



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาเพื่อลดระยะเวลาการละลายแบบจุ่มของปลาทูน่าแช่แข็ง
Study for immersion-thawing time reduction of frozen tuna



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2558

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชื่อโครงการ การศึกษาเพื่อลดระยะเวลาการละลายแบบจุ่มของปลาทูน่าแช่แข็ง
แหล่งเงิน เงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2558

ประจำปีงบประมาณ 2558 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 40,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ถึง ต.ค. 2557 - ก.ย. 2558

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ นายสมัคร รักแม่

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

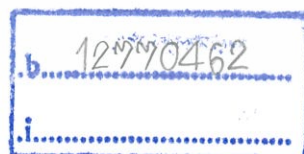
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาแนวทางในการลดระยะเวลาในการละลายปลาทูน่าแช่แข็งพันธุ์ทองแถบ (Katsuwonus pelamis) เริ่มจากการศึกษาปัญหาในกระบวนการละลายในถังแบบกะ พบว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิและความเร็วของน้ำภายในถังมีความแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อเวลาในการละลายและคุณภาพของปลาทูน่าหลังผ่านกระบวนการละลาย จากนั้นจึงได้ออกแบบถังละลายใหม่ ด้วยการเพิ่มอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นแผงปล่อยน้ำจำนวน 3 แผง โดยแต่ละแผงประกอบด้วยท่อสามท่อ รวมทั้งสิ้น 9 ท่อ แต่ละท่อนมีการเจาะรูขนาด 2 มิลลิเมตร จำนวน 5 รู เพื่อเพิ่มความเร็วของน้ำในถังละลายและลดปัญหาการกระจายอุณหภูมิที่ไม่เสมอในถังละลายแบบปัจจุบัน หลังจากการออกแบบถังละลายแบบใหม่ จึงทำการทดลองละลายปลาทูน่าขนาด 1.8-2.0 กิโลกรัม โดยใช้ น้ำอุณหภูมิ 18 ± 2 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อวินาที เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของถังละลายใหม่ พบว่าถังที่ออกแบบมีการกระจายอุณหภูมิที่ดีกว่า ลดระยะเวลาการละลายได้สูงสุด 18:24 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : การละลาย ปลาทูน่า

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 142190
วันเดือนปี 27 มิ.ย. 2559

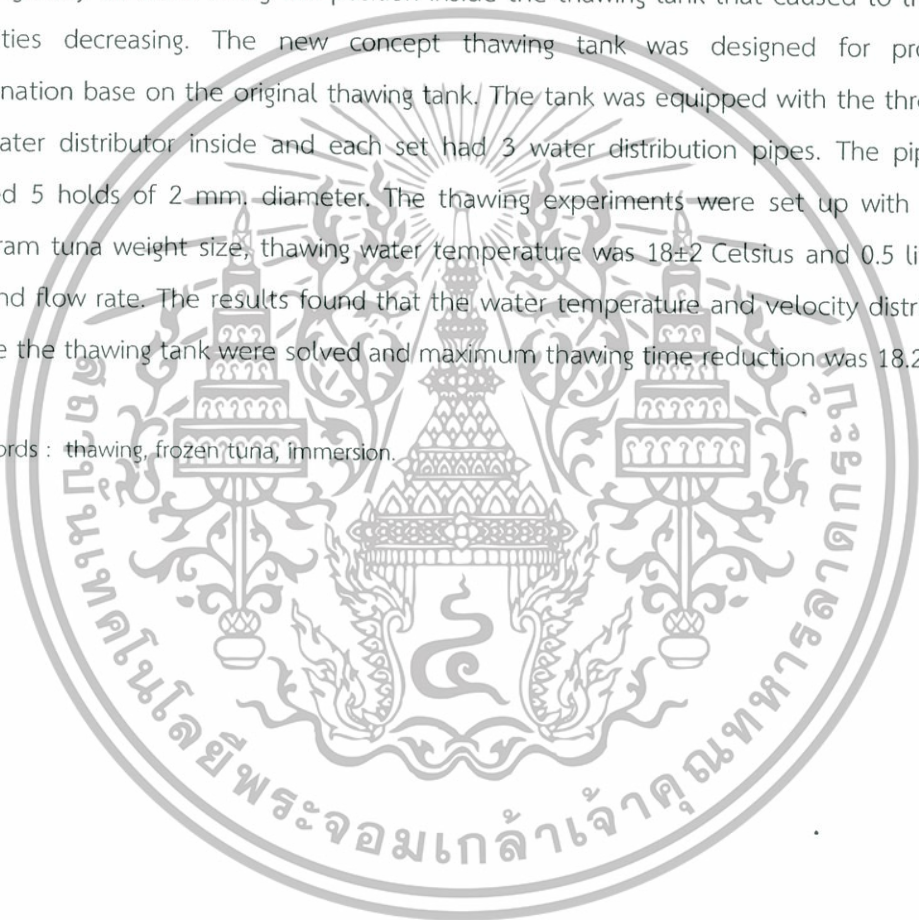


Research Title: Study for immersion-thawing time reduction of frozen tuna
Researcher: Samak Rakmae
Faculty: Engineering Department: Food Engineering

ABSTRACT

This research studied for the guideline the thawing time reduction of frozen Katsuwonus Pelamis tuna. The currently batch thawing process was analyzed and found that the thawing tank problems were the water temperature and velocity distributions were greatly different along the position inside the thawing tank that caused to the tuna qualities decreasing. The new concept thawing tank was designed for problems elimination base on the original thawing tank. The tank was equipped with the three sets of water distributor inside and each set had 3 water distribution pipes. The pipe was drilled 5 holds of 2 mm. diameter. The thawing experiments were set up with 1.8-2.0 kilogram tuna weight size, thawing water temperature was 18 ± 2 Celsius and 0.5 liter per second flow rate. The results found that the water temperature and velocity distribution inside the thawing tank were solved and maximum thawing time reduction was 18.24%.

Keywords : thawing, frozen tuna, immersion.



กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 นอกจากนี้ขอขอบคุณนักศึกษาที่ช่วยในงานวิจัย ได้แก่ นายธนภัทร เพชรไพบูลย์ นางสาวภาณุภา ตฤชณาปัญญา และนางสาว อรวรรณ จิตมุง

นายสมัคร รักแม่



สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| ปกใน..... | I |
| บทคัดย่อ(ภาษาไทย)..... | II |
| บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ)..... | III |
| กิตติกรรมประกาศ..... | IV |
| สารบัญ..... | V |
| 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 ความเรียงตัวของกล้ามเนื้อปลา..... | 5 |
| 2.2.2 องค์ประกอบหลักทางเคมีของปลาทูน่า..... | 7 |
| 2.2.3 สมบัติทางความร้อนของปลาทูน่า..... | 9 |
| 2.3 ขั้นตอนการผลิตปลาทูน่าเพื่อการแปรรูป..... | 10 |
| 2.4 การละลายอาหารแช่เยือกแข็ง..... | 11 |
| 2.4.1 วิธีการละลายอาหารแช่เยือกแข็ง..... | 11 |
| 2.4.1.1 การใช้ตัวกลางถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์..... | 13 |
| 2.4.1.2 การสร้างความร้อนให้เกิดขึ้นภายในผลิตภัณฑ์..... | 15 |
| 2.5 การถ่ายเทความร้อนในกระบวนการละลายโดยใช้น้ำ..... | 18 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 3 การออกแบบถังละลายแบบใหม่..... | 20 |
| 3.1 การวิเคราะห์ถังละลายแบบปัจจุบัน..... | 20 |
| 3.2 แนวทางและการออกแบบถังละลาย..... | 21 |
| 3.2.1 การออกแบบแผงปล่อยน้ำ..... | 21 |
| 3.2.2 การหาขนาดและจำนวนรูปปล่อยน้ำ..... | 22 |
| 3.2.3 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของท่อ..... | 24 |
| 3.2.4 การติดตั้งแผงปล่อยน้ำ..... | 25 |
| บทที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพของถังละลายที่ทำการออกแบบ..... | 26 |
| 4.1 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง..... | 26 |
| 4.1.1 การเตรียมตัวอย่างปลาท่อน้ำก่อนการละลาย..... | 27 |
| 4.1.1.1 การวัดขนาดและชั่งน้ำหนัก..... | 26 |
| 4.1.1.2 การเสียบเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิ..... | 26 |
| 4.2 ชุดอุปกรณ์ละลายปลาท่อน้ำ..... | 27 |
| 4.2.1 ระบบการละลายปลาท่อน้ำ..... | 27 |
| 4.2.1.1 ระบบละลาย..... | 27 |
| 4.2.1.2 อุปกรณ์สำหรับวัดการกระจายอุณหภูมิ..... | 28 |
| 4.2.1.3 อุปกรณ์สำหรับควบคุมอุณหภูมิ..... | 28 |
| 4.2.2 ชุดควบคุมอุณหภูมิ..... | 28 |
| 4.3 ขั้นตอนการทดลองละลายปลาท่อน้ำ..... | 29 |
| 4.3.1 ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์และระบบ..... | 29 |
| 4.3.1.1 เตรียมน้ำสำหรับการละลาย..... | 29 |
| 4.3.1.2 การจัดวางขวดน้ำและปลาท่อน้ำแช่แข็ง..... | 29 |
| 4.3.2 ขั้นตอนการละลายปลาท่อน้ำ..... | 29 |
| บทที่ 5 ผลการทดลอง..... | 31 |
| 5.1 การกระจายอุณหภูมิในถังแบบปัจจุบันและแบบใหม่..... | 31 |
| 5.2 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและเวลาที่ใช้ในการละลายปลาท่อน้ำ..... | 31 |
| 5.2.1 การละลายปลาท่อน้ำในถังละลายแบบปัจจุบัน..... | 34 |
| 5.2.2 การละลายปลาท่อน้ำในถังละลายแบบใหม่..... | 35 |
| บทที่ 6 ผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ..... | 37 |
| บรรณานุกรม..... | 38 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปลาทุ่นที่ทำกรจับจากทะเลจำเป็นต้องผ่านกระบวนการแช่แข็งแบบจุ่มภายในเรือ จนบริเวณใจกลางของปลาทุ่นมีอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อรักษาคุณภาพของปลาทุ่น หลังจากนั้นเมื่อปลาทุ่นผ่านกระบวนการขนส่งมายังโรงงาน จะถูกเก็บรักษาไว้ในห้องปรับอากาศที่มีอุณหภูมิ -18 ถึง -20 องศาเซลเซียส ก่อนเข้าสู่กระบวนการแปรรูปปลาทุ่นต้องผ่านกระบวนการละลาย ใช้น้ำที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 20 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเพิ่มจำนวนของ Psychrotrophic bacteria และ Psychrotropic bacteria ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic bacteria) ที่สามารถทนต่อความเย็นได้ โดยช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 20 ถึง 30 องศาเซลเซียส และเป็นแบคทีเรียที่สามารถทนอุณหภูมิต่ำได้ถึง -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 ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการละลายที่นานจะส่งผลเสียต่อคุณภาพของปลาทุ่นและเป็นการเพิ่มต้นทุนของกระบวนการผลิต

เนื่องจากในกระบวนการละลายปลาทุ่นแช่เยือกแข็งนั้นมีการถ่ายเทความร้อนสองรูปแบบ ได้แก่ การถ่ายเทความร้อนบริเวณผิวปลาที่สัมผัสกับน้ำ และการนำความร้อนจากเนื้อปลาด้านนอกเข้าสู่บริเวณใจกลางของตัวปลา (Backbone) โดยค่าตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับการถ่ายเทความร้อนและสามารถปรับแต่งได้ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection coefficient) เพราะค่าดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับความเร็วของน้ำที่ใช้ในกระบวนการละลาย จึงทำการออกแบบถังละลายแบบใหม่เพื่อเพิ่มความเร็วของน้ำและแก้ปัญหาที่การกระจายอุณหภูมิที่ไม่สม่ำเสมอภายในถังละลายแบบปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในสภาวะการละลายปลาทุ่นแช่แข็งในปัจจุบัน

1.2.2 ศึกษาการลดระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการละลายปลาทุ่น

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทราบถึงปัญหาและแนวทางแก้ไขปัญหาในการละลายปลาทุ่นแช่แข็ง

1.3.2 ทราบที่เกิดขึ้นและสามารถลดระยะเวลาในกา

ละลายปลาทุ่นแช่แข็งได้

1.4 ขอบเขตการศึกษา

- 1.4.1 ปลาทูน่าที่ใช้ในการศึกษา คือ ปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ (Skipjack tuna) ขนาด 1.8–2.0 กิโลกรัม
- 1.4.2 ขนาดของถังที่ใช้ในการกระบวนการละลายเป็นถังขนาด 1.6 เมตร × 1.2 เมตร × 1 เมตร
- 1.4.3 น้ำที่ใช้ในการละลายควบคุมให้มีอุณหภูมิไม่เกิน 20 องศาเซลเซียส



บทที่ 2

ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

2.1 ความสำคัญของอุตสาหกรรมการแปรรูปปลาทูน่า

ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากปลาทูน่าจัดเป็นอาหารเพื่อสุขภาพมีแนวโน้มการบริโภคของตลาดโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปลาทูน่ากระป๋องได้รับการยอมรับและเป็นที่ยอมรับบริโภคในประเทศไทย เดิมนั้นภาพลักษณ์ของสินค้าเป็นสินค้าคุณภาพ ราคาจะอยู่ในระดับสูงกว่าปลากระป๋องประเภทอื่น ๆ แต่ปัจจุบันได้รับการยอมรับในฐานะที่เป็นสินค้าเพื่อสุขภาพ และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง รวมทั้งการปรับปรุงรสชาติของปลาทูน่ากระป๋อง จากเดิมที่มีเพียงปลาทูน่าในน้ำมันและน้ำเกลือ มาเป็นสลัดทูน่า และปลาทูน่าปรุงรสด้วยเครื่องแกงที่เป็นที่รู้จักของคนไทย เช่น เชียวหวาน พะแนง มีสมัน เป็นต้น ซึ่งนับว่าเป็นการเพิ่มความหลากหลาย และเพิ่มโอกาสในการเลือกซื้อให้กับผู้บริโภค



ภาพที่ 2.1 ผลิตภัณฑ์ปลาทูน่าแปรรูปจากประเทศไทย

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

ปัจจุบันอุตสาหกรรมแปรรูปปลาทูน่าต้องนำเข้าปลาทูน่าแช่แข็ง มาใช้เป็นวัตถุดิบมากกว่าร้อยละ 90 โดยปลาทูน่าที่นำเข้าเป็นปลาทูน่าสายพันธุ์ทองแถบมากที่สุด ในช่วงเดือนมกราคม ตุลาคม-2555 มี

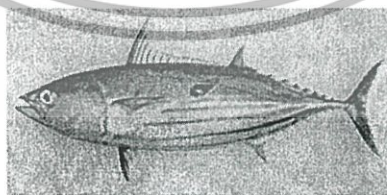
ปริมาณการนำเข้ารวม 669,603 ตัน คิดเป็นมูลค่ารวม 47,421 ล้านบาท และนำไปใช้ในการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง ในช่วงเดือนมกราคม ตุลาคมเกือบทั้งหมดมีปริมาณ-456,890 ตัน มูลค่า 67,010 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 68.23 ของปริมาณปลาทูน่าแช่แข็งที่นำเข้าทั้งหมด (กระทรวงพาณิชย์. 2555) และในปี 2555 ไทยสามารถส่งออกปลาทูน่ากระป๋องปริมาณ 5.59 แสนตัน ซึ่งคิดเป็นมูลค่าการส่งออก 88,400 ล้านบาท (กระทรวงพาณิชย์. 2556)

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

เพื่อรักษาความเป็นผู้นำในการส่งออกปลาทูน่ากระป๋องต่อไปซึ่งภาคเอกชนควรให้ความสำคัญอย่างยิ่งกับการพัฒนารูปแบบของผลิตภัณฑ์ให้มีความหลากหลายตามความต้องการของผู้บริโภคได้คุณภาพตามมาตรฐานสากลและร่วมมือกันหาตลาดใหม่ ๆ นอกจากนี้ควรพิจารณาสรรหาประโยชน์จากการทำข้อตกลงการค้าเสรีโดยเน้นสินค้าทูน่าแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพซึ่งจะเป็นจุดขายหนึ่งที่จะส่งผลต่อการผลิตและการส่งออกปลาทูน่ากระป๋องของไทยในอนาคตได้เพิ่มขึ้น

2.2 ปลาทูน่า

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



ภาพที่ 2.2 ปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบ (Skipjack tuna)
(ที่มา: PGFF. 2013)

ปลาท่อนำพันธุ์ท้องแถบเป็นสายพันธุ์ที่มีอยู่อย่างมากมายและจำหน่ายมากเป็นอันดับแรก แต่เป็นปลาที่มีเนื้อน้อยและมีสีเข้ม จัดเป็นพันธุ์ที่มีคุณภาพต่ำกว่าพันธุ์ครีบเหลืองและครีบขาว โดยปลาท่อนำพันธุ์ท้องแถบเป็นปลาที่นิยมรับประทานสด และนิยมนำเนื้อส่วนขาวมาทำปลาท่อนำพันธุ์กระป๋อง (พิมพ์พิเศษ และ นิธิยา. 2556)

2.2.1 โครงสร้างทางกายภาพของปลา

โครงสร้างของสัตว์น้ำที่มีกระดูกสันหลัง แบ่งตามตำแหน่งและหน้าที่ได้ 3 ส่วน คือ

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

2.2.1.1 ระบบกล้ามเนื้อของปลา

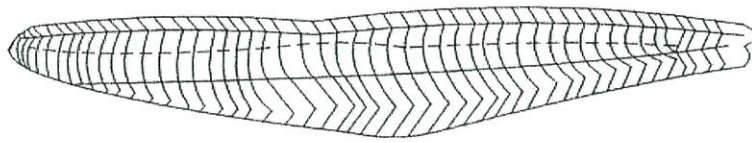
กล้ามเนื้อสัตว์น้ำไม่ซับซ้อนเหมือนสัตว์บก แต่มีต้นกำเนิดและโครงสร้างเหมือน ๆ กันกล้ามเนื้อแบ่งตามหน้าที่ได้ 3 ชนิด คือ

1. กล้ามเนื้อเรียบ (Smooth muscle) ได้แก่ กล้ามเนื้อบริเวณทางเดินอาหารและอวัยวะภายในของปลา อยู่นอกอำนาจการบังคับของจิต (Involuntary muscle)
2. กล้ามเนื้อลาย (Striated muscle หรือ Skeleton muscle) อยู่บริเวณด้านข้างของตัวปลา ช่วยในการเคลื่อนไหว สามารถบังคับได้ (Voluntary muscle)
3. กล้ามเนื้อหัวใจ (Cardiac muscle) มีลักษณะค่อนข้างหนาสีแดงเข้ม อยู่นอกอำนาจการบังคับของจิต

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

2.2.1.2 การเรียงตัวของกล้ามเนื้อปลา

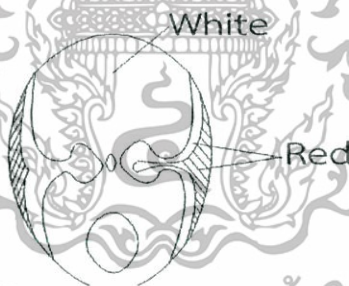
กล้ามเนื้อปลา (Block of muscle, Myotomes) เรียงตัวแบบ Segment ally ห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Myocomma) กล้ามเนื้อปลาและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันนี้สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ดังรูป 2. 3 เมื่อสูกจะเห็นเป็นชั้น (Flakes) เนื้อเยื่อเกี่ยวพันเมื่อได้รับความร้อนจะละลายกลายเป็นเจลทำให้เนื้อเยื่อแยกกันได้ง่าย



ภาพที่ 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

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



ภาพที่ 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

ภาพที่ 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 ขณะเดียวกันทำหน้าที่เป็นตัวละลายอื่นๆด้วย

รูปยึดเหนี่ยว (Bound water) น้ำในสภาวะนี้จะอยู่ตามผิวของคอลลอยด์ ไนโปรตีนและตามผนังเซลล์ เมื่อได้รับความร้อนน้ำที่อยู่ในสภาพนี้จะระเหยไปช้ากว่าน้ำที่อยู่ในรูปอิสระ ดังนั้น จึงต้องใช้ความร้อนสูงซึ่งตรงข้ามกับน้ำอิสระที่ระเหยได้ง่ายและแข็งตัวง่ายกว่า

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

ภาพที่ 2.6 ปริมาณน้ำของปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบ 100 กรัม

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

สืบค้นวันที่ 23 มีนาคม 2557)

- โปรตีน กล้ามเนื้อของปลาประกอบด้วยโปรตีน ประเภท ตามลักษณะการละลาย คือ โปรตีนไม่ละลายน้ำ ได้แก่ โปรตีนที่ยึดเหนี่ยวกันน้ำที่ในการยึดเหนี่ยวตัวของกล้ามเนื้อ มีประมาณร้อยละ 65-75 ของโปรตีนทั้งหมด รวมทั้งโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพันซึ่งมีปริมาณน้อยกว่า มีประมาณร้อยละ 3-10 ของโปรตีนทั้งหมด และโปรตีนไม่ละลายน้ำ ได้แก่ โกลโคโปรตีน เอนไซม์โปรตีนและไมโอโกลบินโปรตีน
- ไขมัน พบได้ผิวหนังและกล้ามเนื้อ จำแนกได้ 2 ชนิด ไขมันที่ร่างกายเก็บไว้ใช้พลังงาน (Deport-fat) ส่วนไขมันที่ไม่ได้ถูกสะสมเพื่อใช้เป็นพลังงาน (Non-deport-fat) ได้แก่ โพลีฟอสฟอไรด์ ปลาทูน่าที่ไขมันสูงอาจเปลี่ยนสภาพเป็นปลาไขมันต่ำได้ตามฤดูกาลและแหล่งอาหาร
- แร่ธาตุ แร่ธาตุทั้งหมดหรือเกือบในสัดส่วนที่มีปริมาณอยู่ระหว่างร้อยละ 1-2 ซึ่งแร่ธาตุที่สำคัญในสัตว์น้ำมีปริมาณแสดงไว้ดังรูป 2.7

| Minerals | |
|------------------------------|--------------|
| Amounts Per Selected Serving | %DV |
| Calcium | 29.0 mg 3% |
| Iron | 1.3 mg 7% |
| Magnesium | 34.0 mg 6% |
| 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 | |

ภาพที่ 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 | - | - |

ภาพที่ 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

ซึ่งค่าความร้อนจำเพาะของปลาทูน่าพันธุ์ทองแถบในช่วงอุณหภูมิ -40 ถึง 80 องศาเซลเซียส สามารถแบ่งได้ทั้งหมดสามช่วง ได้แก่ ช่วงก่อนการเปลี่ยนเฟส (-40 ถึง -9 องศาเซลเซียส ช่วงเปลี่ยนเฟส (-9 ถึง -4 องศาเซลเซียส และช่วงหลังการเปลี่ยนเฟส (4 ถึง 80 องศาเซลเซียส) โดยแต่ละช่วงจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความจุความร้อนจำเพาะที่แตกต่างกัน (จรรยา. 2552) ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนจำเพาะและอุณหภูมิของเนื้อปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ

| | อุณหภูมิ °ซ | 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. ค่าการนำความร้อนของปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ

ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity, k) หมายถึง อัตราการถ่ายเทความร้อนในวัสดุหนา 1 หน่วยที่อุณหภูมิต่างกัน 1 หน่วย มีหน่วยเป็น W/m.K โดยค่าการนำความร้อนในเนื้อปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ จะมีความสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน (จรรยา. 2552) ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อนและอุณหภูมิของเนื้อปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ

| ช่วงอุณหภูมิ)°ซ(| สมการ |
|------------------|---|
| -21 ถึง -4 | $k = -0.0082315T + 1.372261$ |
| -4 ถึง 10 | $k = 0.015172T^2 - 0.16642T + 0.477163$ |
| 10 ถึง 40 | $k = 0.0051T + 0.28$ |

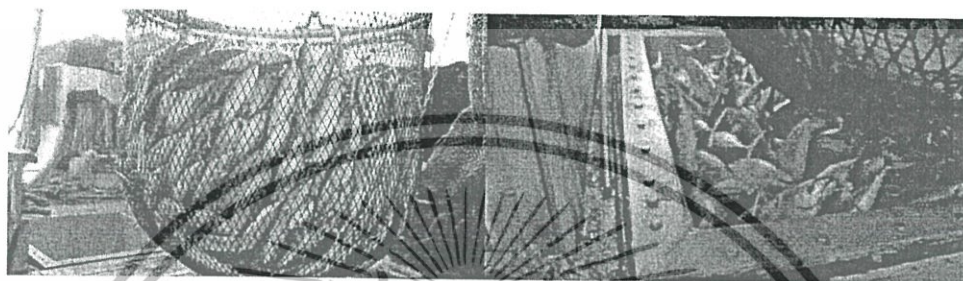
2.3 ขั้นตอนการผลิตปลาทูน่าเพื่อการแปรรูป



ภาพที่ 2.9 แผนผังกระบวนการละลายปลาทูน่าแช่เยือกแข็ง

ปลาทูน่าเมื่อจับจากทะเลจะนำไปแช่เยือกแข็งแบบจุ่ม (Immersion freezing) ภายในถังพักได้ห้องเรือดังรูป 2.10 เพื่อรักษาความสดของปลา โดยกระบวนการรักษาความสดของปลาทูน่าภายในเรือประมง ทำด้วยการใช้น้ำเกลือเข้มข้น ในการผสมน้ำและเกลือจะต้องได้สัดส่วนมาตรฐานของขนาดความเข้มข้นใน

การนำเกลือเข้มข้น ซึ่งเรือประมงมีปริมาณความจุในการทำน้ำเกลือเข้มข้นประมาณ 60 ลูกบาศก์เมตร ตามสัดส่วนจะใช้เกลือ 29 กิโลกรัมต่อน้ำจืด 100 กิโลกรัม ซึ่งสามารถทำให้อุณหภูมิลดต่ำลงถึง -17 ถึง -21.2 องศาเซลเซียส และยังคงสถานะเป็นของเหลว โดยให้ปลาทุกตัวจมอยู่ในน้ำเกลือเข้มข้น 1 คิน เพื่อให้ทำให้อุณหภูมิของปลาเท่ากัน ให้อุณหภูมิทั่วทั้งตัวปลาได้ -10 องศาเซลเซียส และคงอุณหภูมิที่ -10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน การแช่น้ำเกลือทำให้ปลาแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็ว (จเร และคณะ. 2554)

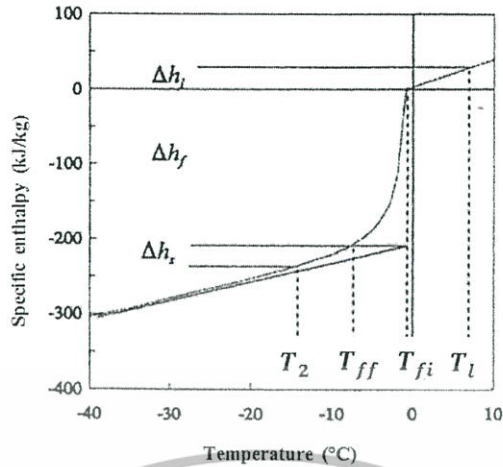


ภาพที่ 2.10 การแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษาปลาในเรือ (ที่มา: Greenpeace, 2013)

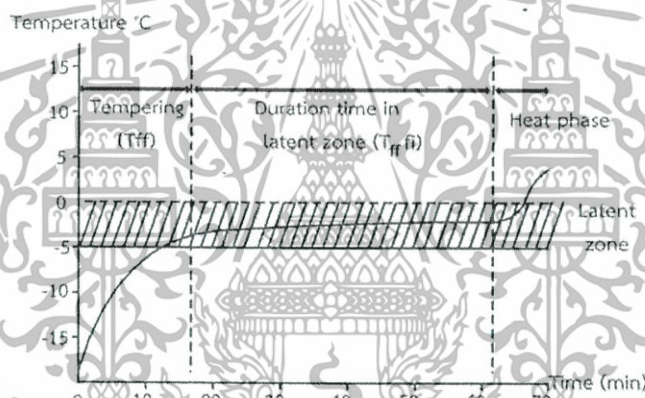
เมื่อเรือเทียบท่าปลาที่แช่เยือกแข็งจะถูกบรรจุลงภายในถังแล้วขนส่งมายังโรงงาน เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการคัดขนาดโดยวิธีการชั่งน้ำหนักและบรรจุลงถังสำหรับละลายปลาแล้วนำไปเก็บรักษาภายในห้องเย็นเพื่อรอเข้าสู่กระบวนการละลายซึ่งการละลายจะนำถังซ้อนกันสองชั้น ปล่อยน้ำเพื่อละลายปลาเข้าสู่ด้านบนของถังละลาย แล้วจึงนำปลาที่ผ่านการละลายเข้าสู่การแปรรูปต่อไป

2.4 การละลายอาหารแช่เยือกแข็ง

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



ภาพที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิกับค่าเอนทาลปี (Specific enthalpy) ที่เปลี่ยนไป (ที่มา: Haugland, A. 2002)



ภาพที่ 2.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ละลายกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป (ที่มา: Haugland, A. 2002)

ในกระบวนการละลายอาหารแช่แข็งตั้งแต่อุณหภูมิที่ทำการแช่แข็งจนกระทั่งถึงอุณหภูมิหลอมเหลว แบ่งกระบวนการได้ 3 ระยะ ดังรูป 2.12

ระยะที่ 1 เรียกว่า Tempering phase ($T < T_{ff}$) พลังงานความร้อนที่ให้คือ Δh_s ทำให้อุณหภูมิในอาหารแช่แข็งเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเกิดการหลอมเหลวของน้ำแข็งภายในอาหาร ระยะนี้ค่อนข้างสั้น ค่าความจุความร้อนจำเพาะต่ำ และค่าการนำความร้อนสูง

ระยะที่ 2 เรียกว่า Latent zone phase ($T_{ff} < T < T_f$) น้ำแข็งเกิดการหลอมเหลว เนื่องจากพลังงานความร้อนที่เพิ่มให้ คือ Δh_f โดยอุณหภูมิของอาหารในระยะนี้ค่อนข้างคงที่จนถึงจุด T_f ซึ่งเป็นอุณหภูมิเยือกแข็งของอาหารหรือเรียกว่า Freezing point

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

2.4.1 วิธีการละลายอาหารแช่เยือกแข็ง

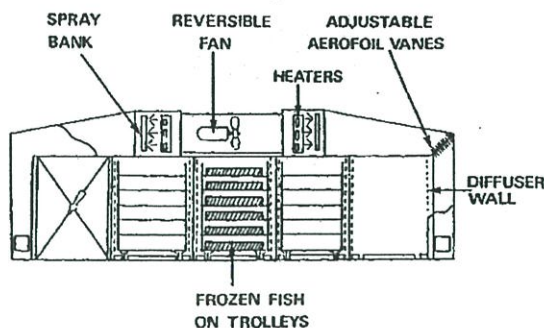
การละลายอาหารแช่เยือกแข็ง สามารถแบ่งออกได้ 2 วิธี การตามลักษณะของกลไกการถ่ายเทความร้อนในระหว่างการละลาย คือ การใช้ตัวกลางถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์และการสร้างความร้อนให้เกิดขึ้นภายในผลิตภัณฑ์ (Yaxiang, B. et al. 2011) ในปัจจุบันวิธีการละลายอาหารแช่เยือกแข็งในอุตสาหกรรมแปรรูปในประเทศไทยส่วนใหญ่ยังใช้การละลายด้วยการใช้ตัวกลางถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ เนื่องจากควบคุมการทำงานง่ายและค่าใช้จ่ายต่ำ เช่น การละลายปลาแช่เยือกแข็งด้วยวิธีการแช่น้ำ การละลายซูริมิแช่เยือกโดยทิ้งไว้ให้เกิดการละลายตามธรรมชาติ ซึ่งมีอัตราการละลายช้า ใช้เวลานาน และใช้พื้นที่มาก สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ นอกจากนี้ยังมีโอกาสเกิดการปนเปื้อนสารพิษเนื่องจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วย เพื่อเพิ่มอัตราการละลายและลดการสูญเสียคุณภาพของอาหารในระหว่างการละลาย (อุมพร 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 และเป็นแบคทีเรียที่สามารถทนอุณหภูมิต่ำได้ถึง -5 องศาเซลเซียส (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิริยา รัตนาปนนท์. 2556)

วิธีการใช้ตัวกลางถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ เกิดการละลายบริเวณที่ผิวของผลิตภัณฑ์ก่อนและละลายเข้าไปภายในเรื่อย ๆ โดยวิธีเหล่านี้เกิดขึ้นได้รวดเร็ว เมื่อความแตกต่างอุณหภูมิของผิวผลิตภัณฑ์และตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนมีมาก และเมื่อผลิตภัณฑ์มีค่าการนำ การแพร่ความร้อนสูง และผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็ก โดยสามารถแบ่ง วิธีการละลายที่เกิดที่ผิวของผลิตภัณฑ์ได้ดังนี้

1. การละลายโดยใช้อากาศนิ่ง (Still air thawing) วิธีการนี้ทำได้โดยวางเพียงวางผลิตภัณฑ์ไว้ในบรรยากาศหรือไว้ในห้องทำความเย็น เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ละลาย แต่เป็นวิธีการที่ใช้ระยะเวลาในการละลายมาก



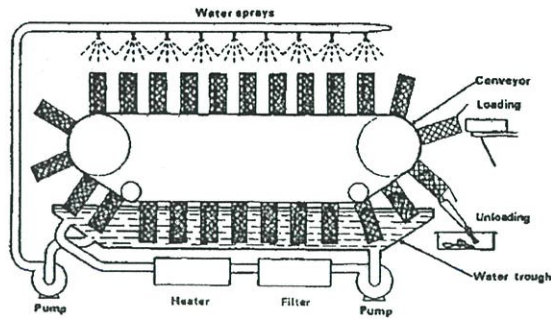
ภาพที่ 2.13 หลักการทำงานของเครื่องละลายอาหารแช่เยือกแข็งโดยใช้ลมพ่น

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

2. การละลายโดยใช้ลมพ่น (Air blast thawing) เป็นวิธีการที่ใช้ความเร็วของลมพ่นผ่านอาหารแช่เยือกแข็งเพื่อทำการละลายและลมที่ใช้ควรมีความชื้นมากกว่าร้อยละ 90 เพื่อลดการสูญเสียน้ำของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการละลาย ซึ่งวิธีการนี้ผลิตภัณฑ์จะละลายเร็วขึ้นกว่าวิธีการละลายโดยใช้อากาศหนึ่ง แต่การใช้ลมที่มีความเร็วสูงเกินไป อาจทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียน้ำหนักและมีลักษณะแห้งที่บริเวณผิวของผลิตภัณฑ์ โดยหลักการทำงานของเครื่องละลายอาหารแช่เยือกแข็งโดยใช้ลมพ่น ดังรูป 2.13

3. การละลายโดยใช้น้ำ (Water thawing) เป็นวิธีการละลายที่นิยมใช้ในระดับกระบวนการอุตสาหกรรม เนื่องจากเหมาะสำหรับละลายอาหารแช่เยือกแข็งในปริมาณที่มากเพื่อเตรียมเข้าสู่กระบวนการผลิต จึงนิยมใช้การละลายน้ำแข็งโดยใช้น้ำ หรือแช่ลงในน้ำ (อูมาพร และคณะ. 2554) ดังรูป 2.14 และเป็นวิธีที่เหมาะสมต่ออุตสาหกรรมการละลายปลาแช่เยือกแข็ง ใช้เวลาอันสั้น ทั้งยังขจัดเขย น้ำหนักที่สูญหายไประหว่างการแช่เย็นและการแช่เยือกแข็ง (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



ภาพที่ 2.14 หลักการทำงานของเครื่องละลายอาหารแช่เยือกแข็งโดยใช้น้ำ

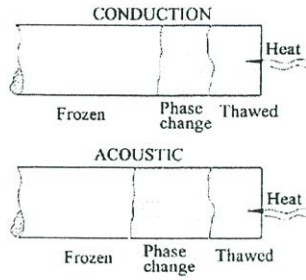
(ที่มา: <http://www.fao.org> สืบค้นวันที่ 18 สิงหาคม 2556)

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

2.4.1.2 การสร้างความร้อนให้เกิดขึ้นภายในผลิตภัณฑ์

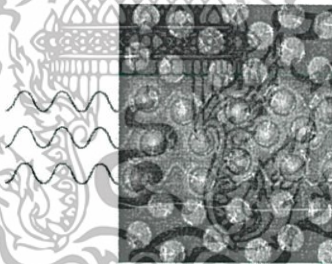
วิธีการสร้างความร้อนให้เกิดขึ้นภายในผลิตภัณฑ์เป็นวิธีค่อนข้างดี ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการละลายอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการใช้ตัวกลางถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ สามารถแบ่งวิธีการละลายที่เกิดขึ้นภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์ได้ดังนี้

1. การละลายด้วยเทคโนโลยีคลื่นความถี่ (Acoustic/Ultrasonic thawing) อุลตราโซนิค (Ultrasonic) เป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะได้ยินมีความถี่สูงเกินกว่า 20 กิโลเฮิร์ตซ์ ขึ้นไป สมบัติเด่นของคลื่นย่านอัลตราโซนิค คือ เป็นคลื่นที่มีทิศทาง ทำให้สามารถกำหนดคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจงไม่มีการเลี้ยวเบนที่ขอบ ฟุ้งออกมาเป็นลำแคบ ๆ หรือที่เรียกว่า มีทิศทาง (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา. 2556) จึงมีการนำคลื่นเสียงมาใช้ร่วมกับการละลายด้วยน้ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการละลาย โดยคลื่นเสียงสามารถช่วยเร่งอัตราการเปลี่ยนเฟสของผลิตภัณฑ์น้ำแข็งและการถ่ายเทความร้อนจากภายในเนื้ออาหารแช่เยือกแข็ง ดังรูป 2.15



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

การประยุกต์คลื่นเสียงมาใช้ในการละลายอาหารแช่เยือกแข็งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการละลาย เนื่องจากคลื่นเสียงจะช่วยกระตุ้นการเปลี่ยนสถานะของผลึกน้ำแข็งภายในวัสดุอาหารแช่เยือกแข็งได้ดีกว่า การละลายโดยกลไกการถ่ายเทความร้อนแบบให้ความร้อนจากภายนอก โดยคลื่นเสียงจะเร่งการ สั่นสะเทือนของผลึกน้ำแข็งให้เกิดการเสียดสีกันและเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวทันที สามารถลด ปรากฏการณ์การรวมตัวของผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ หรือการตกผลึกใหม่ (Recrystallization) ซึ่งการเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวจะส่งผลเสียต่อโครงสร้างเซลล์อาหาร หรือการ สูญเสียน้ำหนักของอาหารระหว่างการแช่เยือกแข็ง



ภาพที่ 2.16 การเกิดความร้อนในเนื้อวัสดุจากการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก (ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)

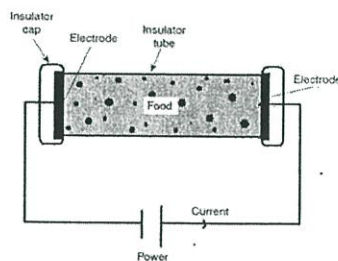
2. การละลายด้วยเทคโนโลยีคลื่นไมโครเวฟ (Microwave thawing) คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่น แม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ระหว่าง 300 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึง 300 จิกะเฮิร์ตซ์ ปัจจุบันได้กำหนดความถี่ของ คลื่นไมโครเวฟสำหรับกระบวนการให้ความร้อนไว้ที่ 2 ระดับความถี่ คือ 915 ± 13 เมกะเฮิร์ตซ์ และ $2,450 \pm 50$ เมกะเฮิร์ตซ์

การเกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟประกอบด้วย การเหนี่ยวนำเชิงไอออน (Ionic conduction) และกลไกชนิดการหมุนของทั้งสองขั้ว (Dipolar rotation) ซึ่งค่าความร้อนที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟเหนี่ยวนำให้โมเลกุลของน้ำภายในอาหารและเกิดการหมุน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขั้วไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว (อุมาพร และคณะ. 2554) ขั้วไฟฟ้าที่เป็นขั้วบวกและขั้วลบพยายามเรียงตัวตามทิศทางของสนามคลื่นที่ส่งผ่านเข้ามาทำให้เกิดการเสียดสีกันของโมเลกุลเกิดเป็นความร้อนกระจายภายในอาหารก่อให้เกิดความร้อนในอาหารได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556) ดังรูป 2.16 โดยประสิทธิภาพการเกิดความร้อนด้วยวิธีไมโครเวฟขึ้นกับคุณสมบัติด้านไดอิเล็กทริกของอาหารในแต่ละชนิด ดังรูป 2.17

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



ภาพที่ 2.17 โครงสร้างของโมเลกุลแบบไม่มีขั้วและโครงสร้างของโมเลกุลแบบมีขั้ว (ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556)



ภาพที่ 2.18 การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก

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

3. การละลายด้วยเทคโนโลยีโอห์มมิก (Ohmic thawing) เทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก เป็นการสร้างความร้อนจากการต้านทานการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าภายใน โดยปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่าน โลหะที่เป็นขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองข้างผ่านเข้าสู่อาหารแช่เยือกแข็ง ดังรูป 2.18 กระแสไฟฟ้าจะกระตุ้นการ เปลี่ยนสถานะของผลึกน้ำแข็งให้เป็นของเหลวอย่างรวดเร็ว มีอัตราการละลายที่รวดเร็ว (Filiz, I. et al. 2010)

ซึ่งวิธีการละลายด้วยเทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีค่าการ นำไฟฟ้าสูง และจำเป็นต้องสัมผัสกับอาหารแช่เยือกแข็งโดยตรง จึงไม่เหมาะกับการละลายผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์

2.5 การถ่ายเทความร้อนในกระบวนการละลายโดยใช้น้ำ (Heat transfer in water thawing)

การถ่ายเทความร้อน คือ การถ่ายเทพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มี อุณหภูมิต่ำ ในกระบวนการละลายโดยใช้น้ำจะมีกลไกถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้น 2 แบบคือ

1. การพาความร้อน (Convection) คือ การถ่ายเทความร้อนระหว่างของแข็งกับของไหลที่อุณหภูมิ แตกต่างกัน ซึ่งอัตราในการพาความร้อนจะขึ้นกับตัวแปรต่างๆ ได้แก่ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, พื้นที่ที่ ผิวของวัตถุสัมผัสกับของไหลและ ความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลกับอุณหภูมิของวัสดุ โดยการพา ความร้อนสามารถจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การพาความร้อนแบบอิสระ (Free convection) และ การพาความร้อนแบบบังคับ (Force convection)

2. การนำความร้อน (Conduction) คือ การถ่ายเทความร้อนที่มีอนุภาคของของแข็งเป็นตัวกลาง โดยอัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำจะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ ได้แก่ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน, พื้นที่ผิวที่มีการถ่ายเทความร้อน และอัตราส่วนระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลง ของระยะทาง โดยการถ่ายเทความร้อนภายในกระบวนการละลายสามารถอธิบายได้จากสมมูลพลังงาน ระหว่างการพาความร้อน (กฎการเย็นตัวของนิวตัน, Newton's law of cooling) ดังสมการที่ (2.1) จาก น้ำเย็นเข้าสู่ผิวของตัวปลา ซึ่งมีค่าเท่ากับการนำความร้อนดังสมการที่ (2.2) (กฎการนำความร้อนของฟู

เรียร์, Fourier's of conduction) จากผิวนอกของตัวปลาเข้าสู่เนื้อปลาบริเวณกระดูกสันหลัง ดังสมการที่ (2.3)

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

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

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

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)

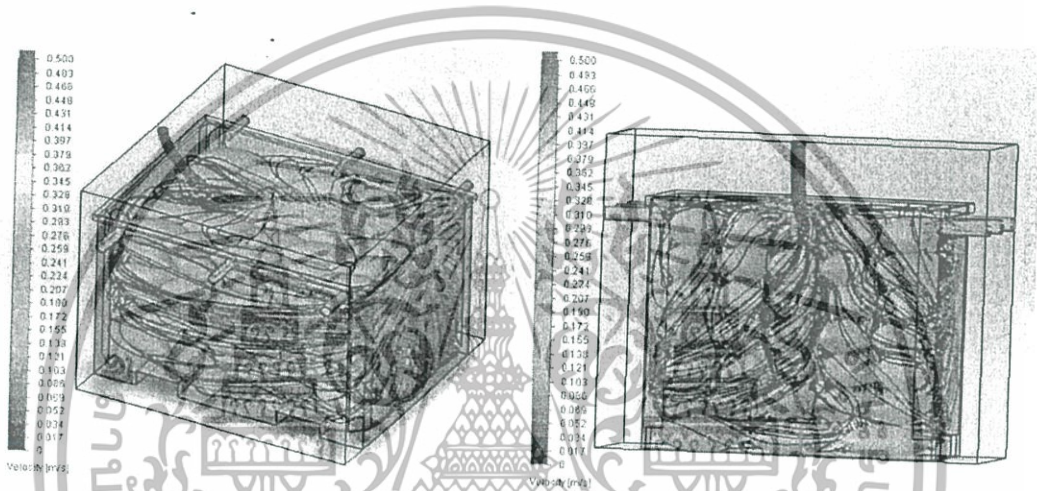
การพาความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการละลายเป็นการพาความร้อนแบบบังคับ เนื่องจากกรไหลของน้ำที่ใช้ในกระบวนการละลายเกิดจากการทำงานของปั๊ม โดยปัจจัยที่มีผลกับอัตราการพาความร้อน และสามารถปรับปรุงได้ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Heat transfer coefficient, h_c) ซึ่งตัวแปรที่ปรับค่าได้ คือ ความเร็วของของไหล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

บทที่ 3

การออกแบบถังละลายแบบใหม่

3.1 การวิเคราะห์ถังละลายแบบปัจจุบัน

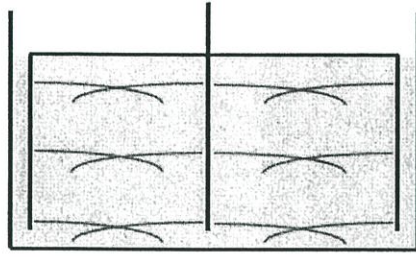
ระบบการละลายในปัจจุบัน เป็นการละลายโดยปล่อยน้ำจากสายยางเข้าสู่บริเวณด้านบนของถังละลาย จากการวิเคราะห์ลักษณะการไหลของน้ำและการกระจายอุณหภูมิภายในถังละลายด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค ดังรูป 3.1 พบว่า บริเวณที่ใกล้กับสายยางน้ำจะมีความเร็วสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ ดังนั้นการละลายในปัจจุบัน ยังคงใช้ระยะเวลาที่นาน ซึ่งส่งผลเสียต่อคุณภาพของปลาที่ผ่านกระบวนการละลาย



ภาพที่ 3.1 การจำลองลักษณะการไหลของน้ำภายในถังละลายด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค

ระบบการละลายในลักษณะนี้ทำให้ความเร็วของน้ำแต่ละตำแหน่งไม่เท่ากัน โดยสามารถวิเคราะห์ได้ว่าน้ำด้านบนจะมีความเร็วสูง ส่วนน้ำบริเวณด้านล่างจะมีความเร็วต่ำ ซึ่งความเร็วของน้ำจะมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน นอกจากนี้การปล่อยน้ำจากด้านบนถึง ทำให้น้ำที่บริเวณด้านล่างมีอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากน้ำได้แลกเปลี่ยนความร้อนกับปลาที่อยู่ด้านบนบางส่วนแล้ว

จากข้อมูลข้างต้น จึงออกแบบถังละลายแบบใหม่จากแนวความคิดการเพิ่มการกระจายอุณหภูมิและการเพิ่มความเร็วของน้ำบริเวณด้านล่าง โดยออกแบบแผงปล่อยน้ำใหม่ให้มีรูปล่อยน้ำเพิ่มขึ้น และให้มีลักษณะการปล่อยน้ำ ดังรูป 3.2



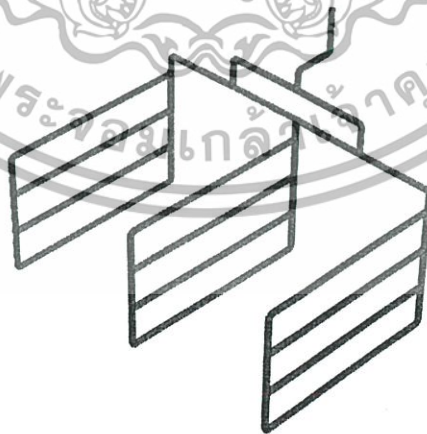
ภาพที่ 3.2 ลักษณะการปล่อยน้ำภายในถังละลายที่ออกแบบใหม่

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 และ ขั้นตอนที่ 4 คือการติดตั้งแผงปล่อยน้ำ เป็นการนำแผงปล่อยน้ำที่ออกแบบเข้าไปติดตั้งในถังละลายเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

3.2.1 การออกแบบแผงปล่อยน้ำ

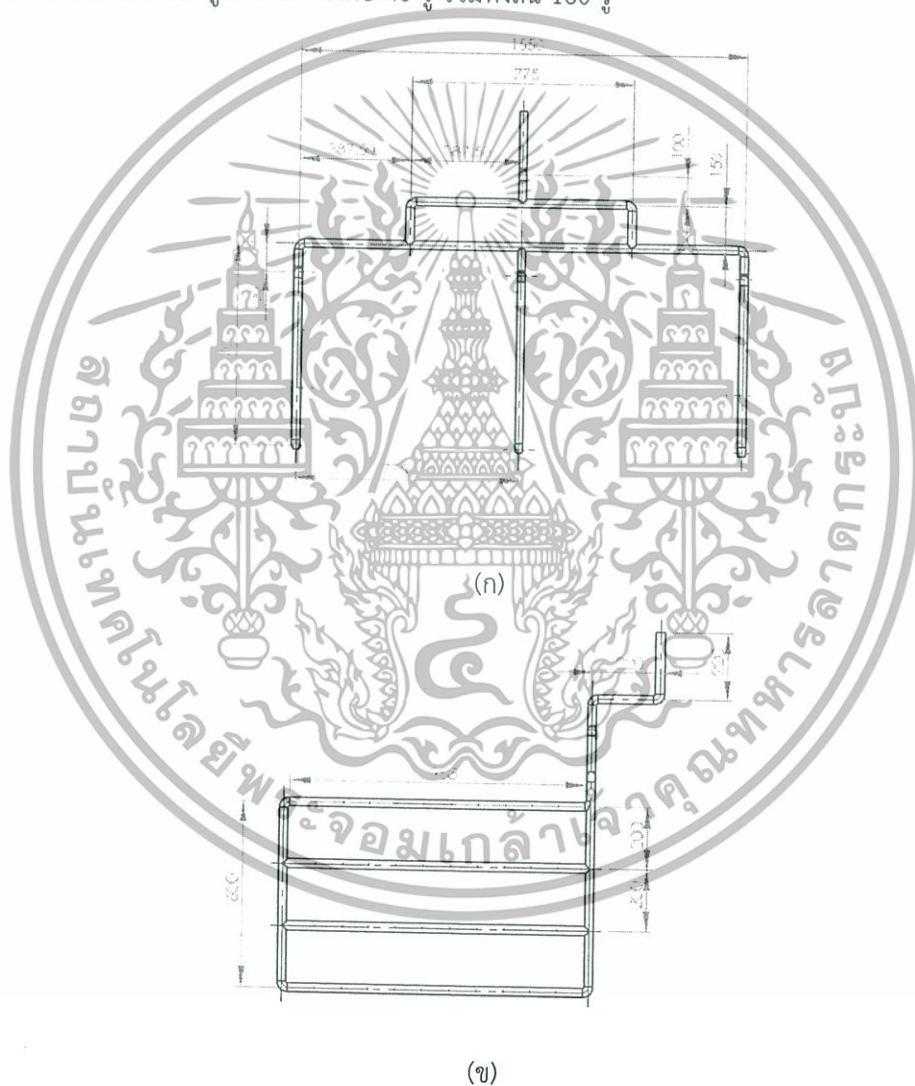
การออกแบบแผงปล่อยน้ำ จะออกแบบให้มีลักษณะเป็นท่อแยกไหล 3 ทาง ซึ่งแต่ละท่อจะต่อกับแผงปล่อยน้ำ ดังรูป 3.3 โดยขนาดของแผงปล่อยน้ำได้ทำการออกแบบให้มีลักษณะดังรูป 3.43. และ (ก) 4 (ข) เพื่อให้สามารถใช้ร่วมกับถังละลายขนาด $1.6 \times 1.2 \times 1$ ลูกบาศก์เมตร ได้สะดวก



ภาพที่ 3.3 แผงปล่อยน้ำของถังละลายแบบใหม่

3.2.2 การหาขนาดและจำนวนรูปหล่อยน้ำ

การหาขนาดรูและจำนวนรูปหล่อยน้ำ ออกแบบจากความเร็วของน้ำที่ออกจากรูของถังละลายจำลอง จากการคำนวณหาความเร็วของน้ำที่ออกจากรูที่ขนาด 2 มิลลิเมตร จำนวน 60 รู พบว่า น้ำที่ออกจากรูหล่อยน้ำมีความเร็ว 2.65 เมตรต่อวินาที จากการคำนวณอัตราส่วนน้ำที่ใช้การละลายปลา 100 กิโลกรัม อัตราการไหลที่ใช้ เท่ากับ 0.5 ลิตรต่อวินาที ดังนั้นหากต้องการละลายปลาจำนวน 900 กิโลกรัม เมื่อคำนวณตามอัตราส่วนของมวลที่ต้องการละลายจะต้องเพิ่มอัตราการไหลเป็น 4.5 ลิตรต่อวินาที เนื่องจากถังละลายจริงในอุตสาหกรรมมีขนาด 1.6x1.2x1 ลูกบาศก์เมตร จึงกำหนดให้แผงหล่อยน้ำ 3 แผง แผงละ 4 ชั้น แต่ละชั้นมีจำนวนรูปหล่อยน้ำเท่ากับ 40 รู รวมทั้งสิ้น 160 รู



ภาพที่ 3.4 (ก) ขนาดของแผงหล่อยน้ำ (Top view)

(ข) ขนาดของแผงหล่อยน้ำ (Side view)

จากผลการทดลองพบว่า การละลายในถังแบบใหม่โดยใช้อัตราการไหลเท่ากับ 0.5 ลิตรต่อวินาที สามารถลดระยะเวลาในการละลายได้ 18.24 เปอร์เซ็นต์ ของเวลาที่มากที่สุดในการละลายในถังละลายแบบปัจจุบัน จึงทำการคำนวณเพื่อให้ความเร็วของน้ำมีค่าเท่ากับกับสถานะที่ทำการทดลอง โดยใช้สมการ (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 โดยวิเคราะห์จากขนาดของโครงสร้างแผงปล่อยน้ำ รูปล่อยน้ำมีจำนวนทั้งหมด 160 รู แผงปล่อยน้ำมีทั้งหมด 16 ท่อ

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



ภาพที่ 3.5 ขนาดและระยะห่างของรูปล่อยน้ำ

3.2.3 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของท่อ

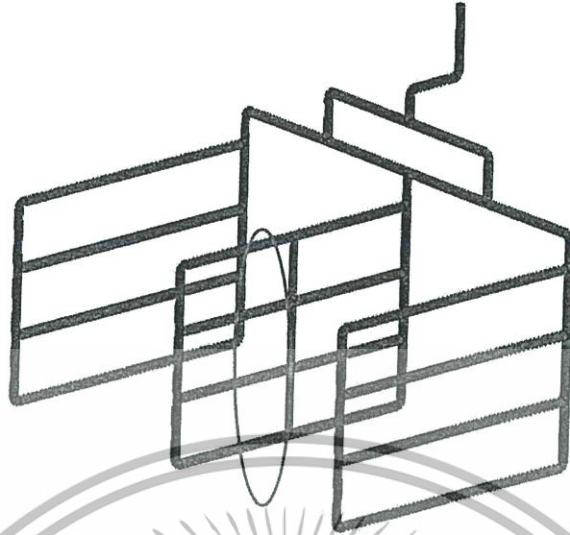
สำหรับการวิเคราะห์ความแข็งแรงของท่อ จะใช้โปรแกรมโซลิดเวิร์คซิมูเลชันเพื่อวิเคราะห์ขนาดและความหนาของท่อ โดยมีเงื่อนไขในการวิเคราะห์ 2 แบบ คือ ท่อต้องสามารถรับน้ำหนักของปลาหูขนาด 50 กิโลกรัม ซึ่งเป็นขนาดที่ใหญ่ที่สุดได้ และแรงกระทำที่ปลาทำกับท่อเป็นแรงประเภท แรงตกกระทบของวัตถุ (Impact force) ตกกระทบลงบนกึ่งกลางของท่อ



ภาพที่ 3.6 การวิเคราะห์เพื่อหาความหนาของท่อปลอยน้ำ

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

หากต้องการลดขนาดและความหนาของท่อ ทำได้โดยการออกแบบให้บริเวณกึ่งกลางระหว่างท่อมีคานรองรับ เพื่อลดความเค้นที่เกิดจากการโค้งงอของท่อขณะที่มีแรงตกกระทบของวัตถุ ดังรูป 3.7



ภาพที่ 3.7 แผงปลี่ยนน้ำที่มีการเสริมคานเพื่อเพิ่มความแข็งแรง

3.2.4 การติดตั้งแผงปลี่ยนน้ำ

แผงปลี่ยนน้ำที่ถูกออกแบบจะถูกสวมเข้าทางด้านบนของถังขนาด 1.6x1.2x1 ลูกบาศก์เมตร ลักษณะของถังที่ติดตั้งสามารถแสดงได้ดังรูป 3.8



ภาพที่ 3.8 ลักษณะการติดตั้งแผงปลี่ยนน้ำและวาล์วภายในถังละลายแบบใหม่

เนื่องจากแผงปลี่ยนน้ำถูกออกแบบให้มี 4 ชั้น จึงทำให้น้ำที่ไหลภายในชั้นต่างๆไม่เท่ากัน จึงทำการติดตั้งวาล์วในแต่ละชั้น เพื่อควบคุมอัตราไหลภายในท่อให้ใกล้เคียงกัน การติดตั้งวาล์วจะทำการติดตั้งที่บริเวณที่เชื่อมต่อกับท่อส่งน้ำ ดังรูป 3.8

บทที่ 4

การทดสอบประสิทธิภาพของถังละลายที่ทำการออกแบบ

4.1 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1.1 การเตรียมตัวอย่างปลาท่อนก่อนการละลาย

ใช้ปลาท่อนน้ำหนัก 1 กิโลกรัม 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

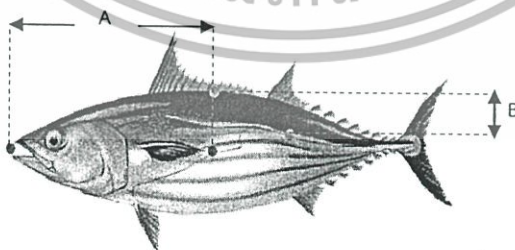
การวัดขนาดกระทำทั้งสิ้น 3 จุด คือ วัดความยาวจากหัวปลาถึงโคนหาง (X) วัดความกว้างจากจุดที่กว้างที่สุดของตัวปลา (Y) และวัดความยาวจากหัวปลาไปจนถึงครีบหลัง (Z) ดังรูป 4.1



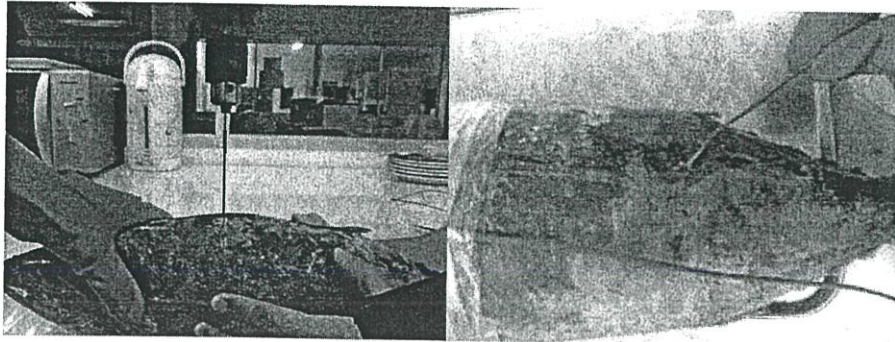
ภาพที่ 4.1 ตำแหน่งในการวัดขนาด

4.1.1.2 การเสียบเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิ

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



ภาพที่ 4.2 ตำแหน่งในการเจาะเพื่อวัดอุณหภูมิปลาท่อน



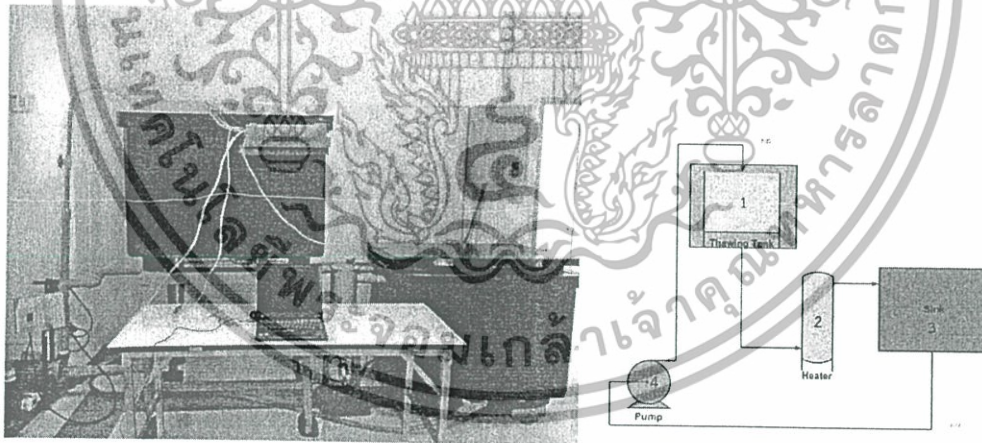
ภาพที่ 4.3 การเจาะและการเสียบสายเทอร์โมคัลเบิ้ลเพื่อวัดอุณหภูมิปลาทูน่า

4.2 ชุดอุปกรณ์ละลายปลาทูน่า

4.2.1 ระบบการละลายปลาทูน่า

4.2.1.1 ระบบละลาย

ในการทดลองใช้อุปกรณ์ทั้งหมด 4 ส่วน ได้แก่ ถังละลาย เครื่องทำความร้อน ถังพักน้ำ และปั้มน้ำ ดังรูป 4.4 ซึ่งระบบนี้สามารถควบคุมอัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการละลายได้ โดยการทำงานของระบบที่ใช้ในการทดลอง ปั้มน้ำจะดูดน้ำจากถังพักเข้าสู่ถังละลายบริเวณด้านบนสำหรับถังแบบปัจจุบัน และจะถูกป้อนผ่านแผงปล่อยน้ำสำหรับถังแบบใหม่ และน้ำที่ผ่านการละลายจะไหลจะเข้าสู่กระบอกที่ประกอบด้วยเครื่องทำความร้อน 8500 วัตต์ เพื่อรับความร้อน และเข้าสู่ถังพัก



ภาพที่ 4.4 ระบบการละลายที่ใช้ในการทดลอง

4.2.1.2 อุปกรณ์สำหรับวัดการกระจายอุณหภูมิ

วัดการกระจายอุณหภูมิภายในถังละลายปลาทูน่า ด้วยการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลทั้งหมด 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 อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ให้ความร้อนโดยใช้จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดตัวนำจนเกิดความร้อน 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)

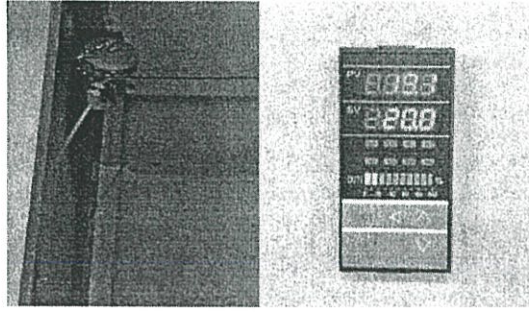
(ข)

ภาพที่ 4.5 (ก) เครื่องทำความร้อนส่วนที่ 1

(ข) เครื่องทำความร้อนส่วนที่ 2

4.2.2 ชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller)

ชุดควบคุมอุณหภูมิ ดังรูป 4.6 มีไว้เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องทำความร้อน โดยติดตั้งอาร์ทีดี บริเวณปลายท่อหัวจ่ายน้ำ เพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำเข้าระบบ และส่งสัญญาณไปยังชุดควบคุมอัตโนมัติเพื่อสั่งการเครื่องทำความร้อน (Heater)



ภาพที่ 4.6 ชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติสำหรับสั่งการเครื่องทำความร้อน

4.3 ขั้นตอนการทดลองละลายปลาทูน่า

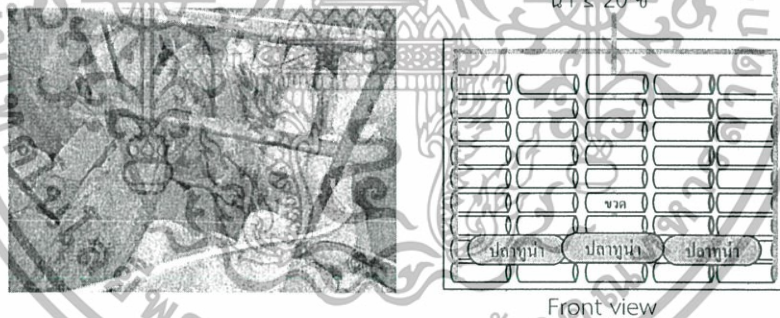
4.3.1 ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์และระบบ

4.3.1.1 เตรียมน้ำสำหรับการละลาย

ปรับน้ำภายในถังพักให้มีอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส โดยควบคุมให้น้ำมีปริมาณ 0.32 ลูกบาศก์เมตร คงที่ตลอดเวลา

4.3.1.2 การจัดวางขวดน้ำและปลาทูน่าแช่แข็ง

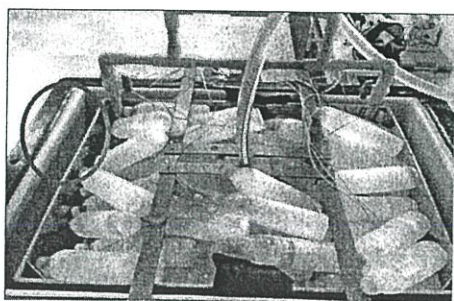
จัดวางขวดขวดน้ำพลาสติก (PET) ขนาด 600 มิลลิเมตร ที่ผ่านการแช่แข็งให้เป็นลักษณะ จำนวน 180 ขวด และวางปลาทูน่าที่เตรียมไว้สำหรับการทดลองจำนวน 3 ตัว บริเวณจุดที่อุณหภูมิของน้ำต่ำที่สุด (Cold point) ดังรูป 4.7



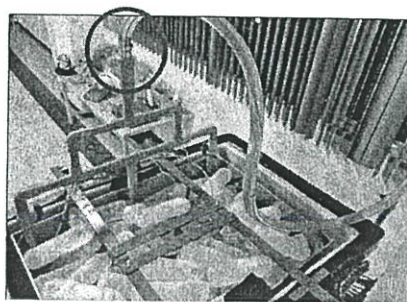
ภาพที่ 4.7 การจัดวางขวดน้ำและปลาทูน่าแช่แข็งภายในถังละลาย

4.3.2 ขั้นตอนการละลายปลาทูน่า

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



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.8 (ก) ลักษณะการป้อนน้ำสำหรับถึงละลายปัจจุบัน

(ข) ลักษณะการป้อนน้ำสำหรับถึงละลายใหม่

ซึ่งระหว่างการทดลองน้ำที่ผ่านการละลายจะมีอุณหภูมิลดต่ำลงจึงใช้เครื่องทำความร้อนปรับอุณหภูมิ โดยการทดลองจะสิ้นสุดเมื่ออุณหภูมิของปลาหน้าบริเวณจุดที่เข้าที่สุดมีอุณหภูมิลดถึง -2 องศาเซลเซียส

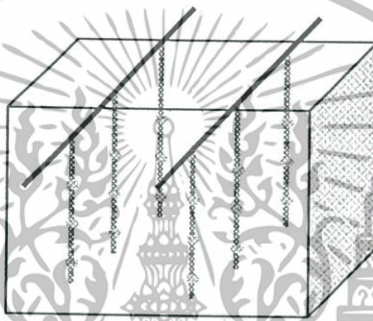


บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 การกระจายอุณหภูมิในถังแบบปัจจุบันและแบบใหม่

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



ภาพที่ 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 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและเวลาที่ใช้ในการละลายปลาทูน่า

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) ของการละลายปลาทูน่าแช่แข็งระหว่างกระบวนการละลายได้จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิของปลาทูน่าที่วัดได้จากการทดลองกับอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณเมื่อเวลา

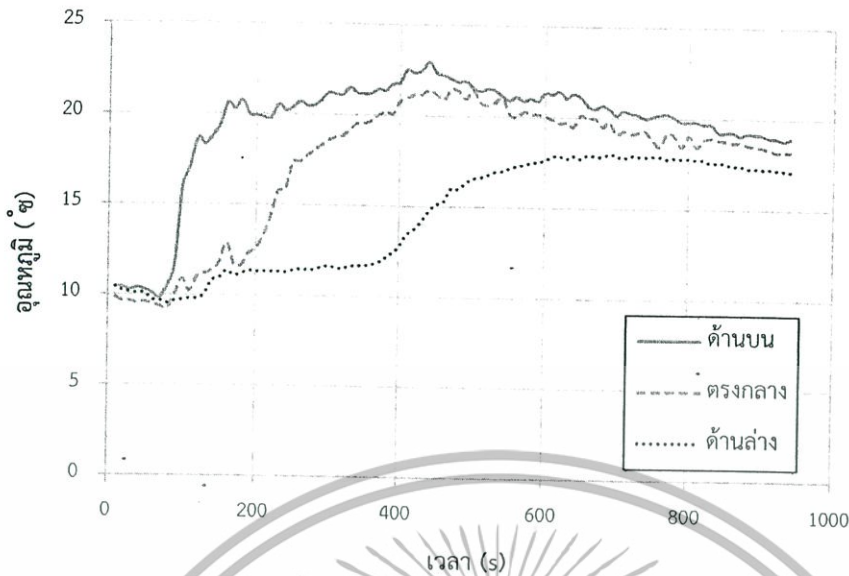
เปลี่ยนไป โดยใช้แบบจำลองทำนายอุณหภูมิบริเวณเนื้อติดกระดูกระหว่างกระบวนการละลาย ซึ่งพัฒนาโดย พิมพ์เพ็ญและคณะ (2554) ซึ่งในการคำนวณโดยใช้แบบจำลองจะต้องป้อนค่าตัวแปรดังนี้ น้ำหนักของปลาทูน่า (กิโลกรัม) ความยาวของตัวปลา (เซนติเมตร) สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่คาดเดา (W/m^2K) ระยะเรเดียที่ทำการวัดอุณหภูมิ (เซนติเมตร) ระยะจากหัวจนถึงหลังครีบ (Y) (เซนติเมตร) ความยาวจากหัวจนถึงกลางลำตัว (เซนติเมตร) อุณหภูมิเริ่มต้นของเนื้อบริเวณเนื้อติดกระดูก (องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิของน้ำที่บริเวณใกล้ตัวปลาระหว่างกระบวนการละลาย (องศาเซลเซียส)

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ทำนายได้จะต้องให้ผลต่างของอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองและการคำนวณมีแตกต่างกันน้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยประเมินค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ทำนาย มีค่า Standard Error Mean (SE) ของอุณหภูมิต่ำกว่า 1.5 องศาเซลเซียสทั้งสองตำแหน่ง (จรและคณะ. 2554)

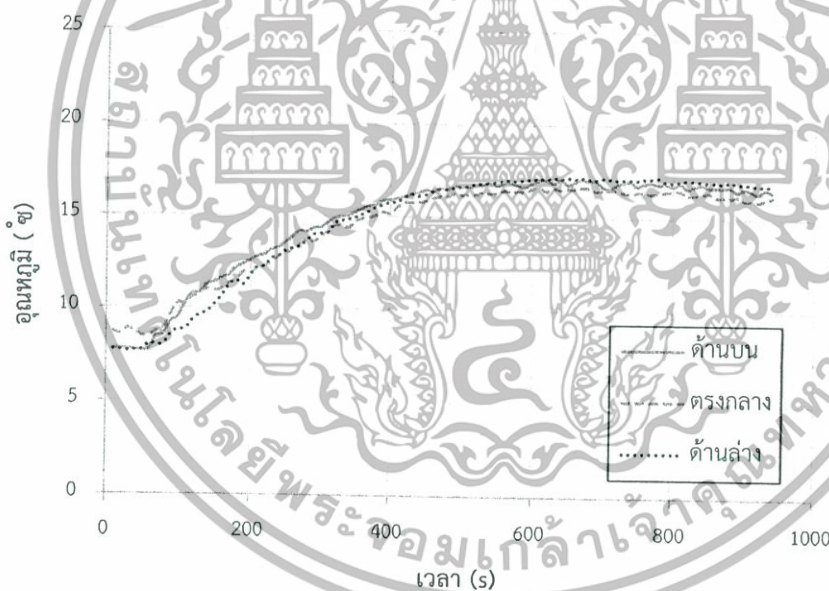
$$SE(\text{Std. Error Mean}) = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^n (T_{\text{predict}} - T_{\text{experiment}})^2}{n}} \quad (5.1)$$

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

จากผลการทดลองทำการละลายในถังแบบปัจจุบันและถังแบบใหม่ โดยวางตัวอย่างปลาทูน่าที่ตำแหน่งเดียวกัน และทำการควบคุมอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการละลายมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส พบว่า การละลายปลาในถังแบบปัจจุบันที่ตำแหน่งต่าง ๆ ใช้เวลาในการละลายจนปลาไม่มีอุณหภูมิใจกลางจนถึง -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



ภาพที่ 5.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาเมื่อทำการปล่อยน้ำอุณหภูมิห้องลงในถังละลายแบบปัจจุบันที่บรรจุขวดน้ำแข็ง



ภาพที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาเมื่อทำการปล่อยน้ำอุณหภูมิห้องลงในถังละลายแบบใหม่ที่บรรจุขวดน้ำแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ค่าSE และเวลาที่ใช้ในการละลาย

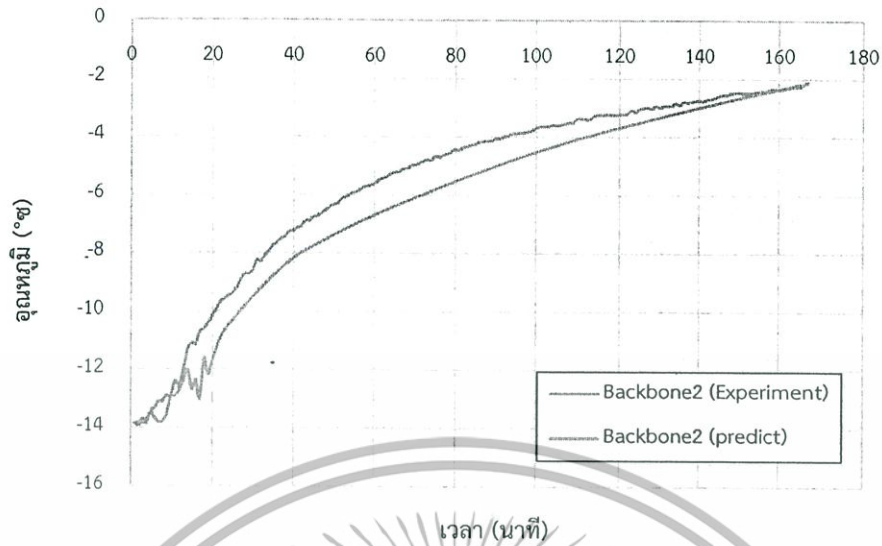
| | ถึงแบบปัจจุบัน | | ถึงแบบใหม่ | |
|--|----------------|------------|------------|------------|
| | ปลาตัวที่1 | ปลาตัวที่2 | ปลาตัวที่1 | ปลาตัวที่2 |
| 1. ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m^2K) | 19 | 15 | 23 | 23 |
| 2. ค่าความเบี่ยงเบน (SE) | 0.6729 | 0.8249 | 0.4965 | 0.4295 |
| 3. เวลาที่ใช้ในการละลาย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

5.2.1 การละลายปลาท่อน้ำในถังละลายก่อนการปรับปรุง

การละลายปลาท่อน้ำในถังละลายแบบปัจจุบัน โดยใช้น้ำอุณหภูมิ 18 ± 2 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อวินาที และทำการบันทึกอุณหภูมิทุก ๆ 60 วินาที ได้ผลดังรูป 5.4 และ 5.5



ภาพที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบริเวณเนื้อติดกระดูกของตัวอย่างที่ 1 ที่ได้จากการทดลอง และอุณหภูมิที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองกับเวลาสำหรับถังละลายแบบปัจจุบัน



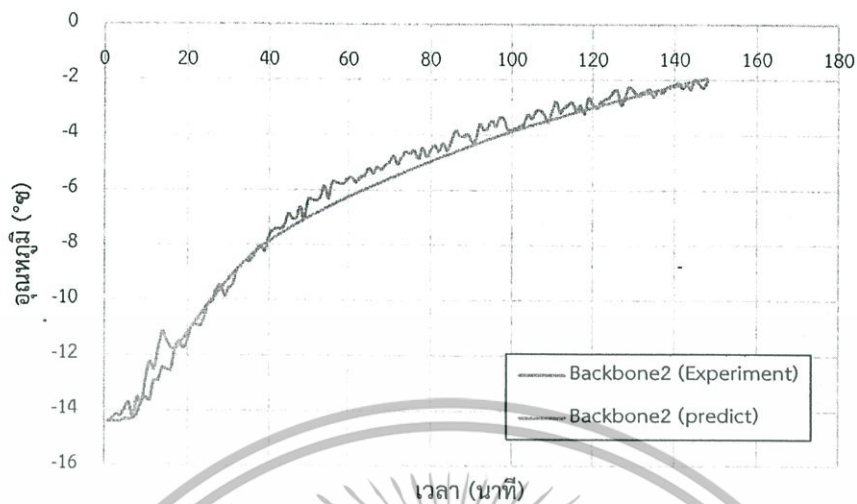
ภาพที่ 5.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบริเวณเนื้อติดกระดูกของตัวอย่างที่ 2 ที่ได้จากการทดลอง และอุณหภูมิที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองกับเวลาสำหรับถึงละลายแบบปัจจุบัน

5.4.2 การละลายปลาทูน่าในถังแบบหลังการ

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



ภาพที่ 5.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบริเวณเนื้อติดกระดูกของตัวอย่างที่ 1 ที่ได้จากการทดลอง และอุณหภูมิที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองกับเวลาสำหรับถึงละลายแบบใหม่



ภาพที่ 5.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบริเวณเนื้อติดกระดูกของตัวอย่างที่ 2 ที่ได้จากการทดลอง และอุณหภูมิที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองกับเวลาสำหรับถึงละลายแบบใหม่

จากตารางสามารถสรุปได้ว่า ถึงละลายแบบใหม่ที่อัตราการใช้ 0.5 ลิตรต่อวินาทีต่อตัวอย่างปริมาณ 100 กิโลกรัม ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของการละลายในถังแบบใหม่ที่ได้จากการใช้แบบจำลองในการคำนวณมีค่ามากกว่าการละลายในถังแบบปัจจุบันซึ่งคาดเดาได้ว่า การใช้แผงปล่อยน้ำช่วยเพิ่มความเร็วของน้ำที่ใช้ละลายแต่ละตำแหน่งได้ และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในถังเดียวกันที่ตำแหน่งต่างกัน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ได้จากถังแบบใหม่มีค่าใกล้เคียงกันมากกว่าถังแบบปัจจุบัน จึงส่งผลให้ถึงละลายแบบใหม่สามารถลดระยะเวลาได้มากที่สุด คือ 31 นาที ซึ่งคิดเป็น 18.24 เปอร์เซ็นต์ของเวลาที่มากที่สุดที่ใช้ในการละลาย

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 ผลการวิจัย

จากการศึกษาเพื่อลดระยะเวลาในการละลายปลาทูน้ำหนัก โดยใช้ น้ำ พบว่า การสร้างสภาวะภายในถังละลายให้มีการกระจายอุณหภูมิ และความปั่นป่วนของน้ำจะส่งผลต่อการอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างเนื้อปลากับน้ำที่ใช้ในการละลาย โดยจากการทดลองเปรียบเทียบสภาวะการละลายโดยวิธีการปล่อยน้ำจากสายยางด้านบนถัง และปล่อยน้ำผ่านแผงปล่อยน้ำที่ได้ออกแบบด้วยอัตราไหลของน้ำเท่ากัน พบว่า เมื่อติดตั้งแผงปล่อยน้ำการกระจายอุณหภูมิของน้ำภายในถังละลายแต่ละตำแหน่งมีค่าใกล้เคียงกัน และจากการทดลองละลายปลาทูน้ำหนัก 1.4-2.0 กิโลกรัม พบว่า เมื่อทำการละลายโดยวิธีปล่อยน้ำจากสายยางด้านบนถังที่อัตราไหล 0.5 ลิตรต่อวินาที จะใช้เวลา 139-148 นาที แต่หลังจากใส่แผงปล่อยน้ำปล่อยน้ำเข้าไปในถังละลาย พบว่า ใช้เวลาในการละลาย 144-170 นาที ผลการทดลองสรุปได้ว่า เมื่อติดตั้งแผงปล่อยน้ำสามารถลดระยะเวลาในการละลายปลาทูน้ำหนักได้ 18.24 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลอง จึงใช้แนวคิดการเพิ่มการกระจายอุณหภูมิและการเพิ่มความปั่นป่วนของน้ำมาใช้ในการออกแบบแผงปล่อยน้ำสำหรับถังละลายขนาด 1.6x1.2x1 ลูกบาศก์เมตร โดยการออกแบบแผงปล่อยน้ำจะออกแบบให้ความเร็วของน้ำที่ปล่อยออกจากรูปล่อยน้ำมีความเร็วเท่ากับการทดลอง คือ 2.65 เมตรต่อวินาที จากขนาดของถังละลายเราได้ทำการออกแบบให้แผงปล่อยน้ำมี 4 ชั้น แต่ละชั้นจะมีวาล์วเพื่อปรับให้อัตราไหลของน้ำภายในท่อแต่ละชั้นใกล้เคียงกัน จำนวนรูปล่อยน้ำเท่ากับ 160 รู และจากสมการอัตราการไหล สามารถหาขนาดของรูท่อได้เท่ากับ 4 มิลลิเมตร

วัสดุที่ใช้ในการทำแผงปล่อยน้ำ คือ ท่อสแตนเลส 304 เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว หนา 3 มิลลิเมตร เนื่องจากสามารถรองรับการกระแทกของปลาทูน้ำหนัก 50 กิโลกรัม ตกจากเครื่องคัดขนาดซึ่งมีความสูง 1 เมตร จากถังละลาย โดยไม่เกิดความเสียหาย และมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 2.46

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาหาแนวทางในการลดระยะเวลาในการละลายทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของแผงปล่อยน้ำเบื้องต้นว่า สามารถช่วยเพิ่มการกระจายอุณหภูมิภายในถัง และสามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในกระบวนการละลาย ซึ่งส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการละลายลดลง

โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบถังละลายเบื้องต้นโดยยังมีได้คำนึงตัวแปรอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการไหลของน้ำภายในท่อ และอัตราการถ่ายเทความร้อนของปลา ได้แก่ การจัดเรียงปลา ขนาดตัวปลา ระยะห่างของท่อน้ำ หากต้องการให้ถังละลายมีประสิทธิภาพผลเพิ่มมากขึ้น ควรมีการศึกษาและพัฒนาต่อไป

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2556. ข้อมูลเทคโนโลยีเชิงลึกการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก (Dielectric Heating). โครงการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจ.
- กระทรวงพาณิชย์. 2555. การส่งออก. [Online]. Available : http://www.opsmoc.go.th/infor/menucomth/stru_export/export_topn_re/report.asp
- กระทรวงพาณิชย์. 2556. ศักยภาพการผลิตกับโอกาสทางการค้า. การสัมมนาการเตรียมความพร้อมบุคลากรด้านการเกษตรและอาหารเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (AEC). พะเยา : มหาวิทยาลัยพะเยา
- จเร วงศ์ผึ้ง, วรมน อนันต์ และวสันต์ อินทร์ผา. 2554. ผลของการละลายปลาทูน่าด้วยน้ำต่อปริมาณเกลือ. ปรียญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- เจษฎา เลิศพิภพเมธา, ชัยพร มะลิวารรัตน์ และปวีณวิทย์ แสงโสภิต. 2551. การศึกษาวิธีการลดระยะเวลาในกระบวนการละลายปลาทูน่าแช่แข็งด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า. ปรียญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต 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 โชติรัตนฤทธิ. 2555. ผลของการละลายปลาทูน่าด้วยน้ำต่อปริมาณเกลือ. ปรียญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- สุนันท์ ศรีณนิตย์. การถ่ายเทความร้อน Heat transfer. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. 2545 : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.อุมาพร อุประ, สุเนตร สืบคำ และฤทธิชัย อัครวาชัญญ์. 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.



ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายสมัคร รักแม่
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนน ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์ + 66 2 3298356, แฟกซ์ + 66 2 3298356-8 อีเมล : krsamak@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

2543 วศ.บ. (วิศวกรรมอาหาร) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2546 วศ.ม. (วิศวกรรมอาหาร) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าอนบุรี

ประวัติการทำงาน

- 2547 – ปัจจุบัน : อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สาขาที่ชำนาญพิเศษ

- Carbonated Soft Drink
- Retorting process

ผลงานทางวิชาการ

ผลงานวิชาการระดับชาติ (National Proceeding)

- Jedsada CHAISHOME and Samak BAKMAE, Thermal Stability of Bamboo Fibres, The 14th TSAE National Conference, and the 6th TSAE International Conference : TSAE 2013.
- สมัคร รักแม่, สาทิป รัตนภาสกร และ อำนาจ คูตะคุ, การออกแบบและพัฒนาเครื่องบรรจุขึ้นเนื้ออาหารลงกระป๋องความเร็วสูง, The 14th TSAE National Conference and the 6th TSAE International Conference : TSAE 2013. p.558-563.
- สมัคร รักแม่ และ หัสยา ตีรวีรขจร, การศึกษาการแทรกผ่านความร้อนในน้ำกะทิกระป๋องภายใต้สภาวะการเขย่าแบบไม่ต่อเนื่อง, The 14th TSAE National Conference and the 6th TSAE International Conference : TSAE 2013. p.524-530.
- สมัคร รักแม่ และ หญิงไท รัตนมุสิก, การศึกษาเวลาฆ่าเชื้อและเนื้อสัมผัสของส่วนประกอบหลักของแกงเขียวหวานใ้บรรจุกระป๋องภายใต้สภาวะเขย่าระหว่างการให้ความร้อน, The 14th

TSAE National Conference and the 6th TSAE International Conference : TSAE 2013. p.514-519.

- สมัคร รักแม่ และ อุดลย์ แซ่เล้ว, อิทธิพลของการเขย่าและความหนืดของของเหลวที่มีต่อการแทรกแซงผ่านความร้อนในกระป๋องระหว่างการฆ่าเชื้อ, The 14th TSAE National Conference and the 6th TSAE International Conference : TSAE 2013. p.508-513.
- สาทิป รัตนภาสกร และ สมัคร รักแม่, การออกแบบและพัฒนาเครื่องแยกเนื้อสำรอง, การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 10 ประจำปี 2552, 1 -3 เมษายน 2552 ณ สุรสัมมนาาคาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา
- นพวัฒน์ โชคสุนทรเลิศ, นางสาวนารถสุนธ์ ชาวเรือ, นางสาวนิภาพร ลุนาวงษ์ และ นายสมัคร รักแม่, การศึกษาวิธีการลดปัญหาตกตะกอนในผลิตภัณฑ์น้ำลำไยสดอัดลม, การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9 ประจำปี 2551, 31 มกราคม 2551 - 1 กุมภาพันธ์ 2551.

รางวัล

- บทความดีเด่น
สมัคร รักแม่, สาทิป รัตนภาสกร และ อำนาจ คุตะคุ, การออกแบบและพัฒนาเครื่องบรรจุขึ้นเนื้ออาหารลงกระป๋องความเร็วสูง, The 14th TSAE National Conference and the 6th TSAE International Conference : TSAE 2013. p.558-563.

ทุนวิจัยที่เคยได้รับ

หัวหน้าโครงการวิจัย

- การศึกษาเพื่อออกแบบการเพิ่มประสิทธิภาพในการละลายปลาทูน่าในอุตสาหกรรม, 2558, ทุนวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.
- การออกแบบชุดหัวบรรจุเครื่องดื่มสำหรับผู้ประกอบการขนาดเล็ก, 2557, ทุนวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.
- การออกแบบเครื่องทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์, 2556, ทุนวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.
- การออกแบบเครื่องบรรจุขึ้นเนื้ออาหารลงกระป๋อง, 2555, ทุนวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.
- การออกแบบถังคั่วพริกแบบหมุนสำหรับอุตสาหกรรม, 2553, ทุนวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.
- การออกแบบชุดหัวบรรจุสำหรับเครื่องดื่มอัดก๊าซ, 2552, ทุนวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

- การออกแบบระบบผลิตน้ำอัดก๊าซแบบต่อเนื่อง, 2551, ทุนวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.
- การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตน้ำสมุนไพรอัดก๊าซ, โครงการ IRPUS สกว. ฝ่ายอุตสาหกรรม ประจำปี 2551
- การศึกษาวิธีการลอกเยื่อเมล็ดมะม่วงหิมพานต์, โครงการ IRPUS สกว. ฝ่ายอุตสาหกรรม ประจำปี 2551
- ผลของการสัมผัสต่อการแทรกผ่านความร้อนภายในอาหารกระป๋อง, 2551, ทุนวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

คณะทำงาน

- คณะทำงานในการร่างมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องจักรกลอาหาร
 - เตารีดไฟฟ้า(2558)
 - เครื่องปิ้งไส้กรอก (2558)
 - เครื่องหั่นขนมปัง (2558)
 - เครื่องแช่เย็นและเครื่องแช่แข็งอย่างรวดเร็ว (2557)
 - เครื่องปิดฝาเคลียว (2556)
 - เครื่องบรรจุด้วยแรงโน้มถ่วงแบบแถวตรง (2556)
 - เครื่องบรรจุด้วยแรงโน้มถ่วงแบบหมุนวน (2556)
 - เครื่องบรรจุด้วยแรงโน้มถ่วงแบบกึ่งอัตโนมัติ (2556)
 - เครื่องบรรจุด้วยกระบอกสูบแบบกึ่งอัตโนมัติ (2556)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้