การศึกษาแนวทางการลดระยะเวลาในการละลายปลาทูน่า

A STUDY OF METHODS FOR TUNA THAWING TIME REDUCTION

วรชิต เจริญวงศ์

ศวัส ทาทอง

อติพงศ์ สิงห์คำ

โสภณัฐ ธรรมเอกสกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การศึกษาแนวทางการลดระยะเวลาในการละลายปลาทูน่า

A STUDY OF METHODS FOR TUNA THAWING TIME REDUCTION

วรชิต เจริญวงศ์
ศวัส ทาทอง
อติพงศ์ สิงห์คำ
โสภณัฐ ธรรมเอกสกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

A STUDY OF METHODS FOR TUNA THAWING TIME REDUCTION

WORACHIT CHAROENWONG
SAWAT TATONG
SOPANUT THAMEAKSAKUL
ATIPHONG SINGKHAM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN
INSTRUMENT ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADAMIC YEAR 2014

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาแนวทางการลดระยะเวลาในการละลายปลาทูน่า			
	A STUDY OF METHODS FOR TUNA THAWING TIME REDUCTION			
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายวรชิต	เจริญวงศ์	**รหัสนักศึกษา**	54011118
	นายศวัส	ทาทอง	**รหัสนักศึกษา**	54011256
	นายโสภณัฐ	ธรรมเอกสกุล	**รหัสนักศึกษา**	54011447
	นายอติพงศ์	สิงห์คำ	**รหัสนักศึกษา**	54011461
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต			
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม			
ปีการศึกษา	2557			

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
อาจารย์เชื้อ นกอยู่	

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาแนวทางการลดระยะเวลาในการละลายปลาทูน่า		
นักศึกษา	นายวรชิต	เจริญวงศ์	รหัสนักศึกษา 54011118
	นายศวัส	ทาทอง	รหัสนักศึกษา 54011256
	นายโสภณัฐ	ธรรมเอกสกุล	รหัสนักศึกษา 54011447
	นายอติพงศ์	สิงห์คำ	รหัสนักศึกษา 54011461
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม		
ปีการศึกษา	2557		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เชื้อ นกอยู่		

บทคัดย่อ

เครื่องละลายปลาทูน่าเป็นแพลนท์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อลดเวลาในการละลายปลาทูน่าที่ถูกแช่แข็งให้สภาพของปลานั้นเข้าสู่ในสภาพที่สามารถนำไปแปรรูปในขั้นต่อไปได้ ซึ่งหลักการในการทำเครื่องละลายนี้คือจะใช้น้ำเป็นสื่อกลางในการกระจายความร้อน ซึ่งปัจจัยหลักที่นำมาควบคุมระบบให้เป็นไปตามที่ต้องการคือ เราต้องทำการควบคุมอุณหภูมิและอัตราการไหลของระบบเพื่อที่จะได้ผลผลิตออกมาตามต้องการ ในการควบคุมอุณหภูมิจะใช้ความร้อนในการควบคุม ความร้อนที่ได้นั้นจะเกิดมาจากฮีทเตอร์ที่ทำงานตามกลไกของระบบควบคุมที่ทางผู้จัดทำได้ทำการตั้งไว้ผ่านทาง PLC ซึ่งเป็นอุปกรณ์ควบคุมที่จะสั่งให้ฮีทเตอร์ทำงานเพื่อควบคุมอุณหภูมิ และในเรื่องของอัตราการไหลของระบบ เราจะใช้ PLC สั่งงานไปยัง Inverter เพื่อแปลงกำลังของมอเตอร์สำหรับควบคุมอัตราการไหลให้ทำงานตามที่ได้ตั้งไว้

Thesis Title	A study of methods for tuna thawing time reduction		
Student's	Mr. Worachit	Charoenwong	student ID 54011118
	Mr. Sawat	Tatong	student ID 54011256
	Mr. Sopanut	Thameaksakul	student ID 54011447
	Mr. Atiphong	Singkham	student ID 54011461
Degree	Bachelor of engineering		
Program	Instrument Engineering		
Year	2014		
Thesis Advisor	Assoc. Prof. CHUAE NOKYOO		

ABSTRACT

This research studied the methods to reduce tuna thawing time. The procedure start by analyzed the present process and that water temperature distribution and water flow in a tank affected to the thawing time. This research designed a new thawing tank for improved water temperature distribution and turbulent flow. The pipe pattern, 3 columns, 4 lows, and consists of 60 holes diameter 2 mm was made for model. After conceptual design, the new model was used for the experiments. The sample tuna size was 1.8-2.0 kilograms. Water temperature was controlled in the range of 18±2 degree Celsius and water flow rate was 0.5 Liter per section. The results showed that a percent of thawing time reduction was 18.24. From the data of experiment, the new tank was designed to have 160 holes diameter 4 mm, made of 304 stainless steel 1.5 inch diameter and 3 mm thickness. The factor of safety of pipe pattern was 2.46.

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

สารบัญรูป

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

อุตสาหกรรมแปรรูปปลาทูน่ากระป๋อง เป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญของไทย ปัจจุบันประเทศไทยผลิต และส่งออกผลิตภัณฑ์ทูน่ากระป๋องเป็นอันดับ 1 ของโลก และไทยยังเป็นผู้นำเข้าปลาทูน่ารายใหญ่โดยนำเข้าคิดเป็นร้อยละ 90 ของปลาทูน่าทั้งหมด ในช่วงเดือนมกราคมถึงตุลาคม 2555 มีปริมาณการนำเข้ารวม 669,603 ตัน นำไปใช้ในการผลิตปลาทูน่ากระป๋องในช่วงเดือนมกราคมถึงตุลาคม เกือบทั้งหมด ปริมาณ 456,890 ตัน คิดเป็นร้อยละ 68.23 ของปริมาณปลาทูน่าแช่แข็งที่นำเข้าทั้งหมด (กระทรวงพาณิชย์. 2555.)

โดยการนำเข้าปลาทูน่าที่ทำการจับจากมหาสมุทรแปซิฟิกหรือมหาสมุทรอินเดีย จำเป็นจะต้องผ่านกระบวนการแช่แข็งแบบจุ่มภายในเรือจนบริเวณใจกลางของปลาทูน่ามีอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อรักษาคุณภาพของปลาทูน่า หลังจากนั้นเมื่อปลาทูน่าผ่านการะบวนการขนส่งมายังโรงงานจะถูกเก็บรักษาไว้ในห้องปรับอากาศที่มีอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ดังนั้นก่อนเข้าสู่กระบวนการแปรรูปปลาทูน่า จะต้องผ่านกระบวนการละลาย ซึ่งกระบวนการละลายที่ใช้ในปัจจุบันคือ การละลายโดยใช้น้ำที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 20 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเพิ่มจำนวนของ Psychrotrophic bacteria และ Psychrotropic bacteria ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic bacteria) ที่สามารถทนต่อความเย็นได้ โดยช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 20 ถึง 30 องศาเซลเซียส และ เป็นแบคทีเรียที่สามารถทนอุณหภูมิได้ต่ำถึง -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 ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการละลายที่นานจะส่งผลเสียต่อคุณภาพของปลาทูน่าและเป็นการเพิ่มต้นทุนของกระบวนการผลิต

เพื่อการให้ความร้อนแก่น้ำและควบคุมอุณหุภูมิของน้ำให้อยู่ในอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสให้อยู่ในสภาวะสมดุล อย่างเร็วที่สุดและควบคุมระบบให้เป็นไปแบบอัตโนมัติ จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ P&ID,Heat Exchanger,PLC โดยใช้ PLC เขียนโปรแกรมให้ระบบสามารถทำงานได้แบบอัตโนมัติ

โดยในการทำให้ระบบอยู่ในสภาวะสมดุลนั้น ต้องทำให้อยู่ในเวลาที่เหมาะสม ไม่นานจนเกินไป เนื่องจากต้องลดเวลาการผลิต เพื่อทำให้สามารถส่งออกได้เร็วขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 ศึกษาการควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การละลายปลาทูน่า

1.2.2 ศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการละลาย

1.2.3 ศึกษาเวลาที่ใช้ในการละลายปลาทูน่าและควบคุมให้เวลาเสถียรที่สุด

1.2.4 ศึกษา อัตราการไหล ความดัน และสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการควบคุมการละลายปลาทูน่า

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในสภาวะการละลายปลาทูน่าแช่แข็งในปัจจุบัน

1.3.2 ทราบแนวทางการลดปัญหาที่เกิดขึ้นและสามารถลดระยะเวลาในการละลายปลาทูน่าแช่ แข็งได้

1.3.3 ทราบวิธีการเขียนโปรแกรม PLC ที่ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆในการละลายปลาทูน่า

1.3.4 ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์การวัดและควบคุมที่ใช้ในการละลายปลาทูน่าและสามารถแก้ไขปัญหาได้

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1.4.1 ปลาทูน่าที่ใช้ในการศึกษา คือ ปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ (Skipjack tuna) ขนาด 1.8–2.0 กิโลกรัม

1.4.2 ขนาดของถังที่ใช้ในการกระบวนการละลาย

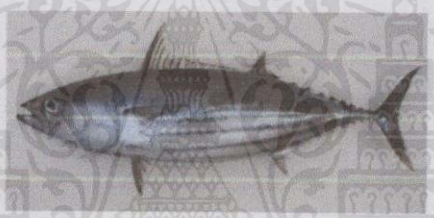
1.4.3 น้ำที่ใช้ในการละลายควบคุมให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าเท่ากับ 20 องศาเซลเซียส

1.4.4 อุปกรณ์ PLC ที่ใช้ในการควบคุมการละลายของปลาทูน่า

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปลาทูน่า

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



รูปที่ 2.2 ปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ (Skipjack tuna)
(ที่มา: PGFF. 2013)

ปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบเป็นสายพันธุ์ที่มีอยู่อย่างมากมายและจำหน่ายมากเป็นอันดับแรก แต่เป็นปลาที่มีเนื้อน้อยและมีสีเข้ม จัดเป็นพันธุ์ที่มีคุณภาพต่ำกว่าพันธุ์ครีบเหลืองและครีบยาว โดยปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบเป็นปลาที่นิยมรับประทานสด และนิยมนำเนื้อส่วนขาวมาทำปลาทูน่าบรรจุกระป๋อง (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา. 2556)

2.1.1 โครงสร้างทางกายภาพของปลา

โครงสร้างของสัตว์น้ำที่มีกระดูกสันหลัง แบ่งตามตำแหน่งและหน้าที่ได้ 3 ส่วน คือ

1 โครงสร้างภายนอก (Exoskeleton) ได้แก่ เกล็ดปลา และก้านครีบ

2 กระดูกที่อยู่ภายใน (Endoskeleton) ได้แก่ กระดูกก้าน และกระดูกรยางค์

3 เนื้อเยื่อเกี่ยวพันและเยื่อหุ้มต่าง ๆ (Membranous skeleton) ได้แก่ เยื่อบุช่วงท้อง เยื่อหุ้มกระดูกอ่อน (Perichondrium) เยื่อหุ้มกระดูก และยึดติดกับกระดูก (Periousteum)

2.1.1.1 ระบบกล้ามเนื้อของปลา

กล้ามเนื้อสัตว์น้ำไม่ซับซ้อนเหมือนสัตว์บก แต่มีต้นกำเนิดและโครงสร้างเหมือน ๆ กันกล้ามเนื้อแบ่งตามหน้าที่ได้ 3 ชนิด คือ

1 กล้ามเนื้อเรียบ (Smooth muscle) ได้แก่ กล้ามเนื้อบริเวณทางเดินอาหารและอวัยวะภายในของปลา อยู่นอกอำนาจการบังคับของจิต (Involuntary muscle)

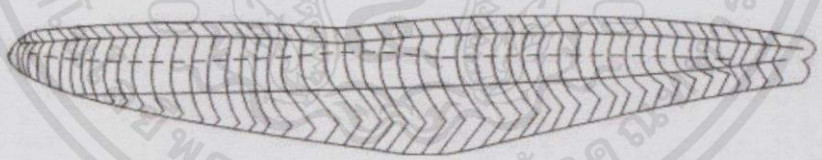
2 กล้ามเนื้อลาย (Striated muscle หรือ Skeleton muscle) อยู่บริเวณด้านข้างของตัวปลา ช่วยในการเคลื่อนไหว สามารถบังคับได้ (Voluntary muscle)

3 กล้ามเนื้อหัวใจ (Cardiac muscle) มีลักษณะค่อนข้างหนาสีแดงเข้ม อยู่นอกอำนาจการบังคับของจิต

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

2.1.1.2 การเรียงตัวของกล้ามเนื้อปลา

กล้ามเนื้อปลา (Block of muscle, Mytomes) เรียงตัวแบบ Segment ally ห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Mygcomma) กล้ามเนื้อปลาและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันนี้สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ดังรูป 2.3 เมื่อสุกจะเห็นเป็นชั้น (Flakes) เนื้อเยื่อเกี่ยวพันเมื่อรับความร้อนจะละลายกลายเป็นเจลทำให้เนื้อเยื่อแยกกันได้ง่าย

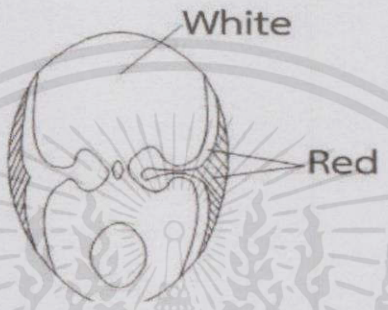


รูปที่ 2.3 ลักษณะการเรียงตัวของกล้ามเนื้อปลาทูน่า
(ที่มา: Love. R. M. 1988)

กล้ามเนื้อประกอบด้วยเซลล์กล้ามเนื้อ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5-3.1 เซนติเมตร ซึ่งล้อมรอบด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ภายในเซลล์กล้ามเนื้อประกอบด้วยไมโอโฟบริลซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-2 มิลลิเมตร แต่ละไมโอโฟบริลประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เรียกว่าซาร์โคเมียร์(Sarcomere) ซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลของโปรตีนยืดหดตัวได้ (Contractile protein)คือ แอคติน ไมโอซิน โทรโปไมโอซิน เอนไซน์ และสารประกอบอื่นๆ

ใต้ผิวหนังปลาจะพบกล้ามเนื้อสีคล้ำ (Red meat หรือ Dark meat) อยู่สองข้างตามเส้นข้างตัว ดังรูป 2.4 อัตราส่วนระหว่างกล้ามเนื้อสีคล้ำและสีอ่อน (Light meat) แตกต่าง

กันไปตามชนิดของปลาและส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ปลาน้ำลึกมีปริมาณกล้ามเนื้อสีคล้ำน้อยกว่าปลาที่อาศัยอยู่บริเวณผิวน้ำ กล้ามเนื้อสีคล้ำมีปริมาณเฮโมโปรตีน (Hemoprotein) สูงและเป็นสารเริ่มต้นที่ทำให้ไขมันที่มีอยู่มากเสื่อมคุณภาพได้ง่าย เนื้อสีคล้ำทำหน้าที่เป็นคลังเก็บไขมัน ไกลโคเจนและเมตาโบไลท์อื่น ๆระดับของสารอนินทรีย์และกรดที่ละลายได้รวมทั้งปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อสีคล้ำต่ำกว่าในเนื้อสีอ่อน (ฉัตรชัย และคณะ. 2552)



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

2.1.2 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

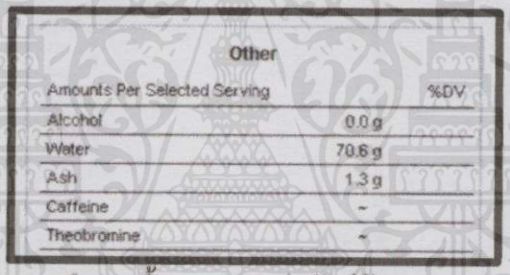
รูปที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ 100 กรัม (ที่มา: http://nutritiondata.self.com/facts/finfish-and-shellfish-products/4147/2 สืบค้นวันที่ 23 มีนาคม 2557)

องค์ประกอบหลักของเนื้อปลา คือ น้ำ โปรตีนและไขมันซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้รวมกันมีถึงร้อยละ 98 ของน้ำหนักปลาสดและองค์ประกอบที่เหลืออื่นๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และเกลือแร่มีอยู่ในปริมาณน้อย ดังรูป 2.5 แต่ส่วนประกอบเหล่านี้มีความสำคัญต่อสภาพการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อปลาภายหลังการตายซึ่งมีผลกับเนื้อสัมผัสของปลา (นงลักษณ์. 2531)

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

รูปอิสระ (Free water) น้ำที่อยู่ในสภาพนี้ทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้สารอื่น เช่น โปรตีนและคอลลอยด์ ขณะเดียวกันทำหน้าที่เป็นตัวละลายอื่นๆด้วย

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	~	

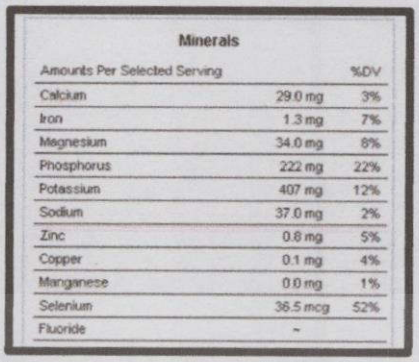
รูปที่ 2.6 ปริมาณน้ำของปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ 100 กรัม

(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 โปรตีนที่ยึดหดได้ทำหน้าที่ในการยึดหดตัวของกล้ามเนื้อ มีประมาณร้อยละ 65-75 ของโปรตีนทั้งหมด รวมทั้งโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพันซึ่งมีปริมาณน้อยกว่า มีประมาณร้อยละ 3-10 ของโปรตีนทั้งหมด และโปรตีนไม่ละลายน้ำ ได้แก่ ไกลโคโปรตีน เอนไซม์โปรตีนและไมโอโกลบินโปรตีน

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

4 แร่ธาตุ แร่ธาตุทั้งหมดหรือเถ้าในสัตว์น้ำมีปริมาณอยู่ระหว่างร้อยละ 1-2 ซึ่งแร่ธาตุที่สำคัญในสัตว์น้ำมีปริมาณแสดงไว้ดังรูป 2.7

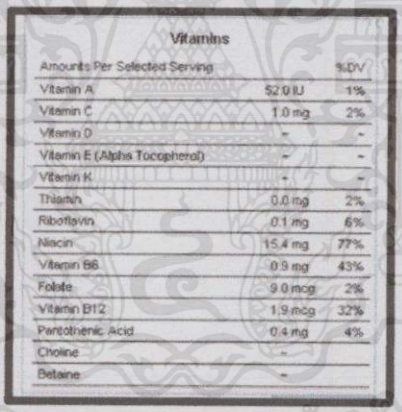


Minerals		
Amounts Per Selected Serving		%DV
Calcium	29.0 mg	3%
Iron	1.3 mg	7%
Magnesium	34.0 mg	8%
Phosphorus	222 mg	22%
Potassium	407 mg	12%
Sodium	37.0 mg	2%
Zinc	0.8 mg	5%
Copper	0.1 mg	4%
Manganese	0.0 mg	1%
Selenium	36.5 mcg	52%
Fluoride	-	

รูปที่ 2.7 ปริมาณแร่ธาตุของปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ 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 ภาพแสดงปริมาณวิตามินของปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ 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

2.1.3 สมบัติทางความร้อนของปลาทูน่า

1 ค่าความร้อนจำเพาะของปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ

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

ซึ่งค่าความร้อนจำเพาะของปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบในช่วงอุณหภูมิ –40 ถึง 80 องศาเซลเซียส สามารถแบ่งได้ทั้งหมดสามช่วง ได้แก่ ช่วงก่อนการเปลี่ยนเฟส (-40 ถึง -9 องศาเซลเซียส) ช่วงเปลี่ยนเฟส (-9 ถึง -4 องศาเซลเซียส) และช่วงหลังการเปลี่ยนเฟส (4 ถึง 80 องศาเซลเซียส) โดยแต่ละช่วงจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความจุความร้อนจำเพาะที่แตกต่างกัน (จริยา. 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	$C_p = 0.008T + 3.440$

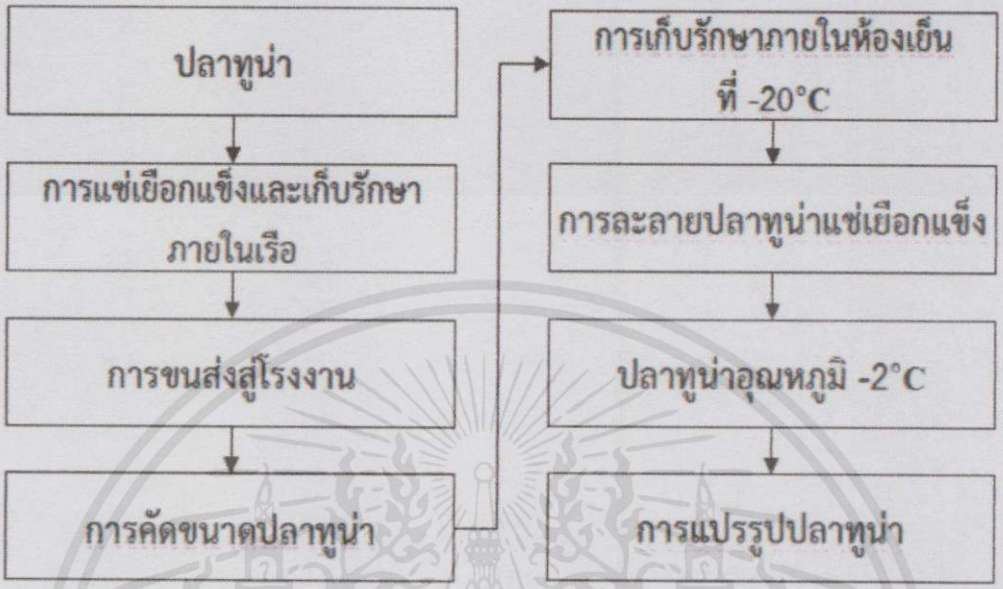
2 ค่าการนำความร้อนของปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ

ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity, k) หมายถึง อัตราการถ่ายเทความร้อนในวัสดุหนา 1 หน่วยที่อุณหภูมิต่างกัน 1 หน่วย มีหน่วยเป็น W/m.K โดยค่าการนำความร้อนในเนื้อปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ จะมีความสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน (จริยา. 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	$k = 0.0051T + 0.28$

2.2 ขั้นตอนการผลิตปลาทูน่าเพื่อการแปรรูป



รูปที่ 2.9 แผนผังกระบวนการละลายปลาทูน่าแช่เยือกแข็ง

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

รูปที่ 2.10 การแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษาปลาทูน่าภายในเรือ

(ที่มา: Greenpeace. 2013)

เมื่อเรือเทียบท่าปลาทูน่าแช่เยือกแข็งจะถูกบรรจุลงภายในถังแล้วขนส่งมายังโรงงาน เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการคัดขนาดโดยวิธีการชั่งน้ำหนักและบรรจุลงถังสำหรับละลายปลาทูน่า แล้วนำไปเก็บรักษาภายในห้องเย็นเพื่อรอเข้าสู่กระบวนการละลายซึ่งการละลายจะนำถังซ้อนกันสองชั้น ปล่อยน้ำเพื่อละลายปลาเข้าสู่ด้านบนของถังละลาย แล้วจึงนำปลาที่ผ่านการละลายเข้าสู่การแปรรูปต่อไป

2.3 การละลายอาหารแช่เยือกแข็ง

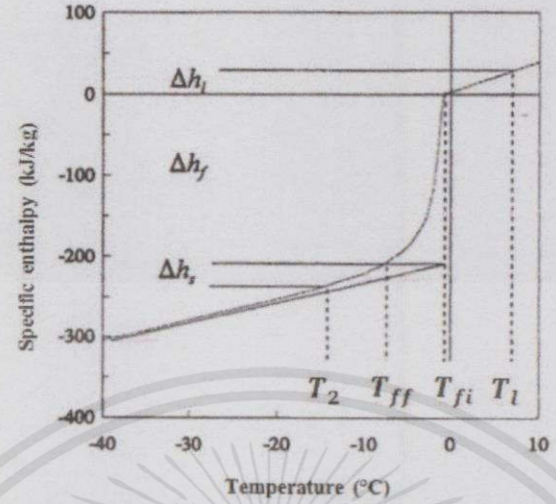
การละลายอาหารแช่เยือกแข็ง หมายถึง การให้ความร้อนแก่อาหารแช่เยือกแข็ง เพื่อทำให้น้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ละลายอาหารแช่เยือกแข็งเกิดการละลายได้เมื่อน้ำแข็งเกิดการหลอมเหลวจากการให้พลังงานแก่ผลิตภัณฑ์ เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเอนทรัลปีจำเพาะ (Specific enthalpy) หรือ ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าหรือออกจากระบบในกระบวนการที่ความดันคงที่กับอุณหภูมิเปลี่ยนไป พบว่า การละลายเป็นการดูดกลืนพลังงาน ค่าเอนทรัลปีจำเพาะเพิ่มขึ้น ดังรูป 2.11 พบว่า น้ำบริสุทธิ์มีเส้นกราฟค่อนข้างคงที่ ในขณะที่ตัวอย่างปลามีเส้นกราฟการละลายไม่คงที่ เนื่องจากมีส่วนประกอบอื่นนอกจากน้ำ เช่น โปรตีน ไขมัน และส่วนประกอบอื่นๆ

ในกระบวนการละลายอาหารแช่แข็งตั้งแต่อุณหภูมิที่ทำการแช่แข็งจนกระทั่งถึงอุณหภูมิหลอมเหลว แบ่งกระบวนการได้ 3 ระยะ ดังรูป 2.12

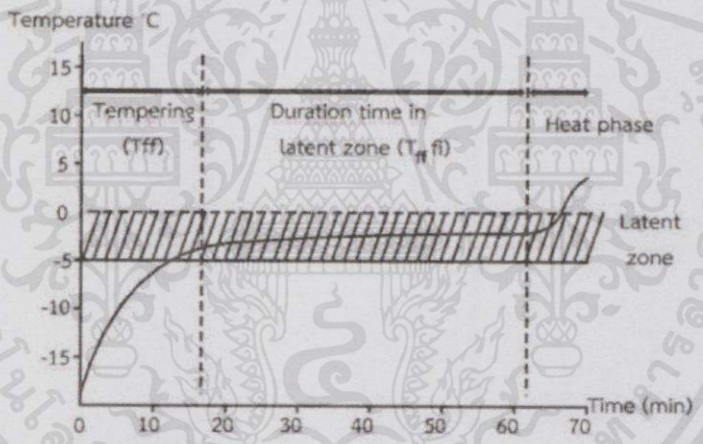
ระยะที่ 1 เรียกว่า Tempering phase ($T<T_{ff}$) พลังงานความร้อนที่ให้คือ Δh_s ทำให้อุณหภูมิในอาหารแช่แข็งเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเกิดการหลอมเหลวของน้ำแข็งภายในอาหาร ระยะนี้ค่อนข้างสั้น ค่าความจุความร้อนจำเพาะต่ำ และค่าการนำความร้อนสูง

ระยะที่ 2 เรียกว่า Latent zone phase ($T_{ff}<T<T_{fi}$) น้ำแข็งเกิดการเนื่องจากพลังงานความร้อนที่เพิ่มให้ คือ Δh_f โดยอุณหภูมิของอาหารในระยะนี้ค่อนข้างคงที่จนกระทั่งถึงจุด T_{fi} ซึ่งเป็นอุณหภูมิเยือกแข็งของอาหารหรือเรียกว่า Freezing point

ระยะที่ 3 เรียกว่า Heating phase ($T>T_{fi}$) เป็นระยะหลังจากน้ำแข็งละลายหมด ในระยะนี้ค่าความจุความร้อนต่ำ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากพลังงานความร้อนที่เพิ่มให้ คือ Δh_l (เจษฐา และคณะ. 2551)



รูปที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิกับค่าเอนทรัลปี (Specific enthalpy) ที่เปลี่ยนไป (ที่มา: Haugland, A. 2002)



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

2.3.1 วิธีการละลายอาหารแช่เยือกแข็ง

การถ่ายเทความร้อนในกระบวนการละลายโดยใช้น้ำ (Heat transfer in water thawing) การถ่ายเทความร้อน คือ การถ่ายเทพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ในกระบวนการละลายโดยใช้น้ำจะมีกลไกถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้น 2 แบบคือ

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

2 การนำความร้อน (Conduction) คือ การถ่ายเทความร้อนที่มีอนุภาคของของแข็งเป็นตัวกลาง โดยอัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำจะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ ได้แก่ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน, พื้นที่ผิวที่มีการถ่ายเทความร้อน และอัตราส่วนระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงของระยะทาง โดยการถ่ายเทความร้อนภายในกระบวนการละลายสามารถอธิบายได้จากสมดุลพลังงานระหว่างการพาความร้อน (กฎการเย็นตัวของนิวตัน, Newton's law of cooling) ดังสมการที่ (2.1) จากน้ำเย็นเข้าสู่ผิวของตัวปลา ซึ่งมีค่าเท่ากับการนำความร้อนดังสมการที่ (2.2) (กฎการนำความร้อนของฟูเรียร์, Fourier's of conduction) จากผิวนอกของตัวปลาเข้าสู่เนื้อปลาบริเวณกระดูกสันหลัง ดังสมการที่ (2.3)

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

$$q = -kA_c(dT/dX) \qquad (2.2)$$

$$h_c A_h \Delta T = -kA_c(dT/dX) \qquad (2.3)$$

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 ศรัณยนิตย์. 2545) จากการทดลองละลายเนื้อหมูโดยใช้น้ำเย็นของ Michael, L. et al. (2007) พบว่า เมื่อค่าความเร็วของน้ำที่ใช้ในการละลายมีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และสำหรับการนำความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการละลายจะขึ้นอยู่กับค่าการนำความร้อน ซึ่งมีการคำนวณจากสมบัติทางเคมีของอาหาร ดังนั้นจึงยากต่อการปรับแต่ง

2.4 จุลินทรีย์กับการละลาย

ในระหว่างการละลายอาหารมีแนวโน้มที่จะเกิดการเสื่อมเสียอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ ฉะนั้นอาจกล่าวได้ว่า กระบวนการละลายเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดความเสียหายได้มากกว่ากระบวนการแช่แข็ง ดังนั้นการละลายที่ใช้เวลาสั้น โดยทั่วไปจะให้อาหารที่มีคุณภาพดีกว่าการใช้เวลานาน 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

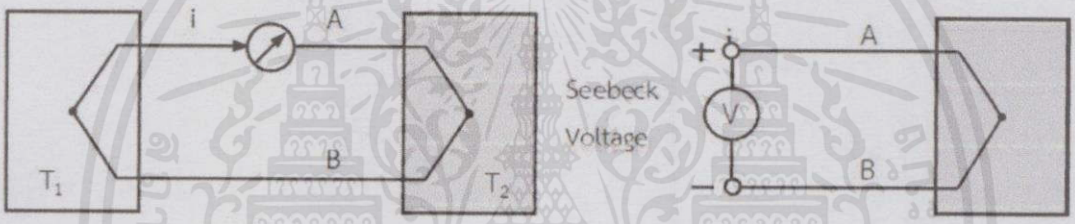
อัตราการละลายอาหารแช่แข็งช้าหรือเร็ว มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์โดยการละลายอาหารแช่แข็งอย่างรวดเร็วจะเป็นการควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเจริญของเชื้อก่อโรค แต่ถ้าอาหารถูกละลายอย่างช้าๆอุณหภูมิบนผิวหน้าของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้จุลินทรีย์เจริญได้แม้ว่าบริเวณภายในของอาหารจะยังคงเป็นน้ำแข็งอยู่ ดังนั้นการทำให้อาหารแช่แข็งละลายอย่างรวดเร็วเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียน้อยกว่าการทำให้อาหารละลายอย่างช้าๆ (วรภรณ์ และคณะ. 2555)

2.5 อุปกรณ์และเครื่องมือในการวัดอุณหภูมิ

เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) เป็นทรานสดิวเซอร์วัดอุณหภูมิที่ทำงานโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้าในรูปของแรงดันไฟฟ้า และจัดเป็นทรานสดิวเซอร์เนื่องจากมี

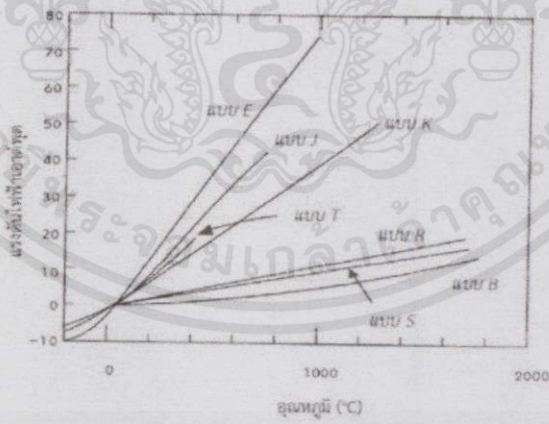
คุณสมบัติในการแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า อยู่ในกลุ่มของทรานสดิวเซอร์ประเภทแอกทีฟ สามารถกำเนิดแรงดันไฟฟ้าได้เองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างจุดสองจุด โดยไม่จำเป็นต้องกระตุ้นด้วยแหล่งจ่ายพลังงานจากภายนอก เป็นอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูง สามารถใช้งานได้โดยตรงในรูปของเครื่องมือวัดหรือการส่งสัญญาณทางด้านเอาต์พุตให้กับระบบควบคุม

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



(ก) (ข)

รูปที่ 2.19 (ก) และ (ข) วงจรการเกิดปรากฏการณ์ซีเบ็ค



รูปที่ 2. บต่าง ๆ

เทอร์โมคัปเปิล ายถึง เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ที่ผู้ผลิตทุกรายกำหนดส่วนผสมของคู่สายเทอร์โมคัปเปิลเป็นมาตรฐานเหมือนกัน สามารถใช้ตารางเทียบมาตรฐานที่หาได้ทั่วไป

สำหรับเทอร์โมคัปเปิลแบบ non-standard หมายถึง เทอร์โมคัปเปิลที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้เฉพาะงานมีคุณสมบัติเฉพาะแตกต่างไปจากแบบมาตรฐาน ตารางการสอบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจะจัดหามาให้กับเทอร์โมคัปเปิลตัวนั้น 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	Platinium 13%/Rhodium
Type S	Platinium 10%/Rhodium
Type B	Platinium 30%/Rhodium
	*** Constantan: copper 60% + Nickel 40%

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างย่านการใช้งาน และคุณลักษณะของเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน

ชนิดเทอร์โมคัปเปิล	ย่านอุณหภูมิใช้งาน (°ซ)	ย่านอุณหภูมิ (°ซ)	ค่าความผิดพลาด (°ซ)	ค่าความไวสูงสุด (โดยประมาณ) (µV/°C)
R	-50 ถึง1768.1	-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 -0.0005ถึง0.001 -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)

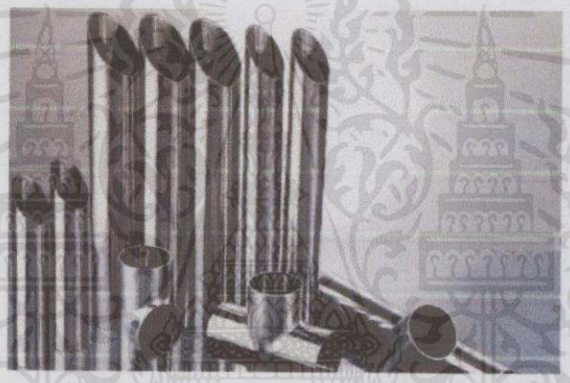
เทอร์โมคัปเปิลแบบ K เป็นเทอร์โมคัปเปิลชนิดที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุด สามารถวัดอุณหภูมิได้สูงกว่าแบบ J และมีราคาถูกกว่า ทนอุณหภูมิได้ถึง 1300 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิต่ำถึง -250 องศาเซลเซียส มีค่าความเป็นเชิงเส้นสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมคัปเปิลชนิดอื่น ให้แรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตสูง (ให้อัตราการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าต่ออุณหภูมิดีกว่าแบบอื่นหรือมีค่าคว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

เทอร์โมคัปเปิลแบบ T เหมาะสำหรับการวัดอุณหภูมิในย่านต่ำ เช่น การวัดอุณหภูมิในห้องเย็น (Cold storage) และตู้แช่แข็ง (Freezer) มีสเถียรภาพในการวัดที่ดี สามารถทนต่อบรรยากาศที่มีการกัดกร่อนและมีความชื้นได้ดี ไม่เหมาะกับงานที่ต้องสัมผัสกับการแผ่รังสีความร้อนโดยตรง (นวภัทรา และทวีพล. 2555)

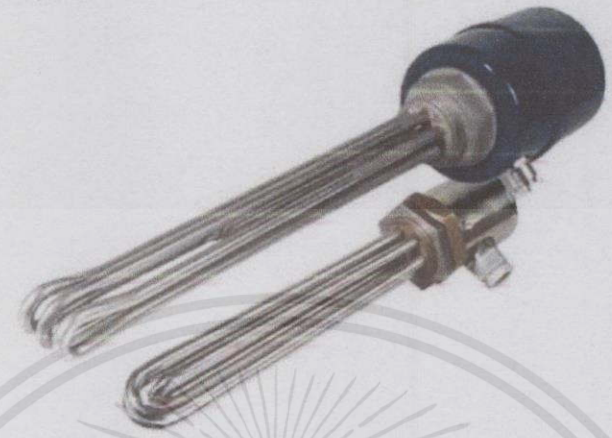
2.6 วัสดุที่ใช้ในการออกแบบ

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

วัสดุที่นำมาทำถังละลายและแผงท่อปล่อยน้ำ จะใช้สแตนเลส 304 เป็นสแตนเลสที่เหมาะสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิห้องที่ความดันบรรยากาศ มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.5-8.0 สามารถทนการกัดกร่อนของสารละลายคลอรีนความเข้มข้นไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 2.21 สแตนเลส 304



รูปที่ 2.22 ฮีทเตอร์

2.7 ฮีตเตอร์จุ่ม ,Immersion Heater

ทำ จาก Tubular Heater ที่ดัดเป็นรูปตัวยู และเชื่อมติดกับเกลียว ซึ่งมีขนาดเกลียว ตั้งแต่ 1" 1¼ 1½ 2½ ขนาดของเกลียวจะขึ้นอยู่กับจำนวนเส้นของฮีตเตอร์ ตามความเหมาะสมของกำลังวัตต์ และความยาวของฮีตเตอร์ ฮีตเตอร์แบบจุ่ม เหมาะสำหรับใช้กับของเหลว เช่น ต้มน้ำหรืออุ่นน้ำมัน การติดตั้งสามารถทำได้โดยเชื่องเกลียวตัวเมียติดกับถังแล้วใส่ฮีตเตอร์ แบบเกลียวเข้าไป โดยตัวฮีตเตอร์ขนานกับพื้นถัง ควรระวังไม่ให้ส่วนของ ฮีตเตอร์โผล่พ้นของเหลวเนื่องจากจะทำให้ส่วนที่อยู่เหนือของเหลวร้อนจัดเกิน ไปทำให้อายุการใช้งานสั้น และเพื่อให้ความร้อนกระจายทั่วถึง ควรติดตั้งใบพัดกวนของเหลวด้วย รหัสการสั่งทำ สามารถระบุชนิดวัสดุที่ต้องการได้ รวมทั้งค่าเส้นผ่าศูนย์กลาง , ความยาว , แรงดัน และกำลังวัตต์ สแตนเลส 304 ใช้กับงานของเหลวทั่วไป สำหรับสแตนเลส 316 ใช้กับงานที่ต้องการกัดกร่อนได้สูง เช่น งานที่เป็นสารเคมี

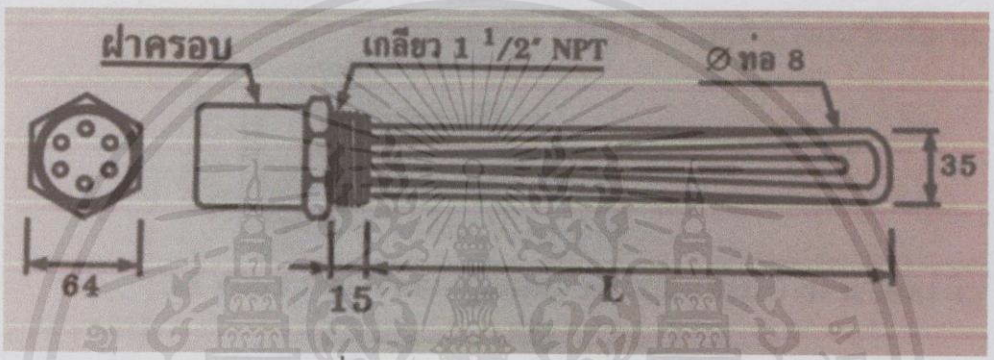
2.7.1 ลักษณะเฉพาะ

2.7.1.1 ท่อทองแดง - เหมาะใช้ต้มน้ำกับสารเคมีที่มีความเข้มข้นต่ำมาก และใช้ในถังพักน้ำร้อน สำหรับห้องอาบน้ำ รวมถึงป้องกันการจับตัวเป็นน้ำแข็งในระบบ Cooling Tower ท่อชนิดนี้เหมาะสำหรับการทำงานที่ระดับอุณหภูมิ ไม่เกิน 177°C

2.7.1.2 ท่อ INCOLOY - เหมาะสำหรับใช้งานลอยอากาศ, แก๊สผสม และไอน้ำที่มีความร้อนสูง รวมถึงการต้มสารเคมีอื่นๆ ที่ไม่มีปฏิกิริยาต่อท่อ INCOLOY ท่อชนิดนี้เหมาะสำหรับทำงานที่ระดับอุณหภูมิสูงสุดถึง 817°C

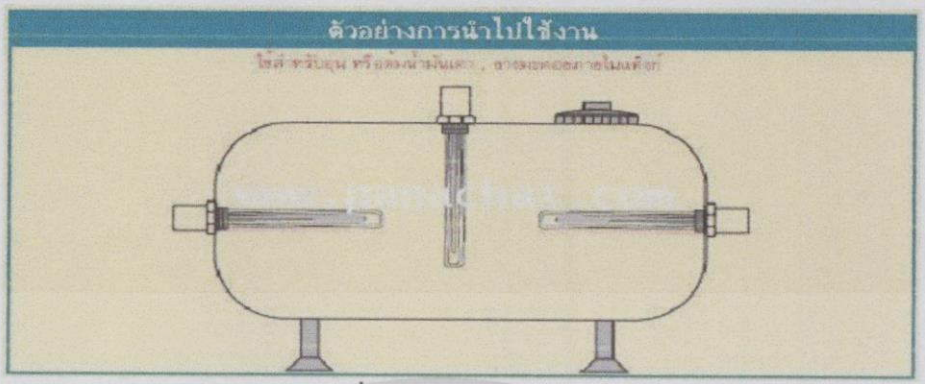
2.7.1.3 ท่อ SUS304 - เหมาะสำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรมทั่วไป เช่น อาหาร การอบฆ่าเชื้อ มีคุณสมบัติไม่เป็นสนิม เหมาะกับการต้มน้ำ น้ำมันเตา และใช้อุ่นน้ำมัน hotoil ในระบบ Heat Exchanger สามารถทำงานลอยอากาศที่ระดับอุณหภูมิ สูงสุด 649°C

2.7.1.4 ท่อ SUS316 - เหมาะสำหรับใช้สารเคมีอ่อนสามารถใช้ในงานลอยอากาศ แก๊สผสม และใช้ต้มน้ำแบบ Super-Heated Streamหรือสารเคมีอื่นๆที่ไม่มีปฏิกิริยาต่อท่อสแตนเลส ท่อชนิดนี้เหมาะสำหรับทำงานที่อุณหภูมิสูงสุด 649°C



รูปที่ 2.23 ขนาดและรูปร่างฮีทเตอร์

รูปที่ 2.24 การต่อสายใช้งาน

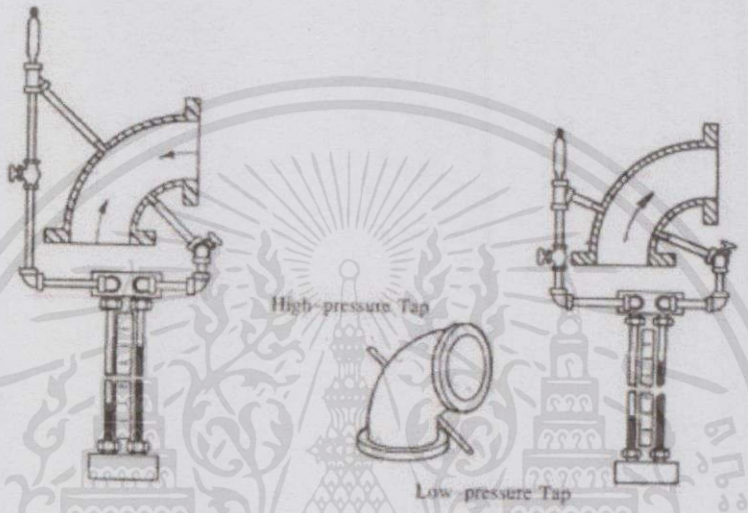


รูปที่ 2.25 การนำไปใช้งาน

2.8 อุปกรณวัดอัตราการไหลแบบอื่นๆ

2.8.1 อุปกรณวัดอัตราการไหลแบบ Elbow (Elbows Taps)

อุปกรณวัดอัตราการไหลแบบ Elbow เปนอุปกรณวัดการไหลโดยใชของอสรางความดันแตกตาง (Differential) อันเนื่องมาจากการไหลของของไหล แตการวัดการไหลในลักษณะนี้จะมีคาความคลาดเคลื่อนสูง ขอดีคือใชงานงายและมีความสะดวกมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 2.26 แสดงลักษณะของ Elbows Taps

(ก) เปนของอ Taps ทำมุม 45° กับของไหลที่ไหลเขามา ทำใหสามารถวัดการไหลไดทั้งสองทิศทาง

(ข) เปนของอ Taps ทำมุม 22.5° กับของไหลที่ไหลเขามาสามารถวัดการไหลไดทิศทางเดียว คาความคลาดเคลื่อนของการวัดดวยวิธีนี้ประมาณ ±5 ถึง ±10% เหมาะสำหรับการไหลที่มีคา สูงๆ ความดันแตกตางที่วัดไดเกิดจากแรงหนีศูนยของของไหลที่ไหลผานของอ ทำใหวงนอกเกิด Pressure Head สูงกวาวงใน โดยคาที่เกิดขึ้นนี้จะมีขนาดเปลี่ยนไปตามคาการไหล อางอิงจาก “หลักการและการใชงาน เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม” (สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ)

2.8.1.1ขอดีของอุปกรณวัดการไหลแบบ Elbow คือ

1 Elbow เปนสิ่งที่อยูในระบบทออยูแลวดังนั้นจึงไมจำเปนตองใสอุปกรณวัดเพิ่มเติมแตอยางใด

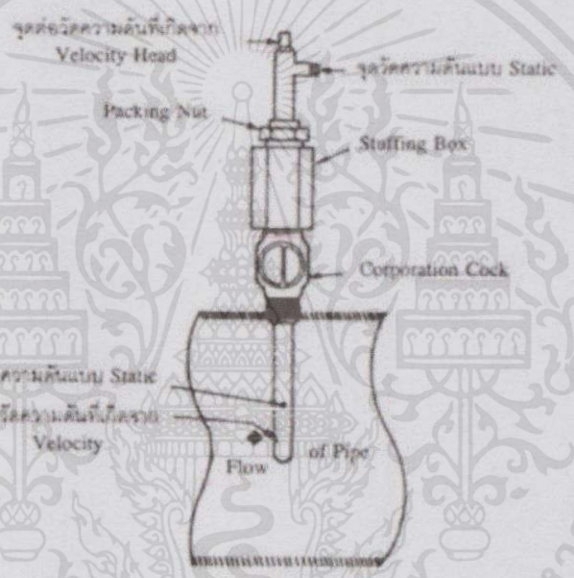
2 การวัดดวยวิธีนี้จะไมทำใหเกิดความดันสูญเสียมากกวาระบบทอที่มีอยูเดิม

3. ไมตองหาอุปกรณใสเพิ่มเติม สิ่งที่ตองการคือ ขนาดความยาวของทอตรงกอนเขาของอจะตองมีระยะทางอยางนอย 25 เทาของขนาดเสนผานศูนยกลางของทอ และขนาดความยาว ตรงดานหลัง

ของออย่างน้อย 10 เท่า คาที่ได้จึงจะเกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามคาความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นค่อนข้างต่ำและมีความสัมพันธ์กับคาการไหลเช่นเดียวกับแบบออริฟส คือ ΔP แปรผันตามการไหล

2.8.2 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบ Pitot Tube

อุปกรณ์วัดการไหลแบบนี้จะใช้หลักการวัดความเร็วของของไหลโดยตรง ปลายที่ใช้วัดจะถูกสอดใส่เข้าอยู่ในส่วนกลางของท่อในลักษณะที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล และปลายอีกด้านหนึ่งเปิดอยู่ด้านข้างดังรูปที่ 8 เพื่อใช้วัดความดันแบบ Static โดยที่จุดวัดความดันทั้งสองด้านจะตั้งฉากกัน



รูปที่ 2.27. แสดงลักษณะของ Pitot Tube

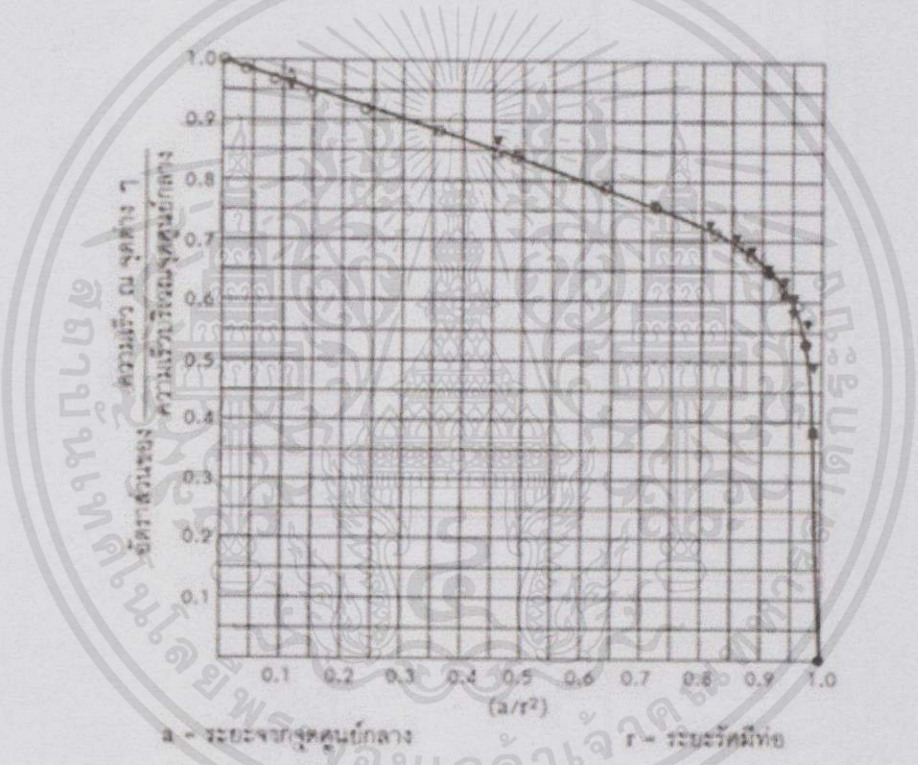
คาความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นนั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเร็วในการไหล ซึ่งความเร็วของของไหล ในจุดต่างๆ ทั่วๆ ไปจะเป็นดังรูปที่ 2.27 เมื่อกำหนดให้ความยาวของท่อตรงก่อนเข้าตัว Pitot Tube อย่างน้อย 50 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ คาความเร็วเฉลี่ยของการไหลจะอยู่ประมาณที่จุด 30% หางอ้างอิงจาก

"หลักการและการใช้งาน เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม" (สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ)

จากผิวผนังภายในท่อ แต่จุดเฉลี่ยนี้จะเปลี่ยนไปถ้าคา Reynolds Number เปลี่ยนไป ซึ่งก็คือความเร็ว ในการไหลเปลี่ยนไปนั่นเอง

จากรูปที่ 2.27 จะเห็นวาความเร็วสูงสุดของการไหลจะอยู่ที่จุดศูนยกลางของทอ แตที่ผิวของทอจะมีการไหลของของไหลนอยมาก ตางกันกับการไหลของกระแสไฟฟาในสายตัวนำเพราะกระแสไฟฟาจะไหลมาอยู่ที่บริเวณผิวภายนอกของสาย แต ณ จุดศูนยกลางจะไมมีกระแสไหล ดังนั้นในการหาคาการไหลจะตองคำนวณหาความเร็วเฉลี่ยจากคาความดันแตกตางที่วัดได

อุปกรณวัดการไหลแบบ Pitot Tube เปนแบบที่ประหยัด ติดตั้งงาย แตความคลาดเคลื่อนอาจจะเกิดขึ้นไดงายเมื่อ Velocity Profile เปลี่ยนไป และมักจะไมเหมาะกับของไหลที่สกปรกหรือเหนียวขน เพราะจะทำใหเกิดการอุดตันไดงาย คาความคลาดเคลื่อนของการวัดประมาณ ±1/2 ถึง ±5% ขอดีอีกประการหนึ่งคือ ความดันสูญเสียที่เกิดจากตัววัดจะมีคาต่ำ

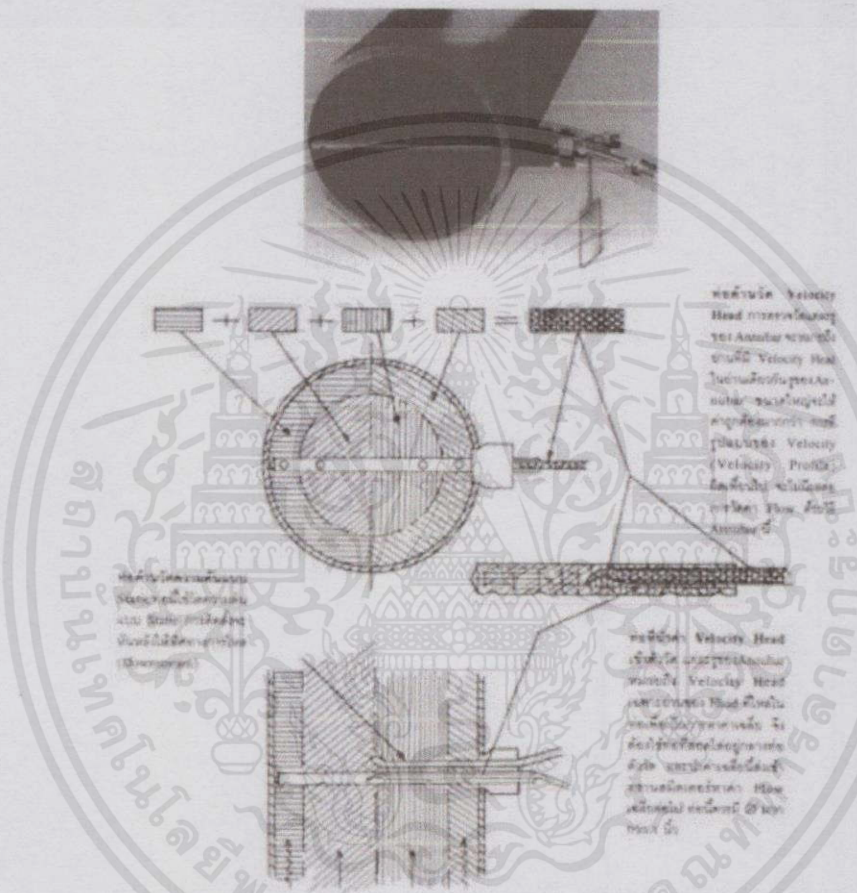


รูปที่ 2.28 กราฟแสดงความเร็วในการไหลของของไหล Temperature and Flow

อางอิงจาก “หลักการและการใชงาน เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม” (สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ)

2.8.3 อุปกรณวัดการไหลแบบ Annubar

อุปกรณวัดการไหลแบบนี้เปนแบบที่พัฒนาและแกไขปรับปรุงขอดอยมาจาก Pitot Tube โดยออกแบบใหใชหลักการวัดคาเฉลี่ยของความเร็วในการไหล (Mean Velocity Head) ใหถูกตองมากกวา ซึ่งเปนการวัดใน 4 จุด แลวนำมาหาคาเฉลี่ยดังรูปที่ 10



รูปที่ 2.29 แสดงลักษณะของอุปกรณ์วัดการไหลแบบ Annubar

จากรูปที่2.29 ดานหนาที่หันเขาหาทิศทางการไหลจะถูกเจาะรูไวเปน 4 รูเพื่อใหคาความดันที่เกิดจากความเร็วในการไหลวัดไดเปนคาเฉลี่ย ดานหลังของ Annubar จะมีจุดที่วัดความดันตรงกลางทอ เพื่อใชเปนคาความดันเปรียบเทียบหาคาความดันแตกตาง ดังสมการ (1)

$$Q = k \Delta P \quad (1)$$

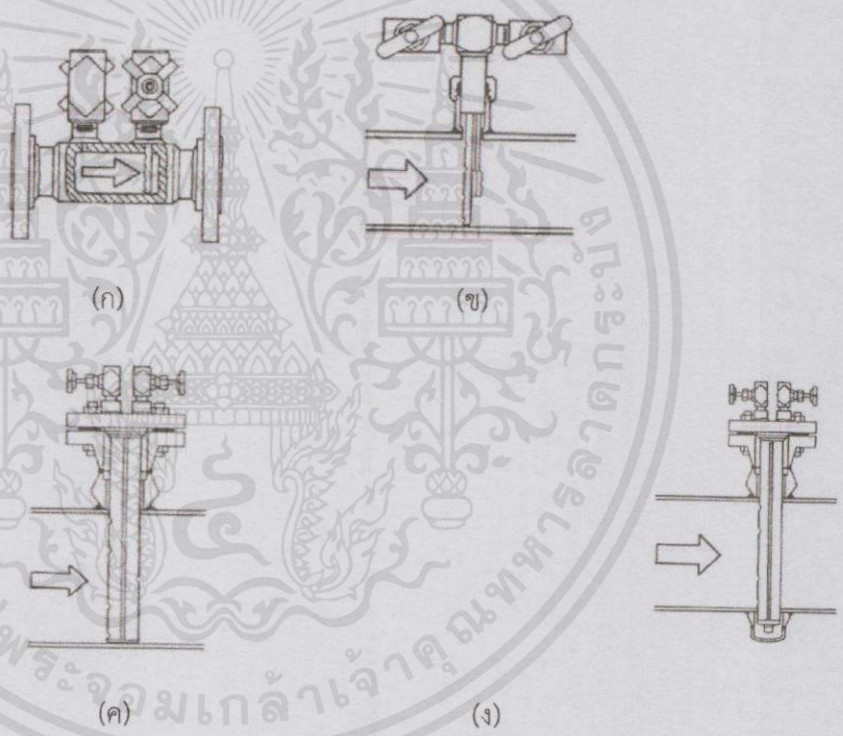
ลักษณะของ Annubar แตละแบบที่ใชงานกันอยูในปจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 2.30 สามารถอธิบาย ไดดังนี้คือTemperature and Flow อางอิงจาก "หลักการและการใชงาน เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม" (สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ)

รูปที่ 2.30 (ก) ใชสำหรับทอขนาดเล็ก Ø1 ถึง $1\frac{1}{2}$ นิ้ว ความดัน Static วัดที่ผิวทอเปรียบเทียบ กับความดันที่เกิดจากความเร็วในการไหลดวย Annubar ที่ติดตั้งอยูถัดไป

รูปที่ 2.30 (ข) เปน Annubar สำหรับทอขนาด 50 ถึง 175 mm

รูปที่ 2.30 (ค) ใชสำหรับทอขนาด 150 – 1,800 mm

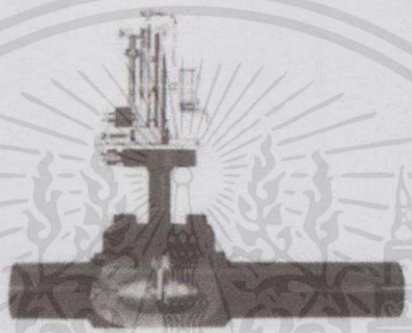
รูปที่ 2.30 (ง) สำหรับทอขนาดใหญมากกวารูป (ค) เปนตนไป โดยจะตองมีจุดยึดดานลางดวย



รูปที่ 2.30 แสดงลักษณะของ Annubar แบบตางๆ

2.8.4 อุปกรณวัดการไหลแบบ Target

หลักการของเครื่องมือวัดการไหลแบบ Target Flow meter คือการวัดแรงที่เกิดจากการไหล ของของไหล กระทำกับแผน Target ตามรูปที่ 2.32 เมื่อของไหลไหลมาปะทะกับแผน Target จะเกิด ความดันแตกตางขึ้นที่ดานหนาและดานหลังของแผน Target แรงที่เกิดจากความแตกตางกันของ ความดันที่เกิดขึ้นนี้จะแปรผันกับคา Flow Rate กำลังสอง ตามทฤษฎีของ Bernoulli ดังแสดงใน สมการ (2) Temperature and Flow อางอิงจาก "หลักการและการใชงาน เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม" (สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ)



รูปที่ 2.31 แสดงลักษณะของ Target

โดยแรงที่เกิดขึ้นบนพื้นที่ของ Target จะมีคาตามสมการดังนี้

$$F = KpA_t\left(\frac{v2}{2g}\right)$$

เมื่อ F คือ แรงที่ของไหลกระทำกับ Target
V คือ ความเร็วในการไหลของของไหล
A_t คือ พื้นที่รับแรงของ Target
ρ คือ คาความหนาแนนของของไหล
k คือ คาคงที่ (Proportionality Constant)
g คือ คาแรงโนมถวงของโลก

อุปกรณ์วัดการไหลแบบ Target Flow meter มีลักษณะที่ตรงขามกับ Orifice คือจะใหของไหลไหลผานรอบๆ ทอ แต Orifice จะใหไหลผานกลางทอ ซึ่ง Target สามารถให Accuracy ไดถึง 0.5%โดยขนาดที่มีใชในปจจุบันจะมีตั้งแต Ø0.5 นิ้ว ถึง Ø60 นิ้ว อัตราสวนของ Ø Target กับ Ø ทอ (β)ประมาณ 0.4 ถึง 0.8 แรงปะทะที่เกิดขึ้นบน Target มีคา 1.5 ถึง 20 ปอนดแรงเปนคาสูงสุด

2.8.5 อุปกรณวัดการไหลแบบวอรเทกซมิเตอร (Vortex)

เมื่อของไหลไหลผาน Flow meter ที่มี Shedding Element รูปตัว T ซึ่งขวางการไหลอยูทำให เกิดการไหลวน (Vertex) ของของไหลดานหลังตัว Shedding Element การเกิดกระแสไหลวนนั้นจะทำ ใหสามารถทราบความเร็วในการไหลของของไหลไดเนื่องจากการเกิดกระแสไหลวนจะสรางคลื่น ความถี่ขึ้น และคลื่นความถี่นี้จะแปรผันโดยตรงกับความเร็วของการไหล ตัวเซนเซอรที่ใชวัดนี้มีหลาย แบบดวยกัน บางแบบใชเทอรมิสเตอรอยางในแบบ Swirlmeter บางแบบใชผลึก (Piezoelectric) อางอิงจาก "หลักการและการใชงาน เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม" (สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ (Crystal) เปนตัวกำเนิดสัญญาณเมื่อเกิดคลื่นไหลวนปะทะ หรือบางแบบอาจใชหลักการของคลื่นอัลตราโซนิก ดังแสดงลักษณะของ Vertex Flow meter ในรูปที่ 2.32 เซนเซอรจะถูกบรรจุอยูภายในตัว Shedding Element ซึ่งประกอบดวยแผนไดอะแฟรมที่อยู รอบนอกเปนตัวสงผานคลื่นความถี่ไปใหฐานซิลิโคนซึ่งเติมอยูรอบๆ ผลึก ผลึกจะกำเนิด คลื่นสัญญาณที่มีความถี่เทากับความถี่ของวอรเทกซที่เกิดขึ้น ที่ใหเกิดรูปคลื่นที่มีลักษณะเปน Pulse สงเขาภาคขยาย เปลี่ยนเปนสัญญาณคาการไหลตอไป

รูปที่ 2.32 ลักษณะของอุปกรณวัดการไหลแบบ Vertex Flow meter

การกำหนดคาความเร็วในการไหลต่ำสุดและสูงสุด เมื่อของไหลไหลผานตัววัดแบบวอรเทกซจะเกิดคาความดันแตกตางระหวางสวนหนาและสวนหลังตัววัดขึ้น คาต่ำสุดของความดันแตกตางที่ตัววัดสามารถวัดไดและอยูในยานของความเปนเชิงเสนนั้น ขึ้นอยูกับคาความหนาแนนและความเร็วในการไหล ตามสมการ (3)

$$V_{min} = \frac{10}{\sqrt{\rho}} \qquad (3)$$

เมื่อ Vf คือ คาความเร็วในการไหล (ft/s)

ρ_f คือ คาความหนาแนน (lb/ft^3)

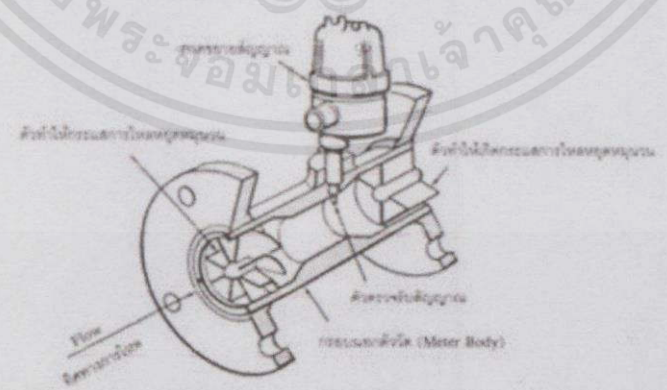
โดยค่าสูงสุดของความเร็วในการไหลจะมีค่าตามสมการ (4)

$$V_{max} = \frac{158}{\sqrt{\rho}} \qquad (4)$$

Temperature and Flow อ้างอิงจาก "หลักการและการใช้งาน เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม" (สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ)

2.8.6 อุปกรณ์วัดการไหลแบบ Swirlmeter

อุปกรณ์วัดการไหลแบบ Swirlmeter เป็น Flow meter อีกแบบที่ใช้หลักการของฐ้าไหลวน (Vertex) สำหรับตรวจวัดการไหลแบบปริมาตร สวนประกอบที่สำคัญแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ตัวสราง กระแสการไหลให้หมุนวน (Swirl Producing Component) เป็นรูปใบพัดติดอยู่กับที่ตรงส่วนหน้าของมิเตอร์เมื่อมีกระแสของการไหลไหลผ่าน กระแสจะบิดเป็นเกลียวตามทิศทางการบิดเบนของใบพัดทำให้เกิดความถี่ของกระแสคลื่นขึ้นที่ด้านหลัง ซึ่งความถี่ของคลื่นที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วของการไหลของของไหล การไหลจะแปรเปลี่ยนไปตามความถี่ของคลื่นด้วย จึงสามารถตรวจวัดความถี่นี้ได้ด้วยตัวตรวจรับสัญญาณที่ทำจากเทอร์มิสเตอร์จะได้สัญญาณจากตัวเซนเซอร์ในรูปของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเป็น Pulse ซึ่งจะถูกขยายและเปลี่ยนเป็นค่าการไหลต่อไปเมื่อกระแสที่เกิดจากการไหลผ่านของเซนเซอร์เวนจูรีจะถูกผ่ายออกให้ขนาดของท่อใหญ่เท่าเดิมอีกครั้ง และก่อนที่จะผ่านพ้นตัวมิเตอร์จะมีตัวแก้กระแสไหลวน (Deswirl Component) ลักษณะเหมือนใบพัดอันแรกแต่มีใบตรงตลอด ทำให้กระแสของการไหลหยุดไหลวนเพื่อป้องกันมิให้เกิดผลลัพธ์กลับมายังตัวมิเตอร์อีกครั้ง ดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 ลักษณะของอุปกรณ์วัดการไหลแบบ Swirlmeter

2.8.6.1 ขอมูลโดยทั่วไปของ Swirlmeter

1 มีคา Accuracy ของการวัด ±1%

2 ใหคา Repeatability ดีถึง ±0.25% ของคา Full Scale

3 คา Reynolds Number ของ Fluid ที่ตองการวัดอยู ระหวาง 10,000 ถึง 100,000

4 ใหคา Rangeability ดีถึง 30:1

5 อุณหภูมิของของไหลไมเกิน 500 °F

6 ความดันของของไหลไมเกิน 300 Psig

7 ตองการทอตรงที่มีขนาดเทากับเสนผานศูนยกลางของทอ Flow meter มีความยาวไมนอยกวา 10 เทาของเสนผานศูนยกลางทอ

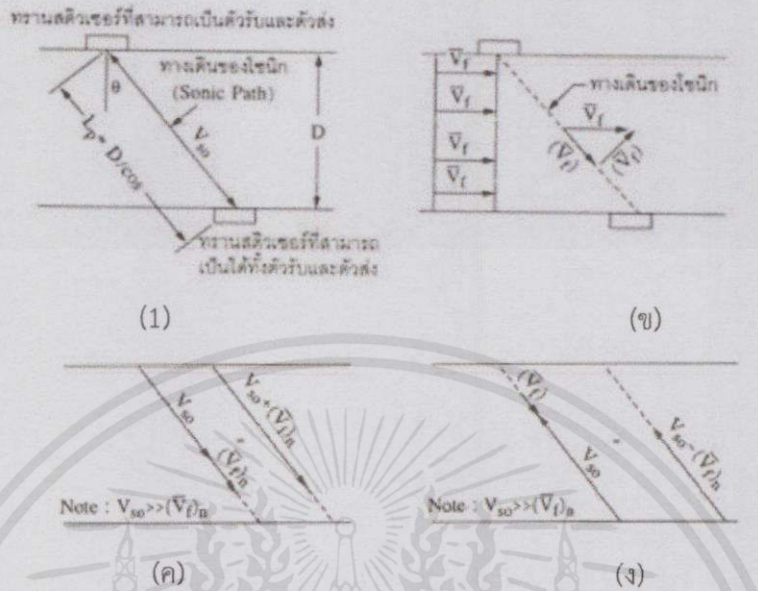
อางอิงจาก "หลักการและการใชงาน เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม" (สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ)

2.8.7 อุปกรณวัดการไหลแบบอัลตราโซนิก

หลักการทำงานของอุปกรณวัดการไหลแบบอัลตราโซนิกจะอาศัยคลื่นความถี่เหนือเสียง ซึ่งจะมีอยูหลายแบบดวยกัน แตนิยมใชกันอยางแพรหลายมีอยู 2 แบบคือ แบบ Counterpropagating และแบบ Doppler ทั้งสองแบบใชวัดการไหลของของเหลว โดย Counterpropagating ใชสำหรับของไหลที่เปนของเหลวที่สะอาด สวน Doppler ใชสำหรับของเหลวที่มีสารแขวนลอยปะปนอยูดวยเพื่อใชเปนตัวสะทอนคลื่น

2.8.7.1 แบบ Counterpropagating

สามารถคาการไหลไดโดยอาศัยหลักความแตกตางของความเร็วในการเดินทางของคลื่นความถี่เหนือเสียง โดยความเร็วจะมากขึ้นเมื่อทิศทางการไหลและทิศทางของคลื่นความถี่เปนไปในทางเดียวกัน และจะลดลงเมื่อทิศทางกลับกัน ดวยผลตางของชวงเวลาทั้งสอง จึงสามารถกำหนดความเร็วในการไหลของของไหลในทอไดตามรูปที่ 2.34



(ก) (ข)

(ค) (ง)

รูปที่ 2.34 ลักษณะการทำงานของอุปกรณวัดการไหลแบบ Counter propagating

(ก) เมื่อไมมีการไหล

(ข) ทิศทางของโซนิกสขนานไปกับการไหล

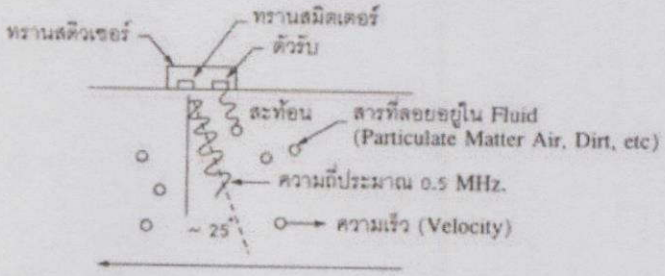
(ค) ชวงที่โซนิกสเดินทางตามกระแสการไหล

(ง) ชวงที่โซนิกสเดินสวนทางกับการไหลTemperature and Flow

อางอิงจาก “หลักการและการใชงาน เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม” (สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ)

2.8.7.2 แบบ Doppler

หลักการทำงานของอุปกรณวัดการไหลลักษณะนี้จะอาศัยการสะทอนกลับของคลื่นความถี่เมื่อสงไปกระทบกับอนุภาคของสารที่ปะปนมากับของเหลว เนื่องจากอนุภาคของสารมีความเร็วเทากับการไหลของของไหลดังนั้นความถี่ที่สะทอนกลับจะตางไปจากคาที่สงออกไป คาความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปนี้จะแปรผันตรงกับความเร็วในการไหลของของไหลนั้น เราจึงสามารถทราบคาอัตราการไหลในรูปปริมาตรไดทรานสดิวเซอรที่ใชอาจเปนตัวเดียวทำหนาที่ทั้งสงและรับในตัวเดียวกันเลยก็ไดแตตาม รูปที่แสดงในรูปที่ 2.35 เปนลักษณะการแยกตัวรับและตัวสงออกจากกัน



รูปที่ 2.35 ลักษณะการทำงานของอุปกรณวดการไหลแบบ Doppler

โดยปกติแล้วทรานสดิวเซอรจะถูกติดตั้งไวอยูที่บริเวณผิวทอ ความถี่ที่ใชอยูระหวาง 0.5 ถึง 1 MHz ความถี่ที่ไดรับจากทรานสดิวเซอรตัวรับจะถูกเปรียบเทียบกับความถี่ที่สงออกจากตัวสง ซึ่งสามารถทราบคาการไหล (Q) ไดจากสมการ (5)

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \frac{V_{so}}{\mathrm{Sin}\theta} \left(\frac{\Delta f}{f_{Hz}} \right) \qquad (5)$$

เมื่อ Δf คือความถี่ที่แตกต่าง

f_{Hz} คือความถี่ที่ส่งออกจากตัวส่ง

θ คือมุมที่ส่งคลื่นความถี่ออกจากตัวส่ง

V_{so} คือความเร็วของคลื่นความถี่ที่ส่งออกจากตัวส่ง

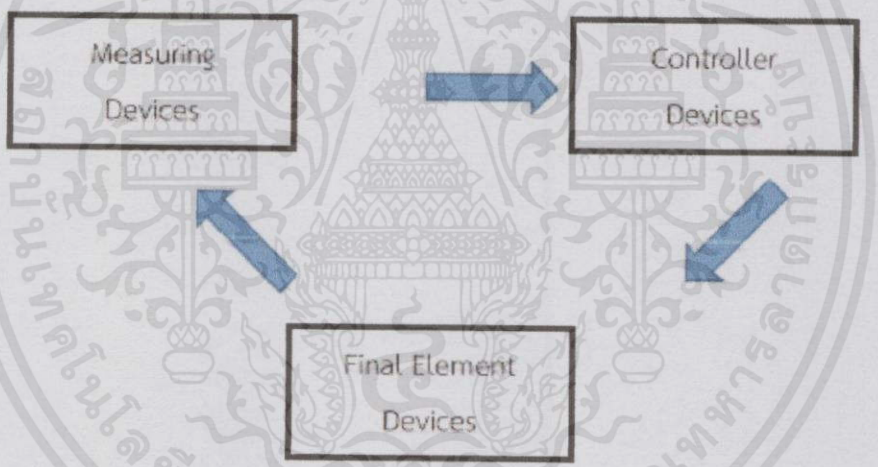
<u>หมายเหตุ</u> จุดที่ติดตั้งอุปกรณ์อัลตร้าโซนิกจะต้องอยู่ห่างจากบริเวณปั๊มมอเตอร์ หรือแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่ที่อาจกำเนิดสัญญาณรบกวนได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

3.1 กล่าวนำ

สำหรับการออกแบบแพลนท์ ทางคณะผู้จัดทำได้ออกแบบโดยการเริ่มจากศึกษาหลักการของเทอร์โมไดนามิกส์ และระบบการละลายน้ำแข็งผ่านน้ำ โดยมีอุปกรณ์ทำงานแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ ส่วนแรกเป็นส่วนของอุปกรณ์การวัด (Measuring Devices), ส่วนของอุปกรณ์ควบคุม (Controller Device), ส่วนของปุกรณ์ทำงานส่วนสุดท้าย (Final Element Devices) ซึ่งทั้งสามส่วนนี้ทำงานร่วมกัน



รูปที่ 3.1 รูปแบบการทำงานของระบบ

3.2 อุปกรณ์

ในระบบการควบคุมแบบอัตโนมัตินั้นอุปกรณ์แต่ละตัวมีความสำคัญมากในแต่ละขั้นตอน การเลือกใช้อุปกรณ์ให้เหมาะสมกับกระบวนการนั้น จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นในการออกแบบวงจรเป็นอย่างมาก หากทำการเลือกอุปกรณ์ผิดประเภทอาจจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการทำให้เกิดข้อผิดพลาดได้

3.2.1 อุปกรณ์การวัด (Measuring Devices)

อุปกรณ์การวัดเป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการวัด ซึ่งรูปแบบและหลักการของแต่ละอุปกรณ์ก็แตกต่างกันออกไป อุปกรณ์ประเภทนี้ที่ทางคณะผู้จัดทำได้เลือกมาใช้ได้แก่

- RTD หรือ PT100
- Flow Transmitter

3.2.2 อุปกรณ์ควบคุม (Controller Device)

- Temperature Controller
- Heat exchanger
- Programmable Logic Control

3.2.1 อุปกรณ์ทำงานส่วนสุดท้าย (Final Element Devices)

- Heater
- Valve

3.3 การออกแบบ Plant

ในการออกแบบระบบเพื่อให้เห็นภาพเซ็ตเจน ในรูปแบบของภาพสามมิติ โปรแกรม SolidWroks จึงถูกหยิบยกขึ้นมาในการออกแบบระบบนี้

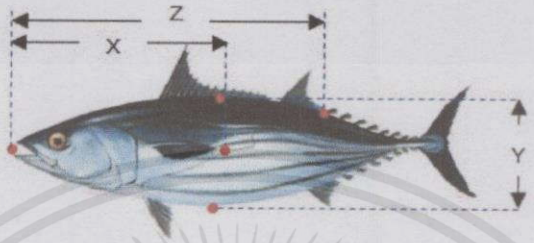
3.4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมตัวอย่างปลาทูน่าก่อนการละลาย

ใช้ปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ size 02 และ size 61 น้ำหนัก 1.41-1.80 และ 1.81-2.30 กิโลกรัม ตามลำดับ ทั้งสิ้นจำนวน 30 ตัว ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -16 องศาเซลเซียส จนกว่าจะทำการทดลอง

3.4.1.1 การวัดขนาดและชั่งน้ำหนัก

การวัดขนาดกระทำทั้งสิ้น 3 จุด คือ วัดความยาวจากหัวปลาถึงโคนหาง (X) วัดความกว้างจากจุดที่กว้างที่สุดของตัวปลา (Y) และวัดความยาวจากหัวปลาไปจนถึงครีบหลัง (Z) ดังรูป 3.1.1



รูปที่ 3.1.1 ตำแหน่งในการวัดขนาด

3.4.1.2 การเสียบเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิ

ทำการเจาะปลาแช่แข็งสำหรับเสียบเทอร์โมคัปเปิล ด้วยสว่านไฟฟ้าขนาดหัวเจาะ 1.6 มิลลิเมตร ดังรูป 3.3 โดยปลา 1 ตัว เจาะรู 2 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ 1 เจาะบริเวณกึ่งกลางตัวปลาจากบริเวณสันปลาจนถึงบริเวณเนื้อติดกระดูก และตำแหน่งที่ 2 เจาะบริเวณผิวข้างตัวปลาพร้อมวัดมุมตรงตำแหน่งที่เจาะ คือ ความยาวจากหัวถึงตำแหน่งที่เจาะ (A) ความกว้างจากครีบหลังลงมาถึงตำแหน่งที่เจาะ (B) และความลึกจากตำแหน่งที่เจาะลงไปในเนื้อปลา (C) ดังรูป 3.2

รูปที่ 3.2 ตำแหน่งในการเจาะเพื่อวัดอุณหภูมิปลาทูน่า

รูปที่ 3.3 การเจาะและการเสียบสายเทอร์โมคัลเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิปลาทูน่า

3.5 ชุดอุปกรณ์ละลายปลาทูน่า

3.5.1 ระบบการละลายปลาทูน่า

3.5.1.1 ระบบละลาย

ในการทดลองใช้อุปกรณ์ทั้งหมด 4 ส่วน ได้แก่ ถังละลาย ฮีทเตอร์ ถังพักน้ำ และปั๊มน้ำ ดังรูป 3.4 ซึ่งระบบนี้สามารถควบคุมอัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการละลายได้ โดยการทำงานของระบบที่ใช้ในการทดลอง ปั๊มจะดูดน้ำจากถังพักเข้าสู่ถังละลายบริเวณด้านบนสำหรับถังแบบปัจจุบัน และจะถูกป้อนผ่านแผงปล่อยน้ำสำหรับถังแบบใหม่ และน้ำที่ผ่านการละลายจะไหลจะเข้าสู่กระบอกที่ประกอบด้วยเครื่องทำความร้อน 34000 วัตต์ เพื่อรับความร้อน และเข้าสู่ถังพัก

รูปที่ 3.4 ระบบการละลายที่ใช้ในการทดลอง

3.5.1.2 อุปกรณ์สำหรับวัดการกระจายอุณหภูมิ

วัดการกระจายอุณหภูมิภายในถังละลายปลาทูน่า ด้วยการติดเทอร์โมคัปเปิล ทั้งหมด 9 ตำแหน่ง โดยแบ่งเป็นการวัด 2 ด้าน คือ ด้านซ้ายและด้านขวา แต่ละด้านแบ่งเป็น 2 ชั้น คือ ชั้นบนและชั้นล่าง แต่ละชั้นมีทั้งหมด 2 แถว คือ แถวหน้าและแถวหลัง และอีกตำแหน่งบริเวณกลางถังชั้นล่าง

3.5.1.3 อุปกรณ์สำหรับควบคุมอุณหภูมิ

เครื่องทำความร้อน (Heater) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ให้ความร้อนโดยใช้จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดตัวนำจนเกิดความร้อน ซึ่งในระบบการละลายจำลองประกอบด้วยเครื่องทำความร้อนทั้งหมด 34000 วัตต์ โดยจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1 เครื่องทำความร้อนที่ทำงานตลอดกระบวนการ การทำงานของเครื่องทำความร้อนส่วนที่ 1 จะทำงานตลอดเวลาเพื่อเพิ่มอุณหภูมิอย่างช้าๆ

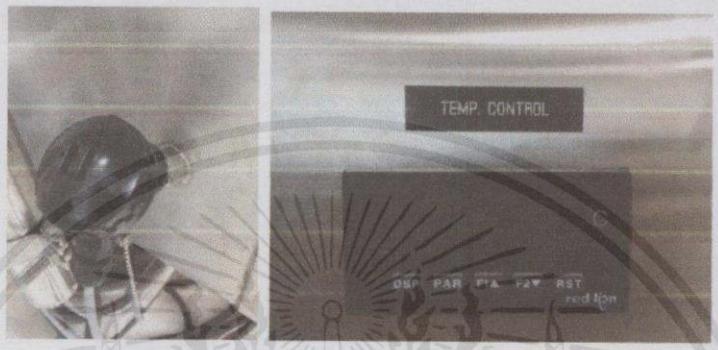
2 เครื่องทำความร้อนที่ทำงานบางช่วงเวลาขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่กำหนด เครื่องทำความร้อนส่วนนี้จะทำงานก็ต่อเมื่ออุณหภูมิได้ต่ำกว่าที่ได้โปรแกรมเอาไว้ในส่วนควบคุม โดยในส่วนนี้จะประกอบด้วยเครื่องทำความร้อนทั้งหมด 32000 วัตต์ โดยจะแบ่งออกเป็น 4 ตัว ตัวละ 8000 วัตต์ เพื่อที่จะทำให้ควบคุมได้ละเอียดมากขึ้น ดังรูป 3.5 (ข) เพื่อช่วยเครื่องทำความร้อนส่วนที่ 1 เนื่องจากความร้อนจากส่วนที่ 1 ไม่เพียงพอต่อการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการละลายต่อไป

(ก) (ข)

รูปที่ 3.5 (ก) เครื่องทำความร้อนส่วนที่ 1
(ข) เครื่องทำความร้อนส่วนที่ 2

3.5.2 ชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller)

ชุดควบคุมอุณหภูมิ ดังรูป 3.6 มีไว้เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องทำความร้อน โดยติดตั้งอาร์ทีดีบริเวณปลายท่อหัวจ่ายน้ำ เพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำเข้าระบบ และส่งสัญญาณไปยังชุดควบคุมอัตโนมัติเพื่อสั่งการเครื่องทำความร้อน (Heater)



รูปที่ 3.6 ชุดควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติสำหรับสั่งการเครื่องทำความร้อน

3.5.3 ระบบควบคุมอัตราการไหล (Flow Controller)

ชุดควบคุมอัตรการไหล ดังรูป มีไว้เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์ โดยติดตั้งอินเวอร์เตอร์เข้าไป เพื่อทำการควบคุมความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่จะจ่ายให้กับปั๊มน้ำ โดยระบบควาบคุมส่วนกลางจะมาทำการสั่งอินเวอร์เตอร์เพื่อสั่งในการควบคุมอัตรการไหล

รูปที่ 3.6.1 ชุดควบคุมความถี่ของกระแสฟ้าอัตโนมัติ

3.5.4 ระบบควบคุมอุณหภูมิ (Main Controller)

ระบบควมคุมอุณหภูมิ มีไว้เพื่อประมวลผลการทำงานของระบบทั้งหมด โดยจะใช้ระบบประมวลผมส่วนกลางเป็นโปรแกรมควบคุมแบบลอจิค(PLC) โดยระบบจะนำค่าจากชุดควบคุมอุณหภูมิมาเพื่อคำนวณตามลอจิคที่วางเอาไว้ เพื่อนำไปสั่งฮีตเตอร์และอินเวอร์เตอร์ในขั้นตอนต่อไป

3.6 ขั้นตอนการทดลองละลายปลาทูน่า

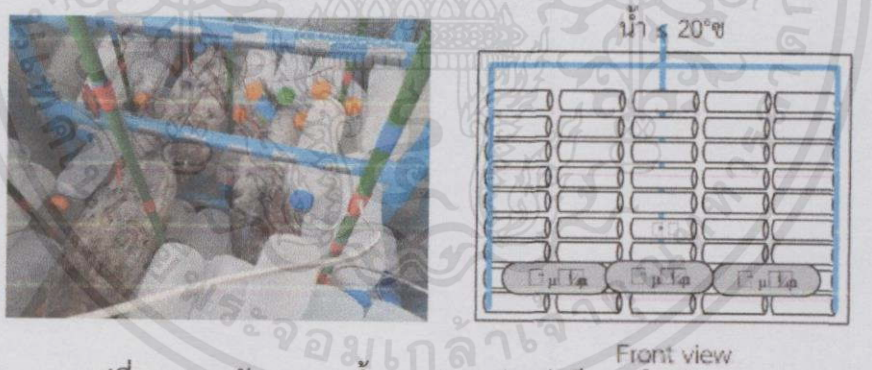
3.6.1 ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์และระบบ

3.6.1.1 เตรียมน้ำสำหรับการละลาย

ปรับน้ำภายในถังพักให้มีอุณหภูมิต่ำกว่า -16 องศาเซลเซียส โดยควบคุมให้น้ำมีปริมาณ 0.32 ลูกบาศก์เมตร คงที่ตลอดเวลา

3.6.1.2 การจัดวางขวดน้ำและปลาทูน่าแช่แข็ง

จัดวางขวดขวดน้ำพลาสติก (PET) ขนาด 600 มิลลิเมตร ที่ผ่านการแช่แข็งให้เป็นลักษณะ จำนวน 180 ขวด และวางปลาทูน่าที่เตรียมไว้สำหรับการทดลองจำนวน 3 ตัว บริเวณจุดที่อุณหภูมิของน้ำต่ำที่สุด (Cold point) ดังรูป 3.7



รูปที่ 3.7 การจัดวางขวดน้ำและปลาทูน่าแช่แข็งภายในถังละลาย

3.6.2 ขั้นตอนการละลายปลาทูน่า

หลังการเตรียมอุปกรณ์และระบบ ทำการป้อนน้ำจากถังพักที่ควบคุมให้อุณหภูมิต่ำกว่า -16 องศาเซลเซียส ดังรูป 3.8 (ก) สำหรับถังละลายใหม่จะทำการเปลี่ยนรูปแบบการป้อนน้ำเข้าสู่ถังละลาย ดังรูป 3.8 (ข) โดยสภาวะที่ทำการทดลอง คือ การละลายด้วยน้ำที่อัตราการไหล 0.12 ลิตรต่อวินาที พร้อมวัดอุณหภูมิภายในถังละลาย (9 ตำแหน่ง) วัดอุณหภูมิปลาทูน่าจำนวน 3 ตัว ตัวละ 2 จุด คือ บริเวณใจกลางตัวปลา และบริเวณด้านข้างรวมทั้งวัดอุณหภูมิของน้ำภายในพัก

(ก)

(ข)

รูปที่ 3.8 (ก) ลักษณะการป้อนน้ำสำหรับถังละลายปัจจุบัน
(ข) ลักษณะการป้อนน้ำสำหรับถังละลายใหม่

ซึ่งระหว่างการทดลองน้ำที่ผ่านการละลายจะมีอุณหภูมิลดต่ำลงจึงใช้เครื่องทำความร้อนปรับอุณหภูมิ โดยการทดลองจะสิ้นสุดเมื่ออุณหภูมิของปลาทูน่าบริเวณจุดที่ช้าที่สุดมีอุณหภูมิลดถึง -2 องศาเซลเซียส

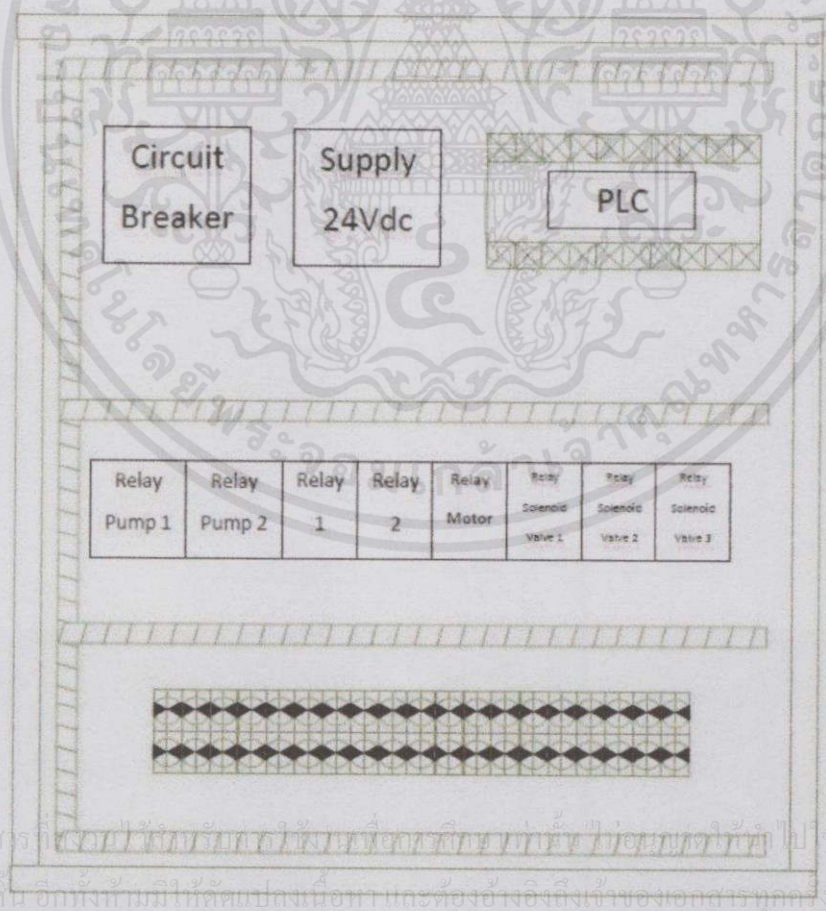
บทที่ 4

รายละเอียดโปรแกรมและหลักการทำงาน

4.1 วงจรไฟฟ้า

ซึ่งประกอบไปด้วย

- PLC KOYO D 06
- Temperature Control
- Circuit Breaker
- Relay
- Terminal



รูปที่ 4.1 วงจรไฟฟ้า

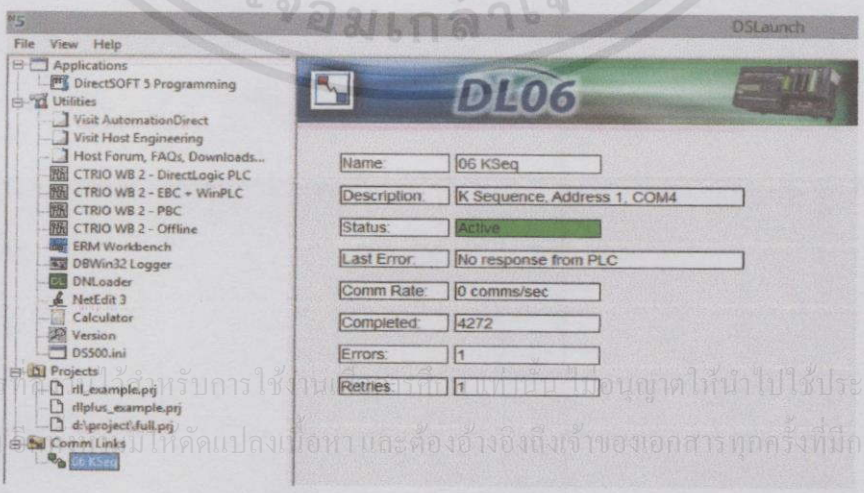
4.2 ส่วนของซอฟแวร์ (software)

โปรแกรม PLC จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของระบบโดยตรงเนื่องจากโปรแกรม PLC สามารถเขียนโปรแกรมได้ง่าย และสะดวกในการนำไปใช้งานเพื่อควบคุมการทำงานของระบบ เพื่อให้ทำงานได้เป็นระบบและมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องเขียนโปรแกรมเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้ โดยโปรแกรมที่เลือกใช้คือ “DirectSOFT 5 Programming” ซึ่งมีหน้าตาโปรแกรมเป็นดังนี้

รูปที่ 4.2 หน้าตาโปรแกรม

4.3 ขั้นตอนการหาอุปกรณ์

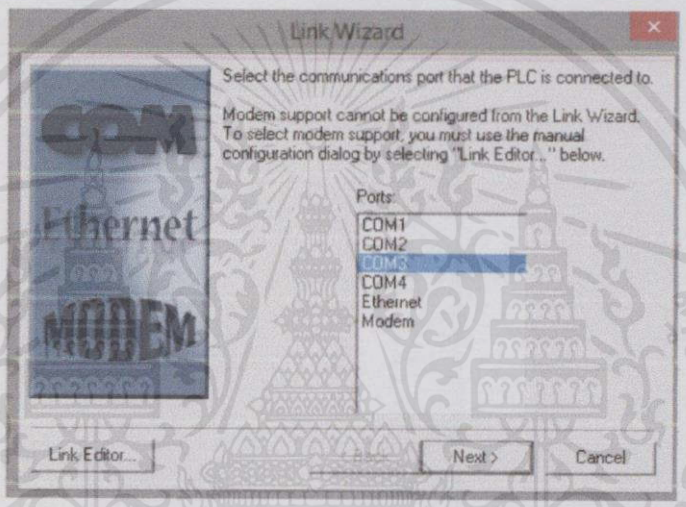
4.3.1 เปิดหน้าโปรแกรม DirectSOFT 5



รูปที่ 4.3 หน้าโปรแกรม DirectSOFT 5

4.3.2 การค้นหา PLC

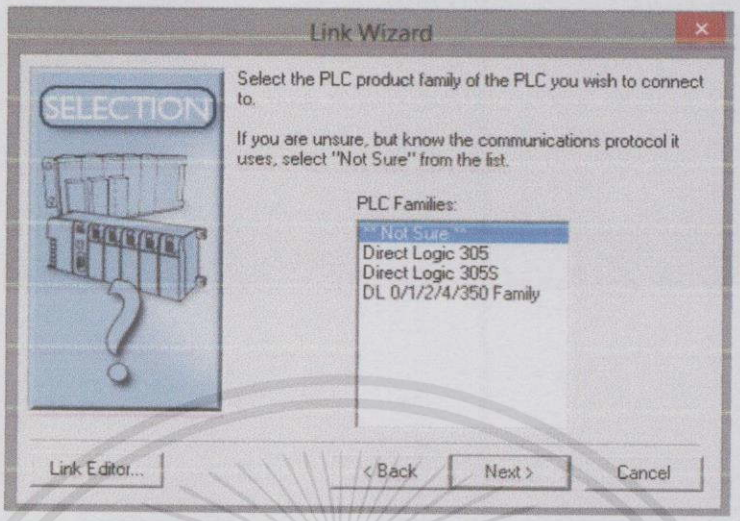
ค้นหา โดยการคลิกขวาที่ Com Links ทางแถบเครื่องมือทางด้านซ้ายมือ จะปรากฏหน้า Link Wizard ในกรณีที่คอมพิวเตอร์มีซีเรียลพอร์ท จะสามารถหา PLC ได้จาก COM1 แต่ในกรณีที่คอมพิวเตอร์ไม่มีซีเรียลพอร์ทจะต้องใช้สายแปลง RS232C เปลี่ยนเป็น USB เพื่อเข้าไปหา PLC และจะสามารถหา PLC ได้จาก COM3



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการค้นหา PLC

4.3.3 ในขั้นตอนการเลือกรุ่นของ PLC

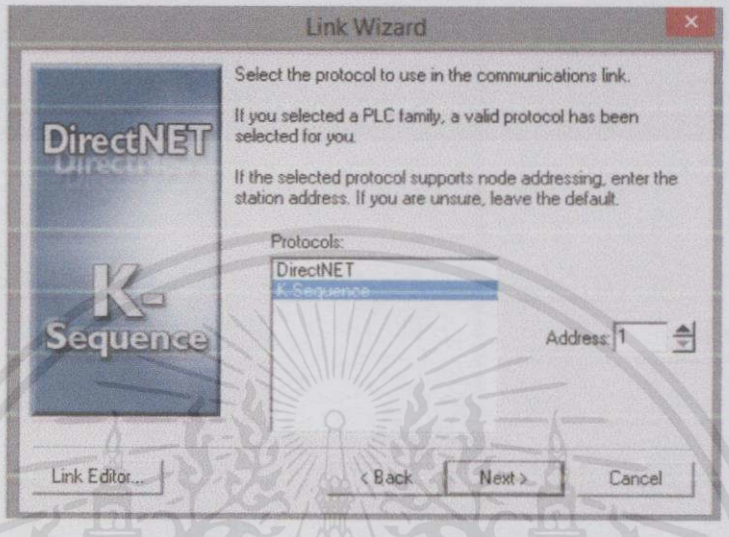
ในกรณีนี้จะต้องเลือกเป็น Not Sure เพราะว่าไม่มีรุ่นที่ต้องการ



รูปที่ 4.5 ขั้นตอนการเลือกรุ่น PLC

4.3.4 ขั้นตอนต่อมาในการเลือกโปรโตคอล

ให้เลือกแบบ K Sequence แล้วระบบจะทำการหารุ่นและเชื่อต่อกับ PLC ให้กับเราโดยอัตโนมัติ

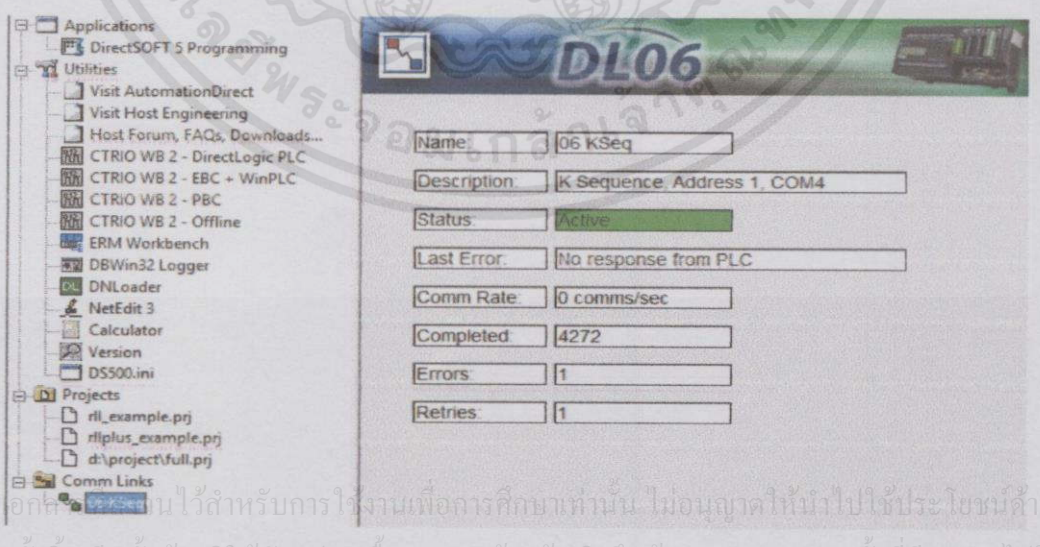


รูปที่ 4.6 การเลือกโปรโตคอล

4.4 ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมและการหาอุปกรณ์

4.4.1 หน้าแสดงสถานะของ PLC

ว่ามีการเชื่อมต่ออยู่ รูปแบบการเชื่อมต่อเป็นแบบ K Sequence และ Address ของ PLC เป็น เครื่องที่ 1 มีการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ที่พอร์ท COM4



รูปที่ 4.7 แสดงการเชื่อมต่อของ PLC

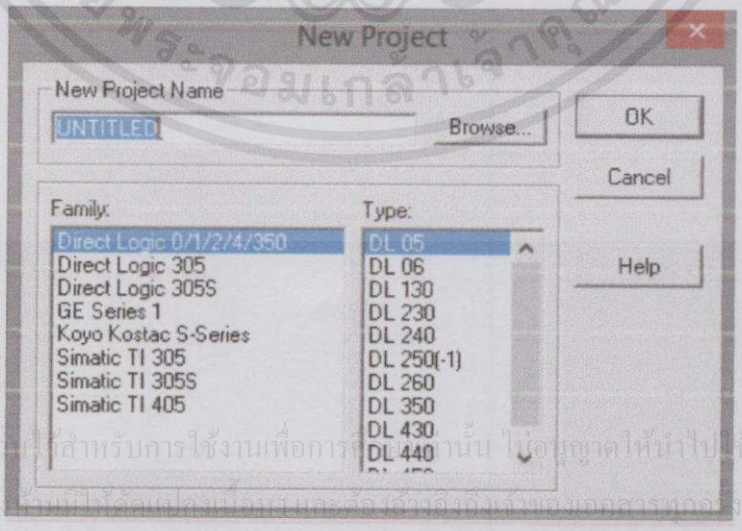
4.4.2 การเข้าไปเขียนโปรแกรม

ต้องคลิกที่แถบเมนูทางด้านซ้ายมือที่ชื่อโปรแกรม “DirectSOFT 5” Programming เพื่อเข้าสู่การเขียนโปรแกรมของ PLC

รูปที่ 4.8 เข้าสู่การเขียนโปรแกรม

4.4.3 หน้าตาของโปรแกรม DirectSOFT 5

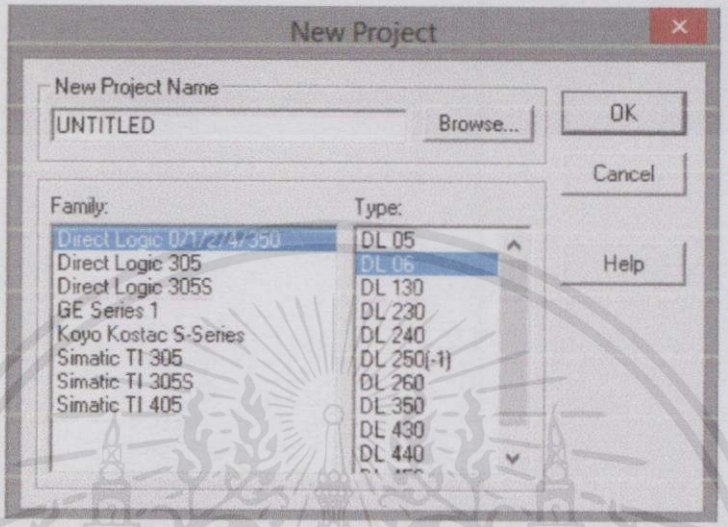
Programming และการเลือกอุปกรณ์ที่จะเข้าไปใช้เขียนโปรแกรมเช่นการเลือกตระกูลของ PLC จะต้องเลือกที่ Direct Logic 0/1/2/4/350 แล้วจึงมาเลือกรุ่น DL06



รูปที่ 4.9 ขั้นตอนการเลือกอุปกรณ์ที่จะใช้เข้าไปเขียนโปรแกรม

4.4.4 จากนั้นตั้งชื่อโปรเจค

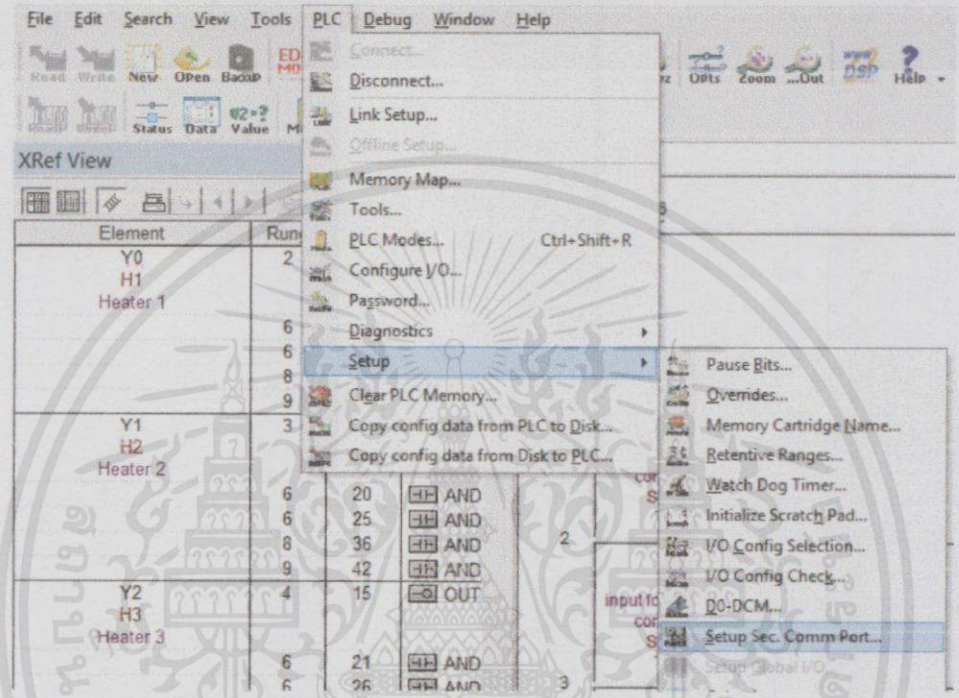
แล้วจึงกด OK เพื่อตกลงเข้าไปเขียนโปรแกรม



รูปที่ 4.10 ขั้นตอนการตั้งชื่อโปรเจค

4.4.5 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อเชื่อมต่อกับ PLC

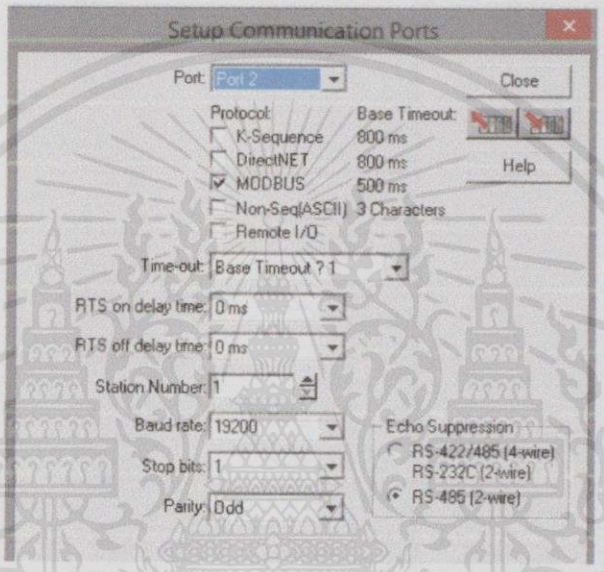
เลือกที่ PLC จากนั้นเลือก Setup แล้วหลังจากนั้นก็ต้องเลือกSetup Sec. Comm Port เพื่อติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ต่อพ่วงอื่นๆที่เข้ามาต่อกับ PLC



รูปที่ 4.11 ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อเชื่อมต่อกับ PLC

4.4.6 การติดตั้งอุปกรณ์ที่จะมาติดต่อกับ PLC

โดยที่จะมีการเลือกพอร์ทของ PLC ที่จะนำไปติดต่อกับอุปกรณ์ โดยพอร์ท 1 จะเป็นการติดต่อโดยใช้การติดต่อแบบRS232C โดยจะมีการใช้หัวแบบ RJ11จากPLCและพอร์ทที่ 2 จะมีการติดต่อแบบ RS232C แบบ 2 สาย RS485 แบบ 2 สายและ 4 สาย ขึ้นอยู่กับรูปแบบการใช้งาน การเลือกรูปแบบ การติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์อีกตัวหนึ่งจะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ แต่ในที่นี้จะเลือกแบบ Modbus



รูปที่ 4.12 ขั้นตอนการเลือกพอร์ท

4.5 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

4.5.1. โปรมแกรมจะมีการรับค่าของ Process Vale

มาจาก Temperature Controller โดยผ่านการการเชื่อมต่อแบบ Modbus Protocol โดยที่โปรแกรมจะต้องมีการใช้ Special Port ของ PLC เพื่อให้ทำการติดต่อกับ Temperature Controller โดยใช้ SP116 เพื่อทำการเปิด จุดเชื่อมต่อที่ 2 ระหว่างตัวแม่และลูกข่าย เพื่อทำการรับส่งข้อมูล โดยคำสั่งที่ใช้จะเป็น MRX ซึ่งเป็นโปรแกรมอ่านค่าจากลูกข่ายผ่านการเชื่อต่อแบบ Modbus Protocol การตั้งค่าของคำสั่ง MRX นั้นจะมีการเลือกพอร์ทของ PLC ที่ที่ใช้ติดต่อสื่อสาร ในที่นี้จะเป็นพอร์ทที่ 2 ต่อมาจะเป็นการเลือกลูกข่าย โดยที่ลูกข่ายของ PLC นี้ โดยที่ PLC ตัวนี้สามารถมีลูกข่ายมากที่สุดถึง 99 ตัว แต่ในที่นี้ได้มีการตั้งค่าลูกข่ายของของ Temperature Controller เป็นตัวที่ 1 ต่อมาเป็นการเลือกรูปแบบฟังก์ชั่นเพื่อเป็นการดึงข้อมูลจากลูกข่าย แต่ในกรณีนี้จะเลือก 03-Read Holding Registers เพราะว่า PV เป็นค่าที่อ่านได้อยู่ในย่านนี้ หลังจากนั้น

ให้เลือกตำแหน่งของข้อมูลจากตารางของข้อมูลของลูกข่ายโดยมีวิธีการคำนวณตามนี้ ตำแหน่งเริ่มต้นในที่นี้คือ K4001 นำมารวมกับตำแหน่งที่ Process Value อยู่ ในที่นี้คือตำแหน่งที่0 จึงได้เป็นตำแหน่งที่K4001จากนั้นจึงต้องตั้งค่าของพื้นที่ที่จะเก็บข้อมูลในPLCในตำแหน่งที่กำหนต ในที่นี้กำหนดไว้ที่ V1 ต่อมาก็ต้องกำหนดจำนวณของข้อมูลที่นำเข้ามาด้วยเพื่อที่จะได้ดึงออกมาได้โดยไม่มีข้อมูลมากเกินไปต่อมาก็เลือกBufferตอบสนองเพื่อให้ข้อมูลได้มีที่พักก่อนส่งไปตำแหน่งที่ถูกต้องต่อไป

4.5.2 เมื่อได้ข้อมูลมาแล้วที่ตำแหน่ง V1 เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้

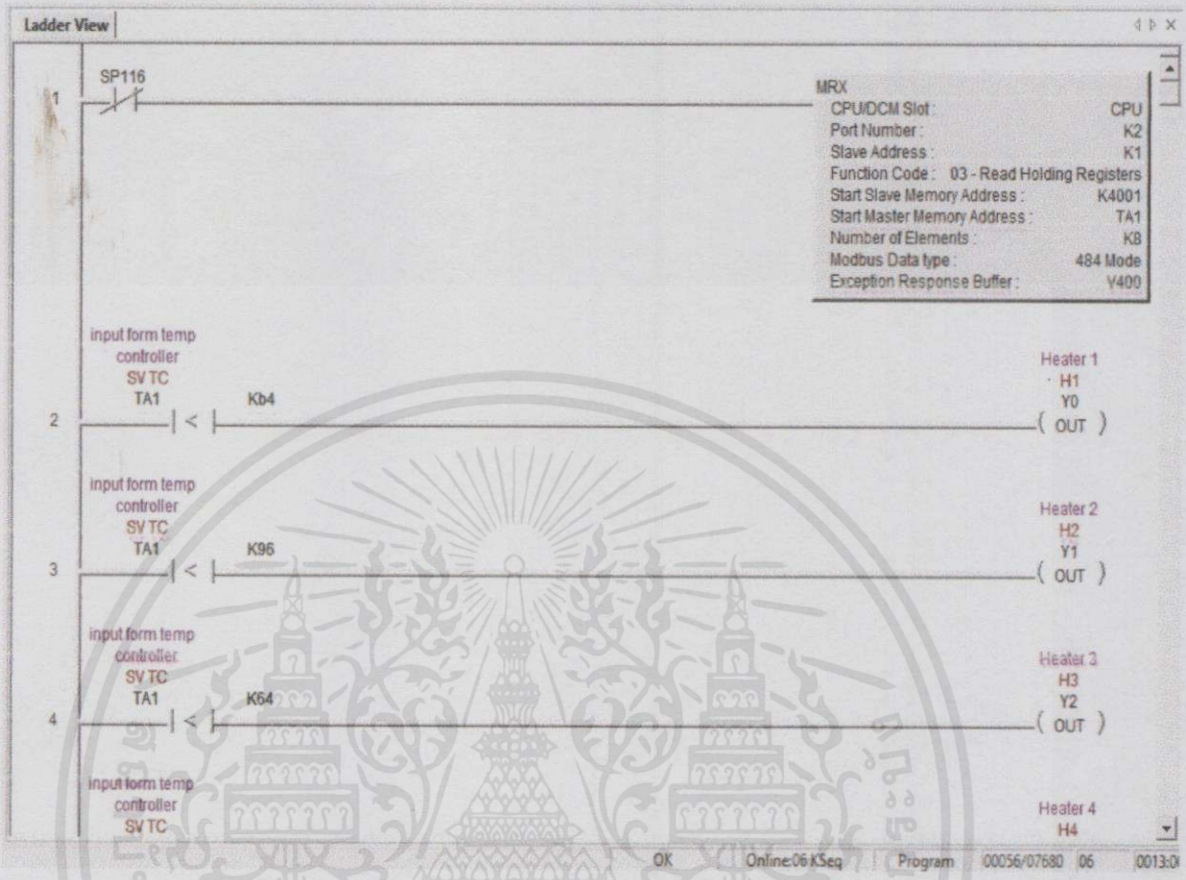
ในที่นี้คือ b4 ในฐาน 16 แต่เมื่อแปลงกลับเป็นเลขฐาน 10 จะมีค่าคือ 180 แต่ 180 นี้ไม่ใช่อุณหภูมิเพราะว่า Temperature Controller ที่แสดงเป็น 3 หลักนั้นได้มีจุดเพื่อให้แสดงออกเป็น 2 ตำแหน่งกับทศนิยม 1 ตำแหน่ง ดังนั้นอุณหภูมิที่ตั้งไว้ว่าเมื่อ V1 มีค่าน้อยกว่า 18.0 องศา จะสั่งให้ Y0 ซึ่งเป็น Heater 1 ทำงาน

4.5.3 เมื่อได้ข้อมูลมาแล้วที่ตำแหน่ง V1 เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้

ในที่นี้คือ 95 ในฐาน 16 แต่เมื่อแปลงกลับเป็นเลขฐาน 10 จะมีค่าคือ 150 แต่ 150 นี้ไม่ใช่อุณหภูมิเพราะว่า Temperature Controller ที่แสดงเป็น 3 หลักนั้นได้มีจุดเพื่อให้แสดงออกเป็น 2 ตำแหน่งกับทศนิยม 1 ตำแหน่ง ดังนั้นอุณหภูมิที่ตั้งไว้ว่าเมื่อ V1 มีค่าน้อยกว่า 15.0 องศา จะสั่งให้ Y1ซึ่งเป็น Heater 2 ทำงาน

4.5.4 เมื่อได้ข้อมูลมาแล้วที่ตำแหน่ง V1 เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้

ในที่นี้คือ 64 ในฐาน 16 แต่เมื่อแปลงกลับเป็นเลขฐาน 10 จะมีค่าคือ 100 แต่ 100 นี้ไม่ใช่อุณหภูมิเพราะว่า Temperature Controller ที่แสดงเป็น 3 หลักนั้นได้มีจุดเพื่อให้แสดงออกเป็น 2 ตำแหน่งกับทศนิยม 1 ตำแหน่ง ดังนั้นอุณหภูมิที่ตั้งไว้ว่าเมื่อ V1 มีค่าน้อยกว่า 10.0 องศา จะสั่งให้ Y2 ซึ่งเป็น Heater 3 ทำงาน



รูปที่ 4.13 อธิบายการทำงานของโปรแกรม

4.5.5 เมื่อได้ข้อมูลมาแล้วที่ตำแหน่ง V1 เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้

ในที่นี้คือ 50 ในฐาน 16 แต่เมื่อแปลงกลับเป็นเลขฐาน 10 จะมีค่าคือ 80 แต่ 80 นี้ไม่ใช่อุณหภูมิเพราะว่า Temperature Controller ที่แสดงเป็น 3 หลักนั้นได้มีจุดเพื่อให้แสดงออกเป็น 2 ตำแหน่งกับทศนิยม 1 ตำแหน่ง ดังนั้นอุณหภูมิที่ตั้งไว้ว่าเมื่อ V1 มีค่าน้อยกว่า 8.0 องศา จะสั่งให้ Y3 ซึ่งเป็น Heater 4 ทำงาน

4.5.6 นำค่า Y0 Y1 Y2 Y3 ไปส่งค่าให้ Y4

เมื่อ Y0 Y1 Y2 และ Y3 ทำงานจะส่งผลให้ Y4 ทำงานแต่ในที่นี้ Y4 จะไปสั่งให้อินเวอร์เตอร์ทำงานด้วยค่า Hz ค่าหนึ่งเพื่อไปสั่งปั๊มให้ทำงานตามที่ความถี่ที่ตั้งไว้ แต่ในที่นี้กระแสที่ตั้งไว้ในอินเวอร์เตอร์ที่ Jog Speed 1 คือ 50 Hz หลังจากนั้นก็นำค่า Y4 มาคงค่าไว้เพื่อให้ทำงาน

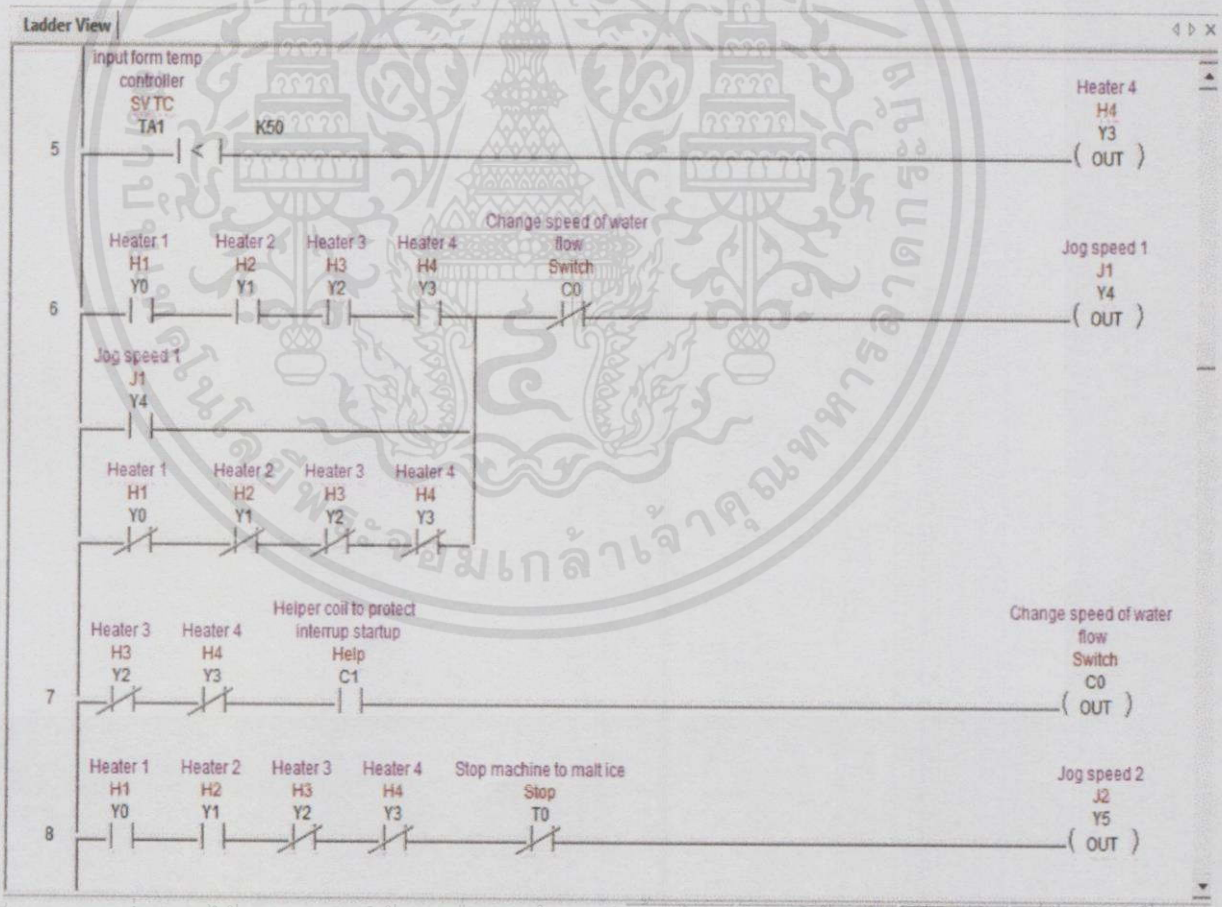
อยู่ตลอดจนกว่า C0 จะทำงานเพื่อเปลี่ยนไปเป็นอีกความถี่หนึ่ง และการที่ Y4 จะทำงานก็ต่อเมื่อ Y0 Y1 Y2 และ Y3 ไม่ทำงานเพื่อเป็นในกรณีที่เริ่มต้นอุณหภูมิของน้ำในขณะเริ่มต้นกระบวนการ

4.5.7 เมื่อ Y2 และ Y3 ไม่ทำงานแต่ C1 ทำงาน

จะส่งผลให้ C0 ทำงานเพื่อเป็นการช่วยให้เปลี่ยนความถี่ของมอเตอร์ตอนเริ่มต้นไม่มีการสับสน

4.5.8 เมื่อ Y0 และ Y1 ส่วน Y2 Y3 และ T0 ไม่ทำงาน

จะส่งผลให้ Y5 ทำงาน เพื่อให้ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ทำงานอีกค่าหนึ่งเพื่อลดความเร็วของปั๊มลง



รูปที่ 4.14 อธิบายการทำงานของโปรแกรม

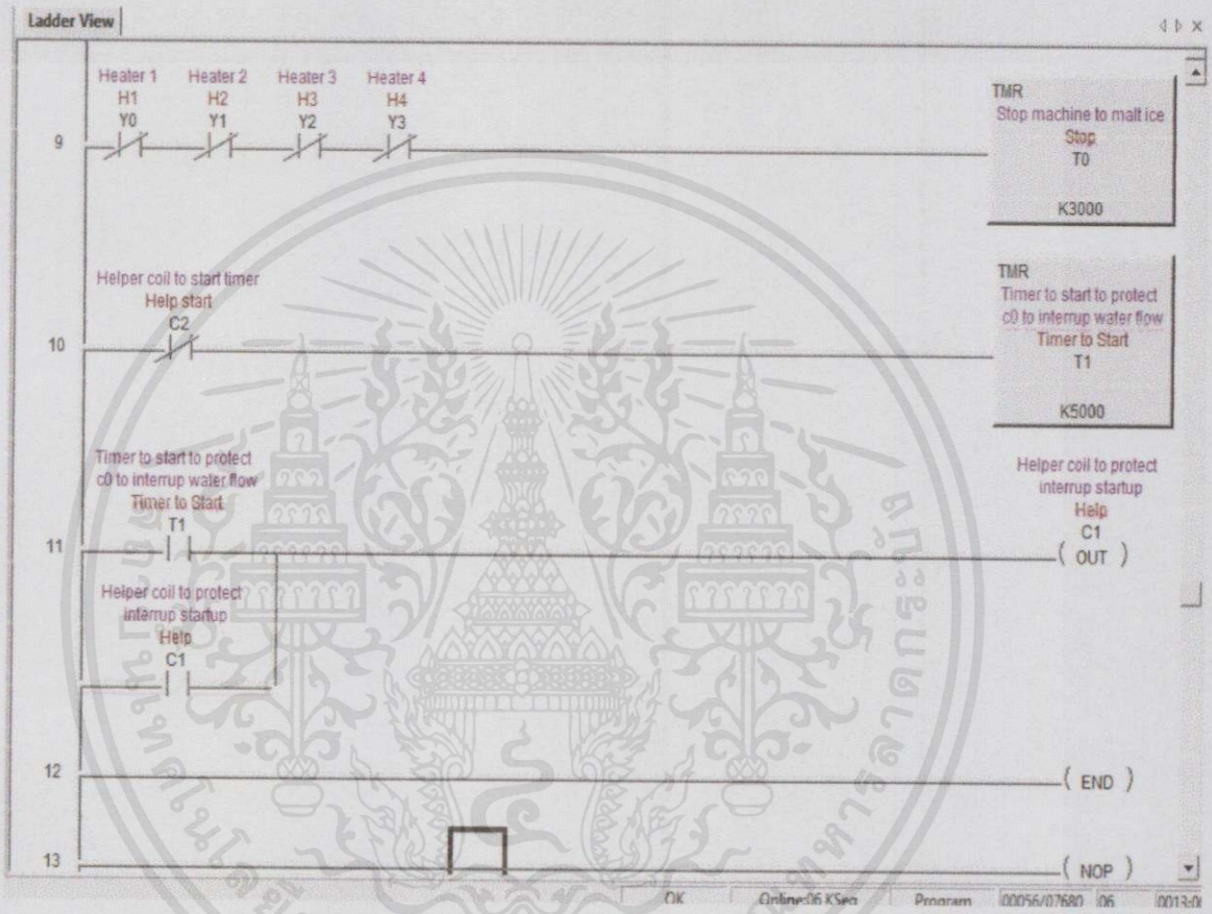
4.5.9 เมื่อ Y0 Y1 Y2 และ Y3 ไม่ทำงาน

จะสั่งให้ตัวจับเวลาเริ่มทำงานเพื่อที่จะทำการทำงานของระบบเมื่อมีการละลายเสร็จสิ้นลงแล้ว

4.5.10 เมื่อ C2 ไม่ทำงานจะสั่งให้ตัวจับเวลาที่ 1 (T1) เริ่มทำงาน

โดยที่ต้องมีตัวจับเวลาตัวนี้เอาไว้ก็เพื่อที่จะช่วยไม่ให้ตัวเปลี่ยนสปีดของอินเวอร์เตอร์ทำงานก่อนกำหนด

4.5.11.เมื่อ T1 ทำงานแล้วจะส่งผลให้ C1 ทำงานและมีการคงค่าเอาไว้เพื่อที่จะไปช่วยในการเปลี่ยนสปีดของอินเวอร์เตอร์ในบรรทัดที่ 7



รูปที่ 4.15 อธิบายการทำงานของโปรแกรม

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอเชิงทฤษฎีจากการวิจัย

5.1 ผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาเพื่อลดระยะเวลาในการละลายปลาทูน่าโดยใช้น้ำ พบว่าการสร้างสภาวะภายในถังละลายให้มีการกระจายอุณหภูมิ และความปั่นป่วนของน้ำจะส่งผลต่อการอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างเนื้อปลากับน้ำที่ใช้ในการละลาย ซึ่งการที่จะทำการทดลองได้อย่างเกิดประสิทธิภาพสูงสุด จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการออกแบบแพลนท์ได้อย่างเหมาะสมสอดคล้องกับความต้องการทางทฤษฎี ทั้งนี้ในการออกแบบแพลนท์ในโครงงานนี้ได้นำโปรแกรม SolidWorks นำมาออกแบบ ซึ่งโปรแกรมนี้ความสามารถจำลองการทำงานของแพลนท์ได้ในรูป 3 มิติเห็นภาพได้อย่างชัดเจน โดยจากการทดลองเปรียบเทียบสภาวะการละลายโดยวิธีการปล่อยน้ำจากสายยางด้านบนถัง และปล่อยน้ำผ่านแผงปล่อยน้ำที่ได้ออกแบบด้วยอัตราไหลของน้ำเท่ากัน พบว่า เมื่อติดตั้งแผงปล่อยน้ำการกระจายอุณหภูมิของน้ำภายในถังละลายแต่ละตำแหน่งมีค่าใกล้เคียงกัน และจากการทดลองละลายปลาทูน่าน้ำหนัก 1.4-2.0 กิโลกรัม พบว่า เมื่อทำการละลายโดยวิธีปล่อยน้ำจากสายยางด้านบนถังที่อัตราไหล 0.12 ลิตรต่อวินาที จะใช้เวลา 139-148 นาที แต่หลังจากใส่แผงปล่อยน้ำปล่อยน้ำเข้าไปในถังละลาย พบว่า ใช้เวลาในการละลาย 144-170 นาที ผลการทดลองสรุปได้ว่า เมื่อติดตั้งแผงปล่อยน้ำสามารถลดระยะเวลาในการละลายปลาทูน่าได้ 18.24 เปอร์เซนต์

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

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

สำหรับโปรแกรมควบคุมกระบวนการต่างๆของระบบ DirectSoft5 เป็นซอฟแวร์ที่ถูกหยิบยกนำมาใช้ในการเขียน PLC ในรูปแบบของ Ladder diagram ซึ่งค่าต่างๆที่จำเป็นในกระบวนการเป็นข้อมูลที่ได้มาจาก Temp controller ที่เป็นตัวรับค่ามาจาก RTD เมื่อ Temp Controller ได้รับค่า

แล้วจะสั่งการไปให้ฮีทเตอร์ทำงาน โดยฮีทเตอร์ทั้งหมด 4 ตัวจะทำงานเมื่ออุณหภูมิ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 18 องศา ฮีทเตอร์ 3 ตัวจะทำงานเมื่ออุณหภูมิ ซึ่งมีค่า 15 องศา ฮีทเตอร์ 2 ตัวจะทำงานเมื่ออุณหภูมิ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10 องศา และฮีทเตอร์ 1 ตัวจะทำงานเมื่ออุณหภูมิ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8 องศา ส่วนอัตราการไหลนั้นอุปกรณ์ที่ถูกนำมาใช้ก็คือ Inverter ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมความถี่กระไฟฟ้าของปั๊มน้ำ โดยเงื่อนไขสำหรับการทำงานของ Inverter คือ เมื่อฮีทเตอร์ทำงานทั้งหมด 4 ตัวจะส่งผลให้ Inverter แปลงค่าความถี่ไฟฟ้าเป็น 50 เฮิรตซ์ ในทำนองเดียวกัน เมื่อฮีทเตอร์ทำงานทั้งหมด 2 ตัวจะส่งผลให้ Inverter แปลงค่าความถี่ไฟฟ้าเป็น 35 เฮิรตซ์

5.2 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและเวลาที่ใช้ในการละลายปลาทูน่า

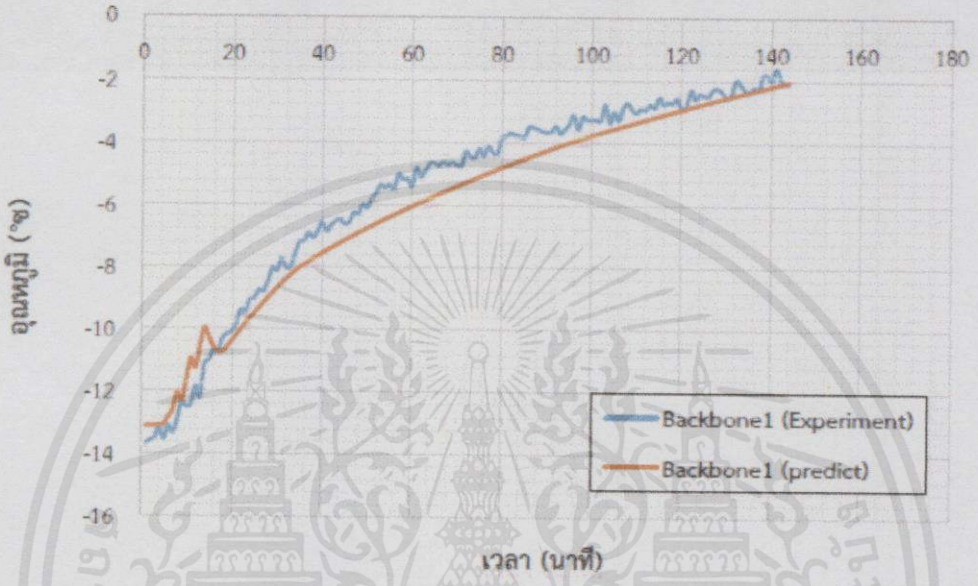
จากผลการทดลองท้าการละลายในถังแบบปัจจุบันและถังแบบใหม่ โดยวางตัวอย่างปลาทูน่าที่ต้าแหน่งเดียวกัน และท้าการควบคุมอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการละลายมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส พบว่า การละลายปลาในถังแบบปัจจุบันที่ต้าแหน่งต่าง ๆ ใช้เวลาในการละลายจนปลามีอุณหภูมิใจกลางจนถึง -2 องศาเซลเซียส ใช้เวลาเท่ากับ 144 และ 170 นาที ดังรูป 5.1 และ 5.2 ตามล้าดับ และถังแบบใหม่ใช้เวลาเท่ากับ 139 และ 144 นาที ดังรูป 5.3 และ 5.4 ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ค่าSE และเวลาที่ใช้ในการละลาย

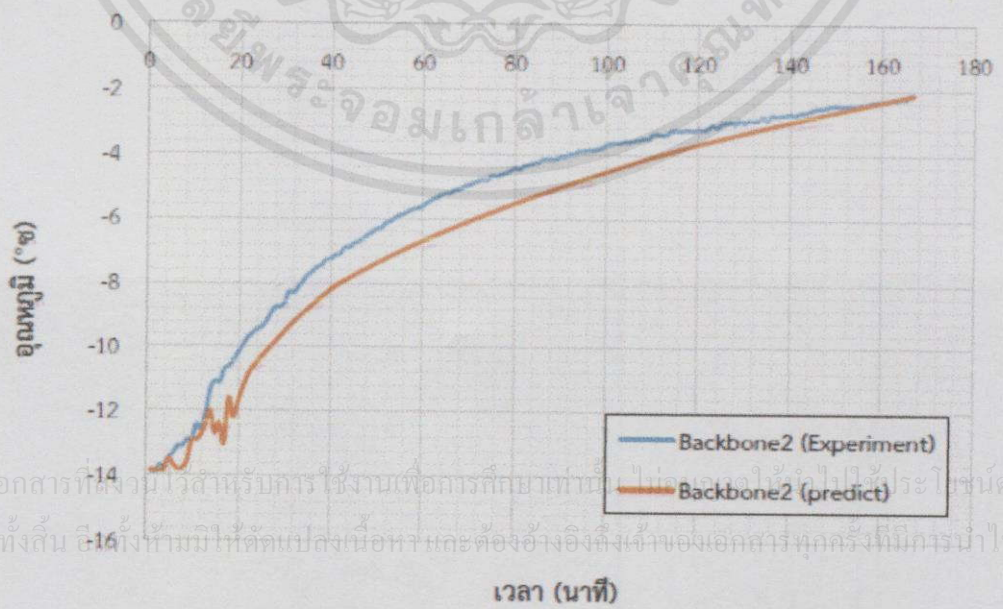
	ถังแบบปัจจุบัน		ถังแบบใหม่	
	ปลาตัวที่1	ปลาตัวที่2	ปลาตัวที่1	ปลาตัวที่2
1. ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m^2K)	19	15	23	23
2. ค่าความเบี่ยงเบน (SE)	0.6729	0.8249	0.4965	0.4295
3. เวลาที่ใช้ในการละลาย (นาที)	144	170	139	148

5.2.1 การละลายปลาทูน่าในถังละลายแบบปัจจุบัน

การละลายปลาทูน่าในถังละลายแบบปัจจุบัน โดยใช้ฐ้าอุณหภูมิ 18±2 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อวินาที และท้าการบันทึกอุณหภูมิทุก ๆ 60 วินาที ได้ผลดังรูป 5.1 และ 5.2



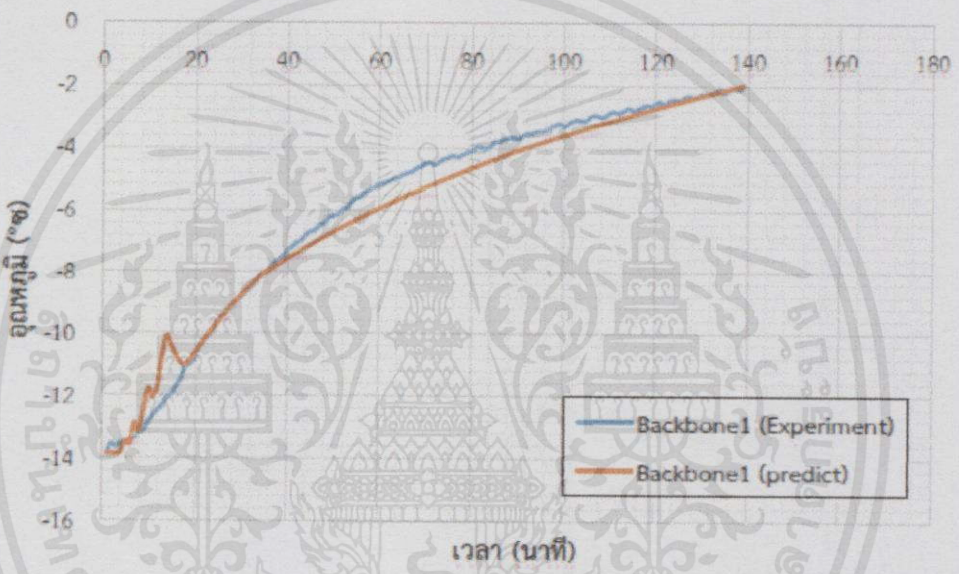
รูปที่ 5.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบริเวณเนื้อติดกระดูกของตัวอย่างที่ 1 ที่ได้จากการทดลองและอุณหภูมิที่ได้จากการท้านายด้วยแบบจ้าลองกับเวลาส้าหรับถังละลายแบบปัจจุบัน



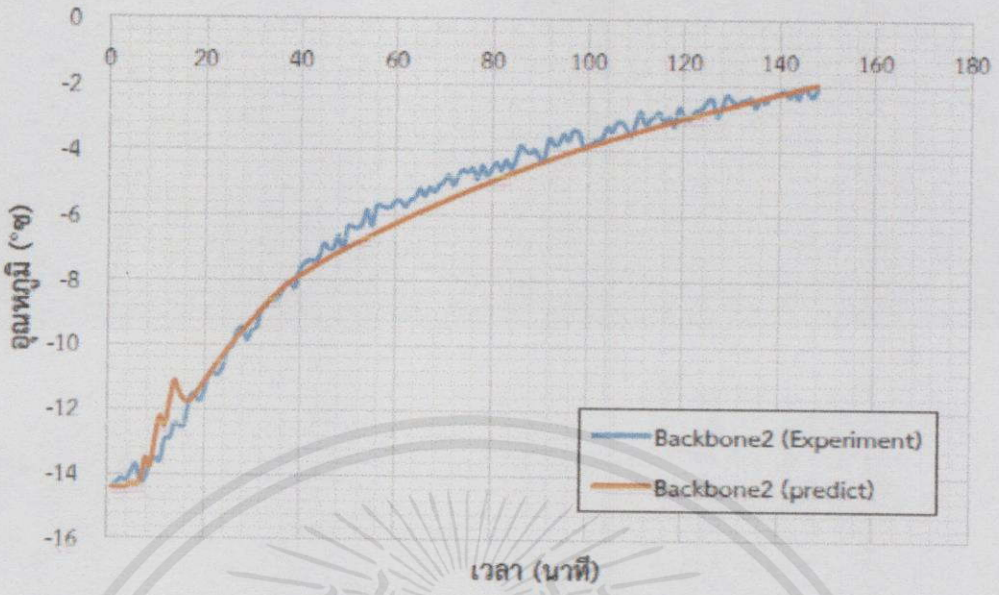
รูปที่ 5.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบริเวณเนื้อติดกระดูกของตัวอย่างที่ 2 ที่ได้จากการทดลองและอุณหภูมิที่ได้จากการท้านายด้วยแบบจ้าลองกับเวลาส้าหรับถังละลายแบบปัจจุบัน

5.2.2 การละลายปลาทูน่าในถังแบบใหม่

การละลายปลาทูน่าในถังละลายแบบใหม่ โดยใช้นาอุณหภูมิ 18±2 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อวินาที และท้าการบันทึกอุณหภูมิทุกๆ 60 วินาที ได้ผลดังรูป 5.3 และ 5.4



รูปที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบริเวณเนื้อติดกระดูกของตัวอย่างที่ 1 ที่ได้จากการทดลองและอุณหภูมิที่ได้จากการท้านายด้วยแบบจ้าลองกับเวลาส้าหรับถังละลายแบบใหม่



รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิบริเวณเนื้อติดกระดูกของตัวอย่างที่ 2 ที่ได้จากการทดลองและอุณหภูมิที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองกับเวลาสำหรับถังละลายแบบใหม่

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาหาแนวทางในการลดระยะเวลาในการละลายทำให้ทราบถึงประสิทธิผลของแผงปล่อยน้ำเบื้องต้นว่า สามารถช่วยเพิ่มการกระจายอุณหภูมิภายในถัง และสามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในกระบวนการละลาย ซึ่งส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการละลายลดลง

โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบถังละลายเบื้องต้นโดยยังมิได้คำนึงตัวแปรอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการไหลของน้ำภายในท่อ และอัตราการถ่ายเทความร้อนของปลา ได้แก่ การจัดเรียงปลา ขนาดตัวปลา ระยะห่างของท่อน้ำ หากต้องการให้ถังละลายมีประสิทธิผลเพิ่มมากขึ้น ควรมีการศึกษาและพัฒนาต่อไป

ภาคผนวก ก.

ตารางที่ ก.1 การกระจายอุณหภูมิน้ำของถังละลายแบบปัจจุบัน

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิน้ำ ด้านบน (°ซ)	อุณหภูมิน้ำ ด้านกลาง (°ซ)	อุณหภูมิน้ำ 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

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

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

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

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

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

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) การกระจายอุณหภูมิน้ำของถังละลายแบบใหม่

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิน้ำ ด้านบน (°ซ)	อุณหภูมิน้ำ ด้านกลาง (°ซ)	อุณหภูมิน้ำ 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

ภาคผนวก ข.

เวลาที่ใช้ในการละลายและค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของการละลายปลาด้วยถังแบบปัจจุบันและถังที่ออกแบบใหม่

ตารางที่ ข.1 เวลาที่อุณหภูมิบริเวณเนื้อติดกระดูก (Backbone) ถึง -2 °ซ 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 °ซ 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	
	ค่าที่ได้จากการทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทำนาย (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทำนาย (°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

ตารางที่ ข.3(ต่อ) อุณหภูมิบริเวณใจกลางตัวปลาที่ได้จากการวัดและการทำนายเมื่อทำการละลายในถังแบบปัจจุบัน

เวลา (นาที)	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
	ค่าที่ได้จากการทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทำนาย (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทำนาย (°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

ตารางที่ ข.3(ต่อ) อุณหภูมิบริเวณใจกลางตัวปลาที่ได้จากการวัดและการทำนายเมื่อทำการละลายในถังแบบปัจจุบัน

เวลา (นาที)	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
	ค่าที่ได้จากการทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทำนาย (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทำนาย (°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

ตารางที่ ข.3(ต่อ) อุณหภูมิบริเวณใจกลางตัวปลาที่ได้จากการวัดและการทำนายเมื่อทำการละลายในถังแบบปัจจุบัน

เวลา (นาที)	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
	ค่าที่ได้จากการทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทำนาย (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทำนาย (°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

ตารางที่ ข.3(ต่อ) อุณหภูมิบริเวณใจกลางตัวปลาที่ได้จากการวัดและการทำนายเมื่อทำการละลายในถังแบบปัจจุบัน

เวลา (นาที)	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
	ค่าที่ได้จากการทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทำนาย (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทำนาย (°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

ตารางที่ ข.3(ต่อ) อุณหภูมิบริเวณใจกลางตัวปลาที่ได้จากการวัดและการทำนายเมื่อทำการละลายในถังแบบปัจจุบัน

เวลา (นาที)	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
	ค่าที่ได้จากการทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทำนาย (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทำนาย (°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

ตารางที่ ข.4 อุณหภูมิบริเวณใจกลางตัวปลาที่ได้จากการวัดและการทำนายเมื่อทำการละลายในถังแบบใหม่

เวลา (นาที)	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
	ค่าที่ได้จากการทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทำนาย (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทำนาย (°ซ)
1	-13.86	-13.86	-14.42	-14.42
2	-13.54	-13.86	-14.29	-14.42
3	-13.65	-13.86	-14.16	-14.42
4	-13.54	-13.84	-14.21	-14.40
5	-13.49	-13.48	-13.95	-14.32
6	-13.40	-13.56	-13.73	-14.34
7	-13.34	-12.89	-14.27	-14.25
8	-13.22	-13.16	-14.12	-13.53
9	-13.11	-12.49	-13.71	-13.79
10	-12.84	-11.77	-13.54	-12.91
11	-12.64	-12.06	-13.62	-12.25
12	-12.46	-11.71	-12.94	-12.52
13	-12.32	-10.72	-12.91	-11.82
14	-12.04	-10.07	-12.47	-11.15
15	-11.98	-10.39	-12.52	-11.49
16	-11.70	-10.72	-12.53	-11.74
17	-11.48	-10.96	-11.79	-11.77
18	-11.09	-10.99	-11.52	-11.63
19	-10.98	-10.85	-11.74	-11.42
20	-10.77	-10.65	-11.55	-11.21
21	-10.45	-10.45	-10.99	-10.99
22	-10.25	-10.24	-10.89	-10.78
23	-10.02	-10.04	-10.95	-10.57
24	-9.87	-9.84	-10.69	-10.37
25	-9.64	-9.65	-10.14	-10.17
26	-9.45	-9.47	-10.06	-9.98
27	-9.24	-9.28	-9.62	-9.79
28	-9.13	-9.11	-9.47	-9.60
29	-8.95	-8.93	-9.86	-9.42

ตารางที่ ข.4 (ต่อ) อุณหภูมิบริเวณใจกลางตัวปลาที่ได้จากการวัดและการทำนายเมื่อทำการละลายในถังแบบใหม่

เวลา (นาที)	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
	ค่าที่ได้จากการทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทำนาย (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทำนาย (°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

ตารางที่ ข.4 (ต่อ) อุณหภูมิบริเวณใจกลางตัวปลาที่ได้จากการวัดและการทำนายเมื่อทำการละลายในถังแบบใหม่

เวลา (นาที)	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
	ค่าที่ได้จากการทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทำนาย (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทำนาย (°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

ตารางที่ ข.4 (ต่อ) อุณหภูมิบริเวณใจกลางตัวปลาที่ได้จากการวัดและการทำนายเมื่อทำการละลายในถังแบบใหม่

เวลา (นาที)	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
	ค่าที่ได้จากการทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทำนาย (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทำนาย (°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

ตารางที่ ข.4 (ต่อ) อุณหภูมิบริเวณใจกลางตัวปลาที่ได้จากการวัดและการทำนายเมื่อทำการละลายในถังแบบใหม่

เวลา (นาที)	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
	ค่าที่ได้จากการทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทำนาย (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทำนาย (°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

ตารางที่ ข.4 (ต่อ) อุณหภูมิบริเวณใจกลางตัวปลาที่ได้จากการวัดและการทำนายเมื่อทำการละลายในถังแบบใหม่

เวลา (นาที)	ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2	
	ค่าที่ได้จากการทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทำนาย (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทดลอง (°ซ)	ค่าที่ได้จากการทำนาย (°ซ)
146			-2.17	-2.01
147			-2.29	-1.97
148			-2.05	-1.94

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 วงศ์ผึ่ง, วรมน อนันต์ และวสันต์ อินทร์ผา. 2554. **ผลของการละลายปลาทูน่าด้วยน้ำต่อปริมาณเกลือ.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เจษฐา เลิศพิเภพเมธา, ชัยพร มะลิวรารัตน์ และปวันวิทย์ แสงโสภิต. 2551. **การศึกษาวิธีการลดระยะเวลาในกระบวนการละลายปลาทูน่าแช่แข็งด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2556. **Skipjack Tuna/ปลาทูน่าพันธุ์ท้องแถบ.** [Online]. Available : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3339/skipjack-tuna-ปลาทูน่าพันธ์ท้องแถบ

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2556. **Psychrotrophic bacteria.** [Online]. Available : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0938/psychrotrophic-bacteria

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2556. **Ultrasonic/อัลตราโซนิกส์.** [Online]. Available : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0535/ultrasonic

วรภรณ์ เปียศิริ และอุดมพร โชติรัตนฤทธิ์. 2555. **ผลของการละลายปลาทูน่าด้วยน้ำต่อปริมาณเกลือ.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สุนันท์ ศรัณยนิตย์. **การถ่ายเทความร้อน Heat transfer**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. 2545 : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.อุมาพร อุประ, สุเนตร สืบค้า และฤทธิชัย อัศวราชันย์. 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.