูมิที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองกับเวลาสำหรับถังละลายแบบปัจจุบัน



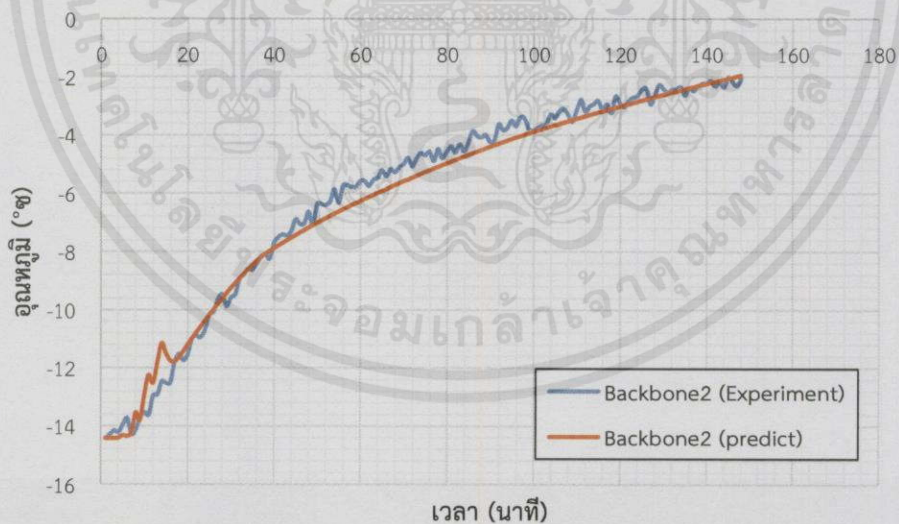
เอกสารนี้รูปที่ 5.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบริเวณเนื้อติดกระดูกของตัวอย่างที่ 2 ที่ได้จากทำการทดลองและอุณหภูมิที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองกับเวลาสำหรับถังละลายแบบปัจจุบัน

5.4.2 การละลายปลาทูน่าในถังแบบใหม่

การละลายปลาทูน่าในถังละลายแบบใหม่ โดยใช้ใช้น้ำอุณหภูมิ 18 ± 2 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อวินาที และทำการบันทึกอุณหภูมิทุกๆ 60 วินาที ได้ผลดังรูป 5.4 และ 5.5



รูปที่ 5.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบริเวณเนื้อติดกระดูกของตัวอย่างที่ 1 ที่ได้จากการทดลองและอุณหภูมิที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองกับเวลาสำหรับถังละลายแบบใหม่



รูปที่ 5.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบริเวณเนื้อติดกระดูกของตัวอย่างที่ 2 ที่ได้จากการทดลองและอุณหภูมิที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองกับเวลาสำหรับถังละลายแบบใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางสามารถสรุปได้ว่า ถังละลายแบบใหม่ที่อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อวินาทีต่อตัวอย่าง ปริมาณ 100 กิโลกรัม ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของการละลายในถังแบบใหม่ที่ได้จากการใช้แบบจำลองในการคำนวณมีค่ามากกว่าการละลายในถังแบบปัจจุบันซึ่งคาดเดาได้ว่า การใช้แผงปล่อยน้ำช่วยเพิ่มความเร็วของน้ำที่ใช้ละลายแต่ละตำแหน่งได้ และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในถังเดียวกันที่ตำแหน่งต่างกัน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ได้จากถังแบบใหม่มีค่าใกล้เคียงกันมากกว่าถังแบบปัจจุบัน จึงส่งผลให้ถังละลายแบบใหม่สามารถลดระยะเวลาได้มากที่สุด คือ 31 นาที ซึ่งคิดเป็น 18.24 เปอร์เซ็นต์ของเวลาที่มากที่สุดที่ใช้ในการละลาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

6.1 ผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาเพื่อลดระยะเวลาในการละลายปลาทุ่นโดยใช้น้ำ พบว่า การสร้างสภาวะภายในถังละลายให้มีการกระจายอุณหภูมิ และความปั่นป่วนของน้ำจะส่งผลต่อการอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างเนื้อปลากับน้ำที่ใช้ในการละลาย โดยจากการทดลองเปรียบเทียบสภาวะการละลายโดยวิธีการปล่อยน้ำจากสายยางด้านบนถัง และปล่อยน้ำผ่านแผงปล่อยน้ำที่ได้ออกแบบด้วยอัตราไหลของน้ำเท่ากัน พบว่า เมื่อติดตั้งแผงปล่อยน้ำการกระจายอุณหภูมิของน้ำภายในถังละลายแต่ละตำแหน่งมีค่าใกล้เคียงกัน และจากการทดลองละลายปลาทุ่นน้ำหนัก 1.4-2.0 กิโลกรัม พบว่า เมื่อทำการละลายโดยวิธีปล่อยน้ำจากสายยางด้านบนถังที่อัตราไหล 0.5 ลิตรต่อวินาที จะใช้เวลา 139-148 นาที แต่หลังจากใส่แผงปล่อยน้ำปล่อยน้ำเข้าไปในถังละลาย พบว่า ใช้เวลาในการละลาย 144-170 นาที ผลการทดลองสรุปได้ว่า เมื่อติดตั้งแผงปล่อยน้ำสามารถลดระยะเวลาในการละลายปลาทุ่นได้ 18.24 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลอง จึงใช้แนวทางการเพิ่มการกระจายอุณหภูมิและการเพิ่มความปั่นป่วนของน้ำมาใช้ในการออกแบบแผงปล่อยน้ำสำหรับถังละลายขนาด 1.6x1.2x1 ลูกบาศก์เมตร โดยการออกแบบแผงปล่อยน้ำจะออกแบบให้ความเร็วของน้ำที่ปล่อยออกจากรูปล่อยน้ำมีความเร็วเท่ากับการทดลอง คือ 2.65 เมตรต่อวินาที จากขนาดของถังละลายเราได้ทำการออกแบบให้แผงปล่อยน้ำมี 4 ชั้น แต่ละชั้นจะมีวาล์วเพื่อปรับให้อัตราไหลของน้ำภายในท่อแต่ละชั้นใกล้เคียงกัน จำนวนรูปล่อยน้ำเท่ากับ 160 รู และจากการคำนวณสามารถหาขนาดของรูท่อได้เท่ากับ 4 มิลลิเมตร

วัสดุที่ใช้ในการทำแผงปล่อยน้ำ คือ ท่อสแตนเลส 304 เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว ทน 3 มิลลิเมตร เนื่องจากสามารถรองรับการกระแทกของปลาทุ่นน้ำหนัก 50 กิโลกรัม ตกจากเครื่องคัดขนาดซึ่งมีความสูง 1 เมตร วัดจากถังละลาย โดยไม่เกิดความเสียหาย และมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 2.46

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาหาแนวทางในการลดระยะเวลาในการละลายทำให้ทราบถึงประสิทธิผลของแผงปล่อยน้ำเบื้องต้นว่า สามารถช่วยเพิ่มการกระจายอุณหภูมิภายในถัง และสามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในกระบวนการละลาย ซึ่งส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการละลายลดลง

โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบถังละลายเบื้องต้นโดยยังมีได้ค่านิ่งตัวแปรอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการไหลของน้ำภายในท่อ และอัตราการถ่ายเทความร้อนของปลา ได้แก่ การจัดเรียงปลา ขนาดตัวปลา ระยะห่างของท่อน้ำ หากต้องการให้ถังละลายมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ควรมีการศึกษาและพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556. ข้อมูลเทคโนโลยีเชิงลึกการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก (Dielectric Heating). โครงการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจ.
- กระทรวงพาณิชย์. 2555. การส่งออก. [Online]. Available : http://www.opsmoc.go.th/informenucomth/stru_export/export_topn_re/report.asp
- กระทรวงพาณิชย์. 2556. ศักยภาพการผลิตกับโอกาสทางการค้า. การสัมมนาการเตรียมความพร้อมบุคลากรด้านการเกษตรและอาหารเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (AEC). พะเยา : มหาวิทยาลัยพะเยา
- จเร วงศ์ผึ้ง, วรมน อนันต์ และวสันต์ อินทร์ผา. 2554. ผลของการละลายปลาทูน่าด้วยน้ำต่อปริมาณเกลือ. ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- เจษฎา เลิศพิภพเมธา, ชัยพร มะลิวรารัตน์ และปวันวิทย์ แสงโสภิต. 2551. การศึกษาวิธีการลดระยะเวลาในกระบวนการละลายปลาทูน่าแช่แข็งด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า. ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2556. Skipjack Tuna/ปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบ. [Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3339/skipjack-tuna-ปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบ>
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2556. Psychrotrophic bacteria. [Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0938/psychrotrophic-bacteria>
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2556. Ultrasonic/อัลตราโซนิคส์. [Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0535/ultrasonic>
- วรภรณ์ เปียศิริ และอุดมพร โชติรัตน์ฤทธิ. 2555. ผลของการละลายปลาทูน่าด้วยน้ำต่อปริมาณเกลือ. ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- สุนันท์ ศรีณนิตย์. การถ่ายเทความร้อน Heat transfer. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. 2545 : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.อุมาพร อุประ, สุนทร สืบคำ และฤทธิชัย อัครวาชันย์. 2554. วิธีการละลายแบบรวดเร็วด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่. Thai Society of Agricultural Engineering Journal. 17(1).
- Beyza, E., Emine, A. and Akif O. 2008. The effect of thawing methods on the quality of eels (*Anguilla anguilla*). Food Chemistry. 2008(111) : 377-380.
- Filiz, I., Gamze, T. I., Hayriye, B. and Ayla, O. 2010. Effects of ohmic thawing on histological and textural properties of beef cuts. Journal of Food Engineering. 2010(99) : 360-365

Jocelyn, R., Alain, L., Ramaswamy, H. S. and Leclerc, L. 2002. **High pressure thawing of fish and shellfish.** Journal of Food Engineering. 2002(53) : 83-88

Michael, L., Wing-Han, C., Dennis Y.C. L. and Gabriel C.K. L 2007. **Fluid dynamics and heat transfer in cold water thawing.** Journal of Food Engineering. 2007(78) : 1221-1227

Yaxiang, B., Yang, S. and Dongmei, K. 2011. **Study the optimum parameters of high voltage electrostatic field thawing.** Procedia Engineering. 2011(16) : 679-684.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 การกระจายอุณหภูมิของถังละลายแบบปัจจุบัน

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิ ด้านบน (°ซ)	อุณหภูมิ ด้านกลาง (°ซ)	อุณหภูมิ ด้านล่าง (°ซ)
1	10.42	9.83	10.42
2	10.40	9.65	10.19
3	10.26	9.64	10.13
4	10.38	9.52	10.06
5	10.29	9.59	10.08
6	10.07	9.47	9.71
7	9.80	9.35	9.67
8	10.45	9.21	9.51
9	11.56	9.95	9.65
10	15.94	10.85	9.70
11	17.04	10.20	9.78
12	18.64	10.99	9.79
13	18.29	11.18	10.00
14	18.76	11.34	10.77
15	19.37	11.78	10.93
16	20.58	12.87	11.32
17	20.26	11.66	11.08
18	20.75	11.65	11.18
19	19.95	12.30	11.33
20	19.92	12.55	11.30
21	19.81	13.25	11.31
22	19.80	14.33	11.31
23	20.53	15.74	11.31
24	20.19	15.84	11.26
25	20.39	17.33	11.37
26	20.71	17.38	11.44
27	20.46	17.72	11.43
28	20.50	18.02	11.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในของวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีสุพรรณบุรี ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) การกระจายอุณหภูมิน้ำของถังละลายแบบปัจจุบัน

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิน้ำ ด้านบน (°ซ)	อุณหภูมิน้ำ ด้านกลาง (°ซ)	อุณหภูมิน้ำ ด้านล่าง (°ซ)
29	20.81	18.29	11.55
30	21.20	18.58	11.62
31	21.14	18.77	11.57
32	21.12	18.86	11.50
33	21.50	19.20	11.62
34	21.21	19.53	11.67
35	21.17	19.55	11.68
36	21.19	19.69	11.74
37	21.44	20.03	11.85
38	21.35	20.18	12.09
39	21.72	20.10	12.40
40	21.82	20.77	12.72
41	22.51	20.96	13.38
42	22.35	21.15	13.69
43	22.48	21.17	14.12
44	22.96	21.42	14.68
45	22.37	21.17	15.11
46	22.25	20.93	15.21
47	22.05	21.45	15.96
48	21.86	21.40	15.96
49	21.93	20.96	16.27
50	21.55	21.42	16.54
51	21.38	20.77	16.60
52	21.50	20.61	16.73
53	21.46	20.75	16.91
54	21.13	21.05	16.97
55	20.90	20.16	17.12
56	21.10	19.99	17.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ 56 รับการใช้งาน 21.10 การศึกษา 19.99 ไม่อนุญาต 17.26 ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) การกระจายอุณหภูมิน้ำของถังละลายแบบปัจจุบัน

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิน้ำ ด้านบน (°ซ)	อุณหภูมิน้ำ ด้านกลาง (°ซ)	อุณหภูมิน้ำ ด้านล่าง (°ซ)
57	20.85	20.28	17.33
58	21.04	20.15	17.46
59	20.85	20.14	17.51
60	21.33	20.04	17.61
61	21.24	19.86	17.81
62	21.42	19.67	17.87
63	21.04	19.72	17.71
64	21.30	19.49	17.88
65	21.10	20.12	17.73
66	20.66	19.95	17.92
67	20.47	19.96	17.89
68	20.68	19.50	17.85
69	20.48	19.78	18.00
70	20.13	19.12	17.95
71	20.40	19.30	17.77
72	20.26	19.14	17.93
73	20.19	19.22	17.88
74	19.97	19.30	17.85
75	20.10	18.79	17.89
76	20.19	18.46	17.89
77	20.22	19.20	17.75
78	20.02	19.02	17.81
79	19.79	18.43	17.77
80	19.81	19.03	17.79
81	19.81	18.43	17.73
82	19.67	18.83	17.73
83	19.68	18.91	17.53
84	19.24	18.84	17.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในโรงเรียนเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) การกระจายอุณหภูมิน้ำของถังละลายแบบปัจจุบัน

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิน้ำ ด้านบน (°ซ)	อุณหภูมิน้ำ ด้านกลาง (°ซ)	อุณหภูมิน้ำ ด้านล่าง (°ซ)
85	19.24	18.77	17.51
86	19.25	18.68	17.39
87	19.07	18.72	17.42
88	19.19	18.56	17.27
89	19.15	18.48	17.29
90	19.11	18.43	17.22
91	18.95	18.31	17.25
92	18.94	18.19	17.19
93	18.80	18.19	17.16
94	18.94	18.20	17.11

ตารางที่ ก.2 การกระจายอุณหภูมิน้ำของถังละลายแบบใหม่

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิน้ำ ด้านบน (°ซ)	อุณหภูมิน้ำ ด้านกลาง (°ซ)	อุณหภูมิน้ำ ด้านล่าง (°ซ)
1	7.79	8.70	7.75
2	7.81	8.59	7.73
3	7.77	8.88	7.67
4	7.75	8.70	7.70
5	7.69	8.49	7.75
6	7.79	8.51	8.06
7	8.46	8.74	8.01
8	8.56	8.92	8.04
9	9.26	9.69	8.58
10	9.51	10.24	8.82
11	10.26	10.24	8.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) การกระจายอุณหภูมิน้ำของถังละลายแบบใหม่

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิน้ำ ด้านบน (°ซ)	อุณหภูมิน้ำ ด้านกลาง (°ซ)	อุณหภูมิน้ำ ด้านล่าง (°ซ)
12	10.77	10.57	9.35
13	10.83	10.78	9.63
14	11.28	11.01	9.78
15	11.39	10.93	10.18
16	11.63	11.04	10.65
17	11.78	11.34	11.22
18	12.16	11.53	11.49
19	12.38	11.93	11.25
20	12.57	11.92	11.78
21	12.79	12.18	12.22
22	12.89	12.26	12.28
23	13.18	12.54	12.69
24	13.30	12.80	12.83
25	13.57	12.95	13.12
26	13.91	13.22	13.25
27	14.18	13.48	13.35
28	14.13	13.68	13.68
29	14.35	13.61	13.99
30	14.38	13.91	14.04
31	14.65	14.12	14.09
32	14.90	14.48	14.63
33	14.97	14.45	14.75
34	15.05	14.37	14.82
35	15.24	14.73	14.93
36	15.43	14.88	15.11
37	15.57	14.95	15.28
38	15.64	15.05	15.48
39	15.88	15.23	15.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ไม่ควรเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) การกระจายอุณหภูมิน้ำของถังละลายแบบใหม่

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิน้ำ ด้านบน (°ซ)	อุณหภูมิน้ำ ด้านกลาง (°ซ)	อุณหภูมิน้ำ ด้านล่าง (°ซ)
40	15.89	15.15	15.76
41	15.99	15.50	15.78
42	16.07	15.75	16.04
43	16.22	15.77	16.23
44	16.28	15.78	16.11
45	16.45	15.86	16.19
46	16.40	16.01	16.36
47	16.54	16.12	16.52
48	16.51	16.12	16.48
49	16.64	16.27	16.57
50	16.61	16.19	16.63
51	16.60	16.23	16.66
52	16.70	16.22	16.81
53	16.74	16.35	16.83
54	16.85	16.27	16.88
55	16.71	16.31	16.89
56	16.89	16.46	17.00
57	16.86	16.38	16.99
58	16.72	16.42	16.97
59	16.65	16.38	17.04
60	16.91	16.60	17.05
61	17.01	16.61	17.12
62	17.01	16.45	17.08
63	16.87	16.60	17.16
64	17.08	16.52	17.10
65	16.80	16.58	17.18
66	16.95	16.57	17.12
67	17.09	16.64	17.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) การกระจายอุณหภูมิของถังละลายแบบใหม่

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิ ด้านบน (°ซ)	อุณหภูมิ ด้านกลาง (°ซ)	อุณหภูมิ ด้านล่าง (°ซ)
68	17.02	16.64	17.11
69	17.02	16.46	17.07
70	16.71	16.50	17.14
71	16.58	16.51	17.13
72	16.81	16.50	17.09
73	16.96	16.40	17.09
74	16.99	16.35	17.09
75	16.75	16.42	17.07
76	16.91	16.39	17.13
77	16.94	16.34	17.15
78	16.84	16.37	17.20
79	16.88	16.46	16.97
80	16.76	16.49	16.97
81	16.90	16.50	17.01
82	16.62	16.28	17.08
83	16.76	16.28	17.05
84	16.86	16.34	17.02
85	16.70	16.41	16.96
86	16.70	16.19	16.97
87	16.67	16.18	16.91
88	16.70	16.15	17.02
89	16.48	16.21	16.91
90	16.63	16.02	16.91
91	16.52	16.00	16.85
92	16.37	15.97	16.80
93	16.59	16.07	16.80
94	16.47	16.18	16.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาที่ใช้ในการละลายและค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของการละลายปลาด้วยถังแบบปัจจุบันและถังที่ออกแบบใหม่

ตารางที่ ข.1 เวลาที่อุณหภูมิบริเวณเนื้อติดกระดูก (Backbone) ถึง -2 องศาเซลเซียส ของการละลายในถังแบบปัจจุบัน

ลำดับของตัวอย่าง	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ความยาว (เซนติเมตร)	อุณหภูมิเริ่มต้นบริเวณเนื้อติดกระดูก (°ซ)	อุณหภูมิน้ำเฉลี่ย (°ซ)	เวลาที่ใช้ในการละลาย (นาที)	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m ² .K)
1	1936.69	40.5	-13.71	18.54	144	19
2	1912.9	41	-13.84	18.54	170	15

ตารางที่ ข.2 เวลาที่อุณหภูมิบริเวณเนื้อติดกระดูก (Backbone) ถึง -2 องศาเซลเซียส ของการละลายในถังแบบใหม่

ลำดับของตัวอย่าง	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ความยาว (เซนติเมตร)	อุณหภูมิเริ่มต้นบริเวณเนื้อติดกระดูก (°ซ)	อุณหภูมิน้ำเฉลี่ย (°ซ)	เวลาที่ใช้ในการละลาย (นาที)	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m ² .K)
1	1948.6	40	-13.86	16.77	139	139
2	2091.52	41	-14.42	16.77	148	148

ตารางที่ ข.3 อุณหภูมิบริเวณใจกลางตัวปลาที่ได้จากการวัดและการทำนายเมื่อทำการละลายในถังแบบปัจจุบัน

เวลา (นาที)	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
	ค่าที่ได้จาก การทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทำนาย (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทำนาย (°ซ)
1	-13.71	-13.11	-13.84	-13.84
2	-13.57	-13.11	-13.91	-13.84
3	-13.50	-13.10	-13.70	-13.84
4	-13.17	-13.09	-13.74	-13.82
5	-13.53	-13.06	-13.47	-13.48
6	-13.10	-12.83	-13.32	-13.68
7	-13.33	-12.61	-13.10	-13.81
8	-12.91	-12.06	-13.10	-13.78
9	-12.34	-12.30	-12.90	-13.56
10	-12.49	-11.67	-12.92	-12.94
11	-12.44	-10.96	-12.41	-12.90
12	-11.85	-11.27	-12.58	-12.74
13	-12.20	-10.60	-12.04	-12.39
14	-11.13	-9.97	-11.32	-12.00
15	-11.00	-10.28	-11.09	-12.69
16	-10.69	-10.57	-11.12	-12.36
17	-10.75	-10.74	-10.70	-13.01
18	-10.29	-10.73	-10.60	-11.62
19	-10.16	-10.58	-10.41	-12.19
20	-10.09	-10.40	-10.18	-11.76
21	-9.83	-10.21	-9.95	-11.31
22	-9.38	-10.03	-9.70	-10.93
23	-9.43	-9.85	-9.57	-10.67
24	-9.03	-9.67	-9.46	-10.49
25	-9.00	-9.49	-9.38	-10.32
26	-8.74	-9.32	-9.22	-10.15
27	-8.78	-9.15	-8.94	-9.99
28	-8.45	-8.99	-8.74	-9.83
29	-8.03	-8.83	-8.73	-9.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้ ลิขสิทธิ์เป็นของเจ้าของเอกสารทุกประการ การนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 (ต่อ) อุณหภูมิบริเวณใจกลางตัวปลาที่ได้จากการวัดและการทำนายเมื่อทำการละลาย
ในถังแบบปัจจุบัน

เวลา (นาที)	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
	ค่าที่ได้จาก การทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทำนาย (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทำนาย (°ซ)
30	-8.11	-8.68	-8.61	-9.52
31	-7.74	-8.53	-8.25	-9.37
32	-8.04	-8.39	-8.30	-9.22
33	-8.00	-8.26	-8.11	-9.08
34	-7.57	-8.14	-7.93	-8.94
35	-7.21	-8.02	-7.76	-8.80
36	-7.16	-7.93	-7.64	-8.67
37	-6.91	-7.84	-7.51	-8.54
38	-7.05	-7.75	-7.44	-8.42
39	-6.85	-7.66	-7.28	-8.30
40	-6.58	-7.57	-7.25	-8.19
41	-6.85	-7.48	-7.14	-8.09
42	-6.65	-7.40	-7.09	-8.00
43	-6.52	-7.31	-6.91	-7.92
44	-6.48	-7.23	-6.90	-7.84
45	-6.61	-7.15	-6.77	-7.76
46	-6.57	-7.07	-6.72	-7.68
47	-6.25	-6.99	-6.62	-7.60
48	-6.29	-6.91	-6.51	-7.53
49	-6.00	-6.83	-6.42	-7.45
50	-6.09	-6.76	-6.33	-7.38
51	-5.81	-6.68	-6.28	-7.30
52	-5.62	-6.61	-6.12	-7.23
53	-5.36	-6.54	-6.08	-7.16
54	-5.45	-6.47	-5.98	-7.09
55	-5.36	-6.39	-5.90	-7.02
56	-5.48	-6.32	-5.86	-6.95
57	-5.02	-6.25	-5.76	-6.89
58	-5.18	-6.18	-5.72	-6.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 56 วน สำหรับ 5.48 งานเพื่อการ 6.32 เท่านั้น ไม่ 5.86 ต่ให้มาใช้ 6.95 โฆษณด้านกรค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อี 57 ึ่งหันมิให้ตัด 5.02 ือหา และ 6.25 ังอิงถึงเจ 5.76 อกสารทุก 6.89 ักการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 (ต่อ) อุณหภูมิบริเวณใจกลางตัวปลาที่ได้จากการวัดและการทำนายเมื่อทำการละลาย
ในถังแบบปัจจุบัน

เวลา (นาที)	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
	ค่าที่ได้จาก การทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทำนาย (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทำนาย (°ซ)
59	-5.16	-6.12	-5.67	-6.76
60	-5.39	-6.05	-5.61	-6.69
61	-4.80	-5.98	-5.50	-6.63
62	-5.10	-5.92	-5.42	-6.56
63	-4.89	-5.85	-5.37	-6.50
64	-4.66	-5.78	-5.27	-6.44
65	-4.65	-5.72	-5.21	-6.38
66	-4.73	-5.65	-5.21	-6.32
67	-4.63	-5.59	-5.10	-6.26
68	-4.70	-5.53	-5.09	-6.20
69	-4.64	-5.46	-4.99	-6.14
70	-4.71	-5.40	-4.96	-6.08
71	-4.74	-5.34	-4.90	-6.02
72	-4.28	-5.28	-4.83	-5.97
73	-4.46	-5.22	-4.78	-5.91
74	-4.47	-5.16	-4.80	-5.85
75	-4.19	-5.10	-4.66	-5.80
76	-4.42	-5.04	-4.70	-5.74
77	-4.12	-4.98	-4.63	-5.69
78	-4.32	-4.92	-4.58	-5.63
79	-4.34	-4.86	-4.51	-5.58
80	-3.85	-4.81	-4.42	-5.53
81	-3.79	-4.75	-4.46	-5.47
82	-3.70	-4.69	-4.36	-5.42
83	-3.76	-4.64	-4.33	-5.37
84	-3.77	-4.58	-4.28	-5.31
85	-3.84	-4.52	-4.25	-5.26
86	-3.49	-4.47	-4.18	-5.21
87	-3.51	-4.42	-4.15	-5.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 85 วาน "ไว้สำหรับค-งานเพื่อการ-ท่านนั้น ไม่-ตีให้นำไป-โดย-โฆษณาการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 86 ่งห้ามมิให้คัด-เนื้อหา และ-ข้อ-จนถึงเจ้า-เอกสารทุกค-การนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 (ต่อ) อุณหภูมิบริเวณใจกลางตัวปลาที่ได้จากการวัดและการทำนายเมื่อทำการละลาย
ในถังแบบปัจจุบัน

เวลา (นาที)	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
	ค่าที่ได้จาก การทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทำนาย (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทำนาย (°ซ)
88	-3.56	-4.36	-4.14	-5.11
89	-3.64	-4.31	-4.14	-5.06
90	-3.66	-4.26	-4.06	-5.01
91	-3.64	-4.20	-4.05	-4.96
92	-3.46	-4.15	-4.00	-4.91
93	-3.70	-4.10	-3.98	-4.86
94	-3.56	-4.05	-3.90	-4.81
95	-3.39	-4.00	-3.90	-4.76
96	-3.11	-3.96	-3.87	-4.71
97	-3.57	-3.91	-3.86	-4.66
98	-3.16	-3.86	-3.83	-4.62
99	-3.26	-3.82	-3.78	-4.57
100	-3.25	-3.77	-3.70	-4.52
101	-3.25	-3.73	-3.65	-4.47
102	-3.28	-3.68	-3.64	-4.43
103	-2.77	-3.64	-3.64	-4.38
104	-3.35	-3.60	-3.59	-4.34
105	-3.00	-3.55	-3.61	-4.29
106	-3.27	-3.51	-3.57	-4.25
107	-2.87	-3.47	-3.55	-4.20
108	-2.72	-3.42	-3.51	-4.16
109	-2.94	-3.38	-3.50	-4.11
110	-3.02	-3.34	-3.37	-4.07
111	-2.90	-3.30	-3.36	-4.03
112	-2.93	-3.26	-3.39	-3.99
113	-2.76	-3.22	-3.38	-3.95
114	-2.85	-3.18	-3.27	-3.91
115	-2.53	-3.13	-3.24	-3.87
116	-2.76	-3.09	-3.25	-3.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีเมล: info@chulalongkorn.ac.th โทร: 0-2256-4000

ตารางที่ ข.3 (ต่อ) อุณหภูมิบริเวณใจกลางตัวปลาที่ได้จากการวัดและการทำนายเมื่อทำการละลาย
ในถังแบบปัจจุบัน

เวลา (นาที)	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
	ค่าที่ได้จาก การทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทำนาย (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทำนาย (°ซ)
117	-2.68	-3.05	-3.24	-3.79
118	-2.72	-3.01	-3.24	-3.75
119	-2.56	-2.97	-3.25	-3.72
120	-2.90	-2.93	-3.22	-3.68
121	-2.84	-2.89	-3.23	-3.64
122	-2.28	-2.85	-3.18	-3.61
123	-2.59	-2.82	-3.08	-3.57
124	-2.40	-2.78	-3.15	-3.53
125	-2.48	-2.74	-3.04	-3.50
126	-2.47	-2.70	-3.00	-3.46
127	-2.25	-2.66	-2.98	-3.43
128	-2.23	-2.62	-3.02	-3.39
129	-2.34	-2.58	-2.94	-3.36
130	-2.55	-2.55	-2.98	-3.32
131	-2.45	-2.51	-2.92	-3.29
132	-1.96	-2.47	-2.94	-3.25
133	-2.08	-2.43	-2.92	-3.22
134	-2.27	-2.40	-2.83	-3.18
135	-2.38	-2.36	-2.91	-3.15
136	-2.19	-2.32	-2.77	-3.12
137	-2.29	-2.28	-2.81	-3.08
138	-1.83	-2.25	-2.77	-3.05
139	-1.81	-2.21	-2.76	-3.02
140	-1.96	-2.17	-2.74	-2.98
141	-1.61	-2.14	-2.77	-2.95
142	-1.93	-2.10	-2.70	-2.92
143	-2.09	-2.06	-2.69	-2.88
144	-2.02	-2.03	-2.64	-2.85
145			-2.58	-2.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีเมล: hnt@kmutt.ac.th โทร: 0-2-254-3000 อีเมล: hnt@kmutt.ac.th โทร: 0-2-254-3000

ตารางที่ ข.3 (ต่อ) อุณหภูมิบริเวณใจกลางตัวปลาที่ได้จากการวัดและการทำนายเมื่อทำการละลาย
ในถังแบบปัจจุบัน

เวลา (นาที)	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
	ค่าที่ได้จาก การทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทำนาย (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทำนาย (°ซ)
146			-2.54	-2.79
147			-2.55	-2.75
148			-2.50	-2.72
149			-2.47	-2.69
150			-2.45	-2.66
151			-2.48	-2.62
152			-2.47	-2.59
153			-2.47	-2.56
154			-2.46	-2.53
155			-2.44	-2.50
156			-2.43	-2.46
157			-2.40	-2.43
158			-2.36	-2.40
159			-2.34	-2.37
160			-2.35	-2.34
161			-2.33	-2.31
162			-2.28	-2.28
163			-2.28	-2.25
164			-2.25	-2.21
165			-2.25	-2.18
166			-2.15	-2.15
167			-2.10	-2.12
168			-2.14	-2.09
169			-2.10	-2.06
170			-2.00	-2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 (ต่อ) อุณหภูมิบริเวณใจกลางตัวปลาที่ได้จากการวัดและการทำนายเมื่อทำการละลาย
ในถังแบบใหม่

เวลา (นาที)	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
	ค่าที่ได้จาก การทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทำนาย (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทำนาย (°ซ)
30	-8.82	-8.77	-9.57	-9.25
31	-8.66	-8.61	-9.46	-9.08
32	-8.52	-8.46	-8.93	-8.92
33	-8.39	-8.31	-8.78	-8.76
34	-8.15	-8.18	-8.60	-8.61
35	-8.02	-8.05	-8.61	-8.46
36	-7.94	-7.95	-8.42	-8.32
37	-7.74	-7.86	-8.16	-8.19
38	-7.61	-7.76	-8.07	-8.07
39	-7.49	-7.66	-8.24	-7.97
40	-7.30	-7.57	-7.69	-7.88
41	-7.20	-7.48	-7.50	-7.78
42	-7.04	-7.39	-7.42	-7.69
43	-6.97	-7.30	-7.43	-7.60
44	-6.80	-7.21	-7.29	-7.51
45	-6.69	-7.12	-6.90	-7.42
46	-6.67	-7.04	-7.05	-7.34
47	-6.48	-6.95	-7.04	-7.25
48	-6.43	-6.87	-6.63	-7.17
49	-6.23	-6.79	-7.09	-7.09
50	-6.20	-6.71	-6.35	-7.01
51	-6.15	-6.63	-6.37	-6.93
52	-6.00	-6.55	-6.40	-6.85
53	-5.92	-6.48	-6.27	-6.77
54	-5.74	-6.40	-5.85	-6.70
55	-5.62	-6.33	-6.32	-6.62
56	-5.56	-6.25	-5.72	-6.55
57	-5.41	-6.18	-5.72	-6.47
58	-5.36	-6.10	-5.78	-6.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 56 น. ไว้สำหรับก-5.56 งานเพื่อการ-6.25 เท่านั้น ไม่-5.72 ตให้นำไป-6.55 โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อี-5.41 ห้ามนำไปคัด-6.18 ครอบครองหรือ-5.72 กระจาย-6.47 ให้นำไปใช้

ตารางที่ ข.4 (ต่อ) อุณหภูมิบริเวณใจกลางตัวปลาที่ได้จากการวัดและการทำนายเมื่อทำการละลายในถังแบบใหม่

เวลา (นาทีก)	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
	ค่าที่ได้จาก การทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทำนาย (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทำนาย (°ซ)
59	-5.29	-6.03	-5.75	-6.33
60	-5.17	-5.96	-5.57	-6.26
61	-5.13	-5.89	-5.57	-6.19
62	-5.08	-5.82	-5.74	-6.12
63	-5.01	-5.75	-5.53	-6.05
64	-4.96	-5.68	-5.47	-5.98
65	-4.88	-5.61	-5.20	-5.91
66	-4.82	-5.55	-5.41	-5.84
67	-4.78	-5.48	-5.16	-5.78
68	-4.67	-5.41	-5.27	-5.71
69	-4.59	-5.35	-5.09	-5.65
70	-4.52	-5.28	-4.98	-5.58
71	-4.49	-5.22	-4.78	-5.52
72	-4.55	-5.15	-5.07	-5.45
73	-4.46	-5.09	-4.79	-5.39
74	-4.36	-5.02	-4.61	-5.33
75	-4.32	-4.96	-4.68	-5.26
76	-4.25	-4.90	-4.56	-5.20
77	-4.31	-4.84	-4.88	-5.14
78	-4.23	-4.78	-4.47	-5.08
79	-4.16	-4.72	-4.78	-5.02
80	-4.09	-4.66	-4.56	-4.96
81	-4.01	-4.60	-4.38	-4.90
82	-3.98	-4.54	-4.60	-4.84
83	-4.03	-4.48	-4.30	-4.78
84	-3.96	-4.42	-4.55	-4.72
85	-3.81	-4.37	-4.25	-4.67
86	-3.81	-4.31	-3.85	-4.61
87	-3.74	-4.25	-4.01	-4.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 85 ว่าสำหรับ 3.81 งานเพื่อกา 4.37 เท่านั้น ไม่ 4.25 เติให้หน้าไป 4.67 ะ โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถึงแม้จะให้คัดลอกเนื้อหา และ 4.31 ึ่งถึงจึงจะ 3.85 อดสารทุก 4.61 การนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 (ต่อ) อุณหภูมิบริเวณใจกลางตัวปลาที่ได้จากการวัดและการทำนายเมื่อทำการละลายในถังแบบใหม่

เวลา (นาที)	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
	ค่าที่ได้จาก การทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทำนาย (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทำนาย (°ซ)
88	-3.70	-4.20	-4.07	-4.50
89	-3.66	-4.14	-3.98	-4.44
90	-3.71	-4.09	-4.23	-4.39
91	-3.62	-4.04	-4.18	-4.33
92	-3.55	-3.98	-3.62	-4.28
93	-3.52	-3.93	-3.82	-4.23
94	-3.46	-3.89	-3.75	-4.17
95	-3.45	-3.84	-3.49	-4.12
96	-3.42	-3.79	-3.68	-4.07
97	-3.37	-3.74	-3.38	-4.02
98	-3.29	-3.69	-3.41	-3.97
99	-3.22	-3.64	-3.80	-3.92
100	-3.30	-3.60	-3.83	-3.87
101	-3.23	-3.55	-3.74	-3.83
102	-3.13	-3.51	-3.67	-3.78
103	-3.10	-3.46	-3.60	-3.74
104	-3.13	-3.41	-3.28	-3.69
105	-3.11	-3.37	-3.40	-3.64
106	-2.99	-3.32	-3.16	-3.60
107	-2.95	-3.28	-3.09	-3.55
108	-3.01	-3.24	-3.28	-3.51
109	-2.98	-3.19	-3.52	-3.47
110	-2.88	-3.15	-3.12	-3.42
111	-2.84	-3.10	-2.78	-3.38
112	-2.89	-3.06	-3.19	-3.34
113	-2.81	-3.02	-3.01	-3.29
114	-2.73	-2.98	-2.90	-3.25
115	-2.78	-2.93	-2.82	-3.21
116	-2.77	-2.89	-3.12	-3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ผู้ที่นำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมายและจะดำเนินคดีถึงที่สุดขอสงวนสิทธิ์ในการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 (ต่อ) อุณหภูมิบริเวณใจกลางตัวปลาที่ได้จากการวัดและการทำนายเมื่อทำการละลาย
ในถังแบบใหม่

เวลา (นาที)	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
	ค่าที่ได้จาก การทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทำนาย (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทำนาย (°ซ)
117	-2.69	-2.85	-2.93	-3.12
118	-2.62	-2.81	-3.23	-3.08
119	-2.66	-2.77	-2.66	-3.04
120	-2.56	-2.73	-2.89	-3.00
121	-2.53	-2.69	-3.02	-2.96
122	-2.60	-2.64	-2.81	-2.92
123	-2.48	-2.60	-2.71	-2.88
124	-2.44	-2.56	-2.64	-2.84
125	-2.48	-2.52	-2.44	-2.80
126	-2.40	-2.48	-2.38	-2.76
127	-2.34	-2.45	-2.92	-2.72
128	-2.38	-2.41	-2.62	-2.68
129	-2.36	-2.37	-2.26	-2.64
130	-2.28	-2.33	-2.40	-2.60
131	-2.27	-2.29	-2.55	-2.56
132	-2.26	-2.25	-2.44	-2.53
133	-2.17	-2.21	-2.42	-2.49
134	-2.13	-2.17	-2.34	-2.45
135	-2.22	-2.13	-2.62	-2.41
136	-2.11	-2.10	-2.36	-2.37
137	-2.07	-2.06	-2.47	-2.34
138	-2.11	-2.02	-2.31	-2.30
139	-2.04	-1.98	-2.22	-2.26
140			-2.20	-2.23
141			-2.12	-2.19
142			-2.30	-2.15
143			-2.16	-2.12
144			-2.34	-2.08
145			-2.00	-2.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 143 นี้ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากศูนย์ด้านการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถ้าหากพบให้แจ้งมาที่ห้องสมุดและต้องอ้างอิงถึงเอกสารที่นำมาไปใช้

ตารางที่ ข.4 (ต่อ) อุณหภูมิบริเวณใจกลางตัวปลาที่ได้จากการวัดและการทำนายเมื่อทำการละลาย
ในถังแบบใหม่

เวลา (นาที)	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
	ค่าที่ได้จาก การทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทำนาย (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จาก การทำนาย (°ซ)
146			-2.17	-2.01
147			-2.29	-1.97
148			-2.05	-1.94



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้