

การศึกษาผลของฟอสเฟตและอุณหภูมิที่มีต่อการนำความร้อนของกุ้งกุลาดำ
EFFECT OF PHOSPHATES AND TEMPERATURE ON THERMAL
CONDUCTIVITY OF BLACK TIGER SHRIMP



โดย
นางสาว ดวงกมล เกิดในศาสตร์
นาย นิธิ วงศ์ธรรม
นางสาว สุภารัตน์ สุขประคิมภ์

รพ.
๑ 1837
2544

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....45820
วัน, เดือน, ปี.....18 ก.พ. 2546

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาผลของฟอสเฟตและอุณหภูมิที่มีต่อการนำความร้อนของกึ่งกึ่งกึ่ง

นางสาว ดวงกมล เกิศในศาสตร์
นาย นิธิ วนครุงคั้ววรรณ
นางสาว ศุภารัตน์ สุขประดิษฐ์

อาจารย์ พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาค่าการนำความร้อนของกึ่งกึ่งกึ่งในสถานะไม่คงที่ด้วยวิธี Line heat source thermal conductivity probe โดยกึ่งกึ่งกึ่งที่นำมาวัดจะถูกแช่ในสารละลาย Sodium tripolyphosphate เข้มข้น 0, 2%, 4% และ 6% ผสมสารละลายเกลือแกงเข้มข้น 3% ทำการวัดค่าในช่วงอุณหภูมิ-20 ถึง 95 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าการนำความร้อนของกึ่งกึ่งในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง จะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลง ในขณะที่ช่วงอุณหภูมิสูง(55 ถึง 95 องศาเซลเซียส) จะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียน้ำในเนื้อกึ่งกึ่งระหว่างการให้ความร้อน โดยกึ่งกึ่งที่แช่ในสารละลาย STTP มีแนวโน้มที่จะให้ค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่า เนื่องจาก STTP สามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำในเนื้อกึ่งกึ่งระหว่างกระบวนการแช่แข็งและให้ความร้อน และได้ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อนกับความเข้มข้นของสารละลาย STTP ด้วยวิธี multivariate regresssing analysis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF PHOSPHATES AND TEMPERATURE ON THERMAL CONDUCTIVITY OF
BLACK TIGER SHRIMP

Miss. Doungkamol Lertnaisart

Mr. Niti Vanadurongwan

Miss. Suparat Sukpradit

Dr. Pimpen Pornchalermpong Advisor

2001

Abstract

Black Tiger shrimps soaking in the solutions containing various levels of Sodium tripolyphosphate (2%,4%-6%) and NaCl 3% were evaluated for thermal conductivity in comparison to a control soaking in NaCl 3%. Unsteady state, Line heat source thermal conductivity probe method, were used to measure thermal conductivity in the temperatures ranging from -20 -95°C . At the temperatures below freezing point, thermal conductivity increased when temperature decreased while in the high range (55 to 95°C) the value increased with increasing temperature. The increase of thermal conductivity in high temperature was mainly due to lost of water during heating. Shrimps soaked in the solution containing STPP tended to have lower thermal conductivity because STPP help in retaining water during freezing and heating process. Relationship of phosphate concentration and temperature (between 55 - 95) on thermal conductivity was determined by multivariate regressing analysis.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ก-ข
สารบัญรูปภาพ	ค
สารบัญตาราง	ง
คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสารและทฤษฎี	2
2.1 ลักษณะทั่วไปของกุ้ง	
2.2 ผลของการใช้สารประกอบฟอสเฟตต่อคุณภาพของเนื้อสัตว์	
2.3 ค่าการนำความร้อนในอาหาร	
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติทางความร้อนของอาหาร	
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	16
3.1 อุปกรณ์ทดลอง	
3.2 การเตรียมตัวอย่างกุ้งก่อนการทดลอง	
3.3 การเตรียมตัวอย่างกุ้ง	
3.4 การวัดค่าการนำความร้อน (K)	
3.5 การหาค่าความชื้นของกุ้ง (Moisture Content) เพื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ	
3.6 การวิเคราะห์ค่าการนำความร้อนของกุ้ง	
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	21
4.1 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าการนำความร้อนของกุ้งกุดาจากผลการทดลอง	
4.2 ผลและการวิเคราะห์ค่าการนำความร้อนของกุ้งกุดาค่าที่แช่ในสารละลายเกลือแกง เข้มข้น 3%	
4.3 ผลของอุณหภูมิและฟอสเฟตที่มีต่อค่าการนำความร้อนของกุ้งกุดาค่าในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (-20 ถึง 0 องศาเซลเซียส)	
4.4 ผลของอุณหภูมิและฟอสเฟตที่มีต่อค่าการนำความร้อนของกุ้งกุดาค่าในช่วงอุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็ง (5 ถึง 95 องศาเซลเซียส)	
4.5 การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนที่ได้จากการทดลองกับการทำนาย	

บทที่ 5 บทสรุป

29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การเตรียมตัวอย่างกึ่งก่อนทำการทดลอง	30
ภาคผนวก ข. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	33
ภาคผนวก ค. ข้อมูลแสดงค่า MC ที่อุณหภูมิและ STPP ความเข้มข้นต่างๆ	35
ภาคผนวก ง. ข้อมูลแสดงค่า K ที่อุณหภูมิและ STPP ความเข้มข้นต่างๆ	39
กิตติกรรมประกาศ	43
หนังสืออ้างอิง	44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 ภาพตัดขวางของเครื่องมือวัดการนำความร้อนแบบ parallel plate	6
รูปที่ 2.2 เครื่องมือวัดการนำความร้อนแบบ concentric sphere	7
รูปที่ 2.3 ภาพตัดขวางของเครื่องมือวัดการนำความร้อนแบบ concentric cylinder	8
รูปที่ 2.4 การติดตั้งเครื่องมือในการวัดค่าการนำความร้อนแบบ Semi-Steady State	10
รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบของ Line Heat Source Thermal Conductivity Probe	11
รูปที่ 3.1 แสดงการติดตั้งเครื่องมือวัดค่าการนำความร้อน Line heat source probe เพื่อวัดค่า K ในกึ่ง	16
รูปที่ 4.1 แสดงการเขียนกราฟในการหาค่าการนำความร้อน	21
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อนกับอุณหภูมิของกึ่งกึ่งค่าที่เห็นในสารละลายเกลือแกงเข้มข้น 3%	22
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อนกับอุณหภูมิของกึ่งกึ่งค่าที่เห็นในสารละลายฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆ	25
รูปที่ 4.4 แผนภูมิแสดงผลของสารละลายฟอสเฟตและอุณหภูมิต่อค่าการนำความร้อน	26
รูปที่ ก.1 กึ่งกึ่งค่าที่ตั้งชื่อจากตลาดสะพานปลา มหาวิทยาลัย จ.สมุทรสาคร	30
รูปที่ ก.2 กึ่งกึ่งค่าที่แกะหัวแล้ว	
รูปที่ ก.3 กึ่งกึ่งค่าที่แกะเปลือกแล้ว	
รูปที่ ก.4 กึ่งกึ่งค่าที่แกะหางแล้ว	31
รูปที่ ก.5 กึ่งกึ่งค่าที่เรียงบรรจุในถุงพลาสติกหุ้มอุณหภูมิต่ำ	
รูปที่ ก.6 การละลายกึ่งโดยให้น้ำก๊อกไหลผ่าน	
รูปที่ ก.7 กึ่งที่สับละเอียดด้วยมีด	32
รูปที่ ก.8 การบรรจุกึ่งลงในหลอดทดลองพลาสติก	
รูปที่ ข.1 Water Bath	33
รูปที่ ข.2 ชุดจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับ Probe	
รูปที่ ข.3 เสียบ Probe เข้าไปตรงกึ่งกลางหลอดที่บรรจุกึ่ง	
รูปที่ ข.4 กล้องฉนวน เพื่อคงอุณหภูมิของกึ่ง	34
รูปที่ ข.5 คู่มือ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อน ($W/m^{\circ}C$) ขององค์ประกอบเคมีต่างๆ ในอาหารกับอุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	5
ตารางที่ 2.2 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่น (kg/m^3) ขององค์ประกอบเคมีต่างๆ ในอาหารกับอุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	5
ตารางที่ 2.3 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางความร้อนของอาหารบางชนิดกับความชื้น	12
ตารางที่ 2.4 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางความร้อนของอาหารทะเลบางชนิดกับไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต	13
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงความชื้นของกลีเซอรินที่ได้จากการวัดกราฟระหว่างอุณหภูมิกับ \ln เวลา	20
ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของกุ้งจากงานวิจัยที่ผ่านมาและจากการทดลอง	22
ตารางที่ 4.2 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิและความเข้มข้นของฟอสเฟตต่อค่าการนำความร้อนของกุ้งกุลาดำ	25
ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนจากการทดลองและการทำนายจากสมการ	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ

ρ	ความหนาแน่นของอาหาร (kg/m^3)
q	พลังงานความร้อน (W/m)
I	กระแสไฟฟ้าที่ผ่านวงจร (Amp)
R	ความต้านทานของ Probe (Ωm^{-1})
K	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($\text{W/m}^\circ\text{C}$)
f	ค่า factor ของ Probe
s	ความชันของกราฟ ไมวลา กับ อุณหภูมิ
X_w	Moisture Content ของอาหาร
T	อุณหภูมิ (K,C)
P	ความเข้มข้นของสารละลาย Sodium Tripolyphosphate (%)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

กุ้ง เป็นสัตว์น้ำที่มีค่าทางเศรษฐกิจสูงที่สุดในจำพวกสัตว์น้ำด้วยกัน โดยเฉพาะกุ้งกุลาดำที่มีความสำคัญทางการค้า ทั้งในและต่างประเทศ ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญได้แก่ กุ้งแช่แข็ง กุ้งแปรรูป และ กุ้งกระป๋อง คุณสมบัติทางความร้อนของกุ้งกุลาดำโดยเฉพาะค่าการนำความร้อน เป็นตัวแปรที่สำคัญในการศึกษาขบวนการให้ความร้อน, การแช่เย็น และการแช่แข็งของกุ้ง สามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ต้องเพิ่มหรือลดในขบวนการ และนำมาทำนายเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ จากข้อมูลงานวิจัยที่ผ่านมา Ngadi และคณะ (2000) ได้ทดลองวัดค่าการนำความร้อนของ กุ้งชนิดฝักกลางหลัง (ความชื้น 75.2% w.b.) และกุ้งชนิดหุบเปลือก (ความชื้น 74.1% w.b.) ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส วัดค่าได้ 0.52 และ 0.57 W/m^oC, Murakami (1994) วัดค่าการนำความร้อนของกุ้ง(m.c.-51.9%w.b.) ได้ 0.52 W/m^oC, Karunakar และคณะ (1998) วัดค่าการนำความร้อนของกุ้งในช่วงอุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส ถึง 30 องศาเซลเซียส มีค่า 1.60 ถึง 0.51 W/m^oC ปัจจุบัน มีการใช้สารประกอบฟอสเฟตในกุ้ง เพื่อให้กุ้งอุ้มน้ำได้ดีขึ้น มีเนื้อสัมผัสที่ดี และช่วยรักษาสีของกุ้งให้คงที่เป็นเวลานาน การใช้โพลีฟอสเฟต(Polyphosphate)ในผลิตภัณฑ์กุ้งแช่แข็งจะช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักของกุ้งหลังการละลายน้ำแข็ง การใช้โพลีฟอสเฟตในกุ้งก่อนนำไปอบด้วยไอน้ำ ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มผลผลิตโดยโพลีฟอสเฟตจะทำปฏิกิริยากับโปรตีนที่ผิวของกล้ามเนื้อกุ้ง ในการรักษาโปรตีนและลดการสูญเสียความชื้นระหว่างการต้มหรือการแช่แข็ง (ศิริวาพร, 2535) ดังนั้นการใช้สารประกอบฟอสเฟตในกุ้งนั้น อาจทำให้องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อกุ้งเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งมีผลต่อค่าการนำความร้อน ซึ่งขึ้นกับโครงสร้างขององค์ประกอบในอาหารที่มีความแตกต่างกัน โดยเฉพาะปริมาณน้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของอาหารทุกชนิด (Perez และ Calvelo , 1984) และขึ้นกับอุณหภูมิของอาหาร(Sweat ,1974) เนื่องจากค่าการนำความร้อนของน้ำในอาหารจะเปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิของอาหารมีค่าสูงขึ้นหรือต่ำลง ซึ่งในปัจจุบัน ยังไม่มีการศึกษาค่าการนำความร้อนของกุ้งที่นำไปแช่สารละลายฟอสเฟต ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาค่าการนำความร้อนของกุ้งที่แช่ในสารละลายฟอสเฟต ทำการทดลองในช่วงอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ถึง 20 องศาเซลเซียส และ 55 องศาเซลเซียส ถึง 95 องศาเซลเซียส โดยใช้ line heat source probe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ลักษณะทั่วไปของกุ้ง

กุ้งเป็นสัตว์น้ำที่ไม่มีกระดูกสันหลังประเภทหนึ่ง ลำตัวยาว มีเปลือกหุ้มตัวและแบ่งเป็นปล้องๆ อยู่ใน phylum Arthropoda และจัดอยู่ใน class Crustacea (ประจวบ, 2537)

2.1.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีทั่วไปของกุ้งกุลาดำ

ลักษณะโครงสร้างของกุ้งประกอบด้วย โครงสร้างภายนอก (exoskeleton) หรือเปลือก และเนื้อกุ้งหรือกล้ามเนื้อ (muscle) กล้ามเนื้อของกุ้งมีเพียงชนิดเดียว คือ กล้ามเนื้อลาย (striated muscle) ซึ่งพบได้ตามลำตัวรอบอวัยวะต่างๆ กล้ามเนื้อลายประกอบด้วย myofibril จำนวนมากรวมกันเป็น muscle fiber ที่มี sarcolemma เป็นเยื่อบางๆ หุ้มอยู่

กุ้งกุลาดำ

ลักษณะทางกายภาพ

กุ้งกุลาดำ หรือกุ้งทะเล หรือกุ้งน้ำลาย มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Penaeus monodon* Fabricius และมีชื่อเป็นภาษาอังกฤษว่า Tiger Prawn หรือ Giant Tiger Prawn กุ้งชนิดนี้จัดอยู่ในวงศ์ Penacidae ในขณะที่ยังมีชีวิตอยู่ลำตัวเป็นสีม่วงแดง มีแถบสีน้ำตาล ลายพาดขวางด้านหลังประมาณ 9 ลาย ลำตัวเป็นปล้อง โคนขาว่ายน้ำมีแถบสีเหลืองเป็นปล้องๆ เปลือกหัวเกลี้ยง ไม่มีขนหนวดมีสีดำ ไม่มีกาย ฟันกรีด้านบนมี 6-8 ซี่ ด้านล่างมี 2-4 ซี่ ร่องข้างกรีดทั้งสองด้านมีลักษณะแคบและยาวไม่ถึงฟันกรีดอื่นสุดท้าย ที่ขงกินคู่ที่ 5 ไม่มีระยางอื่นนอก ถิ่นอาศัยของกุ้งกุลาดำ ได้แก่ น่านน้ำแถบใต้หวัน ไทย มาเลเซีย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ และที่พบมากได้แก่ ออสเตรเลีย และอินเดีย เป็นกุ้งที่อยู่ในเขตร้อน ชอบอาศัยอยู่บริเวณน้ำตื้น ห่างออกจากฝั่ง และชอบพื้นที่ทะเลที่เป็นดินทราย สามารถทนอยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิสูง และความเค็มต่ำ เช่น บริเวณป่าชายเลน (วัลถภ, 2532)

ลักษณะทางเคมี

องค์ประกอบหลักในกุ้งคือ น้ำ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสมบัติทางความร้อน

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	75.59 ± 0.45
โปรตีน	14.21 ± 0.07
ไขมัน	1.64 ± 0.05
เส้นใย	0.41 ± 0.08
เถ้า	1.22 ± 0.03

คาร์โบไฮเดรต

6.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ผลของการใช้สารประกอบฟอสเฟตต่อคุณภาพของเนื้อสัตว์

2.2.1 ชนิดและการใช้ฟอสเฟต

สารประกอบฟอสเฟตที่อนุญาตให้ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (Sodium tripolyphosphate), โซเดียมโพลีฟอสเฟต (Sodium polyphosphate) และโซเดียมฟอสเฟต (Sodium phosphate) ได้มีการนำสารประกอบฟอสเฟตมาใช้ในผลิตภัณฑ์อื่นนอกเหนือจากที่อนุญาตให้ใช้ได้ เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น เช่น ช่วยให้อายุของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้คงตัว, ทำให้เครื่องดื่มที่ผลิตไม่ขุ่น, ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี นอกจากนี้ยังนำมาใช้เป็นสารเสริมฤทธิ์สารกันหืนในผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำมันและไขมันเป็นส่วนประกอบ, ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการขึ้นฟู และช่วยเพิ่มความคงตัวของฟองในผลิตภัณฑ์ไข่ เป็นต้น แต่ทั้งนี้จะต้องขออนุญาตใช้เป็นกรณีไป

2.2.2 ผลของการใช้ฟอสเฟตต่อผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ทั่วไป

สารประกอบฟอสเฟตเป็นสารที่ใช้ในระบบการถนอมและแปรรูปอาหาร ประโยชน์ของการใช้สารประกอบฟอสเฟตมีดังนี้

- 1) ช่วยควบคุมปฏิกิริยาของโลหะที่อาจปนเปื้อนในวัตถุดิบหรือในระบบการแปรรูปอาหาร ซึ่งทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยลดปฏิกิริยาโลหะที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย
- 2) ช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ โดยเกิดปฏิกิริยากับสารอินทรีย์โพลีอิเล็กโทรไลต์ในเนื้อสัตว์ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะในโปรตีน ซึ่งจะรวมกับโปรตีนเป็นเกลือโปรตีนฟอสเฟต (Protein-phosphate-salt complex) ในผลิตภัณฑ์เนื้อ ช่วยให้อุ้มน้ำได้ดีขึ้น ทำให้เนื้อมีความชุ่มน้ำ
- 3) รักษาสีของเนื้อให้คงที่ โดยช่วยควบคุมความเป็นกรด-ด่างในเนื้อสัตว์ ทำให้ลดการเกิด Oxidation ของรงควัตถุ (pigment) ในเนื้อสัตว์ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้เนื้อสัตว์กลายเป็นสีน้ำตาล
- 4) ช่วยให้อิมัลชันคงตัว (Emulsion Stabilization)
- 5) ช่วยให้ส่วนประกอบของอาหารกระจายตัวได้ดีขึ้น
- 6) ช่วยป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของอาหารผง
- 7) นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มแร่ธาตุในอาหารและยืดอายุการเก็บรักษาของอาหาร โดยทำปฏิกิริยากับอนุมูลโลหะที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ผลของการใช้ฟอสเฟตต่อเนื้อกุ้ง

สารประกอบฟอสเฟตจะมีผลต่อเนื้อกุ้งเช่นเดียวกับเนื้อสัตว์ต่างๆ โดยจะช่วยแก้ปัญหาการสูญเสียน้ำหนักของกุ้งเมื่อนำไปแช่แข็งแล้วทำให้ละลาย โดยมีการใช้ Polyphosphate ในผลิตภัณฑ์กุ้งแช่แข็ง เมื่อนำไปละลาย สามารถลดการสูญเสียน้ำอย่างเห็นได้ชัด การประยุกต์ใช้ Polyphosphate ในกุ้งก่อนนำไปอบด้วยไอน้ำและแกะเปลือกโดยเครื่องจักร ช่วยเพิ่มผลผลิตหลังจากที่ปรุงเสร็จ นอกจากนี้ ยังมีผลซึ่งกล่าวว่า Polyphosphate จะทำปฏิกิริยากับโปรตีนที่ผิวของกล้ามเนื้อกุ้ง ในการรักษาโปรตีนและลดการสูญเสียน้ำระหว่างการปรุง ซึ่งระดับการเพิ่มผลผลิตนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย Polyphosphate, ระยะเวลาการแช่ และอายุหลังการจับของกุ้ง

2.3 ค่าการนำความร้อนในอาหาร

เป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการชนกันของอนุภาค (โมเลกุล, อะตอม, อิเล็กตรอน) อันเนื่องมาจากการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ วัสดุที่เป็นอาหารส่วนใหญ่จะเป็นตัวนำความร้อนที่ต่ำ ทำให้ใช้เวลานานในกระบวนการถ่ายเทความร้อน

ค่าการนำความร้อนของวัสดุเป็นคุณสมบัติที่สำคัญ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนทั้งในกระบวนการให้ความร้อนและกระบวนการลดอุณหภูมิ โดยเฉพาะสมบัติทางความร้อนของอาหารนั้น เราสามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ต้องเพิ่มหรือลดในกระบวนการแปรรูปอาหาร และยังสามารถนำมาทำนายเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่อาหารที่อุณหภูมิต่างๆ หรือแม้แต่ทำนายอุณหภูมิของอาหารเมื่อให้ความร้อนเป็นเวลาต่างๆ ได้ ซึ่งค่าการนำความร้อนของอาหารสามารถหาค่าได้จากสมการของ Choi และ Okos (1986)

$$k = \sum (k_i X_{vi}) \quad (2.1)$$

เมื่อ k_i = ค่าการนำความร้อนขององค์ประกอบเคมีต่างๆ ในอาหาร ($W/m^{\circ}C$)

X_{vi} = อัตราส่วนโดยปริมาตรขององค์ประกอบเคมีต่างๆ ในอาหาร

$$X_{vi} = x_i \rho / \rho_i \quad (2.2)$$

$$\text{และ } \rho = 1 / \sum (x_i / \rho_i) \quad (2.3)$$

เมื่อ X_i = สัดส่วนโดยมวลขององค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ในอาหาร

ρ = ความหนาแน่นของอาหาร (kg/m^3)

ρ_i = ความหนาแน่นขององค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ในอาหาร (kg/m^3)

โดยสามารถหาค่า k_i และ ρ_i ได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อนกับอุณหภูมิ แสดงในตารางที่ 2.1 และ ตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อน ($W/m^{\circ}C$) ขององค์ประกอบเคมีต่างๆ ในอาหารกับอุณหภูมิ ($^{\circ}C$)

องค์ประกอบ	สมการ
คาร์โบไฮเดรต	$k = 0.20141 + 1.3874 \cdot 10^{-3}T - 4.3312 \cdot 10^{-6}T^2$
โปรตีน	$k = 0.17881 + 1.1958 \cdot 10^{-3}T - 2.7178 \cdot 10^{-6}T^2$
ไขมัน	$k = 0.18071 + 2.7604 \cdot 10^{-4}T - 1.7749 \cdot 10^{-7}T^2$
เส้นใย	$k = 0.18331 + 1.2497 \cdot 10^{-3}T - 3.1683 \cdot 10^{-6}T^2$
เถ้า	$k = 0.32962 + 1.4011 \cdot 10^{-3}T - 2.9069 \cdot 10^{-6}T^2$
น้ำ	$k_A = 0.57109 + 1.7625 \cdot 10^{-3}T - 6.7036 \cdot 10^{-6}T^2$
น้ำแข็ง	$k_H = 2.2196 - 6.2489 \cdot 10^{-3}T + 1.0154 \cdot 10^{-4}T^2$

ตารางที่ 2.2 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่น (kg/m^3) ขององค์ประกอบเคมีต่างๆ ในอาหารกับอุณหภูมิ ($^{\circ}C$)

องค์ประกอบ	สมการ
คาร์โบไฮเดรต	$\rho = 1.5991 \cdot 10^3 - 0.31046T$
โปรตีน	$\rho = 1.3299 \cdot 10^3 - 0.51840T$
ไขมัน	$\rho = 9.2559 \cdot 10^3 - 0.41757T$
เส้นใย	$\rho = 1.3115 \cdot 10^3 - 0.36589T$
เถ้า	$\rho = 2.4238 \cdot 10^3 - 0.28063T$
น้ำ	$\rho = 997.18 + 3.1439 \cdot 10^{-3}T - 3.7574 \cdot 10^{-3}T^2$
น้ำแข็ง	$\rho = 916.89 - 0.13071T$

2.3.1 วิธีการวัดค่าการนำความร้อนของอาหาร มี 3 แบบ ดังนี้

1) Steady State Method

ใช้วัดตัวอย่างที่อยู่ในสภาวะสมดุล (อุณหภูมิคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา) โดยมีหลักการคือ การวัดความแตกต่างของอุณหภูมิกับความร้อนที่ให้แก่วัตถุ แบ่งเป็น 3 วิธี คือ

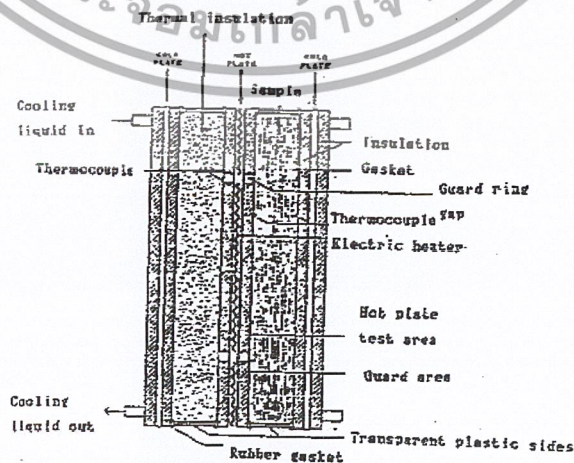
- Modified parallel plate method หรือ Modified guard hot plate method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นวิธีที่ปรับปรุงมาจากวิธี guard hot plate เหมาะสำหรับอาหารแห้งและอาหารที่เป็นแผ่น วิธีการคือ ใส่ตัวอย่างในช่องว่างภายในเครื่องมือ ให้ด้านหนึ่งสัมผัสกับแหล่งความร้อน อีกด้านสัมผัสกับแหล่งรับความร้อน มี guard plate สำหรับกันความร้อนออกไปข้างนอก และจะมีช่องว่างอีกด้านไว้ใส่วัตถุอ้างอิง (ส่วนมากใช้ฉนวนที่รู้ค่าการนำความร้อน) วัดปริมาณความร้อนที่ให้แก่ตัวอย่างโดยตรงสำหรับหาค่าสภาพนำความร้อนของตัวอย่าง โดยให้คิดว่าไม่มีการสูญเสียความร้อนเกิดขึ้น แต่ความจริงมีการถ่ายโอนความร้อนสู่ hot plate แต่ไม่ถ่ายสู่ guard ring gap ทำให้ระหว่าง hot plate กับ guard ring gap ไม่สมดุลย์ จะทำให้การทดลองผิดพลาดเนื่องจากการสูญเสียความร้อนเกิดขึ้น การใช้วัตถุอ้างอิงก็เพื่อหลีกเลี่ยงการวัดปริมาณความร้อนที่ให้แก่ตัวอย่างโดยตรง สมการที่ใช้คำนวณคือ

$$Q = k_p A (T_1 - T_2) / D_p = k_s A (T'_1 - T'_2) / D_s \quad (2.4)$$

- เมื่อ
- Q = ปริมาณความร้อน (W)
 - k_p = ค่าการนำความร้อนของสารมาตรฐานอ้างอิง ($W/m^{\circ}C$)
 - k_s = ค่าการนำความร้อนของตัวอย่าง ($W/m^{\circ}C$)
 - D_p = ความหนาของสารมาตรฐานอ้างอิง (m)
 - D_s = ความหนาของตัวอย่าง (m)
 - A = พื้นที่หน้าตัดของการถ่ายโอนความร้อน (m^2)
 - T_1, T_2 = อุณหภูมิทั้งสองด้านของตัวอย่าง ($^{\circ}C$)
 - T'_1, T'_2 = อุณหภูมิทั้งสองด้านของวัตถุอ้างอิง ($^{\circ}C$)



. Thermocouple location

รูปที่ 2.1 ภาพตัดขวางของเครื่องมือวัดการนำความร้อนแบบ parallel plate เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Concentric sphere method

มีวิธีคือ ใส่ตัวอย่างในช่องว่างของเครื่องมือรูปทรงกลมที่มี heater ติดอยู่ในทรงกลมด้านในเอาเครื่องมือใส่ในกล่องที่หุ้มฉนวนที่มีพัลคมสำหรับหมุนเวียนอากาศรอบเครื่องมือและให้ความร้อนจนเข้าสู่ภาวะสมดุลย์ คำนวณจากสมการ

$$k = Q(r_2 - r_1) / 4\pi(T_1 - T_2)r_1r_2 \quad (2.5)$$

เมื่อ

$$Q = VIt$$

$$Q = \text{ปริมาณความร้อน (W)}$$

$$V = \text{ความต่างศักย์ที่ใช้ (V)}$$

$$I = \text{กระแสไฟฟ้าที่ใช้ (Amp)}$$

$$t = \text{เวลา (s)}$$

$$T_1, T_2 = \text{อุณหภูมิของตัวอย่างที่มีรัศมีภายใน (r₁) และรัศมีภายนอก (r₂) ที่ภาวะสมดุลย์ตามลำดับ (°C)}$$



รูปที่ 2.2 เครื่องมือวัดการนำความร้อนแบบ concentric sphere

- Concentric cylinder method

ใช้กับอาหารที่เป็นผงหรือเป็นเม็ดเล็กๆ โดยใส่ตัวอย่างในช่องว่างรูปวงแหวนของเครื่องมือรูปทรงกระบอก ให้ความร้อนโดยใช้ขดลวดความร้อนซึ่งอยู่ด้านในของทรงกระบอกโดยมีอ่างน้ำมันที่มีอุณหภูมิคงที่เพื่อรักษาอุณหภูมิ ค่าการนำความร้อน คำนวณได้จากสมการ

$$k = Q \ln(r_1 - r_2) / [2\pi l (T_1 - T_2)] \quad (2.6)$$

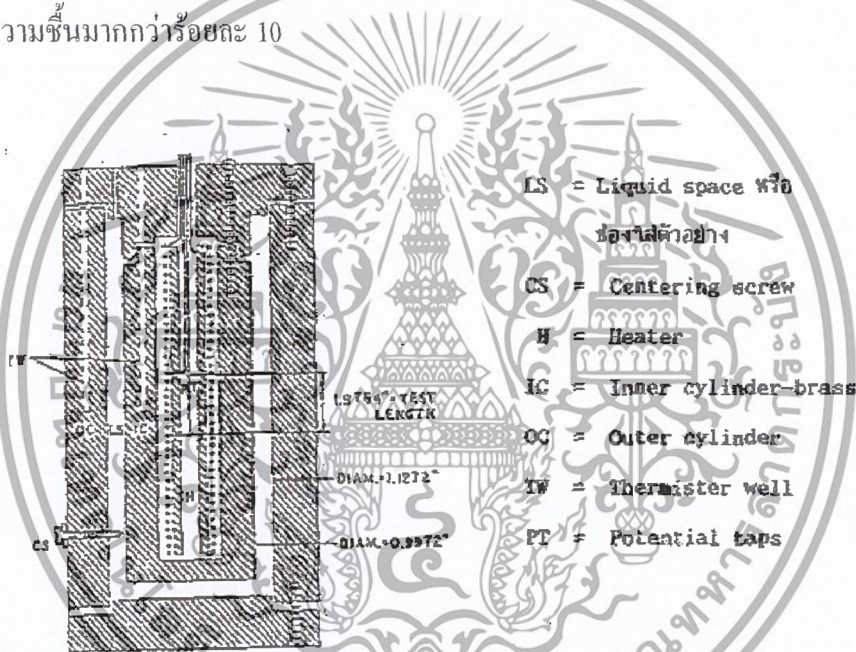
เมื่อ

$$Q = VIt$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- V = ความต่างศักย์ที่ใช้ (V)
 I = กระแสไฟฟ้าที่ใช้ (Amp)
 t = เวลา (s)
 T_1, T_2 = อุณหภูมิของตัวอย่างที่มีรัศมีภายใน (r_1) และ รัศมีภายนอก (r_2)
 ที่ภาวะสมดุลตามลำดับ ($^{\circ}\text{C}$)
 l = ความยาวทรงกระบอก (m)

ข้อดีของวิธี Steady State คือ คำนวณง่ายและสามารถวัดค่าการนำความร้อนของตัวอย่างที่เป็นของเหลว ผง หรือ เม็ดได้ แต่ข้อเสียคือ ไม่เหมาะกับตัวอย่างอาหารกึ่งแข็งที่ความชื้นมากกว่าร้อยละ 10



รูปที่ 2.3 ภาพตัดขวางของเครื่องมือวัดการนำความร้อนแบบ concentric cylinder

2) Semi – Steady State Method

เป็นวิธีที่เหมาะสมกับตัวอย่างที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ โดยวัดปริมาณความร้อนที่ตัวอย่าง โดยตัวอย่างสัมผัสกับตัวกลาง (นิยมใช้กลีเซอริน) และตัวอย่างอยู่ในภาวะกึ่งสมดุล วิธีนี้ใช้หลักของ quasi-steady state heat transfer โดยมีวิธีการคือ ใส่ตัวอย่างเข้าไประหว่าง chamber A กับ chamber B ซึ่งติดกับส่วนของของเหลวโดยตรง ใน chamber A จะมีของเหลวอุณหภูมิสูง เพื่อถ่ายความร้อนสู่ตัวอย่าง chamber B จะมีของเหลวอุณหภูมิต่ำเพื่อรับความร้อนจากตัวอย่าง เพื่อให้อุณหภูมิภายใน chamber สม่ำเสมอ จะมีใบพัดกวนติดตั้งอยู่ และมีการหุ้มฉนวนให้แก่เครื่องมือเพื่อป้องกันความร้อนรั่วสู่

สิ่งแวดล้อม วิธีนี้มีข้อเสียคือ ไม่เหมาะสำหรับค่าการนำความร้อนของวัสดุที่มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่อคุณผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำความร้อนสูงมาก และมีการสูญเสียความร้อนจากเครื่องมือ แต่มีข้อดีคือ สามารถใช้กับวัตถุที่มีรูปทรงไม่เป็นรูปเรขาคณิตและสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้คำนวณก็ไม่ซับซ้อน ค่าการนำความร้อนคำนวณจากสมการ

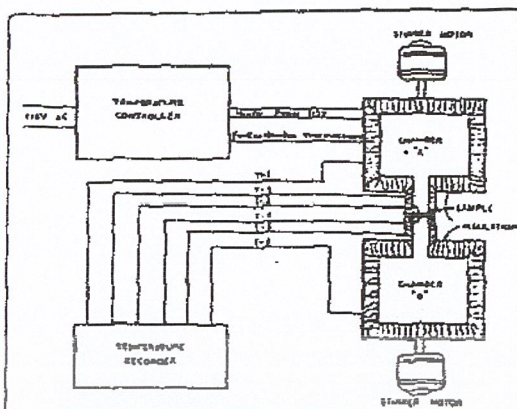
$$k = (w_s c_{ps} (T_{st} - T_{50}) D_s) / A(T_3 - T_4) \Delta t \quad (2.7)$$

เมื่อคิดการสูญเสียความร้อนให้กับใบพัดกวนและผนัง chamber และคิดการทำงานของใบพัดกวนที่ให้พลังงานออกมา

$$k = \frac{(w_s c_{ps} + w_B c_{pB} + w_t c_{pt}) (T_{st} - T_{50} - T_t) D_s}{A(T_3 - T_4) \Delta t} \quad (2.8)$$

- เมื่อ
- T_{st}, T_{50} = อุณหภูมิของเหลวใน chamber B ในเวลา t และเวลาเริ่มต้น ($^{\circ}\text{C}$)
 - T_3 = อุณหภูมิของตัวอย่างที่ติดกับ chamber A ในเวลา t ($^{\circ}\text{C}$)
 - T_4 = อุณหภูมิของตัวอย่างที่ติดกับ chamber B ในเวลา t ($^{\circ}\text{C}$)
 - T_t = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการกวนของใบพัดกวนในเวลา t ($^{\circ}\text{C}$)
 - Δt = ช่วงเวลาที่ทำการทดลอง (s)
 - w_s = น้ำหนักตัวอย่าง (kg)
 - w_B = น้ำหนักของของเหลวใน chamber B (kg)
 - w_t = น้ำหนักของ stirrer ใน chamber B (kg)
 - c_{ps} = ความร้อนจำเพาะของตัวอย่าง ($\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}$)
 - c_{pB} = ความร้อนจำเพาะของของเหลวใน chamber B ($\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}$)
 - c_{pt} = ความร้อนจำเพาะของ stainless steel ($\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}$)
 - D_s = ความหนาของตัวอย่าง (m)
 - A = พื้นที่หน้าตัดของการถ่ายโอนความร้อน (m^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การติดตั้งเครื่องมือในการวัดค่าการนำความร้อนแบบ Semi-Steady State

3) Transient หรือ Unsteady State Method

ใช้กับตัวอย่างที่อยู่ในภาวะไม่สมดุลย์และใช้เวลาที่ทดลองน้อยมาก วัตถุอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา ในการวัดค่าการนำความร้อนของอาหารทะเลที่นิยมใช้คือ probe method ซึ่ง probe method (พัฒนามาจาก line heat source method) มีอุปกรณ์คือ ใช้ thermal conductivity probe ที่เป็นเข็มกลวงขนาดเล็ก มีอัตราความยาวต่อรัศมีมากกว่า 20 เพื่อลดความผิดพลาดภายในมี heating wire ให้ความร้อน และมี thermocouple ใช้วัดอุณหภูมิ การวัดค่าการนำความร้อนทำโดยการเสียบ probe ในตัวอย่างที่อุณหภูมิคงที่ และให้ความร้อนแก่ heating wire บันทึกการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อเวลา (สั้นๆ) โดยมีหลักการว่าแหล่งให้ความร้อนเป็นทรงกระบอกที่มีความยาวไม่จำกัด มีเส้นผ่านศูนย์กลางเข้าใกล้ศูนย์ และมีการให้ความร้อนในปริมาณคงที่ในแนวรัศมีแก่ตัวอย่างขนาดใหญ่ ซึ่งมีความสม่ำเสมอทั่วกันทั้งชิ้น โดยไม่มีแหล่งให้ความร้อนอยู่ภายใน thermal conductivity probe มีข้อเสียคือไม่เหมาะกับอาหารที่ไม่หนืด(non-viscous food) เพราะจะเกิดการถ่ายความร้อนแบบการพาขึ้นรอบๆ probe ในปริมาณไม่พอ ข้อดีคือใช้เวลาทดลองน้อย เหมาะกับอาหารความชื้นสูงหรืออาหารแช่แข็ง และไม่มีการสูญเสียความร้อนระหว่างการทดลอง และยิ่งเหมาะกับตัวอย่างที่อยู่ในสภาพธรรมชาติอีกด้วย หรืออีกนัยหนึ่งคือจะสามารถใช้วิธีนี้หาค่าการนำความร้อนของผลไม้บนต้นได้และยังใช้ได้กับตัวอย่างระหว่างกระบวนการผลิต สมการที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ของการถ่ายความร้อนจากแหล่งให้ความร้อนคือ

$$\delta T / \delta t = \alpha [\delta^2 T / \delta r^2 + (1/r)(\delta T / \delta r)] \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เมื่อมีแหล่งให้ความร้อนที่มีความยาวไม่จำกัดและมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมาก สมการจะเป็นดังนี้

$$T = (q'/2\pi k) \beta \int_0^\infty [\exp(-r^2) / r dr] \quad \text{โดย } \beta < 0.16$$

$$= r / [2(\alpha t)^{1/2}] \quad (2.10)$$

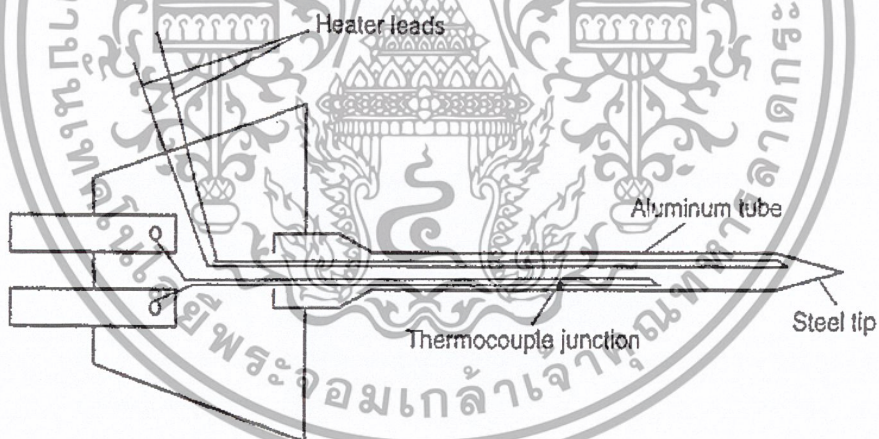
เมื่อ q' = ปริมาณความร้อนต่อหน่วยความยาว (W/m) = $\pi I^2 R$
 T = อุณหภูมิของแหล่งความร้อนที่มีปริมาณความร้อน q' ($^{\circ}\text{C}$)
 r = รัศมีของ probe (m)
 t = เวลา (s)

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากเวลา t_1 ไปยัง t_2 เป็น

$$\Delta T = T_2 - T_1 = (q'/4\pi k) [\ln(t_2/t_1)]$$

ดังนั้น $k = [q'/4\pi(T_2 - T_1)] \ln(t_2/t_1) \quad (2.11)$

เมื่อ q' = ปริมาณความร้อนต่อหน่วยความยาว (W/m) = $\pi I^2 R$
 T_1, T_2 = อุณหภูมิที่เวลา t_1 และ t_2 ตามลำดับ ($^{\circ}\text{C}$)



รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบของ Line Heat Source Thermal Conductivity Probe

2.4 ปังจัยที่มีผลต่อสมบัติทางความร้อนของอาหาร

ปังจัยสำคัญที่มีผลต่อสมบัติทางความร้อนของอาหาร ได้แก่ ปังจัยจากธรรมชาติของอาหาร คือ องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร, โครงสร้างของเนื้อเยื่อ, ความหนาแน่น และปังจัยภายนอก คือ อุณหภูมิ ผลจากการละลาย (thawing) อัตราการแช่แข็งและอัตราส่วนที่น้ำเป็นน้ำแข็ง (Mohsenin, 1980) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ปัจจัยทางธรรมชาติของอาหาร

1) ความชื้น

น้ำมีค่าสมบัติทางความร้อนสูง กล่าวคือ น้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะมีความร้อนจำเพาะ 0.999 แคลอรี/กรัมองศาเซลเซียส (Mohsenin, 1980) มีการนำความร้อน 0.579 วัตต์/เมตรองศาเคลวิน (Bennette และ Myers, 1983) และมีค่าสภาพแพร่ความร้อน 1.43×10^{-7} เมตร²ต่อวินาที (Nesvadba และ Eunson, 1984) ดังนั้นอาหารที่มีความชื้นสูงจึงมีสมบัติทางความร้อนสูงด้วย การทำนายค่าสมบัติทางความร้อนจากปริมาณความชื้นในช่วงเหนือจุดเยือกแข็งพบว่ามีผลผิดพลาดประมาณร้อยละ 10 โดยมีความชื้นในอาหารมากกว่าร้อยละ 50 และมีการผิดพลาดมากขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นน้อยกว่า 50% นอกจากนี้ยังพบว่าอาหารที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง จะมีความสัมพันธ์ของค่าสมบัติทางความร้อนกับปริมาณความชื้นน้อยกว่าช่วงอุณหภูมิเหนือจุดเยือกแข็ง (Lamb, 1976) โดยที่ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะมีความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับสมบัติทางความร้อนของอาหารแตกต่างกันออกไป ดังในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางความร้อนของอาหารบางชนิดกับความชื้น

ผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (ร้อยละ)	สมการ	เอกสารอ้างอิง
อาหาร	Above freezing		$C_p = 0.008W + 0.2$	Mohsenin, 1980
	Below freezing		$C_p = 0.003W + 0.2$	
ปลาคอด (บด)	10	30-90	$\alpha = 0.70 + 0.00683W$	Nesvadba, and Eunson, 1984
	25	30-90	$\alpha = 1.01 + 0.00385W$	
	-40	30-90	$\alpha = -0.475 + 0.0173W$	
ปลา	-10	30-90	$\alpha = -1.341 + 0.0228W$	Lamb, 1976
			$k = 0.0324 + 0.3294W$	

2) องค์ประกอบทางเคมี อื่นๆ

องค์ประกอบทางเคมี อื่นๆ ได้แก่ ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติทางความร้อนของอาหารทางทะเล โดยผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารแต่ละชนิดจะมีความสัมพันธ์ระหว่างไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต กับค่าสัมบัติทางความร้อนแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางความร้อนของอาหารทะเลบางชนิดกับไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต

ผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (ร้อยละ)	สมการ	เอกสารอ้างอิง
Mackerel Sardine Bolti	-10 ถึง 10	60-90	$C_p = W+0.5F^*+0.36P^*$	El-Sahrigi และคณะ, 1981
Cod	0 ถึง 25	50-90	$k = 0.83W+9.709 \times 10^{-3}P$	Hill และคณะ, 1976
Salmon	0 ถึง 25	50-90	$k = 0.73W+4.926 \times 10^{-3}P$	

* F = สัดส่วนของไขมันในตัวอย่าง

P = สัดส่วนของโปรตีนในตัวอย่าง

3) โครงสร้างของเนื้อเยื่อ

โครงสร้างของเนื้อเยื่อ ทิศทางการเรียงตัวของเนื้อเยื่อ ความพรุน และลักษณะภายในเนื้อเยื่อ จะมีผลต่อสมบัติทางความร้อนของอาหารทะเล มีผู้ศึกษาพัฒนาสมการโดยอาศัยข้อมูลของวัสดุที่ประกอบด้วยน้ำ โปรตีนและไขมัน กับค่าสภาพนำความร้อนในทิศทางขนานกับเนื้อเยื่อ ($k_{||}$) ดังต่อไปนี้ (Bahge-Khandan และคณะ, 1981)

$$k_{||} = \rho_s \sum_{n=1}^3 \frac{k_i W_i}{\rho_i} \quad (2.12)$$

เมื่อ ρ_s = ความหนาแน่นของอาหาร (kg/m^3)

k_i = ค่าการนำความร้อนขององค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ในอาหาร (kg/m^3)

ρ_i = ความหนาแน่นขององค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ในอาหาร (kg/m^3)

W_i = อัตราส่วนโดยน้ำหนักขององค์ประกอบเคมีต่างๆ ในอาหาร (kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนสมการที่ใช้กับอาหารที่ประกอบด้วยน้ำ โปรตีน และไขมัน กับค่าการนำความร้อนในทิศทางตั้งฉาก (k_{\perp}) คือ

$$k_{\perp} = \frac{1}{\rho_s \sum_{n=1}^3 \frac{W_i}{k_i \rho_i}} \quad (2.13)$$

เมื่อ ρ_s = ความหนาแน่นของอาหาร (kg/m^3)

k_i = ค่าการนำความร้อนขององค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ในอาหาร (kg/m^3)

ρ_i = ความหนาแน่นขององค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ในอาหาร (kg/m^3)

W_i = อัตราส่วนโดยน้ำหนักขององค์ประกอบเคมีต่างๆ ในอาหาร (kg)

สำหรับความพรุนจะมีผลต่อค่าสภาพแพร่ความร้อน เนื่องจากภายในรูพรุนจะมีอากาศและไอน้ำอยู่ภายใน ซึ่งจะมีผลต่อการถ่ายโอนความร้อน (Nesvadba และ Eumson, 1984)

4) ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของวัสดุมีผลต่อการถ่ายโอนความร้อนซึ่งมีผลต่อค่าสมบัติทางความร้อน คือถ้าวัสดุมีความหนาแน่นสูงขึ้น ทำให้ค่าการนำความร้อนสูงขึ้น ค่าสภาพแพร่ความร้อนและค่าความร้อนจำเพาะต่ำลง (Mohsenin, 1980)

2.4.2 ปัจจัยภายนอก

ปัจจัยภายนอกที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิ ผลจากการละลาย (thawing) อัตราการแช่แข็งและอัตราส่วนที่น้ำเป็นน้ำแข็ง

1) อุณหภูมิ

อุณหภูมิมิมีผลต่อสมบัติความร้อนอาหารทะเลดังนี้

- ช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดเยือกแข็งของอาหาร ค่าความร้อนจำเพาะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ ค่าความร้อนจำเพาะจะหาค่าไม่ได้ (Mohsenin, 1980) ส่วนค่าการนำความร้อนก็มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าการนำความร้อนของน้ำ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในอาหาร และค่าสภาพแพร่ความร้อนจะเพิ่มขึ้นลักษณะคล้ายเส้นตรงกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (Kumbhar และคณะ, 1981)

- ช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง พบว่าค่าความร้อนจำเพาะจะเพิ่มขึ้นแบบพาราโบลา เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น (Mohsenin, 1980) ส่วนค่าการนำความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลง (Polley และคณะ, 1980) และค่าสภาพแพร่ความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามการลดลงของอุณหภูมิ ซึ่งความสัมพันธ์จะไม่เป็นเส้นตรง แต่มักพบเป็นแบบพาราโบลา (Kumbhar และคณะ, 1981)

ส่วนในช่วงอุณหภูมิเริ่มแรกของการแข็งตัว (initial freezing temperature) ที่มีการเปลี่ยนสถานะ (phase change) จะมีผลต่อค่าสมบัติทางความร้อนมาก พบว่าค่าความร้อนจำเพาะจะมีค่ามากจนหาค่าไม่ได้ และค่าการนำความร้อนก็จะมีค่ามากเช่นกัน ส่วนค่าสภาพแพร่ความร้อนจะมีค่าต่ำสุด (Matuszek และคณะ, 1983)

2) ผลจากการละลาย (thawing)

เมื่อนำอาหาร ไปทำการแช่แข็ง พบว่าถ้าเป็นลวแช่แข็งแบบช้า ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่จนทำลายผนังเซลล์ได้ ดังนั้นเมื่อนำมาทำการละลายจึงทำให้น้ำบางส่วนออกมาจากโครงสร้างของเนื้อเยื่อที่ถูกทำลาย ทำให้มีน้ำในอาหารน้อยลง (Fennema, 1973) มีผลให้ค่าการนำความร้อนและค่าความร้อนจำเพาะต่ำลง (Mohsenin, 1980)

3) อัตราการแช่แข็ง

อัตราการแช่แข็งจะมีผลต่อขนาดของผลึกน้ำแข็ง ซึ่งทำให้ค่าการนำความร้อนและค่าสภาพแพร่ความร้อนมีค่าต่างกัน (Mohsenin, 1980)

4) อัตราส่วนที่น้ำเป็นน้ำแข็ง

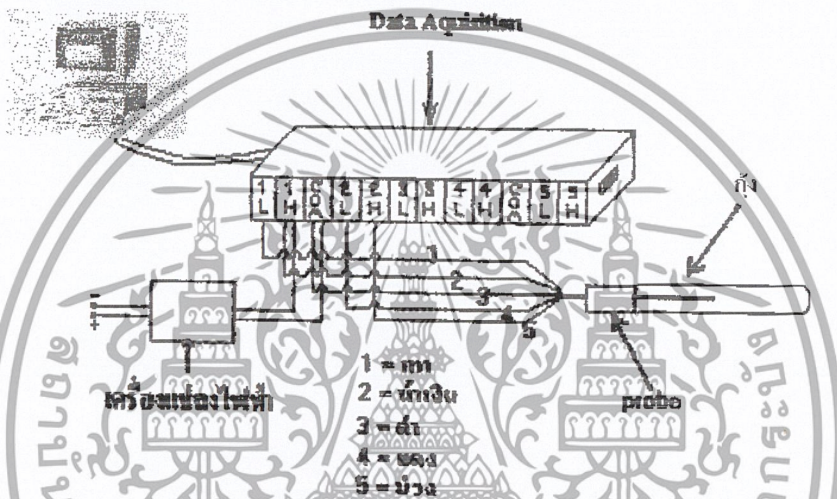
อัตราส่วนที่น้ำเป็นน้ำแข็ง จะวัดในรูปของร้อยละของน้ำที่ยังไม่เป็นน้ำแข็ง (% unfrozen water) ซึ่งค่าสมบัติทางความร้อนของน้ำและน้ำแข็งมีค่าแตกต่างกัน จึงมีผลให้ค่าสมบัติทางความร้อนของอาหารแตกต่างกัน (Mohsenin, 1980)

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ทดลอง

1. Line heat source probe (Thermal Logic, Model number TC-18, U.S.A.) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกลาง 1.27 mm ยาว 60 mm จำนวน 3 อัน มีค่าความต้านทานของ probe 69.8, 70.5, 69.9 Ωft^{-1} ตามลำดับ ต่อกับ เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ดังรูป



รูปที่ 3.1 แสดงการติดตั้งเครื่องวัดค่าการนำความร้อน Line heat source probe เพื่อวัดค่า K ในถัง

2. เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ (USB Data Acquisition System, Ω OMEGA, OMB-DAQ-55, USA)
3. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (memmert, schutzart DIN 40050 - IP 20854 Schwabach W, Germany)
4. ตู้อบ (memmert, D06060 Modell 400 W 8540 Schwabach, Germany)
5. หลอดทดลองพลาสติก เส้นผ่านศูนย์กลางกลาง 1 cm ยาว 10 cm จำนวน 6 หลอด
6. เครื่องซังน้ำหนัก (YAMATO, HB-120, JAPAN)
7. กระดาษฟอยล์
8. ถุงพลาสติกทนอุณหภูมิต่ำ (Zip loc)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมตัวอย่างกึ่งก่อนการทดลอง

สุ่มกึ่งที่แกะเปลือกแล้ว เพื่อแช่ในสารละลาย Sodium tripolyphosphate ความเข้มข้น 2, 4, 6 % (น.น.ต่อ น.น.) ผสมเกลือแกงความเข้มข้น 3 % (น.น.ต่อ น.น.) หน่วยทดลองละ 1,000 กรัม สำหรับหน่วยทดลองควบคุม (Control) จะแช่ในสารละลายเกลือแกง 3 % โดยในการแช่สารละลายนั้น จะมีอัตราส่วนของสารละลายต่อน้ำหนักของกึ่งเป็น 1 : 1 เมื่อซังน้ำหนักกึ่งแล้ว นำไปแช่ในสารละลายนาน 1 ชั่วโมง อุณหภูมิของสารละลายระหว่างแช่ควบคุมไว้ที่ 2-5 องศาเซลเซียส ระหว่างแช่สารละลาย จะคนเบา ๆ ทุก 10 นาที หลังแช่ สะเด็ดน้ำในตะแกรง 3 นาที จากนั้นนำกึ่งแต่ละหน่วยทดลองไปเรียงบรรจุในถุงพลาสติกทนอุณหภูมิต่ำ แล้วแช่แข็งด้วยน้ำแข็งแห้ง ใช้ Thermocouple type J เสียบในตัวกึ่ง วัดอุณหภูมิจนอุณหภูมิใจกลางกึ่งต่ำกว่า -30 องศาเซลเซียส จึงย้ายไปเก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ค่าการนำความร้อน

3.3 การเตรียมตัวอย่างกึ่ง

นำตัวอย่างกึ่งแช่แข็งมาละลายในถุงพลาสติก โดยให้น้ำก๊อกไหลผ่าน เป็นเวลา 15 นาที สับให้ละเอียดด้วยมีด แล้วบรรจุในหลอดทดลองพลาสติก (เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm ยาว 10 cm) ให้เต็มหลอด เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส จนกระทั่งทำการทดลอง

3.4 การวัดค่าการนำความร้อน (K)

3.4.1 การวัดค่าการนำความร้อนที่อุณหภูมิสูง (55, 75 และ 95 องศาเซลเซียส)

1. ตั้งอุณหภูมิอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิให้ได้ 55 ± 1 องศาเซลเซียส รอจนอุณหภูมิคงที่ (วัดอุณหภูมิใน อ่าง ด้วย Thermocouple)
2. นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ออกจากตู้เย็น 1 หลอด รอให้อุณหภูมิของกึ่งเท่ากับอุณหภูมิห้อง เสียบ Line heat source probe เข้าไปตรงกึ่งกลางของหลอดทดลองให้ลึกที่สุด (จุดที่ Probe ให้ความร้อนจะอยู่ที่กึ่งกลางของหลอด) แล้วจึงนำหลอดทดลองไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
3. อ่านค่าอุณหภูมิของกึ่งจาก Probe รอจนกึ่งอุณหภูมิคงที่เท่ากับ 55 องศาเซลเซียส จากนั้นเปิด สวิตช์ชุดจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับ Probe เป็นเวลา 20 วินาที (โดยบันทึกอุณหภูมิทุกๆ 1 วินาที)
4. นำข้อมูลที่ได้นมาเขียนกราฟ ระหว่าง Imเวลา กับ อุณหภูมิ เพื่อหา ความชัน(Slope)ของกราฟความสัมพันธ์
5. ทำการทดลองจนครบ 6 ซ้ำ จะได้ค่าความชันทั้งหมด 6 ค่า ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำซ้ำข้างต้น โดยเปลี่ยนอุณหภูมิของอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ เป็น 75 และ 95 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

3.4.2 การวัดค่าการนำความร้อนที่อุณหภูมิค่า (20, 10, 5, 0, -5, -10 และ -20 องศาเซลเซียส)

- นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ออกจากตู้เย็น 1 หลอด เสียบ Probe เข้าไปตรงกึ่งกลางของหลอดทดลองให้ลึกที่สุด
- อ่านค่าอุณหภูมิของกึ่งจาก Probe จนกระทั่งกึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ต้องการวัดประมาณ 2 องศาเซลเซียส
- นำหลอดทดลองมาบรรจุในฉนวนเพื่อคงอุณหภูมิของกึ่งให้ได้ 20 องศาเซลเซียส จากนั้นเปิดสวิทช์ชุดจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับ Probe เป็นเวลา 20 วินาที (โดยบันทึกอุณหภูมิทุกๆ 1 วินาที)
- นำข้อมูลที่ได้นั้นเขียนกราฟ ระหว่าง \ln เวลา กับ อุณหภูมิ เพื่อหาความชันของกราฟ ความสัมพันธ์
- นำกึ่งหลอดเดิมมาวัดอุณหภูมิด้วย น้ำแข็งแห้ง ให้เป็น 10, 5, 0, -5, -10 และ -20 องศาเซลเซียส และวัดค่าการนำความร้อนของแต่ละอุณหภูมิ
- ทำซ้ำข้างต้นทั้งหมด 6 ซ้ำ จะได้ค่าความชัน ทั้งหมด 6 ค่า ที่อุณหภูมิต่างๆ

3.5 การหาค่าความชื้นของกึ่ง (Moisture Content) หลังให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ

- เตรียมตัวอย่างก่อนวัดจำนวน 6 หลอด
- เสียบ Thermocouple ที่กึ่งกลางหลอดทดลอง แล้วนำไปต้มในน้ำร้อนจนกึ่งในหลอดมีอุณหภูมิ 55, 75 และ 95 องศาเซลเซียส อุณหภูมิละ 2 หลอด
- พับกระดาษฟอยล์เป็นถ้วย 9 ถ้วย แล้วชั่งน้ำหนักของถ้วยแต่ละถ้วยไว้
- นำกึ่งที่ต้มแล้วแบ่งใส่ในถ้วยประมาณ 3 กรัม อุณหภูมิละ 3 ถ้วย บันทึกน้ำหนักของกึ่งในถ้วยที่ชั่งได้อย่างละเอียด (น้ำหนักกึ่งก่อนอบ)
- นำกึ่งทั้งหมดเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักกึ่งคงที่
- ชั่งน้ำหนักกึ่งหลังอบ แล้วบันทึกค่าไว้
- ค่าความชื้นของกึ่ง =
$$\frac{\text{น้ำหนักกึ่งก่อนอบ} - \text{น้ำหนักกึ่งหลังอบ}}{\text{น้ำหนักกึ่งก่อนอบ}} * 100$$

3.6 การวิเคราะห์ค่าการนำความร้อนของกึ่ง

ใช้ Probe ในการหาค่าการนำความร้อนของกึ่ง ที่ต่อกับหม้อแปลงไฟกระแสสลับเป็นกระแสตรงขนาด 6 V, 0.24 Amp เป็นแหล่งให้พลังงานความร้อน ซึ่งค่าพลังงานความร้อนคำนวณได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 q &= I^2 R & (3.1) \\
 &= (0.24 \text{ A})^2 * (228.99 \text{ } \Omega\text{m}^{-1}) \\
 &= 13.1906 \text{ W/m}
 \end{aligned}$$

เมื่อ q = พลังงานความร้อน (W/m)

I = กระแสไฟฟ้าที่ผ่านวงจร (Amp)

R = ความต้านทานของ Probe (Ωm^{-1})

หาค่า factor ของ Probe ที่ใช้ ด้วยกัลลิเซอริน (ค่า $K = 0.285 \text{ W/mK}$ ที่ 20 องศาเซลเซียส) โดยเทกัลลิเซอรินใส่หลอดทดลองจำนวน 3 หลอด เติมน้ำ Probe เข้าไปตรงกึ่งกลางของหลอดทดลอง รอจนกัลลิเซอรินอุณหภูมิคงที่เท่ากับ 20 องศาเซลเซียส จากนั้นเปิดสวิทช์ชุดจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับ Probe เป็นเวลา 20 วินาที (โดยบันทึกอุณหภูมิทุกๆ 1 วินาที) ก็จะได้ข้อมูลอุณหภูมิกับเวลาของกัลลิเซอริน จากนั้นก็นำข้อมูลที่ได้มาวาดกราฟ ระหว่าง Δ เวลา กับ อุณหภูมิ เพื่อหาความชันของกราฟความสัมพันธ์ แล้วจึงนำค่าความชันทั้งหมด 3 ค่า มาหาค่าเฉลี่ย โดยค่า factor ของ Probe คำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{4\pi s k}{q} & (3.2) \\
 &= \frac{4\pi * 6.309633 * 0.285}{13.1906} \\
 &= 1.713
 \end{aligned}$$

เมื่อ f = ค่า factor ของ Probe

q = พลังงานความร้อน (W/m)

s = ค่าความชันเฉลี่ยของกราฟ ($^{\circ}\text{C/s}$) (กัลลิเซอริน)

k = ค่าการนำความร้อนของกัลลิเซอริน ($\text{W/m}^{\circ}\text{C}$)

ค่าการนำความร้อนของกึ่ง คำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned}
 k_{\text{adj}} &= f * k_{\text{ที่วัดได้}} & (3.3) \\
 &= \frac{f * q}{4\pi s} \\
 &= \frac{1.713 * 13.1906}{4\pi s}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ k = ค่าการนำความร้อนของกึ่ง (W/m^{°C})
 q = พลังงานความร้อน (W/m)
 s = ค่าความชันเฉลี่ยของกราฟ (°C /s) (กึ่ง)
 f = ค่า factor ของ Probe

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงความชันของกลีเซอรินที่ได้จากการวาดกราฟระหว่างอุณหภูมิ กับ \ln เวลา

ตัวอย่างที่			Slope	
1	2	3	เฉลี่ย	SD
6.3404	6.4618	6.1267	6.3096	0.1696

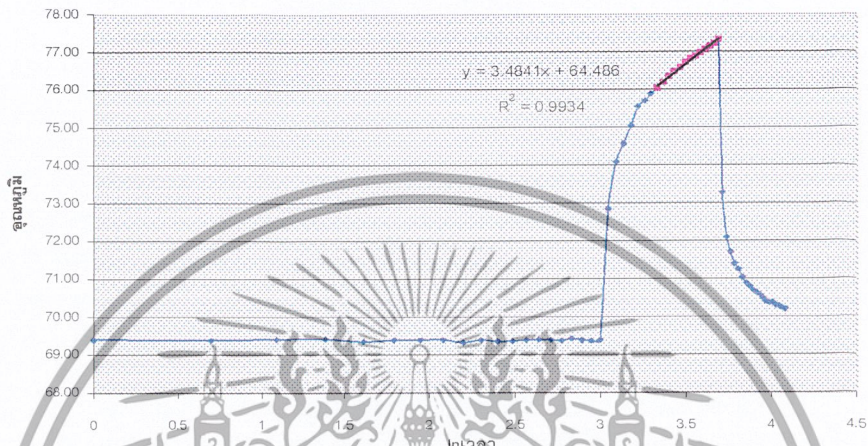


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าการนำความร้อนของกึ่งกลมดำจากการทดลอง



รูปที่ 4.1 แสดงการเขียนกราฟในการหาค่าการนำความร้อน

คำนวณจากสมการ 3.3

$$\begin{aligned}k_{\text{adj}} &= \frac{f \cdot k_{\text{กึ่งกลมดำ}}}{4\pi s} \quad (3.3) \\&= \frac{f \cdot q}{4\pi s} \\&= \frac{1.713 \cdot 13.1906}{4\pi \cdot 3.4841} \\&= 0.5161 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

เมื่อ k = ค่าการนำความร้อนของกึ่ง (W/m[°]C)

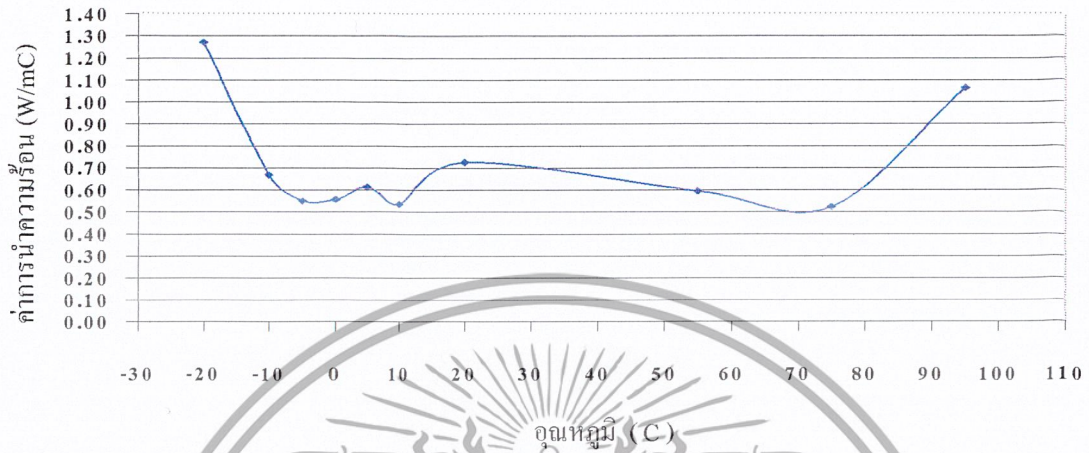
q = พลังงานความร้อน (W/m)

f = ค่า factor ของ Probe

s = ค่าความชันเฉลี่ยของกราฟ (°C/s) จากรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลและการวิเคราะห์ค่าการนำความร้อนของกุ้งกุลาดำที่แช่ในสารละลายเกลือแคงเข้มข้น 3%



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อนกับอุณหภูมิของกุ้งกุลาดำที่แช่ในสารละลายเกลือแคงเข้มข้น 3%

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของกุ้งจากงานวิจัยที่ผ่านมาและจากการทดลอง

ที่มา	Temperature (°C)	Moisture Content (%w.b.)	K(W/m°C)
Murakami(1994)	23	51.0	0.52
Karunakar และคณะ(1998)	-30 ถึง 30	75.0-81.0	1.60-0.51
Ngadi และคณะ(1999)			
-Whole shrimp	23	73.3-87.5	0.56
-Ground shrimp	23	73.3-87.5	0.46
-Ground shrimp	4 ถึง 130	73.7	0.4-0.5
จากการทดลอง			
(แช่ในสารละลายเกลือแคง)	-20 ถึง 20		1.27-0.73
	55 ถึง 95		0.60-1.06
(แช่ในสารละลายฟอสเฟต)	-20 ถึง 20		1.39-0.56
	55 ถึง 95		0.62-0.84

จากการทดลองวัดค่าการนำความร้อนของกุ้งกุลาดำ ที่แช่ในสารละลายเกลือแคงในช่วงอุณหภูมิ-20 ถึง 0 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 4.2 พบว่าค่าการนำความร้อนของกุ้งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลง โดยที่ -20 องศาเซลเซียส วัดได้ 1.27W/m°C และที่ 0 องศาเซลเซียส วัดได้ 0.558W/m°C ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการทดลองนั้นในช่วงอุณหภูมิ-20 ถึง 0 องศาเซลเซียส เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าการนำความร้อนมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลง ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากสัดส่วนของปริมาณน้ำในกึ่งที่เป็นน้ำแข็งแตกต่างกัน โดยค่าการนำความร้อนของน้ำแข็งจะมีค่าสูงกว่าค่าการนำความร้อนของน้ำถึง 4 เท่า ดังนั้นในช่วงแรกๆของการแช่แข็ง ปริมาณน้ำในเนื้อกึ่งยังเป็นน้ำแข็งไม่หมด จึงทำให้มีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าช่วงหลังที่ปริมาณน้ำในเนื้อกึ่งเป็นน้ำแข็งเกือบหมดแล้ว (กัลยา และคณะ, 2535)

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาจากตารางที่ 4.1 โดย Karunakar และคณะ (1998) วัดค่าการนำความร้อนของกึ่งที่อุณหภูมิ -30 ถึง 30 องศาเซลเซียส ที่ -30 องศาเซลเซียส วัดได้ $1.6 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ และที่ -1 องศาเซลเซียส $0.52 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ โดยค่าการนำความร้อนในช่วง -30 ถึง -1 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลงเช่นเดียวกับค่าที่ได้จากการทดลอง แต่ค่าที่ได้จากการทดลองจะมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากงานวิจัย เนื่องจากมีการแช่กึ่งในสารละลายเกลือแองค โดยคาดว่าจะทำให้เกิดปริมาณน้ำแข็งน้อยกว่ากึ่งที่ไม่ได้แช่สารละลายเกลือแองคเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเดียวกัน เนื่องจากเกลือแองคจะทำให้จุดเยือกแข็งของน้ำในเนื้อกึ่งจะมีค่าต่ำลง โดยเกลือแองคหรือตัวถูกละลายจะไปขัดขวางการตกผลึกของตัวทำละลายหรือน้ำ (กฤษณา, 2531) ทำให้น้ำในเนื้อกึ่งกลายเป็นน้ำแข็งได้ช้ากว่าปกติ

ค่าการนำความร้อนจากการทดลองในช่วง 5 ถึง 95 องศาเซลเซียส พบว่าที่ 5 องศาเซลเซียส วัดได้ $0.614 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ที่ 95 องศาเซลเซียส วัดได้ $1.065 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ จากการทดลอง ที่ 5 องศาเซลเซียส ค่าการนำความร้อนของกึ่งจะสูงขึ้น คาดว่าเกิดจากน้ำในเนื้อกึ่งมีความหนาแน่นมากขึ้น โดยพิจารณาจากโครงสร้างของน้ำ เมื่อลดอุณหภูมิจนถึง 4 องศาเซลเซียส โมเลกุลของน้ำจะเริ่มรวมตัวกันใหม่โดยเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างกันมากขึ้นและเริ่มมีการจัดตัวที่แน่นอนในแบบทรงแหรีด (ประเสริฐและคณะ, 2538) ทำให้น้ำมีความหนาแน่นมากจึงเกิดการนำความร้อนมาก ในช่วงอุณหภูมิ 5 ถึง 20 องศาเซลเซียส ค่าการนำความร้อนของกึ่งมีแนวโน้มมากขึ้น คาดว่าเนื่องจากเมื่อน้ำในเนื้อกึ่งมีอุณหภูมิสูงขึ้น ตามคุณสมบัติทางความร้อนของน้ำนั้นจะมีค่าการนำความร้อนที่สูงขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น จึงทำให้ค่าการนำความร้อนของกึ่งมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย และที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสขึ้นไป ค่าการนำความร้อนของกึ่งจะมีค่าสูงมาก คาดว่าเกิดจากการสูญเสียน้ำในเนื้อกึ่งมากจะทำให้เกิดการนำความร้อนในเนื้อกึ่งมากกว่าการพาความร้อน โดยการสูญเสียน้ำในเนื้อกึ่งเกิดจากเมื่อน้ำในเนื้อกึ่งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิประมาณ $30-50$ องศาเซลเซียส จะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนในเนื้อกึ่ง ซึ่งในเนื้อกึ่งกุลาดำนั้นจะมีโปรตีนอยู่ประมาณ 20.1% มีผลทำให้โปรตีนชนิดไมโอไฟบริลลาซึ่งเป็นโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการยึดหดตัวของกล้ามเนื้อ จับตัวกันแน่นขึ้น ทำให้เนื้อเหนียวและความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง และเมื่อได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส จะทำให้โปรตีนชนิดซาร์โคพลาสมิกและไมโอไฟบริลจับกัน เป็นก้อน (ประเสริฐและคณะ, 2538) ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับงานวิจัยที่ผ่านมาจากตารางที่ 4.1 โดย Karunakar และคณะ (1998) วัดค่าการนำความร้อนของกุ้งที่อุณหภูมิ 10 ถึง 30 องศา ที่ 10 องศาเซลเซียส วัด ได้ $0.52 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ และที่ 30 องศาเซลเซียส วัดได้ $0.52 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ โดยค่าการนำความร้อนมี แนวโน้มคงที่, Ngadi และคณะ (2000) วัดค่าการนำความร้อนที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ของกุ้ง ชนิด ผักกลางหลัง แบบทั้งตัว(ความชื้น 75.2% w.b.)และแบบนำมาสับก่อนวัด(ความชื้น 74.1% w.b.) วัดค่าได้ 0.52 และ $0.46 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ และกุ้งชนิดหุบแป๊ะทอด แบบทั้งตัว(ความชื้น 87.6% w.b.) และแบบนำมาสับก่อนวัด(ความชื้น 87.4% w.b.) วัดค่าได้ 0.57 และ $0.51 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ส่วนในช่วง 4 ถึง 130 องศาเซลเซียส พบว่าค่าการนำความร้อนของกุ้งชนิดผักกลางหลัง ที่นำมาสับก่อนวัด(ความชื้น 73.7% w.b.) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยค่าอยู่ในระหว่าง $0.4 - 0.5 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, Murakami (1994) วัดค่า การนำความร้อนของกุ้งที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส(ความชื้น 51.9% w.b.)ได้ $0.52 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$

จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการทดลองจะมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากงานวิจัย ทั้งนี้อาจเกิดจากการ เตรียมตัวอย่างกุ้งที่ไม่เหมือนกัน โดยจากการทดลองนี้มีการนำกุ้งไปแช่ในสารละลายเกลือก่อน นำมาวัดซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันมากกว่าปกติ เนื่องจากไอออนของสารละลายเกลือดึงโมเลกุล ของน้ำออกจากโมเลกุลของโปรตีน ทำให้โมเลกุลของโปรตีนมีโอกาสจับกันเองมากขึ้นและละลาย น้ำได้น้อยลง จึงทำให้กุ้งที่แช่ในสารละลายเกลือมีค่าการนำความร้อนสูงกว่ากุ้งที่ไม่ได้แช่

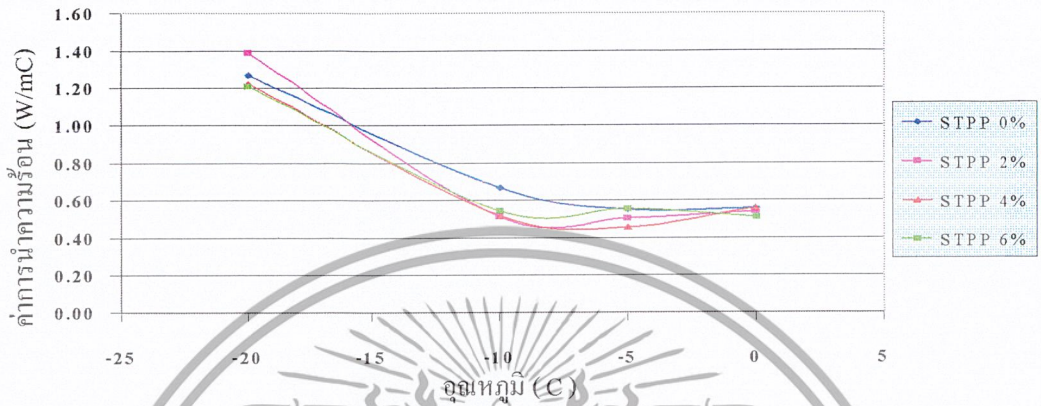
4.3 ผลของอุณหภูมิและฟอสเฟตที่มีต่อค่าการนำความร้อนของกุ้งกุลาดำ ในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (-20 ถึง 0 องศาเซลเซียส)

ค่าการนำความร้อนของกุ้งกุลาดำที่นำไปแช่ในสารละลาย Sodium tripolyphosphate ที่ ความเข้มข้น 2%, 4% และ 6% ในช่วงอุณหภูมิ -20 ถึง 0 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 4.3 วัดได้ 1.40 , 1.23 และ $1.21 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ และ ที่ 0 องศาเซลเซียส วัดได้ 0.54 , 0.56 และ $0.51 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของกุ้งที่แช่ในสารละลายเกลือแคง กับ กุ้งที่แช่ในสารละลายฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า ค่าการนำความร้อนมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ ในช่วง $1.2 - 1.4 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ที่ -20 องศาเซลเซียส และอยู่ในช่วง $0.4 - 0.6 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ที่ 0 องศา เซลเซียส โดยมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลง โดยคาดว่าจะเกิดจากการกลายเป็นน้ำแข็งของน้ำ ในเนื้อกุ้งดังที่กล่าวมาแล้ว ในหัวข้อ 4.2

และเมื่อเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนจากงานวิจัยในตารางที่ 4.1 จะมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้ จากการทดลอง ซึ่งเป็นกุ้งที่แช่ในสารละลายเกลือแคง และสารละลายฟอสเฟต จึงมีผลจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายเกลือแกลและสารละลายฟอสเฟตที่ทำให้การกลายเป็นน้ำแข็งของน้ำในเนื้อกุ้งแช่แข็ง ดังที่กล่าวมาข้างต้นในหัวข้อ 4.2 เช่นกัน



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อนกับอุณหภูมิของกุ้งกุลาดำ ที่แช่ในสารละลายฟอสเฟตที่มีความเข้มข้นต่างๆ

4.4 ผลของอุณหภูมิและฟอสเฟตที่มีต่อค่าการนำความร้อนของกุ้งกุลาดำ ในช่วงอุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็ง (5 ถึง 95 องศาเซลเซียส)

ค่าการนำความร้อนของกุ้งกุลาดำที่นำไปแช่ในสารละลาย Sodium tripolyphosphate ที่ความเข้มข้น 2%, 4% และ 6% ในช่วงอุณหภูมิ 5 ถึง 95 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 4.4 ที่ 5 องศาเซลเซียส วัดได้ 0.522, 0.556 และ 0.578 W/m°C ตามลำดับ และที่ 95 องศาเซลเซียส วัดได้ 0.841, 0.765 และ 0.770 W/m°C ตามลำดับ

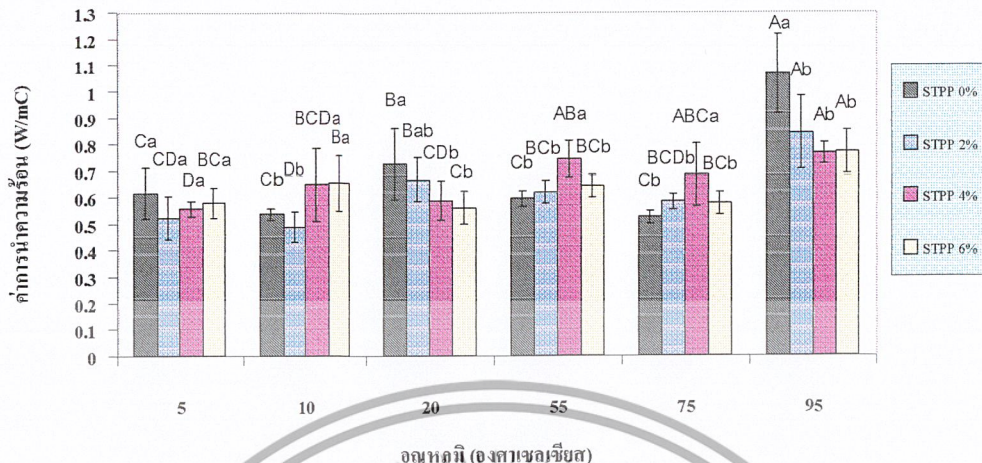
การวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิและฟอสเฟตต่อค่าการนำความร้อนของกุ้งกุลาดำทางสถิติพบว่า ทั้งอุณหภูมิและฟอสเฟตมีอิทธิพลต่อค่าการนำความร้อน และยังมีอิทธิพลร่วมเนื่องจากอุณหภูมิและฟอสเฟตอีกด้วยดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิและความเข้มข้นของฟอสเฟตต่อค่าการนำความร้อนของกุ้งกุลาดำ

	Pr < F
Phosphate	*(0.0117)
Temp	** (0.0001)
Phosphate*Temp	** (0.0001)

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่เปรียบเทียบที่ระดับความชื้นที่โพสต์แตกต่างกันแต่อุณหภูมิต่างกัน
อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กเปรียบเทียบที่อุณหภูมิเดียวกันแต่ระดับความเข้มข้นโพสต์แตกต่างกัน
อักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

รูปที่ 4.4 แผนภูมิแสดงผลของสารละลายฟอสเฟตและอุณหภูมิต่อค่าการนำความร้อน

จากรูปที่ 4.4 พบว่า ค่าการนำความร้อนของแต่ละอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต 0%(Control), 2%, 4%, 6% ค่าการนำความร้อนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อกัน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต 0%, 2% ค่าการนำความร้อนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อกัน แต่มีความแตกต่างจาก 4% และ 6% โดยที่ 4%และ 6% จะมีค่าการนำความร้อนที่มากกว่า ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต 2%,4% และ 6% ค่าการนำความร้อน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อกัน แต่มีความแตกต่างจาก 0% โดยที่ 0%จะมีค่าการนำความร้อนที่มากกว่า ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต 0%,2% และ 6% ค่าการนำความร้อนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อกัน แต่มีความแตกต่างจาก 4% โดยที่ 4% จะมีค่าการนำความร้อนที่มากที่สุด ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต 0%,2% และ 6% ค่าการนำความร้อนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อกัน แต่มีความแตกต่างจาก 4% โดยที่ 4% จะมีค่าการนำความร้อนที่มากที่สุด และที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต 2%, 4%, 6% ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อกัน แต่มีความแตกต่างจาก 0% โดยที่ 0% จะมีค่าการนำความร้อนที่มากที่สุด จากรูปที่ 4.4 แผนภูมิมักจะเป็นรูปคลื่นที่มีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งลักษณะของแผนภูมิดังกล่าวมีความสอดคล้องกับการทดลองของ Jianrong, (2001) ที่ได้หาค่าการนำความร้อนของปลาหมึกพันธุ์สคิปแจ็ค โดยค่าการนำความร้อนอยู่ในช่วง

0.56-0.66 W/mK ที่อุณหภูมิ 33.2-91.6 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาจากค่าความชื้นของกุ้งกุลาดำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังตารางที่ 4.3 จะเห็นว่า ยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความชื้นจะมีค่าลดลง เนื่องจากโปรตีนในเนื้อกุ้งเสียสภาพทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อกุ้งลดลง เมื่อมีปริมาณน้ำในเซลล์น้อยลงจึงทำให้เกิดการนำความร้อนมากขึ้นดังที่กล่าวมาข้างต้น

4.5 การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนที่ได้จากการทดลองกับการทำนาย

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนจากการทดลองและการทำนายจากสมการ

STPP	Temp(C)	%Mc (w.b.)	Thermal conductivity (W/m°C)						
			จากการทดลอง	จากสมการของSalvadori	จากการสมการของ Choi		จากสมการที่ 4.2		
					%error		%error		%error
0%	55	0.7759	0.6188	0.5080	17.9056	0.5778	6.6265	0.5740	7.2398
	75	0.7700	0.5825	0.5153	11.5365	0.5956	-2.2521	0.5940	-1.9742
	95	0.7565	0.8410	0.5155	38.7039	0.6088	27.6149	0.9340	-11.0583
2%	55	0.7969	0.7437	0.4904	34.0594	0.5778	22.3080	0.6230	16.2297
	75	0.7955	0.6837	0.4972	27.2780	0.5956	12.8830	0.5830	14.7287
	95	0.7812	0.7646	0.5002	34.5802	0.6088	20.3821	0.8630	-12.8695
4%	55	0.7636	0.6425	0.5039	21.5720	0.5778	10.0708	0.6720	-4.5914
	75	0.7619	0.5770	0.5133	11.0399	0.5956	-3.2268	0.5720	0.8666
	95	0.7534	0.7696	0.5152	33.0561	0.6088	20.8993	0.7920	-2.9106
6%	55	0.7892	0.5951	0.4969	16.5014	0.5778	2.9079	0.7210	-21.1561
	75	0.7919	0.5240	0.5015	4.2939	0.5956	-13.6677	0.5610	-7.0611
	95	0.7806	1.0645	0.5019	52.8511	0.6088	42.8127	0.7210	32.2687

ได้มีการหาค่าการนำความร้อนของกุ้งกุลาดำโดยการทำนายจากสมการของ Salvadori และ Mascheroni (1991) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ทำนายค่าการนำความร้อนของเนื้อสัตว์ ในช่วงอุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็ง

$$K = 0.0866 + 0.501X_w + 5.052 \cdot 10^{-4} X_w T \quad (4.1)$$

โดย X_w = Moisture Content ของเนื้อสัตว์

T = อุณหภูมิ (K)

และทำนายจากสมการของ Choi and Okos (1986)

$$K = \sum (K_i X_{vi}) \quad (2.1)$$

โดย K_i = ค่าการนำความร้อนขององค์ประกอบเคมีต่างๆ ในอาหาร (W/m°C)

X_{vi} = อัตราส่วนโดยปริมาตรขององค์ประกอบเคมีต่างๆ ในอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองที่เกิดขึ้นจะเห็นได้ว่า ค่าการนำความร้อนของกึ่งที่แช่ฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 2%,4%,6% และ control มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับ ค่าที่ทำนายได้จากสมการ แต่ค่าการนำความร้อนที่ได้จากการทดลองจะมีค่ามากกว่า ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้ อาจพิจารณาได้ว่า เนื่องจากสมการนี้เป็นสมการที่ใช้ทำนายค่าการนำความร้อนที่มีผลมาจากอิทธิพลของอุณหภูมิและความชื้นเท่านั้น โดยไม่ได้พิจารณาถึงอิทธิพลของฟอสเฟต ดังนั้นจึงได้คำนวณหาสมการที่ใช้ทำนายค่าการนำความร้อนของกึ่งกาคั่วที่แช่ในสารละลายฟอสเฟต ด้วยวิธี Multivariate Method โดยใช้ Step Wise Method เพื่อเลือกปัจจัยที่มีผลต่อค่าการนำความร้อนของกึ่ง ซึ่งแสดงในสมการดังนี้

$$K = 2.169 + 0.107P - 0.051T - 0.0015PT + 0.0004T^2 \quad (4.2)$$

โดย P = ความเข้มข้นของสารละลาย Sodium tripolyphosphate (%)

T = อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)

ซึ่งสมการนี้สามารถใช้ทำนายค่าการนำความร้อนของกึ่งกาคั่วที่แช่ในสารละลายฟอสเฟต ในช่วงอุณหภูมิ 55 ถึง 95 องศาเซลเซียส โดยมีค่า $R^2 = 0.68$

จากตารางที่ 4.3 มีการหาค่าความแตกต่างระหว่างค่าการนำความร้อนที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากสมการต่างๆ พบว่า เมื่อใช้สมการของ Salvadori และ Mascheroni (1991) จะมีความแตกต่าง ร้อยละ 4.3 ถึง 52.9 , สมการของ Choi และ Okos (1986) จะมีความแตกต่าง ร้อยละ 2.25 ถึง 42.8 และเมื่อใช้สมการที่ 4.2 จะมีความแตกต่างร้อยละ 0.87 ถึง 32.3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการทำนายโดยใช้สมการที่ 4.2 จะมีความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด

$$\% \text{ error} = \frac{\text{ค่าการนำความร้อนจากการทดลอง} - \text{ค่าการนำความร้อนจากสมการ}}{\text{ค่าการนำความร้อนจากการทดลอง}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

ค่าการนำความร้อนของกึ่งกลาดำหลังจากนำไปแช่ในสารละลาย Sodium tripolyphosphate ที่ความเข้มข้น 2%, 4% และ 6% พบว่า ในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (-20 ถึง 0 องศาเซลเซียส) กึ่งที่แช่ในสารละลายฟอสเฟตความเข้มข้น 2% , 4% และ 6% มีค่าการนำความร้อนใกล้เคียงกัน โดยจะมีค่าลดลงเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการกลายเป็นน้ำแข็งของน้ำในเนื้อกึ่ง โดยผลของสารละลายฟอสเฟตจะทำให้ค่าการนำความร้อนของกึ่งกลาดำมีค่าต่ำกว่ากึ่งที่ไม่ได้แช่ในสารละลายฟอสเฟต

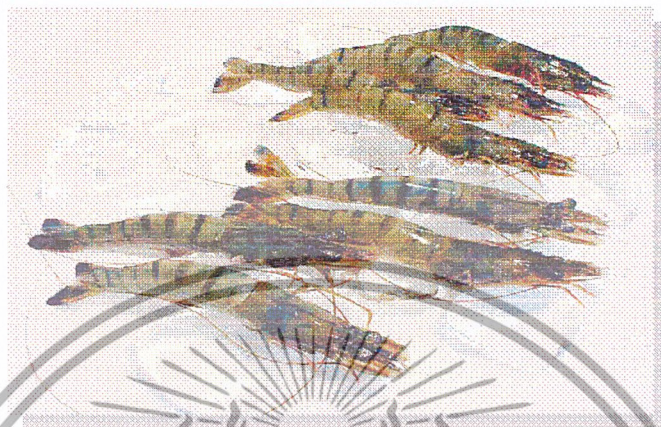
ช่วงอุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็ง (5 ถึง 95 องศาเซลเซียส) กึ่งกลาดำที่แช่ในสารละลาย Sodium tripolyphosphate ความเข้มข้น 2% มีค่าการนำความร้อนสูงสุด รองลงมาคือ 6% และ 4% ตามลำดับ โดยค่าการนำความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น และมีค่าสูงมากที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียสขึ้นไป เนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำของเนื้อกึ่ง และผลของสารประกอบฟอสเฟตจะทำให้ค่าการนำความร้อนของกึ่งกลาดำมีค่าต่ำกว่ากึ่งที่ไม่ได้แช่ในสารละลายฟอสเฟต เนื่องจากสารละลายฟอสเฟตจะช่วยลดการสูญเสียน้ำในเนื้อกึ่ง

จากการคำนวณหาสมการที่ใช้ทำนายค่าการนำความร้อนของกึ่งกลาดำที่แช่ในสารละลายฟอสเฟต ด้วยวิธี Multivariate Method โดยใช้ Step Wise Method เพื่อเลือกปัจจัยที่มีผลต่อค่าการนำความร้อนของกึ่ง เมื่อเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้จากสมการกับค่าที่ได้จากการทดลองพบว่า มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับค่าที่คำนวณด้วยสมการอื่นๆ โดยสมการนี้สามารถใช้ทำนายค่าการนำความร้อนของกึ่งกลาดำที่แช่ในสารละลายฟอสเฟต ในช่วงอุณหภูมิ 55 ถึง 95 องศาเซลเซียส โดยมีค่า $R^2 = 0.63$

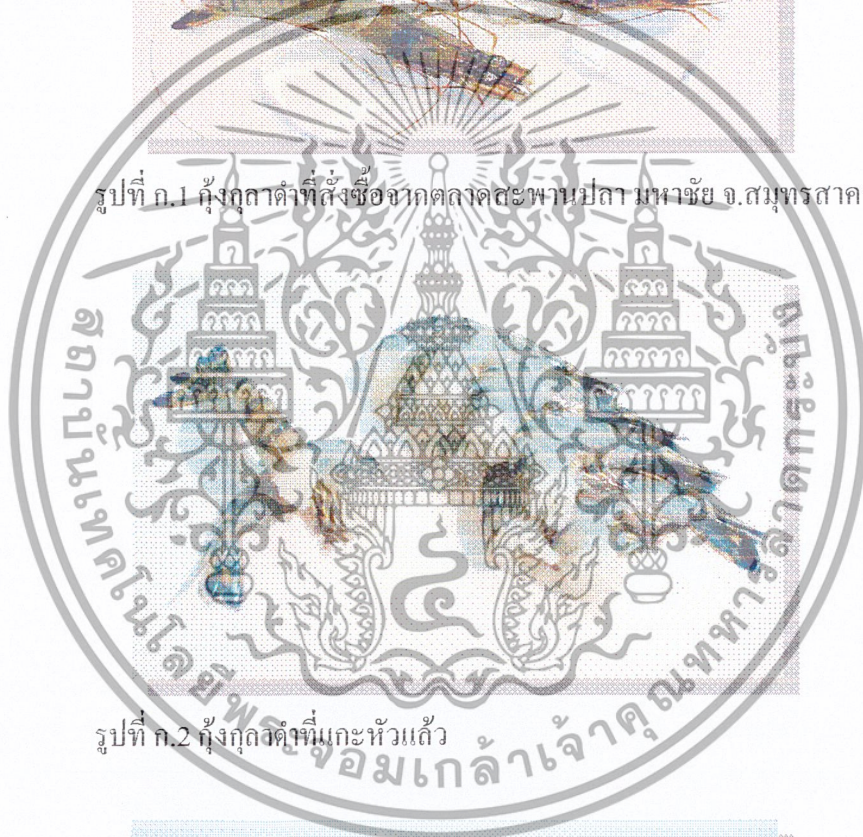
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

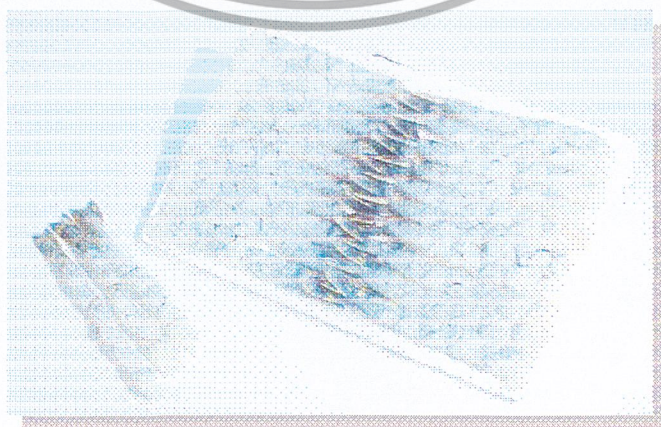
ภาคผนวก ก. การเตรียมตัวอย่างกุ้งก่อนทำการทดลอง



รูปที่ ก.1 กุ้งกุลาดำที่สั่งซื้อจากตลาดสะพานปลา มหาวชิย จ.สมุทรสาคร



รูปที่ ก.2 กุ้งกุลาดำที่แกะหัวแล้ว

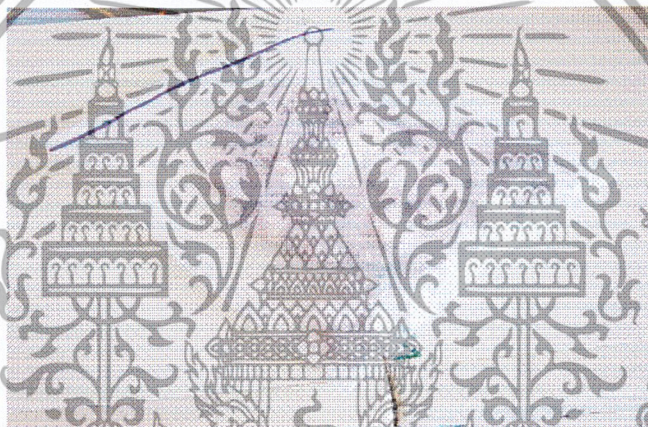


รูปที่ ก.3 กุ้งกุลาดำที่แกะเปลือกแล้ว

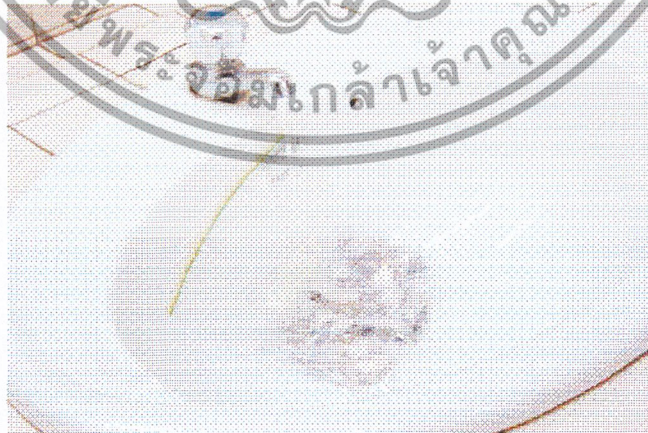
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.4 กึ่งกุดาคำที่แกะหางแล้ว



รูปที่ ก.5 กึ่งกุดาคำที่เรียงบรรจบในอุ้งพลาตติกทนอุณหภูมิคำ



รูปที่ ก.6 การละลายกึ่งโดยให้น้ำก๊อกไหลผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



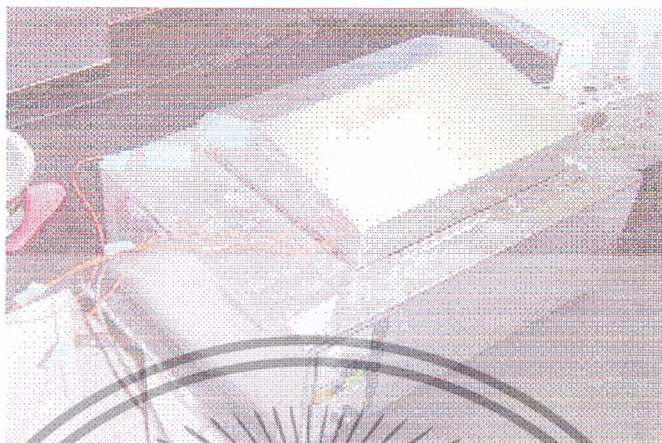
รูปที่ ก.7 กิ่งที่สับละเอียดด้วยมีด



รูปที่ ก.8 การบรรจุกิ่งลงในหลอดทดลองพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ ข.1 Water Bath

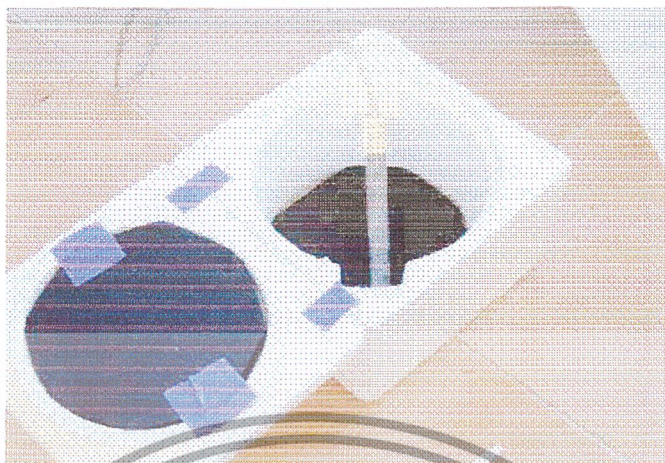


รูปที่ ข.2 ชุดจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับ Probe



รูปที่ ข.3 เสียบ Probe เข้าไปตรงกึ่งกลางหลอดที่บรรจุกึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.4 กล่องฉนวน เพื่อคงอุณหภูมิของกุ้ง



รูปที่ ข.5 ตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. ข้อมูลแสดงค่า MC ที่อุณหภูมิและ STPP ความเข้มข้นต่างๆ

ชนิดสารเคมี

Sodium triphosphate

ความเข้มข้น 0% (Control)

Temp.	ตัวที่	น.น.ฟอยล์	น.น.กิ่งกอนอบ (๒)	น.น.กิ่งกึ่งอบ+ฟอยล์ (๒)	น.น.กิ่งกึ่งอบ (๒)	MC	average	SD
55	1	0.1673	3.0246	0.8215	0.6542	0.7837	0.7759	0.0018
	2	0.1789	3.0434	0.8482	0.6693	0.7801		
	3	0.1730	3.0727	0.8439	0.6709	0.7817		
75	1	0.1467	3.0594	0.8550	0.7083	0.7685	0.7700	0.0013
	2	0.1538	3.0446	0.8526	0.6988	0.7705		
	3	0.1486	3.0052	0.8370	0.6884	0.7709		
95	1	0.1592	3.0618	0.9116	0.7524	0.7543	0.7565	0.0039
	2	0.1809	3.0469	0.9293	0.7484	0.7544		
	3	0.1680	3.0214	0.8901	0.7221	0.7610		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดสารเคมี

Sodium triphosphate ความเข้มข้น 2%

Temp.	ตัวที่	น.น.พอยด์	น.น.กึ่งออปอบ (g)	น.น.กึ่งออปอบ+พอยด์ (g)	น.น.กึ่งออปอบ (g)	MC	average	SD
55	1	0.1502	3.0281	0.7616	0.6114	0.7981	0.7969	0.0014
	2	0.1675	3.0670	0.7890	0.6215	0.7974		
	3	0.1785	3.0578	0.8044	0.6259	0.7953		
75	1	0.1739	3.0330	0.7880	0.6141	0.7975	0.7955	0.0030
	2	0.1522	3.0526	0.7684	0.6162	0.7968		
	3	0.1627	3.0338	0.7936	0.6309	0.7920		
95	1	0.1499	3.0120	0.8068	0.6569	0.7819	0.7812	0.0032
	2	0.1483	3.0721	0.8120	0.6637	0.7840		
	3	0.1605	3.0186	0.8314	0.6709	0.7777		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดสารเคมี Sodium triphosphate ความเข้มข้น 4%

Temp.	ตัวที่	น.น.ฟอยล์	น.น.กึ่งก่อนอบ (g)	น.น.กึ่งหลังอบ+ฟอยล์ (g)	น.น.กึ่งหลังอบ (g)	MC	average	SD
55	1	0.1857	3.0000	0.9040	0.7183	0.7606	0.7636	0.0049
	2	0.1521	3.0339	0.8774	0.7253	0.7609		
	3	0.1493	3.0201	0.8461	0.6968	0.7693		
75	1	0.1811	3.0694	0.9049	0.7238	0.7619	0.7619	0.0009
	2	0.1624	3.0048	0.8805	0.7181	0.7610		
	3	0.1726	3.0177	0.8885	0.7159	0.7628		
95	1	0.1964	3.0344	0.8945	0.6981	0.7699	0.7534	0.0148
	2	0.1743	3.0403	0.9524	0.7781	0.7415		
	3	0.1799	3.0053	0.9349	0.7550	0.7486		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดสารเคมี Sodium triphosphate ความเข้มข้น 6%

Temp.	ตัวที่	น.น.ฟอสเฟต	น.น.กุ้งก้ามกราม (g)	น.น.กุ้งหัวตอ+ฟอสเฟต (g)	น.น.กุ้งหัวตอ (g)	MC	average	SD
55	1	0.1856	3.0937	0.8504	0.6648	0.7851	0.7892	0.0039
	2	0.1803	3.0390	0.8197	0.6394	0.7896		
	3	0.1558	3.0733	0.7925	0.6367	0.7928		
75	1	0.1456	3.0064	0.7655	0.6199	0.7938	0.7919	0.0021
	2	0.1571	3.0140	0.7909	0.6338	0.7897		
	3	0.1739	3.0401	0.8057	0.6318	0.7922		
95	1	0.1732	3.0025	0.8159	0.6727	0.7760	0.7806	0.0043
	2	0.1713	3.0007	0.8271	0.6558	0.7815		
	3	0.1554	3.0199	0.8064	0.6510	0.7844		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง. ข้อมูลแสดงค่า K ที่อุณหภูมิและ STPP ความเข้มข้นต่าง ๆ

ตารางแสดงความสัมพันธ์ของกราฟและค่า K (กึ่ง Control)

อุณหภูมิ, °C	1			2			3			4			5			6			K เดิม	SD
	Slope	R ²	K	Slope	R ²	K	Slope	R ²	K	Slope	R ²	K	Slope	R ²	K	Slope	R ²	K		
10	1.1206	0.9154	1.6046	1.7807	0.9584	1.0098	1.6674	0.9855	1.0784	1.7793	0.9923	1.0106	0.9870	0.9052	1.8218	1.6401	0.9829	1.0963	1.2702	0.3517
15	2.8025	0.9639	0.6416	2.5942	0.9862	0.6931	2.8950	0.9887	0.6298	2.9080	0.9859	0.6183	2.4493	0.9723	0.7341	2.6095	0.9853	0.6891	0.6677	0.0449
20	3.0691	0.9899	0.5859	3.8514	0.995	0.4669	4.1243	0.9939	0.436	4.0903	0.9915	0.4396	2.6573	0.9984	0.6767	2.5514	0.9801	0.7047	0.5516	0.1211
25	3.3499	0.9886	0.5368	3.2684	0.9707	0.5501	3.4346	0.9935	0.5235	3.2277	0.9966	0.5570	3.2589	0.9964	0.5517	2.8707	0.9773	0.6264	0.5576	0.0358
30	2.6764	0.9716	0.6718	2.8830	0.9742	0.6237	3.0803	0.9936	0.5837	3.6578	0.9948	0.4916	3.3032	0.9957	0.5443	2.3424	0.9624	0.7676	0.6138	0.0978
35	3.1437	0.9973	0.572	3.4893	0.9907	0.5133	3.2655	0.9892	0.5506	3.4201	0.9846	0.5257	3.4857	0.9975	0.5158	3.3396	0.9879	0.5384	0.5363	0.0221
40	2.5495	0.9456	0.7053	2.6447	0.949	0.6799	2.7023	0.9812	0.6654	2.8654	0.9493	0.6275	1.8134	0.9819	0.9916	2.6136	0.9808	0.688	0.7263	0.1326
45	3.0001	0.9897	0.5993	2.9380	0.9851	0.612	3.2790	0.9757	0.5484	3.0771	0.9768	0.5843	3.0421	0.9952	0.5911	2.8284	0.9396	0.6357	0.5951	0.0292
50	3.2337	0.9799	0.556	3.4381	0.9821	0.523	3.2984	0.9857	0.5451	3.5833	0.9722	0.5018	3.4210	0.9730	0.5256	3.6529	0.9675	0.4922	0.5240	0.0244
55	1.8954	0.9750	0.9487	1.5269	0.9381	1.1776	2.1734	0.9797	0.8273	1.6894	0.9803	1.0643	1.5206	0.9400	1.1825	1.5151	0.9028	1.1868	1.0645	0.1492

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ทั้งสิ้น อีกทั้งยังห้ามให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงความชันของกราฟและค่า K (กึ่ง 2%)

โดยที่	1			2			3			4			5			6			K ที่น้อย	SD
	Slope	R ²	K	Slope	R ²	K	Slope	R ²	K	Slope	R ²	K	Slope	R ²	K	Slope	R ²	K		
10	1.3718	0.9619	1.3108	1.1449	0.9904	1.5705	1.3143	0.9631	1.134	1.3143	0.9943	1.1796	1.0841	0.9613	1.6586	1.2133	0.9936	1.482	1.3892	0.2141
15	3.2626	0.9884	0.5511	3.5706	0.9967	0.5036	3.2466	0.9828	0.5588	3.2466	0.9778	0.5072	4.1270	0.9972	0.4357	3.4257	0.9718	0.5249	0.5127	0.0433
20	3.8149	0.9953	0.4713	4.2522	0.9982	0.40229	3.0165	0.9956	0.5961	3.1915	0.9973	0.5634	3.5808	0.9929	0.5366	4.1587	0.9987	0.4324	0.5038	0.0719
25	3.9631	0.9861	0.4537	4.8703	0.9943	0.3692	3.4999	0.9848	0.5138	3.1934	0.997	0.5631	2.5287	0.9921	0.7111	2.8706	0.9952	0.6264	0.5395	0.1221
30	3.7407	0.9933	0.4807	4.3782	0.9942	0.4107	2.8476	0.9782	0.6314	3.0265	0.9985	0.5941	3.3116	0.9911	0.543	3.8287	0.9908	0.4696	0.5216	0.083
35	3.4153	0.9939	0.5265	4.0930	0.9787	0.4393	3.9796	0.9915	0.4518	4.1135	0.9902	0.4371	3.1103	0.9885	0.5781	3.6116	0.9818	0.4979	0.4885	0.0565
40	3.0717	0.9642	0.5854	3.1377	0.9594	0.5731	2.7166	0.9746	0.6619	2.7478	0.991	0.6544	2.2563	0.9867	0.7969	2.4645	0.9742	0.7296	0.6669	0.0854
45	2.6930	0.9900	0.6677	2.7316	0.9928	0.6583	3.0563	0.9958	0.5883	3.1500	0.9914	0.5708	2.7710	0.9899	0.6489	3.1061	0.9910	0.5789	0.6188	0.044
50	2.9866	0.9826	0.6021	2.9824	0.9736	0.6029	3.1827	0.9323	0.565	3.2009	0.9862	0.5617	3.3023	0.9952	0.5445	2.9059	0.9789	0.6188	0.5825	0.0293
55	2.7534	0.9924	0.653	2.2446	0.9788	0.8011	2.2054	0.9743	0.8153	2.1134	0.9693	0.8508	2.1295	0.9595	0.8444	1.6629	0.9355	1.0813	0.8410	0.1382

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าความชันของกราฟและค่า K (กึ่ง 4%)

ชื่อย่อ	1			2			3			4			5			6		K อดี	SD	
	Slope	R ²	K	Slope	R ²	K	Slope	R ²	K	Slope	R ²	K	Slope	R ²	K	R ²	K			
																				K
1	1.6315	0.8744	1.1021	1.5267	0.9643	1.1778	1.5741	0.9791	1.3086	1.3280	0.963	1.354	1.6020	0.9591	1.1224	1.3903	0.8108	1.2933	1.2264	0.1060
2	2.9063	0.9853	0.6187	3.0586	0.9476	0.5879	3.3204	0.9973	0.5415	3.9784	0.9901	0.4525	3.5212	0.9647	0.5106	4.4866	0.9932	0.4008	0.5187	0.0820
3	3.7068	0.9955	0.4851	3.8205	0.9932	0.4706	3.5444	0.9821	0.5073	4.5461	0.9736	0.3958	4.4360	0.9966	0.4053	3.7786	0.9935	0.4759	0.4567	0.0453
4	2.6256	0.9836	0.6848	3.5254	0.9875	0.51	3.4103	0.9921	0.5273	2.5624	0.9898	0.7017	4.5657	0.9984	0.3938	3.3327	0.9708	0.5395	0.5595	0.1160
5	3.1088	0.9577	0.5784	3.2331	0.9913	0.5561	3.2109	0.9885	0.56	3.0245	0.9926	0.5945	3.4483	0.9696	0.5214	3.4239	0.9913	0.5252	0.5559	0.0288
6	2.9167	0.9913	0.6165	2.3090	0.9592	0.7787	2.9883	0.9935	0.6017	3.2966	0.9909	0.5454	2.1107	0.9786	0.8532	3.6194	0.9848	0.4968	0.6487	0.1384
7	2.8385	0.9869	0.6335	2.9272	0.9693	0.6143	2.6775	0.9789	0.6716	3.0606	0.9705	0.5876	3.8898	0.9007	0.4623	3.2652	0.9836	0.5507	0.5866	0.0734
8	2.1931	0.9542	0.8199	2.2078	0.9849	0.8144	2.4679	0.9723	0.7286	2.4650	0.9653	0.7294	2.8456	0.9590	0.6319	2.4371	0.9690	0.7378	0.7437	0.0690
9	2.4793	0.8933	0.7252	2.6142	0.9478	0.6878	2.1052	0.9619	0.8541	2.8286	0.9959	0.6357	3.6310	0.9943	0.4952	2.5534	0.9311	0.7042	0.6837	0.1175
10	2.3587	0.9762	0.7623	2.4430	0.9480	0.736	2.2297	0.9074	0.8064	2.1872	0.9850	0.8221	2.4568	0.9922	0.7319	2.4662	0.9237	0.7291	0.7646	0.0405

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงความชันของกราฟและค่า K (กึ่ง 6%)

ตย.ที่	1			2			3			4			5			6			Kเฉลี่ย	SD
	Slope	R ²	K	Slope	R ²	K	Slope	R ²	K	Slope	R ²	K	Slope	R ²	K	Slope	R ²	K		
	1.2515	0.8884	1.4367	1.4269	0.969	1.2601	1.4101	0.9673	1.2751	1.7579	0.9798	1.6229	1.3108	0.9538	1.3717	1.9777	0.9284	0.9092	1.2126	0.2048
	3.0183	0.997	0.5957	3.5087	0.9742	0.5125	3.2155	0.9811	0.5592	3.3357	0.9958	0.539	3.3084	0.9842	0.5435	3.4607	0.9904	0.5196	0.5449	0.0301
	3.3339	0.9954	0.5393	3.3276	0.9885	0.5404	3.2203	0.9946	0.5584	3.6066	0.9884	0.4986	2.9638	0.9954	0.6067	2.9772	0.9859	0.604	0.5579	0.0417
	3.6887	0.9784	0.4875	3.6035	0.9965	0.499	4.0356	0.9959	0.4456	2.8704	0.9824	0.6264	3.6268	0.9789	0.4958	3.5150	0.9844	0.5115	0.5110	0.0609
	3.8023	0.9832	0.4729	2.8911	0.9768	0.6219	3.0548	0.9889	0.5886	3.0032	0.9872	0.5987	2.8661	0.9944	0.6274	3.2233	0.986	0.5578	0.5779	0.0572
	3.0488	0.9918	0.5898	2.6392	0.9851	0.6873	3.2420	0.9916	0.5546	3.1521	0.9942	0.5704	2.1640	0.9909	0.8309	2.5895	0.9621	0.6944	0.6536	0.1046
	3.4709	0.9836	0.518	3.4234	0.9906	0.5252	2.6928	0.99	0.6677	3.0004	0.9803	0.5993	3.5587	0.9747	0.5053	3.3239	0.9969	0.541	0.5594	0.0624
	2.9729	0.9873	0.6048	2.8139	0.9727	0.639	2.8281	0.9978	0.6358	2.7537	0.9487	0.653	2.4918	0.9958	0.7216	2.9943	0.9707	0.6005	0.6425	0.0438
	2.7496	0.9614	0.6539	3.1962	0.9913	0.5026	3.1913	0.9697	0.5634	3.2860	0.9722	0.5472	3.3291	0.9816	0.5401	3.0247	0.7800	0.5945	0.5770	0.0421
	2.2098	0.9825	0.8137	2.7415	0.9718	0.6559	2.3462	0.9330	0.7664	2.1315	0.9681	0.8436	2.6182	0.9874	0.6868	2.1121	0.9895	0.8513	0.7696	0.0823

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้คัดลอกไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณ อาจารย์พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนแนวทางในการแก้ปัญหา อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อโครงการ ขอขอบพระคุณ อาจารย์ สาทิป รัตนภาสกร อาจารย์ กนต์กนิษฐ์ ขวัญพุกภัย อาจารย์ เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง ที่กรุณามาเป็นกรรมการสอบโครงการและให้คำแนะนำที่ดี

ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาและเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการสร้างและการปรับปรุงแก้ไข เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง จนประสบผลสำเร็จ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณและขอบใจ ผู้ที่ให้กำลังใจในการทำโครงการฉบับนี้จนสำเร็จไปด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. กฤษณา ชูติมา , 2531, “หลักเคมีทั่วไป เล่ม 1”, พิมพ์ครั้งที่ 10, กรุงเทพมหานคร, หน้า 414
2. กัญญา เกาหงศคราม, ชัยยุทธ รัชฎพิทยากุล, สรายุทธ ชำนิกุล และ สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ, “การศึกษาสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และทางความร้อนของกุ้งและปลาหมึก”, รายงานการวิจัย ทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดินปี 2543 รายงานฉบับสมบูรณ์
3. ประจวบ หล้าอุบล, 2537, “กุ้ง”, พิมพ์ครั้งที่ 2, โครงการหนังสือเกษตรชุมชน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร
4. ประเสริฐ สุทธิประสิทธิ์, ชลลดา ปรีดา และ รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2538, “ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับน้ำในอาหาร” และ “โปรตีน”, เอกสารการสอนชุดวิชาเคมีและจุลชีววิทยาของอาหาร หน่วยที่1-5, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, หน้า 21-35, 103-145
5. ปานมนัส ศิริสมบูรณ์, พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, และ สาทิป์ รัตนภาสกร, 2538, “สมบัติทางความร้อน”, สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของชีววัสดุ, ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
6. วัลลภ คงเพิ่มพูน, 2532, “กุ้งกุลาดำ”, กรุงเทพมหานคร โครงการหนังสือเกษตรชุมชน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
7. สีวาพร สีเวชช์, 2535, “สารประกอบฟอสเฟต”, วัตถุประสงค์ในอาหาร เล่ม 1, ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหารคณะอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์หน้า 94-127
8. Bahge-Khandan M. S., Y. Choi and M. R. Okos, 1981, “Improved Line Heat Source Thermal Conductivity Probe”, Journal of Food Science, Vol. 46, No. 6, pp.1430-1432
9. Bennette C. O. and J. E. Myers, 1983, “Momentum, Heat and Mass Transfer”, 3rd Edition, Japan, McGraw Hill International Book Company
10. Choi Y. and M. R. Okos, 1986, “Effects of Temperature and Composition on The Thermal Properties of Foods”, Food Engineering and Process Applications, Vol. 1
11. Edgar G. Murakami, 1994, “Thermal Processing Affects Properties of Commercial Shimp and Scallops, Journal of Food Science, Vol. 59, No. 2, pp.237-241
12. El-Sahrigi A.E., Y. M. Hassan, S. A. Soliman and H. A. Ec-Mansy, 1981, “Physico-Thermal Properties of Some Varieties of Fish and Meat”, Proceeding of European Meeting of Meat

Research Worker, Vol. 1, No. 27, pp. 339-342

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. Fennema, W. D. Powrie and E. H. Marth, 1973, "Low Temperature Preservation of Foods and Living Matter", New York, Marcel Dekker Inc., pp. 87-96
14. Hill J. E., J. D. Leitman and J. E. Sunderland, 1976 , "Thermal Conductivity of Various Meat", Food Technology, Vol. 21, pp. 1143-1148
15. Jianrong Zhang, E. Brian Farkas and S. Andrew Hale, 2001, "Thermal Properties of Skipjack Tuna (*Katsuwonus Pelamis*)", International Journal of Food Properties, 4(1), pp.81-90
16. Karunakar B., K. Sushanta Mishra and Sukumar Bandyopadhyay, 1998, "Specific Heat and Thermal Conductivity of Shrimp Meat", Journal of Food Engineering, Vol. 37, pp.345-351
17. Kumbhar B. K. A., R. S. Garwal and K. Das, 1981 , "Thermal Properties of Fresh and Frozen Fish", International Journal of Refrigeration, Vol. 4, No. 3 ,pp.143-146
18. Lamb J., 1976 , "Influence of Water on Thermal Properties of Food", Chemistry and Industries 24 pp. 1046-1048
19. Matuszek T., R. Niesteruk and A. G. Ojahuga, 1983, "Temperature Conductivity of Krill, Shrimp and Squid Over The Temperature Range 240-330 K", Proceeding of The 6th International Congress of Food Science and Technology 1, pp. 221-222
20. Mohsenin N. N., 1980, "Thermal Properties of Food and Agricultural Materials", New York, Gordon and Breach Publisher, pp 12:34-142
21. Murakami E.G., V.E. Sweat, S.K. Sastry, E. Kolbe, K. Hayakawa and Datta, 1994 , "Recommended Design Parameters for Thermal Conductivity Probes for Nonfrozen Food Materials", Journal of Food Engineering ,Vol. 27, pp.109-123
22. Nesvadba P. and C. Eunson, 1984, "Moisture and Temperature Dependence of Thermal Diffusivity of Cod Minces", Journal of Food Technology 19 , pp. 585-592
23. Ngadi M. O., P. Mallikarjunan and M. S. Chinnan, 2000, "Thermal Properties of Shrimps, French Toasts and Breading", Journal of Food Process Engineering 23, pp.73-87
24. Perez M.G.R. and A. Calvelo, 1984, "Modeling the Thermal Conductivity of Cooked Meat", Journal of Food Science, Vol. 49, pp.152-156
25. Polley J. L., O. P. Synder and P. Kotnoor, 1980 , "A Complication of Thermal Properties of Foods", Food Technolgy, Vol. 34, No. 11, pp.76-94
26. Rahman M.S., P.L. Potluri and A. Varamit, 1991, "Thermal Conductivities of Fresh and Dried Seafood Powders", Transactions of The ASAE, Vol.34, pp.217-220

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

27. Sanvadori V.O. and R.H. Masheroni, 1991, “Prediction of Freezing and Thawing Time of Foods by Means of a Simplified Analytical Method”, Journal of Food Engineering, Vol.13, pp.67
28. Sweat V.E., 1974 , “Experimental Values of Thermal Conductivity of Selected Fruits and Vegetable”, Journal of Food Science, Vol.39 ,pp. 1080



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้