ออกแบบและสร้างชุดควบคุมระบบทำน้ำอุ่นจากเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน

DESIGN AND CONSTRUCT THE WATER HEATING CONTROL SYSTEM FROM SPLIT TYPE AIR CONDITIONER

นายณัฐพล ศุภฤทธิ์
นายพันธกานต์ พิมพ์จันทร์
นายอริยะ สกุลเปี่ยมสุข

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

ออกแบบและสร้างชุดควบคุมระบบทำน้ำอุ่นจากเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน

DESIGN AND CONSTRUCT THE WATER HEATING CONTROL SYSTEM FROM SPLIT TYPE AIR CONDITIONER

นายณัฐพล ศุภฤทธิ์

นายพันธกานต์ พิมพ์จันทร์

นายอริยะ สกุลเปี่ยมสุข

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND CONSTRUCT THE WATER HEATING CONTROL SYSTEM FROM SPLIT TYPE AIR CONDITIONER

NUTTAPOL SUPARITH
PHANTHAKARN PIMJUNT
ARIYA SAKUNPIAMSOOK

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ออกแบบและสร้างชุดควบคุมระบบทำน้ำอุ่นจากแอร์ชนิดแยกส่วน

DESIGN AND CONSTRUCT THE WATER HEATING CONTROL SYSTEM FROM SPLIT TYPE AIR CONDITIONER

ผู้จัดทำ

1. นายณัฐพล	ศุภฤทธิ์	57010452
2. นายพันธกานต์	พิมพ์จันทร์	57010879
3. นายอริยะ	สกุลเปี่ยมสุข	57011506

_____อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. ชินรักษ์ เธียรพงษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบและสร้างชุดควบคุมระบบทำน้ำอุ่นจากเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน

นายณัฐพล ศุภฤทธิ์ 57010452
นายพันธกานต์ พิมพ์จันทร์ 57010879
นายอริยะ สกุลเปี่ยมสุข 57011506
รศ. ดร. ชินรักษ์ เธียรพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ออกแบบชุดควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่แปรผันตามอุณหภูมิของน้ำหลังออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ให้ได้อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตามต้องการ เพื่อที่จะทดลองหาค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศเมื่อใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้น้ำเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิของน้ำขาออกได้ตามที่ต้องการ ในกาทดสอบแบ่งออกเป็นสามส่วน ส่วนแรกคือการทดสอบหาสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ส่วนที่สองคือการทดสอบหาสมรรถนะทำความเย็นเมื่อปรับอัตราการไหลของน้ำเป็น 8 , 7 , 6 , 5 , 4 และ 3 ลิตรต่อนาที

จากการทดลองส่วนที่สองเราจะทราบว่าอัตราการไหลของน้ำที่ 8 ลิตรต่อนาที จะได้ค่าสมรรถนะการทำความเย็นมากกว่าอัตราการไหลต่ำสุดที่ 3 ลิตรต่อนาที อยู่ร้อยละ 11.81 และมากกว่าคอนเดนเซอร์เดิม อยู่ร้อยละ 25.9 แต่จะได้ค่าอุณหภูมิของน้ำขาออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สูงขึ้นแทน ส่วนที่สามคือควบคุมอุณหภูมิน้ำขาออกจากถังแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้ระบบควบคุมแบบ PIDโดยควบคุมที่ 38, 40, 42 และ 45 องศาเซลเซียส

จากการทดลองส่วนที่สามเมื่อติดตั้งชุดระบบควบคุมซึ่งทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิน้ำออกได้และสามารถเพิ่มสรรถนะการทำความเย็นได้เนื่องจากอัตราไหลของน้ำไม่คงที่ เมื่อความร้อนสะสมมากขึ้นหรืออุณหภูมิเกินที่กำหนดอัตราไหลของน้ำจะสูงขึ้น ซึ่งจะช่วยลดภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND CONSTRUCT THE WATER HEATING CONTROL SYSTEM FROM SPLIT TYPE AIR CONDITIONER

NUTTAPOL SUPARITH 57010452

PANTAKARN PIMJUN 57010879

ARIYA SAKUNPIAMSOOK 57011506

Assoc.Prof. Dr.Chinaruk Thianpong Advisor

Year 2017

ABSTRACT

This project is designed to control the flow rate of water that varies with the water temperature after leaving the heat exchanger. The temperature of the water exiting the heat exchanger as needed. To test the cooling capacity of the air conditioner using a heat exchanger using water as a heat exchanger. When the water temperature is set as desired. The test is divided into three parts. The first part is to test the cooling capacity of the air conditioner. The second is to test the cooling capacity when adjusting the flow rate of water to 8, 7, 6, 5, 4 and 3 liters per minute.

In the second experiment, it was found that the flow rate of 8 liters per minute was 20.4% upper than the minimum flow rate of 3 liters per minute. But get high temperature instead. The third part is to control the temperature of the outlet water from the heat exchanger tank by using the control system PID at 38, 40,42 and 45 degrees Celsius.

In the third experiment, when the control system was installed, it was possible to control the water temperature and to increase the cooling capacity due to the unsteady flow of water. When the heat builds up or the temperature exceeds, the flow rate of the water will rise. This will reduce the workload of the compressor. The efficiency of cooling was increase 3.8%, compared with the constant flow rate and the outlet water temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ทดลองเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนที่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและขดลวด ได้ดำเนินการจนสำเร็จลงได้ด้วยดีโดยได้รับคำปรึกษาต่างๆจากท่าน รศ.ดร.ชินรักษ์ เธียรพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ที่ได้คอยให้คำแนะนำ แนะแนวทางในการศึกษาหาข้อมูล อีกทั้งยังช่วยเหลือในการทดลองต่างๆ และแนะนำการแก้ไขจุดบกพร่องต่างๆด้วยความเอาใจใส่มาโดยตลอดระยะเวลาการดำเนินงาน ทางผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่เอื้อเฟื้อให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานนี้ ขอขอบคุณพี่นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ได้ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับด้านระบบการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ขอขอบคุณพี่ปอและพี่มานะจากบริษัท JMM AIR SERVICE ที่มาติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ และดูแลระบบปรับอากาศให้ตามมาตรฐานของเครื่องปรับอากาศ

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้ให้การสนับสนุนในด้านต่างๆและให้คำแนะนำตลอดการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นาย ณัฐพล ศุภฤทธิ์ 57010452

นาย พันธกานต์ พิมพ์จันทร์ 57010879

นาย อริยะ สกุลเปี่ยมสุข 57011506

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์

$\dot{m}$	อัตราการไหลของสารทำความเย็น
$\dot{W}_c$	กำลังงานที่ต้องป้อนให้เครื่องอัด
h_1	เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ไหลออกจากเครื่องระเหย
h_2	เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ไหลเข้าเครื่องควบแน่น
h_3	เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ไหลออกจากเครื่องควบแน่น
h_4	เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ไหลเข้าเครื่องระเหย
$\dot{Q}_c$	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น
$\dot{Q}_e$	ความร้อนที่สารทำความเย็นรับที่เครื่องระเหยหรือค่าการทำความเย็น
COP	ค่าสมรรถนะการทำความเย็น
EER	ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน
C_{pw}	ความจุความร้อนของของไหลที่อุณหภูมิสูงกว่า
C_{pc}	ความจุความร้อนของของไหลที่อุณหภูมิต่ำกว่า
A_s	พื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อน
Δt	ผลต่างของอุณหภูมิ
ΔT_{LMTD}	ผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยแบบล็อกของการไหลแบบสวนทางกัน
h_i	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อ
h_o	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายนอกท่อ
U_0	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม
T_1	อุณหภูมิขาเข้าของของไหลที่ไหลในเปลือก
T_2	อุณหภูมิขาออกของของไหลที่ไหลในเปลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

t_1	อุณหภูมิขาเข้าของของไหลที่ไหลในท่อ
t_2	อุณหภูมิขาออกของของไหลที่ไหลในท่อ
ρ	ค่าความหนาแน่นของของไหล
u	ความเร็วของของไหลในชุดท่อ
D_e	เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า
μ	สัมประสิทธิ์ความหนืดของของไหล
Re	เลขเรย์โนลด์
Pr	เลขพรันต์เทิล
k_f	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน
Nu	เลขนัสเซลท์
Δp_t	ความดันตกจากการสูญเสียรวม
Δp_{tubes}	ความดันตกจากการสูญเสียหลัก
Δp_{return}	ความดันตกจากการสูญเสียรอง
f	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
L	ความยาวของท่อ
ID_t	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ
OD_t	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....I

Abtstract.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

คำอธิบายสัญลักษณ์.....IV

สารบัญ.....VI

สารบัญตาราง.....X

สารบัญรูปภาพ.....XII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ที่มาและความสำคัญ.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....1

1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....1

1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....2

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....2

บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3

2.2 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับระบบทำความเย็น.....4

2.3 ประเภทของระบบทำความเย็น.....4

2.4 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ.....5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ.....5

2.5.1 คอมเพรสเซอร์.....6

2.5.2 เครื่องระเหย.....6

2.5.3 คอนเดนเซอร์.....6

2.5.4 อุปกรณ์ลดความดัน.....6

2.6 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอแบบอุดมคติ.....7

2.7 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน.....8

2.8 การวิเคราะห์วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ.....9

2.8.1 เครื่องอัด.....9

2.8.2 เครื่องควบแน่น.....9

2.8.3 วาล์วลดความดัน.....9

2.8.4 เครื่องระเหย.....9

2.9 นิยามประสิทธิภาพของระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ.....10

2.9.1 ค่าสัมประสิทธิ์ สมรรถนะ COP.....10

2.9.2 ค่าประสิทธิภาพพลังงาน EER.....10

2.10 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและขดลวด.....10

2.10.1 การคำนวณเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและขดลวด.....11

2.11 อาดุยโน่ Arduino.....13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.12 ระบบควบคุมแบบสัดส่วน ปริพันธ์ อนุพันธ์....13

2.12.1 สัดส่วน....14

2.12.2 ปริพันธ์....15

2.12.3 อนุพันธ์....15

2.12.4 การปรับจูนด้วยมือ....16

บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง....17

3.1 การคำนวณและการออกแบบ....17

3.1.1 การคำนวณค่าความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ....17

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง....21

3.2.1อุปกรณ์เก็บค่าจากการทดลอง....21

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในชุดควบคุม....24

3.3 เครื่องปรับอากาศและสารทำความเย็นที่ใช้ในการทดลอง....26

3.4 ขั้นตอนการทดลอง....29

3.4.1 การทดลองเพื่อหาค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ....29

3.4.2 การทดลองเพื่อหาค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

เมื่อติดชุดระบบทำน้ำอุ่น....30

3.4.3 การทดลองเพื่อหาค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

เมื่อติดชุดระบบทำน้ำอุ่นระบบควบคุม....31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง 32

4.1 ผลการทดลองการหาค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนโดยใช้ชุดคอนเดนซิ่งเดิมที่ใช้อากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน.....32

4.2 ผลการทดลองการหาค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน.....33

4.3 ผลการทดลองการหาค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนและติดตั้งระบบควบคุม.....37

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 43

5.1 สรุปผลการทดลอง 43

5.2 ปัญหาจากการศึกษา 44

5.3 ข้อเสนอแนะ 44

เอกสารอ้างอิง.....45

ภาคผนวก.....46

ภาคผนวก ก โค้ดของโปรแกรมวัดอุณหภูมิน้ำและอัตราการไหลของน้ำ.....47

ภาคผนวก ข โค้ดโปรแกรม datalogger.....55

ภาคผนวก ค โค้ดโปรแกรมควบคุม.....63

ภาคผนวก ง ตารางบันทึกผล.....67

ภาคผนวก จ การคำนวณหาพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนกรณีเปลี่ยนอุณภูมิน้ำขาออก.....79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 ตารางแสดงการเปรียบเทียบที่อัตราการไหลต่างๆ....34

4.2 การจูนค่า Ki ที่เหมาะสม....37

4.3 การจูนค่า Kd ที่เหมาะสม....37

4.4 แสดงข้อมูลเครื่องทำน้ำอุ่น....40

4.5 แสดงข้อมูลเมื่อกำหนดอุณหภูมิน้ำขาออก 45 องศาเซลเซียส....41

4.6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องทำน้ำอุ่นกับเครื่องทำน้ำอุ่นจากเครื่องปรับอากาศ....41

4.7 รายการค่าใช้จ่ายของชุดทำน้ำอุ่นโดยใช้เครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน....42

ง.1 ผลการทดลองหาสมรรถนะทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเวลากลางวัน....67

ง.2 ผลการทดลองหาสมรรถนะทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเวลากลางคืน....68

ง.3 ผลการทดลองหาสมรรถนะทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน....69

เมื่อติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่อัตราการไหล 8 LPM

ง.4 ผลการทดลองหาสมรรถนะทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน....70

เมื่อติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่อัตราการไหล 7 LPM

ง.5 ผลการทดลองหาสมรรถนะทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน....71

เมื่อติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่อัตราการไหล 6 LPM

ง.6 ผลการทดลองหาสมรรถนะทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน....72

เมื่อติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่อัตราการไหล 5 LPM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ง.7 ผลการทดลองหาสมรรถนะทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน.....73
เมื่อติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่อัตราการไหล 4 LPM

ง.8 ผลการทดลองหาสมรรถนะทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน.....74
เมื่อติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่อัตราการไหล 3 LPM

ง.9 ผลการทดลองหาสมรรถนะทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเมื่อติดเครื่องแลก
เปลี่ยนความร้อน เมื่อติดตั้งระบบควบคุมและกำหนดอุณหภูมิน้ำขาออกเป็น 38 องศาเซลเซียส.....75

ง.10 ผลการทดลองหาสมรรถนะทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเมื่อติดเครื่องแลก
เปลี่ยนความร้อน เมื่อติดตั้งระบบควบคุมและกำหนดอุณหภูมิน้ำขาออกเป็น 40 องศาเซลเซียส.....76

ง.11 ผลการทดลองหาสมรรถนะทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเมื่อติดเครื่องแลก
เปลี่ยนความร้อน เมื่อติดตั้งระบบควบคุมและกำหนดอุณหภูมิน้ำขาออกเป็น 42 องศาเซลเซียส.....77

ง.12 ผลการทดลองหาสมรรถนะทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเมื่อติดเครื่องแลก
เปลี่ยนความร้อน เมื่อติดตั้งระบบควบคุมและกำหนดอุณหภูมิน้ำขาออกเป็น 45 องศาเซลเซียส.....78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า

รูปที่ 2.1 แผนภาพระบบทำความเย็น....5

รูปที่ 2.2 แผนภาพความดัน-เอนทาลปีของวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอในอุดมคติ....7

รูปที่ 2.3 แผนภาพอุณหภูมิ-เอนโทรปีของวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอในอุดมคติ....7

รูปที่ 2.4 ระบบทำความเย็นแบบแยกส่วน....8

รูปที่ 2.5 แผนภาพการควบคุมแบบพีไอดี....13

รูปที่ 2.6 กราฟ Pv ต่อเวลา ,Kp....14

รูปที่ 2.7 กราฟ Pv ต่อเวลา ,Ki....15

รูปที่ 2.8 กราฟ Pv ต่อเวลา ,Kd....15

รูปที่ 3.1บอร์ด Arduino....21

รูปที่ 3.2 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความความชื้น....21

รูปที่ 3.3 เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า....22

รูปที่ 3.4 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ....22

รูปที่ 3.5 เกจความดัน....22

รูปที่ 3.6 มาตรวัดอัตราการไหล....23

รูปที่ 3.7 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟาเรด....23

รูปที่ 3.8 บอร์ด Arduino....24

รูปที่ 3.9 เซ็นเซอร์วัดระดับน้ำ....24

รูปที่ 3.10 รีเลย์....24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 3.11 โซลินอยด์วาล์ว....25

รูปที่ 3.12 ปั๊มน้ำ....25

รูปที่ 3.13 แหล่งจ่ายไฟ....26

รูปที่ 3.14 โมดูลสำหรับขับปั๊มน้ำ....26

รูปที่ 3.15 เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการทดลอง....26

รูปที่ 3.16 สารทำความเย็นที่ใช้ในการทดลอง....27

รูปที่ 3.17 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการทดลอง....27

รูปที่ 3.18 ฮีทเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง....27

รูปที่ 3.19 แผนภาพของเครื่องปรับอากาศ....29

รูปที่ 3.20 แผนภาพของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน....30

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะทำความเย็นกับเวลา....32

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะการทำความเย็นกับเวลา....33

รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำกับเวลาที่อัตราการไหล 8 ลิตรต่อนาที....34

รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำกับเวลาที่อัตราการไหล 7 ลิตรต่อนาที....35

รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำกับเวลาที่อัตราการไหล 6 ลิตรต่อนาที....35

รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำกับเวลาที่อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที....35

รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำกับเวลาที่อัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที....36

รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำกับเวลาที่อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที....36

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำขาออกกับเวลาที่ 38 องศาเซลเซียส....38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำขาออกกับเวลาที่ 40 องศาเซลเซียส.....38

รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำขาออกกับเวลาที่ 42 องศาเซลเซียส.....39

รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำขาออกกับเวลาที่ 45 องศาเซลเซียส.....39

รูปที่ 4.13 เครื่องทำน้ำอุ่น Mazuma รุ่น inspire 3.5 3500 วัตต์.....40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันเครื่องปรับอากาศถือว่าเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย และเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีอัตราการใช้ไฟฟ้าสูงมากเป็นอันดับต้นๆ ซึ่งอุณหภูมิในปัจจุบันนั้นมีแนวโน้มว่าจะสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามสภาวะโลกร้อน เป็นผลให้ค่าสมรรถนะการทำความเย็นลดลง เนื่องจากชุดคอนเดนเซอร์ที่ระบายความร้อนด้วยอากาศไม่สามารถระบายความร้อนได้ดีเท่าที่ควรจากอุณหภูมิภายนอกที่เพิ่มขึ้นสูง และความร้อนได้ถูกระบายไปกับอากาศโดยชุดคอนเดนเซอร์นั้นยังเป็นพลังงานที่ถูกทิ้งไปอย่างเปล่าประโยชน์อีกด้วย

จากชุดระบบทำน้ำอุ่นจากเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเดิม ไม่สามารถผลิตน้ำร้อนได้ตามอุณภูมิที่กำหนดไว้ เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำที่ป้อนให้กับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไม่สามารถแปรผันตามอุณภูมิของน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อม

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1) เพื่อนำความร้อนที่ถูกระบายทิ้งอย่างเปล่าประโยชน์ที่คอนเดนเซอร์ กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์

2) เพื่อให้ได้อุณหภูมิน้ำขาออกตามที่เราต้องการ

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1) เครื่องแลกเปลี่ยนชนิดเปลือกและท่อขดสามารถระบายความร้อนได้มากกว่าหรือเท่ากับชุดคอนเดนเซอร์

2) อัตราการไหลของน้ำมีผลกับอัตราการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิน้ำขาออก

3) ได้อุณหภูมิน้ำขาออกที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1) ออกแบบระบบทำน้ำอุ่นจากเครื่องปรับอากาศโดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและขดท่อ

2) ทดลองหาค่าสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนขนาด 1 ตันความเย็น

3) ปรับจูน Kp Ki Kd ของระบบทำน้ำอุ่น โดยกำหนดให้ค่าความผิดพลาดไม่เกิน 1.25%

4) ทดลองหาค่าสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนขนาด 1 ตันความเย็น เมื่อติดตั้งชุดควบคุมระบบทำน้ำอุ่น เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิขาออกสูงสุดของน้ำเป็น 45 องศาเซลเซียส

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

เริ่มจากการศึกษาระบบปรับอากาศและการแลกเปลี่ยนความร้อน จากนั้นเริ่มศึกษาการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แล้วจึงมาออกแบบระบบและชุดควบคุม โดยเริ่มเขียนโค้ดคำสั่งสำหรับการควบคุม จากนั้นจึงเริ่มทำการทดลองหาค่าสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน และค่าสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนที่ติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเข้าไปแล้ว แล้วนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ว่าได้ตามสมมติฐานที่ตั้งไว้หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Y.H. Yau และ H.L. Pean ได้ศึกษาผลของสภาพภูมิอากาศที่หลากหลายต่อเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ณ อาคารสำนักงานประเทศมาเลเซีย ในปัจจุบันนั้นอสภาพของอากาศที่มีความแปรปรวนส่งผลต่อระบบเครื่องปรับอากาศ ส่วนใหญ่ศึกษาในเรื่องของภาระการทำความเย็น (total cooling capacity) และองค์ประกอบความร้อนสัมผัส (sensible heat factor, SHF) ในการทดลองทุกครั้งพบว่า เมื่ออุณหภูมิภายนอกเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียสจะส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพในอากาศลดลง 2% ในขณะที่องค์ประกอบความร้อนสัมผัส ลดลงน้อยกว่า 2% ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศเป็นปัจจัยในการออกแบบเครื่องปรับอากาศ ซึ่งจะต้องถูกวิเคราะห์เพื่อลดการใช้พลังงานอย่างยั่งยืน

Jie Jia และ W.L. Lee ได้สร้างอุปกรณ์เก็บสะสมพลังงานจากเครื่องปรับอากาศภายในห้อง (Storage-enhanced heat recovery room air-conditioner, SEHRAC) ซึ่งเป็นหนึ่งในระบบกักเก็บพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับครัวเรือน ในการประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน ยังต้องพิจารณาด้วยว่าพลังงานความร้อนที่เก็บสะสมได้นั้นเพียงพอต่อความต้องการน้ำร้อนในครัวเรือนหรือไม่ ในการศึกษานี้ความต้องการความร้อนของครัวเรือนทั่วไปถูกนำมาพิจารณา การวิเคราะห์พิจารณาโดยการจำลองเป็นชั่วโมงๆไปโดยใช้ลักษณะจริงของอาคาร ผลของกาจำลองพบว่าการใช้งาน SEHRAC นั้น น้ำร้อนที่ได้จากการเก็บสะสมพลังงานมีปริมาณมากกว่าความร้อนต้องการน้ำภายในครัวเรือนมาก สำหรับการออกแบบถังเก็บพลังงานจากเครื่องปรับอากาศ (storage tank an air-conditioner model , REFMOD) ถูกพัฒนาเพื่อทำให้สามารถหาข้อจำกัดของการใช้งานในฝั่งการไหลของสารทำความเย็นสำหรับ SEHRAC ได้ นอกจากนี้การออกแบบถังเก็บความร้อนนั้นยังต้องสามารถบรรลุความต้องการในการกักเก็บความร้อนขั้นต่ำด้วย และประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนจะต้องถูกกำหนด พลังงานศักย์,การประหยัดพลังงานและการลดการปล่อยก๊าซ CO_2 สำหรับการประยุกต์ใช้ SEHRAC อยู่ที่ประมาณ 9.3% ของการใช้พลังงานในครัวเรือน

จากการศึกษาของ Yi Xiaowen และ W.L. Lee ที่ได้ทำการศึกษาการทดสอบเกี่ยวกับระบบ Water-Cooled Air Conditioner (WAC) โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิด Tube-In-Tube Helical Heat Exchanger ในการถ่ายเทความร้อนจากสารทำความเย็นไปสู่น้ำ ซึ่งวัตถุประสงค์ของการทดลองนี้คือการหาทางใช้พลังงานของระบบ (WAC) ให้มีประสิทธิภาพและออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tube-In-Tube Helical Heat Exchanger โดยการทดลองได้มีการเก็บค่าการทำความเย็น จำนวนความร้อนที่เก็บไว้ได้และกำลังไฟฟ้าที่ใช้โดยการปรับวัดอัตราการไหลของน้ำ ซึ่งจากผลการทดสอบพอว่าค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้น 12.3% ที่อัตราการไหลของน้ำ 4 ลิตรต่อนาที และเพิ่มมากที่สุดที่ 20.6% ที่อัตราการไหลของน้ำ 7.7 ลิตรต่อนาที

2.2 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับระบบทำความเย็น

การทำความเย็น หมายถึง กระบวนการในการดึงความร้อนออกจากสิ่งใดสิ่งหนึ่งมีผลให้อุณหภูมิลดลง โดยปกติจะหมายถึง ขบวนการเก็บรักษาอาหารการขจัดความร้อนจากวัตถุในอุตสาหกรรม ทางเคมี ปิโตรเลียม ปิโตรเคมีและการทำความเย็น และการทำความเย็นในรูปแบบอื่นๆในวงการอุตสาหกรรม เช่น การแช่แข็ง เป็นต้น

การปรับอากาศ หมายถึง การปรับสภาวะอากาศให้ได้ตามเงื่อนไขที่ต้องการ โดยปกติจะมีความหมายมากกว่าการทำให้อากาศเย็น แต่จะหมายรวมถึงการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้น การควบคุมคุณภาพ และความสะอาดของอากาศ การควบคุมการไหลเวียนของอากาศ ระดับเสียง ในพื้นที่ปรับอากาศ

2.3 ประเภทของระบบทำความเย็น

ระบบการทำความเย็นมีด้วยกันมากมายหลายแบบ บางแบบใช้งานแล้วให้ประสิทธิภาพในการทำความเย็นสูงก็จะถูกพัฒนาและปรับปรุงให้ดีขึ้น บางระบบถ้าใช้งานแล้วประสิทธิภาพในการทำความเย็นต่ำก็จะถูกเลิกใช้ไป ในที่นี้จะกล่าวถึงระบบการทำความเย็นและหลักการทำงานของระบบทำความเย็นดังนี้

1) ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression Refrigeration System)

2) การทำความเย็นโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Refrigeration System)

3) การทำความเย็นระบบสตรีมเจ็ต (Steam Jet Refrigeration System)

4) วงจรการทำความเย็นแบบแอบซอร์ปชัน (Absorption Refrigeration System)

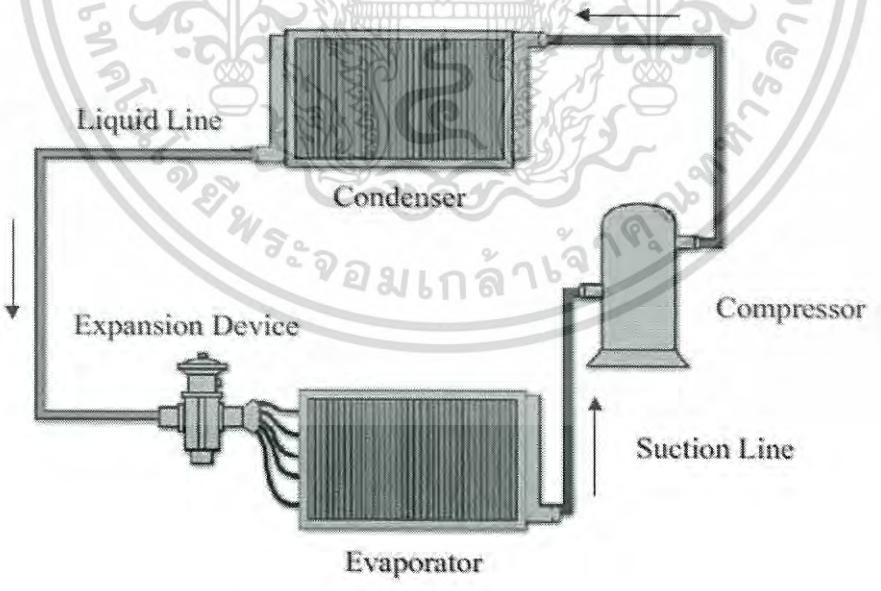
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ คือ การประยุกต์วัฏจักรคาร์โนแบบย้อนกลับได้ ซึ่งสารทำความเย็นที่ไหลอยู่ในระบบบางช่วงมีสถานะเป็นไอและบางช่วงเป็นของเหลว ซึ่งประกอบด้วย 4 กระบวนการหลักๆ ได้แก่ กระบวนการดูดความร้อน(Heat Absorption) กระบวนการคายความร้อน(Heat Rejection) การระเหย(Evaporation) และการควบแน่น(Condensation) โดยที่กระบวนการทั้ง 2 กระบวนการแรกนั้นเกิดขึ้นที่ภายใต้ภาวะความดันคงที่ ส่วนอีก 2กระบวนการ ทำงานที่เอนโทรปีคงที่ (Isentropic) ซึ่งระบบทำความเย็นแบบอัดไอนั้นได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เพราะสามารถทำความเย็นในช่วงอุณหภูมิที่กว้างและมีประสิทธิภาพการทำความเย็นสูง

2.5 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression Cycle)

เครื่องทำความเย็นและปรับอากาศที่นิยมใช้ในปัจจุบันอาศัยพลังงานกลขับคอมเพรสเซอร์จึงเรียกว่าระบบทำความเย็นและปรับอากาศเชิงกล ซึ่งคอมเพรสเซอร์ทำหน้าที่อัดไอสารทำความเย็นให้หมุนเวียนในระบบ จึงเรียกว่าวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ ซึ่งวัฏจักรดังกล่าว จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์พื้นฐาน 4 ตัว ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 แผนภาพระบบทำความเย็น [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 คอมเพรสเซอร์ (Compressors)

เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดของระบบการทำความเย็นทำหน้าที่เพิ่มความดันของสารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะที่เป็นก๊าซ โดยคอมเพรสเซอร์จะดูดสารทำความเย็นที่เป็นก๊าซความดันต่ำ และอุณหภูมิต่างจากเครื่องระเหย (Evaporator) ที่ผ่านเข้ามาทางท่อดูดเข้ายังทางดูดของคอมเพรสเซอร์และ อัดก๊าซนี้ให้มีความดัน และอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งเข้าไปยังคอนเดนเซอร์ (Condenser)โดยผ่านเข้าทางท่อบรรจุเพื่อส่งไปกลันตัวเป็นของเหลวในคอนเดนเซอร์ด้วยการระบายความร้อนออกจากสารความเย็นอีกทีหนึ่งจะเห็นได้วาคอมเพรสเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่แบ่งความดันระบบระหว่างด้านความดันสูง และความดันต่ำสารทำความเย็นจะถูกดูดเข้ามาในคอมเพรสเซอร์จะมีสถานะเป็นก๊าซความดันต่ำ และสารความเย็นที่อัดออก ส่งออกจากคอมเพรสเซอร์จะมีสถานะเป็นก๊าซที่มีความดันสูงคอมเพรสเซอร์จำแนกตามวิธีการอัด

2.5.2 เครื่องระเหย (Evaporator)

เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอีกอยางหนึ่งของระบบทำความเย็นทำหน้าที่ดูดปรับบริมาณความร้อน จากในบริเวณหรือในเนื้อที่ที่ต้องการทำความเย็น ขณะที่สารทำความเย็นภายในระบบนี้เดือดจะเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซก็จะดูดรับปริมาณความร้อนผานผิวท่อทางเดินสารความเย็นเข้าไปยังสารความเย็นในระบบทำให้อุณหภูมิโดยรอบคอยล์เย็นลดลง

2.5.3 คอนเดนเซอร์ (Condenser)

คอนเดนเซอร์หรืออุปกรณ์ควบแน่นเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของระบบทำความเย็นทำหน้าที่ระบายความร้อนในสถานะก๊าซที่มีความดันสูงและอุณหภูมิสูงที่ถูกอัดตัวส่งมาจากคอมเพรสเซอร์เพื่อให้กลั่นตัวเป็นของเหลวในคอนเดนเซอร์ด้วยการระเหยความร้อนออกแต่ยังคงมีความดันและอุณหภูมิสูงอยู่เช่นเดิม

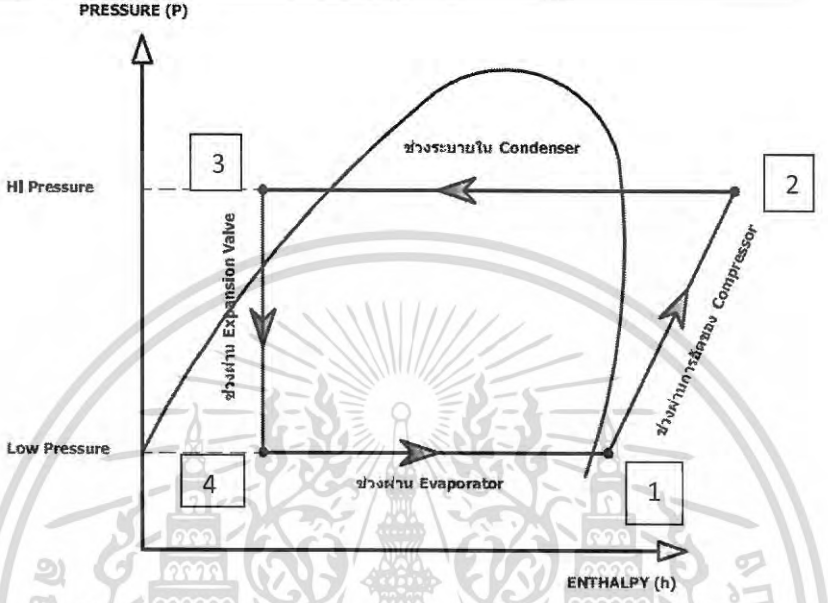
2.5.4 อุปกรณ์ลดความดัน (Expansion Valve)

ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นก่อนเข้าอีวาพอเรเตอร์ ซึ่งมีหลักการในการทำงานง่ายๆ คือการลดพื้นที่หน้าตัดลงเหมือนกับการนำสายยางไปต่อกับก๊อกน้ำแล้วเปิดน้ำให้แรงจากนั้นใช้มือปิดที่ปลายสายยางจะเกิดเป็นฝอยละอองซึ่งก็ใช้หลักการคล้ายกันเพียงแต่ว่า อุปกรณ์ลดความดัน จะควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นตามความต้องการของระบบปรับอากาศ ซึ่งผลที่ตามมาก็คือความดันจะลดลงและสถานะจะเปลี่ยนจากแก๊สอุณหภูมิสูงความดันสูงให้เป็นฝอยละออง และความดันลดลงจนสามารถเปลี่ยนเป็นไอได้แต่ที่บริเวณทางออกของอุปกรณ์ลดความดันยังไม่เป็นไอ

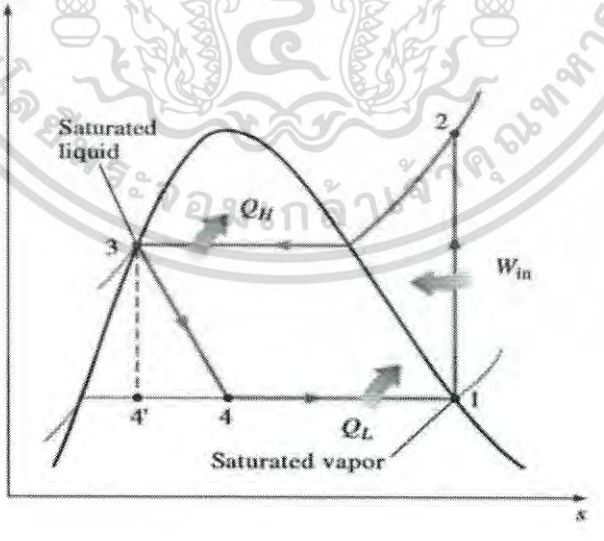
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอแบบอุดมคติ

วัฏจักรเครื่องทำความเย็นอุดมคติ เป็นวัฏจักที่เป็นต้นแบบของเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอหรือเครื่องปรับอากาศที่ใช้กันทุกวัน วัฏจักรนี้ประกอบด้วยกระบวนการย้อนกลับได้ภายในเกือบทั้งหมด ยกเว้นเพียงกระบวนการเดียวที่ย้อนกลับไม่ได้ คือกระบวนการลดความดัน



รูปที่ 2.2 แผนภาพความดัน-เอนทาลปีของวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอในอุดมคติ



รูปที่ 2.3 แผนภาพอุณหภูมิ-เอนโทรปีของวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอในอุดมคติ [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการ 1-2 การอัดตัวแบบไอเซนโทรปิกในเครื่องอัด

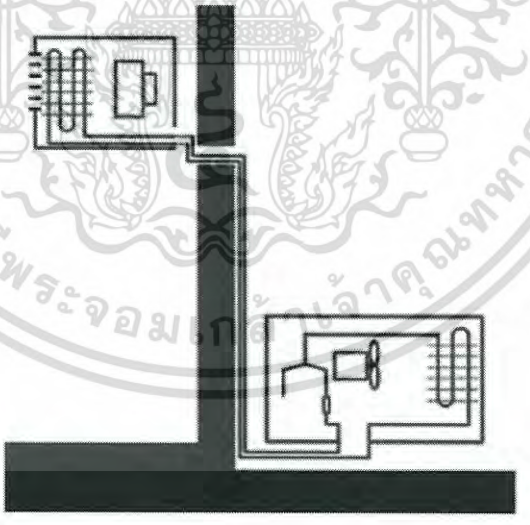
กระบวนการ 2-3 การคายความร้อนโดยความดันคงที่ในเครื่องควบแน่น

กระบวนการ 3-4 การขยายตัวในอุปกรณ์ expansion valve

กระบวนการ 4-1 การดูดความร้อนในความดันคงที่ในเครื่องระเหย

2.7 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type)

ระบบปรบอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) เป็นระบบปรบอากาศขนาดเล็กโดยส่วนใหญ่ขนาดทำความเย็นจะไม่เกิน 40,000 บีทียูต่อชั่วโมง ส่วนประกอบของเครื่องปรับอากาศจะแยกเป็น 2 ส่วนหลักคือส่วนของคอล์ยทำ ความเย็นที่เรียกว่า คอล์ยเย็น (Fan Coil Unit) ซึ่งจะติดตั้งในพื้นที่ปรับอากาศ และคอล์ย ร้อน (Condensing Unit) ซึ่งจะมีเครื่องอัดสารทำความเย็น (Compressor) อยู่ภายในโดยจะติดตั้งอยู่ภายนอกอาคาร ระหว่างชุดคอล์ยร้อนและคอล์ยเย็นจะมีท่อสารทำความเย็น ทำหน้าที่เป็นตัวถ่ายเทความร้อนออกจากห้องปรับอากาศ



รูปที่ 2.4 ระบบทำความเย็นแบบแยกส่วน [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การวิเคราะห์วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ

กำหนดให้อัตราไหลเชิงมวลของสารทำความเย็นในระบบมีค่าคงที่เท่ากับ $\dot{m}$ (kg/s) ซึ่งการวิเคราะห์จะวิเคราะห์ตามหลักการของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ

2.8.1 เครื่องอัด

สารทำความเย็นสถานะไออิ่มตัวไหลเข้าสู่เครื่องอัดไอจากนั้นถูกอัดให้มีความดันสูงและอุณหภูมิสูงขึ้น แต่เอนโทรปีคงที่ กำลังในการทำงานหาได้จากสมการ

$$\dot{W}_c = \dot{m}(h_2 - h_1) \tag{2.1}$$

2.8.2 เครื่องควบแน่น

สารทำความเย็นสถานะไอร้อนที่มีความดันและอุณหภูมิสูง จะไหลเข้าสู่เครื่องควบแน่นเพื่อคายความร้อน ดังนั้น ความร้อนที่คายออกที่เครื่องควบแน่นจะสามารถหาได้จากสมการ

$$\dot{Q}_c = \dot{m}(h_2 - h_3) \tag{2.2}$$

2.8.3 วาล์วลดความดัน

สารทำความเย็นในสถานะของเหลวอิ่มตัวที่ไหลออกจากเครื่องควบแน่น จะไหลเข้าสู่วาล์วลดความดันเพื่อลดความดันให้มีค่าต่ำจนมีความดันเท่ากับความดันเครื่องระเหย ในกระบวนการนี้จะไม่มีการถ่ายเทความร้อนหรืองาน แสดงว่าเอนทาลปีทั้ง2จุดมีค่าเท่ากัน

$$h_3 = h_4 \tag{2.3}$$

2.8.4 เครื่องระเหย

สารทำความเย็นที่มีความดันต่ำ จะไหลเข้าสู่เครื่องระเหยเพื่อรับความร้อนจากพื้นที่ปรับอากาศทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวหรือของผสมไออิ่มตัว ความร้อนที่สารทำความเย็นดูดเข้าไปจะหาได้จากสมการ

$$\dot{Q}_e = \dot{m}(h_1 - h_4) \tag{2.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 นิยามประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

2.9.1 ค่าสัมประสิทธิ์ สมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP)

เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างความสามารถในการทำความเย็น และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศในการทำความเย็น

$$COP = \frac{Q}{W} \quad \text{หรือ} \quad COP = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} \tag{2.5}$$

2.9.2 ค่าประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio, EER)

เป็นค่าอัตราส่วนระหว่าง ขีดความสามารถในการทำความเย็น(Btu/hr) รวมสุทธิและกำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศในการทำความเย็นโดย EER มีหน่วยเป็น Btu/hr/Watt

$$EER = 3.412 \times (\frac{Q}{W}) \tag{2.6}$$

2.10 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและขดลวด (Shell and Helical Coil Heat Exchanger)

คือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนโดยไม่สัมผัสกัน ระหว่างของไหลที่อยู่ในท่อขดลวดและของไหลในเปลือก ซึ่งลักษณะของท่อในเปลือกจะมีลักษณะเป็นแบบหมุนเป็นเกลียวคล้ายสปริง

ข้อดีของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและขดลวด

1) ใช้พื้นที่น้อยในการติดตั้ง

2) รูปแบบเรียบง่าย

3) ราคาไม่แพง

ข้อเสียของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและขดลวด

1) ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนต่ำกว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือก และท่อ

2) ทำความสะอาดได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและขดลวด

1) เปลือก (shell)

2) ท่อแบบขดลวด (Helical coil)

2.10.1 การคำนวณเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและขดลวด

ค่าความร้อนที่ถูกแลกเปลี่ยนกันในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน หรืออีกนัยคือค่าความร้อนที่ถ่ายเทจากของไหลหนึ่งไปยังอีกของไหลหนึ่งสามมารถหาได้จากสมการ

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p(\Delta T) = U_0 A_s \Delta T_{LMTD} \tag{2.7}$$

โดยที่ U_0 หรือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวมสามารถหาได้จากสมการ

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} \tag{2.8}$$

จากนั้นใช้ผลต่างอุณหภูมิแบบล็อค (Log Mean Temperature , ΔT_{LMTD})

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left[(T_1 - t_2)/(T_2 - t_1)\right]} \tag{2.9}$$

ซึ่งการหาค่า h_o นั้นจะต้องพิจารณาคุณสมบัติของของไหลในท่อโดยเริ่มจากการหาค่าความเร็วได้ จากสมการ

$$\dot{m} = \rho A u \tag{2.10}$$

จากนั้นหา *equivalent diameter* ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและขดลวด จากสมการ

$$D_e = \sqrt{\frac{4\dot{m}}{\pi \rho u_0}} \tag{2.11}$$

หา Re ได้จาก สมการ

$$Re = \frac{\rho u_0 D_e}{\mu} \tag{2.12}$$

จากนั้นคำนวณหาตัวเลขเพราซ์ (Pr) ได้จาก สมการ

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} \tag{2.13}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อหา Re และ Pr ได้แล้วนำมาหา Nusselt number ได้จากสมการ

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4} \tag{2.14}$$

เมื่อหาค่า Nusselt number ได้แล้วจะสามารถหา h ต่อได้จากสมการ

$$h = \frac{Nuk_f}{D_e} \tag{2.15}$$

พิจารณาหา h เริ่มจากหา R_e ของสารทำความเย็นในท่อ จากสมการ

$$Re = \frac{\rho u D_e}{\mu} \tag{2.16}$$

จากนั้นหา Nusselt number จากสมการ

$$Nu = 0.023Re^{0.85}Pr^{0.3}\left(\frac{d_c}{D_c}\right)^{0.1} \tag{2.17}$$

เมื่อหาค่า Nusselt number ได้แล้วจะสามารถหา h_i ต่อได้

สำหรับการไหลในท่อ ความดันตกจะสามารถหาได้โดยคล้ายกับการหาความดันตกในท่อกลม แต่ต้องพิจารณาจำนวนท่อด้วย โดยที่ความดันตกจากการสูญเสียหลักสามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta p_{tubes} = \frac{fL}{ID_t}\frac{\rho V^2}{2g_c} \tag{2.18}$$

สำหรับการสุญเสียรองในชุดท่อจะเกิดขึ้นจากการไหลเข้าและออกจากชุดท่อบริเวณแผนยึดท่อ ลักษณะการไหลดังกล่าวถือว่าเป็นการหดตัวหรือขยายตัวอย่างกระทันหัน(Sudden Contraction or Expansion) ซึ่งจะคำนวณได้จากสมการ

$$\Delta p_{return} = K\frac{\rho V^2}{2g_c} \tag{2.19}$$

โดยจากการทดลองพบว่าค่า K ที่แนะนำจะเท่ากับ 4 ดังนั้นค่าความดันตกจากการสูญเสียรวมจะสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\Delta p_t = \Delta p_{tubes} + \Delta p_{return} = \left[\frac{fL}{ID_t} + 4\right]\frac{\rho V^2}{2g_c} \tag{2.20}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 Arduino (อา-ดู-อิ-โน่ หรือ อาดุยโน่)

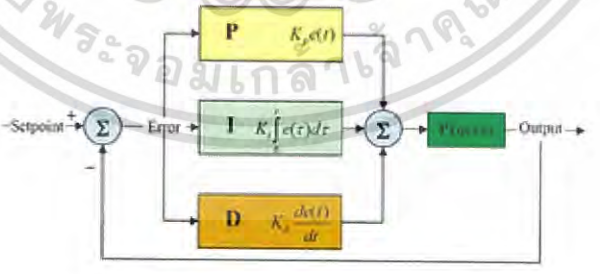
เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR ได้ถูกพัฒนามาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์ทำให้ใครก็สามารถผลิตบอร์ดขึ้นมาเองได้ ตัวบอร์ดถูกออกแบบมาให้นักศึกษาหรือคนที่ต้องการสร้างชุดควบคุมระบบได้ใช้งานและออกแบบระบบต่างๆได้อย่างสะดวก อีกทั้งยังสามารถต่อยอดได้ทั้งตัวบอร์ดและตัวโปรแกรม

ส่วนการเขียนโปรแกรมนั้นจะเขียนโดยใช้ภาษา C ซึ่งเป็นภาษาพื้นฐานของการเขียนโปรแกรมและมีชุดคำสั่งที่เรียกว่า"ไลบรารี่"ทำให้สามารถเขียนโปรแกรมได้ง่ายและรวดเร็ว

ความง่ายของการใช้งาน Arduino ที่สำคัญเลยคือมีการรองรับโมดูลและเซนเซอร์ได้อย่างมากมายทั้งโมดูลและเซนเซอร์ที่เป็นอนาล็อกและดิจิตอล ซึ่งเป็นจุดแข็งหนึ่งที่ทำให้ Arduino ใช้งานได้ง่ายและแพร่หลายอย่างมาก

2.12 ระบบควบคุมแบบสัดส่วน ปริพันธ์ อนุพันธ์ (PID controller)

เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการและค่าที่ต้องการ ตัวควบคุมจะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรของ PID ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามธรรมชาติของระบบ



รูปที่ 2.5 แผนภาพการควบคุมแบบพีไอดี [8]

วิธีคำนวณของ PID ขึ้นอยู่กับสามตัวแปรคือค่าสัดส่วน, ปริพันธ์ และ อนุพันธ์ ค่าสัดส่วนกำหนดจากผลของความผิดพลาดในปัจจุบัน, ค่าปริพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของผลรวมความผิดพลาดที่ซึ่งพึ่งผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พ้นไป, และค่าอนุพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด น้ำหนักที่เกิดจากการรวมกันของทั้งสามนี้จะใช้ในการปรับกระบวนการ

โดยการปรับค่าคงที่ใน PID ตัวควบคุมสามารถปรับรูปแบบการควบคุมให้เหมาะกับที่กระบวนการต้องการได้ การตอบสนองของตัวควบคุมจะอยู่ในรูปของการไหวตัวของตัวควบคุมจนถึงค่าความผิดพลาด ค่าโอเวอร์ชูต (overshoots) และ ค่าแกว่งของระบบ (oscillation) วิธี PID ไม่รับประกันได้ว่าจะเป็นระบบควบคุมที่เหมาะสมที่สุดหรือสามารถทำให้กระบวนการมีความเสถียรแน่นอน

การประยุกต์ใช้งานบางครั้งอาจใช้เพียงหนึ่งถึงสองรูปแบบ ขึ้นอยู่กับกระบวนการเป็นสำคัญ พีไอดีบางครั้งจะถูกเรียกว่าการควบคุมแบบ PI, PD, P หรือ I ขึ้นอยู่กับว่าใช้รูปแบบใดบ้าง

การควบคุมแบบ PID ได้ชื่อตามการรวมกันของเทอมของตัวแปรทั้งสามตามสมการ

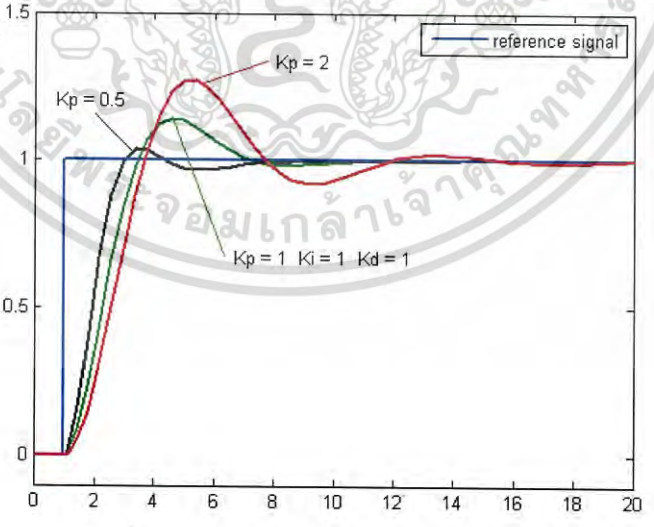
$$MV(t)=P_{out}+I_{out}+D_{out} \tag{2.21}$$

P_{out} ,I_{out} และ D_{out} เป็นผลของสัญญาณขาออกจากระบบควบคุม PID จากแต่ละเทอมซึ่งนิยามตามรายละเอียดดังนี้

2.12.1 สัดส่วน (อัตราขยาย, K_p)

เทอมของสัดส่วน จะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนของค่าความผิดพลาด การตอบสนองของสัดส่วนสามารถทำได้โดยการคูณค่าความผิดพลาดด้วยค่าคงที่ หรือที่เรียกว่าอัตราขยายสัดส่วน

$$P_{out}=K_p e(t)$$



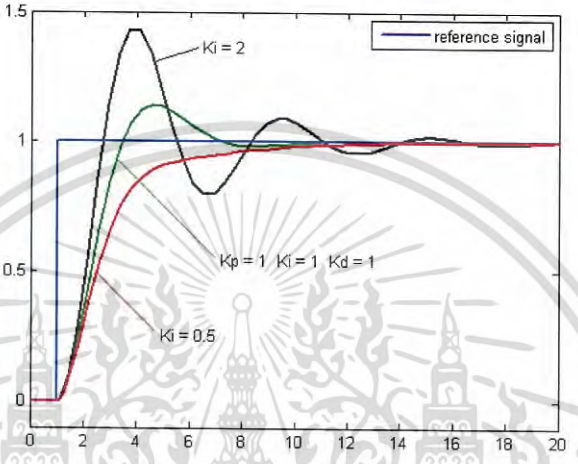
รูปที่ 2.6 กราฟ Pv ต่อเวลา ,Kp [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.2 ปริพันธ์ (Reset, K_i)

ผลจากเทอมปริพันธ์ เป็นสัดส่วนของขนาดความผิดพลาดและระยะเวลาของความผิดพลาด ผลรวมของความผิดพลาดในทุกช่วงเวลา (ปริพันธ์ของความผิดพลาด) จะให้ออฟเซตสะสมที่ควรจะเป็นในก่อนหน้า ความผิดพลาดสะสมจะถูกคูณโดยอัตราขยายปริพันธ์ ขนาดของผลของเทอมปริพันธ์จะกำหนดโดยอัตราขยายปริพันธ์

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(\tau)d\tau \tag{2.22}$$

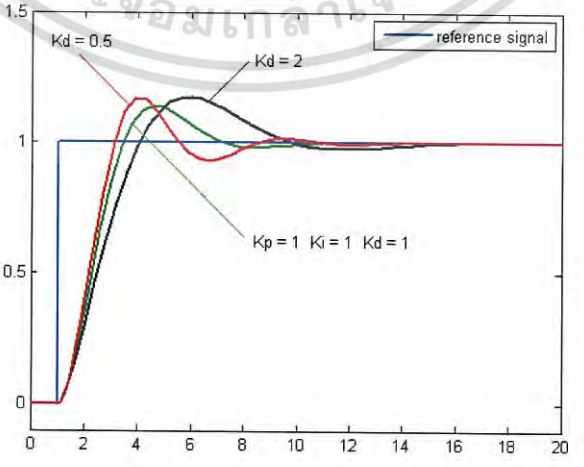


รูปที่ 2.7 กราฟ Pv ต่อเวลา ,Ki [8]

2.12.3 อนุพันธ์ (K_d)

อัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดจากกระบวนการนั้นคำนวณหาจากความชันของความผิดพลาดทุกๆเวลา นั่นคือ เป็นอนุพันธ์อันดับหนึ่งสัมพันธ์กับเวลา และคูณด้วยอัตราขยายอนุพันธ์ ขนาดของผลของเทอมอนุพันธ์ขึ้นกับ อัตราขยายอนุพันธ์

$$D_{out} = K_d \frac{d}{dt} e(t) \tag{2.23}$$



รูปที่ 2.8 กราฟ Pv ต่อเวลา ,Kd [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นผลรวมของสมการจะได้ว่า

$$u(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau)\, d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \qquad (2.24)$$

2.12.4 การปรับจูนค่าด้วยมือ

ถ้าระบบยังคงทำงาน ขั้นแรกให้ตั้งค่า K_i และ K_d เป็นศูนย์ เพิ่มค่า K_p จนกระทั่งสัญญาณขาออกเกิดการแกว่ง (oscillate) แล้วตั้งค่า K_p ให้เหลือครึ่งหนึ่งของค่าที่ทำให้เกิดการแกว่งสำหรับการตอบสนองชนิด "quarter amplitude decay" แล้วเพิ่ม K_i จนกระทั่งออฟเซตถูกต้องในเวลาที่พอเพียงของกระบวนการ แต่ถ้า K_i มากไปจะทำให้ระบบไม่เสถียร สุดท้ายถ้าเราต้องการให้เพิ่มค่า K_d จนกระทั่งระบบอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แต่ถ้าค่า K_d มากเกินไปจะเป็นเหตุให้การตอบสนองและโอเวอร์ชูตเกินที่จะยอมรับได้ ปกติการปรับจูน PID ถ้าเกิดโอเวอร์ชูตเล็กน้อยจะช่วยให้เข้าสู่จุดที่ต้องการเร็วขึ้น แต่ในบางระบบไม่สามารถยอมรับให้เกิดโอเวอร์ชูตได้ และถ้าค่า K_p น้อยเกินไปก็จะทำให้เกิดการแกว่งของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3

วิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 การคำนวณและการออกแบบ

3.1.1 การคำนวณค่าความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ

การคำนวณหาพื้นที่ ที่น้อยที่สุดตามทฤษฎีที่จำเป็นต้องใช้ในการควบแน่นของสารทำความเย็นขาเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เป็นไอที่ความดัน 32 บาร์ อุณหภูมิ 82 องศาเซลเซียส ออกเป็นของเหลวอิ่มตัวที่ 30 บาร์ อุณหภูมิ 48 องศาเซลเซียส น้ำขาเข้าเครื่องเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส ขาออกอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และมีอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 0.05 kg/s ภายนอกท่อภาระความร้อนที่ต้องระบายมีค่าเท่ากับ 4.61 kW

ที่อัตราการไหลของน้ำ (0.05 kg/s) และท่อทางเข้าของน้ำมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ (3.048 cm) เราสามารถหาความเร็วของน้ำได้จาก สมการที่ (2.10)

$$u = \frac{\dot{m}}{\rho A}$$

$$u = \frac{0.05}{1000(\pi(\frac{3.048\times10^{-2}}{2})^2)}$$

$$u = 0.0721 \text{ m/s}$$

เมื่อเราทราบว่าความเร็วของน้ำมีค่าเท่ากับ $u = 0.0721$ m/s เราสามารถหาค่า equivalent diameter ได้จาก สมการที่ (2.11)

$$D_e = \sqrt{\frac{4\dot{m}}{\pi\rho u}}$$

$$D_e = 0.0297 \text{ m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเราทราบค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของน้ำมีค่าเท่ากับ ($\mu = 420\times10^{-6}$ kg/m.s) จากอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยเข้าและออก และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเท่ากับ (0.0297 m) จากนั้นคำนวณหาตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number , Re) ของน้ำได้จาก สมการที่ (2.12)

$$Re = \frac{\rho V D_e}{\mu}$$

$$Re = \frac{1000(0.0721)(0.0297)}{420\times10^{-6}}$$

$$Re = 3274.6$$

โดยเราทราบค่าความจุความร้อนของของไหลมีค่าเท่ากับ ($C_{pw} = 4170$ J/kg.°K) และทราบค่าการนำความร้อนของของเหลวอิ่มตัวมีค่าเท่ากับ ($k = 0.632$ W/m.°K) จากนั้นคำนวณหาตัวเลขเพราซ์ (Pr) ของน้ำได้จาก สมการที่ (2.13)

$$Pr = \frac{C_{pw}\mu}{k}$$

$$Pr = \frac{(4170)(420\times10^{-6})}{0.632}$$

$$Pr = 4.32$$

คำนวณหาตัวเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number , Nu) ได้จาก สมการที่ (2.14)

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4}$$

$$Nu = 26.80$$

ดังนั้นเราสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน (Convection Heat Transfer Coefficient , h_o) ได้จาก สมการที่ (2.15)

$$h_o = \frac{Nu.k}{D_e}$$

จะได้ $$h_o = 570.175 \text{ W/m}^2.^\circ\text{k}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่าอัตราการไหลของสารทำความเย็นหาได้จาก สมการที่ (2.4) สามารถหาความเร็วของสารทำความเย็นได้จาก สมการที่ (2.10)

$$u = \frac{\dot{m}}{\rho A}$$

$$u = \frac{0.024}{119.13\times(\frac{15.24\times10^{-2}}{2})^2}$$

$$u = 0.7878 \text{ m/s}$$

โดยเราทราบค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของสารทำความเย็นมีค่าเท่ากับ ($\mu = 168.5\times10^{-7}$ kg/m.s) จากอุณหภูมิของสารทำความเย็น และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเท่ากับ (18.05×10^{-3} m) จากนั้นคำนวณหาตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number , Re_c) ของสารทำความเย็นได้จาก สมการที่ (2.12)

$$Re_c = \frac{\rho VD}{\mu}$$

$$Re_c = \frac{(119.13)(0.7878)(18.05\times10^{-3})}{168.5\times10^{-7}}$$

$$Re_c = 100,470.53$$

จากนั้นคำนวณหาตัวเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number , Nu) ของสารทำความเย็นได้จาก

$$Nu = 0.023Re^{0.85}Pr^{0.3}(\frac{d_c}{D_c})^{0.1}$$

$$Nu = 439.827$$

เมื่อเราทราบค่าตัวเลขนัสเซลท์มีค่าเท่ากับ 439.827 ดังนั้นเราสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนของสารทำความเย็นที่ควบแน่นในท่อ (h_i) ได้จาก สมการที่ (2.15)

$$h_i = \frac{Nu.k}{D}$$

$$h_i = \frac{439.827\times0.0206}{18.05\times10^{-3}}$$

$$h_i = 501.96 \text{ W/m}^2.^\circ\text{k}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการแทนค่าจะได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในท่อเท่ากับ 501.96 วัตต์ต่อตารางเมตร-เคลวิล หลังจากได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในท่อและภายนอกท่อแล้ว ทำการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Coefficient , U_0) จาก สมการที่ (2.8)

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{internal}}$$

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{570.175} + \frac{1}{501.76}$$

$$U_0 = 266.95 \text{ W/m}^3.^\circ\text{k}$$

หาพื้นที่ที่จำเป็นในการแลกเปลี่ยนภาระการระบายความร้อน โดยใช้ผลต่างอุณหภูมิแบบล็อค (Log Mean Temperature , ΔT_{LMTD}) ได้จาก สมการที่ (2.9)

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left[(T_1 - t_2)/(T_2 - t_1)\right]}$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(82 - 45) - (48 - 31)}{\ln((82 - 45)/(48 - 31))}$$

$$\Delta T_{LMTD} = 25.716 \ ^\circ\text{C}$$

จากนั้นคำนวณหาพื้นที่ที่น้อยที่สุดในการถ่ายเทความร้อน 4.61 kW ได้จาก สมการที่ (2.7)

$$Q = U_0 A_s \Delta T_{LMTD}$$

$$4610 = (266.95)(A_s)(28.64)$$

$$A_s = 0.672 \text{ m}^2$$

พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีพื้นที่ 0.766 m ดังนั้นเพียงพอต่อการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ที่ใช้ในการทดลองเราจะแบ่งเป็น 2 ส่วนได้แก่ อุปกรณ์เก็บค่าจากการทดลองและอุปกรณ์ที่ใช้ในชุดควบคุม

3.2.1อุปกรณ์เก็บค่าจากการทดลอง

1) บอร์ด Arduino รุ่น UNO R3 ใช้รับค่าจากเซนเซอร์ต่างๆ

รูปที่ 3.1บอร์ด Arduino

2) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความความชื้น รุ่น DHT22 ใช้วัดอุณหภูมิและความชื้นในห้องทดลอง มีช่วงในการวัดความชื้น 0-100 % อุณหภูมิที่วัดช่วง -40 ถึง 80 องศาเซลเซียส ความแม่นยำ ±5 %

รูปที่ 3.2 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) แคมป์มิเตอร์ มีช่วงการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 600 โวลต์ มีความแม่นยำ ±1% และ ช่วงการวัดกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ 0 – 200 แอมป์ มีความแม่นยำ ±1.5% ใช้วัดกระแสที่จ่ายให้เครื่องอัดไอ

รูปที่ 3.3 เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า

4) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ รุ่น DS18 B 20 มีช่วงการวัดอุณหภูมิช่วง -55 ถึง 125 องศาเซลเซียส มีความแม่นยำ ±0.5 องศาเซลเซียส ใช้วัดอุณหภูมิของสารทำความเย็น

รูปที่ 3.4 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

5) เกจความดัน ยี่ห้อ Denki ช่วงวัดความดัน 0–70 barg และ ช่วง 0-21 barg ใช้วัดความดันของสารทำความเย็น

รูปที่ 3.5 เกจความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) มาตรวัดอัตราการไหลของน้ำ ใช้วัดอัตราการไหลของน้ำที่เข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน มีช่วงการวัด 0-14 ลิตรต่อนาที

รูปที่ 3.6 มาตรวัดอัตราการไหล

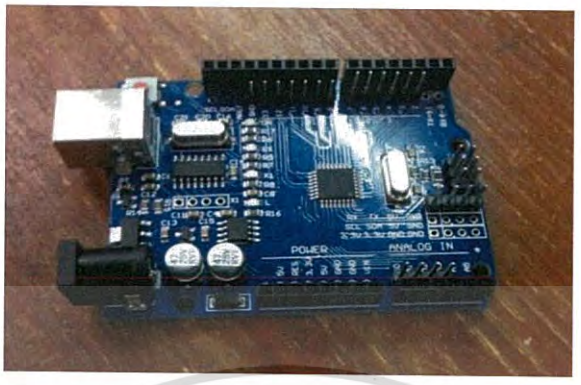
7) เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟาเรด รุ่น Fluke 62 Max ใช้วัดอุณหภูมิของสารทำความเย็น มีช่วงในการวัด -30 ถึง 500 องศาเซลเซียส ความแม่นยำ $\pm 1.5\%$

รูปที่ 3.7 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟาเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2อุปกรณ์ที่ใช้ในชุดควบคุม

1) บอร์ด Arduino UNO R3 ใช้ควบคุมการทำงานของระบบทำน้ำร้อนจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

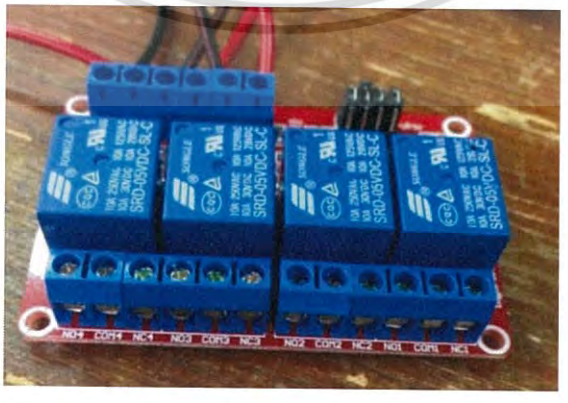


รูปที่ 3.8 บอร์ด Arduino

2) เซ็นเซอร์วัดระดับน้ำ ใช้วัดระดับน้ำในถังเก็บน้ำ ใช้พลังงานสูงสุด 10 วัตต์ กระแสไฟฟ้าสูงสุด 1.0 แอมป์ ช่วงการวัดอุณหภูมิ -10 ถึง 85 องศาเซลเซียส

รูปที่ 3.9 เซ็นเซอร์วัดระดับน้ำ

3) รีเลย์ ใช้ควบคุมการเปิด-ปิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า



รูปที่ 3.10 รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) โซลินอยด์วาล์ว ยี่ห้อ SANHUA รุ่น MDF-A03-6H004 ขนาด ½ นิ้ว เป็นวาล์วที่ใช้ควบคุมการเปิด-ปิดโดยใช้ไฟฟ้า

รูปที่ 3.11 โซลินอยด์วาล์ว

5) ปั๊มน้ำ รุ่น DC40C-2460 กระแสไฟฟ้าสูงสุด 1.2 แอมป์ อัตราไหลสูงสุดในแนวระนาบ 15 ลิตรต่อนาที ใช้ควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่เข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

รูปที่ 3.12 ปั๊มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) แหล่งจ่ายไฟ รุ่น SMB-70-24 แรงดันไฟฟ้าขาเข้า 176-264 V แรงดันไฟฟ้าขาออก 21.6-26.4 V ระดับกระแสไฟฟ้า 3 แอมป์ ใช้ในการแปลงไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ต่างๆ

รูปที่ 3.13 แหล่งจ่ายไฟ

7) โมดูลสำหรับขับปั๊มน้ำ รับสัญญาณ PWM แรงดันไฟฟ้าขาออก 5-36 โวลต์ กระแสฟ้าสูงสุด 15 แอมป์ ใช้ในการปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

รูปที่ 3.14 โมดูลสำหรับขับปั๊มน้ำ

3.3 เครื่องปรับอากาศและสารทำความเย็นที่ใช้ในการทดลอง

1.) เครื่องปรับอากาศยี่ห้อ MITSUBISHI HEAVY รุ่น SRK / C13CRV-S1 ขนาด12200.29 BTU

รูปที่ 3.15 เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) สารทำความเย็นที่ใช้ในการทดลอง ; R410a (CH_2F_2 , CHF_2CF_3)

รูปที่ 3.16 สารทำความเย็นที่ใช้ในการทดลอง

3) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อขดลวด

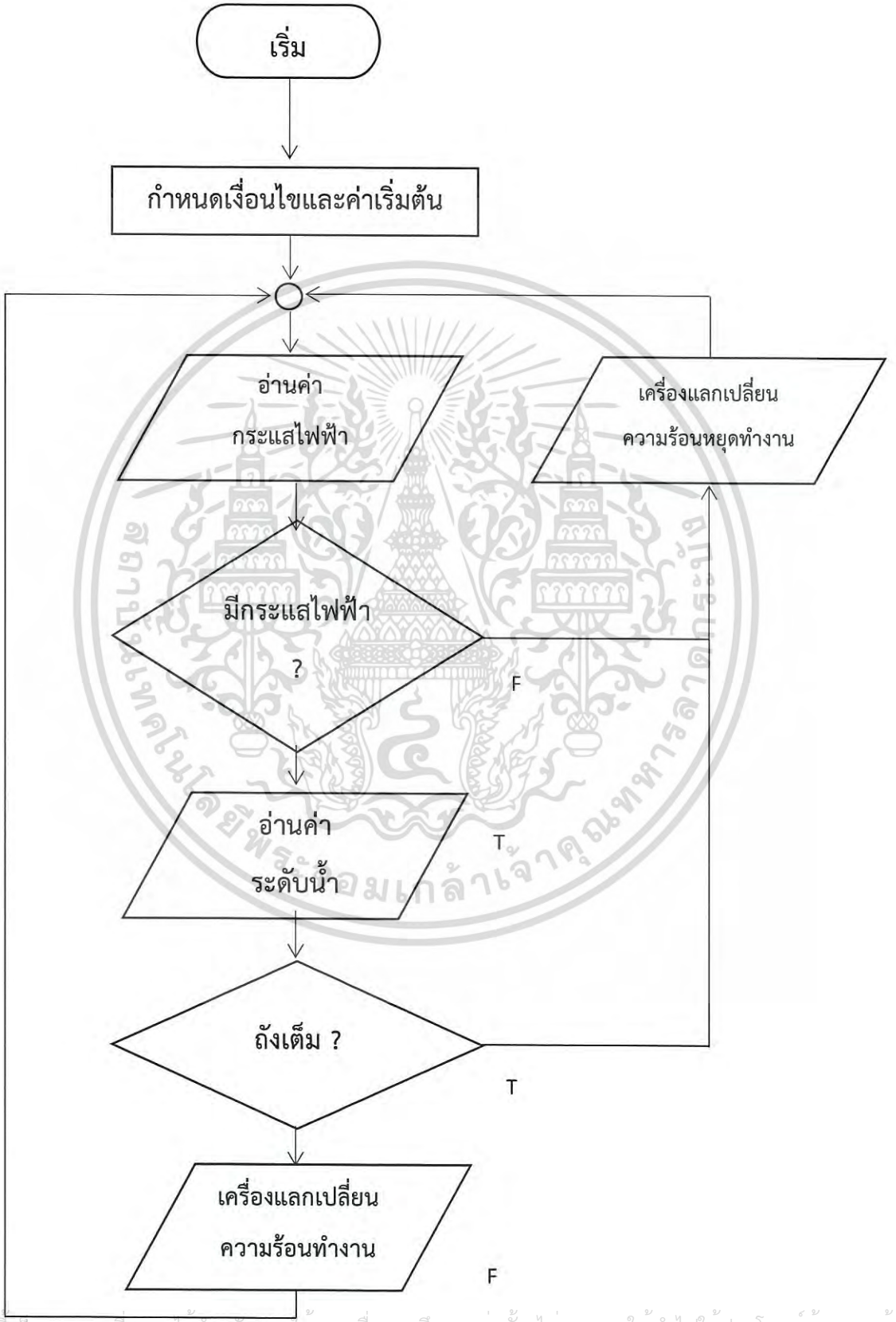
รูปที่ 3.17 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการทดลอง

4) ฮีทเตอร์ ใช้ในการให้ความร้อนภายในห้องเพื่อเพิ่มภาระให้เครื่องปรับอากาศทำงานได้ตลอด

รูปที่ 3.18 ฮีทเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนผังแสดงการทำงานของระบบควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

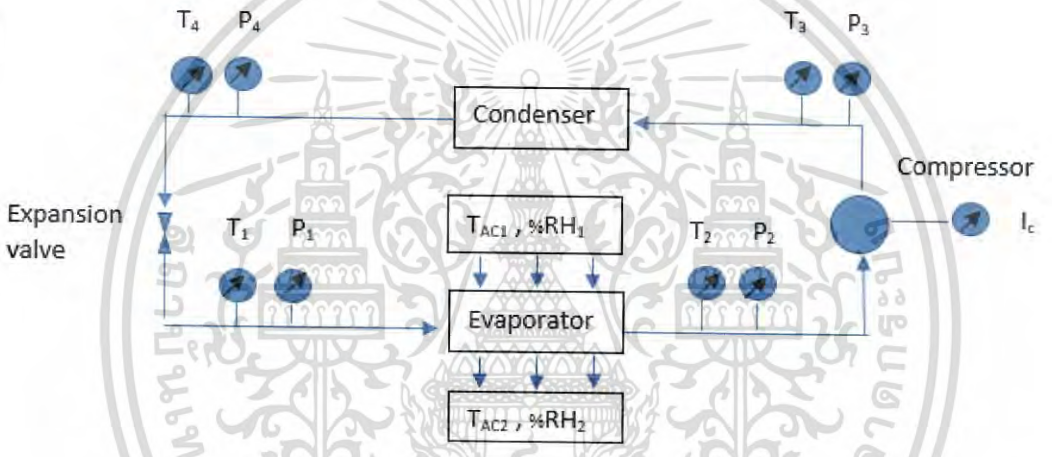
3.4 ขั้นตอนการทดลอง

ทำการทดลองหาค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน โดยสภาวะการทดลองอุณหภูมิภายในห้องทดลองก่อนการทดสอบเท่ากับ $30^{\circ}C$ และเครื่องปรับอากาศตั้งอุณหภูมิไว้ที่ $25^{\circ}C$ ตั้งพัดลมไว้ที่ High ซึ่งจะแบ่งการทดสอบเป็นสองส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

1) ใช้เครื่องปรับอากาศชุดระบายความร้อนเดิม ซึ่งใช้อากาศในการระบายความร้อน

2) ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและขดลวด ซึ่งใช้น้ำในการระบายความร้อน

3.4.1 การทดลองเพื่อหาค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ



รูปที่ 3.19 แผนภาพของเครื่องปรับอากาศ

การทดลองที่ 1 เครื่องปรับอากาศชุดระบายความร้อนเดิม

1) ปรับอากาศภายในห้องทดสอบให้อุณหภูมิเข้าชุดแฟนคอยล์และชุดคอนเดนซิงเป็นไปตามสภาวะทดสอบ

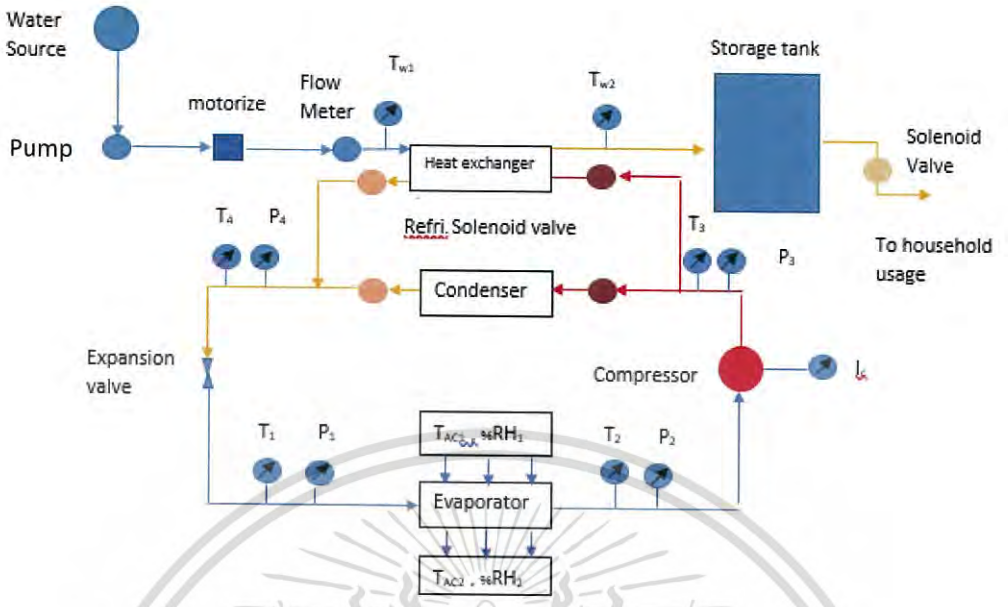
2) เปิดเครื่องปรับอากาศ โดยตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส และเปิดฮีทเตอร์ให้อุณหภูมิภายในห้องคงที่

3) ทำการบันทึกค่าดังต่อไปนี้ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที

4) นำค่าที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาค่าสมรรถนะทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การทดลองเพื่อหาค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศเมื่อติดชุดระบบทำน้ำอุ่น



รูปที่ 3.20 แผนภาพของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน

การทดลองที่ 2 เครื่องปรับอากาศชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ

1) ปรับอากาศภายในห้องทดสอบให้อุณหภูมิเข้าชุดแฟนคอยล์และชุดคอนเดนซิงเป็นไปตามสภาวะทดสอบ

2) เปิดเครื่องปรับอากาศ โดยตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส และเปิดฮีทเตอร์ให้อุณหภูมิภายในห้องคงที่

3) ทำการปรับอัตราการไหลของน้ำที่เข้าเครื่องทำน้ำอุ่นให้อยู่ที่ 8, 7, 6, 5, 4และ 3 ลิตรต่อนาที

4) ทำการบันทึกค่าดังต่อไปนี้ เป็นเวลา 30 นาที

5) นำค่าที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาค่าสมรรถนะทำความเย็นและหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำกับอุณภูมิน้ำป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การทดลองเพื่อหาค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศเมื่อติดชุดระบบทำน้ำอุ่นระบบควบคุม

การทดลองที่ 3 เครื่องปรับอากาศชุดระบายความร้อนด้วยน้ำและติดตั้งระบบควบคุม

1) ปรับอากาศภายในห้องทดสอบให้อุณหภูมิเข้าชุดแฟนคอยล์และชุดคอนเดนซิงเป็นไปตามสภาวะทดสอบ

2) เปิดเครื่องปรับอากาศ โดยตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส และเปิดฮีทเตอร์ให้อุณหภูมิภายในห้องคงที่

3) ทำการปรับอุณหภูมิน้ำขาออกให้เป็น 38, 40 และ 42 องศาเซลเซียส

4) ทำการบันทึกค่าดังต่อไปนี้ เป็นเวลา 30 นาที

5) นำค่าที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาค่าสมรรถนะทำความเย็นและหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำกับอุณภูมิน้ำป้อน

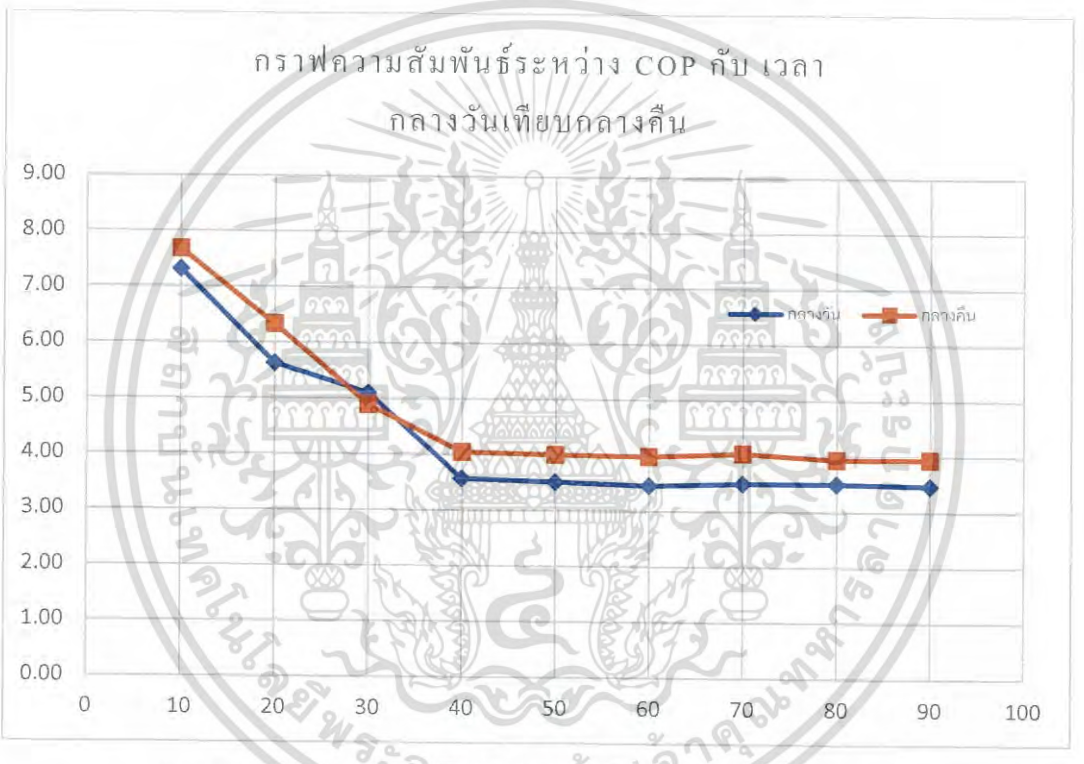
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองการหาค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน โดยใช้ชุดคอนเดนซิ่งเดิมที่ใช้อากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน

เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองมาหาค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน โดยใช้ชุดคอนเดนซิ่งเดิม จะได้ค่าสมรรถนะการทำความเย็นเทียบกับเวลาดังที่แสดงในกราฟ



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะทำความเย็นกับเวลา

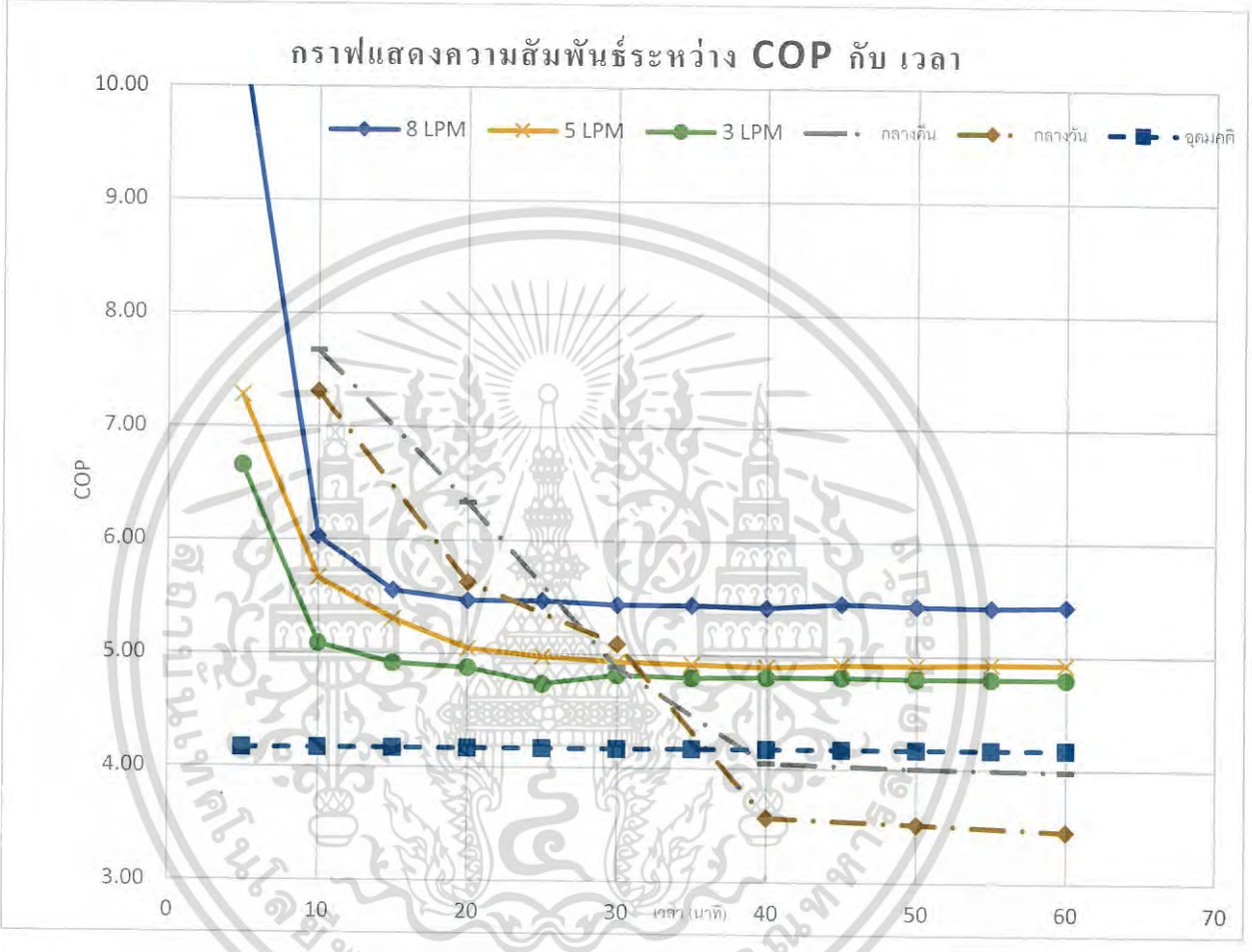
เมื่อพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการทำความเย็นกับเวลา จะพบว่าค่าสมรรถนะการทำความเย็นในช่วงเวลากลางวันนั้นจะมีค่าอยู่ที่ 3.5 ซึ่งน้อยกว่าค่าสมรรถนะการทำความเย็นในช่วงเวลากลางคืนที่จะมีค่าอยู่ที่ 4 ซึ่งมีค่าสูงกว่าช่วงเวลากลางวันถึงร้อยละ 33

จากกราฟข้างต้นจะพบอีกว่าค่าสมรรถนะการทำความเย็นจะมีค่าที่สูงในช่วงแรกเนื่องจากความร้อนสะสมที่ต้องระบายที่ชุดคอนเดนซิ่งยังมีค่าไม่สูงนัก จากนั้นจะเริ่มลู่เข้าค่าๆหนึ่งจนเข้าสู่สภาวะคงตัวในเวลาประมาณ 40 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองการหาค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน

เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองมาหาค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จะได้ค่าสมรรถนะการทำความเย็นเทียบกับเวลาดังที่แสดงในกราฟ



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะการทำความเย็นกับเวลาเปรียบเทียบกันในเวลา

เมื่อพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการทำความเย็นกับเวลา พบว่าค่าสมรรถนะในช่วงต้นมีค่าไม่คงที่ และค่าสมรรถนะการทำความเย็นมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันทั้งสองระบบ แต่เครื่องปรับอากาศหลังจากติดตั้งระบบทำน้ำอุ่นจะใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงที่เร็วกว่าการใช้ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนเดิมที่ใช้อากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน เนื่องมาจากน้ำมีค่าความจุความร้อนจำเพาะที่มากกว่า

หลังจากค่าสมรรถนะทำความเย็นเข้าสู่สภาวะคงที่แล้วพบว่าจากการทดลองโดยปรับอัตราการไหลของน้ำที่สภาวะต่างๆ พิจารณาจากอัตราการไหลที่สูงสุดที่ 8 ลิตรต่อนาทีและน้อยสุดที่ 3 ลิตรต่อนาทีของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

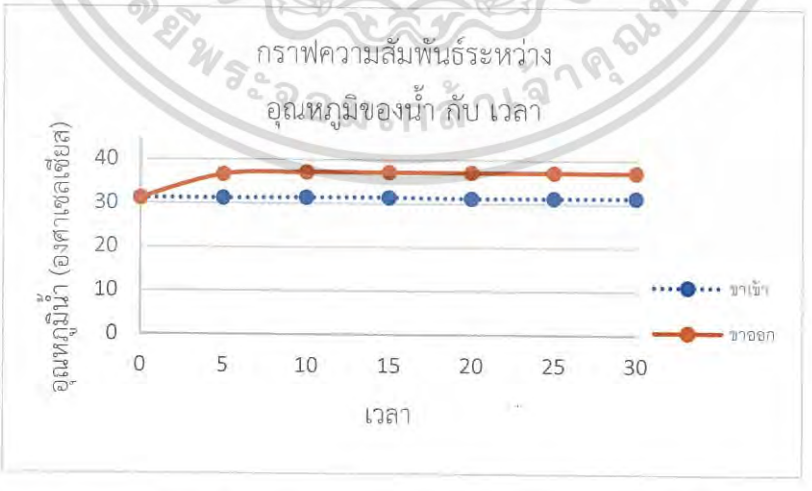
ทดลอง พบว่าค่าสมรรถนะการทำความเย็นของอัตราการไหลสูงสุดอยู่ในช่วง 5.4 - 5.6 และอัตราการไหลน้อยสุดอยู่ในช่วง 4.7- 4.9 ค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศเมื่อใช้ชุดระบายความร้อนเดิมมีค่า 3.5 – 3.9 ค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งระบบทำน้ำอุ่นขณะปรับอัตราการไหลต่ำสุดของการทดลองมีมากกว่าเครื่องปรับอากาศที่ใช้ชุดระบายความร้อนเดิมอยู่ร้อยละ 20.4 และเมื่อเปรียบเทียบกับที่อัตราการไหลมากสุดค่าสมรรถนะการทำความเย็นมากกว่าร้อยละ 30.35

อัตราการไหลของน้ำ (ลิตรต่อนาที)	3	4	5
กระแสไฟฟ้า (A)	5.09	4.92	4.88
COP	4.81	4.91	4.99
อุณหภูมิขาออกของน้ำ (องศาเซลเซียส)	46.5	42	40

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงการเปรียบเทียบที่อัตราการไหลต่างๆ

พิจารณาที่ 3 อัตราไหลนี้เพราะ อุณหภูมิน้ำขาออกอยู่ในเกณฑ์ที่นำไปใช้อุปโภคได้ แต่เลือกใช้ที่อัตราไหล 4 ลิตรต่อนาทีและ 5 ลิตรต่อนาทีเพราะที่อัตราไหลทั้ง 2 นี้ ปริมาณน้ำอุ่นเพียงพอต่อการนำไปอุปโภคต่อหนึ่งครัวเรือน ซึ่งที่อัตราไหล 3 ลิตรต่อนาทีมีการกินกระแสไฟฟ้ามากกว่าอัตราไหล 4 ลิตรต่อนาทีอยู่ 3.45% และมีค่าสมรรถนะการทำความเย็นน้อยกว่า 1.836%

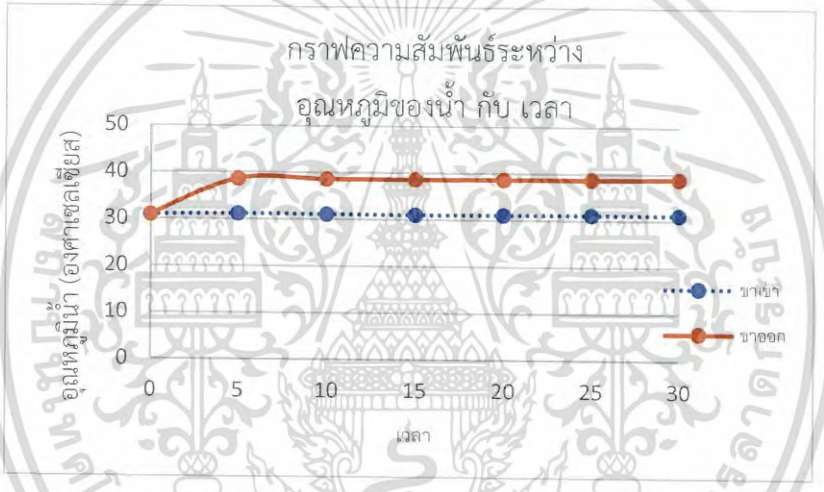
เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิขาออกของน้ำอุ่นที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่ามีความสัมพันธ์ดังที่แสดงในกราฟ



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำกับเวลาที่อัตราการไหล 8 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

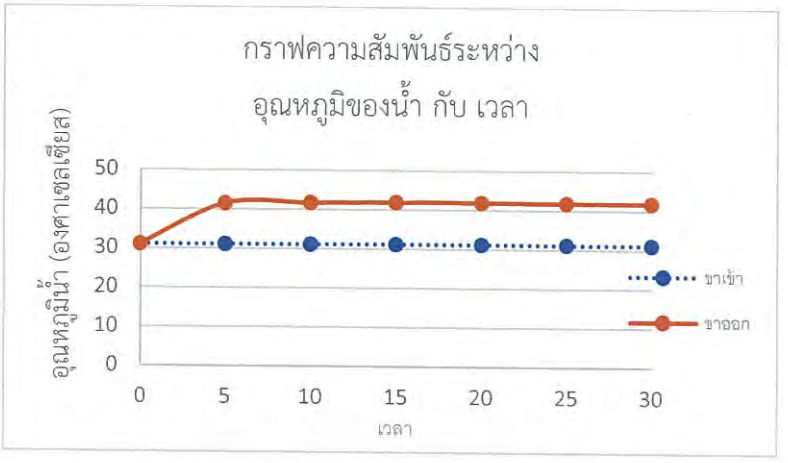
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำกับเวลาที่อัตราการไหล 7 ลิตรต่อนาที



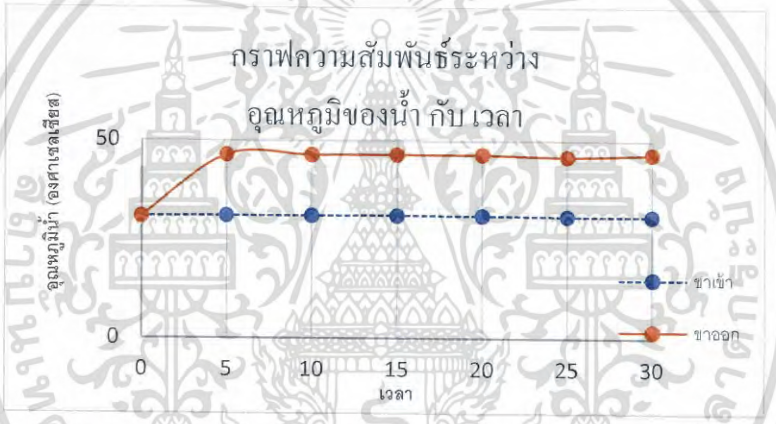
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำกับเวลาที่อัตราการไหล 6 ลิตรต่อนาที

รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำกับเวลาที่อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำกับเวลาที่อัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำกับเวลาที่อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที

จากกราฟจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของน้ำในช่วงต้นนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเข้าสู่สภาวะคงที่

ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำที่มีอัตราการไหลสูงสุด 8 ลิตรต่อนาที มีค่าประมาณ 6 องศาเซลเซียส และเมื่อปรับอัตราการไหลต่ำสุด 3 ลิตรต่อนาที ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำมีค่าประมาณ 15 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองการหาค่าสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนและติดตั้งระบบควบคุม

การจูนค่าพีไอดีควรจูนขั้นแรกให้ตั้งค่า K_i และ K_d เป็นศูนย์ เพิ่มค่า K_p จนกระทั่งสัญญาณขาออกเกิดการแกว่ง ในตารางนี้เรากำหนดอุณหภูมิขาออกเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส เราพบว่าค่า K_p ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 250 จากนั้นเพิ่ม K_i จนกระทั่งค่าเข้าใกล้กับค่าที่เรากำหนดไว้ แต่ถ้า K_i มากไปจะทำให้ระบบไม่เสถียร และเราพบว่าค่า K_i ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 100

Kp	Ki	Kd	Steady State Error (%)
250	0	0	7.7
250	50	0	1.24
250	80	0	1.08
250	100	0	0.74
250	120	0	0.81
250	150	0	0.79
250	200	0	0.93

ตารางที่ 4.2 การจูนค่า Ki ที่เหมาะสม

สุดท้ายเพิ่มค่า K_d จนกระทั่งระบบอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แต่ถ้าค่า K_d มากเกินไปจะเป็นเหตุให้การตอบสนองและโอเวอร์ชูตเกินที่จะยอมรับได้เราพบว่าค่า K_d ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 150 และมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.34 เปอร์เซ็นต์

Kp	Ki	Kd	Steady State Error (%)
250	100	0	0.74
250	100	10	0.92
250	100	100	0.68
250	100	150	0.34
250	100	200	0.36

ตารางที่ 4.3 การจูนค่า Kd ที่เหมาะสม

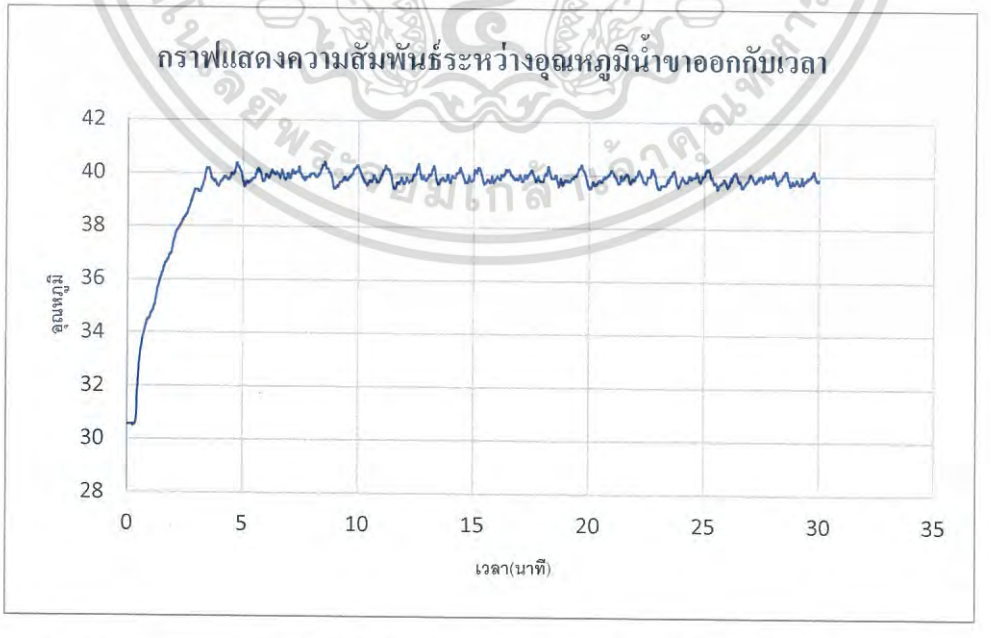
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราได้ออกแบบชุดควบคุมอัตราการไหลของน้ำโดยใช้ชุดควบคุมแบบพีไอดี โดยสามารถกำหนดอุณภูมิขาออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ตามที่เราต้องการ ในกรณีนี้ได้ยกตัวอย่างมา 4 กรณี ดังนี้

1) กำหนดอุณภูมิขาออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็น 38 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำขาออกกับเวลาที่ 38 องศาเซลเซียส

2) กำหนดอุณภูมิขาออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็น 40 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำขาออกกับเวลาที่ 40 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) กำหนดอุณภูมิขาออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็น 42 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำขาออกกับเวลาที่ 42 องศาเซลเซียส

4) กำหนดอุณภูมิขาออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็น 45 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำขาออกกับเวลาที่ 45 องศาเซลเซียส

จะเห็นได้ว่าในแต่ละกราฟค่าจะลู่เข้าในตำแหน่งอุณหภูมิที่เรากำหนดไว้ แต่ก็จะมีผลของค่าความคลาดเคลื่อนด้วย ซึ่งเราได้ทำการปรับจูนในส่วนของค่าสัดส่วน, ปริพันธ์ และ อนุพันธ์ (พีไอดี) เพื่อให้ได้ผลที่ดีที่สุด เพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราไหล เมื่ออัตราการไหลของน้ำลดลง การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต้องเพิ่มขึ้นเพราะภาระที่เครื่องปรับอากาศได้รับนั้นคงที่จึงทำให้เครื่องปรับอากาศระบายความร้อนเป็นค่าคงที่และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลอุณหภูมิน้ำขาออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต้องมีค่าลดลง ซึ่งเป็นไปตามกฎอนุรักษ์พลังงาน

การเปรียบเทียบเครื่องทำน้ำอุ่นกับชุดทำน้ำอุ่นโดยให้อุณหภูมิน้ำเท่ากับ 45 °C

เครื่องทำน้ำอุ่น Mazuma รุ่น inspire 3.5 3500 วัตต์

รูปที่ 4.13 เครื่องทำน้ำอุ่น Mazuma รุ่น inspire 3.5 3500 วัตต์ [11]

Net Weight	1.5 kg
Rated Power	3500 W. 220 V. / 50 Hz
Operating Pressure	0.1 Bar - 4 Bar
Temperature Adjustment	Linear control temperature range between 32 - 45 °C
Maximum Flow Rate	7 L / Min
price	2700 Bath

ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลเครื่องทำน้ำอุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้เครื่องอัดไอ	อุณหภูมิน้ำเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	อุณหภูมิน้ำออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	ผลต่างอุณหภูมิน้ำที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
5	5.05	31	41	10
10	5.08	31	45.1	14.1
15	5.01	31.05	45.2	14.15
20	5.02	31	45.02	14.02
25	5.01	30.87	45	14.13
30	5	30.87	44.89	14.02

ตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูล เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำออก 45 องศาเซลเซียส

รายการ	เครื่องทำน้ำอุ่น	เครื่องทำน้ำอุ่นจากเครื่องปรับอากาศ
Rated Power	3500 W. 220 V. / 50 Hz	1105 W. 220 V. / 50 Hz
Temperature (°C)	45	45
Flow Rate	7 L / Min	3.4 L / Min

ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องทำน้ำอุ่นกับเครื่องทำน้ำอุ่นจากเครื่องปรับอากาศ

เมื่อพิจารณาจากตารางข้างต้น เมื่อต้องการน้ำอุ่นที่ปริมาตรหนึ่งเครื่องทำน้ำอุ่นสามารถผลิตน้ำอุ่นได้ไวกว่าเครื่องทำน้ำอุ่นจากเครื่องปรับอากาศ แต่เครื่องทำน้ำอุ่นจากเครื่องปรับอากาศนั้นใช้พลังงานน้อยกว่าเมื่อเทียบที่ปริมาตรของน้ำอุ่นอยู่ร้อยละ 34.92 ถ้าคิดที่อัตราการไหลเดียวกันคือ 7 ลิตรต่อนาที เครื่องทำน้ำอุ่นจากเครื่องปรับอากาศจะมีการใช้พลังงานต่ำกว่าเครื่องทำน้ำอุ่นอยู่ 1225 วัตต์

ปกติหนึ่งครัวเรือนใช้น้ำอุ่นเฉลี่ยประมาณ 100 ลิตรต่อวัน

เมื่อคิดจากเครื่องทำน้ำอุ่นจาก (ตาราง ที่4.4) จะต้องเปิดน้ำเป็นเวลา 14.28 นาที จะใช้พลังงานไฟฟ้า 0.833 ยูนิต และเมื่อคิดค่าไฟต่อหนึ่งหน่วยยูนิต ยูนิตละ 3.9 บาท (ปี พ.ศ. 2561) จะเป็นเงิน 3.24 บาทต่อวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคิดจากชุดทำน้ำอุ่นโดยใช้เครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนจาก (ตาราง ที่4.6) จะต้องเปิดเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา 29.4 นาที จะใช้พลังงานไฟฟ้า 0.54 ยูนิต และเมื่อคิดค่าไฟต่อหนึ่งหน่วยยูนิตยูนิตละ 3.9 บาท (ปี พ.ศ. 2561) จะเป็นเงิน 2.11 บาทต่อวัน

จากข้อความข้างต้นที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนจะประหยัดได้วันละ 1.13 บาทต่อวัน

รายการ	ราคา (บาท)
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	4500
อุปกรณ์ควบคุมและสายไฟ	3520
ท่อ PVC	500
รวม	8520

ตารางที่ 4.7 รายการค่าใช้จ่ายของชุดทำน้ำอุ่นโดยใช้เครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน

ส่วนต่างของต้นทุนของเครื่องทำน้ำอุ่นกับชุดทำน้ำอุ่นโดยใช้เครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเป็นราคา 5820 บาท ดังนั้นเราต้องใช้ชุดทำน้ำอุ่นโดยใช้เครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเป็นเวลา 5151 วัน จึงจะคุ้มทุน

ดังนั้นระบบนี้จึงไม่เหมาะสมแก่การใช้ในครัวเรือนเพราะมีการคืนต้นทุนช้ามาก แต่เหมาะสมแก่การใช้ในโรงแรมเพราะจะประหยัดต้นทุนในการทำน้ำอุ่นในแต่ละวัน ถ้าโรงแรมหนึ่งใช้น้ำอุ่นวันละ 1,000 ลิตร ก็จะประหยัดค่าไฟไปได้ 11.3 บาท ทำให้ใช้เวลาแค่ 515 วันในการคืนทุน ก็จะใช้เวลาในการคืนทุนไวกว่าการนำระบบนี้มาติดตั้งแบบครัวเรือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองติดตั้งระบบควบคุมแบบพีไอดี เราพบว่า การจูนค่า Kp, Ki และ Kd นั้นมีค่า 250, 100 และ 150 ตามลำดับ สามารถควบคุมอุณหภูมิน้ำขาออกสูงสุดได้ 45 องศาเซลเซียส และเราได้ทดสอบเป็น 4 กรณี ได้แก่ 38, 40, 42 และ 45 องศาเซลเซียส เราพบว่า ผลการคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิที่น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.34 % และผลการคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.82 %

เมื่อเปรียบเทียบชุดทำน้ำอุ่นโดยใช้เครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนกับเครื่องทำน้ำอุ่น พบว่าเครื่องทำน้ำอุ่นเมื่อทำงานเต็มที่สามารถผลิตน้ำอุ่นได้อุณหภูมิสูงสุดที่ 45 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการไหล 7 ลิตรต่อนาที และใช้พลังงานไฟฟ้า 3500 วัตต์ ในขณะที่ชุดทำน้ำอุ่นโดยใช้เครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนสามรถผลิตน้ำอุ่นที่อุณหภูมิเดียวกันกับเครื่องทำน้ำอุ่น โดยมีอัตราการไหล 3.4 ลิตรต่อนาที และใช้พลังงานไฟฟ้า 1105 วัตต์ ซึ่งมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า โดยถ้าเราต้องการน้ำอุ่นที่ปริมาณเท่ากันเครื่องทำน้ำอุ่นสามารถผลิตน้ำอุ่นได้ไวกว่าชุดทำน้ำอุ่นโดยใช้เครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน แต่เครื่องทำน้ำอุ่นจากเครื่อง ปรับอากาศนั้นใช้พลังงานน้อยกว่าเมื่อเทียบที่ปริมาตรของน้ำอุ่นอยู่ร้อยละ 34.92 ถ้าคิดที่อัตราการไหลเดียว กัน คือ 7 ลิตรต่อนาที เครื่องทำน้ำอุ่นจากเครื่องปรับอากาศจะมีการใช้พลังงานต่ำกว่าเครื่องทำน้ำอุ่นอยู่ 1225 วัตต์ และจากข้อความข้างต้นที่กล่าวมาเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนจะประหยัดได้วันละ 1.13 บาทต่อวัน ส่วนต่างของต้นทุนของเครื่องทำน้ำอุ่นกับชุดทำน้ำอุ่นโดยใช้เครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเป็นราคา 5820 บาท ดังนั้นเราต้องใช้ชุดทำน้ำอุ่นโดยใช้เครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเป็นเวลา 5151 วัน จึงจะคุ้มทุนดังนั้นระบบนี้จึงไม่เหมาะสมแก่การใช้ในครัวเรือนเพราะมีการคืนต้นทุนช้ามาก แต่เหมาะสมแก่การใช้ในโรงแรมเพราะจะประหยัดต้นทุนในการทำน้ำอุ่นในแต่ละวัน และใช้เวลาในการคืนทุนไวกว่าการนำระบบนี้มาติดตั้งแบบครัวเรือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาจากการศึกษา

เนื่องจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้ทำการสั่งซื้อมานั้นมีปริมาตรภายในท่อไม่ท่อกับปริมาตรภายในของชุดคอนเดนซิ่งเดิม ทำให้พบปัญหาของสารทำความเย็นพร่องในระบบ

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในการทดสอบหาค่าสมรรถนะของการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศนั้น เพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำมากขึ้นควรจะมีการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าอุณหภูมิของสารทำความเย็นเป็นแบบอุปกรณ์ที่สามารถวัดอุณหภูมิได้โดยตรงจากภายในท่อ และเพื่อให้ไม่เกิดการพร่องของสารทำความเย็น เราควรจะเปลี่ยนท่อให้มีปริมาตรภายในท่อให้เท่ากันหรือมีปริมาตรของท่อภายในของคอนเดนซิงเดิม และควรติดครีบที่ท่อเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการและเปลี่ยนความร้อน และควรจะติดกระจกอุตสาหกรรมลงไปในท่อด้วยเพื่อใช้ดูในการไหลของสารทำความเย็นในสถานะต่างๆ แต่ด้วยงบประมานที่มีจำกัดทำให้ไม่สามารถติดตั้งอุปกรณ์บางชิ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Y.H.Yau,H.L.Pean. (2013). The performance study of a split type air conditioning system in the tropics, as affected by weather, Energy and buildings, vol. 72(1-7), December 2013.

[2] Jie Jia,W.L.Lee. (2014). Applying storage-enhanced heat recovery room air-conditioner(SEHRAC) for domestic water heating in residential buildings in Hong Kong, Energy and buildings, vol. 78(132-142), March 2014.

[3] Giacomo Bonafoni, Roberto Capata (2015). Proposed Design Procedure of a Helical Coil Heat Exchanger for an Orc Energy Recovery System for Vehicular Application เข้าถึงได้จาก https://mmse.xyz/wp-content/uploads/Pdf_papers/ID20154954387IT.pdf

[4] Yi Xiaowen, W.L.Lee. The use of helical heat exchanger for heat recovery domestic water-cooled air-conditioners , Energy Conversion and Management , Volume 50, Issue 2, February 2009, Pages 240-246

[5] Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). Thermodynamics (in SI units): An engineering approach. Singapore, Singapore: McGraw-Hill Education (Asia).

[6] Yungus A. Cengel, Afshin Jahanshahi Ghajar (2010).Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications. Fifth Edition in SI Units: McGraw-Hill Education

[7] จตุพร สถากุลเจริญ. (2560). ระบบปรับอากาศ. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : www.rsu.ac.th/engineer/energy/e_learning/1.5.1_ภาพรวมระบบปรับอากาศ.pdf

[8] Wikipedia, the free encyclopedia. PID Controller. เข้าถึงได้จาก :

https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller

[9] ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ. เข้าถึงได้จาก : http://thummawat.blogspot.com/2016/

[10] ถวิกา ผาติดำรงกุล, จตุวัฒน์ วโรดมพันธ์. (2555). ประสิทธิภาพการใช้งานจริงของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ. วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง, ปีที่ 9 ฉบับที่ 1(101-112). 2555.

[11] http://mazuma.co.th/shop/water-heater/single-point-water-heater/inspire-3-5/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

โค้ดของโปรแกรมวัดอุณหภูมิน้ำและอัตราการไหลของน้ำ

```
//LCD

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 16, 2);


//Temp

#include <OneWire.h>

#include <DallasTemperature.h>


#define ONE_WIRE_BUS_1 3

#define ONE_WIRE_BUS_2 4

#define ONE_WIRE_BUS_3 5


OneWire oneWire_water_inlet(ONE_WIRE_BUS_1);

OneWire oneWire_water_outlet(ONE_WIRE_BUS_2);

OneWire oneWire_out(ONE_WIRE_BUS_3);


DallasTemperature sensor_water_inlet(&oneWire_water_inlet);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DallasTemperature sensor_water_outlet(&oneWire_water_outlet);

DallasTemperature sensor_out(&oneWire_out);

float Tin,Tout,T;


//Flow Meter

volatile int NbTopsFan;

float Calc;

int hallsensor = 2;


void rpm ()

{

NbTopsFan++;

}


//Variable Flow

int Target=27;


//Motorize Valve
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define valve_open 6

#define valve_close 7


void setup()

{

        Serial.begin(9600);


        //LCD

        lcd.begin();

  lcd.backlight();


  lcd.setCursor(0,0);

  lcd.print("Tin=");


  lcd.setCursor(0,1);

  lcd.print("Tout=");


  //Temp

  sensor_water_inlet.begin();

  sensor_water_outlet.begin();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  sensor_out.begin();


  //Flow Meter
  pinMode(hallsensor, INPUT);
  Serial.begin(9600);
  attachInterrupt(0, rpm, RISING);



  //Motorize Valve
  pinMode(valve_open,OUTPUT);
  pinMode(valve_close,OUTPUT);


}


void loop()
{
        //Temp
  sensor_water_inlet.requestTemperatures();
  sensor_water_outlet.requestTemperatures();
  sensor_out.requestTemperatures();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Tin   = sensor_water_inlet.getTempCByIndex(0);

Tout  = sensor_water_outlet.getTempCByIndex(0);

T     = sensor_out.getTempCByIndex(0);


//Flow Meter

NbTopsFan = 0;


//sei();

delay (1000);

//cli();

Calc = (NbTopsFan  / 7.5);


Serial.print("Tin=");

Serial.println(Tin);

Serial.print("Tout=");

Serial.println(Tout);

Serial.print("flow=");

Serial.println(Calc);

Serial.println("");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//LCD

lcd.setCursor(4,0);


lcd.print(Tin);

lcd.setCursor(11,0);

lcd.print(Calc, DEC);


lcd.setCursor(5,1);

lcd.print(Tout);


lcd.setCursor(11,1);

lcd.print(T);


//Variable Flow


if(Tout <= Target)

{


   close_motor();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}

else if(Tout >= Target)
{

  open_motor();

}

else
{

  digitalWrite(valve_open,LOW);
  digitalWrite(valve_close,LOW);

}

}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void open_motor()
{
  digitalWrite(valve_open,HIGH);
    digitalWrite(valve_close,LOW);
    delay(2000);
    digitalWrite(valve_open,LOW);
    digitalWrite(valve_close,LOW);
}
void close_motor()
{
  digitalWrite(valve_open,LOW);
    digitalWrite(valve_close,HIGH);
    delay(2000);
    digitalWrite(valve_open,LOW);
    digitalWrite(valve_close,LOW);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

โค้ดโปรแกรม datalogger

```
// Ds

#include <OneWire.h>

#include <DallasTemperature.h>

//DHT22

#include <DHT.h>;

//RTC

#include <Wire.h>

#include "RTClib.h"

//SD

#include <SPI.h>

#include <SD.h>


RTC_DS1307 RTC;

const int chipSelect = 10;

File logfile;


#define ONE_WIRE_BUS 4

#define ONE_WIRE_BUS2 5
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define DHTPIN1 2     // pin1

#define DHTPIN2 3     // pin2

#define DHTTYPE DHT22   // DHT 22  (AM2302)

DHT dht1(DHTPIN1, DHTTYPE);

DHT dht2(DHTPIN2, DHTTYPE);


// Setup a oneWire instance to communicate with any OneWire devices

OneWire oneWire2(ONE_WIRE_BUS2);


// Pass our oneWire reference to Dallas Temperature.

DallasTemperature sensors2(&oneWire2);


//Assign

DeviceAddress tempA1 = { 0x28, 0x1B, 0xD6, 0x4A, 0x08, 0x00, 0x00, 0xA1 };

DeviceAddress tempA2 = { 0x28, 0xE3, 0x1F, 0xC7, 0x08, 0x00, 0x00, 0xE7 };

DeviceAddress tempA3 = { 0x28, 0xC6, 0x45, 0x4A, 0x08, 0x00, 0x00, 0xD6 };

DeviceAddress tempA4 = { 0x28, 0x35, 0xAD, 0x4A, 0x08, 0x00, 0x00, 0x19 };

DeviceAddress tempA5 = { 0x28, 0x66, 0xA0, 0x77, 0x08, 0x00, 0x00, 0x57 };

DeviceAddress tempA6 = { 0x28, 0x93, 0x07, 0xC6, 0x08, 0x00, 0x00, 0xB2 };

float TempA1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
float TempA2;

float TempA3;

float TempA4;

float TempA5;

float TempA6;

float TempAc1;

float TempAc2;

float Humid1;

float Humid2;

unsigned long ima;



float printTemperature2(DeviceAddress deviceAddress)

{

  sensors2.requestTemperatures();

  float tempC2 = sensors2.getTempC(deviceAddress);

  return (tempC2);



}

void setup() {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
// put your setup code here, to run once:

Serial.begin(115200); // the bigger number the better

Serial.println("Welcome");

Wire.begin();

SD.begin(chipSelect);

// Start up the library

sensors2.begin();

// set the resolution to 10 bit (good enough?)

sensors2.setResolution(tempA1, 12);

sensors2.setResolution(tempA2, 12);

sensors2.setResolution(tempA3, 12);

sensors2.setResolution(tempA4, 12);

sensors2.setResolution(tempA5, 12);

sensors2.setResolution(tempA6, 12);


delay (2000);


DateTime now = RTC.now();

ima = now.unixtime();

pinMode(6, OUTPUT);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  digitalWrite(6, HIGH);
  pinMode(7, OUTPUT);
  digitalWrite(7, HIGH);
  pinMode(8, OUTPUT);
  digitalWrite(7, LOW);

}

void loop() {
  digitalWrite(6, HIGH);
  digitalWrite(7, HIGH);
  digitalWrite(8, LOW);

  Serial.println("DATA INPUT");
  /*  START DATA INPUT */
  Serial.println("Read Sensor1");

  TempA1 = printTemperature2(tempA1);
  TempA2 = printTemperature2(tempA2);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
TempA3 = printTemperature2(tempA3);

TempA4 = printTemperature2(tempA4);

TempA5 = printTemperature2(tempA5);

TempA6 = printTemperature2(tempA6);

Serial.println("Read DHT22");

TempAc1 = dht1.readTemperature();

TempAc2 = dht2.readTemperature();

Humid1 = dht1.readHumidity();

Humid2 = dht1.readHumidity();

/* END DATA INPUT */

Serial.println("DATA OUTPUT");

/* START OUTPUT */

DateTime now = RTC.now();

char str[10];

char nownaja [10];

sprintf(nownaja, "%d", now.unixtime() - ima);

sprintf(str, "%d%d%d.txt", now.hour(), now.minute(), now.second());

logfile = SD.open(str, FILE_WRITE);

Serial.println(str);

if (logfile) {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
logfile.print(now.hour(), DEC);

logfile.print(":");

logfile.print(now.minute(), DEC);

logfile.print(":");

logfile.print(now.second(), DEC);

logfile.print(",");

logfile.print(nownaja);

logfile.print(",");

logfile.print(TempA1);

logfile.print(",");

logfile.print(TempA2);

logfile.print(",");

logfile.print(TempA3);

logfile.print(",");

logfile.print(TempA4);

logfile.print(",");

logfile.print(TempA5);

logfile.print(",");

logfile.print(TempA6);

logfile.print(",");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    logfile.print(TempAc1);
    logfile.print(",");
    logfile.print(TempAc2);
    logfile.print(",");
    logfile.print(Humid1);
    logfile.print(",");
    logfile.print(Humid2);
    logfile.println();
    logfile.close();
    Serial.println("END");
    delay(1000);
  }

  else {
    Serial.println("ERROR");
    setup();
  }

}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

โค้ดโปรแกรมควบคุม

```
#define water_level_low 2

#define water_level_high 3

#define current_sensor 4

#define valve_HE  5

#define valve_cond 6

#define valve_water 7


int WLlow,WLhigh,CS;


void setup() {


  Serial.begin(9600);

  pinMode(water_level_low,INPUT);

  pinMode(water_level_high,INPUT);

  pinMode(current_sensor,INPUT);

  pinMode(valve_HE,OUTPUT);

  pinMode(valve_cond,OUTPUT);

  pinMode(valve_water,OUTPUT);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}

void loop() {

  WLlow  = digitalRead(water_level_low);
  WLhigh = digitalRead(water_level_high);
  CS     = digitalRead(current_sensor);

  if(CS > 0)
  {

   if(WLlow == LOW && WLhigh == LOW)          // น้ำอยู่ในระดับไม่เกิน 10%
   {

      digitalWrite(valve_HE,HIGH);           // ตำแหน่ง Relay ของ valve_HE    ---> NO
      digitalWrite(valve_cond,HIGH);         // ตำแหน่ง Relay ของ valve_cond  ---> NC
      digitalWrite(valve_water,HIGH);        // ตำแหน่ง Relay ของ valve_water ---> NO
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    }


    else if(WLlow == HIGH && WLhigh == LOW)      // น้ำอยู่ในระดับ 10-90%
    {


        digitalWrite(valve_HE,HIGH);
        digitalWrite(valve_cond,HIGH);
        digitalWrite(valve_water,HIGH);


    }
    else if(WLlow == HIGH && WLhigh == HIGH);    // น้ำเต็มถัง
    {


        digitalWrite(valve_HE,LOW);
        digitalWrite(valve_cond,LOW);
        digitalWrite(valve_water,LOW);


    }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  else
  {

    digitalWrite(valve_HE,LOW);
    digitalWrite(valve_cond,LOW);
    digitalWrite(valve_water,LOW);
  }
}
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ ง.1 ผลการทดลองหาสมรรถนะทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเวลากลางวัน

เวลา(นาที)	ทางออกเครื่องระเหย		ทางเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		ทางออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		ทางเข้าเครื่องระเหย		สมรรถนะการทำความเย็น
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	
	เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		
10	22.21	9.5	71.88	29	32	28	16.56	11.5	7.31
	441.2		467.2		251.1		251.1		
20	18.12	10	73.71	30	43.1	29	16	11.5	5.63
	435.68		464.74		272.03		272.03		
30	15.2	10	73.1	30	43.25	29	15.69	11.5	5.10
	432.5		463.93		272.33		272.33		
40	14.56	10	84.2	30	42.88	29	15.31	11.5	3.57
	431.8		476.7		271.6		271.6		
50	14.6	10	85.2	30	42.1	29	16.3	11.5	3.52
	431.89		478		269.76		269.76		
60	14.33	10	85.28	30	42.5	29	16.21	11.5	3.46
	431.54		478.1		270.54		270.54		
70	14.68	10	85.33	30	42.19	29	16.56	11.5	3.50
	431.93		478.16		269.93		269.93		
80	14.87	10	85.44	30	42.42	29	16.23	11.5	3.50
	432.14		478.3		270.38		270.38		
90	14.68	10	85.53	30	42.39	29	16.2	11	3.48
	431.93		478.41		270.32		270.32		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 ผลการทดลองหาสมรรถนะทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเวลากลางคืน

เวลา(นาที)	ทางออกเครื่องระเหย		ทางเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		ทางออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		ทางเข้าเครื่องระเหย		สมรรถนะการทำความเย็น
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	
	เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		
10	22.21	9.5	72.88	28	41.67	27	16.56	10.5	7.67
	441.2		463.63		269.06		269.06		
20	18.12	9	73.71	29	41.76	28	16	10.5	6.33
	438.08		464.74		269.23		269.23		
30	15.2	9	76.89	29	41.89	28	15.69	10.5	4.89
	435.04		468.9		269.48		269.48		
40	13.1	9	79.82	29	42.88	28	15.31	10.5	4.05
	432.81		472.66		271.43		271.43		
50	12.33	9	79.65	29	42.1	28	15.13	105	4.00
	431.98		472.45		269.9		269.9		
60	12.01	9	79.33	29	42.5	28	15.42	10.5	3.98
	431.64		472.04		270.68		270.68		
70	12.31	9	79.28	29	42.19	28	15.42	10.5	4.05
	431.966		471.98		270.07		270.07		
80	11.9	9	79.56	29	42.42	28	15.13	10.5	3.95
	431.52		472.33		270.52		270.52		
90	12.1	9	79.4	29	42.39	28	15.1	10.5	3.95
	431.74		472.58		270.46		270.46		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.3 ผลการทดลองหาสมรรถนะทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเมื่อติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่อัตราการไหล 8 LPM

เวลา(นาที)	ทางออกเครื่องระเหย		ทางเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		ทางออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		ทางเข้าเครื่องระเหย		สมรรถนะการทำความเย็น
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	
	เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		
5	20.21	10.5	68.5	30	40.01	28	17.88	11.5	10.32
	439		455.78		265.86		265.86		
10	19.81	10.5	77.94	30	40	28	18.19	11.5	6.03
	439.8		468.67		265.84		265.84		
15	19.44	10.5	78.13	30	40.06	28	18.69	11.5	5.56
	438		468.92		265.95		265.95		
20	19.06	10.5	78	30	40.25	28	18.81	11.5	5.47
	437.46		468.75		266.32		266.32		
25	18.94	10.5	77.81	30	40.31	28	18.75	11.5	5.47
	437.26		468.5		266.43		271.33		
30	19.06	10.5	77.81	30	40.31	28	18.88	11.5	5.44
	437.13		468.5		266.43		266.43		

กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้เครื่องอัดไอ	อุณหภูมิน้ำเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	อุณหภูมิน้ำออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	ค่าความร้อนที่น้ำได้รับ (KW)	ผลต่างอุณหภูมิน้ำที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
4.9	31.25	36.7	3.05	5.45
4.7	31.4	37.25	3.28	5.85
4.7	31.43	37.2	3.23	5.77
4.7	31.25	37.25	3.36	6
4.7	31.33	37.2	3.29	5.87
4.7	31.38	37.19	3.25	5.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.4 ผลการทดลองหาสมรรถนะทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเมื่อติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่อัตราการไหล 7 LPM

เวลา(นาที)	ทางออกเครื่องระเหย		ทางเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		ทางออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		ทางเข้าเครื่องระเหย		สมรรถนะการทำความเย็น
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	
	เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		
5	23.1	10	69.53	30	36.06	28	21.06	11.5	8.99
	441		460		258.51		270.1		
10	21.94	10	72.25	30	39.94	28	16.81	11.5	7.89
	439.8		461.03		265.72		272.33		
15	20.25	10	76.81	30	39.69	28	17.05	11.5	5.68
	438		467.18		265.25		272.33		
20	19.75	10	77.75	30	39.53	28	17	11.5	5.38
	436.46		468.42		264.95		264.66		
25	19.56	10	78.13	30	39.38	28	17.25	11.5	5.27
	436.26		468.8		264.66		264.66		
30	19.44	10	78.06	30	39.31	28	17.13	11.5	5.29
	436.13		468.56		264.53		264.53		

กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้เครื่องอัดไอ	อุณหภูมิน้ำเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	อุณหภูมิน้ำออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	ค่าความร้อนที่น้ำได้รับ (KW)	ผลต่างอุณหภูมิน้ำที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
4.87	32	38.31	3.09	6.31
4.76	31.67	37.94	3.07	6.27
4.76	31.6	38	3.14	6.4
4.77	31.34	37.89	3.21	6.55
4.76	31.4	37.81	3.14	6.41
4.77	31.4	37.88	3.18	6.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.5 ผลการทดลองหาสมรรถนะทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเมื่อติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่อัตราการไหล 6 LPM

เวลา(นาที)	ทางออกเครื่องระเหย		ทางเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		ทางออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		ทางเข้าเครื่องระเหย		สมรรถนะการทำความเย็น
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	
	เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		
5	20.5	10	72.4	30	39.31	28	16.44	11.5	7.58
	438.27		461.2		264.53		264.53		
10	19.13	10	76.53	30	39.56	28	16.81	11.5	5.72
	436.8		466.81		265.08		265.08		
15	18.63	10	78.06	30	39.63	28	16.81	11.5	5.26
	436.26		468.81		265.14		265.14		
20	18.63	10	78.31	30	39.63	28	16.75	11.5	5.20
	436.26		469.16		265.14		265.14		
25	18.38	10	77.75	30	39.63	28	16.81	11.5	5.22
	435.99		468.69		265.14		265.14		
30	18.44	10	77.81	30	39.63	28	16.69	11.5	5.23
	436.05		468.75		265.14		265.14		

กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้เครื่องอัดไอ	อุณหภูมิน้ำเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	อุณหภูมิน้ำออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	ค่าความร้อนที่น้ำได้รับ (KW)	ผลต่างอุณหภูมิน้ำที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
4.78	31.2	38.75	3.171	7.55
4.8	31.1	38.65	3.17	7.55
4.81	31.06	38.63	3.18	7.57
4.8	31.12	38.74	3.20	7.62
4.83	31.2	38.8	3.19	7.6
4.8	31.2	38.94	3.25	7.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.6 ผลการทดลองหาสมรรถนะทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเมื่อติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่อัตราการไหล 5 LPM

เวลา(นาที)	ทางออกเครื่องระเหย		ทางเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		ทางออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		ทางเข้าเครื่องระเหย		สมรรถนะการทำความเย็น
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	
	เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		
5	20.81	10	73.75	30	39.31	29	16.31	11.5	7.28
	438.61		462.53		264.42		264.42		
10	1906	10	76.69	30	39.63	29	16.56	11.5	5.67
	436.72		467.02		265.02		265.02		
15	18.81	10	78	30	39.63	29	16.56	11.5	5.31
	436.45		468.75		265.02		265.02		
20	18	10	78.31	30	40.06	29	16.5	11.5	5.05
	435.57		469.16		265.83		265.83		
25	17.94	10	78.63	30	40.06	29	16.56	11.5	4.98
	435.51		469.57		265.83		265.83		
30	17.75	10	78.63	30	40.11	29	16.44	11.5	4.94
	435.3		469.57		265.93		265.93		

กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้เครื่องอัดไอ	อุณหภูมิน้ำเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	อุณหภูมิน้ำออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	ค่าความร้อนที่น้ำได้รับ (KW)	ผลต่างอุณหภูมิน้ำที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
4.89	31.2	39.44	2.88	8.24
4.88	31.12	39.53	2.94	8.41
4.89	31.12	39.63	2.98	8.51
4.9	31.12	39.66	2.99	8.54
4.9	31	39.75	3.06	8.75
4.88	31.12	39.66	2.99	8.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.7 ผลการทดลองหาสมรรถนะทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเมื่อติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่อัตราการไหล 4 LPM

เวลา(นาที)	ทางออกเครื่องระเหย		ทางเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		ทางออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		ทางเข้าเครื่องระเหย		สมรรถนะการทำความเย็น
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	
	เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		
5	20.31	10	75.44	31.5	40.59	30	16	11.5	7.19
	438.06		461.9		266.72		266.72		
10	19.13	10	79.06	31.5	40.69	30	16.13	11.5	5.34
	436.76		468.54		266.91		266.91		
15	19.06	10.5	79.94	31.5	40.75	30	16.06	11.5	4.93
	435.5		469.7		267.02		267.02		
20	19	10.5	79.88	31.5	40.75	30	16.01	11.5	4.93
	435.44		469.63		267.02		267.02		
25	19	10.5	80.13	31.5	40.81	30	16.88	11.5	4.88
	435.44		469.96		267.14		267.14		
30	18.8	10.5	80.05	31.5	40.75	30	16.69	11.5	4.87
	435.3		469.84		267.02		267.02		

กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้เครื่องอัดไอ	อุณหภูมิน้ำเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	อุณหภูมิน้ำออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	ค่าความร้อนที่น้ำได้รับ (KW)	ผลต่างอุณหภูมิน้ำที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
4.9	31	41.44	2.92	10.44
4.95	31.06	41.69	2.98	10.63
4.9	31.1	41.88	3.02	10.78
4.95	31.12	41.88	3.01	10.76
4.92	31.08	41.75	2.99	10.67
4.9	31.06	41.81	3.01	10.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.8 ผลการทดลองหาสมรรถนะทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเมื่อติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่อัตราการไหล 3 LPM

เวลา(นาที)	ทางออกเครื่องระเหย		ทางเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		ทางออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		ทางเข้าเครื่องระเหย		สมรรถนะการทำความเย็น
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	
	เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		
5	21.06	10.5	75.6	32	41.62	30	16.69	12	6.66
	437.69		461.99		268.69		275.84		
10	20.38	10.5	81.25	32	42.06	30	17.13	12	5.09
	436.95		469.87		269.54		269.54		
15	20.38	10.5	82.06	32	42.06	30	17.69	12	4.92
	436.95		470.95		269.54		269.54		
20	20.5	10.5	82.38	32	42.06	30	17.5	12	4.88
	437.08		471.38		269.54		269.54		
25	20.5	10.5	83.19	32	42.06	30	17.44	12	4.74
	437.08		472.45		269.54		269.54		
30	20.69	10.5	82.94	32	42.06	30	17.31	12	4.82
	437.29		472.12		269.54		269.54		

กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้เครื่องอัดไอ	อุณหภูมิน้ำเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	อุณหภูมิน้ำออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	ค่าความร้อนที่น้ำได้รับ (KW)	ผลต่างอุณหภูมิน้ำที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
5.05	31	46.4	3.23	15.4
5.08	31	46.45	3.24	15.45
5.1	31.05	46.5	3.24	15.45
5.14	31	46.5	3.26	15.5
5.12	30.87	46	3.18	15.13
5.1	30.87	46.6	3.30	15.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.9 ผลการทดลองหาสมรรถนะทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเมื่อติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อติดตั้งระบบควบคุมและกำหนดอุณหภูมิน้ำขาออกเป็น 38 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	ทางออกเครื่องระเหย		ทางเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		ทางออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		ทางเข้าเครื่องระเหย		สมรรถนะการทำความเย็น
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	
	เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		
5	22.4	9.5	73.75	30	39.94	27.5	17.25	11	8.10
	441.4		463.08		265.7		265.7		
10	20.69	9.5	78.31	30	40.31	27.5	17.44	11	5.91
	439.6		468.88		266.49		266.49		
15	20.19	9.5	79.5	30	40.31	27.5	18.06	11	5.46
	439.1		470.7		266.49		266.49		
20	20.44	9.5	80.13	30	40.31	27.5	17.75	11	5.37
	439.36		471.53		266.49		266.49		
25	19.94	9.5	80.06	30	40.38	27.5	17.63	11	5.21
	438.43		471.44		266.6		266.6		
30	19.44	9.5	79.94	30	40.38	27.5	17.75	11	5.21
	438.31		471.28		266.6		266.6		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.10 ผลการทดลองหาสมรรถนะทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเมื่อติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อติดตั้งระบบควบคุมและกำหนดอุณหภูมิน้ำขาออกเป็น 40 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	ทางออกเครื่องระเหย		ทางเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		ทางออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		ทางเข้าเครื่องระเหย		สมรรถนะการทำความเย็น
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	
	เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		
5	22.19	9.5	72.1	30	39	27.5	17.13	11	8.80
	440.9		461		264		264		
10	20.06	9.5	74.31	30	39.88	27.5	17.56	11	7.22
	438.96		462.97		265.67		265.67		
15	20	9.5	78.69	30	40	27.5	17.56	11	5.77
	438.9		468.861		265.9		265.9		
20	19.5	9.5	79.56	30	40.19	27.5	17.69	11	5.42
	438.3		470.04		266.26		266.26		
25	19.13	9.5	80.31	30	40.44	27.5	17.69	11	5.19
	437.98		470.98		266.74		266.74		
30	19.25	9.5	80.19	30	40.81	27.5	18	11	5.22
	438.11		470.83		267.45		267.45		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.11 ผลการทดลองหาสมรรถนะทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเมื่อติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อติดตั้งระบบควบคุมและกำหนดอุณหภูมิน้ำขาออกเป็น 42 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	ทางออกเครื่องระเหย		ทางเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		ทางออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		ทางเข้าเครื่องระเหย		สมรรถนะการทำความเย็น
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	
	เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		
5	21	9.5	75.56	30	41.1	27.5	18.19	11	6.96
	439.95		464.67		268.01		268.01		
10	18.75	9.5	79.13	30	41.56	27.5	18.44	11	5.29
	437.58		469.44		268.91		268.91		
15	19.06	9.5	80.38	30	41.75	27.5	18.81	11	5.09
	437.91		471.07		269.29		269.29		
20	19.12	9.5	80.5	30	41.88	27.5	18.75	11	5.07
	438		471.23		269.53		269.53		
25	19.63	9.5	81.19	30	41.88	27.5	18.69	11	5.03
	438.51		472.13		269.53		269.53		
30	19.88	9.5	81.38	30	41.81	27.5	18.38	11	5.04
	438.77		472.38		269.4		269.4		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.12 ผลการทดลองหาสมรรถนะทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเมื่อติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อติดตั้งระบบควบคุมและกำหนดอุณหภูมิน้ำขาออกเป็น 45 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	ทางออกเครื่องระเหย		ทางเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		ทางออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน		ทางเข้าเครื่องระเหย		สมรรถนะการทำความเย็น
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	
	เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		เอนทาลปี(กิโลจูล/กิโลกรัม)		
5	21.06	10.5	75.6	32	41.62	30	16.69	12	6.66
	437.69		461.99		268.69		275.84		
10	20.38	10.5	81.25	32	42.06	30	17.13	12	5.09
	436.95		469.87		269.54		269.54		
15	20.38	10.5	82.06	32	42.06	30	17.69	12	4.92
	436.95		470.95		269.54		269.54		
20	20.5	10.5	82.38	32	42.06	30	17.5	12	4.85
	437.08		471.6		269.54		269.54		
25	20.5	10.5	82.52	32	42.06	30	17.44	12	4.84
	437.08		471.7		269.54		269.54		
30	20.69	10.5	82.94	32	41.89	30	17.31	12	4.86
	437.29		472		268.44		268.44		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

การคำนวณหาพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนกรณีเปลี่ยนอุณภูมิน้ำขาออก

การคำนวณหาพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนเมื่อให้อัตราน้ำขาออกเป็น 38 องศาเซลเซียส

ที่อัตราการไหลของน้ำ (0.1166 kg/s) และท่อทางเข้าของน้ำมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ (3.048 cm) เราสามารถหาความเร็วของน้ำได้จาก สมการที่ (2.10)

$$u = \frac{\dot{m}}{\rho A}$$

$$u = \frac{0.1166}{1000(\pi(\frac{3.048\times10^{-2}}{2})^2)}$$

$$u = 0.1598 \text{ m/s}$$

เมื่อเราทราบว่าความเร็วของน้ำมีค่าเท่ากับ $u = 0.1598$ m/s เราสามารถหาค่า equivalent diameter ได้จาก สมการที่ (2.11)

$$D_e = \sqrt{\frac{4\dot{m}}{\pi\rho u}}$$

$$D_e = 0.0304 \text{ m}$$

โดยเราทราบค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของน้ำมีค่าเท่ากับ ($\mu = 420\times10^{-6}$ kg/m.s) จากอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยเข้าและออก และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเท่ากับ (0.0304 m) จากนั้นคำนวณหาตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number , Re) ของน้ำได้จาก สมการที่ (2.12)

$$Re = \frac{\rho V D_e}{\mu}$$

$$Re = \frac{1000(0.1598)(0.0304)}{420\times10^{-6}}$$

$$Re = 11566.47$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเราทราบค่าความจุความร้อนของของไหลมีค่าเท่ากับ $(C_{pw} = 4170\ J/kg.^{\circ}K)$ และทราบค่าการนำความร้อนของของเหลวอิ่มตัวมีค่าเท่ากับ $(k = 0.632\ W/m.^{\circ}K)$ จากนั้นคำนวณหาตัวเลขเพราซ์ (Pr) ของน้ำได้จาก สมการที่ (2.13)

$$Pr = \frac{C_{pw}\mu}{k}$$

$$Pr = \frac{(4170)(420\times10^{-6})}{0.632}$$

$$Pr = 4.32$$

คำนวณหาตัวเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number , Nu) ได้จาก สมการที่ (2.14)

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4}$$

$$Nu = 73.53$$

ดังนั้นเราสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน (Convection Heat Transfer Coefficient , h_o) ได้จาก สมการที่ (2.15)

$$h_o = \frac{Nu.k}{D_e}$$

จะได้ $h_o = 1528.70\ W/m^2.^{\circ}k$

โดยค่าอัตราการไหลของสารทำความเย็นหาได้จาก สมการที่ (2.4) สามารถหาความเร็วของสารทำความเย็นได้จาก สมการที่ (2.10)

$$u = \frac{\dot{m}}{\rho A}$$

$$u = \frac{0.024}{119.13\times(\frac{15.24\times10^{-2}}{2})^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$u = 0.7878 \text{ m/s}$$

โดยเราทราบค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของสารทำความเย็นมีค่าเท่ากับ ($\mu = 168.5\times10^{-7}$ kg/m.s) จากอุณหภูมิของสารทำความเย็น และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเท่ากับ (18.05×10^{-3} m) จากนั้นคำนวณหาตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number , Re_c) ของสารทำความเย็นได้จาก สมการที่ (2.12)

$$Re_c = \frac{\rho VD}{\mu}$$

$$Re_c = \frac{(119.13)(0.7878)(18.05\times10^{-3})}{168.5\times10^{-7}}$$

$$Re_c = 100,470.53$$

จากนั้นคำนวณหาตัวเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number , Nu) ของสารทำความเย็นได้จาก

$$Nu = 0.023Re^{0.85}Pr^{0.3}(\frac{d_c}{D_c})^{0.1}$$

$$Nu = 439.827$$

เมื่อเราทราบค่าตัวเลขนัสเซลท์มีค่าเท่ากับ 439.827 ดังนั้นเราสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนของสารทำความเย็นที่ควบแน่นในท่อ (h_i) ได้จาก สมการที่ (2.15)

$$h_i = \frac{Nu.k}{D}$$

$$h_i = \frac{439.827\times0.0206}{18.05\times10^{-3}}$$

$$h_i = 501.96 \text{ W/m}^2.^\circ\text{k}$$

จากการแทนค่าจะได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในท่อเท่ากับ 501.96 วัตต์ต่อตารางเมตร-เคลวิล หลังจากได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในท่อและภายนอกท่อแล้ว ทำการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Coefficient , U_0) จาก สมการที่ (2.8)

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{internal}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{1528.7} + \frac{1}{501.76}$$

$$U_0 = 377.71 \text{ W/m}^3.^\circ\text{k}$$

หาพื้นที่ที่จำเป็นในการแลกเปลี่ยนภาระการระบายความร้อน โดยใช้ผลต่างอุณหภูมิแบบล็อค (Log Mean Temperature , ΔT_{LMTD}) ได้จาก สมการที่ (2.9)

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left[(T_1 - t_2)/(T_2 - t_1)\right]}$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(82.49 - 38) - (48.9 - 31.0)}{\ln((82.49 - 38)/(48.9 - 31.0))}$$

$$\Delta T_{LMTD} = 29.2 \ ^\circ\text{C}$$

จากนั้นคำนวณหาพื้นที่ที่น้อยที่สุดในการถ่ายเทความร้อน 4.61 kW ได้จาก สมการที่ (2.7)

$$Q = U_0 A_s \Delta T_{LMTD}$$

$$4610 = (377.71)(A_s)(29.2)$$

$$A_s = 0.4179 \text{ m}^2$$

พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีพื้นที่ 0.766 m^2 ดังนั้นเพียงพอต่อการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนเมื่อให้อัตราน้ำขาออกเป็น 40 องศาเซลเซียส

ที่อัตราการไหลของน้ำ (0.0833 kg/s) และท่อทางเข้าของน้ำมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ (3.048 cm) เราสามารถหาความเร็วของน้ำได้จาก สมการที่ (2.10)

$$u = \frac{\dot{m}}{\rho A}$$

$$u = \frac{0.0833}{1000(\pi(\frac{3.048\times10^{-2}}{2})^2)}$$

$$u = 0.11416\ \text{m/s}$$

เมื่อเราทราบว่าความเร็วของน้ำมีค่าเท่ากับ $u = 0.0721\ \text{m/s}$ เราสามารถหาค่า equivalent diameter ได้จาก สมการที่ (2.11)

$$D_e = \sqrt{\frac{4\dot{m}}{\pi\rho u}}$$

$$D_e = 0.03048\ \text{m}$$

โดยเราทราบค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของน้ำมีค่าเท่ากับ ($\mu = 420\times10^{-6}\ \text{kg/m.s}$) จากอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยเข้าและออก และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเท่ากับ ($0.03048\ \text{m}$) จากนั้นคำนวณหาตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number , Re) ของน้ำได้จาก สมการที่ (2.12)

$$Re = \frac{\rho V D_e}{\mu}$$

$$Re = \frac{1000(0.11416)(0.03048)}{420\times10^{-6}}$$

$$Re = 8284.75$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเราทราบค่าความจุความร้อนของของไหลมีค่าเท่ากับ $(C_{pw} = 4170\ J/kg.^{\circ}K)$ และทราบค่าการนำความร้อนของของเหลวอิ่มตัวมีค่าเท่ากับ $(k = 0.632\ W/m.^{\circ}K)$ จากนั้นคำนวณหาตัวเลขเพราซ์ (Pr) ของน้ำได้จาก สมการที่ (2.13)

$$Pr = \frac{C_{pw}\mu}{k}$$

$$Pr = \frac{(4170)(420\times10^{-6})}{0.632}$$

$$Pr = 4.32$$

คำนวณหาตัวเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number , Nu) ได้จาก สมการที่ (2.14)

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4}$$

$$Nu = 56.3$$

ดังนั้นเราสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน (Convection Heat Transfer Coefficient , h_o) ได้จาก สมการที่ (2.15)

$$h_o = \frac{Nu.k}{D_e}$$

จะได้ $h_o = 1167.47\ W/m^2.^{\circ}k$

โดยค่าอัตราการไหลของสารทำความเย็นหาได้จาก สมการที่ (2.4) สามารถหาความเร็วของสารทำความเย็นได้จาก สมการที่ (2.10)

$$u = \frac{\dot{m}}{\rho A}$$

$$u = \frac{0.024}{119.13\times(\frac{15.24\times10^{-2}}{2})^2}$$

$$u = 0.7878\ m/s$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเราทราบค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของสารทำความเย็นมีค่าเท่ากับ ($\mu = 168.5\times10^{-7}$ kg/m.s) จากอุณหภูมิของสารทำความเย็น และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเท่ากับ (18.05×10^{-3} m) จากนั้นคำนวณหาตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number , Re_c) ของสารทำความเย็นได้จาก สมการที่ (2.12)

$$Re_c = \frac{\rho VD}{\mu}$$

$$Re_c = \frac{(119.13)(0.7878)(18.05\times10^{-3})}{168.5\times10^{-7}}$$

$$Re_c = 100,470.53$$

จากนั้นคำนวณหาตัวเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number , Nu) ของสารทำความเย็นได้จาก

$$Nu = 0.023Re^{0.85}Pr^{0.3}(\frac{d_c}{D_c})^{0.1}$$

$$Nu = 439.827$$

เมื่อเราทราบค่าตัวเลขนัสเซลท์มีค่าเท่ากับ 439.827 ดังนั้นเราสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนของสารทำความเย็นที่ควบแน่นในท่อ (h_i) ได้จาก สมการที่ (2.15)

$$h_i = \frac{Nu.k}{D}$$

$$h_i = \frac{439.827\times0.0206}{18.05\times10^{-3}}$$

$$h_i = 501.96\ W/m^2.{}^oK$$

จากการแทนค่าจะได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในท่อเท่ากับ 501.96 วัตต์ต่อตารางเมตร-เคลวิล หลังจากได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในท่อและภายนอกท่อแล้ว ทำการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Coefficient , U_0) จาก สมการที่ (2.8)

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{internal}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{1167.47} + \frac{1}{501.76}$$

$$U_0 = 350.93 \text{ W/m}^3.^\circ\text{k}$$

หาพื้นที่ที่จำเป็นในการแลกเปลี่ยนภาระการระบายความร้อน โดยใช้ผลต่างอุณหภูมิแบบล็อค (Log Mean Temperature , ΔT_{LMTD}) ได้จาก สมการที่ (2.9)

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left[(T_1 - t_2)/(T_2 - t_1)\right]}$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(82.49 - 40) - (48.9 - 31.0)}{\ln((82.49 - 40)/(48.9 - 31.0))}$$

$$\Delta T_{LMTD} = 28.445 \ ^\circ\text{C}$$

จากนั้นคำนวณหาพื้นที่ที่น้อยที่สุดในการถ่ายเทความร้อน 4.61 kW ได้จาก สมการที่ (2.7)

$$Q = U_0 A_s \Delta T_{LMTD}$$

$$4610 = (350.93)(A_s)(28.445)$$

$$A_s = 0.4618 \text{ m}^2$$

พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีพื้นที่ 0.766 m^2 ดังนั้นเพียงพอต่อการใช้งานที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนเมื่อให้อัตราน้ำขาออกเป็น 42 องศาเซลเซียส

อัตราการไหลของน้ำ (0.066 kg/s) และท่อทางเข้าของน้ำมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ (3.048 cm) เราสามารถหาความเร็วของน้ำได้จาก สมการที่ (2.10)

$$u = \frac{\dot{m}}{\rho A}$$

$$u = \frac{0.066}{1000(\pi(\frac{3.048\times10^{-2}}{2})^2)}$$

$$u = 0.0905 \text{m/s}$$

เมื่อเราทราบว่าความเร็วของน้ำมีค่าเท่ากับ $u = 0.0905$ m/s เราสามารถหาค่า equivalent diameter ได้จาก สมการที่ (2.11)

$$D_e = \sqrt{\frac{4\dot{m}}{\pi\rho u}}$$

$$D_e = 0.0304 \text{ m}$$

โดยเราทราบค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของน้ำมีค่าเท่ากับ ($\mu = 420\times10^{-6}$ kg/m.s) จากอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยเข้าและออก และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเท่ากับ (0.0304 m) จากนั้นคำนวณหาตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number , Re) ของน้ำได้จาก สมการที่ (2.12)

$$Re = \frac{\rho V D_e}{\mu}$$

$$Re = \frac{1000(0.0905)(0.0304)}{420\times10^{-6}}$$

$$Re = 6557.625$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเราทราบค่าความจุความร้อนของของไหลมีค่าเท่ากับ $(C_{pw} = 4170\ J/kg.^{\circ}K)$ และทราบค่าการนำความร้อนของของเหลวอิ่มตัวมีค่าเท่ากับ $(k = 0.632\ W/m.^{\circ}K)$ จากนั้นคำนวณหาตัวเลขเพราซ์ (Pr) ของน้ำได้จาก สมการที่ (2.13)

$$Pr = \frac{C_{pw}\mu}{k}$$

$$Pr = \frac{(4170)(420\times10^{-6})}{0.632}$$

$$Pr = 4.32$$

คำนวณหาตัวเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number , Nu) ได้จาก สมการที่ (2.14)

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4}$$

$$Nu = 46.7$$

ดังนั้นเราสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน (Convection Heat Transfer Coefficient , h_o) ได้จาก สมการที่ (2.15)

$$h_o = \frac{Nu.k}{D_e}$$

จะได้ $h_o = 968.32\ W/m^2.^{\circ}k$

โดยค่าอัตราการไหลของสารทำความเย็นหาได้จาก สมการที่ (2.4) สามารถหาความเร็วของสารทำความเย็นได้จาก สมการที่ (2.10)

$$u = \frac{\dot{m}}{\rho A}$$

$$u = \frac{0.024}{119.13\times(\frac{15.24\times10^{-2}}{2})^2}$$

$$u = 0.7878\ m/s$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเราทราบค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของสารทำความเย็นมีค่าเท่ากับ ($\mu = 168.5\times10^{-7}$ kg/m.s) จากอุณหภูมิของสารทำความเย็น และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเท่ากับ (18.05×10^{-3} m) จากนั้นคำนวณหาตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number , Re_c) ของสารทำความเย็นได้จาก สมการที่ (2.12)

$$Re_c = \frac{\rho VD}{\mu}$$

$$Re_c = \frac{(119.13)(0.7878)(18.05\times10^{-3})}{168.5\times10^{-7}}$$

$$Re_c = 100,470.53$$

จากนั้นคำนวณหาตัวเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number , Nu) ของสารทำความเย็นได้จาก

$$Nu = 0.023Re^{0.85}Pr^{0.3}(\frac{d_c}{D_c})^{0.1}$$

$$Nu = 439.827$$

เมื่อเราทราบค่าตัวเลขนัสเซลท์มีค่าเท่ากับ 439.827 ดังนั้นเราสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนของสารทำความเย็นที่ควบแน่นในท่อ (h_i) ได้จาก สมการที่ (2.15)

$$h_i = \frac{Nu.k}{D}$$

$$h_i = \frac{439.827\times0.0206}{18.05\times10^{-3}}$$

$$h_i = 501.96\ W/m^2.{}^\circ k$$

จากการแทนค่าจะได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในท่อเท่ากับ 501.96 วัตต์ต่อตารางเมตร-เคลวิล หลังจากได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในท่อและภายนอกท่อแล้ว ทำการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Coefficient , U_0) จาก สมการที่ (2.8)

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{internal}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{968.32} + \frac{1}{501.76}$$

$$U_0 = 330.50 \text{ W/m}^3.^\circ\text{k}$$

หาพื้นที่ที่จำเป็นในการแลกเปลี่ยนภาระการระบายความร้อน โดยใช้ผลต่างอุณหภูมิแบบล็อค (Log Mean Temperature , ΔT_{LMTD}) ได้จาก สมการที่ (2.9)

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left[(T_1 - t_2)/(T_2 - t_1)\right]}$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(82.49 - 42) - (48.9 - 31.0)}{\ln((82.49 - 42)/(48.9 - 31.0))}$$

$$\Delta T_{LMTD} = 27.84 \ ^\circ\text{C}$$

จากนั้นคำนวณหาพื้นที่ที่น้อยที่สุดในการถ่ายเทความร้อน 4.61 kW ได้จาก สมการที่ (2.7)

$$Q = U_0 A_s \Delta T_{LMTD}$$

$$4610 = (330.50)(A_s)(27.84)$$

$$A_s = 0.501 \text{ m}^2$$

พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีพื้นที่ 0.766 m^2 ดังนั้นเพียงพอต่อการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้