สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชุดทดลองการลดอุณหภูมิของน้ำโดยใช้หอทำน้ำเย็น

Water Temperature Reduction Using Cooling Tower Experimental Unit

T 0 6 1 9 4 4

นาย ธงชัย แซ่เจ่น
นาย โอภาส เจตนเสน

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 61944
วัน,เดือน,ปี 25 ก.ค. 2549

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดทดลองการลดอุณหภูมิของน้ำโดยใช้หอทำน้ำเย็น

Water Temperature Reduction Using Cooling Tower Experimental Unit

ผู้จัดทำ

1. นาย ธงชัย แซ่เจ่น รหัส 45015650
2. นาย โอภาส เจตนเสน รหัส 45015693

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์วันพุทธ แซ่ฉั่ว)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.สุวณี บุญมั่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดทดลองการลดอุณหภูมิของน้ำโดยใช้หอทำน้ำเย็น

นาย ธงชัย แซ่เจ่น
นาย โอภาส เจตนเสน
อาจารย์วันพุทธ แซ่ฉั่ว อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร.สุวณี บุญมั่ง อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาชุดทดลองการลดอุณหภูมิของน้ำโดยใช้หอทำน้ำเย็น โดยการสร้างและทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดทดลองหอทำน้ำเย็นที่สร้างขึ้น ส่วนประกอบหลักของหอทำน้ำเย็นได้แก่ มอเตอร์ พัดลม ปั๊มน้ำ หัวฉีดน้ำ และแผงกระจายละอองน้ำในการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองคือ 1).การหาความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำกับอัตราการไหลของอากาศ ที่มีผลต่อความสามารถในการลดอุณหภูมิของชุดทดลองหอทำน้ำเย็น 2).การหาค่า Water Efficiency (E_w) และ3).การหาค่า Thermal Efficiency (E_t) โดยการทดลองจะทำการปรับอัตราการไหลของน้ำที่ 35.00 , 31.13 , 28.00 , 24.50 L/min และที่ความเร็วรอบพัดลม 3 ความเร็วรอบ 707.93 , 617.17 , 471.95 L/min เมื่ออุณหภูมิทางเข้าของน้ำเป็น 40°C และ 35°C จากการทดลองพบว่าชุดทดลองหอทำน้ำเย็นสามารถลดอุณหภูมิของน้ำลงได้มากที่สุด 8°Cและ 5°Cตามลำดับ เมื่ออัตราการไหลของอากาศเป็น 707.93 L/min และมีอัตราการไหลของน้ำที่ 24.50 L/min ค่า Water Efficiency (E_w) มีค่าสูงที่สุดคือ 72.73 %และ 71.43 % เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าเป็น 40°C และ 35°C ตามลำดับ เพราะว่าเป็นจุดที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อน ระหว่างน้ำกับอากาศมากที่สุด และเมื่ออัตราการไหลของน้ำเป็น 28.00 L/min และอัตราการไหลของอากาศเป็น 471.95 L/min ค่า Thermal Efficiency (E_t) มีค่าสูงที่สุดคือ 82.59 %และ67.22% เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าเป็น 40°C และ 35°C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Water Temperature Reduction Using Cooling Tower Experimental Unit

Thongchai Saejen
Opat Jettanasen
Wanphut Saechua Advisor
Dr.Suwanee Boonmung Advisor

Abstract

This thesis studies the reduction of water temperature using the cooling tower experimental unit. Main equipments of this unit were moter,fan,pump,springer,and water distribution plate. To test the efficiency of this system, three experiments were performed. These include 1).determine the relation ship between water flow rate and air flow rate that relates to the reduction of water temperature at the outlet of the unit 2).determine the water efficiency(Ew) and 3). determine the thermal efficinecy(Et). In experiment ,the flow rate of water was set at 35.00 , 31.13 , 28.00 and 24.50 L/min and the air flow rate was also set at 707.93 , 617.17 and 471.95 L/min.Water temperature at the pump's inlet was set at 40°C and 35°C.Results showed that the maximum reduced water temperature was about 8 °C and 5 °C for 40°C and 35°C,respectively. The maximum water efficiency(Ew) was 72.73 % and 71.43% for 40°C and 35°C,respectively when the volumetric flow rates of air and water were set at 707.93 L/min and 24.50 L/min,respectively. This result was due to the maximum rate of heat transfer occurrig between air and water.The maximum thermal efficinecy (Et) was 82.59% and 67.22% for 40°C and 35°C,respectively when the volumetric flow rates of air and water were set at 471.95 L/min and 28.00 L/min.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากหลายท่านด้วยกัน ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ และความช่วยเหลือด้านต่างๆ ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณ

อาจารย์ วันพุทธ แซ่ฉั่ว

ดร. สุวณี บุญมั่ง

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและเจ้าหน้าที่ประจำ Workshop ทุกท่าน

เพื่อนๆ และรุ่นน้องภาควิชาวิศวกรรมเกษตร ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือช่วยเหลือในด้านต่างๆ

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 หอทำน้ำเย็น (Cooling Tower)	3
2.2 หลักการทำงานของหอทำน้ำเย็น	5
2.3 ประเภทของหอทำน้ำเย็น	5
2.4 การเลือกชนิดของหอทำน้ำเย็น	10
2.5 การต่อท่อน้ำสำหรับหอทำน้ำเย็น	11
2.6 การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของหอทำน้ำเย็น	14
2.7 การควบคุมคุณภาพน้ำในหอทำน้ำเย็น	16
2.8 การแก้ไขปัญหาที่เกิดจากน้ำ	17
2.9 ส่วนประกอบและโครงสร้างของหอทำน้ำเย็น	19
บทที่ 3 การออกแบบและส่วนประกอบ	21
3.1 การออกแบบทดลองการลดอุณหภูมิของน้ำโดยใช้หอทำน้ำเย็น	21
3.2 ส่วนประกอบของชุดทดลองการลดอุณหภูมิของน้ำโดยใช้หอทำน้ำเย็นสำหรับการทดลอง	26
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	34
4.1 การหาความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำ กับอัตราการไหลของอากาศ	34
4.2 การหาค่า Water Efficiency (E_w) ของชุดทดลองหอทำน้ำเย็น	38
4.3 การหา Thermal Efficiency (E_t) ของชุดทดลองหอทำน้ำเย็น	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้าที่

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	44
เอกสารอ้างอิง	46
ภาคผนวก ก.	47
ภาคผนวก ข.	50
ภาคผนวก ค.	52
ภาคผนวก ง.	57
ภาคผนวก จ.	66
ภาคผนวก ฉ.	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้าที่
2.1	แสดงการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นของน้ำและอากาศที่ผ่านหอทำน้ำเย็นโดยไดอะแกรม (Psychrometric Chart)	4
2.2	หอทำน้ำเย็นแบบปล่องไฟ (Hyperbolic Tower)	6
2.3	หอทำน้ำเย็นชนิดเป่าอากาศเข้า (พัดลมในแนวแกนนอน)	7
2.4	หอทำน้ำเย็นชนิดเป่าอากาศเข้า (พัดลมด้านล่าง)	7
2.5	หอทำน้ำเย็นชนิดดูดอากาศออก	8
2.6	ตัวถังของหอทำน้ำเย็นทำด้วยเหล็กอาบสังกะสีซึ่งเป็นตัวถังจากอเมริกาและยุโรป	9
2.7	ตัวเกร็ดช่องลม (Louver) อยู่ข้างๆหอทำน้ำเย็น ซึ่งเป็นช่องที่ลมเข้า	9
2.8	แสดงหอทำน้ำเย็นมองจากภายนอก (หอทำน้ำเย็นสไตล์อเมริกาและยุโรป)	10
3.1	แผนผังแสดงการชุดทดลองการลดอุณหภูมิของน้ำโดยใช้หอทำน้ำเย็น	21
3.2	แสดงแบบภาพฉายรวมด้านต่างๆ	22
3.3	แสดงแบบภาพฉายทางด้านหน้า	23
3.4	แสดงแบบภาพฉายทางด้านข้าง	24
3.5	แสดงแบบภาพฉายทางด้านบน	25
3.6	แสดงแบบโครงสร้างชุดทดลองการลดอุณหภูมิของน้ำโดยใช้หอทำน้ำเย็น	25
3.7	ชุดทดลองการลดอุณหภูมิของน้ำโดยใช้หอทำน้ำเย็น	26
3.8	มอเตอร์	27
3.9	Inverter	27
3.10	ปั๊มน้ำ	28
3.11	ถังเก็บน้ำ	28
3.12	หัวฉีดน้ำ	29
3.13	พัดลม	30
3.14	แผงกระจายละอองน้ำ	30
3.15	ถังรับน้ำ	31
3.16	แผงกันละอองน้ำ	32
3.17	ชุดทำความร้อน	32
3.18	เครื่องวัดความเร็วรอบ	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้าที่

4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำ กับอัตราการไหลของอากาศ ต่ออุณหภูมิของน้ำทางออกเมื่ออุณหภูมิของน้ำทางเข้า 40 °C 37

4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำ กับอัตราการไหลของอากาศ ต่ออุณหภูมิของน้ำทางออกที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้า 35 °C 37

4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำ กับอัตราการไหลของอากาศ ต่อ Water Efficiency ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 40 °C 40

4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำ กับอัตราการไหลของอากาศ ต่อ Water Efficiency ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 35 °C 40

4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำ กับอัตราการไหลของอากาศ ต่อ Thermal Efficiency ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 40 °C 43

4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำ กับอัตราการไหลของอากาศ ต่อ Thermal Efficiency ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 35 °C 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้าที่
2.1	แสดงตัวเลขของน้ำที่หมุนเวียน	18
4.1	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำทางออกเมื่ออุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 40°C	35
4.2	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำทางออกเมื่ออุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 35°C	36
4.3	ค่า Water Efficiency ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าที่ 40°C	38
4.4	ค่า Water Efficiency ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าที่ 35°C	39
4.5	ค่า Thermal Efficiency ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 40°C	41
4.6	ค่า Thermal Efficiency ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 35°C	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

โรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้น้ำในระบบการผลิต จะทำให้น้ำหลังจากผ่านกระบวนการต่างๆ มีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งไม่สามารถที่จะนำน้ำนั้นกลับมาใช้ใหม่ หรือปล่อยทิ้งตามแหล่งน้ำได้ เนื่องจากจะไปทำลาย ระบบนิเวศของแหล่งน้ำ ดังนั้นจึงต้องมีการลดอุณหภูมิของน้ำก่อนที่จะนำกลับมาใช้ในกระบวนการหรือปล่อยทิ้ง ซึ่งจะเป็นการช่วยรักษาระบบนิเวศของน้ำและลดต้นทุนของการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมได้อีกทางหนึ่ง ในการลดอุณหภูมิของน้ำนิยมใช้ระบบการทำน้ำเย็นโดยใช้หอทำน้ำเย็น ซึ่งมีอยู่ 2 ประเภท ได้แก่ หอทำน้ำเย็นแบบธรรมชาติ (Natural draft cooling tower) และ หอทำน้ำเย็นแบบบังคับ (Forced draft cooling tower หรือ Mechanical draft cooling tower)

ในโครงงานนี้จะเป็นการศึกษาการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบหอทำน้ำเย็นแบบบังคับ ซึ่งจะทำการสร้างระบบทำน้ำเย็นแบบดูดอากาศทางกล ชนิดพัดลมดูด ขนาดเล็กเพื่อใช้ศึกษาถึงหลักการและตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการลดอุณหภูมิของน้ำในทางอุณหพลศาสตร์ ซึ่งระบบหอทำน้ำเย็นนี้ไม่ได้มีการใช้สารทำความเย็นในการลดอุณหภูมิ จึงสามารถลดอุณหภูมิของน้ำได้เพียงเล็กน้อย และเหมาะกับการลดอุณหภูมิของน้ำที่มีอุณหภูมิไม่สูงมากนัก แต่จะมีข้อดีคือ เสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า การดูแลรักษาไม่ยุ่งยาก เพราะไม่ต้องคอยตรวจเช็คสารทำความเย็นว่าหมดหรือไม่ และมีชิ้นส่วนอุปกรณ์น้อยชิ้นกว่า จึงทำให้มีปัญหาน้อยกว่าระบบอื่น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการทำงานของหอทำน้ำเย็น

1.2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยและอิทธิพลต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทำความเย็นของหอทำน้ำเย็น

1.2.3 เพื่อทำระบบหอทำน้ำเย็นในเชิงการศึกษาทางเทอร์โมไดนามิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ระบบหอทำน้ำเย็นขนาดเล็กที่สามารถลดอุณหภูมิได้อย่างน้อย 5 องศาเซลเซียส

1.3.2 สามารถเปลี่ยนแปลงค่าของอุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าและความเร็วรอบของพัดลมได้

1.3.3 ระบบหอทำน้ำเย็น ที่ใช้สำหรับการทดลองเพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 หอทำน้ำเย็น (Cooling Tower)

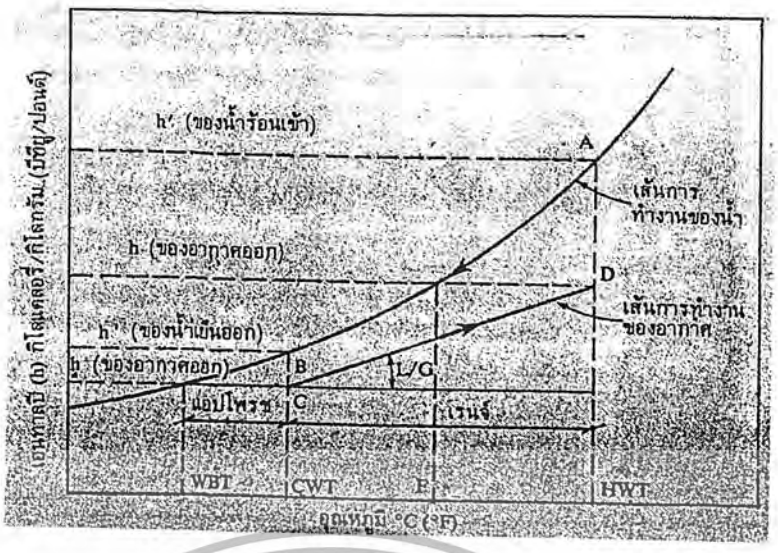
น้ำเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งที่สามารถนำไปใช้ในการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิของอุปกรณ์นั้นๆ ไม่ให้สูงไปและสามารถทำงานได้เป็นปกติ เราจะสังเกตเห็นการใช้น้ำในการระบายความร้อนอยู่ทั่วไป แม้กระทั่งในหม้อน้ำรถยนต์ของเราเอง การระบายความร้อนด้วยน้ำมีหลักการง่ายๆ คือ การนำน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำผ่านเข้าไปยังอุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) หลังจากนั้นน้ำก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น และช่วยรับเอาความร้อนจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนั้นออกมา ปกติเราสามารถหาแหล่งน้ำที่มีปริมาณมากพอ เราก็จะสามารถสูบน้ำจากแหล่งน้ำนั้นมาผ่านตัวอุปกรณ์ระบายความร้อน และทิ้งไปได้เลย แต่สำหรับการระบายความร้อนที่มีปริมาณความร้อนสูง เราจำเป็นต้องใช้ปริมาณน้ำจำนวนมาก ซึ่งการที่เราจะสูบน้ำมาระบายความร้อนและทิ้งไปเลยนับว่าเป็นการสิ้นเปลืองและเป็นการใช้ทรัพยากรแหล่งน้ำอย่างไม่เหมาะสมอย่างยิ่ง นอกจากนี้ปัญหาในการหาแหล่งน้ำดังกล่าวก็ไม่ใช่สิ่งที่จะหาได้อย่างง่าย ๆ ดังนั้นจึงมีการประดิษฐ์อุปกรณ์ที่จะช่วยในการลดอุณหภูมิของน้ำที่ผ่านตัวระบายความร้อนมาแล้วนี้ให้มีอุณหภูมิต่ำลงมากเพียงพอที่จะสามารถหมุนเวียนนำกลับไประบายความร้อนได้อีกครั้งหนึ่ง อุปกรณ์ดังกล่าวนี้ก็คือหอทำน้ำเย็น (Cooling Tower) นั่นเอง ซึ่งสามารถทำให้เราใช้น้ำในการระบายความร้อนหมุนเวียนได้โดยมีปริมาณน้ำที่สูญเสียไปน้อยมากจึงนับว่าเป็นการใช้น้ำในการระบายความร้อนได้อย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพและปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ไม่ว่าจะเป็นเพียงปัจจัยเดียวหรือทั้งหมดจะช่วยในการเร่งขบวนการลดอุณหภูมิของหอทำน้ำเย็น ดังนี้

1. การแตกตัวเป็นฝอยละอองของน้ำซึ่งจะทำให้มีพื้นที่ผิวของหยดน้ำที่ถ่ายเทความร้อนมากขึ้น

2. การเพิ่มเนื้อที่ในการถ่ายเทความร้อน (Wetted Surface) เพื่อทำให้น้ำมีโอกาสสัมผัสกับอากาศมากขึ้น

3. การเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการเพิ่มปริมาณอากาศ เราสามารถอธิบายขบวนการถ่ายเทความร้อนจากน้ำไปสู่อากาศได้ โดยอาศัยการพล็อตลงบนแผ่น (Psychrometric) และอาศัยกฎของเทอร์โมไดนามิกส์ดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นของน้ำและอากาศที่ผ่านหอทำน้ำเย็นโดยไดอะแกรม (Psychrometric Chart)

จากรูปที่ 2.1 จะแสดงภาวะการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นระหว่างน้ำกับอากาศโดย น้ำร้อนจะเข้าสู่หอทำน้ำเย็นที่จุด A และถูกลดอุณหภูมิลงเนื่องจากอากาศรับความร้อนและความชื้นไป รวมทั้งการที่มีน้ำส่วนหนึ่งระเหยตัว อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำน้ำเย็นจึงตกมาอยู่ที่จุด B ส่วนอากาศเข้าสู่หอทำน้ำเย็นที่จุด C และได้รับทั้งความร้อนและความชื้นจากน้ำ จึงมีการเพิ่มอุณหภูมิและความชื้น (เพิ่มเอนทาลปี) จนไปอยู่ที่จุด D เนื่องจากกฎของเทอร์โมไดนามิกส์ ปริมาณความร้อนที่น้ำคายออกมาจะมีค่าเท่ากันปริมาณความร้อนที่อากาศรับเข้าไป

การใช้หอทำน้ำเย็นช่วยในการระบายความร้อนเป็นกระบวนการที่ทำให้ความร้อนที่อยู่ในน้ำระบายออกสู่อากาศโดยใช้วิธีการระเหยตัวของน้ำ (Evaporation) โดยมีการสูบน้ำไปส่วนหนึ่งแต่น้ำส่วนใหญ่ยังคงนำกลับมาใช้ได้อีก โดยปกติเราสามารถจะนำหอทำน้ำเย็น ไปใช้ในการระบายความร้อนของน้ำในการหล่อเย็นกับอุปกรณ์ใดๆ ก็ได้ เช่น การหล่อเย็นอุปกรณ์ในขบวนการผลิตหรือน้ำเย็นที่ใช้หมุนเวียนในโรงไฟฟ้าหรืออื่นๆ แต่การใช้หอทำน้ำเย็นเป็นที่รู้จักกันดีที่สุดก็คือ การใช้หอทำน้ำเย็น ในการระบายความร้อนจากระบบปรับอากาศ (Water Cooled Air Conditioning System) ซึ่งนับว่าเป็นการใช้งานที่แพร่หลายมากที่สุด [1]

ในทางทฤษฎีแล้วอุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำสามารถจะถูกหล่อเย็นคืออุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่ไหลผ่านเข้าหอทำน้ำเย็น ในกรณีนี้ไอของน้ำที่ปนมากับอากาศที่ไหลออกจะเป็นไออิ่มตัว แต่ในทางปฏิบัติจริงๆ แล้วไม่สามารถทำได้ อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำน้ำเย็นจะสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก ของอากาศที่เข้า 4 องศาเซลเซียส ถึง 4.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำน้ำเย็น กับอุณหภูมิ กระเปาะเปียกของอากาศที่ไหลเข้าหอทำน้ำเย็นเรียกว่า "Approach" ส่วนอุณหภูมิของน้ำที่ลดเมื่อผ่านเข้าไปในหอทำน้ำเย็น เรียกว่า "range" [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หลักการทำงานของหอทำน้ำเย็น

การที่หอทำน้ำเย็นเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้น้ำสามารถถ่ายเทความร้อนไปสู่อากาศได้นั้น สามารถอธิบายด้วยหลักการง่ายๆ คือ หอทำน้ำเย็นเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการฉีดน้ำที่มีอุณหภูมิสูงให้กระจายไปเป็นละอองเล็กๆ ตกผ่านแผงกระจายละอองน้ำ (Filler) ละอองน้ำเล็กๆ เหล่านี้จะสัมผัสกับอากาศที่ถูกดูดผ่านแผงกระจายละอองน้ำและก่อให้เกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนสัมผัส (Sensible heat) ระหว่างหยดน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกับอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ ขณะเดียวกันนั้นบางส่วนของหยดน้ำก็จะระเหยตัวกลายเป็นไอน้ำ เพราะในอากาศยังมีปริมาณไอน้ำแฝงที่ยังไม่อิ่มตัวน้ำจึงสามารถระเหยตัวกลายเป็นไอเพิ่มมากขึ้นได้อีกซึ่งขบวนการระเหยตัวกลายเป็นไอของน้ำนี้ก่อให้เกิดขบวนการถ่ายเทความร้อนแฝง (Latent Heat) ปฏิกริยาจำเป็นจะต้องใช้ความร้อน ดังนั้นน้ำส่วนที่ระเหยตัวจึงดึงความร้อนจากปริมาณน้ำที่เหลือ ซึ่งตามทฤษฎีสามารถคาดคะเนได้ว่าการระเหยตัวของน้ำปริมาณเพียง 1% สามารถจะช่วยลดอุณหภูมิของน้ำที่เหลืออีก 99 % ได้ถึงประมาณ $10^{\circ}F$ ดังนั้นหอทำน้ำเย็นจึงเป็นอุปกรณ์ที่สามารถถ่ายเทความร้อนของน้ำออกสู่อากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3 ประเภทของหอทำน้ำเย็น

การจำแนกประเภทของหอทำน้ำเย็นสามารถจำแนกได้หลายอย่างแต่เราสามารถจะแยกออกได้เป็นตามวิธีการหมุนของอากาศ ในหอทำน้ำเย็นจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ 1) แบบดูดอากาศแบบธรรมชาติ (National draft) และ 2) แบบดูดอากาศทางกล (Mechanical draft)

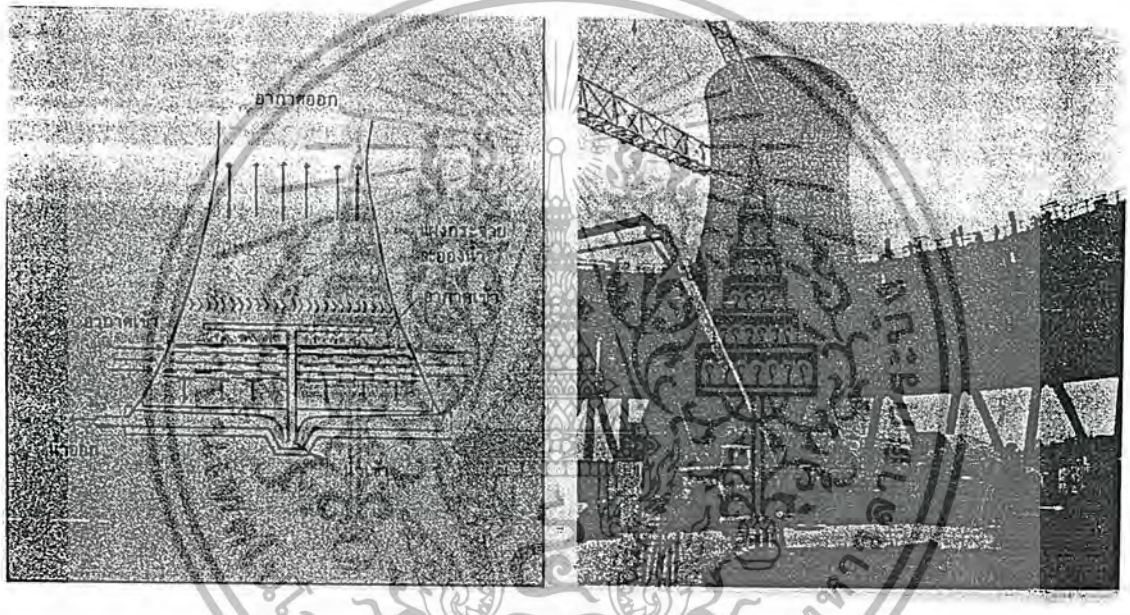
2.3.1 แบบดูดอากาศตามธรรมชาติ (Atmospheric or natural) คือ เป็นหอทำน้ำเย็นอย่างง่ายๆ ที่ใช้การสเปรย์น้ำมาจากข้างบนและตัวหอทำน้ำเย็นจะมีลักษณะเหมือนแผงโปร่งที่ให้อากาศสามารถพัดผ่านได้ โดยอากาศจะพัดผ่านในแนวนอนผ่านแผงกระจายละอองน้ำจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง สำหรับด้านยาวของหอทำน้ำเย็นจะอยู่ในทิศทางที่ลมพัดผ่านส่วนด้านกว้างของหอทำน้ำเย็นประเภทนี้จะไม่สามารถกว้างได้มากนักเพื่อทำให้มีความเสียดทานต่อการเคลื่อนไหวของอากาศน้อยที่สุดดังรูปที่ 2.2 ในปัจจุบันการใช้หอทำน้ำเย็นประเภทนี้ได้ลดลง เนื่องจากสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการทำโครงสร้างและระบบปั๊ม นอกจากนี้ยังมีเรื่องของทิศทางและความเร็วของลมที่พัดผ่าน ซึ่งทำให้ยากแก่การควบคุมอุณหภูมิของน้ำและยังต้องการสถานที่ตั้งเปิดโล่ง ดังนั้นหอทำน้ำเย็นประเภทนี้ถ้าจะมีใช้อยู่ก็มีแต่เพียงสำหรับระบบปรับอากาศขนาดเล็กเท่านั้น

สำหรับที่มีใช้ในปัจจุบันจะเป็นหอทำน้ำเย็นแบบไฮเปอร์โบลิคหรือแบบปล่องไฟ ซึ่งจะใช้หลักการในการเคลื่อนไหวของอากาศตามธรรมชาติโดยอากาศจะเคลื่อนผ่านตัวหอทำน้ำเย็นเนื่องจากเกิดความแตกต่างของความหนาแน่นของอากาศ หอทำน้ำเย็นประเภทนี้อาจจะมีความสูงมากกว่า 400 ฟุต และมีลักษณะเหมือนปล่องไฟที่ภายในกลวง ส่วนล่างสูงประมาณ 30 ฟุตหรือกว่านั้นจะเป็นช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้อากาศเข้าซึ่งจะมีแผงกระจายละอองน้ำ ที่ทำการกระจายน้ำที่มีอุณหภูมิสูงให้เป็นละออง ซึ่งจะมีลักษณะการทำงานคล้ายกับปล่องไฟมาก คือ อากาศจะถูกดูดเข้ามาเนื่องจากผลของความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของอากาศที่ส่วนบนของหอทำน้ำเย็นกับส่วนล่าง คือ อากาศที่มีอุณหภูมิสูงและมีความชื้นสูงจะลอยตัวขึ้นอยู่เบื้องบนของตัวหอทำน้ำเย็น ส่วนอากาศที่เย็น และแห้งกว่าก็จะเข้ามาตรงส่วนล่างตัวโครงสร้างมักจะทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นปล่องกลวง

ไฮเปอร์โบลิคเทาเวอร์ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในที่ที่อากาศมีอุณหภูมิกระเปาะเปียกต่ำ และมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ แต่มีข้อดีคือมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำ และนอกจากนั้นโอกาสที่อากาศที่รับความร้อนไปแล้วจะหวนกลับเข้ามาอีกก็เป็นไปได้ยากหอทำน้ำเย็นประเภทนี้จะใช้สำหรับที่ที่ต้องการปริมาณน้ำระบายความร้อนสูงมาก เช่น โรงไฟฟ้า



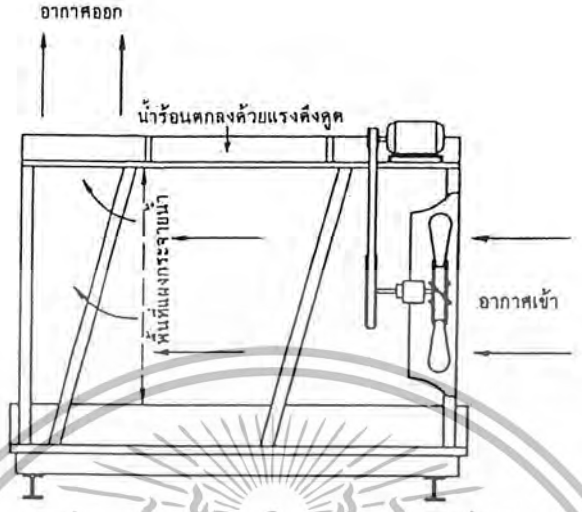
รูปที่ 2.2 หอทำน้ำเย็นแบบปล่องไฟ (Hyperbolic Tower) [2]

2.3.2 แบบดูดอากาศทางกล (Mechanical Draftt Tower) คือ หอทำน้ำเย็นที่ใช้พัดลมช่วยในการทำให้อากาศเคลื่อนไหวผ่านแผงกระจายน้ำการที่สามารถทำให้อากาศเคลื่อนไหวได้ด้วยความเร็วสูง จึงทำให้เกิดขบวนการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าและสามารถควบคุมได้ง่ายกว่า ทำให้ลดขนาดของหอทำน้ำเย็นลงได้และช่วยประหยัดค่าต้นทุนในการสร้าง สำหรับหอทำน้ำเย็นแบบดูดอากาศทางกลนี้แบ่งได้เป็นหลายประเภทเช่นเดียวกัน แต่ถ้าจะแบ่งตามลักษณะของการนำอากาศเข้าสู่ตัวหอทำน้ำเย็นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ หอทำน้ำเย็นชนิดเป่าอากาศเข้า (Forced draft) และหอทำน้ำเย็นชนิดดูดอากาศออก (Induced draft) แต่ละประเภทมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) หอทำน้ำเย็นชนิดเป่าอากาศเข้า (Forced draft) หอทำน้ำเย็นประเภทนี้จะใช้พัดลมที่ติดอยู่บริเวณทางเข้าเป่าลมผ่านแผงกระจายละอองน้ำ และให้อากาศสัมผัสกับหยดน้ำ ผ่านแผงดัก

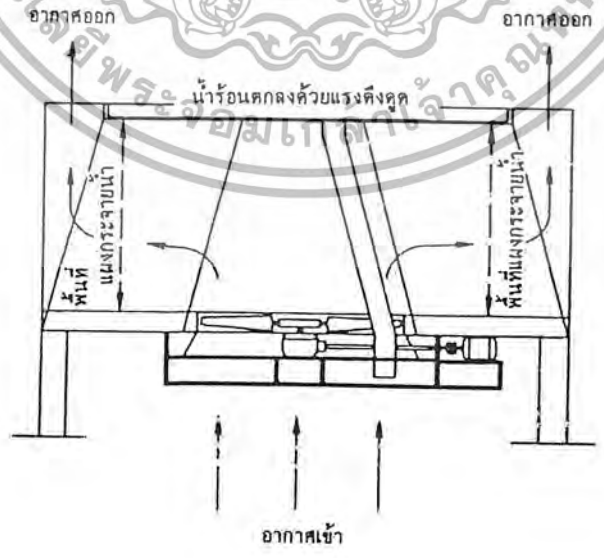
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละอองน้ำ แล้วออกสู่บรรยากาศ ส่วนใหญ่แล้วตัวพัดลมมักจะอยู่ในแกนนอนและเป่าอากาศในแนวนอนเข้าไปแล้วออกสู่ตรงส่วนบนของตัวหอทำน้ำเย็นดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 หอทำน้ำเย็นชนิดเป่าอากาศเข้า (พัดลมในแนวแกนนอน) [3]

หอทำน้ำเย็นชนิดเป่าอากาศเข้าอีกชนิดที่ปรับปรุงการเคลื่อนไหวของอากาศให้ดีขึ้นคือ ชนิดที่เป่าอากาศจากข้างใต้อากาศจะถูกเป่าที่ส่วนกลางของหอทำน้ำเย็นจากใต้ก้น อากาศจะผ่านตรงไปโดยตรงจากล่างไปสู่บน และจะช่วยในการลดเสียงของหอทำน้ำเย็นเนื่องจากอากาศผ่านบริเวณด้านล่างโดยตรง บริเวณผิวโดยรอบของหอทำน้ำเย็นจึงไม่ต้องมีตัวเกล็ดช่องลมอยู่จึงทำให้ดูสวยงามดังรูปที่ 2.4

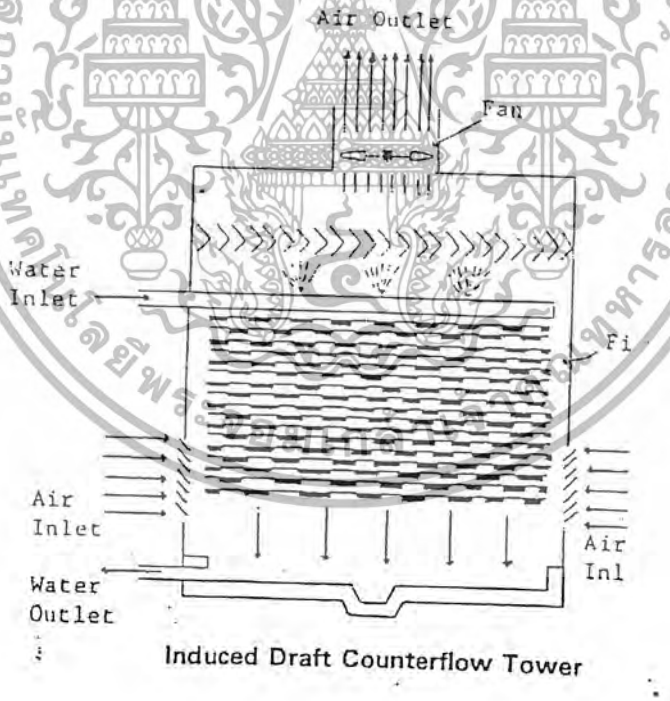


รูปที่ 2.4 หอทำน้ำเย็นชนิดเป่าอากาศเข้า (พัดลมด้านล่าง) [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

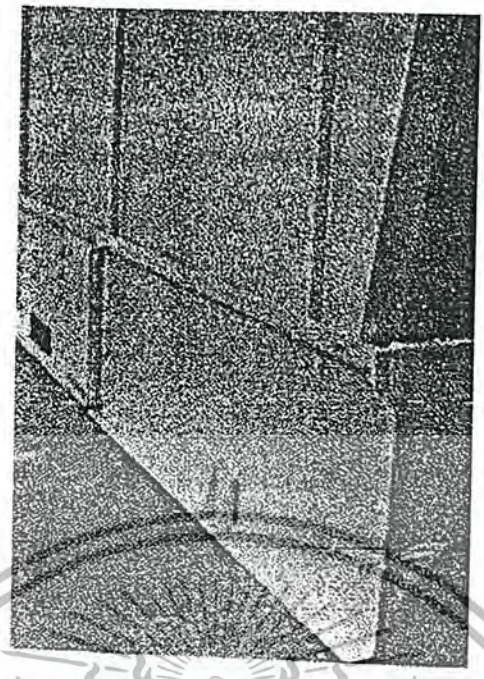
หอทำน้ำเย็นประเภทนี้จะมีการกระจายของอากาศที่ไม่ดีนัก เนื่องจากการเปลี่ยนทิศทางของอากาศ และการเป่าอากาศเข้าไปจะทำให้อากาศเข้าสู่ตัวหอทำน้ำเย็นเป็นเฉพาะจุดมากกว่าอากาศที่ออกจากตัวหอทำน้ำเย็นจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ ดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะทำให้อากาศที่ร้อนและชื้นหวนกลับเข้าสู่หอทำน้ำเย็นและลดประสิทธิภาพของหอทำน้ำเย็นได้ แต่มีข้อดีตรงที่มีเสียงเงียบกว่า

(2) หอทำน้ำเย็นชนิดดูดอากาศออก (Induced draft) จะเป็นประเภทที่ดูดลมออกจากตัวหอทำน้ำเย็น ปกติแล้วพัดลมที่ใช้ในการดูดอากาศติดอยู่บริเวณส่วนบนของตัวหอทำน้ำเย็นอากาศจะถูกดูดผ่านเข้าทางด้านข้าง และผ่านตัวแผงกระจายละอองน้ำในขณะที่น้ำมีอุณหภูมิสูงตกลงจากเบื้องบนดังรูปที่ 2.5 หอทำน้ำเย็นประเภทนี้มีข้อดีในลักษณะที่ว่าการกระจายของอากาศเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากอากาศถูกดูดเข้าอากาศจึงเข้าสู่หอทำน้ำเย็นอย่างสม่ำเสมอในทุกๆ ด้าน ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำกับอากาศเป็นไปได้ดีกว่า อากาศที่ออกจากหอทำน้ำเย็นจะเคลื่อนที่ออกไปอย่างรวดเร็วจึงมีโอกาสน้อยที่อากาศที่ได้รับความร้อน และความชื้นแล้วจะหวนมาสู่หอทำน้ำเย็นอีก แต่ข้อเสียของหอทำน้ำเย็นประเภทนี้ก็คือเสียงที่เกิดจะดังกว่า



รูปที่ 2.5 หอทำน้ำเย็นชนิดดูดอากาศออก [3]

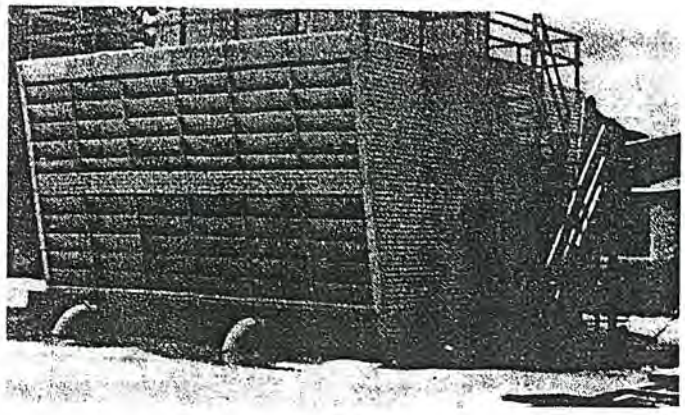
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ตัวถังของหอทำน้ำเย็นทำด้วยเหล็กอาบสังกะสีซึ่งเป็นตัวถังจากอเมริกาและยุโรป

รูปที่ 2.7 ตัวเกร็ดช่องลม (Louver) อยู่ข้างๆหอทำน้ำเย็น ซึ่งเป็นช่องที่ลมเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงหอทำน้ำเย็นมองจากภายนอก (หอทำน้ำเย็นสไตล์อเมริกาและยุโรป)

2.4 การเลือกชนิดของหอทำน้ำเย็น

การเลือกชนิดของหอทำน้ำเย็นนับว่าเป็นเรื่องที่จะต้องอาศัยความรู้และประสบการณ์ของผู้ออกแบบเป็นสิ่งสำคัญในการตกลงใจ ซึ่งเป็นการยากที่จะชี้เฉพาะเจาะจงไปได้ว่าหอทำน้ำเย็นชนิดใดชนิดหนึ่งจะมีความเหมาะสมกับโครงการแต่ละโครงการอย่างไร แต่เป็นเรื่องจะต้องพิจารณาอย่างละเอียดถี่ถ้วน อย่างไรก็ตามพอจะมีปัจจัยสำคัญๆ ที่จะแนะนำเป็นแนวทางในการเลือกชนิดของหอทำน้ำเย็นดังต่อไปนี้

2.4.1 งบประมาณ งบประมาณในโครงการเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดชนิดและแหล่งที่มาของหอทำน้ำเย็นซึ่งเป็นที่แน่นอนว่าถ้ามีงบประมาณมากเพียงพอก็จะสามารถใช้หอทำน้ำเย็นประเภทที่ดีมีความคงทนมีอายุการใช้งานสูงได้ แต่ถ้างบประมาณไม่เพียงพอก็อาจที่จะต้องใช้หอทำน้ำเย็นประเภทธรรมดาที่มีผลิตอยู่ภายในประเทศ

2.4.2 ข้อมูลที่เกี่ยวกับโครงการที่จะต้องใช้หอทำน้ำเย็นนั้น ลักษณะประเภทของโครงการจะทำให้กำหนดได้ว่าจะต้องใช้วัสดุอุปกรณ์ประเภทไหน มีอายุยืนนานและคงทนเช่นใดการเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่จะทำได้หรือไม่ เกี่ยวกับทำเลที่ตั้งก็มีความสำคัญต้องดูว่าจะไปกระทบกระเทือนต่อสิ่งแวดล้อมหรือไม่หรือเกี่ยวกับทิศทางลมว่ามีความเกี่ยวข้องกับหอทำน้ำเย็นหรือไม่

2.4.3 ข้อมูลเกี่ยวกับผู้จัดหาและบริการหอทำน้ำเย็น ว่าเป็นผู้ที่ทำการขายหอน้ำเย็นมานานเท่าใดมีการให้บริการหลังการขายเพียงไร มีอะไหล่และบริการที่สามารถเปลี่ยนทดแทนได้หรือไม่ อันนี้เป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณาเป็นพิเศษ โดยเฉพาะเมื่อต้องการซื้อหอทำน้ำเย็นจากที่ไกลๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ของยุโรปหรืออเมริกา

2.4.4 ข้อมูลเกี่ยวกับตัวหอทำน้ำเย็นเอง ตัวหอทำน้ำเย็นมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปมากมายระหว่างหอทำน้ำเย็นชนิดต่างๆ กัน และมาจากผู้ผลิตที่ต่างกัน จึงเป็นข้อมูลที่มาเปรียบเทียบกันก็คือ เรื่องขนาด และน้ำหนักของหอทำน้ำเย็นที่จะใช้เรื่องพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์พัดลมปริมาณน้ำที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูญเสียที่จะเติมใหม่ ระดับเสียง ความสั่นสะเทือน วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้อายุความคงทน รวมทั้งปัจจัยปลีกย่อยต่างๆ ที่จะต้องนำมาพิจารณาอีก

เหล่านี้ล้วนแต่เป็นเรื่องที่ละเอียดอ่อนและจำเป็นจะต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ออกแบบในการเทียบเคียงผลงานที่ผ่านมาที่ได้ทราบถึงอุปสรรคและรายละเอียดเกี่ยวกับหอทำน้ำเย็นยี่ห้อต่างๆ ว่ามีข้อดีข้อเสียอย่างไร ซึ่งไม่อาจชี้แน่นอนลงไปได้ขึ้นอยู่กับวิจารณญาณของผู้ออกแบบ

2.5 การต่อท่อน้ำสำหรับหอทำน้ำเย็น

การต่อน้ำเป็นการต่อท่อของวงจรเปิด มีทางที่เปิดสู่บรรยากาศโดยตรง และนอกจากนี้ก็ยังมีท่อที่ต่อกับหอทำน้ำเย็นจำนวนหลายท่อด้วยกัน ซึ่งควรจะมาทำความเข้าใจกัน

สำหรับท่อที่ต่ออยู่กับหอทำน้ำเย็นจะมีท่อชนิดต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.5.1 ท่อน้ำเข้าหอทำน้ำเย็น เป็นท่อน้ำที่รับจากคอนเดนเซอร์ที่ปั๊มมายังหอทำน้ำเย็น เพื่อทำการลดอุณหภูมิลง

2.5.2 ท่อน้ำออกจากหอทำน้ำเย็นไปยังคอนเดนเซอร์ จะเป็นท่อน้ำที่ได้รับน้ำที่ได้รับจากการลดอุณหภูมิแล้วออกจากตัวหอทำน้ำเย็นไปเข้าสู่ด้านดูด (suction) ของเครื่องสูบน้ำที่จะปั๊มน้ำผ่านคอนเดนเซอร์

2.5.3 ท่อน้ำเติม (make up water) เนื่องจากน้ำที่ถูกหมุนเวียนที่หอทำน้ำเย็นจะเกิดการสูญเสียไป จึงต้องมีการเติมน้ำทดแทนเข้าไป การนำน้ำเข้ามาเติมนั้นส่วนใหญ่แล้วจะใช้วิธีการนำน้ำจากประปามาผ่านการควบคุมคุณภาพ เพื่อลดตะกรันและสารจุลชีพอื่นๆ และหลังจากนั้นก็จะเติมน้ำเข้าสู่หอทำน้ำเย็นโดยการผ่านลูกลอย (float valve) มีข้อควรระวังว่าระดับส่วนที่เติมน้ำนี้ควรจะอยู่สูงกว่าระดับท่อน้ำล้น (over flow pipe) นอกจากนี้ท่อน้ำเติมควรจะต่อเข้ากับส่วนใจกลางของตัวถังน้ำของหอทำน้ำเย็นเพื่อให้การกระจายของน้ำในตัวอ่างรับน้ำเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

2.5.4 ท่อน้ำทิ้งและท่อน้ำล้น (drain or over flow pipe) ท่อน้ำทิ้งเป็นท่อที่ต่อจากส่วนตัวล่างสุดของหอทำน้ำเย็น เพื่อระบายออกจากตัวหอทำน้ำเย็นได้หมด ซึ่งจะใช้ในกรณีที่เราต้องการระบายน้ำออกจากหอทำน้ำเย็น เพื่อทำการซ่อมแซมหอทำน้ำเย็นได้หมด ตัวท่อนี้ต้องต่อจากหอทำน้ำเย็นและต่อปลายท่อไปยังท่อไปยังจุดระบายน้ำที่ใกล้ที่สุด และมีวาล์วสำหรับทำการปิดเปิดได้ตามความต้องการ คือ ปกติวาล์วนี้จะเปิดอยู่ แต่เมื่อต้องการระบายน้ำก็จะเปิดวาล์วให้เต็มที่ น้ำก็ระบายออกไปส่วนท่อน้ำล้นเป็นท่อที่มีปากทางเข้าอยู่เหนือระดับน้ำสูงสุดที่ยอมให้ได้ หมายความว่ากรณีน้ำที่ระบายออกจากหอทำน้ำเย็นไม่ทัน น้ำนี้ก็จะระบายออกทางท่อน้ำล้น ปกติท่อระบายน้ำล้นนี้จะต่อเข้ากับท่อน้ำทิ้งบริเวณหลังวาล์ว หมายความว่าตัวท่อระบายน้ำล้นจะไม่มีวาล์วเลย เพื่อไม่ให้มีการปิดวาล์วโดยไม่ได้ตั้งใจซึ่งจะทำให้น้ำระบายออกจากท่อน้ำล้นไม่ได้ เพราะปกติถ้าหอทำน้ำเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานอย่างถูกต้องแล้วก็จะเกิดปัญหาเรื่องน้ำล้นเหนือถังซึ่งถ้าเกิดปัญหาดังกล่าวขึ้นน้ำที่ล้นดังกล่าวจะถูกระบายออกไปอย่างรวดเร็ว

2.5.5 ท่อรักษาระดับน้ำสมดุล (equalizer) ในกรณีที่มีการต่อหอทำน้ำเย็นเข้าด้วยกันมากกว่าสองตัว จะต้องมีการต่อท่อน้ำระหว่างอ่างรับน้ำของหอทำน้ำเย็นเหล่านี้ เพื่อรักษาระดับน้ำของหอทำน้ำเย็นให้อยู่ในระดับที่สม่ำเสมอระดับเดียวกัน นอกเหนือจากท่อชนิดต่างๆ ที่ต่อเข้ากับหอทำน้ำเย็นแล้วอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่งที่ขาดเสียไม่ได้คือ วาล์วนั้นเอง ส่วนใหญ่วาล์วที่ใช้กับหอทำน้ำเย็นจะเป็นวาล์วชนิดปิดหรือเปิดเท่านั้น สำหรับท่อน้ำที่เข้าและออกจากหอทำน้ำเย็นเนื่องจากเป็นท่อขนาดใหญ่จึงนิยมใช้วาล์วชนิดปีกผีเสื้อ(batterfly valve) ส่วนท่ออื่นๆ ที่มีขนาดเล็กลงไปก็จะใช้พวกเกจวาล์ว (gate valve) สำหรับท่อเข้าและออกจากหอทำน้ำเย็นนั้น บางครั้งเพื่อให้การปิดเปิดน้ำที่เข้าออกหอทำน้ำเย็นแต่ละตัว (ซึ่งเป็นกรณีทั่วๆไปมักมีการใช้งานหอทำน้ำเย็นหลายๆ ตัว) เป็นไปได้อย่างสะดวกสบายก็มักจะใช้วาล์วที่ควบคุมด้วยไฟฟ้าหรือที่นิยมใช้มากก็คือวาล์วใช้กำลังลมอัด (phnumetic valve) ซึ่งมักจะใช้วาล์วบัตเตอร์ฟลายนั่นเอง

นอกเหนือจากท่อน้ำแต่ละประเภทที่มีใช้อยู่กับหอทำน้ำเย็นแล้ว เมื่อเราต่อท่อเพื่อใช้กับหอทำน้ำเย็นจริงๆ จะต้องมีการเชื่อมต่อท่อระหว่างหอทำน้ำเย็นไปยังคอนเดนเซอร์ด้วย ซึ่งมีข้อปลีกย่อยที่ควรให้ความสนใจจะขอนำมากล่าวดังต่อไปนี้

(1) เกี่ยวกับเรื่องวางตำแหน่งของหอทำน้ำเย็น หอทำน้ำเย็นควรวางอยู่ในตำแหน่งแนวราบที่สม่ำเสมอไม่เอียงไปข้างหนึ่ง มิฉะนั้นจะทำให้การกระจายน้ำเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอและลดประสิทธิภาพของหอทำน้ำเย็น สำหรับสถานที่ติดตั้งควรจะสามารถเดินเข้าได้อย่างสะดวกและทำการจีดขาของหอทำน้ำเย็นให้แน่นกับสถานที่ติดตั้ง

(2) การต่อน้ำเข้าและออกจากหอทำน้ำเย็น จะต้องมีระดับลาดลงไปจากส่วนที่ต่อกับหอทำน้ำเย็น

(3) ท่อที่ต่อเข้ากับหอทำน้ำเย็นควรจะมีขนาดเดียวกันกับตรงส่วนต่อของท่อ (pipe connection) ตามที่ผู้ผลิตได้แนะนำมา การที่ใช้ท่อน้ำที่มีขนาดเล็กกว่าข้อต่อจะเป็นผลในการลดประสิทธิภาพการทำงานของหอทำน้ำเย็น และถ้าใช้ท่อที่มีขนาดใหญ่กว่าข้อต่อก็จะเป็นการสิ้นเปลืองวัสดุ

(4) ปั๊มที่ใช้ในการหมุนเวียนน้ำผ่านหอทำน้ำเย็นจะต้องติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่อยู่ใต้ตัวอ่างรับน้ำของหอทำน้ำเย็นในสภาวะปกติ

(5) สำหรับท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออกจากหอทำน้ำเย็นหอทำน้ำเย็นที่มีขนาดใหญ่กว่า 4 นิ้วขึ้นไป ควรจะต่อข้อต่อ ที่ยืดหยุ่นได้ (Flexible connection) เพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนที่จะถ่ายทอดลงไปตามท่อน้ำและเพื่อป้องกันการที่ตัวอ่างน้ำจะถูกบิดจนถึงขั้นแตก เนื่องการติดตั้งท่อที่ไม่ถูกต้อง

(6) การต่อท่อน้ำร่วมสำหรับหอทำน้ำเย็นหลายตัว การต่อแบบนี้จะเป็นสิ่งที่อาจก่อให้เกิดปัญหาได้ เพราะการต่อท่อน้ำของหอทำน้ำเย็นเป็นระบบเปิด การปรับสมดุลของน้ำจึงทำได้ลำบาก โดยเฉพาะในกรณีที่ต่อท่อน้ำส่งและท่อน้ำกลับเป็นท่อร่วม (Header) ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องระวังเป็นพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิฉะนั้นปริมาณน้ำที่ถูกส่งไปและกลับจากหอทำน้ำเย็นแต่ละตัวจะไม่เท่ากัน ทำให้การระบายความร้อนของหอทำน้ำเย็นแต่ละตัวไม่เท่ากัน อีกทางก็คือการติดพวกวาล์วปรับสมดุล (Balancing Valve) เพื่อที่หอทำน้ำเย็น หรือแยกท่อน้ำไปและกลับสำหรับหอทำน้ำเย็นแต่ละตัว โดยรักษาระยะท่อย่อย (Balanch Pipe) ที่แยกจากท่อเมน (Header) ไปยังหอทำน้ำเย็นแต่ละตัวให้เท่ากัน

(7) เมื่อหอทำน้ำเย็นอยู่เหนือคอนเดนเซอร์

ข้อควรระวัง

- ท่อน้ำที่ออกจากหอทำน้ำเย็นจะต้องอยู่สูงกว่าท่อทางดูดของปั๊ม
- ควรจะเพิ่มเช็ควาล์วเพื่อป้องกันน้ำตีกลับในขณะที่ปั๊มน้ำทำงาน

(8) เมื่อหอทำน้ำเย็นและตัวคอนเดนเซอร์ อยู่ที่ระดับเดียวกัน แต่ตัวอ่างรับน้ำของหอทำน้ำเย็นอยู่สูงกว่าระดับของคอนเดนเซอร์

ข้อควรระวัง

จะต้องมีการเติมน้ำเข้ามาที่หอทำน้ำเย็นอยู่เสมอๆ เพื่อชดเชยปริมาณน้ำที่สูญเสียไป เพื่อทำให้ระดับน้ำคงอยู่ในระดับที่ต้องการซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญมากโดยเฉพาะสำหรับการที่มีการต่อท่อในแนวนอนที่ยาวมาก

(9) เมื่อหอทำน้ำเย็นอยู่ต่ำกว่าคอนเดนเซอร์ในแนวดิ่งจะต้องมีการเพิ่มถังกันน้ำกระแทก (surge tank) เป็นพิเศษ

ข้อควรระวัง

น้ำจะมีการกระฉอกออกจากตัวอ่างรับน้ำในขณะที่ปั๊มที่หมุนเวียนหยุดทำงาน ดังนั้นจะต้องมีการเติมน้ำเข้ามาก่อนที่ที่จะเดินปั๊มอีกครั้งหนึ่ง สำหรับความจุของถังกันน้ำกระแทกจะต้องใหญ่กว่าจำนวนของน้ำที่เดินเข้ามา นอกจากนี้จะต้องมีการติดตั้งเช็ควาล์วที่ท่อออกจากปั๊มน้ำหมุนเวียนเพื่อลดปริมาณน้ำเติมที่สูญเสียไป

(10) หอทำน้ำเย็นทำงานที่อุณหภูมิน้ำที่สูงมาก คือ 46° C ซึ่งแยกเป็นกรณีต่างๆ ดังนี้

- กรณีที่ใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียนสองตัวและตัวอ่างรับน้ำรวมหนึ่งตัวข้อควรระวัง จะต้องมีการปรับปริมาณน้ำระหว่างปั๊มที่ 1 กับปั๊มที่ 2 ให้ถูกต้อง
- ในกรณีที่ใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียนเพียงตัวเดียวโดยไม่ใช้ตัวอ่างรับน้ำผสมน้ำ

(11) การเลือกหอทำน้ำเย็นที่มีขนาดใหญ่กว่าสำหรับการใช้งานในปัจจุบันเพื่อเผื่อสำหรับการขยายคอนเดนเซอร์

ข้อควรระวัง

จะต้องต่อท่อบายพาสเพื่อใช้ควบคุมน้ำที่ไหลผ่านให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม สำหรับการทำงานในแต่ละช่วงเวลา คือในช่วงปัจจุบันและในช่วงอนาคตนอกจากนี้ปั๊มน้ำหมุนเวียนจะต้องได้รับการเลือกให้สามารถหมุนได้ในปริมาณสูงสุดเมื่อทำการขยายคอนเดนเซอร์เต็มตามปริมาณในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(12) ในกรณีหอทำน้ำเย็นสูงมากซึ่งเปรียบเทียบแล้วทำให้ปริมาณน้ำที่ถูกหมุนเวียนผ่านคอนเดนเซอร์ต่ำ

ข้อควรระวัง

จะต้องมีการต่อท่อบายพาสพร้อมด้วยวาล์วควบคุม เพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่ผ่านตัวแลกเปลี่ยนความร้อนนอกจากนี้การเลือกปั๊มที่ส่งน้ำหมุนเวียนจะต้องเลือกปั๊มที่สามารถส่งน้ำได้ปริมาณที่ออกแบบไว้

2.6 การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของหอทำน้ำเย็น

การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของหอทำน้ำเย็นนั้น นับได้ว่ามีความสำคัญอย่างมากในการที่จะทำให้หอทำน้ำเย็นที่ได้รับการออกแบบและเลือกมาอย่างสมบูรณ์ ในทางทฤษฎีสามารถทำได้อย่างสมบูรณ์เช่นกันในเชิงทางปฏิบัติส่วนใหญ่การเลือกตำแหน่งหอทำน้ำเย็นจะได้รับการกำหนดมาตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบซึ่งผู้รับผิดชอบ เกี่ยวกับระบบการปรับอากาศควรจะได้รับการปรึกษากับทางด้านสถาปนิกโครงการอย่างรอบคอบเพราะว่าตำแหน่งของหอทำน้ำเย็น ไม่เพียงแต่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพในการทำงานของหอทำน้ำเย็นเท่านั้น ส่วนเกี่ยวข้องกับสภาพความสวยงามของอาคารและปัจจัยอื่นๆ อีกมากซึ่งจะขอกล่าวทีละข้อดังต่อไปนี้

2.6.1 การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของหอทำน้ำเย็น ควรจะเป็นตำแหน่งที่มีการระบายอากาศได้อย่างปลอดโปร่งโดยไม่มีสิ่งใดมากีดขวาง สำหรับหอทำน้ำเย็นชนิดเคาเตอร์โฟลว์แล้วจะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับทิศทางลม แต่หอทำน้ำเย็นชนิดครอสโฟลว์แล้วจำเป็นจะต้องตรวจทิศทางลมให้ดีสำหรับด้านที่ได้รับการออกแบบให้กระแสลมพัดผ่านจะต้องหันหน้าให้ถูกทิศทางลม ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพหอทำน้ำเย็นเป็นอย่างมาก ถ้าตั้งอยู่ในทิศทางที่ไม่ถูกต้องสำหรับการหาที่ตั้งของหอทำน้ำเย็นในที่โล่ง นั้นฟังดูเหมือนกับพอที่จะหาได้ง่ายๆ แต่ในทางปฏิบัติมักจะทำได้ยากเนื่องจากว่าสถาปนิกมักจะไม่ชอบรูปร่างลักษณะของหอทำน้ำเย็นและมักจะต้องการให้ตั้งหอทำน้ำเย็นในที่มิดชิดเพื่อบังสายตา แต่ในขณะเดียวกันหอทำน้ำเย็นกลับต้องการที่ที่มีการระบายอากาศได้อย่างปลอดโปร่ง ซึ่งสิ่งสองสิ่งนี้ย่อมขัดกันแต่เป็นโชคดีสำหรับบางโครงการอาจจะมีเนื้อที่เหลือทางด้านหลัง ที่ทำให้สามารถตั้งหอทำน้ำเย็นได้ในที่โล่ง และไม่เป็นที่ปรากฏแก่สายตาของประชาชนทั่วไปด้วย ปัญหาในข้อนี้นับว่าเป็นปัญหาที่ประสบกันอยู่เสมอสำหรับทุกๆ โครงการ ที่จริงแล้วมีหอทำน้ำเย็นอีกชนิดหนึ่งที่ยังไม่ได้พบเห็นในบ้านเรา นั่นคือหอทำน้ำเย็นที่ตั้งไว้ในอาคาร หอทำน้ำเย็นชนิดนี้ไม่ว่าจะเป็นชนิดคอรสโฟลว์ หรือเคาเตอร์โฟล์วก็ตามมักจะใช้พัดลมชนิดเซนติฟูเกล (centrifugal) ดังนั้นเราจึงสามารถต่อท่อลมจากที่ปล่องตรงส่วนบนสุดของหอทำน้ำเย็นเอาไปไกลๆ ได้ ซึ่งทำให้เราสามารถนำหอทำน้ำเย็นเอาไปตั้งไว้ในอาคารและต่อปลายท่อของหอทำน้ำเย็นชนิดนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปไกลได้ ซึ่งนับว่าจะช่วยแก้ปัญหาสถานที่ติดตั้งหอทำน้ำเย็นและยังสามารถตั้งมันไว้นสถานที่ปกปิดมิดชิด แต่อย่างไรก็ตามยังไม่ได้นำหอทำน้ำเย็นชนิดนี้มาใช้ในประเทศ

2.6.2 สถานที่ตั้งหอทำน้ำเย็น จะต้องพยายามตั้งให้ห่างจากแหล่งที่มีความร้อน หรือมีก๊าซหรืออากาศเสียต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น ตามที่ที่มีพวกปล่องไฟ ปล่องของหม้อไอน้ำหรือ (Hood) จากครัวและสถานที่ที่มีฝุ่นควันต่างๆ เพราะหอทำน้ำเย็นต้องการอากาศเข้าไปหมุนเวียนในตัวตลอดเวลา ถ้าเอาไปตั้งในที่ที่มีอากาศและควันเสียความร้อนต่างๆ เหล่านี้ อากาศที่ถูกดูดเข้าไปก็จะพาเอาฝุ่นควันความร้อนต่างๆ เข้าไปในตัวหอทำน้ำเย็นทำให้เกิดการสกปรก หรือการระบายความร้อนของหอทำน้ำเย็นไม่ดีเท่าที่ควรเพราะฉะนั้นก๊าซต่างๆ ที่พัดผ่านเข้าไปอาจจะผสมกับน้ำกลายเป็นกรดมากัดกร่อนชิ้นส่วนที่เป็นโลหะของหอทำน้ำเย็นได้

2.6.3 สถานที่ติดตั้งหอทำน้ำเย็น นอกจากจะต้องคำนึงถึงละอองน้ำที่จะลอยออกไป จากหอทำน้ำเย็นและถูกพัดพาไปตามกระแสลม เนื่องจากหอทำน้ำเย็นจะมีปริมาณน้ำที่สูญเสียจากลมหอบเอาละอองน้ำออกไปอยู่ตลอดเวลา ไม่ว่าหอทำน้ำเย็นนั้นจะมีประสิทธิภาพดีเพียงไรเพียงแต่หอทำน้ำเย็นที่ดีจะสามารถลดปริมาณน้ำที่ถูกละอองลมหอบไปได้น้อยลง ละอองน้ำเหล่านี้อาจจะถูกลมหอบไปได้เป็นระยะทางนับสิบๆ เมตร อาจจะถึงร้อยเมตร ซึ่งละอองน้ำเหล่านี้จะทำให้เกิดความรบกวนรำคาญของผู้ที่อยู่ในสถานที่ละอองน้ำที่ตกไปถึง ยกตัวอย่างเช่นบริเวณสระน้ำ หรือบริเวณบ้านเรือนที่อยู่ใกล้เคียงกับทิศทางที่กระแสลมหอบละอองน้ำไป ดังนั้นต้องตรวจทิศทางลมและสิ่งแวดล้อมให้ดีก่อนกำหนดที่ตั้ง

2.6.4 สิ่งที่เป็นปัญหาของหอทำน้ำเย็น อีกอย่างหนึ่งก็คือ เกี่ยวกับเรื่องเสียงที่ออกจากตัวหอทำน้ำเย็นดังนั้นควรพิจารราสถานที่ตั้งหอทำน้ำเย็น ว่าจะถูกรบกวนจากเสียงของหอทำน้ำเย็นหรือเปล่า โดยเฉพาะเมื่อสถานที่นั้นมีสิ่งแวดล้อมที่เงียบสงัดเสียงจากหอทำน้ำเย็นจะรบกวนเป็นอย่างมาก การตั้งหอทำน้ำเย็นระหว่างช่องว่างตึกสูงขนาบอยู่สองข้าง เป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนาเพราะว่าอาจจะทำให้เกิดเสียงสะท้อนก้องระหว่างผนัง หรือกระจกของตัวตึกทั้งสองและประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอทำน้ำเย็นไม่ดีด้วย

2.6.5 ตำแหน่งของหอทำน้ำเย็น เมื่อเทียบกับคอนเดนเซอร์ที่อยู่ในห้องเครื่อง ก็นับว่าเป็นสิ่งหนึ่งที่นำมาพิจารณาประกอบด้วยคือถ้าหอทำน้ำเย็น มีระดับที่สูงอยู่เหนือตัวห้องเครื่องพอดีก็จะทำให้เดินท่อง่ายและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยลง สำหรับการติดตั้งหอทำน้ำเย็นอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าตัวคอนเดนเซอร์หรือระดับห้องเครื่องนั้นแม้เป็นสิ่งที่ไม่ควรทำเป็นอย่างยิ่งและควรจะหลีกเลี่ยงให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้เมื่อตอนที่หยุดปั๊มและเดินปั๊มน้ำหมุนเวียนใหม่น้ำจะถูกปั๊มเข้าไปกระแทกคอนเดนเซอร์ทำให้เกิดความเสียหายได้ แต่ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ ก็ควรพิจารณาเกี่ยวกับการป้องกันน้ำไหลกับในขณะที่ตอนปิดปั๊มหรือการป้องกันการเกิดกาลักน้ำที่อาจเกิดขึ้นได้

2.6.6 เรื่องน้ำหนักของหอทำน้ำเย็น ก็นับว่าเป็นสิ่งที่จะต้องนำมาพิจารณาด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะในกรณีที่นำหอทำน้ำเย็นติดตั้งในระดับสูงๆ จะต้องมีการตรวจน้ำหนักของหอทำน้ำเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งรวมถึงน้ำหนักน้ำและทำการประสานงานระหว่างวิศวกรโครงการและวิศวกรออกแบบปรับอากาศ เพื่อให้ข้อมูลจำเป็นในการเตรียมฐานโครงสร้างที่แข็งแรงเพื่อรับน้ำหนักของหอทำน้ำเย็น ซึ่งรวมไปจนถึงความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในขณะที่หอทำน้ำเย็นทำงานอยู่ นอกจากนี้ควรมีการยึดขาหอทำน้ำเย็นไว้ตั้งแต่ในขณะทำการก่อสร้างก็เป็นได้

2.7 การควบคุมคุณภาพน้ำในหอทำน้ำเย็น

เราจะเห็นได้ว่าระบบน้ำหมุนเวียนผ่านหอทำน้ำเย็นเป็นระบบเปิด คือเป็นระบบที่เปิดสู่อากาศ และมีการสูญเสียปริมาณน้ำ ซึ่งต้องเติมน้ำปริมาณหนึ่งเข้ามาตลอดเวลาจึงเป็นระบบที่เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นจากน้ำได้หลายปราการนั่นคือ การที่มีปริมาณน้ำสูญเสียออกไปจากระบบไม่ว่าจะเป็นจากการระเหยตัวของน้ำหรือการที่น้ำถูกพัดพาไปก็ตาม น้ำที่ระเหยตัวออกไปนั้นก็จะทิ้งแร่ธาตุหรือจับอยู่ที่ก้นกานั่นเอง การที่มีปริมาณระเหยไปและมีการทิ้งแร่ธาตุอยู่เช่นนี้ จะทำให้มีการสะสมของแร่ธาตุในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจำเป็นจะต้องได้รับการขจัดและแก้ไข มิฉะนั้นจะเป็นตัวทำให้เกิดตะกรันและการกัดกร่อนเพิ่มขึ้นนอกจากนี้ปัญหาอีกด้านหนึ่งก็คือมีการสูญเสียน้ำไป ก็จะต้องมีการเติมน้ำเข้ามาแทนที่การเติมน้ำเข้ามาแทนที่ ก็จะเป็นจะต้องมีการควบคุมคุณภาพของน้ำที่เติมเข้ามามิฉะนั้นก็จะเป็นการเพิ่มปริมาณแร่ธาตุและเพิ่มปัญหาให้กับหอทำน้ำเย็นมากขึ้น การระบายน้ำบางส่วนทิ้งไป เพื่อให้ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายน้อยลงในขณะเดียวกันเราก็ต้องควบคุมปริมาณของน้ำที่เติมเข้ามาให้มีสารละลายต่างๆ น้อยเพื่อเข้ามาเจือจางน้ำที่มีอยู่ในปริมาณเดิมให้มีปริมาณสารละลายเฉลี่ยลดน้อยลง มีความเข้มข้นลดน้อยลง

ปัญหาของหอทำน้ำเย็นที่เกิดขึ้นกับน้ำที่หมุนเวียนในระบบ นับว่าเป็นเรื่องที่ซับซ้อนและจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาโดยละเอียด ซึ่งไม่สามารถจะกล่าวให้ควบคุมได้ทุกแง่ทุกมุมในบทนี้ได้ จึงจะขอกล่าวถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจากน้ำเพียงสังเขปดังนี้

2.7.1 การเกิดตะกรันหรือสารจำพวกหินปูน ซึ่งเป็นสารที่เรียกว่า คัลเซียมคาร์บอนเนต จับอยู่ตามตัวหอทำน้ำเย็น ซึ่งจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง และนอกจากนั้นก็เป็นตัวต้านทานต่อการไหลของน้ำ ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาเข้าไปถึงภายในท่อน้ำที่ต่อระหว่างตัวหอทำน้ำเย็นกับตัวคอนเดนเซอร์ด้วย เพราะทำให้ท่อถูกเคลือบด้วยหินปูนเหล่านี้จึงมีเนื้อที่ภายในท่อน้อยลง และบางครั้งอาจเกิดปัญหาถึงขั้นท่ออุดตันก็เป็นไปได้ ตัวตะกรันนอกจากจะเกิดขึ้นจากคัลเซียมคาร์บอเนตแล้ว บางครั้งอาจเกิดขึ้นจากคัลเซียมคาร์บอเนตและคัลเซียมซัลเฟตเจือปนอยู่ด้วย ส่วนสาเหตุที่เกิดตัวคัลเซียมคาร์บอเนตได้เป็นเพราะสาเหตุดังต่อไปนี้

- น้ำมีลักษณะเป็นด่างมากเกินไป
- มีตัวเกลือคัลเซียมละลายอยู่ในน้ำเป็นจำนวนมาก
- น้ำกระด้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

- น้ำมีอุณหภูมิสูงจึงทำให้ตัวเกลือคัลเซียมคาร์บอเนตไม่สามารถละลายน้ำได้อีกต่อไป จึงตกตะกอนออกมาจากตัวน้ำ

- มีสารแข็งละลายปนอยู่ในน้ำมาก

2.7.2 การเกิดสนิมและการผุกร่อน การเกิดสนิมและการผุกร่อนมีสาเหตุได้หลายประการเช่น ตัวออกซิเจนที่แทรกอยู่ในน้ำเป็นตัวทำให้เกิดสนิม เพราะฉะนั้นอุณหภูมิของน้ำหมุนเวียนที่สูงก็จะเป็นตัวเร่งให้ปฏิกิริยายิ่งขึ้น สาเหตุอื่นๆ ก็ยังมีพวกควัน หรือก๊าซซึ่งอยู่ในอากาศได้ผ่านเข้ามาในหอทำน้ำเย็น และถูกชะเป็นกรดซึ่งจะเข้าไปกัดกร่อนตรงส่วนที่เป็นโลหะของหอทำน้ำเย็น นอกจากนั้นก็มี ปัญหาเกี่ยวกับพวกสารละลายต่างๆ ที่ทำให้น้ำมีภาวะความเป็นกรดนั้นคือ มี PH ต่ำกว่า 6.7 หรือ 7 ซึ่งมีภาวะเป็นกลางมากเกินไปเมื่อเกิดการผุกร่อนแล้วก็จะทำให้ชิ้นส่วนของหอทำน้ำเย็นกร่อนเป็นสนิมหายไป โดยเฉพาะชิ้นส่วนของหอทำน้ำเย็นที่เป็นดลหะ เช่น ตัวเบนซิน หรือตัวน็อตยึดต่างๆ ก็มีปัญหาได้มากโดยเฉพาะเมื่อความเร็วของน้ำในท่อสูงก็ทำให้เกิดการชะทำให้ตัวชิ้นส่วนเหล่านี้หลุดออกไปซึ่งตัวผนังต่างๆ ชิ้นส่วนต่างๆ บางลง

2.7.3 การเกิดสารจุลชีพซึ่งมักจะเกิดขึ้นในตัวอ่าง ตัวสารจุลชีพนี้จะเป็นพวกสาหร่ายตะไคร่น้ำหรือพืชอื่นๆ ซึ่งเป็นสารจุลชีพที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และเติบโตเนื่องจากได้แสงสว่างและอากาศ โดยเฉพาะสาหร่ายจะทำการสังเคราะห์แสงและปล่อยออกซิเจนออกมาซึ่งเป็นตัวเร่งให้มีการกัดกร่อนมากยิ่งขึ้นหรือมิฉะนั้นมีพวกแบคทีเรียในน้ำซึ่งจะเกาะกุมกันเป็นตะไคร่น้ำ เช่น จำพวกซัลเฟตหรือเหล็ก ซึ่งทำให้ส่วนประกอบของสารเคมีที่เติมไว้เพื่อป้องกันการผุกร่อนเสื่อมสภาพไป นอกจากนี้ก็ยังมีพวกเห็ดรา ซึ่งไม่ใช่ตัวที่สังเคราะห์แสงเองได้จึงต้องเป็นตัวที่เกาะกับชิ้นส่วนโดยเฉพาะพวกไม้และหอทำน้ำเย็นที่มีไม้เป็นส่วนประกอบ ก็จะเกิดเสื่อมสภาพโดยเฉพาะถ้าไม้นั้นไม่ได้อาบหรืออัดน้ำยาเอาไว้ ก็จะเกิดเสื่อมสภาพด้วย นอกเหนือสารพวกสารจุลชีพเหล่านี้แล้วก็อาจจะมีพวกโคลน ฝุ่นละอองต่างๆ ที่ถูกนำมาจากอากาศ ถูกพัดพาผ่านเข้าไปหอทำน้ำเย็นด้วย ซึ่งไม่ว่าจะเป็นพวกโคลนหรือสารจุลชีพเหล่านี้ก็จะเกิดปัญหากับระบบน้ำหมุนเวียนภายในเพราะมันอาจจะหลุดออกแล้วลอยเข้าไปในท่อน้ำที่มีการหมุนเวียนที่ทำให้เกิดการขัดขวางต่อการหมุนเวียนของน้ำและการถ่ายเทความร้อน

2.8 การแก้ไขปัญหาที่เกิดจากน้ำ

การแก้ไขปัญหาที่เกิดจากน้ำมีหลายวิธีการด้วยกันซึ่งบางวิธีแก้ได้เฉพาะเพียงปัญหาเดียว หรืออาจจะแก้ปัญหารวมๆ กันไปก็จะขอกล่าวดังต่อไปนี้

2.8.1 การแก้ปัญหาในด้านตะกรัน จะต้องอาศัยวิธีควบคุมน้ำให้มีสภาพเป็นกรดนิดๆ เพื่อไม่ให้เกิดตะกินคัลเซียมคาร์บอเนตขึ้น แต่ขณะเดียวกันก็ต้องควบคุมไม่ให้เกิดสภาวะเป็นกรดมากเกินไปมิฉะนั้นจะไปกัดกร่อนโลหะได้ วิธีการที่ใช้กันอยู่ก็คือการเติมสารเคมีเข้าไปเพื่อควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

61944

สภาวะน้ำหรือเป็นตัวห้ามมิให้คัลเซียมคาร์บอเนตตกตะกอนนอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ทางด้านไฟฟ้าอีกประเภทหนึ่งซึ่งมีอยู่หลายยี่ห้อซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมและป้องกันมิให้สารคาร์บอเนตเหล่านี้ตกตะกอนได้โดยทำให้มันมีประจุไฟฟ้าแตกต่างกับตัวท่อดักสารคาร์บอเนตจะเขวนลอยอยู่โดยไม่ตกตะกอน

2.8.2 การแก้ผุกร่อนนับว่าเป็นเรื่องยาก จะต้องเติมสารเคมีที่ต้านทานการผุกร่อน เช่น พวกโครเมท ที่เติมจะทำให้น้ำหมุนเวียนอยู่ในหอทำน้ำเย็นมีสีเหลือง ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหากับน้ำที่ละอองน้ำกระเซนออกไป การระบายน้ำทิ้งก็จะต้องระมัดระวังมิฉะนั้นต้องควบคุม PH ของน้ำที่หมุนเวียนอยู่ในระบบซึ่งเป็นงานที่จะต้องอาศัยการเติมสารเคมีเข้าไปทั้งสิ้น

2.8.3 การแก้ไขปัญหาที่เกิดจากสารจุลชีพ มักจะใช้การเติมสารเคมีลงไปฆ่าเชื้อสารจุลชีพเหล่านี้ ซึ่งจะต้องใส่ลงไปเป็นครั้งคราวตามข้อเสนอแนะของบริษัทผู้ผลิตสารเคมี

สำหรับการแก้ไขปัญหาของการเกิดตะกรันหรือการเกิดการผุกร่อนหรือการเกิดสารจุลชีพอาจจะสามารถแก้ไขได้ โดยการเติมสารเคมีเข้าไปในน้ำหมุนเวียนซึ่งบริษัทที่เป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้านนี้ จะเป็นผู้เตรียมสารเคมีซึ่งมีส่วนผสมหลายๆ อย่างที่จะใช้สำหรับในงานทำหน้าที่แตกต่างกันไปซึ่งจะป้องกันการเกิดปัญหาทั้งในด้านสามข้อ โดยการผสมสารเคมีที่แต่ละตัวมีคุณสมบัติสำหรับการแก้ปัญหา แต่ละข้อเข้าไว้ด้วยกัน แล้วทำการเติมสารเคมีโดยการฉีด (injection) โดยใช้ปั๊มดูดจากสารละลายเหล่านี้แล้วฉีดเข้าไปตัวอย่างของน้ำตัวเติมหอทำน้ำเย็นนั้นก็อาจจะต้องควบคุมคุณภาพของน้ำที่เติมเช่นเดียวกัน ในกรณีที่น้ำนั้นมีคุณภาพไม่ค่อยดี เช่น อาจจะเป็นกรณีที่ที่ห่างไกลและน้ำที่เติมหอทำน้ำเย็นจะต้องเป็นน้ำบาดาล ซึ่งมักจะมีพวกตะกรันและตัวคัลเซียมคาร์บอเนตละลายอยู่มากก็จะต้องมีการควบคุมคุณภาพโดยทำให้กระด่างให้เป็นน้ำอ่อนแล้วจึงเติมเข้าสู่หอทำน้ำเย็น แต่สำหรับการใช้งานในที่ที่มีน้ำประปาก็มักจะไม่ต้องควบคุมคุณภาพอะไรมาก อาจจะใช้น้ำนั้นเติมเข้าไปในหอทำน้ำเย็นได้เลย อย่างไรก็ตามเป็นเรื่องที่จะต้องมีการตรวจคุณภาพของน้ำที่เติมดูก่อนว่ามีปริมาณสารละลายที่ละลายอยู่ในน้ำนั้น เป็นปริมาณมากเท่าใด ถ้าเป็นปริมาณไม่มากนักอาจจะใช้เติมได้เลย หรือถ้ามีปัญหาเนื่องจากสารตัวใดตัวหนึ่งก็อาจจะผ่านเครื่องกรองหรือผ่านการเติมสารเคมีแก้ปัญหาตัวสารละลายก่อนที่จะเติมเข้าหอทำน้ำเย็น ซึ่งเป็นเรื่องที่จะต้องพิจารณาเป็นแต่ละกรณีไป ซึ่งคุณภาพของน้ำที่ใช้ในระบบและน้ำเติมกำหนดได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวเลขของน้ำที่หมุนเวียน

อุปกรณ์ระบายความร้อน	ปริมาณน้ำสูญเสียเนื่องจากลม (% ปริมาณน้ำหมุนเวียน)
น้ำพุในสระ (spray pond)	1.0 – 5.0
คลูลิ่งเทาเวอร์ชนิดระบายความร้อนตามธรรมชาติ	0.3 – 1.0
คลูลิ่งเทาเวอร์ชนิดระบายความร้อนด้วยวิธีกล	0.1 – 0.3
คอนแดนเซอร์ชนิดน้ำระเหยตัว	0.0 – 0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ส่วนประกอบและโครงสร้างของหอทำน้ำเย็น

2.9.1 ตัวถังและเกล็ดช่องลม (Casing & Louver) ตัวถังเป็นส่วนประกอบที่เป็นโครงร่างของหอทำน้ำเย็นและนอกจากนั้นตัวถังจะมีส่วนประกอบที่สัมพันธ์กับแผงกระจายละอองน้ำ ส่วนตัวเกล็ดช่องลมก็มีความสำคัญคือ จะช่วยป้องกันการกระจายหรือหกของน้ำออกมาจากตัวหอทำน้ำเย็น นอกจากนั้นเกล็ดยังมีความสำคัญในการที่จะเป็นตัวต้านทานของการเคลื่อนที่ของอากาศที่ถูกดูด หรือเป่าเข้าไปในตัวหอทำน้ำเย็นเกล็ดจึงต้องมีความสม่ำเสมอและให้รูปแบบการกระจายของอากาศที่ดี

2.9.2 ระบบกระจายน้ำ (water distribution system) จุดประสงค์ของระบบกระจายน้ำก็คือ การรับน้ำที่ถูกหมุนเวียนมาสู่ตัวหอทำน้ำเย็น และทำการกระจายมันออกไปอย่างสม่ำเสมอ ให้ตกลงไปยังแผงกระจายละอองน้ำซึ่งหน้าที่ของระบบกระจายน้ำนี้มีความสำคัญมาก เนื่องจากว่าการที่มันสามารถกระจายน้ำได้เป็นฝอยละอองเล็กๆ และสม่ำเสมอจะมีผลต่อประสิทธิภาพของหอทำน้ำเย็นเป็นอย่างมาก สำหรับระบบกระจายน้ำของหอทำน้ำเย็นชนิดอากาศ และน้ำเคลื่อนที่ตัดกัน และที่สวนกับน้ำจะมีความแตกต่างกันเนื่องจากแบบเคลื่อนที่ตัดกันจะอาศัยการไหลของน้ำแต่แบบเคลื่อนที่สวนกันจะต้องใช้แรงดันจากปั๊ม

2.9.3 แผงกระจายละอองน้ำ แผงกระจายละอองน้ำเป็นส่วนที่น้ำถูกฉีด เป็นละอองเล็กตกลงมากระทบและเป็นส่วนที่อากาศซึ่งถูกดูดหรือถูกเป่าเข้าไปในตัวหอทำน้ำเย็นเคลื่อนที่เข้ามาพบกับหยดน้ำนี้จึงเป็นที่เกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนขึ้น ตัวแผงกระจายละอองน้ำนี้มีส่วนเกี่ยวข้องกับตัวระบบกระจายน้ำ เพราะระบบกระจายน้ำจะต้องฉีดน้ำลงมาเป็นฝอยละอองที่สม่ำเสมอจึงจะทำให้แผงกระจายละอองน้ำนี้ ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วย ตัวแผงกระจายละอองน้ำ จะมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งใน การกำหนดตัวความดันลด (static pressure loss) ที่จะเกี่ยวข้องกับการทำงานและขนาดของพัดลมที่ใช้ดูดหรือเป่าอากาศ และยังมีความสัมพันธ์กับตัวแผงกันละอองน้ำ (drift eliminator) ซึ่งจะก่อให้เกิดผลในอัตราการหมุนเวียนของอากาศด้วย

2.9.4 ถังรับน้ำ (Collection basin) น้ำที่ถูกฉีดออกมาจากส่วนกระจายน้ำและตกผ่านแผงกระจายละอองน้ำ ทำการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศแล้วตกลงสู่บริเวณถังรับน้ำซึ่งจะกักเก็บน้ำไว้เพื่อถ่ายเทส่งกลับไปเข้าระบบปรับอากาศอีกครั้งหนึ่ง ตัวความจุของถังรับน้ำก็นับว่าเป็นสิ่งสำคัญเพราะจะต้องมีปริมาณมากเพียงพอที่จะทำให้การถ่ายเทของน้ำเป็นไปตามอัตราที่ถูกต้องโดยไม่เกิดการไหลล้นออกนอกตัวหอทำน้ำเย็น

2.9.5 ส่วนทำให้อากาศเคลื่อนไหว (Air movement system) ส่วนนี้เป็นส่วนที่ทำให้เกิดความเคลื่อนไหวของอากาศเข้ามาสัมผัสกับน้ำเพื่อเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งการทำระบบการเคลื่อนไหวของอากาศนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทดังที่ได้กล่าวไปแล้วคือ ระบบเป่าอากาศเข้า และระบบดูดอากาศออก ระบบสร้างความเคลื่อนไหวของอากาศจะต้องประกอบด้วย ตัวพัดลม และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ขับพัดลม ระบบส่งกำลังระหว่างมอเตอร์กับพัดลม ซึ่งจะมีการขับเคลื่อนโดยตรง (Direct drive) ซึ่งมีข้อดีคือ จะไม่มีการสูญเสียการถ่ายทอดกำลังจากมอเตอร์ไปยังพัดลมแต่จะมีข้อเสียคือตัวมอเตอร์จะต้องเข้าทาอยู่ในกระแสอากาศ (air stream) และส่วนระบบส่งกำลังที่มีตัวช่วยส่งกำลังนั้นจะแบ่งได้เป็นสองประเภทคือ ใช้ขับเคลื่อนด้วยสายพาน และขับเคลื่อนด้วยเกียร์ ซึ่งระบบที่ขับเคลื่อนด้วยเกียร์จะมีความแน่นอนและมีความสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าแต่จะมีราคาแพงกว่าส่วนระบบขับเคลื่อนด้วยสายพานนั้นจะสิ้นเปลืองพลังงานสูงกว่าและมีโอกาสที่สายพานจะลื่นหลุดออกไปได้

2.9.6 แผงกันละอองน้ำ (Drift eliminator) เมื่อมีการฉีดน้ำ และมีการใช้พัดลม ทำให้อากาศเคลื่อนไหวแล้วก็จะมีการที่ละอองน้ำกระเซ็นไปกับกระแสลม ซึ่งจะต้องมีแผงกันละอองน้ำนี้เพื่อดักละอองน้ำที่ถูกพัดพาไปกับกระแสลมให้เหลือออกไปน้อยที่สุดเพื่อลดการสูญเสียน้ำของหอทำน้ำเย็น ซึ่งจะมีการติดตั้งไว้ที่ส่วนหลัง จากที่ลมได้ผ่านตัวแผงกระจายละอองน้ำ และทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำมาเรียบร้อยแล้ว ตัวแผงกันละอองน้ำนี้จะเป็นตัวหนึ่งที่เพิ่มความดันลดและเกี่ยวข้องกับแรงม้าของพัดลมที่ใช้งานด้วย [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

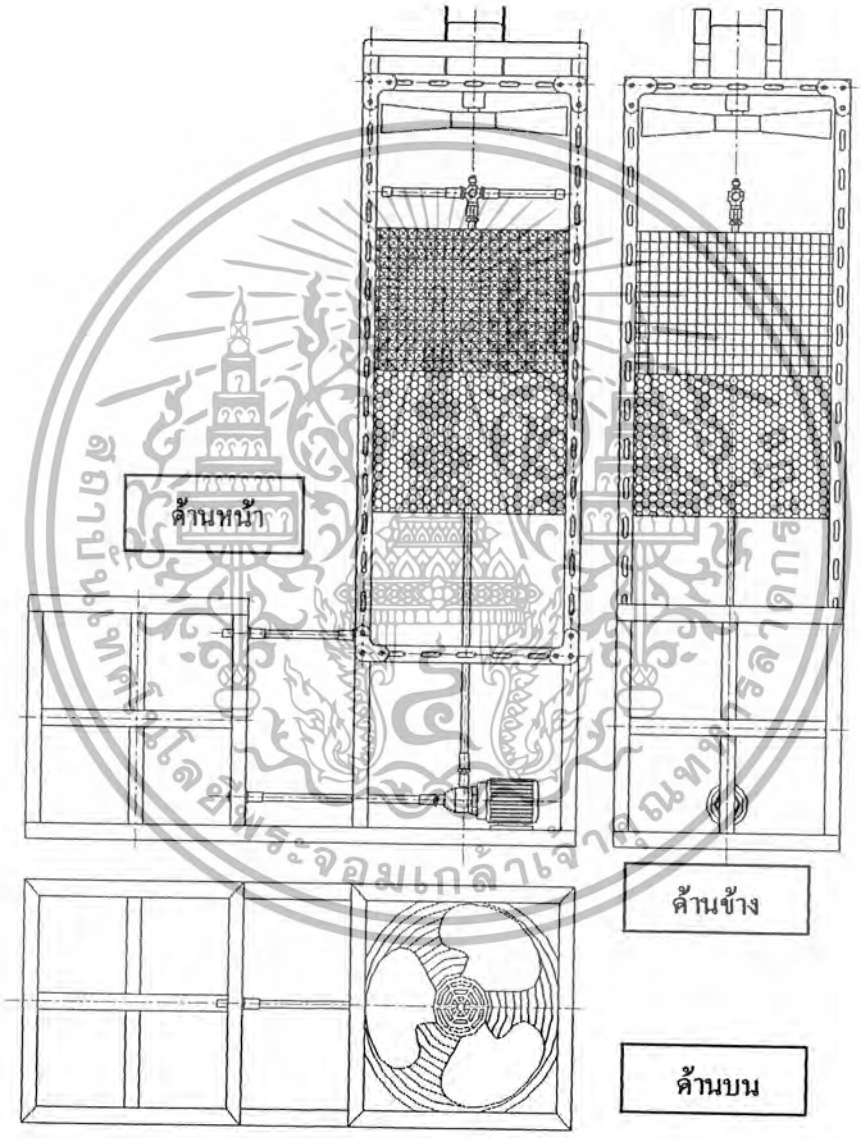
การออกแบบและส่วนประกอบ

3.1 การออกแบบทดลองการลดอุณหภูมิของน้ำโดยใช้หอทำน้ำเย็น

รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงการชุดทดลองการลดอุณหภูมิของน้ำโดยใช้หอทำน้ำเย็น

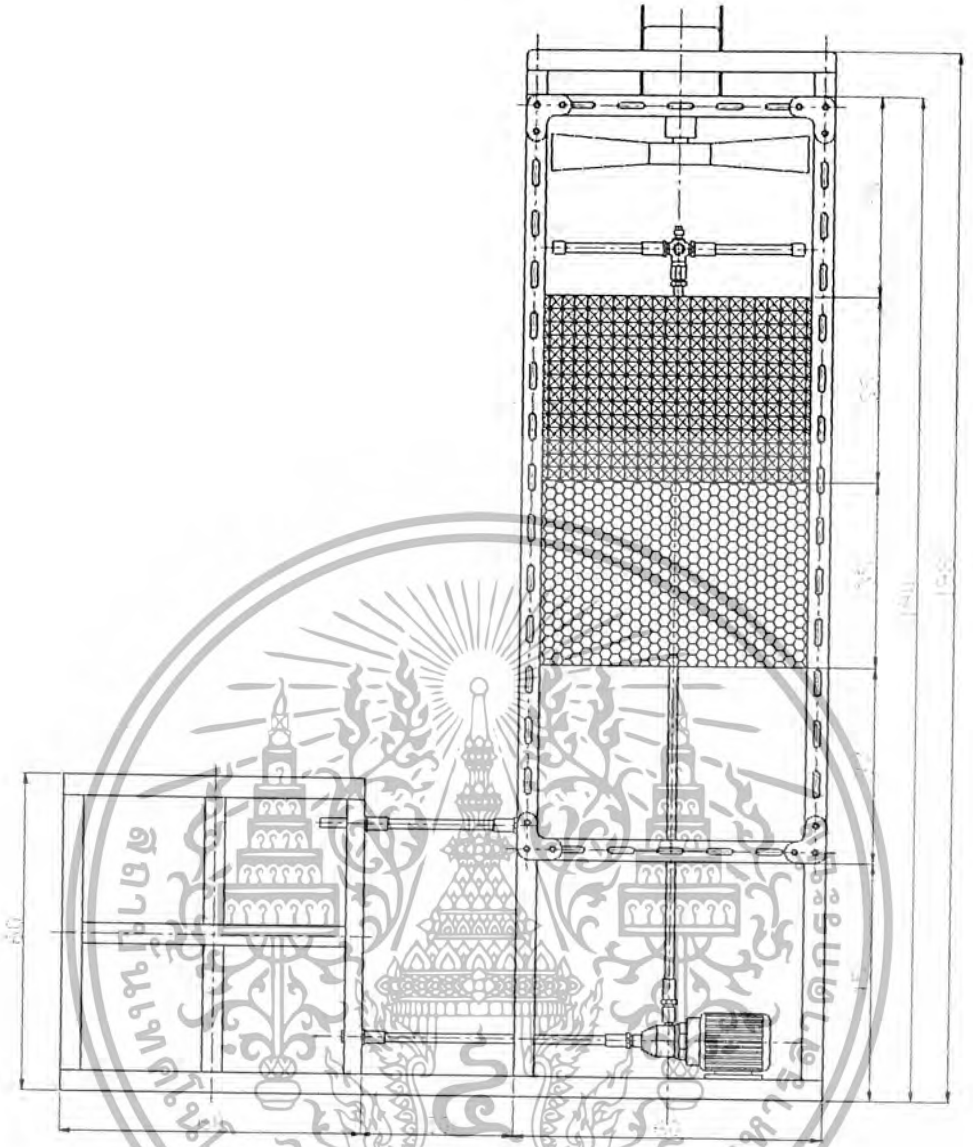
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและขั้นตอนการสร้างชุดทดลองการลดอุณหภูมิของน้ำโดยใช้หอทำน้ำเย็น เริ่มต้นด้วยการสร้างส่วนประกอบของเครื่อง คือ โครงสร้างรับน้ำหนัก ส่วนของถังเก็บน้ำ ส่วนของคลูลิ่งเทาเวอร์นำชิ้นส่วนมาประกอบเข้ากับตัวเครื่อง เช่น มอเตอร์ พัดลม ปั๊มน้ำ หัวฉีดน้ำ แผงกระจายละอองน้ำ แผงกันละอองน้ำและชุดทำความร้อน แล้วทำการทดลองเดินเครื่องที่ความเร็วรอบต่างๆ บันทึกผลการทดลองและทำการแก้ไขให้ได้ตามผลที่ต้องการ จากนั้นสรุปผลการทดลอง



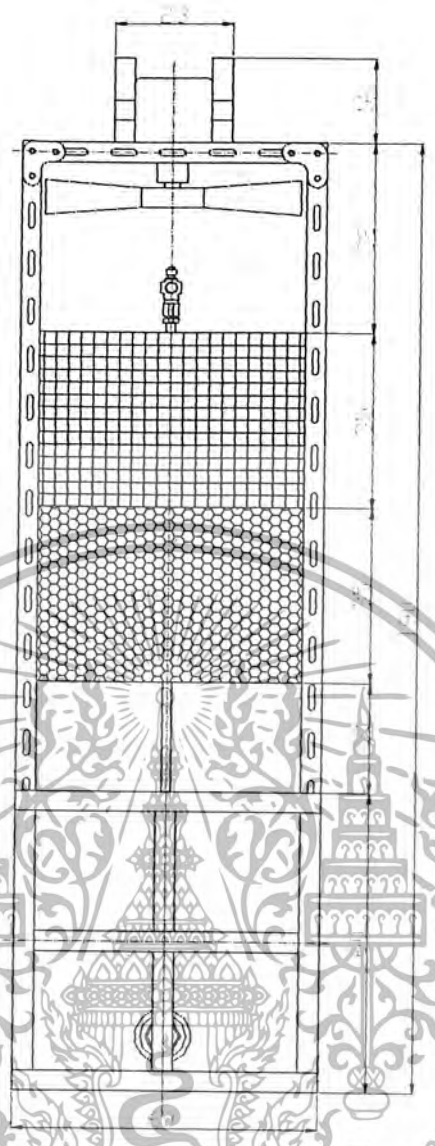
รูปที่ 3.2 แสดงแบบภาพฉายรวมด้านต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



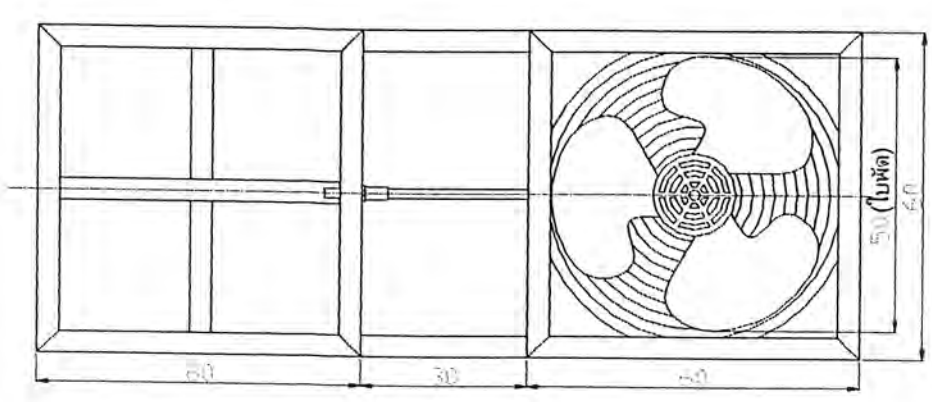
รูปที่ 3.3 แสดงแบบภาพฉายทางด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงแบบภาพฉายทางด้านข้าง

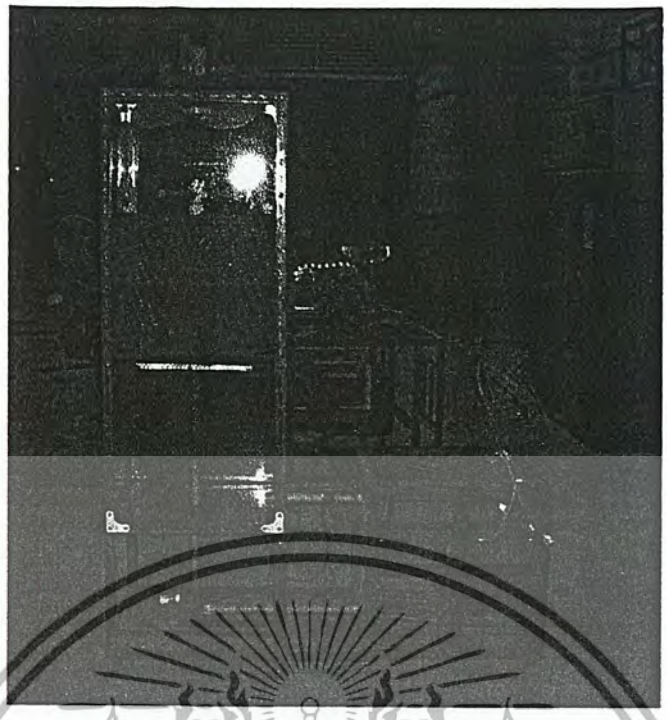
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงแบบภาพฉายทางด้านบน

รูปที่ 3.6 แสดงแบบโครงสร้างชุดทดลองการลดอุณหภูมิของน้ำโดยใช้หอทำน้ำเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ชุดทดลองการลดอุณหภูมิของน้ำโดยใช้หอทำน้ำเย็น

3.2 ส่วนประกอบของชุดทดลองการลดอุณหภูมิของน้ำโดยใช้หอทำน้ำเย็นสำหรับการทดลอง

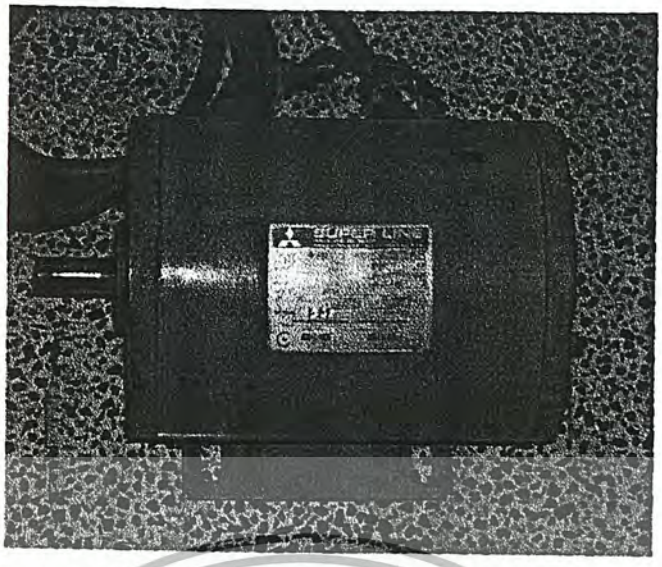
3.2.1 โครงสร้างรับน้ำหนัก

โครงสร้างรับน้ำหนักมีขนาดกว้าง 60 ซม.ยาว 150 ซม.สูง 190 ซม.ซึ่งจะแบ่งแยกออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนของถังเก็บน้ำและส่วนของคลูลิ่งเทาเวอร์การออกแบบในส่วนของถังเก็บน้ำมีขนาดกว้าง 60 ซม.ยาว 60 ซม.สูง 60 ซม.ทำจากเหล็กฉากหนา 2 มม.เพื่อให้สามารถรับน้ำหนักของน้ำได้ และส่วนของคลูลิ่งเทาเวอร์มีขนาดกว้าง 60 ซม.ยาว 60 ซม.สูง 190 ซม.ขนาดความสูงนี้สูงกว่าตัวที่ทำจากโรงงานตัวจริง 49 ซม.ทำจากเหล็กฉากรูหนา 2 มม.เพื่อให้รองรับน้ำหนักของมอเตอร์,ปั๊มน้ำ,ใบพัดลมและชุดแลกเปลี่ยนความร้อน

3.2.2 มอเตอร์

ใช้มอเตอร์ขนาด 1/4 แรงม้า มอเตอร์จะติดตั้งอยู่บนส่วนของคลูลิ่งเทาเวอร์ถังโดยมีเหล็กยึดไว้อยู่ ใช้ไฟ 3 เฟสต่อกับ Inverter เพื่อใช้ในการปรับความเร็วรอบเพื่อหาค่าความเร็วรอบที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 มอเตอร์

3.2.3 Inverter

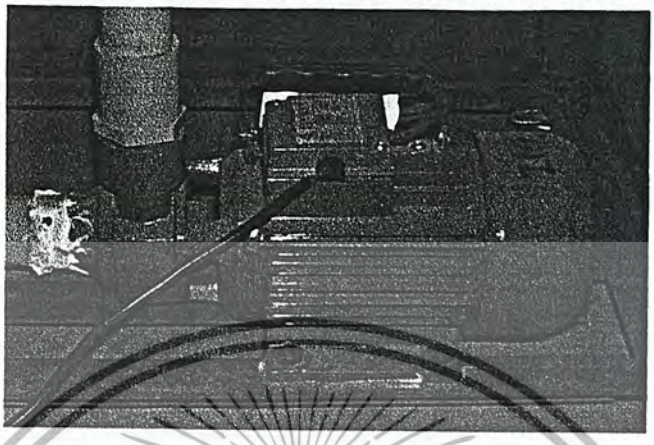
Inverter เป็นเครื่องที่ใช้ในการแปลงกระแสไฟฟ้าที่ระดับความถี่ต่างๆ ทำให้มอเตอร์และปั๊มน้ำ สามารถปรับเปลี่ยนรอบการหมุนในระดับต่างๆกันได้ แต่ไม่สามารถจะบอกออกมาเป็นรอบความเร็วได้แต่จะบอกออกมาในรูปของความถี่ของกระแสไฟฟ้าแทนความเร็ว

รูปที่ 3.9 Inverter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ปั๊มน้ำ

เป็นตัวใช้ในการหมุนเวียนน้ำร้อนและน้ำเย็นให้มีการไหลผ่านหอทำน้ำเย็นใช้ปั๊มน้ำขนาด 1/2 แรงม้า โดยจะติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่อยู่ข้างถังเก็บน้ำและอยู่ใต้ถังรับน้ำใช้ไฟ 3 เฟสต่อกับ Inverter เพื่อใช้ในการปรับความเร็วรอบเพื่อหาค่าความเร็วรอบที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.10 ปั๊มน้ำ

3.2.5 ถังเก็บน้ำ

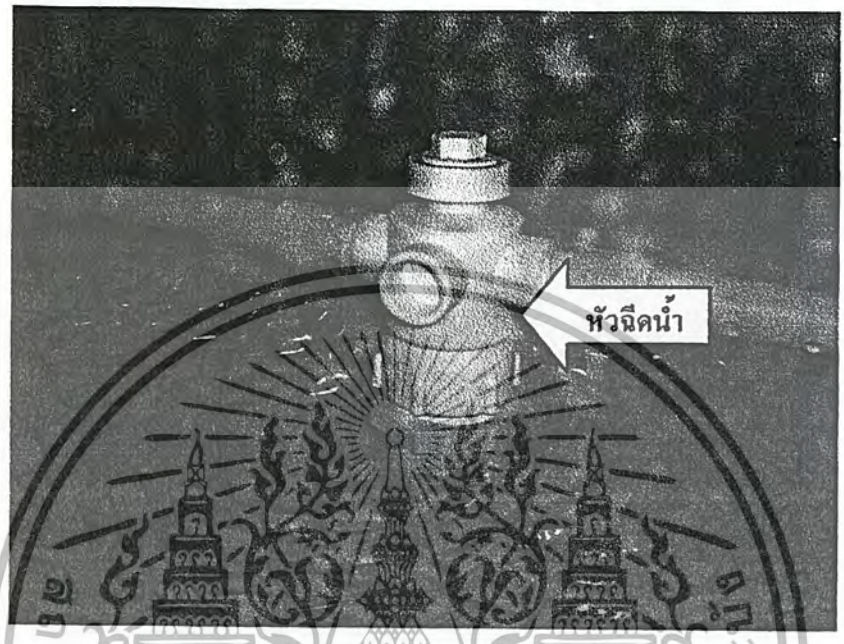
ใช้ในการเก็บน้ำเพื่อรอที่ปั๊มน้ำดูดไปใช้งานมีขนาดกว้าง 60 ซม.ยาว 60 ซม. สูง 60 ซม.

รูปที่ 3.11 ถังเก็บน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 หัวฉีดน้ำ

น้ำในระบบหอทำน้ำเย็นนี้ จะให้มีการกระจายน้ำ ทางด้านบนของ ตัวหอทำน้ำเย็นทำหน้าที่ปล่อยน้ำออกทางแขนทั้งสองข้าง ซึ่งตัวหัวฉีดน้ำจะสามารถหมุนได้เองเพราะแรงดันของน้ำที่ดูดขึ้นมาจากปั๊ม

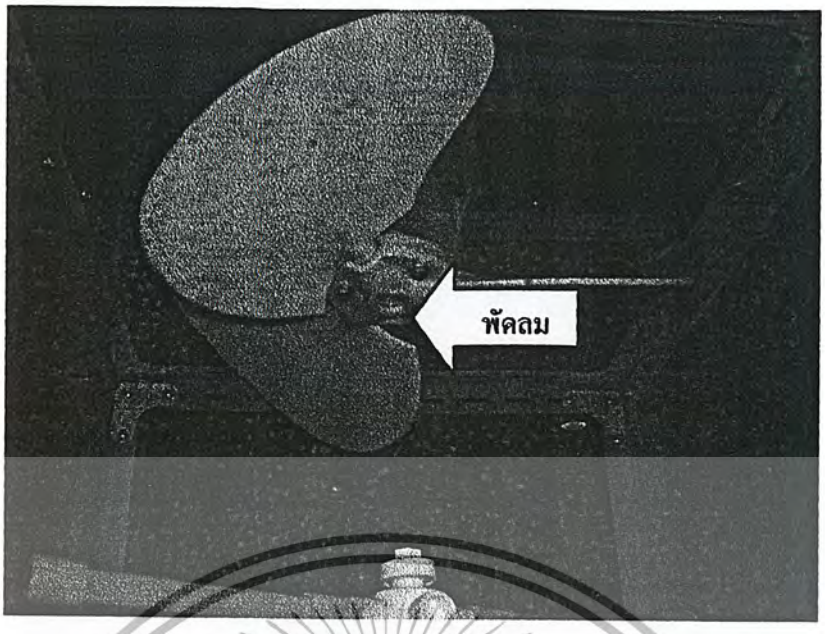


รูปที่ 3.12 หัวฉีดน้ำ

3.2.7 พัดลม

พัดลมทำหน้าที่ดูดอากาศในตัวคลูลิ่งเทาเวอร์ ทำให้น้ำเย็นลง และภายหลังที่ได้ทำให้น้ำเย็นลงแล้ว ลมที่มีความร้อนและความชื้นเพิ่มขึ้นก็จะถูกส่งออกไปภายนอก พัดลมจะถูกขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าแบบทนทานน้ำ พัดลมมีขนาด diameter 50 ซม.

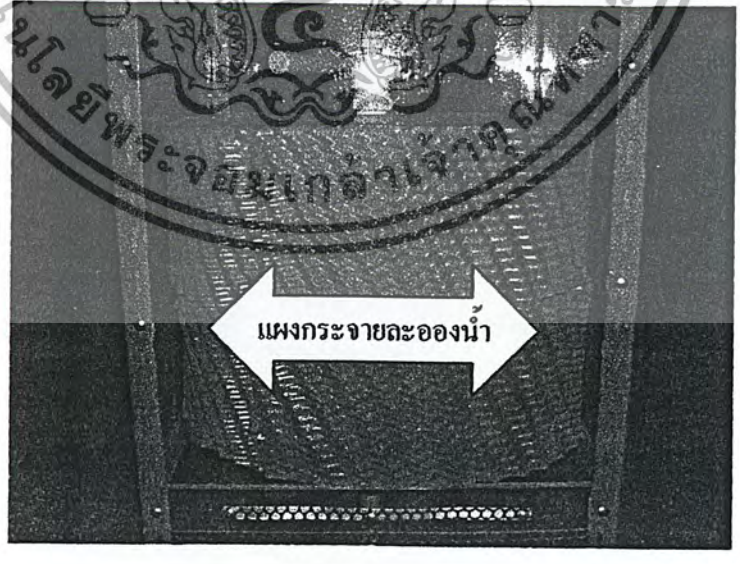
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 พัดลม

3.2.8 แผงกระจายละอองน้ำ

แผงกระจายละอองน้ำหรือ ฟิลลิงของหอทำน้ำเย็นเป็นส่วนที่ทำให้น้ำเย็นโดยอากาศจากบรรยากาศภายนอกไหลผ่านน้ำที่ฉีดลงมาเป็นส่วนที่ทำให้การทำความเย็นเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนนี้จึงเป็นส่วนที่จำเป็นที่สุดของหอทำน้ำเย็นไส้ในทำจากแผ่นพลาสติกไวนิลคลอไรด์ อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำความเย็นไม่ควรสูงกว่า 50 °C

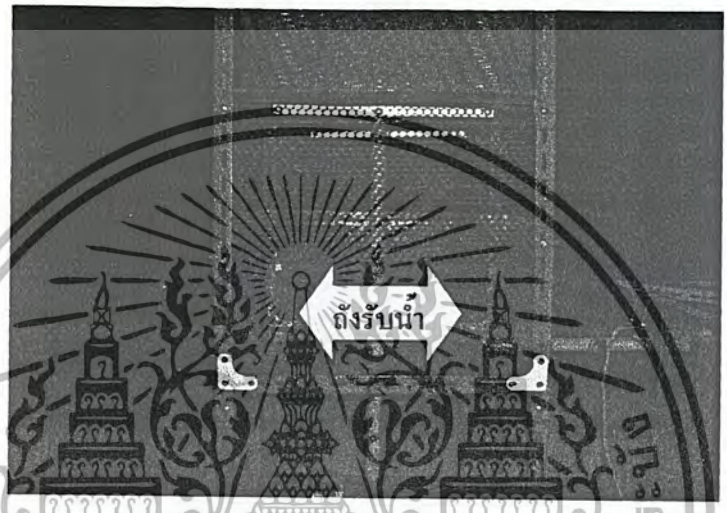


รูปที่ 3.14 แผงกระจายละอองน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.9 ถังรับน้ำ

น้ำที่ถูกฉีดออกมาจากส่วนกระจายน้ำและตกผ่านแผงกระจายละอองน้ำ ทำการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศแล้วตกลงมาสู่บริเวณถังรับน้ำซึ่งจะกักเก็บน้ำไว้เพื่อถ่ายเทส่งกลับไปเข้าระบบอีกครั้งหนึ่ง ตัวความจุของถังรับน้ำก็นับว่าเป็นสิ่งสำคัญเพราะจะต้องมีปริมาณมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดการถ่ายเทของน้ำเป็นไปตามอัตราที่ถูกต้องโดยไม่เกิดการไหลล้นออกนอกตัวคูลลิ่งเทาเวอร์ ส่วนใหญ่วัสดุที่ใช้ทำตัวถังรับน้ำจะเป็นวัสดุชนิดเดียวกับที่ทำตัวถังนั่นเอง มีขนาดกว้าง 60 ซม.ยาว 60 ซม.สูง 35 ซม.



รูปที่ 3.15 ถังรับน้ำ

3.2.10 แผงกันละอองน้ำ

แผงกันละอองน้ำในระบบจะใช้พลาสติกขึ้นรูปซึ่งจะใช้ติดโดยรอบของตัวหอทำน้ำเย็น มีขนาดกว้าง 60 ซม.ยาว 60 ซม.สูง 35 ซม.ติดตั้งเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำกระเด็นออกจากตัวคลูลิ่งเทาเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

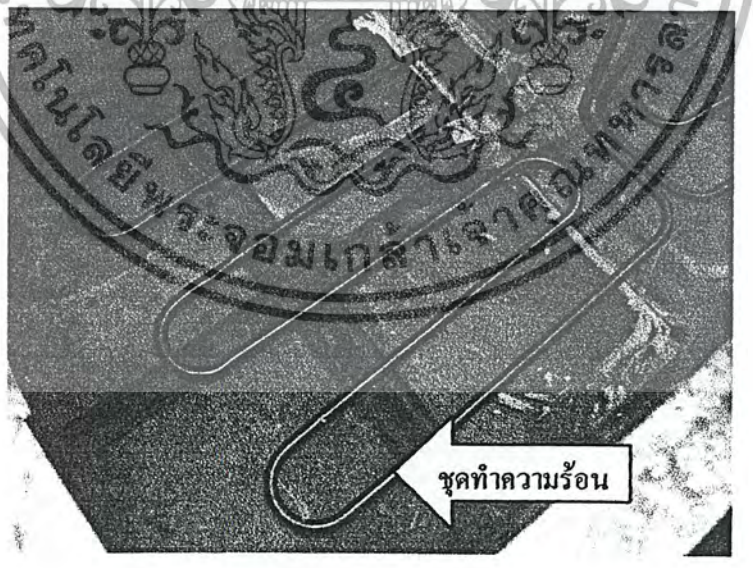
รูปที่ 3.16 แผงกันละอองน้ำ

3.2.11 ขนาดของท่อและชนิดของท่อ

ท่อที่ใช้ในระบบหอทำน้ำเย็นนี้จะเป็นท่อ พีวีซี (PVC)ซึ่งเหตุผลที่ใช้ท่อ พีวีซี นั้น เพราะว่าน้ำมีอุณหภูมิสูงไม่มากนัก ประมาณ 37 – 32 องศาเซลเซียส จึงสามารถที่จะใช้ท่อ พีวีซี ได้

3.2.12 ชุดทำความร้อน

เป็นอุปกรณ์ที่ทำความร้อนให้น้ำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ

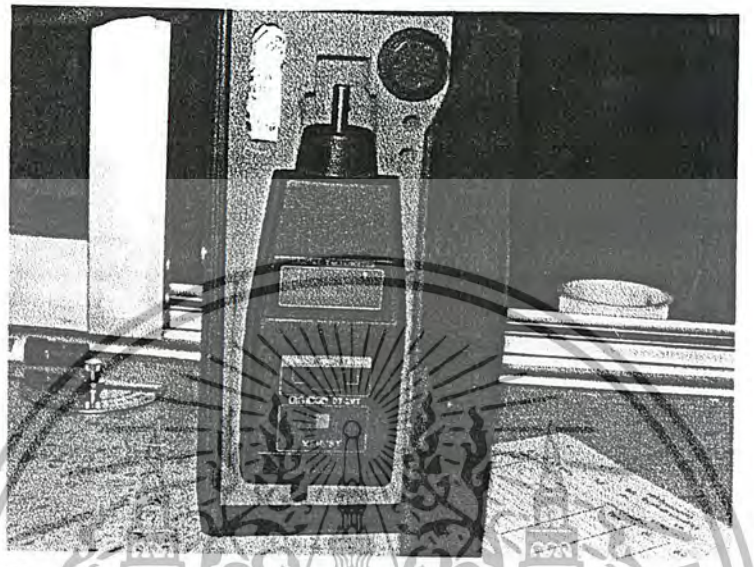


รูปที่ 3.17 ชุดทำความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.13 เครื่องวัดความเร็วรอบ

เนื่องจาก Inverter ไม่สามารถบอกออกมาเป็นความเร็วรอบได้ จึงต้องใช้เครื่องวัดความเร็วรอบนี้มาทำการวัดแทน ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้หัวตัวตรวจจับความเร็วรอบต่อเข้ากับปลายของเพลาเพื่อวัดความเร็วรอบ ซึ่งจะแสดงตัวเลขออกมาในรูปของดิจิตอล



รูปที่ 3.18 เครื่องวัดความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดทดลองหอทำน้ำเย็นที่สร้างขึ้น ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองคือ

1) การหาความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำ กับอัตราการไหลของอากาศ ที่มีผลต่อความสามารถในการลดอุณหภูมิของชุดทดลองหอทำน้ำเย็น

2) หาค่า Water Efficiency (E_w) ของชุดทดลองหอทำน้ำเย็น

3) หาค่า Thermal Efficiency (E_t) ของชุดทดลองหอทำน้ำเย็น

วิธีการทดลองในแต่ละการทดลองแสดงไว้ในภาคผนวก ก,ข และ ค ตามลำดับ

4.1 การหาความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำกับอัตราการไหลของอากาศที่มีผลต่อความสามารถในการลดอุณหภูมิของชุดทดลองหอทำน้ำเย็น

ตารางที่ 4.1 และ 4.2 แสดงผลการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำ กับอัตราการไหลของอากาศ ที่มีผลต่อความสามารถในการลดอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำน้ำเย็น เมื่ออุณหภูมิทางเข้าของน้ำเป็น 40°C และ 35°C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำทางออกเมื่ออุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 40°C

Td (°C)	Tw (°C)	Q_P (L/min)	Q_A (L/min)	Tin (°C)	Tout (°C)	$\Delta T_{เฉลี่ย}$ (°C)
32.00	29	35.00	707.93	40	34.33	5.67
			617.17	40	34.67	5.33
			471.95	40	35.00	5.00
31.50	29	31.13	707.93	40	33.33	6.67
			617.17	40	33.67	6.33
			471.95	40	34.00	6.00
31.50	29	28.00	707.93	40	32.67	7.33
			617.17	40	33.00	7.00
			471.95	40	33.67	6.33
31.50	29	24.50	707.93	40	32.00	8.00
			617.17	40	32.33	7.67
			471.95	40	33.00	7.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำทางออกเมื่ออุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 35°C

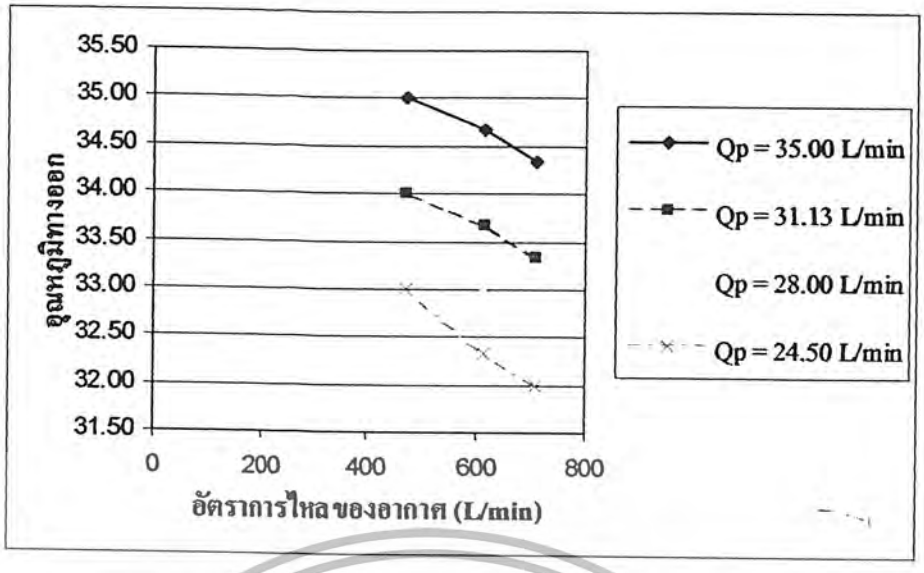
Td (°C)	Tw (°C)	Q_P (L/min)	Q_A (L/min)	Tin (°C)	Tout (°C)	$\Delta T_{เฉลี่ย}$ (°C)
31.50	28	35.00	707.93	35	31.00	4.00
			617.17	35	31.67	3.33
			471.95	35	32.00	3.00
31.00	28	31.13	707.93	35	30.67	4.33
			617.17	35	31.33	4.67
			471.95	35	31.67	3.33
30.50	28	28.00	707.93	35	30.33	4.67
			617.17	35	31.00	4.00
			471.95	35	31.33	3.67
30.50	28	24.50	707.93	35	**30.00**	**5.00**
			617.17	35	30.67	4.33
			471.95	35	31.00	4.00

จากตารางที่ 4.1 จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าเป็น 40 °C ชุดทดลองหอทำน้ำเย็นสามารถลดอุณหภูมิของน้ำลงได้มากที่สุด 8 °C และจากตารางที่ 4.2 ที่อุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าเป็น 35 °C สามารถลดอุณหภูมิของน้ำลงได้มากที่สุด 5 °C

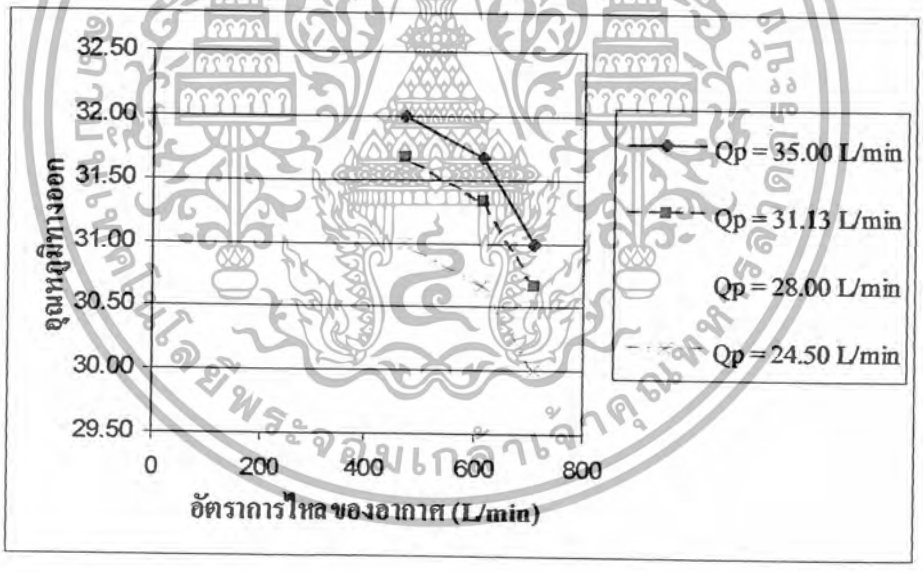
จากการทดลองพบว่าเมื่ออัตราการไหลของอากาศ (Q_A) เพิ่มขึ้นจะทำให้สามารถลดอุณหภูมิของน้ำได้มากขึ้นในทุกอัตราการไหลของน้ำ (Q_P) ทั้งนี้เนื่องมาจากอัตราการไหลที่สูงขึ้นจะทำให้อากาศที่ไหลผ่านเข้ามามีปริมาณมากขึ้น เมื่อมีอากาศเข้ามามากจึงทำให้ มีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศได้ปริมาณมาก จึงทำให้สามารถลดอุณหภูมิของน้ำได้ดีกว่าที่อัตราการไหลของอากาศต่ำ (รูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2)

เมื่ออัตราการไหลของอากาศคงที่อัตราการไหลของน้ำนั้นมีผลต่อการลดอุณหภูมิ คือ ที่อัตราการไหลที่ต่ำก็จะสามารถลดอุณหภูมิของน้ำได้มาก เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำที่ต่ำก็จะทำให้เวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศเพิ่มขึ้นด้วย จึงทำให้สามารถลดอุณหภูมิของน้ำที่ดีกว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำที่สูง (รูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำ กับอัตราการไหลของอากาศ ต่ออุณหภูมิของน้ำทางออกเมื่ออุณหภูมิของน้ำทางเข้า 40 °C



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำ กับอัตราการไหลของอากาศ ต่ออุณหภูมิของน้ำทางออกที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้า 35 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การหาค่า Water Efficiency (E_w) ของชุดทดลองหอทำน้ำเย็น

ค่า Water Efficiency (E_w) คือค่าแสดงประสิทธิภาพของหอทำน้ำเย็นที่สามารถลดอุณหภูมิของน้ำไหลเวียนลงได้เมื่อเทียบกับความสามารถในการลดอุณหภูมิของน้ำในอากาศ ผลการทดลองเพื่อหาค่า Water Efficiency ของชุดทดลองหอทำน้ำเย็น แสดงไว้ใน ตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 40°C และ 35°C ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ค่า Water Efficiency ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าที่ 40°C

Tin (°C)	Q_P (L/min)	Q_A (L/min)	E_w (%)
40	35.00	707.93	51.55
		617.17	48.45
		471.95	45.45
40	31.13	707.93	60.63
		617.17	57.55
		471.95	54.55
40	28.00	707.93	66.64
		617.17	63.64
		471.95	57.54
40	24.50	707.93	72.73
		617.17	69.73
		471.95	63.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

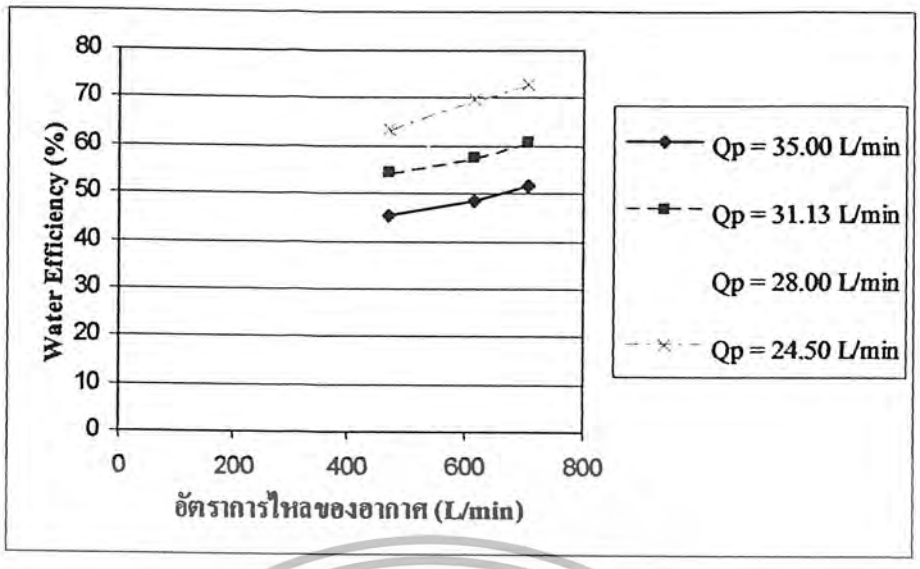
ตารางที่ 4.4 ค่า Water Efficiency ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าที่ 35°C

Tin (°C)	Q_P (L/min)	Q_A (L/min)	E_w (%)
35	35	707.925	57.14
		617.165	47.57
		471.95	42.86
35	31.132	707.925	61.86
		617.165	52.43
		471.95	47.57
35	28	707.925	66.71
		617.165	57.14
		471.95	52.43
35	24.50	707.93	71.43
		617.17	61.86
		471.95	57.14

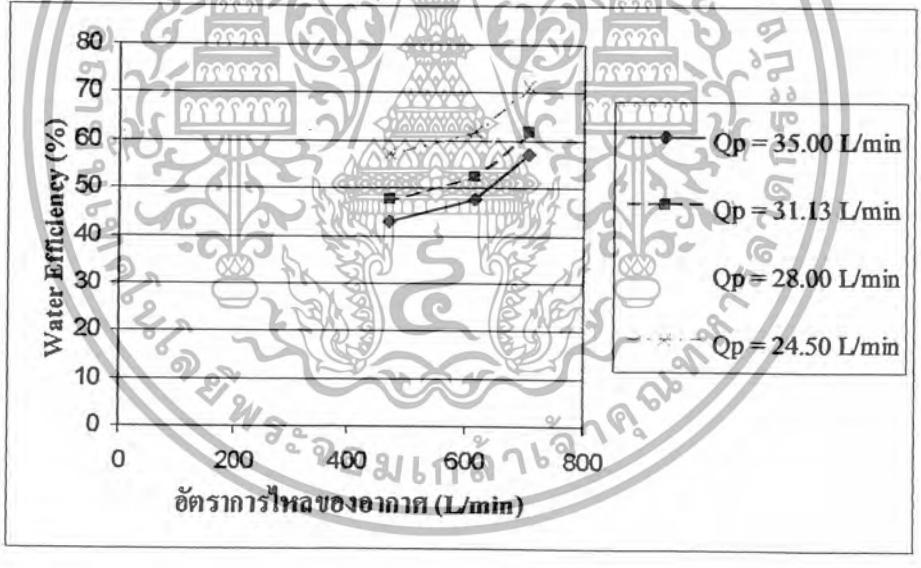
จากตารางผลการทดลองที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าค่า Water Efficiency (E_w) มีค่าสูงที่สุดคือ 72.73 % และ 71.43 % เมื่ออุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 40°C และ 35°C ตามลำดับ ในที่อัตราการไหลของอากาศเป็น 707.93 L/min และมีอัตราการไหลของน้ำที่ 24.5 L/min เพราะว่าเป็นจุดที่ผลต่างของอุณหภูมิของน้ำทางเข้าและทางออกมากที่สุด และเป็นจุดที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อน ระหว่างน้ำกับอากาศมากที่สุด เนื่องมาจากมีเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนนานที่สุดและมีปริมาณอากาศเข้ามามากที่สุดจึงเป็นผลทำให้มีประสิทธิภาพของหอทำน้ำเย็นสูงที่สุด

จากรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 พบว่าค่า Water Efficiency จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นในทุกอัตราการไหลของน้ำ และที่อัตราการไหลของอากาศคงที่ Water Efficiency จะมีค่าลดลง เมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำ กับอัตราการไหลของอากาศ ต่อ Water Efficiency ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 40 °C



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำ กับอัตราการไหลของอากาศ ต่อ Water Efficiency ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 35 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การหา Thermal Efficiency ของชุดทดลองหอทำน้ำเย็น

ค่า Thermal Efficiency (E_t) คือค่าแสดงประสิทธิภาพของหอทำน้ำเย็นของน้ำที่สามารถระเหยไปในอากาศเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่สูญเสียไป ผลการทดลองเพื่อหาค่า Thermal Efficiency ของชุดทดลองหอทำน้ำเย็น แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 40°C และ 35°C ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ค่า Thermal Efficiency ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 40°C

Tin (°C)	Q_P (L/min)	Q_A (L/min)	E_t (%)
40	35	707.93	45.89
		617.17	59.44
		471.95	65.69
40	31.13	707.93	48.61
		617.17	61.25
		471.95	79.16
40	28	707.93	60.14
		617.17	64.31
		471.95	**82.59**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

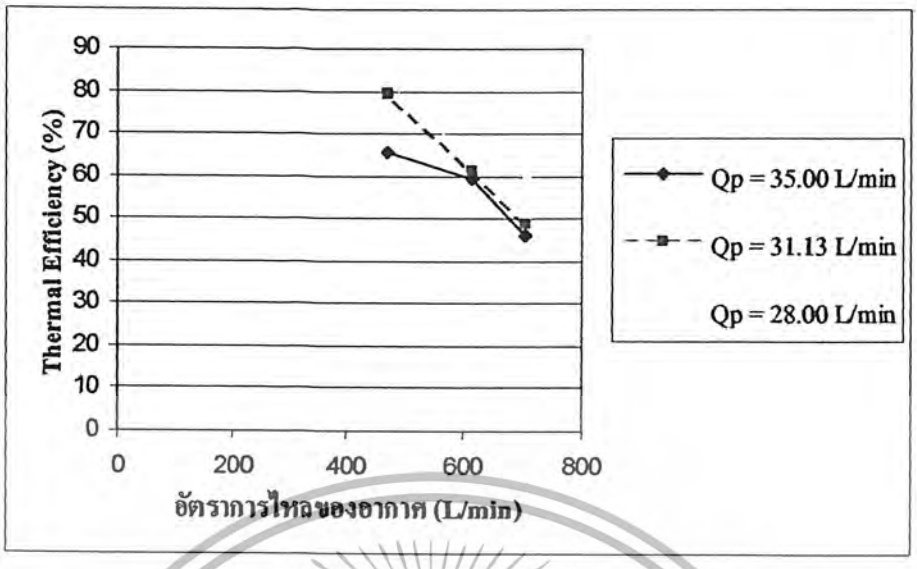
ตารางที่ 4.6 ค่า Thermal Efficiency ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 35 °C

Tin (°C)	Q_P (L/min)	Q_A (L/min)	E_t (%)
35	35	707.93	22.44
		617.17	40.00
		471.95	45.56
35	31.13	707.93	34.77
		617.17	38.61
		471.95	48.06
35	28	707.93	44.17
		617.17	46.38
		471.95	**67.22**

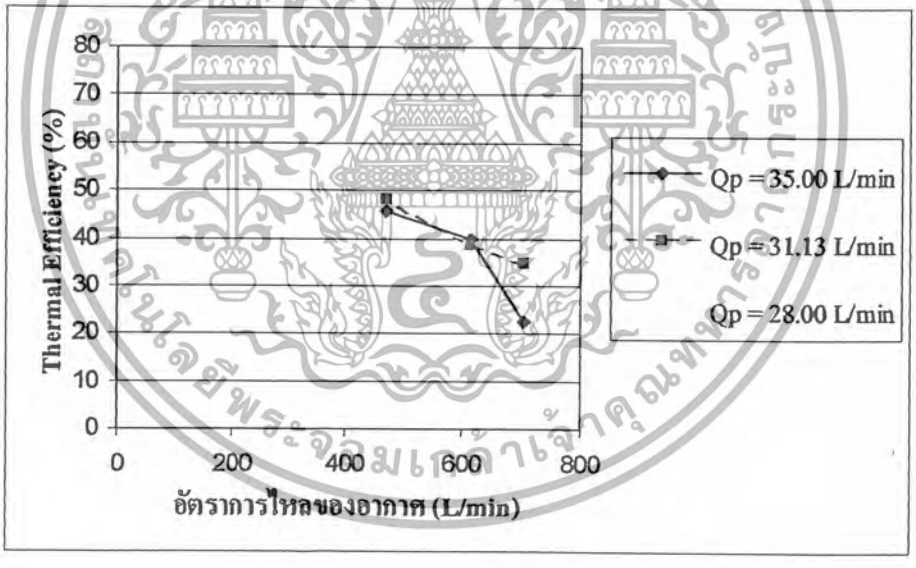
จากตารางการทดลองที่ 4.5 และ ตารางการทดลองที่ 4.6 พบว่าค่า Thermal Efficiency (E_t) มีค่าสูงสุดเมื่ออัตราการไหลของน้ำเป็น 28 L/min และอัตราการไหลของอากาศเป็น 471.95 L/min โดยค่า Thermal Efficiency มีค่าเป็น 82.59 % และ 67.22 % เมื่ออุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 40°C และ 35°C ตามลำดับ ซึ่งค่า Thermal Efficiency ที่ได้นี้ต่ำกว่าค่า Thermal Efficiency โดยทั่วไปของหอทำน้ำเย็นที่จะอยู่ประมาณ 85 – 90 % ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ค่า Thermal Efficiency มีค่าต่ำอาจเกิดมาจากจำนวนน้ำที่หายไปหลังจากการทดลองนั้นเป็นจำนวนมาก เมื่อเทียบกับน้ำที่ระเหยไปเนื่องจากลม และจำนวนน้ำที่หายไปหลังจากการทดลองนั้นอาจจะเกิดการกระเด็นออกมาจากชุดทดลอง หรือน้ำนั้นได้ไปค้างตามท่อหรือแผงกระจายละอองน้ำ หรือเกิดจากการอ่านค่าความสูงของน้ำได้ไม่ดีเนื่องจากสเกลที่ใช้วัดหยาบเกินไป และจากตารางผลการทดลองจะเห็นได้ว่า อัตราการไหลของอากาศลดลงแต่สามารถลดอุณหภูมิของน้ำได้ใกล้เคียงกันแต่จะใช้เวลาเพิ่มมากขึ้น จึงเป็นผลทำให้ปริมาณน้ำสูญเสียเนื่องจากการระเหยมากขึ้นด้วย เนื่องจากการคำนวณหา Thermal Efficiency ในชุดทดลองหอทำน้ำเย็นนี้เป็นการคำนวณเชิงปริมาตรทำให้เวลาเป็นตัวแปรสำคัญในการคำนวณหา Thermal Efficiency จึงทำให้เมื่อ อัตราการไหลของอากาศลดลงจะต้องใช้เวลาในการลดอุณหภูมิของน้ำที่ทางออกนานขึ้น เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจึงทำให้ Thermal Efficiency ลดลง ซึ่งจะไม่ตรงตามทฤษฎี

จากรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 พบว่าค่า Thermal Efficiency จะมีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นในทุกอัตราการไหลของน้ำ และที่อัตราการไหลของอากาศคงที่ Thermal Efficiency จะมีค่าลดลง เมื่ออัตราการของน้ำเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำ กับอัตราการไหลของอากาศ ต่อ Thermal Efficiency ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 40 °C



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำ กับอัตราการไหลของอากาศ ต่อ Thermal Efficiency ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 35 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปการทดลอง

จากการศึกษาชุดทดลองการลดอุณหภูมิของน้ำโดยใช้หอทำน้ำเย็น โดยการสร้างและทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดทดลองหอทำน้ำเย็นที่สร้างขึ้น ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองคือการหาความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำกับอัตราการไหลของอากาศ ที่มีผลต่อความสามารถในการลดอุณหภูมิของชุดทดลองหอทำน้ำเย็น หาค่า Water Efficiency (E_w) ของชุดทดลองหอทำน้ำเย็นและหาค่า Thermal Efficiency (E_t) ของชุดทดลองหอทำน้ำเย็น โดยการทดลองจะทำการปรับอัตราการไหลของน้ำที่ 35.00 , 31.13 , 28.00 , 24.50 L/min และที่ความเร็วรอบพัดลม 3 ความเร็วรอบ 707.93 , 617.17 , 471.95 L/min เมื่ออุณหภูมิทางเข้าของน้ำเป็น 40°C และ 35°C จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าเป็น 40 °C ชุดทดลองหอทำน้ำเย็น สามารถลดอุณหภูมิของน้ำลงได้มากที่สุด 8°C และที่อุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าเป็น 35 °C จะสามารถลดอุณหภูมิของน้ำได้มากที่สุดคือ 5°C ซึ่งทั้งอุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าเป็น 40°C และ 35°C นั้นจะมีความสามารถลดอุณหภูมิของน้ำได้ดีที่สุดที่อัตราการไหลของอากาศเป็น 707.93 L/min และมีอัตราการไหลของน้ำที่ 24.5 L/min เหมือนกัน ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิของน้ำนั้นมีความสัมพันธ์กัน ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับอัตราการไหลของน้ำด้วย ซึ่งจะมีแนวโน้มเหมือนกันในทุกอัตราการไหลของน้ำ โดยเมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นก็สามารถทำให้ลดอุณหภูมิของน้ำได้ดีขึ้น และค่า Water Efficiency (E_w) มีค่าสูงที่สุดเมื่ออัตราการไหลของอากาศเป็น 707.93 L/min และมีอัตราการไหลของน้ำที่ 24.5 L/min ซึ่งจะมีค่ามากที่สุดคือ 72.73 % กับ 71.43 % เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าเป็น 40°C และ 35°C ตามลำดับ เนื่องจากที่อัตราการไหลของอากาศและอัตราการไหลของน้ำดังกล่าว เป็นจุดที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศมากที่สุดเนื่องจากมีเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนนานที่สุดและมีปริมาณอากาศเข้ามามาก ซึ่งอัตราการไหลของอากาศที่สูงจะทำให้อากาศที่ไหลผ่านเข้ามาในชุดทดลองหอทำน้ำเย็นมีปริมาณมาก เมื่อมีอากาศเข้ามาเป็นปริมาณมาก จึงทำให้ปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศสูงตามไปด้วย จึงทำให้สามารถลดอุณหภูมิของน้ำได้ดีกว่าที่มีอัตราการไหลของอากาศที่ต่ำ ส่วนอัตราการไหลของน้ำที่ต่ำก็จะทำให้น้ำเป็นละอองน้ำได้มีเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศมากขึ้นด้วย จึงทำให้มีความสามารถในการลดอุณหภูมิของน้ำได้มากกว่าที่มีอัตราการไหลของน้ำสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนค่า Thermal Efficiency (E_t) มีค่าสูงสุดเมื่ออัตราการไหลของน้ำเป็น 28 L/min และอัตราการไหลของอากาศเป็น 471.95 L/min โดยค่า Thermal Efficiency มีค่าเป็น 82.59 % และ 67.22 % เมื่ออุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 40° C และ 35° C ตามลำดับ นั้นจะมีค่าที่ค่อนข้างที่จะต่ำกว่าหอทำน้ำเย็นทั่วไปซึ่งค่า Thermal Efficiency โดยทั่วไปของหอทำน้ำเย็นที่จะอยู่ประมาณ 85 – 90 % จำนวนน้ำที่หายไปหลังจากการทดลองนั้นเป็นจำนวนมาก เมื่อเทียบกับน้ำที่ระเหยไปเนื่องจากลม และจำนวนน้ำที่หายไปหลังจาการทดลองนั้น อาจจะเกิดการกระเด็นออกมาจากชุดทดลอง หรือน้ำนั้นได้ไปค้างตามท่อหรือแผงกระจายละอองน้ำ หรือเกิดจากการอ่านค่าความสูงของน้ำได้ไม่ดี เนื่องจากสเกลที่ใช้วัดหยาบเกินไป และจากตารางผลการทดลองจะเห็นได้ว่า อัตราการไหลของอากาศลดลงแต่สามารถลดอุณหภูมิของน้ำได้ใกล้เคียงกันแต่จะใช้เวลาเพิ่มมากขึ้น จึงเป็นผลทำให้ปริมาณน้ำสูญเสียเนื่องจากการระเหยมากขึ้นด้วย เนื่องจากการคำนวณหา Thermal Efficiency ในชุดทดลองหอทำน้ำเย็นนี้เป็นการคำนวณเชิงปริมาตร จึงทำให้ เวลา เป็นตัวแปรสำคัญในการคำนวณหา Thermal Efficiency จึงทำให้เมื่ออัตราการไหลของอากาศลดลง จะใช้เวลาในการลดอุณหภูมิของน้ำที่ทางออกนานขึ้น เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจึงทำให้ Thermal Efficiency ลดลงซึ่งจะไม่ตรงตามทฤษฎี

5.2 ข้อเสนอแนะ

- เนื่องจากมีน้ำกระเด็นออกมามากจึงควรที่จะทำการบังในส่วนที่น้ำจะกระเด็นออกมาให้มิดชิดไม่ให้มีน้ำกระเด็นออกมาได้หรือให้กระเด็นออกมาน้อยที่สุด
- เปลี่ยนการสร้างภาวะความร้อนที่ป้อนให้กับชุดทดลองหอทำน้ำเย็นใหม่โดยทำให้มีความสามารถในการทำน้ำร้อนให้มีอุณหภูมิที่คงที่
- เปลี่ยนสเกลวัดระดับน้ำใหม่ เพื่อให้อ่านระดับน้ำได้ถูกต้อง หรือใช้เครื่องมือในการวัดระดับน้ำที่ได้มาตรฐาน
- เพิ่มจุดวัดอุณหภูมิของน้ำเข้าและออกจากระบบเพื่อให้ทราบอุณหภูมิในทุก ๆ จุดที่ต้องการ
- ต่อท่อแยกน้ำเย็นที่ออกจากหอทำน้ำเย็นไปไว้ที่ถังพักไม่ให้รวมกับน้ำร้อน
- ระบบควบคุมความร้อนของน้ำร้อนเพื่อให้มีอุณหภูมิที่คงที่ และได้ตามต้องการ โดยการเปลี่ยนขนาดถังเก็บน้ำให้มีขนาดเล็กลงเพื่อที่จะควบคุมอุณหภูมิของน้ำร้อนได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. จิระพล ฉายัษฐิต. 2531 . "คลูลิ่งเทาเวอร์" . 30 เรื่องน่ารู้การปรับอากาศ . พิมพ์ครั้งที่ 2 สิงหาคม 2531 : 148 – 163
2. สันติ ลักษิตานนท์ . 2543 . "อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในระบบปรับอากาศ" . 55 เรื่องน่ารู้เทคนิคเครื่องกล (ชุดที่ 6) : 154 – 160
3. Liang Chi Industry (Thailand) Co., Ltd. Copyright © 2000 . All Rights Reserved . Dimension . [Online] . Availble : http://www.liangchi.co.th/lbcdimension.htm
4. Cooling Towers: Design and Operation Considerations. 2004 . [Online] . Availble : http://www.cheresources.com/ctowerszz.shtml
5. อัครเดช สินธุภัค. 2544 . "การทำความเย็น" . พิมพ์ครั้งที่ 5 เมษายน 2544 . กรุงเทพ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
6. Watt,J.R. white the assistance of Koral ,R.L., Crow,L.W., Greenberg,A. , Evaporative air conditioning Handbook second Edition, First published 1986 by champman and Hall 29 West 35 Sreet , New York ,N.Y. 10001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

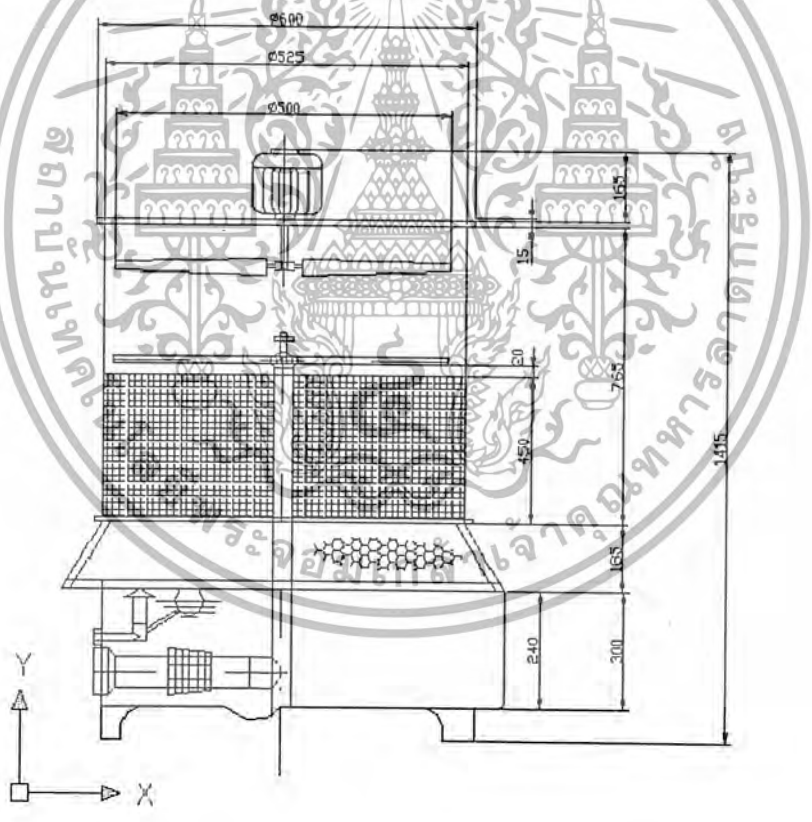
การออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบ

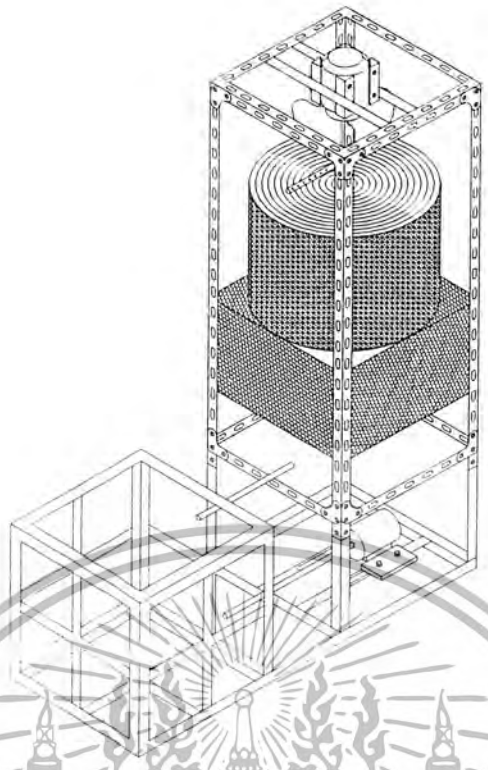
การสร้างหอทำน้ำเย็น

1. โครงสร้างหอทำน้ำเย็น ใช้เหล็กฉากหนา 2 มม. ทำเป็นเสาโครงยึดหอทำน้ำเย็น มีขนาดกว้าง 60 ซม. ยาว 60 ซม. สูง 190 ซม. ความสูงของหอทำน้ำเย็นนี้สูงกว่าหอทำน้ำเย็นที่โรงงานผลิตอยู่ 49 ซม.หอทำน้ำเย็นของโรงงานมีขนาด ขนาดกว้าง 60 ซม. ยาว 60 ซม. สูง 141 ซม. เป็นลักษณะตัวถังกลม แต่ที่เรานำมาทำชุดทดลองในที่นี้เป็นลักษณะถังสี่เหลี่ยม และต้องทำถังเก็บน้ำแยกจากตัวหอทำน้ำเย็นเพื่อรอที่ปั๊มน้ำจะดูดเข้าหอทำน้ำเย็นเพราะหอทำน้ำเย็นจากโรงงานมีการติดตั้งปั๊มน้ำอยู่นอกตัวหอทำน้ำเย็นและมีการต่อท่อน้ำที่ทำการลดอุณหภูมิกลับไปใช้ใหม่แต่ชุดทดลองหอทำน้ำเย็นนี้จะใช้ระบบน้ำหมุนเวียนโดยน้ำที่ผ่านการลดอุณหภูมิแล้วจะถูกทำความร้อนแล้วนำกลับมาหมุนเวียนเข้าหอทำน้ำเย็นตลอด



รูปที่ ก1 ขนาดของหอทำน้ำเย็นที่โรงงานผลิตจำหน่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก2 แสดงแบบโครงสร้างของหอทำน้ำเย็น

2.ผนังด้านข้างหอทำน้ำเย็น ใช้แผ่นอะคลิลิคหนา 3 มม. โดยผนังด้านข้างตัดเป็นแผ่นขนาดกว้าง 60 ซม. ยาว 75 ซม. จำนวน 4 แผ่นใช้น็อตขันยึดกับเหล็กฉากเสาโครง

3.ถังรับน้ำ ใช้แผ่นอะคลิลิคตัดเป็นแผ่นขนาดกว้าง 60 ซม.ยาว 40 ซม.จำนวน 4 แผ่น และกว้าง 60 ซม.ยาว 60 ซม.จำนวน 1 แผ่นนำแผ่นอะคลิลิคทั้ง 5 แผ่นมาต่อทำถังรับน้ำโดยใช้ซิลิโคนซีลป้องกันการซึมของน้ำด้านใต้ของถังรับน้ำ ทำโครงเหล็กรองรับน้ำหนักของถังรับน้ำ เพื่อป้องกันถังรับน้ำแตก

4.ถังเก็บน้ำ ใช้แผ่นอะคลิลิคตัดเป็นแผ่นขนาดกว้าง 60 ซม.ยาว 60 ซม.จำนวน 5 แผ่นนำแผ่นอะคลิลิคทั้ง 5 แผ่นมาต่อทำถังเก็บน้ำโดยใช้ซิลิโคนซีลป้องกันการซึมของน้ำและทำเสาโครงยึดถังเก็บน้ำ ด้านใต้ของถังรับน้ำ ทำโครงเหล็กรองรับน้ำหนักของถังรับน้ำ เพื่อป้องกันถังรับน้ำแตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
สัญลักษณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

Td	=	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)
Tw	=	อุณหภูมิกระเปาะเปียก (°C)
Q_P	=	อัตราการไหลของน้ำ (L/min)
Q_A	=	อัตราการไหลของอากาศ (L/min)
Tin	=	อุณหภูมิที่ทางเข้าชุดทดลองหอทำน้ำเย็น (°C)
Tout	=	อุณหภูมิที่ทางออกชุดทดลองหอทำน้ำเย็น (°C)
ΔT	=	Tin – Tout (°C)
Pump	=	ความถี่ของปั๊ม (Hz)
Motor พัดลม	=	ความถี่ของมอเตอร์พัดลม (Hz)
NO.	=	ครั้งที่
Time	=	เวลา (นาที)
ระดับน้ำก่อน	=	ระดับน้ำก่อนที่จะทำการทดลอง (cm)
ระดับน้ำหลัง	=	ระดับน้ำหลังจากทำการทดลอง (cm)
Q	=	อัตราการไหล (L/min)
A	=	พื้นที่หน้าตัด (cm^2)
D	=	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)
N	=	ความเร็วรอบ (rpm)
E_w	=	Water Efficiency (%)
E_t	=	Thermal Efficiency (%)
Q_b	=	ปริมาณน้ำสูญเสียเนื่องจากลมในอุปกรณ์ระบายความร้อนต่างๆ (L/min)
Q_e	=	ปริมาณน้ำสูญเสียเนื่องจากการระเหย (L/min)
Q_e	=	ปริมาณน้ำสูญเสียเนื่องจากการระเหย Q_e * Time (L)
Q_m	=	จำนวนน้ำที่หายไปจากการทดลอง (L)
	=	(กว้าง * ยาว * ระดับน้ำก่อน) – (กว้าง * ยาว * ระดับน้ำหลัง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.
การคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

1. อัตราการไหล

การคำนวณหาอัตราการไหลของปั๊มและมอเตอร์ สามารถหาได้จาก กฎความคล้ายคลึง (Law of similarity) คือ การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบหรือขนาดของใบพัด จะทำให้สมรรถนะของเครื่องเปลี่ยนแปลงไป

จาก $Q = VA$

แต่ $A \propto D^2$ และ $V \propto ND$

จะได้ $Q \propto D^3N$

เมื่อ Q = อัตราการไหล (L/min)

A = พื้นที่หน้าตัด (cm^2)

D = เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)

N = ความเร็วรอบ (rpm)

จากสมการข้างต้น สามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาอัตราไหลของปั๊มและมอเตอร์ได้ โดยในชุดทดลองนั้นได้กำหนดให้ D คงที่ แต่ N มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะตรงกับกรณีที่ 1 ของกฎความคล้ายคลึง คือ D คงที่ แต่ N มีการเปลี่ยนแปลง

อัตราการไหล $\frac{Q_1}{N_1} = \frac{Q_2}{N_2}$

<u>ตัวอย่างการคำนวณ ที่ 45 Hz</u>

จากสูตร $\frac{Q_1}{N_1} = \frac{Q_2}{N_2}$

เมื่อ $Q_1 = 35$ L/min

$N_1 = 2850$ rpm

$N_2 = 2535$ rpm

จะได้ $Q_2 = N_2 * Q_1 / N_1$

$= 2535 * 35 / 2850$

$= 31.13158$ L/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Water Efficiency (E_w)

ค่า Water Efficiency (E_w) คือค่าแสดงประสิทธิภาพของหอทำน้ำเย็นที่สามารถลดอุณหภูมิของน้ำไหลเวียนลงได้เมื่อเทียบกับความสามารถในการลดอุณหภูมิของน้ำในอากาศ

$$E_w = \frac{(t_{in} - t_{out}) \times 100}{(t_{in} - t_w)}$$

เมื่อ E_w = ประสิทธิภาพของหอทำน้ำเย็น(%)

t_{in} = อุณหภูมิน้ำเข้าหอทำน้ำเย็น (°C)

t_{out} = อุณหภูมิน้ำออกจากหอทำน้ำเย็น (°C)

t_w = อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าหอทำน้ำเย็น (°C)

ตัวอย่างการคำนวณ ที่ อัตราการไหลของน้ำเป็น 35 L/min และอัตราการไหลของอากาศเป็น 707.93 L/min

จากสูตร $E_w = \frac{(t_{in} - t_{out}) \times 100}{(t_{in} - t_w)}$

เมื่อ t_{in} = 40 °C

t_{out} = 34.33 °C

t_w = 29 °C

จะได้ E_w = 100 * (40 – 34.33) / (40 – 29)

= 51.55 %

3. Thermal Efficiency (E_t)

Thermal Efficiency (E_t) สามารถหาได้จากสมการ

$$E_t = \frac{\text{จำนวนน้ำที่ระเหยไปเนื่องจากการลดอุณหภูมิของน้ำหมุนเวียน } (Q_c)}{\text{จำนวนน้ำเติม } (Q_m)}$$

หาการสูญเสียน้ำจากการระเหยตัว

คลูลิ่งเทาเวอร์ที่สามารถลดอุณหภูมิของน้ำเข้าและออกได้ 10 องศา จะต้องสูญเสียปริมาณน้ำเนื่องจากการระเหยตัว (Evaporation loss) 1 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำหมุนเวียน ดังนั้นปริมาณน้ำสูญเสีย เนื่องจากการระเหย คำนวณได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_e = \frac{Q\,(t_{in} - t_{out})}{1000}$$

เมื่อ Q_e = ปริมาณน้ำสูญเสียเนื่องจากการระเหย (L/min)

Q = ปริมาณน้ำหมุนเวียน (L/min)

t_{in} = อุณหภูมิน้ำเข้าหอทำน้ำเย็น (°C)

t_{out} = อุณหภูมิน้ำออกจากหอทำน้ำเย็น (°C)

หมายเหตุ เมื่อลดอุณหภูมิได้ 10 องศา จะต้องสูญเสียปริมาณน้ำเนื่องจากการระเหยตัว 1 % แต่ถ้าสามารถลดได้ 1 องศา จะมีการสูญเสียปริมาณน้ำเป็น 0.1 % ของปริมาณน้ำหมุนเวียน เพราะฉะนั้นจะมีค่าเท่ากับ 1 / 1000

Q_m = จำนวนน้ำที่หายไปจากการทดลอง (L)

= (กว้าง * ยาว * ระดับน้ำก่อน) – (กว้าง * ยาว * ระดับน้ำหลัง)

Q_e = ปริมาณน้ำสูญเสียเนื่องจากการระเหย Q_e * Time (L)

<u>ตัวอย่างการคำนวณ ที่ อัตราการไหลของน้ำเป็น 35 L/min และอัตราการไหลของอากาศเป็น 707.93 L/min</u>

จากสูตร $Q_e = \frac{Q\,(t_{in} - t_{out})}{1000}$

เมื่อ Q = 35 L/min

t_{in} = 40 °C

t_{out} = 34.33 °C

Q_e = 35 * (40 – 34.33) / 1000

= 0.19845 L/min

เพราะฉะนั้น Q_e = Q_e * Time

จะได้ = 0.19845 * 2.087

= 0.413 L

Q_m = (60 * 60 * 40) – (60 * 60 * 39.75)

= 144 – 143.1

= 0.9 L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสูตร $E_t = \frac{Q_e}{Q_m}$

$= 0.413 / 0.9$

$= 45.89\ \%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

การทดลองที่ 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 1. ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำกับอัตราการไหลของอากาศที่มีผลต่อความสามารถในการลดอุณหภูมิของหอทำน้ำเย็น

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำ กับอัตราการไหลของอากาศ ที่มีผลต่อความสามารถในการลดอุณหภูมิของชุดทดลองหอทำน้ำเย็น

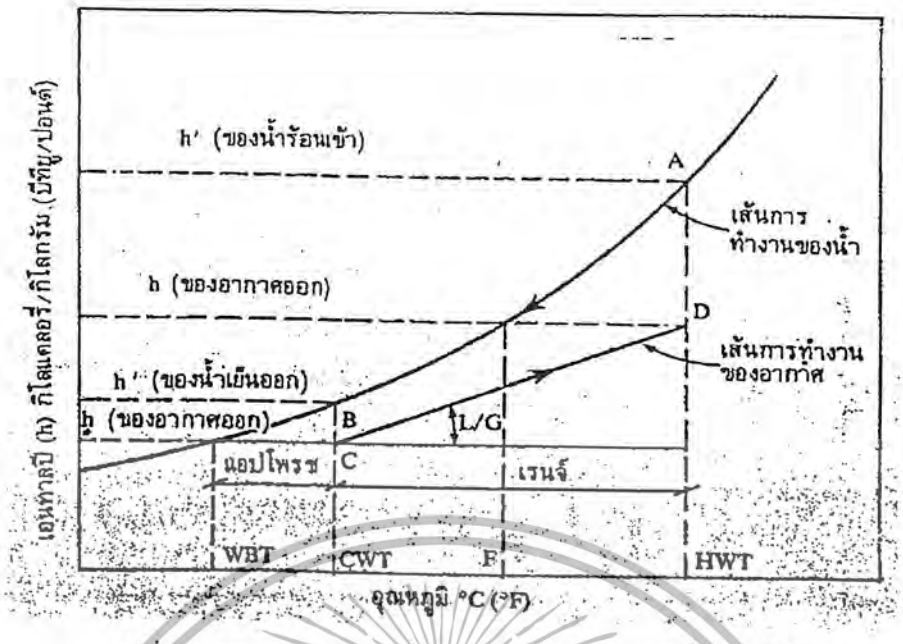
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

หอทำน้ำเย็นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของน้ำ มีหลักการทำงานคือฉีดน้ำที่มีอุณหภูมิสูงให้กระจายไปเป็นละอองเล็กๆ ซึ่งละอองเหล่านี้จะสัมผัสกับอากาศที่ถูกดูดผ่านแผงกระจายละอองน้ำ (Fill) ละอองน้ำเล็ก ๆ เหล่านี้จะสัมผัสกันกับอากาศที่ถูกดูดผ่านแผงกระจายละอองน้ำและก่อให้เกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนสัมผัส (sensible heat) ระหว่างหยดน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกับอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำขณะเดียวกันนั้นบางส่วนของหยดน้ำก็จะระเหยตัวกลายเป็นไอน้ำแผงที่ยังไม่อิ่มตัว น้ำจึงสามารถระเหยตัวกลายเป็นไอเพิ่มมากได้อีก ซึ่งกระบวนการระเหยตัวกลายเป็นไอของน้ำนี้จำเป็นจะต้องใช้ความร้อน ดังนั้นน้ำส่วนที่เหลือซึ่งตามทฤษฎีสามารถคาดคะเนได้ว่าการระเหยตัวของน้ำปริมาณเพียง 1 % สามารถจะช่วยลดอุณหภูมิของน้ำที่เหลืออีก 99 % ได้ถึงประมาณ 10°C ดังนั้นหอทำน้ำเย็นจึงเป็นอุปกรณ์ที่สามารถถ่ายเทความร้อนของน้ำออกสู่อากาศ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และปัจจัยต่างๆเหล่านี้ไม่ว่าจะเป็นเพียงปัจจัยเดียวหรือทั้งหมดจะช่วยในการเร่งขบวนการลดอุณหภูมิของหอทำน้ำเย็น ดังนี้

1. การแตกตัวเป็นฝอยของน้ำซึ่งจะทำให้มีพื้นที่ผิวของหยดน้ำที่ถ่ายเทความร้อนมากขึ้น
2. การเพิ่มเนื้อที่การถ่ายเทความร้อน (wetted surface) เพื่อทำให้น้ำมีโอกาสสัมผัสกับอากาศมากขึ้น
3. การเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการเพิ่มปริมาณของอากาศ

เราสามารถอธิบายกระบวนการถ่ายเทความร้อน จากน้ำไปสู่อากาศได้โดยอาศัยการพล็อตลงสภาวะที่เกิดขึ้นบนแผ่น Psychometric และอาศัยกฎของเทอร์โมไดนามิกส์ดังรูปที่ ง1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง1 แสดงการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นของน้ำ
และอากาศที่ผ่านหอทำน้ำเย็นโดยไดอะแกรม Psychometric chart

จากรูปแสดงสภาวะการแลกเปลี่ยนความร้อน และความชื้นระหว่างน้ำกับอากาศโดยน้ำร้อนจะเข้าสู่หอทำน้ำเย็นที่จุด A และถูกลดอุณหภูมิลงเนื่องจากอากาศทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำจึงเป็นผลทำให้อุณหภูมิของน้ำลดลงมาอยู่ที่จุด B ส่วนอากาศเข้าสู่หอทำน้ำเย็นที่จุด C และได้รับทั้งความร้อนและความชื้น (เพิ่มเอนทาลปี) จนไปอยู่ที่จุด D เนื่องจากตามกฎของเทอร์โมไดนามิกส์การอนุรักษ์พลังงาน กล่าวคือ ปริมาณความร้อนที่น้ำคายออกมา จะมีค่าเท่ากับปริมาณความร้อนที่อากาศรับเข้าไปหรือเขียนได้ตามสูตร

$$L(t_2 - t_1) = G(h_2 - h_1)$$

หรือ $$\frac{L}{G} = \frac{(h_2 - h_1)}{(t_2 - t_1)} = \frac{C}{R}$$

เมื่อ L = ปริมาณน้ำหมุนเวียน (แกลลอนต่อนาที)

t_2 = อุณหภูมิน้ำเข้าสู่หอทำน้ำเย็น(°F)

t_1 = อุณหภูมิน้ำออกจากหอทำน้ำเย็น(°F)

G = มวลของอากาศที่ผ่านเข้าหอทำน้ำเย็น(ปอนด์ต่อนาที)

h_2 = เอนทาลปีของอากาศที่ออกจากหอทำน้ำเย็น(บีทียูต่อปอนด์)

h_1 = เอนทาลปีของอากาศที่เข้าสู่หอทำน้ำเย็น(บีทียูต่อปอนด์)

L / G = อัตราส่วนของน้ำต่ออากาศ (ความลาดของเส้น C – D)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C = การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีของอากาศ

R = ช่วงอุณหภูมิเรนช์ของน้ำ (ความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำเข้าและออกหอทำน้ำเย็น)

การคำนวณหาอัตราการไหลของปั๊มและมอเตอร์พัดลม สามารถหาได้จาก กฎความคล้ายคลึง (Law of similarity) คือ การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบหรือขนาดของใบพัด จะทำให้สมรรถนะของเครื่องเปลี่ยนแปลงไป

จาก $Q = VA$

แต่ $A \propto D^2$ และ $V \propto ND$

จะได้ $Q \propto D^3N$

เมื่อ Q = อัตราการไหล (L/min)

A = พื้นที่หน้าตัด (cm^2)

D = เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)

N = ความเร็วรอบ (rpm)

จากสมการข้างต้น สามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาอัตราไหลของปั๊มและมอเตอร์ได้ โดยในชุดทดลองนั้นได้กำหนดให้ D คงที่ แต่ N มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะตรงกับกรณีที่ 1 ของกฎความคล้ายคลึง คือ D คงที่ แต่ N มีการเปลี่ยนแปลง

อัตราการไหล $\frac{Q_1}{N_1} = \frac{Q_2}{N_2}$

วัสดุอุปกรณ์

1. ชุดทดลองหอทำน้ำเย็น
2. อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส
3. อินเวอร์เตอร์เฟสเดียว
4. เทอร์โมมิเตอร์

วิธีทำการทดลอง

1. เติมน้ำเข้าไปในชุดทดลองหอทำน้ำเย็นให้ได้ระดับ 40 เซนติเมตร
2. ต่อสายพัดลมเข้ากับอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส โดยต่อตามขั้วที่กำหนดไว้ให้ถูกต้องดังรูปที่ ง2
3. ต่อปั๊มเข้ากับอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว
4. เปิดเครื่องชุดทดลองหอทำน้ำเย็น โดยเลื่อนสวิทช์ไปที่ตำแหน่ง ON
5. ปรับค่าของอุณหภูมิของน้ำที่จะเข้าชุดทดลองหอทำน้ำเย็น โดยเลื่อนสวิทช์ไปที่ตำแหน่ง T_{set} แล้วทำการปรับอุณหภูมิ 40 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เลื่อนสวิทช์ไปที่ตำแหน่ง Heat เพื่อเป็นการเปิดให้ชุดทำความร้อนเริ่มทำงานแล้ว เลื่อนตำแหน่งสวิทช์มาที่ T_{in} เพื่อที่จะดูอุณหภูมิที่ทางเข้าของชุดทดลอง
7. เมื่ออุณหภูมิถึงที่กำหนดไว้ในข้อ 5. ให้ทำการเปิดมอเตอร์ที่ความถี่ 50 Hz และเดินปั๊มในความถี่ที่ 50 Hz
8. วัดค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งบริเวณที่ทำการทดลอง
9. บันทึกผลการทดลอง แล้วทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ
10. เปลี่ยนความถี่ของมอเตอร์พัดลมในข้อ 7. เป็น 40 Hz แล้วทำตามข้อ 8. กับข้อ 9.
11. เปลี่ยนความถี่ของมอเตอร์พัดลมในข้อ 7. เป็น 30 Hz แล้วทำตามข้อ 8. กับข้อ 9.
12. เปลี่ยนความถี่ของปั๊มในข้อ 7. เป็น 45 Hz แล้วทำตามข้อ 8. ถึงข้อ 11.
13. เปลี่ยนความถี่ของปั๊มในข้อ 7. เป็น 40 Hz แล้วทำตามข้อ 8. ถึงข้อ 11.
14. เปลี่ยนความถี่ของปั๊มในข้อ 7. เป็น 35 Hz แล้วทำตามข้อ 8. ถึงข้อ 11.
15. เปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำที่จะเข้าชุดทดลองหอทำน้ำเย็นในข้อ 5. เป็น 35°C แล้วเริ่มทำการทดลองใหม่โดยเริ่มทำตามข้อ 6. ถึง ข้อ 14.
16. นำผลการทดลองมาทำการเขียนกราฟ โดยที่แกน X คือ อัตราการไหลของอากาศ และแกน Y คือ อุณหภูมิน้ำที่ทางออก
17. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

รูปที่ ง2 แสดงขั้วสายไฟของมอเตอร์พัดลมและขั้วของอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง1 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่ 35 L/min ที่อุณหภูมิทางเข้าของน้ำเป็น 40° C

Td (°C)	Tw (°C)	Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor พัดลม (Hz)	Q_A (L/min)	NO.	Tin (°C)	Tout (°C)	ΔTเฉลี่ย (°C)
32	29	50	35	50	707.93	1	40	34	
						2	40	35	
						3	40	34	
						เฉลี่ย	40	34.33	5.67
32	29	50	35	40	617.17	1	40	34	
						2	40	35	
						3	40	35	
						เฉลี่ย	40	34.67	5.33
32	29	50	35	30	471.95	1	40	35	
						2	40	35	
						3	40	35	
						เฉลี่ย	40	35	5

ตารางที่ ง2 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่ 31.13 L/min ที่อุณหภูมิทางเข้าของน้ำเป็น 40°C

Td (°C)	Tw (°C)	Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor พัดลม (Hz)	Q_A (L/min)	NO.	Tin (°C)	Tout (°C)	ΔTเฉลี่ย (°C)
31.5	29	45	31.13	50	707.93	1	40	34	
						2	40	33	
						3	40	33	
						เฉลี่ย	40	33.33	6.67
31.5	29	45	31.13	40	617.17	1	40	33	
						2	40	34	
						3	40	34	
						เฉลี่ย	40	33.67	6.33
31.5	29	45	31.13	30	471.95	1	40	34	
						2	40	34	
						3	40	34	
						เฉลี่ย	40	34	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง3 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่ 28 L/min ที่อุณหภูมิทางเข้าของน้ำเป็น 40°C

Td (°C)	Tw (°C)	Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor พัดลม (Hz)	Q_A (L/min)	NO.	Tin (°C)	Tout (°C)	ΔTเฉลี่ย (°C)
31.5	29	40	28	50	707.93	1	40	32	
						2	40	33	
						3	40	33	
						เฉลี่ย	40	32.67	7.33
31.5	29	40	28	40	617.17	1	40	33	
						2	40	33	
						3	40	33	
						เฉลี่ย	40	33	7
31.5	29	40	28	30	471.95	1	40	33	
						2	40	34	
						3	40	34	
						เฉลี่ย	40	33.67	6.33

ตารางที่ ง4 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่ 24.5 L/min ที่อุณหภูมิทางเข้าของน้ำเป็น 40°C

Td (°C)	Tw (°C)	Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor พัดลม (Hz)	Q_A (L/min)	NO.	Tin (°C)	Tout (°C)	ΔTเฉลี่ย (°C)
31.5	29	35	24.5	50	707.93	1	40	32	
						2	40	32	
						3	40	32	
						เฉลี่ย	40	32	8
31.5	29	35	24.5	40	617.17	1	40	32	
						2	40	33	
						3	40	32	
						เฉลี่ย	40	32.33	7.67
31.5	29	35	24.5	30	471.95	1	40	33	
						2	40	33	
						3	40	33	
						เฉลี่ย	40	33	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง5 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่ 35 L/min ที่อุณหภูมิทางเข้าของน้ำเป็น 35°C

Td (°C)	Tw (°C)	Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor พัดลม (Hz)	Q_A (L/min)	NO.	Tin (°C)	Tout (°C)	ΔTเฉลี่ย (°C)
31.5	28	50	35	50	707.93	1	35	31	
						2	35	31	
						3	35	31	
						เฉลี่ย	35	31	4
31.5	28	50	35	40	617.17	1	35	31	
						2	35	32	
						3	35	32	
						เฉลี่ย	35	31.67	3.33
31.5	28	50	35	30	471.95	1	35	32	
						2	35	32	
						3	35	32	
						เฉลี่ย	35	32	3

ตารางที่ ง6 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่ 31.13 L/min ที่อุณหภูมิทางเข้าของน้ำเป็น 35°C

Td (°C)	Tw (°C)	Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor พัดลม (Hz)	Q_A (L/min)	NO.	Tin (°C)	Tout (°C)	ΔTเฉลี่ย (°C)
31	28	45	31.13	50	707.93	1	35	31	
						2	35	31	
						3	35	30	
						เฉลี่ย	35	30.67	4.33
31	28	45	31.13	40	617.17	1	35	31	
						2	35	32	
						3	35	31	
						เฉลี่ย	35	31.33	3.67
31	28	45	31.13	30	471.95	1	35	31	
						2	35	32	
						3	35	32	
						เฉลี่ย	35	31.67	3.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง7 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่ 28 L/min ที่อุณหภูมิทางเข้าของน้ำเป็น 35°C

Td (°C)	Tw (°C)	Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor พัดลม (Hz)	Q_A (L/min)	NO.	Tin (°C)	Tout (°C)	ΔTเฉลี่ย (°C)
30.5	28	40	28	50	707.93	1	35	30	
						2	35	30	
						3	35	31	
						เฉลี่ย	35	30.33	4.67
30.5	28	40	28	40	617.17	1	35	31	
						2	35	31	
						3	35	31	
						เฉลี่ย	35	31	4
30.5	28	40	28	30	471.95	1	35	31	
						2	35	31	
						3	35	32	
						เฉลี่ย	35	31.33	3.67

ตารางที่ ง8 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่ 24.5 L/min ที่อุณหภูมิทางเข้าของน้ำเป็น 35°C

Td (°C)	Tw (°C)	Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor พัดลม (Hz)	Q_A (L/min)	NO.	Tin (°C)	Tout (°C)	ΔTเฉลี่ย (°C)
30.5	28	35	24.5	50	707.93	1	35	30	
						2	35	30	
						3	35	30	
						เฉลี่ย	35	30	5
30.5	28	35	24.5	40	617.17	1	35	30	
						2	35	31	
						3	35	31	
						เฉลี่ย	35	30.67	4.33
30.5	28	35	24.5	30	471.95	1	35	31	
						2	35	31	
						3	35	31	
						เฉลี่ย	35	31	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

การทดลองที่ 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2. การหาค่า Water Efficiency (E_w) ของชุดทดลองหอทำน้ำเย็น

วัตถุประสงค์

สามารถหาค่า Water Efficiency (E_w) ของชุดทดลองหอทำน้ำเย็นได้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

หอทำน้ำเย็นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของน้ำ โดยการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศ โดยการทำให้ความร้อนที่อยู่ในน้ำระบายออกสู่อากาศโดยใช้วิธีการระเหยตัวของน้ำ (Evaporation) และเนื่องจากเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน อุณหภูมิและความชื้นของอากาศจะเพิ่มขึ้นหลังจากอากาศ ผ่านหอทำน้ำเย็น จึงเห็นได้ว่าผลของการลดอุณหภูมิของหอทำน้ำเย็นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิกระเปาะเปียก(Wet bulb) ของอากาศที่ไหลเข้าหอทำน้ำเย็น ถ้าอากาศไหลเข้ามีอุณหภูมิ wet bulb ยิ่งต่ำลงผลของการลดอุณหภูมิของหอทำน้ำเย็นจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วย

ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของหอทำน้ำเย็น คือ

1) ปริมาณของน้ำที่สัมผัสอากาศและระยะเวลาที่สัมผัสอากาศ
2) ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านหอทำน้ำเย็น
3) ทิศทางการไหลของอากาศ (ขนานขวาง หรือสวนทางกับน้ำ)

ในทางทฤษฎีแล้วอุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำสามารถจะถูกลดอุณหภูมิได้ คือ อุณหภูมิ กระเปาะเปียกของอากาศที่ไหลผ่านเข้าหอทำน้ำเย็นในกรณีนี้ไอของน้ำที่ปนมากับอากาศที่ไหลออกจะเป็นไออิ่มตัว แต่ในทางปฏิบัติจริงๆแล้วไม่สามารถทำได้ อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำน้ำเย็นจะสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก ของอากาศที่เข้า 4 องศาเซลเซียส ถึง 4.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำน้ำเย็น กับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่ไหลเข้าหอทำน้ำเย็นเรียกว่า "approach" ส่วนอุณหภูมิของน้ำที่ลดเมื่อผ่านเข้าไปในหอทำน้ำเย็น เรียกว่า "range" และ Water Efficiency (E_w) ก็คือประสิทธิภาพของหอทำน้ำเย็นที่สามารถลดอุณหภูมิลงได้เทียบกับความสามารถในการลดอุณหภูมิของน้ำในอากาศ

$$E_w = \frac{(t_{in} - t_{out}) \times 100}{(t_{in} - t_w)}$$

เมื่อ E_w = ประสิทธิภาพของหอทำน้ำเย็น(%)

t_{in} = อุณหภูมิน้ำเข้าหอทำน้ำเย็น (°C)

t_{out} = อุณหภูมิน้ำออกจากหอทำน้ำเย็น (°C)

t_w = อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าหอทำน้ำเย็น (°C)

หอทำน้ำเย็นที่ดีจะต้องมี Water Efficiency อยู่ในช่วง 65 – 75 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาอัตราการไหลของปั๊มและมอเตอร์พัดลม สามารถหาได้จาก กฎความคล้ายคลึง (Law of similarity) คือ การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบหรือขนาดของใบพัด จะทำให้สมรรถนะของเครื่องเปลี่ยนแปลงไป

จาก $Q = VA$

แต่ $A \propto D^2$ และ $V \propto ND$

จะได้ $Q \propto D^3N$

เมื่อ Q = อัตราการไหล (L/min)

A = พื้นที่หน้าตัด (cm^2)

D = เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)

N = ความเร็วรอบ (rpm)

จากสมการข้างต้น สามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาอัตราไหลของปั๊มและมอเตอร์ได้ โดยในชุดทดลองนั้นได้กำหนดให้ D คงที่ แต่ N มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะตรงกับกรณีที่ 1 ของกฎความคล้ายคลึง คือ D คงที่ แต่ N มีการเปลี่ยนแปลง

อัตราการไหล $\frac{Q_1}{N_1} = \frac{Q_2}{N_2}$

วัสดุอุปกรณ์

1. ชุดทดลองหอทำน้ำเย็น
2. อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส
3. อินเวอร์เตอร์เฟสเดียว
4. เทอร์โมมิเตอร์

วิธีทำการทดลอง

1. เติมน้ำเข้าไปในชุดทดลองหอทำน้ำเย็นให้ได้ระดับ 40 เซนติเมตร
2. ต่อสายพัดลมเข้ากับอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส โดยต่อตามขั้วที่กำหนดไว้ให้ถูกต้อง
3. ต่อปั๊มเข้ากับอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว
4. เปิดเครื่องชุดทดลองหอทำน้ำเย็น โดยเลื่อนสวิทช์ไปที่ตำแหน่ง ON
5. ปรับค่าของอุณหภูมิของน้ำที่จะเข้าชุดทดลองหอทำน้ำเย็น โดยเลื่อนสวิทช์ไปที่ตำแหน่ง T_{set} แล้วทำการปรับอุณหภูมิ 40 °C
6. เลื่อนสวิทช์ไปที่ตำแหน่ง Heat เพื่อเป็นการเปิดให้ชุดทำความร้อนเริ่มทำงานแล้ว เลื่อนตำแหน่งสวิทช์มาที่ T_{in} เพื่อที่จะดูอุณหภูมิที่ทางเข้าของชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เมื่ออุณหภูมิถึงที่กำหนดไว้ในข้อ 5. ให้ทำการเปิดมอเตอร์ที่ความถี่ 50 Hz และเดินปั๊มในความถี่ที่ 50 Hz
8. วัดค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งบริเวณที่ทำการทดลอง
9. บันทึกผลการทดลอง แล้วทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ
10. เปลี่ยนความถี่ของมอเตอร์พัดลมในข้อ 7. เป็น 40 Hz แล้วทำตามข้อ 8. กับข้อ 9.
11. เปลี่ยนความถี่ของมอเตอร์พัดลมในข้อ 7. เป็น 30 Hz แล้วทำตามข้อ 8. กับข้อ 9.
12. เปลี่ยนความถี่ของปั๊มในข้อ 7. เป็น 45 Hz แล้วทำตามข้อ 8. ถึงข้อ 11.
13. เปลี่ยนความถี่ของปั๊มในข้อ 7. เป็น 40 Hz แล้วทำตามข้อ 8. ถึงข้อ 11.
14. เปลี่ยนความถี่ของปั๊มในข้อ 7. เป็น 35 Hz แล้วทำตามข้อ 8. ถึงข้อ 11.
15. เปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำที่จะเข้าชุดทดลองหอทำน้ำเย็นในข้อ 5. เป็น 35 °C แล้วเริ่มทำการทดลองใหม่โดยเริ่มทำตามข้อ 6. ถึง ข้อ 14.
16. นำผลการทดลองมาทำการเขียนกราฟ โดยที่แกน X คือ อัตราการไหลของอากาศ และแกน Y คือ Water Efficiency
17. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ1 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่ 35 L/min ที่อุณหภูมิทางเข้าของน้ำเป็น 40°C

Td (°C)	Tw (°C)	Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor พัดลม (Hz)	Q_A (L/min)	NO.	Tin (°C)	Tout (°C)	ΔTเฉลี่ย (°C)
32	29	50	35	50	707.93	1	40	34	
						2	40	35	
						3	40	34	
						เฉลี่ย	40	34.33	5.67
32	29	50	35	40	617.17	1	40	34	
						2	40	35	
						3	40	35	
						เฉลี่ย	40	34.67	5.33
32	29	50	35	30	471.95	1	40	35	
						2	40	35	
						3	40	35	
						เฉลี่ย	40	35	5

ตารางที่ จ2 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่ 31.13 L/min ที่อุณหภูมิทางเข้าของน้ำเป็น 40°C

Td (°C)	Tw (°C)	Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor พัดลม (Hz)	Q_A (L/min)	NO.	Tin (°C)	Tout (°C)	ΔTเฉลี่ย (°C)
31.5	29	45	31.13	50	707.93	1	40	34	
						2	40	33	
						3	40	33	
						เฉลี่ย	40	33.33	6.67
31.5	29	45	31.13	40	617.17	1	40	33	
						2	40	34	
						3	40	34	
						เฉลี่ย	40	33.67	6.33
31.5	29	45	31.13	30	471.95	1	40	34	
						2	40	34	
						3	40	34	
						เฉลี่ย	40	34	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ3 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่ 28 L/min ที่อุณหภูมิทางเข้าของน้ำเป็น 40°C

Td (°C)	Tw (°C)	Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor พัดลม (Hz)	Q_A (L/min)	NO.	Tin (°C)	Tout (°C)	ΔTเฉลี่ย (°C)
31.5	29	40	28	50	707.93	1	40	32	
						2	40	33	
						3	40	33	
						เฉลี่ย	40	32.67	7.33
31.5	29	40	28	40	617.17	1	40	33	
						2	40	33	
						3	40	33	
						เฉลี่ย	40	33	7
31.5	29	40	28	30	471.95	1	40	33	
						2	40	34	
						3	40	34	
						เฉลี่ย	40	33.67	6.33

ตารางที่ จ4 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่ 24.5 L/min ที่อุณหภูมิทางเข้าของน้ำเป็น 40°C

Td (°C)	Tw (°C)	Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor พัดลม (Hz)	Q_A (L/min)	NO.	Tin (°C)	Tout (°C)	ΔTเฉลี่ย (°C)
31.5	29	35	24.5	50	707.93	1	40	32	
						2	40	32	
						3	40	32	
						เฉลี่ย	40	32	8
31.5	29	35	24.5	40	617.17	1	40	32	
						2	40	33	
						3	40	32	
						เฉลี่ย	40	32.33	7.67
31.5	29	35	24.5	30	471.95	1	40	33	
						2	40	33	
						3	40	33	
						เฉลี่ย	40	33	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ5 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่ 35 L/min ที่อุณหภูมิทางเข้าของน้ำเป็น 35°C

Td (°C)	Tw (°C)	Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor พัดลม (Hz)	Q_A (L/min)	NO.	Tin (°C)	Tout (°C)	ΔTเฉลี่ย (°C)
31.5	28	50	35	50	707.93	1	35	31	
						2	35	31	
						3	35	31	
						เฉลี่ย	35	31	4
31.5	28	50	35	40	617.17	1	35	31	
						2	35	32	
						3	35	32	
						เฉลี่ย	35	31.67	3.33
31.5	28	50	35	30	471.95	1	35	32	
						2	35	32	
						3	35	32	
						เฉลี่ย	35	32	3

ตารางที่ จ6 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่ 31.13 L/min ที่อุณหภูมิทางเข้าของน้ำเป็น 35°C

Td (°C)	Tw (°C)	Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor พัดลม (Hz)	Q_A (L/min)	NO.	Tin (°C)	Tout (°C)	ΔTเฉลี่ย (°C)
31	28	45	31.13	50	707.93	1	35	31	
						2	35	31	
						3	35	30	
						เฉลี่ย	35	30.67	4.33
31	28	45	31.13	40	617.17	1	35	31	
						2	35	32	
						3	35	31	
						เฉลี่ย	35	31.33	3.67
31	28	45	31.13	30	471.95	1	35	31	
						2	35	32	
						3	35	32	
						เฉลี่ย	35	31.67	3.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ7 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่ 28 L/min ที่อุณหภูมิทางเข้าของน้ำเป็น 35°C

Td (°C)	Tw (°C)	Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor พัดลม (Hz)	Q_A (L/min)	NO.	Tin (°C)	Tout (°C)	ΔTเฉลี่ย (°C)
30.5	28	40	28	50	707.93	1	35	30	
						2	35	30	
						3	35	31	
						เฉลี่ย	35	30.33	4.67
30.5	28	40	28	40	617.17	1	35	31	
						2	35	31	
						3	35	31	
						เฉลี่ย	35	31	4
30.5	28	40	28	30	471.95	1	35	31	
						2	35	31	
						3	35	32	
						เฉลี่ย	35	31.33	3.67

ตารางที่ จ8 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่ 24.5 L/min ที่อุณหภูมิทางเข้าของน้ำเป็น 35°C

Td (°C)	Tw (°C)	Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor พัดลม (Hz)	Q_A (L/min)	NO.	Tin (°C)	Tout (°C)	ΔTเฉลี่ย (°C)
30.5	28	35	24.5	50	707.93	1	35	30	
						2	35	30	
						3	35	30	
						เฉลี่ย	35	30	5
30.5	28	35	24.5	40	617.17	1	35	30	
						2	35	31	
						3	35	31	
						เฉลี่ย	35	30.67	4.33
30.5	28	35	24.5	30	471.95	1	35	31	
						2	35	31	
						3	35	31	
						เฉลี่ย	35	31	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ9 ค่า Water Efficiency ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 40° C

Tin (°C)	Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor (Hz)	Q_A (L/min)	E_w (%)
40	50	35	50	707.93	51.55
			40	617.17	48.45
			30	471.95	45.45
40	45	31.13	50	707.93	60.63
			40	617.17	57.55
			30	471.95	54.55
40	40	28	50	707.93	66.64
			40	617.17	63.64
			30	471.95	57.54
40	35	24.5	50	707.93	72.73
			40	617.17	69.73
			30	471.95	63.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ10 ค่า Water Efficiency ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 35°C

Tin (°C)	Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor (Hz)	Q_A (L/min)	E_w (%)
35	50	35	50	707.93	57.14
			40	617.17	47.57
			30	471.95	42.86
35	45	31.13	50	707.93	61.86
			40	617.17	52.43
			30	471.95	47.57
35	40	28	50	707.93	66.71
			40	617.17	57.14
			30	471.95	52.43
35	35	24.5	50	707.93	71.43
			40	617.17	61.86
			30	471.95	57.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.

การทดลองที่ 3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3. การหาค่า Thermal Efficiency (E_t) ของชุดทดลองหอทำน้ำเย็น

วัตถุประสงค์

สามารถหาค่า Thermal Efficiency (E_t) ของชุดทดลองหอทำน้ำเย็นได้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

Thermal Efficiency (E_t) สามารถหาได้จากสมการ

$$E_t = \frac{\text{จำนวนน้ำที่ระเหยไปเนื่องจากการลดอุณหภูมิของน้ำหมุนเวียน } (Q_e)}{\text{จำนวนน้ำเติม } (Q_m)}$$

จำนวนน้ำเติม = จำนวนน้ำที่ระเหย + จำนวนน้ำที่สูญเสียเนื่องจากระบายทิ้งและลม หอทำน้ำเย็นที่ดีจะต้องมี Thermal Efficiency อยู่ในช่วง 85 – 90 เปอร์เซ็นต์

<u>หาการสูญเสียน้ำจากการระเหยตัว</u>

หอทำน้ำเย็นที่สามารถลดอุณหภูมิของน้ำเข้าและออกได้ 10 องศา จะต้องสูญเสียปริมาณน้ำเนื่องจากการระเหยตัว (Evaporation loss) 1 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำหมุนเวียน ดังนั้นปริมาณน้ำสูญเสีย เนื่องจากการระเหย คำนวณได้จากสมการ

$$Q_e = \frac{Q\,(t_{in} - t_{out})}{1000}$$

เมื่อ Q_e = ปริมาณน้ำสูญเสียเนื่องจากการระเหย (L/min)

Q = ปริมาณน้ำหมุนเวียน (L/min)

t_{in} = อุณหภูมิน้ำเข้าหอทำน้ำเย็น(°C)

t_{out} = อุณหภูมิน้ำออกจากหอทำน้ำเย็น(°C)

<u>หาปริมาณน้ำเติม</u>

ปริมาณที่เติม (makeup water) เข้าไปในระบบน้ำหมุนเวียน จะต้องผ่านการปรับคุณภาพน้ำและมีปริมาณเพียงพอที่จะลดความเข้มข้นของสารละลายในน้ำหมุนเวียนให้ได้ตามปริมาณที่กำหนด อีกทั้งต้องมีปริมาณมากพอสำหรับการสูญเสียเนื่องจากการระบายทิ้งและลม

$$Q_m = Q_e + Q_b$$

เมื่อ Q_m = ปริมาณเติม (L/min)

Q_e = ปริมาณน้ำระเหยตัว (L/min)

Q_b = ปริมาณน้ำสูญเสียเนื่องจากลมในอุปกรณ์ระบายความร้อนต่าง ๆ มีผลสรุปดังตารางที่ ฉ1 (L/min)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ1 ผลการทดลองหาปริมาณน้ำสูญเสีย เนื่องจากลมในอุปกรณ์ระบายความร้อน [3]

อุปกรณ์ระบายความร้อน	ปริมาณน้ำสูญเสียเนื่องจากลม (% ปริมาณน้ำหมุนเวียน)
น้ำพุในสระ (spray pond)	1 – 5
คลูลิ่งเทาเวอร์ชนิดระบายความร้อนตามธรรมชาติ	0.3 – 1.0
คลูลิ่งเทาเวอร์ชนิดระบายความร้อนด้วยวิธีกล	0.1 – 0.3
คอนแดนเซอร์ชนิดน้ำระเหยตัว	0 – 0.1

<u>การหาปริมาณน้ำสูญเสีย</u>

สำหรับการใช้งานในหอทำน้ำเย็น จะมีปริมาณน้ำที่สูญเสียไปออกจากหอทำน้ำเย็นอยู่ตลอดเวลา สาเหตุที่ทำให้น้ำในหอทำน้ำเย็นต้องสูญเสียไปมีอยู่สามประการคือ

1) การสูญเสียเนื่องจากการระเหย (Evaporation loss) ปริมาณน้ำที่สูญเสียไปสาเหตุเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำและอากาศ ทำให้น้ำบางส่วนระเหยตัวเพื่อให้น้ำส่วนที่เหลือเย็นลง กล่าวว่าหอทำน้ำเย็นทำให้อุณหภูมิน้ำลดลง 10 °F จะทำให้น้ำระเหยตัวไปเป็นจำนวน1 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำหมุนเวียน
2) การสูญเสียน้ำเนื่องจากลม (win-dage loss) ปริมาณน้ำสูญเสียไป เนื่องจากการที่ลมพัดละอองน้ำออกไปจากหอทำน้ำเย็นจากการทดลองพบว่า ปริมาณน้ำสูญเสียไปเนื่องจากลมในอุปกรณ์ระบายความร้อนต่างๆ มีผลสรุปดังตารางที่ ค1
3) การสูญเสียเนื่องจากการระบายทิ้ง (Bleed off) ปกติน้ำที่หมุนเวียนในหอทำน้ำเย็นจะมีสารละลายแร่ธาตุต่างๆ ละลายปนอยู่ เมื่อมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยและลม ปริมาณแร่ที่ละลายอยู่ในน้ำจะเพิ่มความเข้มข้นมากยิ่งขึ้น เป็นสาเหตุให้เกิดตะกรันหรือเกิดการสึกกร่อนที่จะเป็นอันตรายท่อน้ำที่ต่อเข้ากับหอทำน้ำเย็นได้ ดังนั้นจึงต้องมีการระบายน้ำที่หมุนเวียนอยู่ในหอทำน้ำเย็นออกบางส่วน เพื่อลดสารละลายที่มีอยู่ในน้ำออกไปและทำการเติมน้ำใหม่ที่มีปริมาณสารละลายต่างๆ เจือจางกว่าเข้ามาแทนที่ เพื่อเป็นการลดความเข้มข้นของสารละลายในน้ำหมุนเวียนทั้งหมด

วัสดุอุปกรณ์

1. ชุดทดลองหอทำน้ำเย็น
2. อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส
3. อินเวอร์เตอร์เฟสเดียว
4. เทอร์โมมิเตอร์
5. นาฬิกาจับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทำการทดลอง

1. เติมน้ำเข้าไปในชุดทดลองหอทำน้ำเย็นให้ได้ระดับ 40 เซนติเมตร
2. ต่อสายพัดลมเข้ากับอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส โดยต่อตามขั้วที่กำหนดไว้ให้ถูกต้อง
3. ต่อปั๊มเข้ากับอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว
4. เปิดเครื่องชุดทดลองหอทำน้ำเย็น โดยเลื่อนสวิทช์ไปที่ตำแหน่ง ON
5. ปรับค่าของอุณหภูมิของน้ำที่จะเข้าชุดทดลองหอทำน้ำเย็น โดยเลื่อนสวิทช์ไปที่ตำแหน่ง T_{set} แล้วทำการปรับอุณหภูมิ 40°C
6. เลื่อนสวิทช์ไปที่ตำแหน่ง Heat เพื่อเป็นการเปิดให้ชุดทำความร้อนเริ่มทำงานแล้ว เลื่อนตำแหน่งสวิทช์มาที่ T_{in} เพื่อที่จะดูอุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าของชุดทดลอง
7. เมื่ออุณหภูมิถึงที่กำหนดไว้ในข้อ 5. ให้ทำการเดินปั๊มในความถี่ที่ 50 Hz เปิดพัดลมที่ความถี่ 50 Hz พร้อมกับเริ่มจับเวลา
8. วัดค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก และเมื่ออุณหภูมิที่ทางเข้าลดลงถึง 39°C ให้ทำการปิดพัดลมและหยุดเวลา
9. รอจนกระทั่งน้ำไหลกลับถังจนหมดแล้วทำการวัดระดับน้ำ และบันทึกผลการทดลอง
10. เติมน้ำในถังให้ได้ระดับ 40 เซนติเมตรตามเดิม
11. เปลี่ยนความถี่ของพัดลมในข้อ 7. เป็น 40 Hz แล้วทำตาม ข้อ 7. ถึงข้อ 10.
12. เปลี่ยนความถี่ของพัดลมในข้อ 7. เป็น 30 Hz แล้วทำตาม ข้อ 7. ถึงข้อ 10.
13. เปลี่ยนความถี่ของปั๊มในข้อ 7. เป็น 45 Hz แล้วทำตามข้อ 7. ถึงข้อ 12.
14. เปลี่ยนความถี่ของปั๊มในข้อ 7. เป็น 40 Hz แล้วทำตามข้อ 7. ถึงข้อ 12.
15. เปลี่ยนอุณหภูมิในข้อ 5. เป็น 35°C
16. เลื่อนสวิทช์ไปที่ตำแหน่ง Heat เพื่อเป็นการเปิดให้ชุดทำความร้อนเริ่มทำงานแล้ว เลื่อนตำแหน่งสวิทช์มาที่ T_{in} เพื่อที่จะดูอุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าของชุดทดลอง
17. เมื่ออุณหภูมิถึงที่กำหนดไว้ในข้อ 15. ให้ทำการเดินปั๊มในความถี่ที่ 50 Hz เปิดพัดลมที่ความถี่ 50 Hz พร้อมกับเริ่มจับเวลา
18. วัดค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก อุณหภูมิกระเปาะแห้ง และเมื่ออุณหภูมิที่ทางเข้าลดลงถึง 34°C ให้ทำการปิดพัดลมและหยุดเวลา แล้วทำตามข้อ 9. ถึงข้อ 14.
19. นำผลการทดลองมาทำการเขียนกราฟ โดยที่แกน X คือ อัตราการไหลของอากาศ และแกน Y คือ ค่า Thermal Efficiency
20. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ2 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่ 35 L/min ที่อุณหภูมิทางเข้าเป็น 40°C

Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor พัดลม (Hz)	Q_A (L/min)	Tw (°C)	Tin (°C)	Tout (°C)	ระดับน้ำ (cm)		Time (min)
							ก่อน	หลัง	
50	35	50	707.93	29	40	34	40	39.75	2.05
				29	40	35	40	39.75	2.07
				29	40	34	40	39.75	2.14
				เฉลี่ย	40	34.33	40	39.75	2.09
50	35	40	617.17	29	40	34	40	39.80	2.30
				29	40	35	40	39.80	2.24
				29	40	35	40	39.80	2.37
				เฉลี่ย	40	34.67	40	39.80	2.30
50	35	30	471.95	29	40	35	40	39.80	2.52
				29	40	35	40	39.80	3.02
				29	40	35	40	39.80	2.57
				เฉลี่ย	40	35	40	39.80	2.70

ตารางที่ ฉ3 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่ 31.13 L/min ที่อุณหภูมิทางเข้าเป็น 40°C

Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor พัดลม (Hz)	Q_A (L/min)	Tw (°C)	Tin (°C)	Tout (°C)	ระดับน้ำ (cm)		Time (min)
							ก่อน	หลัง	
45	31.13	50	707.93	29	40	34	40	39.80	1.54
				29	40	33	40	39.80	2.01
				29	40	33	40	39.80	1.50
				เฉลี่ย	40	33.33	40	39.80	1.68
45	31.13	40	617.17	29	40	33	40	39.80	2.30
				29	40	34	40	39.80	2.27
				29	40	34	40	39.80	2.24
				เฉลี่ย	40	33.67	40	39.80	2.24
45	31.13	30	471.95	29	40	34	40	39.80	3.06
				29	40	34	40	39.80	3.11
				29	40	34	40	39.80	3.03
				เฉลี่ย	40	34	40	39.80	3.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ4 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่ 28 L/min ที่อุณหภูมิทางเข้าเป็น 40°C

Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor พัดลม (Hz)	Q_A (L/min)	Tw (°C)	Tin (°C)	Tout (°C)	ระดับน้ำ (cm) ก่อน	ระดับน้ำ (cm) หลัง	Time (min)
40	28	50	707.93	29	40	32	40	39.80	2.04
				29	40	33	40	39.80	2.07
				29	40	33	40	39.80	2.23
				เฉลี่ย	40	32.67	40	39.80	2.11
40	28	40	617.17	29	40	33	40	39.80	2.31
				29	40	33	40	39.80	2.38
				29	40	33	40	39.80	2.40
				เฉลี่ย	40	33	40	39.80	2.36
40	28	30	471.95	29	40	33	40	39.85	2.57
				29	40	34	40	39.85	2.52
				29	40	34	40	39.85	2.48
				เฉลี่ย	40	33.67	40	39.85	2.52

ตารางที่ ฉ5 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่ 35 L/min ที่อุณหภูมิทางเข้าเป็น 35°C

Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor พัดลม (Hz)	Q_A (L/min)	Tw (°C)	Tin (°C)	Tout (°C)	ระดับน้ำ (cm) ก่อน	ระดับน้ำ (cm) หลัง	Time (min)
50	35	50	707.93	29	35	31	40	39.75	1.39
				29	35	31	40	39.75	1.41
				29	35	31	40	39.75	1.53
				เฉลี่ย	35	31	40	39.75	1.44
50	35	40	617.17	29	35	31	40	39.80	2.42
				29	35	32	40	39.80	2.48
				29	35	32	40	39.80	2.50
				เฉลี่ย	35	31.67	40	39.80	2.47
50	35	30	471.95	29	35	32	40	39.80	3.18
				29	35	32	40	39.80	3.06
				29	35	32	40	39.80	3.15
				เฉลี่ย	35	32	40	39.80	3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ6 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่ 31.13 L/min ที่อุณหภูมิทางเข้าเป็น 35°C

Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor พัดลม (Hz)	Q_A (L/min)	Tw (°C)	Tin (°C)	Tout (°C)	ระดับน้ำ (cm)		Time (min)
							ก่อน	หลัง	
45	31.13	50	707.93	29	35	31	40	39.75	2.28
				29	35	31	40	39.75	2.39
				29	35	30	40	39.75	2.29
				เฉลี่ย	35	30.67	40	39.75	2.32
45	31.13	40	617.17	29	35	31	40	39.80	2.42
				29	35	32	40	39.80	2.41
				29	35	31	40	39.80	2.51
				เฉลี่ย	35	31.33	40	39.80	2.45
45	31.13	30	471.95	29	35	31	40	39.80	3.20
				29	35	32	40	39.80	3.44
				29	35	32	40	39.80	3.34
				เฉลี่ย	35	31.67	40	39.80	3.33

ตารางที่ ฉ7 ผลการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำที่ 28 L/min ที่อุณหภูมิทางเข้าเป็น35°C

Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor พัดลม (Hz)	Q_A (L/min)	Tw (°C)	Tin (°C)	Tout (°C)	ระดับน้ำ (cm)		Time (min)
							ก่อน	หลัง	
40	28	50	707.93	29	35	30	40	39.80	2.48
				29	35	30	40	39.80	2.36
				29	35	31	40	39.80	2.46
				เฉลี่ย	35	30.33	40	39.80	2.43
40	28	40	617.17	29	35	31	40	39.80	2.59
				29	35	31	40	39.80	3.22
				29	35	31	40	39.80	3.14
				เฉลี่ย	35	31	40	39.80	2.98
40	28	30	471.95	29	35	31	40	39.85	3.45
				29	35	31	40	39.85	3.59
				29	35	32	40	39.85	3.55
				เฉลี่ย	35	31.33	40	39.85	3.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ8 ค่า Thermal Efficiency ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 40°C

Tin (°C)	Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor พัดลม (Hz)	Q_A (L/min)	Time (min)	Q_m (L)	Q_e (L)	E_t (%)
40	50	35	50	707.93	2.09	0.90	0.41	45.89
			40	617.17	2.30	0.72	0.43	59.44
			30	471.95	2.70	0.72	0.47	65.69
40	45	31.13	50	707.93	1.68	0.72	0.35	48.61
			40	617.17	2.24	0.72	0.44	61.25
			30	471.95	3.07	0.72	0.57	79.16
40	40	28	50	707.93	2.11	0.72	0.43	60.14
			40	617.17	2.36	0.72	0.46	64.31
			30	471.95	2.52	0.54	0.45	82.59

ตารางที่ ฉ9 ค่า Thermal Efficiency ที่อุณหภูมิของน้ำทางเข้าเป็น 35°C

Tin (°C)	Pump (Hz)	Q_P (L/min)	Motor พัดลม (Hz)	Q_A (L/min)	Time (min)	Q_m (L)	Q_e (L)	E_t (%)
35	50	35	50	707.93	1.44	0.90	0.20	22.44
			40	617.17	2.47	0.72	0.29	40.00
			30	471.95	3.13	0.72	0.33	45.56
35	45	31.13	50	707.93	2.32	0.90	0.31	34.77
			40	617.17	2.43	0.72	0.28	38.61
			30	471.95	3.33	0.72	0.35	48.06
35	40	28	50	707.93	2.43	0.72	0.32	44.17
			40	617.17	2.98	0.72	0.33	46.38
			30	471.95	3.53	0.54	0.36	67.22

หมายเหตุ

เนื่องจากชุดทดลองหอทำน้ำเย็นนี้ไม่มีระบบน้ำเติม และไม่มีการระบายน้ำทิ้ง ดังนั้น

Q_m = จำนวนน้ำที่หายไปจากการทดลอง (L)

= (กว้าง * ยาว * ระดับน้ำก่อน) – (กว้าง * ยาว * ระดับน้ำหลัง)

Q_e = ปริมาณน้ำสูญเสียเนื่องจากการระเหย Q_e* Time (L)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้