

ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling
ร่วมกับระบบ Evaporative Cooling สำหรับโรงเรือนปลูกพืช

The Reduction of Ambient Temperature Using Combined Pre-Cooling
System with Evaporative Cooling System for Plant Factory



นัฐกานต์ ศรีบัวเอี่ยม
บุษญา ความเพียร
เมธพร นิลบัว
รัชชนนท์ ทริพย์สมบุรณ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Reduction of Ambient Temperature Using Combined Pre-Cooling
System with Evaporative Cooling System for Plant Factory



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2565

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง


ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling
ร่วมกับระบบ Evaporative Cooling สำหรับโรงเรือนปลูกพืช
The Reduction of Ambient Temperature Using Combined
Pre-Cooling System with Evaporative Cooling System
for Plant Factory

นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวนัฐกานต์ ศรีบัวเอี่ยม รหัส 62010478
นางสาวบุษญา ความเพียร รหัส 62010513
นางสาวเมธาพร นิลบัว รหัส 62010743
นายรัชชนนท์ ททรัพย์สมบูรณ์ รหัส 62010768

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)
หลักสูตร วิศวกรรมเกษตร
ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร
ปีการศึกษา 2565

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ประสันท์ ชุ่มใจหาญ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับระบบ Evaporative Cooling สำหรับโรงเรือนปลูกพืช		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นางสาวนัฐกานต์	ศรียุวัฒน์	รหัส 62010478
	นางสาวบุษญา	ความเพียร	รหัส 62010513
	นางสาวเมธาพร	นิลบัว	รหัส 62010743
	นายรัชชนนท์	ทรัพย์สมบูรณ์	รหัส 62010768
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ประสันท์ ชุ่มใจหาญ		
ปีการศึกษา	2565		

บทคัดย่อ

โครงการวิศวกรรมเกษตรนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าระบบ Evaporative Cooling ให้มีค่าต่ำลง โดยนำอากาศมาทำงานผ่านระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ก่อน แล้วจึงนำอากาศไปใช้งานในระบบ Evaporative Cooling สำหรับการลดอุณหภูมิอากาศภายในโรงเรือนปลูกพืชต่อไป โดยจะทำการศึกษา 2 กรณี คือ 1.ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling 2.ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling โดยจากผลการทดสอบพบว่าระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling สามารถลดอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศให้มีค่าต่ำกว่า และสามารถดึงความร้อนได้มากกว่าระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling

คำสำคัญ : การลดอุณหภูมิภายในโรงเรือน, การลดอุณหภูมิอากาศ, Pre-Cooling, Evaporative Cooling

Thesis Title	THE REDUCTION OF AMBIENT TEMPERATURE USING COMBINED PRE-COOLING SYSTEM WITH EVAPORATIVE COOLING SYSTEM FOR PLANT FACTORY		
Authors	NATTAKAN	SRIBUAAIEM	62010478
	BUSSAYA	KHWAMPHAIRN	62010513
	METAPORN	NINBUA	62010743
	RATCHANON	SUBSOMBOON	62010768
Thesis Advisor	PRASAN CHOOMJAIHAN		
Year	2022		

Abstract

The objective of this agricultural engineering project is to reduce the approaching temperature by passing Pre-Cooling process before Evaporative Cooling process. The methodology is to compare the air temperature of the process of combination of Pre-Cooling with evaporative cooling and only evaporative cooling. The result shows that the process of combination of Pre-Cooling and evaporative cooling reduce temperature and extract heat more than the evaporative cooling.

Keywords : Reducing the temperature in plant factory, The reduction of ambient temperature, Pre-Cooling, Evaporative Cooling

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจาก รศ.ดร.ประสันท์ ชุ่มใจหาญ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง ตลอดจนให้ความรู้ ความเอาใจใส่ และให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือตลอดการดำเนินโครงการ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจตลอดมา คณะอาจารย์ นายช่างประจำภาควิชา เพื่อน ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเกษตร นายช่างประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา ช่างยอดและช่างใจ ที่คอยช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำงาน ตลอดจนทุนทำปริญญานิพนธ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุน

นางสาวนัฐกานต์ ศรีบัวเอี่ยม รหัส 62010478

นางสาวบุษญา ความเพียร รหัส 62010513

นางสาวเมธาพร นิลบัว รหัส 62010743

นายรัชชนนท์ ทรัพย์สมบูรณ์ รหัส 62010768

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 คำจำกัดความ.....	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 โรงเรือนปลูกพืชและระบบปรับอากาศภายในโรงเรือน.....	3
2.1.1 โครงสร้างและการใช้งานโรงเรือน.....	3
2.2 การปรับอากาศภายในโรงเรือนแบบ Evaporative Cooling.....	4
2.2.1 ส่วนประกอบของการปรับอากาศแบบ Evaporative Cooling.....	5
2.2.2 หลักการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling.....	6
2.2.3 การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ Evaporative Cooling.....	8
2.3 การปรับสภาพอากาศระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling.....	10
2.3.1 องค์ประกอบของการปรับอากาศแบบ Pre-Cooling.....	10
2.3.2 หลักการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.3 การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศแบบ Pre-Cooling.....	11
2.4 การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศของระบบการปรับสภาพอากาศแบบ Evaporative Cooling และระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling บนแผนภูมิอากาศชื้น.....	11
2.4.1 Psychrometric Chart	12
2.5 การออกแบบระบบน้ำของโรงเรือนแบบ Evaporative Cooling	16
2.5.1 ระบบน้ำของโรงเรือน Evaporative Cooling	16
2.6 การออกแบบระบบน้ำของโรงเรือนแบบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling.....	22
2.6.1 ระบบน้ำของโรงเรือน Pre-Cooling.....	22
2.6.1.1 บั้มแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal pump).....	23
2.6.2 ท่อ PVC.....	23
2.6.3 วาล์วและอุปกรณ์ต่อท่อต่างๆ	25
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน	33
3.1 แผนผังการดำเนินงาน	33
3.2 อุปกรณ์ และการเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดลอง.....	34
3.1.1 อุปกรณ์	34
3.2.2 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดลอง	40
3.3 การทดสอบการทำความเย็น	61
3.3.1 การวัดความเร็วลม.....	61
3.3.2 การวัดสภาวะอากาศ	61
3.3.3 การวัดสภาพอากาศบรรยากาศภายนอก.....	62
3.3.4 การทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling	63
3.3.5 การทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.6 การทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling.....	64
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลข้อมูล.....	65
4.1 สภาพอากาศภายนอก.....	65
4.2 ผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ.....	66
4.3 ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling.....	67
4.4 ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling.....	68
4.5 ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling.....	69
4.6 อุณหภูมิน้ำที่เกี่ยวข้องกับระบบการลดอุณหภูมิอากาศ.....	70
4.7 การแสดงผลเปรียบเทียบการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศทุกระบบ.....	71
4.8 ตารางสรุปผลการทดสอบ.....	75
4.9 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณความร้อนของระบบ.....	79
4.10 การวิเคราะห์ผลข้อมูล.....	82
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	84
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	84
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	84
บรรณานุกรม.....	86
ภาคผนวก ก.....	89
ภาคผนวก ข.....	95
ภาคผนวก ค.....	121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของวัสดุทำท่อ.....	17
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของวัสดุทำท่อ.....	24
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจำเพาะด้านสภาพแวดล้อม.....	36
ตารางที่ 3.2 ข้อมูลจำเพาะด้านต่าง ๆ ทั่วไป.....	36
ตารางที่ 3.3 อัตราการไหลของน้ำในระบบการลดอุณหภูมิ Pre-Cooling.....	47
ตารางที่ 3.4 อัตราการไหลของน้ำในระบบ Evaporative Cooling.....	47
ตารางที่ 4.1 สภาพอากาศและค่าความชื้นภายนอก.....	65
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบสภาพอากาศ, ค่าความชื้นและความเร็วลมเฉลี่ยด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ.....	66
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบสภาพอากาศ, ค่าความชื้นและความเร็วลมเฉลี่ยของระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling.....	67
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบสภาพอากาศ, ค่าความชื้นและความเร็วลมเฉลี่ยของระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling.....	68
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบสภาพอากาศ, ค่าความชื้นและความเร็วลมเฉลี่ยของระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling.....	69
ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิน้ำที่เกี่ยวข้องในระบบการลดอุณหภูมิอากาศ.....	70
ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติจำเพาะที่ใช้ในการคำนวณด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ.....	75
ตารางที่ 4.8 คุณสมบัติจำเพาะที่ใช้ในการคำนวณระบบการลดอุณหภูมิแบบ Evaporative Cooling.....	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.9 คุณสมบัติจำเพาะที่ใช้ในการคำนวณระบบการลดอุณหภูมิแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling.....	77
ตารางที่ 4.10 ผลต่างของปริมาณความร้อนของทั้ง 2 ระบบ.....	78



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 Fan and pad cooling system.....	4
รูปที่ 2.2 Convection tube type cooling system.....	4
รูปที่ 2.3 คูลิ่งแพด.....	5
รูปที่ 2.4 ระบบทำความเย็นแบบ Direct evaporative cooling.....	6
รูปที่ 2.5 ระบบทำความเย็นแบบ Indirect evaporative cooling.....	6
รูปที่ 2.6 ระบบทำความเย็นแบบ Indirect/Direct evaporative cooling บนแผนภูมิความชื้น.....	7
รูปที่ 2.7 ระบบทำความเย็นแบบ Indirect/Direct evaporative cooling.....	7
รูปที่ 2.8 The Cycle of Latent Heat of Water.....	9
รูปที่ 2.9 โรงเรือนปลูกพืช ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	9
รูปที่ 2.10 หม้อน้ำอลูมิเนียมฝาพลาสติก.....	10
รูปที่ 2.11 ASHRAE Psychrometric Chart.....	14
รูปที่ 2.12 Carrier Psychrometric Chart, Sea Level.....	15
รูปที่ 2.13 Carrier Psychrometric Chart, Above Sea Level.....	15
รูปที่ 2.14 ปุ่มแบบหมุนเหวี่ยง.....	16
รูปที่ 2.15 บอลวาล์ว.....	18
รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบบอลวาล์ว.....	18
รูปที่ 2.17 ฟุตวาล์ว.....	19
รูปที่ 2.18 ช่องอฉกบาง 90 องศา.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.19 ช่องอฉก 90 องศา.....	20
รูปที่ 2.20 ข้อต่อสามทางบาง.....	20
รูปที่ 2.21 ข้อต่อสามทาง.....	20
รูปที่ 2.22 ข้อต่อตรง.....	21
รูปที่ 2.23 ข้อต่อลดขนาด.....	21
รูปที่ 2.24 สวิงซีควาล์ว.....	22
รูปที่ 2.25 ปุ่มแบบหมุนเหวี่ยง.....	23
รูปที่ 2.26 Polyvinyl chloride (PVC)	24
รูปที่ 2.27 บอลวาล์ว.....	25
รูปที่ 2.28 ส่วนประกอบบอลวาล์ว.....	25
รูปที่ 2.29 สวิงซีควาล์ว.....	26
รูปที่ 2.30 ฟุตวาล์ว.....	27
รูปที่ 2.31 ข้อต่อยูเนียน.....	28
รูปที่ 2.32 ข้อต่อตรง.....	28
รูปที่ 2.33 ช่องอฉก.....	29
รูปที่ 2.34 ข้อต่อสามทางฉก.....	29
รูปที่ 2.35 ข้อต่อเกลียวใน ข้อต่อเกลียวนอก.....	30
รูปที่ 2.36 ข้อต่อสามทางวาย.....	30
รูปที่ 2.37 ข้อต่อลดขนาด.....	30

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.1 Name plate ของปั๊ม.....	34
รูปที่ 3.2 ขนาดหม้อน้ำและฐานตั้งหม้อน้ำ.....	40
รูปที่ 3.3 แผนผังท่อระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับระบบ Evaporative Cooling.....	41
รูปที่ 3.4 แผนภาพทางเดินน้ำของการต่อระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับระบบ Evaporative Cooling.....	42
รูปที่ 3.5 Moody Chart Diagram	43
รูปที่ 3.6 ตารางความหยาบของท่อสำหรับใช้ความดันตก.....	44
รูปที่ 3.7 ตารางค่า K ในข้อต่อ.....	45
รูปที่ 3.8 ตารางค่า K ในวาล์วขณะเปิดเต็มที่.....	46
รูปที่ 3.9 Nameplate ของปั๊มน้ำที่นำมาใช้ในระบบ Pre-Cooling.....	46
รูปที่ 3.10 ปั๊มน้ำ.....	57
รูปที่ 3.11 ขนาดและแผนผังของโรงเรือนปลูกพืชเมื่อติดตั้ง ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับระบบ Evaporative Cooling.....	58
รูปที่ 3.12 แผนผังการติดตั้งปั๊มและวาล์ว.....	59
รูปที่ 3.13 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและ Cooling pad.....	59
รูปที่ 3.14 แผนผังของพัดลม.....	60
รูปที่ 3.15 ขนาดของอุปกรณ์หาอัตราการไหลของอากาศ.....	60
รูปที่ 3.16 อุปกรณ์หาอัตราการไหลของอากาศ.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.17 การวัดความเร็วลม.....	61
รูปที่ 3.18 การวัดสภาวะอากาศระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling.....	62
รูปที่ 3.19 การวัดสภาวะอากาศภายนอก.....	62
รูปที่ 3.20 การวัดความเร็วลมของระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling.....	63
รูปที่ 3.21 การวัดอุณหภูมิของระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling.....	63
รูปที่ 3.22 การวัดความเร็วลมของระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling.....	63
รูปที่ 3.23 การวัดอุณหภูมิของระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling.....	64

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันโรงเรือนปิดระบบ Evaporative Cooling เป็นที่รู้จักและเริ่มมีการใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทยในหลากหลายวัตถุประสงค์ ยกตัวอย่างเช่นใช้สำหรับการปลูกพืชผัก และการทำฟาร์มปศุสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ระบบ Evaporative Cooling เป็นการทำให้อุณหภูมิอากาศลดลงที่ต้นทุนการผลิตและค่าใช้จ่ายระหว่างการดำเนินการไม่ได้สูงเมื่อเทียบกับการลดอุณหภูมิอากาศโดยเครื่องปรับอากาศ ซึ่งหลักการคร่าวๆ ของระบบทำความเย็นแบบ Evaporative Cooling คือให้อากาศไหลผ่านครีบน้ำที่มีชั้นของน้ำไหลผ่านเคลือบอยู่ที่ผิวของครีบน้ำ ส่งผลให้อากาศที่ไหลผ่านนำน้ำนั้นไปด้วย ซึ่งเป็นหลักการการเพิ่มปริมาณน้ำในอากาศ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศเป็นไปในรูปแบบทาง Thermodynamics ที่เรียกว่า Adiabatic กล่าวคือ การทำให้ปริมาณน้ำ (Moisture Content) ในอากาศเพิ่มขึ้น, ค่า Enthalpy ไม่เปลี่ยนแปลง, ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (Relative Humidity) เพิ่มขึ้น แต่สูงสุดไม่เกิน 100%RH ส่งผลให้อุณหภูมิภาวะแห้ง (Dry bulb temperature) ของอากาศลดลง ระบบ Evaporative Cooling ยังมีประสิทธิภาพดี (ลดอุณหภูมิได้ต่ำ) ในสภาวะอากาศที่พร้อมจะเพิ่มความชื้นได้มากกว่า ซึ่งสภาวะดังกล่าวคือ สภาพอากาศที่อุณหภูมิภาวะแห้งสูงและความชื้นสัมพัทธ์อากาศต่ำ ดังนั้นโรงเรือนที่ติดตั้งระบบปรับอากาศแบบ Evaporative Cooling จึงเหมาะกับพื้นที่ในเขตร้อน มากกว่าพื้นที่อื่นๆ

จากที่กล่าวข้างต้นว่าสภาวะอากาศที่ข้อจำกัดของการลดอุณหภูมิแบบ evaporative cooling คือความชื้นสัมพัทธ์อากาศได้สูงสุดไม่เกิน 100% ดังนั้นหากสภาวะอากาศภายนอกโรงเรือนมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่สูง เมื่ออากาศดังกล่าวผ่านระบบ Evaporative Cooling แล้ว จะไม่สามารถลดอุณหภูมิได้ต่ำไปกว่าเดิมมากนัก ดังนั้นวิธีการที่น่าจะช่วยให้อุณหภูมิของอากาศเมื่อผ่านระบบ Evaporative Cooling มีค่าต่ำลงคือการทำให้อุณหภูมิภายนอกมีค่าลดต่ำกว่าเดิมเสียก่อน (Pre-Cooling) ซึ่งระบบที่น่าจะเหมาะสมคือ ระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสัมผัส โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบให้อากาศไหลผ่าน (ลักษณะคล้ายกับหม้อน้ำรถยนต์ แต่หลักการตรงข้ามกัน) ของเหลวที่ไหลผ่านภายในท่อของระบบ Pre-Cooling นี้เป็นน้ำที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยระบบ Evaporative Cooling มาแล้วซึ่งส่วนใหญ่อุณหภูมิน้ำจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก เมื่ออากาศเคลื่อนที่ไหลผ่านท่อที่มีน้ำอุณหภูมิต่ำ จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน ส่งผลทำให้อากาศนั้นมีความร้อน (Enthalpy) ลดลงส่งผลทำให้อุณหภูมิภาวะแห้งลดลง โดยยังคงค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณความชื้นในอากาศยังคงเท่าเดิม เมื่ออากาศดังกล่าวผ่านระบบ Evaporative Cooling แล้วจะส่งผลให้อุณหภูมิเกาะเปาะแห้งลดลงกว่าระบบเดิม

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการลดอุณหภูมิอากาศเมื่อผ่านระบบ Pre-Cooling ในโรงเรือนปลูกพืช
2. เพื่อศึกษาการลดอุณหภูมิอากาศเมื่อผ่านระบบ Evaporative Cooling ในโรงเรือนปลูกพืช
3. เพื่อเปรียบเทียบการลดอุณหภูมิระหว่างการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบ Pre-Cooling ร่วมกับระบบ Evaporative Cooling กับการลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบ Evaporative Cooling

1.3 ขอบเขตการศึกษา

บริเวณที่ทำการเก็บข้อมูลคือโรงเรือนปลูกพืช สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.4 คำจำกัดความ

Pre-Cooling หมายถึง ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบพาความร้อนด้วยอากาศไหลผ่านท่อที่มีการไหลของของเหลว ก่อนเข้าสู่ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

การลดอุณหภูมิโดยใช้ระบบ Pre-Cooling ร่วมกับระบบ Evaporative Cooling สามารถลดอุณหภูมิอากาศได้ดีกว่าการใช้ระบบ Evaporative Cooling เพียงอย่างเดียว

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1 ศึกษาความเป็นไปได้ในการลดอุณหภูมิอากาศ										
2 ศึกษากระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศ										
3 การออกแบบระบบสำหรับการทดลอง										
4 การหาอุปกรณ์และการติดตั้งระบบท่อน้ำ										
5 การทดสอบระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบการพาความร้อน										
6 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดลอง										
7 ดำเนินการทดลอง										
8 การวิเคราะห์ผลการทดลอง										
9 สรุปและเขียนรายงาน										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

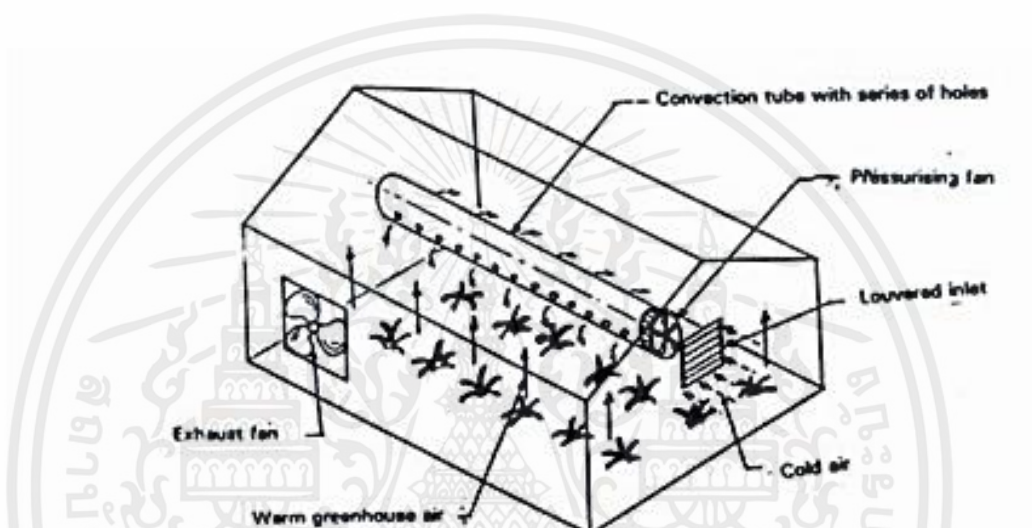
2.1 โรงเรือนปลูกพืชและระบบปรับอากาศภายในโรงเรือน

2.1.1 โครงสร้างและการใช้งานโรงเรือน

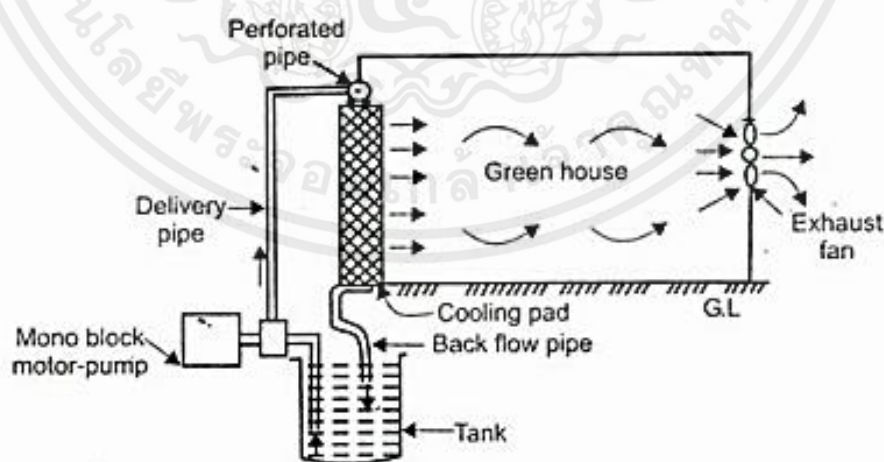
โรงเรือนไม่ใช่สิ่งจำเป็นสำหรับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ผู้ปลูกสามารถปลูกในพื้นที่โล่งแจ้งได้เช่นเดียวกับการปลูกโดยใช้ดิน แต่การปลูกพืชในโรงเรือนได้รับความนิยมเพราะผู้ปลูกได้รับประโยชน์หลายอย่างจากการปลูกในโรงเรือน เช่น สามารถป้องกันแมลงไม่ให้เข้าไปทำลายพืชที่ปลูก ทำให้ไม่ต้องใช้ยาฆ่าแมลง ผู้บริโภคพืชผักที่ปลูกโดยวิธีนี้จึงมีความปลอดภัยจากสารพิษตกค้างในผลผลิต ป้องกันน้ำฝนลงไปเจือปนในสารละลายธาตุอาหารจนสารละลายเจือจางเกินไปไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของพืชและมีปริมาณเพิ่มขึ้นจนไหลล้นออกมาจากเครื่องปลูก ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายกับการปลูกพืชทั้งระบบ สามารถควบคุมปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมในการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืช เช่น ความเข้มแสง, ระยะเวลาที่พืชรับแสง, ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และอุณหภูมิ เป็นต้น ทำให้สามารถผลิตพืชได้ทั้งปีโดยไม่ต้องอาศัยฤดูกาลตามธรรมชาติเข้าช่วย ผู้ปลูกสามารถวางแผนการผลิตได้ง่าย และเสี่ยงต่อการแปรปรวนของธรรมชาติน้อยกว่าการปลูกในพื้นที่โล่งแจ้ง สามารถออกแบบให้เป็นการผลิตอัตโนมัติ เช่นเดียวกับการผลิตสินค้าอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ง่าย ช่วยประหยัดแรงงานในการดำเนินการ ลดโอกาสในการสัมผัสสิ่งสกปรก ทำให้พืชที่ผลิตได้สะอาดไม่เป็นพาหะนำโรค สามารถติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เช่น อุปกรณ์พวงลำต้นและอุปกรณ์แขวนผล เป็นต้น และอาจติดตั้งเพียงครั้งเดียวแต่สามารถใช้งานติดต่อกันได้หลายฤดูปลูกมีสิ่งแวดล้อมในการทำงานที่ดี สะอาด ไม่เปื้อนดินโคลน ช่วยให้ผู้ปลูกมีความเพลิดเพลินในการทำงานมากกว่า โรงเรือนอาจจะเป็นอุปสรรคต่อผู้ปลูกในบางประเด็นโดยเฉพาะต้นทุนในการก่อสร้าง สินค้าเกษตรมักเป็นสินค้าที่มีความเสี่ยงสูง ผู้ลงทุนจึงต้องวางแผนอย่างรัดกุม นอกจากนี้โรงเรือนยังอาจเป็นอุปสรรคต่อการผสมเกสรของพืช เนื่องจากแมลงธรรมชาติที่มีประโยชน์ต่อการผสมเกสรไม่สามารถเข้าไปช่วยผสมเกสรได้ ผู้ปลูกจึงควรเลือกชนิดของพืชที่ไม่ได้รับผลกระทบในการผสมเกสร เช่น พืชที่มีดอกสมบูรณ์เพศหรือพืชกินใบ เป็นต้น

2.2 การปรับอากาศภายในโรงเรือนแบบ Evaporative Cooling

Evaporative Cooling House หรือ โรงเรือนอีแวป (Evap) เป็นโรงเรือนแบบปิด ใช้ระบบการระบายอากาศร่วมกับการทำความเย็นด้วยการระเหยน้ำ โดยนำเอาหลักการระบายอากาศแบบอุโมงค์ลม (Tunnel Ventilation) การทำความเย็นด้วยการระเหยน้ำ (Evaporative Cooling) ปฏิบัติการทำความเย็นจากลม (Effective Temperature หรือ Wind Chill Effect) มาใช้ร่วมกันเพื่อปรับปรุงสภาวะอากาศในโรงเรือนให้พืชและสัตว์มีความสุขสบายมากกว่าสภาวะอากาศตามธรรมชาติ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตและผลผลิตสูงขึ้น (Uile Engineering International Co.,Ltd. 2558)



รูปที่ 2.1 Fan and pad cooling system



รูปที่ 2.2 Convection tube type cooling system

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ส่วนประกอบของการปรับอากาศแบบ Evaporative Cooling

2.2.1.1 Cooling pad

쿨링패드 (Cooling pad) เป็นหัวใจของระบบโรงเรือนอีแวป (Evap) ผลิตจากวัสดุที่เป็นเยื่อไม้จากธรรมชาติเคลือบสารชนิดพิเศษที่ดูดซับน้ำได้รวดเร็วและไม่เปื่อยยุ่ย สามารถกระจายน้ำไปทั่วทุกพื้นผิวได้อย่างรวดเร็วสม่ำเสมอและยังออกแบบร่องอากาศให้มีความลาดเอียง เพื่อช่วยให้น้ำที่เหลือจากการระเหยไหลลงมาชำระล้างฝุ่นและสิ่งสกปรกออกจากพื้นผิว จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นละอองที่ปะปนในอากาศภายนอก ระบบจะทำงานได้เต็มประสิทธิภาพต้องดูแลรักษาความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ เหตุผลที่ทำให้ น้ำสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ มาจากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำกว่าความชื้นของน้ำ (100%) ทำให้น้ำสามารถระเหยได้ ดังนั้นน้ำจะระเหยได้มากจะขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในขณะนั้น ยิ่งอากาศมีความชื้นต่ำมาก ความสามารถในการระเหยก็จะมากขึ้นและจะทำให้อุณหภูมิลดต่ำลงได้ (แผ่น쿨링패드.com. 2017)



รูปที่ 2.3 คูลิ่งแพด

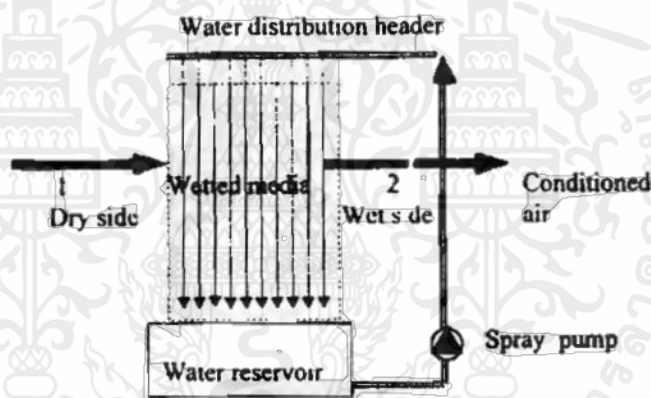
2.2.1.2 พัดลมระบายอากาศ (Fan ventilation)

การติดตั้งพัดลมดูดอากาศตามผนังหรือหลังคาของสิ่งก่อสร้างและทำช่องระบายอากาศไว้ด้านตรงข้ามอากาศจะไหลเข้าแล้วพัดลมจะดูดออก ทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศ เพื่อให้เกิดการถ่ายเทอากาศได้ดีต้องออกแบบให้เกิดบริเวณความกดอากาศสูงและความกดอากาศต่ำต่อเนื่องกันไป สำหรับช่องระบายอากาศในโรงเรือนควรมีช่องคิดเป็นเนื้อที่ $\frac{1}{6}$ ของพื้นที่โรงเรือน

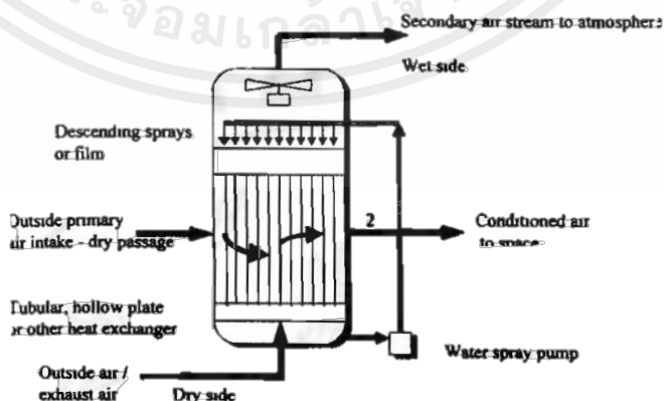
การระบายอากาศร้อนออกโดยใช้พัดลมไฟฟ้า หากมีการใช้พัดลมเพียงอย่างเดียว มักจะมีการคลุมพลาสติกทั้งโรงเรือน เพื่อให้แน่ใจได้ว่าอากาศได้ไหลเข้าไปแทนที่อากาศร้อนที่ระบายออกมา แต่ถ้าหากเป็นโรงเรือนแบบระบบเปิด มักจะติดตั้งพัดลมไว้ภายในหรือบริเวณด้านข้างโดยรอบของโรงเรือนเพื่อพัดเอาอากาศร้อนจากภายในออกสู่ภายนอก (มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 2551 : 26)

2.2.2 หลักการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling

การทำความเย็นของ Evaporative cooling อาศัยหลักการดึงความร้อนจากอากาศไประเหยน้ำทำให้อากาศเย็นลง โดยปกติแล้วจะใช้วัสดุเปียก (Wetted media) ช่วยในการเพิ่มพื้นที่สัมผัสน้ำกับอากาศ ทำให้การระเหยของน้ำเร็วขึ้น โดยทั่วไประบบ Evaporative cooling จะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ Direct evaporative cooling และ Indirect evaporative cooling ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.4 ระบบทำความเย็นแบบ Direct evaporative cooling

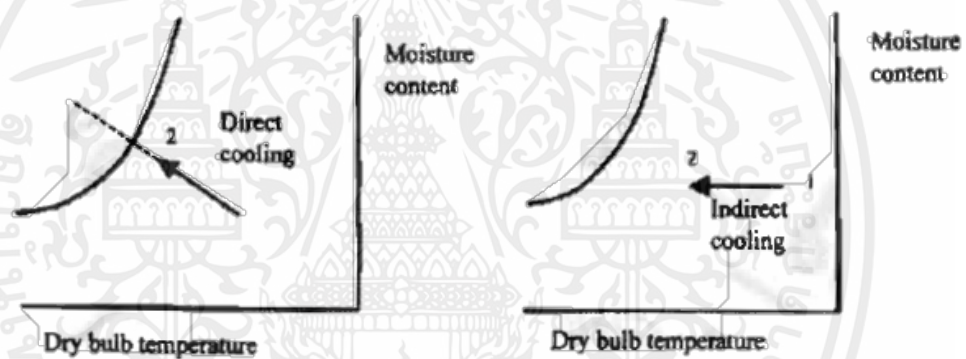


รูปที่ 2.5 ระบบทำความเย็นแบบ Indirect evaporative cooling

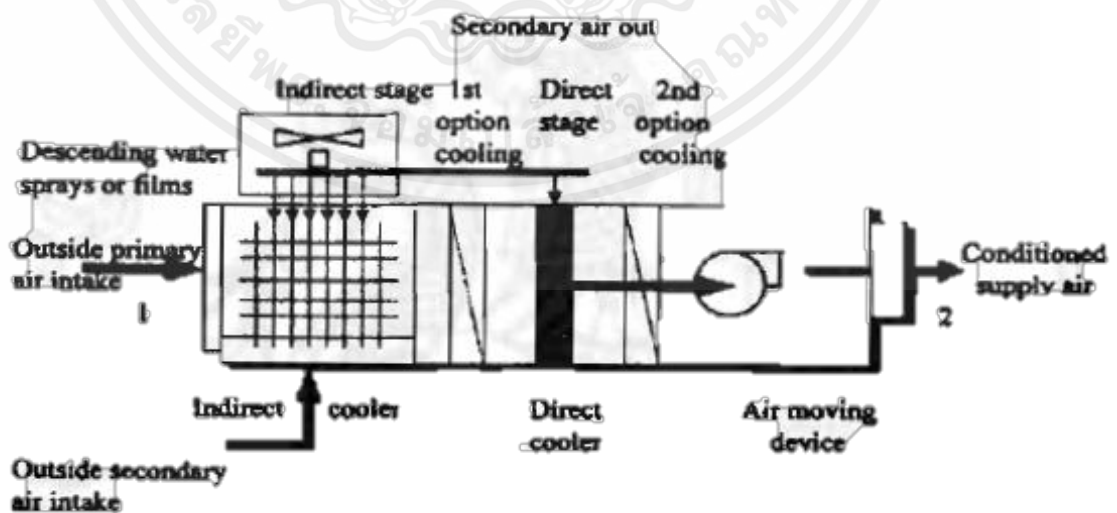
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของระบบ Direct evaporating เมื่ออากาศเคลื่อนที่ผ่าน Wetted media จากด้านที่ 1 (Dry side) ไปด้านที่ 2 (Wetted side) ทำให้น้ำที่ผิวของ Wetted media ระเหยกลายเป็นไอ โดยการดึงความร้อนจากอากาศ (Latent heat) ซึ่งมีอุณหภูมิที่สูงกว่า ดังนั้นจึงทำให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำลง แต่ในขณะเดียวกันอากาศก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น

การทำงานของระบบ Indirect evaporating เมื่อ Primary air เคลื่อนที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งภายในมีระบบพ่นฝอยน้ำและ Secondary air ไหลผ่าน น้ำภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะระเหยและ Secondary air จะเย็นลงแล้วจะไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับ Primary air (Sensible heat) ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่า ทำให้ Primary air เย็นลง ซึ่งข้อดีของระบบ Indirect evaporative cooling ก็คือสามารถลดอุณหภูมิอากาศที่ไม่เป็นการเพิ่มความชื้น



รูปที่ 2.6 ระบบทำความเย็นแบบ Indirect/Direct evaporative cooling บนแผนภูมิความชื้น



รูปที่ 2.7 ระบบทำความเย็นแบบ Indirect/Direct evaporative cooling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นทั้งสองระบบแล้ว ระบบ Direct evaporative cooling จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบ Indirect evaporative cooling แต่จะได้อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าแบบ Direct evaporative cooling ดังนั้นจึงมีการนำเอาข้อดีของทั้งสองระบบมารวมกันได้เป็นระบบการทำความเย็นแบบผสม Indirect/Direct evaporative cooling ดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยการใช้ Indirect evaporative cooling มา Pre-cool อากาศก่อนป้อนเข้าสู่ระบบ Direct evaporative cooling

ระบบทำความเย็นแบบ Indirect evaporative cooling สมรรถนะหรือประสิทธิภาพของระบบสามารถดูได้ตั้งแต่แผนภูมิอากาศชื้น โดยลากเส้นในแผนภูมิอากาศชื้นจากจุดอากาศเข้า (อากาศภายนอก) ลากไปตามเส้นเอนทาลปีคงที่ (Adiabatic) หรือตามเส้นอุณหภูมิกะเปาะเปียกคงที่ไปจนถึงจุดความชื้นสัมพัทธ์ 100 % จะหาประสิทธิภาพได้ 100 % แต่ในการใช้งานจริง อากาศผ่าน Wetted media ความชื้นสัมพัทธ์ไม่ใช่ 100 % ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบ Direct evaporative cooling คำนวณได้จาก

$$E_{ff} = \frac{T_{db1} - T_{db2}}{T_{db1} - T_{wb1}} \quad (2.1)$$

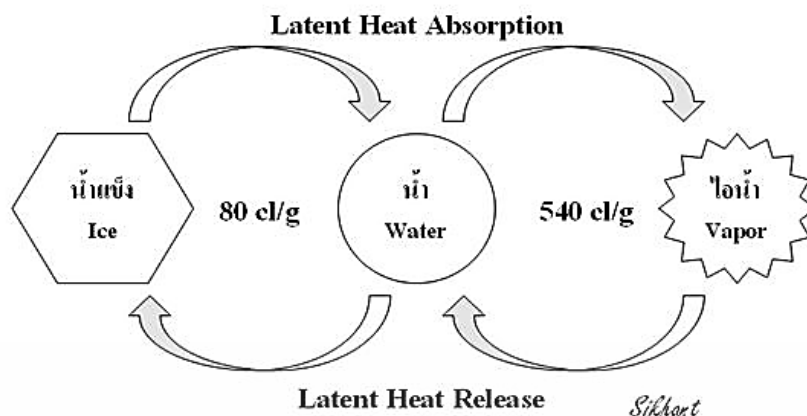
เมื่อ T_{db1} และ T_{db2} คือ อุณหภูมิกะเปาะแห้งของอากาศก่อนและหลังผ่าน

Wetted media (°C)

T_{wb1} คือ อุณหภูมิกะเปาะเปียก (°C) (มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 2551 : 20-23)

2.2.3 การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ Evaporative Cooling

การทำความเย็นด้วยการระเหยน้ำ เป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนในอากาศในรูปของความร้อนแฝง (Latent Heat) ซึ่งเป็นพลังงานความร้อนที่ทำให้สสารเปลี่ยนสถานะโดยที่อุณหภูมิของสสารไม่เปลี่ยนแปลง กล่าวคือ เมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นไอน้ำ (Evaporation) มันจะดูดซับความร้อนแฝงจากอากาศไป 540 cal ต่อการระเหยน้ำ 1 g เมื่อพลังงานความร้อนในอากาศบริเวณนั้นลดลง อุณหภูมิอากาศก็จะลดลงด้วย ในทางกลับกัน ถ้าอากาศมีความชื้นสูงมากจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ (Condensation) มันจะคายความร้อนแฝงออกมาในอัตราเดียวกัน ทำให้อุณหภูมิอากาศบริเวณนั้นสูงขึ้น



รูปที่ 2.8 The Cycle of Latent Heat of Water

นอกจากนี้อาจจะมีการนำระบบเทคโนโลยี IoT (Internet of Thing) ที่มีเซนเซอร์ต่างๆ มาช่วยควบคุมสภาพแวดล้อมซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการเพาะปลูก ได้แก่ เซนเซอร์วัดความชื้น แสง ควบคุมการทำงานของม่านพรางแสง เซนเซอร์วัดความชื้นดิน ควบคุมการทำงานของระบบน้ำหยด เซนเซอร์วัดความชื้นอากาศ ควบคุมการทำงานของระบบพ่นหมอกและเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ควบคุมการทำงานของพัดลมใต้หลังคา โดยเซนเซอร์ทั้งหมดสามารถแสดงผลแจ้งเตือนและควบคุมการทำงานผ่าน Smart phone และ Web base ด้วยเทคโนโลยีเพื่อทดสอบและพัฒนาแนวทางที่เหมาะสมในการเพาะปลูกผลผลิตทางการเกษตร (Uile Engineering International Co.,Ltd. 2558)



รูปที่ 2.9 โรงเรือนปลูกพืช ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การปรับสภาพอากาศระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling

2.3.1 องค์ประกอบของการปรับอากาศแบบ Pre-Cooling

2.3.1.1 หม้อน้ำรถยนต์

หม้อน้ำรถยนต์ เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของรถยนต์ ใช้ระบบการหล่อเย็นด้วยน้ำยาหล่อเย็น หลักการทำงานคือน้ำจะไหลมาจากโพรงผนังเสื้อสูบ เข้าสู่หม้อน้ำทางด้านบน จากนั้นน้ำดังกล่าวจะไหลลงมาตามท่อในหม้อน้ำ ซึ่งท่อน้ำจะเชื่อมติดกับครีบบระบายความร้อนหรือรังผึ้ง โดยวัสดุทำครีบบระบายความร้อนคือโลหะ มีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนได้ดี เมื่อน้ำที่มีอุณหภูมิสูงเคลื่อนตัวจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง จะเกิดการถ่ายเทความร้อนออกไปให้กับครีบบระบายความร้อน ขณะเดียวกันพัดลมหม้อน้ำก็จะทำงาน โดยดูดอากาศที่อยู่ด้านหน้าหม้อน้ำ ผ่านครีบบระบายความร้อนหม้อน้ำออกมาทางด้านหลัง เป็นระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยอากาศ เมื่อน้ำที่มีอุณหภูมิสูงเคลื่อนตัวลงสู่ด้านล่างแล้วอุณหภูมิก็จะลดลง โดยบริเวณด้านหน้าของหม้อน้ำจะมีท่อของหม้อน้ำต่อเข้ากับผนังเสื้อสูบอีกที ทำให้น้ำไหลเวียนอยู่ในระบบในโพรงผนังห้องเครื่องกับหม้อน้ำอย่างต่อเนื่อง

หม้อน้ำรถยนต์แบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. หม้อน้ำอลูมิเนียมล้วน มีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนได้ดี, ทนทาน, ไม่เป็นสนิมและมีน้ำหนักเบา แต่หากเกิดการรั่วซึมของหม้อน้ำมักจะซ่อมแซมไม่ได้
2. หม้อน้ำอลูมิเนียมฝาพลาสติก มีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนได้ดี, ไม่กักเก็บความร้อน, ไม่เป็นสนิม, มีราคาถูกและน้ำหนักเบา แต่หากเกิดการรั่วซึมบริเวณรอยต่อของพลาสติกจะไม่สามารถซ่อมแซมได้



รูปที่ 2.10 หม้อน้ำอลูมิเนียมฝาพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หม้อน้ำทองแดง มีความหนาและแข็งแรงและน้ำหนักมาก หากมีการรั่วซึมสามารถซ่อมแซมได้ แต่มีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนต่ำกว่าหม้อน้ำแบบอลูมิเนียม มีการกักเก็บความร้อนและมีราคาสูง (Administrator-Pp2car. 2561 ; Carsome. 2566)

2.3.2 หลักการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling

อาศัยหลักการพาความร้อนของอากาศ คือ กระบวนการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของของไหล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวหน้าของวัตถุกับของไหลในอุปกรณ์ความร้อนสำหรับงานอุตสาหกรรม การถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลกับผิวหน้าของวัตถุจะสำคัญกว่าการถ่ายเทความร้อนภายในตัวของไหล

การพาความร้อนเกิดขึ้นได้ทั้งจากการไหลที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (หรือความหนาแน่น) จะเรียกว่าการพาความร้อนแบบธรรมชาติและการไหลที่เกิดขึ้นจากปั๊มหรือพัดลม เป็นต้น เรียกว่าการพาความร้อนด้วยการบังคับ (ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(ผชพ) ด้านความร้อน : 4-1)

ปัจจัยที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศ คือ วัสดุที่ใช้ทำครีบบระบายความร้อน, อุณหภูมิของของไหลภายในครีบบระบายความร้อน, พื้นที่ผิวครีบบระบายความร้อน, อัตราการไหลของอากาศ

2.3.3 การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศแบบ Pre-Cooling

การลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling อากาศจะไหลผ่านครีบบระบายความร้อน จากการบังคับของพัดลม เมื่ออากาศสัมผัสกับพื้นผิวของครีบบระบายความร้อนจะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากอากาศมาสู่ครีบบระบายความร้อน เมื่ออากาศที่ผ่านครีบบระบายความร้อนแล้วจะทำให้อากาศมีอุณหภูมิที่ลดลงในขณะที่เกิดการถ่ายเทความร้อนอากาศจะไม่สัมผัสกับน้ำ ดังนั้นน้ำจะไม่ระเหยไปในอากาศทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศไม่เพิ่มสูงขึ้นจากสภาวะอากาศปกติ (Administrator-Pp2car. 2561 ; Carsome. 2566)

2.4 การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศของระบบการปรับสภาพอากาศแบบ Evaporative Cooling และระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling บนแผนภูมิอากาศชื้น

การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ เมื่ออากาศไหลผ่านระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling จะมีอุณหภูมิลดลง ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศไม่เปลี่ยนแปลง จากนั้นอากาศจะไหลผ่านไปยังระบบ Evaporative Cooling ต่อไป ทำให้มีอุณหภูมิอากาศลดลงอีกแต่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากกระบวนการในการลดอุณหภูมิอากาศอาศัยหลักการระเหยของน้ำ ทำให้ในอากาศมีปริมาณน้ำที่มากขึ้น ส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงขึ้นสามารถดูทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศได้จาก Psychrometric chart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 Psychrometric Chart

Psychrometric Chart เป็นแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์สมบัติของผสมระหว่างอากาศและไอน้ำ เนื่องจากอากาศในบรรยากาศจะมีไอน้ำปนอยู่ นิยมใช้ในการคำนวณด้านการปรับอากาศ เพราะสะดวกช่วยให้คำนวณผลได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีสมบัติอากาศที่สำคัญต่าง ๆ รวมอยู่ในแผนภูมิ ทำให้ลดขั้นตอนในการคำนวณไปได้อย่างมาก แผนภูมิ Psychrometric ได้มีการสร้างขึ้นโดยหลายหน่วยงาน แต่ที่นิยมใช้คือ แผนภูมิของ The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering หรือ ASHRAE และแผนภูมิของ แคร์เรีย (Carrier) ซึ่งในแผนภูมิอาจจะมีรายละเอียดปลีกย่อยแตกต่างกัน แต่จะมีโครงสร้างที่สำคัญเหมือนกัน เช่น แผนภูมิของ ASHRAE จะมีโปรแทรกเตอร์ (Protractor) ทางด้านบนซ้ายของแผนภูมิแสดงสเกลอัตราส่วนผลต่างเอนทัลปีต่อผลต่างอัตราส่วนความชื้นและสเกลอัตราส่วนความร้อนสัมผัสต่อความร้อนรวม ในขณะที่แผนภูมิของแคร์เรียอาจแสดงสเกลอัตราส่วนความร้อนสัมผัส (Sensible Heat Ratio, SHR) ไว้ในแกนตั้งด้านขวามือของแผนภูมิ เป็นต้น

โดยทั่วไปแผนภูมิไซโครเมตริกใช้ได้สำหรับความดันคงที่ค่าหนึ่งเท่านั้น ความดันของแผนภูมิไซโครเมตริกที่นิยมใช้กันคือ ความดันที่ระดับน้ำทะเล ที่ความดันนี้จะมีแผนภูมิอยู่ด้วยกัน 3 ระดับอุณหภูมิ คือ แผนภูมิสำหรับอุณหภูมิต่ำ $-40 - 50^{\circ}\text{F}$ แผนภูมิสำหรับอุณหภูมิช่วง $32 - 120^{\circ}\text{F}$ และแผนภูมิสำหรับช่วง $60 - 250^{\circ}\text{F}$ นอกจากนี้ยังมีแผนภูมิที่ความสูงจากระดับน้ำทะเล 5,000 ft แต่มีเฉพาะช่วงอุณหภูมิปกติเท่านั้น

ในกรณีที่ต้องการทราบสมบัติของอากาศที่ความดันอื่นๆ ซึ่งไม่มีในแผนภูมิไซโครเมตริก อาจคำนวณจากสมการสมบัติของอากาศโดยตรง หรืออ่านค่าจากแผนภูมิไซโครเมตริกที่มีแล้วปรับแก้ค่าที่อ่านได้ด้วยตัวปรับค่าที่เหมาะสม ซึ่งปกติถ้าความดันแตกต่างกันไม่เกิน 1 inHg ความผิดพลาดจะมีค่าน้อยมาก (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และคณะ. 2555)

สมบัติของอากาศกับไอน้ำในอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริก ประกอบด้วย

1. อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry-Bulb Temperature, T_{db}) คือ อุณหภูมิของอากาศหรืออากาศชื้นที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ทั่วไป โดยในการวัดอุณหภูมิต้องให้อากาศถ่ายเทได้สะดวก เพื่อให้ค่าที่อ่านได้มีความถูกต้อง (iLLuSioN. 2557)
2. อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-Bulb Temperature, T_{wb}) หรืออุณหภูมิกระเปาะเปียกเชิงเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic Wet Bulb Temperature) คือ อุณหภูมิของอากาศชื้นที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ที่หุ้มด้วยผ้าชื้นไว้ตรงปลายของเทอร์โมมิเตอร์ โดยมาจากการทำให้อากาศชื้นเปลี่ยนเป็นอากาศชื้นอิ่มตัวแบบอะเดียเบติก (Adiabatic Saturation) โดยการสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับน้ำที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกเชิงเทอร์โมไดนามิกส์ จนอากาศอิ่มตัวเต็มที่ เมื่ออากาศอิ่มตัวจะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกเชิงเทอร์โมไดนามิกส์ (iLLuSioN. 2557)

3. อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew-Point Temperature, T_{wb}) คือ อุณหภูมิที่ไอน้ำในอากาศเริ่มมีการควบแน่น เมื่ออากาศถูกทำให้เย็นลงที่อัตราส่วนความชื้นและความดันบรรยากาศคงที่ หาได้จากสมการที่ (2.2) และสมการที่ (2.3)

$$T_{db} = 6.983 + 14.38a + 1.079a^2 \quad (2.2)$$

โดยที่ $0^\circ\text{C} \leq T_{dp} \leq 50^\circ\text{C}$

$$T_{db} = 113.8 + 9.478a + 1.991a^2 \quad (2.3)$$

โดยที่ $50^\circ \leq T_{dp} \leq 110^\circ\text{C}$ เมื่อ $a = \ln(P_v)$ (iLLuSioN. 2557)

4. ปริมาตรจำเพาะใน Psychrometric chart (Specific volume) คือ ปริมาณ 1 kg ของอากาศแห้งที่อุณหภูมิและความดันจำเพาะ เช่น ปริมาณ 1 kg ของอากาศเมื่อได้รับความร้อนเข้าไป จะทำให้ปริมาตรเพิ่มมากขึ้นนั่นหมายถึงปริมาตรจำเพาะเพิ่มขึ้น หน่วย $\text{m}^3\text{kg}_{da}^{-1}$ (สุริชัย ภัทรกิจนิรันดร์ และ รวี งามโชคชัยเจริญ. 2550 : 54)

5. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) คือ อัตราส่วนของเศษส่วนเชิงโม่ง หรือความดันไอของไอน้ำในอากาศ ต่อเศษส่วนเชิงโมลหรือความดันของไอน้ำในอากาศอิ่มตัว ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศเดียวกัน ซึ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าระหว่าง 0-1 หาได้จากสมการที่ (2.4) (iLLuSioN. 2557)

$$\phi = \frac{P_v}{P_{sat}} = \frac{m_v}{m_{sat}} \quad (2.4)$$

6. อัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio, w) หรือความชื้นจำเพาะ คือ มวลของน้ำที่ระเหยต่อมวลของอากาศแห้งและโดยปกติจะมีหน่วยเป็น $\text{kg}_w / \text{kg}_{ad}$ หาได้จากสมการที่ (2.5) (iLLuSioN. 2557)

$$w = \frac{m_v}{m_a} = \frac{P_v}{P - P_v} = 0.622 \frac{\phi P_{sat}}{P - \phi P_{sat}} \quad (2.5)$$

7. เอนทัลปีของอากาศชื้น (Moisture Air Enthalpy, h) คือ ผลรวมของเอนทัลปีของอากาศแห้ง (h_a) และเอนทัลปีของไอน้ำในอากาศ (h_v) หาได้จากสมการที่ (2.6)

$$h = h_a + wh_v$$

หรือ

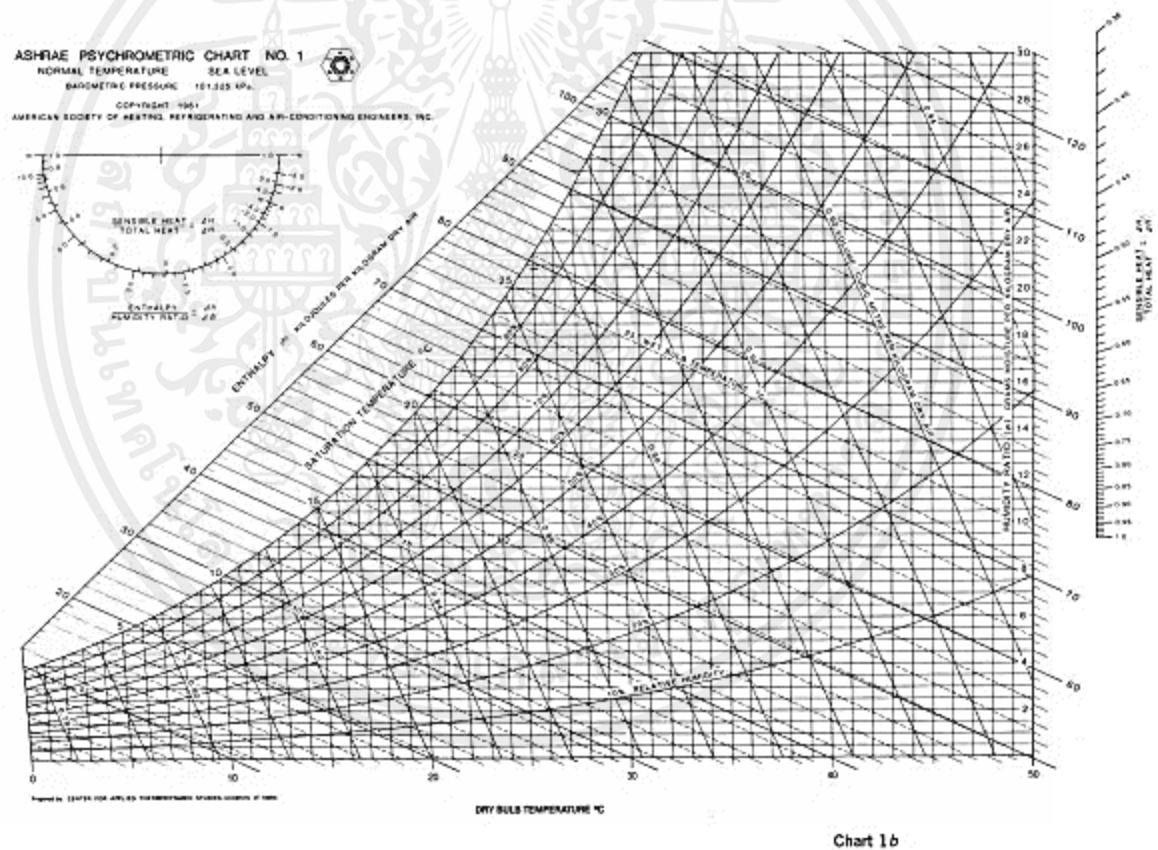
$$h = 1.003T_{db} + w(2501 + 1.779T_{db}) \quad (2.6)$$

เมื่อ h = เอนทัลปี (J/kg)

h_a = เอนทัลปีของอากาศแห้ง (J/kg)

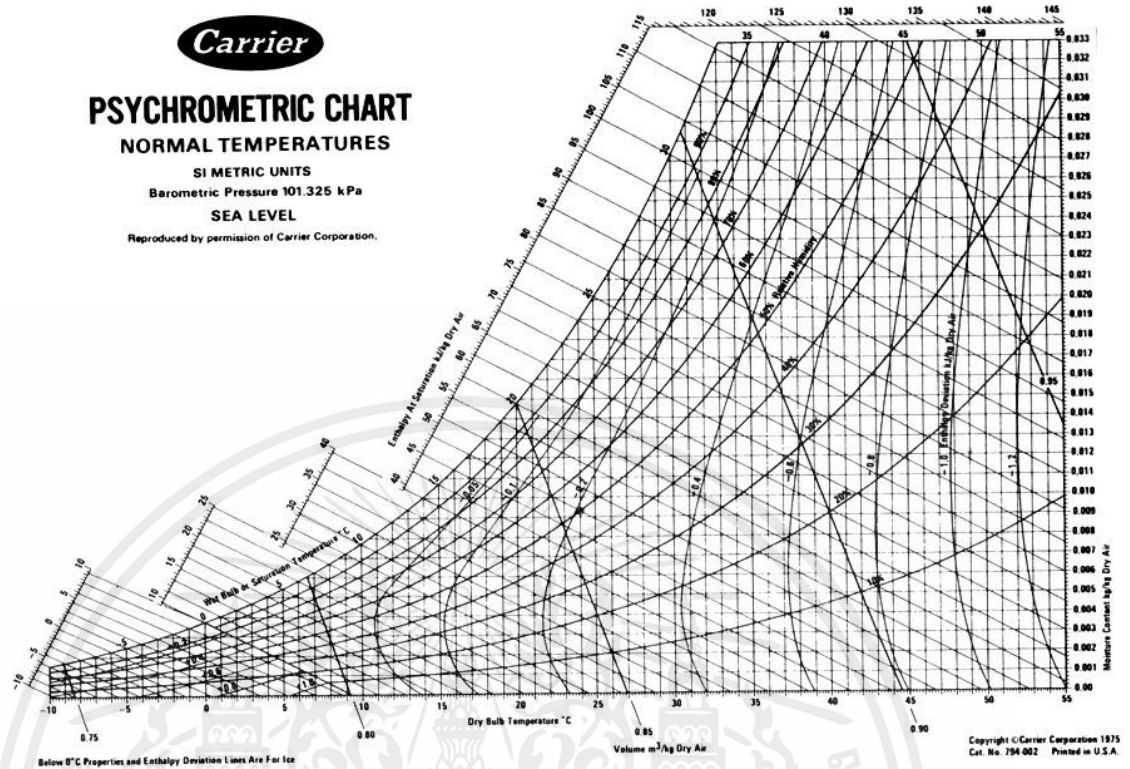
h_v = เอนทัลปีของไอน้ำ (J/kg) (iLLuSioN. 2557)

8. ค่าเบี่ยงเบนเอนทัลปี (Enthalpy Deviation) คือ เส้นโค้งในแนวดิ่งที่มีค่า -0.05, -0.1, -0.2 และค่าอื่นๆ ซึ่งเป็นค่าบอกค่าเอนทัลปีของอากาศชื้นในสถานะไม่อิ่มตัว เนื่องจากค่าเอนทัลปีที่อ่านได้จากแผนภาพความชื้นจะเป็นเอนทัลปีของอากาศอิ่มตัวเท่านั้น ดังนั้นจึงต้องมีค่าเบี่ยงเบนเอนทัลปี เพื่อคำนวณค่าเบี่ยงเบนเอนทัลปีที่ถูกต้องที่สุด (Patiparn. 2553)

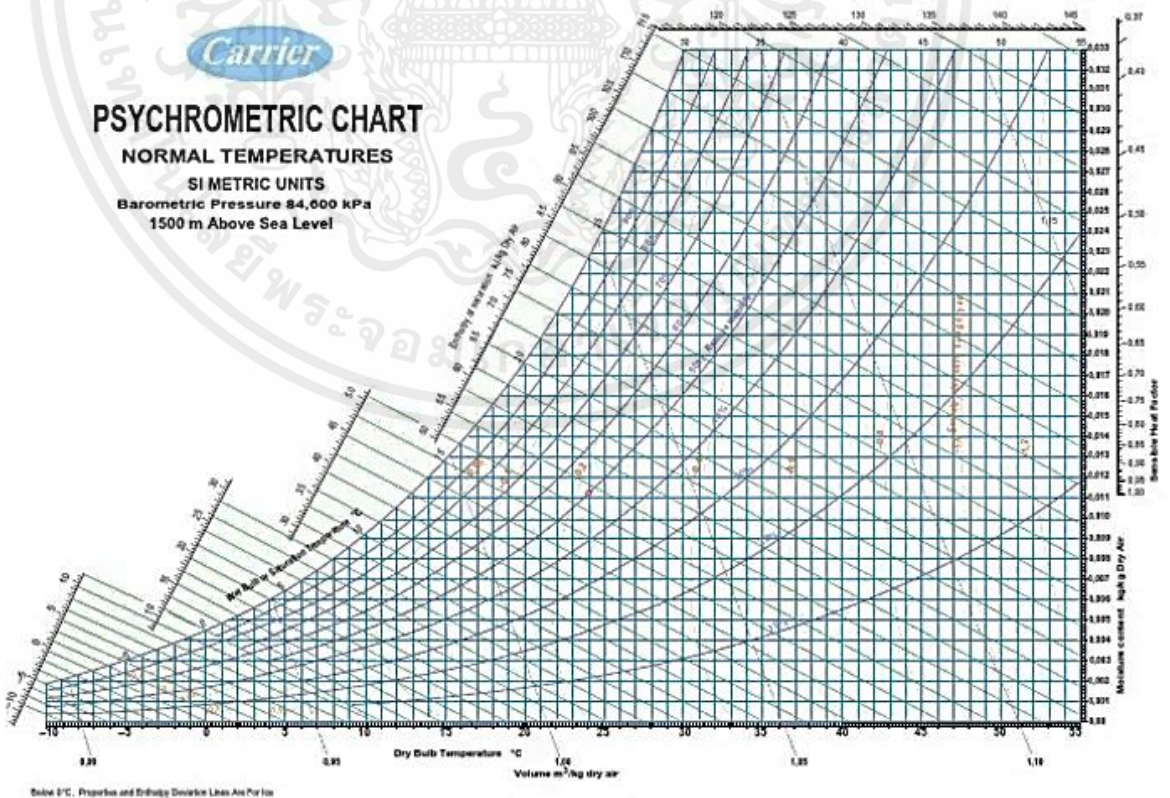


รูปที่ 2.11 ASHRAE Psychrometric Chart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 Carrier Psychrometric Chart, Sea Level



รูปที่ 2.13 Carrier Psychrometric Chart, Above Sea Level

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การออกแบบระบบน้ำของโรงเรือนแบบ Evaporative Cooling

2.5.1 ระบบน้ำของโรงเรือน Evaporative Cooling

ระบบน้ำสำคัญอย่างมากในด้านการเกษตร เช่นเดียวกับโรงเรือน Evaporative cooling ที่ต้องใช้น้ำในการแลกเปลี่ยนความร้อน จึงจำเป็นต้องมีการวางระบบท่อส่งน้ำและถังพักน้ำเพื่อที่จะสามารถวนน้ำมาใช้ในระบบได้อย่างต่อเนื่อง

ลักษณะการไหลของน้ำ บั้มจะดูดน้ำจากถังพักน้ำใต้ดิน ผ่านระบบ Evaporative Cooling ที่ Cooling pad แล้ววนกลับไปในถังพักใต้ดินเหมือนเดิม เป็นการใช้ระบบน้ำวนภายในโรงเรือน อุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าสู่ Cooling pad จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของน้ำในสภาวะปกติ

การออกแบบจะต้องคำนึงถึงขนาดของโรงเรือน, บั้มน้ำและท่อ เป็นต้น โดยบั้มน้ำ, ท่อ และข้อต่อที่เลือกใช้ คือ

2.5.1.1 บั้มแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal pump)

บั้มแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal pump) อาจเรียกว่า บั้มหอยโข่ง นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางตามบ้านเรือน, เกษตรกรรมและอุตสาหกรรม บั้มหอยโข่งสามารถรองรับของเหลวได้ในปริมาณมากและมีอัตราการไหลที่สูง โดยทั่วไปบั้มหอยโข่งถูกออกแบบมาใช้งานสำหรับของเหลวที่มีความหนืดต่ำ เช่น น้ำหรือน้ำมัน หากของเหลวมีความหนืดที่มากกว่า 10 หรือ 20 %wt จะต้องอาศัยแรงม้าที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.14 บั้มแบบหมุนเหวี่ยง

การทำงานของบั้มหอยโข่ง คือมอเตอร์จะสร้างพลังงานให้กระแสไฟฟ้าเกิดการไหลและเหวี่ยงให้ของเหลวเคลื่อนที่ตามทิศทางการหมุน โดยมีใบพัดและปลอกควบคุมทิศทางการไหลในบั้มหอยโข่งของเหลวจะเข้าไปในปลอก ตกลงบนใบพัดที่ตาของใบพัด หมุนวนตามแนวแกนและหมุนออกไปด้านนอกในแนวรัศมีจนกว่าใบพัดจะเข้าสู่ส่วนกระจายของปลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่ผ่านใบพัดนั้น ของเหลวจะได้รับทั้งความเร็วและความดันไปพร้อม ๆ กัน (Waterman. 2564)

2.5.1.2 ท่อ PVC

ท่อพีวีซี (Polyvinyl chloride - PVC) เป็นพลาสติกที่แข็งแรงที่สุดและใช้งานมากที่สุดในแต่ไม่ทนต่อสารละลาย มีใช้ทั้งในงานท่อที่ต้องรับความดันและท่อที่ไม่รับความดันเป็นที่ NSF (National Sanitation Foundation) ยอมรับให้ใช้เป็นท่อส่งน้ำดื่มได้ ใช้งานส่งน้ำประปา และท่อน้ำเสีย อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 65 °C ในต่างประเทศมีระดับความหนาที่สเกดูล 40 และ 80 เส้นผ่าศูนย์กลางระบุตั้งแต่ DN15 ถึง DN500 ท่อชนิดนี้จะไม่ติดไฟแต่ขณะถูกเผาจะเกิดก๊าซที่เป็นพิษ มีการผลิตท่อพีวีซีทนความร้อนได้สูงขึ้นเรียกว่า ซีพีวีซี (Chlorinated polyvinyl chloride - CPVC) ซึ่งได้รับการเพิ่มสารคลอรีนในโครงสร้าง เพื่อให้ทนอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 90 °C

ท่อ PVC ที่ผลิตขึ้นตามมาตรฐานมอก.17-2532 (ส่วนใหญ่เป็นสีฟ้าหรือสีขาว) เป็นท่อที่นิยมนำมาใช้ในงานสุขาภิบาลในอาคาร รหัส PVC-5, PVC-8.5 และ PVC-13.5 เป็นการระบุถึงความสามารถในการรับแรงดันของท่อ มีหน่วยเป็น bar หรือ kg/cm² ซึ่งหากใช้งานเป็นท่อประปาหรือท่อที่รับแรงดัน จะใช้ท่อ PVC-8.5 และ PVC-13.5 ส่วนท่อน้ำทิ้งที่ไม่ต้องรับแรงดันสามารถใช้ท่อ PVC-5 ได้ ท่อ PVC เหมาะสำหรับใช้งานภายในอาคารหรือในที่ร่มเท่านั้น ไม่ควรใช้กับภายนอกอาคารที่ต้องสัมผัสกับแสงแดด (ดุลยโชติ ชลศึกษ์. 2563 : 18,26)

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของวัสดุทำท่อ

วัสดุ	ความหนาแน่น ρ (kg/m ³)	ความเค้นคราก S_y (MPa)	ความเค้นสูงสุด S_u (MPa)	โมดูลัสความยืดหยุ่น E (Gpa)	สัมประสิทธิ์การขยายตัว α (10 ⁻⁶ K ⁻¹)	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน k (W/m K)	ความจุความร้อนจำเพาะ c_p (J/kg K)	จุดหลอมเหลว (°C)
โลหะ								
อลูมิเนียม	2,800	72	97	72	22.5	192	910	660
ทองแดง	8,940	69	220	110	16.5	398	385	1,082
ทองเหลือง	8,530	75	303	110	20	110	377	905
สแตนเลส 316	8,000	193	552	207	16	16	490	1,510
เหล็กเหนียวคาร์บอนปานกลาง	7,850	350	520	207	11.3	52	490	1,425
พลาสติก								
ABS	1,080	40	55	2.5	95	0.26	1,400	105
PVC	1,400	41	47	3.4	100	0.18	2,400	80
HDPE	950	27	30	3	225	0.42	2,000	130

* ค่าในตารางเป็นค่าอ้างอิงทั่วไปที่อุณหภูมิห้อง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบเท่านั้น คุณสมบัติด้านความแข็งแรง (ความเค้นครากและความเค้นสูงสุด) เบี่ยงเบนจากค่าในตารางได้มาก โดยโลหะซึ่งคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงตามองค์ประกอบและวิธีการชุบแข็ง และในพลาสติกคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงอย่างมากตามชนิดของสารเติมแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

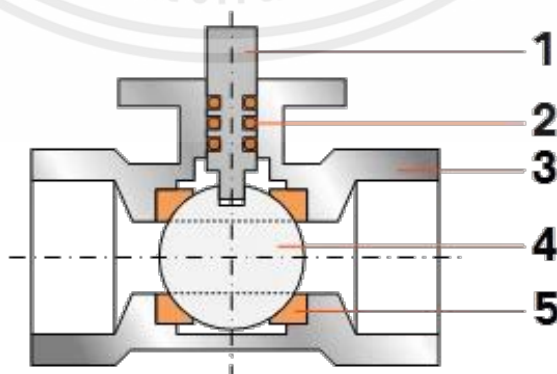
2.5.1.3 วาล์วและอุปกรณ์ต่อท่อต่างๆ

1. บอลวาล์ว (Ball valves) คือ วาล์วที่ใช้ในการควบคุมการเปิด-ปิดในการไหลของของเหลวหรือก๊าซ โดยใช้ลูกบอลโรตารีที่มีรูปแบบการทำงานด้วยการหมุนของลูกบอล โดยการหมุนลูกบอล 90 องศา หรือหนึ่งในสี่รอบ สามารถควบคุมปริมาณการไหลของของเหลวหรือก๊าซได้ตามที่ต้องการ บอลวาล์วมีจุดเด่นในเรื่องของอายุการใช้งานที่ยาวนาน มีความสามารถในการปิดผนึกที่เชื่อถือได้ตลอดอายุการใช้งาน ทำให้เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน สำหรับพีวีซีบอลวาล์วจะนิยมใช้การชลประทานน้ำประปาและการระบายน้ำ มีความทนทานต่อสารละลายเกลือ กรด-เบสและตัวทำละลายอินทรีย์ แต่ไม่ทนต่ออุณหภูมิสูงกว่า 60 °C ไฮโดรคาร์บอนที่มีกลิ่นหอม และคลอรีนทนต่อแรงดันได้ต่ำกว่าบอลวาล์วที่ทำจากทองเหลืองหรือสแตนเลส



รูปที่ 2.15 บอลวาล์ว

ส่วนประกอบหลักของบอลวาล์ว



รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบบอลวาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.1 ก้านวาล์ว (Valve stem)
- 1.2 โอริง (O-rings)
- 1.3 ตัวเรือนวาล์ว (Valve housing)
- 1.4 ลูกบอล (Ball)
- 1.5 ที่นั่งบอลวาล์ว (Valve seat) (บริษัทฟลูเทค จำกัด. 2566)

2. ฟุตวาล์วหรือสปริงฟุตวาล์ว (Foot Valve / Spring Foot Valve) หรือวาล์วหัวกะโหลก เป็นวาล์วกันการไหลย้อนกลับของน้ำด้วยระบบสปริงพร้อมตะแกรง ช่วยดักกรองตะกอนต่าง ๆ ไม่ให้ไหลเข้าปั๊ม ช่วยยืดอายุการใช้งานของปั๊มน้ำ ใช้สำหรับการกั้นน้ำให้คงอยู่ในท่อระหว่างปั๊มน้ำกับฟุตวาล์ว เมื่อมีการเปิดใช้งานปั๊ม จะไม่ต้องกรองน้ำระบบใหม่ โดยจะดูน้ำจากที่ต่ำกว่าปั๊มและจะต้องมีน้ำหล่อหรือล่อด้วยการเติมน้ำลงในปั๊ม ซึ่งน้ำจะเคลื่อนที่ลงไปใต้อัตโนมัติ สามารถติดตั้งได้ในแนวนอน, แนวตั้งและแนวทแยง เนื่องจากใช้สปริงในการควบคุมการไหลทันทันต่ออุณหภูมิสูง 110 °C (บริษัท โซคโพลีนมั่งคั่ง จำกัด. 2566)



รูปที่ 2.17 ฟุตวาล์ว

3. ข้ออฉาก 90 องศา (Elbow Connector) ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อส่งน้ำของการเดินท่อในลักษณะที่ต้องการหักมุมมากให้เปลี่ยนทิศทางเลี้ยวไปทางซ้ายหรือทางขวา เช่น การนำข้ออฉาก 90 องศาและท่อ 4 เส้นมาประกอบจะสามารถสร้างโครงสร้างท่อ PVC แบบสี่เหลี่ยมได้ การพิจารณาเลือกใช้ ควรใช้เป็นข้ออที่ที่มีความหนา ควรระวังเรื่องเศษพีวีซีที่อาจหลงเหลืออยู่ส่งผลให้กาวทาท่อไม่สามารถผสมสานท่อพีวีซีเข้าด้วยกันได้ (TITTECNx. 2564 ; VLine. 2562)



รูปที่ 2.18 ข้ออกฉากบาง 90 องศา



รูปที่ 2.19 ข้ออกฉาก 90 องศา

4. ข้อต่อสามทาง (Tee Connector) มีการใช้งานข้อต่อชนิดนี้เมื่อต้องการเพิ่มท่อส่งน้ำขึ้นอีก 1 เส้นทาง ต่อกับท่อส่งน้ำเส้นทางเดิม ควรเลือกใช้ข้อต่อสามทางฉากที่มีคุณภาพสูง เนื่องจากเป็นจุดที่ต้องรับแรงดันน้ำมากกว่าจุดอื่น เพราะเป็นทางแยกของเส้นทางการไหลของน้ำ ซึ่งอาจทำให้ข้อต่อดังกล่าวเกิดการแตก, ชำรุดเสียหายหรือเกิดการรั่วซึม (TITLECNx. 2564)



รูปที่ 2.20 ข้อต่อสามทางบาง



รูปที่ 2.21 ข้อต่อสามทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ข้อต่อตรง (Straight Connector) ข้อต่อตรงเป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่ใช้งานได้หลายรูปแบบ ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อส่งน้ำให้ติดเป็นเส้นเดียวกัน โดยการทากาวและการสวมท่อส่งน้ำเข้าทั้งสองด้าน ข้อต่อตรงมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ควรเลือกใช้ข้อต่อที่มีความหนา เนื่องจากข้อต่อที่มีความบางมีการแตกหักง่าย (TITTECNx. 2564)



รูปที่ 2.22 ข้อต่อตรง

6. ข้อต่อลดขนาด (Reduce connector) ทำหน้าที่ในการลดขนาดของท่อส่งน้ำมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกตรง ด้านหนึ่งจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าอีกด้านหนึ่ง การทำงานของข้อต่อลดจะมีแรงดันมากกว่าจุดอื่นของระบบท่อส่งน้ำ เนื่องจากแรงดันของน้ำจะถูกบีบอัดผ่านขนาดของท่อที่เล็กลง (TITTECNx. 2564)



รูปที่ 2.23 ข้อต่อลดขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. สวิงเช็ควาล์ว (Swing Check valve) เป็นวาล์วชนิดปิดกั้นของเหลว เพื่อให้ของเหลวไหลได้ในทิศทางเดียวติดตั้งได้เฉพาะในแนวนอนเท่านั้น วาล์วชนิดนี้จะทำงานโดยอัตโนมัติ คือ ของเหลวจะเคลื่อนที่ผ่านวาล์วไปในทิศทางที่ของเหลวไหลเข้าและหากเกิดแรงดันของของเหลวไหลย้อนกลับ ลิ้นที่อยู่ภายในวาล์วจะปิดกั้นทันที เพื่อไม่ให้ของเหลวเคลื่อนที่ย้อนกลับไปได้

โดยเช็ควาล์วที่มีคุณภาพนั้นต้องผลิตมาจากทองเหลืองที่มีคุณภาพเพื่อป้องกันการเกิดสนิมให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน (บริษัทป.ภวิน. 2565)



รูปที่ 2.24 สวิงเช็ควาล์ว

2.6 การออกแบบระบบน้ำของโรงเรียนแบบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling

2.6.1 ระบบน้ำของโรงเรียน Pre-Cooling

ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ป้อนน้ำจะดูดน้ำจากถังพักน้ำที่ออกจาก Evaporative Cooling มาเข้าสู่ครีบบระบายความร้อน แล้วไหลออกมาสู่ถังพักน้ำใต้ดิน อุณหภูมิของน้ำที่เข้าสู่ครีบบระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิต่ำ เมื่อน้ำไหลออกจากครีบบระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น เนื่องจากเกิดการถ่ายเทความร้อนกับอากาศแล้ว ระบบน้ำนี้จะมีการใช้ร่วมกับระบบการลดอุณหภูมิอากาศ Evaporative Cooling

การออกแบบระบบน้ำ จะต้องคำนึงถึงการเลือกปั๊มน้ำ ขนาดของท่อ PVC ขนาดของถังพักน้ำ โดยปั๊มน้ำ, ท่อและข้อต่อที่เลือกใช้ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1.1 ปัมป์แบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal pump)

ปัมป์แบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal pump) อาจเรียกว่า ปัมป์หอยโข่ง นิยมใช้อย่างกว้างขวางตามบ้านเรือน, เกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ปัมป์หอยโข่งสามารถรองรับของเหลวได้ในปริมาณมากและมีอัตราการไหลที่สูง โดยทั่วไปปัมป์หอยโข่งถูกออกแบบมาใช้งานสำหรับของเหลวที่มีความหนืดต่ำ เช่น น้ำหรือน้ำมัน หากของเหลวมีความหนืดที่มากกว่า 10 หรือ 20 %wt จะต้องอาศัยแรงม้าที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.25 ปัมป์แบบหมุนเหวี่ยง

การทำงานหลักของปัมป์หอยโข่ง คือมอเตอร์จะสร้างพลังงานให้กระแสไฟฟ้าเกิดการไหลและเหวี่ยงให้ของเหลวเคลื่อนที่ตามทิศทางการหมุน โดยมีใบพัดและปลอกควบคุมทิศทางการไหล ในปัมป์หอยโข่งของเหลวจะเข้าไปในปลอก ตกลงบนใบพัดที่ตาของใบพัด หมุนวนตามแนวแกน และหมุนออกไปด้านนอกในแนวรัศมีจนกว่าใบพัดจะเข้าสู่ส่วนกระจายของปลอก ในขณะที่ผ่านใบพัดนั้น ของเหลวจะได้รับทั้งความเร็วและความดันไปพร้อม ๆ กัน (Waterman. 2564)

2.6.2 ท่อ PVC

ท่อพีวีซี (Polyvinyl chloride - PVC) เป็นพลาสติกที่แข็งแรงที่สุดและใช้งานมากที่สุดแต่ไม่ทนต่อสารละลาย มีใช้ทั้งในงานท่อที่ต้องรับความดันและท่อที่ไม่รับความดันเป็นท่อที่ NSF (National Sanitation Foundation) ยอมรับให้ใช้เป็นท่อส่งน้ำดื่มได้ ใช้งานส่งน้ำประปา และท่อน้ำเสีย อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 65 °C ในต่างประเทศมีระดับความหนาที่สเกลดู 40 และ 80 เส้นผ่าศูนย์กลางระบุตั้งแต่ DN15 ถึง DN500 ท่อชนิดนี้จะไม่ติดไฟแต่ขณะถูกเผาจะเกิดก๊าซที่เป็นพิษ มีการผลิตท่อพีวีซีทนความร้อนได้สูงขึ้นเรียกว่า ซีพีวีซี (Chlorinated polyvinyl chloride - CPVC) ซึ่งได้รับการเพิ่มสารคลอรีนในโครงสร้าง เพื่อให้ทนอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 90 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่อ PVC ที่ผลิตขึ้นตามมาตรฐานมอก.17-2532 (ส่วนใหญ่เป็นสีฟ้าหรือสีขาว) เป็นท่อที่นิยมนำมาใช้ในงานสุขาภิบาลในอาคาร รหัส PVC-5, PVC-8.5 และ PVC-13.5 เป็นการระบุถึงความสามารถในการรับแรงดันของท่อ มีหน่วยเป็น bar หรือ kg/cm^2 ซึ่งหากใช้งานเป็นท่อประปาหรือท่อที่รับแรงดัน จะใช้ท่อ PVC-8.5 และ PVC-13.5 ส่วนท่อน้ำทิ้งที่ไม่ต้องรับแรงดันสามารถใช้ ท่อ PVC-5 ได้ ท่อ PVC เหมาะสำหรับใช้งานภายในอาคารหรือในที่ร่มเท่านั้น ไม่ควรใช้กับภายนอกอาคารที่ต้องสัมผัสกับแสงแดด (ดูลยโซติ ชลศึกษ์. 2563 : 18,26)

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของวัสดุทำท่อ

วัสดุ	ความหนาแน่น ρ (kg/m^3)	ความเค้นคราก S_y (MPa)	ความเค้นสูงสุด S_u (MPa)	โมดูลัสความยืดหยุ่น E (Gpa)	สัมประสิทธิ์การขยายตัว α (10^{-6} K^{-1})	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน k (W/mK)	ความจุความร้อนจำเพาะ c_p (J/kgK)	จุดหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$)
โลหะ								
อลูมิเนียม	2,800	72	97	72	22.5	192	910	660
ทองแดง	8,940	69	220	110	16.5	398	385	1,082
ทองเหลือง	8,530	75	303	110	20	110	377	905
สแตนเลส 316	8,000	193	552	207	16	16	490	1,510
เหล็กเหนียวคาร์บอนปานกลาง	7,850	350	520	207	11.3	52	490	1,425
พลาสติก								
ABS	1,080	40	55	2.5	95	0.26	1,400	105
PVC	1,400	41	47	3.4	100	0.18	2,400	80
HDPE	950	27	30	3	225	0.42	2,000	130

* ค่าในตารางเป็นค่าอ้างอิงทั่วไปที่อุณหภูมิห้อง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบเท่านั้น คุณสมบัติด้านความแข็งแรง (ความเค้นครากและความเค้นสูงสุด) เบี่ยงเบนจากค่าในตารางได้มาก โดยในโลหะซึ่งคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงตามองค์ประกอบและวิธีการชุบแข็ง และในพลาสติกคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงอย่างมากตามชนิดของสารเติมแต่ง



รูปที่ 2.26 Polyvinyl chloride (PVC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

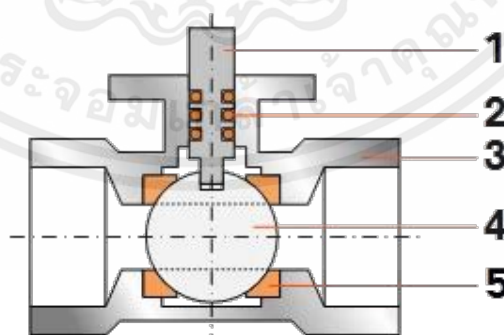
2.6.3 วาล์วและอุปกรณ์ต่อท่อต่างๆ

1. บอลวาล์ว (Ball valves) คือ วาล์วที่ใช้ในการควบคุมการเปิด-ปิดในการไหลของของเหลวหรือก๊าซ โดยใช้ลูกบอลโรตารีที่มีรูปแบบการทำงานด้วยการหมุนของลูกบอล โดยการหมุนลูกบอล 90 องศา หรือหนึ่งในสี่รอบ สามารถควบคุมปริมาณการไหลของของเหลวหรือก๊าซได้ตามที่ต้องการ บอลวาล์วมีจุดเด่นในเรื่องของอายุการใช้งานที่ยาวนาน มีความสามารถในการปิดผนึกที่เชื่อถือได้ตลอดอายุการใช้งาน ทำให้เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน สำหรับพีวีซีบอลวาล์วจะนิยมใช้การชลประทานน้ำประปาและการระบายน้ำ มีความทนทานต่อสารละลายเกลือ กรด-เบสและตัวทำละลายอินทรีย์ แต่ไม่ทนต่ออุณหภูมิสูงกว่า 60 °C ไฮโดรคาร์บอนที่มีกลิ่นหอม และคลอรีนทนต่อแรงดันได้ต่ำกว่าบอลวาล์วที่ทำจากทองเหลืองหรือสแตนเลส



รูปที่ 2.27 บอลวาล์ว

ส่วนประกอบหลักของบอลวาล์ว



รูปที่ 2.28 ส่วนประกอบบอลวาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.1 ก้านวาล์ว (Valve stem)
- 1.2 โอริง (O-rings)
- 1.3 ตัวเรือนวาล์ว (Valve housing)
- 1.4 ลูกบอล (Ball)
- 1.5 ที่นั่งบอลวาล์ว (Valve seat) (บริษัท ฟลูเทค จำกัด 2565)

2. วาล์วกันกลับ (Check valves) หรือเช็ควาล์ว เป็นอุปกรณ์ในระบบไฮดรอลิก ทำหน้าที่ควบคุมให้ของเหลวไหลไปในทิศทางเดียว เพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของของเหลวเมื่อไม่มีการเปิดใช้งานปั๊ม จึงมีการติดตั้งคู่กับปั๊มน้ำ เนื่องจากหากมีการไหลย้อนกลับของน้ำจะส่งผลให้การทำงานของระบบถูกรบกวนเกิดการรวน นำไปสู่อายุการใช้งานที่สั้นลง เช็ควาล์วที่นิยมใช้งานในประเทศไทย แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

2.1 สวิงเช็ควาล์ว (Swing Check valve) เป็นวาล์วชนิดปิดกั้นของเหลว เพื่อให้ของเหลวไหลได้ในทิศทางเดียว ติดตั้งได้เฉพาะในแนวนอนเท่านั้น วาล์วชนิดนี้จะทำงานโดยอัตโนมัติ คือ ของเหลวจะเคลื่อนที่ผ่านวาล์วไปในทิศทางที่ของเหลวไหลเข้า และหากเกิดแรงดันของของเหลวไหลย้อนกลับ ลึนที่อยู่ภายในวาล์วจะปิดกั้นทันที เพื่อไม่ให้ของเหลวเคลื่อนที่ย้อนกลับไปได้

โดยเช็ควาล์วที่มีคุณภาพนั้นต้องผลิตมาจากทองเหลืองที่มีคุณภาพเพื่อป้องกันการเกิดสนิมให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน (บริษัทป.กวิน. 2565)



รูปที่ 2.29 สวิงเช็ควาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ฟุตวาล์วหรือสปริงฟุตวาล์ว (Foot Valve / Spring Foot Valve) หรือวาล์วหัวกะโหลก เป็นวาล์วกันการไหลย้อนกลับของน้ำด้วยระบบสปริงพร้อมตะแกรงช่วยดักกรองตะกอนต่าง ๆ ไม่ให้ไหลเข้าปั๊ม ช่วยยืดอายุการใช้งานของปั๊มน้ำ ใช้สำหรับการกั้นน้ำให้คงอยู่ในท่อ ระหว่างปั๊มน้ำกับฟุตวาล์ว เมื่อมีการเปิดใช้งานปั๊ม จะไม่ต้องกรองน้ำระบบใหม่ โดยจะดูดน้ำจากที่ที่ต่ำกว่าปั๊ม และจะต้องมีน้ำหล่อหรือล่อด้วยการเติมน้ำลงในปั๊ม ซึ่งน้ำจะเคลื่อนที่ลงไปในตัวด้วย สามารถติดตั้งได้ในแนวนอน, แนวตั้งและแนวทแยง เนื่องจากใช้สปริงในการควบคุมการไหลทันทันต่ออุณหภูมิสูง 110 °C (บริษัทป.กวิ. 2565)



รูปที่ 2.30 ฟุตวาล์ว

3. ข้อต่อยูนิเวน (Unplasticized Polyvinyl chloride) เป็นข้อต่อที่เชื่อมระหว่างปั๊มหรืออุปกรณ์อื่น ๆ ให้สามารถเชื่อมต่อกับท่อได้สะดวก สามารถถอดหรือสวมใส่ได้สะดวกไม่ซับซ้อน หากต้องการซ่อมแซมท่อหรือปั๊มสามารถถอดข้อต่อยูนิเวนออก เพื่อเชื่อมต่อกับปั๊มตัวใหม่ได้ทันที ข้อต่อยูนิเวนเป็นพีวีซีที่ไม่มีการเติมสารเพิ่มความนิ่ม แต่มีการใส่สารเสริมสภาพและสารเติมแต่งอื่น ๆ เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของข้อต่อยูนิเวนให้ดีขึ้น โดยจะเพิ่มความทนทานต่อแสงแดด, ความชื้นและสภาพอากาศภายนอกที่อาจส่งผลต่อการใช้งาน ทนต่อสภาพความเป็นกรด-ด่าง โดยข้อต่อยูนิเวนเหมาะกับการใช้รับแรงดัน งานที่ต้องมีการถอดประกอบหลายครั้ง สามารถใช้ในการซ่อมท่อเมื่อเกิดการชำรุดหรือใช้ในการซ่อมปั๊มน้ำ โดยจะยกปั๊มน้ำ

ไปบนที่สูงกว่าระดับพื้นผิวดินได้ โดยไม่ต้องเปลี่ยนผังการวางท่อ และนิยมใช้ในงานท่อประปา (บริษัท โซคโพลินมั่งคั่ง จำกัด. 2566)



รูปที่ 2.31 ข้อต่อยูเนียน

4. ข้อต่อตรง (Straight Connector) ข้อต่อตรงเป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่ใช้งานได้หลายรูปแบบ ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อส่งน้ำให้ติดเป็นเส้นเดียวกัน โดยการทากาวและการสวมท่อส่งน้ำเข้าทั้งสองด้าน ข้อต่อตรงมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ควรเลือกใช้ข้อต่อที่มีความหนา เนื่องจากข้อต่อที่มีความบางมีการแตกหักง่าย (TITTECNx. 2564)



รูปที่ 2.32 ข้อต่อตรง

5. ข้องอฉาก 90 องศา (Elbow Connector) ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อส่งน้ำของการเดินท่อในลักษณะที่ต้องการหักมุมฉากให้เปลี่ยนทิศทางเลี้ยวไปทางซ้ายหรือทางขวา เช่น การนำข้องอฉาก 90 องศาและท่อ 4 เส้นมาประกอบจะสามารถสร้างโครงสร้างท่อ PVC แบบสี่เหลี่ยมได้ การพิจารณาเลือกใช้ ควรใช้เป็นข้องอที่มีความหนา ควรระวังเรื่องเศษพีวีซีที่อาจหลงเหลืออยู่ ส่งผลให้กาวทาท่อไม่สามารถผสานท่อพีวีซีเข้าด้วยกันได้ (TITTECNx. 2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 ข้อต่อฉาก

6. ข้อต่อสามทางฉาก (Tee Connector) มีการใช้งานข้อต่อชนิดนี้เมื่อต้องการเพิ่มท่อส่งน้ำขึ้นอีก 1 เส้นทาง ต่อแยกออกจากท่อส่งน้ำเส้นทางเดิม ควรเลือกใช้ข้อต่อสามทางฉากที่มีคุณภาพสูง เนื่องจากเป็นจุดที่ต้องรับแรงดันน้ำมากกว่าจุดอื่น เพราะเป็นทางแยกของเส้นทาง การไหลของน้ำ ซึ่งอาจทำให้ข้อต่อดังกล่าวเกิดการแตกชำรุดเสียหายหรือเกิดการรั่วซึม (TITLECNx. 2564)



รูปที่ 2.34 ข้อต่อสามทางฉาก

7. ข้อต่อเกลียวในและข้อต่อเกลียวนอก (Valves connector) ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่มีจุดต่อเป็นเกลียวนอกและเกลียวใน เช่น เครื่องสูบน้ำ, วาล์วน้ำ, ก๊อกน้ำ สำหรับข้อต่อตรงเกลียวในและเกลียวนอก ในส่วนของอุปกรณ์จะต้องมีเกลียวสำหรับใช้คีมจับหรือขันที่ปลายของข้อต่อด้านใดด้านหนึ่ง ไม่ควรเลือกซื้อข้อต่อตรงเกลียวในและเกลียวนอกที่ไม่มีเกลียวสำหรับใช้คีมจับหรือขัน เพราะจะส่งผลให้การหมุนเกลียวข้อต่อไม่แน่นและไม่สุดฟันเกลียว (TITLECNx. 2564)



รูปที่ 2.35 ข้อต่อเกลียวใน ข้อต่อเกลียวนอก

8. ข้อต่อสามทางวาย เป็นข้อต่อที่มีความสามารถทนแรงดันน้ำและแรงกดภายนอกท่อ เหมาะสำหรับการใช้เป็นข้อต่อเชื่อมในงานวางแนวท่อประปา เพื่อเพิ่มเส้นทางเดินท่อหักมุม 45 องศา เช่น ระบบน้ำภายในครัวเรือน, ระบบน้ำเพื่อการเกษตรหรือใช้ในงานเอนกประสงค์ (TITLERNx. 2564 ; homepro. 2566)



รูปที่ 2.36 ข้อต่อสามทางวาย

9. ข้อต่อลดขนาด (Reduce connector) ทำหน้าที่ในการลดขนาดของท่อส่งน้ำมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกตรง ด้านหนึ่งจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าอีกด้านหนึ่ง การทำงานของข้อต่อลดจะมีแรงดันมากกว่าจุดอื่นของระบบท่อส่งน้ำ เนื่องจากแรงดันของน้ำจะถูกบีบอัดผ่านขนาดของท่อที่เล็กลง (TITLERNx. 2564)



รูปที่ 2.37 ข้อต่อลดขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Strithorn Aupakham and Surasit Thiangchanta (2561 : 1-6) การศึกษาประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้หม้อน้ำรถยนต์ในการระบายความร้อนด้วยอากาศล่วงหน้า หม้อน้ำรถยนต์ถูกนำมาใช้เพื่อระบายความร้อนอากาศแวดล้อมที่ไหลเข้าโดยน้ำหล่อเย็น ระบบทำความเย็นแบบระเหยประกอบด้วยแผงทำความเย็นแบบระเหยที่มีอัตราการน้ำสูงสุด 40 L min^{-1} และอัตราการสูงสุด $5,100 \text{ m}^3 \text{ hr}^{-1}$ ผลปรากฏว่าอัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมที่สุดของหม้อน้ำคือ 10 Lmin^{-1} และหม้อน้ำนี้สามารถสร้างความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศได้ประมาณ $8.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ผลความแตกต่างของอุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่แปรผันตามอุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าแสดงว่าความแตกต่างของอุณหภูมิเกือบมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าสูงขึ้นและความแตกต่างของอุณหภูมิแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำไหลเข้าเพิ่มขึ้น ผลการทดลองพบว่า หม้อน้ำรถยนต์ขนาดกลางมีความแตกต่างของอุณหภูมิมากที่สุด รายละเอียดผลความแตกต่างของอุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่แปรผันตามอุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้า

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ติกะ บุณนาค และคณะ (2563 : 97) การทดลองภายใต้เงื่อนไขการทดลองใน 3 สภาวะ คือ ห้องปิด, ห้องเปิดและภายนอกอาคาร โดยมีเงื่อนไขการทดลองอีก 2 เงื่อนไขย่อย คือ ปริมาณน้ำและความเร็วลมโดยในแต่ละเงื่อนไขย่อยจะถูกแบ่งออกเป็นหลายรูปแบบดังนี้ ปริมาณน้ำมี 2 รูปแบบ คือ 40 L และ 50 L ความเร็วลมแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 2.7, 3.1 และ 4.6 ms^{-1} ผลการทดสอบพบว่า สภาวะในห้องปิดและห้องเปิดมีความชื้นมากกว่า 75% ซึ่งทำให้ผู้อยู่อาศัยอึดอัด, ไม่สบายและเสี่ยงต่อการเกิดโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ เช่น โรคปอดบวม เป็นต้น ดังนั้น สภาวะห้องปิดและห้องเปิดจึงไม่เหมาะสมต่อการใช้งานพัดลมแบบระเหยน้ำ ดังนั้น สภาพภายนอกอาคารจึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการใช้งาน เมื่อเทียบกับสภาวะทั้ง 2 ข้างต้น ระบบพัดลมเย็นแบบระเหยน้ำนี้ยังไม่สามารถทำอุณหภูมิให้ต่ำกว่า $27 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ได้และมีความชื้นสูงอาจไม่เหมาะสมกับการใช้งานในบ้านเรือนทั่วไป ซึ่งมีข้อเสนอแนะดังนี้ คือ การใช้น้ำไหลอยู่ในท่อแล้วให้พัดลมเป่าผ่านท่ออีกครั้งหนึ่ง เพื่อช่วยในการลดอุณหภูมิอากาศโดยไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้น

ศูนย์วิจัย CIIMBITAL มหาวิทยาลัยอัลเมริอา (2562 : 23) ศึกษาการทำทำความเย็นแบบระเหยเพื่อรักษาพืชในการลดอุณหภูมิที่อากาศเข้าและรักษาปริมาณความชื้นให้เพียงพอสำหรับการผลิตพืช การทำความเย็นแบบระเหยช่วยควบคุมสภาพอากาศของโรงเรือน อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงในช่วงฤดูร้อนส่งผลเสียต่อการผลิตพืชผล ในพื้นที่ที่มีความชื้นต่ำ โรงเรือนที่ติดตั้งแผ่นทำความเย็นแบบระเหยและพัดลมสามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนเมื่อเทียบกับภายนอกได้ระหว่าง 4 ถึง $6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ การลดอุณหภูมินี้อาจมากขึ้น ระหว่าง 4 ถึง $12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ หากใช้ร่วมกับระบบบังแดด การศึกษาในโรงเรือนที่ตั้งอยู่ในเขตชายฝั่งเขตร้อนและกึ่งเขตร้อนที่มีความชื้นในสิ่งแวดล้อมสูงได้วิเคราะห์ผลกระทบของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉากบังแดดร่วมกับระบบแผ่นทำความเย็นแบบระเหยและพัดลม การรวมกันของระบบนี้ช่วยลด
อุณหภูมิภายในเรือน, เพิ่มคุณภาพการผลิตและผลผลิต การทำความเย็นแบบระเหยช่วยให้สามารถ
เพาะปลูกได้ในช่วงฤดูร้อนเริ่มเพาะปลูกเร็วขึ้น รวมทั้งปรับเปลี่ยนระยะเวลาการผลิตสูงสุด

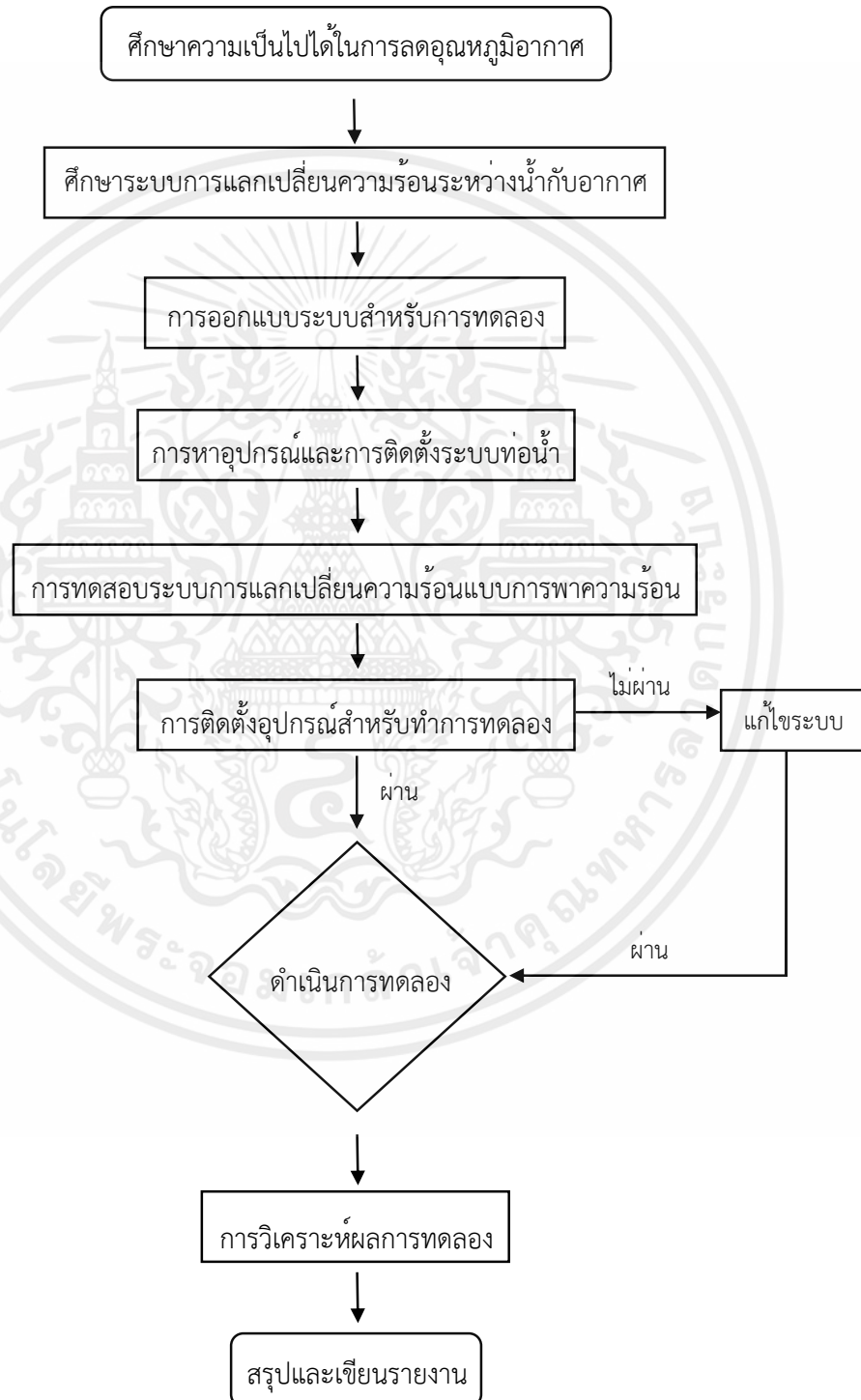


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 แผนผังการดำเนินงาน



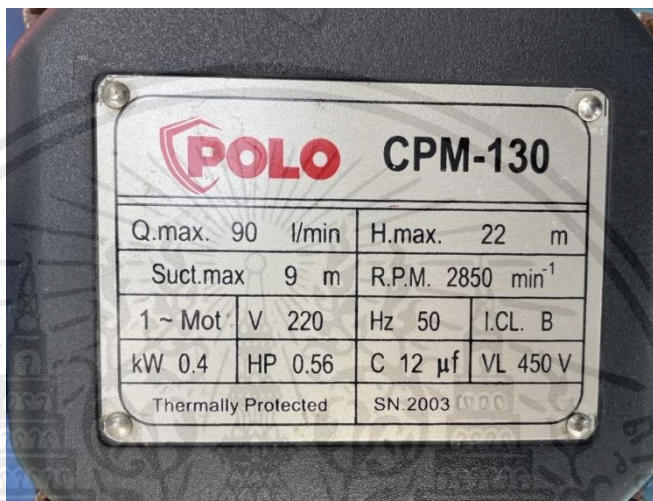
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ และการเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดลอง

3.1.1 อุปกรณ์

- | | | |
|------------------|---|------|
| 1. หม้อน้ำรถยนต์ | 1 | ชิ้น |
| 2. ปั๊ม | 1 | ตัว |

ปั๊มน้ำ POLO รุ่น CPM-130



รูปที่ 3.1 Name plate ของปั๊ม

คุณสมบัติ

- 1) เรือนปั๊มทำจากเหล็กหล่อ ชุบกันสนิม
- 2) ขดลวดมอเตอร์ผลิตจากทองแดง
- 3) ไบพัดผลิตจากทองเหลือง ทำให้ไม่เป็นสนิม
- 4) แกนเพลลาทำมาจากสแตนเลสสตีล เกรด 304
- 5) มีวงจรรองกันมอเตอร์ร้อนเกินที่กำหนด
- 6) ตัวเครื่องมีความแข็งแรงและทนทาน

ข้อมูลจำเพาะ

- 1) แรงดันไฟฟ้า : 220 V
- 2) กำลังมอเตอร์ : 0.4 kW (0.56 hp)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) ขนาดท่อดูด : 1 inch และท่อส่ง 1 inch
 - 4) อัตราการไหล : 90 liter min⁻¹
 - 5) ระยะด้านส่งสูงสุด (เฮด) : 22 m
 - 6) ระยะด้านดูดสูงสุด (เฮด) : 9 m
 - 7) การป้องกันฝุ่นและน้ำ IP44
3. เครื่องวัดความเร็วลม Testo 435 1 เครื่อง

ข้อมูลเทคนิคของ Testo 435

Parameter/Probe type	Measuring range	Accuracy	Resolution
Temperature/NTC	-50...+150°C	±0.2°C (-25.0...+74.9°C) ±0.4°C (-50.0...+25.1°C) ±0.4°C (+75.0...+99.9°C)	0.1°C
	-58...+302°F	±0.5% of reading (rest of range) ±0.4°F (-13.0...+166.9°F) ±0.8°F (-58.0...+13.1°F) ±0.8°F (+167.0...+211.9°F) ±0.5% of reading (rest of range)	0.1°F
Temperature/ Type K/T	-200...+1370°C	±0.3°C (-60.0...+60.0°C) ±0.5% of reading (rest of range)	0.1°C
	-328...+2498°F	±0.6°F (-76.0...+140.0°F) ±0.5% of reading (rest of range)	0.1°F
Relative humidity/ humidity probe	0...+100%RH	Depends on probe	0.1%RH
Flow velocity/vane	Vane 16mm: 0...+60m/s	Depends on probe	0.1m/s
	Vane 60mm: 0...+20m/s	Depends on probe	0.01m/s
Flow velocity/ hot wire probe	0...+20m/s	Depends on probe	0.01m/s
Pressure/absolute pressure probe	0...+2000hPa	Depends on probe	0.1hPa
CO ₂ /IAQ probe	0...+10000ppm	Depends on probe	1ppm
Lux/Lux probe (testo 435-2/-4 only)	0...10000Lux	Depends on probe	1Lux
Pressure/internal differential pressure probe (testo 435-3/-4 only)	0...+25hPa	±0.02hPa (0...+2hPa) ±1% of reading (rest of range)	0.01hPa
Characteristic	Value		
Probe connections	1x Omega TC socket, 1x Mini-DIN socket, radio module (accessory), 435-3/-4 only: 2x pressure nipple		
Memory	435-2/-4 only: max. 99 locations, up to 10000 readings (depending on number of locations, protocols, channels)		
Battery life	160h (typical for vane measurement)		
Power supply	3x mignon battery (included in delivery)/rechargeable battery or mains unit (accessory part)		
Housing material	ABS/TPE/metal		
Dimensions	225 x 74 x 46mm		
Operating temperature range	-20...+50°C		
Storage temperature	-30...+70°C		
Measuring rate	2/s		
EC Directive	89/336/EEC		
Warranty	Instrument: 2 years		

หัวโพรบที่ใช้ คือ Hot wire probe for ms⁻¹ and °C, ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวโพรบ 7.5 mm, ความยาวของด้ามจับสูงสุด 820 mm สามารถวัดค่าความเร็วของอากาศได้ 0 ถึง 20 m s⁻¹ และ -20 ถึง 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เทอร์โมมิเตอร์	1	อัน
5. เครื่องวัดอุณหภูมิ FLUKE	1	เครื่อง

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจำเพาะด้านสภาพแวดล้อม

อุณหภูมิขณะทำงาน	-10 °C ถึง 50 °C (14 °F ถึง 122 °F)
อุณหภูมิขณะเก็บรักษา	-40 °C ถึง 60 °C (-40 °F ถึง 140 °F)
ความชื้นสัมพัทธ์	ไม่กลั่นตัว <10 °C (<50 °F) 95 % RH: 10 °C ถึง 30 °C (50 °F ถึง 86 °F) 75 % RH: 30 °C ถึง 40 °C (86 °F ถึง 104 °F) 45 % RH: 40 °C ถึง 50 °C (104 °F ถึง 122 °F)

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลจำเพาะด้านต่าง ๆ ทั่วไป

น้ำหนัก	280 g (10 oz)
ขนาดสัดส่วน (โดยไม่มีปลอก)	2.8 x 7.8 x 16.2 cm (1.1 x 3 x 6.4 inch)
แบตเตอรี่	แบบ AA สามก้อน
การออกใบรับรอง	CE, RoHS
ความปลอดภัย	CAN/CSA C22.2 N0.61010-1-04, ANSI/UL 61010-1:2004, EN/IEC 61010-1:2001
EMC	EN/IEC 61326-1:2006
CAT I	แรงดันไฟฟ้าเกินกำลัง (OVERVOLTAGE) (ในการติดตั้ง) ประเภท I อัตราสมลภาวะ 2 ตีกรีต่อ IEC1010-1
*อ้างอิงถึงระดับการป้องกัน Impulse Withstand Voltage ที่มีให้ ไม่ควรติดตั้งผลิตภัณฑ์ประเภท 1 กับแผงวงจรหลัก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLUKE 80PK-22 Suregrip, Immersion Temperature Probe

ออกแบบมาเพื่อใช้ในของเหลวและเจล สามารถใช้เป็นหัววัดอุณหภูมิเอนกประสงค์ได้ สายเทอร์โมคัปเปิลได้รับการปกป้องตั้งแต่ปลายถึงด้ามจับด้วยปลอก Inconel 80PK-22 สามารถใช้กับเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ออกแบบมาเพื่อยอมรับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K และมีอินพุตคอนเน็กเตอร์ขนาดเล็ก

คุณสมบัติ

- 1) อุณหภูมิต่ำสุด -40 °C (-40 °F)
 - 2) อุณหภูมิสูงสุด 1090 °C (1994 °F)
 - 3) ความยาวของโพรบ ช่วงเซนเซอร์ (แท่งเหล็ก) 21.27 cm (8.375 Inch)
 - 4) ความยาวของสาย 1 m Thermocouple Type : K
- | | | |
|-----------------------------------|----|------|
| 6. ฝาเจอร์บอร์ต 80x60 cm | 6 | แผ่น |
| 7. ลวด | 1 | ม้วน |
| 8. ท่อ PVC 2 inch | 1 | เส้น |
| 9. ท่อ PVC 1 inch | 2 | เส้น |
| 10. ท่อ PVC ½ inch | 8 | เส้น |
| 11. ท่อลดขนาด 1½ inch เป็น ½ inch | 2 | ตัว |
| 12. ข้อต่อสามทางวาย 2 inch | 1 | ตัว |
| 13. ข้อต่องอ 90 องศา 2 inch | 1 | ตัว |
| 14. ข้อต่อตรง ½ inch | 2 | ตัว |
| 15. ข้อต่องอ 90 องศา ½ inch | 26 | ตัว |
| 16. ข้อต่อสามทาง ½ inch | 9 | ตัว |
| 17. ข้อต่อสี่ทาง ½ inch | 2 | ตัว |
| 18. ข้อต่อยูเนียน 2 inch | 2 | อัน |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19. ข้อต่อเกลีวยวนอก เกลีวยวนใน	1	ชุด
20. ท่อยาง 1½ inch	1	ท่อน
21. บอลวาล์ว 2 inch	2	ชิ้น
22. บอลวาล์ว ½ inch	2	ตัว
23. ฟุตวาล์ว 1 inch	1	ตัว
24. วาล์วกันกลับ 2 inch	1	ตัว
25. เข็มขัดรัดท่อ	1	ตัว
26. ยางในล้อรถ	1	เส้น
27. กาวทาท่อ PVC	2	กระปุก
28. เลื่อยตัดท่อ PVC	2	อัน
29. พลาสติกใส 2x10 m	1	อัน
30. เคเบิลไทร์	1	ท่อ
31. สำลี	1	ท่อ
32. เชือก	1	เส้น
33. บีกเกอร์	1	อัน
34. เครื่องชั่งน้ำหนัก	1	เครื่อง
35. สว่านมือ	1	เครื่อง
36. Hole Saw	1	ชิ้น
37. คีมจับ คีมตัดลวด คีมลีด	3	อัน
38. ค้อน	1	อัน
39. ตะไบ	1	อัน
40. กรรไกร	2	เล่ม
41. คัตเตอร์	2	ด้าม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

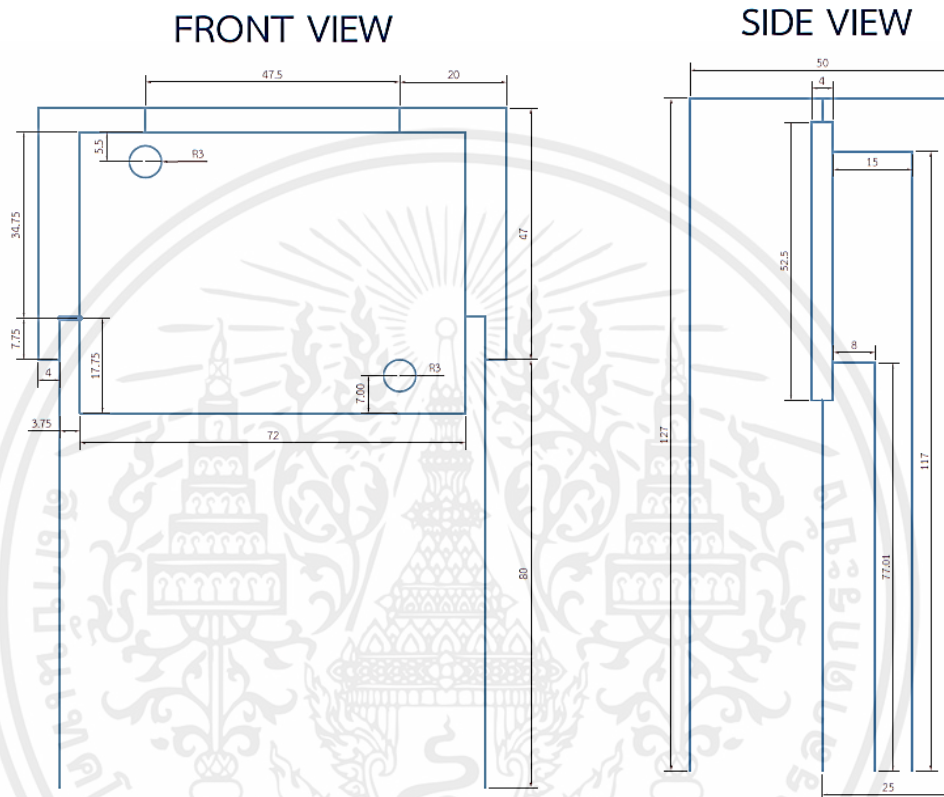
42. ปากกาจับชิ้นงาน	1	ชิ้น
43. ถังพลาสติก 200 L	1	ถัง
44. ถังพลาสติก 15 L	1	ถัง
45. เทปพันเกลียว	2	ม้วน
46. เทปพันสายไฟ	2	ม้วน
47. เทปแลคซีน	5	ม้วน
48. ปลั๊กสามขา	1	อัน
49. สายไฟ 3x1.5	10	เมตร
50. ตลับเมตร	1	ตลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดลอง

3.2.2.1 การออกแบบและติดตั้งระบบทำความเย็น

ระบบทำความเย็นใช้หม้อน้ำรถยนต์ ครัวระบายความร้อน ความกว้าง 72 cm ความยาว 59.5 cm ความหนา 4 cm ทำฐานและโครงจากท่อ PVC สำหรับติดตั้งหม้อน้ำให้มีความสูงเท่ากับ Cooling pad

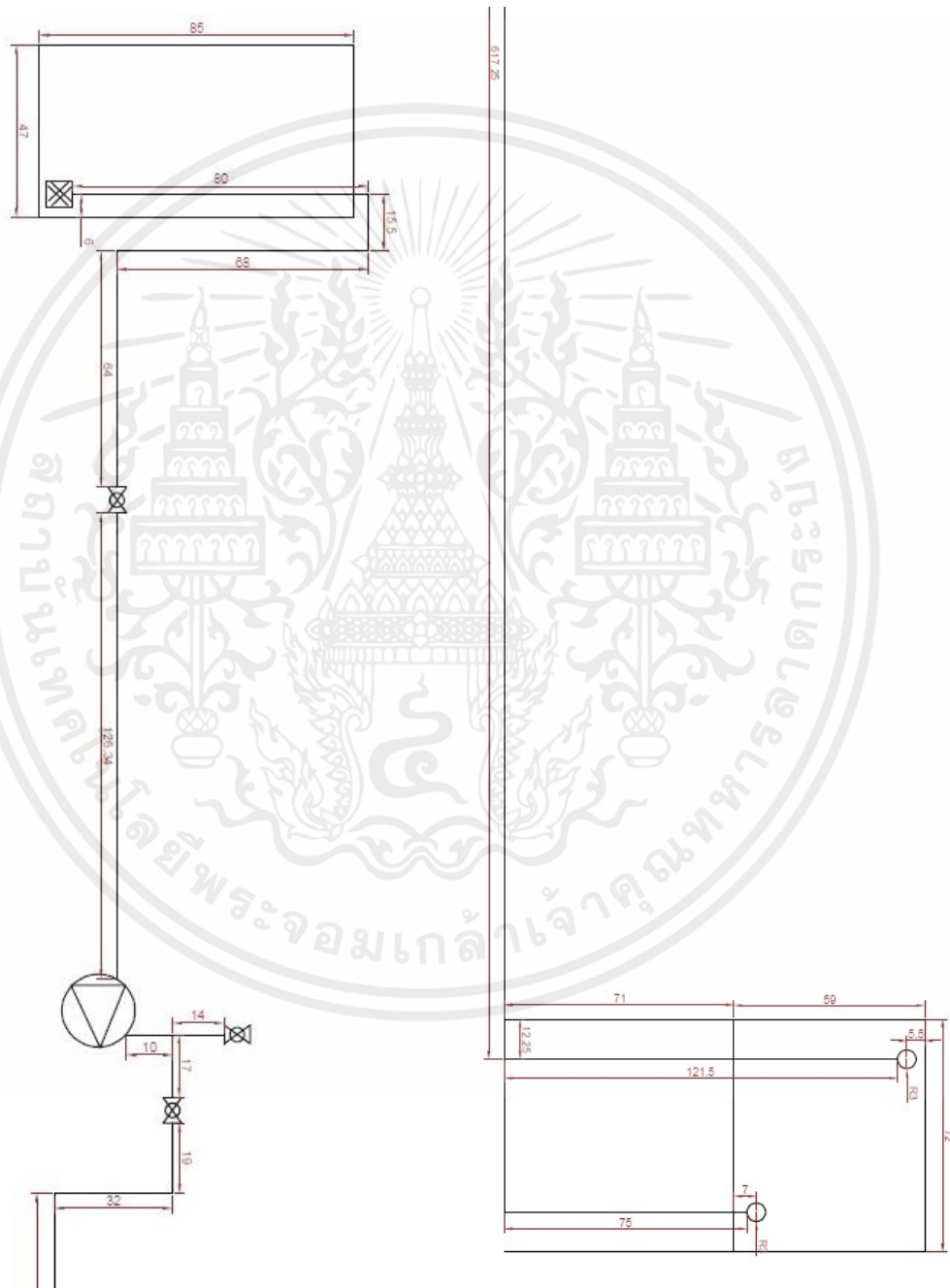


รูปที่ 3.2 ขนาดหม้อน้ำและฐานตั้งหม้อน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

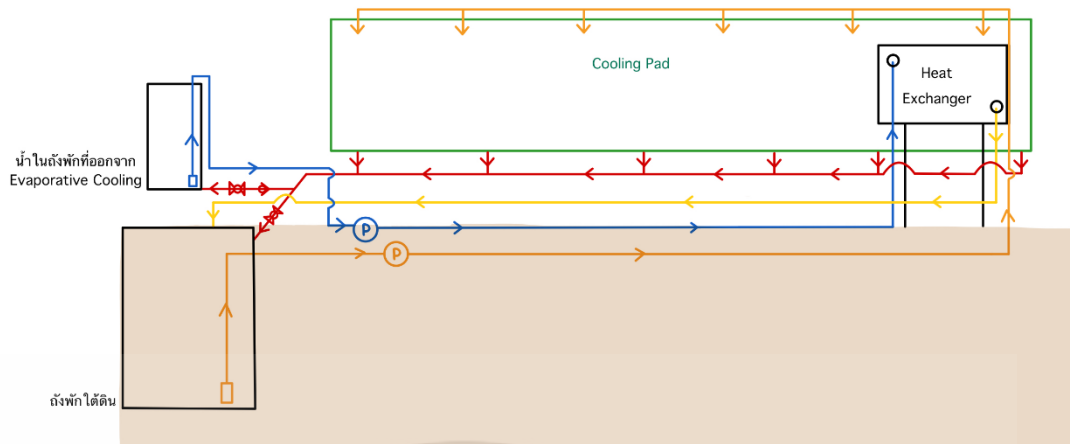
3.2.2.2 การออกแบบและติดตั้งระบบท่อและปั๊ม

อัตราการไหลของน้ำ เป็นปริมาณของน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่หนึ่งในหนึ่งหน่วยเวลา โดยวัดเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (m^3s^{-1}) หรือลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (m^3h^{-1}) หรือลูกบาศก์เมตรต่อวัน (m^3d^{-1}) ขึ้นอยู่กับการวัดและการคำนวณ สามารถเขียนสมการได้ดังนี้ (ดุลยโชติ ชลศึกษ์. 2563 : 75)



รูปที่ 3.3 แผนผังท่อระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling
ร่วมกับระบบ Evaporative Cooling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แผนภาพทางเดินน้ำของการต่อระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับระบบ Evaporative Cooling

การเลือกปั๊มน้ำ สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Q = AV \quad (3.1)$$

โดยที่ Q คือ อัตราการไหล (m^3s^{-1})
 A คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)
 V คือ ความเร็วในการไหล (ms^{-1})

เมื่อ $A = \pi \frac{D^2}{4}$

โดยที่ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)

ในการแยกการไหลว่าจะเป็นการไหลแบบเป็นชั้นไหลแบบราบเรียบ (Laminar) หรือเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent) สามารถแยกได้โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ ที่ไม่มีมิติที่เรียกว่า "ค่าเรย์โน Re (Reynolds Number)" เป็นตัวกำหนดในการแยกการไหล สามารถเขียนสมการได้ดังนี้ (ดูลยโซติ ชลศึกษ์. 2563 : 73)

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (3.2)$$

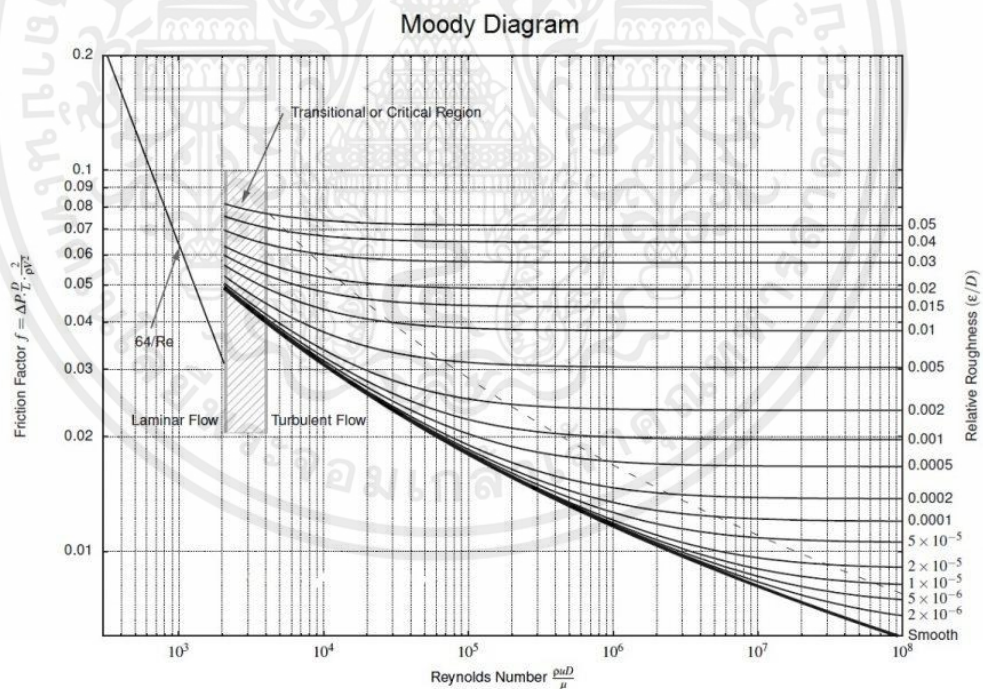
โดยที่ Re คือ Reynolds number
 V คือ ความเร็วในการไหล (m s^{-1})
 D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)
 ν คือ ความหนืดเชิงจลน์ ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ใช้ในการทำนายการสูญเสียหลัก (Major loss) คือ สมการของดาร์ซีและไวซบัค (Darcy-Weisbach equation) สามารถเขียนในรูปของเฮดได้ดังนี้ (ดูลยโชติ ชลศึกษ์. 2563 : 81)

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (3.3)$$

โดยที่ h_f คือ ความดันสูญเสียวัดเป็นความสูงของของเหลว (m)
 L คือ ความยาวของท่อ (m)
 D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)
 V คือ ความเร็วในการไหล (m s^{-1})
 g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 m s^{-1})
 f คือ ค่าประกอบความเสียดทานของท่อ สามารถหาได้จากกราฟของมูดี้ (Moody Chart Diagram)



รูปที่ 3.5 Moody Chart Diagram (Cassidy S. 2017)

การหาค่า f จากกราฟอาจไม่สะดวก สามารถหาค่าประมาณที่ใกล้เคียงได้จากสมการ (ดูลยโชติ ชลศึกษ์. 2563 : 83)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right]^2} \quad \text{เมื่อ } Re > 10,000 \quad (3.4)$$

โดยที่	f	คือ	ค่าประกอบความเสียดทานของท่อ
	ε	คือ	ค่าความหยาบท่อ (mm)
	D	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (mm)
	Re	คือ	Reynolds number

ชนิดท่อ	ความหยาบ ε (mm)	สัมประสิทธิ์ความหยาบ C
ท่อทองแดง ทองเหลือง และ อลูมิเนียม	0.001 - 0.002	130-150
ท่อพีวีซี และพลาสติก	0.0015 - 0.007	140-150
ท่อสแตนเลส	0.015	120-150
ท่อเหล็กทั่วไป	0.045 - 0.09	120-140
ท่อเหล็กหล่อ	0.25 - 0.8	100-120

รูปที่ 3.6 ตารางความหยาบของท่อสำหรับใช้ความดันตก

การสูญเสียรอง (Minor loss) เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของการไหล เมื่อของไหลไหลผ่านข้อต่อ, ข้องอและวาล์ว สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$h_m = K \frac{v^2}{2g} \quad (3.5)$$

จากสมการข้างต้น หากคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความดัน สามารถเขียนสมการได้ดังนี้ (ดูลยโซติ ชลศึกษ์. 2563 : 86)

$$h_m = \xi Q^2 \quad (3.6)$$

โดยที่	h_m	คือ	ความดันสูญเสียเนื่องจากข้อต่อและวาล์ว (m)
	ξ	คือ	ค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับความหนืดของของไหล ความหยาบของท่อและขนาดของท่อ
	Q	คือ	อัตราการไหล (m^3s^{-1})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\xi = \frac{8K}{\pi^2 D^4 g}$$

โดยที่	ξ	คือ	ค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับความหนืดของของไหล ความหยาบของท่อและขนาดของท่อ
	D	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)
	g	คือ	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 m s^{-1})

ข้อต่อ	K
ช่องอฉาก	0.25
ช่องอฉากรัศมีใหญ่	0.18
ช่องอ 45 องศา	0.18
ข้อต่อสามทาง (ไหลตรง)	0.30
ข้อต่อสามทาง (ท่อกิ่ง)	0.75
ข้อต่อตัววาย	0.50
ทางเข้า	
-ปากแตร	0.05
-ขอบมน	0.25
-ขอบเหลี่ยม	0.50
-ท่อยื่น	0.80
ทางออก	1.00

หมายเหตุ

- ให้เพิ่มค่า K สำหรับท่อที่เล็กกว่า 300 มม. โดย 5% ทุกๆ 25 มม. ที่ขนาดลดลง
- ค่าในตารางเป็นค่าประมาณ อาจคลาดเคลื่อนได้มากกว่า -20% ถึง 30%

รูปที่ 3.7 ตารางค่า K ในข้อต่อ (ดลยโชติ ชลศึกษ์. 2563 : 87)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

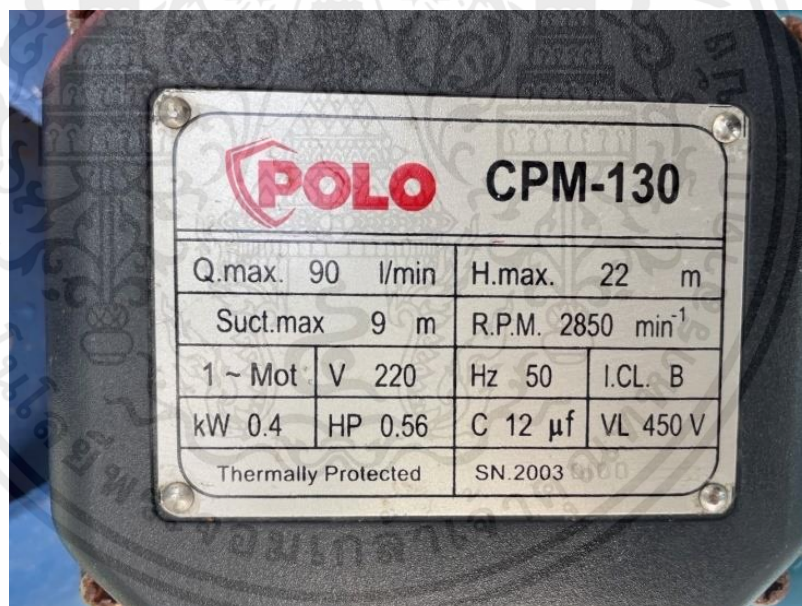
วาล์ว	K
บอลวาล์ว	0.04
วาล์วปีกผีเสื้อ	0.16 – 0.35
โก๊ลบวาล์ว	4.0 – 6.0
โก๊ลบวาล์วหักมุม (Angle valve)	1.8-2.9
เกทวาล์ว	0.1 – 0.3
เข็ควาล์วแบบสวิง	0.6 – 2.2

หมายเหตุ

- สำหรับวาล์วขนาด 300 มม. ที่ความเร็วของไหลประมาณ 2 m/s วาล์วขนาดเล็กจะมีค่า K สูงขึ้น
- ค่าในตารางเป็นค่าประมาณ อาจคลาดเคลื่อนได้มากกว่า -20% ถึง 50%

รูปที่ 3.8 ตารางค่า K ในวาล์วขณะเปิดเต็มที่ (ดูลยโซติ ชลศีกษ์. 2563 : 88)

การคำนวณหา Head ปัม



รูปที่ 3.9 Nameplate ของปั้มน้ำที่นำมาใช้ในระบบ Pre-Cooling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 อัตราการไหลของน้ำในระบบการลดอุณหภูมิ Pre-Cooling

อัตราการไหลของน้ำในระบบการลดอุณหภูมิ Pre-cooling			
ครั้งที่	kg min ⁻¹	ครั้งที่	kg min ⁻¹
1	37.2	11	36.0
2	37.2	12	37.2
3	37.2	13	36.6
4	37.2	14	37.2
5	37.2	15	37.2
6	37.2	16	37.2
7	37.2	17	36.0
8	37.2	18	37.2
9	37.2	19	36.6
10	37.2	20	37.2
อัตราการไหลรวม (kg min-1)		740.4	
อัตราการไหลเฉลี่ย (kg min-1)		37.02	

ตารางที่ 3.4 อัตราการไหลของน้ำในระบบ Evaporative Cooling

อัตราการไหลของน้ำในระบบ Evaporative cooling			
ครั้งที่	kg min ⁻¹	ครั้งที่	kg min ⁻¹
1	134.4	11	153.6
2	153.6	12	158.4
3	141.6	13	139.2
4	160.8	14	162.0
5	144.0	15	148.8
6	133.2	16	141.6
7	163.2	17	141.6
8	146.4	18	165.6
9	156.0	19	145.2
10	144.0	20	144.0
อัตราการไหลรวม (kg min-1)		2977.2	
อัตราการไหลเฉลี่ย (kg min-1)		148.9	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_{\max} = 90 \text{ L min}^{-1} = 0.09 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$$

$$Q_{\text{Actual}} = 37.02 \text{ kg min}^{-1} = 0.03702 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$$

ใช้ท่อขนาด DN 15 เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 18 mm

หาการสูญเสียหลักท่อส่งทางทฤษฎี

จาก

$$Q = Av$$

$$0.09 \times \frac{1}{60} = \pi \frac{(18 \times 10^{-3})^2}{4} \times v$$

$$v = 5.8946 \text{ m s}^{-1}$$

วิเคราะห์รูปแบบการไหลภายในท่อ โดย

$$Re = \frac{vD}{\nu}$$

ν มีค่าเท่ากับ $8.5394 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}$ ที่อุณหภูมิ 27.1 °C จากตาราง A-9 Properties of saturated water

$$Re = \frac{5.8946 \times 18 \times 10^{-3}}{8.5394 \times 10^{-7}}$$

$$Re = 124,117.1654 \quad Re > 10,000 \text{ เป็น Turbulent}$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad \text{เมื่อ } Re > 10,000$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{0.0015}{3.7 \times 18} + \frac{5.74}{124,117.1654^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.0176$$

จาก

$$h_f = f \frac{L v^2}{D 2g}$$

$$h_f = 0.0176 \times \frac{100}{18 \times 10^{-3}} \times \frac{5.8946^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_f = 173.1609 \text{ m per 100 m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาการสูญเสียรองทางทฤษฎี

จาก

$$h_m = \xi Q^2$$

$$\xi = \frac{8K}{\pi^2 D^4 g}$$

ท่อขนาด DN 15 = 18 mm ค่า K เพิ่มขึ้น 60%

การสูญเสียที่ข้ออฉาก มีค่า $K = 0.25 \times 1.6 = 0.4$

$$\xi = \frac{8 \times 0.4}{\pi^2 \times (18 \times 10^{-3})^4 \times 9.81}$$

$$\xi = 314,840.94$$

$$h_m = 314,840.94 \times (6.2 \times 10^{-4})^2$$

$$h_m = 0.121 \text{ m per piece}$$

การสูญเสียที่บอลวาล์ว มีค่า $K = 0.04$

$$\xi = \frac{8 \times 0.04}{\pi^2 \times (18 \times 10^{-3})^4 \times 9.81}$$

$$\xi = 31,484.09$$

$$h_m = 31,484.09 \times (6.2 \times 10^{-4})^2$$

$$h_m = 0.0121 \text{ m per piece}$$

การสูญเสียที่ข้อต่อสามทาง (ท่อกิ่ง) มีค่า $K = 0.75 \times 1.6 = 1.2$

$$\xi = \frac{8 \times 1.2}{\pi^2 \times (18 \times 10^{-3})^4 \times 9.81}$$

$$\xi = 944,522.83$$

$$h_m = 944,522.83 \times (6.2 \times 10^{-4})^2$$

$$h_m = 0.3631 \text{ m per piece}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบ	ขนาด	จำนวน/ ความยาว	ความดันสูญเสียต่อหน่วย	ความดันสูญเสีย (m_{water})
การสูญเสียหลัก				
ท่อตรงแนวราบ	DN15	8 m	173.1609 m per 100 m	13.8529
ท่อตั้ง	DN15	1.5 m	1.5 m	1.5000
รวมการสูญเสียหลัก				15.3529
การสูญเสียรอง				
ข้ออฉาก	DN15	8 ชั้น	0.1210	0.9680
บอลวาล์ว	DN15	1 ชั้น	0.0121	0.0121
ข้อต่อสามทาง (ท่อกึ่ง)	DN15	1 ชั้น	0.3631	0.3631
รวมการสูญเสียรอง				1.3432
รวมการสูญเสียทั้งหมด				16.6961

ฉะนั้น Head loss รวมของระบบท่อส่งทางทฤษฎี มีค่าเท่ากับ $16.6961 m_{\text{water}} \approx 17 m_{\text{water}}$

หากการสูญเสียหลักท่อส่งตามการทำงานจริง

จาก

$$Q = Av$$

$$0.03702 \times \frac{1}{60} = \pi \frac{(18 \times 10^{-3})^2}{4} \times v$$

$$v = 2.4247 \text{ m s}^{-1}$$

วิเคราะห์รูปแบบการไหลภายในท่อ โดย

$$Re = \frac{vD}{\nu}$$

ν มีค่าเท่ากับ $8.5394 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ $27.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ จากตาราง A-9 Properties of saturated water

$$Re = \frac{2.4247 \times 18 \times 10^{-3}}{8.5394 \times 10^{-7}}$$

$$Re = 51,109.6798$$

$Re > 10,000$ เป็น Turbulent

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad \text{เมื่อ } Re > 10,000$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{0.0015}{3.7 \times 18} + \frac{5.74}{51,109.6798^{0.9}} \right) \right]^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f = 0.0210$$

จาก

$$h_f = f \frac{L v^2}{D 2g}$$

$$h_f = 0.0210 \times \frac{100}{18 \times 10^{-3}} \times \frac{2.4247^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_f = 34.9594 \text{ m per } 100 \text{ m}$$

หาการสูญเสียรองตามการทำงานจริง

จาก

$$h_m = \xi Q^2$$

$$\xi = \frac{8K}{\pi^2 D^4 g}$$

ท่อขนาด DN 15 = 18 mm ค่า K เพิ่มขึ้น 60%

การสูญเสียที่ข้ออฉาก มีค่า $K = 0.25 \times 1.6 = 0.4$

$$\xi = \frac{8 \times 0.4}{\pi^2 \times (18 \times 10^{-3})^4 \times 9.81}$$

$$\xi = 314,840.94$$

$$h_m = 314,840.94 \times (6.2 \times 10^{-4})^2$$

$$h_m = 0.121 \text{ m per piece}$$

การสูญเสียที่บอลวาล์ว มีค่า $K = 0.04$

$$\xi = \frac{8 \times 0.04}{\pi^2 \times (18 \times 10^{-3})^4 \times 9.81}$$

$$\xi = 31,484.09$$

$$h_m = 31,484.09 \times (6.2 \times 10^{-4})^2$$

$$h_m = 0.0121 \text{ m per piece}$$

การสูญเสียที่ข้อต่อสามทาง (ท่อกิ่ง) มีค่า $K = 0.75 \times 1.6 = 1.2$

$$\xi = \frac{8 \times 1.2}{\pi^2 \times (18 \times 10^{-3})^4 \times 9.81}$$

$$\xi = 944,522.83$$

$$h_m = 944,522.83 \times (6.2 \times 10^{-4})^2$$

$$h_m = 0.3631 \text{ m per piece}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบ	ขนาด	จำนวน/ ความยาว	ความดันสูญเสียต่อหน่วย	ความดันสูญเสีย (m_{water})
การสูญเสียหลัก				
ท่อตรงแนวราบ	DN15	8 m	34.9594 m per 100 m	2.7968
ท่อตั้ง	DN15	1.5 m	1.5 m	1.5000
รวมการสูญเสียหลัก				4.2968
การสูญเสียรอง				
ช่องอวก	DN15	8 ชั้น	0.1210	0.9680
บอลวาล์ว	DN15	1 ชั้น	0.0121	0.0121
ข้อต่อสามทาง (ท่อกึ่ง)	DN15	1 ชั้น	0.3631	0.3631
รวมการสูญเสียรอง				1.3432
รวมการสูญเสียทั้งหมด				5.6400

ฉะนั้น Head loss รวมของระบบท่อส่งตามการทำงานจริง มีค่าเท่ากับ $5.6400 m_{\text{water}} \approx 6 m_{\text{water}}$

หาการสูญเสียหลักที่ท่อจุดทางทฤษฎี

จาก

$$Q = Av$$

$$0.09 \times \frac{1}{60} = \pi \frac{(18 \times 10^{-3})^2}{4} \times v$$

$$v = 5.8946 \text{ m s}^{-1}$$

วิเคราะห์รูปแบบการไหลภายในท่อ โดย

$$Re = \frac{vD}{\nu}$$

ν มีค่าเท่ากับ $8.5394 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ $27.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ จากตาราง A-9 Properties of saturated water

$$Re = \frac{5.8946 \times 18 \times 10^{-3}}{8.5394 \times 10^{-7}}$$

$$Re = 124,117.1654 \quad Re > 10,000 \text{ เป็น Turbulent}$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right]^2} \quad \text{เมื่อ } Re > 10,000$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{0.0015}{3.7 \times 18} + \frac{5.74}{124,117.1654^{0.9}}\right)\right]^2}$$

$$f = 0.0176$$

จาก

$$h_f = f \frac{L v^2}{D 2g}$$

$$h_f = 0.0176 \times \frac{100}{18 \times 10^{-3}} \times \frac{5.8946^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_f = 173.1609 \text{ m per } 100 \text{ m}$$

หาการสูญเสียรองทางทฤษฎี

จาก

$$h_m = \xi Q^2$$

$$\xi = \frac{8K}{\pi^2 D^4 g}$$

ท่อขนาด DN 15 = 18 mm ค่า K เพิ่มขึ้น 60%

การสูญเสียที่ข้ออฉาก มีค่า $K = 0.25 \times 1.6 = 0.4$

$$\xi = \frac{8 \times 0.4}{\pi^2 \times (18 \times 10^{-3})^4 \times 9.81}$$

$$\xi = 314,840.94$$

$$h_m = 314,840.94 \times (6.2 \times 10^{-4})^2$$

$$h_m = 0.121 \text{ m per piece}$$

การสูญเสียที่บอลวาล์ว มีค่า $K = 0.04$

$$\xi = \frac{8 \times 0.04}{\pi^2 \times (18 \times 10^{-3})^4 \times 9.81}$$

$$\xi = 31,484.09$$

$$h_m = 31,484.09 \times (6.2 \times 10^{-4})^2$$

$$h_m = 0.0121 \text{ m per piece}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบ	ขนาด	จำนวน/ ความยาว	ความดันสูญเสียต่อหน่วย	ความดันสูญเสีย (m_{water})
การสูญเสียหลัก				
ท่อตรงแนวราบ	DN15	2 m	173.1609 m per 100 m	3.4632
ท่อโค้ง	DN15	1.6 m	1.6 m	1.6000
รวมการสูญเสียหลัก				5.0632
การสูญเสียรอง				
ข้องอฉาก	DN15	3 ชั้น	0.1210	0.3630
บอลวาล์ว	DN15	2 ชั้น	0.0121	0.0242
รวมการสูญเสียรอง				0.3872
รวมการสูญเสียทั้งหมด				5.4504

ฉะนั้น Head loss รวมของระบบท่ออุตสาหกรรม มีค่าเท่ากับ $5.4504 m_{\text{water}} \approx 6 m_{\text{water}}$

หาการสูญเสียหลักที่สอดคล้องตามการทำงานจริง

จาก

$$Q = Av$$

$$0.03702 \times \frac{1}{60} = \pi \frac{(18 \times 10^{-3})^2}{4} \times v$$

$$v = 2.4247 \text{ m s}^{-1}$$

วิเคราะห์รูปแบบการไหลภายในท่อ โดย

$$Re = \frac{vD}{\nu}$$

ν มีค่าเท่ากับ $8.5394 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ $27.1 \text{ }^\circ\text{C}$ จากตาราง A-9 Properties of saturated water

$$Re = \frac{2.4247 \times 18 \times 10^{-3}}{8.5394 \times 10^{-7}}$$

$$Re = 51,109.6798$$

$Re > 10,000$ เป็น Turbulent

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad \text{เมื่อ } Re > 10,000$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{0.0015}{3.7 \times 18} + \frac{5.74}{51,109.6798^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.0210$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก

$$h_f = f \frac{L v^2}{D 2g}$$

$$h_f = 0.0210 \times \frac{100}{18 \times 10^{-3}} \times \frac{2.4247^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_f = 34.9594 \text{ m per } 100 \text{ m}$$

หาการสูญเสียรองตามการทำงานจริง

จาก

$$h_m = \xi Q^2$$

$$\xi = \frac{8K}{\pi^2 D^4 g}$$

ท่อขนาด DN 15 = 18 mm ค่า K เพิ่มขึ้น 60%

การสูญเสียที่ข้ออวก มีค่า $K = 0.25 \times 1.6 = 0.4$

$$\xi = \frac{8 \times 0.4}{\pi^2 \times (18 \times 10^{-3})^4 \times 9.81}$$

$$\xi = 314,840.94$$

$$h_m = 314,840.94 \times (6.2 \times 10^{-4})^2$$

$$h_m = 0.121 \text{ m per piece}$$

การสูญเสียที่บอลวาล์ว มีค่า $K = 0.04$

$$\xi = \frac{8 \times 0.04}{\pi^2 \times (18 \times 10^{-3})^4 \times 9.81}$$

$$\xi = 31,484.09$$

$$h_m = 31,484.09 \times (6.2 \times 10^{-4})^2$$

$$h_m = 0.0121 \text{ m per piece}$$

การสูญเสียที่ข้อต่อสามทาง (ท่อกิ่ง) มีค่า $K = 0.75 \times 1.6 = 1.2$

$$\xi = \frac{8 \times 1.2}{\pi^2 \times (18 \times 10^{-3})^4 \times 9.81}$$

$$\xi = 944,522.83$$

$$h_m = 944,522.83 \times (6.2 \times 10^{-4})^2$$

$$h_m = 0.3631 \text{ m per piece}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบ	ขนาด	จำนวน/ ความยาว	ความดันสูญเสียต่อหน่วย	ความดันสูญเสีย (m_{water})
การสูญเสียหลัก				
ท่อตรงแนวราบ	DN15	2 m	34.9594 m per 100 m	0.6992
ท่อตั้ง	DN15	1.6 m	1.6 m	1.6000
รวมการสูญเสียหลัก				2.2992
การสูญเสียรอง				
ข้องอฉาก	DN15	3 ชั้น	0.1210	0.3630
บอลวาล์ว	DN15	2 ชั้น	0.0121	0.0242
รวมการสูญเสียรอง				0.3872
รวมการสูญเสียทั้งหมด				2.6864

ฉะนั้น Head loss รวมของระบบที่สอดคล้องตามการทำงานจริง มีค่าเท่ากับ $2.6864 m_{\text{water}} \approx 3 m_{\text{water}}$

จากการพิจารณา Head loss ทั้งหมด มีค่า Head loss max ทางส่ง เท่ากับ $17 m_{\text{water}}$ และ Head loss max ทางดูด เท่ากับ $6 m_{\text{water}}$ จึงสามารถเลือกใช้ปั๊มที่มี Head loss max ทางส่งที่ $22 m_{\text{water}}$ และ Head loss max ทางดูด เท่ากับ $9 m_{\text{water}}$

3.2.2.3 การทดสอบการใช้งานของปั๊มน้ำ

- ติดตั้งระบบท่อที่ออกแบบไว้ข้างต้นเข้ากับปั๊มน้ำระบบ Pre-Cooling
- ทดลองการทำงานของปั๊ม ตรวจสอบการหมุนของเพลาปั๊ม โดยเปิดฝาครอบด้านหลัง และใช้มือหมุนที่ใบพัดปั๊มให้มั่นใจว่าใบพัดมีการหมุนคล่องตัว เพื่อให้การทำงานของปั๊มมีประสิทธิภาพ
- ปิดบอลวาล์วทางออกน้ำ เพื่อเตรียมการล่อน้ำ
- เปิดสกรูล่อนน้ำและเติมน้ำใส่จนเต็มปั๊ม เพื่อเป็นการทำให้อากาศออกจากปั๊มให้หมด แล้วปิดสกรูกลับไปยังเดิม
- เปิดการทำงานของปั๊มเป็นระยะเวลา 15 min เพื่อตรวจสอบว่าปั๊มสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ไม่เกิดการขาดเป็นห้วง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ตรวจสอบท่อทางเดินของน้ำในแต่ละจุด เพื่อดูการรั่วไหลบริเวณจุดข้อต่อ

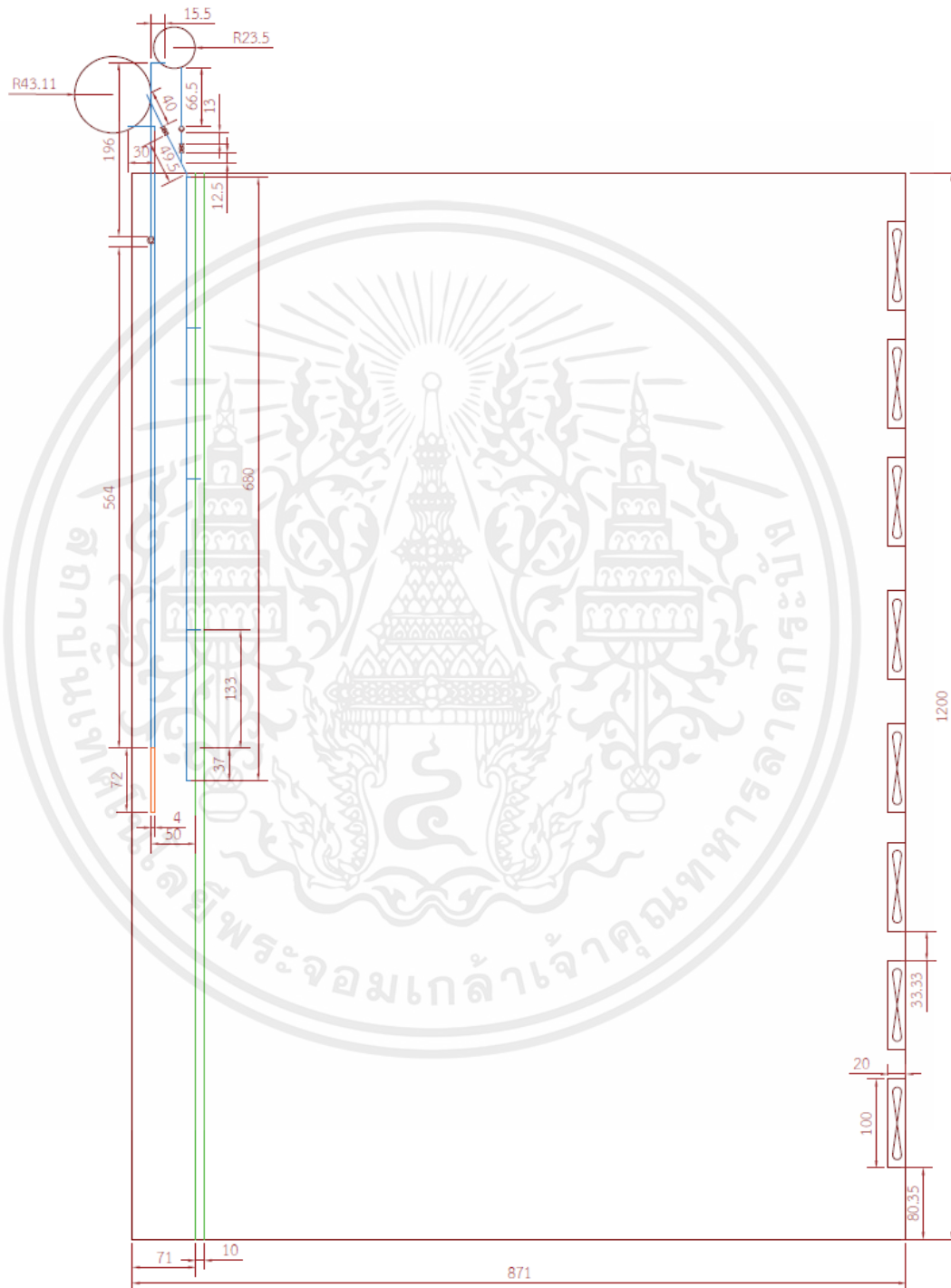


รูปที่ 3.10 ปั๊มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.4. การติดตั้งระบบการทำความเย็น

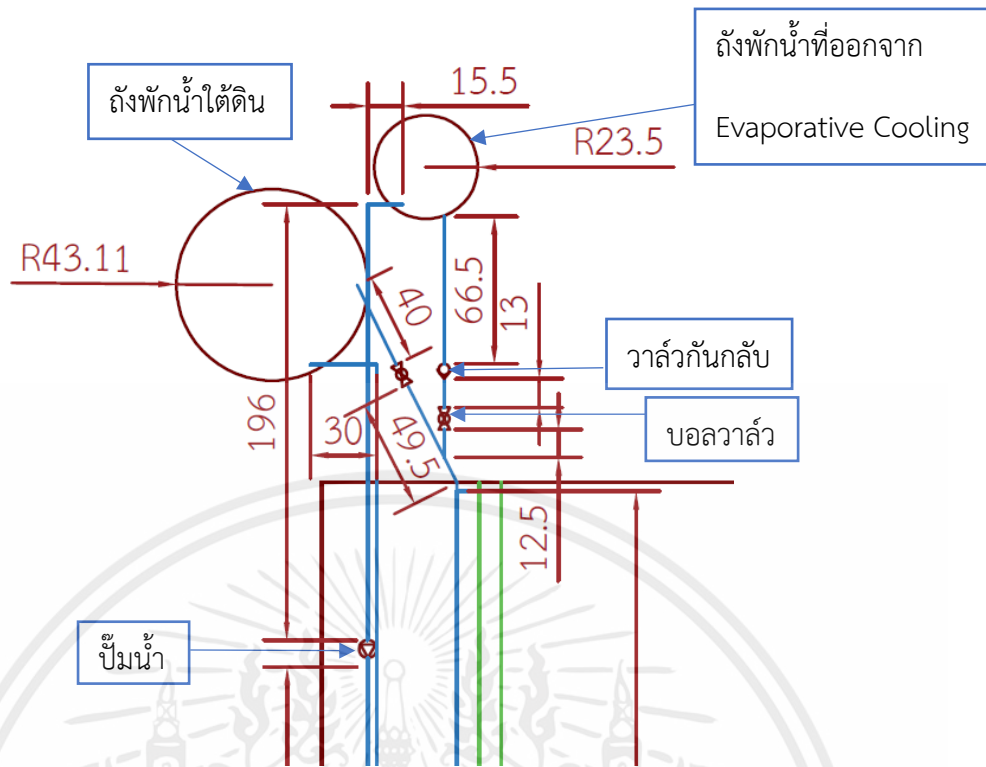
1. ติดตั้งหม้อน้ำบริเวณพื้นที่การทดลอง คือ โรงเรือนปลูกพืช บริเวณที่มีการติดตั้งระบบการวางท่อ, ปั๊มและถังพักใต้ดิน



รูปที่ 3.11 ขนาดและแผนผังของโรงเรือนปลูกพืชเมื่อติดตั้ง

ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับระบบ Evaporative Cooling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

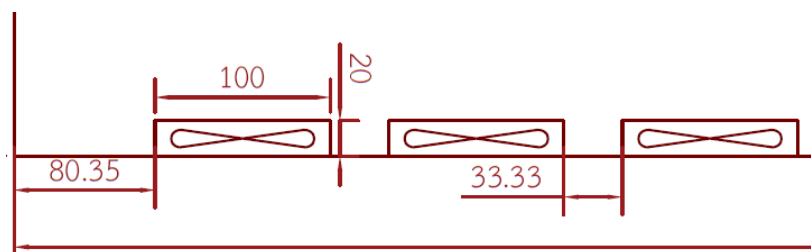


รูปที่ 3.12 แผนผังการติดตั้งปั๊มและวาล์ว



รูปที่ 3.13 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและ Cooling pad

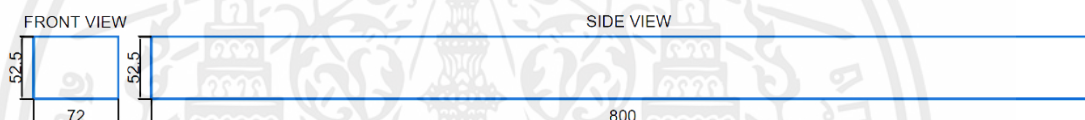
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แผนผังของพัดลม

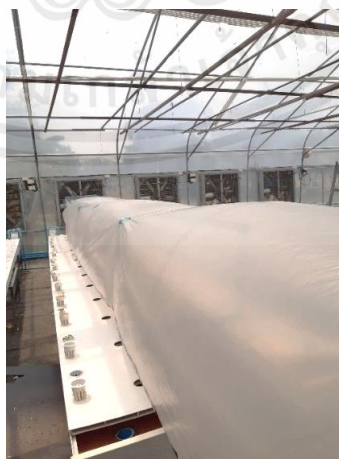
3.3.2.5 การติดตั้งระบบการหาอัตราการไหลของอากาศพร้อมทดสอบระบบภาพรวม

1. ออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์ในการหาอัตราการไหลของอากาศ ให้มีขนาดเหมาะสมกับหม้อน้ำรถยนต์และขนาดโรงเรือน โดยโครงอุปกรณ์ทำมาจากท่อ PVC ขนาด 1/2 inch และพลาสติกใส ซึ่งมีขนาด 72*52.5*800 cm



รูปที่ 3.15 ขนาดของอุปกรณ์หาอัตราการไหลของอากาศ

2. นำอุปกรณ์ในการหาอัตราการไหลของอากาศมาทดสอบในโรงเรือนปลูกพืช ทดลองติดตั้งอุปกรณ์ ตรวจสอบระยะในการติดตั้งอุปกรณ์และทดลองเก็บข้อมูลอัตราการไหลของอากาศในจุดต่าง ๆ ที่ต้องการเก็บข้อมูล



รูปที่ 3.16 อุปกรณ์หาอัตราการไหลของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดสอบการทำความเย็น

3.3.1 การวัดความเร็วลม

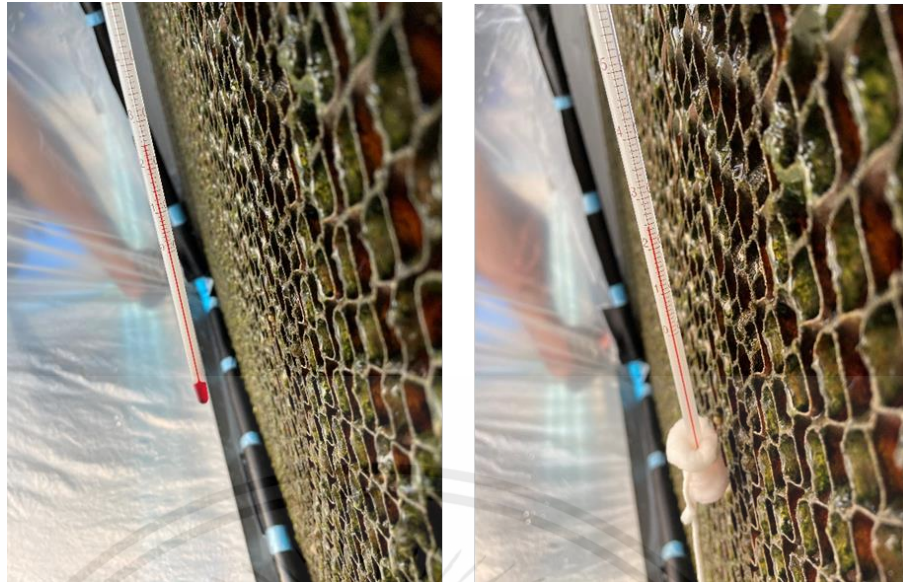
เก็บข้อมูลของความเร็วลมในช่วงเวลาใด ๆ โดยวัดทั้งหมด 4 จุด คือ ด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling โดยการใช้เครื่องวัดความเร็วลม Testo 435 ด้วยการวัดซ้ำทั้งหมด 10 ค่า แล้วนำมาหาค่าความเร็วลมเฉลี่ยบริเวณจุดต่าง ๆ



รูปที่ 3.17 การวัดความเร็วลม

3.3.2 การวัดสภาวะอากาศ

เก็บข้อมูลสภาวะอากาศในช่วงเวลาใด ๆ โดยวัดทั้งหมด 4 จุด คือ ด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling โดยการใช้เทอร์มิสเตอร์วัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้ง เก็บข้อมูลอุณหภูมิเมื่อเวลาผ่านไป 3 min ทำให้ทราบความชื้นสัมพัทธ์อากาศในช่วงเวลาใด ๆ ตามจุดต่าง ๆ โดยอาศัย Psychrometric Chart ในการหาค่า



รูปที่ 3.18 การวัดสถานะอากาศระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling
ร่วมกับ Evaporative Cooling

3.3.3 การวัดสภาพอากาศบรรยากาศภายนอก

เก็บข้อมูลสภาพอากาศบรรยากาศภายนอกโรงเรือน โดยการใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้ง เก็บข้อมูลอุณหภูมิเมื่อเวลาผ่านไป 3 min ทำให้ทราบความชื้นสัมพัทธ์อากาศในช่วงเวลาใด ๆ โดยอาศัย Psychrometric Chart ในการหาค่า



รูปที่ 3.19 การวัดสถานะอากาศภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling

1. ตั้งอุปกรณ์ในการหาอัตราการไหล
2. นำเครื่องวัดความเร็วลมมาใช้ในการเก็บค่าความเร็วลม จำนวน 10 ซ้ำ
3. นำเทอร์โมมิเตอร์มาวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก เมื่อผ่านไป 3 min
4. นำเทอร์โมมิเตอร์มาวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง เมื่อผ่านไป 3 min

3.3.5 การทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling

1. นำเครื่องวัดความเร็วลมมาใช้ในการเก็บค่าความเร็วลม จำนวน 10 ซ้ำ โดยวัดตรงบริเวณหมายเลข 2 จากรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 การวัดความเร็วลมของระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling

2. นำเทอร์โมมิเตอร์มาวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก เมื่อผ่านไป 3 min โดยวัดตรงบริเวณหมายเลข 2 จากรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 การวัดอุณหภูมิของระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling

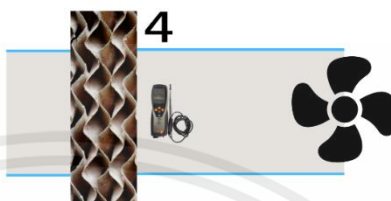
3. นำเทอร์โมมิเตอร์มาวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง เมื่อผ่านไป 3 min โดยวัดตรงบริเวณหมายเลข 2 จากรูปที่ 3.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 การทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling

1. นำเครื่องวัดความเร็วลมมาใช้ในการเก็บค่าความเร็วลม จำนวน 10 ซ้ำ โดยวัดตรงบริเวณหมายเลข 4 จากรูปที่ 3.22

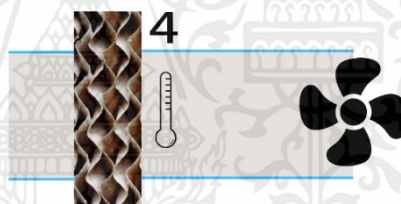
ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling



รูปที่ 3.22 การวัดความเร็วลมของระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling

2. นำเทอร์โมมิเตอร์มาวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก เมื่อผ่านไป 3 min โดยวัดตรงบริเวณหมายเลข 4 จากรูปที่ 3.23

ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling



รูปที่ 3.23 การวัดอุณหภูมิของระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling

3. นำเทอร์โมมิเตอร์มาวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง เมื่อผ่านไป 3 min โดยวัดตรงบริเวณหมายเลข 4 จากรูปที่ 3.23

บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลข้อมูล

4.1 สภาพอากาศภายนอก

ตารางที่ 4.1 สภาพอากาศและค่าความชื้นภายนอก

ครั้งที่	วันที่	เวลา	สภาพอากาศภายนอก		
			กระเปาะเปียก (°C)	กระเปาะแห้ง (°C)	%RH
1	5/4/23	12:15	27.5	30.5	79.63
2	5/4/23	15:30	27.5	30.5	79.63
3	6/4/23	10:40	29.0	35	64.34
4	6/4/23	14:00	26.0	37	42.20
5	7/4/23	14:30	28.0	31.0	79.81
6	7/4/23	15:30	31.0	38.0	61.00
7	8/4/23	11:30	31.0	35.0	75.31
8	8/4/23	13:00	31.0	38.5	58.90
9	8/4/23	14:30	29.5	36.5	60.11
10	8/4/23	16:00	27.0	32.0	68.17
11	9/4/23	11:30	31.0	37.0	65.43
12	9/4/23	13:30	31.5	37.0	68.01
13	9/4/23	16:00	28.0	35.0	59.17
14	10/4/23	9:50	28.0	31.0	79.81
15	10/4/23	13:30	28.5	37.0	53.25
16	20/4/23	10:20	26.5	34.5	53.82
17	24/4/23	9:40	28.0	32.5	71.33
18	24/4/23	11:00	29.5	36.0	62.33
19	26/4/23	9:00	28.0	32.5	71.33
20	4/5/23	9:30	28.0	33.0	68.71
21	4/5/23	11:30	29.0	33.5	71.81
22	4/5/23	12:30	29.5	34.0	72.04
23	4/5/23	14:30	30.0	36.0	64.90
24	4/5/23	15:30	27.5	35.2	55.80
25	4/5/23	16:30	26.5	34.0	55.94
26	5/5/23	13:25	29.5	36.0	62.33
27	5/5/23	14:40	31.0	37.0	65.43
28	5/5/23	15:40	30.5	36.0	67.52
29	5/5/23	16:50	28.0	33.5	66.19
30	12/5/23	13:40	29.0	33	74.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบสภาพอากาศ, ค่าความชื้นและความเร็วลมเฉลี่ยด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ

ครั้งที่	วันที่	เวลา	ผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ			
			ความเร็วลม ($m s^{-1}$)	อุณหภูมิกระเปาะเปียก ($^{\circ}C$)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ($^{\circ}C$)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
1	5/4/23	12:15	0.35	25.0	32.5	54.81
2	5/4/23	15:30	0.72	25.0	32.5	54.81
3	6/4/23	10:40	0.76	27.0	33.0	63.15
4	6/4/23	14:10	0.61	25.5	35.0	47.08
5	7/4/23	14:30	1.12	27.0	31.0	73.60
6	7/4/23	15:30	1.02	27.5	31.0	76.67
7	8/4/23	11:30	0.60	29.5	34.0	72.04
8	8/4/23	13:00	1.07	29.5	36.5	60.12
9	8/4/23	14:00	0.98	29.0	35.5	72.03
10	8/4/23	16:00	0.84	26.0	31.5	65.00
11	9/4/23	11:30	0.96	30.0	35.0	69.72
12	9/4/23	13:30	1.03	28.0	33.0	68.71
13	9/4/23	16:00	0.32	27.0	34.0	58.50
14	10/4/23	9:50	0.97	28.0	30.0	86.03
15	10/4/23	13:30	0.97	27.0	35.5	52.15
16	20/4/23	10:20	0.96	27.5	33.5	63.46
17	24/4/23	9:40	0.91	28.5	32.5	74.27
18	24/4/23	11:00	0.92	28.5	34.0	66.46
19	26/4/23	9:00	0.79	28.0	33.0	68.71
20	4/5/23	9:30	0.87	28.0	31.0	86.28
21	4/5/23	11:30	0.92	29.0	32.5	77.27
22	4/5/23	12:30	0.99	29.0	33.5	71.81
23	4/5/23	14:30	1.03	29.0	34.0	69.22
24	4/5/23	15:30	1.03	28.0	34.5	61.42
25	4/5/23	16:30	1.04	28.0	34.0	63.76
26	5/5/23	13:25	1.01	25.0	35.0	44.79
27	5/5/23	14:40	0.94	28.0	35.0	59.17
28	5/5/23	15:40	1.12	30.0	35.0	69.72
29	5/5/23	16:50	1.01	28.0	34.0	63.76
30	12/5/23	13:40	1.03	27.0	31.0	73.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบสภาพอากาศ, ค่าความชื้นและความเร็วลมเฉลี่ยของระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling

ครั้งที่	วันที่	เวลา	ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling			
			ความเร็วลม (m s^{-1})	อุณหภูมิกระเปาะเปียก ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ($^{\circ}\text{C}$)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
1	5/4/23	12:15	0.47	25.0	26.0	92.30
2	5/4/23	15:30	0.92	22.0	25.0	77.30
3	6/4/23	10:40	1.04	26.0	28.2	84.16
4	6/4/23	14:00	1.34	25.5	28.5	78.85
5	7/4/23	14:30	1.21	27.0	27.0	100.00
6	7/4/23	15:30	0.98	27.5	27.5	100.00
7	8/4/23	11:30	1.02	28.0	28.0	100.00
8	8/4/23	13:00	1.03	27.0	28.5	89.12
9	8/4/23	14:30	1.10	27.0	28.0	92.61
10	8/4/23	16:00	1.02	25.5	27.0	88.80
11	9/4/23	11:30	1.00	27.5	28.5	92.68
12	9/4/23	13:30	1.03	27.0	27.0	100.00
13	9/4/23	16:00	1.03	26.0	27.0	92.46
14	10/4/23	9:50	1.19	27.0	27.0	100.00
15	10/4/23	13:30	1.02	27.0	27.0	100.00
16	20/4/23	10:20	1.17	25.0	25.5	96.08
17	24/4/23	9:40	1.13	28.0	28.0	100.00
18	24/4/23	11:00	1.09	28.0	28.0	100.00
19	26/4/23	9:00	0.93	28.0	28.0	100.00
20	4/5/23	9:30	1.08	26.0	27.0	92.46
21	4/5/23	11:30	1.21	27.5	28.5	92.68
22	4/5/23	12:30	0.97	26.0	27.2	91.02
23	4/5/23	14:30	0.93	26.0	27.0	92.46
24	4/5/23	15:30	1.03	26.5	28.0	89.02
25	4/5/23	16:30	1.09	25.0	26.0	92.31
26	5/5/23	13:25	1.14	28.5	29.5	92.81
27	5/5/23	14:40	1.03	26.5	28.5	85.63
28	5/5/23	15:40	1.06	25.5	27.0	88.80
29	5/5/23	16:50	0.92	24.8	25.0	98.40
30	12/5/23	13:40	1.07	26.0	27.0	92.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบสภาพอากาศ, ค่าความชื้นและความเร็วลมเฉลี่ยของระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling

ครั้งที่	วันที่	เวลา	ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling			
			ความเร็วลม (m s^{-1})	อุณหภูมิกระเปาะเปียก ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ($^{\circ}\text{C}$)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
1	5/4/23	12:15	1.25	23.0	27.0	71.50
2	5/4/23	15:30	0.90	21.0	26.5	61.50
3	6/4/23	10:40	0.87	25.0	29.0	72.60
4	6/4/23	14:10	1.18	24.0	29.0	66.38
5	7/4/23	14:30	1.03	26.5	28.0	89.02
6	7/4/23	15:30	0.81	27.0	29.0	85.77
7	8/4/23	11:30	0.72	29.0	30.0	92.88
8	8/4/23	13:00	0.95	28.5	31.0	83.02
9	8/4/23	14:00	1.10	27.0	30.5	76.46
10	8/4/23	16:00	0.98	26.0	29.0	79.06
11	9/4/23	11:30	0.97	30.0	32.0	86.52
12	9/4/23	13:30	0.97	26.5	27.0	96.19
13	9/4/23	16:00	1.03	25.0	27.0	85.21
14	10/4/23	9:50	0.91	26.0	28.0	85.50
15	10/4/23	13:30	0.99	27.0	29.0	85.77
16	20/4/23	10:20	1.10	25.5	28.0	82.04
17	24/4/23	9:40	0.84	28.0	28.5	96.30
18	24/4/23	11:00	0.99	28.0	29.5	89.32
19	26/4/23	9:00	0.96	28.0	29.0	92.75
20	4/5/23	9:30	0.94	26.5	28.0	89.02
21	4/5/23	11:30	1.03	25.5	28.0	82.04
22	4/5/23	12:30	1.11	28.0	30.0	86.03
23	4/5/23	14:30	1.11	27.5	29.0	89.22
24	4/5/23	15:30	1.08	26.0	28.0	85.50
25	4/5/23	16:30	1.06	26.0	28.0	85.50
26	5/5/23	13:25	1.00	28.0	30.0	86.03
27	5/5/23	14:40	0.94	29.0	30.0	92.88
28	5/5/23	15:40	0.95	28.0	29.0	92.75
29	5/5/23	16:50	0.85	26.0	27.5	88.91
30	12/5/23	13:40	0.88	26.0	28.5	82.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบสภาพอากาศ, ค่าความชื้นและความเร็วลมเฉลี่ยของระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling

ครั้งที่	วันที่	เวลา	ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling			
			ความเร็วลม ($m s^{-1}$)	อุณหภูมิกระเปาะเปียก ($^{\circ}C$)	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ($^{\circ}C$)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
1	5/4/23	12:15	1.00	23.5	24.0	95.95
2	5/4/23	15:30	0.86	21.5	24.0	80.49
3	6/4/23	10:40	1.06	25.0	27.0	85.21
4	6/4/23	14:00	1.15	24.0	26.0	84.90
5	7/4/23	14:30	1.12	26.0	26.0	100.00
6	7/4/23	15:30	1.13	27.0	27.0	100.00
7	8/4/23	11:30	1.11	27.0	27.0	100.00
8	8/4/23	13:00	0.93	27.0	28.0	92.61
9	8/4/23	14:30	0.95	26.5	27.0	96.19
10	8/4/23	16:00	1.00	25.0	26.0	92.31
11	9/4/23	11:30	1.02	27.0	27.5	96.23
12	9/4/23	13:30	1.18	25.0	26.0	92.31
13	9/4/23	16:00	1.07	24.5	24.5	100.00
14	10/4/23	9:50	0.92	27.0	27.0	100.00
15	10/4/23	13:30	0.95	27.0	27.0	100.00
16	20/4/23	10:20	1.01	23.5	24.0	95.95
17	24/4/23	9:40	0.96	27.0	27.5	96.23
18	24/4/23	11:00	0.96	27.0	27.0	100.00
19	26/4/23	9:00	0.74	27.0	27.5	96.23
20	4/5/23	9:30	0.97	25.0	25.5	96.08
21	4/5/23	11:30	1.19	26.0	27.0	92.46
22	4/5/23	12:30	1.01	25.5	26.0	96.12
23	4/5/23	14:30	0.90	25.0	26.0	92.31
24	4/5/23	15:30	1.01	24.5	26.0	88.57
25	4/5/23	16:30	0.99	23.5	24.0	95.95
26	5/5/23	13:25	0.96	28.0	28.0	100.00
27	5/5/23	14:40	1.06	26.5	27.0	96.19
28	5/5/23	15:40	1.08	24.5	25.0	96.03
29	5/5/23	16:50	0.93	23.5	24.5	92.06
30	12/5/23	13:40	0.98	25.5	26.0	96.12

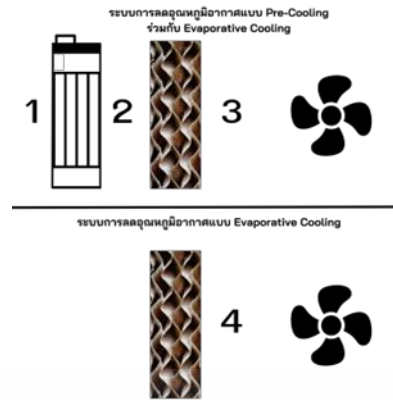
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 อุณหภูมิน้ำที่เกี่ยวข้องกับระบบการลดอุณหภูมิอากาศ

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิน้ำที่เกี่ยวข้องในระบบการลดอุณหภูมิอากาศ

ครั้งที่	วันที่	เวลา	อุณหภูมิน้ำที่ผ่านระบบ Pre-Cooling (°C)	อุณหภูมิน้ำที่ออกจากระบบ Evaporative Cooling (°C)	อุณหภูมิน้ำในถังพักที่ออกจาก Evaporative Cooling (°C)	อุณหภูมิน้ำในถังพักใต้ดิน (°C)
1	5/4/23	12:15	26.0	24.3	24.4	24.5
2	5/4/23	15:30	29.0	27.5	27.7	28.0
3	6/4/23	10:40	28.5	27.5	27.7	27.6
4	6/4/23	14:00	28.8	27.0	27.2	28.0
5	7/4/23	14:30	28.5	27.0	27.2	27.6
6	7/4/23	15:30	27.6	26.8	26.7	27.0
7	8/4/23	11:30	27.6	26.0	26.3	26.4
8	8/4/23	13:00	27.0	25.1	25.5	25.9
9	8/4/23	14:30	27.3	26.0	26.0	26.4
10	8/4/23	16:00	26.7	25.7	25.7	26.2
11	9/4/23	11:30	28.6	27.4	27.6	28.3
12	9/4/23	13:30	28.8	27.7	27.7	28.2
13	9/4/23	16:00	28.0	26.5	26.6	27.0
14	10/4/23	9:50	28.6	27.6	27.8	27.9
15	10/4/23	13:30	27.8	26.8	26.5	27.1
16	20/4/23	10:20	25.6	24.5	24.5	24.9
17	24/4/23	9:40	28.0	27.3	27.4	27.6
18	24/4/23	11:00	28.5	27.3	27.2	27.8
19	26/4/23	9:00	26.1	25.8	25.8	26.0
20	4/5/23	9:30	28.1	27.6	27.7	27.6
21	4/5/23	11:30	29.0	27.9	27.8	28.3
22	4/5/23	12:30	29.3	28.1	28.8	28.6
23	4/5/23	14:30	29.3	27.9	28.0	28.0
24	4/5/23	15:30	29.0	27.5	27.7	28.0
25	4/5/23	16:30	27.8	26.7	27.5	27.3
26	5/5/23	13:25	30.2	28.9	29.1	29.3
27	5/5/23	14:40	29.8	28.6	28.8	29.1
28	5/5/23	15:40	29.6	28.3	28.4	28.8
29	5/5/23	16:50	28.2	27	27	27.5
30	12/5/23	13:40	28.3	27	27.1	27.5
ค่าเฉลี่ย			28.19	26.98	27.11	27.41

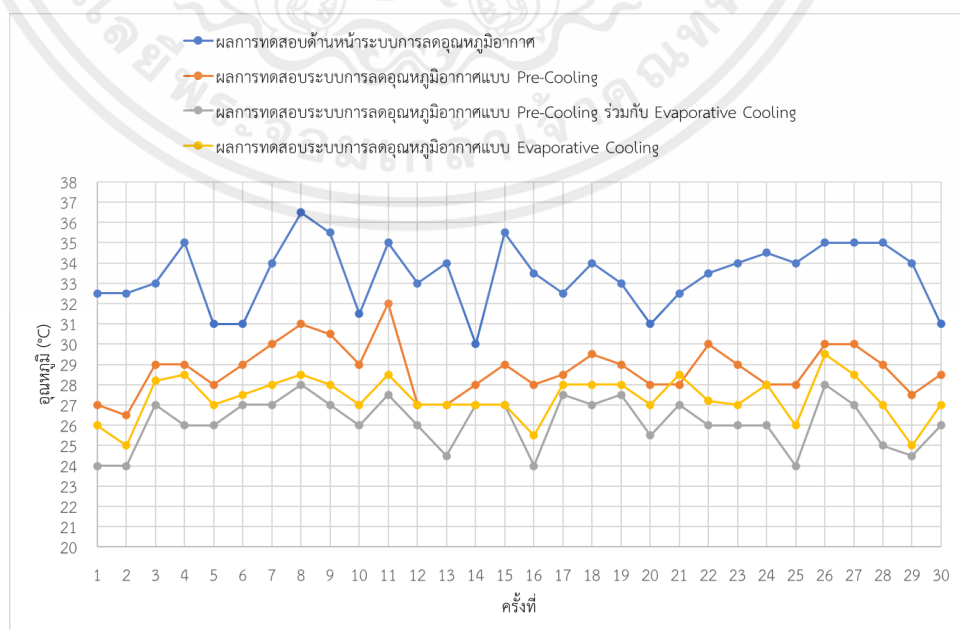
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- เมื่อ
- 1 คือ ผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ
 - 2 คือ ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling
 - 3 คือ ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling
 - 4 คือ ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling

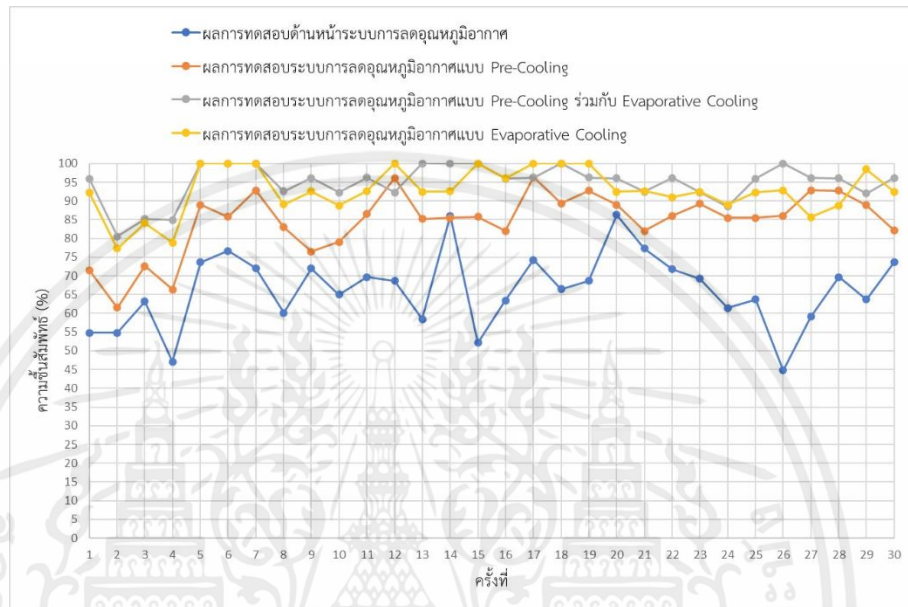
4.7 การแสดงผลเปรียบเทียบการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศทุกระบบ

กราฟที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัน-เวลาในการเก็บข้อมูลกับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ($^{\circ}\text{C}$) ของผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling

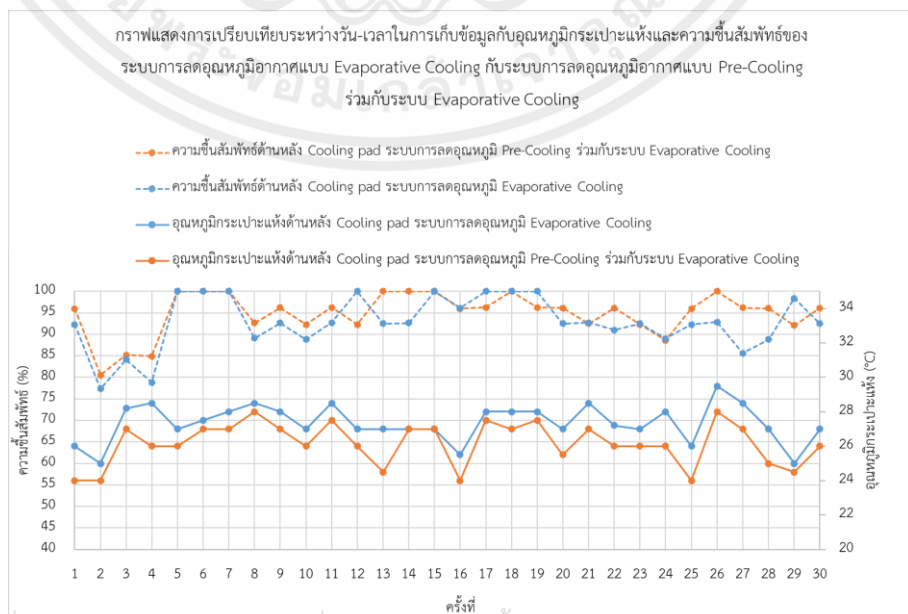


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัน-เวลาในการเก็บข้อมูลกับความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (%RH) ของผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling

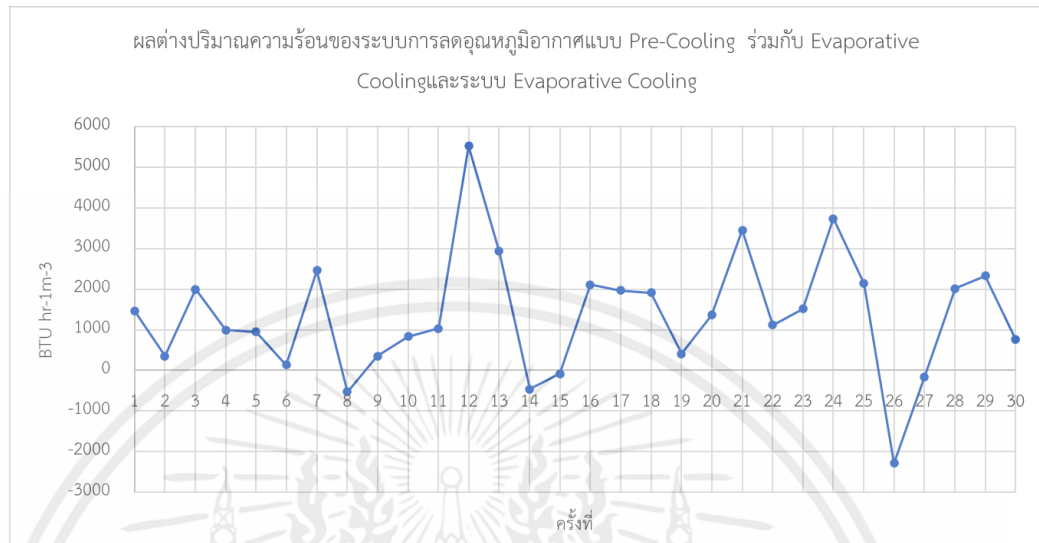


กราฟที่ 4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างวัน-เวลาในการเก็บข้อมูลกับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ของระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับระบบ Evaporative Cooling

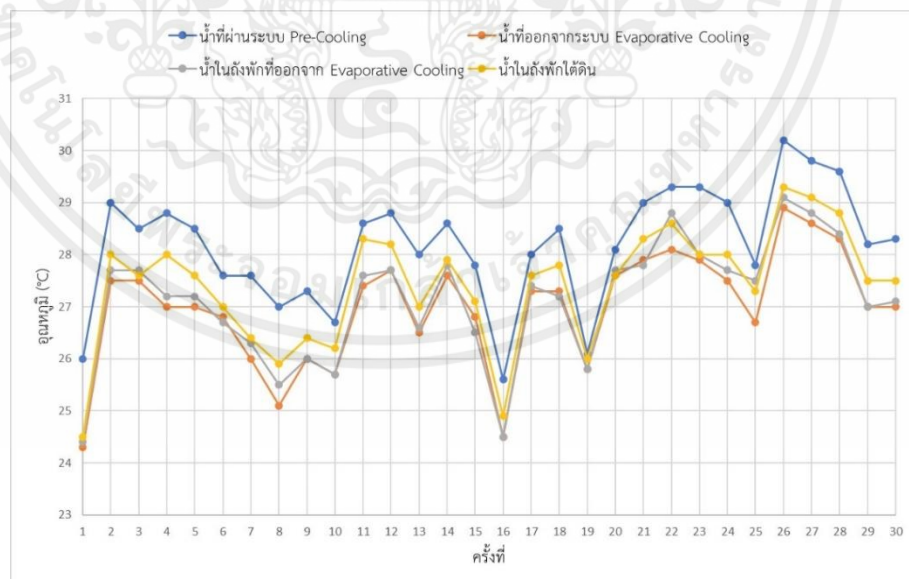


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัน-เวลาในการเก็บข้อมูลของปริมาณความร้อนระบบการลดอุณหภูมิแบบ Pre-Cooling ร่วมกับระบบ Evaporative Cooling และปริมาณความร้อนระบบการลดอุณหภูมิแบบ Evaporative Cooling

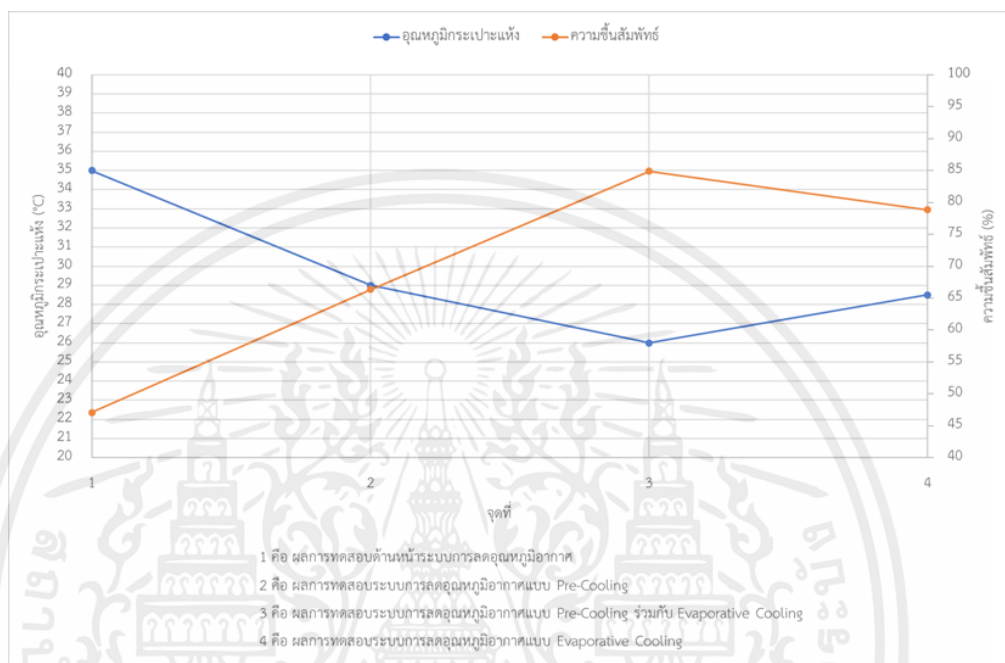


กราฟที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัน-เวลาในการเก็บข้อมูลกับอุณหภูมิน้ำ (°C) ของผลการเก็บข้อมูลน้ำที่ผ่านระบบ Pre-Cooling, น้ำที่ออกจากระบบ Evaporative Cooling, น้ำในถังพักที่ออกจาก Evaporative Cooling และน้ำในถังพักใต้ดิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ , บริเวณระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, บริเวณระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และบริเวณระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ของข้อมูลวันที่ 6 เมษายน 2566 เวลา 14.00 น.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ตารางสรุปผลการทดสอบ

ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติจำเพาะที่ใช้ในการคำนวณด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ

ด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ								
ครั้งที่	วันที่	เวลา	ความเร็วลม (m s^{-1})	Specific Volume ($\text{m}^3 \text{kg}_{\text{da}}^{-1}$)	Density ($\text{m}^3 \text{kg}_{\text{da}}^{-1}$)	Enthalpy ($\text{kJ kg}_{\text{da}}^{-1}$)	อัตราการไหล Q ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	เวลา t (s)
1	5/4/23	12:15	0.35	0.890	1.14	76.167	0.1315	22.99
2	5/4/23	15:30	0.72	0.890	1.14	76.167	0.27	11.08
3	6/4/23	10:40	0.76	0.896	1.14	84.989	0.29	10.47
4	6/4/23	14:10	0.61	0.897	1.13	78.198	0.23	13.05
5	7/4/23	14:30	1.12	0.891	1.15	85.081	0.42	7.12
6	7/4/23	15:30	1.02	0.892	1.15	87.418	0.38	7.86
7	8/4/23	11:30	0.60	0.905	1.13	97.154	0.23	13.42
8	8/4/23	13:00	1.07	0.910	1.12	97.028	0.40	7.48
9	8/4/23	14:00	0.98	0.907	1.13	94.527	0.37	8.13
10	8/4/23	16:00	0.84	0.890	1.15	80.537	0.32	9.48
11	9/4/23	11:30	0.96	0.908	1.13	99.714	0.36	8.32
12	9/4/23	13:30	1.03	0.908	1.13	99.951	0.39	7.74
13	9/4/23	16:00	0.32	0.898	1.14	84.943	0.12	25.00
14	10/4/23	9:50	0.97	0.891	1.15	89.856	0.37	8.25
15	10/4/23	13:30	0.97	0.901	1.13	84.874	0.37	8.21
16	20/4/23	10:20	0.96	0.898	1.14	87.301	0.36	8.31
17	24/4/23	9:40	0.91	0.898	1.14	92.178	0.35	8.75
18	24/4/23	11:00	0.92	0.902	1.13	92.105	0.35	8.69
19	26/4/23	9:00	0.79	0.898	1.14	89.712	0.30	10.09
20	4/5/23	9:30	0.87	0.893	1.15	89.808	0.33	9.22
21	4/5/23	11:30	0.92	0.900	1.14	94.676	0.35	8.66
22	4/5/23	12:30	0.99	0.902	1.14	94.626	0.38	8.06
23	4/5/23	14:30	1.03	0.903	1.13	94.601	0.39	7.76
24	4/5/23	15:30	1.03	0.902	1.13	89.640	0.39	7.80
25	4/5/23	16:30	1.04	0.900	1.14	89.664	0.39	7.68
26	5/5/23	13:25	1.01	0.895	1.14	76.062	0.38	7.96
27	5/5/23	14:40	0.94	0.903	1.13	89.617	0.36	8.49
28	5/5/23	15:40	1.12	0.908	1.13	99.714	0.42	7.15
29	5/5/23	16:50	1.01	0.900	1.14	89.664	0.38	7.94
30	12/5/23	13:40	1.03	0.891	1.15	85.081	0.39	7.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 คุณสมบัติจำเพาะที่ใช้ในการคำนวณระบบการลดอุณหภูมิแบบ Evaporative Cooling

ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling								
ครั้งที่	วันที่	เวลา	ความเร็วลม ($m\ s^{-1}$)	Specific Volume ($m^3\ kg_{da}^{-1}$)	Density ($m^3\ kg_{da}^{-1}$)	Enthalpy ($kJ\ kg_{da}^{-1}$)	อัตราการไหล Q ($m^3\ s^{-1}$)	เวลา t (s)
1	5/4/23	12:15	1.00	0.866	1.18	70.362	0.38	8.02
2	5/4/23	15:30	0.86	0.862	1.18	62.731	0.33	9.30
3	6/4/23	10:40	1.06	0.877	1.16	76.401	0.40	7.56
4	6/4/23	14:10	1.15	0.872	1.17	72.291	0.4328	6.99
5	7/4/23	14:30	1.12	0.877	1.17	80.781	0.42	7.12
6	7/4/23	15:30	1.13	0.881	1.16	85.266	0.43	7.07
7	8/4/23	11:30	1.11	0.881	1.16	85.266	0.42	7.23
8	8/4/23	13:00	0.93	0.884	1.16	85.219	0.35	8.65
9	8/4/23	14:00	0.95	0.880	1.16	82.976	0.36	8.41
10	8/4/23	16:00	1.00	0.874	1.01	76.444	0.38	8.02
11	9/4/23	11:30	1.02	0.883	1.16	85.243	0.38	7.88
12	9/4/23	13:30	1.18	0.874	1.17	76.444	0.45	6.79
13	9/4/23	16:00	1.07	0.870	1.17	74.408	0.41	7.46
14	10/4/23	9:50	0.92	0.881	1.16	85.266	0.35	8.67
15	10/4/23	13:30	0.95	0.881	1.16	85.266	0.36	8.39
16	20/4/23	10:20	1.01	0.866	1.18	70.362	0.38	7.90
17	24/4/23	9:40	0.96	0.883	1.16	85.243	0.36	8.32
18	24/4/23	11:00	0.96	0.881	1.16	85.266	0.36	8.32
19	26/4/23	9:00	0.74	0.883	1.16	85.243	0.28	10.81
20	4/5/23	9:30	0.97	0.873	1.17	76.465	0.37	8.26
21	4/5/23	11:30	1.19	0.879	1.16	80.736	0.45	6.75
22	4/5/23	12:30	1.01	0.876	1.17	78.589	0.38	7.92
23	4/5/23	14:30	0.90	0.874	1.17	76.444	0.34	8.88
24	4/5/23	15:30	1.01	0.873	1.17	74.345	0.38	7.91
25	4/5/23	16:30	0.99	0.866	1.18	70.362	0.37	8.06
26	5/5/23	13:25	0.96	0.886	1.16	89.952	0.36	8.37
27	5/5/23	14:40	1.06	0.880	1.16	82.976	0.40	7.54
28	5/5/23	15:40	1.08	0.871	1.17	74.387	0.41	7.41
29	5/5/23	16:50	0.93	0.868	1.17	70.342	0.35	8.58
30	12/5/23	13:40	0.98	0.876	1.17	78.589	0.37	8.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 คุณสมบัติจำเพาะที่ใช้ในการคำนวณระบบการลดอุณหภูมิแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling

ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling								
ครั้งที่	วันที่	เวลา	ความเร็วลม ($m s^{-1}$)	Specific Volume ($m^3 kg_{da}^{-1}$)	Density ($m^3 kg_{da}^{-1}$)	Enthalpy ($kJ kg_{da}^{-1}$)	อัตราการไหล Q ($m^3 s^{-1}$)	เวลา t (s)
1	5/4/23	12:15	0.47	0.874	1.17	76.444	0.18	17.20
2	5/4/23	15:30	0.92	0.866	1.17	64.541	0.35	8.69
3	6/4/23	10:40	1.04	0.882	1.16	80.683	0.39	7.69
4	6/4/23	14:10	1.34	0.881	1.16	78.480	0.51	5.95
5	7/4/23	14:30	1.21	0.881	1.16	85.266	0.46	6.59
6	7/4/23	15:30	0.98	0.884	1.16	87.583	0.37	8.19
7	8/4/23	11:30	1.02	0.886	1.16	89.952	0.38	7.87
8	8/4/23	13:00	1.03	0.885	1.16	85.196	0.39	7.76
9	8/4/23	14:00	1.10	0.884	1.16	85.219	0.42	7.26
10	8/4/23	16:00	1.02	0.878	1.01	78.545	0.38	7.86
11	9/4/23	11:30	1.00	0.886	1.15	87.536	0.38	7.98
12	9/4/23	13:30	1.03	0.881	1.16	85.266	0.39	7.77
13	9/4/23	16:00	1.03	0.879	1.16	80.736	0.39	7.75
14	10/4/23	9:50	1.19	0.881	1.16	85.266	0.45	6.72
15	10/4/23	13:30	1.02	0.881	1.16	85.266	0.39	7.81
16	20/4/23	10:20	1.17	0.873	1.17	76.465	0.44	6.87
17	24/4/23	9:40	1.13	0.886	1.16	89.952	0.43	7.09
18	24/4/23	11:00	1.09	0.886	1.16	89.952	0.41	7.34
19	26/4/23	9:00	0.93	0.886	1.16	89.952	0.35	8.57
20	4/5/23	9:30	1.08	0.879	1.16	80.736	0.41	7.44
21	4/5/23	11:30	1.21	0.886	1.15	87.536	0.46	6.63
22	4/5/23	12:30	0.97	0.880	1.16	80.727	0.36	8.29
23	4/5/23	14:30	0.93	0.879	1.16	80.736	0.35	8.58
24	4/5/23	15:30	1.03	0.883	1.16	82.931	0.39	7.75
25	4/5/23	16:30	1.09	0.874	1.17	76.444	0.41	7.37
26	5/5/23	13:25	1.14	0.891	1.15	92.325	0.43	7.04
27	5/5/23	14:40	1.03	0.884	1.16	82.908	0.39	7.77
28	5/5/23	15:40	1.06	0.878	1.16	78.545	0.40	7.53
29	5/5/23	16:50	0.92	0.872	1.17	75.641	0.35	8.69
30	12/5/23	13:40	1.07	0.879	1.16	80.736	0.40	7.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

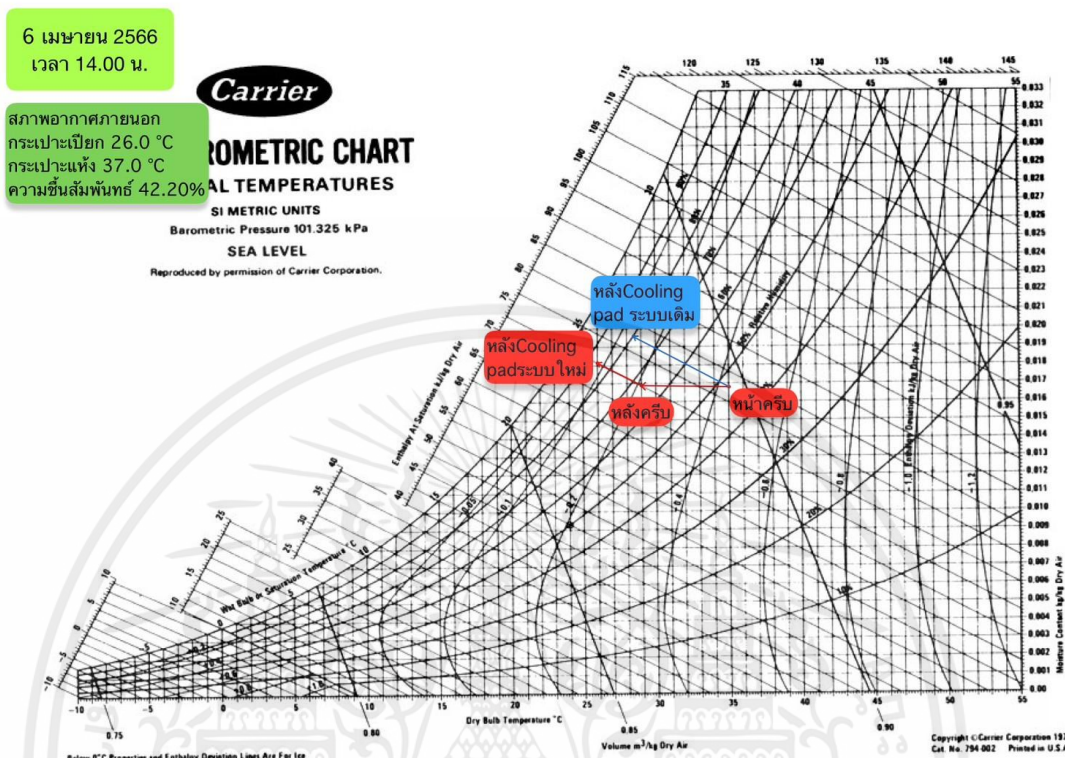
ตารางที่ 4.10 ผลต่างของปริมาณความร้อนของทั้ง 2 ระบบ

ครั้งที่	วันที่	เวลา	ปริมาณความร้อนของระบบการลดอุณหภูมิ แบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling	ปริมาณความร้อนของระบบการลดอุณหภูมิ แบบ Evaporative Cooling	ผลต่างปริมาณความร้อนของทั้ง 2 ระบบ
			BTU hr ⁻¹ m ⁻³	BTU hr ⁻¹ m ⁻³	BTU hr ⁻¹ m ⁻³
1	5/4/23	12:15	1841.88	373.58	1468.30
2	5/4/23	15:30	4697.63	4341.86	355.77
3	6/4/23	10:40	3491.52	1497.70	1993.82
4	6/4/23	14:10	2087.58	1091.05	996.54
5	7/4/23	14:30	1618.31	669.94	948.37
6	7/4/23	15:30	588.04	447.35	140.70
7	8/4/23	11:30	4985.74	2527.32	2458.43
8	8/4/23	13:00	4033.03	4554.53	-521.49
9	8/4/23	14:00	4027.11	3674.49	352.62
10	8/4/23	16:00	1288.24	448.09	840.16
11	9/4/23	11:30	5748.69	4713.42	1035.26
12	9/4/23	13:30	11361.76	5834.89	5526.86
13	9/4/23	16:00	4144.63	1206.69	2937.94
14	10/4/23	9:50	1600.38	2063.32	-462.95
15	10/4/23	13:30	1050.07	1128.30	-78.23
16	20/4/23	10:20	6898.93	4784.19	2114.74
17	24/4/23	9:40	2507.02	539.87	1967.15
18	24/4/23	11:00	2186.41	272.44	1913.97
19	26/4/23	9:00	1061.76	646.92	414.84
20	4/5/23	9:30	5364.52	3997.66	1366.86
21	4/5/23	11:30	6745.12	3290.15	3454.97
22	4/5/23	12:30	6544.94	5421.21	1123.73
23	4/5/23	14:30	6647.56	5133.08	1514.47
24	4/5/23	15:30	6137.23	2403.07	3734.16
25	4/5/23	16:30	7775.37	5633.38	2142.00
26	5/5/23	13:25	6744.28	9028.49	-2284.21
27	5/5/23	14:40	2241.24	2394.66	-153.41
28	5/5/23	15:40	11234.99	9221.31	2013.68
29	5/5/23	16:50	7388.67	5060.41	2328.26
30	12/5/23	13:40	2419.12	1654.74	764.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณความร้อนของระบบ

วันที่ 6 เมษายน 2566 เวลา 14:00 น.



อุปกรณ์ในการหาอัตราการไหล (อุโมงค์ลม) ความกว้าง 0.72 m ความยาว 8 m ความสูง 0.525 m

$$\text{ปริมาตรของสี่เหลี่ยม (V_{\text{อุโมงค์ลม}})} = ก \times ย \times ส = 0.525 \times 8 \times 0.72 = 3.024 \text{ m}^3$$

$$\text{พื้นที่ของสี่เหลี่ยม (A_{\text{อุโมงค์ลม}})} = ก \times ส = 0.525 \times 0.72 = 0.387 \text{ m}^2$$

สถานะเริ่มต้นของทั้ง 2 ระบบ

$$T_{db} = 35.0 \text{ }^\circ\text{C} , T_{wb} = 25.5 \text{ }^\circ\text{C} , RH = 47.08 \% , v = 0.897 \text{ m}^3\text{kg}_{\text{Sda}}^{-1} , h_{\text{sat}} = 78.198 \text{ kJ kg}_{\text{Sda}}^{-1}$$

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักอากาศแห้ง} &= \frac{V_{\text{อุโมงค์ลม}}}{v} \\ &= \frac{3.024}{0.897} \\ &= 3.3712 \text{ kg}_{\text{Sda}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta h_{\text{air0}} &= 78.198 \times 3.3712 \\ &= 263.62 \text{ kJ} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะที่ 1 ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับระบบ Evaporative Cooling

$$T_{db} = 26.0 \text{ }^{\circ}\text{C}, T_{wb} = 24.0 \text{ }^{\circ}\text{C}, RH = 84.90 \%, v = 0.872 \text{ m}^3 \text{ kg}_{\text{Sda}}^{-1}, h_{\text{sat}} = 72.291 \text{ kJ kg}_{\text{Sda}}^{-1},$$

$$v_{\text{avg}} = 1.15 \text{ m s}^{-1}$$

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักอากาศแห้ง} &= \frac{V_{\text{อุโมงค์ลม}}}{v} \\ &= \frac{3.024}{0.872} \\ &= 3.4679 \text{ kg}_{\text{Sda}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta h_{\text{air1}} &= 72.291 \times 3.4679 \\ &= 250.70 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta h_1 &= |\Delta h_{\text{air1}} - \Delta h_{\text{air0}}| \\ &= |250.70 - 263.62| \\ &= 12.93 \text{ kJ} \end{aligned}$$

หาอัตราการไหลของอากาศ (Q)

$$\begin{aligned} Q &= Av \\ &= 0.378 \times 1.15 \\ &= 0.4328 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

หาเวลาที่ใช้ในระบบ Pre-Cooling (t)

$$\begin{aligned} t &= \frac{V_{\text{อุโมงค์ลม}}}{Q} \\ &= \frac{3.024}{0.4328} \\ &= 6.99 \text{ s} \end{aligned}$$

หางานที่ใช้ในระบบ (W)

$$\begin{aligned} W &= \frac{\Delta h_1}{t} \\ &= \frac{12.93}{6.99} \\ &= 1.85 \text{ kJ s}^{-1} \end{aligned}$$

$$\text{แปลง kJ hr}^{-1} = 1.85 \times 3600$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 &= 6,660.53 \text{ kJ hr}^{-1} \\
 \text{แปลง BTU hr}^{-1} &= 6,660.53 \times 0.9478 \\
 &= 6,312.85 \text{ BTU hr}^{-1} \\
 \text{เทียบต่อ 1 ปริมาตร} &= \frac{6,312.85}{3.024} \\
 &= 2,087.58 \text{ BTU hr}^{-1} \text{ m}^{-3}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ใน 1 ชั่วโมง ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับระบบ Evaporative Cooling ที่สภาวะแวดล้อม $T_{db} = 35.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{wb} = 25.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} = 47.08 \%$ จะสามารถดึงความร้อนออกได้ $2,087.58 \text{ BTU hr}^{-1} \text{ m}^{-3}$

สภาวะที่ 2 ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling ที่ $T_{db} = 28.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{wb} = 25.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} = 78.85 \%$, $v = 0.881 \text{ m}^3 \text{ kg}_{\text{Sda}}^{-1}$, $h_{\text{sat}} = 78.480 \text{ kJ kg}_{\text{Sda}}^{-1}$, $v_{\text{avg}} = 1.34 \text{ ms}^{-1}$

$$\begin{aligned}
 \text{น้ำหนักอากาศแห้ง} &= \frac{V_{\text{อุโมงค์ลม}}}{v} \\
 &= \frac{3.024}{0.881} \\
 &= 3.4325 \text{ kg}_{\text{Sda}} \\
 \Delta h_{\text{air2}} &= 78.480 \times 3.4325 \\
 &= 268.38 \text{ kJ} \\
 \Delta h_2 &= |\Delta h_{\text{air2}} - \Delta h_{\text{air0}}| \\
 &= |268.38 - 263.62| \\
 &= 5.76 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

หาอัตราการไหลของอากาศ (Q)

$$\begin{aligned}
 Q &= Av \\
 &= 0.378 \times 1.34 \\
 &= 0.5080 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาเวลาที่ใช้ในระบบ Pre-Cooling (t)

$$\begin{aligned} t &= \frac{V_{\text{อุโมงค์ลม}}}{Q} \\ &= \frac{3.024}{0.5080} \\ &= 5.95 \text{ s} \end{aligned}$$

หางานที่ใช้ในระบบ (W)

$$\begin{aligned} W &= \frac{\Delta h_1}{t} \\ &= \frac{5.76}{5.95} \\ &= 0.97 \text{ kJ s}^{-1} \\ \text{แปลง kJ hr}^{-1} &= 0.97 \times 3600 \\ &= 3,481.03 \text{ kJ hr}^{-1} \\ \text{แปลง BTU hr}^{-1} &= 3,481.03 \times 0.9478 \\ &= 3,299.32 \text{ BTU hr}^{-1} \\ \text{เทียบกับ 1 ปริมาตร} &= \frac{3,299.32}{3.024} \\ &= 1,091.05 \text{ BTU hr}^{-1} \text{ m}^{-3} \end{aligned}$$

ดังนั้น ใน 1 ชั่วโมง ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling ที่สภาวะแวดล้อม $T_{db} = 35.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{wb} = 25.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} = 47.08 \%$ จะสามารถดึงความร้อนออกได้ $1,091.05 \text{ BTU hr}^{-1} \text{ m}^{-3}$

4.10 การวิเคราะห์ผลข้อมูล

จากผลข้อมูลใน ตารางที่ 4.10 และ 4.11 ที่ได้ เมื่อพิจารณาจะพบว่าระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับระบบ Evaporative Cooling สามารถลดอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศให้มีค่าต่ำกว่าระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling ทุกครั้ง

แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณการดึงความร้อน จะพบว่าในวันที่ 10 เมษายน 2566 เวลา 9.50 น. (ข้อมูลที่ 14) และ 10 เมษายน 2566 เวลา 13.30 น. (ข้อมูลที่ 15) มีความสามารถในการดึงความร้อนได้ต่ำกว่าระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling แม้ระบบจะอยู่ในสภาวะเดียวกัน มีผลต่างเอนทัลปีเท่ากัน แต่เมื่อพิจารณาเทียบเวลาจะพบว่ามีค่าต่างกัน เนื่องมาจากระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling มีความเร็วลมเฉลี่ยที่มากกว่า ทำให้เวลาที่ใช้ในการดึงอากาศออกของระบบมีค่าน้อยกว่าอยู่ที่ข้อมูลที่ 14 ใช้เวลา 6.72 s และข้อมูลที่ 15 ใช้เวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.81 s แต่การลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับระบบ Evaporative Cooling เวลาที่ใช้ในการดึงอากาศออกข้อมูลที่ 14 ใช้เวลา 8.67 s และข้อมูลที่ 15 ใช้เวลา 8.39 s ดังนั้นระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling จึงสามารถดึงความร้อนได้ดีกว่า

ในวันที่ 8 เมษายน 2566 เวลา 13.00 น. (ข้อมูลที่ 8) และ 5 พฤษภาคม 14.00 น. (ข้อมูลที่ 27) ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับระบบ Evaporative Cooling มีความสามารถในการดึงความร้อนได้ดีกว่าระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling เนื่องจากระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับระบบ Evaporative Cooling และระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling มีอุณหภูมิกระเปาะเปียกเท่ากันทั้ง 2 ระบบ ส่งผลให้เมื่ออุณหภูมิกระเปาะแห้งต่ำเอนทัลปีมีค่าสูง เนื่องจากค่าเอนทัลปีที่ได้จะเป็นแบบ Adiabatic เมื่อมีการค้ำน้ำเอนทัลปีปรับแก้จะทำให้อุณหภูมิกระเปาะแห้งยิ่งสูงค่าเอนทัลปีจะยิ่งต่ำลง ดังตารางที่ 4.3 และ 4.5 ดังนั้นระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling จึงสามารถดึงความร้อนได้ดีกว่า

ในวันที่ 5 พฤษภาคม 2566 เวลา 13.25 น. (ข้อมูลที่ 26) ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับระบบ Evaporative Cooling มีความสามารถในการดึงความร้อนได้ดีกว่าระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling เนื่องจากอุณหภูมิกระเปาะเปียกด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ มีค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกต่ำกว่าอยู่ที่ 25 °C ซึ่งต่ำกว่าระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับระบบ Evaporative Cooling มีค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกอยู่ที่ 28 °C และระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling มีค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกอยู่ที่ 28.5 °C ส่งผลต่อผลต่างเอนทัลปี ดังตารางที่ 4.2 , 4.3 และ 4.5 ดังนั้นหากระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับระบบ Evaporative Cooling หรือระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling ระบบใดระบบหนึ่งมีค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกสูงกว่าด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ จะส่งผลให้ผลต่างเอนทัลปีสูงกว่า

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ระบบการลดอุณหภูมิแบบ Evaporative Cooling สามารถลดอุณหภูมิกระเปาะแห้งได้ต่ำลง โดยมีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นสูง ทำให้เมื่อความชื้นสัมพัทธ์มีค่า 100% แล้ว จะไม่สามารถลดอุณหภูมิกระเปาะแห้งให้มีค่าต่ำลงได้อีก เนื่องจากอากาศอิ่มตัวไปด้วยไอน้ำ

ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling สามารถช่วยลดอุณหภูมิกระเปาะแห้งลงได้ 2–7 °C เมื่อเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์กับระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling จะพบว่า ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling จะมีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นน้อยกว่าระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling

ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับระบบ Evaporative Cooling สามารถลดอุณหภูมิกระเปาะแห้งให้มีค่าต่ำกว่าระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling ได้ โดยจะมีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากอากาศมีการรับปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 สามารถปรับปรุงความสามารถในการลดอุณหภูมิได้ต่ำลง ด้วยการเพิ่มขนาดของหม้อน้ำหรือจำนวนและความหนาครีบริบายความร้อน โดยทำให้มีขนาดเท่ากับ Cooling pad เพื่อเป็นการทดลองภายในโรงเรือนทั้งหมด

5.2.2 ใช้อุปกรณ์การวัดอุณหภูมิที่มีความแม่นยำและสามารถเก็บค่าอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้เซนเซอร์ที่มีมาตรฐานและสามารถเก็บข้อมูลได้ตลอดทั้งวัน

5.2.3 อาจมีการพัฒนาให้โรงเรือนเพาะปลูกสามารถประยุกต์ใช้กับการเลี้ยงปศุสัตว์ได้ โดยอาศัยหลักการ Ventilation เนื่องจากระบบการลดอุณหภูมิ Pre-Cooling สามารถช่วยลดอุณหภูมิของอากาศได้ โดยที่ความชื้นเพิ่มขึ้นจากสภาวะอากาศแวดล้อมไม่สูงเหมือนการเปลี่ยนแปลงความชื้นของระบบ Evaporative cooling

5.2.4 เพิ่มจุดวัดตอนเก็บข้อมูลอุณหภูมิและอัตราการไหล เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของข้อมูล

5.2.5 ประดิษฐ์อุปกรณ์วัดอัตราการไหลที่มีความแข็งแรงขึ้น โดยอาจเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ในการทำ เพื่อให้เกิดความคงที่ของพื้นที่ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและมีความสะดวกยิ่งขึ้น

5.2.6 อาจมีการทดลองเพิ่มหรือลดระยะห่างในการวางระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling เพื่อดูว่าระยะห่าง ส่งผลต่อการลดอุณหภูมิของอากาศหรือไม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ดุลยโชติ ชลศึกษ์. “การออกแบบระบบท่อทางวิศวกรรม”, 2557. หน้า 18-26

ติกะบุรณาค และคณะ. “ความเป็นไปได้ของการใช้พัดลมเย็นแบบระเหย” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://so05.tci-thaijo.org/index.php/DPUsthiparithatJournal/article/download/246073/167415/>

ตำราฝึกรอบรู้ผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(ผขพ) ด้านความร้อน. “บทที่ 4 หลักการเบื้องต้นของการถ่ายเทความร้อน (Principle of heat transfer)” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Heat/pre_heat_4.pdf

บริษัท ป.กวิน. “เช็ควาล์ว (Check Valve) คืออะไร และสำคัญอย่างไร.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.pokawin.com/16397249/เช็ควาล์ว-check-valve-คืออะไร-และสำคัญอย่างไร>

บริษัท เอ็นเทค แอสโซซิเอท จำกัด. “คู่มือการใช้งานฉบับภาษาไทย เครื่องวัดความเร็วลมมัลติฟังก์ชัน Model Testo435.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.entech.co.th/wp-content/uploads/2019/03/SD-TS-MAN-015คู่มือการใช้งาน-testo-435-Rev.1.pdf>

บริษัท ฮาร์ดแวร์ คิง จำกัด. “POLO ปัมป์หอยโข่ง 0.5HP 1" CPM-130” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.hardwareking.co.th/product/6686/polo-ปั๊มหอยโข่ง-0-5hp-1-cpm-130>

ผ่านคูลิ่งแพด.com. “ระบบอีแวป (Evap System)” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [https:// www.คูลิ่งแพด.net/ระบบอีแวป-evap-system/](https://www.คูลิ่งแพด.net/ระบบอีแวป-evap-system/)

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. “Psychrometric chart / แผนภูมิไซโครเมตริก.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0573/psychrometric-chart-แผนภูมิไซโครเมตริก>

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. “บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2555/enen41255mf_ch2.pdf

มหาวิทยาลัยแม่โจ้. “การประหยัดพลังงานระบบEVAPORATIVE COOLING ของโรงเรือนกระจก โดยใช้ CHILLED WATER NIGHT COOLING” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://so05.tci->

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

thaijo.org/index.php/DPU_Suthiparithat_Journal/article/download/246073/167415/

ศุนย์วิจัย CIIMBITAL มหาวิทยาลัยอัลเมรีอา. “ศึกษาการทำความเย็นแบบระเหย เพื่อรักษาพืชในการลดอุณหภูมิที่อากาศเข้าและรักษาปริมาณความชื้นให้เพียงพอ” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.researchgate.net/publication/228628534_The_efficiency_of_fan-pad_cooling_system_in_greenhouse_and_building_up_of_internal_greenhouse_temperature_map

สุริชัย ภัทรกิจนรินทร์ และรวี งามโชคชัยเจริญ. “มารู้จัก Psychrometric Chart กันเถอะ” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.acat.or.th/download/acat_or_th/journal-8/08%20-%2007.pdf

Administrator-Pp2car. “หม้อน้ำรถยนต์.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://pp2car.com/หม้อน้ำรถยนต์/>

Carsome. “หม้อน้ำรถยนต์สำคัญอย่างไร? คนรักรถห้ามละเลย.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.carsome.co.th/news/item/car-radiator>

Fluke Corporation. “51&52 Series II.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/5152_____umtha0200.pdf

Flu-Tech Admin. “บอลวาล์ว (Ball Valve) คืออะไร ทำงานอย่างไร.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://flutech.co.th/ball-valve-how-they-work/>

HDThaipipe. “ข้อต่อยูเนี่ยน uPVC คืออะไร ใช้กับงานแบบไหนได้บ้าง พร้อมราคาอัพเดทล่าสุด.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.hdthaipipe.com/ข้อต่อยูเนี่ยนupvc>

HDThaipipe. “รูโหม ฟุตวาล์ว หรือ วาล์วหัวกะโหลก มีหน้าที่อะไร.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.hdthaipipe.com/ฟุตวาล์วหรือวาล์วหัวกะโหลกมีหน้าที่อะไร>

Home Product Center Public Company Limited. “ข้อต่อสามทางวาย-บาง SCG 3 นิ้ว สีฟ้า” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.homepro.co.th/p/1055333>

Instruments Co.,Ltd. “FLUKE - 80PK-22 Suregrip, Immersion Temperature Probe.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.smi-i.com/b_product.php?product=191

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Patiparn.“บทที่ 7 สมดุลพลังงานแบบไม่เกิดปฏิกิริยา”[ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก : <http://eng-training.buu.ac.th/document/1282742992.pdf>

Titlecnx.“ประเภท ข้อต่อ และ ท่อน้ำ ที่ทุกคนควรรู้ ก่อนซื้อปั้มน้ำ.”[ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก : <https://toolmartonline.com/gardentool/ประเภท-ข้อต่อท่อน้ำ-ที่ขาดไม่ได้ในระบบน้ำของคุณ/>

Uile Engineering International Co.,Ltd. “น้ำ : ปัจจัยสำคัญของโรงเรือนอีแวป”[ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก : <https://www.evap-cooling.com/17045062/น้ำ-ปัจจัยสำคัญของโรงเรือนอีแวป>

VLine Product Co.,Ltd.“ 17 ชนิดของอุปกรณ์ท่อPVC - รวมทุกอย่างให้เธอแล้ว”[ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก : <https://www.torpvc.com/post/fittings>

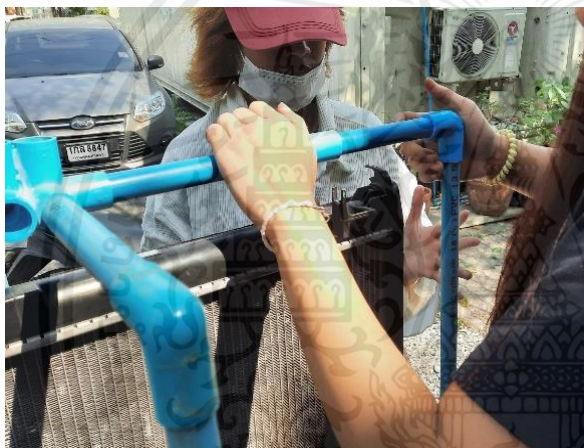
Waterman.“ปั้มน้อยโข่ง ประเภทและชนิดที่คุณต้องรู้.”[ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก : <https://water-pump.co/ปั้มน้อยโข่ง/ปั้มน้อยโข่ง-ประเภทและชนิดที่คุณต้องรู้/>

www.testo.com.“Multi-function measuring instrument.”[ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก : <https://legatool.com/pub/media/wysiwyg/PDF-Catalog/testo/testo-435-1.pdf>

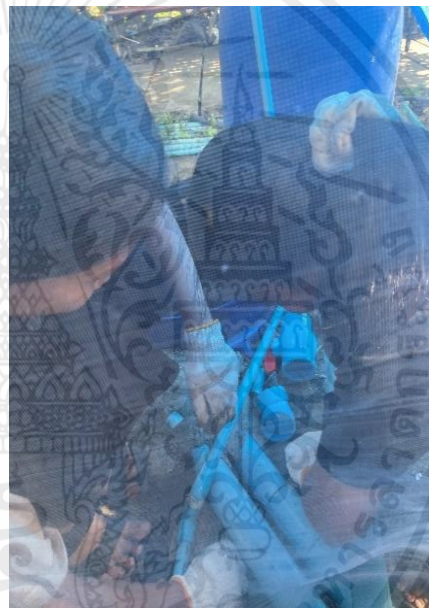


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

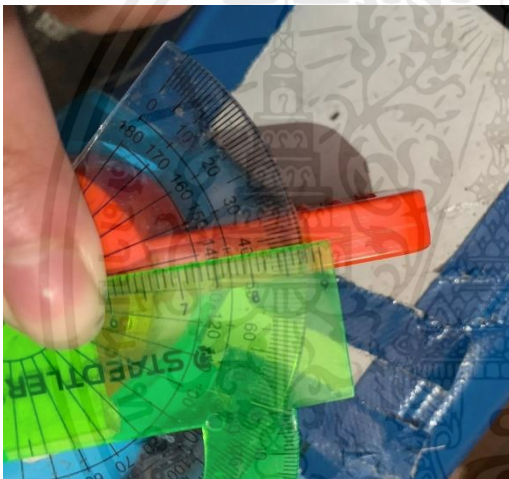
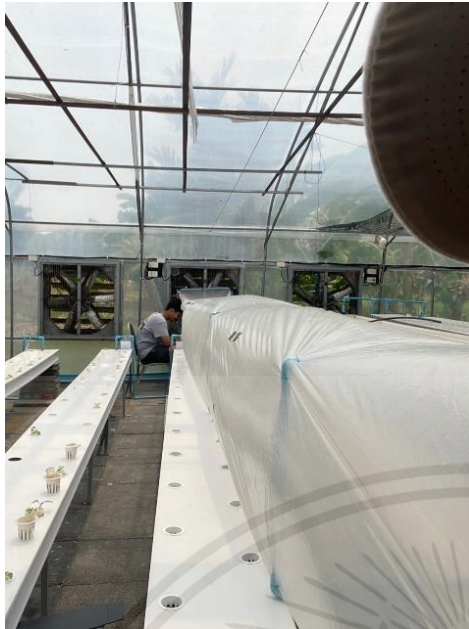
1. การออกแบบติดตั้งระบบทำความเย็น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

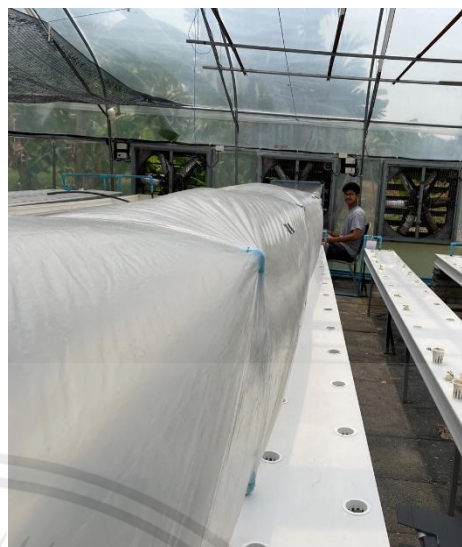


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดสอบระบบการทำความเย็น เริ่มทดสอบระบบทั้งหมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเอกสารวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกพันหาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

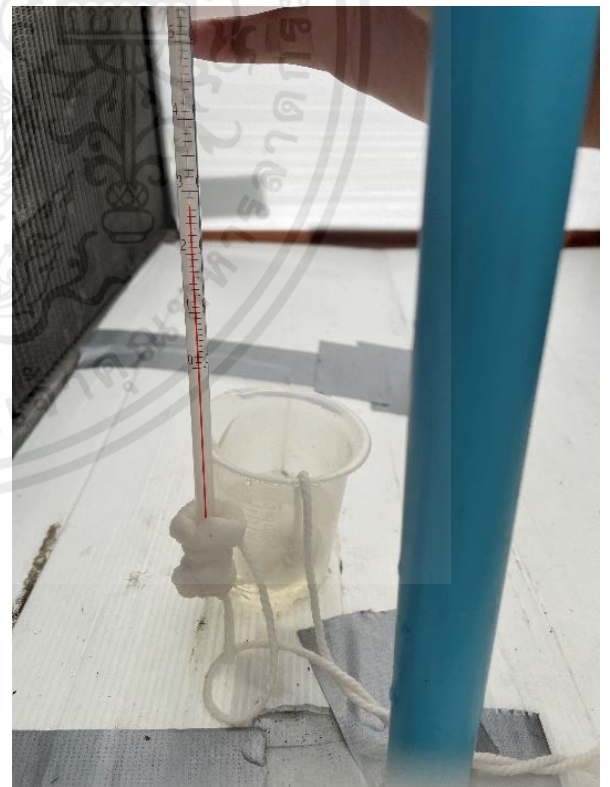
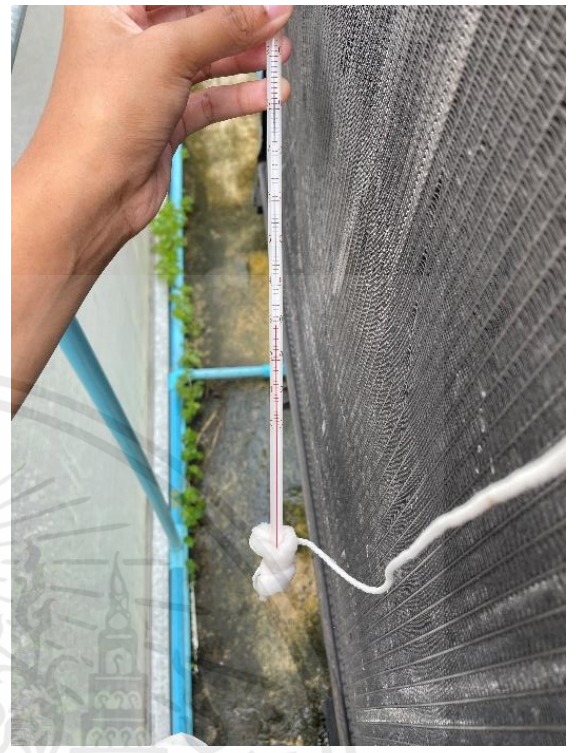
1. การเก็บข้อมูล

1.1 การวัดอุณหภูมิน้ำ วันที่ 5 พฤษภาคม 2566 เวลา 15:40 น.

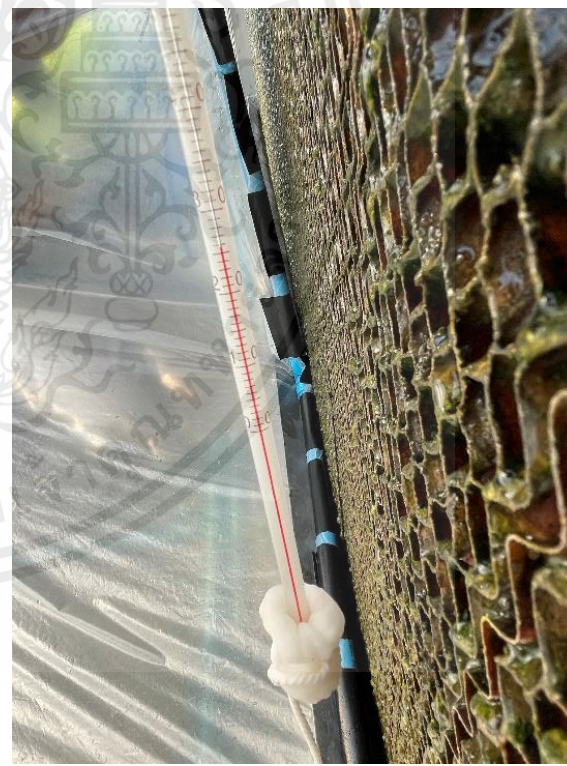
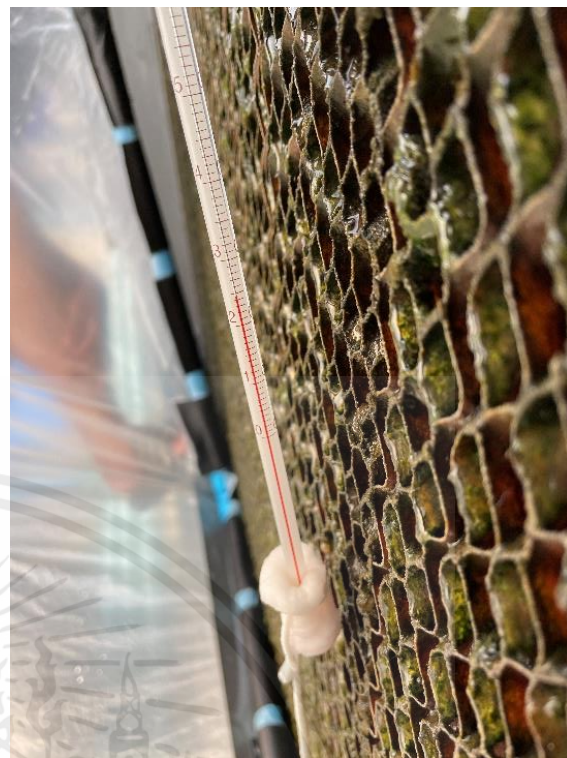
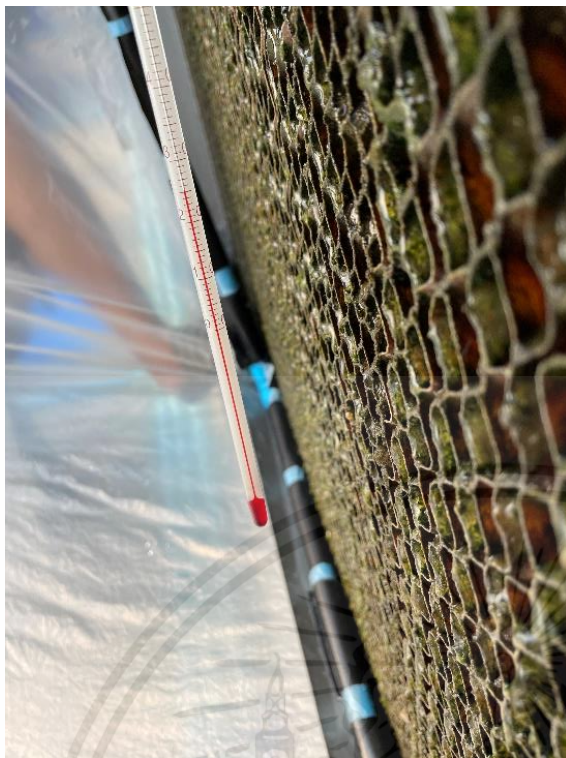


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 การวัดอุณหภูมิอากาศ ในแต่ละจุด วันที่ 5 พฤษภาคม 2566 เวลา 15:40 น.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 การวัดความเร็วลม ในแต่ละจุด วันที่ 5 พฤษภาคม 2566 เวลา 15:40 น.

1.3.1 การวัดความเร็วลม ที่ด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.2 การวัดความเร็วลม ที่ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

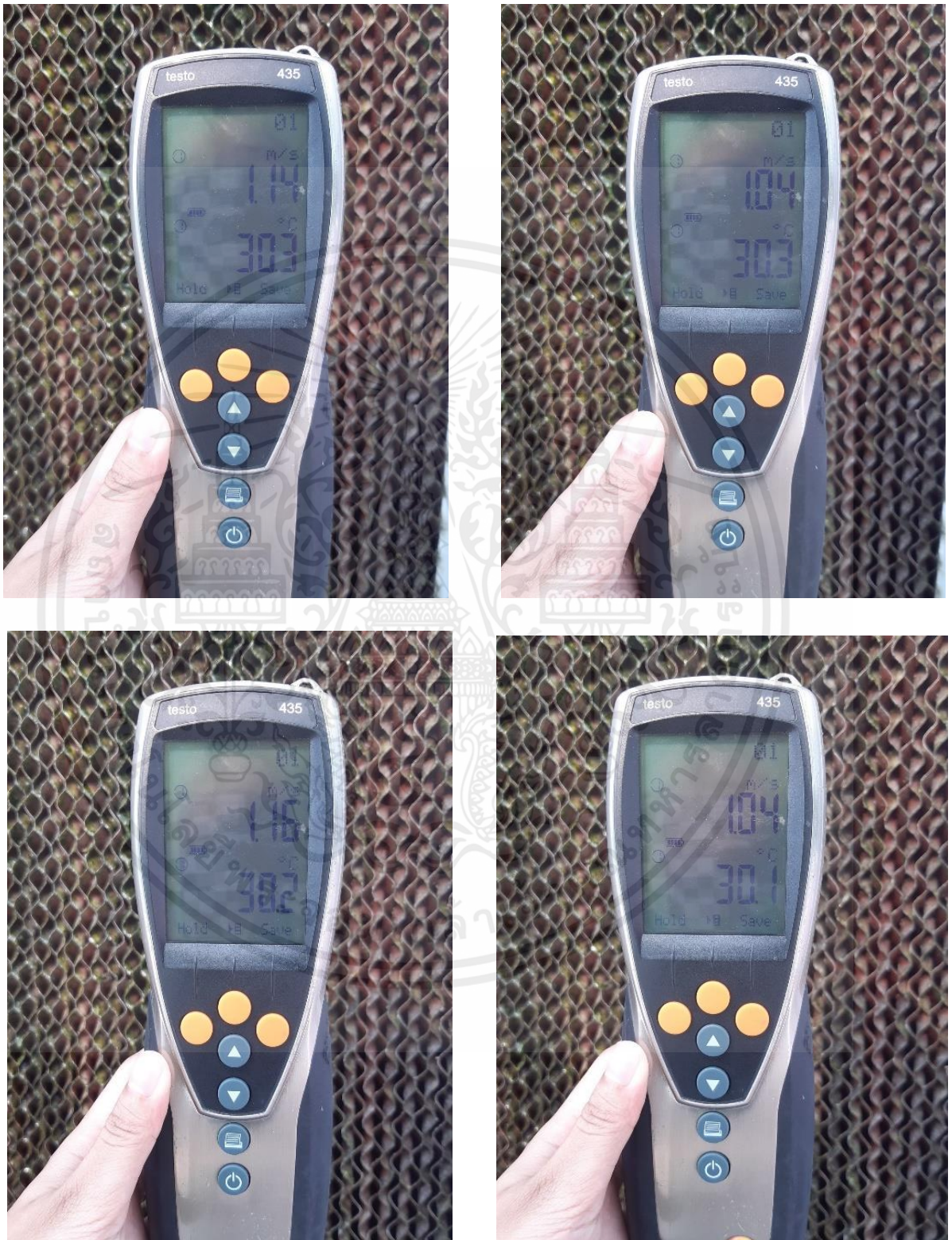


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.3 การวัดความเร็วลม ที่ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling (ระบบใหม่)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

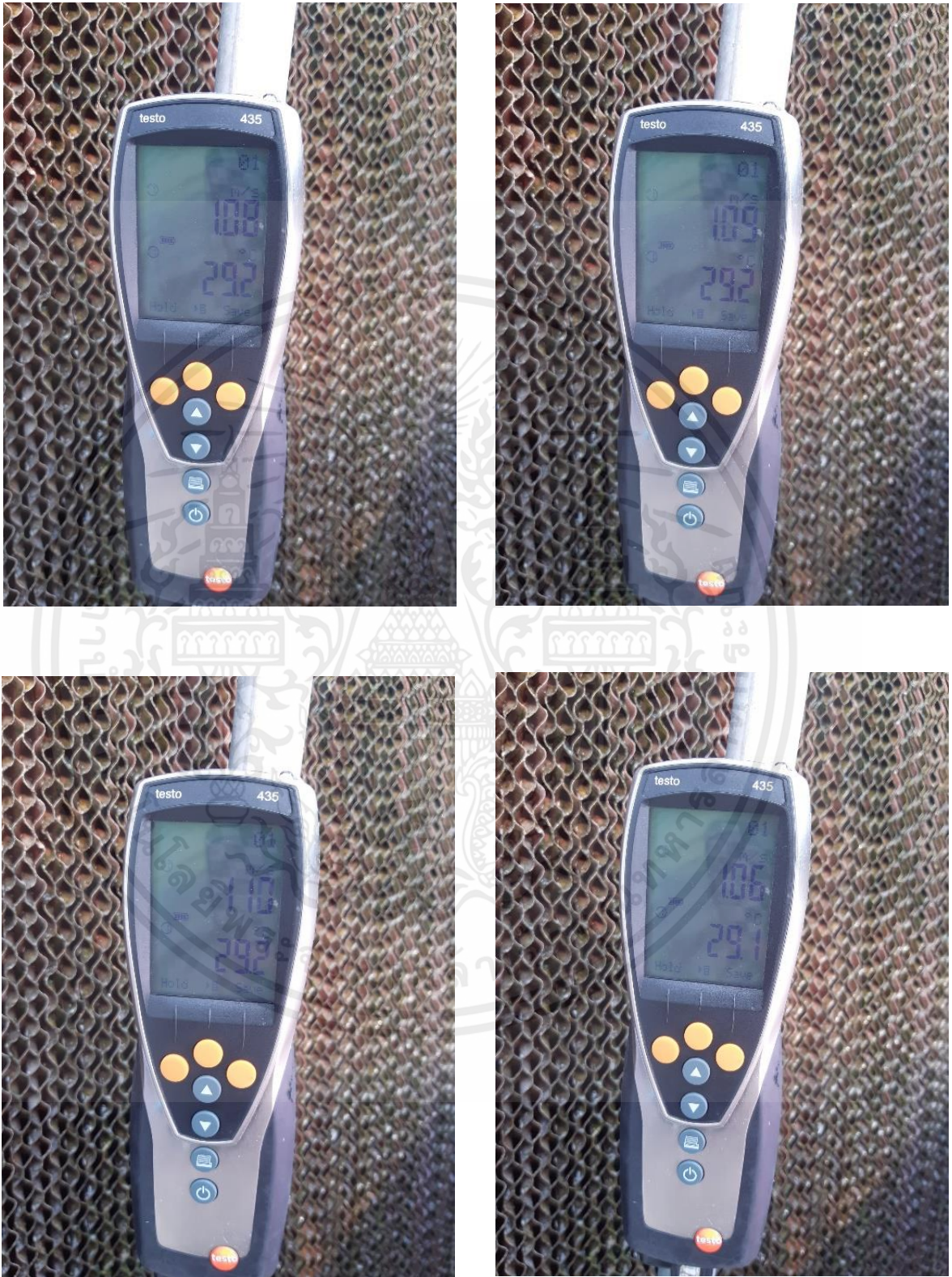


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.4 การวัดความเร็วลม ที่ระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling (ระบบเดิม)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวัดอัตราการไหลของปั๊มที่ใช้ในระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การวัดอัตราการไหลของปั๊มที่ใช้ในระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

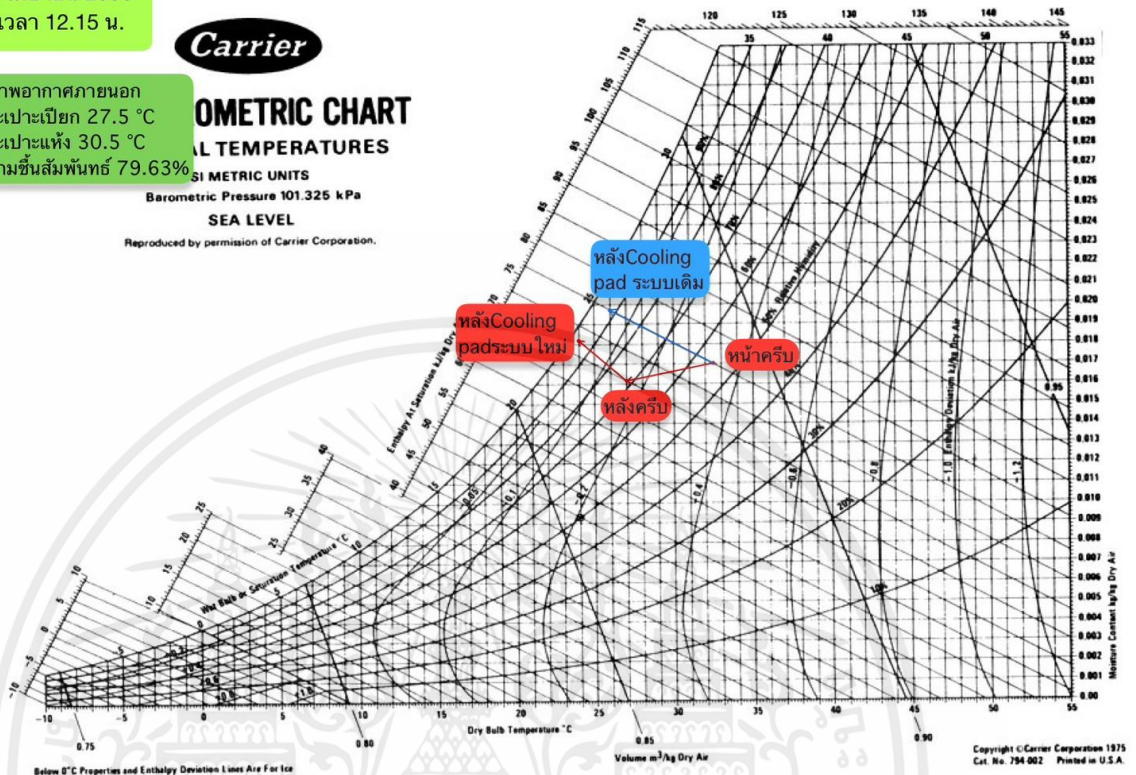


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พล็อตผลการทดลองลงใน Psychrometric Chart

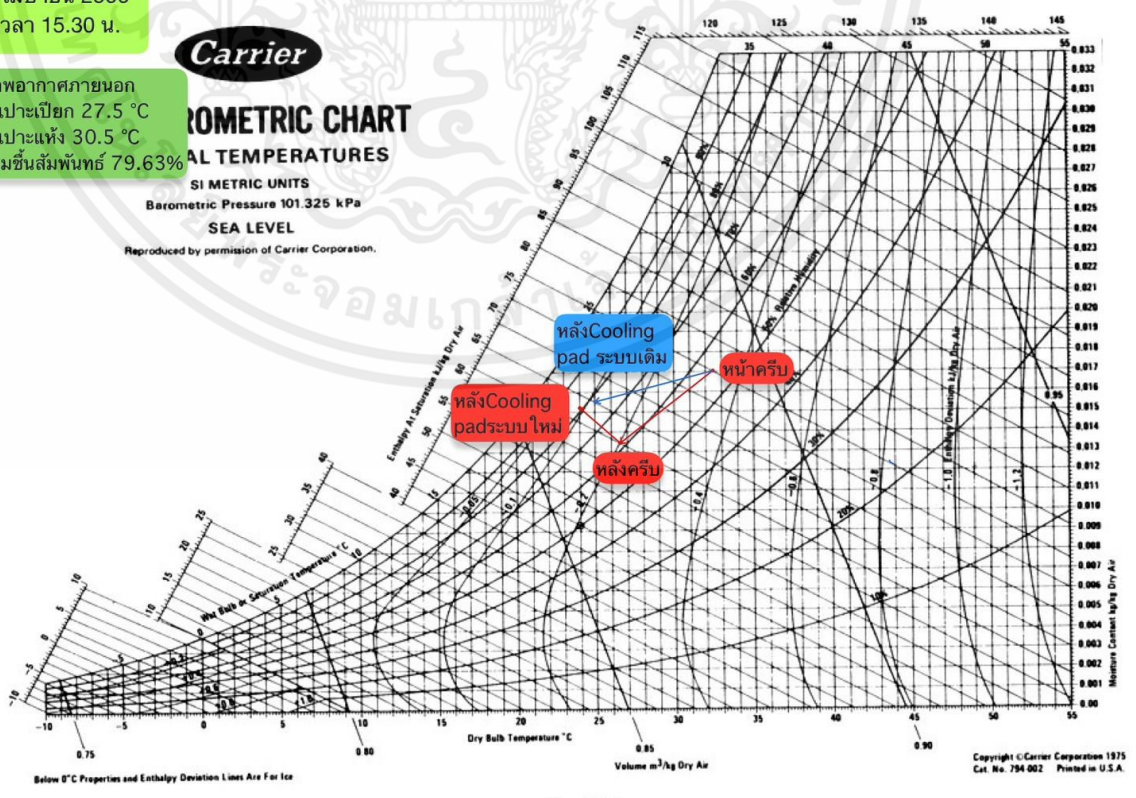
5 เมษายน 2566
เวลา 12.15 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 27.5 °C
กระเปาะแห้ง 30.5 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 79.63%



5 เมษายน 2566
เวลา 15.30 น.

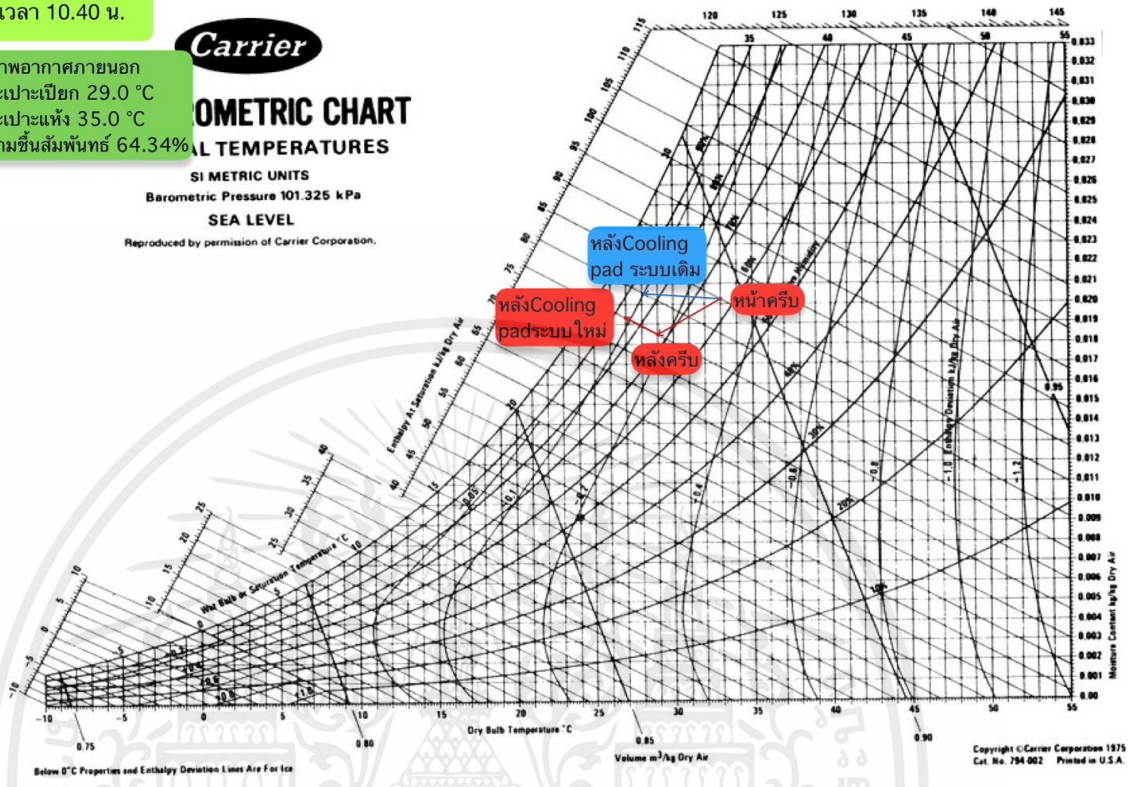
สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 27.5 °C
กระเปาะแห้ง 30.5 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 79.63%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

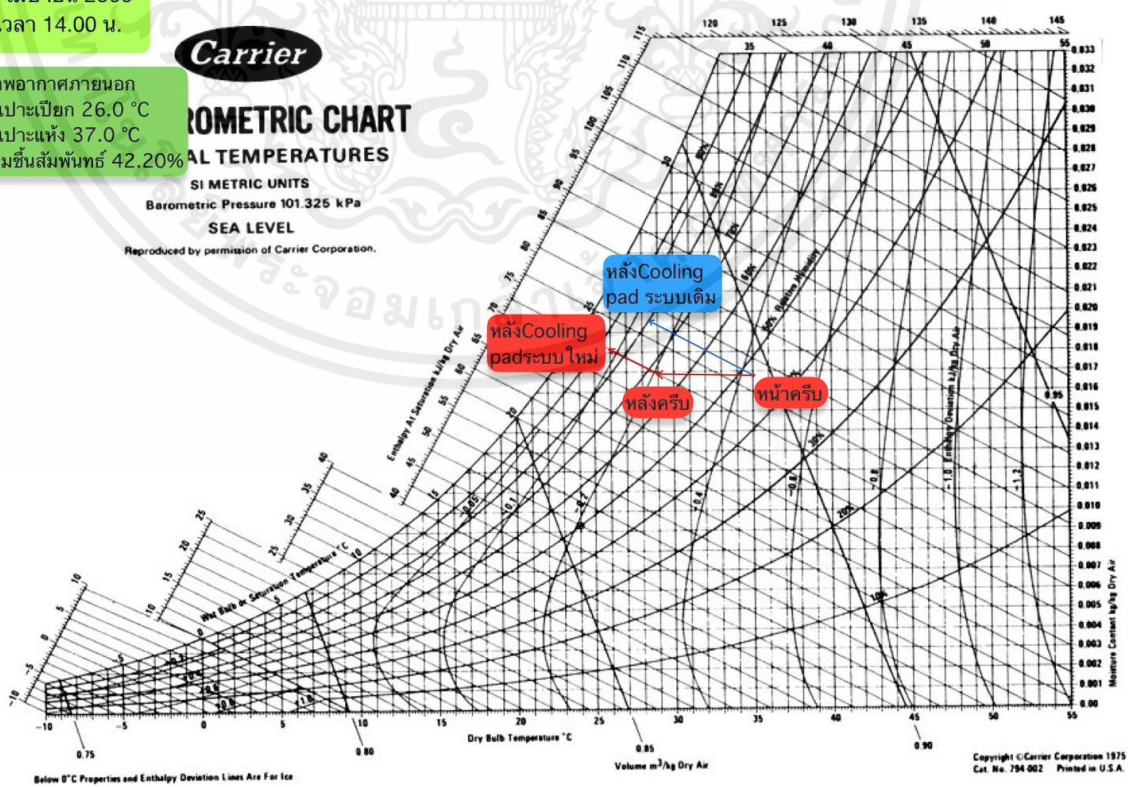
6 เมษายน 2566
เวลา 10.40 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 29.0 °C
กระเปาะแห้ง 35.0 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 64.34%



6 เมษายน 2566
เวลา 14.00 น.

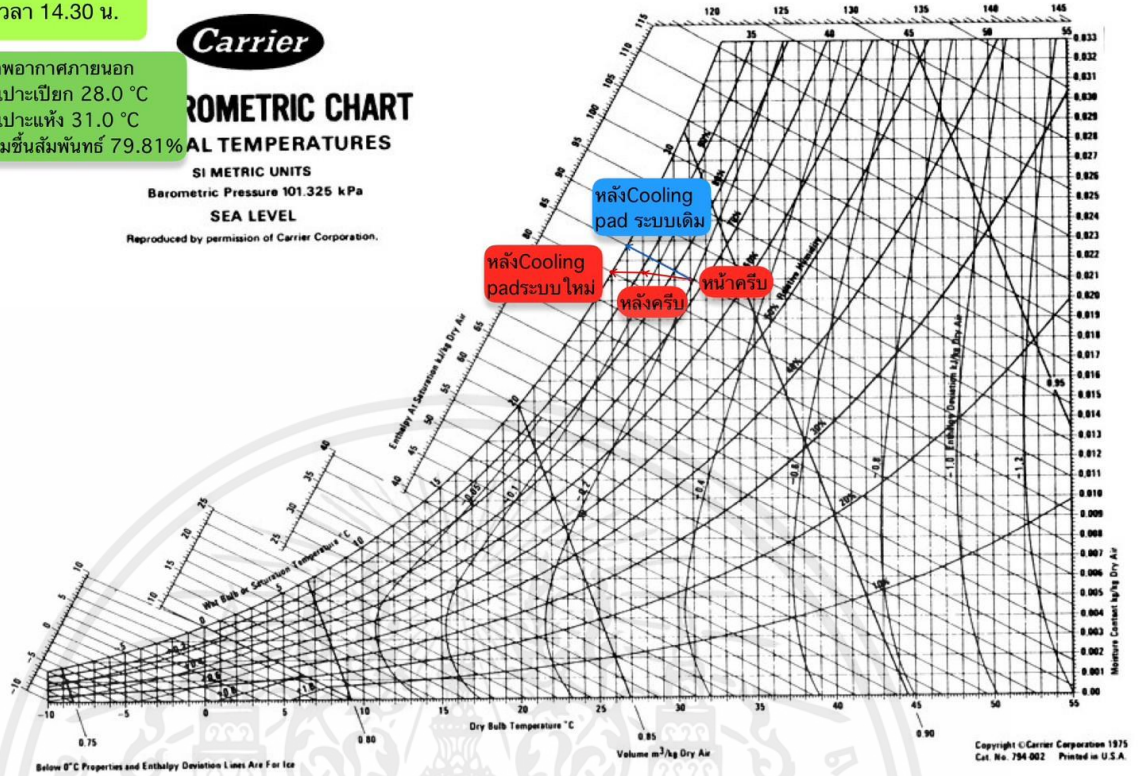
สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 26.0 °C
กระเปาะแห้ง 37.0 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 42.20%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

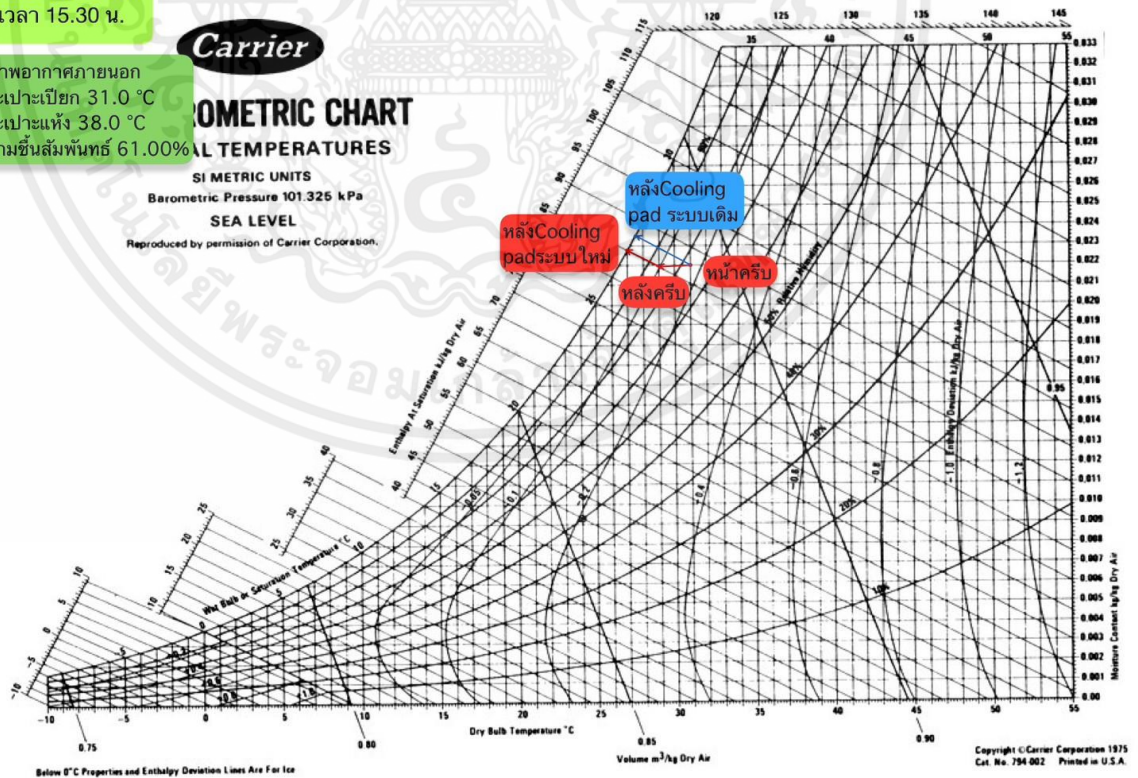
7 เมษายน 2566
เวลา 14.30 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 28.0 °C
กระเปาะแห้ง 31.0 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 79.81%



7 เมษายน 2566
เวลา 15.30 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 31.0 °C
กระเปาะแห้ง 38.0 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 61.00%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

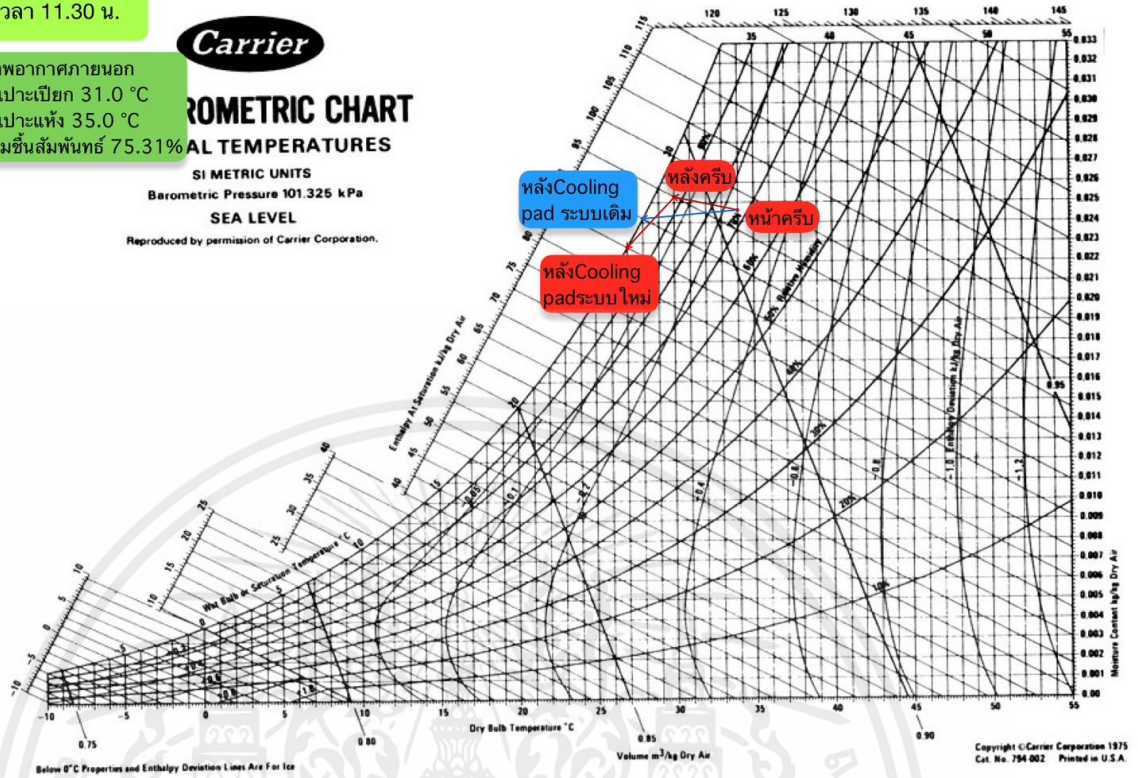
8 เมษายน 2566
เวลา 11.30 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 31.0 °C
กระเปาะแห้ง 35.0 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 75.31%



PSYCHROMETRIC CHART
SATURATED TEMPERATURES

SI METRIC UNITS
Barometric Pressure 101.325 kPa
SEA LEVEL
Reproduced by permission of Carrier Corporation.



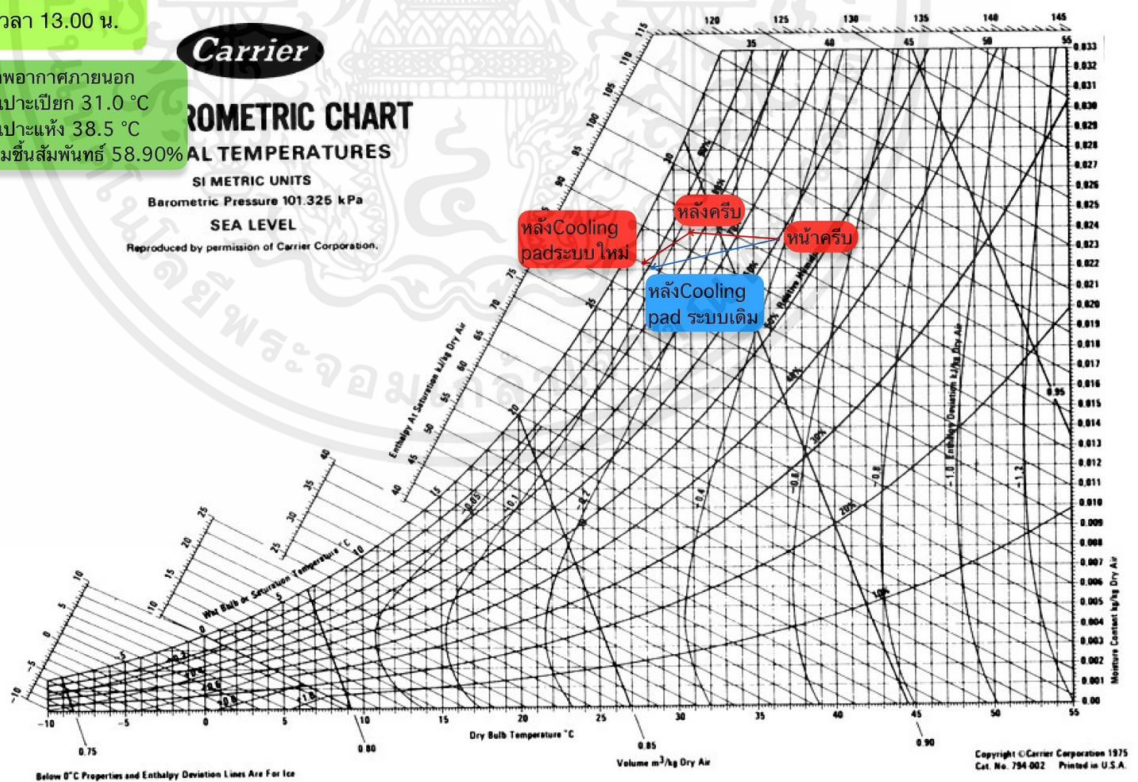
8 เมษายน 2566
เวลา 13.00 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 31.0 °C
กระเปาะแห้ง 38.5 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 58.90%



PSYCHROMETRIC CHART
SATURATED TEMPERATURES

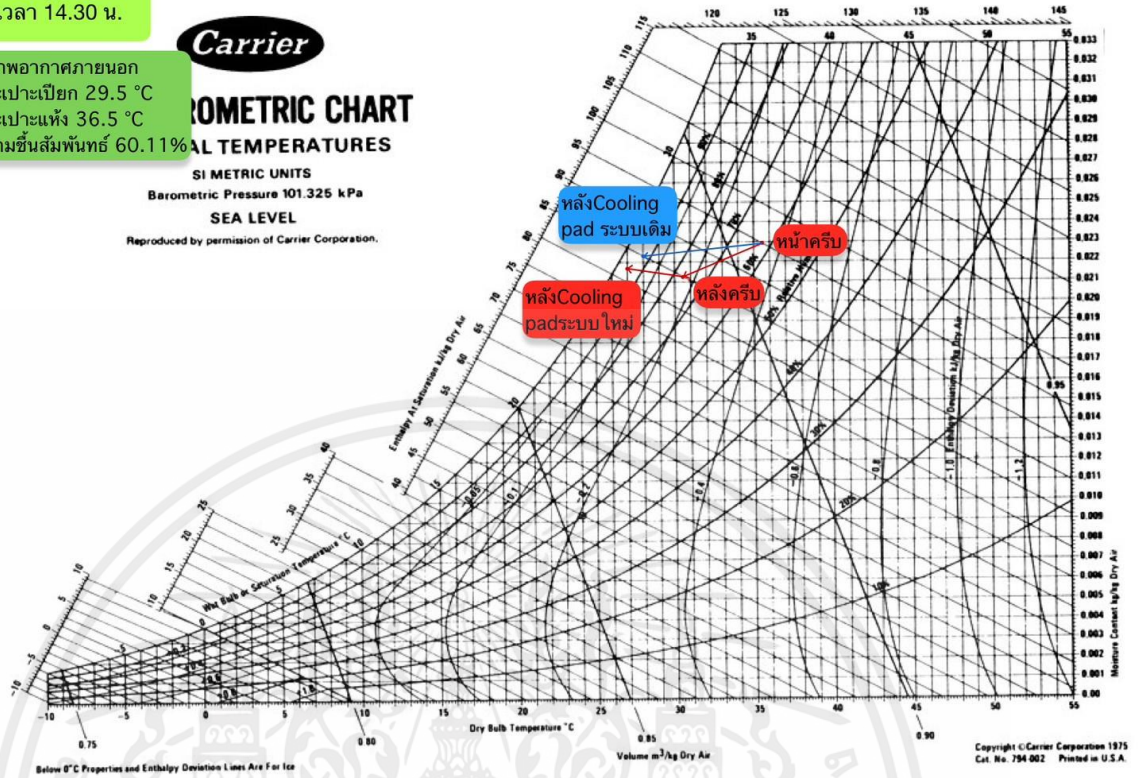
SI METRIC UNITS
Barometric Pressure 101.325 kPa
SEA LEVEL
Reproduced by permission of Carrier Corporation.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

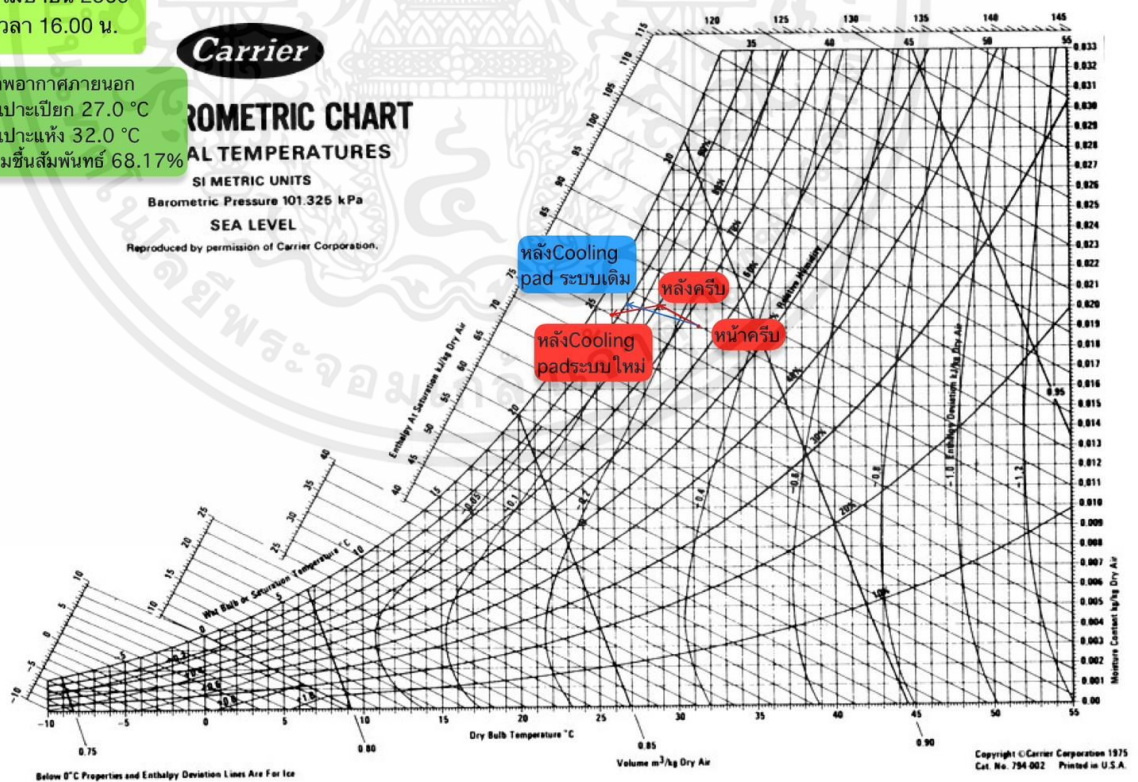
8 เมษายน 2566
เวลา 14.30 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 29.5 °C
กระเปาะแห้ง 36.5 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 60.11%



8 เมษายน 2566
เวลา 16.00 น.

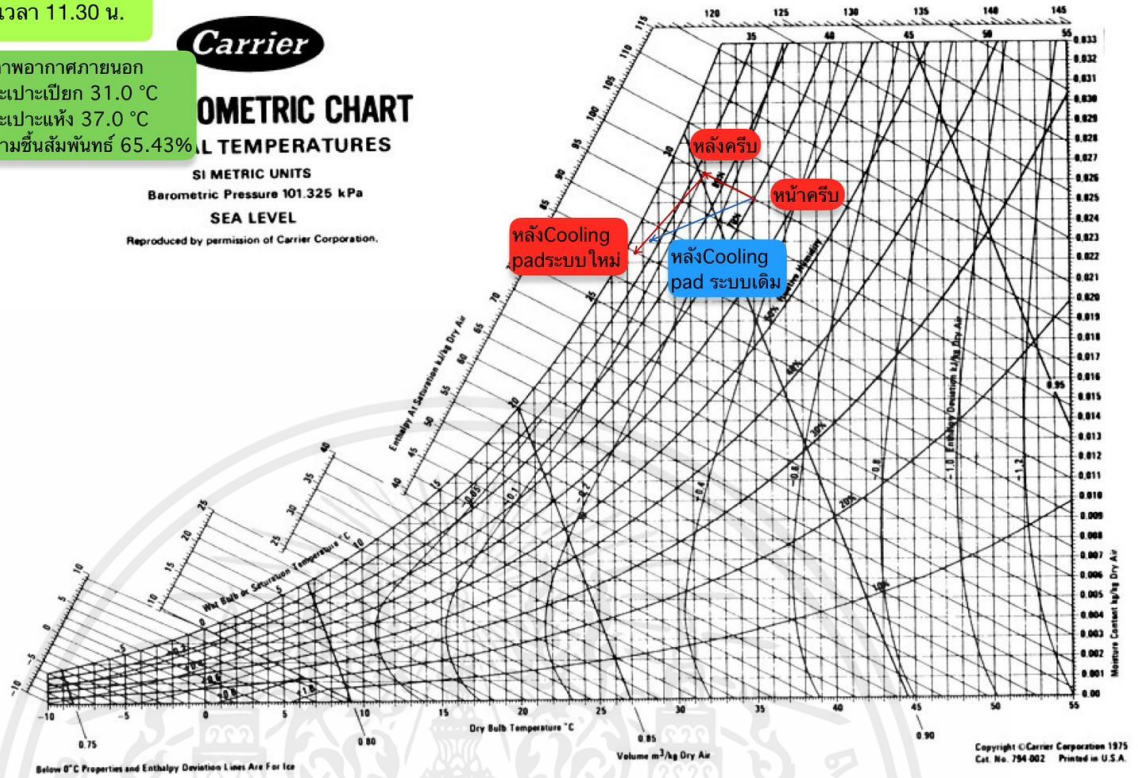
สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 27.0 °C
กระเปาะแห้ง 32.0 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 68.17%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

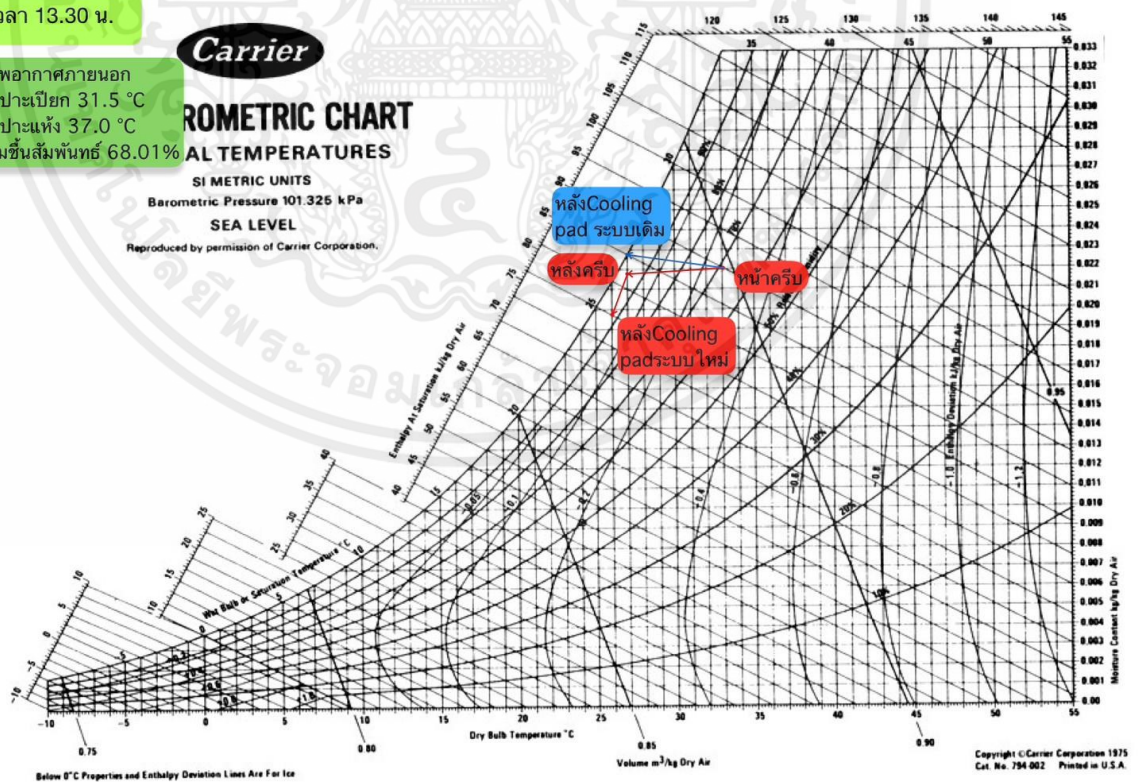
9 เมษายน 2566
เวลา 11.30 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 31.0 °C
กระเปาะแห้ง 37.0 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 65.43%



9 เมษายน 2566
เวลา 13.30 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 31.5 °C
กระเปาะแห้ง 37.0 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 68.01%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

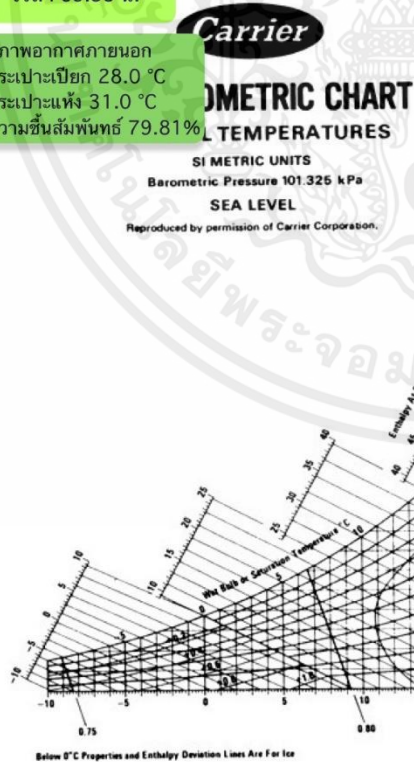
9 เมษายน 2566
เวลา 16.00 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 28.0 °C
กระเปาะแห้ง 35.0 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 59.17%



10 เมษายน 2566
เวลา 09.50 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 28.0 °C
กระเปาะแห้ง 31.0 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 79.81%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

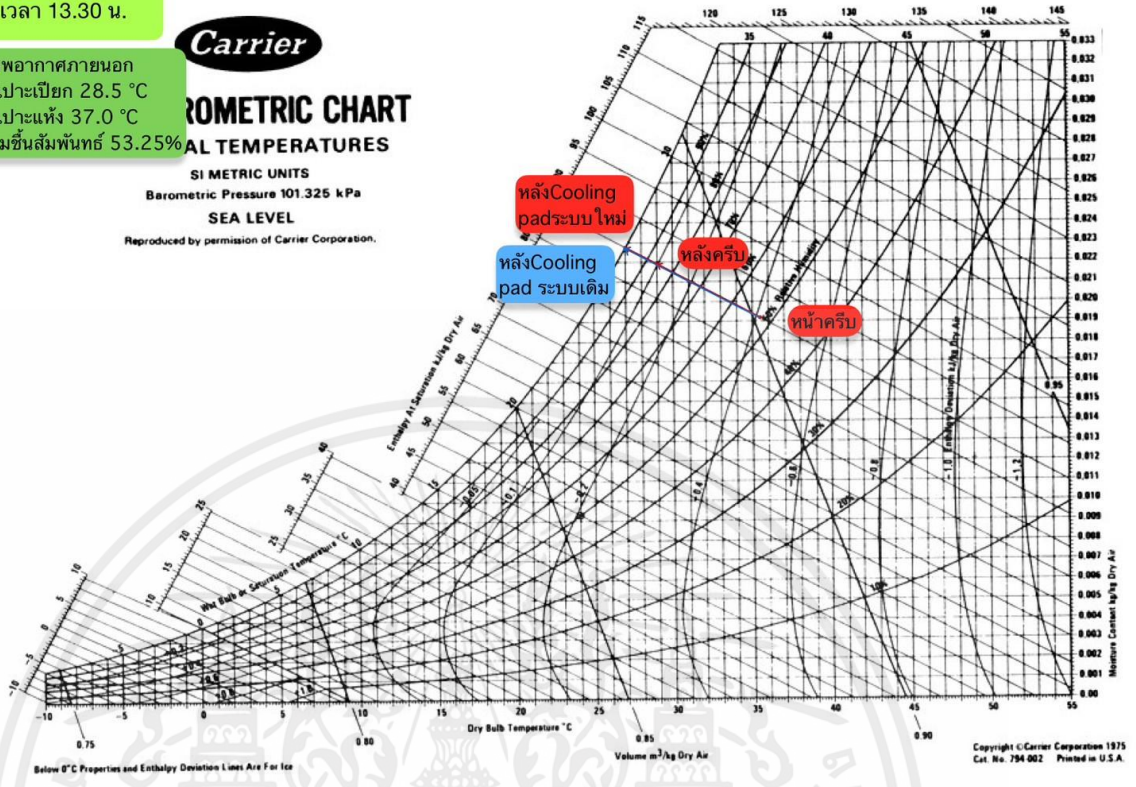
10 เมษายน 2566
เวลา 13.30 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 28.5 °C
กระเปาะแห้ง 37.0 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 53.25%



PSYCHROMETRIC CHART
ALL TEMPERATURES

SI METRIC UNITS
Barometric Pressure 101.325 kPa
SEA LEVEL
Reproduced by permission of Carrier Corporation.



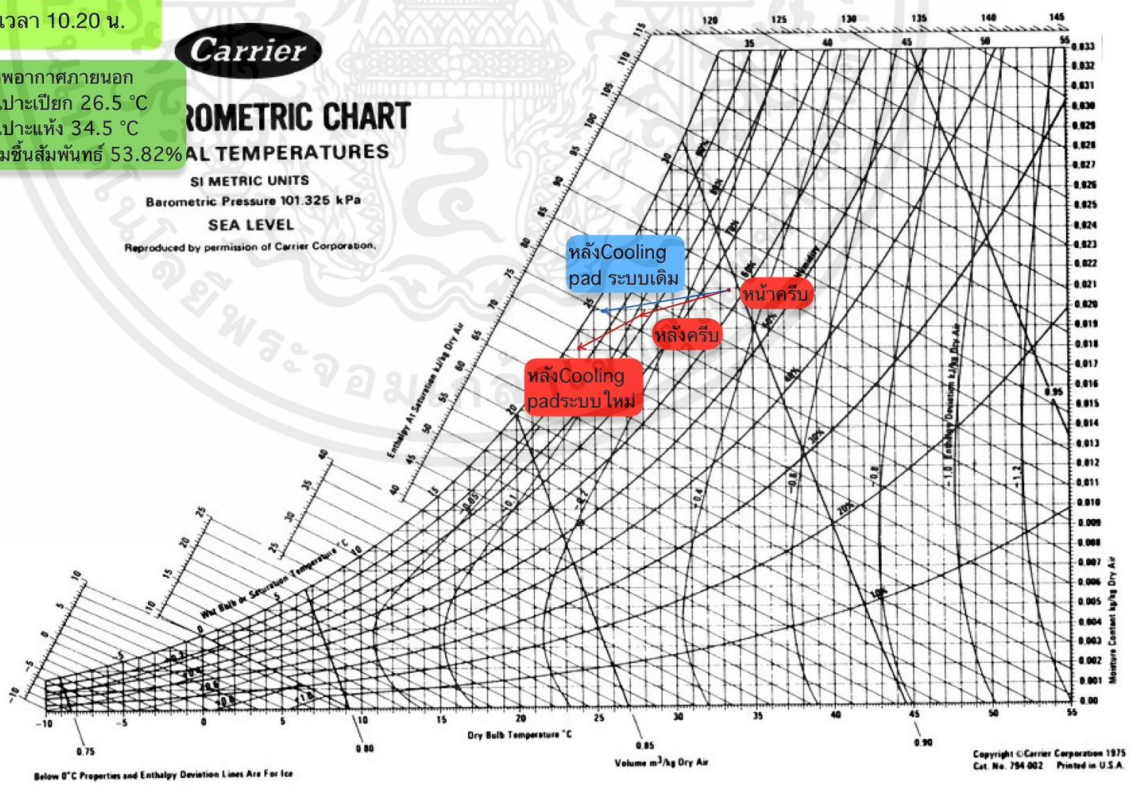
20 เมษายน 2566
เวลา 10.20 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 26.5 °C
กระเปาะแห้ง 34.5 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 53.82%



PSYCHROMETRIC CHART
ALL TEMPERATURES

SI METRIC UNITS
Barometric Pressure 101.325 kPa
SEA LEVEL
Reproduced by permission of Carrier Corporation.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

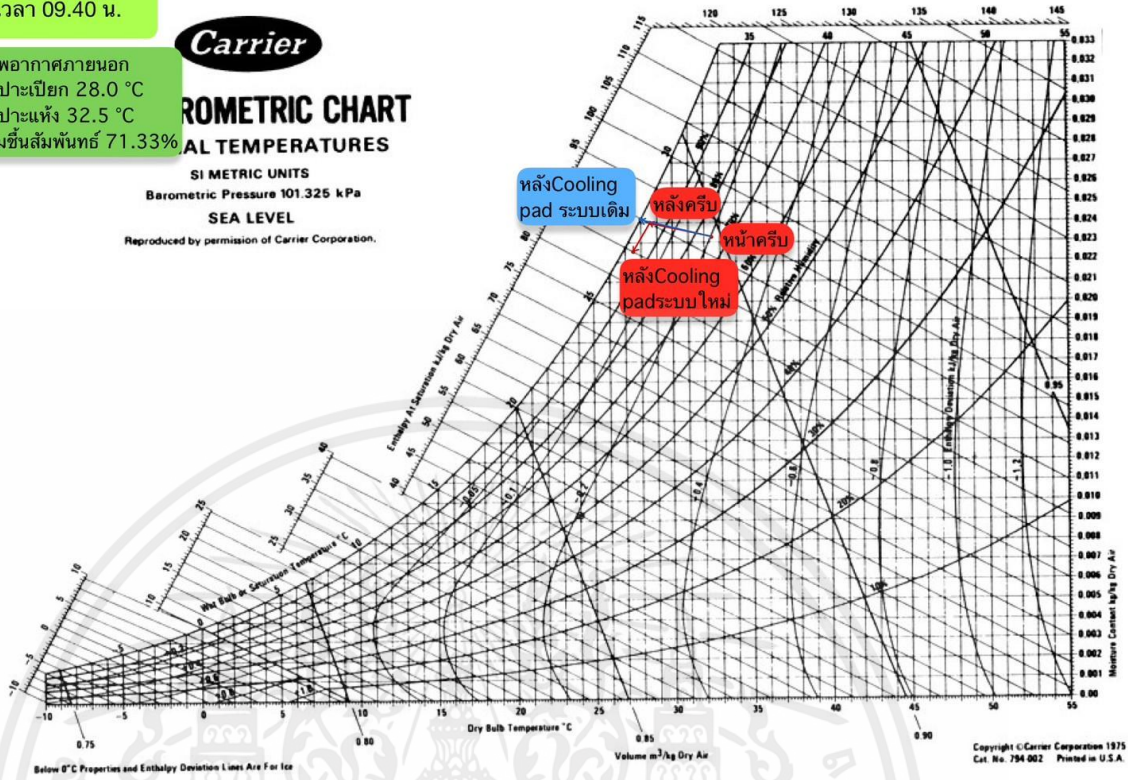
24 เมษายน 2566
เวลา 09.40 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 28.0 °C
กระเปาะแห้ง 32.5 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 71.33%



PSYCHROMETRIC CHART
SI METRIC TEMPERATURES

SI METRIC UNITS
Barometric Pressure 101.325 kPa
SEA LEVEL
Reproduced by permission of Carrier Corporation.



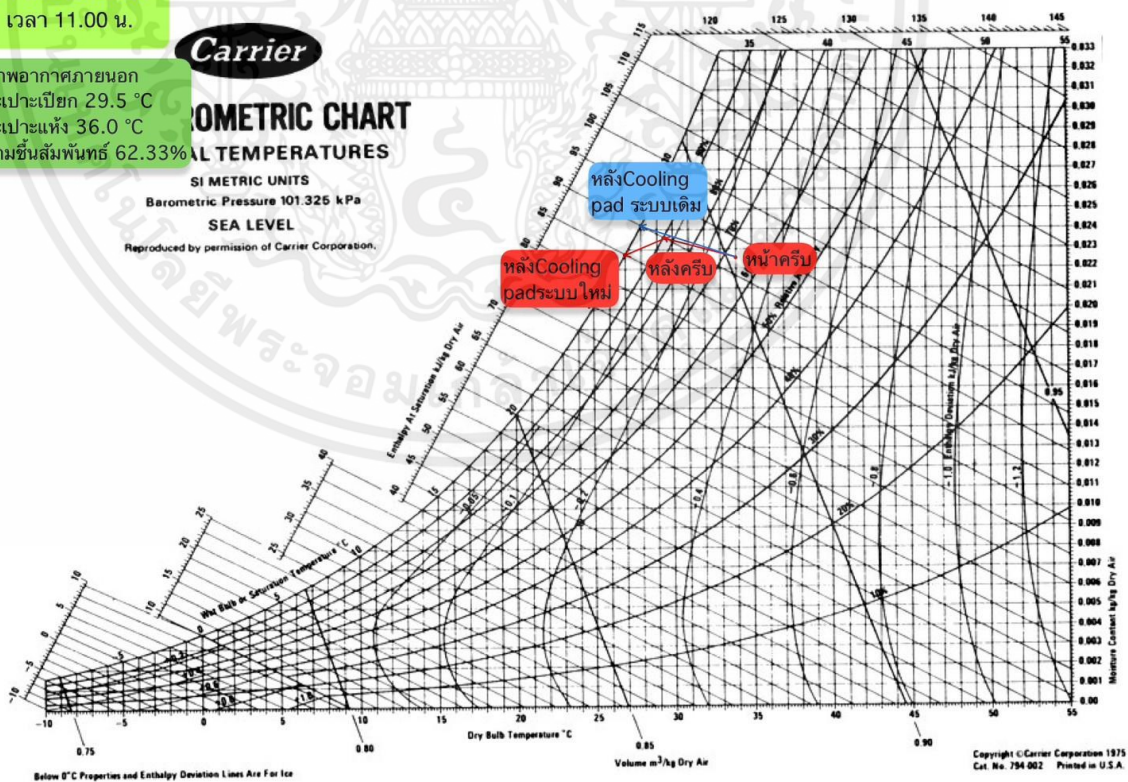
24 เมษายน 2566
เวลา 11.00 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 29.5 °C
กระเปาะแห้ง 36.0 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 62.33%



PSYCHROMETRIC CHART
SI METRIC TEMPERATURES

SI METRIC UNITS
Barometric Pressure 101.325 kPa
SEA LEVEL
Reproduced by permission of Carrier Corporation.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

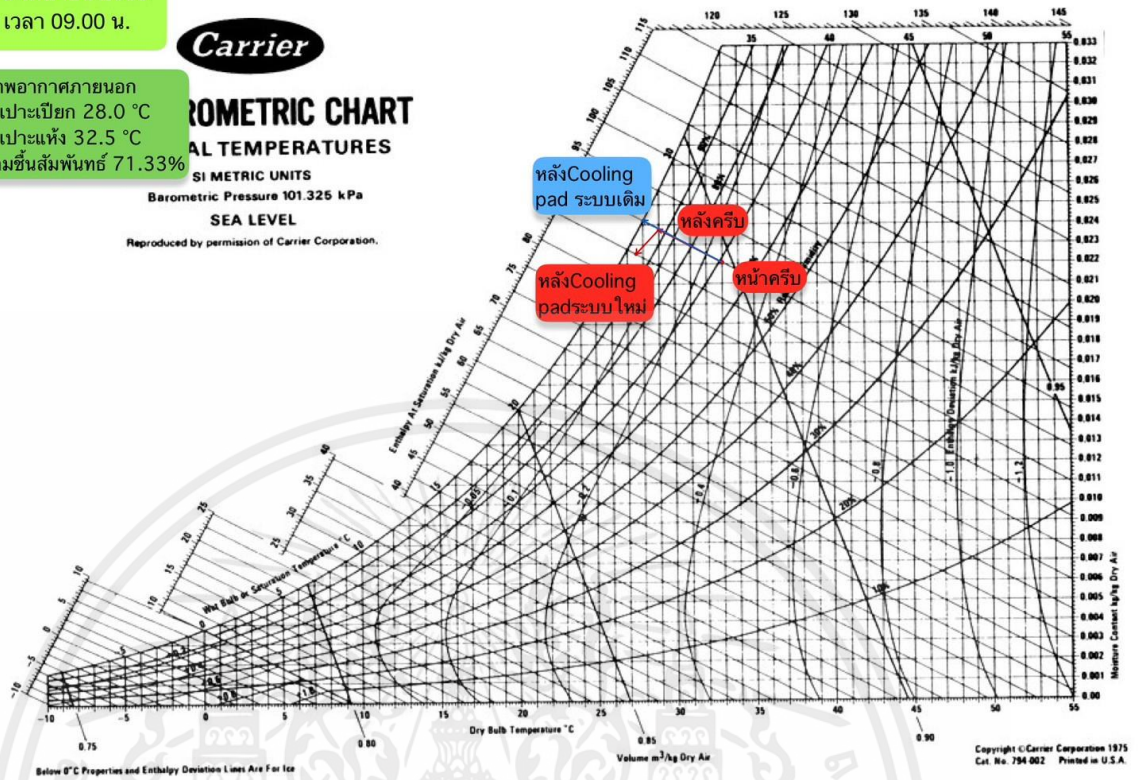
26 เมษายน 2566
เวลา 09.00 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 28.0 °C
กระเปาะแห้ง 32.5 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 71.33%



PSYCHROMETRIC CHART
WET BULB TEMPERATURES

SI METRIC UNITS
Barometric Pressure 101.325 kPa
SEA LEVEL
Reproduced by permission of Carrier Corporation.



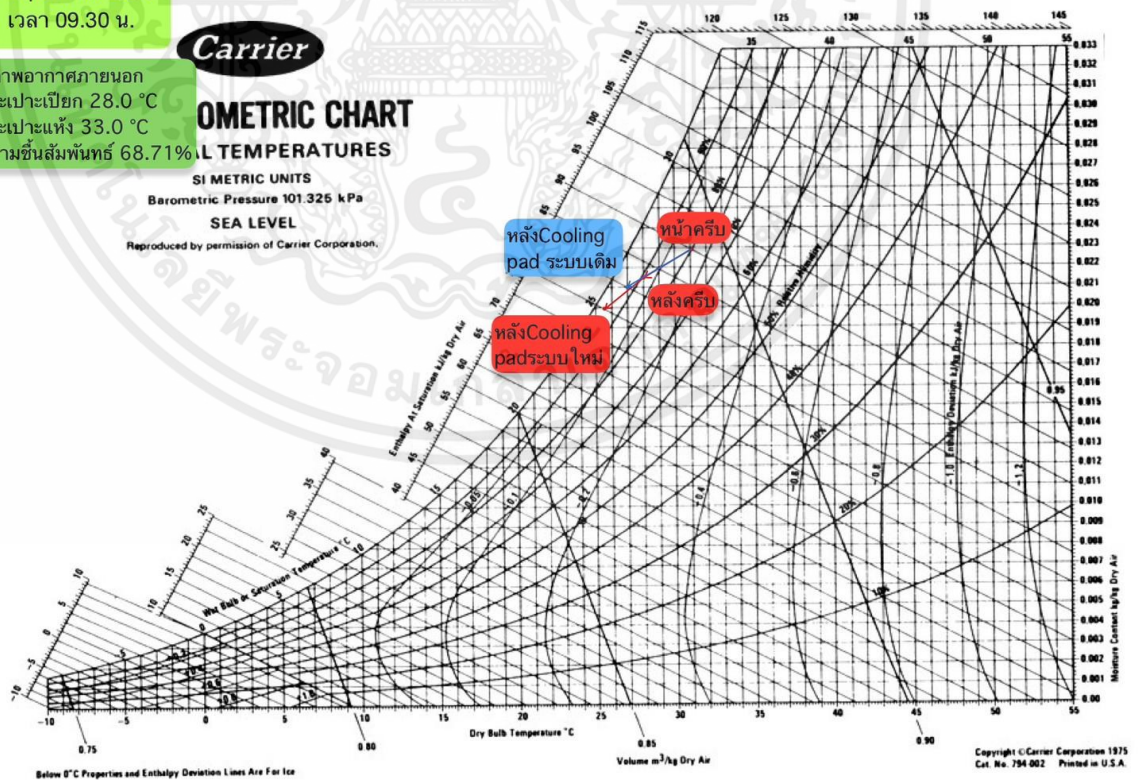
4 พฤษภาคม 2566
เวลา 09.30 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 28.0 °C
กระเปาะแห้ง 33.0 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 68.71%



PSYCHROMETRIC CHART
WET BULB TEMPERATURES

SI METRIC UNITS
Barometric Pressure 101.325 kPa
SEA LEVEL
Reproduced by permission of Carrier Corporation.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

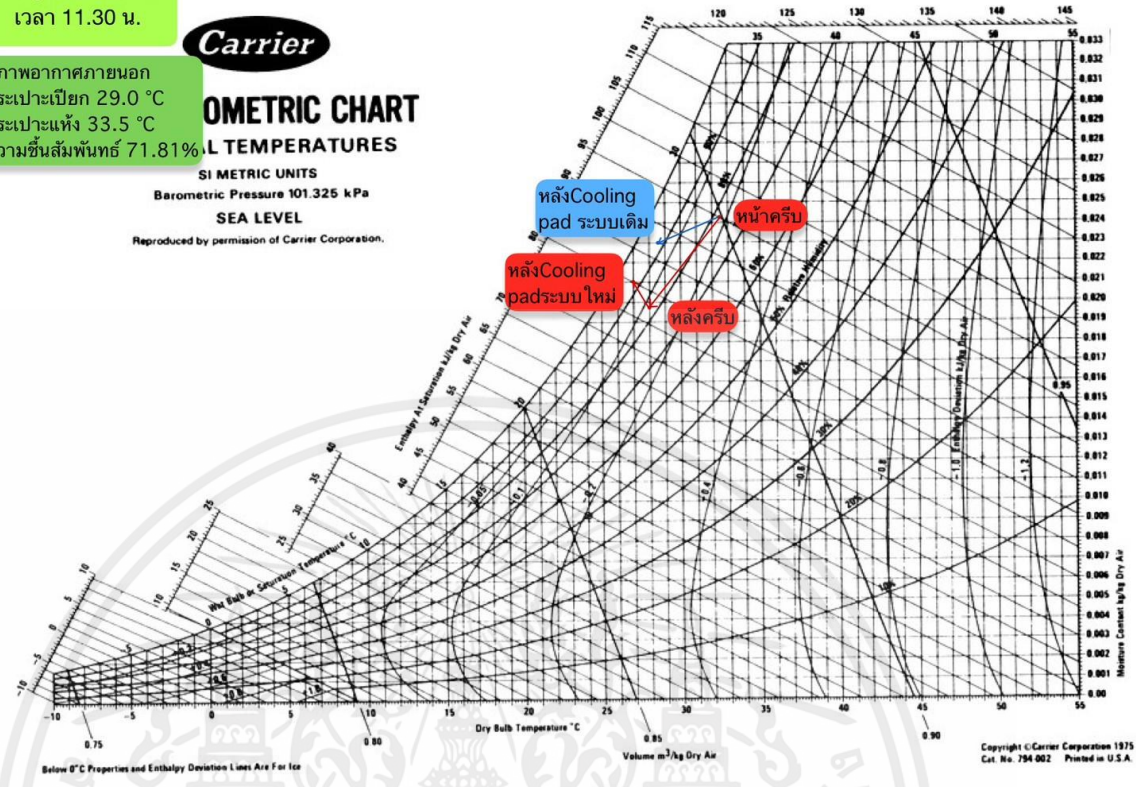
4 พฤษภาคม 2566
เวลา 11.30 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 29.0 °C
กระเปาะแห้ง 33.5 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 71.81%



PSYCHROMETRIC CHART
ALL TEMPERATURES

SI METRIC UNITS
Barometric Pressure 101.325 kPa
SEA LEVEL
Reproduced by permission of Carrier Corporation.



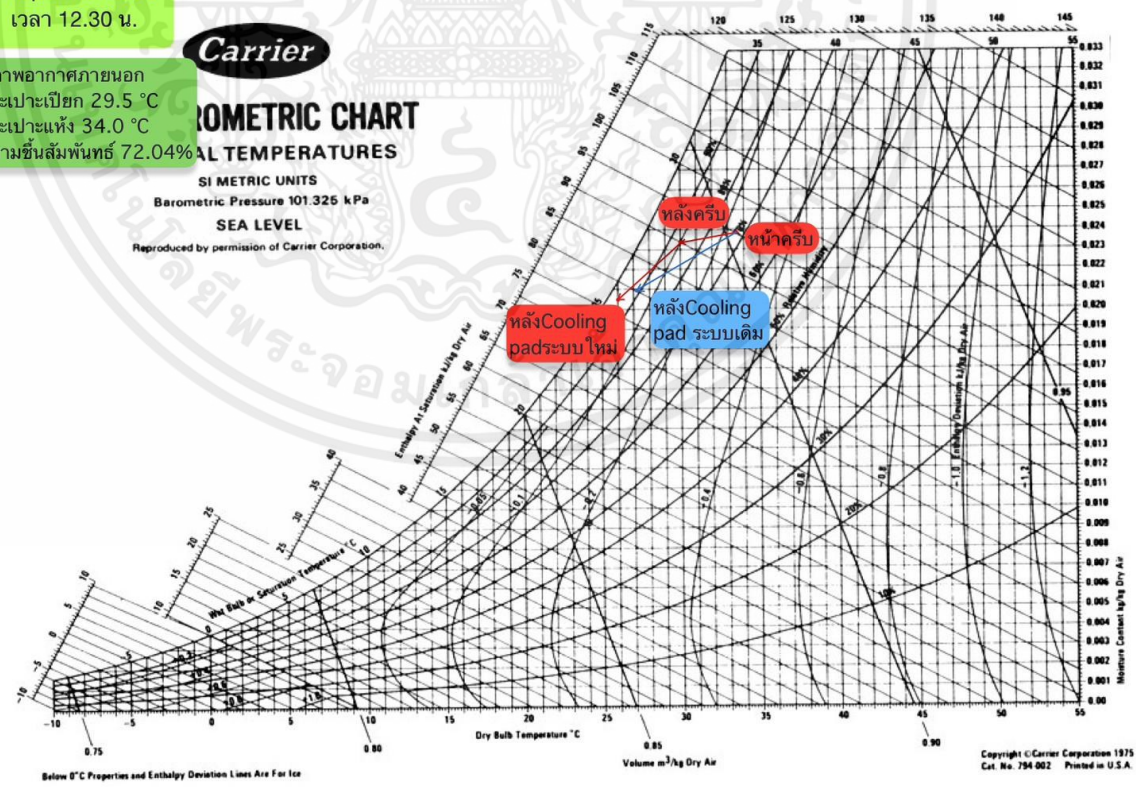
4 พฤษภาคม 2566
เวลา 12.30 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 29.5 °C
กระเปาะแห้ง 34.0 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 72.04%



PSYCHROMETRIC CHART
ALL TEMPERATURES

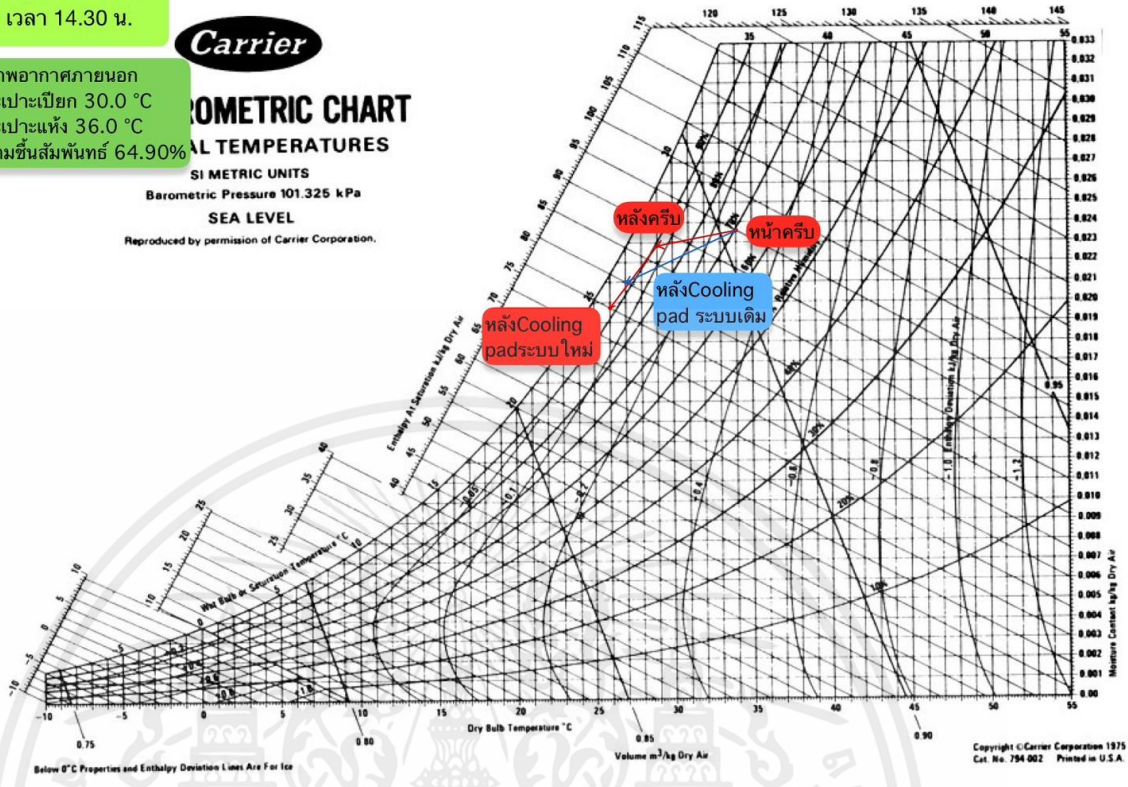
SI METRIC UNITS
Barometric Pressure 101.325 kPa
SEA LEVEL
Reproduced by permission of Carrier Corporation.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

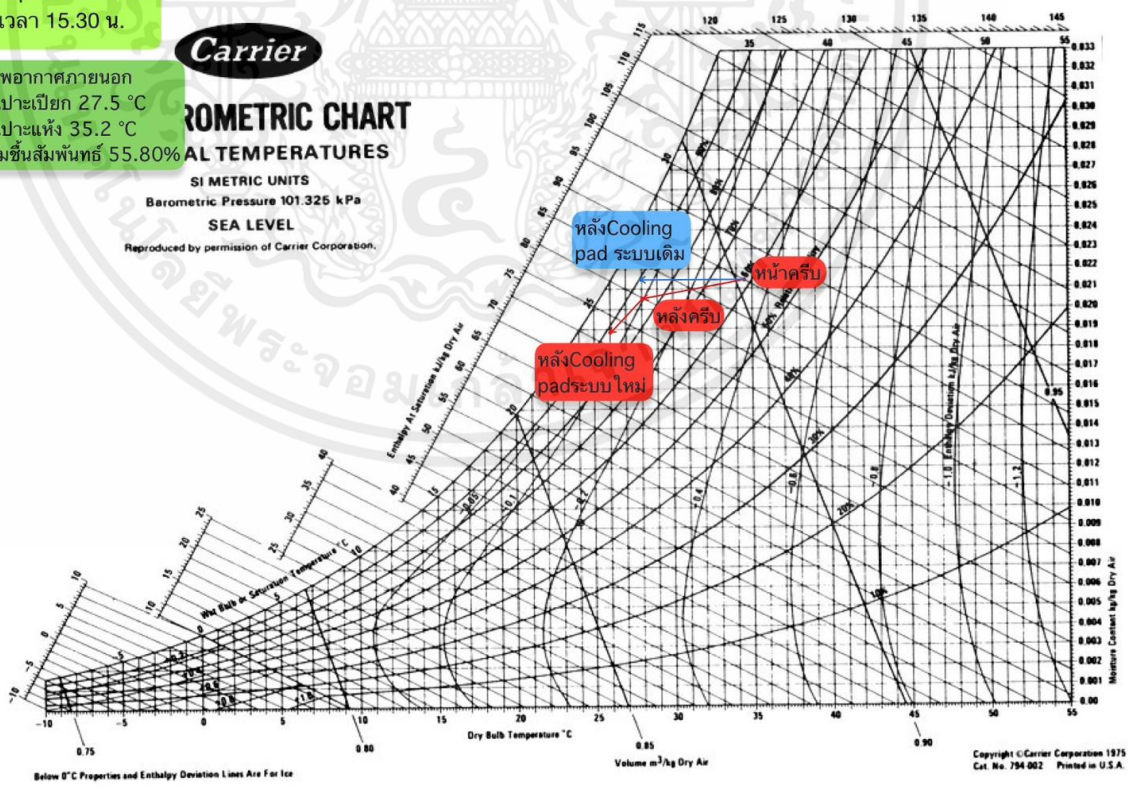
4 พฤษภาคม 2566
เวลา 14.30 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 30.0 °C
กระเปาะแห้ง 36.0 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 64.90%



4 พฤษภาคม 2566
เวลา 15.30 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 27.5 °C
กระเปาะแห้ง 35.2 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 55.80%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

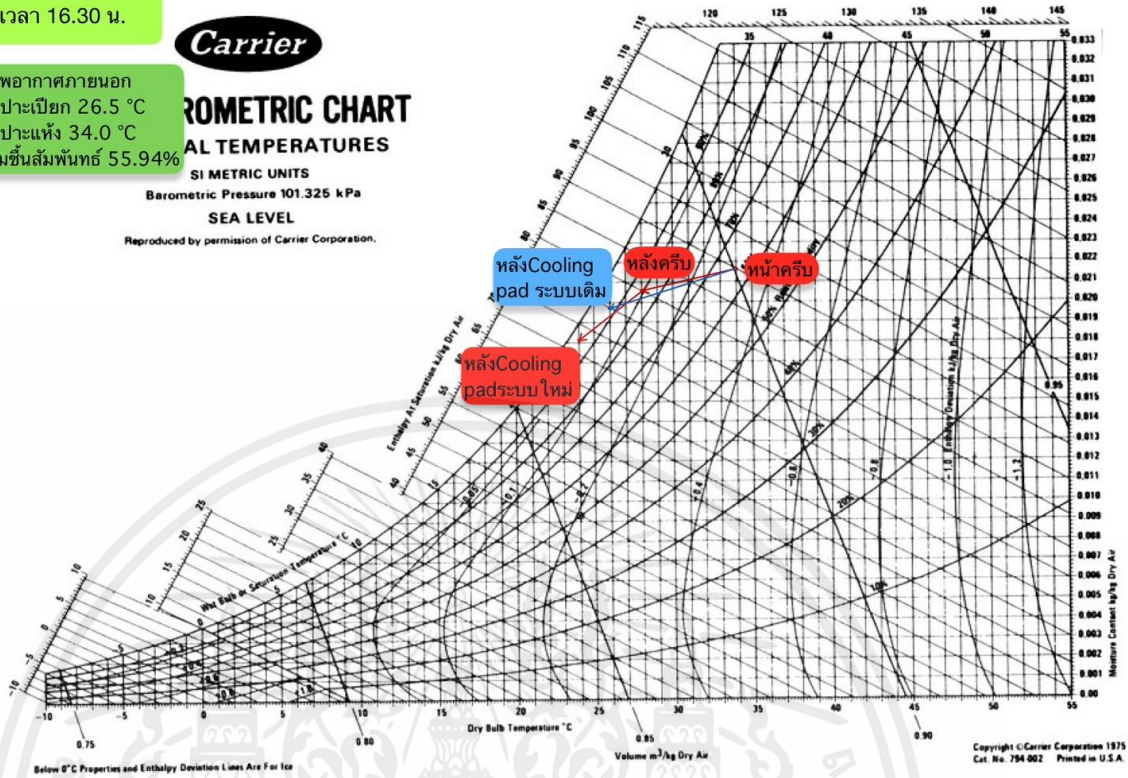
4 พฤษภาคม 2566
เวลา 16.30 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 26.5 °C
กระเปาะแห้ง 34.0 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 55.94%



PSYCHROMETRIC CHART
SI METRIC UNITS
BAROMETRIC TEMPERATURES

SI METRIC UNITS
Barometric Pressure 101.325 kPa
SEA LEVEL
Reproduced by permission of Carrier Corporation.



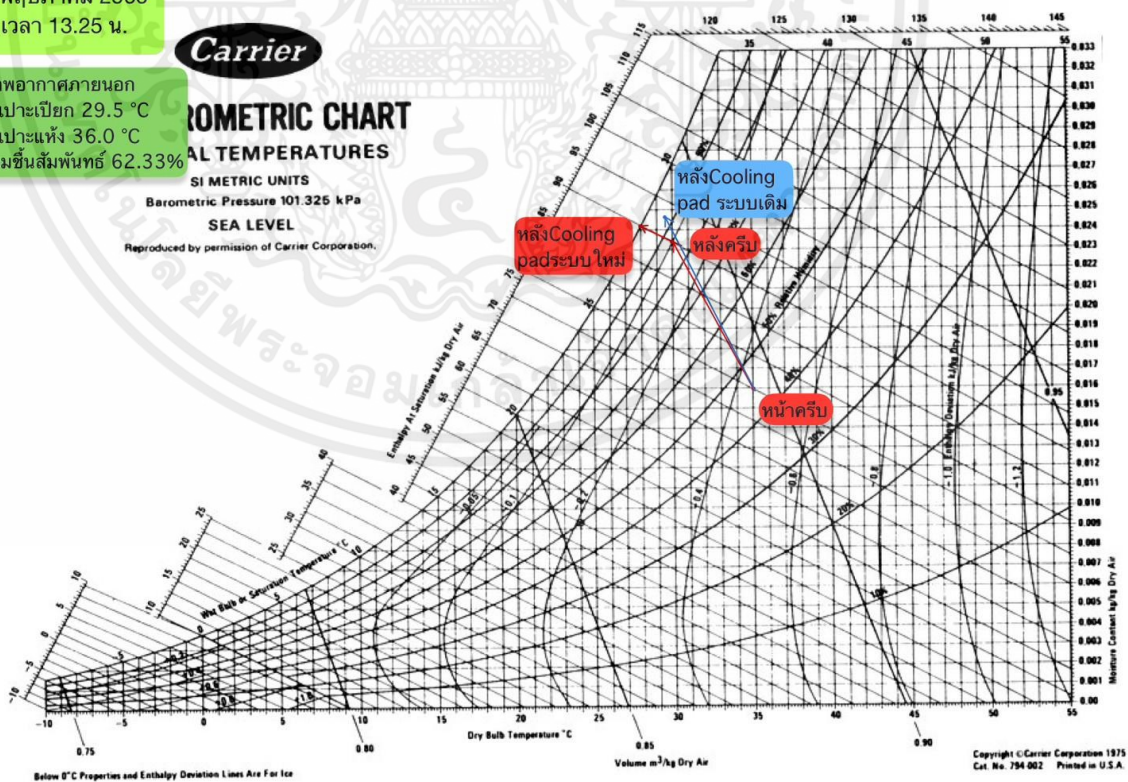
5 พฤษภาคม 2566
เวลา 13.25 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 29.5 °C
กระเปาะแห้ง 36.0 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 62.33%



PSYCHROMETRIC CHART
SI METRIC UNITS
BAROMETRIC TEMPERATURES

SI METRIC UNITS
Barometric Pressure 101.325 kPa
SEA LEVEL
Reproduced by permission of Carrier Corporation.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 พฤษภาคม 2566
เวลา 14.40 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 31.0 °C
กระเปาะแห้ง 37.0 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 65.43%



PSYCHROMETRIC CHART

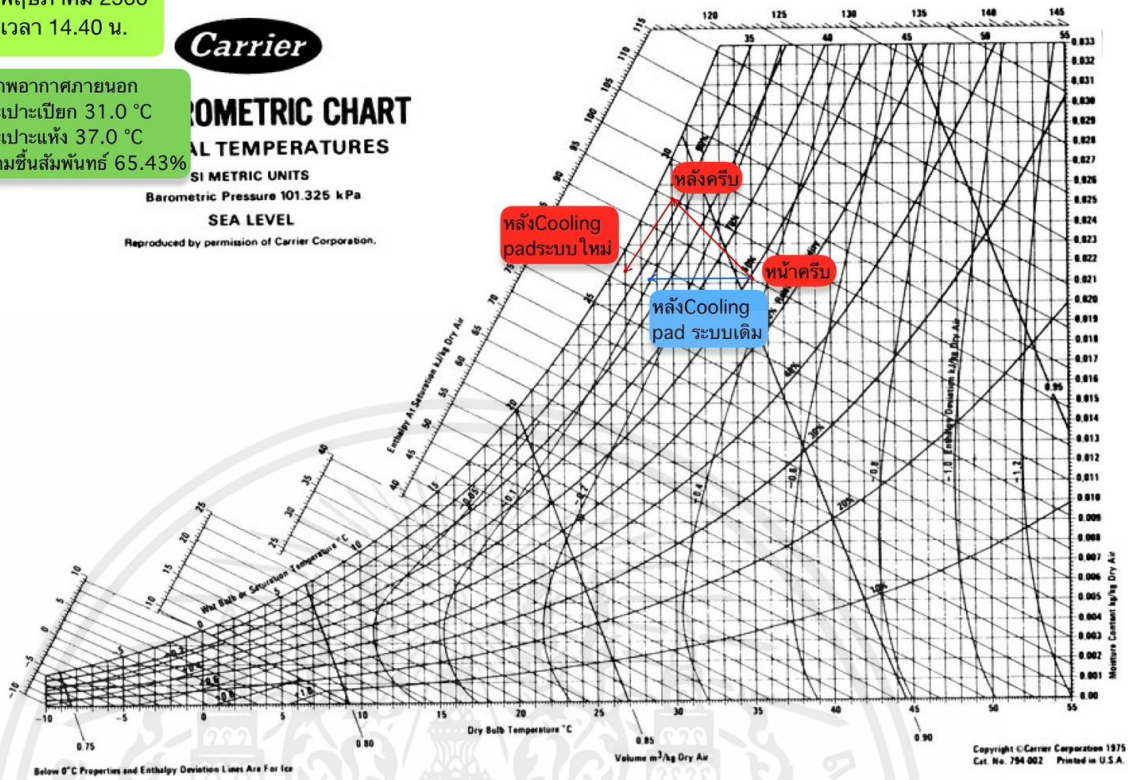
WET BULB TEMPERATURES

SI METRIC UNITS

Barometric Pressure 101.325 kPa

SEA LEVEL

Reproduced by permission of Carrier Corporation.



5 พฤษภาคม 2566
เวลา 15.40 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 30.5 °C
กระเปาะแห้ง 36.0 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 67.52%



PSYCHROMETRIC CHART

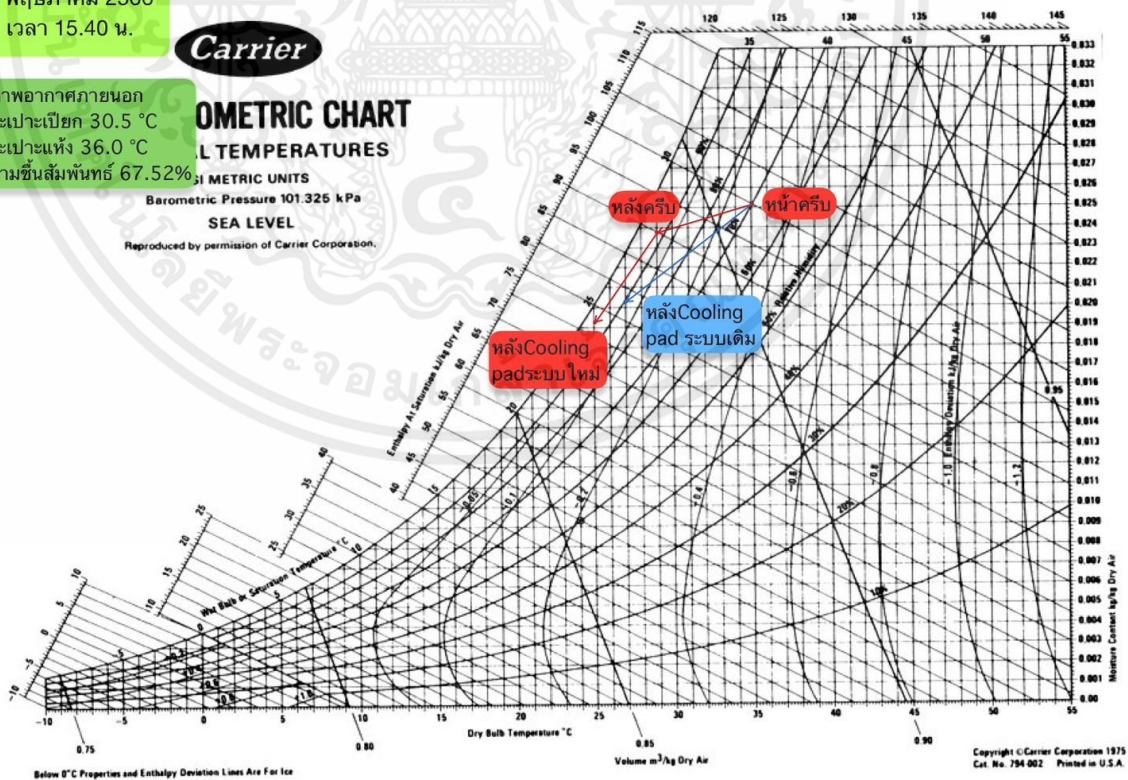
WET BULB TEMPERATURES

SI METRIC UNITS

Barometric Pressure 101.325 kPa

SEA LEVEL

Reproduced by permission of Carrier Corporation.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

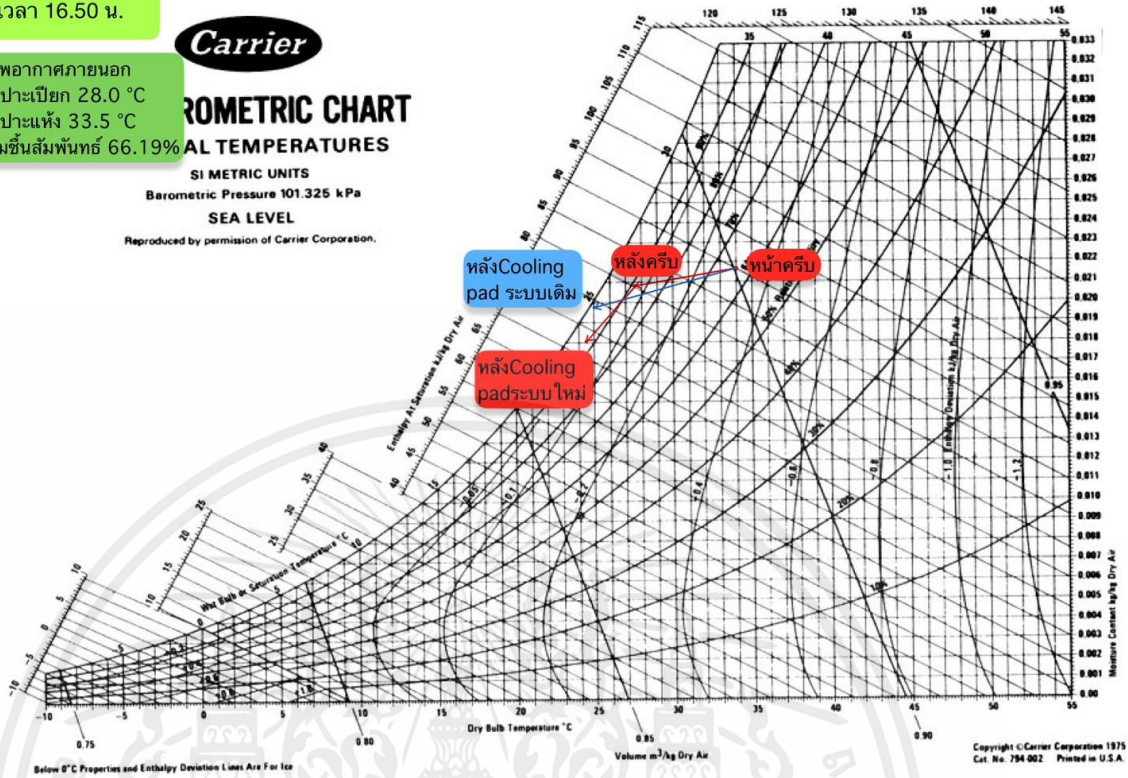
5 พฤษภาคม 2566
เวลา 16.50 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 28.0 °C
กระเปาะแห้ง 33.5 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 66.19%



PSYCHROMETRIC CHART
SI METRIC UNITS
SEA LEVEL

Barometric Pressure 101.325 kPa
SEA LEVEL
Reproduced by permission of Carrier Corporation.



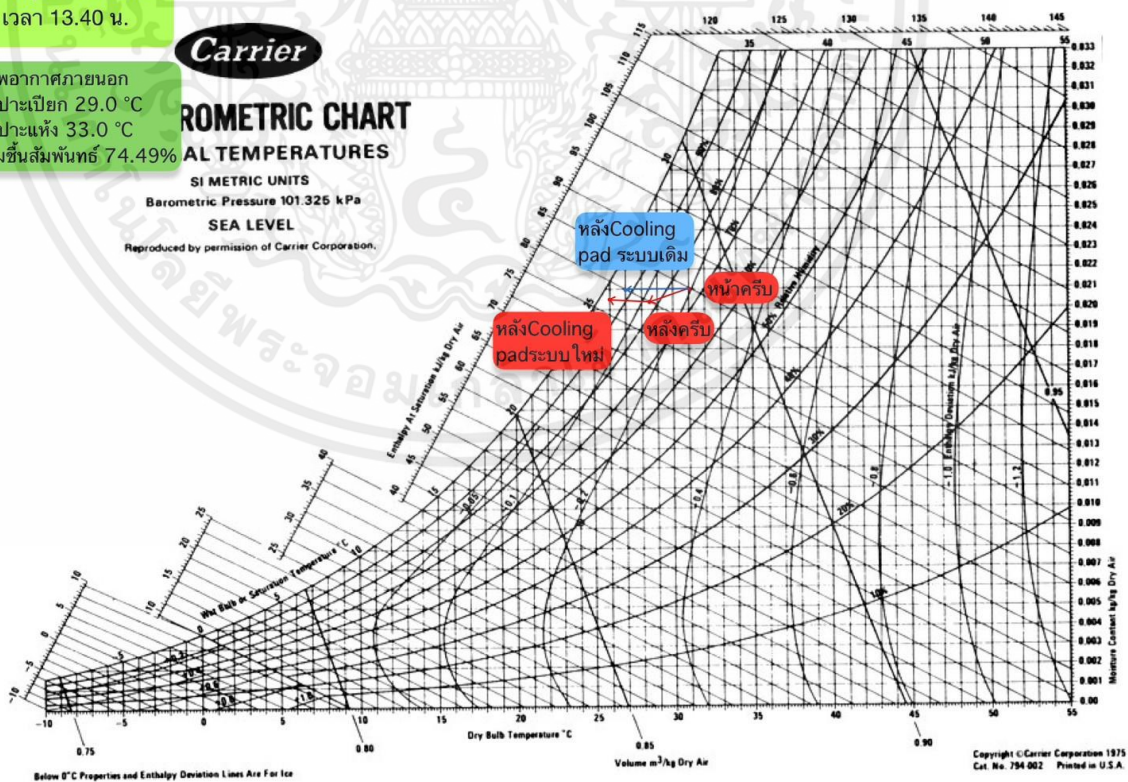
12 พฤษภาคม 2566
เวลา 13.40 น.

สภาพอากาศภายนอก
กระเปาะเปียก 29.0 °C
กระเปาะแห้ง 33.0 °C
ความชื้นสัมพัทธ์ 74.49%



PSYCHROMETRIC CHART
SI METRIC UNITS
SEA LEVEL

Barometric Pressure 101.325 kPa
SEA LEVEL
Reproduced by permission of Carrier Corporation.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงความเร็วลมด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ

ความเร็วด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ ($m s^{-1}$)									
ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5	ซ้ำที่ 6	ซ้ำที่ 7	ซ้ำที่ 8	ซ้ำที่ 9	ซ้ำที่ 10
0.28	0.56	0.30	0.19	0.24	0.46	0.30	0.38	0.41	0.36
0.76	0.71	0.67	0.73	0.79	0.64	0.72	0.62	0.83	0.75
0.77	0.75	0.78	0.80	0.81	0.84	0.79	0.70	0.68	0.72
0.45	0.99	0.25	0.34	0.18	1.17	0.75	0.67	0.68	0.65
1.17	1.07	1.12	1.15	1.19	1.27	1.05	1.06	1.00	1.16
1.02	1.00	1.04	1.27	0.96	1.00	1.05	0.91	0.95	0.98
0.43	0.47	0.58	0.55	0.65	0.73	0.64	0.63	0.70	0.58
0.95	1.04	1.09	1.04	1.95	0.90	1.00	0.90	0.92	0.90
0.95	0.93	0.91	0.94	1.10	0.91	1.05	0.98	1.11	0.96
0.89	0.80	0.79	0.83	0.80	0.86	0.84	0.91	0.87	0.85
0.95	0.91	0.85	0.98	0.94	0.94	1.04	1.08	1.04	0.89
1.02	1.06	0.99	1.14	1.06	1.05	1.00	1.03	0.98	1.01
0.13	0.64	0.13	0.22	0.57	0.14	0.15	0.48	0.17	0.57
0.95	0.92	0.90	0.91	0.91	1.03	1.04	1.04	1.03	0.97
0.88	0.92	1.19	0.93	0.99	1.08	0.79	0.90	1.09	0.97
0.93	0.94	1.00	1.01	1.02	0.96	0.92	0.91	0.99	0.95
0.82	0.82	0.85	1.10	1.06	1.06	0.86	0.81	0.94	0.82
1.00	0.92	0.89	0.91	0.95	0.95	0.85	0.90	0.90	0.94
0.75	0.77	0.84	0.73	0.87	0.83	0.79	0.77	0.78	0.80
0.87	0.83	0.94	0.93	0.96	0.87	0.84	0.91	0.78	0.75
0.85	0.82	0.86	0.93	1.04	1.01	1.03	0.86	1.02	0.82
1.02	1.04	1.07	1.04	0.96	0.84	1.01	0.97	1.01	0.97
0.99	1.01	1.12	1.05	1.02	0.95	0.93	1.18	0.97	1.09
1.12	1.07	1.09	1.14	0.98	0.96	1.01	0.90	0.92	1.06
1.04	1.04	1.02	1.07	1.02	1.06	1.05	1.02	1.06	1.03
0.90	0.97	1.12	0.97	1.01	1.02	1.00	1.00	1.07	0.99
0.81	0.83	0.95	0.89	0.91	0.95	1.04	0.98	0.99	1.07
1.17	1.19	1.14	1.15	1.13	1.13	0.95	1.08	1.18	1.07
0.95	0.97	1.00	0.92	0.97	1.00	1.08	1.04	1.07	1.07
1.14	1.03	1.02	1.02	1.00	1.13	1.03	1.08	0.93	0.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 แสดงความเร็วลมระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling

ความเร็วระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ($m s^{-1}$)									
ซ้้าที่ 1	ซ้้าที่ 2	ซ้้าที่ 3	ซ้้าที่ 4	ซ้้าที่ 5	ซ้้าที่ 6	ซ้้าที่ 7	ซ้้าที่ 8	ซ้้าที่ 9	ซ้้าที่ 10
1.35	1.47	1.36	1.40	1.28	1.09	1.23	1.07	1.13	1.15
0.93	0.86	0.91	0.87	0.79	0.96	0.94	0.98	0.88	0.91
0.89	0.96	0.87	0.78	0.77	0.75	0.76	0.94	0.94	1.00
1.31	1.25	1.23	1.05	1.17	1.22	1.17	1.15	1.19	1.07
1.01	0.98	0.98	0.97	1.08	1.03	1.03	1.04	1.08	1.06
0.75	0.79	0.72	0.78	0.76	0.87	0.83	0.94	0.94	0.71
0.64	0.65	0.67	0.73	0.75	0.71	0.81	0.70	0.79	0.79
0.86	0.94	0.93	0.87	0.97	1.04	0.94	0.89	1.09	0.97
1.18	0.97	1.09	1.05	1.10	1.09	1.18	1.14	1.07	1.15
0.96	1.04	1.04	1.11	0.95	1.06	0.86	1.02	0.94	0.86
0.98	0.96	0.96	1.02	0.98	0.96	0.92	0.92	1.02	0.96
1.03	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96	0.98	0.97	0.95	0.94
1.03	1.03	1.05	0.95	0.95	1.11	1.11	1.08	1.11	0.92
1.03	0.85	0.89	0.85	0.94	0.93	0.92	0.85	0.93	0.86
1.23	1.10	0.93	0.99	0.99	0.88	0.92	0.89	0.96	1.00
1.10	1.14	1.10	1.17	1.07	1.03	1.05	1.11	1.15	1.09
0.86	0.85	0.86	0.87	0.82	0.84	0.85	0.82	0.82	0.82
1.05	1.07	0.99	0.95	1.00	1.02	0.96	1.00	0.93	0.94
0.93	0.98	0.98	0.97	0.97	0.94	0.96	0.96	0.94	0.97
0.95	0.92	0.92	0.95	0.99	0.92	0.94	0.94	0.93	0.94
1.09	1.13	1.06	1.09	0.97	0.96	0.99	1.04	1.03	0.98
1.16	1.11	1.18	1.11	1.15	1.15	1.07	1.05	1.04	1.11
1.04	1.06	1.05	1.12	1.09	1.19	1.10	1.17	1.12	1.16
1.05	1.10	1.18	1.11	1.01	1.16	1.11	1.05	1.02	0.96
1.02	1.12	1.07	1.10	1.10	1.04	1.02	1.05	1.04	1.00
1.04	1.00	0.84	1.03	0.97	1.06	1.06	0.98	1.05	0.98
0.81	0.83	0.95	0.89	0.91	1.07	0.95	1.04	0.98	0.99
1.00	0.92	0.96	0.96	0.96	0.83	1.01	0.90	0.91	1.00
0.86	0.91	0.84	0.84	0.86	0.82	0.83	0.86	0.88	0.81
0.88	0.87	0.88	0.88	0.87	0.87	0.90	0.86	0.88	0.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดงความเร็วลมระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling

ความเร็วระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling ($m s^{-1}$)									
ซ้้าที่ 1	ซ้้าที่ 2	ซ้้าที่ 3	ซ้้าที่ 4	ซ้้าที่ 5	ซ้้าที่ 6	ซ้้าที่ 7	ซ้้าที่ 8	ซ้้าที่ 9	ซ้้าที่ 10
1.06	1.15	1.06	1.06	1.12	1.24	1.13	0.65	0.55	0.95
1.02	0.86	0.89	0.82	0.84	0.85	0.87	0.83	0.84	0.78
1.08	1.01	1.07	1.07	0.97	0.96	1.01	1.18	1.11	1.12
1.11	1.17	1.19	1.20	1.13	1.14	1.12	1.14	1.08	1.17
1.10	1.11	1.18	1.08	1.15	1.10	1.13	1.15	1.06	1.17
1.13	1.12	1.06	1.13	1.12	1.19	1.15	1.17	1.07	1.17
1.12	1.14	1.09	1.06	1.09	1.13	1.00	1.15	1.11	1.17
1.04	0.89	0.95	0.93	1.00	0.92	0.88	0.93	0.88	0.83
1.03	0.86	0.91	0.98	0.96	1.04	0.91	0.95	0.95	0.92
0.96	1.01	1.02	0.99	1.01	1.00	1.04	1.02	0.99	0.94
1.07	1.01	1.02	0.97	1.03	0.99	1.02	0.98	1.04	1.02
1.51	1.33	1.20	1.16	1.13	1.06	1.10	1.08	1.08	1.13
1.10	1.04	0.94	0.87	0.99	1.02	1.10	1.10	1.29	1.27
0.96	0.87	0.88	0.89	0.89	0.79	1.01	0.95	0.94	1.05
0.98	1.03	1.01	1.18	0.90	0.81	0.86	0.85	1.01	0.90
1.03	1.09	1.10	1.03	1.05	1.06	1.03	1.02	0.97	0.75
1.18	1.12	1.04	1.05	0.84	0.96	1.01	0.79	0.80	0.83
0.96	0.95	0.90	1.03	0.90	0.98	1.02	1.01	0.93	0.94
0.74	0.74	0.73	0.73	0.72	0.78	0.75	0.70	0.75	0.76
0.91	0.84	0.97	0.96	0.98	0.86	0.85	0.90	1.19	1.23
1.14	1.19	1.20	1.21	1.17	1.22	1.20	1.22	1.21	1.09
1.14	1.00	1.04	0.97	1.05	0.96	0.98	0.95	1.00	1.01
0.90	0.93	0.92	0.92	0.93	0.86	0.91	0.87	0.85	0.92
0.99	0.93	0.98	1.13	1.00	1.11	1.06	1.00	0.93	0.99
0.99	1.15	0.97	1.01	1.15	0.99	0.94	0.83	0.95	0.94
0.91	1.02	1.02	0.98	0.87	0.90	0.92	1.05	0.91	0.98
1.09	1.09	1.09	1.06	1.02	1.09	1.06	1.02	1.05	1.04
1.14	1.04	1.16	1.04	1.15	1.01	1.02	1.03	1.17	1.03
1.07	0.87	0.92	0.91	0.91	0.93	0.91	0.90	0.98	0.92
0.97	0.94	1.10	1.07	0.95	0.90	1.06	0.92	0.93	0.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 แสดงความเร็วลมระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling

ความเร็วระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling ($m s^{-1}$)									
ซ้้าที่ 1	ซ้้าที่ 2	ซ้้าที่ 3	ซ้้าที่ 4	ซ้้าที่ 5	ซ้้าที่ 6	ซ้้าที่ 7	ซ้้าที่ 8	ซ้้าที่ 9	ซ้้าที่ 10
0.34	0.51	0.45	0.51	0.41	0.43	0.45	0.41	0.55	0.59
0.88	1.02	1.09	0.92	0.91	0.92	0.92	0.80	0.84	0.91
0.98	1.08	1.18	1.01	1.08	1.06	1.07	0.97	0.96	1.01
1.32	1.30	1.37	1.36	1.39	1.35	1.34	1.37	1.33	1.31
1.26	1.25	1.15	1.21	1.16	1.29	1.30	1.24	1.11	1.17
0.97	0.95	1.03	1.04	0.96	0.97	1.03	0.92	0.96	0.94
0.99	1.06	1.00	0.91	1.05	1.06	0.98	0.99	1.00	1.13
1.04	1.06	1.05	1.04	0.98	1.06	1.00	1.01	0.99	1.08
1.14	1.12	1.15	1.01	1.09	1.13	1.04	1.15	1.12	1.07
0.92	1.08	0.99	0.95	1.08	1.12	1.15	1.06	1.07	0.76
1.07	1.00	1.01	0.97	0.99	0.96	0.98	0.98	1.02	1.05
1.03	0.99	0.98	1.02	1.10	1.11	0.95	1.06	1.05	1.00
1.00	1.02	1.04	1.05	1.00	1.00	1.14	0.97	1.04	1.06
1.16	1.16	1.21	1.16	1.17	1.13	1.15	1.27	1.19	1.30
1.19	0.89	1.01	1.08	0.98	0.91	1.08	1.07	1.00	1.03
1.17	1.17	1.33	1.37	1.37	1.27	0.98	1.00	1.07	0.92
1.22	1.33	1.24	1.17	1.06	0.98	1.05	1.08	1.04	1.11
1.11	0.96	0.89	1.18	1.21	1.14	0.98	1.17	1.11	1.15
0.94	0.87	0.83	0.88	0.87	0.88	1.06	1.19	1.02	0.80
1.09	0.97	1.11	1.14	1.11	1.12	0.96	1.19	1.04	1.02
1.28	1.18	1.23	1.21	1.22	1.19	1.20	1.22	1.12	1.21
1.00	0.96	0.92	0.92	0.96	0.94	1.01	1.00	0.95	0.99
0.84	0.90	1.05	0.90	1.02	0.91	0.97	0.84	0.99	0.90
1.15	1.14	0.96	0.95	0.99	1.17	0.96	1.00	0.94	1.06
1.03	1.16	0.98	1.18	1.14	1.10	1.12	1.15	1.01	0.99
1.13	1.20	1.36	1.07	1.00	1.26	0.99	0.99	1.20	1.16
1.04	1.07	1.05	1.01	1.06	0.99	1.03	1.01	1.01	1.02
1.08	1.09	1.10	1.06	0.96	1.01	1.06	1.01	1.15	1.10
0.96	0.90	0.94	0.90	0.91	0.92	0.86	1.02	0.89	0.91
1.04	1.12	1.05	1.05	1.07	1.03	1.05	1.14	1.02	1.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ปริมาณความร้อนของระบบการลดอุณหภูมิแบบ Evaporative Cooling

ปริมาณความร้อนของระบบการลดอุณหภูมิแบบ Evaporative Cooling											
ครั้งที่	วันที่	เวลา	เอนทัลปีด้านหน้าระบบลดอุณหภูมิอากาศ		เอนทัลปีของระบบการลดอุณหภูมิแบบ Evaporative Cooling						
			น้ำหนักอากาศแห้ง (kg)	Δh_{air0} (kJ)	น้ำหนักอากาศแห้ง (kg)	Δh_{air2} (kJ)	Δh_2 (kJ)	W (kJ s ⁻¹)	W (kJ hr ⁻¹)	BTU hr ⁻¹	BTU hr ⁻¹ m ⁻³
1	5/4/23	12:15	3.3978	258.80	3.4600	264.49	5.70	0.33	1191.91	1129.69	373.58
2	5/4/23	15:30	3.3978	258.80	3.4919	225.37	33.42	3.85	13852.92	13129.80	4341.86
3	6/4/23	10:40	3.3750	286.84	3.4286	276.63	10.21	1.33	4778.49	4529.05	1497.70
4	6/4/23	14:10	3.3712	263.62	3.4325	269.38	5.76	0.97	3481.03	3299.32	1091.05
5	7/4/23	14:30	3.3939	288.76	3.4325	292.67	3.91	0.59	2137.48	2025.90	669.94
6	7/4/23	15:30	3.3901	296.36	3.4208	299.61	3.25	0.40	1427.29	1352.78	447.35
7	8/4/23	11:30	3.3414	324.63	3.4131	307.01	17.62	2.24	8063.53	7642.61	2527.32
8	8/4/23	13:00	3.3231	322.43	3.4169	291.11	31.32	4.04	14531.43	13772.89	4554.53
9	8/4/23	14:00	3.3341	315.16	3.4208	291.52	23.64	3.26	11723.62	11111.64	3674.49
10	8/4/23	16:00	3.3978	273.64	3.4442	270.52	3.12	0.40	1429.64	1355.02	448.09
11	9/4/23	11:30	3.3304	332.09	3.4131	298.77	33.32	4.18	15038.39	14253.38	4713.42
12	9/4/23	13:30	3.3304	332.88	3.4325	292.67	40.20	5.17	18616.49	17644.71	5834.89
13	9/4/23	16:00	3.3675	286.04	3.4403	277.75	8.29	1.07	3849.99	3649.02	1206.69
14	10/4/23	09:50	3.3939	304.97	3.4325	292.67	12.29	1.83	6583.13	6239.49	2063.32
15	10/4/23	13:30	3.3563	284.86	3.4325	292.67	7.81	1.00	3599.89	3411.98	1128.30
16	20/4/23	10:20	3.3675	293.98	3.4639	264.87	29.12	4.24	15264.17	14467.38	4784.19
17	24/4/23	09:40	3.3675	310.41	3.4131	307.01	3.39	0.48	1722.48	1632.56	539.87
18	24/4/23	11:00	3.3525	308.79	3.4131	307.01	1.77	0.24	869.22	823.85	272.44
19	26/4/23	09:00	3.3675	302.10	3.4131	307.01	4.91	0.57	2064.03	1956.28	646.92
20	4/5/23	09:30	3.3863	304.12	3.4403	277.75	26.37	3.54	12754.73	12088.94	3997.66
21	4/5/23	11:30	3.3600	318.11	3.4131	298.77	19.34	2.92	10497.39	9949.42	3290.15
22	4/5/23	12:30	3.3525	317.24	3.4364	277.41	39.83	4.80	17296.64	16393.75	5421.21
23	4/5/23	14:30	3.3488	316.80	3.4403	277.75	39.05	4.55	16377.35	15522.45	5133.08
24	4/5/23	15:30	3.3525	300.52	3.4247	284.01	16.51	2.13	7667.12	7266.89	2403.07
25	4/5/23	16:30	3.3600	301.27	3.4600	264.49	36.78	4.99	17973.55	17035.33	5633.38
26	5/5/23	13:25	3.3788	257.00	3.3939	313.35	56.35	8.00	28805.80	27302.14	9028.49
27	5/5/23	14:40	3.3488	300.11	3.4208	283.61	16.50	2.12	7640.26	7241.44	2394.66
28	5/5/23	15:40	3.3304	332.09	3.4442	270.52	61.56	8.17	29421.03	27885.25	9221.31
29	5/5/23	16:50	3.3600	301.27	3.4679	262.31	38.96	4.48	16145.47	15302.68	5060.41
30	12/5/23	13:40	3.3939	288.76	3.4403	277.75	11.01	1.47	5279.52	5003.93	1654.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

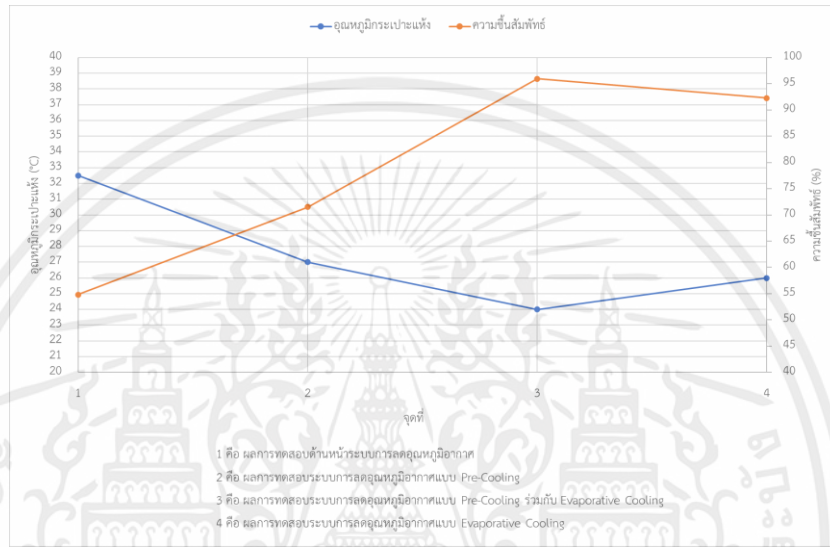
ตารางที่ 6 ปริมาณความร้อนของระบบการลดอุณหภูมิแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling

ปริมาณความร้อนของระบบการลดอุณหภูมิแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling											
ครั้งที่	วันที่	เวลา	เอนทัลปีด้านหน้าระบบลดอุณหภูมิอากาศ		เอนทัลปีของระบบการลดอุณหภูมิแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling						
			น้ำหนักอากาศแห้ง (kg)	Δh_{air0} (kJ)	น้ำหนักอากาศแห้ง (kg)	Δh_{air1} (kJ)	Δh_1 (kJ)	W (kJ s ⁻¹)	W (kJ hr ⁻¹)	BTU hr ⁻¹	BTU hr ⁻¹ m ⁻³
1	5/4/23	12:15	3.3978	258.80	3.4919	245.70	13.10	1.63	5876.59	5569.83	1841.88
2	5/4/23	15:30	3.3978	258.80	3.5081	220.07	38.73	4.16	14988.02	14205.64	4697.63
3	6/4/23	10:40	3.3750	286.84	3.4481	263.44	23.40	3.09	11139.87	10558.37	3491.52
4	6/4/23	14:10	3.3712	263.62	3.4679	250.70	12.93	1.85	6660.53	6312.85	2087.58
5	7/4/23	14:30	3.3939	288.76	3.4481	278.54	10.22	1.43	5163.31	4893.78	1618.31
6	7/4/23	15:30	3.3901	296.36	3.4325	292.67	3.69	0.52	1876.18	1778.25	588.04
7	8/4/23	11:30	3.3414	324.63	3.4325	292.67	31.96	4.42	15907.25	15076.89	4985.74
8	8/4/23	13:00	3.3231	322.43	3.4208	291.52	30.91	3.57	12867.59	12195.90	4033.03
9	8/4/23	14:00	3.3341	315.16	3.4364	285.14	30.02	3.57	12848.67	12177.97	4027.11
10	8/4/23	16:00	3.3978	273.64	3.4600	264.49	9.15	1.14	4110.20	3895.65	1288.24
11	9/4/23	11:30	3.3304	332.09	3.4247	291.93	40.16	5.09	18341.45	17384.02	5748.69
12	9/4/23	13:30	3.3304	332.88	3.4600	264.49	68.38	10.07	36250.21	34357.95	11361.76
13	9/4/23	16:00	3.3675	286.04	3.4759	258.63	27.41	3.67	13223.64	12533.37	4144.63
14	10/4/23	09:50	3.3939	304.97	3.4325	292.67	12.29	1.42	5106.07	4839.53	1600.38
15	10/4/23	13:30	3.3563	284.86	3.4325	292.67	7.81	0.93	3350.29	3175.41	1050.07
16	20/4/23	10:20	3.3675	293.98	3.4919	245.70	48.29	6.11	22011.36	20862.36	6898.93
17	24/4/23	09:40	3.3675	310.41	3.4247	291.93	18.48	2.22	7998.76	7581.22	2507.02
18	24/4/23	11:00	3.3525	308.79	3.4325	292.67	16.11	1.94	6975.84	6611.70	2186.41
19	26/4/23	09:00	3.3675	302.10	3.4247	291.93	10.17	0.94	3387.59	3210.76	1061.76
20	4/5/23	09:30	3.3863	304.12	3.4639	264.87	39.25	4.75	17115.75	16222.31	5364.52
21	4/5/23	11:30	3.3600	318.11	3.4403	277.75	40.36	5.98	21520.62	20397.25	6745.12
22	4/5/23	12:30	3.3525	317.24	3.4521	271.29	45.94	5.80	20881.94	19791.90	6544.94
23	4/5/23	14:30	3.3488	316.80	3.4600	264.49	52.31	5.89	21209.34	20102.21	6647.56
24	4/5/23	15:30	3.3525	300.52	3.4639	257.52	43.00	5.44	19581.12	18558.98	6137.23
25	4/5/23	16:30	3.3600	301.27	3.4919	245.70	55.57	6.89	24807.69	23512.73	7775.37
26	5/5/23	13:25	3.3788	257.00	3.4131	307.01	50.02	5.98	21517.93	20394.69	6744.28
27	5/5/23	14:40	3.3488	300.11	3.4364	285.14	14.98	1.99	7150.79	6777.51	2241.24
28	5/5/23	15:40	3.3304	332.09	3.4719	258.26	73.83	9.96	35845.76	33974.61	11234.99
29	5/5/23	16:50	3.3600	301.27	3.4839	245.06	56.21	6.55	23573.88	22343.33	7388.67
30	12/5/23	13:40	3.3939	288.76	3.4521	271.29	17.47	2.14	7718.32	7315.43	2419.12

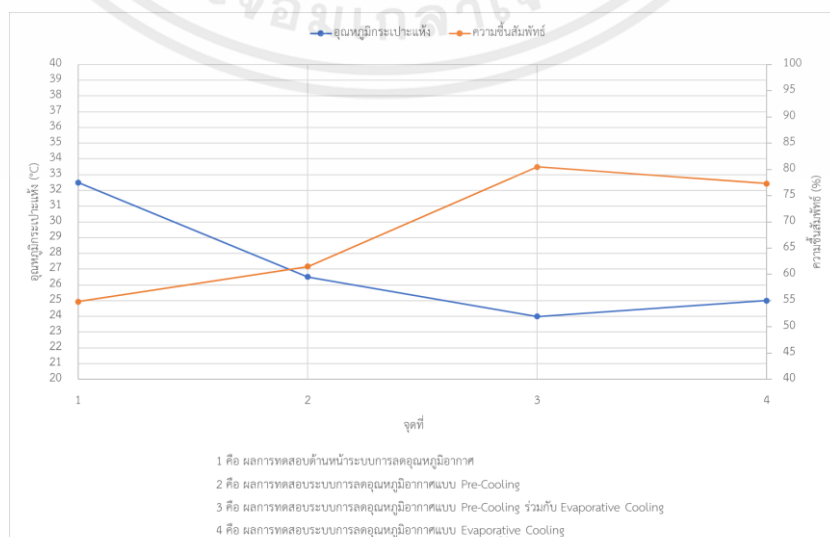
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการเก็บข้อมูล

กราฟที่ 1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 5 เมษายน 2566 เวลา 12.15 น.

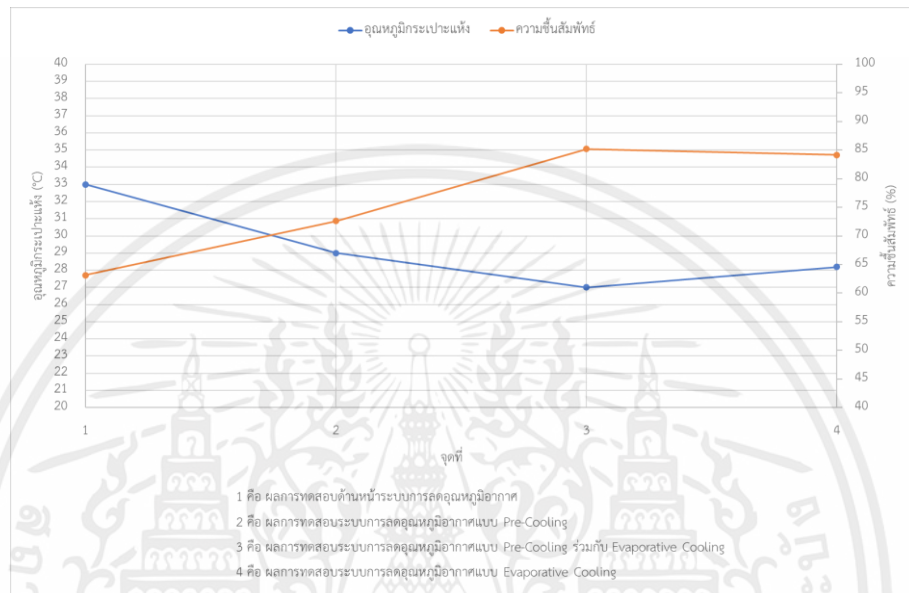


กราฟที่ 2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 5 เมษายน 2566 เวลา 15.30 น.

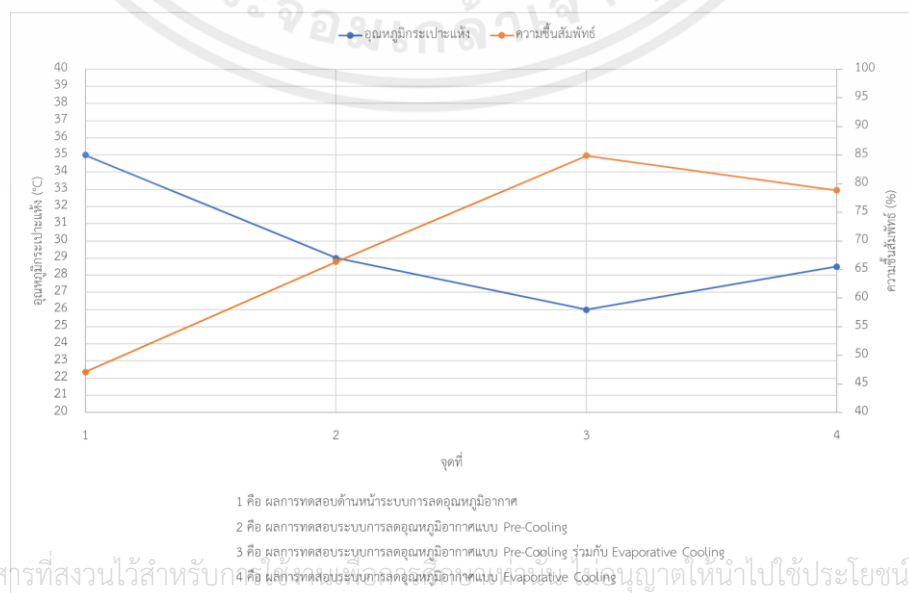


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ข้อมูลวันที่ 6 เมษายน 2566 เวลา 10.40 น.

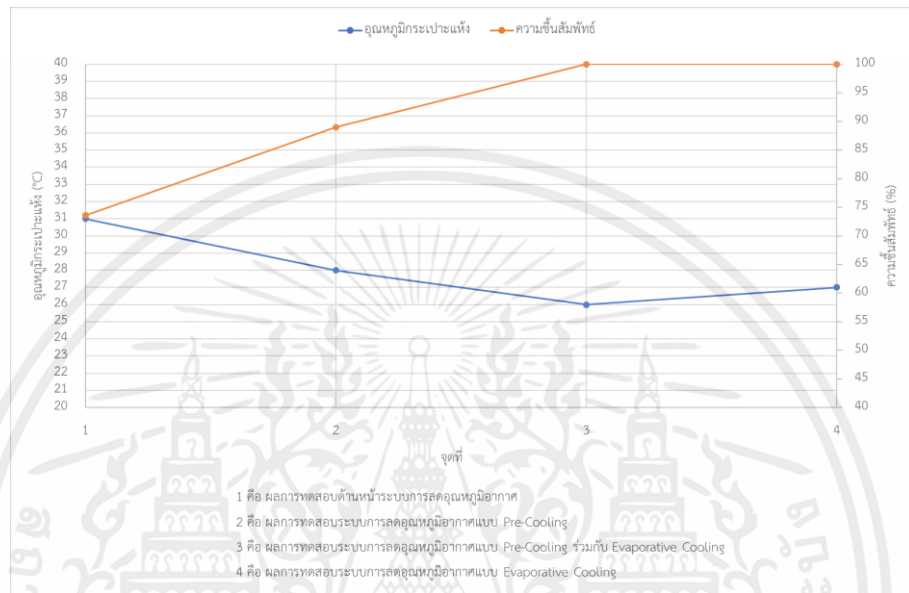


กราฟที่ 4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ข้อมูลวันที่ 6 เมษายน 2566 เวลา 14.00 น.

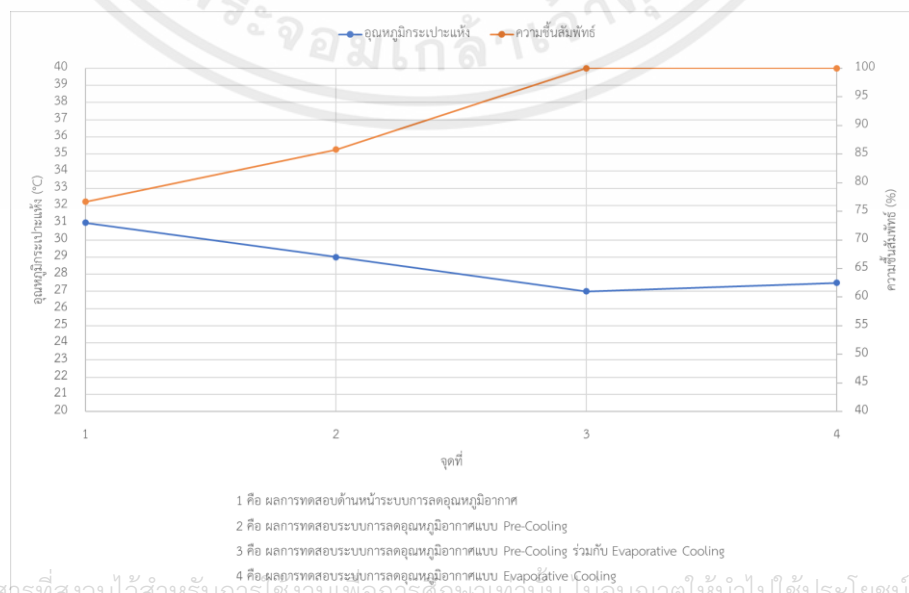


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 4 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 7 เมษายน 2566 เวลา 14.30 น.

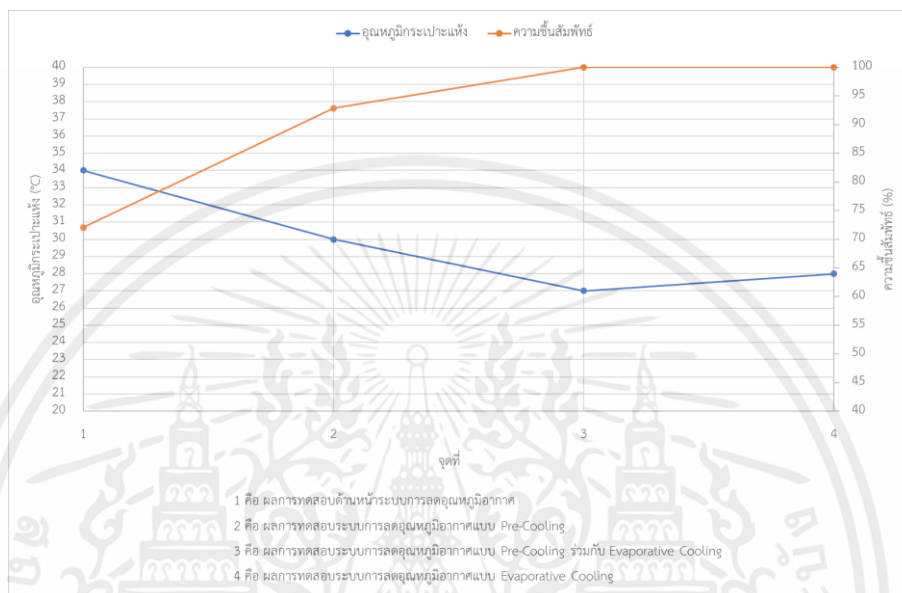


กราฟที่ 6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 7 เมษายน 2566 เวลา 15.30 น.

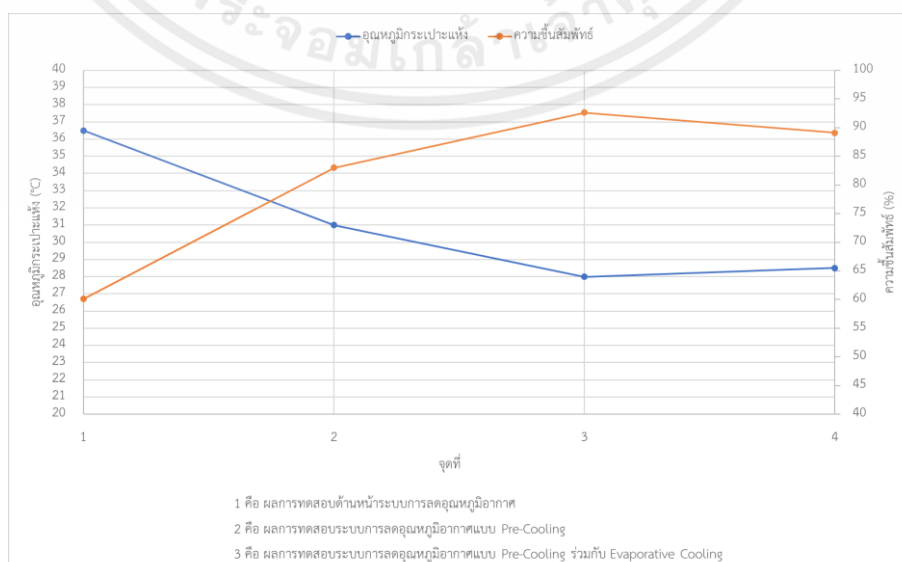


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 8 เมษายน 2566 เวลา 11.30 น.

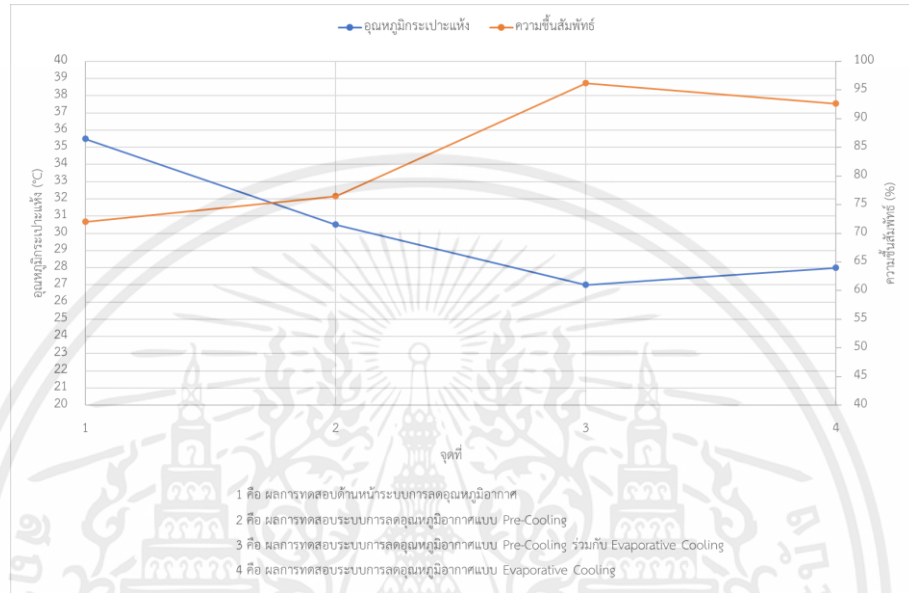


กราฟที่ 8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 8 เมษายน 2566 เวลา 13.00 น.

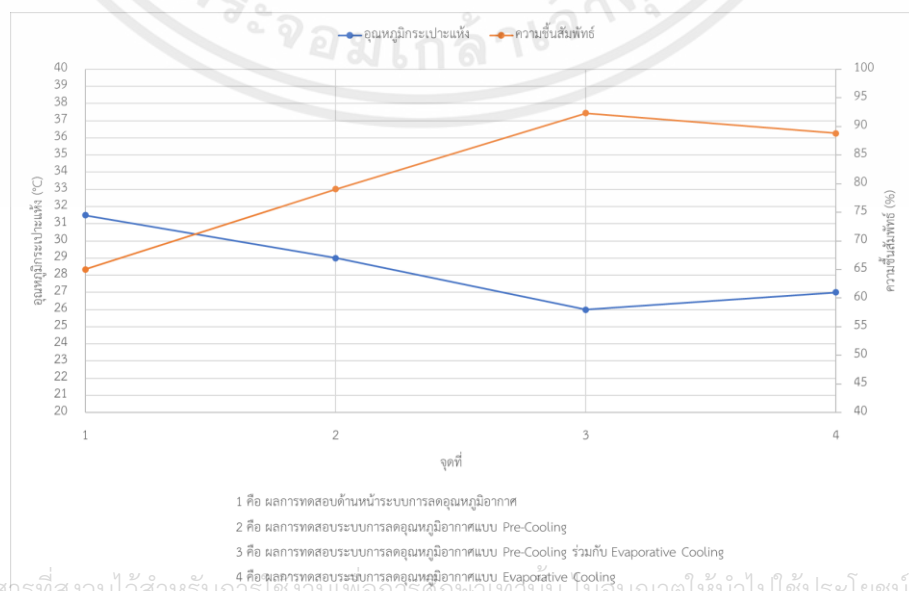


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 8 เมษายน 2566 เวลา 14.00 น.

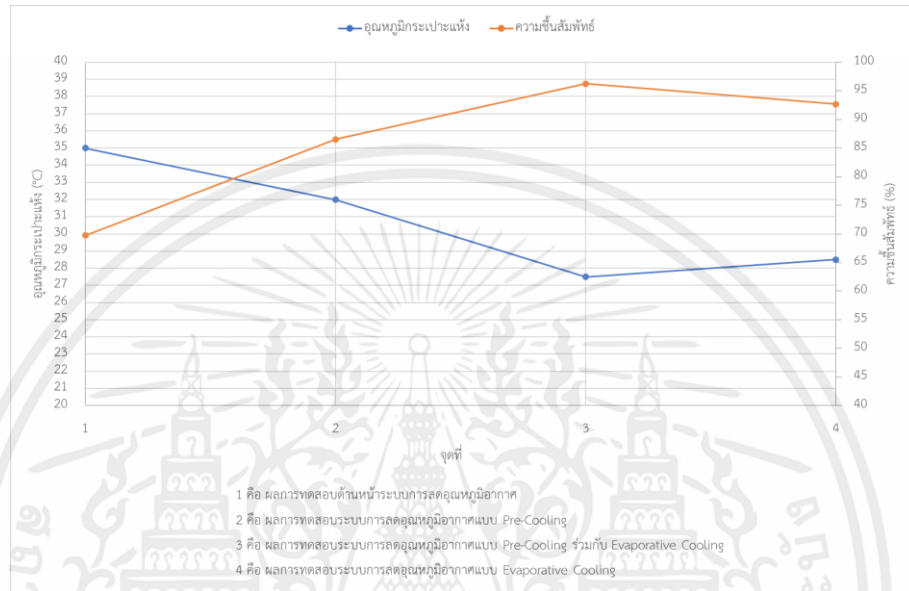


กราฟที่ 10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 8 เมษายน 2566 เวลา 16.00 น.

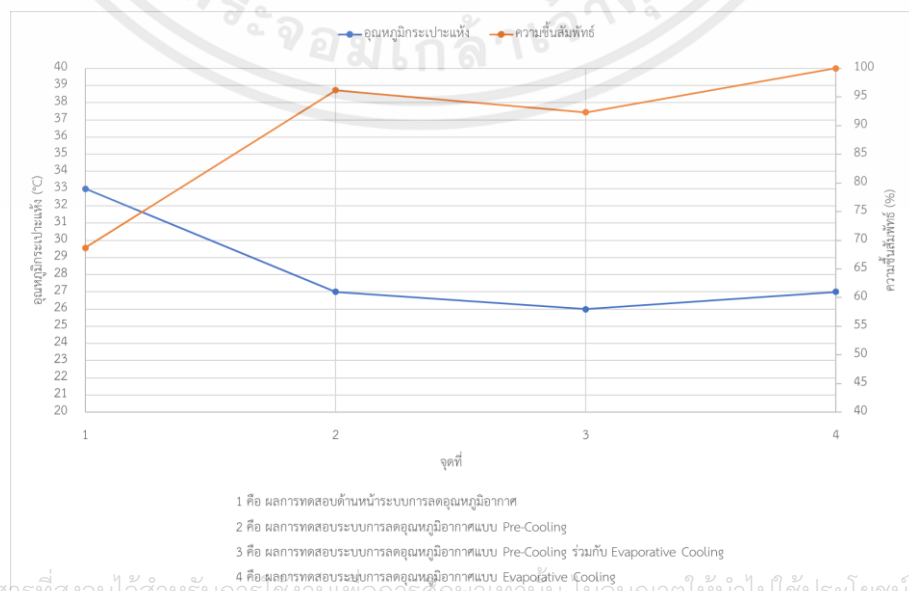


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 9 เมษายน 2566 เวลา 11.30 น.

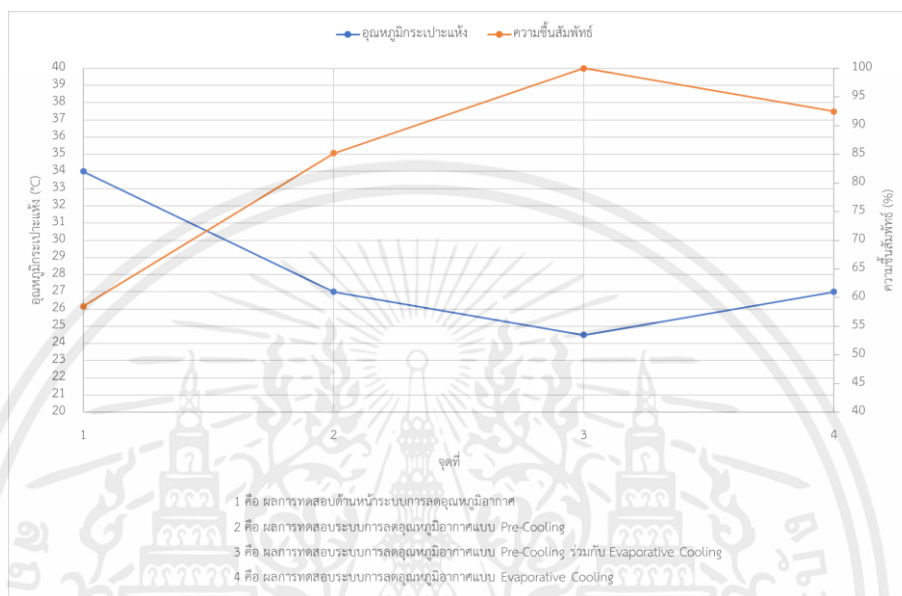


กราฟที่ 12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 9 เมษายน 2566 เวลา 13.30 น.

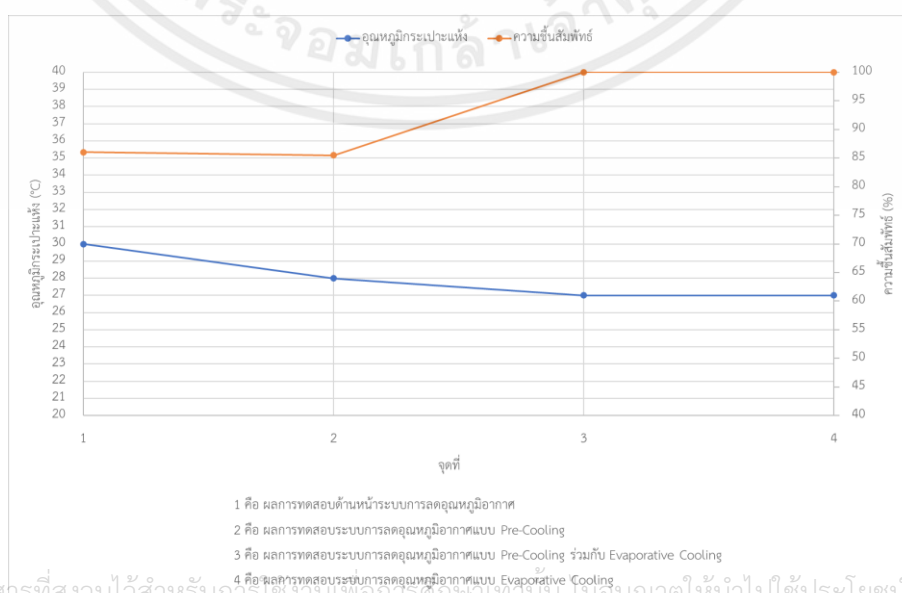


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 9 เมษายน 2566 เวลา 16.00 น.

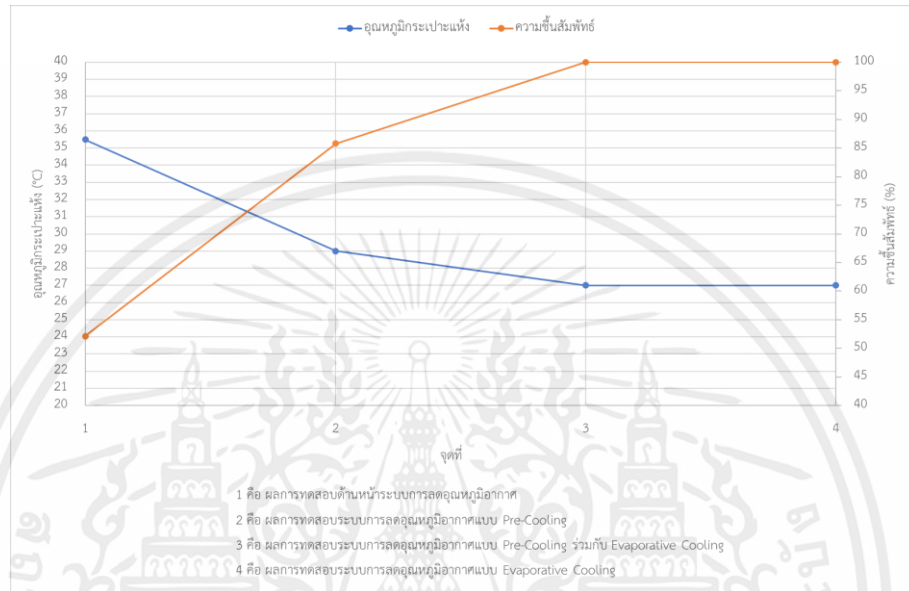


กราฟที่ 14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 10 เมษายน 2566 เวลา 09.50 น.

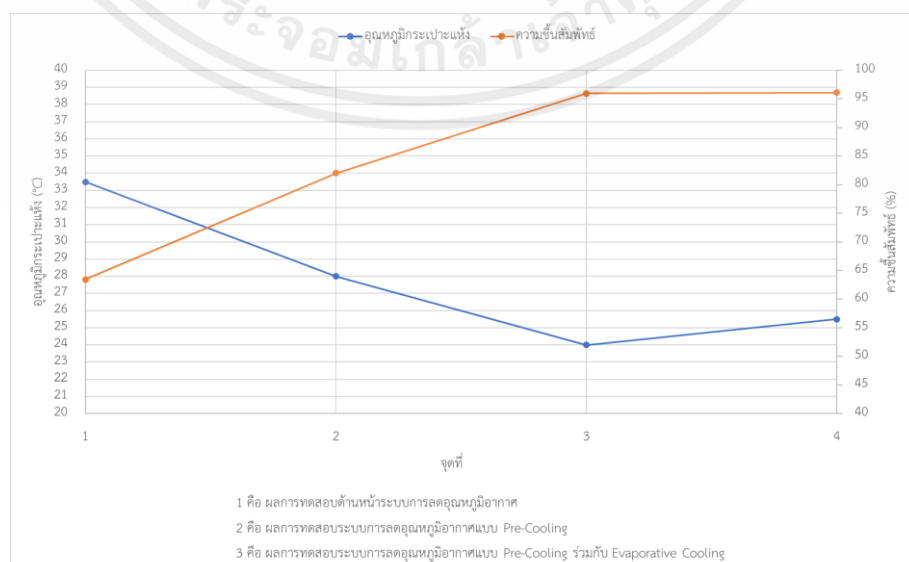


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 10 เมษายน 2566 เวลา 13.30 น.

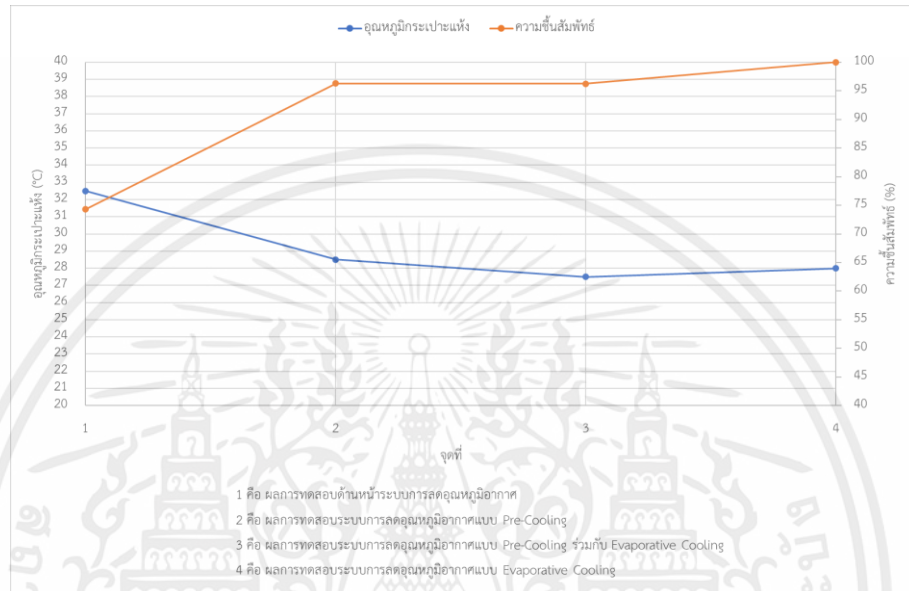


กราฟที่ 16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 20 เมษายน 2566 เวลา 10.20 น.

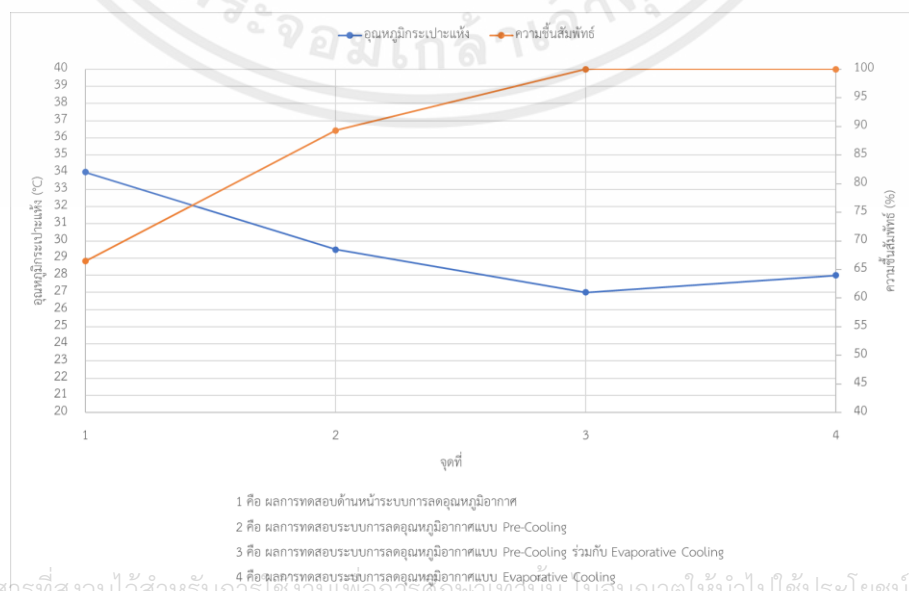


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 24 เมษายน 2566 เวลา 09.40 น.

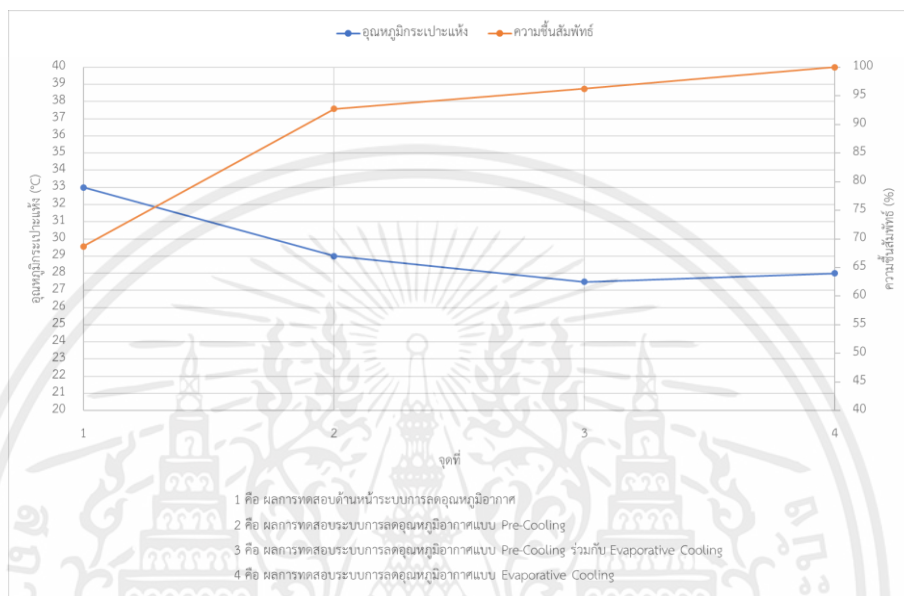


กราฟที่ 18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 24 เมษายน 2566 เวลา 11.00 น.

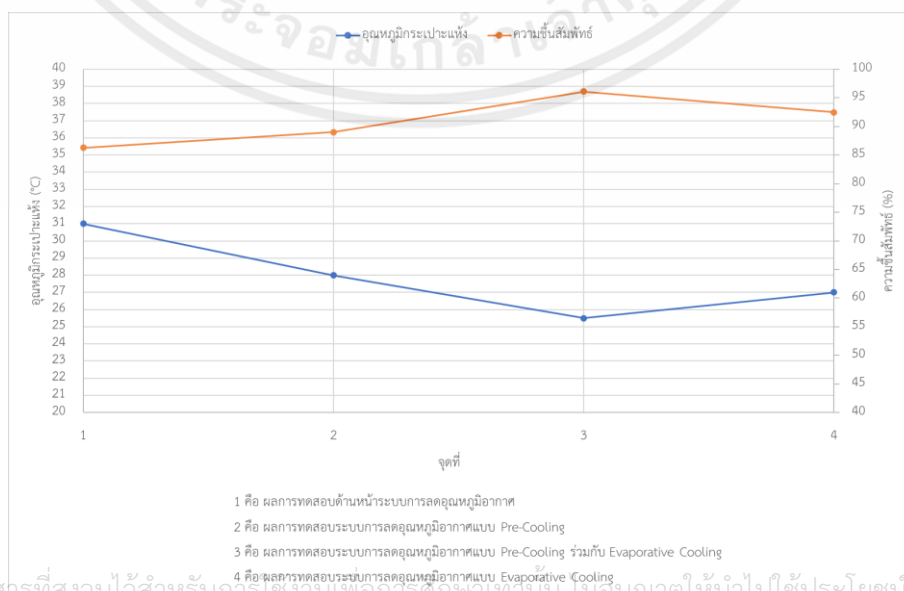


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 26 เมษายน 2566 เวลา 09.00 น.

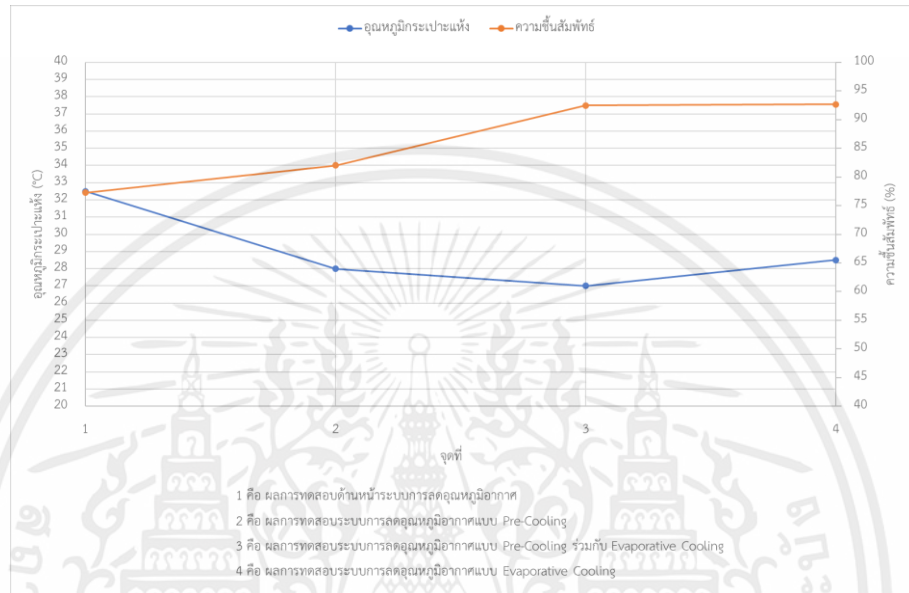


กราฟที่ 20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 4 พฤษภาคม 2566 เวลา 09.30 น.

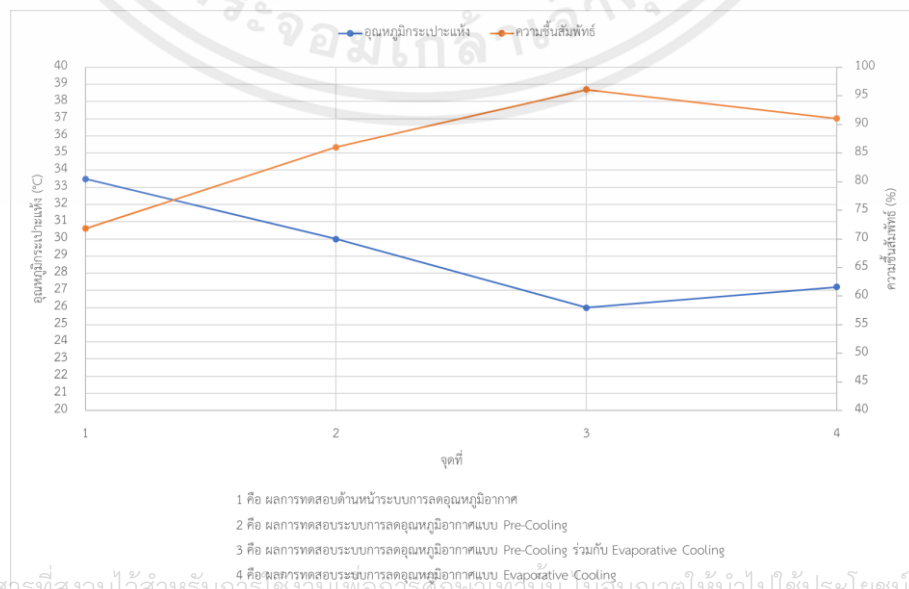


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 4 พฤษภาคม 2566 เวลา 11.30 น.

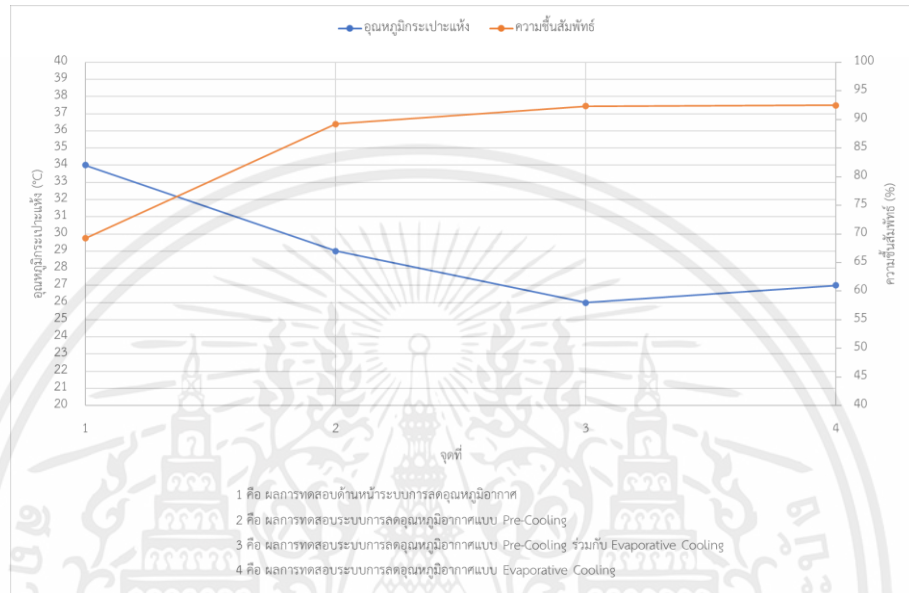


กราฟที่ 22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 4 พฤษภาคม 2566 เวลา 12.30 น.

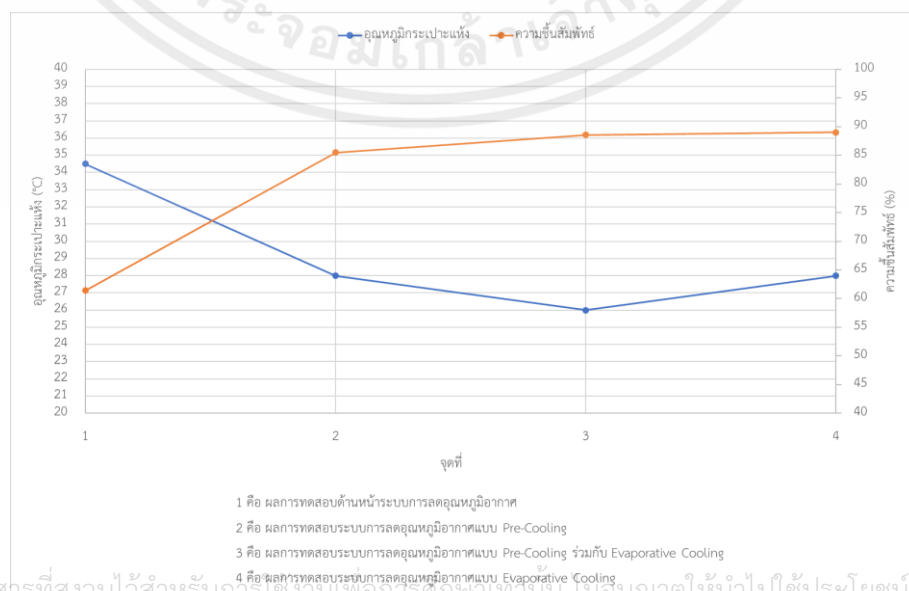


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 4 พฤษภาคม 2566 เวลา 14.30 น.

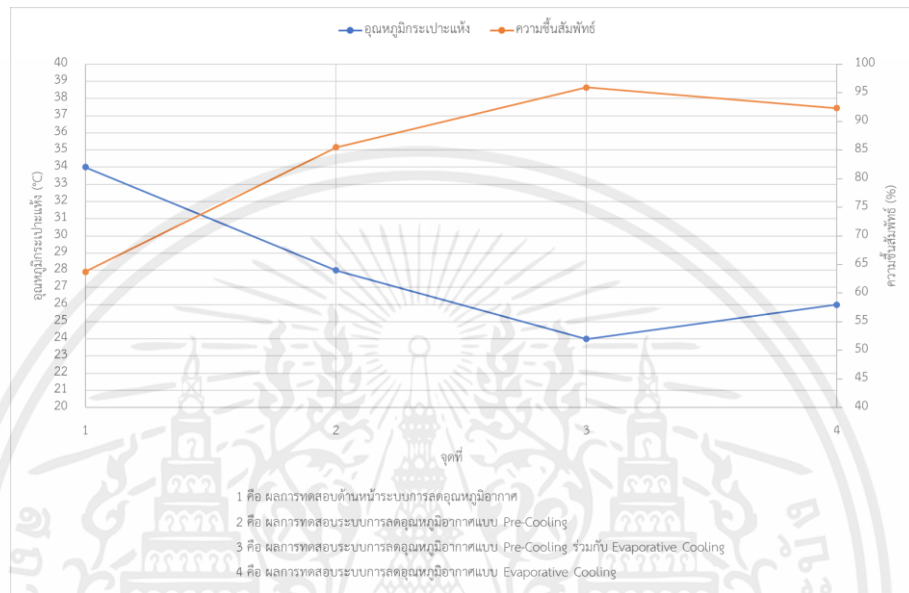


กราฟที่ 24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 4 พฤษภาคม 2566 เวลา 15.30 น.

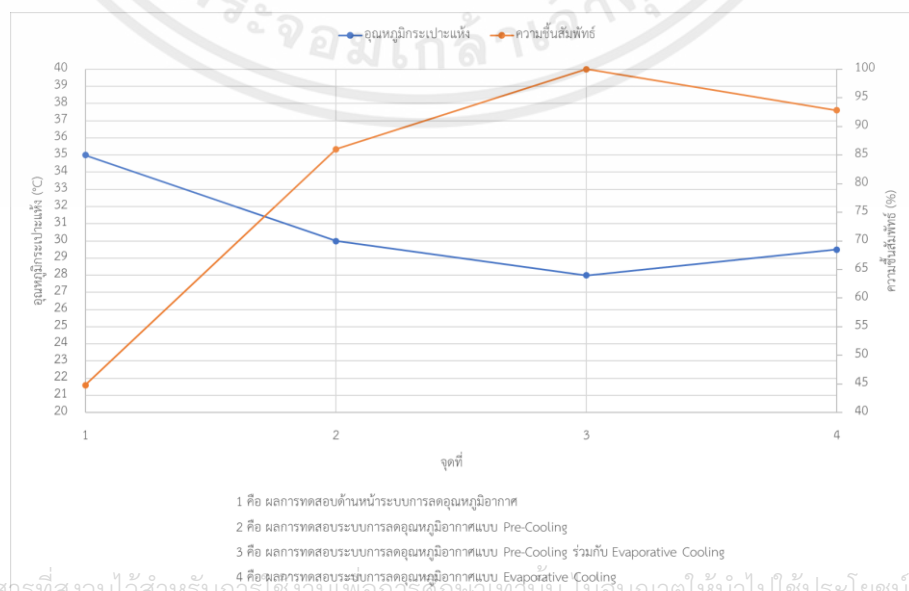


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 4 พฤษภาคม 2566 เวลา 16.30 น.

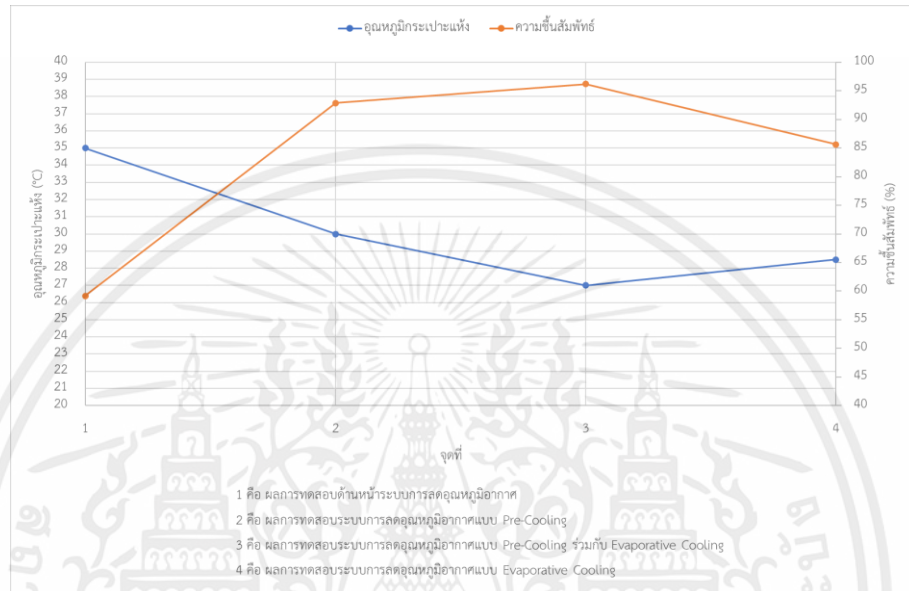


กราฟที่ 26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 5 พฤษภาคม 2566 เวลา 13.25 น.

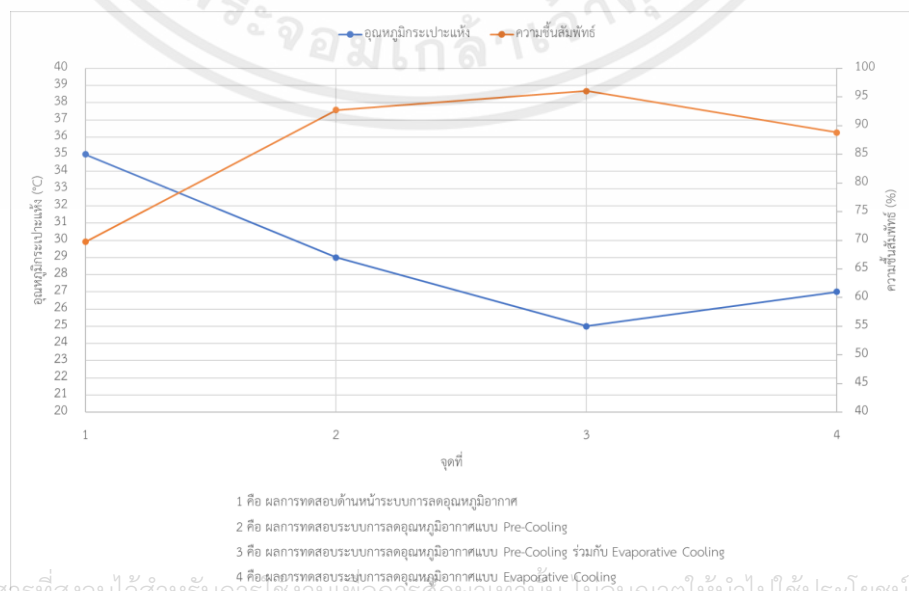


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 27 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 5 พฤษภาคม 2566 เวลา 14.40 น.

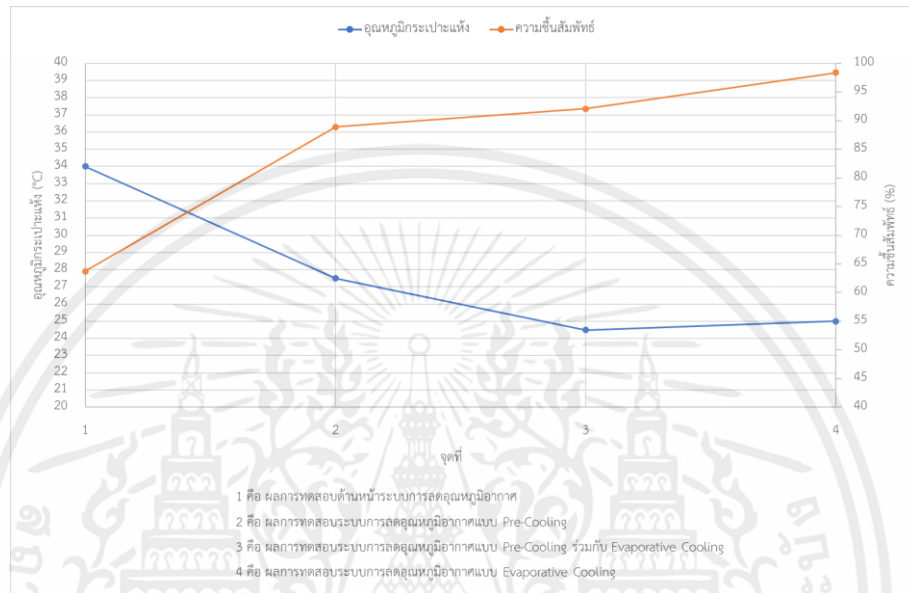


กราฟที่ 28 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 5 พฤษภาคม 2566 เวลา 15.40 น.

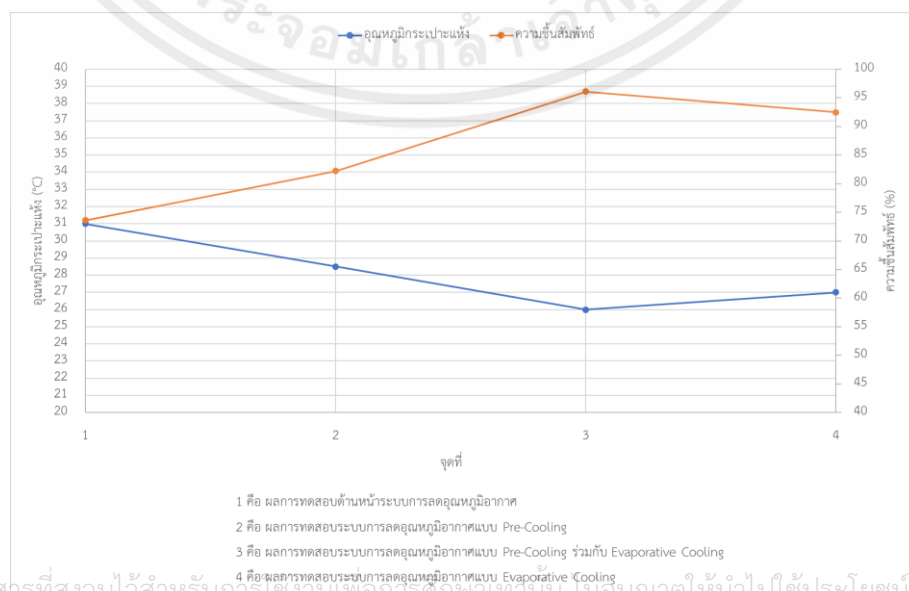


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 29 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 5 พฤษภาคม 2566 เวลา 16.50 น.



กราฟที่ 30 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบด้านหน้าระบบการลดอุณหภูมิอากาศ, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling, ผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Pre-Cooling ร่วมกับ Evaporative Cooling และผลการทดสอบระบบการลดอุณหภูมิอากาศแบบ Evaporative Cooling กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลวันที่ 12 พฤษภาคม 2566 เวลา 13.40 น.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้