สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# เครื่องปรับอากาศสำหรับภายนอกอาคาร

Outdoor Air-Conditioner

นางสาวมัทรา มหัปประภาภิวัฒน์
นางสาวหรรษา ลักขณาวัฏ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 61493
วัน,เดือน,ปี 18 ก.ค. 2549

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# OUTDOOR AIR-CONDITIONER

MISS MUTHRA MAHUPPRAPAPIWAT
MISS HANSA LAKKHANAWAT

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| ปริญญานิพนธ์เรื่อง | เครื่องปรับอากาศสำหรับภายนอกอาคาร |
| จัดทำโดย | นางสาวมัทรา มหัปประภาภิวัฒน์ รหัสประจำตัว 44010799 |
| | นางสาวหรรษา ลักขณาวัฏ รหัสประจำตัว 44010885 |
| ภาควิชา วิศวกรรมเคมี | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | รศ. ดร. ประกอบ กิจไชยา |

---

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

_____ประธานกรรมการ
(รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา)

_____กรรมการ
(ดร. สุธาสินี เนรมิตตกพงศ์)

_____กรรมการ
(ดร. พรสวรรค์ กาญจนวณิชย์กุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง เครื่องปรับอากาศสำหรับภายนอกอาคาร

จัดทำโดย นางสาวมัทรา มหัปประภาภิวัฒน์ รหัสประจำตัว 44010799
นางสาวหรรษา ลักขณาวัฏ รหัสประจำตัว 44010885
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร. ประกอบ กิจไชยา
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการปรับอากาศ เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องปรับอากาศสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ภายนอกอาคาร รวมทั้งศึกษาปัจจัยและตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการทำงานและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศที่สร้างขึ้น ในการทำงานของเครื่องปรับอากาศจะใช้หลักการถ่ายเทพลังงานความร้อนเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิ และพลังงานความร้อนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสถานะของสาร สำหรับสารที่นำมาใช้ในการปรับอากาศคือ น้ำและน้ำแข็ง เนื่องจากเป็นทรัพยากรที่หาได้ง่าย ราคาไม่แพงและไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ หลักการที่สำคัญคือใช้น้ำแข็งเป็นตัวรับพลังงานความร้อนจากน้ำเพื่อนำไปใช้ในการหลอมเหลวน้ำแข็ง ทำให้น้ำเย็นตัวลง และใช้กระแสน้ำเย็นนี้ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับกระแสอากาศ จะเกิดการถ่ายเทพลังงานความร้อนขึ้น อากาศที่ผ่านออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจึงมีอุณหภูมิลดลง เพื่อใช้ในการปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศที่สร้างขึ้นมีความสามารถในการทำความเย็นเท่ากับสูงสุด 11038 บีทียูต่อชั่วโมง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวมสูงสุดเป็น 42 วัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Outdoor Air-Conditioner

By Miss Muthra Mahupprapapiwat ID.NO. 44010799

Miss Hansa Lakkhanawat ID.NO. 44010885

Advisor Assoc.Prof.Dr. Prakob Kitchaiya

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

## Abstract

This work is concerned about air-conditioning system. The purpose of this work is to design and invent an outdoor air-conditioner and to study some related parameters which affect the performance and the efficiency of this air-conditioner. The performance of this air-conditioner is based on the principle of heat transfer caused by temperature gradient and heat concerning in phase change. Water and ice were used as the cooling medium since they are widely available, inexpensive and clean to the environment. Ice was used to withdraw heat from water by its melting. The temperature of water contacted to the ice being dropped and it was pumped to a heat exchanger. Heat transfer from warm ambient air to cooled water occurred at the heat exchanger and the air was eventually cooled down. A high BTU rate of the Outdoor Air-Conditioner was found to be 11,038 BTU/h and the overall heat transfer coefficient was 42 $W/m^2 \cdot °C$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประกอบ กิจไชยา อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และเอาใจใส่ดูแลเสมอมา ปริญญานิพนธ์นี้จึงสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณอาจารย์ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี รวมถึงผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องท่านอื่นๆ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีมาโดยตลอด

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ลืมมิได้คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ผู้ซึ่งอบรมเลี้ยงดู ให้โอกาสในการศึกษา และเป็นกำลังใจให้สามารถฟันฝ่าอุปสรรคจนกระทั่งมีวันนี้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

มัทรา มหัปประภาภิวัฒน์

หรรษา ลักขณาวัฏ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง..... V

สารบัญรูป..... VI

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์..... 1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน..... 2

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินโครงงาน..... 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3

2.1 ทฤษฎี..... 3

2.1.1 สภาวะของอากาศที่มีผลต่อความรู้สึกของร่างกาย..... 3

2.1.2 ระบบปรับอากาศ..... 4

2.1.3 หลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศ..... 4

2.1.4 การถ่ายเทความร้อน..... 4

2.1.5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม..... 5

2.1.6 การหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อน..... 5

2.1.7 การพาความร้อนของของไหลที่ไหลภายในท่อ..... 7

2.1.8 พลังงานความร้อนกับการเปลี่ยนสถานะของสาร..... 8

2.1.9 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน..... 9

2.1.10 การคำนวณออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน..... 11

2.1.11 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของของไหล..... 11

2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 12


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| บทที่ 3 การออกแบบและการคำนวณ | 13 |
| 3.1 หลักการพื้นฐานของโครงงาน | 13 |
| 3.2 การคำนวณหาค่าตัวแปรที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศ | 14 |
| 3.2.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน | 14 |
| 3.2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ | 14 |
| 3.2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำ | 17 |
| 3.2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม | 18 |
| 3.2.5 อัตราการละลายของน้ำแข็ง | 18 |
| บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง | 19 |
| 4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง | 19 |
| 4.1.1 ถังน้ำแข็ง | 20 |
| 4.1.2 ปั๊ม (Pump) | 20 |
| 4.1.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน | 21 |
| 4.1.4 ท่อ | 22 |
| 4.1.5 พัดลมดูด | 22 |
| 4.1.6 วาล์ว | 23 |
| 4.1.8 เทอร์โมคัปเปิล | 23 |
| 4.2 วิธีการทดลอง | 24 |
| บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล | 26 |
| 5.1 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำและอากาศ ($h$) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม ($U$) | 26 |
| 5.2 อัตราการละลายของน้ำแข็ง | 27 |
| 5.3 ความสามารถในการทำความเย็น (บีทียูต่อชั่วโมง) และค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ | 30 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ | 33 |
| 6.1 สรุปผลการทดลอง | 33 |
| 6.2 ข้อเสนอแนะ | 35 |
| เอกสารอ้างอิง | 36 |
| ภาคผนวก ก | 37 |
| ภาคผนวก ข | 45 |


สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

5.1 ตัวเลขเรย์โนลด์ (Re) ค่า $St\,Pr^{2/3}$ และค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($h$) ของน้ำและอากาศ เมื่อทดลองปรับอากาศโดยใช้ความเร็วของอากาศต่างๆ กัน..... 26

5.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม ($U$) ของระบบ เมื่อทดลองปรับอากาศโดยใช้ความเร็วของอากาศต่างๆ กัน..... 26

5.3 อัตราการละลายของน้ำแข็งในการทดลองที่อุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเป็น 20 องศาเซลเซียส..... 28

5.4 อัตราการละลายของน้ำแข็งในการทดลองที่อุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเป็น 23 องศาเซลเซียส..... 28

5.5 อัตราการละลายของน้ำแข็งในการทดลองที่อุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเป็น 25 องศาเซลเซียส..... 29

5.6 พลังงานความร้อนที่น้ำแข็งดึงไปใช้ในการหลอมเหลว พลังงานความร้อนของอากาศที่ลดลง ความสามารถในการทำความเย็น (บีทียูต่อชั่วโมง) และค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ จากการทดลองที่อุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเป็น 20 องศาเซลเซียส..... 30

5.7 พลังงานความร้อนที่น้ำแข็งดึงไปใช้ในการหลอมเหลว พลังงานความร้อนของอากาศที่ลดลง ความสามารถในการทำความเย็น (บีทียูต่อชั่วโมง) และค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ จากการทดลองที่อุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเป็น 23 องศาเซลเซียส..... 31

5.8 พลังงานความร้อนที่น้ำแข็งดึงไปใช้ในการหลอมเหลว พลังงานความร้อนของอากาศที่ลดลง ความสามารถในการทำความเย็น (บีทียูต่อชั่วโมง) และค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ จากการทดลองที่อุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเป็น 25 องศาเซลเซียส..... 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


รูปที่ หน้า

2-1 การนำความร้อนในหนึ่งมิติผ่านผนังตัวกลางที่เป็นวัสดุต่างชนิด..... 4

2-2 กระบวนการพาความร้อนจากผนังเรียบ..... 5

2-3 การถ่ายเทความร้อนโดยรวมของระบบ (Overall heat transfer) ผ่านผนังเรียบ..... 6

2.4 การเปลี่ยนสถานะของสาร..... 9

2-5 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัดที่มีพื้นผิวของครีบเป็นระนาบเรียบ..... 10

3.1 วงจรการทำงานของเครื่องปรับอากาศสำหรับภายนอกอาคาร..... 13

3-2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $St\,\mathrm{Pr}^{2/3}$ ,ค่า $f$ และค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Re)
สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัดที่มีพื้นผิวเป็นระนาบเรียบ 19.86..... 15

4-1 ถังน้ำแข็ง..... 19

4-2 ปั๊ม..... 19

4-3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน..... 20

4-4 ระบบท่อ..... 21

4-5 พัดลมดูด..... 21

4-6 วาล์ว..... 22

4-7 เทอร์โมคัปเปิลและจอแสดงอุณหภูมิ..... 22

4-8 ระบบการทำงานรวมของเครื่องปรับอากาศ..... 23

4-9 ภาพด้านหน้าและด้านหลังของเครื่องปรับอากาศ..... 24

5-1 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ ($h_{air}$) และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม
($U$) ในสภาวะการทำงานที่ความเร็วอากาศต่างๆ..... 27

5-2 อัตราการละลายของน้ำแข็งที่สภาวะการทำงานต่างๆ..... 29

5-3 ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (บีทียูต่อชั่วโมง)
ที่สภาวะการทำงานต่างๆ..... 32

5-4 ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (%) ที่สภาวะการทำงานต่างๆ..... 32


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มนุษย์มีการใช้ระบบการทำความเย็นในการปรับอากาศเพื่อความสบายมาตั้งแต่ทศวรรษที่ 1890 [1] จนถึงปัจจุบันการปรับอากาศเข้ามามีบทบาทและความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์มากยิ่งขึ้น ในอุตสาหกรรมและธุรกิจด้านต่างๆ ก็มีการนำระบบปรับอากาศมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย จึงทำให้อุตสาหกรรมการปรับอากาศได้รับความสนใจ และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง แต่ระบบปรับอากาศที่ใช้กันอยู่ทั่วไปนั้น มักจะมุ่งเน้นไปในด้านการนำไปใช้งานภายในอาคารเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งหากมีการคิดค้นและพัฒนา เพื่อประดิษฐ์เครื่องปรับอากาศที่สามารถนำไปใช้บริเวณนอกอาคารได้ ก็จะทำให้เราได้รับประโยชน์ และความสะดวกสบายจากระบบการปรับอากาศมากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้งานวิศวกรรมปรับอากาศถือเป็นงานที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงถือเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องตระหนักถึงผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของโลกควบคู่ไปกับการพัฒนาด้านการปรับอากาศด้วย ปัจจุบันได้มีความพยายามลดการใช้สารทำความเย็นแบบเก่าที่มีส่วนในการทำลายชั้นโอโซน รวมทั้งออกแบบเครื่องปรับอากาศที่สามารถทำงานได้ โดยส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมน้อยที่สุด [2]

โครงงานนี้ศึกษาและออกแบบเพื่อสร้างเครื่องปรับอากาศที่สามารถนำไปใช้ในการปรับอากาศภายนอกอาคารได้ สารที่เลือกใช้ในการปรับอากาศเป็นน้ำและน้ำแข็งซึ่งเป็นทรัพยากรที่หาได้ง่าย มีราคาไม่แพง และไม่ส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อม หลักการทำงานของเครื่องคือ ใช้น้ำแข็งเป็นตัวดึงพลังงานจากน้ำเพื่อนำไปใช้ในการหลอมเหลว ทำให้น้ำเย็นตัวลง และใช้กระแสน้ำเย็นนี้ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับกระแสอากาศ จะเกิดการถ่ายเทพลังงานความร้อนขึ้น อากาศที่ผ่านออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจึงมีอุณหภูมิลดลงเพื่อใช้ในการปรับอากาศ

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องปรับอากาศสำหรับการนำไปใช้งานภายนอกอาคาร

1.2.2 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Overall heat transfer coefficient, $U$) รวมทั้งปัจจัยและตัวแปรอื่นๆ ในระบบที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.3 ขอบเขตของโครงงาน

โครงงานนี้เป็นการสร้างเครื่องปรับอากาศสำหรับการใช้งานภายนอกอาคาร โดยออกแบบอุปกรณ์ที่จะใช้ จากนั้นจึงประกอบและติดตั้งเป็นเครื่องปรับอากาศ ในขั้นต้นนั้นจะทำการออกแบบให้เครื่องปรับอากาศมีพื้นที่ทำความเย็นสำหรับ 1 คน คิดเป็นพื้นที่ 0.25 ตารางเมตร ความเร็วลมที่ต้องการคือ 0.25-1.6 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของอากาศเย็นอยู่ในช่วง 20-25 องศาเซลเซียส และน้ำที่ใช้ในการทำความเย็นมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 5 – 15 องศาเซลเซียส ระบบปรับอากาศนี้จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและส่วนที่เป็นถังบรรจุน้ำแข็ง

ภายหลังการสร้างและติดตั้งเครื่องปรับอากาศ จะศึกษาและวิเคราะห์ผลการทำงานของเครื่อง รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Overall heat transfer coefficient, $U$) และตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศ เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขให้เครื่องปรับอากาศสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์

## 1.4 ขั้นตอนในการดำเนินโครงงาน

1.4.1 ศึกษารวบรวมข้อมูลจากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 เลือกวิธีปรับอากาศที่เหมาะสม และออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้

1.4.3 ประกอบและติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องปรับอากาศ

1.4.4 ทดสอบการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่สภาวะต่างๆ

1.4.5 วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของระบบ และประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศ เพื่อหาสภาวะในการทำงานที่เหมาะสม

1.4.6 สรุปผลการทำงาน ประโยชน์ที่ได้รับ รวมทั้งเสนอแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงเพื่อให้โครงงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้เรียนรู้ขั้นตอนในการสร้างเครื่องปรับอากาศสำหรับภายนอกอาคาร

1.5.2 มีความเข้าใจในเรื่องหลักการปรับอากาศและปัจจัยต่างๆ ที่เป็นตัวแปรสำคัญในการทำงานของระบบ

1.5.3 ข้อมูลและความรู้ที่ได้จะเป็นประโยชน์กับผู้ที่สนใจศึกษาและค้นคว้าต่อในด้านนี้

1.5.4 หากได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เครื่องปรับอากาศสำหรับภายนอกนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้กับร้านอาหาร สวนสาธารณะ หรือสถานที่ชุมชนต่างๆ ซึ่งจะเป็นการขยายขอบเขตความสามารถในการนำเครื่องปรับอากาศไปใช้งานให้กว้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 ทฤษฎี

### 2.1.1 สภาวะของอากาศที่มีผลต่อความรู้สึกของร่างกาย

องค์ประกอบที่สำคัญ 3 ประการที่มีผลต่อความรู้สึกร้อนไม่สบายตัวของมนุษย์ ได้แก่

2.1.1.1 อุณหภูมิ

อากาศเย็นจะทำให้การถ่ายเทความร้อนออกจากร่างกายได้เร็วขึ้น และในขณะที่อากาศร้อน อุณหภูมิใกล้ผิวหนังจะสูงกว่าอากาศเย็น อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่มีอยู่ในอากาศ และความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศด้วย ซึ่งอุณหภูมิที่ทำให้ร่างกายมนุษย์รู้สึกสบายอยู่ในช่วง 23 ถึง 27 องศาเซลเซียส [1]

2.1.1.2 ความชื้น

ความชื้น คือปริมาณน้ำในสภาวะไอที่อยู่ในอากาศ อากาศร้อนอุ้มไอน้ำ (หรือมีความชื้น) มากกว่าอากาศเย็น ปริมาณความชื้นมีผลกระทบต่อการระเหยของเหงื่อในร่างกาย และความชื้นสัมพัทธ์ คือสัดส่วนของความชื้นในอากาศกับความชื้นจริงของอากาศในภาวะอิ่มตัว ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมอยู่ในช่วงร้อยละ 30 ถึง 70 [1]

2.1.1.3 การเคลื่อนที่ของอากาศ

การเคลื่อนที่ของอากาศมีผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนออกจากร่างกาย เนื่องจากจะทำให้เกิดการถ่ายเทของอากาศรอบๆ ตัวเรา และจะพาความร้อนออกไปด้วยจึงทำให้รู้สึกสบาย แต่ถ้าอากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงเกินไป ก็จะทำให้รู้สึกถูกรบกวน เกิดความรำคาญ หรืออาจเกิดความรู้สึกหนาวได้ ยกตัวอย่างเช่น ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสและความเร็วอากาศ 48 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เราจะรู้สึกเย็นเท่าๆ กับที่อุณหภูมิอากาศ -7 องศาเซลเซียสและความเร็วอากาศ 3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง [1] ดังนั้นอากาศที่ทำให้รู้สึกสบายจึงควรมีความเร็วมากพอที่จะพาความร้อนออกจากร่างกายแต่ก็ไม่ควรสูงเกินไปจนทำให้รู้สึกว่าเย็นเกินไป

ความเร็วของอากาศที่เหมาะสมในฤดูหนาวควรจะต่ำกว่า 9 เมตรต่อนาที และในฤดูร้อนควรมีความเร็วประมาณ 15 เมตรต่อนาที [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2 ระบบปรับอากาศ

ขอบข่ายหน้าที่ของระบบปรับอากาศที่สมบูรณ์แบบประกอบด้วย

2.1.2.1 การปรับอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการ

2.1.2.2 การควบคุมความชื้น

2.1.2.3 การถ่ายเทอากาศและการระบายลม

2.1.2.4 การกำจัดฝุ่นละออง กลิ่นและเชื้อโรค

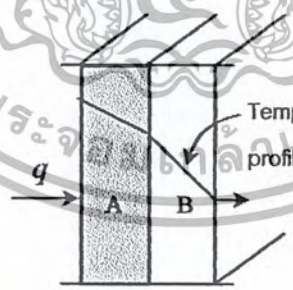
### 2.1.3 หลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

การที่อากาศมีอุณหภูมิลดลงได้อาศัยหลักการในการเปลี่ยนสถานะของสาร เช่น น้ำเมื่อกลายเป็นไอจะดึงเอาพลังงานความร้อนจากสิ่งแวดล้อมไปใช้ ทำให้บริเวณรอบๆ มีอุณหภูมิลดลง จากหลักการข้อนี้ จึงมีผู้นำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างเครื่องปรับอากาศแบบน้ำระเหย ดังนั้นจะได้พิจารณาถึงหลักการถ่ายเทความร้อน ดังนี้

### 2.1.4 การถ่ายเทความร้อน

เมื่อมีบริเวณ 2 บริเวณที่อุณหภูมิต่างกัน จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณหนึ่งที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังอีกบริเวณหนึ่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งพลังงานความร้อนนั้นสามารถเกิดการถ่ายเทได้โดย 3 วิธี คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน

**การนำความร้อน** คือ การที่ความร้อนเคลื่อนที่จากที่อุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำภายในตัวกลางเดียวกัน หรือตัวกลางที่ติดกัน ดังรูปที่ 2-1




**รูปที่ 2-1 การนำความร้อนในหนึ่งมิติผ่านผนังตัวกลางที่เป็นวัสดุต่างชนิด**

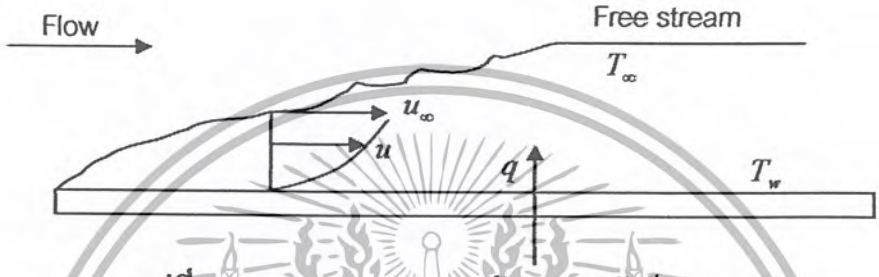
**ตัวกลางแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการนำความร้อนไม่เท่ากัน เรียกความสามารถในการนำความร้อนว่า ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity coefficient) ใช้สัญลักษณ์ k (วัตต์ต่อเมตร องศาเคลวิน) เป็นคุณสมบัติเฉพาะของสารแต่ละชนิด**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางตัวกลางหนึ่ง จะหาได้จาก

$$q = -kA\frac{\Delta T}{\Delta x} \tag{2.1}$$

**การพาความร้อน** คือ การเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยมีของไหลเป็นตัวพาพลังงานความร้อนมายังผิวของแข็งหรือออกจากผิวของแข็ง




**รูปที่ 2-2** กระบวนการพาความร้อนจากผนังเรียบ

พิจารณารูปที่ 2-2 เมื่อผนังมีอุณหภูมิ $T_w$ และมีของไหลเคลื่อนที่ผ่าน อุณหภูมิเป็น $T_\alpha$ การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นระหว่างของไหลและผนังตัวกลาง อุณหภูมิผนังและของไหลจะเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและลักษณะการไหลของของไหล สำหรับอัตราการถ่ายเทความร้อน ในตัวอย่างนี้ อธิบายได้ด้วยกฎการทำความเย็นของ Newton ตามสมการที่ 2.2

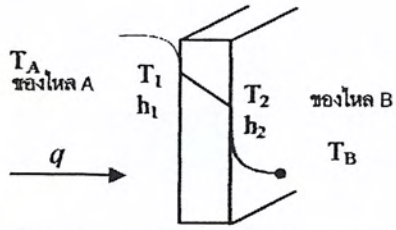
$$q = hA(T_w - T_\infty) \tag{2.2}$$

ค่า $h$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection heat-transfer coefficient) มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร· องศาเคลวิน ซึ่งค่า $h$ จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะการไหลของของไหล รูปทรงของวัตถุ คุณสมบัติของของไหล อุณหภูมิและตำแหน่งต่างๆบนพื้นผิววัตถุ กลไกของการถ่ายเทความร้อน ดังนั้นในการศึกษาเรื่องการพาความร้อน จึงมักจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยตลอดพื้นผิวเพื่อความสะดวก

**การแผ่รังสีความร้อน** จะแตกต่างจากกระบวนการนำความร้อนและพาความร้อน เนื่องจากไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน การแผ่รังสีความร้อนจะเกิดขึ้นได้โดยอาศัยกลไกของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม (Overall Heat-Transfer Coefficient)




**รูปที่ 2-3** การถ่ายเทความร้อนโดยรวมของระบบ (Overall heat transfer) ผ่านผนังเรียบ

พิจารณารูปที่ 2-3 ของไหล A เคลื่อนที่ผ่านผนังเรียบที่อีกด้านหนึ่ง มีของไหล B ไหลผ่าน การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นเขียนเป็นความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.3

$$q = h_1 A(T_A - T_1) = \frac{kA}{\Delta x}(T_1 - T_2) = h_2 A(T_2 - T_B) \tag{2.3}$$

ซึ่งจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$q = \frac{T_A - T_B}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{\Delta x}{kA} + \frac{1}{h_2 A}} \tag{2.4}$$

เขียนให้อยู่ในรูปอย่างง่าย เป็น

$$q = UA\Delta T_{overall} \tag{2.5}$$

เมื่อ $$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k_A} + \frac{1}{h_2}} \tag{2.6}$$

และ $$\Delta T_{overall} = T_A - T_B \tag{2.7}$$

เรียก $U$ ว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม (Overall heat-transfer coefficient)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.6 การหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($h$)

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน เปรียบเสมือนค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นผิวของวัตถุและของไหลเทียบกับหน่วยพื้นที่และเวลา ดังนั้นจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่บ่งบอกถึงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลและพื้นผิววัตถุในแต่ละระบบ

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแต่ละระบบสามารถหาได้ ด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ นอกจากนี้ยังมีผู้ที่ศึกษาโดยทำการทดลองและนำเสนอไว้ในรูปของสูตรอย่างง่ายหรือแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน และคุณลักษณะต่างๆ ของระบบ โดยมักจะกำหนดอยู่ในรูปของตัวแปรไร้หน่วยต่างๆ เช่นสมการที่ 2.8 เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่คิดอยู่ในรูปของเลข Nusselt ($Nu$) กับตัวแปรอื่นๆ ของระบบการไหลบนแผ่นระนาบ

$$Nu_L = \frac{\bar{h}L}{k} = 0.664\,\mathrm{Re}^{1/2}\,\mathrm{Pr}^{1/3} \qquad (2.8)$$

เมื่อ $\mathrm{Re} = \dfrac{\rho u_\alpha L}{\mu}$

และ $\mathrm{Pr} = \dfrac{C_p \mu}{k}$

$Nu_L$ คือ ค่าตัวเลข Nusselt ณ ตำแหน่งความยาวทั้งหมดของระนาบ

$u_\alpha$ คือ ความเร็วในการไหลแบบอิสระของของเหลว (Free-stream velocity), (เมตรต่อวินาที)

$\bar{h}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยเฉลี่ย (วัตต์ต่อตารางเมตร- องศาเคลวิน)

$L$ คือ ระยะความยาวของระนาบ, (เมตร)

$k$ คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของแผ่นระนาบ (วัตต์ต่อเมตร- องศาเคลวิน)

นอกจากตัวอย่างสมการสำหรับการไหลบนแผ่นระนาบแล้ว ยังมีสมการและแผนภาพแสดงความสัมพันธ์สำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของการไหลในระบบอื่นๆ ซึ่งมีผู้นำเสนอไว้แล้วอีกจำนวนมาก [3]

### 2.1.7 การพาความร้อนของของไหลที่ไหลภายในท่อ

**2.1.7.1 การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow)** ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน หาได้จากสมการของ Hausen [3] ดังสมการที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Nu_d = 3.66 + \frac{0.0668(d/L)\mathrm{Re}_d\,\mathrm{Pr}}{1+0.04[(d/L)\mathrm{Re}_d\,\mathrm{Pr}]^{2/3}} \quad (2.9)$$

เมื่อ $$Nu_d = \frac{\bar{h}d}{k} \quad (2.10)$$

และ $d$ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (เมตร)

**2.1.7.2 การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)** ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน หาได้จากสมการของ Dittus and Boelter [3]

$$Nu_d = 0.023\,\mathrm{Re}^{0.8}\,\mathrm{Pr}^{n} \quad (2.11)$$

$n = \begin{cases} 0.4 & \text{เมื่อเป็นการให้ความเย็นแก่ของไหล} \\ 0.3 & \text{เมื่อเป็นการดึงความร้อนออกจากของไหล} \end{cases}$

ความสัมพันธ์นี้จะใช้ได้ในกรณีที่ค่า Pr อยู่ในช่วง 0.6 ถึง 100

**2.1.7.3 การไหลในท่อที่หน้าตัดไม่เป็นวงกลม**

ในกรณีที่พื้นที่หน้าตัดของท่อไม่เป็นวงกลม ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสามารถหาได้โดยการใช้ค่า Hydraulic diameter ($D_H$) แทนค่า $d$ ในความสัมพันธ์ของกรณีที่ท่อมีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลม

$$D_H = \frac{4A}{P} \quad (2.12)$$

เมื่อ $A$ คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ (ตารางเมตร)

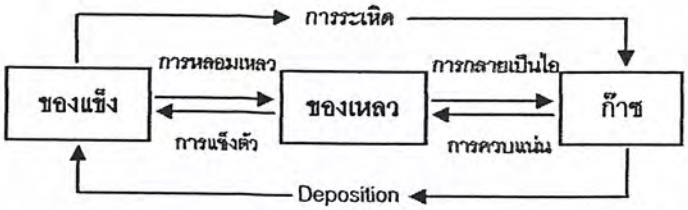
$P$ คือ ความยาวเส้นรอบรูปของพื้นที่หน้าตัดท่อ (เมตร)

## 2.1.8 พลังงานความร้อนกับการเปลี่ยนสถานะของสาร

การเปลี่ยนสถานะเป็น 1 ใน 3 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสาร ซึ่งได้แก่ การเปลี่ยนสถานะ การละลาย และการเกิดปฏิกิริยาเคมี

การเปลี่ยนสถานะของสารมี 3 ลักษณะ คือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ดังรูปที่ 2-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2-4** การเปลี่ยนสถานะของสาร

เมื่อสารเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว ของเหลวเป็นก๊าซ หรือของแข็งเป็นก๊าซจะต้องดูดความร้อนจากสิ่งแวดล้อม และถ้าเปลี่ยนสถานะจากก๊าซเป็นของเหลว ของเหลวเป็นของแข็ง หรือก๊าซเป็นของแข็งจะคายความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม ขณะที่สารเปลี่ยนสถานะอุณหภูมิของสารจะไม่เปลี่ยนแปลงเพราะความร้อนถูกนำไปใช้ในการเปลี่ยนสถานะ และปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะเรียกว่า "ความร้อนแฝง" ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสถานะและชนิดของสาร เช่น น้ำมีความร้อนแฝงในการหลอมเหลว (Latent heat of fusion), $h_{fg}$ เท่ากับ 333.7 กิโลจูลต่อกิโลกรัม และมีความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Latent heat of vaporization), $h_{fg}$ เท่ากับ 2501 กิโลจูลต่อกิโลกรัม [1]

### 2.1.9 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เป็นเครื่องมือที่ใช้ในเป็นตัวกลาง ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากของไหลชนิดหนึ่งไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่ง โดยที่ของไหลทั้งสองไม่จำเป็นต้องผสมกัน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นเครื่องมือที่มีการนำมาใช้ในระบบต่างๆอย่างกว้างขวาง ในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จะต้องอาศัยความรู้ในด้านการคำนวณสัมประสิทธิ์การพาความร้อน การส่งผ่านของความร้อนและความรู้ทางกลศาสตร์ของไหล เงื่อนไขที่สำคัญสำหรับการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก็คือ ประสิทธิภาพในการทำงาน และค่าใช้จ่าย

#### 2.1.9.1 ชนิดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

การจำแนกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอาจทำได้โดยอาศัยทิศทางการเคลื่อนที่ของของไหลในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นหลัก

##### 2.1.9.1.1 แบบท่อสองชั้น (Concentric tube)

มีลักษณะเป็นท่อสองท่อสวมเข้าด้วยกัน ส่วนการไหลของของไหลนั้น อาจเป็นแบบการไหลขนานกัน (Parallel flow) หรือการไหลสวนทางกัน (Counter flow)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.9.1.2 **แบบที่ของไหลมีทิศทางตั้งฉากกัน** (Cross flow)

ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้ ของไหลจะไหลในทิศทางตั้งฉากกัน อาจเป็นลักษณะของไหลเที่ยวเดียว (single pass) ไหลสองเที่ยว (double pass) หรือมากกว่านี้ก็ได้

2.1.9.1.3 **แบบเชลล์และท่อ** (Shell and tube)

ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้ ของไหลชนิดหนึ่งจะอยู่ในเชลล์ และอีกชนิดหนึ่งจะอยู่ในท่อ ลักษณะการไหลอาจอยู่ในลักษณะแบบไหลสวนทางหรือไหลแบบขนานกันในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเดียวกันก็ได้ นอกจากนี้ของไหลอาจมีทิศทางตั้งฉากกับท่อด้วย

สำหรับการถ่ายเทความร้อนผ่านระนาบ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นที่ตัวกลาง จะเขียนได้ดังสมการที่ 2.13

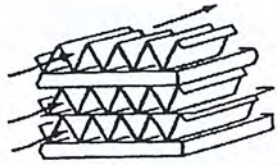
$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_0}} \tag{2.13}$$

เนื่องจากพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนทำจากโลหะบางมาก และมีค่าการนำความร้อนสูงมาก จึงอาจละทิ้งพจน์ของการนำความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวมเขียนได้ดังนี้

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_0}} \tag{2.14}$$

2.1.9.2 **เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัด** (Compact Heat Exchanger)

เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่สำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนต่อปริมาตรสูงกว่า 700 $m^2/m^3$ [4] มักใช้กับของไหลที่เป็นก๊าซ ซึ่งสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่าต่ำ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัดนี้ยังแบ่งได้เป็นหลากหลายประเภท ดังเช่น รูปที่ 2-5 เป็นตัวอย่างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัดชนิดหนึ่ง



**รูปที่ 2-5 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัดที่มีพื้นผิวของครีบเป็นระนาบเรียบ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.10 การคำนวณออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

การคำนวณออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จะเกี่ยวข้องกับการคำนวณพื้นที่สำหรับการถ่ายเทความร้อนปริมาณที่ต้องการ ขนาดพื้นที่ที่ต้องใช้ จะขึ้นอยู่กับค่าอัตราการไหล อุณหภูมิที่ของไหลไหลเข้าและออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดย ($U$) ลักษณะการไหลของของไหล และอัตราการถ่ายเทความร้อน นอกจากนี้ผู้ออกแบบยังต้องกำหนดขนาดของส่วนต่างๆ ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เช่น ขนาดของท่อ ความยาวของท่อที่ใช้ ระยะระหว่างท่อ และลักษณะการวางท่อ เป็นต้น และต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องอีกด้วย เราสามารถทำให้ขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเล็กลง โดยการเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ซึ่งอาจทำได้โดยการเพิ่มความเร็วของของไหลทางด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้าน การกระทำดังกล่าวจะทำให้ราคาของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต่ำลง แต่การที่เราจะเพิ่มความเร็วของของไหลนั้นจะทำให้เกิดความดันลดในระบบเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้เราต้องเสียค่าใช้จ่ายในเรื่องพลังงานเพิ่มขึ้น

หลักการที่นำมาใช้ในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก็คือ ต้องการทำให้ค่าใช้จ่ายรวมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าต่ำ ค่าใช้จ่ายรวมนี้หมายถึงค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน รวมกับค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าพลังงานในการขับเคลื่อนของไหล

### 2.1.11 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของของไหล (Effective Mean Temperature Difference, EMTD)

ของไหลจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ขณะที่ไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ดังนั้นการคำนวณหาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยใช้เลขเฉลี่ยทางคณิต (Arithmetic mean) มาลบกัน จึงให้ผลคลาดเคลื่อนจากความจริงมาก เราจำเป็นที่จะต้องศึกษาหาวิธีการคำนวณค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของไหลที่ถูกต้อง ซึ่งคำนวณได้ตามสมการที่ 2.15

$$EMTD = (\Delta T) = \frac{(\Delta T)_{max} - (\Delta T)_{min}}{\ln\left[\frac{(\Delta T)_{max}}{(\Delta T)_{min}}\right]} \qquad (2.15)$$

เมื่อ $EMTD$ คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

N. Yamtraipat, J. Khedari และ J. Hirunrabh [6] ศึกษาเรื่องความรู้สึกสบายในอาคารที่มีการปรับอากาศในประเทศไทย โดยทดสอบจากผู้เข้าร่วมที่อาศัยอยู่ในภูมิภาคต่างๆ กัน สภาวะอากาศที่ศึกษา คือ ค่าร้อยละความชื้นในอากาศ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศในห้องปรับอากาศ และอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งได้กล่าวไว้ว่า ปัจจัยทั้งสามนี้เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อความรู้สึกสบายในภาวะของอากาศต่างๆ กัน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ เช่น ภูมิอากาศที่เคยชิน หรือแม้แต่ระดับการศึกษาก็มีผลด้วย จากผลการศึกษาที่ได้พบว่า ค่าร้อยละความชื้นที่คนส่วนใหญ่รู้สึกสบายอยู่ในช่วงร้อยละ 50-60 ค่าความเร็วของอากาศประมาณ 0.2 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่รู้สึกว่ากำลังพอเหมาะเป็น 26-27.4 องศาเซลเซียส

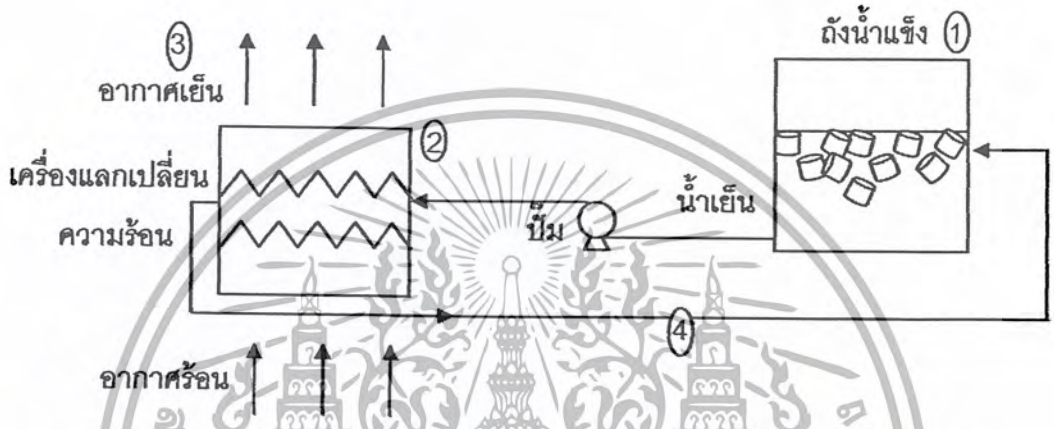
C.-O. Olsson และ B. Sunden [7] ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะการทำงานในเชิงพลังงานและเชิงกลของหม้อน้ำรถยนต์(radiator)ประเภทต่างๆ และเก็บข้อมูลเกี่ยวกับความดันลดที่เกิดขึ้น รวมทั้งศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนเมื่อของไหลมีค่าเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 500-6000 จากผลการศึกษาที่ได้ มีการนำเสนอเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน กำลังของปั๊มที่ต้องใช้ ความดันลดที่เกิดในระบบ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ในรูปของแผนภาพและสูตรความสัมพันธ์อย่างง่าย ซึ่งผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนในหม้อน้ำรถยนต์จะทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น แต่ในขณะเดียวกันค่าความดันลดที่เกิดขึ้นในระบบจะเพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# การออกแบบและการคำนวณ

## 3.1 หลักการพื้นฐานของโครงงาน

กระบวนการทำงานของเครื่องปรับอากาศสำหรับภายนอกอาคาร ได้รับการออกแบบให้มีลักษณะดังรูปที่ 3.1




**รูปที่ 3.1** วงจรการทำงานของเครื่องปรับอากาศสำหรับภายนอกอาคาร

แบ่งเป็นกระบวนการย่อยๆ ดังนี้

**กระบวนการ 1** น้ำในถังน้ำแข็งจะถูกทำให้มีอุณหภูมิลดลง เนื่องจากน้ำแข็งจะดึงเอาพลังงานไปใช้ในการเปลี่ยนสถานะ จากนั้นน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำจะถูกดูดผ่านปั๊มส่งไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน อุณหภูมิของน้ำในถังสูงขึ้น (ปริมาณน้ำแข็งลดลง) เมื่อระยะเวลาผ่านไป

**กระบวนการ 2** น้ำเย็นที่ส่งมาจากถังน้ำแข็ง จะไหลผ่านเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ขณะที่อากาศร้อน จะถูกพัดลมดูดผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในทิศตั้งฉากกับการไหลของน้ำ

**กระบวนการ 3** ขณะที่อากาศและน้ำไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลทั้งสองกระแสจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากอากาศ ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าไปสู่กระแสของน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำ

อากาศที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีอุณหภูมิต่ำลง เป็นอากาศในสภาวะที่ต้องการปรับอากาศ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิของอากาศที่ผ่านออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนคือ อัตราการไหลของน้ำและอากาศที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน อุณหภูมิของน้ำที่จุดทางเข้าและทางออก พื้นที่ผิว ประเภทและลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการ 4 น้ำที่ผ่านออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น และถูกส่งกลับไปยังถังน้ำแข็ง เพื่อทำให้อุณหภูมิลดลงจนกลายเป็นน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำ หมุนเวียนกลับไปใช้แลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศอีกครั้งหนึ่ง

## 3.2 การคำนวณหาค่าตัวแปรที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

ในขั้นแรกผู้ทำโครงงานได้ออกแบบและคำนวณขั้นต้นเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องปรับอากาศ โดยกำหนดสภาวะการทำงานที่จะใช้ และเลือกชนิดของอุปกรณ์ที่จะใช้จากคุณสมบัติต่างๆ ที่เหมาะสม แล้วจึงคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศและน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวมของระบบ และอัตราการละลายของน้ำแข็ง

สภาวะต่างๆ ในการทำงานที่กำหนด เป็นดังนี้

**อากาศ**

| | |
|---|---|
| อัตราการไหล | 0.0625 $m^3/s$ |
| อุณหภูมิกระแสเย็น | 25 °c |
| อุณหภูมิกระแสร้อน | 35 °c |

**น้ำ**

| | |
|---|---|
| อุณหภูมิกระแสเย็น | 4 °c |
| อุณหภูมิกระแสร้อน | 10 °c |

### 3.2.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัด (Compact heat exchanger) ที่ใช้เป็นหม้อน้ำรถยนต์ ผู้ทำโครงงานได้ศึกษาและเก็บรายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะของหม้อน้ำรถยนต์ที่มีผู้ใช้งานจริง และนำมาใช้ในการคำนวณเพื่อออกแบบขั้นต้น

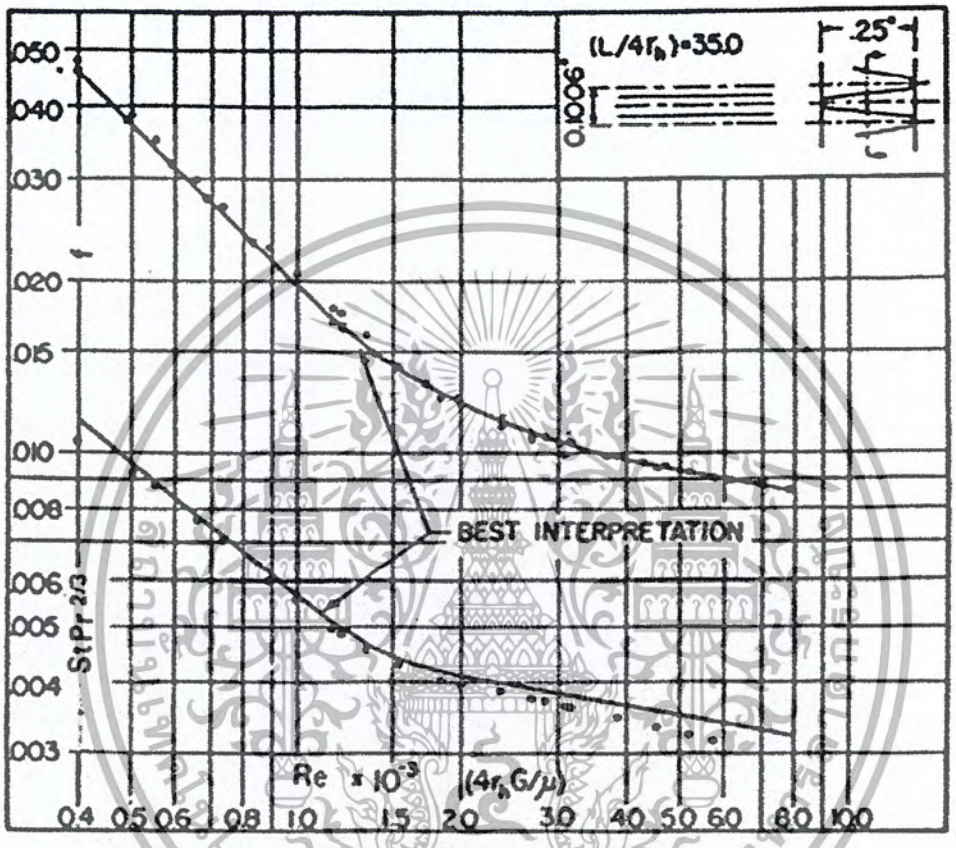
จากข้อมูลที่ได้ พบว่าหม้อน้ำที่ใช้ศึกษามี ลักษณะของครีบระบายความร้อนด้านอากาศเป็นแบบระนาบเรียบ (Plain plate-fin surface) ครีบระบายความร้อนด้านน้ำเป็นท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม เป็นท่อที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.0015x0.01 $m^2$ มีความยาวท่อ 0.38 m จำนวน 45 ท่อ ขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 0.38x0.38x0.01 $m^3$

### 3.2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ

ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภทกะทัดรัด (Compact heat exchanger) สามารถหาได้โดยการเก็บข้อมูลจากการทดลอง สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเทียบกับค่าเลขเรย์โนล์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัดประเภทต่างๆ นั้น ได้มีผู้ที่ทำการทดลองและนำเสนอเป็นแผนภาพไว้มากมาย ซึ่ง Kays และ London [5] ได้ศึกษาและนำเสนอผลที่ได้เป็นแผนภาพ รูปที่ 3-2 เป็นตัวอย่างของแผนภาพที่ Kays และ London ได้นำเสนอไว้ สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีจำนวนครีบระบายความร้อน (Fin pitch) 19.86 ครีบต่อนิ้ว




Fin pitch = 19.86 per in = 782 per m
Plate spacing, $b$ = 0.250 in = $6.35 \times 10^{-3}$ m
Flow passage hydraulic diameter, $4r_h$ = 0.00615 ft = $1.875 \times 10^{-3}$ m
Fin metal thickness = 0.006 in, aluminum = 0.152 m
Total transfer area/volume between plates, $\beta$ = 561 ft$^2$/ft$^3$ = 1,841 m$^2$/m$^3$
Fin area/total area = 0.849

**รูปที่** 3-2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $St\,\mathrm{Pr}^{2/3}$ ,ค่า $f$ และค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Re) สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัดที่มีพื้นผิวเป็นระนาบเรียบและมีจำนวนครีบระบายความร้อน 19.86 ครีบต่อนิ้ว

จากตัวอย่างในรูปที่ 3-2 จะสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($h$) ได้โดยการคำนวณหาค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Re) และนำไปอ่านค่า $St\,\mathrm{Pr}^{2/3}$ จากกราฟ ซึ่ง ค่า $St$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\left(St = \frac{h}{GC_P}\right)$ และตัวเลขเรย์โนลด์ $\left(\mathrm{Re} = \frac{GD_H}{\mu}\right)$ คำนวณได้จากความเร็วเชิงมวล $(G)$ ที่มีค่าสูงสุด ตามสมการที่ 3.1

$$G = \frac{\dot{m}}{A_c} \tag{3.1}$$

เมื่อ $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลของของไหล ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

$A_c$ คือ พื้นที่สำหรับการไหลที่น้อยที่สุดในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ซึ่ง $A_c$ สามารถคำนวณได้โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะต่างๆ ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ดังนี้

$$r_h = L\left(\frac{A_c}{A}\right) \tag{3.2}$$

$$\sigma_1 = \left(\frac{A_c}{A_{fr}}\right) = \left(\frac{Ar_h}{LA_{fr}}\right) = \frac{(Ar_h)}{V} = (\alpha r_h)_1 \tag{3.3}$$

$$\alpha = \frac{A}{V} = \left(\frac{A}{LA_{fr}}\right) = \left(\frac{\sigma}{r_h}\right) \tag{3.4}$$

$$\alpha = \frac{b_1\beta_1}{b_1 + b_2 + 2\alpha} \tag{3.5}$$

เมื่อ $b$ คือ ระยะระหว่างระนาบ (ฟุต หรือ เมตร) (ใช้ได้กับกรณีครีบแบบระนาบเท่านั้น)

โดยที่ $b_1$ คือ ระยะระหว่างแผ่นระนาบในด้านที่สนใจ และ $b_2$ คือระยะระหว่างแผ่นระนาบในอีกด้านหนึ่ง

$r_h$ คือ รัศมีไฮดรอลิกของช่องทางการไหล (ฟุต หรือ เมตร)

$\beta$ คือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมดในหนึ่งด้าน และปริมาตรของช่องว่างระหว่างระนาบในด้านนั้น (ตารางฟุตต่อลูกบาศก์หรือตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร) (ใช้ได้กับกรณีครีบแบบระนาบเท่านั้น)

$\alpha$ คือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมดในหนึ่งด้านและปริมาตรทั้งหมดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

$A$ คือ พื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมดในหนึ่งด้านของเครื่องแลกเปลี่ยนร้อน (ตารางฟุต หรือ ตารางเมตร)

$A_c$ คือ พื้นที่ผิวของช่องทางการไหลของของไหลในหนึ่งด้าน (ตารางฟุต หรือ ตารางเมตร)

$A_{fr}$ คือ พื้นที่หน้าตัดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (ตารางฟุต หรือ ตารางเมตร)

$L$ คือ ความยาวด้านของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (ฟุต หรือ เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง


$V$ คือ ปริมาตรทั้งหมดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (ลูกบาศก์ฟุต หรือ ลูกบาศก์เมตร)

$\sigma$ คือ อัตราส่วนระหว่างช่องว่างในการไหล และพื้นที่หน้าตัดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เมื่ออ่านค่า $St\,\mathrm{Pr}^{2/3}$ จากแผนภาพได้ จะสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ ได้ดังสมการ

$$St\,\mathrm{Pr}^{2/3} = \frac{h\mathrm{Pr}^{2/3}}{GC_P} \tag{3.6}$$

จากการคำนวณ ได้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศเท่ากับ 40 วัตต์ต่อตารางเมตร·องศาเคลวิน

3.2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำ

ในหม้อน้ำรถยนต์ กระแสน้ำจะไหลในท่อที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม ดังนั้นสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำได้จากสมการการหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลที่ไหลในท่อที่มีหน้าตัดไม่เป็นวงกลม

ค่าอัตราการไหลและตัวเลขเรย์โนล์ดของน้ำหาได้จากการทำดุลความร้อนระหว่างน้ำและอากาศ ดังสมการที่ 3.7

$$q = \dot{m}_{air} C_{P,air} \Delta T = \dot{m}_{H_2O} C_{P,H_2O} \Delta T_{H_2O} \tag{3.7}$$

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho v D_{\mathrm{H}}}{\mu} = \frac{\dot{m}}{A} \cdot \frac{D_{\mathrm{H}}}{\mu} \tag{3.8}$$

ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ที่ได้สามารถบอกถึงชนิดของการไหลได้ ว่าเป็นการไหลแบบราบเรียบหรือปั่นป่วน และหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้จากสมการที่ 2.9 และ 2.11

จากการคำนวณได้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำ เท่ากับ 387 วัตต์ต่อตารางเมตร·องศาเคลวิน

61463
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม ($U$)

เมื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำและอากาศได้ จะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวมได้จากสมการ 3.9

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k_A} + \frac{1}{h_2}} \tag{3.9}$$

เมื่อ

$h_1$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ (วัตต์/(ตารางเมตร)(องศาเซลเซียส)

$h_2$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำ (วัตต์/(ตารางเมตร)(องศาเซลเซียส)

$k_A$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำ (วัตต์/(เมตร)(องศาเซลเซียส)

$\Delta x$ คือ ความหนาของผนังท่อ (เมตร)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม ($U$) ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 40 วัตต์ต่อตารางเมตร·องศาเคลวิน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ เพราะว่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำ และค่าการนำความร้อนของท่อโลหะมีค่าสูงมาก

### 3.2.5 อัตราการละลายของน้ำแข็ง

ความร้อนในถังน้ำแข็ง เป็นความร้อนเนื่องจากการเปลี่ยนสถานะ โดยใช้น้ำแข็งเป็นตัวดึงพลังงานจากน้ำเพื่อนำไปใช้ในการหลอมเหลว ทำให้น้ำเย็นตัวลง ดังนั้นจะหาอัตราการละลายของน้ำแข็งได้จากการทำดุลความร้อนระหว่างน้ำและน้ำแข็ง ดังสมการที่ 3.10

$$q = (\dot{m} C_P \Delta T)_{H_2O} = \dot{m}_{ice} h_{if} \tag{3.10}$$

เมื่อ

$\dot{m}_{H_2O}$ คือ อัตราการไหลของน้ำ (กิโลกรัมต่อวินาที)

$\dot{m}_{ice}$ คือ อัตราการละลายของน้ำแข็ง (กิโลกรัมต่อวินาที)

$h_{if}$ คือ ค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลวของน้ำแข็ง (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)

$\Delta T_{H_2O}$ คือ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่เข้าและออกจากถังน้ำแข็ง (องศาเซลเซียส)

$C_{P,H_2O}$ คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม องศาเซลเซียส)

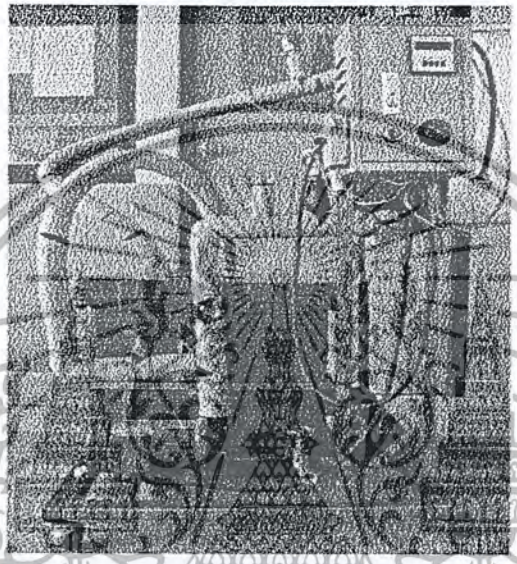
จากการคำนวณตามสมการข้างต้น ได้อัตราการละลายของน้ำแข็งเท่ากับ 8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

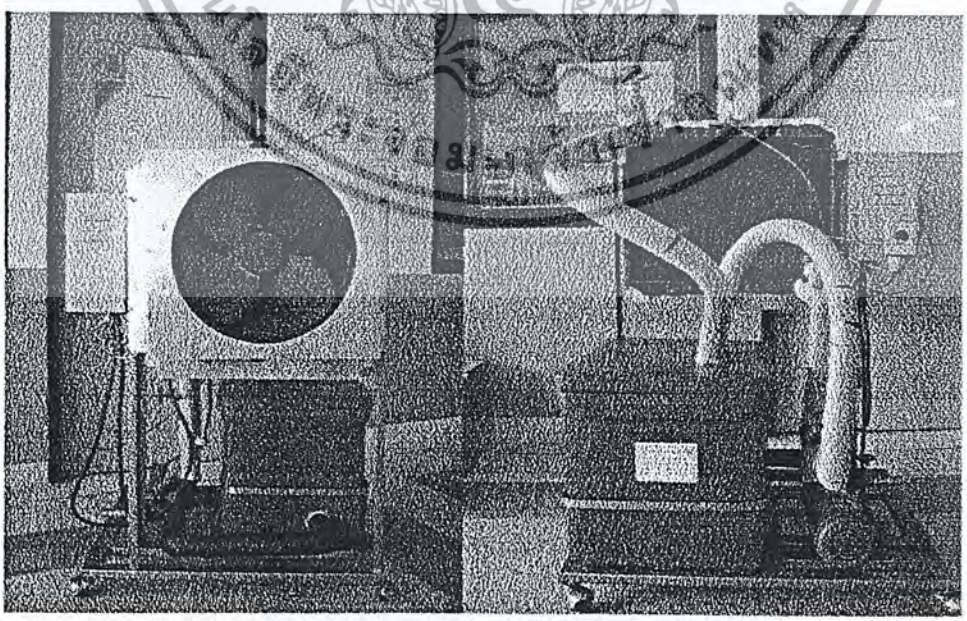
# บทที่ 4
# อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

## 4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องปรับอากาศสำหรับภายนอกอาคารที่สร้างขึ้น ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ หลายชนิด ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4-1 และ 4-2 และจะกล่าวถึงรายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้



**รูปที่ 4-1** ระบบการทำงานรวมของเครื่องปรับอากาศ



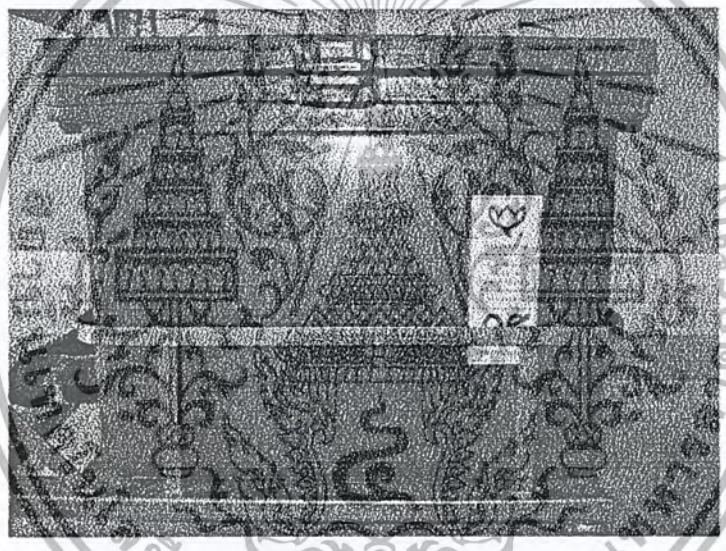
**รูปที่ 4-2** ด้านหน้าและด้านหลังของเครื่องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.1.1 ถังน้ำแข็ง

เป็นภาชนะที่บรรจุน้ำแข็งเพื่อใช้ทำให้น้ำเย็น ถังน้ำแข็งที่เลือกใช้ในโครงงานนี้เป็นถังพลาสติก มีปริมาตร 60 ลิตร สาเหตุที่เลือกใช้ถังที่ทำจากพลาสติก เนื่องจากพลาสติกเป็นฉนวนป้องกันความร้อนสูญเสียได้ดี ที่ถังน้ำแข็งมีท่อที่เป็นทางออกของน้ำเย็นด้านล่าง เพื่อส่งผ่านปั๊มไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และมีท่อรับน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนกลับเข้าถังน้ำแข็งด้านบน เพื่อลดอุณหภูมิให้เย็นลงและนำไปใช้แลกเปลี่ยนความร้อนอีกครั้ง

ปริมาณน้ำที่ใส่ในถังน้ำแข็งในตอนเริ่มต้นมีปริมาตรใกล้เคียงกับปริมาตรน้ำแข็ง เพื่อให้มีอัตราการละลายที่เหมาะสม และน้ำที่กลับเข้าสู่ถังน้ำแข็งจะช่วยทำให้เกิดการกวนน้ำแข็งในถัง เพื่อให้ระดับอุณหภูมิของน้ำเย็นในถังมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วบริเวณ และเพื่อให้อัตราการละลายของน้ำแข็งเพิ่มขึ้นด้วย

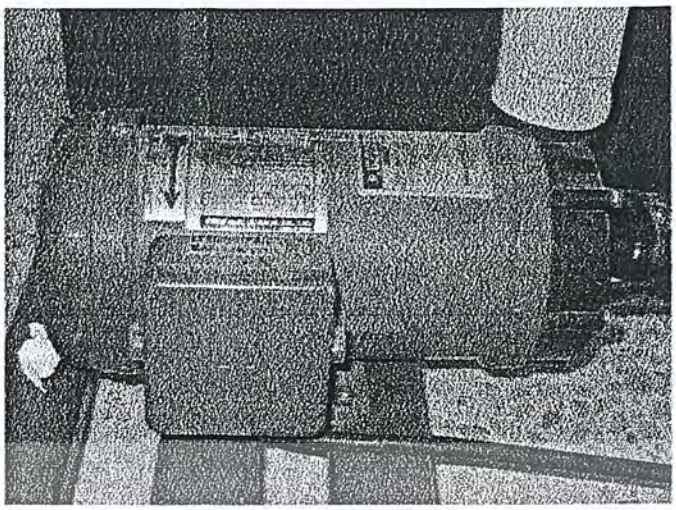


**รูป** 4-3 ถังน้ำแข็ง

### 4.1.2 ปั๊ม (Pump)

ทำหน้าที่ดูดและอัดกระแสน้ำเย็นจากถังน้ำแข็ง เพื่อส่งต่อไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน การทำงานของปั๊มเป็นระบบเปิด-ปิด (On-Off) โดยมีเทอร์โมสแตทเป็นตัววัดอุณหภูมิอากาศที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แล้วส่งสัญญาณไปควบคุมการเปิด-ปิดของปั๊ม คือถ้าอุณหภูมิของอากาศออกในขณะนั้นมีค่าต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ (Set point) ปั๊มจะหยุดทำงาน และจะทำงานอีกครั้งเมื่ออุณหภูมิอากาศออกสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ (Set point) ปั๊มที่ใช้เป็นปั๊มขนาด 90 วัตต์ มีเฮด (Head) 9.5 เมตร และอัตราการไหลสูงสุด 70 ลิตรต่อนาที

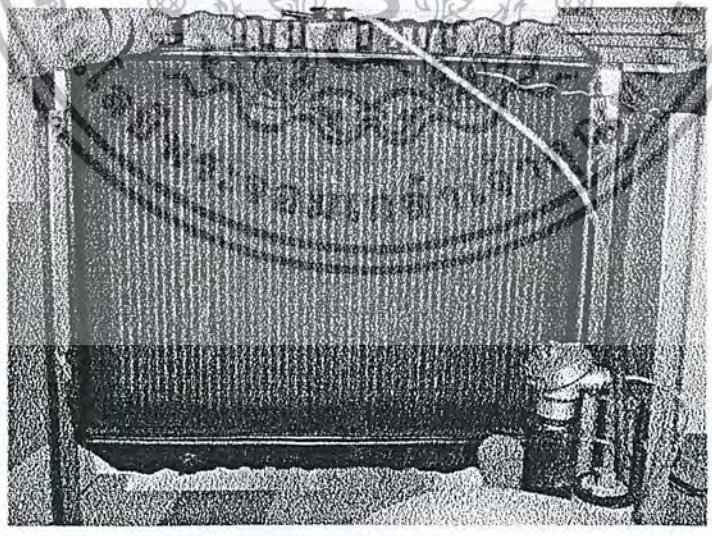
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 4-4 ปั๊ม**

### 4.1.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger)

เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำเย็นและอากาศ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นหม้อน้ำรถยนต์ (Radiator) ซึ่งเป็น Compact heat exchanger ที่มีครีบเป็นแบบระนาบเรียบ (Plain-plate fin surface) และมีจำนวนครีบระบายความร้อน (Fin pitch) 14.77 ครีบต่อนิ้ว มีขนาดกว้าง 0.41 เมตร ยาว 0.542 เมตร และหนา 0.01 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4-5

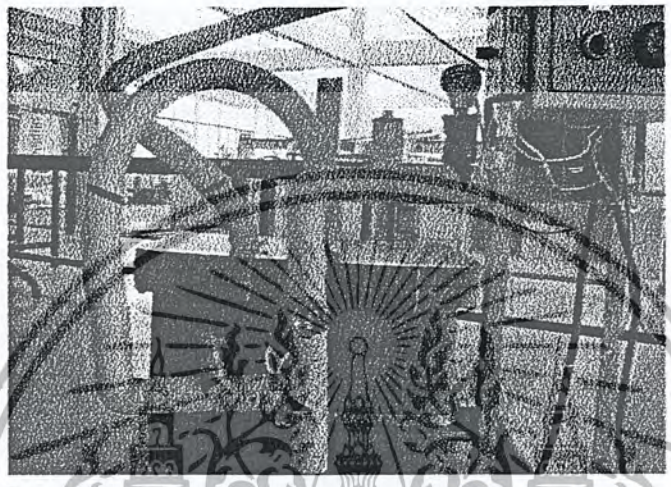


**รูปที่ 4-5 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.1.4 ท่อ

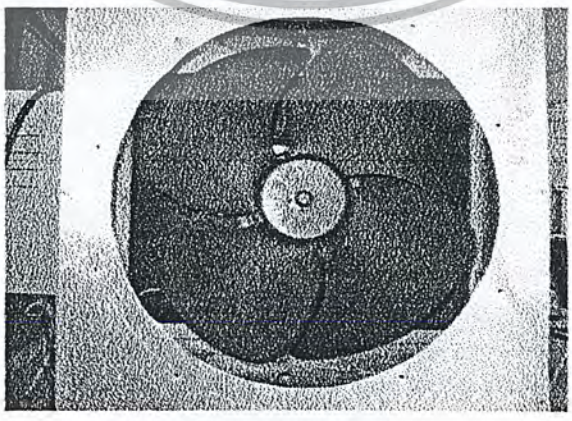
ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของน้ำที่ใช้เป็นตัวกลางในการทำความเย็นดังแสดงในรูปที่ 4-6 ท่อที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร และยาว 333 เซนติเมตร (ท่อที่ส่งน้ำจากถังน้ำแข็งเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนยาว 169 เซนติเมตร และท่อที่ส่งน้ำจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกลับไปถังน้ำแข็งยาว 164 เซนติเมตร) ใช้ฉนวนหุ้มท่อไว้เพื่อป้องกันความร้อนสูญเสีย



**รูปที่** 4-6 ระบบท่อ

### 4.1.5 พัดลมดูด

พัดลมดูดทำหน้าที่ดูดอากาศร้อนผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และพัดอากาศเย็นออกมาโดยแสดงไว้ในรูปที่ 4-7 ทำการออกแบบให้พัดลมติดตั้งอยู่หน้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน มีหน้ากากครอบเพื่อให้พัดลมดูดอากาศร้อนที่ผ่านมาจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเท่านั้น สามารถปรับความเร็วของพัดลมได้ด้วยสวิตช์ควบคุมความเร็ว



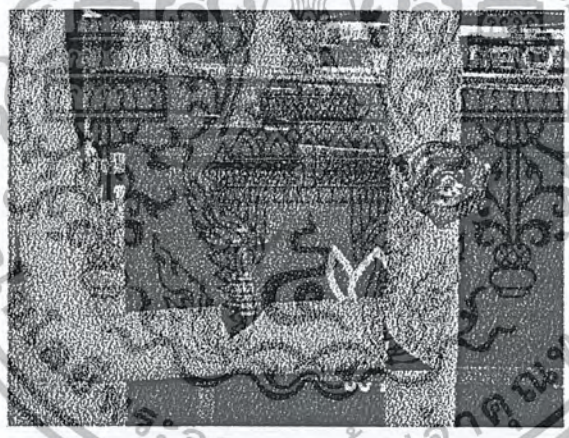
**รูปที่ 4-7 พัดลมดูด**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.1.6 วาล์ว

ใช้ควบคุมทิศทางการไหลของน้ำเย็นที่ออกจากถังน้ำแข็ง เนื่องจากในช่วงเริ่มต้นการทำงานของเครื่องปรับอากาศ น้ำในถังจะยังมีอุณหภูมิสูงอยู่ ไม่เหมาะที่จะใช้ในการปรับอากาศ ผู้ทำโครงงานจึงออกแบบให้ท่อน้ำเย็นที่ออกจากถังน้ำแข็งแยกออกเป็นสองทาง คือ ทางหนึ่งนำน้ำเย็นออกจากถังน้ำแข็งเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และอีกทางหนึ่งนำน้ำเย็นกลับเข้าถังน้ำแข็งโดยไม่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยมีวาล์ว 2 ตัวควบคุมทิศทางการไหลของน้ำเย็นที่ออกจากถังน้ำแข็ง ดังแสดงในรูปที่ 4-8

เมื่อเริ่มการทดลองแต่ละครั้ง จะยังไม่ส่งน้ำเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในทันที แต่จะส่งน้ำกลับเข้าถังน้ำแข็ง เพื่อลดอุณหภูมิของน้ำให้พอเหมาะที่จะใช้ในการปรับอากาศเสียก่อน โดยปิดวาล์วของท่อที่ส่งน้ำเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และเปิดวาล์วของท่อที่ส่งน้ำกลับถังน้ำแข็ง หลังจากน้ำในถังมีอุณหภูมิลดลงตามต้องการ จึงเปลี่ยนทิศทางการไหล ให้น้ำเย็นที่ออกจากถังไหลเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยสลับการเปิดและปิดวาล์ว วาล์วที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นชนิดโกล์บวาล์ว (Glove valve)

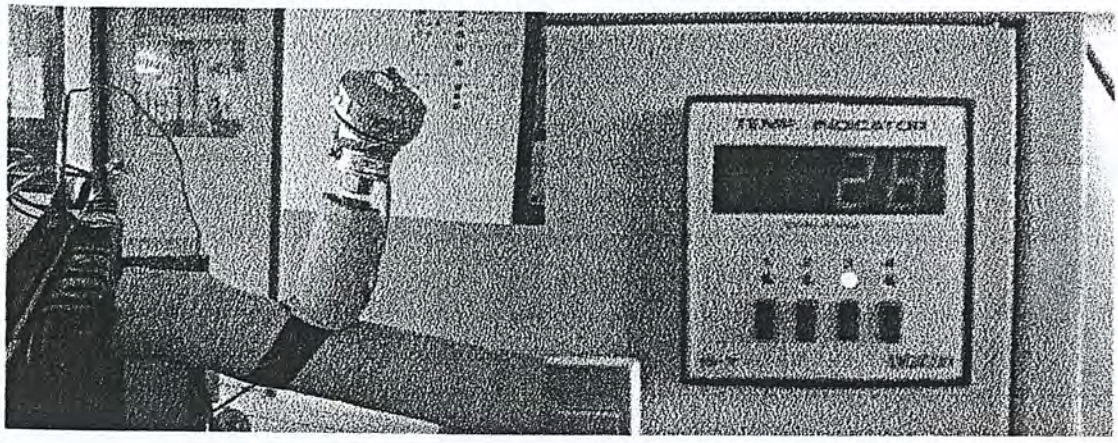


**รูปที่** 4-8 วาล์วควบคุมทิศทางการไหลของน้ำ

### 4.1.7 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

ใช้วัดอุณหภูมิของกระแสน้ำ และกระแสอากาศ ที่เข้าและออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นชนิด K (CA) ดังแสดงในรูปที่ 4-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-9 เทอร์โมคัปเปิลและจอแสดงอุณหภูมิ

## 4.2 วิธีการทดลอง

4.2.1 เตรียมน้ำใส่ลงในถังน้ำแข็ง

4.2.2 นำน้ำแข็งมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นใส่ลงในถังน้ำแข็ง

4.2.3 เปิดวาล์วให้น้ำไหลกลับเข้าถังน้ำแข็งโดยยังไม่ส่งเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อทำให้น้ำเย็น 3 นาที

4.2.4 ตั้งค่าอุณหภูมิ (Set point) ไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และใช้ความเร็วพัดลม 0.2 เมตรต่อวินาที

4.2.5 ปิดวาล์วที่นำน้ำกลับเข้าถัง และเปิดวาล์วให้น้ำเย็นไหลเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

4.2.6 จดบันทึกอุณหภูมิกระแสอากาศ และกระแสน้ำ ที่เข้าและออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ณ เวลาต่างๆ

4.2.7 วัดอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำแข็งที่เวลาต่างๆ

4.2.8 ในระหว่างการทดลอง นำน้ำแข็งออกมาชั่งน้ำหนัก โดยปิดปั๊มและพัดลมก่อน จดบันทึกน้ำหนักของน้ำแข็งกับเวลา รวมทั้งจดบันทึกเวลาที่น้ำแข็งละลายจนหมด

4.2.9 วัดและบันทึกอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำแข็งที่เวลาต่างๆ

4.2.10 ทดลองและจดบันทึกข้อมูลจนกระทั่งอุณหภูมิของอากาศเย็นเริ่มสูงขึ้น เนื่องจากน้ำแข็งละลายจนหมด

4.2.11 ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนสภาวะการทดลองดังนี้

4.2.11.1 ตั้งค่าอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเร็วพัดลมเป็น 1.4 และ 1.6 เมตรต่อวินาที

4.2.11.2 ตั้งค่าอุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ความเร็วพัดลมเป็น 0.2 1.4 และ 1.6 เมตรต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.11.3 ตั้งค่าอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความเร็วพัดลมเป็น 0.2 1.4 และ 1.6 เมตร ต่อวินาที

4.3.12 จากข้อมูลที่ได้ นำไปวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำ และอากาศ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม และประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

## 5.1 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำและอากาศ ($h$) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม ($U$)

จากการทดลองโดยใช้ความเร็วอากาศต่างๆกัน จะสามารถนำมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำและอากาศ ($h$) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม ($U$) ได้ดังที่แสดงในตารางที่ 5.1 และ 5.2 และรูปที่ 5-1 ตัวอย่างการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก ตัวอย่างที่ ก-1

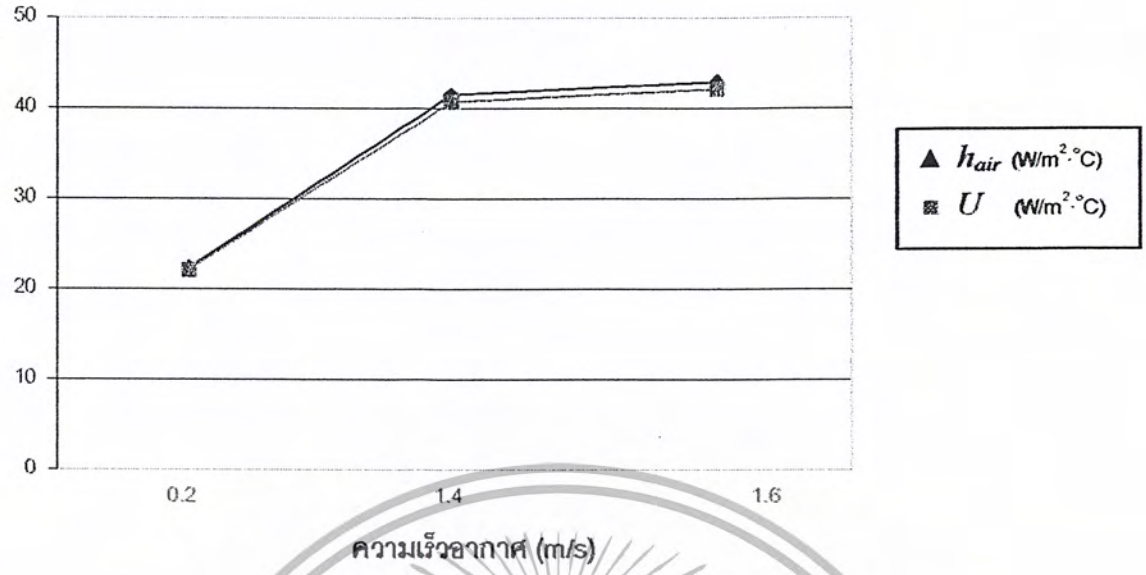
**ตารางที่** 5.1 ตัวเลขเรย์โนลด์ (Re) ค่า $St\,\mathrm{Pr}^{2/3}$ และค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($h$) ของน้ำและอากาศ เมื่อเครื่องปรับอากาศทำงานโดยใช้ความเร็วของอากาศต่างๆ กัน

| ความเร็วอากาศ (เมตรต่อวินาที) | เลขเรย์โนลด์ (Re) | $St\,\mathrm{Pr}^{2/3}$ | สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำ (วัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส) | สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ (วัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส) |
|---|---|---|---|---|
| 0.2 | 79 | 0.032 | 2337 | 22 |
| 1.4 | 550 | 0.0085 | 2337 | 41 |
| 1.6 | 628 | 0.0077 | 2337 | 43 |

**ตารางที่** 5.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม ($U$) ของระบบ เมื่อเครื่องปรับอากาศทำงานโดยใช้ความเร็วของอากาศต่างๆ กัน

| ความเร็วอากาศ (เมตรต่อวินาที) | สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม (วัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส) |
|---|---|
| 0.2 | 22 |
| 1.4 | 41 |
| 1.6 | 42 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่** 5-1 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ ($h_{air}$) และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม ($U$) ในสภาวะการทำงานที่ความเร็วอากาศต่างๆ

## 5.2 อัตราการละลายของน้ำแข็ง

จากข้อมูลที่จดบันทึกน้ำหนักของน้ำแข็งที่ละลายไปในช่วงเวลาหนึ่ง และเวลาที่น้ำแข็งละลายจนหมดในการทดลองที่สภาวะต่างๆ สามารถนำมาคำนวณหาอัตราการละลายของน้ำแข็งได้ดังที่แสดงในตารางที่ 5.3 ถึง 5.5 และรูปที่ 5-2 ตัวอย่างการคำนวณอัตราการละลายของน้ำแข็งแสดงไว้ในภาคผนวก ก ตัวอย่างที่ ก-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่** 5.3 อัตราการละลายของน้ำแข็งในการทดลองที่อุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเป็น 20 องศาเซลเซียส

| ความเร็วของอากาศ (เมตรต่อวินาที) | การทดลอง | อัตราการละลายของน้ำแข็ง (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) | | อัตราการละลายเฉลี่ยตลอดช่วงการทำงาน (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) |
|---|---|---|---|---|
| | | ช่วงแรก | ช่วงหลัง | |
| 0.2 | 1 | 35 | 7 | 21 |
| | 2 | 45 | 14 | 29 |
| | 3 | 35 | 9 | 22 |
| | ค่าเฉลี่ย | - | | 24 |
| 1.4 | 1 | 45 | 24 | 34 |
| | 2 | 47 | 20 | 33 |
| | 3 | 64 | 16 | 40 |
| | ค่าเฉลี่ย | - | | 36 |
| 1.6 | 1 | 64 | 17 | 40 |
| | 2 | 63 | 13 | 38 |
| | 3 | 66 | 13 | 40 |
| | ค่าเฉลี่ย | - | | 39 |

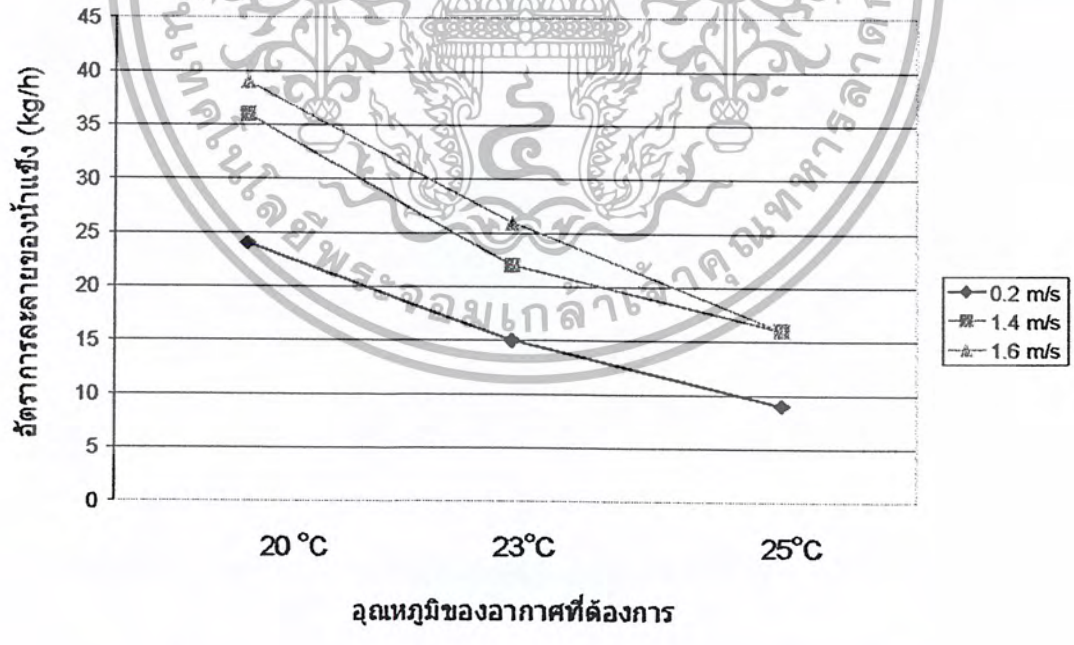
**ตารางที่** 5.4 อัตราการละลายของน้ำแข็งในการทดลองที่อุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเป็น 23 องศาเซลเซียส

| ความเร็วของอากาศ (เมตรต่อวินาที) | การทดลอง | อัตราการละลายของน้ำแข็ง (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) | | อัตราการละลายเฉลี่ยตลอดช่วงการทำงาน (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) |
|---|---|---|---|---|
| | | ช่วงแรก | ช่วงหลัง | |
| 0.2 | 1 | 17 | 3 | 10 |
| | 2 | 29 | 8 | 19 |
| | 3 | 22 | 9 | 15 |
| | ค่าเฉลี่ย | - | | 15 |
| 1.4 | 1 | 38 | 15 | 27 |
| | 2 | 22 | 10 | 16 |
| | ค่าเฉลี่ย | - | | 22 |
| 1.6 | 1 | 40 | 13 | 27 |
| | 2 | 34 | 16 | 25 |
| | ค่าเฉลี่ย | - | | 26 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่** 5.5 อัตราการละลายของน้ำแข็งในการทดลองที่อุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเป็น 25 องศาเซลเซียส

| ความเร็วของอากาศ (เมตรต่อวินาที) | การทดลอง | อัตราการละลายของน้ำแข็ง (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) | | อัตราการละลายเฉลี่ยตลอดช่วงการทำงาน (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) |
|---|---|---|---|---|
| | | ช่วงแรก | ช่วงหลัง | |
| 0.2 | 1 | 10 | 4 | 7 |
| | 2 | 10 | 15 | 13 |
| | 3 | 10 | 7 | 8 |
| | ค่าเฉลี่ย | - | | 9 |
| 1.4 | 1 | 22 | 11 | 16 |
| | 2 | 24 | 6 | 15 |
| | 3 | 27 | 4 | 16 |
| | ค่าเฉลี่ย | - | | 16 |
| 1.6 | 1 | 25 | 5 | 15 |
| | 2 | 22 | 13 | 17 |
| | ค่าเฉลี่ย | - | | 16 |




**รูปที่** 5-2 อัตราการละลายของน้ำแข็งที่สภาวะการทำงานต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.3 ความสามารถในการทำความเย็นและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

จากข้อมูลที่บันทึกน้ำหนักของน้ำแข็งตอนเริ่มต้น รวมทั้งอุณหภูมิของอากาศที่เข้าและออกจากเครื่องปรับอากาศ ณ เวลาต่างๆ จะสามารถนำข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์หาค่าพลังงานความร้อนที่น้ำแข็งนำไปใช้ในการหลอมเหลว พลังงานความร้อนของอากาศที่ลดลง ความสามารถในการทำความเย็น (บีทียูต่อชั่วโมง) และค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศได้ ดังที่แสดงในตารางที่ 5.6 ถึง 5.8 และรูปที่ 5-3 ถึง 5-4 สำหรับตัวอย่างการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ก ตัวอย่างที่ ก-3

**ตารางที่** 5.6 พลังงานที่น้ำแข็งดึงไปใช้ในการหลอมเหลว ความร้อนของอากาศที่ลดลง ความสามารถในการทำความเย็น และค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ จากการทดลองที่อุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเป็น 20 องศาเซลเซียส

| ความเร็วของอากาศ (เมตรต่อวินาที) | การทดลอง | พลังงานที่น้ำแข็งใช้ไปในการหลอมเหลว (กิโลจูล) | ความร้อนของอากาศที่ลดลง (กิโลจูล) | ความสามารถในการทำความเย็น (บีทียูต่อชั่วโมง) | ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.2 | 1 | 3081 | 362 | 1295 | 12 |
| | 2 | 2310 | 362 | 2230 | 16 |
| | 3 | 2243 | 334 | 1653 | 15 |
| | ค่าเฉลี่ย | 2545 | 353 | 1726 | 14 |
| 1.4 | 1 | 2243 | 851 | 6921 | 38 |
| | 2 | 2076 | 780 | 5550 | 38 |
| | 3 | 4755 | 1806 | 7732 | 38 |
| | ค่าเฉลี่ย | 3025 | 1146 | 6734 | 38 |
| 1.6 | 1 | 2511 | 1340 | 10897 | 53 |
| | 2 | 2813 | 1571 | 11179 | 56 |
| | ค่าเฉลี่ย | 2511 | 1203 | 11038 | 47 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

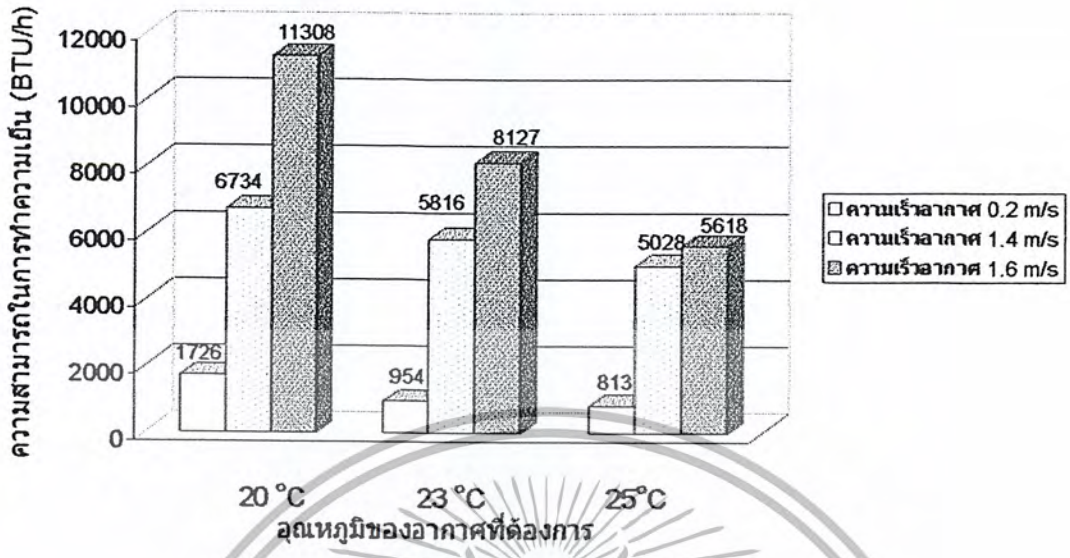
**ตารางที่** 5.7 พลังงานที่น้ำแข็งดึงไปใช้ในการหลอมเหลว ความร้อนของอากาศที่ลดลง ความสามารถในการทำความเย็น และค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ จากการทดลองที่อุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเป็น 23 องศาเซลเซียส

| ความเร็วของอากาศ (เมตรต่อวินาที) | การทดลอง | พลังงานที่น้ำแข็งใช้ไปในการหลอมเหลว (กิโลจูล) | ความร้อนของอากาศที่ลดลง (กิโลจูล) | ความสามารถในการทำความเย็น (บีทียูต่อชั่วโมง) | ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.2 | 1 | 2578 | 384 | 792 | 15 |
| | 2 | 2394 | 360 | 1366 | 15 |
| | 3 | 2176 | 216 | 703 | 10 |
| | ค่าเฉลี่ย | 2383 | 320 | 954 | 13 |
| 1.4 | 1 | 2980 | 1747 | 7153 | 59 |
| | 2 | 2846 | 1822 | 4478 | 64 |
| | ค่าเฉลี่ย | 2913 | 1785 | 5816 | 62 |
| 1.6 | 1 | 2243 | 1491 | 8490 | 66 |
| | 2 | 2679 | 1950 | 7764 | 73 |
| | ค่าเฉลี่ย | 2461 | 1721 | 8127 | 70 |

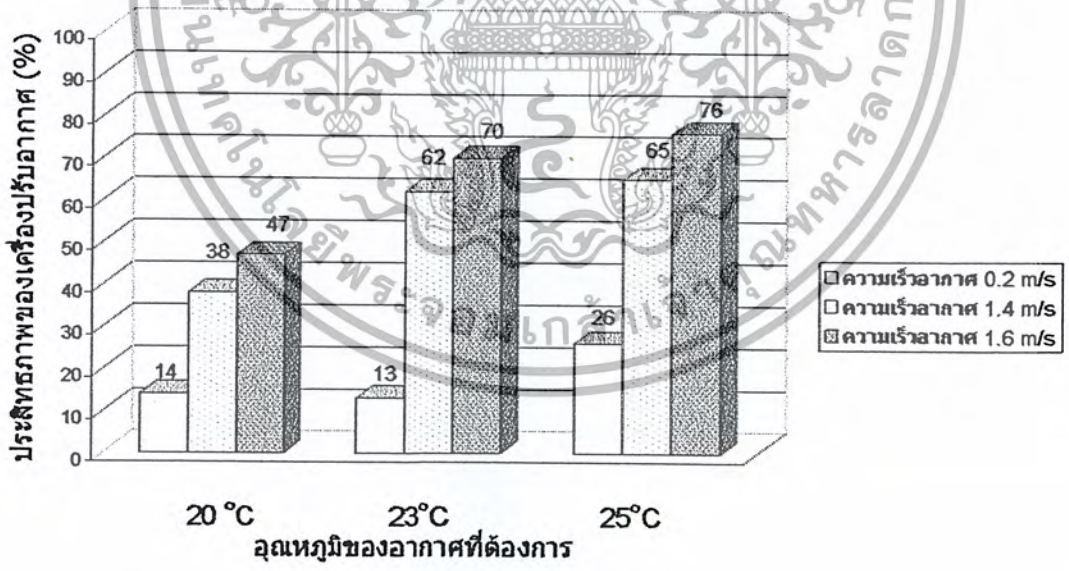
**ตารางที่** 5.8 พลังงานที่น้ำแข็งดึงไปใช้ในการหลอมเหลว ความร้อนของอากาศที่ลดลง ความสามารถในการทำความเย็น และค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ จากการทดลองที่อุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเป็น 25 องศาเซลเซียส

| ความเร็วของอากาศ (เมตรต่อวินาที) | การทดลอง | พลังงานที่น้ำแข็งใช้ไปในการหลอมเหลว (กิโลจูล) | ความร้อนของอากาศที่ลดลง (กิโลจูล) | ความสามารถในการทำความเย็น (บีทียูต่อชั่วโมง) | ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.2 | 1 | 2176 | 628 | 894 | 29 |
| | 2 | 2176 | 602 | 902 | 28 |
| | 3 | 2377 | 496 | 642 | 21 |
| | ค่าเฉลี่ย | 2243 | 575 | 813 | 26 |
| 1.4 | 1 | 2712 | 1848 | 4781 | 68 |
| | 2 | 2578 | 1762 | 5144 | 68 |
| | 3 | 2344 | 1405 | 5160 | 60 |
| | ค่าเฉลี่ย | 2545 | 1672 | 5028 | 65 |
| 1.6 | 1 | 2478 | 1992 | 6300 | 80 |
| | 2 | 2545 | 1820 | 4936 | 71 |
| | ค่าเฉลี่ย | 2512 | 1906 | 5618 | 76 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 5-3 ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (BTU/h)
ที่สภาวะการทำงานต่างๆ




**รูปที่ 5-4 ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (%) ที่สภาวะการทำงานต่างๆ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6
# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

## 6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาลักษณะการทำงานของเครื่องปรับอากาศเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิของอากาศออกไว้ที่ 20 23 และ 25 องศาเซลเซียส และเปลี่ยนความเร็วของอากาศเป็น 0.2 1.4 และ 1.6 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ พบว่าเครื่องปรับอากาศสามารถทำให้อุณหภูมิของอากาศออกลดลงได้จนมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ซึ่งในสภาวะการทำงานที่ตั้งค่าอุณหภูมิอากาศออกไว้ที่ 20 องศาเซลเซียส จะรู้สึกว่าอากาศเย็นได้มากที่สุด และเมื่อใช้ความเร็วของอากาศต่างกัน พบว่าที่ความเร็วอากาศ 1.6 เมตรต่อวินาที จะรู้สึกว่าอากาศเย็นกว่าที่ความเร็วอากาศ 0.2 และ 1.4 เมตรต่อวินาที โดยจะสังเกตได้ชัดเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิอากาศออกไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส

และเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์หาความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยพิจารณาถึงพลังงานความร้อนของอากาศที่เครื่องปรับอากาศทำให้ลดลงได้ในหนึ่งหน่วยเวลา (บีทียูต่อชั่วโมง) พบว่าเครื่องปรับอากาศจะมีความสามารถในการทำความเย็นสูง เมื่อตั้งค่าอุณหภูมิอากาศออกไว้ที่อุณหภูมิต่ำและใช้ความเร็วอากาศสูง ซึ่งความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่สร้างได้ในโครงงานนี้ มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 11308 บีทียูต่อชั่วโมงในสภาวะที่ตั้งค่าอุณหภูมิของอากาศออกไว้ที่ 20 องศาเซลเซียสและใช้ความเร็วอากาศ 1.6 เมตรต่อวินาที

สรุปได้ว่าเครื่องปรับอากาศจะสามารถลดพลังงานความร้อนในอากาศได้ดีเมื่ออุณหภูมิอากาศออกที่ตั้งไว้มีค่าต่ำ และใช้ความเร็วอากาศสูง ในด้านอุณหภูมิของอากาศออกนั้น อธิบายได้ว่า เนื่องจากการทำงานของปั๊มที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศทำงานแบบเปิด-ปิด เมื่อตั้งค่าอุณหภูมิของอากาศออกไว้ที่ 20 องศาเซลเซียส ปั๊มจึงต้องทำงานเป็นเวลานานขึ้นเพื่อที่จะลดอุณหภูมิของอากาศออกให้ได้ถึงค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ น้ำเย็นที่ถูกส่งผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีปริมาณมากขึ้น ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังน้ำได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับอุณหภูมิอากาศที่ตั้งไว้เป็น 23 และ 25 องศาเซลเซียส

สำหรับความเร็วของอากาศมีผลทำให้รู้สึกว่าอากาศเย็นขึ้นเนื่องจาก ความเร็วของอากาศถือเป็นหนึ่งในปัจจัยหลัก 3 อย่างที่ส่งผลต่อมนุษย์ในด้านความรู้สึกสบายในอากาศที่สภาวะต่างๆ [6] นอกเหนือจากอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ ซึ่งตามหลักการทางทฤษฎีนั้น เมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($h$) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม ($U$) ซึ่งเป็นตัวแปรที่แสดงถึงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นด้วย จากการคำนวณพบว่า ที่ความเร็วอากาศ 1.6 เมตรต่อวินาทีและเป็นความเร็วสูงสุดที่ทำการทดลองนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศที่ได้ จะมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 43 วัตต์ต่อตารางเมตร•องศาเซลเซียส และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม 42 วัตต์ต่อตารางเมตร•องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าที่ความเร็วของอากาศ 1.6 เมตรต่อวินาทีนั้น การถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังน้ำจะเกิดได้ดีที่สุด

สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องปรับอากาศนั้น พบว่าประสิทธิภาพการทำงานจะสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิอากาศออกสูงขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการพิจารณาประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศในโครงงานนี้ จะคิดเปรียบเทียบระหว่างพลังงานความร้อนของอากาศที่ลดลงได้เทียบกับพลังงานความร้อนทั้งหมดที่น้ำแข็งนำไปใช้ในการหลอมเหลว ซึ่งที่อุณหภูมิอากาศออกต่ำนั้นน้ำแข็งจะหลอมเหลวได้เร็วและมีอัตราการละลายสูง แม้ว่าเครื่องปรับอากาศจะสามารถทำความเย็นได้มากก็ตาม ทำให้ค่าประสิทธิภาพในการทำงานที่ได้มีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิอากาศออกสูง

แต่เมื่อพิจารณาในด้านความเร็วของอากาศ พบว่าที่ความเร็วของอากาศสูง ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องปรับอากาศก็ยังคงมีค่าสูงกว่าที่ความเร็วของอากาศต่ำ แสดงให้เห็นว่าความเร็วของอากาศมีผลต่ออัตราการละลายของน้ำแข็งไม่มากนัก ดังนั้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบเป็นประสิทธิภาพการทำงานแล้ว ที่ความเร็วของอากาศสูงจึงยังมีประสิทธิภาพสูงกว่าที่ความเร็วของอากาศต่ำ โดยประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศที่ได้ มีค่าสูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 76 จากการทำงานที่สภาวะที่อากาศออกมีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 1.6 เมตรต่อวินาที

อีกสิ่งหนึ่งที่ต้องให้ความสนใจ ในการพิจารณาถึงความสามารถในการทำงานของเครื่องปรับอากาศก็คือ ความร้อนสูญเสียที่เกิดในระบบ ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการทำงานของเครื่องปรับอากาศ พบว่าความสามารถในการทำความเย็นและประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ที่ความเร็วอากาศ 0.2 เมตรต่อวินาที มีค่าต่ำกว่าที่ 1.4 และ 1.6 เมตรต่อวินาทีอยู่มาก สันนิษฐานว่าสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากความร้อนสูญเสียที่บริเวณเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เนื่องจากการสังเกตพบว่าขณะที่เครื่องปรับอากาศทำงานที่ความเร็วอากาศ 0.2 เมตรต่อวินาที จะมีหยดน้ำจำนวนมากเกาะอยู่ที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตรงบริเวณที่เป็นช่องการไหลของอากาศ อธิบายได้ว่า ในอากาศมีความชื้น เมื่ออากาศเคลื่อนที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ไอน้ำในอากาศจำนวนหนึ่งจะเกิดการควบแน่นกลายเป็นหยดน้ำและคายความร้อนออกมา ซึ่งที่ความเร็วอากาศต่ำ ไอน้ำในอากาศจะมีโอกาสเกิดการควบแน่นได้มากกว่า จึงพบหยดน้ำเกาะอยู่มากเมื่อความเร็วอากาศเป็น 0.2 เมตรต่อวินาที ความร้อนที่ไอน้ำคายออกมานี้ ถือเป็นความร้อนสูญเสีย เนื่องจากความร้อนเหล่านี้จะถูกถ่ายเทไปยังกระแสน้ำเย็นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้น้ำเย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้น และลดพลังงานความร้อนจากอากาศได้น้อยลง ทำให้ความสามารถในการทำความเย็นและประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่กล่าวมานี้จะเห็นได้ว่า มีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อการทำงานขอเครื่องปรับอากาศ ดังนั้นในการพิจารณาเลือกสภาวะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ จึงต้องพิจารณาถึงปัจจัยเหล่านี้ประกอบกัน คือ อุณหภูมิและความเร็วของอากาศออกควรจะเหมาะสมกับสถานที่และอุณหภูมิที่ใช้งาน เพราะการทำให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำมากเกินไปจะทำให้อัตราการละลายของน้ำแข็งสูง เป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น หรือ หากอุณหภูมิและความเร็วของอากาศสูงเกินไป ก็จะทำให้ผู้ใช้งานไม่รู้สึกสบายเท่าที่ควร และตัวเครื่องปรับอากาศควรหุ้มฉนวนไว้ให้เรียบร้อยเพื่อป้องกันการเกิดความร้อนสูญเสีย

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

ปั๊ม (Pump) ที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศสำหรับโครงงานนี้ ได้รับการออกแบบให้ทำงานแบบเปิด-ปิด โดยกำหนดอุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเป็นตัวควบคุมการทำงานของปั๊ม ซึ่งพบว่าอุณหภูมิของอากาศออกที่ได้จริงมีค่าสูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิที่กำหนดไว้ประมาณ 2-3 องศาเซลเซียส และระดับอุณหภูมิยังมีลักษณะแกว่งขึ้น-ลง เนื่องจากลักษณะการทำงานของวงจรควบคุมแบบเปิด-ปิด รวมทั้งเทอร์โมสแตท (Thermostat) ที่ใช้มีความผิดพลาดอยู่ที่ ±4 องศาเซลเซียส ดังนั้นหากต้องการให้ระดับอุณหภูมิของอากาศออกมีลักษณะคงที่ อาจนำระบบควบคุมแบบอื่นที่มีประสิทธิภาพมากกว่ามาใช้ เช่น ระบบควบคุมแบบ PID control รวมทั้งใช้อุปกรณ์ที่มีความเที่ยงตรงมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง


[1] CenGel, Y.A., *Heat Transfer: A Practical Approach*, International Edition. New York: McGraw-Hill, 1998.

[2] จักรพันธ์ ภวังคะรัตน์, *"วิสัยทัศน์ งานวิศวกรรมปรับอากาศในอนาคต"* หนังสือวิชาการของสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย, เล่มที่ 1 ปีที่ 1 พฤศจิกายน 2541.

[3] Holman. J.P, *Heat Transfer*, 9th ed. New York: McGraw-Hill, 2001.

[4] นักสิทธิ์ คูวัฒนาชัย, *"การถ่ายเทความร้อน: Heat Transfer"* พิมพ์ครั้งที่ 2, ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์, 2526.

[5] Kays. W. M., London. A.L., *Compact Heat Exchangers*, 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1984.

[6] Yamtraipat, N., Khedari J., Hirunrabh, J., *Thermal Comfort Standards for Air Conditioned Buildings in Hot and Humid Thailand Considering Additional Factors of Acclimatization and Education Level*, Solar Energy, Vol.25 (2004), p.714.

[7] Olsson, C.O., Sunden, B. *Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics of Ten Radiator Tubes*, Int. J. Heat and Mass Transfer. Vol.39, No.15, p. 3211-3220, 1996

[8] www.radiator.com


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก.

# ตัวอย่างการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**<u>การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวมของระบบ</u>**

**ตัวอย่าง ก-1** จากการทดลองปรับอากาศโดยใช้ความเร็วอากาศ 0.2 เมตรต่อวินาที

**ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ**

ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ ใช้ข้อมูลและความสัมพันธ์ที่ได้จากการศึกษาของ Kays และ London [5] ซึ่งเป็นแผนภาพสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดเดียวกับที่ใช้ในโครงงานนี้ แสดงไว้ในภาคผนวก ข. และนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ ดังนี้

เริ่มจากคำนวณหาข้อมูลต่างๆ ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อนำไปใช้ในการอ่านค่า $StPr^{2/3}$ จากรูปที่ ข-6

สัดส่วนของพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมดในหนึ่งด้านต่อปริมาตรโดยรวมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ($\alpha$) หาได้จากสมการที่ 3.5

$$\alpha = \frac{b_1 \beta_1}{b_1 + b_2 + 2a} \qquad (3.5)$$

จากรูปที่ ข-6

ระยะระหว่างระนาบ $b_1 = b_2 = 8.38 \times 10^{-3}\ \mathrm{m}$

อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมดในหนึ่งด้าน และปริมาตรของช่องว่างระหว่างระนาบในด้านนั้น $\beta_1 = 1378\ \mathrm{m^2/m^3}$

ความหนาของแผ่นระนาบ $a = 0.3 \times 10^{-3}$

$$\alpha = \frac{(8.38 \times 10^{-3}\ \mathrm{m})(1378\ \mathrm{m^2/m^3})}{(2)(8.38 \times 10^{-3}\ \mathrm{m}) + (2)(0.3 \times 10^{-3})}$$

$$= 665.2\ \mathrm{m/m^2}$$

**พื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมดในหนึ่งด้านของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ($A$)**

$$A = \alpha V$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน $V = (0.542\text{m})(0.4\,\text{lm})(0.0\,\text{lm})$

$$A = (665.2\ \text{m/m}^2)(0.0022\ \text{m}^3)$$

$$= 1.463\ \text{m}^2$$

จากสมการที่ 3.3

$$\sigma = \frac{A_c}{A_{fr}} = \alpha r_h \qquad (3.3)$$

$$= (665.2\ \text{m/m}^2)(0.648 \times 10^{-3}\text{m})$$

$$= 0.431$$

พื้นที่หน้าตัดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ($A_{fr}$)

$$A_{fr} = (41\text{cm})(54.2\text{cm})$$

$$= 0.222\ \text{m}^2$$

พื้นที่สำหรับการไหลที่น้อยที่สุดในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ($A_c$)

$$A_c = (0.431)(0.222\text{m}^2)$$

$$= 0.0957\ \text{m}^2$$

หาความเร็วเชิงมวล ($G$) ที่ความเร็วอากาศ 0.2 m/s

$$G = \frac{\dot{m}}{A_c}$$

$$= \frac{(0.0533\text{kg/s})}{0.0957\text{m}^2}$$

$$= 0.557\ \text{kg/m}^2\text{.s}$$

$$\text{Re} = \frac{4r_h G}{\mu}$$

$$= \frac{(2.59 \times 10^{-3})(0.557)}{1.8363 \times 10^{-5}}$$

$$= 78.56$$

ค่าเลขเรย์โนลด์ที่ได้ นำไปอ่านค่า $St\,\text{Pr}^{2/3}$ จากกราฟรูปที่ ข-6 ได้เท่ากับ 0.032 และจากสมการที่ 3.6 หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

$$St\,\text{Pr}^{2/3} = \frac{h\,\text{Pr}^{2/3}}{GC_p} \qquad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อุณหภูมิอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส $C_p = 1.0057$ kJ/kg·°C และ Pr = 0.7214

$$h_1 = \frac{(0.032)(0.557kg/m^2 \cdot s)(1.0057kJ/kg\cdot^\circ C)}{(0.7214)^{2/3}}$$

$$= 22.28 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศในการทดลองโดยใช้ความเร็วอากาศ 0.2 เมตรต่อวินาที มีค่าเท่ากับ 22.28 วัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส

**ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำ**

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในโครงงานนี้ มีหน้าตัดของท่อน้ำเป็นรูปสี่เหลี่ยม ดังนั้น การหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำจะคิดเป็นแบบการไหลในท่อที่หน้าตัดไม่เป็นรูปวงกลม และเนื่องจากอัตราการไหลของน้ำมีค่าคงที่เท่ากันการทดลองที่วัดได้ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำจึงมีค่าเท่ากันในทุกการทดลอง

คำนวณค่าตัวเลขเรย์โนลด์ ดังสมการ

$$\text{Re} = \frac{\dot{m}D_H}{A\mu}$$

โดยคำนวณค่า $D_H$ จากสมการที่ (2.12) ได้เท่ากับ 0.033 m และที่อุณหภูมิน้ำ 10 องศาเซลเซียส ค่า $\mu = 1.31\times10^{-3}$ kJ/m·s Pr = 9.40 สามารถนำมาคำนวณหาเลขเรย์โนลด์ได้ดังนี้

$$\text{Re} = \frac{(0.01295\text{kg/s})(0.033\text{m})}{(2\times10^{-5}\text{m}^2)(1.31\times10^{-3}\text{kJ/m}\cdot\text{s})}$$

$$= 16459$$

จากค่าตัวเลขเรย์โนลด์ที่ได้ ทำให้ทราบว่าการไหลของกระแสน้ำในท่อเป็นการไหลแบบปั่นป่วน ดังนั้นคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้จากสมการที่ 2.11

$$Nu_d = 0.023\text{Re}^{0.8}\text{Pr}^n \qquad (2.11)$$

$$Nu_d = \frac{hd}{k} = 0.023(16459)^{0.8}(9.4)^{0.4}$$

$$h_2 = 2337.38 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวมของระบบ** $(U)$

เมื่อทราบค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำและอากาศ จะคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ได้ จากสมการที่ 3.9

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k_A} + \frac{1}{h_2}} \tag{3.9}$$

ความหนาของท่อ

$$\Delta x = 0.3 \times 10^{-3}\ \text{m}$$

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของโลหะ (อะลูมิเนียม)

$$k_A = 213\ \text{W/m}\cdot{}^{\circ}\text{C}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{22.28} + \frac{0.3\times10^{-3}}{213} + \frac{1}{2337.38}}$$

$$= 22.07\ \text{W/m}^2\cdot{}^{\circ}\text{C}$$

ดังนั้นสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวมของระบบที่ความเร็วอากาศ 0.2 เมตรต่อนาที เป็น 22.07 $\text{W/m}^2\cdot{}^{\circ}\text{C}$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ

**<u>การคำนวณหาค่าอัตราการละลายของน้ำแข็ง</u>**

**ตัวอย่าง ก-2** จากการทดลองครั้งที่ 1 ความเร็วอากาศ 1.4 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเป็น 25 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ ข-3

น้ำหนักน้ำแข็งเริ่มต้น 10.4 กิโลกรัม

ชั่งน้ำหนักน้ำแข็งที่เวลา 22 นาที เหลือน้ำแข็ง 2.3 กิโลกรัม น้ำแข็งที่ละลายไปเท่ากับ 8.1 และน้ำแข็งละลายหมดที่เวลา 35 นาที

การคิดอัตราการละลายของน้ำแข็งจะแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ

1. อัตราการละลายในช่วงแรก คืออัตราการละลายของน้ำแข็งในช่วงเริ่มต้นการทำงานจนถึงเวลาที่นำน้ำแข็งมาชั่งน้ำหนัก

เท่ากับ $8.1\text{kg} \times \frac{60}{22}\ \frac{\text{min/h}}{\text{min}} = 22\text{kg/h}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อัตราการละลายของน้ำแข็งในช่วงหลัง คือ อัตราการละลายในช่วงเวลาตั้งแต่ที่ชั่งน้ำหนักครั้งแรก จนถึงเวลาที่น้ำแข็งหมด

น้ำหนักน้ำแข็งที่เหลือ ณ เวลา 22 นาที เท่ากับ 10.4-8.1 = 2.3 kg

และเวลาตั้งแต่ที่ชั่งน้ำแข็งจนถึงเวลาที่น้ำแข็งหมด เท่ากับ 35-22 = 13 min

จะได้อัตราการละลายในช่วงหลัง เท่ากับ $2.3\text{kg} \times \frac{60}{13} \quad \frac{\text{min/h}}{\text{min}} = 11\text{kg/h}$

อัตราการละลายของน้ำแข็งที่นำมาใช้เปรียบเทียบกันที่สภาวะการทำงานต่างๆ จะคิดจากค่าเฉลี่ยระหว่าง อัตราการละลายของน้ำแข็งในช่วงแรก และ อัตราการละลายของน้ำแข็งในช่วงหลัง ดังนั้น ค่าอัตราการละลายของน้ำแข็งโดยเฉลี่ย

เท่ากับ $\frac{11+22}{2} = 16\text{kg/h}$

สำหรับ การทดลองครั้งที่ 1 ที่ความเร็วอากาศ 1.4 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเป็น 25 องศาเซลเซียส

**<u>การคำนวณหาค่าพลังงานที่น้ำแข็งใช้ไปในการหลอมเหลว พลังงานความร้อนของอากาศที่ลดลง ความสามารถในการทำความเย็น (บีทียูต่อชั่วโมง) และประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ</u>**

**ตัวอย่าง** ก-3 ในการทดลองครั้งที่ 1 ที่ความเร็วอากาศ 1.4 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเป็น 25 องศาเซลเซียส

จากการจดบันทึกอุณหภูมิอากาศที่เข้าและออกจากเครื่องปรับอากาศที่เวลาต่างๆ และการนำน้ำแข็งออกมาชั่งน้ำหนักในระหว่างการทดลอง จะสามารถนำข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์หาค่าพลังงานที่น้ำแข็งใช้ไปในการหลอมเหลว พลังงานความร้อนของอากาศที่ลดลง ความสามารถในการทำความเย็น (บีทียูต่อชั่วโมง) และประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ ได้ดังต่อไปนี้

**พลังงานที่น้ำแข็งใช้ไปในการหลอมเหลว**

สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.10

$$Q_{\text{ice,melt}} = m_{\text{ice,melt}} \times h_{\text{ice,f}} \qquad (3.10)$$

$m_{ice,melt}$ คือ ปริมาณน้ำแข็งที่หลอมเหลวไป ณ เวลาที่นำน้ำแข็งออกมาชั่งน้ำหนัก วัดได้เท่ากับ 8.1 กิโลกรัม เมื่อเวลาผ่านไป 22 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$h_{ice,f}$ คือ ค่าความร้อนแฝงในการหลอมเหลวของน้ำแข็ง มีค่าเท่ากับ 334.84 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

ดังนั้น $$Q_{ice,melt} = 8.1 \times 334.84$$
$$= 2712 \quad \text{kJ}$$

**พลังงานความร้อนของอากาศที่ลดลง**

สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.7)

$$q = \dot{m}_{air} C_{P,air} \Delta T_{air} \qquad (3.7)$$

เนื่องจากเราต้องการทราบพลังงานความร้อนของอากาศที่ลดลงในช่วงเวลาหนึ่งๆ ดังนั้น

$$Q_{air,cool} = \int_{t_0}^{t_1} q dt = \int_{t_0}^{t_1} \dot{m}_{air} C_{P,air} \Delta T_{air} dt$$

โดยที่ $$\dot{m}_{air} = \rho_{air} v_{air} A$$

และ $\rho_{air} v_{air} A C_{P,air}$ เป็นค่าคงที่

ดังนั้น $$Q_{air,cool} = \rho_{air} v_{air} A C_{P,air} \int_{t_0}^{t_1} \Delta T dt$$

$\rho_{air}$ คือ ความหนาแน่นของอากาศ เท่ากับ 1.177 kg/m$^3$ (ที่อุณหภูมิอากาศ 30 °C)

$v_{air}$ คือ ความเร็วของอากาศที่เคลื่อนที่ เท่ากับ 1.4 m/s

$A$ คือ พื้นที่หน้าตัดในการไหลของอากาศ เท่ากับพื้นที่หน้าตัดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เท่ากับ 0.542x0.41 m$^2$

$C_P$ คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ เท่ากับ 1.005 kJ/kg·°C (ที่อุณหภูมิอากาศ 30 °C)

และค่า $\int_{t_0}^{t_1} \Delta T dt$ จะหาจากเทคนิคการประมาณค่าอินทิเกรตโดยคิดจากพื้นที่ใต้กราฟของอุณหภูมิของอากาศที่เข้าและออกจากเครื่องปรับอากาศที่เวลาใดๆ ภายในช่วงเวลาที่ต้องการ ซึ่งเทคนิคที่นำมาใช้ในที่นี้ คือ กฎสี่เหลี่ยมคางหมู หรือ The Trapezoidal Rule

และจากรูปที่ ข-5 หาพื้นที่ใต้กราฟในช่วงเวลา 0 ถึง 22 นาทีโดยใช้เทคนิค Trapezoidal Rule ได้เท่ากับ 83.675 min·°C

ดังนั้น $$Q_{air,cool} = (1.177 \text{ kg/m}^3)(0.542\text{x}0.41\text{m}^2)(1.4\text{m/s})(1.005 \text{ kJ/kg·°C}) \times$$
$$(83.675 \text{ min·°C})(60\text{s/min})$$
$$= 1848 \text{ kJ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (BTU/h)**

คำนวณได้จากค่าพลังงานความร้อนของอากาศที่ลดลง โดยคิดเทียบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากที่คำนวณหาค่าพลังงานความร้อนของอากาศที่ลดลงในช่วงเวลา 22 นาทีได้เท่ากับ 1848 kJ ดังนั้น ภายในเวลา 1 ชั่วโมง

พลังงานความร้อนของอากาศที่ลดลง $= \frac{(1848\text{kJ}) \times (60\text{min})}{22\text{min}}$

$= 5040\ \text{kJ}$

$= 5040\text{kJ} \times \frac{1}{1.054} \frac{\text{BTU}}{\text{kJ}}$

$= 4781\ \text{BTU}$

ดังนั้น ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ เท่ากับ 4781 บีทียูต่อชั่วโมง

**ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ**

คำนวณได้จาก อัตราส่วนระหว่างพลังงานความร้อนของอากาศที่ลดลงและพลังงานความร้อนที่น้ำแข็งนำไปใช้ในการหลอมเหลว

$$\eta = \frac{Q_{air,cool}}{Q_{ice,melt}}$$

เมื่อ $\eta$ คือ ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

$Q_{air,cool}$ คือ พลังงานความร้อนของอากาศที่ลดลง เท่ากับ 1848 กิโลจูล

$Q_{ice,melt}$ คือ พลังงานความร้อนที่น้ำแข็งนำไปใช้ในการหลอมเหลว เท่ากับ 2712 กิโลจูล

จะได้ $\eta = \frac{1848kJ}{2712kJ}$

$= 0.68$

ดังนั้น ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ที่ความเร็วอากาศเป็น 1.4 เมตรต่อวินาทีและ อุณหภูมิอากาศที่ต้องการ เป็น 25 องศาเซลเซียส เท่ากับ 68 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข.

## ข้อมูลการทดลองและกราฟที่ใช้ในการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข-1** น้ำหนักของน้ำแข็งที่เหลืออยู่เทียบกับเวลา ในการทดลองที่อุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเป็น 20 องศาเซลเซียส

| ความเร็วของอากาศ (เมตรต่อวินาที) | การทดลอง | เวลา (นาที) | น้ำหนักน้ำแข็ง (กิโลกรัม) |
|---|---|---|---|
| 0.2 | ครั้งที่ 1 | 0 | 9.8 |
| | | 15.9 | 0.6 |
| | | 21 | 0 |
| | ครั้งที่ 2 | 0 | 8.0 |
| | | 9.25 | 1.1 |
| | | 14 | 0 |
| | ครั้งที่ 3 | 0 | 10.5 |
| | | 11.5 | 3.8 |
| | | 36.5 | 0 |
| 1.4 | ครั้งที่ 1 | 0 | 7.9 |
| | | 9 | 1.2 |
| | | 12 | 0 |
| | ครั้งที่ 2 | 0 | 7.5 |
| | | 8 | 1.3 |
| | | 12 | 0 |
| | ครั้งที่ 3 | 0 | 18.2 |
| | | 13.3 | 4 |
| | | 36.5 | 0 |
| 1.6 | ครั้งที่ 1 | 0 | 8.6 |
| | | 7 | 1.1 |
| | | 11 | 0 |
| | ครั้งที่ 2 | 0 | 9.5 |
| | | 8 | 1.1 |
| | | 13 | 0 |
| | ครั้งที่ 3 | 0 | 7.7 |
| | | 6 | 1.1 |
| | | 11 | 0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข-2** น้ำหนักของน้ำแข็งที่เหลือเทียบกับเวลา ในการทดลองที่อุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเป็น 23 องศาเซลเซียส

| ความเร็วของอากาศ (เมตรต่อวินาที) | การทดลอง | เวลา(นาที) | น้ำหนักน้ำแข็ง (กิโลกรัม) |
|---|---|---|---|
| 0.2 | ครั้งที่ 1 | 0 | 8.4 |
| | | 27.6 | 0.7 |
| | | 40 | 0 |
| | ครั้งที่ 2 | 0 | 10.25 |
| | | 15 | 3.1 |
| | | 37 | 0 |
| | ครั้งที่ 3 | 0 | 9.9 |
| | | 17.5 | 3.4 |
| | | 41 | 0 |
| 1.4 | ครั้งที่ 1 | 0 | 10.2 |
| | | 13.9 | 1.3 |
| | | 19 | |
| | ครั้งที่ 2 | 0 | 10.7 |
| | | 23.1 | 2.2 |
| | | 36 | 0 |
| 1.6 | ครั้งที่ 1 | 0 | 8.2 |
| | | 10 | 1.5 |
| | | 17 | 0 |
| | ครั้งที่ 2 | 0 | 10.0 |
| | | 14.3 | 2 |
| | | 22 | 0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข-3** น้ำหนักน้ำแข็งที่เหลือเทียบกับเวลาที่ชั่งน้ำหนัก ในการทดลองที่อุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเป็น 25 องศาเซลเซียส

| ความเร็วของอากาศ (เมตรต่อวินาที) | การทดลอง | เวลา (นาที) | น้ำหนักน้ำแข็ง (กิโลกรัม) |
|---|---|---|---|
| 0.2 | ครั้งที่ 1 | 0 | 9.0 |
| | | 40 | 2.5 |
| | | 75 | 0 |
| | ครั้งที่ 2 | 0 | 8.5 |
| | | 38 | 2 |
| | | 46 | 0 |
| | ครั้งที่ 3 | 0 | 10.0 |
| | | 44 | 2.9 |
| | | 70 | 0 |
| 1.4 | ครั้งที่ 1 | 0 | 10.4 |
| | | 22 | 2.3 |
| | | 35 | 0 |
| | ครั้งที่ 2 | 0 | 8.6 |
| | | 19.5 | 0.9 |
| | | 29 | 0 |
| | ครั้งที่ 3 | 0 | 7.7 |
| | | 15.5 | 0.7 |
| | | 26 | 0 |
| 1.6 | ครั้งที่ 1 | 0 | 7.7 |
| | | 18 | 0.3 |
| | | 22 | 0 |
| | ครั้งที่ 2 | 0 | 8.6 |
| | | 21 | 1 |
| | | 30 | 0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข-4** ตัวอย่างข้อมูลอุณหภูมิของน้ำและอากาศที่เวลาต่างๆ เมื่ออุณหภูมิของอากาศออกที่ต้องการ (Set point) เป็น 25 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 1.4 เมตรต่อวินาที

การทดลองครั้งที่ 1

| เวลา (นาที) | อุณหภูมิน้ำเข้า (องศาเซลเซียส) | อุณหภูมิน้ำออก (องศาเซลเซียส) | อุณหภูมิอากาศเข้า (องศาเซลเซียส) | อุณหภูมิอากาศออก (องศาเซลเซียส) |
|---|---|---|---|---|
| 3.0 | 8 | 12 | 29 | 20 |
| 4.0 | 12 | 11 | 29 | 24 |
| 4.5 | 14 | 13 | 29 | 26 |
| 5.0 | 14 | 15 | 29 | 28 |
| 5.8 | 8 | 11 | 29 | 21 |
| 6.5 | 11 | 10 | 29 | 24 |
| 7.0 | 12 | 12 | 29 | 27 |
| 7.5 | 12 | 13 | 29 | 29 |
| 7.9 | 7 | 10 | 29 | 22 |
| 8.5 | 10 | 10 | 29 | 24 |
| 9.0 | 11 | 12 | 29 | 28 |
| 9.5 | 12 | 12 | 29 | 29 |
| 9.9 | 7 | 10 | 29 | 22 |
| 10.6 | 11 | 11 | 29 | 26 |
| 11.5 | 12 | 12 | 29 | 28 |
| 12.0 | 7 | 10 | 29 | 23 |
| 12.5 | 10 | 10 | 29 | 25 |
| 13.0 | 11 | 11 | 29 | 28 |
| 13.6 | 8 | 11 | 30 | 22 |
| 14.5 | 12 | 11 | 30 | 25 |
| 15.0 | 12 | 12 | 30 | 28 |
| 15.5 | 12 | 13 | 30 | 28 |
| 15.8 | 8 | 11 | 30 | 22 |
| 16.5 | 12 | 12 | 30 | 27 |
| 17.0 | 12 | 12 | 30 | 29 |
| 17.5 | 9 | 12 | 30 | 22 |
| 18.0 | 12 | 11 | 30 | 24 |
| 18.5 | 12 | 12 | 30 | 26 |
| 19.0 | 13 | 12 | 30 | 29 |
| 19.6 | 8 | 12 | 30 | 23 |
| 20.0 | 12 | 13 | 30 | 25 |
| 20.5 | 12 | 13 | 30 | 28 |
| 21.0 | 13 | 14 | 30 | 29 |

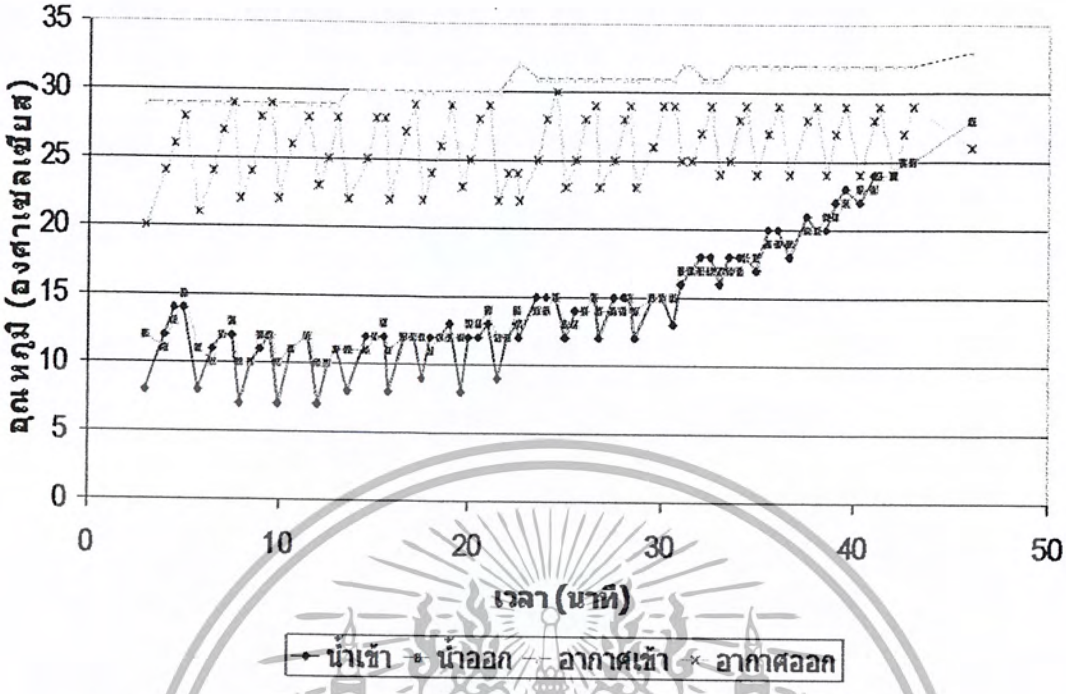
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข-4** (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลอุณหภูมิของน้ำและอากาศที่เวลาต่างๆ เมื่ออุณหภูมิของอากาศออกที่ต้องการ (Set point) เป็น 25 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 1.4 เมตรต่อวินาที

การทดลองครั้งที่ 1

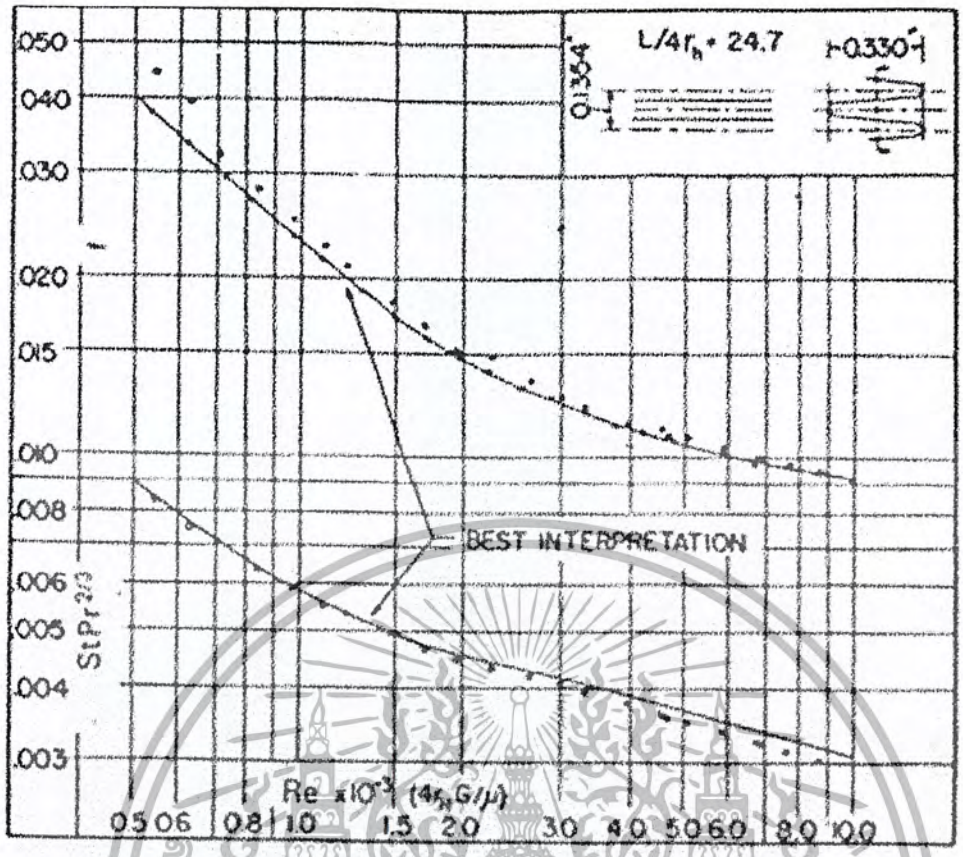
| เวลา (นาที) | อุณหภูมิน้ำเข้า (องศาเซลเซียส) | อุณหภูมิน้ำออก (องศาเซลเซียส) | อุณหภูมิอากาศเข้า (องศาเซลเซียส) | อุณหภูมิอากาศออก (องศาเซลเซียส) |
|---|---|---|---|---|
| 21.5 | 9 | 12 | 30 | 22 |
| 22.0 | 12 | 12 | 31 | 24 |
| 22.6 | 12 | 13 | 32 | 22 |
| 23.5 | 15 | 14 | 31 | 25 |
| 24.0 | 15 | 14 | 31 | 28 |
| 24.5 | 15 | 15 | 31 | 30 |
| 25.0 | 12 | 13 | 31 | 23 |
| 25.5 | 14 | 13 | 31 | 25 |
| 26.0 | 14 | 14 | 31 | 28 |
| 26.5 | 15 | 15 | 31 | 29 |
| 26.8 | 12 | 14 | 31 | 23 |
| 27.5 | 15 | 14 | 31 | 25 |
| 28.0 | 15 | 14 | 31 | 28 |
| 28.3 | 15 | 15 | 31 | 29 |
| 28.6 | 12 | 14 | 31 | 23 |
| 29.5 | 15 | 15 | 31 | 26 |
| 30.0 | 15 | 15 | 31 | 29 |
| 31.0 | 16 | 17 | 32 | 25 |
| 32.0 | 18 | 17 | 31 | 27 |
| 32.5 | 18 | 17 | 31 | 29 |
| 33.0 | 16 | 17 | 31 | 24 |
| 33.5 | 18 | 17 | 32 | 25 |
| 34.0 | 18 | 17 | 32 | 28 |
| 34.3 | 18 | 18 | 32 | 29 |
| 35.0 | 17 | 18 | 32 | 24 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ ข-5** อุณหภูมิน้ำ และอากาศที่เวลาต่างๆ เมื่ออุณหภูมิของอากาศออกที่ต้องการเป็น 25 องศาเซลเซียส ความเร็ว 1.4 เมตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




Fin pitch = 14.77 per in = 582 per m
Plate spacing, $b$ = 0.330 in = $8.38 \times 10^{-3}$ m
Flow passage hydraulic diameter, $4r_h$ = 0.00848 ft = $2.59 \times 10^{-3}$ m
Fin metal thickness = 0.006 in, aluminum = $0.152 \times 10^{-3}$ m
Total transfer area/volume between plates, $\beta$ = 420 ft$^2$/ft$^3$ = 1,378 m$^2$/m$^3$
Fin area/total area = 0.844

**รูปที่ ข-6** ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $StPr^{2/3}$ ,ค่า $f$ และค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Re) สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัดที่มีพื้นผิวเป็นระนาบเรียบและมีจำนวนครีบระบายความร้อน 14.77 ครีบต่อนิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้