

อิทธิพลของตำแหน่งน้ำแข็งต่อการกระจายอุณหภูมิในกล่องฉนวนกันความร้อน
effect of ice position on temperature distribution in an insulated box



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อิทธิพลของตำแหน่งน้ำแข็งต่อการกระจายอุณหภูมิในกล่องฉนวนกันความร้อน
Effect of ice position on temperature distribution in an insulated
box



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

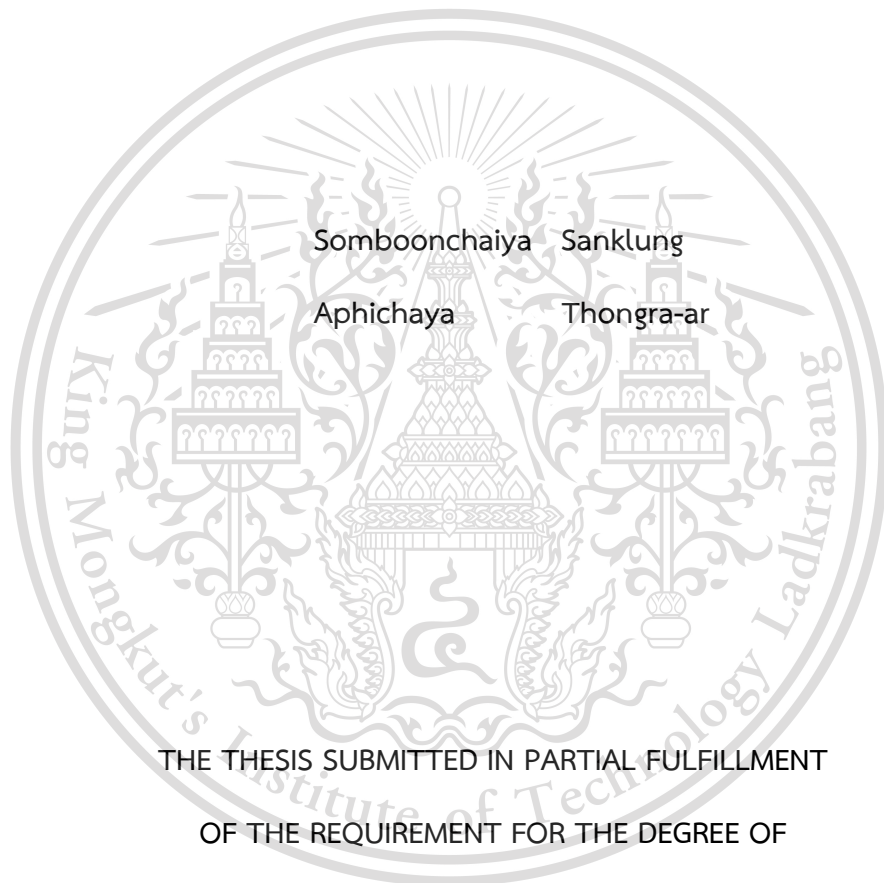
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Effect of ice position on temperature distribution in an insulated box



THE THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อิทธิพลของตำแหน่งน้ำแข็งต่อการกระจายอุณหภูมิในกล่องฉนวนกันความร้อน
Effect of ice position on temperature distribution in an insulated box

ผู้จัดทำ

1. นายสมบูรณ์ชัยยะ แสนคลัง รหัสประจำตัว 60011015

2. นางสาวอภิษฐา ทองระอา รหัสประจำตัว 60011148



(ดร.ณัฐติ ชาวเมือง)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หัวข้อโครงการ นักศึกษา	อิทธิพลของตำแหน่งน้ำแข็งต่อการกระจายอุณหภูมิในกล่องฉนวนกันความร้อน นายสมบูรณ์ชัยยะ แสนคลัง นางสาวอภิษฎา ทองระอา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ณัฐวุฒิ ชาวเมือง
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมอาหาร
ปีการศึกษา	2563

บทคัดย่อ

โครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการกระจายอุณหภูมิในกล่องฉนวนกันความร้อนที่มีน้ำแข็งเป็นตัวกลางให้ความเย็น ในการศึกษาเริ่มจากการคำนวณหาปริมาณน้ำแข็งที่ต้องใช้สำหรับการใช้งานกล่องฉนวนกันความร้อนขนาด 40 ลิตร เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง ผลการคำนวณพบว่าต้องใช้น้ำแข็งประมาณ 3 กิโลกรัม จากนั้นจึงทำการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในกล่องฉนวนกันความร้อนด้วยสายเทอร์โมคัปเปิลชนิดที่ โดยมีการบรรจุน้ำแข็งในปริมาณตามที่คำนวณได้ภายในกล่องฉนวนกันความร้อน 2 รูปแบบคือ (1) บรรจุน้ำแข็งทั้งหมดที่ก้นกล่อง และ (2) แบ่งบรรจุน้ำแข็งไปตามผนังรอบกล่อง สำหรับทั้งสองกรณีกล่องฉนวนกันความร้อนจะถูกวางไว้ในห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 24 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่ากล่องฉนวนกันความร้อนที่มีการบรรจุน้ำแข็งไว้โดยรอบมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส และการกระจายอุณหภูมิทั่วทั้งกล่องมีความสม่ำเสมอ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยที่บริเวณด้านล่าง กึ่งกลางและด้านบนของกล่องมีค่าเท่ากับ 2.5, 2.8 และ 4.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ขณะที่การวางน้ำแข็งไว้เฉพาะที่บริเวณก้นกล่อง พบว่าการกระจายอุณหภูมิต่ำกว่า ไม่สม่ำเสมอ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยที่บริเวณด้านล่าง กึ่งกลางและด้านบนของกล่องมีค่าเท่ากับ 7.9, 9.7 และ 11.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นชัดเจนว่าการวางน้ำแข็งมีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในกล่อง โดยการวางน้ำแข็งไว้รอบกล่องถือเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้

คำสำคัญ : การกระจายอุณหภูมิ, กล่องฉนวนกันความร้อน, ตำแหน่งน้ำแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Project Title	Effect of ice position on temperature distribution in an insulated box
Students	Mr. Somboonchaiya Sanklung Ms. Aphichaya Thongra-ar
Project Advisor	Asst. Prof. Dr. Nattawut Chaomuang
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Food Engineering
Academic Year	2020

Abstract

This study was conducted to investigate the temperature distribution inside an insulated box for which ice was used as a cold medium. Firstly, the quantity of ice was estimated to be used in the insulated box with a capacity of 40 L for a working duration of 8 hours. It was found that the insulated box required approximately 3 kg of ice. Air temperatures were measured at various positions in the insulated box using thermocouples (type T). Ice was arranged in the insulated box under two configurations: (1) ice was placed at the bottom of the box; (2) ice was evenly placed around the lateral walls of the box. For both configurations, the measurements were performed in the room where the temperature was controlled at $24 \pm 1^\circ\text{C}$ for a experiment duration of XX hours. The results shown that the insulated box in which the ice was placed around its lateral walls had the average temperature of less than 4°C with homogeneous temperature distribution. The average temperatures at the bottom, in the middle and at the top of the box were 2.5 , 2.8 , and 4.0°C , respectively. On the contrary, the insulated box filled with ice at its bottom had heterogeneous temperature distributions. The average temperatures at the bottom, in the middle and at the top of the box were 7.9 , 9.7 , and 11.0°C , respectively. This finding emphasized the effect of ice placement on the temperature distribution inside the insulated box. The placement of ice around the box was more appropriate to be implemented in the real use condition.

Keywords: temperature distribution, ice container, ice position

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความกรุณาจาก ดร.ณัฐวุฒิ ชาวเมืองอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งคอยให้คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือสนับสนุนในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณคณะอาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับข้อเสนอแนะและความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านขอขอบคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ที่ดูแลช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านตลอดมา ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และคอยสอบถามความก้าวหน้าของโครงการ สุดท้ายนี้คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากปริญญานิพนธ์เล่มนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน



นายสมบูรณ์ชัยยะ แสนคลัง

นางสาวอภิษฎา ทองระอา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
รายการสัญลักษณ์	VIII
บทที่ 1	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2	3
2.1 น้ำแข็ง	3
2.2 ถังน้ำแข็ง	4
2.3 เทอร์โมคัปเปิล	5
2.4 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Data Logger)	6
2.5 ความร้อนสัมผัส (sensible heat)	7
2.6 ความร้อนแฝง (Latent heat)	7
2.7 การนำความร้อน (heat conduction)	8
2.8 การพาความร้อน (heat convection)	9
2.9 การแผ่รังสีความร้อน (radiation heat transfer)	11
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3	12
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย	15
3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย	15
3.2.1 ให้อัตราการละลายของน้ำแข็ง	16
3.2.2 คำนวณหามวลของน้ำแข็งที่จะใช้ในถังน้ำแข็ง	16
3.2.3 เปรียบเทียบมวลของน้ำแข็ง	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

3.2.4 การกระจายอุณหภูมิจากอากาศภายในถังน้ำแข็ง	18
บทที่ 4	20
4.1 อัตราการละลายของน้ำแข็ง	20
4.2 ทำการคำนวณหามวลของน้ำแข็งจากสมการทางทฤษฎี	22
4.3 คำนวณหามวลของน้ำแข็งจากสมการจากการทดลอง	22
4.4 การกระจายอุณหภูมิจากอากาศภายในถังน้ำแข็ง	23
บทที่ 5	25
5.1 สรุปผลการดำเนินการ	25
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการปรับปรุง	25
บรรณานุกรม	26
ภาคผนวก	28



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
รูปที่ 2.1	น้ำแข็ง	4
รูปที่ 2.2	ถังน้ำแข็ง	4
รูปที่ 2.3	ลักษณะวงจรของเทอร์โมคัปเปิล	5
รูปที่ 2.4	ลักษณะของdata logger, Agilent 34970A	6
รูปที่ 2.5	การพาความร้อนแบบธรรมชาติ	10
รูปที่ 2.6	การพาความร้อนแบบธรรมชาติจากแผ่นของแข็งสู่ของไหลในแนวตั้ง	11
รูปที่ 2.7	รูปแสดงคุณสมบัติเชิงรังสี	12
รูปที่ 3.1	แสดงแผนผังการดำเนินการ	15
รูปที่ 3.2	แผนภาพของบรรจุภัณฑ์	16
รูปที่ 3.3	แผนผังโครงสร้างผนังหลายชั้น	17
รูปที่ 3.5	ถังน้ำแข็งที่วางน้ำแข็งด้านล่าง	19
รูปที่ 3.6	ถังน้ำแข็งที่วางน้ำแข็งด้านข้าง	19
รูปที่ 4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของน้ำแข็งและเวลา	20
รูปที่ 4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของน้ำแข็งและเวลา	20
รูปที่ 4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของน้ำแข็งและเวลา	21
รูปที่ 4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของน้ำแข็งและเวลา	21
รูปที่ 4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในและเวลา	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในและเวลา

24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รายการสัญลักษณ์

k_f = การนำความร้อนของชั้นผนัง (W/m*K)

th_f = ความหนาของชั้น (m)

h_f = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของรังสีบนพื้นผิว (W/m²*K)

HPR_{exp} = อัตราเร็วในการถ่ายเทความร้อนจากตัวกลางที่ได้จากการทดลอง (W/K)

\dot{m} = อัตราละลายของน้ำแข็ง (g/hr)

L = ความร้อนแฝง (J/Kg)

Q = ความร้อนที่สูญเสียในระบบ (W)

A = พื้นผิวระบายความร้อนรวม (m²)

ΔT = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิการทำงานและอุณหภูมิต่ำสุด

k = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m°C)

s = ความหนา (m)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันตามร้านอาหารที่เราจะเห็นวัตถุดิบอาหารสดโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับวัตถุดิบที่เน่าเสียง่ายที่มีอายุการเก็บรักษาสั้น ซึ่งต้องใช้การควบคุมอุณหภูมิ เช่น พลาสติกและผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์แปรรูป (Aung & Chang, 2014) ถูกเก็บไว้ในถังน้ำแข็งหรืออุปกรณ์ให้ความเย็น(ตู้เย็น)

ตู้เย็นนั้นมีข้อจำกัดทางด้านพื้นที่ การเข้าถึงแหล่งไฟฟ้า ต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษาตู้เย็น อีกทั้งขนาดของตู้เย็นทำให้ยากต่อการขนย้าย คนส่วนใหญ่จึงหันมาใช้ถังน้ำแข็งเป็นแหล่งให้ความเย็นโดยใส่ในภาชนะบรรจุ เช่น ถังน้ำแข็ง ตู้โชว์อาหาร โดยจะใส่น้ำแข็งไว้ด้านล่างแล้ววางอาหารหรือวัตถุดิบไว้ด้านบน

การศึกษาพบว่าการใช้ถังน้ำแข็งโดยวางน้ำแข็งไว้ข้างล่างทำให้อุณหภูมิภายในถังไม่สม่ำเสมอ (Mirmanto & Wirdan, 2018) จากการถ่ายเทความร้อนโดยน้ำแข็งจะแผ่ความเย็นไปที่บรรจุภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์จะนำความร้อนไปสู่อาหารด้วยเหตุนี้จึงทำให้อาหารหรือวัตถุดิบที่อยู่ใกล้กับน้ำแข็งจะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอาหารหรือวัตถุดิบที่อยู่ไกลจากน้ำแข็งออกไปเป็นผลมา ซึ่งปัญหานี้อาจก่อให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหาร เนื่องจากไม่สามารถกระจายอุณหภูมิให้อาหารได้อย่างทั่วถึงรวมถึงอุณหภูมิไม่เพียงพอในการเก็บรักษา

ด้วยเหตุนี้โครงงานวิจัยจะศึกษาการกระจายอุณหภูมิของกล่องฉนวนกันความร้อนโดยเปรียบเทียบจากตำแหน่งการวางน้ำแข็ง ได้แก่ ด้านล่างและด้านข้าง โดยสมมุติฐานการถ่ายเทความร้อนจากด้านข้างสามารถส่งความเย็นได้ดีกว่าด้านล่างเนื่องจากภายในกล่องไม่มีพัดลมในการถ่ายโอนความร้อนดังนั้นภายในกล่องจะเป็นการแผ่ความร้อนของน้ำแข็งและน้ำแข็งที่อยู่ด้านล่างจะแผ่ความร้อนมาไม่ถึงด้านบน จึงจะศึกษาและเปรียบเทียบกับน้ำแข็งที่อยู่ด้านข้างเพื่อประเมินว่าน้ำแข็งตำแหน่งใดที่มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการเก็บรักษาอาหาร โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอาหารการกระจายอุณหภูมิของน้ำแข็งในถังน้ำแข็ง และการถ่ายเทความร้อนภายในกล่อง

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อคำนวณหาปริมาณน้ำแข็งที่เหมาะสมต่อใช้งาน

1.2.2 เพื่อศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศภายในกล่องฉนวนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ตำแหน่งที่ใช้ติดตั้งน้ำแข็ง คือ ด้านล่างถังและด้านข้างภายในกล่องฉนวนความร้อน

1.3.2 ทดลองในอุณหภูมิห้อง 24 °C

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ทราบถึงการกระจายตัวอุณหภูมิของอากาศภายในถังน้ำแข็ง

1.4.2 เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการเลือกใช้ตำแหน่งของน้ำแข็ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

ในการวิเคราะห์โครงการวิจัยมีตัวแปรที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ติดตั้งตำแหน่งต่าง ๆ เชิงทฤษฎี โดยทำการวิเคราะห์ตำแหน่งในการวางน้ำแข็งโดยจะวางน้ำแข็งในถังน้ำแข็งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถนอมอาหารที่เพียงพอต่อการรักษาอาหาร เพื่อทำการศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในถังน้ำแข็ง ส่งผลให้นำมาใช้ในการประกอบการตัดสินใจเลือกตำแหน่งที่เหมาะสมในการใช้งาน ดังนั้น โครงการวิจัยนี้ได้ทำการรวบรวมเอกสารอ้างอิงและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นพื้นฐานและนำหลักการออกแบบมาประยุกต์ใช้ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

2.1 น้ำแข็ง

น้ำแข็งเป็นชื่อเรียกของสถานะของแข็งของน้ำซึ่งมักอยู่ในรูปของผลึกของน้ำ ซึ่งโดยปกติจะมีลักษณะใสหรือมีสีฟ้าขาวใสปนอยู่ด้วย ขึ้นอยู่กับการมีสิ่งเจือปนในน้ำแข็งนั้น โดยสถานะปกติ น้ำแข็งจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำในรูปของเหลวมีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส (32 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ 273.15 เคลวิน) สามารถแข็งตัวจากสถานะก๊าซโดยไม่ผ่านสถานะของเหลวเลยก็ได้

ในปัจจุบันน้ำแข็งมีหลากหลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับการใช้งาน ซึ่งในปัจจุบันเราจะแยกลักษณะทั่ว ๆ ไป ซึ่งในการทดลองใช้น้ำแข็งเกล็ดกรอบที่ผ่านระบบทำความเย็น ทำให้น้ำแข็งมีความหนาแน่นของน้ำประมาณ 70% จึงทำให้มีลักษณะกรอบ มีคุณสมบัติพิเศษคือให้ความเย็นที่เร็วเนื่องจากน้ำแข็งเป็นเกล็ดมีอุณหภูมิไม่หนาแน่นจึงละลายได้เร็ว (Wilson Bentley, 1902).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.1 น้ำแข็ง

(ที่มา: <https://bit.ly/3uETyAE>)

2.2 ถังน้ำแข็ง (Ice Container)

เป็นภาชนะที่ใช้บรรจุน้ำแข็งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในการเก็บรักษาอาหาร (food storage) สามารถพบได้ทั่วไปในประเทศไทย โดยที่ภาชนะเป็นรูปเหลี่ยม ในการเก็บรักษาหรือถนอมอาหาร เช่น ผัก, ผลไม้, เนื้อสัตว์ ให้มีอายุในการเก็บรักษานานขึ้นเพื่อการบริโภคหรือเพื่อการจำหน่าย การยืดอายุอาหารสามารถทำได้โดยลดอุณหภูมิให้ต่ำลง ซึ่งเป็นการลดการแพร่ขยายของแบคทีเรียต่าง ๆ ซึ่งเป็นสาเหตุการเสื่อมเสียของอาหาร (food spoilage) หรือ การลดลงของคุณภาพทางด้านกายภาพ เช่น สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ ทำให้อาหารไม่เป็นที่ต้องการไม่ปลอดภัย หรือไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค



รูปที่ 2.2 ถังน้ำแข็ง

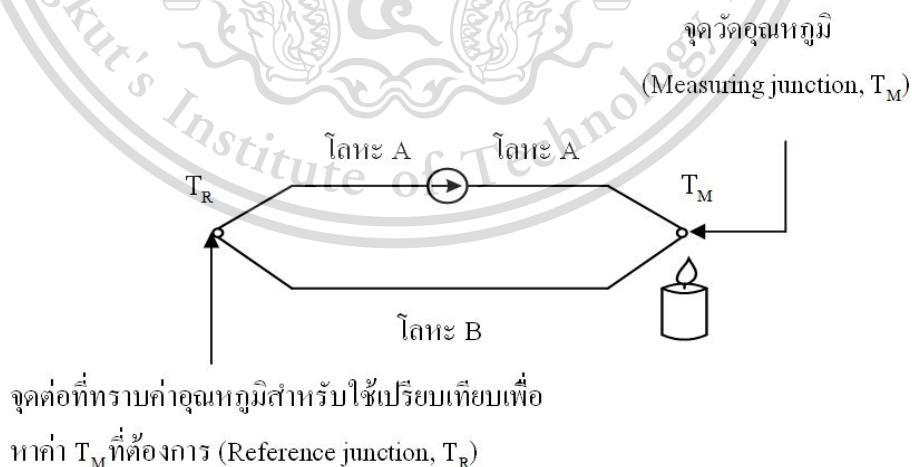
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ (ที่มา: <https://bit.ly/34zJ9fb>) อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3 เทอร์โมคัปเปิล (thermocouple)

เป็นทรานสดิวเซอร์ หรือ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ที่ทำงานโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้าในรูปของแรงดันไฟฟ้า จัดเป็นทรานสดิวเซอร์ประเภทแอคทีฟ สามารถกำเนิดแรงดันไฟฟ้าได้เอง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างจุดสองจุด โดยไม่จำเป็นต้องกระตุ้นด้วยแหล่งจ่ายพลังงานจากภายนอก เป็นอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูง สามารถใช้งานได้โดยตรงในรูปแบบของเครื่องมือวัด หรือการส่งสัญญาณทางด้านเอาต์พุตให้กับระบบควบคุม ซึ่งปรากฏสำคัญที่เกี่ยวข้องกับเทอร์โมคัปเปิล คือปรากฏการณ์ซีเบ็ค (seebeck effect) เทอร์โมคัปเปิลประกอบด้วยเส้นลวดโลหะตัวนำต่างชนิดสองเส้นต่อเข้าด้วยกัน การเชื่อมต่อจุดวัดนี้จะส่งผลต่อช่วงเวลาการตอบสนองของการอ่านค่า ปลายข้างหนึ่งใช้เป็นจุดวัดอุณหภูมิหรือรอยต่อร้อน ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งนำไปต่อกับมิเตอร์หรือวงจรอื่น ๆ เพื่อแสดงผล เรียกว่า รอยต่อเย็น ใช้สำหรับเป็นจุดอ้างอิงที่จุดนี้ต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ โดยเมื่อบริเวณจุดวัดอุณหภูมิได้รับความร้อนในขณะที่รอยต่อเย็นมีอุณหภูมิคงที่ความต่างศักย์ระหว่างรอยต่อร้อนและรอยต่อเย็นที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้น ค่ากระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถวัดค่าและปรับให้อยู่ในหน่วยของอุณหภูมิได้ โดยการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงดันขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะตัวนำของเทอร์โมคัปเปิลและอุณหภูมิที่จุดวัด โดยทั่วไปเทอร์โมคัปเปิลที่นำไปใช้งานอยู่ในรูปของซีตเทอร์โมคัปเปิล บางครั้งเรียกว่า ปลอกโลหะหรือโพรบ หรือติดตั้งไว้ในเทอร์โมเวลต์ โดยติดตั้งที่บริเวณปลายของโพรบหรือเทอร์โมเวลต์ เพื่อใช้สัมผัสกับตัวกลางใด ๆ ที่ต้องการวัดอุณหภูมิโดยไม่เกิดการเสียหายอุปกรณ์เพิ่มเติมสำหรับเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิในกระบวนการ ได้แก่ หัวเชื่อมต่อ บางครั้งเรียก หัวกะโหลก ซึ่งอุปกรณ์นี้สามารถป้องกันน้ำและฝุ่นละอองได้ วัสดุที่ใช้ทำหัวเชื่อมต่อ ได้แก่ อะลูมิเนียมอัลลอยด์ เหมาะสำหรับการใช้งานทั่วไป



รูปที่ 2.3 ลักษณะวงจรของเทอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ (ที่มา: นวนภทรา และ ทวีพล, 2555) อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Data Logger)

เป็นอุปกรณ์แสดงผลมีวัตถุประสงค์ที่ชัดเจนในระบบการวัด เพื่อการสื่อสารข้อมูลเกี่ยวกับการวัดให้กับระบบควบคุมหรือมนุษย์เป็นผู้สังเกตแสดงผลในรูปแบบของตัวเลขหรือกราฟผ่านการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ โดยใช้ซอฟต์แวร์ในการจัดการเพื่อนำรายงานการบันทึกอุณหภูมิมาวิเคราะห์หรือประเมินผลต่อได้ สามารถจำแนกออกได้หลายประเภทเช่น อุปกรณ์บันทึกข้อมูลที่สามารถวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิได้เพียงอย่างเดียวไปจนถึง อุปกรณ์บันทึกข้อมูลที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นเช่นการบันทึกอุณหภูมิและความชื้น, บันทึกความดัน, แสง, ความเร็วลม, บันทึกข้อมูลปริมาณแก๊สที่สามารถวัดและบันทึกค่าต่าง ๆ ได้หลายอย่างพร้อม ๆ การเก็บข้อมูลและเซ็นเซอร์หนึ่งตัวหรือมากกว่าหรือพอร์ตเซ็นเซอร์ เครื่องบันทึกข้อมูลสามารถปรับใช้ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลายเพื่อบันทึกการวัดตามเวลาที่กำหนดไว้ยาวนานถึงปีต่อครั้งโดยไม่ต้องใส่ข้อมูล

อุปกรณ์บันทึกข้อมูล จึงสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร การเก็บรักษา คุณภาพไม่ว่าจะเป็น อาหารแช่แข็งหรือปิ้งสุกในการขนส่งยังจะต้องคงสภาพ ที่รับประกันได้ในกลุ่มของเนื้อสัตว์หรือของสดต่าง ๆ จะมีความเสี่ยงมากที่สุด หากเกิดความผิดพลาดในการควบคุมอุณหภูมิเนื่องจากว่าถ้าอุณหภูมิมีความคาดเคลื่อนอาจจะทำให้แบคทีเรียเติบโตและอยู่ในระดับที่อันตราย สำหรับของแห้งที่เรียกก็สามารถเติบโตได้เมื่อควบคุมอุณหภูมิไม่ดีเช่นกันเครื่องบันทึกอุณหภูมิจะถูกนำไปใช้ในตู้เย็นตู้แช่แข็งห้องเย็นเพื่อตรวจสอบสภาพแวดล้อมในการเก็บรักษาอาหารและเครื่องดื่มว่าเป็นไปตามข้อกำหนดหรือไม่



รูปที่ 2.4 ลักษณะของอุปกรณ์บันทึกข้อมูล

(ที่มา: <https://bit.ly/3wPlwtQ>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5 ความร้อนสัมผัส (sensible heat)

ความร้อนถือเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่มีการถ่ายเทพลังงาน โดยอาศัยการแตกต่างกันของอุณหภูมิมี 3 รูปแบบในการถ่ายเทพลังงาน ได้แก่ การนำความร้อน (Conduction), การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (radiation) นอกจากนี้ความร้อนที่วัตถุได้รับหรือดึงออกไปนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ความร้อนสัมผัส (sensible heat) และ ความร้อนแฝง (Latent heat) ความร้อนสัมผัส (sensible heat)

ความร้อนสัมผัส คือ เมื่อสสารได้รับความร้อนหรือคลายความร้อน ที่มีสัดส่วน โดยตรงกับมวลสสารและอุณหภูมิของสสารที่เปลี่ยนไปซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$Q = m \times c \times \Delta T \quad (2.1)$$

โดยที่ Q = ปริมาณความร้อนที่จำเป็นต้องใช้ (kJ)

m = มวลของสสารหรือวัตถุ (kg)

c = ค่าความร้อนจำเพาะของวัตถุนั้น ๆ (kJ/(kg.K))

ΔT = ผลต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้ายของวัตถุเมื่อมีการถ่ายเท

ΔT = ความร้อน (K), ($^{\circ}\text{C}$)

ค่าความร้อนจำเพาะหรือเรียกว่า “(specific heat)” หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้สสารใด ๆ ที่มีน้ำหนัก 1 kg มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C เมื่อต้องการทำให้สสารใด ๆ มีอุณหภูมิ สูงขึ้น 1°C ปริมาณความร้อนที่จำเป็นต้องใช้ ในกระบวนการนี้จะเรียกว่า ปริมาณความจุความร้อน (calorific capacity or heat capacity, C) โดยปริมาณความร้อน และค่าความร้อนจำเพาะมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$C = mc(\text{kJ/k}) \quad (2.2)$$

2.6 ความร้อนแฝง (Latent heat)

ความร้อนแฝง (Latent heat) คือ ปริมาณความร้อนที่เข้าหรือออกจากสสารใด ๆ แล้วทำให้สสารดังกล่าวเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวหรือของเหลวเป็นไอ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เช่น ที่บรรยากาศปกติ น้ำแข็งที่อุณหภูมิ 0°C สามารถเปลี่ยนไปเป็น น้ำ อุณหภูมิ 0°C หรือ น้ำเปลี่ยนไปเป็นไอน้ำที่ 100°C ซึ่งโดยทั่วไปเรา เรียก ความร้อนเหล่านั้นว่า ความร้อน (แฝง) ในการหลอมไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ละลาย และ ความร้อน (แฝง) ในการระเหย ตามลำดับ โดยความร้อนแฝงสามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$Q_L = m \times L \quad (2.3)$$

โดยที่ Q_L = ปริมาณความร้อนแฝง (kJ)
 m = มวลของสสารหรือวัตถุ (kg)
 L = ค่าความร้อนแฝงจำเพาะของวัตถุนั้น ๆ (kJ/kg)

2.7 การนำความร้อน (heat conduction)

การนำความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางที่บแสงสามารถเกิดได้ทั้งของแข็งของเหลว และแก๊ส สำหรับในกรณีการนำความร้อนในของเหลวและแก๊สต้องเป็นตัวกลางที่ไม่มีการเคลื่อนไหวเท่านั้น ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนนั้นมีสัดส่วนกับค่าความลาดชันของอุณหภูมิคูณกับ พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน ซึ่งจะเป็นไปตามสมการด้านล่าง

$$\text{Rate of Conduction } \alpha = \frac{\text{(Area)(Temperature Difference)}}{\text{Thickness}} \quad (2.4)$$

$$q_{\text{cond}} \alpha = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.5)$$

เมื่อ q_{cond} = อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน (J/s)
 A = พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน (m^2)
 T = อุณหภูมิ (K)
 X = ระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อน

ในการคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนนั้นจะต้องมีตัวแปรที่แปรผันตามวัสดุที่เป็นตัวกลาง เนื่องจากวัสดุคนละชนิดจะมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ต่างกัน ซึ่งเรียกค่านี้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน หรือ ค่าความสามารถในการนำความร้อนของวัตถุ (thermal conductivity) ซึ่งจะใช้ตัวอักษร K

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 เป็นสัญลักษณ์ มีหน่วยเป็น $W/m \cdot K$ ดังนั้นการคำนวณอัตราการถ่ายเทโดยการนำความร้อนจึงสามารถคำนวณได้จาก

$$q_{\text{cond}} \alpha = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.6)$$

2.7.1 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity) คือ ค่าที่แสดงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ มีหน่วยเป็น $W/m \cdot k$ โดยค่า k ที่สูงวัสดุจะนำความร้อนมาก ดังนั้นหากต้องการป้องกันการนำความร้อนควรเลือกใช้วัสดุที่มีค่า k ต่ำ ค่า L มีความสัมพันธ์กับค่าความต้านทานความร้อน (R)

$$R = \frac{L}{K} \quad (2.7)$$

โดย R = ค่าความต้านทานความร้อน ($m^2 K/W$)
 L = ความหนาแน่น (m)
 K = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($W/m \cdot k$)

2.8 การพาความร้อน (heat convection)

การพาความร้อน จะเกิดขึ้นในตัวกลางที่สามารถไหลได้ หรือตัวกลางประเภทของเหลวและ แก๊ส แบ่งออกเป็นสองประเภท คือ การพาความร้อนแบบบังคับ (force Convection) และการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (free convection) ซึ่งหากพิจารณาจะเห็นได้ว่าการพาความร้อนเกิดจากการนำความร้อนระหว่างวัตถุกับของไหลที่ผิวสัมผัสซึ่งจะขึ้นอยู่กับการกระจายอุณหภูมิของผิวสัมผัส ทั้งทำให้การคิดหาปริมาณความร้อนที่ในการถ่ายเทจึงต้องคิดในเรื่องของสภาพการไหลด้วย ไม่ใช่แค่ประเภทและรูปร่าง ซึ่งสภาพการไหลก็จะมีทั้งแบบราบเรียบและแบบปั่นป่วน ขึ้นอยู่ว่าการไหลในอยู่ในช่วงเร่งหรือมีความเร็วคงที่ เป็นต้น

ซึ่งเนื่องจากปัจจัยที่ส่งผลต่อการพาความร้อนมากจึงได้รวมค่าปัจจัยต่าง ๆ นี้ให้เป็นค่า

สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ซึ่งจะใช้ตัวอักษร h เป็นสัญลักษณ์ มีหน่วยเป็น $W/m^2 \cdot K$ ดังนั้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหา การคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนจึงสามารถคำนวณได้จาก ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_{\text{conv}} = h(T_{\infty} - T_w) \quad (2.8)$$

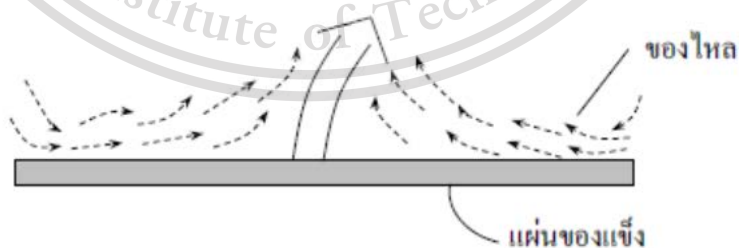
โดย Q_{conv} = อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน (J/s)
 T_{∞} = เป็นอุณหภูมิที่ผิวหน้าวัตถุ
 T_w = อุณหภูมิของกระแสหลัก ณ จุดที่ห่างเพียงพอจากผิวหน้า

บางครั้งสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งบนผิวหน้าของวัตถุ ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนเฉพาะที่ (h_x) แต่ถ้าเป็นค่าเฉลี่ยทั่วผิวหน้าจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนเฉลี่ย (h_m) หากกำหนดให้พื้นที่ถ่ายเทความร้อนเท่ากับพื้นที่หนึ่งเท่ากับ A หน่วย m^2 จะสามารถคำนวณค่าความร้อนที่ไหลผ่านหนึ่งหน่วยพื้นที่ได้เป็น

$$Q_{\text{conv}} = h(T_{\infty} - T_w) A \quad (2.9)$$

2.8.1. การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (natural or free convection)

การพาความร้อนแบบธรรมชาติ คือ การที่ความร้อนเคลื่อนที่ไปในระหว่างผิวของของแข็ง และของไหล โดยที่ของไหลไม่ถูกทำให้เคลื่อนไหวโดยกลไกภายนอก จะเกิดการเคลื่อนที่ได้เนื่องจากความหนาแน่นของของไหลที่แตกต่างกันทำให้ ซึ่งทำให้เกิดแรงผลักดันให้ของไหลที่หนาแน่นต่ำ ลอยตัวขึ้นของไหลที่หนาแน่นสูงกว่าก็จะเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ และทำให้เกิดการหมุนเวียนของของไหล (อนุสรณ์ สุขเกษม, 2550)



รูปที่ 2.5 การพาความร้อนแบบธรรมชาติ

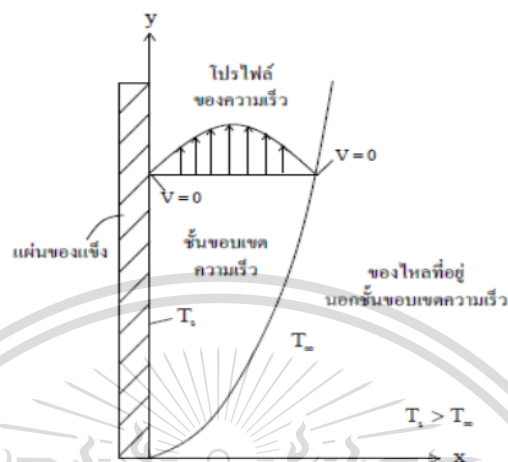
(ที่มา: อนุสรณ์ สุขเกษม, 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กรณีที่แผ่นของแข็งอยู่ในแนวตั้ง อากาศที่ไหลขึ้นเนื่องจากแรงลอยตัวจะเกิดชั้นขอบเขต



รูปที่ 2.6 การพาความร้อนแบบธรรมชาติจากแผ่นของแข็งสู่ของไหลในแนวตั้ง

(ที่มา: อนุสรณ์ สุขเกษม, 2550)

2.9 การแผ่รังสีความร้อน (radiation heat transfer)

การแผ่รังสีความร้อนนั้นสามารถส่งได้ทั้งของแข็ง ของเหลวและแก๊ส จะเกิดขึ้นในกรณีที่สารมีอุณหภูมิไม่เป็นศูนย์สัมบูรณ์ เป็นการส่งพลังงานผ่านชั้นแม่เหล็กหรือฟอตอนซึ่งไม่อาศัยตัวกลางในการถ่ายเทพลังงานความร้อน จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อสภาวะสุญญากาศซึ่งการแผ่รังสีความร้อนสุทธิสามารถคิดได้จากผลต่างของอัตราและการดูดกลืนของรังสี จะมีสองกรณีคือ ถ้าอัตราการดูดกลืนของวัตถุมีค่าน้อยกว่าอัตราการแผ่รังสีจะเรียกพื้นผิวนั้นว่าสูญเสียพลังงาน (losing) ตรงกันข้ามหากการดูดกลืนรังสีมากกว่าจะเรียกว่าได้ รับพลังงาน (gaining)

การแผ่รังสีความร้อนในหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่เกิดจากการที่พื้นที่ผิวปล่อยพลังงานต่อหน่วยพื้นที่ออกมา ซึ่งเรียกว่า กำลังการเปล่ง (emissive power) จะมีค่าสูงสุดตามกฎของสเตฟาน-โบลทซ์มานน์ (Stefan-Boltzmann law) ซึ่งสามารถคำนวณการถ่ายเทความร้อนจากการแผ่ความร้อนได้ดังสมการดังนี้

$$E_b = \sigma T_s^4 \quad (2.9)$$

เมื่อ E_b คือ อัตราการแผ่รังสีสูงสุด(W)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 σ คือ ค่าคงที่ของสเตฟาน-โบลทซ์มานน์ ($\sigma=5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$)
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

T_s คือ อุณหภูมิของพื้นผิว

จากสมการข้างต้นอัตราการแผ่รังสีสูงสุด ซึ่งจะเกิดขึ้นในวัตถุดำ (black body) ที่มีค่าความสามารถในการแผ่รังสี (emissivity) มากที่สุดคือ 1 ซึ่งสำหรับการคำนวณอัตราการแผ่รังสีในกรณีที่วัตถุไม่ใช่วัตถุดำได้ดังนี้

$$E = \epsilon \sigma T_s^4 \quad (2.10)$$

เมื่อ ϵ คือ ค่าความสามารถในการแผ่รังสีของพื้นผิวชนิดนั้น

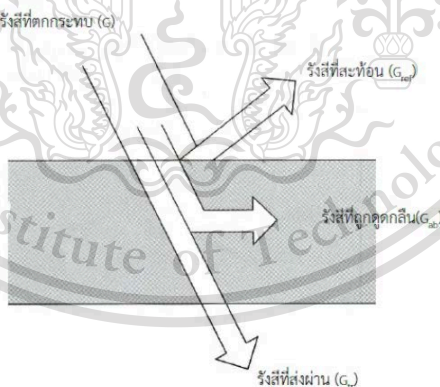
2.9.1 สภาพแผ่รังสี (emissivity)

วัตถุต่างชนิดกันจะมีความสามารถในการแผ่รังสีแตกต่างกัน ซึ่งสามารถกล่าวถึงได้ในรูปของ “สภาพแผ่รังสี” (เสริม จันทรฉาย, 2560) โดย เขียนรูปสมการได้ ดังนี้

$$\epsilon = \frac{E(T)}{E_b T} \quad (2.11)$$

2.9.2 คุณสมบัติเชิงรังสี

เมื่อรังสีตกกระทบวัตถุจะเกิดปรากฏการณ์สามสิ่งดังนี้ ได้แก่ การดูดกลืนรังสี (absorptivity) การสะท้อนรังสี (reflectivity) และการส่งผ่านรังสี (transmissivity) โดยเมื่อรังสีตกกระทบวัตถุ รังสีสามารถผ่านเข้าไปในวัตถุได้บางส่วน อีกส่วนจะถูกดูดกลืน และสะท้อนออกไปสู่ภายนอก (เสริม จันทรฉาย, 2560)



รูปที่ 2.7 รูปแสดงคุณสมบัติเชิงรังสี

(ที่มา: เสริม จันทรฉาย, 2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Burgess G. (1999) ได้ทำการทดสอบการคำนวณความต้านทานความร้อนและความต้องการน้ำแข็งในทางปฏิบัติสำหรับบรรจุภัณฑ์ฉนวน งานวิจัยนี้มีการศึกษารูปแบบของบรรจุภัณฑ์ฉนวนหลายรูปแบบโดยมีขนาดตั้งแต่ 0.5 ถึง 5 ลูกบาศก์ฟุตและโครงสร้างที่แตกต่างกันไปตั้งแต่ตัวทำความเย็นพอลิโพรพิลีนชนิดขยายตัวไปจนถึงการจัดเรียงแบบซับซ้อนในกล่องที่มีและไม่มีพื้นผิวฉนวนนิยเมียมพอยล์ การทดสอบการละลายน้ำแข็งได้ดำเนินการเพื่อวัดความสามารถในการเป็นฉนวนของบรรจุภัณฑ์และใช้ผลลัพธ์เพื่อกำหนดความต้านทานความร้อน (ค่า R) จากนั้นค่า R จะเกี่ยวข้องกับรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างบรรจุภัณฑ์รวมถึงความหนาของผนังจำนวนชั้นและจำนวนพื้นผิวพอยล์ผ่านสมการง่ายๆ เพื่อให้สามารถประมาณได้สำหรับการก่อสร้างใด ๆ จากนั้นสามารถใช้ค่า R ของระบบเพื่อประมาณความต้องการของสารทำความเย็นและเวลาในการกักเก็บอุณหภูมิสำหรับสภาพแวดล้อมการขนส่ง

Choi and Burgess (2006) ได้ทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เชิงปฏิบัติเพื่อทำนายประสิทธิภาพของแพ็คเกจฉนวน งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อประสิทธิภาพของชุดฉนวน ตัวอย่างของการใช้แบบจำลองนี้สำหรับการคำนวณความต้องการของน้ำแข็งรวมอยู่ด้วย โดยฉนวนกันความร้อนถูกใช้ในการใช้งานที่หลากหลายเพื่อป้องกันผลิตภัณฑ์ที่ไวต่ออุณหภูมิจากความเสียหายจากความร้อน มีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฉนวน ปัจจัยเหล่านี้ ได้แก่ วัสดุบรรจุภัณฑ์รูปทรงของบรรจุภัณฑ์รูปทรงเรขาคณิตของผลิตภัณฑ์ และระดับการสัมผัสระหว่างผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ สมการสำหรับการคำนวณความต้านทานความร้อนของผนังหลายชั้น จากนั้นจึงใช้ความต้านทานของผนังในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งรวมถึงปัจจัยดังกล่าว หลักการถ่ายเทความร้อนพื้นฐานที่ครอบคลุมการนำ การพาความร้อน และการแผ่รังสีถูกนำไปใช้กับแบบจำลองและคำนวณอัตราการซึมผ่านของความร้อนของบรรจุภัณฑ์

Mirmanto et al. (2019) ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ตำแหน่งต่างๆ ในกล่องเก็บความเย็นโดยระบบระบายความร้อนของกล่องเก็บความเย็นประกอบด้วย โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก รุ่น TEC1-12706 พัดลมฮีทซิงค์ระบายความร้อนภายในขวดน้ำที่มีปริมาตร 360 มล. โดยตำแหน่งของเทอร์โมอิเล็กทริกติดอยู่ที่ด้านบน ด้านล่าง และด้านข้างผนัง ขนาดกล่องเก็บความเย็นภายในมีขนาด 215 มม. 175 มม. 130 มม. และความหนาของผนังกล่องเย็นเท่ากับ 50 มม. ทำการทดลองประมาณ 18,000 วินาที ที่อุณหภูมิแวดล้อมแบบเปิดพลังงานที่ใช้คือ 38.08 W ผลการวิจัยพบว่าค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นลดลงตามเวลาและตำแหน่งที่ดีที่สุดที่สุดของตำแหน่งเทอร์โมอิเล็กทริกของการศึกษาอยู่ด้านข้างผนัง

2.10.1 สรุปบทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้นำการเปรียบเทียบผลของการวางน้ำแข็ง ณ ตำแหน่งต่างๆ ตามงานวิจัยของ Mirmanto et al. (2019) มาทดลองรวมทั้งอ้างอิงวิธีการวางแหล่งทำความเย็นตามงานวิจัยข้างต้น และได้เพิ่มการศึกษาการเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในถังน้ำแข็งโดยมีอุณหภูมิภายนอก 24 °C ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องศาเซลเซียส และนำแผ่นอะลูมิเนียมมาเป็นฉนวนในการพาความร้อนและการแผ่รังสี และได้ศึกษาว่าการใช้น้ำแข็งเป็นแหล่งการให้ความเย็นในการเก็บรักษาคุณภาพและความปลอดภัยมีประสิทธิภาพเพียงพอแล้วจริงหรือไม่ โดยการเลือกใช้ฉนวนและบรรจุภัณฑ์นั้นได้อ้างอิงวัสดุเพื่อป้องกันผลิตภัณฑ์ที่ไวต่ออุณหภูมิจากความเสียหายจากความร้อนตามงานวิจัยของ Choi and Burgess (2006) นอกจากนี้ยังคำนวณความต้องการน้ำแข็งในทางปฏิบัติตามงานวิจัยของ Burgess G. (1999) หลังจากได้ทำการศึกษางานวิจัยข้างต้นก็ได้อ้างอิงวิธีการทดลอง หลักการคำนวณ และผลการทดลองได้กับงานวิจัยข้างต้นว่าไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

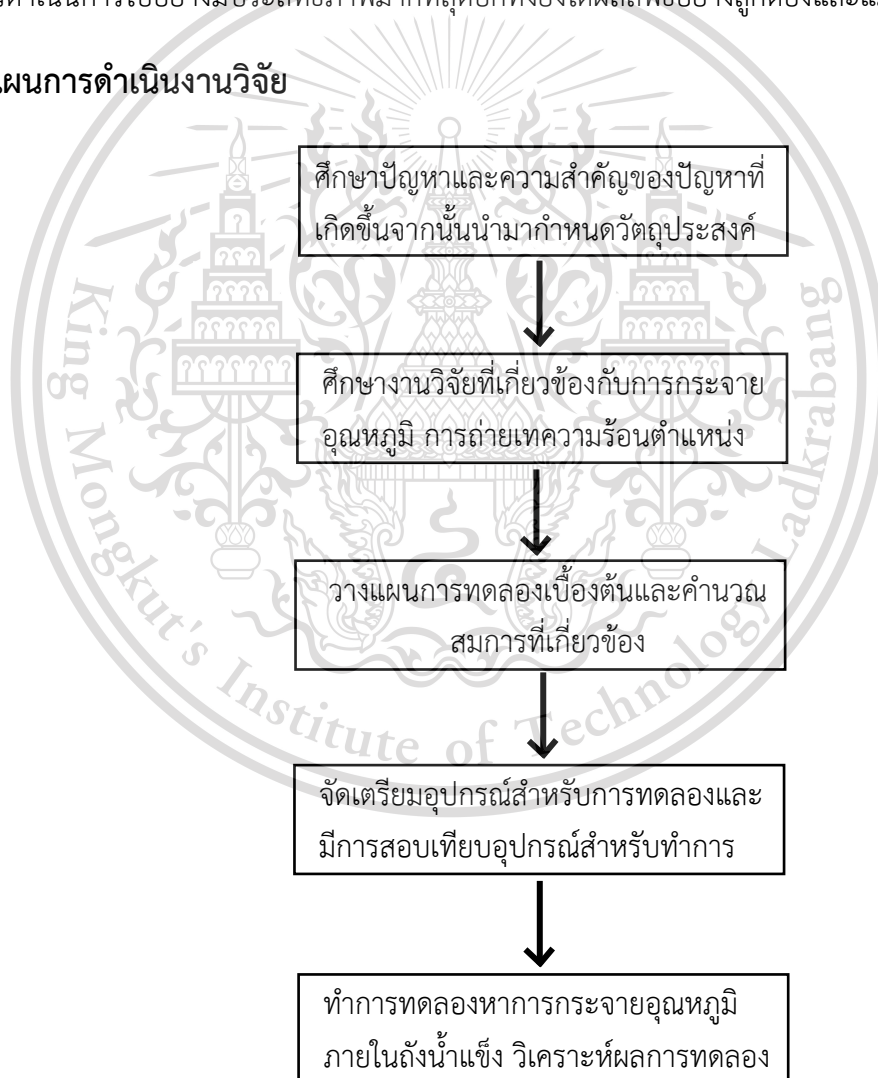
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการในโครงการวิจัยจำเป็นต้องมีการวางแผนดำเนินการก่อนลงมือปฏิบัติตามแผนที่วางไว้ การสอบเทียบ การรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการนำข้อมูลที่รวบรวมมาตรวจสอบ เพื่อให้การดำเนินการไปอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด อีกทั้งยังได้ผลลัพธ์อย่างถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังการดำเนินการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการทดลองจะเริ่มจากการสอบเทียบสายเทอร์โมคัปเปิลที่จะใช้ในการวัดอุณหภูมิโดยเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้เป็นแบบ T เนื่องจากเทอร์โมคัปเปิลแบบ T เหมาะสำหรับการวัดอุณหภูมิในย่านต่ำ เช่น การวัดอุณหภูมิในห้องเย็น (cold storage) และตู้แช่แข็ง (freezer) มีเสถียรภาพในการวัดที่ดี สามารถทนต่อบรรยากาศที่มีการก่ดร้อนและมีความชื้นได้ดี ไม่เหมาะกับงานที่ต้องสัมผัสกับการแผ่รังสีความร้อนโดยตรง (นวกัทรานและทวีพล, 2555) จากนั้นหาอัตราการละลายของน้ำแข็งเพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณต่อเพื่อหาค่าอัตราเร็วในการถ่ายเทความร้อนจากตัวกลาง (Heat penetration rate)

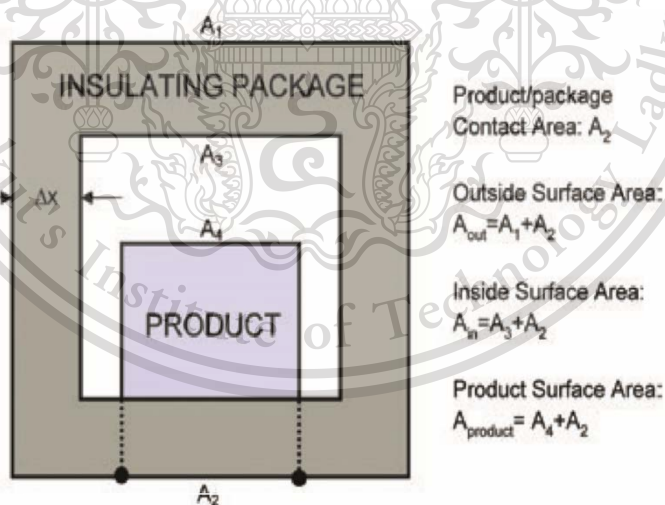
3.2.1 หาอัตราการละลายของน้ำแข็ง

ใช้น้ำแข็ง 1,000 กรัม เพื่อมาหาอัตราการละลายโดยชั่งน้ำหนักทุก ๆ 1 ชั่วโมงจากนั้นนำมาทำกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลและเวลาความชื้นของกราฟที่ได้คืออัตราการละลายของน้ำแข็งหรือคำนวณจากสมการ

$$\text{rate} = \frac{m \times L_{ice}}{\Delta t} \quad (3.1)$$

3.2.2 จำนวนหามวลของน้ำแข็งที่ใช้ในถังน้ำแข็ง

3.2.2.1 จำนวนพื้นที่ผิว A_1 A_2 A_3 และ A_4 ในตารางเมตร จำนวนความหนาของผนังบรรจุภัณฑ์เฉลี่ย โดย A_1 A_2 A_3 และ A_4 แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภาพของบรรจุภัณฑ์

ที่มา: (Seung-Jin Choi and Gary Burgess, 2007)

3.2.2.2 ทาการแผ่รังสีที่ผิวภายนอก (ϵ_{out}) การแผ่รังสีผิวด้านใน (ϵ_{in}) และการแผ่รังสีผิว

ผลิตภัณฑ์ ($\epsilon_{product}$)

3.2.2.3 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนพื้นผิวโดยใช้สูตรต่อไปนี้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

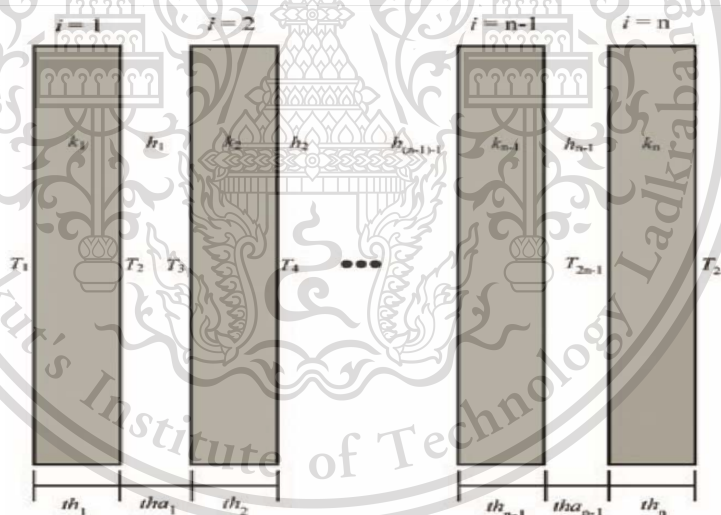
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$h_{\text{out}}=1.778+5.198\varepsilon_{\text{out}} \quad (3.2)$$

$$h_3=3.557 \frac{A_4}{A_3+A_4} + \frac{4.600}{\frac{A_3}{A_4} \frac{1}{\varepsilon_{\text{in}}} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{product}}} - 1} \quad (3.3)$$

3.2.2.4 ความต้านทานความร้อนของผนัง (thermal resistance of the wall) ในที่นี้หมายถึงผนังของถังน้ำแข็งแสดงดังรูปที่ 3 และสมการที่ใช้คำนวณดังนี้

$$RW = \sum_{i=1}^n \frac{th_i}{k_i} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{h_i} \quad (3.4)$$



รูปที่ 3.3 แผนผังโครงสร้างผนังหลายชั้น

ที่มา : (Seung-Jin Choi and Gary Burgess, 2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.2.5 ทหาอัตราเร็วในการถ่ายเทความร้อนจากตัวกลาง (Heat penetration rate)

เป็นการศึกษาการแทรกผ่านความร้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ ในการทดสอบการแทรกผ่านความร้อนในอาหารกระป๋องนั้นจะคำนวณพื้นที่รวมถึงความร้อนในแต่ละพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ โดยทางทฤษฎีจะคำนวณค่า HPR ได้จากสมการดังนี้

$$HPR = \frac{1}{\frac{1}{h_{out}A_{out}} + \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{h_3A_3} + \frac{1}{\sqrt{A_1A_3}}} + \frac{A_2}{RW}}}} \quad (3.5)$$

3.2.2.6 ทหามวลของน้ำแข็งที่ใช้ในถังน้ำแข็ง

$$M_{ice} = \frac{HPR \times \Delta T \times t_s}{93} \quad (3.6)$$

3.2.3 เปรียบเทียบมวลของน้ำแข็ง

เปรียบเทียบมวลน้ำแข็งที่คำนวณทางทฤษฎีกับมวลของน้ำแข็งจากการทดลองโดยการทดลองจะได้ค่า HPR จากสมการที่ 3.7

$$HPR_{exp} = \frac{\dot{m} \times L}{\Delta T} \quad (3.7)$$

นำค่า HPR_{exp} มาแทนในสมการที่ 3.8

$$Q = (HPR_{exp} \Delta T) + mC_p \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (3.8)$$

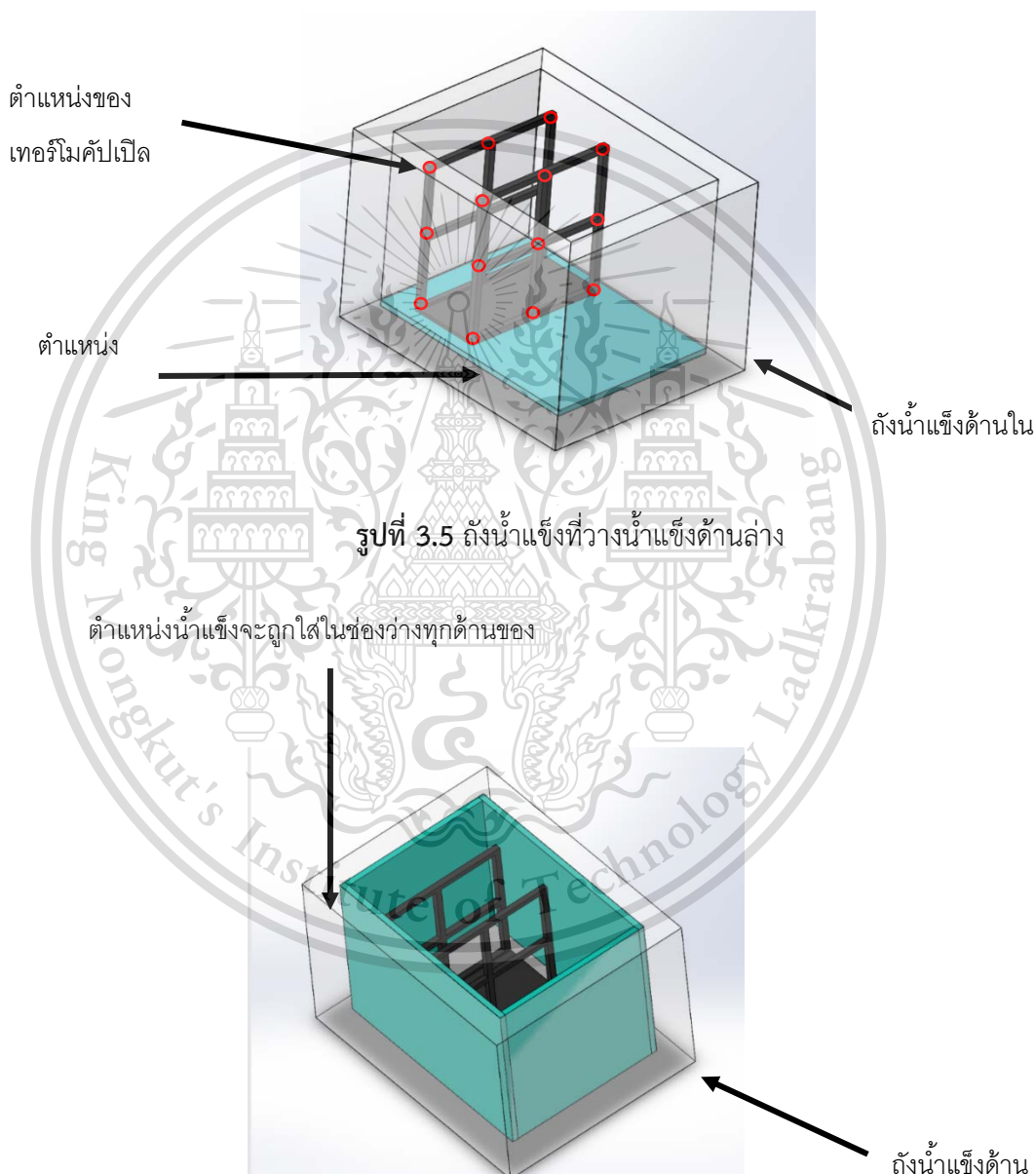
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.4 การกระจายอุณหภูมิของอากาศภายในถังน้ำแข็ง

ในการทดลองการกระจายตัวอุณหภูมิของอากาศจะแบ่งการทดลองเป็น 2 แบบดังแสดงในรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 โดยจะทำการวัดอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งภายในกล่องจากนั้นนำมาทำการเปรียบเทียบกันในแง่ของความสม่ำเสมอของอุณหภูมิในแต่ละจุดจากนั้นนำมาวิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง



รูปที่ 3.6 ถังน้ำแข็งที่วางน้ำแข็งด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

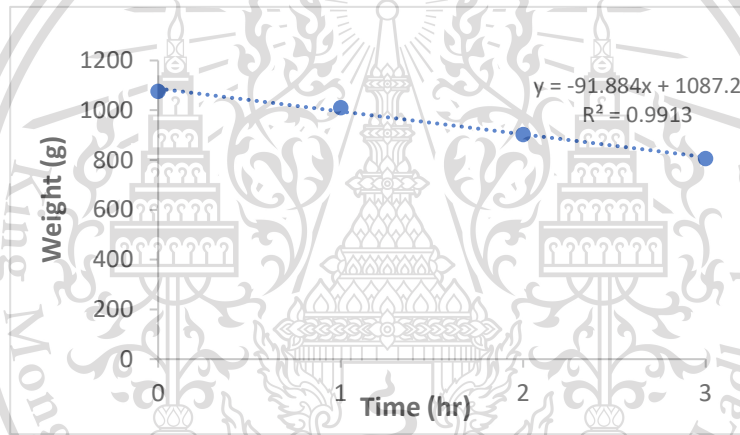
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

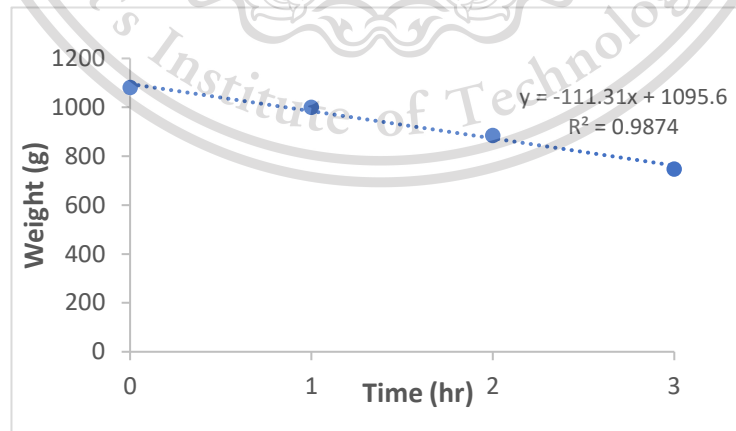
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 อัตราการละลายของน้ำแข็ง

จากการทดลองการหาอัตราการละลายของน้ำแข็งโดยทำซ้ำ 3 ครั้ง ครั้งแรกมวลน้ำแข็งเริ่มต้นเท่ากับ 1076.91 กรัม เมื่อผ่านไป 3 ชั่วโมง มวลของน้ำแข็งเหลือ 806.52 กรัม ครั้งที่สองมวลน้ำแข็งเริ่มต้นเท่ากับ 1081.1 กรัม เมื่อผ่านไป 3 ชั่วโมง มวลของน้ำแข็งเหลือ 748.11 กรัม ครั้งที่สามมวลของน้ำแข็งเริ่มต้นเท่ากับ 1076.76 กรัม เมื่อผ่านไป 3 ชั่วโมง มวลของน้ำแข็งเหลือ 710.38 กรัม ดังแสดงในรูปแบบที่ 4.1 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของน้ำแข็งและเวลา

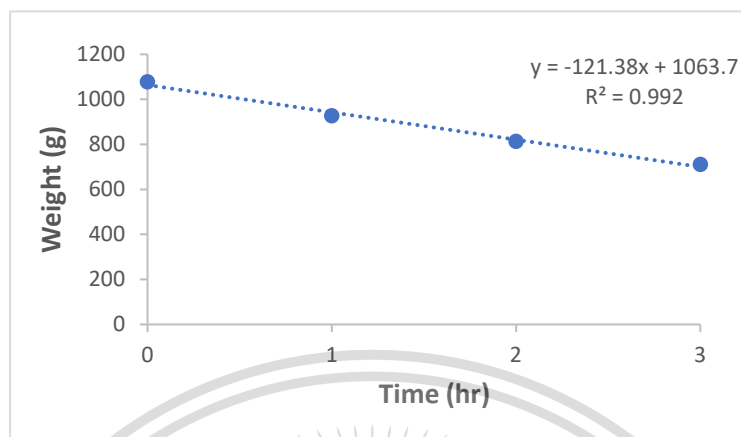


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของน้ำแข็งและเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

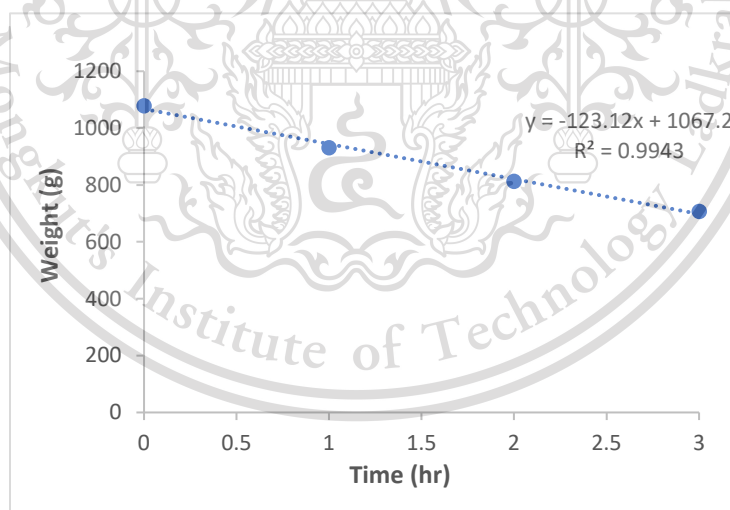
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของน้ำแข็งและเวลา

เห็นได้ชัดว่ามวลของน้ำแข็งลดลงเมื่อเวลาผ่านไปและลดลงเป็นเส้นตรงเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนของน้ำแข็งคงที่และจะได้สมการเส้นตรงมาจากการเขียนกราฟซึ่งความชันของกราฟก็คืออัตราการละลายของน้ำแข็ง



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของน้ำแข็งและเวลา

จากรูปที่ 4.4 จะแสดงถึงอัตราการละลายของน้ำแข็งโดยเฉลี่ยมาจากการทดลอง 3 ชั่วโมง น้ำหนักของน้ำแข็งเริ่มต้น 1078.27 กรัมเมื่อผ่านไป 1 ชั่วโมง น้ำหนักน้ำแข็งลดลงเหลือ 931.68 กรัม เมื่อผ่านไป 2 ชั่วโมง น้ำหนักน้ำแข็งลดเหลือ 812.86 กรัม เมื่อผ่านไป 3 ชั่วโมง น้ำหนักน้ำแข็งลดเหลือ 707.46 กรัม ค่าอัตราการละลายมีค่าเท่ากับ 123.12 g/hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ระบุชื่อในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 ทำการคำนวณหาผลของน้ำแข็งจากสมการทางทฤษฎี

$$A_{out} = \frac{(2(45.5 \times 36) + 2(45.5 \times 34) + 2(36 \times 34))}{10000} = 0.8818$$

$$A_{in} = \frac{(2(41.5 \times 32) + 2(41.5 \times 30) + 2(32 \times 30))}{10000} = 0.7066$$

$$A_{pro} = \frac{(2(5 \times 5) + 2(5 \times 6) + 2(5 \times 6))}{10000} \times 48 = 0.816$$

$$A_2 = \left(\frac{5 \times 5}{10000} \right) \times 48 = 0.12$$

$$A_1 = A_{out} - A_2 = 0.8818 - 0.12 = 0.7618$$

$$A_3 = A_{in} - A_2 = 0.7066 - 0.12 = 0.5866$$

$$A_4 = A_{pro} - A_2 = 0.816 - 0.12 = 0.896$$

$$\epsilon_{out} = 0.96 \quad \epsilon_{in} = 0.96 \quad \epsilon_{pro} = 0.95$$

$$h_{out} = 1.778 + 5.198 \epsilon_{out} = 6.7680$$

$$h_3 = 3.557 \frac{A_4}{A_3 + A_4} + \frac{4.600}{\frac{A_3}{A_4} \frac{1}{\epsilon_{in}} + \frac{1}{\epsilon_{product}} - 1}$$

$$= 3.557 \frac{0.696}{0.5866 + 0.696} + \frac{4.600}{\frac{0.5866}{0.696} \frac{1}{0.96} + \frac{1}{0.95} - 1}$$

$$h_3 = 6.8734$$

$$N = 1 \text{ (Pu foam)}$$

$$R = 0.0322 \text{ m}^2 \cdot \text{k/W} \cdot \text{mm}$$

$$th = 4 \text{ cm.}$$

$$RW = 0.0321 (40) = 1.284 \text{ m}^2 \cdot \text{k/W} \cdot \text{mm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$HPR = \frac{1}{\frac{1}{6.768 \times 0.8818} + \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{6.8734 \times 5.866} + \frac{1.284}{\sqrt{0.7618 \times 0.5866}}} + \frac{0.12}{1.284}}}$$

$$HPR = 0.5073 \text{ W/K}$$

$$M_{ice} = \frac{HPR \times \Delta T \times t_s}{93} = 1.309 \text{ kg}$$

$$\text{อัตราการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ } Q = HPR \times \Delta T = 10.146 \text{ W}$$

$$\text{heat loss } Q = A \times \Delta T \times (ks)$$

$$A = \frac{(2(33.5 \times 22) + 2(24 \times 22))}{10000} = 0.253 \text{ m}^2$$

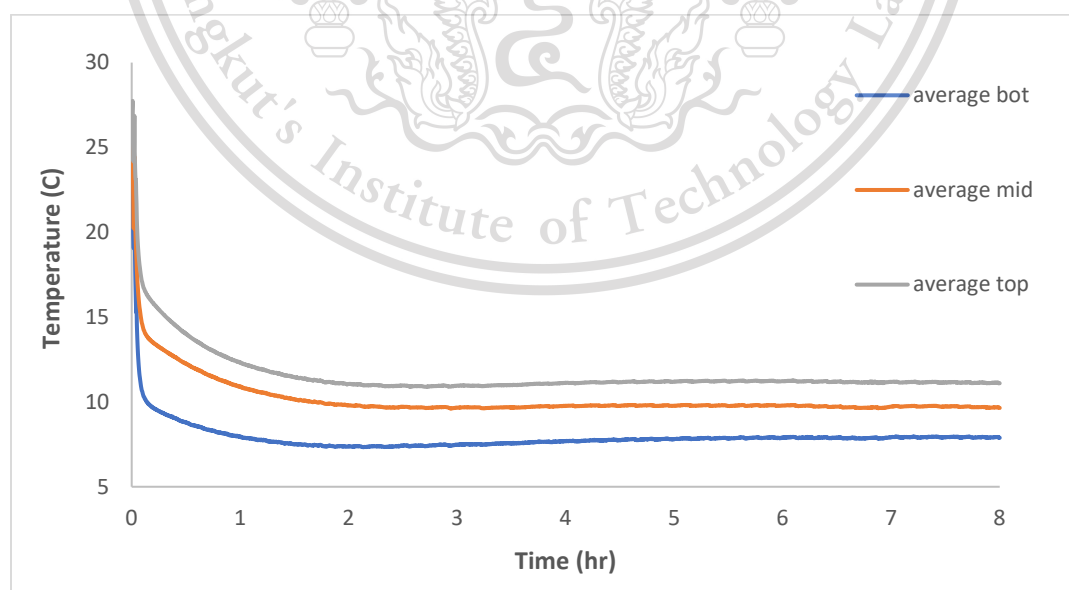
$$Q = 0.253 \times 24 \times 236 \times 0.04 = 57.319 \text{ w}$$

4.3 คำนวณหามวลของน้ำแข็งจากสมการจากการทดลอง

$$HPR_{exp} = 0.0574 \text{ W/K}$$

$$M_{ice} = 2.6477 \text{ kg}$$

4.4 การกระจายอุณหภูมิของอากาศภายในถังน้ำแข็ง

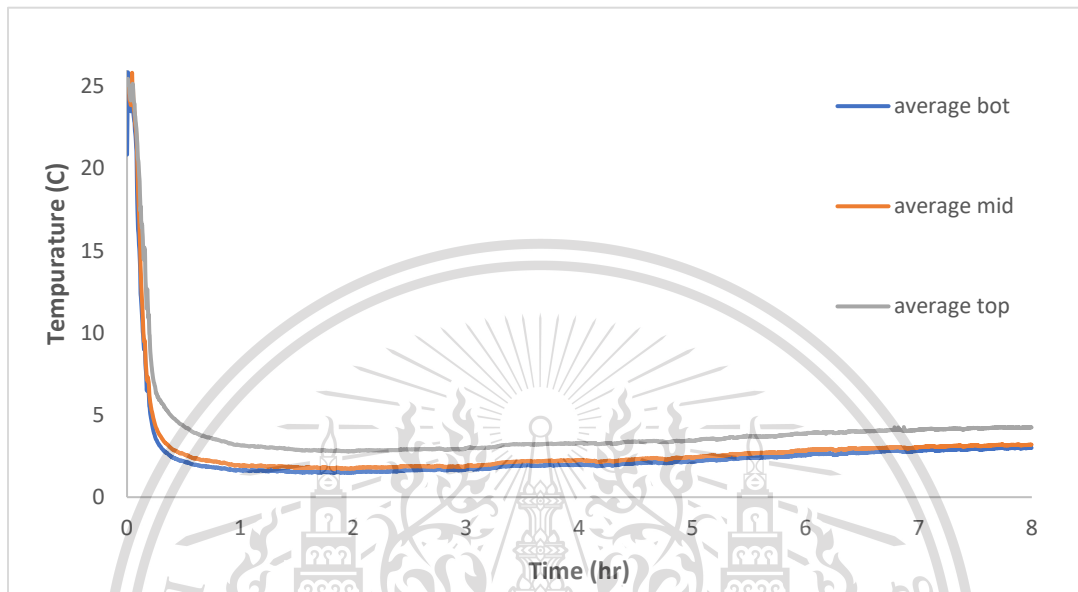


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในและเวลา
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังน้ำแข็งซึ่งวางน้ำแข็งไว้ด้านล่างโดยอุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดจากด้านล่างของถังมีอุณหภูมิอยู่ที่ 7.9 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดจากตรงกลางของถังอยู่ที่ 9.7 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดจากด้านบนของถังอยู่ที่ 11 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในและเวลา

จากรูปที่ 4.6 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังน้ำแข็งซึ่งวางน้ำแข็งไว้ด้านข้างโดยอุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดจากด้านล่างของถังมีอุณหภูมิอยู่ที่ 2.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดจากตรงกลางของถังอยู่ที่ 2.8 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดจากด้านบนของถังอยู่ที่ 3.95 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินการและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินการ

โครงการนี้ศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในถังน้ำแข็งกันความร้อนโดยมีอุณหภูมิภายนอก 24 องศาเซลเซียสพบว่ามีการกระจายตัว 123.12 กรัมใน 1 ชั่วโมงนำมาคำนวณหามวลน้ำแข็งที่ต้องใช้ภายในถังน้ำแข็ง เพื่อนำมาศึกษาต่อโดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิตำแหน่งการติดตั้งน้ำแข็งที่ตำแหน่งติดตั้งแต่ละจุดเพื่อนำมาประกอบการตัดสินใจเลือกตำแหน่งที่เหมาะสมกับการใช้งาน เมื่อน้ำแข็งภายในถังน้ำแข็งอยู่ในตำแหน่งที่แตกต่างกันคือ ด้านล่าง (การใช้งานทั่วไป) และด้านข้าง(ประกอบไปด้วยด้านกว้างและด้านยาวของถังน้ำแข็ง) จากผลการทดลองพบว่า การวางน้ำแข็งไว้ที่ด้านข้างของถังน้ำแข็งจะทำให้อุณหภูมิสม่ำเสมอมากที่สุด โดยการวางน้ำแข็งไว้ที่ข้างของถังน้ำแข็งนั้นจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่าเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ เพราะไม่ต้องเคลื่อนย้ายแหล่งให้ความเย็นซึ่งในที่นี่หมายถึงน้ำแข็งเมื่อต้องการให้อุณหภูมิของอาหารภายในถังน้ำแข็งยังสามารถเก็บรักษาคุณภาพและความปลอดภัย

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการปรับปรุง

จากการวิเคราะห์การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารโดยใช้วิธีเก็บในถังน้ำแข็งให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดจากผลการศึกษานี้คือ ควรวางน้ำแข็งไว้ที่ด้านข้างเพราะการกระจายตัวของอุณหภูมิม่าเสมอกว่าการวางน้ำแข็งด้านล่าง สำหรับระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ทำการเท่าไรนั้นยังไม่สามารถตอบได้ในการศึกษานี้และจำเป็นต้องศึกษาต่อไป นอกจากนี้ศึกษาทดลองเพิ่มกับตัวอย่างอาหารหลายๆประเภท โดยทั่วไปอาหารประกอบด้วยหลายองค์ประกอบ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรตและไขมันเป็นต้น ซึ่งตัวอย่างอาหารประเภทนี้นั้นมีผลโดยตรงต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนภายในถังน้ำแข็ง ในการศึกษาต่อไปจึงควรใช้อาหารจริงในการทดลองเพื่อพิจารณาสมบัติทางความร้อนของอาหาร ประกอบกับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เช่น แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (computational fluid dynamics or CFD models) โดยพิจารณาสมบัติทางความร้อนของอาหารจริงกับแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน. 2559. ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(ผขพ)ด้านความร้อน
บทที่4 หลักการทำงานเบื้องต้นของการถ่ายเทความร้อน. กระทรวงพลังงาน.
 วิไล รังสาดทอง. 2547. “เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร”.

พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม การเกษตรคณะวิทยาศาสตร์.

ประยุกต์, สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

Aung, M. M. and Chang, Y. S. 2014. “Traceability in a food supply chain: Safety and
 quality perspectives.” *Food control.* 39: 172-184.

Bidoret, A., Laurent, C. and Poncelet, D. 2016.

"Production of K-carrageenan beads by prilling process," *The Canadian Journal of
 Chemical Engineering.* 95(4).

Burgess, G. 1999. “Practical thermal resistance and
 ice requirement calculations for insulating packages.” *Package. Technol. Sci.* 12:
 75–80.

Handbook, A. S. H. R. A. E. 1985. Fundamental.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Holman, J. P. 1986. *Heat Transfer.* 6th ed. :McGraw-

Hill Book Co.

Kositruangchai, N. 2003. “Experimental and

Computer Model for Package R-value Using Regular Ice and Dry Ice.” Michigan State
 University.

Krieth, F. 1973. *Principles of Heat Transfer.* 3rd ed. :Intext Press.Stavish, L. J. 1984.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

and Diagnostic Industry. 6(8): 105-108.

Mirmanto, M., Syahrul, S. and Wirdan, Y. 2019. "Experimental performances of a thermoelectric cooler box with thermoelectric position variations," *Engineering Science and Technology*. 22(1): 177-184.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ก.1 การนำความร้อนของวัสดุฉนวนต่างๆ

Materials	Thermal conductivity at 23 °C in W/m·K
Air	0.026
Polyurethane foam	0.031
Polystyrene foam	0.038
Corrugated board	0.061

ตารางที่ ก.2 ค่า R ต่อมิลลิเมตรสำหรับวัสดุทั่วไป

Materials	R-value per millimeter at 23°C R _i (m ² ·K/W·mm)
Air	0.0386
Polyurethane foam	0.0165
Polystyrene foam	0.0262
Corrugated board	0.0321
Vacuum insulating panel	0.0694-0.2038

ตารางที่ ก.3 ค่าการแผ่รังสีของพื้นผิว

Material	Emissivity (ε)
Aluminum	0.05
Copper	0.03
EPS foam	0.95
Ice	0.96
Paper	0.95
Plastic	0.95
Wood	0.65-0.95
Water	0.95
Pu foam	0.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.1 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องแต่ละจุดโดยตำแหน่งน้ำแข็งอยู่ด้านข้าง

เวลา (นาที)	อุณหภูมิเฉลี่ยด้านล่าง	อุณหภูมิเฉลี่ยตรงกลาง	อุณหภูมิเฉลี่ยด้านบน
0	24.9	25.2	25.2
10	7.7	8.0	12.8
20	2.8	3.3	5.5
30	2.2	2.6	4.3
40	1.9	2.3	3.7
50	1.7	2.1	3.4
60	1.6	1.9	3.2
70	1.6	1.9	3.1
80	1.6	1.8	3.0
90	1.6	1.8	2.9
100	1.5	1.8	2.9
110	1.5	1.7	2.8
120	1.5	1.7	2.8
130	1.6	1.8	2.9
140	1.6	1.8	2.9
150	1.6	1.9	2.9
160	1.7	1.9	2.9
170	1.6	1.9	2.9
180	1.7	1.9	3.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ ข.2 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องแต่ละจุดโดยตำแหน่งน้ำแข็งอยู่ด้านล่าง

เวลา (นาที)	อุณหภูมิเฉลี่ยด้านล่าง	อุณหภูมิเฉลี่ยตรงกลาง	อุณหภูมิเฉลี่ยด้านบน
0	24.9	25.2	25.2
10	9.8	13.7	16.1
20	9.2	12.9	14.9
30	8.8	12.3	14.0
40	8.4	11.7	13.3
50	8.2	11.2	12.8
60	8.0	10.9	12.3
70	7.8	10.6	12.0
80	7.6	10.4	11.7
90	7.5	10.2	11.4
100	7.4	10.0	11.3
110	7.4	9.9	11.2
120	7.4	9.8	11.1
130	7.3	9.7	11.0
140	7.3	9.7	10.9
150	7.4	9.7	11.0
160	7.4	9.7	10.9
170	7.5	9.7	11.0
180	7.5	9.7	11.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.