



รายงานการโครงการ

การปรับปรุงแบบจำลองหอหล่อเย็นเพื่อวัดประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยน
ความร้อน

Improving Cooling Tower Models to Measure Heat Exchange
Efficiency

โดย

นาย กานต์ชนก	ลิ่มเงิน	รหัส 6403120001
นาย ธีรภัทร์	เรืองวิฑูร	รหัส 6424100004
นาย พรเทพ	ภูศรีเทศ	รหัส 6423100003
นาย วิธวินท์	หนูนั่ง	รหัส 6404100001
นาย อธิพัฒ	เจริญศักดิ์ธนกุล	รหัส 6424100001

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา 151-492 โครงการวิศวกรรมเครื่องกล 2

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

ภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2566


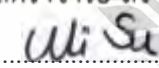
การปรับปรุงแบบจำลองหอหล่อเย็นเพื่อวัดประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อน

Improving Cooling Tower Models to Measure Heat Exchange Efficiency

นาย กานต์ชนก ลิ่มเงิน
นาย ชีรภัทร์ เรืองวิฑูร
นาย พรเทพ ภูศรีเทศ
นาย วิธวินท์ หนูนัง
นาย อธิพัฒน์ เจริญศักดิ์ธันกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสยาม
ปีการศึกษา 2566

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

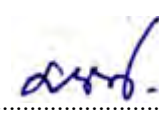

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สราวุฒิจันทร์ วรสุมนต์)

.....


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิภาวัลย์ นาคทรัพย์)

ประธานกรรมการปริญญานิพนธ์
กรรมการ


.....
(อาจารย์ ทุฒิพงศ์ ชุนทรง)

กรรมการ


.....
(ดร.ชาลวงชัย วิรุณฤทธิชัย)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล


.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ นาราศกุล)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

ชื่อโครงการ : การปรับปรุงแบบจำลองหอหล่อเย็นเพื่อวัดประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อน

หน่วยกิต : 4 หน่วยกิต

ผู้จัดทำ :

นาย กานต์ชนก ลีมีเงิน	6403120001
นาย อธิพัทธ์ เรืองวิฑูร	6424100004
นาย พรเทพ ภูศรีเทศ	6423100003
นาย วิธวินท์ หนูนึ่ง	6404100001
นาย อธิพัฒน์ เจริญศักดิ์ธนกุล	6424100001

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.สราวุธ วรรณสันต์

ระดับการศึกษา : วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขา : วิศวกรรมเครื่องกล

คณะ : วิศวกรรมศาสตร์


ภาคการศึกษา/ปีการศึกษา : 3/2566

บทคัดย่อ

ในกระบวนการต่างๆ ที่มีความร้อนส่วนเกินเกิดขึ้น การระบายความร้อนจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อรักษาอุณหภูมิไม่ให้สูงเกินไปจนทำความเสียหายให้กับระบบและเพื่อรักษาประสิทธิภาพในการทำงานไว้คูลิ่งทาวเวอร์เป็นอุปกรณ์หนึ่งซึ่งถูกเลือกให้เป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับระบบ โดยจะใช้น้ำเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อนกับระบบต่าง ๆ แล้วนำไปถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศ

โครงการนี้จะศึกษาถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทำงานและประสิทธิภาพของคูลิ่งทาวเวอร์โดยการซ่อมแซมและปรับปรุงระบบในตัวคูลิ่งทาวเวอร์รวมถึงการออกแบบระบบควบคุมการทำงานของคูลิ่งทาวเวอร์แบบไหลสวนทางชนิดพัดลมหมุนเวียนอากาศ ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำและอัตราการไหลของอากาศนอกจากนี้การซ่อมแซมปรับปรุงการทำงานของคูลิ่งทาวเวอร์เป็นเครื่องทดสอบการแลกเปลี่ยนความร้อนที่สามารถนำมาใช้ในรายวิชาปฏิบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมและในรายวิชาอื่น ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลจากการศึกษาพบว่าตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทำงานและประสิทธิภาพของคูลิ่งทาวเวอร์มีอัตราการไหลของน้ำกับอากาศและอุณหภูมิน้ำเข้าซึ่งจะพบว่าชุดทดลองการทำงานของคูลิ่งทาวเวอร์สามารถลดอุณหภูมิน้ำได้เฉลี่ย 9.52 องศาเซลเซียสและประสิทธิผลเฉลี่ย 78.03 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : ควบคุมอัตราการไหล/การแลกเปลี่ยนความร้อน/คูลิ่งทาวเวอร์

อาจารย์ที่ปรึกษา

 (Co-op Advisor)
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สราวุธ วรรณสันต์)
 24/06/68

Project Title : Improving Cooling Tower Models to Measure Heat Exchange Efficiency

Credits : 4 Units

By : Mr. Kanchanok Limngern 6403120001
Mr. Teerapat Ruangwitoon 6424100004
Mr. Pornthep pusrites 6423100003
Mr. Wittawin Noonang 6404100001
Mr. Athipat Charoensakthanakun 6404100001

Advisor : Asst. Profo Saravudh Varasumanta

Degree : Bachelor of Engineering

Major : Mechanical Engineering

Faculty : Engineering

Semester / Academic Year : 3/2023

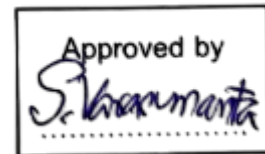
Abstract

In various processes where excess heat is generated, cooling becomes essential to maintain the temperature at a safe level, preventing damage to the system and preserving operational efficiency. A cooling tower is one of the devices selected to serve as a heat exchanger for the system. It uses water as the medium to absorb heat from different systems and then releases that heat into the air.

This project studies the various factors affecting the operation and efficiency of a cooling tower by repairing and improving the system within the cooling tower, including designing a control system for a counterflow-type cooling tower equipped with a mechanical draft fan. This system allows for adjustment of both the water flow rate and the air flow rate. In addition, the repaired and improved cooling tower serves as a heat exchange testing apparatus, which can be utilized in basic engineering practice courses and other subjects in the Department of Mechanical Engineering. From the study, it was found that the key variables affecting the operation and efficiency of the cooling tower include the flow rates of water and air, as well as the inlet water temperature. The experimental setup for the cooling tower operation was able to

reduce the water temperature by an average of 9.52 degrees Celsius, with an average effectiveness of 78.03 percent.

Keywords : control flow rate , heat exchange , cooling tower



กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

โครงการทางวิศวกรรมศาสตร์การทำปริญญานิพนธ์นี้ได้รับความสำเร็จลงด้วยดีจากการให้คำแนะนำจากอาจารย์หลายๆ ท่าน ที่มีความถนัดและความชำนาญที่แตกต่างกันในแต่ละ สาขา อาทิ เช่น ความชำนาญด้านวิศวกรรมเครื่องกล, ด้านวิศวกรรมไฟฟ้า, และสาขาอื่น ๆ ที่มี ความเกี่ยวข้องกับเครื่องทดสอบหอบายความร้อนเพื่อนำไปในการปรับปรุงหอบายความร้อน และขอขอบคุณอาจารย์ ผศ.สราวุธ วรรณันต์ ที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในโครงการนี้ ซึ่งให้ความเข้าใจในระบบการทำงานของเครื่อง ทดสอบหอบายความร้อนได้เป็นอย่างดี



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract)	ข
กิตติประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	จ
สารบัญสัญลักษณ์	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 การศึกษาเกี่ยวกับหอระบายความร้อน	
2.1 กระบวนการทำงานของ Cooling Tower ในระบบปรับอากาศ	5
2.2 ชนิดของ Cooling Tower	6
2.3 ระบบจ่ายน้ำ (The water - Distribution)	9
2.4 แพ็คกิ้ง	11
2.5 ถังรับน้ำ (Collection Basin)	13
2.6 ส่วนทำให้อากาศเคลื่อนไหว (Air Movement System)	13
2.7 เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor)	14
2.8 ปริมาณน้ำที่สูญเสียจากหอระบายความร้อน	15
2.9 ค่าที่ได้จากหอระบายความร้อน	18
2.10 เทคนิคต่างๆ เกี่ยวกับหอระบายความร้อน	22

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 รายละเอียดการปฏิบัติงาน	
3.1 ปรับปรุงชุดปรับปริมาณน้ำ	33
3.2 ปรับปรุงถังบรรจุน้ำ	34
3.3 ปรับปรุงการวางปั๊มใหม่	34
3.4 ปรับปรุงการเดินสายไฟในชุดควบคุม	35
3.5 แบบหลังการปรับปรุง cooling tower	36
3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	38
3.7 วงจรการทำงาน cooling tower แบบ flow chart	39
3.8 ขั้นตอนการทดลอง	40
บทที่ 4 การทดลองหอบรรยากาศความชื้น	
4.1 ผลการทดลอง	41
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง ผลการทดลองและข้อเสนอแนะด้านเทคนิค	
5.1 สรุปผลการทดลอง	50
5.2 สรุปผลการปรับปรุง	50
5.3 ข้อเสนอแนะด้านเทคนิค	51
บรรณานุกรม	52
ภาคผนวก	53
ภาคผนวก ก ตารางคุณสมบัติของอากาศอิมิต์วที่ความดันบรรยากาศ	53
ภาคผนวก ข ตารางคุณสมบัติของไอน้ำอิมิต์วและอากาศแห้งที่ความดันบรรยากาศ	55
ภาคผนวก ค Lab Cheese cooling tower	58
การคำนวณ Cooling Tower	67
ประวัติผู้จัดทำ	80

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตัวเลขของปริมาณน้ำสูญเสียโดยพัดลมหรือกระเซ็น	16
ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบอัตราการไหลระหว่าง Flowmeter กับ กรวยตวง	33
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองอุณหภูมิของน้ำที่ความเร็วลม 21 m/s ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าหอบายความร้อน 50 °C	40
ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของผลการทดลองอุณหภูมิของน้ำที่ความเร็วลม 21 m/s ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าหอบายความร้อน 50 °C	40
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองอุณหภูมิของน้ำที่ความเร็วลม 18.5 m/s ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าหอบายความร้อน 50 °C	41
ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยของผลการทดลองอุณหภูมิของน้ำที่ความเร็วลมที่ 18.5 m/s อุณหภูมิของน้ำทางเข้าหอบายความร้อน 50 °C	41
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองอุณหภูมิของน้ำที่ความเร็วลม 15.5 m/s ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าหอบายความร้อน 50 °C	42
ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของผลการทดลองอุณหภูมิของน้ำที่ความเร็วลมที่ 15.5 m/s อุณหภูมิของน้ำทางเข้าหอบายความร้อน 50 °C	42
ตารางที่ 4.7 ผลการคำนวณค่าความแตกต่างของ Temperature Range	43
ตารางที่ 4.8 ผลการคำนวณค่าความแตกต่างของ Approach Temperature	44
ตารางที่ 4.9 ผลการคำนวณค่าความแตกต่างเอนทัลปีของน้ำ	45
ตารางที่ 4.10 ผลการคำนวณค่าความแตกต่างเอนทัลปีของอากาศ	46
ตารางที่ 4.11 ค่าความแตกต่างเอนทัลปีจำเพาะของน้ำและ ค่าความแตกต่างเอนทัลปี	47
ตารางที่ 4.12 ค่าความแตกต่างของ Temperature Range	49
ตารางที่ 4.13 น้ำที่สูญเสียจากการทดลองที่ความเร็วลม 21 m/s	50
ตารางที่ 4.13 น้ำที่สูญเสียจากการทดลองที่ความเร็วลม 18.5 m/s	50
ตารางที่ 4.15 น้ำที่สูญเสียจากการทดลองที่ความเร็วลม 15.5 m/s	50
ตารางที่ 4.16 การคำนวณประสิทธิภาพของ cooling tower	50

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ระบบดูดอากาศตามธรรมชาติ	6
รูปที่ 2.2 คูลิ่งทาวเวอร์หรือหอทำน้ำเย็นชนิดเป่าอากาศเข้า	7
รูปที่ 2.3 คูลิ่งทาวเวอร์หรือหอทำน้ำเย็นชนิดดูดอากาศออก	7
รูปที่ 2.4 หอทำน้ำเย็นแบบอากาศ	8
รูปที่ 2.1 หอทำน้ำเย็นแบบอากาศเคลื่อนที่สวนกับน้ำ	9
รูปที่ 2.6 หอระบายความร้อนแบบไหลตัดกัน (Cross Flow)	10
รูปที่ 2.7 หอระบายความร้อนแบบไหลสวนทาง (Counter Flow)	17
รูปที่ 2.8 หอระบายความร้อนแบบไหลไหลตามกัน (Parallel Flow)	11
รูปที่ 2.9 ชนิดของแพ็คกิ้งแบบเปียก	12
รูปที่ 2.10 ชนิดของแพ็คกิ้งแบบฟิล์ม	12
รูปที่ 2.11 พัดลมโบลเวอร์	14
รูปที่ 2.12 ไดอะแกรมน้ำที่หมุนเวียนข้องกับระบบ	17
รูปที่ 3.1 การปรับปรุงตัวถังบรรจุน้ำ	34
รูปที่ 3.2 การปรับปรุงการวางปั้มน้ำ	34
รูปที่ 3.3 การปรับปรุงการเดินสายไฟใหม่	35
รูปที่ 3.4 การปรับปรุง cooling tower	36
รูปที่ 3.5 การปรับปรุงระบบเดินไฟ cooling tower	37
รูปที่ 3.6 วงจรการทำงาน cooling tower	39
รูปที่ 4.1 ค่าความแตกต่างของ Temperature Range ($t_1 - t_2$) ($^{\circ}\text{C}$)	43
รูปที่ 4.2 ค่าความแตกต่างของ Approach Temperature ($t_2 - tw_1$)	44
รูปที่ 4.3 ค่าความแตกต่างเอนทัลปีของน้ำกับอัตราการไหลของน้ำ	45
รูปที่ 4.4 ค่าความแตกต่างของ Temperature Range	46
รูปที่ 4.5 ความแตกต่างเอนทัลปีจำเพาะของน้ำกับความเร็วม	48
รูปที่ 4.6 ค่าความแตกต่างของ Temperature Range	49

รายการสัญลักษณ์

ρ	ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m^3
ρ_i	ความหนาแน่นของอากาศภายในแพ็คกิ้ง, kg/m^3
ρ_o	ความหนาแน่นของอากาศภายนอกแพ็คกิ้ง, kg/m^3
γ	น้ำหนักจำเพาะของของไหล, m^3/kg
φ	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, %
Δh_a	การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของอากาศ, kw
Δh_w	การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของน้ำ, kw
ΔP	ความดันขับเคลื่อน, N/m^2
ΔT	ช่วงระบายความร้อน, $^{\circ}\text{C}$
A	พื้นที่หน้าตัดของท่อ, m^2
<i>Approach</i>	อุณหภูมิเข้าใกล้, $^{\circ}\text{C}$
C	วัฏจักรความเข้มข้นของน้ำ
C_p	ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่, kJ/kg K
g	ความเร่งโน้มถ่วง, m/s^2
LPM_b	ปริมาณน้ำสูญเสียจากการระบายน้ำทิ้ง, GPM
LPM_c	ปริมาณน้ำหมุนเวียนในระบบ, GPM
LPM_e	ปริมาณน้ำสูญเสียจากการระเหย, GPM
LPM_m	ปริมาณน้ำเต็มทั้งหมด, GPM
LPM_w	ปริมาณน้ำสูญเสียจากลมพัดพา, GPM
h_1	เอนทัลปีของอากาศเข้า, kJ/kg
h_2	เอนทัลปีของอากาศออก, kJ/kg
H_{fg}	ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยตัวของน้ำ, BTU/lb
H_{rf}	แฟกเตอร์การระบายความร้อน
M_a	มวลการไหลของอากาศ, kg/s
M_w	มวลการไหลของน้ำ, kg/s

รายการสัญลักษณ์

P_a	ความดันอากาศแห้ง, Pa
P_{atm}	ความดันบรรยากาศ, Pa
P_o	ความดันอากาศที่จุด "O", Pa
P_s	ความดันไอน้ำในอากาศ, Pa
$P_{s'}$	ความดันอากาศที่จุด "S", Pa
P_{sd}	ความดันไอน้ำที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง, Pa
P_{sw}	ความดันไอน้ำที่อุณหภูมิกระเปาะเปียก, Pa
P_v	ความดันเนื่องจากความเร็ว, in.H ₂ O
q	กำลังกระแสไฟฟ้าของฮีตเตอร์, kw
Q_a	อัตราการไหลของอากาศ, m ³ /s
Q_w	อัตราการไหลของน้ำ, m ³ /s
t_1	อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าแพ็คกิ้ง, °C
t_2	อุณหภูมิของน้ำออกจากแพ็คกิ้ง, °C
t_{d1}	อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศเข้า, °C
t_{d2}	อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศออก, °C
t_{p1}	อุณหภูมิน้ำในแพ็คกิ้ง จุดที่ 1, °C
t_{p2}	อุณหภูมิน้ำในแพ็คกิ้ง จุดที่ 2, °C
t_{p3}	อุณหภูมิน้ำในแพ็คกิ้ง จุดที่ 3, °C
t_{w1}	อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางเข้า, °C
t_{w2}	อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางออก, °C
TR	ปริมาณการทำความเย็น, TON
V	ความเร็วของอากาศ, m/s
V_o	ความเร็วของอากาศที่จุด O, m/s
V_s	ความเร็วของอากาศที่จุด S, m/s
W	ความชื้นจำเพาะ, kj/kg Air

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของโครงการ

หอระบายความร้อนเป็นอุปกรณ์ลดอุณหภูมิของน้ำร้อนให้เย็นลงและสามารถนำน้ำที่ผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งในกระบวนการนี้มีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อน กับอากาศค่า Temperature Range เป็นค่าการลดลงของอุณหภูมิน้ำที่เข้าและออกจากหอระบายความร้อนของน้ำจะถ่ายเทให้แก่อากาศรอบนอกและน้ำบางส่วนเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ความสัมพันธ์ของปริมาณความร้อนที่ถูกดึงออกไปให้แก่อากาศและการระเหยกลายเป็นไอน้ำขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศที่เข้าไปในหอระบายความร้อน

จากการศึกษาหอระบายความร้อนตัวเดิมมีปัญหา ดังนี้ อัตราการไหลของน้ำไม่คงที่ ทำให้ได้ผลการทดลองในแต่ละครั้งเมื่อเปรียบเทียบกันแล้วจะได้ค่าของผลการทดลองที่แตกต่างกัน และในการควบคุมอัตราการไหลของปริมาณลมไม่สามารถควบคุมให้คงที่ได้ซึ่งจากจุดบกพร่องทั้งสองประการนี้มีผลทำให้ค่าที่ได้จากการทดลองเปลี่ยนไป

ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงทั้งสองระบบให้สามารถควบคุมได้และมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด ในการเก็บผลการทดลองในแต่ละครั้งเมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกันและได้ค่าที่ชัดเจนมาก เพื่อให้ได้ผลการทดลองเป็นที่น่าพึงพอใจ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

การปรับปรุงแบบจำลองหอหล่อเย็นเพื่อวัดประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อซ่อมแซมชุดหอระบายความร้อนแบบไหลสวนทางกัน (Counter Flow Cooling Tower) ให้พร้อมที่จะนำมาใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับการทดลองของภาควิชา

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ส่วนของการปรับปรุง

- 1) ปรับปรุงตู้ไฟฟ้าและระบบไฟฟ้า
- 2) ปรับปรุงใส่ล้อ
- 3) ปรับปรุงหอระบายความร้อน
- 4) ปรับปรุงปั้มน้ำและ flow meter

ส่วนของการซ่อมแซม

- 1) โครงสร้างหอหล่อเย็น
- 2) ถังน้ำ

1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้รับความรู้เกี่ยวกับการทำงานของชุดหอบายความร้อน
- 1.4.2 ได้ทราบการบำรุงรักษาอุปกรณ์ชุดหอบายความร้อน
- 1.4.3 ได้ทราบขั้นตอนการทดลองอุปกรณ์ชุดหอบายความร้อน

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.5.1 เริ่มปฏิบัติงาน วันที่ 8 กันยายน พ.ศ. 2567
- 1.5.2 เสร็จสิ้นการปฏิบัติงาน วันที่ 9 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568

บทที่ 2

การศึกษาเกี่ยวกับหอระบายความร้อน

การพัฒนาหอระบายความร้อนมีอยู่อย่างต่อเนื่องซึ่งจะมีทั้งชนิดที่ใช้กระแสลมช่วยในการระบายความร้อนและชนิดที่ใช้ระบบจ่ายน้ำ จะใช้ตามการทำงานของหอระบายความร้อน เพื่อความเหมาะสมกับทิศทางของกระแสลมและทิศทางของกระแสของน้ำ ซึ่งการพัฒนานี้ได้นำเอา “แพ็คกิ้ง” (Packing) เข้าไปติดตั้งบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนให้มากขึ้น จากที่กล่าวมาเป็นเหตุให้ปริมาณน้ำที่ผ่านเข้าหอระบายความร้อนเกิดการสูญเสียปริมาณน้ำบางส่วนตลอดเวลา ซึ่งการสูญเสียปริมาณน้ำที่สามารถป้องกันได้ บางส่วนคือละอองน้ำที่เกิดขึ้นโดยการติดตั้งเครื่องกำจัดละอองน้ำและยังมีการสูญเสียปริมาณน้ำในลักษณะเพิ่มขึ้นอีก ซึ่งสามารถคำนวณสิ่งที่เกิดขึ้นได้เพื่อชดเชยปริมาณน้ำที่สูญเสียไปให้มี ปริมาณที่คงที่จากการทดลองหอระบายความร้อนจึงติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดต่าง ๆ เพื่อนำค่าที่ วัดได้ไปคำนวณรวมทั้งการใช้เทคนิคต่าง ๆ กับหอระบายความร้อนและการบำรุงรักษาด้วย

2.1 กระบวนการทำงานของ Cooling Tower ในระบบปรับอากาศ

เบื้องต้นจะทำงานด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนความร้อน ที่ผ่านการทำให้้ำสามารถถ่ายเทความร้อนไปยังอากาศด้วยวิธีการระเหย โดยตัว쿨ลิ่งทาวเวอร์จะเป็นตัวที่ฉีดน้ำที่มีความร้อนหรือมีอุณหภูมิสูงจากการทำงานหล่อเย็นให้กระจายตัวเป็นละอองเล็ก ๆ ซึ่งจะตกลงบนแผ่นกั้นละอองน้ำ (Baffles หรือ Filler) หรือแผงรังผึ้ง โดยในเครื่องจะมีตัวพัดลมเป่าอากาศจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน ซึ่งน้ำที่กระจายและไหลผ่านลมและอากาศที่ภายในเครื่อง ก็จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนส่วนหนึ่งก็จะเกิดการระเหยไปในอากาศ (Evaporation) ด้วยลมธรรมชาติ แต่เพื่อไม่ให้ระเหยมากเกินไป ก็จะมีการติดตั้งดักละอองน้ำ (Drift Eliminator) ในขณะที่น้ำส่วนที่เหลือที่ไหลลงมายังส่วนฐานที่เป็นอ่างน้ำ (Cooling Basin) รองรับด้านล่างซึ่งมีอุณหภูมิต่ำลงหรือเป็นน้ำที่เย็นขึ้นแล้ว ก็จะถูกดูดผ่านระบบчилเลอร์ (Chiller) นำไปใช้ในกระบวนการหล่อเย็นอีกครั้งจนเป็นน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิสูงก็จะถูกดูดกลับมาเข้ามาที่ถาดด้านบนของ쿨ลิ่งทาวเวอร์ เป็นกระบวนการแบบนี้วนอยู่เรื่อยไป ซึ่งจะช่วยประหยัดพลังงานที่จะใช้ในการทำความเย็น ตลอดจนเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบปรับอากาศในอาคารสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

$$\Delta P = (\rho_0 - \rho_i)gh$$

$$\Delta P = \text{ความดันขับเคลื่อนที่ (N / m}^2\text{)}$$

$$\rho_0 = \text{ความหนาแน่นของอากาศด้านนอก (kg / m}^3\text{)}$$

$$\rho_i = \text{ความสูงของอากาศด้านใน (kg / m}^3\text{)}$$

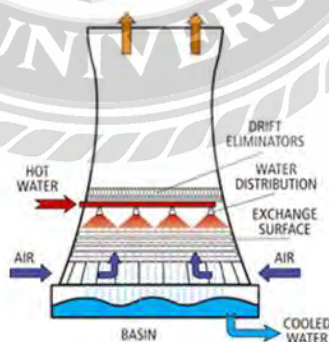
$$h = \text{ความสูงของหอเหนือแพ็คกิ้ง (m)}$$

$$g = \text{ความเร่งโน้มถ่วง (m / s}^2\text{)}$$

2.2 ชนิดของ Cooling Tower

쿨링타워หรือหอทำน้ำเย็น แบ่งออกตามลักษณะการหมุนเวียนของอากาศได้ 2 ระบบ ดังนี้

2.2.1 ระบบดูดอากาศตามธรรมชาติจะให้อากาศเคลื่อนไหวตามธรรมชาติเมื่อได้รับความร้อน จะทำให้การไหลเวียนของอากาศเองในรูป 2.1 เป็นการดูดตามธรรมชาติแบบฉีดเป็นฝอยละอองที่ด้านบน ซึ่งถ้าเป็นฝอยได้มากก็จะระบายความร้อนได้ดี แต่การที่ทำให้เป็นฝอยละอองมาก ๆ ต้องขึ้นอยู่กับ การออกแบบหัวฉีดและขึ้นอยู่กับความเร็วของอากาศ หรือ ความเร็วลมที่พัดนั่นเอง ดังนั้น คูลิ่งทาวเวอร์ หรือ หอทำน้ำเย็นแบบนี้สมรรถนะของคูลิ่งทาวเวอร์ หรือ หอทำความเย็นจึงขึ้นอยู่กับ ความเร็วลมนั่นเองโดยทั่วไปจะติดตั้งคูลิ่งทาวเวอร์ หรือ หอทำน้ำเย็นแบบนี้ไว้กลางแจ้งเพื่อให้ลมพัดผ่านได้คล่อง ใช้สำหรับที่ที่ต้องการปริมาณน้ำระบายความร้อนสูงมาก เช่น โรงไฟฟ้า



รูปที่ 2.1 ระบบดูดอากาศตามธรรมชาติ

อ้างอิง <https://www.squarecooling.co.th/index.php/th/2018-06-26-04-48-39>

2.2.2 ระบบดูดอากาศทางกลจะใช้พัดลมช่วยในการทำให้อากาศเคลื่อนไหว จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า และ ลดขนาดของหอลงได้ แบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ

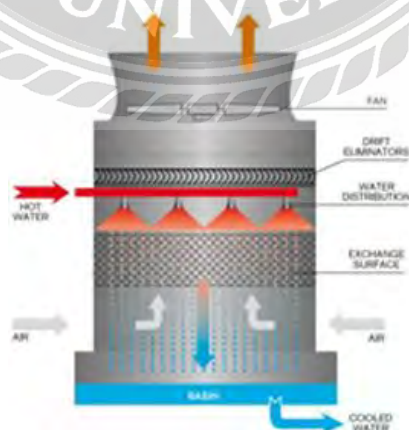
- कुल्लिंगทาวเวอร์ หรือ หอทำน้ำเย็นชนิดเป่าอากาศเข้า (Forced Draft) พัดลมจะติดอยู่บริเวณทางเข้าของอากาศ
- कुल्लिंगทาวเวอร์ หรือ หอทำน้ำเย็นชนิดดูดอากาศออก (Induced Draft) พัดลมจะติดอยู่บริเวณทางออกของอากาศ

ดังรูป 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ



รูปที่ 2.2 कुल्लिंगทาวเวอร์หรือหอทำน้ำเย็นชนิดเป่าอากาศเข้า

อ้างอิง <https://www.squarecooling.co.th/index.php/th/2018-06-26-04-48-39>

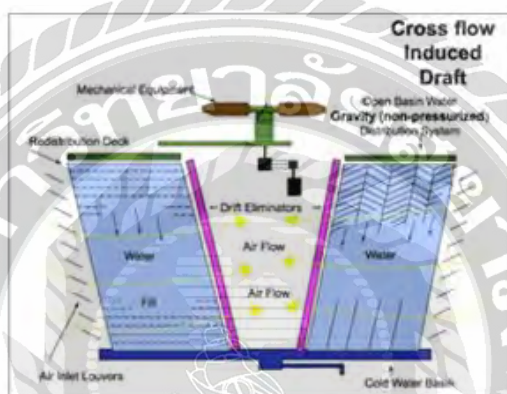


รูปที่ 2.3 कुल्लिंगทาวเวอร์หรือหอทำน้ำเย็นชนิดดูดอากาศออก

อ้างอิง <https://www.squarecooling.co.th/index.php/th/2018-06-26-04-48-39>

เนื่องจากคูลลิ่งทาวเวอร์ หรือ หอทำน้ำเย็นระบบดูด และ เป่าอากาศทางกลโดยมีพัดลม (blower) พัดพาอากาศจึงสามารถติดตั้งไว้ที่ร่มได้ และ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพคูลลิ่งทาวเวอร์ หรือ หอทำน้ำเย็นขนาดเดียวกันแล้ว ระบบทางกลจะให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าแบบธรรมชาติ และสามารถแบ่งย่อยตามทิศทางการแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำ และ อากาศได้อีก 2 แบบ คือ

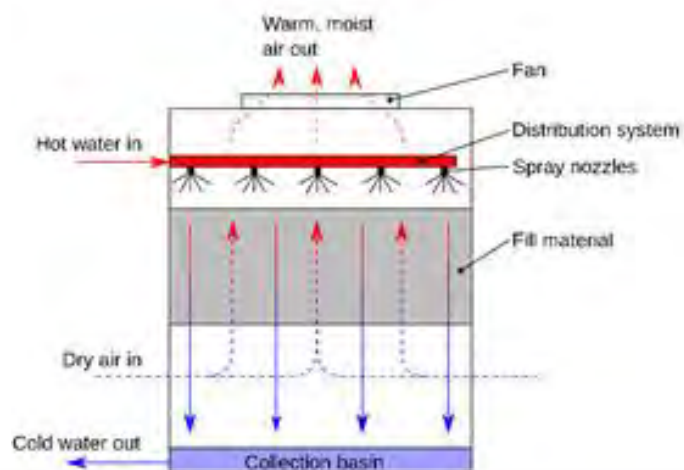
คูลลิ่งทาวเวอร์ หรือ หอทำน้ำเย็นแบบอากาศและน้ำเคลื่อนที่ตัดกัน (Cross Flow) โดยน้ำจะเคลื่อนที่ผ่านแผงกระจายละอองน้ำ (Filler) ในแนวตั้ง และ อากาศจะเคลื่อนที่ผ่านในแนวนอน ข้อดีคือเกิดความต้านทานการเคลื่อนที่ของอากาศน้อยกว่า และ ใช้แรงม้าของพัดลมน้อยกว่า แต่ประสิทธิภาพในการระบายความร้อนไม่สูงมาก จึงนิยมใช้ระบายความร้อนปริมาณปานกลาง ดังรูป 2.4



รูปที่ 2.4 หอทำน้ำเย็นแบบอากาศ

อ้างอิง <https://www.squarecooling.co.th/index.php/th/2018-06-26-04-48-39>

คูลลิ่งทาวเวอร์ หรือ หอทำน้ำเย็นแบบอากาศเคลื่อนที่สวนกับน้ำ (Counter Flow) โดยน้ำจะเคลื่อนที่ผ่านแผงกระจายน้ำละอองน้ำ (Filler) ในแนวตั้ง และ อากาศจะเคลื่อนที่สวนขึ้นกับการเคลื่อนที่ของน้ำ จึงก่อให้เกิดความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของอากาศมากกว่า แต่ประสิทธิภาพในการระบายความร้อนของน้ำ และ อากาศเป็นไปได้ดีกว่า ดังรูป 2.5



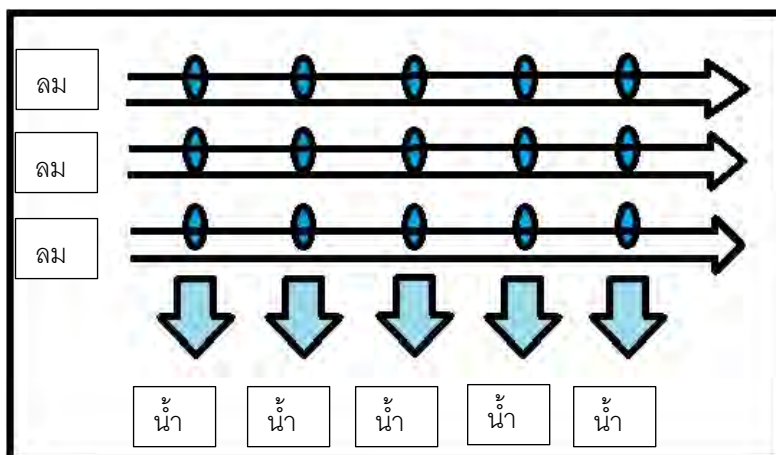
รูปที่ 2.4 หอทำน้ำเย็นแบบอากาศเคลื่อนที่สวนกับน้ำ

อ้างอิง <https://www.squarecooling.co.th/index.php/th/2018-06-26-04-48-39>

2.3 ระบบจ่ายน้ำ (The water - Distribution)

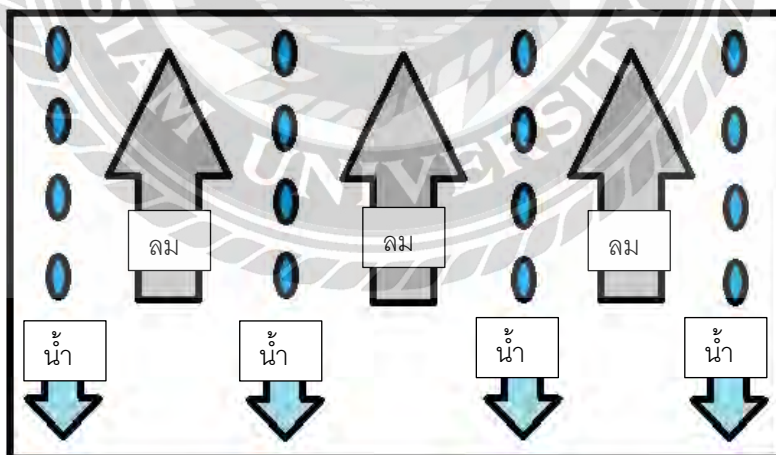
ระบบจ่ายน้ำร้อนที่ออกมาจากเครื่องควบคุมบริเวณเหนือฝ้าคิง หรือ ชุดระบายความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิน้ำให้ต่ำลง และ นำกลับไปใช้ในเครื่องควบคุมต่อไปอาจแบ่งได้ 3 ชนิดดังนี้

2.3.1 การจ่ายโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง (Gravity Distribution) เป็นระบบจ่ายน้ำหลักที่ใช้หอระบายความร้อนแบบการไหลตัดกัน (Cross Flow) คือ ทิศทางของกระแสลมไหลตัดกับทิศทางของกระแสของน้ำ ดังรูปที่ 2.6 ประกอบด้วยหอน้ำร้อนไหลขึ้นในแนวตั้งซึ่งใช้ป้อนน้ำเข้าไป ในอ่างคอนกรีต และ น้ำจะไหลโดยแรงโน้มถ่วง

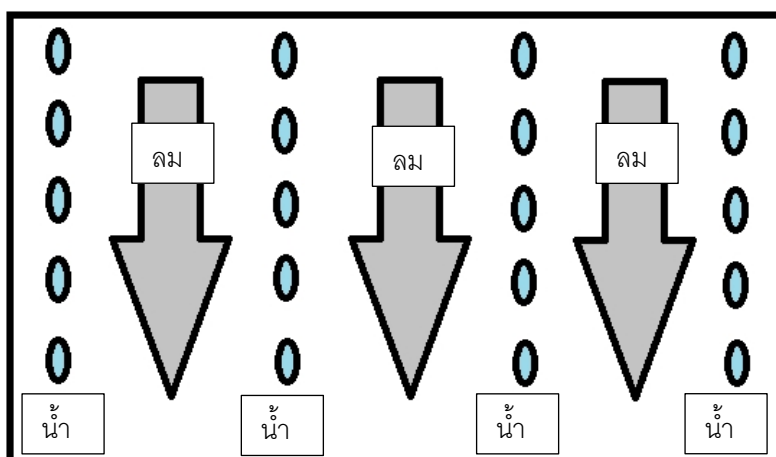


รูปที่ 2.6 แสดงหอระบายความร้อนแบบไหลตัดกัน (Cross Flow)

2.3.2 การจ่ายแบบสเปรย์ (Spray Distribution) เป็นระบบจ่ายน้ำหลักที่ใช้กับหอหล่อเย็น โดยการไหลสวนทางกัน (Counter flow) คือ ทิศทางของกระแสลมไหลสวนทางกับละอองน้ำ ดังรูปที่ 2.7 หรือหอระบายความร้อนแบบการไหลตามกัน (Parallel flow) คือ ทิศทางของกระแสลมไหลตามกันกับทิศทางของละอองน้ำ ดังรูปที่ 2.8 ประกอบด้วยท่อติดหัวฉีดวางขวาง บริเวณเหนือตัวแพ็คคิง เพื่อสเปรย์น้ำลงด้านล่าง



รูปที่ 2.7 แสดงหอระบายความร้อนแบบไหลสวนทาง (Counter Flow)



รูปที่ 2.8 แสดงกระจายความร้อนแบบไหลไหลตามกัน (Parallel Flow)

2.3.3 การจ่ายแบบหมุน (Rotary Distribution) ประกอบด้วยท่อหัวจ่ายแบบร่อง 2 - 6 ท่อ โดยให้สมดุลกันหมุนรอบศูนย์กลางท่อ ซึ่งน้ำไหลผ่านมาจากด้านล่างภายใต้ความดัน โดยร่องจะชี้ลงด้านล่างเฉียงไปด้านข้างเล็กน้อยเพื่อให้น้ำที่ออกมาทำมุม และ เกิดแรงปฏิกิริยา ในการหมุนของท่อที่ความเร็วรอบ 25-30 รอบ/นาที โดยความเร็วของการหมุนสามารถ เปลี่ยนแปลงได้ด้วยการปรับมุมของร่องจ่ายน้ำ ซึ่งจะใช้กับกระจายความร้อน แบบการไหลสวนทางกัน (Counter Flow)

2.4 แพ็คกิ้ง

“แพ็คกิ้ง” (Packing) เป็นหัวใจของระบบระบายความร้อนเป็นตัวที่ช่วยทำให้การสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศในการระบายความร้อนเป็นไปด้วยดี มีอัตราการถ่ายเทความร้อน และ มวลสูง พร้อมทั้งมีความต้านการไหลของกระแสอากาศต่ำ แพ็คกิ้งที่ใช้ควรมีความแข็งแรงแต่น้ำหนักเบา และ มีความต้านทานกระแสอากาศน้อย โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 แบบ คือ

2.4.1 แบบเปียก (Splash type) ทำจากแหงวัสดุวางเรียงกันเป็นชั้นๆ ซึ่งจะกระจายน้ำ เป็นหยดน้ำหล่นจากชั้นหนึ่งสู่ชั้นถัดไป โดยการวางแหงวัสดุสามารถในหลายลักษณะเช่นเป็นช่วงแคบ ๆ เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือ ตะแกรงอาจเป็นวัสดุเรียบ หรือ ขรุขระและทำจากวัสดุ หลากหลาย เช่น ไม้แดง โพลีไสตรีน หรือโพลีเอทิลีนรับแรงกระแทกได้สูง

2.4.2 แบบฟิล์ม (Film type) ปกติทำจากแผ่นตั้งซึ่งมีพื้นที่ผิวดูดซับที่ขรุขระซึ่งจะช่วยให้ผนังเปียกได้ทั่วถึง และ ทำให้น้ำที่ไหลลงมาเป็นฟิล์มเกาะติดกับผิวของผนังได้ดี การกระทำเช่นนี้ช่วยให้พื้นผิวน้ำสัมผัสอากาศได้มากโดยไม่ต้องกระจายน้ำเป็นหยดน้ำ หรือ ละอองน้ำลักษณะของแบบฟิล์มมีความต้านทานกระแสอากาศต่ำกว่า และ ต้องการความสูงรวมน้อยกว่าแบบเปียกด้วย ดังรูปที่ 2.9 และ 2.10



รูปที่ 2.9 แสดงชนิดของแพ็คกิ้งแบบเปียก
อ้างอิง <https://th.tianjinlatino.com/product/fill-pack>

รูปที่ 2.10 แสดงชนิดของแพ็คกิ้งแบบฟิล์ม
อ้างอิง <https://www.shorturl.asia/GxBTu>

2.5 ถังรับน้ำ (Collection Basin)

น้ำที่ถูกลดออกมาจากส่วนกระจายน้ำ และ ตกผ่านแผงกระจายละอองน้ำ ทำการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศแล้วตกลงสู่บริเวณถังรับน้ำซึ่งจะกักเก็บน้ำไว้เพื่อถ่ายเทส่งกลับไปเข้าระบบปรับ อากาศอีกครั้งหนึ่ง ตัวความจุของถังรับน้ำก็นับว่าเป็นสิ่งสำคัญเพราะจะต้องมีปริมาณมากเพียงพอที่จะทำให้การถ่ายเทของน้ำเป็นไปตามอัตราที่ถูกต้องโดยไม่เกิดการไหลล้นออกนอกตัวหอหล่อเย็น ส่วนใหญ่วัสดุที่ใช้ทำตัวถังรับน้ำจะเป็นวัสดุชนิดเดียวกับที่ตัวถังนั่นเอง

2.6 ส่วนทำให้อากาศเคลื่อนไหว (Air Movement System)

ส่วนนี้ทำให้เกิดความเคลื่อนไหวของอากาศเข้ามาสัมผัสกับน้ำเพื่อเกิดแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งการทำระบบการเคลื่อนไหวของอากาศนี้ก็แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทดังที่ได้กล่าวไปแล้วก็คือระบบเป่าอากาศเข้า และ ระบบดูดอากาศออก ระบบสร้างความเคลื่อนไหวของอากาศจะต้อง ประกอบด้วยตัวพัดลม และ ตัวมอเตอร์ขับเคลื่อน ตัวใบพัดมักจะเป็น Propeller Fan ซึ่งมักพบเห็นกัน อยู่ทั่วไป และ Centrifugal Fan สำหรับตัวโพรเพลเลอร์ มีข้อดีตรงที่สามารถดูดหรือเป่าอากาศ ได้เป็นปริมาณมากกว่า แต่มี Static Pressure ต่ำ ส่วนตัว centrifuge fan มีข้อดีตรงที่มีความดันสถิตย์สูง กว่า เราจึงสามารถที่จะต่อท่อลมออกจากส่วนบนของหอหล่อเย็น และ นำไปปล่อยไกลๆ ได้ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากสำหรับหอหล่อเย็นชนิดติดตั้งในอาคารซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในภายหลัง ต่อไปสำหรับพัดลมแบบโพรเพลเลอร์นั้นจะมีที่ใช้อยู่กับหอหล่อเย็นของไต้หวันหรืออเมริกาซึ่งเป็น ชนิดดูดอากาศออก ส่วนพัดลมชนิดเซ็นทริฟูจิลนั้นจะมีใช้อยู่กับหอหล่อเย็นของยุโรป ซึ่งจะมีลักษณะ เป็นแบบเป่าอากาศเข้าระบบส่งกำลังระหว่างมอเตอร์กับพัดลม ซึ่งจะมีการขับเคลื่อนโดยตรง หมายความว่ามีการต่อแกนเพลลาของมอเตอร์ไปยังแกนพัดลมโดยตรง ซึ่งมีข้อดีก็คือว่าจะไม่มีการสูญเสียการถ่ายเทกำลังจากมอเตอร์ไปยังพัดลมแต่ก็จะมีข้อเสียคือตัวมอเตอร์จะต้องเข้ามาอยู่ในกระแสอากาศ (Air Stream) และโดยเฉพาะหอหล่อเย็นชนิดดูดอากาศออกแล้วจะมีกระแสลมที่ร้อนและชื้นพัดผ่านตัว ใบพัดลม ดังนั้นการที่ใช้มอเตอร์เป็นแบบขับเคลื่อนโดยตรงจะก่อให้เกิดการกักความร้อนขึ้นกับตัว มอเตอร์และพวกแบร์ริงต่างๆ ได้ส่วนระบบส่งกำลังที่มีตัวช่วยส่งกำลังนั้นจะแบ่งได้เป็นสองประเภท คือ ใช้ขับเคลื่อนด้วยสายพาน และ ขับเคลื่อนด้วยเกียร์ ซึ่งระบบขับเคลื่อนด้วยเกียร์จะมีความแน่นอน และมีความสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่า แต่ก็จะมีราคาแพงกว่า ส่วนระบบขับเคลื่อนด้วยสายพานนั้น จะสิ้นเปลืองพลังงานสูงกว่า และมีโอกาสที่สายพานจะลื่นหลุดออกไปได้ สำหรับหอหล่อเย็นที่ทำ จากไต้หวันมักจะใช้การขับใบพัดโดยตรง ส่วนหอหล่อเย็นจากอเมริกาจะมีการใช้การส่งกำลังด้วยเกียร์ แต่จะเป็นลักษณะของทางเลือกมากกว่าเนื่องจากจะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นอีกมาก ส่วนการใช้การ ส่งกำลังด้วยสายพานมักจะใช้กับหอหล่อเย็นประเภทเป่าอากาศเข้า และ สำหรับตัววัสดุที่ใช้ทำใบพัด ไม่ว่าจะเป็นหอหล่อเย็นที่ผลิตจากประเทศไหนก็มักจะใช้โลหะผสมอะลูมิเนียมหล่อ



รูปที่ 2.11 แสดงพัดลมโบลเวอร์

อ้างอิง https://www.masterkool.com/service/?page_id=999

2.7 เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor)

การตรวจวัดอุณหภูมิใช้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าจากสัญญาณอนาล็อก ไปสู่สัญญาณดิจิทัล โดยสัมพันธ์กับอุณหภูมิ โดยมีรูปแบบใหญ่ๆ ของ เซนเซอร์ อยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ

1 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouples) เป็นอุปกรณ์เบื้องต้นในการวัดอุณหภูมิซึ่งสามารถเก็บอุณหภูมิได้ 273 องศาเซลวิน วัสดุที่ใช้ ทำเทอร์โมคัปเปิล เป็นวัสดุที่มีคุณภาพทำให้ระดับ แรงดันไฟฟ้าที่ได้มีความถูกต้องสูงอย่างไรก็ตามปัญหาของเทอร์โมคัปเปิล ที่ทำให้ยากต่อการใช้งาน

2 Resistance thermometers ลดข้อเสียของ thermocouple บางอย่างลงไป และสามารถปรับแต่งจุดอ้างอิงที่ใด ก็ได้ (ไม่จำเป็นต้องไปทำที่องค์กร เหมือน เทอร์โมคัปเปิล) แต่ข้อเสียคือจุดอ้างอิงไม่ได้มาตรฐาน

3 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) ค่าความต้านทานภายในมีความไวต่อการวัดอุณหภูมิอย่างมาก ซึ่งข้อดีของเทอร์โมมิเตอร์คือสัญญาณกว้างไม่ต้องการการอ้างอิงแต่ข้อเสียคือค่าที่ได้ไม่ถูกต้องหรือแน่นอนซึ่งค่าความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับความต้านทานเป็นความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้น

2.8 ปริมาณน้ำที่สูญเสียจากหอบายความร้อน

สำหรับการใช้งานของหอบายความร้อนปริมาณน้ำที่ ต้องสูญเสียออกจากระบบมีอยู่ตลอดเวลา ซึ่งเราจำเป็นต้องหาปริมาณน้ำในการชดเชยให้มีปริมาณคงที่ สาเหตุที่ทำให้ในหอบายความร้อนสูญเสียมี 3 สาเหตุ ดังนี้

2.8.1 การสูญเสียปริมาณน้ำเนื่องจากการระเหย (Evaporation loss) เป็นการสูญเสีย เฉพาะน้ำอย่างเดียว ปริมาณน้ำที่สูญเสียไปนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำกับ อากาศซึ่งเกิดจากปริมาณความร้อนในน้ำทำให้น้ำระเหยตัวกลายเป็นไอไปสู่อากาศ และ ทำให้น้ำส่วนที่เหลือเย็นตัวลงน้ำที่สูญเสียนี้ปริมาณ 1% ของปริมาณน้ำที่หมุนเวียนทุกๆ 10 องศา เซลเซียส ของการลดอุณหภูมิที่ผ่านหอบายความร้อน ดังสมการ

$$LPM = \frac{TR \times \Delta t}{560} \times 3.78 \quad (2.1)$$

โดยที่ LPM_b = ปริมาณน้ำที่ระเหยไป (GPM)
 TR = ปริมาณการทำความเย็น (Ton)
 Δt = Temperature Range ($t_1 - t_2$)(°C)

ค่า TR สามารถเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับ 15,000 BTU/hr ของความร้อนที่ดึงออกจากน้ำ ดังนี้

$$1 \text{ TON} = 15000 \text{ BTU}$$

$$\text{hr} = 3 \text{ GAL.}$$

$$\text{MIN} \times 8.33 \text{ lb}$$

$$\text{GAL.} \times 60 \text{ MIN}$$

$$\text{hr} = 1 \text{ BTU}$$

$$\text{lb } ^\circ\text{F} \times 10 \text{ (Range) } ^\circ\text{F}$$

2.8.2 การสูญเสียปริมาณน้ำเนื่องจากลม (Drift Loss)

เป็นการสูญเสียลักษณะการฉีก น้ำเป็นฝอยละอองหมายถึง หยดน้ำขนาดเล็กๆ จะถูกพาไปลมที่ถูกดูดออกจากหอบายความร้อน ปริมาณน้ำที่สูญเสียอาจไม่แน่นอนนอกจากน้ำที่ถูกพาไปโดยลมแล้ว

ยังมีตัวแร่ธาตุที่ละลาย อยู่ในน้ำก็จะถูกพาไปด้วยซึ่งแตกต่างจากการสูญเสียน้ำโดยการระเหย ส่วนปริมาณน้ำที่หอบไป อาจขึ้นอยู่กับขนาดของหอบระบายความร้อน น้ำที่สูญเสียโดยวิธีนี้จะช่วยลดปริมาณความเข้มข้น ของสารละลายในน้ำด้วย ปริมาณน้ำที่สูญเสียอาจใช้ตัวเลขประมาณของปริมาณน้ำหมุนเวียน

(ดังตารางที่ 2.12) ซึ่งปริมาณน้ำที่หมุนเวียนหรืออัตราการไหลของน้ำ (Q) ได้จาก
ควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่จุดต่างๆ

อุปกรณ์ระบายความร้อน	ปริมาณน้ำสูญเสียโดยพัดลมหรือกระเซ็น (% ของปริมาณน้ำหมุนเวียน)
1. สระน้ำ	1.0 ถึง 5.0
2. หอระบายความร้อนระบายอากาศตามธรรมชาติ	0.3 ถึง 1.0
3. หอระบายความร้อนระบายอากาศโดยวิธีกล	0.1 ถึง 0.3
4. คอนเดนเซอร์ น้ำระเหยตัว	0 ถึง 0.1

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงตัวเลขของปริมาณน้ำสูญเสียโดยพัดลมหรือกระเซ็น

2.8.3 ปริมาณน้ำจากการระบายน้ำทิ้ง (Blow Down) ปริมาณที่สูญเสียโดยเจตนาเพื่อลดตะกอนและความเข้มข้นของสารละลาย ในน้ำสะสมให้น้อยลงแล้วเติมใหม่ ซึ่งมีปริมาณ ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำน้อยกว่าการเข้าไปแทนที่ โดยพิจารณาได้จากวัฏจักรความเข้มข้น (2.2) :
Concentration) ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำระเหยกับปริมาณน้ำ ถูกพัดพาที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ทั้งหมดของน้ำหมุนเวียน

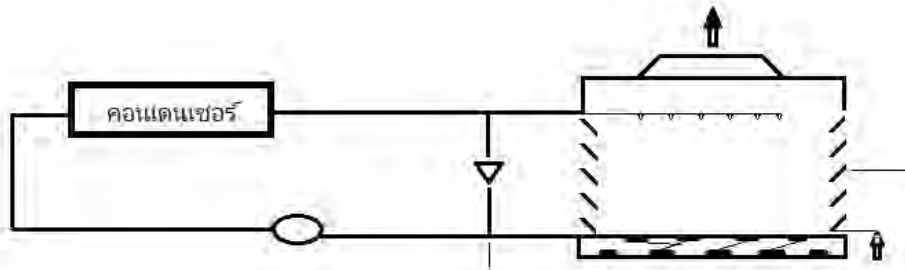
$$C (\text{Cycle of concentration}) = \frac{LPM_e + LPM_b + LPM_w}{LPM_b + LPM_w}$$

$$\text{โดยที่ } LPM_{bw} = LPM_b + LPM_w$$

$$C = \frac{LPM_e + LPM_{bw}}{LPM_{bw}}$$

$$C = \frac{LPM_e}{LPM_{bw}} + 1$$

$$C = \frac{LPM_e}{C - 1}$$



รูปที่ 2.12 แสดงไดอะแกรมน้ำที่หมุนเวียนซึ่งกับระบบ

สมการแสดงปริมาณน้ำเติมในระบบทั้งหมด

$$\text{Make up (LPM}_m) = \text{LPM}_e + \text{LPM}_w + \text{LPM}_b \quad (2.3)$$

โดยที่ $C =$ วัฏจักรความเข้มข้น

Make up (LPM_m) = ปริมาณน้ำเติมทั้งหมด (LPM)

$Q_w =$ ปริมาณน้ำหมุนเวียนในระบบหรืออัตราการไหลของน้ำ (LPM)

(LPM_e) = ปริมาณน้ำสูญเสียจากการระเหย (LPM)

(LPM_w) = ปริมาณน้ำสูญเสียจากลมพัดพา (LPM)

(LPM_b) = ปริมาณน้ำสูญเสียจากรบายทิ้ง (LPM)

2.9 ค่าที่ได้จากหอบายความร้อน

2.9.1 ค่าที่ได้จากการทดลอง

โดยสามารถอ่านจากเครื่องมือวัดให้ข้อมูลดังนี้

2.9.1.1 อุณหภูมิของน้ำ (Water Temperature) โดยแสดงผลการทดลองของอุณหภูมิ แต่ละช่วง แบ่งเป็น 6 ช่วง ค่าที่ได้ t_1 , t_{p1} , t_{p2} , t_{p3} , t_2

2.9.1.2 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature) คืออุณหภูมิของอากาศที่วัด ได้จากเทอร์โมมิเตอร์ธรรมดาหรือเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งบริเวณผิวหน้าของเครื่องมือวัดไม่เปียกน้ำ

2.9.1.3 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature) คืออุณหภูมิของอากาศที่ วัดโดยเทอร์โมมิเตอร์ที่มีผ้าโปร่งที่เปียกชุ่มกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์ไว้ การระเหยของน้ำทำให้ อากาศอ้อมตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน โดยวัดที่ท่อทางอากาศเข้า – ออกของ แพ็คกิ้ง (Packing)

จะได้ t_{w1} , t_{w2}

2.9.1.4 อัตราการไหลของน้ำ (Water Flow Rate , Q) ได้จาก Flow Meter ซึ่งวัดและ ควบคุมอัตราการไหลของน้ำ

2.9.1.5 ความดันเนื่องจากความเร็วของอากาศ (Velocity Pressure, P_v) ได้จาก Manometer เป็นตัวแสดงผล

2.9.2 ค่าที่ได้จากการคำนวณ

ค่า Temperature Range คือค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า กับอุณหภูมิน้ำออกดัง สมการ

$$\Delta t = t_1 - t_2 \quad (2.4)$$

โดย t_1 = อุณหภูมิของน้ำเข้าหอบายความร้อน (°C)

t_2 = อุณหภูมิของน้ำออกจากหอบายความร้อน (°C)

ค่า Approach Temperature คือค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำออกกับ อุณหภูมิ กระเปาะของอากาศที่เข้าหอบายความร้อน ดังสมการ

$$\text{Approach} = t_2 - t_{w1} \quad (2.5)$$

โดย t_2 = อุณหภูมิของน้ำออกหอบายความร้อน (°C)

t_{w2} = อุณหภูมิกระเปาะของอากาศเข้าหอบายความร้อน (°C)

ความดันไอน้ำในอากาศ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P_s = \left(P_{sw} - \frac{P_{atm} + P_{sw}}{2800 + 1.3t_w} \right) (t_d - t_w) \quad (2.6)$$

โดยที่ P_s = ความดันไอน้ำในอากาศ (kPa)

P_{atm} = ความดันบรรยากาศ=101.3 (kPa)

t_d = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ (°C)

t_w = อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ (°C)

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Relative Humidity)

$$\phi = \left(\frac{P_s}{P_{sd}} \right) 100 \quad (2.7)$$

โดยที่ ϕ = ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (%)

P_s = ความดันไอน้ำในอากาศ (kPa)

P_{sd} = ความดันไอน้ำที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (kPa)

ความดันของอากาศแห้ง

จาก Dalton's Law

$$P_{atm} = P_a + P_s \quad (2.8)$$

ดังนั้น $P_a = P_{atm} - P_s$

โดยที่ P_a = ความดันอากาศแห้ง (kPa)

P_{atm} = ความดันบรรยากาศ (kPa)

P_s = ความดันไอน้ำของอากาศ (kPa)

ความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity)

$$W = 0.622 \left(\frac{P_s}{P_a} \right) \quad (2.9)$$

โดยที่ W = ความชื้นจำเพาะ (kg/kg_{dry air})

P_s = ความดันไอน้ำของอากาศ (KPa)

P_a = ความดันอากาศแห้ง (KPa)

อัตราการไหลของน้ำ (Water Flow Rate)

(1 gallon = $3.785 \times 10^{-3} \text{ m}^3$)

(1 GPM = 0.063 lps)

มวลการไหลของน้ำ (Water mass Flow Rate)

$$\dot{m}_w = \rho \cdot Q_w \quad (2.10)$$

โดยที่ \dot{m}_w = มวลการไหลของน้ำ (kg/s)

ρ = ความหนาแน่นของน้ำประมาณ 1000 (Kg/m³)

Q_w = อัตราการไหลของน้ำ (m³/s)

อัตราการไหลของอากาศ (Air Flow Rate)

การวัดอัตราการไหลของอากาศนี้ใช้ Pitot Tube เป็นอุปกรณ์ในการวัดความเร็วและแสดงออกมาในรูปของความดันสามารถอ่านค่าได้จากมานมิเตอร์ (Manometer) ดังสมการ

$$V = 4006 \times \sqrt{P_v} \quad (2.11)$$

โดยที่ V = ความเร็วของอากาศ (ft/min)

P_v = ความดันเนื่องจากอากาศเร็วอากาศ (in.H₂O)

$Q_a = AV$

โดยที่ Q_a = อัตราการไหลของอากาศ (m³/s)

A = พื้นที่หน้าตัดของท่อ m^2

V = ความเร็วของอากาศ (m/s)

มวลการไหลของอากาศ (Air mass Flow Rate)

$$\dot{m} = \rho \cdot Q_a \quad (2.12)$$

โดยที่ \dot{m}_a = มวลการไหลอากาศ (kg/s)

ρ = ความหนาแน่นของน้ำประมาณ (kg/s)

Q_a = อัตราการไหลของอากาศ (m^3/s)

การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของน้ำ (Water Enthalpy Change)

$$\Delta h_w = \dot{m}_w \cdot C_p (t_1 - t_2) \quad (2.13)$$

โดยที่ \dot{m}_w = มวลการไหลของน้ำ (kg/s)

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำประมาณ 4.18 kJ/kg . K

t_1 = อุณหภูมิของน้ำเข้าหอบายความร้อน ($^{\circ}C$)

t_2 = อุณหภูมิของน้ำออกจากหอบายความร้อน ($^{\circ}C$)

การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของอากาศ (Air Enthalpy Change)

$$\Delta h_w = m(h_1 - h_2) \quad (2.14)$$

โดยที่ m_a = มวลของอากาศ (kg/s)

h_1 = เอนทัลปีจำเพาะของอากาศที่เข้าหอบาย (kJ/kg)

h_2 = เอนทัลปีจำเพาะของอากาศที่ออกจากหอบาย (kJ/kg)

ปริมาณความร้อนที่น้ำสูญเสียไป (Q)

$$Q = \dot{m}_w \cdot c_p \cdot (T_{in} - T_{out})$$

\dot{m}_w = อัตราการไหลของน้ำ (กก./วินาที)

C_p = ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ $\approx 4.186 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$

T_{in}, T_{out} = อุณหภูมิน้ำขาเข้าและขาออก

ปริมาณน้ำที่ระเหย

$$\dot{m}_e = \frac{Q}{h_{fg}}$$

h_{fg} = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำ ($\approx 2260 \text{ KJ/Kg}$)

$$\dot{m}_e = \frac{10.046}{2260}$$

$$\dot{m}_e = 0.00445 \text{ Kg/s}$$

ประสิทธิภาพของหอหล่อเย็น η

$$\eta = \frac{T_{in} - T_{out}}{T_{in} - T_{wb}} \cdot 100$$

T_{wb} = อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ

$$\eta = \frac{50 - 42}{50 - 26} \cdot 100$$

$$\eta = 33.333 \%$$

ค่าช่วง(Range) และ ค่าความต่างเข้าใกล้ (Approach)

Range (ช่วงการเย็น)

$$\text{Range} = T_{in} - T_{out}$$

Approach (เข้าใกล้อุณหภูมิอากาศ)

$$\text{Approach} = T_{out} - T_{wb}$$

2.10 เทคนิคต่างๆ เกี่ยวกับหอบหายใจความชื้น

2.10.1 การควบคุมคุณภาพของน้ำ

จะเห็นว่าได้ระบบน้ำหมุนเวียนผ่านหอบหายใจความชื้นเป็นระบบเปิด คือ เป็นระบบที่เปิดออกสู่อากาศ และ มีการสูญเสียปริมาณน้ำ ซึ่งต้องเติมน้ำปริมาณหนึ่งเข้ามาตลอดเวลา จึงเป็นระบบที่เกิดการสูญเสียน้ำได้หลายประการนั่นก็คือ การที่มีปริมาณน้ำสูญเสียบอกไปจากระบบไม่ว่าจะเป็นจากการระเหยตัวของน้ำ หรือ การที่น้ำถูกพัดพาไปตามน้ำที่ระเหยตัวออกไปนั้นก็จะทิ้งแร่ธาตุเหลืออยู่ในตัวหอบหายใจความชื้น เช่นเดียวกับการต้มน้ำที่มีตัวแร่ธาตุจับกันนั่นเอง การที่มีปริมาณน้ำระเหยไป และ มีการทิ้งแร่ธาตุอยู่เช่นนี้ จะทำให้มีการสะสมของแร่ธาตุใน ปริมาณที่เพิ่มขึ้นซึ่งจำเป็นจะต้องได้รับการขจัดและแก้ไข มิฉะนั้นจะเป็นตัวทำให้เกิดตะกรันและการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปัญหาอีกทางด้านหนึ่งก็คือ เมื่อมีการสูญเสียน้ำไปก็จะต้องมีการเติมน้ำเข้ามาแทนที่ โดยการเติมน้ำเข้าแทนที่ก็จำเป็นจะต้องควบคุมคุณภาพของน้ำที่เติมเข้ามา มิฉะนั้นก็จะเป็นการเพิ่มปริมาณแร่ธาตุ และ เพิ่มปัญหาให้กับหอบหายใจความชื้นมากขึ้น วิธีการควบคุมปริมาณความเข้มข้นของสารละลายที่มีอยู่ในน้ำที่หมุนเวียนในหอบหายใจความชื้นก็คือ การระบายน้ำบางส่วนทิ้งไปเพื่อให้ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายน้อยลงในขณะเดียวกันก็ต้องควบคุมปริมาณของน้ำที่เติมเข้ามาให้มีสารละลายต่าง ๆ น้อยเพื่อเข้ามาเจือจางน้ำที่มีอยู่ในปริมาณสารละลายอยู่ ให้มีความเข้มข้นเฉลี่ยน้อยลง

ปัญหาของหอบหายใจความชื้นที่เกิดขึ้นกับน้ำที่หมุนเวียนในระบบนับว่าเป็นเรื่องที่ซับซ้อนและจำเป็นที่ต้องศึกษาโดยละเอียด ซึ่งไม่สามารถจะกล่าวให้ครอบคลุมในทุกแง่มุมในบทความนี้ จึงจะขอกล่าวถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจากน้ำแต่เพียงสังเขปดังต่อไปนี้

2.10.1.1 การเกิดตะกรันหรือสารจำพวกหินปูนซึ่งเป็นสารที่เรียกว่า คัลเซียมคาร์บอเนตจับอยู่ตามผิวภายในหอบหายใจความชื้น ซึ่งจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดน้อยลง และ นอกจากนั้นก็เป็นตัวต้านทานต่อการไหลของน้ำ ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาเข้าไปถึงภายในท่อที่ต่อระหว่างหอบหายใจความชื้นกับตัวคอนเดนเซอร์ด้วยเพราะทำให้ท่อถูกจับเคลือบด้วยหินปูนเหล่านี้จึงมีเนื้อที่ภายในท่อน้อยลงและบางครั้งอาจจะเกิดปัญหาถึงขั้นท่ออุดตันก็เป็นไปได้ ตัวตะกรันนอกจากจะเกิดขึ้นจากคัลเซียมคาร์บอเนตแล้วบางครั้งอาจจะเกิดขึ้นจากคัลเซียมคาร์บอเนต และ คัลเซียมซัลเฟตเจือปนอยู่ด้วยส่วนสาเหตุที่เกิดตัวคัลเซียมคาร์บอเนตได้เป็นเพราะสาเหตุดังต่อไปนี้

- ก. น้ำมีลักษณะเป็นต่างมากเกินไป
- ข. มีตัวเกลือคัลเซียมละลายอยู่ในน้ำเป็นจำนวนมาก
- ค. น้ำกระด้าง
- ง. น้ำมีอุณหภูมิสูงจึงทำให้ตัวเกลือคัลเซียมคาร์บอเนตไม่สามารถ ละลายน้ำได้อีกต่อไป จึงคาด ตกตะกอนออกมาจากตัวน้ำ
- จ. มีสารแข็งละลายเจือปนอยู่ในน้ำมาก

นอกเหนือจากการเจอปัญหาเรื่องตะกอนแล้ว ยังมีปัญหาเนื่องจากการเกิดสนิม และการผุกร่อนรวมทั้งการเกิดสารจุลชีพด้วยซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.10.1.2 การเกิดสนิม และ การผุกร่อนมีสาเหตุได้หลายประการ เช่น ตัวออกซิเจนที่แทรกอยู่ในน้ำเป็นตัวทำให้เกิดสนิมเพราะฉะนั้นอุณหภูมิของน้ำหมุนเวียนที่สูงก็จะเป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยามากยิ่งขึ้น สาเหตุอื่น ๆ ก็ยังมี เนื่องด้วยมีพวก ควัน หรือ ก๊าซซึ่งอยู่ในอากาศได้ผ่านเข้ามาในหორบายความร้อน และ ถูกชะเป็นกรดซึ่งจะเข้าไปกัดกร่อนตรงส่วนที่เป็นโลหะของหอรบายความร้อน นอกจากนั้นก็ยังมีปัญหาเกี่ยวกับพวกสารละลายต่าง ๆ ที่ทำให้ตัวน้ำมีภาวะความเป็นต่าง นั่นคือมี pH ต่ำกว่า 6.7 หรือ 7 ซึ่งมีภาวะเป็นกลางมากเกินไป เมื่อเกิดการผุกร่อนแล้วก็จะทำให้ชิ้นส่วนของหอรบายความร้อนกร่อนเป็นสนิมหลุดหายไป โดยเฉพาะชิ้นส่วนของหอรบายความร้อนที่เป็นโลหะ เช่น ตัวน็อตยึดต่าง ๆ ก็จะมีปัญหาได้มากโดยเฉพาะเมื่อความเร็วของน้ำในท่อสูง ก็จะทำให้เกิดการชะทำให้ตัวชิ้นส่วนเหล่านี้หลุดลอยไป ซึ่งทำให้ตัวผนังต่าง ๆ ชิ้นส่วนต่าง ๆ บางลง

2.10.1.3 การเกิดสารจุลชีพซึ่งมักจะเกิดขึ้นในตัวอ่าง ตัวสารจุลชีพจะเป็นพวกสาหร่าย ตะไคร่น้ำ หรือ ฟีซิ่นซึ่งเป็นสารจุลชีพที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และ เติบโตเนื่องจากได้แสงสว่าง และ อากาศโดยเฉพาะสาหร่ายจะทำการสังเคราะห์แสง และ ปล่อยออกซิเจนออกมาซึ่งเป็นตัวเร่งให้เกิดการกัดกร่อนมากยิ่งขึ้น หรือ มิฉะนั้นก็จะมีพวกแบคทีเรียในน้ำซึ่งจะเกาะกุ่มกันเป็นตะไคร่น้ำ ซึ่งมักจะเติบโตขึ้นโดยอาศัยพวกสารเคมีที่มีอยู่ในน้ำ เช่น จำพวกเกลือซัลเฟต หรือ เหล็ก ซึ่งทำให้ส่วนประกอบของสารเคมีเดิมที่มีไว้เพื่อป้องกันการผุกร่อนเสื่อมสภาพไป นอกจากนี้ก็ยังมีพวกเห็ดรา ซึ่งไม่ใช่ตัวที่สังเคราะห์แสงเองได้จึงต้องเป็นตัวที่เกาะกับชิ้นส่วน โดยเฉพาะพวกไม้ และ หอรบายความร้อนที่มีไม้เป็นส่วนประกอบก็จะเกิดการเสื่อมสภาพ โดยเฉพาะถ้าไม้ชิ้นนั้นไม่ได้อาบน้ำยา หรือ อัดน้ำยาเอาไว้ก็จะเกิดการเสื่อมสภาพด้วยนอกเหนือจากพวกสารจุลชีพเหล่านี้แล้วก็อาจจะมีพวกโคลนฝุ่นละอองต่าง ๆ ที่ถูกนำมาที่กระแสบรรเทาอากาศ

ถูกพัดพาผ่านเข้าไปในหอระบายความร้อนด้วย ซึ่งไม่ว่าจะเป็นพวกโคลนหรือสารจูลซีฟเหล่านี้ก็จะเกิดปัญหากับระบบน้ำหมุนเวียนภายใน เพราะมันอาจจะหลุดออก และ ลอยเข้าไปในท่อน้ำที่มีการหมุนเวียนทำให้เกิดการขัดขวางต่อการหมุนเวียนของน้ำ และ การถ่ายเทความร้อน

2.10.2 การแก้ปัญหาที่เกิดจากน้ำมีได้หลายวิธีด้วยกันซึ่งบางวิธีแก้ได้เฉพาะเพียงปัญหาเดียว หรือ อาจจะแก้ปัญหารวม ๆ กันไปก็ได้ซึ่งมีด้วยกันดังต่อไปนี้

2.10.2.1 การแก้ปัญหาในด้านตะกอนจะต้องอาศัยวิธีควบคุมน้ำให้มีสภาพเป็น กรดชนิดๆ เพื่อไม่ให้เกิดตะกอนคัลเซียมคาร์บอเนตขึ้นมา แต่ขณะเดียวกันก็ต้องควบคุมไม่ให้เกิดสภาพเป็นกรดมากเกินไปมิฉะนั้นจะไปกัดกร่อนโลหะได้ วิธีการป้องกัน คือ การเติมสารเคมีเข้าไปเพื่อควบคุมสภาพน้ำ หรือ เป็นตัวห้ามมิให้คัลเซียมคาร์บอเนตตกตะกอน นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ทางด้านไฟฟ้าอีกประเภทหนึ่งที่มีอยู่หลายยี่ห้อ ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุม และ ป้องกันมิให้สารคัลเซียมคาร์บอเนตนี้ตกตะกอนได้ โดยทำให้มันมีประจุไฟฟ้าที่แตกต่างกับตัวท่อ ดังนั้นสารคัลเซียมคาร์บอเนตเหล่านี้จะแขวนลอยอยู่โดยไม่ตกตะกอน ซึ่งนับได้ว่าเป็นการทำงานที่ได้ผลดีทีเดียว

2.10.2.2 การแก้การผุกร่อนนับว่าเป็นเรื่องยากจะต้องเติมสารเคมีที่ต้านทานการผุกร่อน เช่น พวกโครเมทเข้าไป ตัวโครเมทที่เติมเข้าไปจะทำให้ น้ำที่หมุนเวียนอยู่ในหอระบายความร้อนมีสีเหลืองซึ่งอาจจะก่อให้เกิด ปัญหากับน้ำที่ละอองน้ำกระเซ็น การระบายน้ำทิ้ง ก็จะต้องระมัดระวัง หรือ มิฉะนั้นก็ต้องควบคุม pH ของน้ำที่หมุนเวียนอยู่ในระบบซึ่งเป็นงานที่จะต้องอาศัยการเติมสารเคมีเข้าไปทั้งสิ้น

2.10.2.3 การแก้ปัญหาที่เกิดจากสารจูลซีฟหนัก จะใช้การเติมสารเคมีลงไปฆ่าเชื้อสารจูลซีฟเหล่านี้ ซึ่งอาจจะต้องใส่ลงไปเป็นครั้งคราวตามข้อเสนอแนะของบริษัทผู้ผลิต สารเคมี

สำหรับการแก้ปัญหาของการเกิดตะกอนหรือการเกิดการผุกร่อน หรือ การเกิดสารจูลซีฟ อาจจะสามารแก้ไขได้โดยการเติมสารเข้าไปในน้ำหมุนเวียน ซึ่งบริษัทที่เป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้านนี้จะเป็นผู้เตรียมสารเคมีซึ่งมีส่วนผสมหลาย ๆ อย่างที่จะใช้สำหรับในงานทำหน้าที่แตกต่างกันไป ซึ่งจะป้องกันการเกิดปัญหาทั้ง 3 ข้อนี้ได้ โดยการผสมสารเคมีแต่ละตัวมีคุณสมบัติสำหรับการแก้ปัญหา แต่ละข้อเข้าไว้ด้วยกันแล้วทำการเติมสารเคมีโดยการฉีด (injection) โดย ใช้ปั๊มดูดจากสารละลายเหล่านี้แล้วฉีดเข้าไปในตัวเติมหอระบายความร้อน ส่วนตัวน้ำที่เติมหอระบายความร้อนนั้นก็อาจจะต้องควบคุมคุณภาพของน้ำที่เติมเช่นเดียวกัน ในกรณีที่น้ำนั้นมีคุณภาพไม่ค่อยดี เช่น อาจจะเป็นกรณีที่ห่างไกล และ น้ำที่เติมหอระบายความร้อนจะต้องเป็นน้ำบาดาล

ซึ่งมักจะมีพวกตะกอน และ ตัวคัลเซียมคาร์บอเนตละลายอยู่มากก็จะต้องทำการควบคุมคุณภาพ โดยการทำน้ำกระด้างให้เป็นน้ำอ่อนแล้ว จึงเติมเข้าสู่หอระบายความร้อน แต่สำหรับการใช้งาน ในที่ ที่มีน้ำประปาก็มักจะไม่ต้องควบคุมคุณภาพอะไรมาก อาจจะใช้ใช้น้ำนั้นเติมเข้าไปใน หอระบายความร้อนได้เลย อย่างไรก็ตาม เป็นเรื่องที่จะต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของน้ำที่ จะเติม ดูก่อนว่ามีปริมาณสารละลายที่ละลายอยู่ในน้ำนั้นเป็นปริมาณมากเท่าใด ถ้าเป็นปริมาณ ไม่มากก็อาจจะใช้เติมได้เลย หรือ ถ้ามีปัญหาเนื่องจากสารตัวใดตัวหนึ่งก็อาจจะต้องผ่านเครื่อง กรอง หรือ ผ่านการเติมสารเคมีแก้ปัญหของตัวสารละลายก่อนที่เติมเข้าหอระบายความร้อน ซึ่งเป็นเรื่องที่จะต้องพิจารณาเป็นแต่ละกรณีไป ซึ่งคุณภาพของน้ำที่ใช้ในระบบและน้ำเติมกำหนด ได้

ส่วนในอีกด้านหนึ่งคือการลดความเข้มข้นของสารละลายที่มีอยู่ในหอระบายความร้อน นั้นใช้วิธีการระบายน้ำทิ้ง โดยอาศัยอุปกรณ์ควบคุมที่จะวัดความเข้มข้นของสารละลาย (Conductivity measurement) ซึ่งเมื่อวัดความเข้มข้นแล้วก็จะทำการปิดเปิดวาล์ว อัตโนมัต (Solenoid valve) ซึ่งจะทำให้การระบายน้ำที่ไหลเวียนผ่านหอระบายความร้อนออกไป เป็น ปริมาณตามความต้องการ เพื่อควบคุมความเข้มข้นของสารละลายให้อยู่ในระดับคงที่ ซึ่ง แสดงให้เห็นได้ดังรูปไดอะแกรม

2.10.3 การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของหอระบายความร้อน

การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของหอระบายความร้อนนั้น นับได้ว่าความสำคัญอย่างมากใน การที่จะทำให้หอระบายความร้อนที่ได้รับการออกแบบและเลือกมาอย่างสมบูรณ์เช่นกันในเชิง ปฏิบัติส่วนใหญ่การเลือกตำแหน่งหอระบายความร้อนจะได้รับการกำหนดมาตั้งในชั้น การออกแบบ ซึ่งผู้ที่รับผิดชอบเกี่ยวกับระบบการปรับอากาศควรจะได้มีการปรึกษากับทางด้าน สถาปนิกโครงการอย่างรอบคอบ เพราะว่าตำแหน่งของหอระบายความร้อนไม่เพียงแต่เกี่ยวข้องกับ ประสิทธิภาพในการทำงานของหอระบายความร้อนเท่านั้น แต่ยังเกี่ยวข้องกับเรื่องสภาพความ สวยงามของอาคารและปัจจัยอื่น ๆ อีกมาก ซึ่งจะขอกกล่าวถึงทีละข้อดังต่อไปนี้

2.10.3.1 ปกติการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของหอระบายความร้อนควรจะเป็นตำแหน่ง ที่มี การระบายอากาศได้อย่างปลอดโปร่งโดยไม่มีสิ่งใดมากีดขวาง สำหรับหอระบายความร้อน ชนิด เคานต์เตอร์โพล์ แล้วจะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับทิศทางลมแต่หอระบายความร้อนชนิดครอสโพล์ แล้วจำเป็นจะต้องตรวจทิศทางลมให้ดี สำหรับด้านที่ได้รับการออกแบบให้กระแสพัดผ่านจะต้อง หันหน้าให้ถูกกับทิศทางลม ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของหอระบายความร้อนเป็น อย่างมาก ถ้าตั้งอยู่ในทิศทางที่ไม่ถูกต้อง สำหรับการหาที่ตั้งของหอระบายความร้อนในที่โล่งนั้น

ฟังดูเหมือนกับพอจะหาได้ง่าย แต่ในทางปฏิบัติมักจะทำได้ยากเนื่องจากว่าสถาปนิกมักจะไม่ชอบรูปร่างลักษณะของหอระบายความร้อนในที่มิดชิดเพื่อบังสายตา แต่ในขณะเดียวกันหอระบายความร้อนกลับต้องการที่ที่มีการระบายอากาศได้อย่างปลอดโปร่ง ซึ่งสิ่งสองสิ่งนี้ย่อมขัดกัน กันแต่ก็เป็นข้อดีสำหรับบางโครงการอาจจะมีย่อที่เหลือทางด้านหลังที่ทำให้สามารถตั้ง หอระบายความร้อนได้ในที่โล่ง และ ไม่เป็นที่ปรากฏแก่สายตาของประชาชนทั่วไปด้วย ปัญหาข้อนี้ นับว่าเป็นปัญหาที่ประสบกันอยู่เสมอสำหรับทุก ๆ โครงการ ที่จริงแล้วมีหอระบายความร้อนอยู่อีกชนิดหนึ่งที่ยังไม่ได้พบเห็นกันในบ้านเรานั้นก็คือ ที่ตั้งไว้ในอาคารหอระบายความร้อนชนิดนี้ไม่ ว่าจะเป็นชนิดครอบจักรวาลหรือเคาน์เตอร์โพล์มักจะใช้พัดลมชนิดเซนตริฟิวเกิล (CENTRIFUGAL) ดังนั้นเราจึงสามารถต่อท่อลมจากที่ปล่อยตรงส่วนบนสุดของหอระบายความร้อนไปไกล ๆ ได้ซึ่งทำให้เราสามารถนำหอระบายความร้อนเอาไปตั้งไว้ในอาคารและต่อปลายท่อของหอระบายความร้อน ชนิดนี้ไปไกลได้ ซึ่งนับว่าจะช่วยแก้ปัญหาสถานที่ตั้งของหอระบายความร้อนและยังสามารถตั้งไว้ในสถานที่ปกปิด แต่อย่างไรยังไม่ได้มีการนำหอระบายความร้อน ชนิดนี้มาใช้ในประเทศไทย

2.10.3.2 สถานที่ตั้งหอระบายความร้อนจะต้องพยายามตั้งให้ห่างจากแหล่งที่มีความร้อนหรือมีก๊าซหรืออากาศเสียต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น ตามที่ที่มีปล่องไฟ ปล่องของหม้อไอน้ำจากครัวและสถานที่ที่มีฝุ่นควันต่าง ๆ เพราะหอระบายความร้อนต้องการอากาศเข้าไปหมุนเวียนอยู่ในตัวตลอดเวลา ถ้าเอาไปตั้งในที่ที่มีอากาศและควันเสีย ความร้อนต่าง ๆ เหล่านี้ อากาศที่ถูกดูดเข้าไปก็จะพาเอาฝุ่น ควัน ความร้อนต่าง ๆ เข้าไปในหอระบายความร้อนทำให้เกิดการสกปรก หรือ การระบายความร้อนของหอระบายความร้อนไม่ดีเท่าที่ควร เพราะฉะนั้นก๊าซต่าง ๆ ที่พัดพาเข้าไปอาจจะผสมกับน้ำกลายเป็นกรดมากัดกร่อนชิ้นส่วนที่เป็นโลหะของหอระบายความร้อนได้อีก

2.10.3.3 สถานที่ติดตั้งหอระบายความร้อนนอกจากจะต้องคำนึงถึงละอองน้ำที่ลอยออกไปจากหอระบายความร้อนและถูกพัดพาไปตามกระแสลม เนื่องจากว่าหอระบายความร้อนจะมีปริมาณที่สูญเสียจากลมหอบเอาละอองน้ำออกไปอยู่ตลอดเวลา ไม่ว่าจะหอระบายความร้อนนั้นจะมีประสิทธิภาพดีอย่างไร เพียงแต่ว่าหอระบายความร้อนที่ดีจะสามารถลดปริมาณน้ำที่ถูกลมหอบไปได้น้อยลง ละอองน้ำเหล่านี้ถ้าจะถูกลมหอบไปได้เป็นระยะทางนับสิบ ๆ เมตร อาจจะมีถึงร้อยเมตร ซึ่งละอองน้ำเหล่านี้จะทำให้เกิดความรบกวนรำคาญแก่ผู้ที่อยู่ในสถานที่ ละอองน้ำตกไปถึง ยกตัวอย่างเช่น บริเวณสระว่ายน้ำ หรือบริเวณบ้านเรือนที่อยู่ใกล้เคียง

กับทิศทางที่กระแสลมหอบละอองน้ำไป ดังนั้นจึงจะต้องตรวจทิศทางลมและสิ่งแวดล้อมให้ดีก่อนกำหนดที่ตั้ง

2.10.3.4 สิ่งที่เป็นปัญหาอีกอย่างหนึ่งของหอบระบายความร้อนก็คือ เกี่ยวกับเรื่องเสียงที่ออกจากหอบระบายความร้อน ดังนั้นควรจะต้องพิจารณาสถานที่ตั้งของหอบระบายความร้อนว่าถูกรบกวนจากเสียงหอบระบายหรือเปล่า โดยเฉพาะเมื่อสถานที่นั้นมีสภาพแวดล้อมที่เงียบสงัดเสียงจากหอบระบายความร้อนจะรบกวนเป็นอย่างมาก การตั้งหอบระบายความร้อนในระหว่างช่องว่างตึกสูงขนานอยู่สองข้างเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนาเพราะจะทำให้เกิดเสียงสะท้อนก้องระหว่างผนังหรือกระจกของตึกทั้งสองนั้นและประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอบระบายความร้อนก็ไม่ได้ด้วย

2.10.3.5 ตำแหน่งของหอบระบายความร้อนเมื่อเทียบกับตัวคอนเดนเซอร์ที่อยู่ในห้องเครื่องก็นับว่าเป็นสิ่งหนึ่งที่น่านำมาพิจารณาประกอบด้วย คือ ถ้าหอบระบายความร้อนมีระดับที่สูงอยู่เหนือตัวห้องเครื่องพอดีก็จะทำให้การเดินทางของน้ำ และ ไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย สำหรับการติดตั้งหอบระบายความร้อนอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าตัวคอนเดนเซอร์ หรือ ระดับห้องเครื่องนั้น เป็นสิ่งที่ไม่ควรทำเป็นอย่างยิ่ง และ ควรหลีกเลี่ยงให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เนื่องจากจะเกิดปัญหาของการเกิดกาลักน้ำที่น้ำจะไหลจากตัวคอนเดนเซอร์ที่อยู่สูงกว่าลงมายังหอบระบายความร้อนเมื่อตอนหยุดปั๊ม และ เมื่อเดินปั๊มน้ำหมุนเวียนใหม่น้ำจะถูกปั๊มเข้าไปกระแทกคอนเดนเซอร์ทำให้เกิดความเสียหายได้ แต่ถ้าหลีกเลี่ยงสถานที่ที่ตั้งดังกล่าวไม่ได้จริง ๆ ก็ควรจะพิจารณาเกี่ยวกับการป้องกันไหลกลับในขณะที่ตอนปิดปั๊ม หรือ การป้องกันการเกิดกาลักน้ำที่อาจจะเกิดขึ้นได้

2.10.3.6 เรื่องน้ำหนักของหอบระบายความร้อนก็นับว่าเป็นสิ่งที่จะต้องนำมาพิจารณาด้วยเช่นกันโดยเฉพาะในกรณีที่น่าหอบระบายความร้อนติดตั้งในระดับสูง ๆ จะต้องมีการตรวจสอบน้ำหนักของหอบระบายความร้อน และ ทำการประสานงานกันระหว่างวิศวกรโครงสร้างกับวิศวกรผู้ออกแบบระบบปรับอากาศเพื่อให้ข้อมูลที่จำเป็นในการเตรียมฐานโครงสร้างที่แข็งแรงเพื่อรับน้ำหนักของหอบระบายความร้อน ซึ่งรวมไปถึงความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในขณะที่หอบระบายความร้อนทำงานอยู่ด้วย นอกจากนี้ควรมีการยึดหอบระบายความร้อนให้ติดแน่นกับโครงสร้างอย่างมั่นคง ซึ่งถ้ามีการประสานงานกันอย่างดีก็อาจจะวางเหล็กยึดตัวฐานหอบระบายความร้อนไว้ตั้งแต่ในขณะทำการก่อสร้างก็เป็นได้ในแง่ของการป้องกันเสียง และ ละอองน้ำที่ถูกลมพัดพา รวมทั้งการซ่อนหอบระบายความร้อนให้มิดชิดจากสายตาของผู้ที่พบเห็นได้แล้ว มักจะมีการเลือกนำหอบระบายความร้อนไปตั้งบนหลังคาของอาคาร ซึ่งเป็นจุดที่อยู่ห่างไกลที่สุดที่ดีจะมีการระบายอากาศได้อย่างสะดวก จึงมักเป็นสิ่งที่จะกระทำกันโดยเฉพาะ

สำหรับตึกสูง ๆ ซึ่งอาจจะขาดเนื้อที่ข้างล่าง เช่นนั้นก็มีความแพงด้วยการนำหอบความร้อนไปตั้งบนหลังคาก็ถือว่าเป็นสิ่งที่ดี แต่ก็มีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงนั่นก็คือเกี่ยวกับราคาโครงสร้างของตึกที่จะเพิ่มมากขึ้นอย่างแน่นอน การนำไปตั้งไว้บนอาคารจอดรถ ซึ่งนับว่าเป็นสถานที่ที่เหมาะสมพอสมควร เพราะว่าบริเวณอาคารจอดรถ ไม่ต้องการความสวยงามมาก การยกหอบความร้อนไปตั้งจะกระทำได้ง่าย การซ่อมแซม บำรุงต่าง ๆ ก็จะสามารถทำได้สะดวก เพราะว่ามีการขึ้นถึงส่วนบนสุด และ อาคารจอดรถมักจะอยู่ด้านหลังของสำนักงานจึงสามารถบดบังสายตาของคนที่จะมองเห็นหอบความร้อนได้อย่างดี

สำหรับตัวอาคารที่ไม่มีความสูงมากนักอาจจะใช้วิธีการตั้งหอบความร้อนบริเวณอื่น ๆ ที่อยู่สูงจากพื้นดินไม่มาก ซึ่งอาจจะตั้งอยู่บนบริเวณส่วนกำจัดน้ำเสีย (Wastewater) ของตัวโรงงานกำจัดน้ำเสียนี้ หรือ มิฉะนั้นก็อาจจะสร้างตัวอาคารแยกออกไปต่างหากเป็นอาคารทางด้านล่างที่จะสามารถตั้งหอบความร้อนได้อย่างเหมาะสม และ สะดวกต่อการซ่อมแซม และ บำรุงรักษาเป็นอย่างมาก

นอกจากนี้บางครั้งอาจจะดัดแปลงในการช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซื้อตัวหอบความร้อน เช่น อาจจะทำให้โครงสร้างให้เป็นแบบสำเร็จรูป แล้วซื้อเฉพาะตรงส่วนบนของหอบความร้อนมาประกอบเข้า ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในด้านตัวไปได้ แต่อย่างไรก็ตามในกรณี ดังกล่าวตัวหอบความร้อนมักจะไม่สามารถอยู่สูงจากอาคารได้มาก เพราะฉะนั้นก็จะเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในด้านโครงสร้างของอาคารอีกประการหนึ่ง

การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของหอบความร้อนแม้ว่าเป็นเรื่องที่ต้องอาศัย ประสบการณ์ และ การหารือตัดสินใจร่วมกับสถาปนิกของโครงการอย่างใกล้ชิด รวมทั้งจะต้องมีการประเมินค่าใช้จ่ายในการที่จะตั้งหอบความร้อนในตำแหน่งต่าง ๆ เปรียบเทียบกันรวมทั้งค่าใช้จ่ายในด้านดำเนินงานคือค่ากระแสไฟฟ้าของปั๊มน้ำที่อาจจะต้องสูบน้ำไปเป็นระยะ ทางไกล ๆ ก็จะต้องเป็นสิ่งที่นำมาคำนึงถึงด้วย

2.10.4 ข้อระมัดระวังในการเดินหอบความร้อนและการบำรุงรักษา ในกรณีที่มีการติดตั้งหอบความร้อนเสร็จใหม่ๆ มีข้อพึงระมัดระวัง ที่ผู้เริ่มเดินหอบเป็นครั้งแรก ควรจะต้องทำการตรวจสอบดูดังต่อไปนี้

2.10.4.1 เมื่อมีการติดตั้งหอบความร้อนเสร็จใหม่ ๆ ควรทำการตรวจสอบให้แน่ใจ ไม่มีเครื่องมือหรือสิ่งต่าง ๆ ที่ยังคงค้างอยู่ในตัวของหอบความร้อนนั้นเป็นชนิดที่นำมาประกอบที่สถานที่ติดตั้ง จากนั้นควรจะทำให้ความสะอาดก่อนที่จะมีการใช้งานจริง ๆ

2.10.4.2 ตรวจสอบรอยรั่วของข้อต่อท่อน้ำ และจุดยึดต่าง ๆ ให้แน่ใจว่าไม่มีรอยรั่ว หลังจากนั้นก็ทำการเริ่มเติมน้ำเข้าไปโดยการปิดท่อระบายน้ำทิ้ง และ ทำการเปิดวาล์วที่ต่ออยู่กับท่อต่อน้ำทิ้งทั้งในด้านน้ำเข้า และ น้ำออกให้น้ำลงไปไล่ลมที่อยู่ในท่อให้ออกมาเพื่อไม่ให้มีลมค้างอยู่ในระหว่างที่ท่อระบายความร้อนทำงาน

2.10.4.3 ลองทำการตรวจสอบแรงดันของน้ำเติมซึ่งถ้าอ่อนเกินไปก็ควรจะติดตั้ง ถังน้ำเพิ่มอยู่ในระดับที่สูงกว่าระดับน้ำในท่อระบายความร้อนเดิม หรือ มิฉะนั้นก็ทำการติดตั้งปั๊มเพิ่มเติมเพื่อให้ความดันน้ำสูงเพียงพอที่จะเติมเข้าท่อระบายความร้อน

2.10.4.4 ทำการปิด และ เปิดปั๊มสูบน้ำหมุนเวียนเป็นระยะ ๆ เพื่อไล่อากาศออกจากท่อน้ำ และ ทำการเติมน้ำลงไปด้วยก่อนที่จะทำงานตามปกติ และ ตรวจสอบว่ามีลมที่ออกมาเป็นละอองฝอยโดยไม่มีสิ่งต่าง ๆ มาอุดตัน

2.10.4.5 ก่อนที่จะเปิดสวิทช์ไฟของท่อระบายความร้อนเพื่อทำงาน ลองใช้มือจับใบพัดลมว่าหมุนได้คล่องโดยไม่ติดขัด แล้วหลังจากนั้นก็เปิดสวิทช์ให้พัดลมว่าเป็นไปในทางที่ถูกต้องตรงกับที่ทางผู้ผลิตแนะนำ

2.10.4.6 ตรวจสอบปริมาณน้ำหมุนเวียนผ่านท่อระบายความร้อนว่ามีจำนวนน้ำหมุนเวียนผ่านท่อระบายความร้อนถูกต้องตรงกับที่ได้ออกแบบเอาไว้ เพราะว่าถ้ามีปริมาณน้ำหมุนเวียนผ่านท่อระบายความร้อนน้อยเกินไปก็จะเป็นการลดประสิทธิภาพการทำงานของท่อระบายความร้อน และ ถ้ามีปริมาณน้ำหมุนเวียนผ่านมากเกินไปก็จะทำให้เกิดการสูญเสียละอองน้ำโดยถูกลมพัดพาออกไป

2.10.4.7 ตรวจสอบระดับน้ำ และ การทำงานของลูกลอย เพราะถ้าน้ำที่ต้องการระบายความร้อนเข้าสู่ท่อระบายความร้อนมากเกินไปจะทำให้ช่องลมผ่านเล็กลง ลมจึงผ่านได้ยากความสามารถจะลดลงด้วย

2.10.5 การบำรุงรักษาท่อระบายความร้อน เนื่องจากท่อระบายความร้อนมีส่วนต่าง ๆ ที่มาประกอบเข้าเป็นท่อระบายความร้อน และ ประกอบเข้าเป็นระบบการระบายความร้อน ซึ่งอาจจะมีชิ้นส่วนหรือระบบต่าง ๆ ไม่มากแต่เนื่องจากมีความชื้นมีละอองน้ำจึงทำให้เกิดการผุกร่อนเกิดตะกรันเกิดการขัดขวางต่อชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวต่าง ๆ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการบำรุงรักษาท่อระบายความร้อนโดยตรวจสอบดูแลไปเป็น ระยะ ๆ ซึ่งอาจจะใช้ช่วงที่ท่อระบายความร้อนตัวอื่น ๆ เพราะการระบายระบบอากาศมีการเผื่อท่อระบายความร้อนเอาไว้ด้วย โดยช่วงเวลาเหล่านี้ช่างที่บำรุงรักษาควรจะตรวจสอบสิ่งต่าง ๆ ตามหัวข้อต่อไปนี้

2.10.5.1 ตรวจสอบเกี่ยวกับสภาพตะกอนและสารจุลชีพต่าง ๆ ที่มีอยู่ในหอระบาย ความร้อนว่ามีปริมาณมากน้อยเพียงใด และ สภาพความสะอาดของหอระบายความร้อน ถ้าหอระบายความร้อนยังไม่สกปรกมากเกินไปก็ยังสามารถใช้งานต่อไปได้ แต่ถ้าหอระบายความร้อนมีความสกปรก เช่น มีเมือกจุลชีพต่าง ๆ ติดอยู่ตามแผ่นกันละอองน้ำกระเซ็น ก็อาจจะจำเป็นถึงขั้นต้องระบายน้ำทิ้งออกจากหอระบายความร้อน เพื่อให้ชั้นส่วนต่าง ๆ ถูกกับแดดเพื่อเป็นการฆ่าสารจุลชีพเหล่านี้ และ อาจจะขูดพวกตะกอนออกทิ้งไป ซึ่งมักจะเป็นการล้างหอระบายความร้อนครั้งใหญ่ประจำปีเพื่อทำความสะอาดหอระบายความร้อนให้มีประสิทธิภาพดีสำหรับการใช้งานต่อไป

2.10.5.2 การปรับปรุงตั้งอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพน้ำเติมต่าง ๆ เช่น พวกเครื่องทำน้ำอ่อน การปรับตั้งฉีดเคมี การปรับอุปกรณ์ควบคุมการระบายน้ำ หรือ การเติมสารเคมีที่กำจัดตะกอนหรือสารจุลชีพต่าง ๆ เพิ่มเติม

2.10.5.3 การตรวจสอบระบบน้ำเติม ได้แก่ ท่อน้ำ วาล์ว และ พวกปั้มน้ำเติมว่ายังคงทำงานอยู่ได้ การตรวจสอบอุปกรณ์ทางด้านดูดลม ได้แก่ การตรวจสอบพวกใบพัด ลมมูมของใบพัดลม การตรวจสอบมอเตอร์พัดลม การตรวจสอบพวกสายพาน หรือ เฟืองทดในกรณีที่มีการตรวจสอบพวกเพลลาต่อแบริ่งต่าง ๆ

2.10.5.5 การตรวจสอบอุปกรณ์การฉีดน้ำ ได้แก่ พวกหัวฉีดน้ำว่ายังคงสามารถฉีดน้ำได้แก่ พวกหัวฉีดน้ำได้เป็นละอองฝอยได้อย่างถูกต้อง แผ่นกันน้ำกระเซ็นยังไม่ฉีกขาด และสามารถป้องกันการที่มีละอองน้ำเล็ดรอดออกจากหอระบายความร้อนได้

2.10.5.6 การตรวจสอบสภาพของหอระบายความร้อนทั่ว ๆ ไป เช่น การผูกเรือนของชิ้นส่วนที่เป็นโลหะ การฉีกรัดของชิ้นส่วนที่เป็นไฟเบอร์กลาสเป็นตัวถัง ความตึงของลวด หรือ น๊อตกรูที่ยึดชิ้นส่วนต่าง ๆ ของหอระบายความร้อนส่วนต่าง ๆ ซึ่งรายการเหล่านี้จะต้องทำการแก้ไขเปลี่ยนแปลงแทน หรือ ซ่อมแซมให้คงมีสภาพเดิม

2.10.5.7 สำหรับในกรณีที่หยุดทำการใช้งานต่อหอระบายความร้อนเป็น เวลานาน ๆ ก็ควรจะทำการระบายน้ำออกจากหอระบายความร้อนให้หมด ทำความสะอาดทั้ง ส่วนภายใน และ ภายนอกของหอระบายความร้อนรวมทั้งตัวถัง

บทที่ 3

การปรับปรุงหอบายความร้อน

3.1 ปรับปรุงชุดปรับปริมาณน้ำ

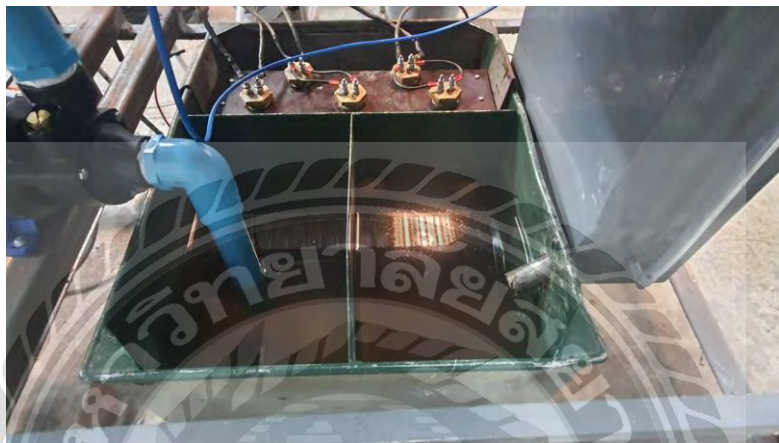
โดยการเปลี่ยนท่อทางเดินของน้ำใหม่เกือบทั้งหมด และมีการเพิ่มอุปกรณ์บางชิ้น เช่น วาล์วปรับปริมาณน้ำ ทำให้อัตราการไหลของน้ำคงที่ขึ้น ซึ่งของเดิมทำการปรับที่ตัว Flowmeter ซึ่งทำให้อัตราการไหลของน้ำไม่คงที่ เมื่อได้ทำการปรับปรุงแล้วและได้ทำการทดลองโดยการเปิด Flowmeter จนสุดและได้ทำการปรับจากวาล์วปรับปริมาณน้ำโดยตรงก็ทำให้อัตราการไหลของ น้ำคงที่ขึ้น โดยการเปรียบเทียบกับอุปกรณ์วัดอัตราการไหล ซึ่งได้ค่าที่ใกล้เคียงกันมากซึ่งกรวยตรงมีหน่วยเป็นลิตร และ Flowmeter มีหน่วยเป็น GPM หรือ แกลลอน และมาตราส่วน 1 แกลลอนเท่ากับ 3.785 ลิตร และ การทดลองได้ทำการปรับปริมาณที่ 12, 14, 18 LPM

ค่าที่วัดได้ (กรวยตรง) (Liter / Min)	ค่าจากการอ่าน (GPM / Liter / Min)
0	0 / 0
12	3.1 / 12
14	3.6 / 14
18	4.7 / 18

ตารางที่ 3.1 ตารางเปรียบเทียบอัตราการไหลระหว่าง Flowmeter กับ กรวยตรง

3.2 ปรับปรุงถังบรรจุน้ำ

ได้มีการซ่อมแซมถังบรรจุน้ำที่มีการรั่วซึมขณะทดลอง ซึ่งมีการรั่วของน้ำบริเวณจุดต่อและบริเวณที่ติดตั้ง Heater ซึ่งประกันมีสภาพที่ใช้งานไม่ได้ จึงทำการเปลี่ยนประกันใหม่ ทั้งหมดซึ่งได้ผลเป็นอย่างดี



รูปที่ 3.1 การปรับปรุงตัวถังบรรจุน้ำ

3.3 ปรับปรุงการวางปั๊มใหม่

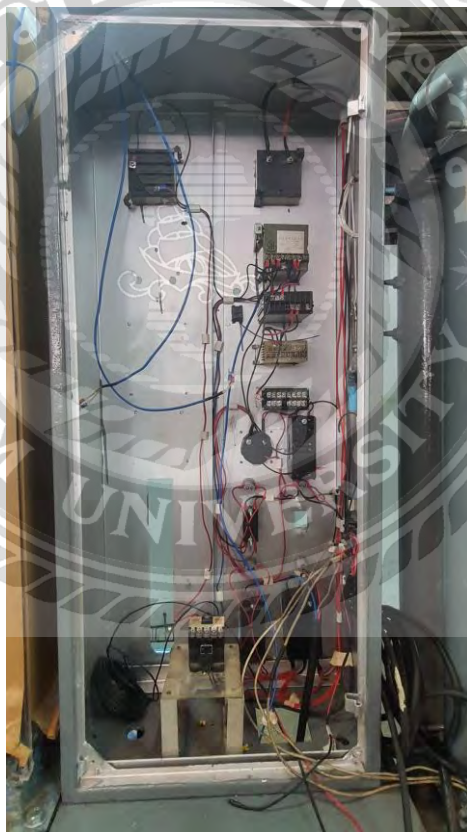
โดยการวางปั๊มน้ำอยู่เหนือถังพักน้ำซึ่งมีข้อดีคือเมื่อเลิกใช้งานแล้วน้ำที่อยู่ในปั๊มจะไหลลงมาถึงถังพักน้ำ ทำให้ยืดอายุการใช้งานของปั๊มน้ำยาวนานขึ้นซึ่งจะแตกต่างจากของเดิมที่วางปั๊มอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำ ซึ่งทำให้น้ำซึ่งอยู่ในปั๊มตลอดเวลาทำให้ปั๊มน้ำเกิดสนิม และอายุการใช้งานจะสั้นลง



รูปที่ 3.2 การปรับปรุงการวางปั๊มน้ำ

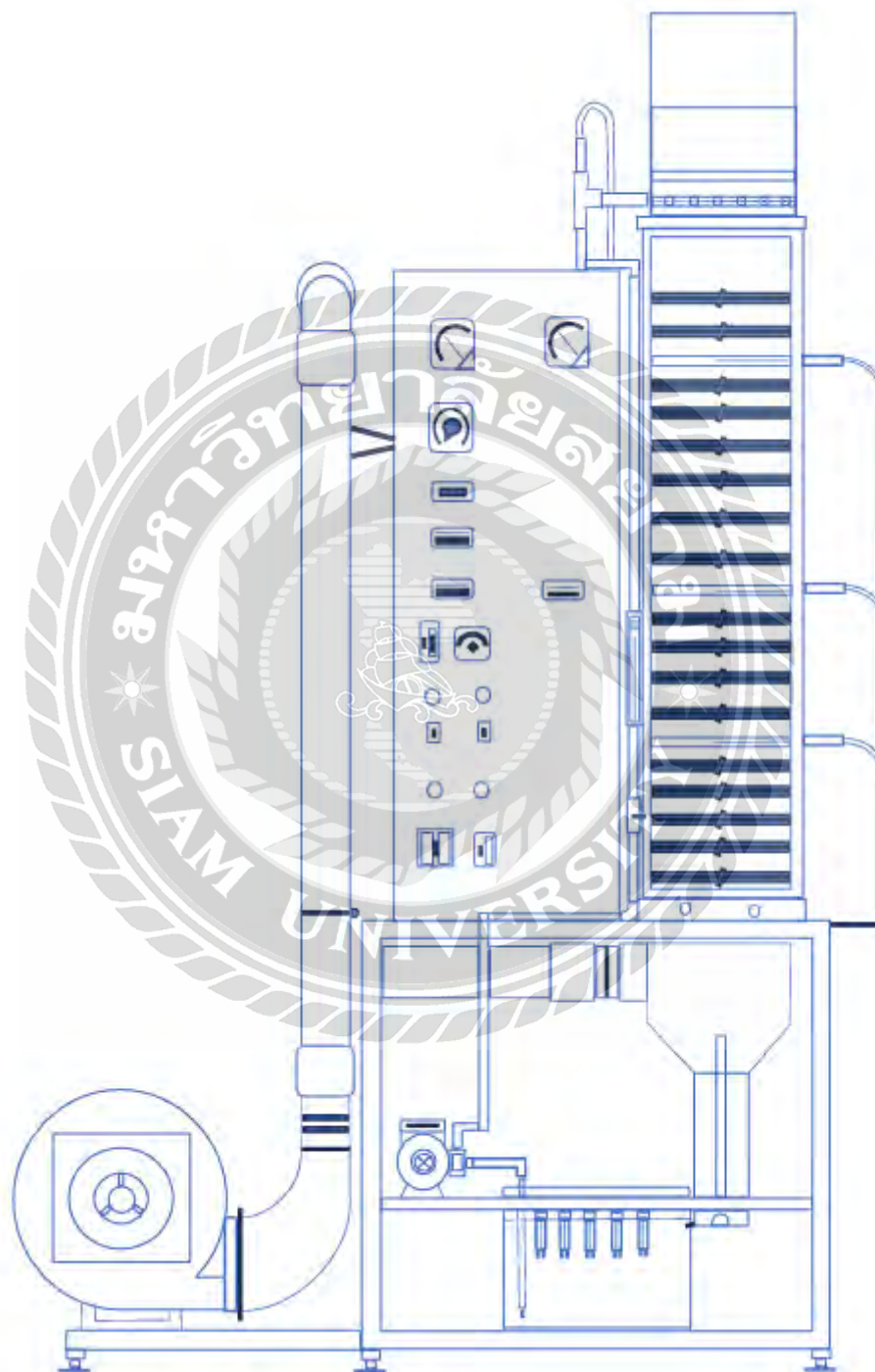
3.4 ปรับปรุงการเดินสายไฟในชุดควบคุม

เนื่องจากการเดินสายไฟในห้องควบคุมมีการโยงสายที่ยุงมากยากที่จะทำการ ตรวจสอบระบบควบคุม ซึ่งการวางสายแบบนี้ทำให้สายที่เกิดการชำรุดเกิดการลัดวงจรได้ง่าย ซึ่ง อาจทำให้เกิดผลเสียต่ออุปกรณ์บางชิ้นได้ จึงได้ทำการเดินสายไฟใหม่โดยแยกสายตามระบบการใช้งาน และใช้อุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรเข้าไป และได้แยกวงจรออกเป็น 2 ส่วนเนื่องจากชุดหอบระบายความร้อนใช้กระแสไฟในการป้อนให้กับฮีตเตอร์มากจนทำให้กระแสไฟในสถานที่ทำการ ทดสอบตัดโดยอัตโนมัติ ซึ่งทำให้การทดสอบเครื่องเป็นไปอย่างล่าช้าและไม่สม่ำเสมอ โดยการ แยกชุดฮีตเตอร์และแอมป์มิเตอร์ออกเป็น 2 ส่วน แต่ยังคงใช้ชุดควบคุมความร้อนในชุดเดียวกัน ซึ่งทำให้ได้ผลออกมาเป็นที่น่าพอใจอย่างยิ่ง

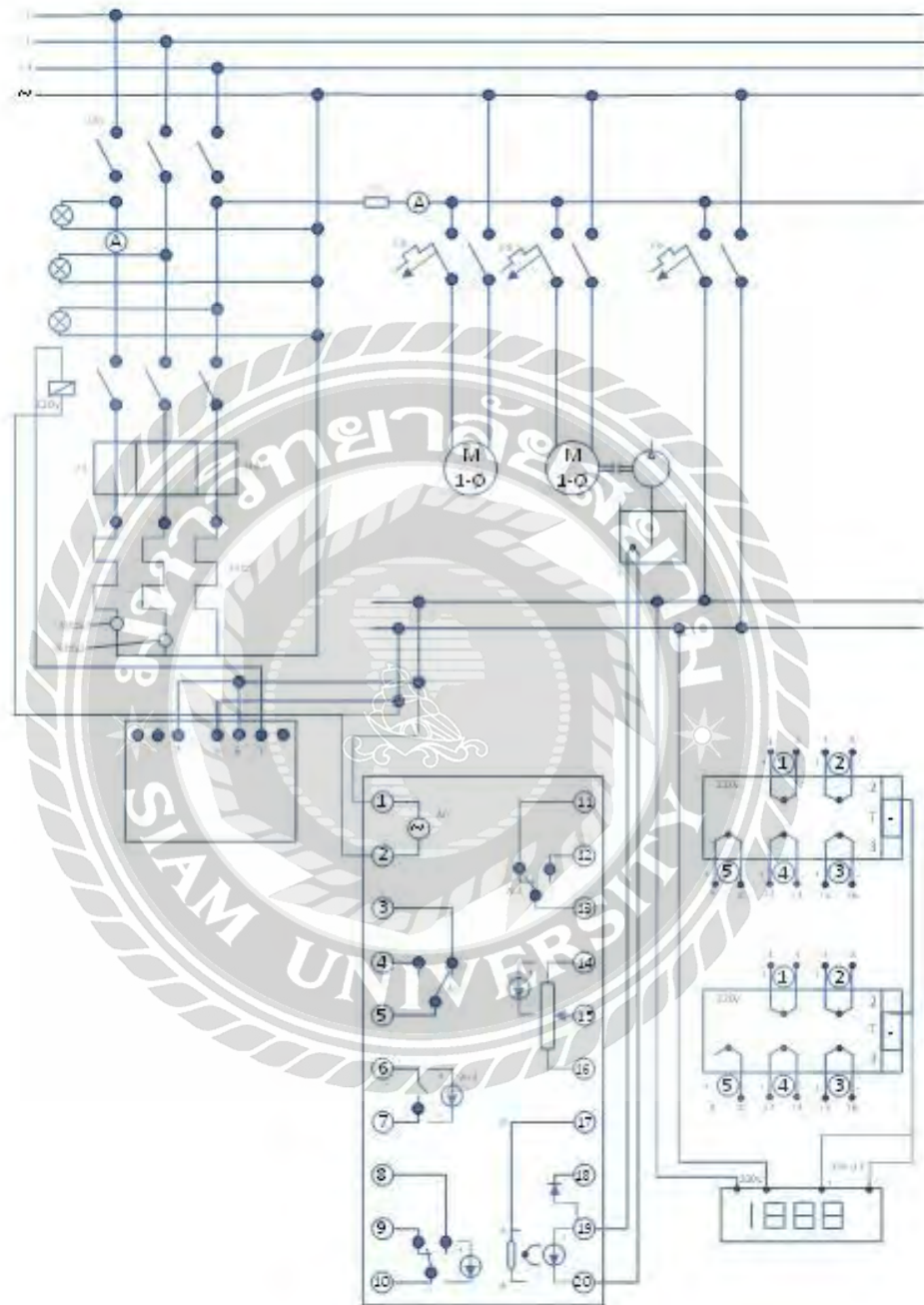


รูปที่ 3.3 การปรับปรุงการเดินสายไฟใหม่

3.5 แบบหลังการปรับปรุง cooling tower



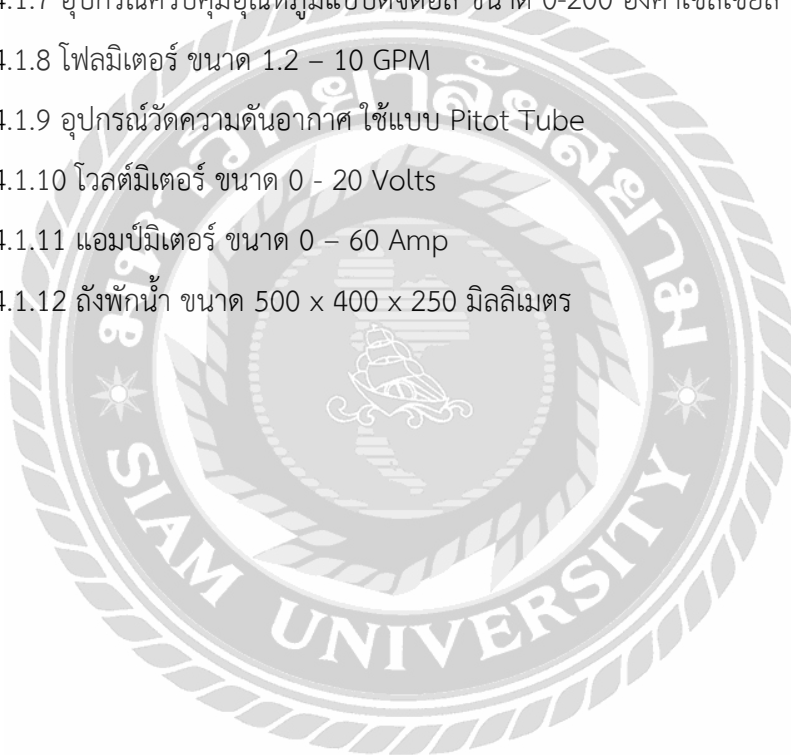
รูปที่ 3.4 การปรับปรุง cooling tower



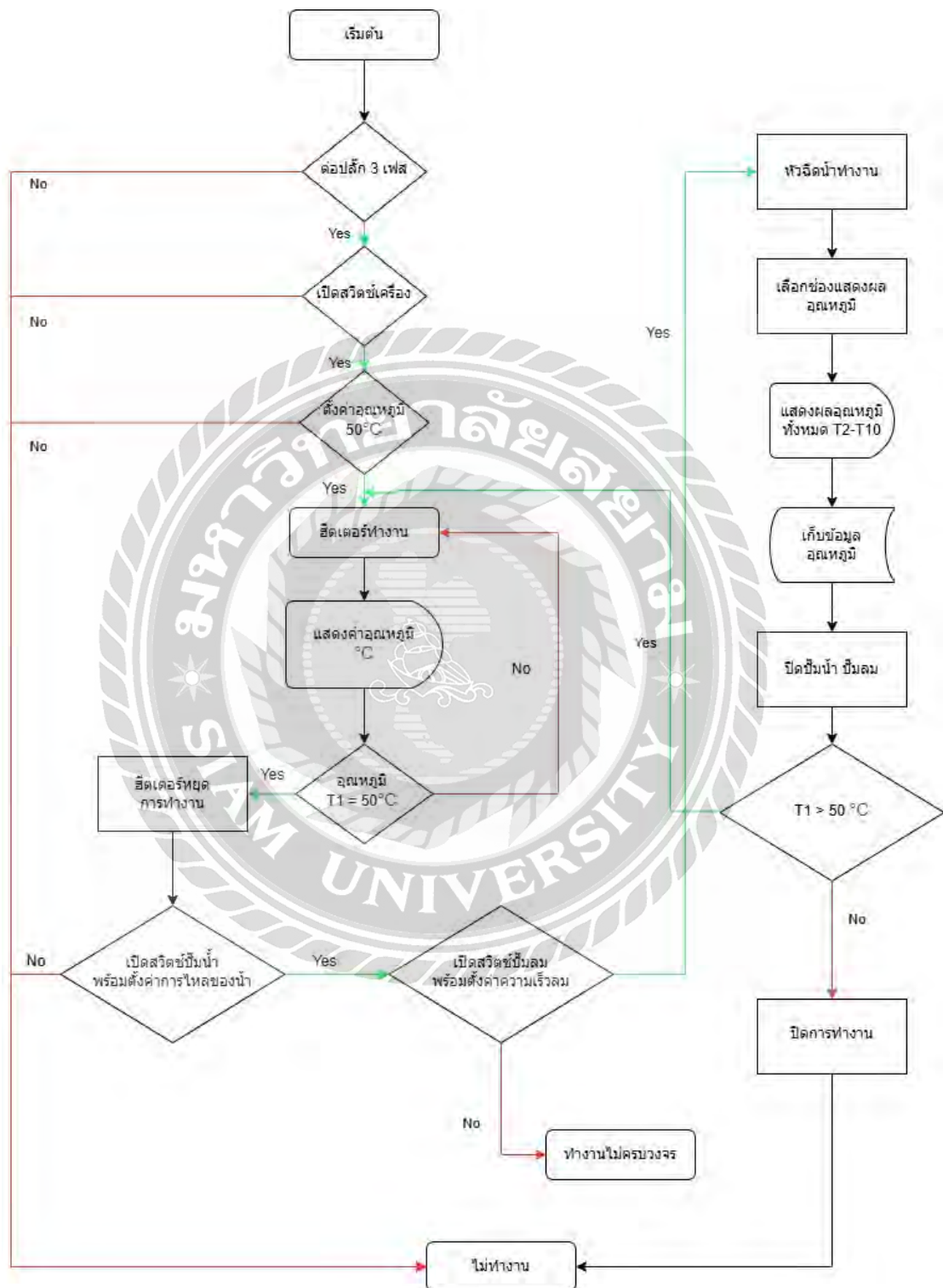
รูปที่ 3.5 การปรับปรุงระบบเดินไฟ cooling tower

3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 4.1.1 ฮีตเตอร์ ขนาด 2500 W จำนวน 5 ตัว
- 4.1.2 พัดลมใช้มอเตอร์ขนาด 1 HP , 220 V , 5.8 Amp
- 4.1.3 ปั๊มน้ำ ใช้มอเตอร์ขนาด 0.5 HP , 220 V 2.5 Amp
- 4.1.4 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิใช้ Thermocouple type CA (K) จำนวน 10 ตัว
- 4.1.5 สวิตช์เลือกตำแหน่งอุณหภูมิ จำนวน 2 ชุด
- 4.1.6 อุปกรณ์แสดงผลแบบดิจิตอล จำนวน 1 ชุด
- 4.1.7 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล ขนาด 0-200 องศาเซลเซียส
- 4.1.8 โพลมิเตอร์ ขนาด 1.2 – 10 GPM
- 4.1.9 อุปกรณ์วัดความดันอากาศ ใช้แบบ Pitot Tube
- 4.1.10 โวลต์มิเตอร์ ขนาด 0 - 20 Volts
- 4.1.11 แอมป์มิเตอร์ ขนาด 0 – 60 Amp
- 4.1.12 ถังพักน้ำ ขนาด 500 x 400 x 250 มิลลิเมตร



3.7 วงจรการทำงาน flow chart of cooling tower



รูปที่ 3.6 วงจรการทำงาน cooling tower

3.8 ขั้นตอนการทดลอง

- 3.6.1 เปิดเบรกเกอร์เมน
- 3.6.2 เปิดเบรกเกอร์ระบบไฟตั้งค่าอุณหภูมิเพื่อให้ฮีตเตอร์ทำงาน
- 3.6.3 เมื่ออุณหภูมิถึงที่ตั้งไว้ฮีตเตอร์จะหยุดทำงาน
- 3.6.4 เปิดเบรกเกอร์ปั๊มเพื่อให้ปั๊มทำงานและเปิดวาล์วน้ำเพื่อไล่อากาศ
- 3.6.5 เปิดเบรกเกอร์โบลเวอร์เพื่อระบายความร้อน
- 3.6.6 รออุณหภูมิน้ำลดลงถึงที่ตั้งไว้และทำการปิดเบรกเกอร์ปั๊มน้ำโบลเวอร์
- 3.6.7 เมื่อเริ่มทำงานอีกครั้งตั้งอุณหภูมิเพื่อให้ฮีตเตอร์ทำงานและกลับไปทำขั้นตอนที่ 4 และ 6 ใหม่

ข้อควรระวังในการทดลอง

ขณะที่ทดลองควรสังเกตน้ำในถังพักให้ระดับน้ำอยู่เหนือกว่าระดับฮีตเตอร์เสมอขณะที่ทดลองควรสังเกตวาล์วน้ำเข้าและวาล์วน้ำไหลออกให้อยู่ตำแหน่งเปิดสุด การปรับอัตราการไหลของน้ำแต่ละค่าจะต้องทำอย่างช้าๆ และระมัดระวัง การเติมน้ำในถังพักน้ำควรระวังสายไฟของฮีตเตอร์ด้านหลังถังน้ำด้วย

บทที่ 4

การทดลองหอระบายความร้อน

4.1 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดลองอุณหภูมิของน้ำที่ความเร็วลม 21 m/s ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าหอระบายความร้อน 50 °C

อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหลของน้ำ (LPM)								
	12			14			18		
อุณหภูมิน้ำเข้า t_1	50	50	50	50	50	50	50	50	50
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p1}	48	47	46	47	48	47	49	48	48
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p2}	43	43	43	42	43	43	44	44	49
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p3}	42	42	41	41	42	41	42	43	42
อุณหภูมิน้ำออก t_2	39	39	39	40	40	40	41	41	41
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางเข้า t_{w1}	23	23	23	23	23	23	23	23	23
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางเข้า t_{d1}	29	29	29	29	29	29	29	29	29
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางออก t_{w2}	31	31	31	32	32	32	32	32	32
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางออก t_{d2}	38	38	38	39	39	39	39	39	39

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยของผลการทดลองอุณหภูมิของน้ำที่ความเร็วลมที่ 21 m/s อุณหภูมิของน้ำทางเข้าหอระบายความร้อน 50 °C

อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหลของน้ำ (LPM)		
	12	14	18
อุณหภูมิน้ำเข้า t_1	50	50	50
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p1}	47	47.33	48.33
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p2}	43	42.66	45.66
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p3}	41.66	41.33	42.66
อุณหภูมิน้ำออก t_2	39	40	41
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางเข้า t_{w1}	23	23	23
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางเข้า t_{d1}	29	29	29
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางออก t_{w2}	31	32	32
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางออก t_{d2}	38	39	39

4.3 ตารางแสดงผลการทดลองอุณหภูมิของน้ำที่ความเร็วลม 18.5 m/s ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าหอบายความร้อน 50 °C

อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหลของน้ำ (LPM)								
	12			14			18		
อุณหภูมิน้ำเข้า t_1	50	50	50	50	50	50	50	50	50
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p1}	49	48	47	48	49	48	50	48	49
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p2}	44	44	44	43	44	44	45	45	50
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p3}	43	43	42	42	43	42	43	44	43
อุณหภูมิน้ำออก t_2	40	40	40	41	41	41	42	42	42
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางเข้า t_{w1}	24	24	24	24	24	24	24	24	24
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางเข้า t_{d1}	30	30	30	30	30	30	30	30	30
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางออก t_{w2}	32	32	32	33	33	33	33	33	33
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางออก t_{d2}	39	39	39	40	40	40	40	40	40

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยของผลการทดลองอุณหภูมิของน้ำที่ความเร็วลมที่ 18.5 m/s อุณหภูมิของน้ำทางเข้าหอบายความร้อน 50 °C

อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหลของน้ำ (LPM)		
	12	14	18
อุณหภูมิน้ำเข้า t_1	50	50	50
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p1}	48	48.33	49
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p2}	44	43.66	46.66
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p3}	42.66	42.66	43.33
อุณหภูมิน้ำออก t_2	40	41	42
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางเข้า t_{w1}	24	24	24
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางเข้า t_{d1}	30	30	30
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางออก t_{w2}	32	33	33
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางออก t_{d2}	39	40	40

4.5 ตารางแสดงผลการทดลองอุณหภูมิของน้ำที่ความเร็วลม 15.5 m/s ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าหอบายความร้อน 50 °C

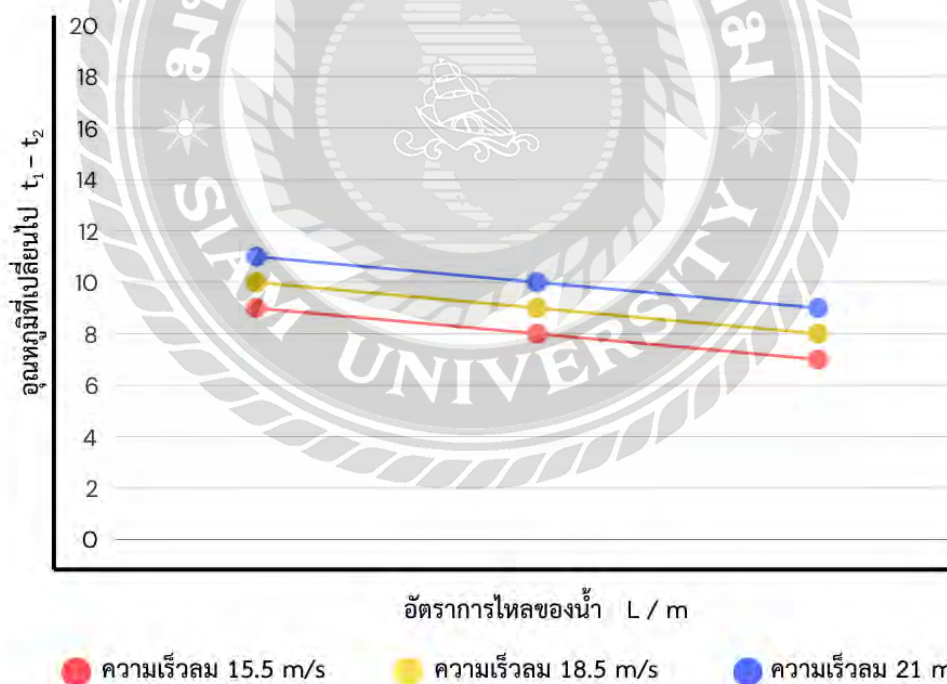
อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหลของน้ำ (LPM)								
	12			14			18		
อุณหภูมิน้ำเข้า t_1	50	50	50	50	50	50	50	50	50
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p1}	50	49	48	49	50	49	51	49	50
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p2}	45	45	45	44	45	45	46	46	51
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p3}	44	44	43	43	44	43	44	45	44
อุณหภูมิน้ำออก t_2	41	41	41	42	42	42	43	43	43
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางเข้า t_{w1}	25	25	25	25	25	25	25	25	25
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางเข้า t_{d1}	31	31	31	31	31	31	31	31	31
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางออก t_{w2}	33	33	33	34	34	34	34	34	34
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางออก t_{d2}	40	40	40	41	41	41	41	41	41

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยของผลการทดลองอุณหภูมิของน้ำที่ความเร็วลมที่ 15.5 m/s อุณหภูมิของน้ำทางเข้าหอบายความร้อน 50 °C

อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหลของน้ำ (LPM)		
	12	14	18
อุณหภูมิน้ำเข้า t_1	50	50	50
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p1}	49	49.33	50
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p2}	45	44.66	47.66
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p3}	43.66	43.33	44.33
อุณหภูมิน้ำออก t_2	41	42	43
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางเข้า t_{w1}	25	25	25
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางเข้า t_{d1}	31	31	31
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางออก t_{w2}	33	34	34
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางออก t_{d2}	40	41	41

ตารางที่ 4.7 ผลการคำนวณค่าความแตกต่างของ Temperature Range ที่ความเร็วลมที่ 15.5 m/s , 18.5 m/s , 21 m/s อุณหภูมิของน้ำ ทางเข้าหอระบายความร้อน 50 °C เป็นข้อมูลในการคำนวณ Temperature Range = $t_1 - t_2$

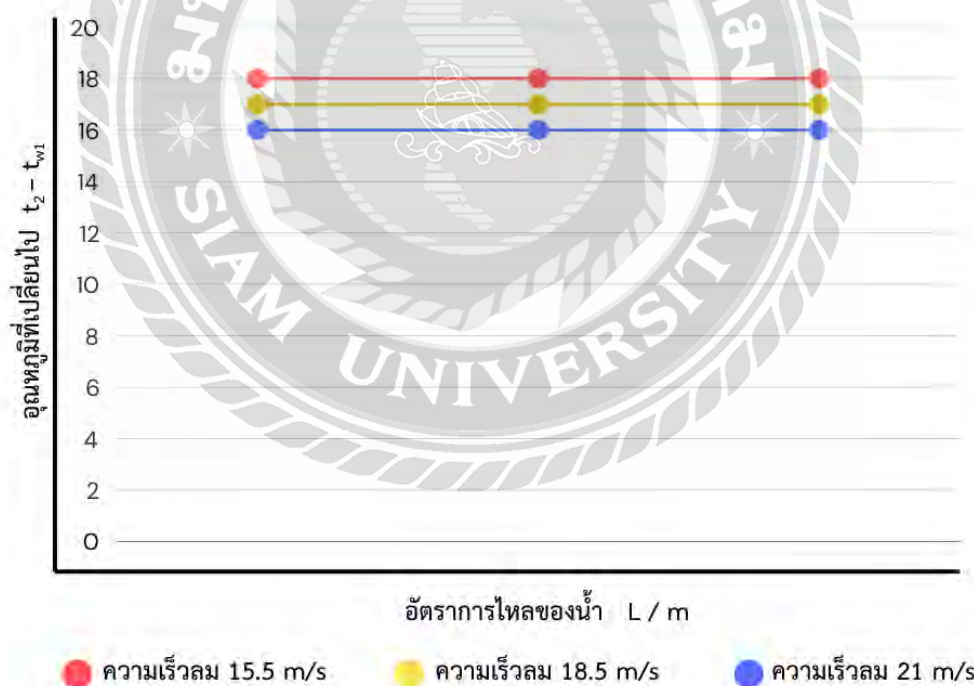
อัตราการไหลของน้ำ (LPM)	ค่าความแตกต่างของ ($t_1 - t_2$) (°C) ที่ความเร็วลม 15.5 m/s	ค่าความแตกต่างของ ($t_1 - t_2$) (°C) ที่ความเร็วลม 18.5 m/s	ค่าความแตกต่างของ ($t_1 - t_2$) (°C) ที่ความเร็วลม 21 m/s
12	9	10	11
14	8	9	10
18	7	8	9



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของ Temperature Range ($t_1 - t_2$) กับอัตราการไหลของน้ำ เมื่อความดันของอากาศแตกต่างกัน (ข้อมูลจากตาราง 4.7)

ตารางที่ 4.8 ผลการคำนวณค่าความแตกต่างของ Approach Temperature ที่ความเร็วลมที่ 15.5 m/s , 18.5 m/s , 21 m/s) ที่อุณหภูมิของ น้ำทางเข้าหอระบายความร้อน 50 °C เป็นข้อมูลในการคำนวณ Approach Temperature = $t_2 - t_{w1}$

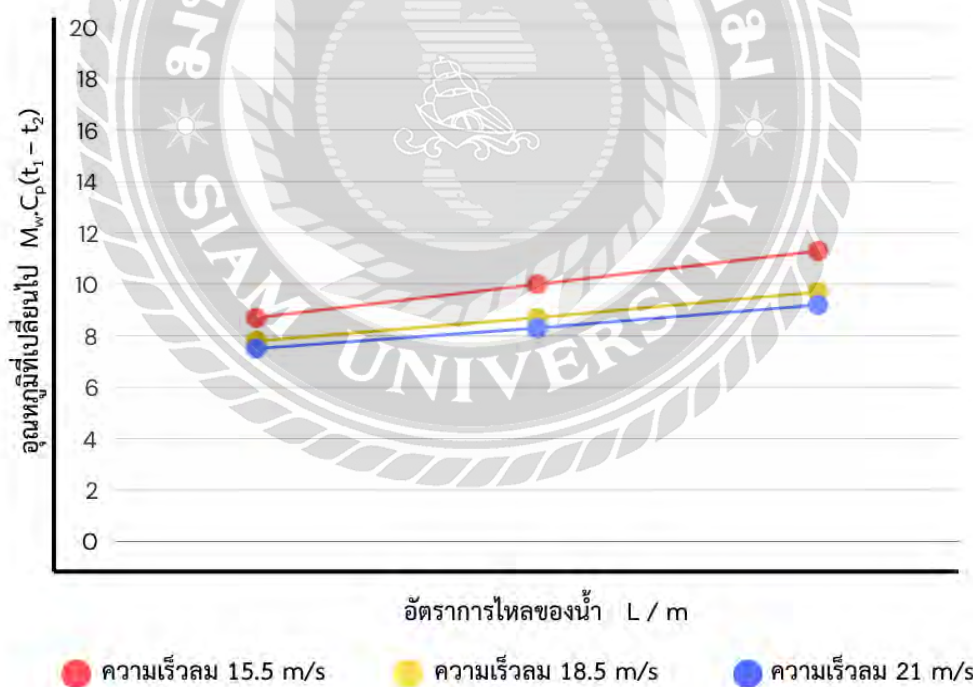
อัตราการไหลของน้ำ (LPM)	ค่าความแตกต่างของ $(t_2 - t_{w1})$ (°C) ที่ความเร็วลม 15.5 m/s	ค่าความแตกต่างของ $(t_2 - t_{w1})$ (°C) ที่ความเร็วลม 18.5 m/s	ค่าความแตกต่างของ $(t_2 - t_{w1})$ (°C) ที่ความเร็วลม 21 m/s
12	16	16	16
14	17	17	17
18	18	18	18



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของ Approach Temperature ($t_2 - t_{w1}$) กับอัตราการไหลของน้ำเมื่อความดันของอากาศแตกต่างกัน (ข้อมูลจากตาราง 4.8)

ตารางที่ 4.9 ผลการคำนวณค่าความแตกต่างเอนทัลปีของน้ำที่ความเร็วลมที่ 15.5 m/s , 18.5 m/s , 21 m/s ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าหอระบายความร้อน 50 °C เป็นข้อมูลในการคำนวณค่าความแตกต่างเอนทัลปีของน้ำ (Δh_w) = $M_w \cdot C_p(t_1 - t_2)$

อัตราการไหลของน้ำ (LPM)	ค่าความแตกต่างเอนทัลปีของน้ำ (kW) ที่ความเร็วลม 15.5 m/s	ค่าความแตกต่างเอนทัลปีของน้ำ (KW) ที่ความเร็วลม 18.5 m/s	ค่าความแตกต่างเอนทัลปีของน้ำ (kW) ที่ความเร็วลม 21 m/s
12	7.537	8.374	9.211
14	7.816	8.793	9.769
18	8.793	10.049	11.305

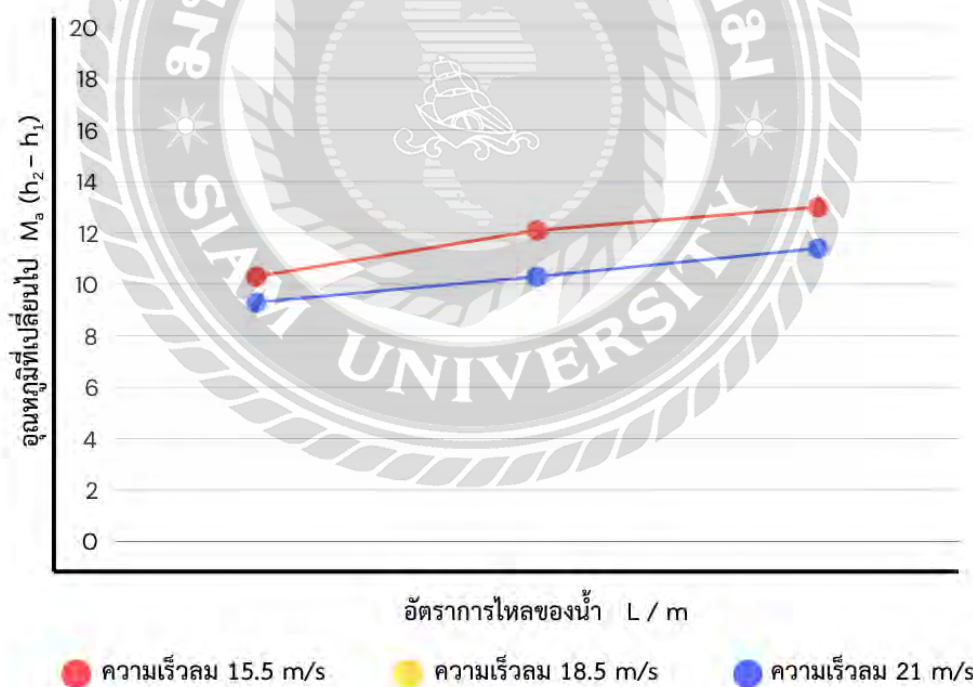


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความแตกต่างเอนทัลปีของน้ำกับอัตราการไหลของน้ำเมื่อความเร็วของลมแตกต่างกัน (ข้อมูลจากตาราง 4.9)

ตารางที่ 4.10 ผลการคำนวณค่าความแตกต่างเอนทัลปีของอากาศที่ความเร็วลมที่ 15.5 m/s , 18.5 m/s , 21 m/s ที่อุณหภูมิของ น้ำทางเข้าหอบายความร้อน 50 °C เป็นข้อมูลในการ

คำนวณค่าความแตกต่างเอนทัลปีของอากาศ (Δh_a) = $M_a (h_2 - h_1)$

อัตราการไหลของน้ำ (LPM)	ค่าความแตกต่าง เอนทัลปีของอากาศ ที่ความเร็วลม 15.5 m/s (kJ/kg)	ค่าความแตกต่าง เอนทัลปีของอากาศ ความเร็วลม 18.5 m/s (kJ/kg)	ค่าความแตกต่าง เอนทัลปีของอากาศ ความเร็วลม 21 m/s (kJ/kg)
12	9.3723	10.342	11.491
14	10.346	12.121	13.094
18	10.346	12.121	13.094



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของ Temperature Range กับอัตราการไหลของน้ำเมื่อความเร็วของลมแตกต่างกัน (ข้อมูลจากตาราง 4.10)

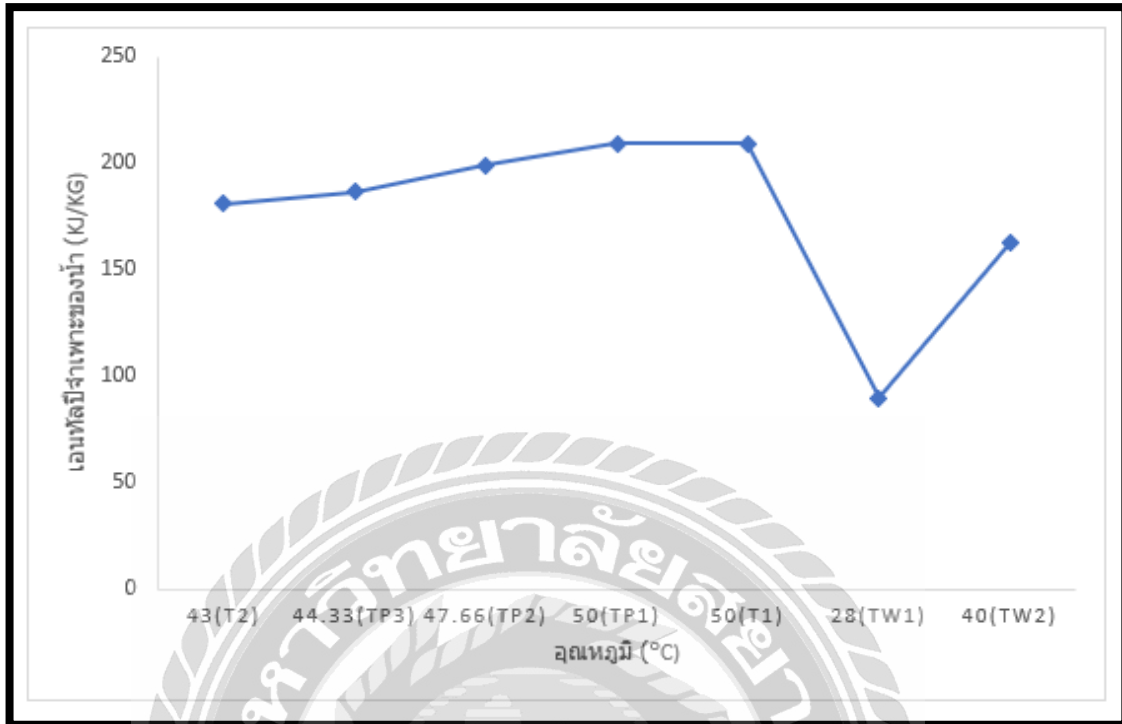
ตารางที่ 4.11 ค่าความแตกต่างเอนทัลปีจำเพาะของน้ำและค่าความแตกต่างเอนทัลปีจำเพาะของอากาศที่ความเร็วลม 15.5 m/s อัตราการไหลของน้ำ 18 LPM ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าหอระบายความร้อน 50 °C

อุณหภูมิ (°C)	เอนทัลปีจำเพาะของน้ำ (kJ/kg)
43(T ₂)	181
44.33(T _{P3})	186.5
47.66(T _{P2})	199
50(T _{P1})	209
50(T ₁)	209

อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ (°C)	เอนทัลปีจำเพาะของอากาศ (kJ/kg)
28(T _{w1})	89.952
40(T _{w2})	162.615

น้ำสูญเสียเอนทัลปีจำเพาะให้สิ่งแวดล้อม (T₁) - (T₂) = 28 kJ/kg

อากาศได้รับเอนทัลปีจำเพาะจากน้ำ (T_{w2}) - (T_{w1}) = 72.663 kJ/kg



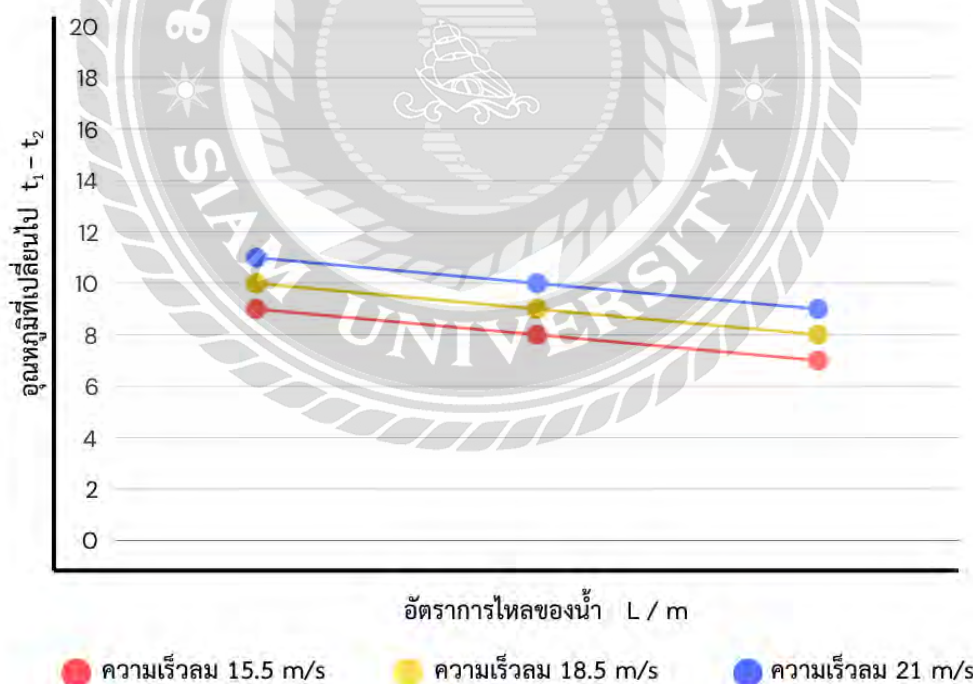
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความแตกต่างเอนทัลปีจำเพาะของน้ำกับอากาศที่ความดันอากาศ 15.5 m/s อัตราการไหลของน้ำ 18 LPM (ข้อมูลจากตาราง 4.10)

4.2 หลังการทดลอง

ตารางที่ 4.12 ค่าความแตกต่างของ Temperature Range ที่ความเร็วลมที่ 15.5 m/s , 18.5 m/s , 21 m/s ที่อุณหภูมิ ของน้ำทางเข้าหอระบายความร้อน 50 °C

$$\text{Temperature Range} = t_1 - t_2$$

อัตราการไหลของน้ำ (LPM)	ค่าความแตกต่างของ $(t_1 - t_2)$ (°C) ที่ความเร็วลม 15.5 m/s	ค่าความแตกต่างของ $(t_1 - t_2)$ (°C) ที่ความเร็วลม 18.5 m/s	ค่าความแตกต่างของ $(t_1 - t_2)$ (°C) ที่ความเร็วลม 21 m/s
12	9	10	11
14	8	9	10
18	7	8	9



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของ Temperature Range กับอัตราการไหลของน้ำเมื่อความเร็วลมแตกต่างกัน (ข้อมูลจากตาราง 4.8)

ตารางที่ 4.13 น้ำที่สูญเสียจากการทดลองที่ความเร็วลม 21 m/s

การสูญเสียน้ำในระบบ cooling tower	อัตราการไหลของน้ำ (LPM)		
	12	14	18
น้ำที่สูญเสียจากการระเหย	0.0121	0.0141	0.0181
น้ำที่สูญเสียจากลมพัด	0.0000144	0.0000168	0.0000216

ตารางที่ 4.14 น้ำที่สูญเสียจากการทดลองที่ความเร็วลม 18.5 m/s

การสูญเสียน้ำในระบบ cooling tower	อัตราการไหลของน้ำ (LPM)		
	12	14	18
น้ำที่สูญเสียจากการระเหย	0.011	0.013	0.0165
น้ำที่สูญเสียจากลมพัด	0.0000144	0.0000168	0.0000216

ตารางที่ 4.15 น้ำที่สูญเสียจากการทดลองที่ความเร็วลม 15.5 m/s

การสูญเสียน้ำในระบบ cooling tower	อัตราการไหลของน้ำ (LPM)		
	12	14	18
น้ำที่สูญเสียจากการระเหย	0.0149	0.0103	0.0116
น้ำที่สูญเสียจากลมพัด	0.0000144	0.0000168	0.0000216

ตารางที่ 4.16 การคำนวณประสิทธิภาพของ cooling tower = $\frac{T_{in} - T_{out}}{T_{in} - T_{wet}}$

อัตราการไหลของอากาศ	อัตราการไหลของน้ำ (LPM)		
	12	14	18
ความเร็วลม 21 m/s	42.3	40	37.5
ความเร็วลม 18.5 m/s	40	37.5	34.78
ความเร็วลม 15.5 m/s	37.5	34.78	31.82

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง ผลการทดลองและข้อเสนอแนะด้านเทคนิค

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเครื่องทดสอบหอบระบายความร้อนที่ได้พัฒนาจากเดิมจะเห็นว่าสามารถ ควบคุม ทั้งปริมาณความดันของอากาศและอัตราการไหลของน้ำได้คงที่มากขึ้นกว่าของเดิม ซึ่ง ในการปรับปรุงใน ครั้งนี้ไม่ได้เน้นถึงคุณสมบัติของเครื่องที่ทำการปรับปรุงจะต้องให้ได้ตาม ของเดิมทุกประการ แต่จะเน้นไป ทางด้านต้องการผลการทดลองที่แน่นอนและเที่ยงตรงทุกครั้ง เมื่อต้องการทดลอง และเก็บผลการทดลอง ซึ่งจะสามารถให้ค่า Temperature Range Approach Temperature, กราฟเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของ น้ำ, การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของ อากาศ และการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีจำเพาะของน้ำกับอากาศที่ ชัดเจน และแม่นยำ ซึ่งจะแบ่ง การทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิและค่าความ ต่างของของอุณหภูมิ ของอากาศที่มีการทดลองที่แตกต่างกันโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำทางเข้า หอบระบาย ความร้อนและอัตราการไหลของน้ำจากน้อยสุดไปหามากสุด และได้ทำการทดลองสองครั้ง ใน ครั้งแรกที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของน้ำที่ (12 LPM - 18 LPM) ครั้งที่สอง ทดลอง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของน้ำที่ (14 LPM - 18 LPM) ปรากฏว่า ผลการทดลอง ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 เปรียบเทียบ ค่าความแตกต่างของค่า Temperature Range ของทั้งสองผลการ ทดลอง มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำทางเข้าหอบระบายความร้อนรวมไป ถึงค่าของ Approach Temperature และค่า การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีจำเพาะอีกด้วย

5.2 สรุปผลการปรับปรุง

5.2.1 รับปรุงชุดปรับปริมาณน้ำ ได้มีการเปลี่ยนทางเดินของน้ำที่ใช้ในระบบใหม่ ทั้งหมดและเพิ่ม วาล์วปรับปริมาณน้ำเข้าไป ทำให้อัตราการไหลของน้ำคงที่ขึ้นโดยมีการทดสอบ อัตราการไหลของน้ำเทียบ กันระหว่างกรวยตวง และอุปกรณ์วัดอัตราการไหล ซึ่งสามารถวัดอัตราการไหลของน้ำได้ใกล้เคียงกันมาก

5.2.2 ปรับปรุงถังบรรจุน้ำ จากการปรับปรุงของรุ่นที่ผ่านมาได้พบว่าได้ทิ้งน้ำไว้ในถัง โดยไม่มีการ ถ่ายเทน้ำทิ้งเลย จึงมีผลทำให้ถังบรรจุน้ำหรือถังพักน้ำเกิดรอยรั่วตามจุดต่อและแนว เชื่อม และยังพบ อุปกรณ์ที่เสียหายอีกหลายชิ้นเช่น ปั้มน้ำ ฮีตเตอร์ เป็นต้น จึงได้มีการปรับปรุง และซ่อมแซมถังพักน้ำให้ คงสภาพที่ใช้งานได้

5.2.3 ปรับปรุงการวางปั้มน้ำใหม่ โดยการย้ายปั้มน้ำให้อยู่เหนือระดับน้ำ ซึ่งของเดิมจะอยู่ ด้านล่าง ของถังพักน้ำทำให้น้ำขังอยู่ในปั้มน้ำอยู่ตลอดเวลาและทำให้น้ำเกิดสนิมและเสียหาย ซึ่งเมื่อได้ทำการ ปรับปรุงแล้วทำให้ปั้มน้ำสามารถทำงานได้ดี และยาวนานขึ้น

5.2.4 ปรับปรุงการเดินสายไฟในชุดคอยคุมให้เป็นระเบียบและสามารถตรวจดูวงจรการทำงาน ของชุดควบคุมของแต่ละชุดได้ง่ายยิ่งขึ้น ซึ่งก่อนการปรับปรุงมีการเดินสายไฟที่ยุ่งยาก มากและยากต่อการหาต้นสายและปลายสายและมีอันตรายต่อการเกิดการลัดวงจรขึ้นได้ง่ายเมื่อสายที่ใช้หมดสภาพการใช้งาน เมื่อได้ทำการปรับปรุงแยกการเดินสายไฟตามจุดการใช้งานก็ สามารถทำการตรวจเช็คได้ง่ายยิ่งขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะด้านเทคนิค

ในการวัดค่าของอุณหภูมิของเครื่องทดสอบในปัจจุบันได้ใช้ THERMOCOUPLE ในการ วัดอุณหภูมิในแต่ละช่วงซึ่งชุดวัดอุณหภูมิ THERMOCOUPLE ที่ใช้มีความละเอียดในการวัด ค่อนข้างดีขึ้น กว่ารุ่นที่แล้วที่หยابหรือมีความละเอียดที่น้อยมากถ้าเทียบกับชุดวัดอุณหภูมิตัวอื่นเพื่อที่จะสามารถ ช่วยบอกอุณหภูมิในแต่ละช่วงได้ละเอียดมากยิ่งขึ้น ซึ่งปัจจุบันอุปกรณ์ที่สามารถวัดค่าได้ละเอียด กว่าชุดวัดอุณหภูมิ THERMOCOUPLE มีอยู่มากอย่างเช่น ชุดวัดอุณหภูมิ RTD เป็นต้น



บรรณานุกรม

- บริษัท สแควร์ คูลลิ่ง ทาวเวอร์ จำกัด. (2561) *ทฤษฎี คูลลิ่งทาวเวอร์. SQUARE COOLING TOWER.*
<https://www.squarecooling.co.th/index.php/th/2018-06-26-04-48-39>
- บริษัท 2 พีที จำกัด. (2568) *หลักการการทำงานของ Cooling Tower และ คูลลิ่งทาวเวอร์คืออะไร มีกี่แบบส่วนประกอบ.* <https://www.2pt3q.com/cooling-tower>
- ศรทรรศน์ โคนโท คเชนทร์ จุฑามาศ สรวุฒิ เสงเส็ง. (2547) *การปรับปรุงชุดทดลองชุดหอบหายใจ ความร้อน.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยสยาม.
- e-Industrial Technology Center. (2016) *Cooling Tower.*
<http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=print&article id=2559>
- Somchai Industry Company Limited. (2021) *สาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง.* <https://www.sci-fintube.com>
- SPACCO COOLING TOWER INDUSTRY CO. (2021) *หลักการการทำงานของคูลลิ่งทาวเวอร์.*
<https://www.spacco.co.th>





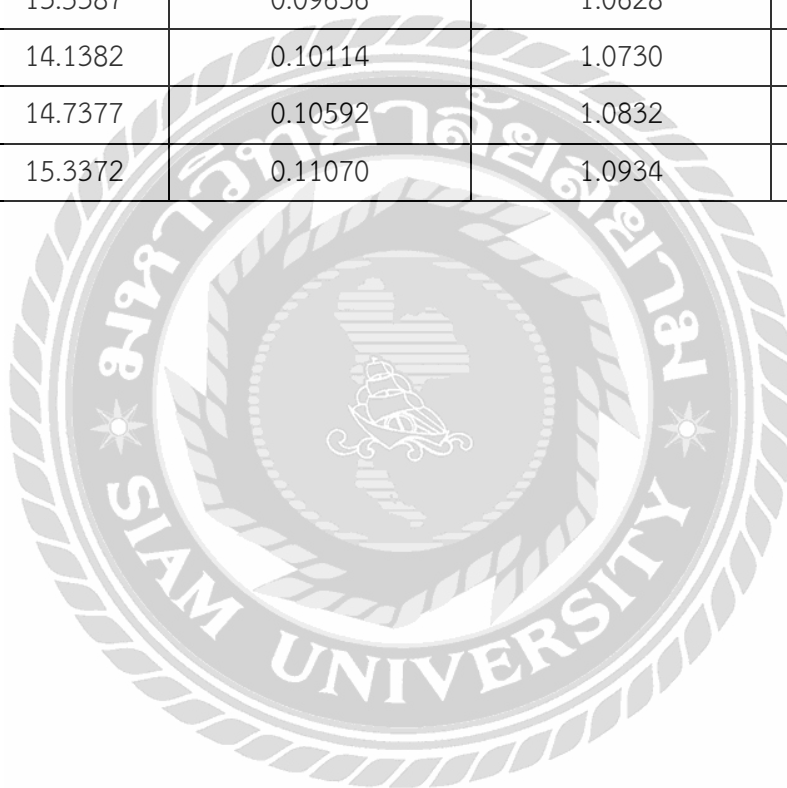
ภาคผนวก ก.

ตารางคุณสมบัติของอากาศอิมตัวที่ความดันบรรยากาศ

ตารางที่ ก. ตารางคุณสมบัติของอากาศอิมิต์ที่ความดันบรรยากาศ

อุณหภูมิ (°C)	ความดันไอ (kPa)	อัตราส่วนความชื้น (kg)	ปริมาตรจำเพาะ m ³ /kg	เอนทัลปี kJ/kg
20	2.3373	0.01475	0.8498	57.544
21	2.4861	0.01572	0.8540	61.021
22	2.6431	0.01674	0.8583	64.642
23	2.8086	0.01781	0.8626	68.425
24	2.9832	0.01896	0.8671	72.366
25	3.1671	0.02016	0.8716	76.481
26	3.3609	0.02144	0.8763	80.777
27	3.5649	0.02279	0.8811	85.263
28	3.7797	0.02422	0.8860	89.952
29	4.0055	0.02720	0.8910	94.851
30	4.2431	0.02732	0.8961	99.977
31	4.4928	0.02900	0.9014	105.337
32	4.7552	0.03078	0.9068	110.946
33	5.0308	0.03266	0.9124	116.819
34	5.3201	0.03464	0.9182	122.969
35	5.6237	0.03674	0.9241	129.411
36	5.9423	0.03895	0.9302	136.161
37	6.2764	0.04129	0.9365	143.239
38	6.6265	0.04376	0.9430	150.660
39	6.9935	0.04636	0.9497	158.445
40	7.3778	0.04911	0.9567	168.615
41	7.7803	0.05202	0.9713	175.192
42	8.2016	0.05509	0.9739	184.200
43	8.6424	0.05833	0.9790	193.662
44	9.1036	0.06176	0.9871	203.610
45	9.5856	0.06537	0.9954	214.067

อุณหภูมิ (°C)	ความดันไอ (kPa)	อัตราส่วนความชื้น (kg)	ปริมาตรจำเพาะ m^3/kg	เอนทัลปี kJ/kg
46	10.0896	0.06920	1.0040	225.067
47	10.6161	0.07324	1.0130	236.643
48	11.1659	0.07751	1.0224	248.828
49	11.7402	0.08202	1.0322	264.667
50	12.3397	0.08680	1.0424	275.198
51	12.9392	0.09158	1.0526	285.729
52	13.5387	0.09636	1.0628	296.260
53	14.1382	0.10114	1.0730	306.791
54	14.7377	0.10592	1.0832	317.322
55	15.3372	0.11070	1.0934	327.853





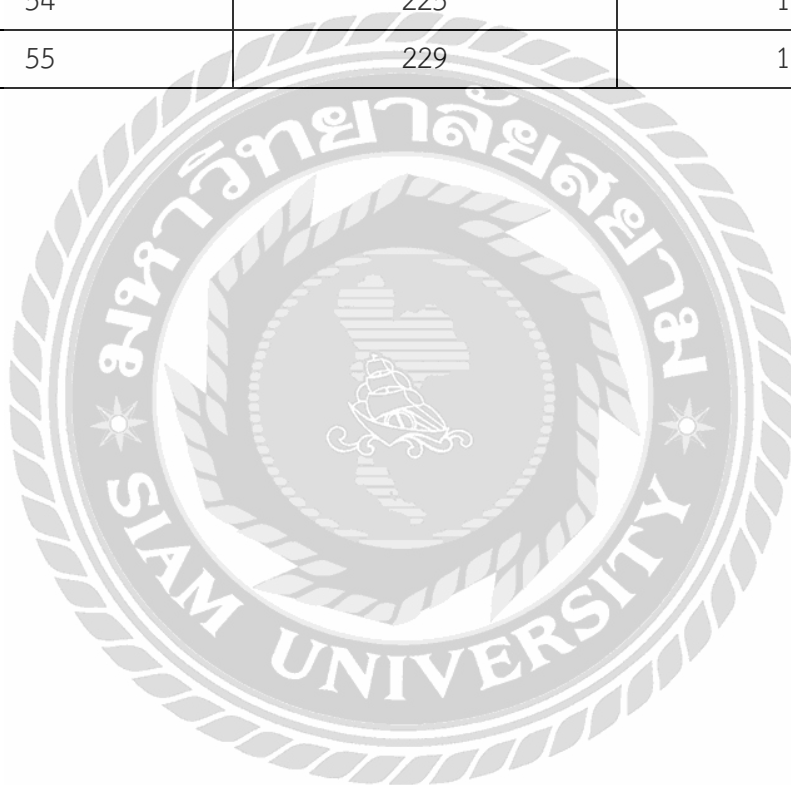
ภาคผนวก ข.

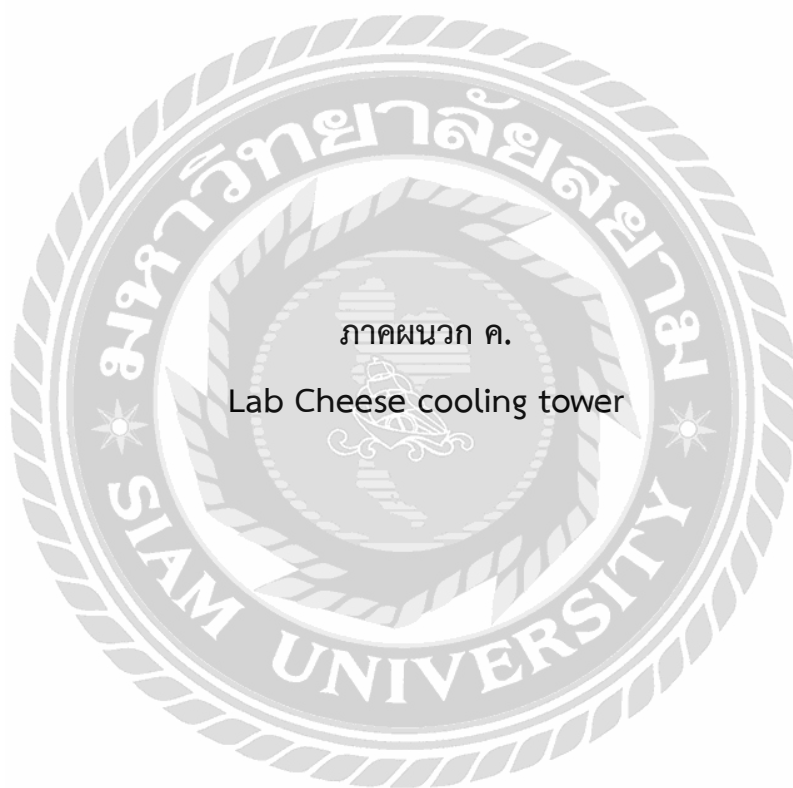
ตารางคุณสมบัติของไอน้ำอิมตัวและอากาศแห้งที่ความดันบรรยากาศ

ตารางที่ ข. ตารางคุณสมบัติของไอน้ำอิ่มตัวและอากาศแห้งที่ความดันบรรยากาศ

อุณหภูมิ (°C)	ไอน้ำ h_f (KJ/kg)	อากาศแห้ง ρ (kg/m ³)
20	84	1.205
21	88	1.201
22	92	1.197
23	97	1.193
24	101	1.189
25	104	1.185
26	109	1.181
27	113	1.177
28	117	1.173
29	122	1.169
30	126	1.164
31	130	1.161
32	134	1.157
33	138	1.154
34	142	1.150
35	147	1.146
36	151	1.142
37	155	1.139
38	159	1.135
39	164	1.131
40	168	1.128
41	173	1.124
42	177	1.121
43	181	1.117
44	185	1.114
45	188	1.110
46	192	1.107
47	197	1.103

อุณหภูมิ (°C)	ไอน้ำ h_f (KJ/kg)	อากาศแห้ง ρ (kg/m ³)
48	201	1.100
49	205	1.096
50	209	1.096
51	213	1.090
52	217	1.087
53	221	1.084
54	225	1.081
55	229	1.078





ภาคผนวก ค.

Lab Cheese cooling tower

ขั้นตอนการทดลอง

1. ตรวจสอบระดับน้ำในถังพักน้ำให้อยู่ในระดับที่เติมตามที่กำหนดไว้ในถัง ถ้าน้ำมี ความสกปรกควร ถ่ายน้ำทิ้งแล้วเติมน้ำที่สะอาดลงไป
2. เปิดเบรกเกอร์เมน
3. เปิดเบรกเกอร์ระบบไฟตั้งค่าอุณหภูมิเพื่อให้ฮีตเตอร์ทำงาน
4. เมื่ออุณหภูมิถึงที่ตั้งไว้ฮีตเตอร์จะหยุดทำงาน
5. เปิดเบรกเกอร์ปั๊มเพื่อให้ปั๊มทำงานและเปิดวาล์วน้ำเพื่อไล่อากาศ
6. เปิดเบรกเกอร์โบลเวอร์เพื่อระบายความร้อน
7. รออุณหภูมิน้ำลดลงถึงที่ตั้งไว้และทำการปิดเบรกเกอร์ปั๊มน้ำโบลเวอร์
8. เมื่อเริ่มทำงานอีกครั้งตั้งอุณหภูมิเพื่อให้ฮีตเตอร์ทำงานและกลับไปทำขั้นตอนที่ 4 และ 6 ใหม่

ข้อควรระวังในการทดลอง

ขณะที่ทดลองควรสังเกตน้ำในถังพักให้ระดับน้ำอยู่เหนือกว่าระดับฮีตเตอร์เสมอขณะที่ทดลองควรสังเกตวาล์วน้ำเข้าและวาล์วน้ำไหลออกให้อยู่ตำแหน่งเปิดสุด การปรับอัตราการไหลของน้ำแต่ละค่าจะต้องทำอย่างช้าๆ และระมัดระวัง การเติมน้ำในถังพักน้ำควรระวังสายไฟของฮีตเตอร์ ด้านหลังถังน้ำด้วย

ตารางการทดลอง

ตารางที่ 1 ตารางแสดงผลการทดลองอุณหภูมิของน้ำที่ความเร็วลม 15.5 m/s ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าหอบายความร้อน 50 °C

อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหลของน้ำ (LPM)		
	12	14	18
อุณหภูมิน้ำเข้า t_1			
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p1}			
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p2}			
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p3}			
อุณหภูมิน้ำออก t_2			
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางเข้า t_{w1}			
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางเข้า t_{d1}			
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางออก t_{w2}			
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางออก t_{d2}			

ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยของผลการทดลองอุณหภูมิของน้ำที่ความเร็วลมที่ 15.5 m/s อุณหภูมิของน้ำทางเข้าหอบายความร้อน 50 °C

อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหลของน้ำ (LPM)		
	12	14	18
อุณหภูมิน้ำเข้า t_1			
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p1}			
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p2}			
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p3}			
อุณหภูมิน้ำออก t_2			
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางเข้า t_{w1}			
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางเข้า t_{d1}			
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางออก t_{w2}			
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางออก t_{d2}			

ตารางที่ 3 ตารางแสดงผลการทดลองอุณหภูมิของน้ำที่ความเร็วลม 18.5 m/s ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าหอบายความร้อน 50 °C

อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหลของน้ำ (LPM)								
	12			14			18		
อุณหภูมิน้ำเข้า t_1									
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p1}									
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p2}									
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p3}									
อุณหภูมิน้ำออก t_2									
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางเข้า t_{w1}									
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางเข้า t_{d1}									
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางออก t_{w2}									
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางออก t_{d2}									

ตารางที่ 4 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยของผลการทดลองอุณหภูมิของน้ำที่ความเร็วลมที่ 18.5 m/s อุณหภูมิของน้ำทางเข้าหอบายความร้อน 50 °C

อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหลของน้ำ (LPM)		
	12	14	18
อุณหภูมิน้ำเข้า t_1			
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p1}			
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p2}			
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p3}			
อุณหภูมิน้ำออก t_2			
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางเข้า t_{w1}			
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางเข้า t_{d1}			
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางออก t_{w2}			
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางออก t_{d2}			

ตารางที่ 5 ตารางแสดงผลการทดลองอุณหภูมิของน้ำที่ความเร็วลม 21 m/s ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าหอบายความร้อน 50 °C

อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหลของน้ำ (LPM)								
	12			14			18		
อุณหภูมิน้ำเข้า t_1									
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p1}									
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p2}									
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p3}									
อุณหภูมิน้ำออก t_2									
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางเข้า t_{w1}									
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางเข้า t_{d1}									
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางออก t_{w2}									
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางออก t_{d2}									

ตารางที่ 6 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยของผลการทดลองอุณหภูมิของน้ำที่ความเร็วลมที่ 21 m/s อุณหภูมิของน้ำทางเข้าหอบายความร้อน 50 °C

อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหลของน้ำ (LPM)		
	12	14	18
อุณหภูมิน้ำเข้า t_1			
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p1}			
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p2}			
อุณหภูมิน้ำแพ็กกิ้ง t_{p3}			
อุณหภูมิน้ำออก t_2			
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางเข้า t_{w1}			
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางเข้า t_{d1}			
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศทางออก t_{w2}			
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศทางออก t_{d2}			

ตารางที่ 7 ผลการคำนวณค่าความแตกต่างของ Temperature Range ที่ความเร็วลมที่ 15.5 m/s , 18.5 m/s , 21 m/s อุณหภูมิของน้ำ ทางเข้าหอบายความร้อน 50 °C เป็นข้อมูลในการคำนวณ Temperature Range = $t_1 - t_2$

อัตราการไหลของน้ำ (LPM)	ค่าความแตกต่างของ ($t_1 - t_2$) (°C) ที่ ความเร็วลม 15.5 m/s	ค่าความแตกต่างของ ($t_1 - t_2$) (°C) ที่ ความเร็วลม 18.5 m/s	ค่าความแตกต่างของ ($t_1 - t_2$) (°C) ที่ ความเร็วลม 21 m/s
12			
14			
18			



ตารางที่ 8 ผลการคำนวณค่าความแตกต่างของ Approach Temperature ที่ความเร็วลมที่ 15.5 m/s , 18.5 m/s , 21 m/s) ที่อุณหภูมิของ น้ำทางเข้าหอบายความร้อน 50 °C เป็นข้อมูลในการคำนวณ Approach Temperature = $t_2 - t_{w1}$

อัตราการไหลของน้ำ (LPM)	ค่าความแตกต่างของ $(t_2 - t_{w1})$ (°C) ที่ความเร็วลม 15.5 m/s	ค่าความแตกต่างของ $(t_2 - t_{w1})$ (°C) ที่ความเร็วลม 18.5 m/s	ค่าความแตกต่างของ $(t_2 - t_{w1})$ (°C) ที่ความเร็วลม 21 m/s
12			
14			
18			



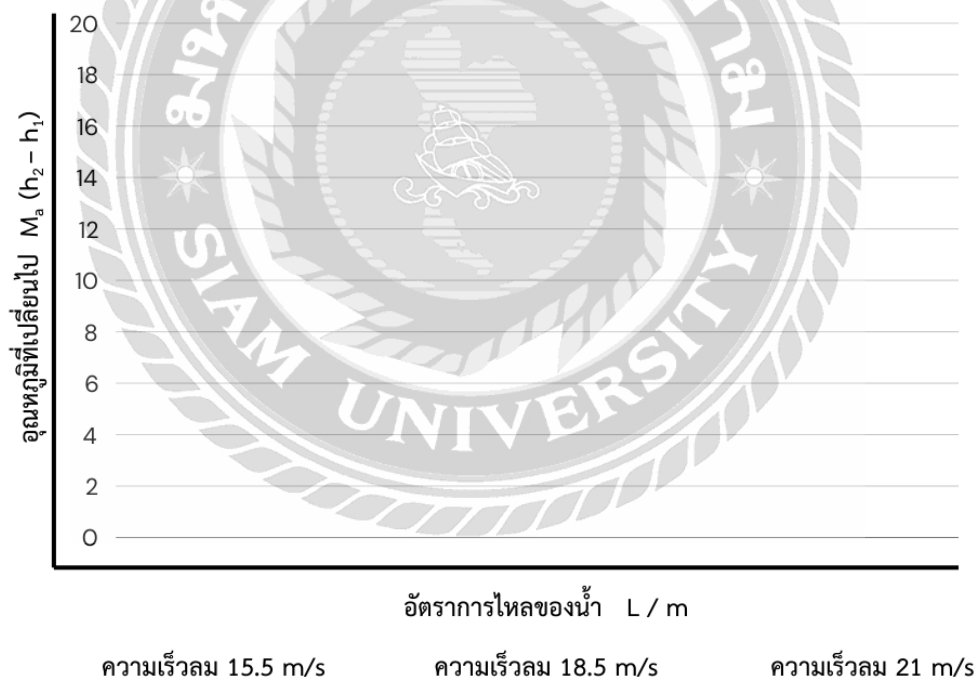
ตารางที่ 9 ผลการคำนวณค่าความแตกต่างเอนทัลปีของน้ำที่ความเร็วลมที่ 15.5 m/s , 18.5 m/s , 21 m/s ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าหอระบายความร้อน 50 °C เป็นข้อมูลในการคำนวณค่าความแตกต่างเอนทัลปีของน้ำ (Δh_w) = $M_w \cdot C_p(t_1 - t_2)$

อัตราการไหลของน้ำ (LPM)	ค่าความแตกต่างเอนทัลปีของน้ำ (kW) ที่ความเร็วลม 15.5 m/s	ค่าความแตกต่างเอนทัลปีของน้ำ (KW) ที่ความเร็วลม 18.5 m/s	ค่าความแตกต่างเอนทัลปีของน้ำ (kW) ที่ความเร็วลม 21 m/s
12			
14			
18			



ตารางที่ 10 ผลการคำนวณค่าความแตกต่างเอนทัลปีของอากาศที่ความเร็วลมที่ 15.5 m/s , 18.5 m/s , 21 m/s ที่อุณหภูมิของ น้ำทางเข้าหอระบายความร้อน 50 °C เป็นข้อมูลในการคำนวณค่าความแตกต่างเอนทัลปีของอากาศ (Δh_a) = $M_a (h_2 - h_1)$

อัตราการไหลของน้ำ (LPM)	ค่าความแตกต่างเอนทัลปีของความเร็วลม 15.5 m/s	ค่าความแตกต่างเอนทัลปีของความเร็วลม 18.5 m/s	ค่าความแตกต่างเอนทัลปีของความเร็วลม 21 m/s
12			
14			
18			





ภาคผนวก ง.
การคำนวณ Cooling Tower

ความเร็วลม 21 m/s
อัตราการไหลของน้ำ 14 lpm

Temperature Range

$$\begin{aligned}\text{Range} &= t_1 - t_2 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 50 \text{ } ^\circ\text{C} - 40 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 10 \text{ } ^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Approach temperature

$$\begin{aligned}\text{Approach} &= t_2 - t_{w1} \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 40 \text{ } ^\circ\text{C} - 23 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 17 \text{ } ^\circ\text{C}\end{aligned}$$

ความดันไอในอากาศ

อากาศเข้า

$$P_{s1} = P_{sw1} - \left[\left(\frac{P_{atm} - P_{sw1}}{2800 - 1.3 \times t_{w1}} \right) (t_{d1} - t_{w1}) \right]$$

เมื่ออุณหภูมิ $t_{w1} = 23 \text{ } ^\circ\text{C}$

จากตารางในภาคผนวก ก.

จะได้ $P_{sw1} = 2.8066 \text{ kPa}$

$$P_{atm} = 101.3 \text{ kPa}$$

$$t_{w1} = 23 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{d1} = 29 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned}P_{s1} &= 2.8086 - \left[\left(\frac{101.3 - 2.8086}{2800 - 1.3 \times 23} \right) (29 - 23) \right] \\ &= 2.595 \text{ kPa}\end{aligned}$$

อากาศออก

$$P_{s2} = P_{sw2} - \left[\left(\frac{P_{atm} - P_{sw2}}{2800 - 1.3 \times t_{w2}} \right) (t_{d2} - t_{w2}) \right]$$

เมื่ออุณหภูมิ $t_{w2} = 32 \text{ } ^\circ\text{C}$

จะได้ $P_{sw2} = 4.7552 \text{ kPa}$

$$P_{atm} = 101.3 \text{ kPa}$$

$$t_{d2} = 39 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned}P_{s2} &= 4.7552 - \left[\left(\frac{101.3 - 4.7552}{2800 - 1.3 \times 32} \right) (39 - 32) \right] \\ &= 4.510 \text{ kPa}\end{aligned}$$

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

อากาศเข้า

$$\phi = \left[\frac{P_{s1}}{P_{sd1}} \right] \times 100$$

เมื่ออุณหภูมิ

$$t_{d1} = 29 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

จากตารางในภาคผนวก ก.

จะได้ $P_{sd1} = 4.005 \text{ kPa}$

$$\begin{aligned} \phi &= \left[\frac{4.510}{4.005} \right] \times 100 \\ &= 64.794 \% \end{aligned}$$

อากาศออก

$$\phi = \left[\frac{P_{s2}}{P_{sd2}} \right] \times 100$$

เมื่ออุณหภูมิ

$$t_{d2} = 39 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

จากตารางในภาคผนวก ก.

จะได้ $P_{sd2} = 6.993 \text{ kPa}$

$$\begin{aligned} \phi &= \left[\frac{4.510}{6.993} \right] \times 100 \\ &= 64.493\% \end{aligned}$$

ความดันอากาศแห้ง

จาก Dalton Law

$$P_{atm} = P_a - P_s$$

อากาศเข้า

$$P_{a1} = P_{atm} - P_{s1}$$

$$P_{a1} = 101.3 - 2.595$$

$$= 98.705 \text{ kPa}$$

อากาศออก

$$\begin{aligned} P_{a2} &= P_{\text{atm}} - P_{s2} \\ P_{a2} &= 101.3 - 4.510 \\ &= 96.79 \text{ kPa} \end{aligned}$$

ความชื้นเฉพาะอากาศเข้า

$$\begin{aligned} w_1 &= 0.622 \times \left[\frac{P_{s1}}{P_{a1}} \right] \\ &= 0.622 \times \left[\frac{2.595}{98.705} \right] \\ &= 0.0163 \text{ kg/kg}_{\text{dry air}} \end{aligned}$$

ความชื้นเฉพาะอากาศออก

$$\begin{aligned} w_2 &= 0.622 \times \left[\frac{P_{s2}}{P_{a2}} \right] \\ &= 0.622 \times \left[\frac{4.510}{96.79} \right] \\ &= 0.0289 \text{ kg/kg}_{\text{dry air}} \end{aligned}$$

อัตราการไหลของน้ำหาได้โดย

$$\begin{aligned} 1 \text{ LPM} &= 0.0000017 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_w &= 14 \text{ LPM} \times 0.0000017 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 0.000238 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

มวลของน้ำหาได้โดย

$$\begin{aligned} \dot{m}_w &= \rho \times Q_w \\ \dot{m}_w &= 1000 \times 0.000238 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 0.238 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

อัตราการไหลของอากาศหาได้โดย

$$\begin{aligned} Q_a &= v \times A \\ A &= 82.19 \text{ cm}^2 \\ v &= 21 \text{ m/s} \\ Q_a &= 21 \times 82.12 \times 10^{-4} \\ &= 0.1726 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

มวลการไหลของอากาศ

$$\dot{m}_a = \rho \times Q_a$$

$$t_{d1} = 29 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

จากตารางในภาคผนวก ข.

จะได้

$$\rho = 1.169 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m}_a = 1.169 \times 0.1726$$

$$= 0.2018 \text{ kg/s}$$

การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของน้ำ

$$\Delta h_w = \dot{m}_w \times C_p \times (t_1 - t_2)$$

$$= 0.238 \times 4.18 \times (50 - 40)$$

$$= 9.9484 \text{ kW}$$

การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของอากาศ

$$\Delta h_a = \dot{m}_{wa} (h_2 - h_1)$$

เมื่ออุณหภูมิ

$$t_{w1} = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{w2} = 32 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

จากตารางในภาคผนวก ก.

$$h_1 = 68.425 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 110.946 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta h_a = 0.2018 \times (110.964 - 68.425)$$

$$= 8.584 \text{ kW}$$

ความเร็วลม 18.5 m/s

อัตราการไหลของน้ำ 14 lpm

Temperature Range

$$\begin{aligned} \text{Range} &= t_1 - t_2 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 50 \text{ } ^\circ\text{C} - 40 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 10 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Approach temperatre

$$\begin{aligned} \text{Approach} &= t_2 - t_{w1} \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 40 \text{ } ^\circ\text{C} - 24 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 16 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

ความดันไอในอากาศ

อากาศเข้า

$$P_{s1} = P_{sw1} - \left[\left(\frac{P_{atm} - P_{sw1}}{2800 - 1.3 \times t_{w1}} \right) (t_{d1} - t_{w1}) \right]$$

เมื่ออุณหภูมิ $t_{w1} = 24 \text{ } ^\circ\text{C}$

จากตารางในภาคผนวก ก.

จะได้ $P_{sw1} = 2.9832 \text{ kPa}$

$P_{atm} = 101.3 \text{ kPa}$

$t_{w1} = 24 \text{ } ^\circ\text{C}$

$t_{d1} = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$P_{s1} = 2.9832 - \left[\left(\frac{101.3 - 2.9832}{2800 - 1.3 \times 24} \right) (30 - 24) \right]$$

$= 2.770 \text{ kPa}$

อากาศออก

$$P_{s2} = P_{sw2} - \left[\left(\frac{P_{atm} - P_{sw2}}{2800 - 1.3 \times t_{w2}} \right) (t_{d2} - t_{w2}) \right]$$

เมื่ออุณหภูมิ $t_{w2} = 33 \text{ } ^\circ\text{C}$

จากตารางในภาคผนวก ก.

จะได้ $P_{sw2} = 5.0308 \text{ kPa}$

$P_{atm} = 101.3 \text{ kPa}$

$$\begin{aligned}
 t_{d2} &= 40 \text{ }^{\circ}\text{C} \\
 P_{s2} &= 5.0308 - \left[\left(\frac{101.3 - 5.0308}{2800 - 1.3 \times 33} \right) (40 - 33) \right] \\
 &= 4.789 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

อากาศเข้า

$$\phi = \left[\frac{P_{s1}}{P_{sd1}} \right] \times 100$$

เมื่ออุณหภูมิ

$$t_{d1} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

จากตารางในภาคผนวก ก.

จะได้ $P_{sd1} = 4.2431 \text{ kPa}$

$$\begin{aligned}
 \phi &= \left[\frac{2.770}{4.2431} \right] \times 100 \\
 &= 65.282\%
 \end{aligned}$$

อากาศออก

$$\phi = \left[\frac{P_{s2}}{P_{sd2}} \right] \times 100$$

เมื่ออุณหภูมิ

$$t_{d2} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

จากตารางในภาคผนวก ก.

จะได้ $P_{sd2} = 7.3778 \text{ kPa}$

$$\begin{aligned}
 \phi &= \left[\frac{4.789}{7.3778} \right] \times 100 \\
 &= 64.910\%
 \end{aligned}$$

ความดันอากาศแห้ง

จาก Dalton Law

$$P_{atm} = P_a - P_s$$

อากาศเข้า

$$\begin{aligned}
 P_{a1} &= P_{atm} - P_{s1} \\
 P_{a1} &= 101.3 - 2.770 \\
 &= 98.53 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

อากาศออก

$$P_{a2} = P_{atm} - P_{s2}$$

$$P_{a2} = 101.3 - 4.789$$

$$= 96.551 \text{ kPa}$$

ความชื้นเฉพาะอากาศเข้า

$$w_1 = 0.622 \times \left[\frac{P_{s1}}{P_{a1}} \right]$$

$$= 0.622 \times \left[\frac{2.770}{98.53} \right]$$

$$= 0.01748 \text{ kg/kg}_{\text{dry air}}$$

ความชื้นเฉพาะอากาศออก

$$w_2 = 0.622 \times \left[\frac{P_{s2}}{P_{a2}} \right]$$

$$= 0.622 \times \left[\frac{4.789}{96.551} \right]$$

$$= 0.03085 \text{ kg/kg}_{\text{dry air}}$$

อัตราการไหลของน้ำหาได้โดย

$$1 \text{ LPM} = 0.0000017 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_w = 14 \text{ LPM} \times 0.0000017 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 0.000238 \text{ m}^3/\text{s}$$

มวลของน้ำหาได้โดย

$$\dot{m}_w = \rho \times Q_w$$

$$\dot{m}_w = 1000 \times 0.000238 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 0.238 \text{ kg/s}$$

อัตราการไหลของอากาศหาได้โดย

$$Q_a = v \times A$$

$$A = 82.19 \text{ cm}^2$$

$$v = 18.5 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} Q_a &= 18.5 \times 82.12 \times 10^{-4} \\ &= 0.151 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

มวลการไหลของอากาศ

$$\dot{m}_a = \rho \times Q_a$$

$$t_{d1} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

จากตารางในภาคผนวก ข.

จะได้

$$\rho = 1.164 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m}_a = 1.164 \times 0.1726$$

$$= 0.2009 \text{ kg/s}$$

การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของน้ำ

$$\Delta h_w = \dot{m}_w \times C_p \times (t_1 - t_2)$$

$$= 0.238 \times 4.18 \times (50 - 40)$$

$$= 9.9484 \text{ kW}$$

การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของอากาศ

$$\Delta h_a = \dot{m}_a (h_2 - h_1)$$

เมื่ออุณหภูมิ

$$t_{w1} = 24 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{w2} = 33 \text{ }^\circ\text{C}$$

จากตารางในภาคผนวก ก.

$$h_1 = 72.336 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 116.819 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta h_a = 0.2009 \times (116.819 - 72.336)$$

$$= 8.936 \text{ kW}$$

ความเร็วลม 15.5 m/s
อัตราการไหลของน้ำ 14 lpm

Temperature Range

$$\begin{aligned} \text{Range} &= t_1 - t_2 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 50 \text{ } ^\circ\text{C} - 40 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 10 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Approach temperatre

$$\begin{aligned} \text{Approach} &= t_2 - t_{w1} \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 40 \text{ } ^\circ\text{C} - 25 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 15 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

ความดันไอในอากาศ

อากาศเข้า

$$P_{s1} = P_{sw1} - \left[\left(\frac{P_{atm} - P_{sw1}}{2800 - 1.3 \times t_{w1}} \right) (t_{d1} - t_{w1}) \right]$$

เมื่ออุณหภูมิ $t_{w1} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$

จากตารางในภาคผนวก ก.

จะได้ $P_{sw1} = 3.1671 \text{ kPa}$

$$P_{atm} = 101.3 \text{ kPa}$$

$$t_{w1} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{d1} = 31 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} P_{s1} &= 3.1671 - \left[\left(\frac{101.3 - 3.1671}{2800 - 1.3 \times 25} \right) (31 - 25) \right] \\ &= 2.9543 \text{ kPa} \end{aligned}$$

อากาศออก

$$P_{s2} = P_{sw2} - \left[\left(\frac{P_{atm} - P_{sw2}}{2800 - 1.3 \times t_{w2}} \right) (t_{d2} - t_{w2}) \right]$$

เมื่ออุณหภูมิ $t_{w2} = 34 \text{ } ^\circ\text{C}$

จากตารางในภาคผนวก ก.

จะได้ $P_{sw2} = 5.3201 \text{ kPa}$

$$P_{atm} = 101.3 \text{ kPa}$$

$$t_{d2} = 41 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$P_{s2} = 5.3201 - \left[\left(\frac{101.3 - 5.3201}{2800 - 1.3 \times 34} \right) (41 - 34) \right]$$

$$= 5.0763 \text{ kPa}$$

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

อากาศเข้า

$$\phi = \left[\frac{P_{s1}}{P_{sd1}} \right] \times 100$$

เมื่ออุณหภูมิ

$$t_{d1} = 31 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

จากตารางในภาคผนวก ก.

จะได้ $P_{sd1} = 4.4928 \text{ kPa}$

$$\begin{aligned} \phi &= \left[\frac{2.9543}{4.4928} \right] \times 100 \\ &= 65.756 \% \end{aligned}$$

อากาศออก

$$\phi = \left[\frac{P_{s2}}{P_{sd2}} \right] \times 100$$

เมื่ออุณหภูมิ

$$t_{d2} = 41 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

จากตารางในภาคผนวก ก.

จะได้ $P_{sd2} = 7.7803 \text{ kPa}$

$$\begin{aligned} \phi &= \left[\frac{5.0763}{7.7803} \right] \times 100 \\ &= 65.245 \% \end{aligned}$$

ความดันอากาศแห้ง

จาก Dalton Law

$$P_{atm} = P_a - P_s$$

อากาศเข้า

$$P_{a1} = P_{atm} - P_{s1}$$

$$\begin{aligned} P_{a1} &= 101.3 - 2.9543 \\ &= 98.34 \text{ kPa} \end{aligned}$$

อากาศออก

$$\begin{aligned} P_{a2} &= P_{atm} - P_{s2} \\ P_{a2} &= 101.3 - 5.0763 \\ &= 96.223 \text{ kPa} \end{aligned}$$

ความชื้นเฉพาะอากาศเข้า

$$\begin{aligned} w_1 &= 0.622 \times \left[\frac{P_{s1}}{P_{a1}} \right] \\ &= 0.622 \times \left[\frac{2.9543}{98.34} \right] \\ &= 0.01868 \text{ k/kg}_{\text{dry air}} \end{aligned}$$

ความชื้นเฉพาะอากาศออก

$$\begin{aligned} w_2 &= 0.622 \times \left[\frac{P_{s2}}{P_{a2}} \right] \\ &= 0.622 \times \left[\frac{5.0763}{96.223} \right] \\ &= 0.03281 \text{ kg/kg}_{\text{dry air}} \end{aligned}$$

อัตราการไหลของน้ำหาได้โดย

$$\begin{aligned} 1 \text{ LPM} &= 0.0000017 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_w &= 14 \text{ LPM} \times 0.0000017 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 0.000238 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

มวลของน้ำหาได้โดย

$$\begin{aligned} \dot{m}_w &= \rho \times Q_w \\ \dot{m}_w &= 1000 \times 0.000238 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 0.238 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

อัตราการไหลของอากาศหาได้โดย

$$\begin{aligned} Q_a &= v \times A \\ A &= 82.19 \text{ cm}^2 \\ v &= 15.5 \text{ m/s} \\ Q_a &= 15.5 \times 82.12 \times 10^{-4} \\ &= 0.1272 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

มวลการไหลของอากาศ

$$\dot{m}_a = \rho \times Q_a$$

$$t_{d1} = 31 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

จากตารางในภาคผนวก ข.

จะได้

$$\rho = 1.157 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m}_a = 1.157 \times 0.1272$$

$$= 0.1990 \text{ kg/s}$$

การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของน้ำ

$$\Delta h_w = \dot{m}_w \times C_p \times (t_1 - t_2)$$

$$= 0.238 \times 4.18 \times (50 - 40)$$

$$= 9.9484 \text{ kW}$$

การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของอากาศ

$$\Delta h_a = \dot{m}_a (h_2 - h_1)$$

เมื่ออุณหภูมิ

$$t_{w1} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{w2} = 34 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

จากตารางในภาคผนวก ก.

$$h_1 = 76.481 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 122.969 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta h_a = 0.1990 \times (122.969 - 76.481)$$

$$= 9.2511 \text{ kW}$$

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ-นามสกุล นาย กานต์ชนก ลิมเงิน
รหัสนักศึกษา 6403120001
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ที่อยู่ 437/84 ถ.จรัญสนิทวงศ์ แขวงบางขุนศรี เขตบางกอกน้อย
จังหวัด กรุงเทพมหานคร 10700
อีเมล kanchanok.lim@siam.edu
เบอร์ 096 723 3907
ประวัติการศึกษา
มัธยมศึกษาตอนต้น : โรงเรียนสุวรรณารามวิทยาคม
มัธยมศึกษาตอนปลาย : วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) : วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
ปริญญาตรี : มหาวิทยาลัยสยาม

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ-นามสกุล นาย ธีรภัทร์ เรืองวิฑูร
รหัสนักศึกษา 6424100004
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ที่อยู่ 89/185 ถ.กาญจนาภิเษก แขวงท่าข้าม เขตบางขุนเทียน
กรุงเทพมหานคร 10150
อีเมล ruangwitoon@gmail.com
เบอร์ 094 548 5757
ประวัติการศึกษา
มัธยมศึกษาตอนต้น : โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย ธนบุรี
มัธยมศึกษาตอนปลาย : โรงเรียนช่างฝีมือทหาร สถาบันวิชาการป้องกัน
ประเทศ กองบัญชาการกองทัพไทย
ปริญญาตรี : มหาวิทยาลัยสยาม

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ-นามสกุล จ.อ. พรเทพ ภูศรีเทศ
รหัสนักศึกษา 6423100003
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ที่อยู่ 76/97หมู่บ้านพฤษภาวิไลเทพารักษ์-ศรีนครินทร์หมู่ที่4ตำบลบางเมือง
อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ 10270
อีเมล Pornthep.pus@gmail.com
เบอร์ 088 992 4107
ประวัติการศึกษา
มัธยมศึกษาตอนต้น : โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า สมุทรปราการ
มัธยมศึกษาตอนปลาย : โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า
สมุทรปราการ
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) : วิทยาลัยเทคโนโลยี
ยานยนต์โตโยต้า
ปริญญาตรี : มหาวิทยาลัยสยาม

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ-นามสกุล นาย วิธวินท์ หนูนั่ง
รหัสนักศึกษา 6404100001
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ที่อยู่ 1423/5 ซ.วัดบางสะแกไน้ ถ.ริมทางรถไฟ แขวงตลาดพลู เขตธนบุรี
จังหวัด กรุงเทพมหานคร 10600
อีเมล Not_535@hotmail.com
เบอร์ 084 662 6912
ประวัติการศึกษา
มัธยมศึกษาตอนต้น :
มัธยมศึกษาตอนปลาย :
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) :
ปริญญาตรี : มหาวิทยาลัยสยาม

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ-นามสกุล ส.อ.อธิพัฒน์ เจริญศักดิ์ธินกุล
รหัสนักศึกษา 6424100001
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ที่อยู่ ที่อยู่ 81/14 หมู่ที่ ๓ ต.ปลายบาง อ.บางกรวย จังหวัด นนทบุรี 11130
อีเมล bosssum200841@gmail.com
เบอร์ 092 693 2881
ประวัติการศึกษา
มัธยมศึกษาตอนต้น : โรงเรียนเซนต์ปีเตอร์ ธนบุรี
มัธยมศึกษาตอนปลาย : โรงเรียนเซนต์ปีเตอร์ ธนบุรี
หลักสูตรนักเรียนนายสิบทหารบก รุ่นที่ 22/61 : โรงเรียนนายสิบทหารบก
โรงเรียนทหารช่าง หลักสูตรทหารช่าง รุ่นที่ 94/62
หลักสูตร ฅก.ทม.ร.อ.904 น.ประทวน รุ่นที่ 3/63
ปริญญาตรี : มหาวิทยาลัยสยาม



https://drive.google.com/drive/folders/1FmyGHR_pYbkbK18aGXZyLF_Y4Szi85ZV?usp=

[drive_link](#)

รายงานการโครงการ

การปรับปรุงแบบจำลองหอหล่อเย็นเพื่อวัดประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อน
Improving Cooling Tower Models to Measure Heat Exchange Efficiency

โดย

นาย กานต์ชนก	ลิมเงิน	รหัส 6403120001
นาย ธีรภัทร์	เรืองวิฑูร	รหัส 6424100004
นาย พรเทพ	ภูศรีเทศ	รหัส 6423100001
นาย วิธวินท์	หนูนัง	รหัส 6404100001
นาย อธิพัฒน์	เจริญศักดิ์ธนกุล	รหัส 6424100001

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา 151-492 โครงการวิศวกรรมเครื่องกล 2

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

ภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2566