การทดลองเชิงศึกษาเกี่ยวกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

พิชัย เลาหวงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

การทดลองเชิงศึกษาเกี่ยวกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

พิชัย เลาหวงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Experimental study of evaporative cooling

Pichai Laohawong

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การทดลองเชิงศึกษาเกี่ยวกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหย
โดย	นาย พิชัย เลาหวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์
	สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(อ.บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์)

.....กรรมการ
(รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การทดลองเชิงศึกษาเกี่ยวกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

โดย นายพิชัย เลาหวงศ์

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2561

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยและใช้อากาศที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอัดอากาศ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 การลดอุณหภูมิของอากาศด้วยเครื่องทำความเย็นระเหยแบบโดยตรง การทดลองที่ 2 การลดอุณหภูมิของอากาศด้วยเครื่องทำความเย็นระเหยแบบโดยตรงร่วมกับแบบโดยอ้อม การทดลองที่ 3 การลดอุณหภูมิของอากาศโดยลดอุณหภูมิของอากาศผ่านท่ออลูมิเนียมที่สัมผัสกับน้ำอยู่ภายในเครื่องก่อนเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยแบบโดยตรง การทดลองที่ 4 การลดอุณหภูมิของอากาศโดยแบ่งอากาศออกเป็น 2 ส่วน โดยอากาศส่วนที่ 1 ลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่ออลูมิเนียมที่สัมผัสกับน้ำอยู่ภายในเครื่องและเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยแบบโดยตรง ส่วนที่ 2 เข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม ผลจากการทดลองพบว่า การทดลองที่ 1 สามารถลดอุณหภูมิของอากาศได้ต่ำที่สุด โดยสามารถลดอุณหภูมิของอากาศลงได้เหลือ 19.8 องศาเซลเซียส จาก 31.4 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ที่ขาออกอยู่ที่ 94% ส่วนการทดลองที่ 2 พบว่าที่อากาศขาออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20.2-20.9 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 94-98% และ อุณหภูมิขาออกจากเครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อมอยู่ในช่วง 21.0-24.5องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 18 % อากาศผสมที่ขาออกทั้งสองสายมารวมกัน อุณหภูมิอยู่ในช่วง 21.0-24.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 44-62% ซึ่งอยู่ในช่วงสภาวะสบายของมนุษย์ การทดลองที่ 1 ให้ผลดีกว่าการทดลองที่ 3 ส่วนการทดลองที่ 2 ให้ผลดีกว่าการทดลองที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Experimental study of evaporative cooling
By	Mr. Pichai laohawong
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2018
Advisor	Boonchai chotiviriyavanich

Abstract

This project aims to study the performance of an Evaporative using low humidity air from air compressor. The experiment was divided into 4 parts. Part 1 is the experimental study of the reduction air temperature by direct evaporative cooler. Part 2 is the experimental study of the reduction air temperature by direct evaporative with indirect evaporative cooler. Part 3 is the experimental study of the reduction air temperature through aluminium coil, and blow through the direct evaporative cooler. In part 4 the experimental was divided air into 2 paths. Path 1 the reduction air temperature through aluminium coil and blow through the direct evaporative cooler. Path 2 the air through indirect evaporative cooler. The experimental result shows that the direct evaporative cooling can reduce the inlet air temperature to 19.8 °C from 31.4 degrees relative humidity is 94%. Part 2 the result shows that the outlet temperature from direct evaporative cooler in the range of 20.2-20.9 degrees and relative humidity in the range of 94-98 %, the outlet temperature of indirect evaporative cooler in the range of 21.0-24.5 degrees and relative humidity approximately 18%, and the outlet air temperature after combined in the range of 21.0-24.5 degree and relative humidity in the range of 44-62%, which are in the comfortable zone. Part 1 give a better result than part 3 and part 2 give a better result than part 4.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำจากอาจารย์บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ตรวจแก้ไข ให้คำปรึกษา พร้อมทั้งช่วยชี้แนะแนวทางไปสู่ความสำเร็จแห่งการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งผู้วิจัยได้รับแนวทางในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้และประสบการณ์อย่างกว้างขวางในการทำงานวิจัยครั้งนี้ จึงกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณบุคลากรทุกท่าน พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือข้อมูลและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์และเป็นกำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดาของผู้วิจัย ที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกสิ่งทุกอย่าง จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี คุณงามความดีอันพึงมี ขอมอบแด่บิดา มารดา ครู-อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

พิชัย เลาหวงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....I
Abstract.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
สารบัญตาราง.....VI
สารบัญรูป.....VIII
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3
2.1 แผนภูมิไซโครเมตริค.....3
2.2 กระบวนการอิ่มตัวแบบแอเดียเบติก (Adiabatic Saturation Process).....6
2.3 ระบบทำความเย็นแบบระเหย (Evaporative cooling system).....7
2.4 กระบวนการลดความชื้น (Dehumidification).....10
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....11
บทที่ 3 การทดลอง.....12
3.1 รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....12
3.2 วิธีการทดลอง.....14
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....18
4.1 ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (การทดลองที่ 1).....18
4.2 ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงร่วมกับโดยอ้อม (การทดลองที่ 2).....21
4.3 ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่ออลูมิเนียมก่อนเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (การทดลองที่ 3).....27
4.4 ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยแบ่งอากาศออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 ลดอุณหภูมิอากาศด้วยท่ออลูมิเนียม และเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ส่วนที่ 2 เข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม (การทดลองที่ 4).....30
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....36
5.1 สรุปผลการทดลอง.....36
เอกสารอ้างอิง.....37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก.....38
ภาคผนวก ก. ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็น
แบบระเหยโดยตรงร่วมกับเครื่องอัดอากาศ (การทดลองที่ 1).....38
ภาคผนวก ข. ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็น
แบบระเหยโดยตรงและโดยอ้อม (การทดลองที่ 2).....42
ภาคผนวก ค. ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่ออลูมิเนียมก่อน
เข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (การทดลองที่ 3)..... 55
ภาคผนวก ง. ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่ออลูมิเนียมก่อนเข้าสู่
เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงและโดยอ้อม (การทดลองที่ 4).....60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (การทดลองที่ 1).....18
ตารางที่ 4.2 สรุปผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงร่วมกับโดยอ้อม (การทดลองที่ 2).....22
ตารางที่ 4.3 สรุปผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่ออลูมิเนียมและเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (การทดลองที่ 3).....27
ตารางที่ 4.4 สรุปผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยแบ่งอากาศออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 ลดอุณหภูมิอากาศด้วยท่ออลูมิเนียม และเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ส่วนที่ 2 เข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม (การทดลองที่ 4).....30
ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงร่วมกับเครื่องอัดอากาศที่อัตราการไหล 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง.....39
ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงร่วมกับโดยอ้อม อากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่ 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง อากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นโดยอ้อม 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง.....43
ตารางที่ ข.2 ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงร่วมกับโดยอ้อม อากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่ 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง อากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นโดยอ้อม 7,000 ลิตรต่อชั่วโมง.....47
ตารางที่ ข.3 ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงร่วมกับโดยอ้อม อากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่ 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง อากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นโดยอ้อม 5,500 ลิตรต่อชั่วโมง.....51
ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่ออลูมิเนียมก่อนเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ที่อัตราการไหล 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง.....56
ตารางที่ ง.1 ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่ออลูมิเนียมก่อนเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงและโดยอ้อม อากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่ 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง อากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นโดยอ้อม 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง.....61
ตารางที่ ง.2 ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่ออลูมิเนียมก่อนเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงและโดยอ้อม อากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่ 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง อากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นโดยอ้อม 7,000 ลิตรต่อชั่วโมง.....65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ง.3 ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่ออลูมิเนียมก่อนเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงและโดยอ้อม อากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่ 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง อากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นโดยอ้อม 5,500 ลิตรต่อชั่วโมง..... 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แผนภูมิไซโครเมตริคและโครงสร้างโดยทั่วไป 4
รูปที่ 2.2 กระบวนการอิ่มตัวแบบแอเดียเบติก และแสดงบนแผนภาพไซโครเมตริค 6
รูปที่ 2.3 แผนภาพการทำงานและแผนภูมิไซโครเมตริคของระบบ DEC 7
รูปที่ 2.4 แผนภาพการทำงานและแผนภูมิไซโครเมตริคของระบบ IEC 8
รูปที่ 2.5 แผนภาพการทำงานและแผนภูมิไซโครเมตริคของระบบ R-IEC 8
รูปที่ 2.6 แผนภาพการทำงานและแผนภูมิไซโครเมตริคของระบบ D-IEC 9
รูปที่ 2.7 แผนภาพการทำงานและแผนภูมิไซโครเมตริคของระบบ M-IEC 9
รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอากาศสภาวะอิ่มตัวกับความดันและอุณหภูมิ 10
รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะการทำงานของระบบ R-IEC 11
รูปที่ 3.1 เครื่องอัดอากาศสำหรับใช้ในการทดลอง ที่ความดัน 7-9 บาร์ 12
รูปที่ 3.2 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นดิจิตอล 12
รูปที่ 3.3 เครื่องวัดอุณหภูมิน้ำ 12
รูปที่ 3.4 เครื่องทำความเย็นแบบระเหยและอุปกรณ์ภายในเครื่อง 13
รูปที่ 3.5 เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง 14
รูปที่ 3.6 การทดลองลดอุณหภูมิอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ร่วมกับโดยอ้อม 15
รูปที่ 3.7 การทดลองลดอุณหภูมิอากาศโดยลดอุณหภูมิอากาศด้วยท่ออลูมิเนียม และเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง 16
รูปที่ 3.8 การทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยแบ่งอากาศออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 ลดอุณหภูมิอากาศด้วยท่ออลูมิเนียม และเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ส่วนที่ 2 เข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 17
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองที่ 1) 19
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองที่ 1) 19
รูปที่ 4.3 แผนภูมิไซโครเมตริคอุณหภูมิต่ำสุดที่เป็นไปได้ของอากาศจากการทดลองที่ 1 20
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ที่อัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการไหลผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง (การทดลองที่ 2) 23
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ที่อัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการไหลผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง (การทดลองที่ 2) 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ที่อัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง 8,500 ลิตรต่อชั่วโมงและ อัตราการไหลผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 7,000 ลิตรต่อชั่วโมง (การทดลองที่ 2).....24
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ที่อัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง 8,500 ลิตรต่อชั่วโมงและ อัตราการไหลผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 7,000 ลิตรต่อชั่วโมง (การทดลองที่ 2).....24
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ที่อัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง 8,500 ลิตรต่อชั่วโมงและ อัตราการไหลผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 5,500 ลิตรต่อชั่วโมง (การทดลองที่ 2)..... 25
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ที่อัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง 8,500 ลิตรต่อชั่วโมงและ อัตราการไหลผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 5,500 ลิตรต่อชั่วโมง (การทดลองที่ 2)..... 25
รูปที่ 4.10 แผนภูมิไซโครเมตริคอุณหภูมิต่ำสุดที่เป็นไปได้ของอากาศจากการทดลองที่ 2..... 26
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองที่ 3).....28
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองที่ 3).....28
รูปที่ 4.13 แผนภูมิไซโครเมตริคอุณหภูมิต่ำสุดที่เป็นไปได้ของอากาศจากการทดลองที่ 3..... 29
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ที่อัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง 8,500 ลิตรต่อชั่วโมงและ อัตราการไหลผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง (การทดลองที่ 4).....32
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ที่อัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง 8,500 ลิตรต่อชั่วโมงและ อัตราการไหลผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง (การทดลองที่ 4).....32
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ที่อัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง 8,500 ลิตรต่อชั่วโมงและ อัตราการไหลผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 7,000 ลิตรต่อชั่วโมง (การทดลองที่ 4)..... 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ที่อัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง 8,500 ลิตรต่อชั่วโมงและ อัตราการไหลผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 7,000 ลิตรต่อชั่วโมง (การทดลองที่ 4)..... 33

รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ที่อัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง 8,500 ลิตรต่อชั่วโมงและ อัตราการไหลผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 5,500 ลิตรต่อชั่วโมง (การทดลองที่ 4)..... 34

รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ที่อัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง 8,500 ลิตรต่อชั่วโมงและ อัตราการไหลผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 5,500 ลิตรต่อชั่วโมง (การทดลองที่ 4)..... 34

รูปที่ 4.20 แผนภูมิไซโครเมตริคหลังรวมอากาศขาออกของเครื่องทำความเย็นระเหย โดยตรงกับโดยอ้อมจากการทดลองที่ 4..... 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากประเทศไทยมีสภาพอากาศที่ร้อนชื้น ในปัจจุบันมีการใช้เครื่องปรับอากาศกันอย่างแพร่หลายซึ่งมีข้อดีหลายประการ เช่น การใช้งานสะดวก ระบบมีอุปกรณ์น้อยชิ้น อย่างไรก็ตามเครื่องปรับอากาศยังสิ้นเปลืองพลังงานอย่างมาก และใช้สารทำความเย็น ซึ่งสารทำความเย็นเหล่านี้มีผลต่อการทำลายชั้นบรรยากาศโลก ในปัจจุบันยังคงมีการพัฒนาระบบทำความเย็นแบบใหม่ที่ใช้พลังงานต่ำลงได้ หนึ่งในทางเลือกนั้นก็คือเครื่องทำความเย็นแบบระเหย (Evaporative Cooler) เป็นการลดอุณหภูมิของอากาศโดยอาศัยการระเหยของน้ำขณะที่สัมผัสกับอากาศที่เคลื่อนที่ผ่าน ระบบทำความเย็นแบบระเหยเป็นระบบที่ประหยัดพลังงานได้อย่างมาก และไม่มีการใช้สารเคมี จึงไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ใช้เพียงพัดลมและปั๊มน้ำ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าอุณหภูมิของอากาศจะลดลงแต่ก็ลดได้แค่ถึงอุณหภูมิของกระเปาะเปียกเท่านั้น ซึ่งเป็นข้อจำกัดหนึ่งของเครื่องทำความเย็นแบบระเหย ดังนั้นในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สูง เครื่องทำความเย็นแบบระเหยจะสามารถลดอุณหภูมิของอากาศได้ไม่มาก

จากสาเหตุที่กล่าวมา การศึกษาค้นคว้าที่เกี่ยวข้องกับการลดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศในสภาพอากาศร้อนชื้น จึงจำเป็นต้องทำงานร่วมกับระบบดูดความชื้น ซึ่งมีทั้งการใช้สารดูดความชื้น และใช้เครื่องอัดอากาศ ผู้วิจัยเห็นว่าระบบที่น่าสนใจและมีความเป็นไปได้ก็คือ การใช้เครื่องอัดอากาศในการลดความชื้น ซึ่งสามารถลดความชื้นในอากาศได้ต่ำมากส่งผลทำให้มีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิอากาศเป็นอย่างมาก ผู้วิจัยจึงมีจุดมุ่งหมายจัดทำโครงการวิจัยขึ้นเพื่อศึกษาเครื่องทำความเย็นแบบระเหยที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในภูมิอากาศร้อนชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาการลดอุณหภูมิของอากาศ ของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยสำหรับสภาพอากาศแบบร้อนชื้น โดยลดความชื้นของอากาศด้วยเครื่องอัดอากาศ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ใช้เครื่องอัดอากาศในการลดความชื้นของอากาศก่อนเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

1.3.2 ศึกษาการลดอุณหภูมิของอากาศด้วยเครื่องทำความเย็นระเหยแบบโดยตรง

1.3.3 ศึกษาการลดอุณหภูมิของอากาศด้วยเครื่องทำความเย็นระเหยแบบโดยตรงร่วมกับแบบโดยอ้อม

1.3.4 ศึกษาการลดอุณหภูมิของอากาศโดยลดอุณหภูมิของอากาศผ่านท่ออลูมิเนียมที่สัมผัสกับน้ำอยู่ภายในเครื่อง ก่อนเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยแบบโดยตรง

1.3.5 ศึกษาการลดอุณหภูมิของอากาศโดยแบ่งอากาศออกเป็น 2 ส่วน โดยอากาศส่วนที่ 1 ลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่ออลูมิเนียมที่สัมผัสกับน้ำอยู่ภายในเครื่องและเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ส่วนที่ 2 เข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม

1.3.6 เปรียบเทียบการทดลองทั้งหมด

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 เข้าใจหลักการทำงานของเครื่องทำความเย็นแบบระเหย และเข้าใจขั้นตอนในการทำโครงงานวิจัยมากยิ่งขึ้น

1.4.2 สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

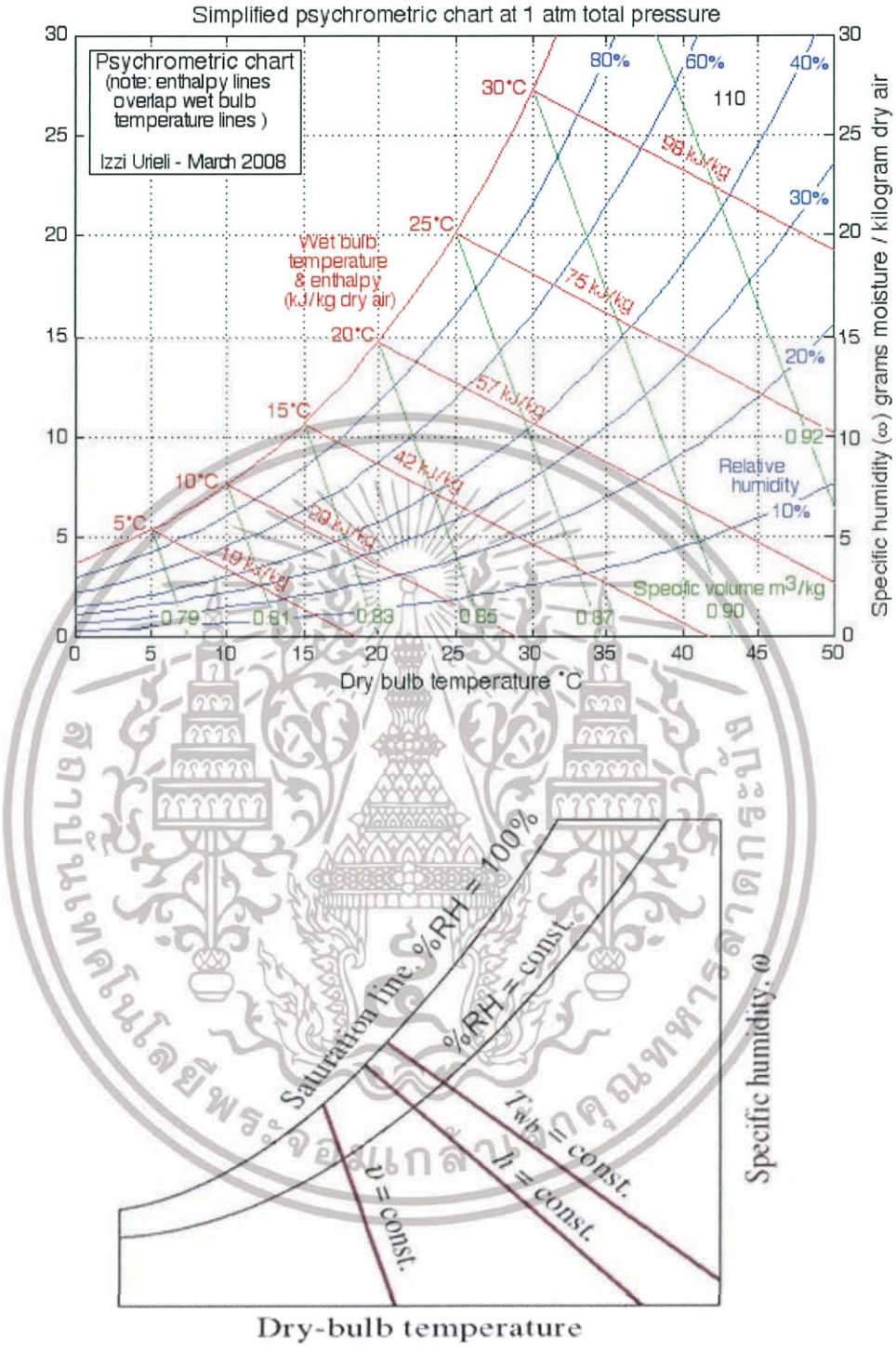
บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทำความเย็นแบบระเหยเป็นการลดอุณหภูมิของอากาศโดยอาศัยการระเหยของน้ำ หลักการทำงานของเครื่องทำความเย็นระเหย คือ อาศัยอากาศภายนอกวิ่งผ่านน้ำโดยตรง อากาศจากภายนอกซึ่งเป็นอากาศร้อน เมื่ออากาศร้อนเคลื่อนที่ผ่านน้ำ น้ำบางส่วนจะเกิดการระเหยเข้าไปสู่อากาศเนื่องจากความดันไอในน้ำมากกว่าความดันไอในอากาศ น้ำก็จะดูดพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเข้ามาแทนที่พลังที่เสียไปในการกลายเป็นไอ น้ำก็จะมีอุณหภูมิลดลง และเกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศกับน้ำ ทำให้อากาศมีอุณหภูมิลดลง เพราะฉะนั้นจึงต้องศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับข้อมูลพื้นฐานและทฤษฎีต่างๆ ดังนี้ แผนภูมิไซโครเมตริค กระบวนการอิ่มตัวแบบแอเดียเบติก ระบบการทำความเย็นแบบระเหย กระบวนการลดความชื้น

2.1 แผนภูมิไซโครเมตริค [2]

แผนภูมิไซโครเมตริคเป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ของผสมระหว่างอากาศและไอน้ำ เนื่องจากอากาศในบรรยากาศจะมีไอน้ำปะปนอยู่ แผนภูมิไซโครเมตริคมักจะถูกใช้อย่างกว้างขวางในการออกแบบระบบปรับอากาศ และแก้ปัญหาที่ซับซ้อนเกี่ยวกับกระบวนการและวัฏจักรการทำงานของเครื่องปรับอากาศ โดยทั่วไปแล้วแผนภูมิไซโครเมตริคจะใช้ได้กับความดันคงที่ค่าหนึ่งที่ระบุเอาไว้ในแผนภูมิ โดยความดันที่นิยมใช้กันก็คือความดันอากาศที่ระดับน้ำทะเล 1 atm (101.325 kPa หรือ 14.696 psia) รูปร่างพื้นฐานทั่วไปของแผนภูมิไซโครเมตริค ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 ซึ่งบนแผนภูมิไซโครเมตริคนี้จะประกอบไปด้วยค่าพารามิเตอร์หรือตัวแปรต่างๆ กล่าวคือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งถูกแสดงไว้เป็นแกนนอน และค่าสัดส่วนความชื้นถูกแสดงไว้เป็นแกนตั้ง ที่ส่วนปลายด้านซ้ายของแผนภูมิเราจะเห็นเส้นโค้งซึ่งเรียกว่า เส้นอิ่มตัว (Saturation line) เส้นโค้งนี้ก็คือเส้นโค้งที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 100% ส่วนโค้งที่ค่าคงที่ของความชื้นสัมพัทธ์อื่นๆก็ได้แสดงในลักษณะรูปร่างที่คล้ายคลึงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แผนภูมิไซโครเมตริคและโครงสร้างโดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของตัวแปรต่างๆที่ปรากฏบนแผนภูมิไซโครเมตริคมีดังนี้

2.1.1) อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature)

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง คือ อุณหภูมิของอากาศที่วัดได้ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ทั่วไปทั้งแบบกระเปาะแบบหน้าปัด หรือ เครื่องบันทึกอุณหภูมิแบบต่าง ๆ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C) หรือองศาฟาเรนไฮ (°F) สำหรับในแผนภูมิไซโครเมตริคอ่านค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งนี้ได้จากเส้นตรงในแนวดิ่ง โดยตัวเลขของอุณหภูมิจะอยู่ด้านล่างของแผนภูมิสำหรับแผนภูมิไซโครเมตริค

2.1.2) อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature)

อุณหภูมิกระเปาะเปียก(Wet bulb temperature) คือ อุณหภูมิของอากาศที่วัดได้จากเทอร์มิเตอร์ที่มีผ้าเปียกน้ำหุ้มอยู่ที่กระเปาะวัดโดยอุณหภูมิที่วัดได้นี้จะอ่านค่าได้ต่ำกว่า อุณหภูมิกระเปาะแห้ง เมื่อวัดในเวลาเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อน้ำระเหยจากผ้าสู่บรรยากาศจะดึงเอาความร้อนไปด้วย ทำให้ผ้าที่หุ้มกระเปาะอยู่เย็นตัวลง สำหรับในกรณีที่อากาศมีไอน้ำอิ่มตัวแล้ว หรือความชื้นสัมพัทธ์ 100% น้ำก็ไม่สามารถระเหยจากผ้าได้ค่าที่อ่านได้จากอุณหภูมิกระเปาะเปียกจะเท่ากับที่อ่านได้จากกระเปาะแห้ง มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C) หรือ องศาฟาเรนไฮ (°F) ในแผนภูมิไซโครเมตริคอ่านค่าได้จากเส้นตรงที่ทแยงจากมุมล่างขวาไปยังมุมซ้ายบน (มีเส้นตรงเอียงอยู่ 2 เส้น ให้ดูที่เส้นเอียงมาก) โดยตัวเลขบอกอุณหภูมิจะอยู่บนส่วนโค้งและด้านบน

2.1.3) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง(Dew point temperature)

คือ อุณหภูมิที่อากาศมีไอน้ำอิ่มตัว ไอน้ำเริ่มจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ บนพื้นผิวที่อากาศสัมผัส มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C) หรือ องศาฟาเรนไฮ (°F) ในแผนภูมิไซโครเมตริคอ่านได้จากเส้นตรงในแนวนอน ตัวเลขที่แสดงใช้ตัวเลขเดียวกันกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก โดยแสดงอยู่บนส่วนโค้งด้านซ้ายของแผนภูมิหรือเส้นความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100%

2.1.4) อัตราส่วนความชื้น (Specific humidity)

คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของไอน้ำ ที่มีอยู่ในอากาศต่อน้ำหนักของอากาศแห้ง มีหน่วยเป็นกิโลกรัมไอน้ำ /กิโลกรัมอากาศแห้ง โดยค่าอัตราส่วนความชื้นนี้จะบอกถึงปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศในขณะใดขณะหนึ่ง ซึ่งค่านี้จะมีความสำคัญที่จะบอกว่าอากาศนั้น ๆ จะสามารถรับน้ำได้อีกเท่าใด ในแผนภูมิได้จากเส้นตรงในแนวนอน สำหรับตัวเลขอ่านได้จากด้านซ้ายของแผนภูมิ

2.1.5) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, %RH)

คือ อัตราส่วนระหว่างความดันไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศขณะนั้น กับความดันไอน้ำที่มีมากที่สุดอากาศนั้นจะสามารถรับไว้ได้ (ไอน้ำอิ่มตัว) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ในแผนภูมิไซโครเมตริค เส้นความชื้นสัมพัทธ์จะเป็นเส้นโค้งเอียงจากล่างซ้ายขึ้นบนขวา ตัวเลขจะอยู่บนเส้นตรงกลางของส่วนโค้ง (1% - 90%) เส้นโค้งซ้ายสุดจะเป็น 100% RH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6) เอนทัลปีของอากาศ (Enthalpy)

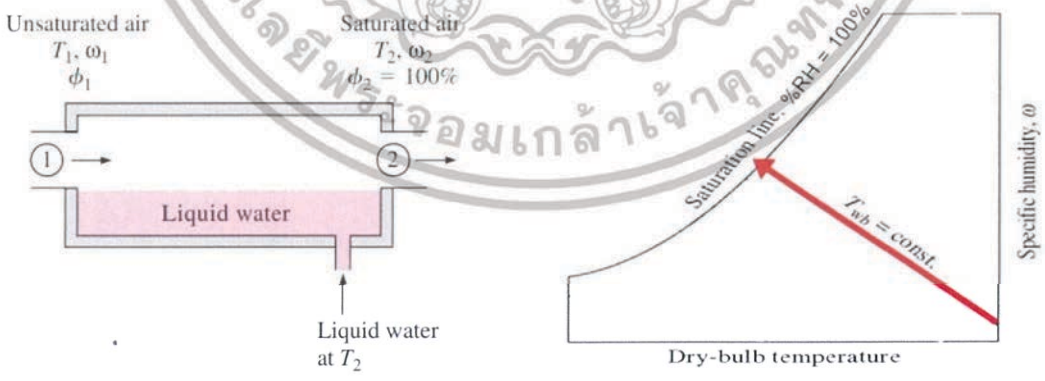
คือ ค่าปริมาณความร้อนที่มีอยู่ในอากาศขณะนั้น มีหน่วยเป็น กิโลจูล/กก.อากาศแห้ง ในแผนภูมิจะใช้เส้นเดียวกับเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกแต่ตัวเลขอ่านได้จากด้านซ้ายสุดและบนสุดของแผนภูมิ

2.1.7) ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume)

คือ ปริมาตรของอากาศขณะนั้นต่ออากาศแห้ง มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/กก.อากาศแห้ง จากแผนภูมิอ่านได้จากเส้นตรงแนวเอียง (เส้นที่เอียงน้อยกว่า เส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียก) โดยตัวเลขจะอยู่ประมาณตรงกลางของเส้นเอียง

2.2 กระบวนการอิ่มตัวแบบแอเดียเบติก (Adiabatic Saturation Process) [3]

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่ไม่มีการสูญเสียหรือรับความร้อนจากสภาพแวดล้อมโดยรอบที่อยู่นอกระบบเข้ามา ดังนั้นอุณหภูมิของอากาศที่สัมผัสกับน้ำก็จะลดลง เนื่องจากอากาศสูญเสียความร้อนสัมผัสไปให้น้ำ ความร้อนสัมผัสที่ถ่ายเทเข้าสู่น้ำจะถูกเปลี่ยนไปเป็นความร้อนแฝงส่งผลทำให้น้ำบางส่วนระเหยกลายเป็นไอ แล้วไอน้ำก็จะระเหยเข้าสู่อากาศ ทำให้ความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้นและมีอุณหภูมิลดลง ซึ่งการแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสไปเป็นความร้อนแฝงจากอากาศไปน้ำทำให้อุณหภูมิของอากาศลดลง จะเกิดขึ้นจนกว่าจะถึงจุดที่อากาศอิ่มตัว ณ จุดนี้คืออากาศจะไม่สามารถลดอุณหภูมิได้อีกต่อไป อุณหภูมิกับความดันไอของอากาศ และ อุณหภูมิกับความดันไอของน้ำจะมีค่าเท่ากัน โดยไม่มีการแลกเปลี่ยนหรือถ่ายเทความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอกเข้ามาในระบบ จึงเรียกกระบวนการนี้ว่ากระบวนการอิ่มตัวแบบแอเดียเบติก เครื่องทำความเย็นแบบระเหยที่อากาศขาออกจะมีสภาวะที่ดำเนินไปตามเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียก จนกระทั่งอากาศเกิดการอิ่มตัว ดังรูป ที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กระบวนการอิ่มตัวแบบแอเดียเบติก และแสดงบนแผนภาพไซโครเมตริค

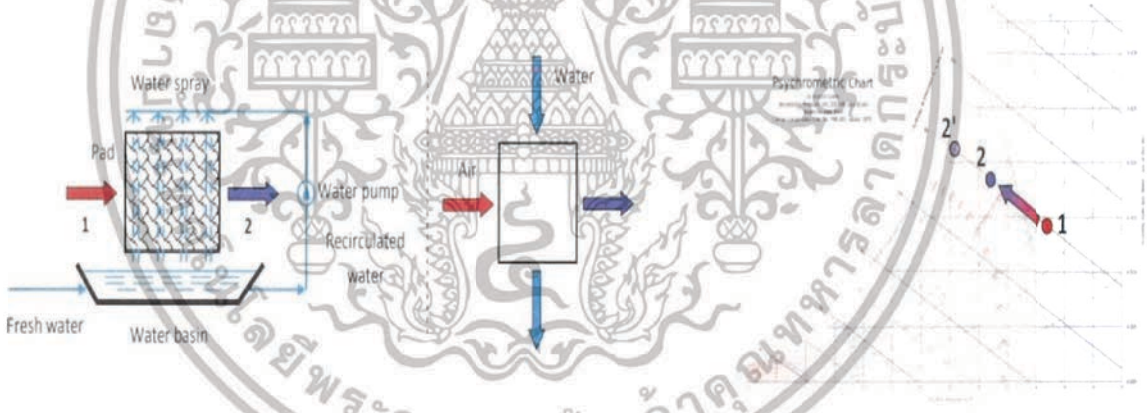
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ระบบทำความเย็นแบบระเหย (Evaporative cooling system) [4]

เป็นระบบที่ให้อากาศร้อนสัมผัสกับน้ำ ความร้อนสัมผัสของอากาศถูกเปลี่ยนไปเป็นความร้อนแฝงทำให้น้ำบางส่วนเกิดการระเหยกลายเป็นไอเข้าสู่อากาศ อากาศร้อนอุณหภูมิจะลดลงแต่มีปริมาณไอน้ำในอากาศเพิ่มมากขึ้น เครื่องทำความเย็นแบบระเหย โดยทั่วไปจะมีอยู่สองประเภทหลักๆด้วยกัน คือ ระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (Direct evaporative cooling system) และระบบการทำความเย็นแบบระเหยโดยทางอ้อม (Indirect evaporative cooling system) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 ระบบการทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (Direct evaporative cooling, DEC)

การทำงานของระบบทำความเย็นระเหยโดยตรง แสดงไว้ดังรูปที่ 2.3 โดยเริ่มจากอากาศร้อนขาเข้า (1) ผ่านไปยังคูลลิ่งแพด (Cooling pad) ที่มีน้ำพ่นเป็นละอองจากด้านบนลงมายังแผง จากนั้นความร้อนที่อยู่ภายในอากาศร้อนขาเข้า (1) จะเคลื่อนที่เข้าไปภายในน้ำ ส่งผลทำให้น้ำบางส่วนระเหยกลายเป็นไอปนเข้าไปกับอากาศที่ไหลผ่าน จึงทำให้อากาศขาออก (2) มีอุณหภูมิลดลง แต่มีความชื้นเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งกระบวนการทำงานทั้งหมดตั้งแต่ขั้นตอน (1) ไปจนถึง (2) จะมีเอนทัลปีคงที่ และมีเส้นทางการดำเนินไปของกระบวนการตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.3 สำหรับระบบการทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงสามารถลดอุณหภูมิได้ต่ำสุดที่สถานะอิ่มตัว (2') เท่านั้น



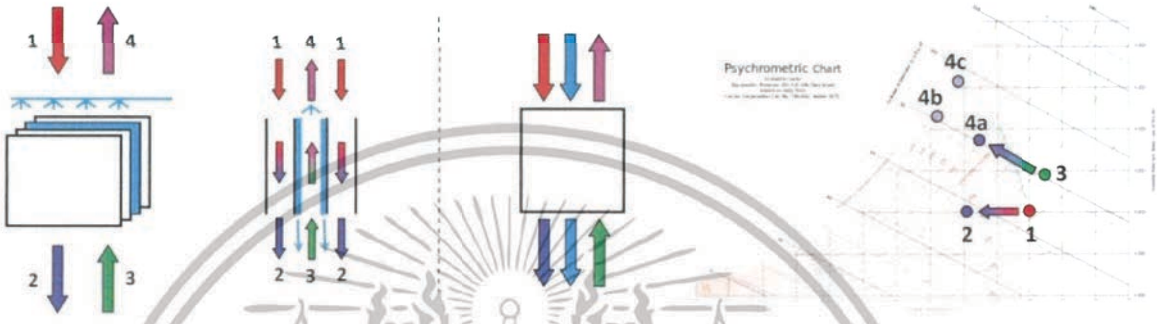
รูปที่ 2.3 แผนภาพการทำงานและแผนภูมิไซโครเมตริคของระบบ DEC [4]

2.3.2 ระบบทำความเย็นระเหยโดยทางอ้อม (Indirect evaporative cooling, IEC)

หลักการทำงานของระบบการทำความเย็นระเหยโดยทางอ้อม แสดงไว้ดังรูปที่ 2.4 โดยเริ่มจากอากาศร้อนขาเข้า (1) เคลื่อนที่ผ่านช่องทางแห้ง (Dry channel) อากาศร้อนขาเข้า (3) จะเคลื่อนที่ผ่านช่องทางเปียก (Wet channel) ซึ่งช่องทางเปียกนี้จะมีหลักการทำงานเหมือนกับระบบ DEC การไหลของอากาศร้อนขาเข้า (1) ในช่องทางแห้ง และการไหลของอากาศร้อนขาเข้า (3) ในช่องทางเปียก จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกัน ความร้อนจากอากาศร้อนขาเข้า (3) จะถ่ายเทเข้าไปในน้ำ ทำให้น้ำบางส่วนระเหยกลายเป็นไอด้วยความร้อนแฝง (Latent Heat) อากาศเย็นขาออก (4) จึงมีอุณหภูมิลดลง แต่จะมีความชื้นเพิ่มขึ้นโดยที่เอนทัลปีคงที่ ส่วนอากาศร้อนขาเข้า (1) เมื่อเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

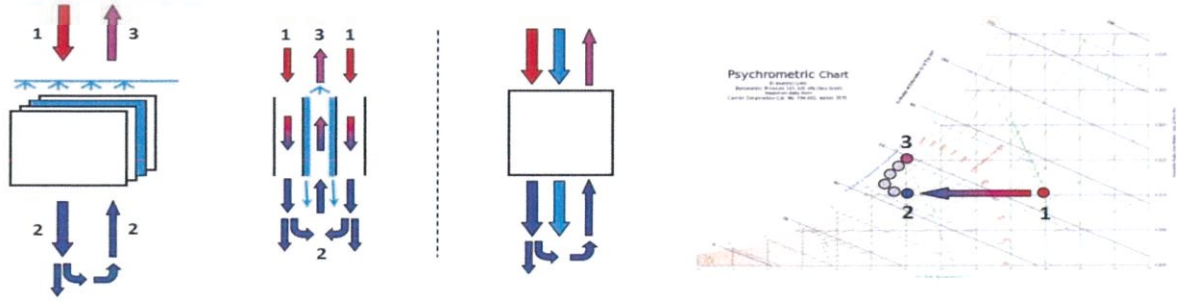
ผ่านช่องทางแห้งออกไปเป็นอากาศเย็นขาออก (2) จะมีอุณหภูมิลดลงโดยที่อัตราส่วนความชื้นคงที่ เนื่องจากความร้อนจากอากาศร้อนขาเข้า (1) จะถ่ายเทผ่านพื้นผิวสัมผัสระหว่างช่องทางแห้งและเปียกเข้าไปยังช่องทางเปียก ก่อนจะแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำและอากาศที่อยู่ในช่องทางเปียกนี้ นี่จึงเป็นสาเหตุว่าทำไมกระบวนการทำงานผ่านช่องทางแห้งของอากาศจากจุดที่ (1) ไปยังจุดที่ (2) ถึงมีอัตราส่วนความชื้นคงที่ โดยกระบวนการทำงานของระบบแบบ IEC แสดงไว้บนแผนภูมิไซโครเมตริก ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แผนภาพการทำงานและแผนภูมิไซโครเมตริกของระบบ IEC [4]

2.3.3 ระบบการทำความเย็นระเหยแบบรีเจนเนเรทีฟ (Regenerative indirect evaporative cooling, R-IEC)

ระบบการทำความเย็นแบบระเหยประเภทนี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของอากาศของระบบการทำความเย็นแบบระเหยทางอ้อมให้ดียิ่งขึ้น ดังรูปที่ 2.5 เพื่อลดอุณหภูมิของ อากาศเย็นขาออก (2) มีอุณหภูมิลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศร้อนขาเข้า (3) หลักการทำงานโดยทั่วไปจะคล้ายกับระบบแบบ IEC แต่แตกต่างตรงที่อากาศร้อนขาเข้า (1) ไหลผ่านช่องแห้งออกมาเป็นอากาศเย็นขาออก (2) อากาศเย็นขาออก (2) บางส่วนจะถูกใช้เป็นอากาศร้อนขาเข้า (3) ก่อนจะไหลผ่านช่องทางเปียกออกไปเป็นอากาศเย็นขาออก ในกรณีนี้เนื่องจากอากาศร้อนขาเข้า (3) นั้นถูกทำให้เย็นตัวลงมาก่อนแล้ว อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศร้อนขาเข้า (3) นี้จึงต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศร้อนภายนอก จึงทำให้อุณหภูมิที่สามารถลดได้ที่เป็นไปได้มีค่าต่ำลง

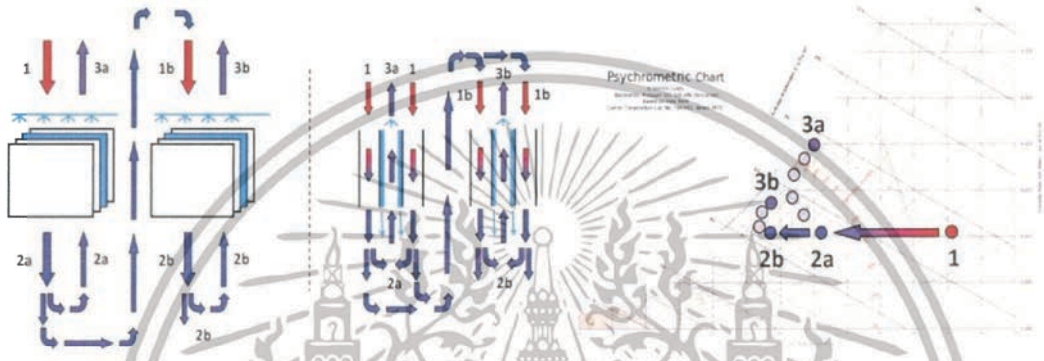


รูปที่ 2.5 แผนภาพการทำงานและแผนภูมิไซโครเมตริกของระบบ R-IEC [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 ระบบการทำความเย็นระเหยแบบอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point indirect evaporative cooling, D-IEC)

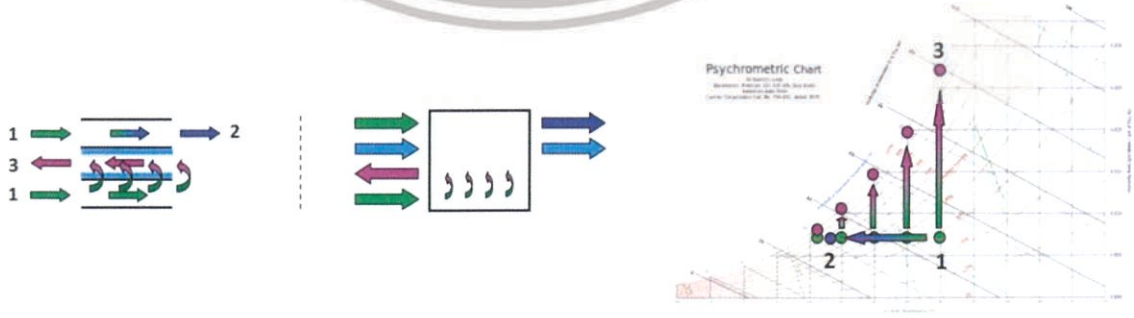
ระบบการทำความเย็นประเภทนี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถลดอุณหภูมิของอากาศลงได้จนเกือบถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ซึ่งระบบการทำความเย็นแบบ D-IEC นี้จะประกอบไปด้วยระบบแบบ R-IEC หลายตัวต่อเข้าด้วยกัน ตัวอย่างระบบ D-IEC ที่ประกอบขึ้นจากระบบ R-IEC สองตัว และมีเส้นทางการดำเนินไปของกระบวนการทำงานบนแผนภูมิไซโครเมตริค แสดงไว้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แผนภาพการทำงานและแผนภูมิไซโครเมตริคของระบบ D-IEC [4]

2.3.5 ระบบการทำความเย็นระเหยโดยอ้อมแบบ Maisotsenko (Maisotsenko indirect evaporative cooling, M-IEC)

ระบบการทำความเย็นประเภทนี้สามารถลดอุณหภูมิอากาศขาเข้าเกือบถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ดังรูปที่ 2.7 อากาศร้อนขาเข้า (1) ไป อากาศเย็นขาออก (2) จะมีสัดส่วนความชื้นคงที่ และจากเส้นทาง (1) ไป (3) จะมีอุณหภูมิคงที่ แต่สัดส่วนความชื้นเพิ่มขึ้น จนกระทั่งสุดท้ายอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้ามีค่าเข้าใกล้อุณหภูมิจุดน้ำค้าง เส้นทางการดำเนินไปของกระบวนการทำงานบนแผนภูมิไซโครเมตริค แสดงไว้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แผนภาพการทำงานและแผนภูมิไซโครเมตริคของระบบ M-IEC [4]

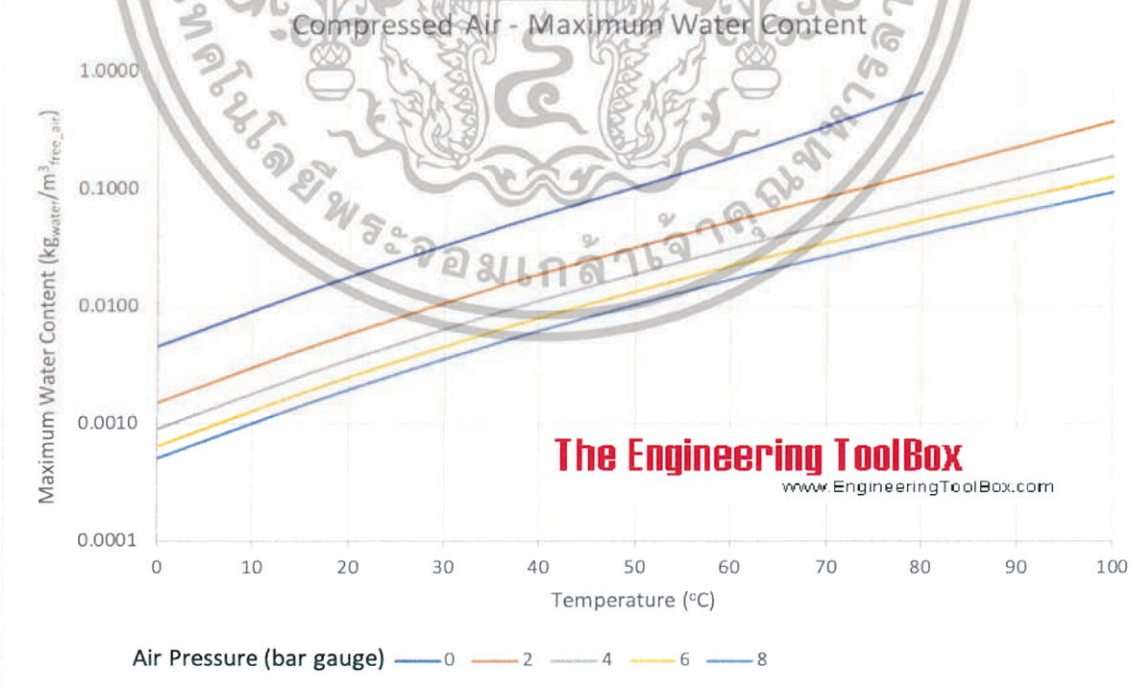
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กระบวนการลดความชื้น (Dehumidification) [5]

ในอากาศแวดล้อมโดยทั่วไปจะมีความชื้นสูง ซึ่งความชื้นจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของเครื่องทำความเย็นระเหย ดังนั้นก่อนจะนำเอาอากาศเข้าเครื่องระเหยจึงต้องทำการลดความชื้นของอากาศลงก่อน ซึ่งวิธีการลดความชื้นก็มีหลากหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงการลดความชื้นโดยใช้ระบบอัดอากาศ และ การลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้น

2.4.1 การลดความชื้นโดยใช้ระบบอากาศอัด (Compressed air system)

ปั๊มลม หรือ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Air Compressor ทำหน้าที่ในการอัดอากาศให้มีแรงดันที่สูงขึ้น ซึ่งอากาศที่ถูกอัดความดันที่สูงขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิสูงขึ้นด้วย ซึ่งเป็นกระบวนการที่เรียกว่า adiabatic compression อากาศโดยทั่วไปจะมีปริมาณความชื้นอยู่ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและความดัน กล่าวคือ ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศนั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มและจะลดลงเมื่ออุณหภูมิของอากาศลดลงเช่นเดียวกัน ส่วนเมื่อเพิ่มความดันให้สูงขึ้น ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศกลับลดลง ดังนั้นเมื่อนำอากาศในสภาวะแวดล้อมมาอัดโดยใช้เครื่องอัดอากาศจะเกิดผลขึ้นสองประการ คือ ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศจะลดลง และจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากการอัดอากาศ เพราะฉะนั้นอากาศที่ออกจากเครื่องอัดอากาศจะมีขีดความสามารถในการรับไอน้ำที่เคยมีอยู่ในอากาศปริมาณเดิมเอาไว้ได้ อย่างไรก็ตามเมื่ออากาศนี้มีอุณหภูมิต่ำลง ไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศเดิมก็จะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำตามสภาวะของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ดังรูปที่ 2.8 เมื่อเพิ่มความดันของอากาศ และเมื่อลดอุณหภูมิอากาศลงจะส่งผลให้ความชื้นในอากาศลดลง



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอากาศสภาวะอิ่มตัวกับความดันและอุณหภูมิ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

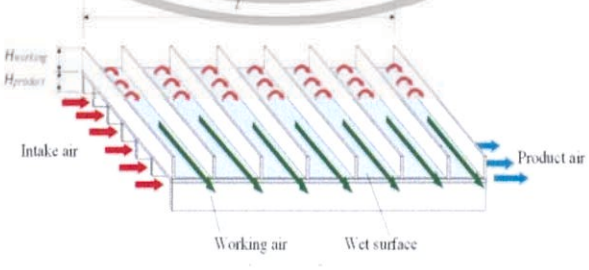
2.4.2 การลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้น (Desiccant Dehumidification) [5]

สารดูดความชื้นเป็นผลิตภัณฑ์หรือวัสดุที่สามารถดูดซับความชื้นจากอากาศ การดูดซับความชื้นจากโครงสร้างภายในที่เป็นโพรง มีรูพรุน ทำให้มีพื้นผิวที่ใช้ดูดซับความชื้นได้มาก สารดูดความชื้นที่พบมากที่สุดคือ การใช้ซิลิกาเจล (Silica Gel) ซีโอไลต์ (Zeolites) และดินเหนียว (Clay) เมื่ออากาศไหลผ่านสารดูดความชื้นจะทำให้อากาศมีความชื้นลดลง แต่ในขณะเดียวกัน อากาศจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้นอาจจะต้องลดอุณหภูมิของอากาศก่อนนำไปใช้งาน

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อิทธิศักดิ์ คล้ายมงคล [6] ได้ทำการศึกษาระบบปรับอากาศด้วยสารดูดความชื้นร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม ซึ่งระบบปรับอากาศนี้ประกอบด้วยเบดซิลิกาเจลขนาดกว้าง 0.5 เมตร ยาว 0.5 เมตร หนา 0.05เมตร และเครื่องทำความเย็นระเหยประเภทท่อสร้างจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.2 เซนติเมตร และยาว 1.45 เมตร จำนวน 171 ท่อ จากการทดลองพบว่า การเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศด้วยสารดูดความชื้นเพิ่มขึ้น สามารถลดอุณหภูมิอากาศที่ผ่านระบบลงได้เฉลี่ย 4-6 องศา ขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศนี้อยู่ในช่วง 0.90 ถึง 1.58 ที่อัตราการไหลของอากาศที่ทำการทดลองอยู่ระหว่าง 450 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ถึง 550 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

Xin Cui และคณะ [7] ได้พัฒนาเครื่องระเหยแบบรีเจนเนอเรทีฟแบบไหลตามขวาง ประกอบไปด้วยชั้นเปียก และชั้นแห้งซ้อนกันโดยอากาศเข้าทางชั้นแห้งทางด้านล่างตามช่อง อากาศจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ อากาศใช้งาน หรือ Product air และอากาศที่ไหลข้ามไปยังชั้นเปียกเพื่อระเหยน้ำแสดงไว้ดังรูปที่ 2.7 เมื่ออากาศใหม่ที่ไหลเข้ามาทางชั้นแห้งจะถูกลดอุณหภูมิลงตามอุณหภูมิของกระเปาะเปียกในชั้นเปียก ทำให้ค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศใหม่ลดต่ำลงอีก และได้ทำการทดสอบที่สภาวะอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 31.4 °C และ อัตราส่วนความชื้น 10 g/kg dry air พบว่าสามารถลดอุณหภูมิของอากาศได้เท่ากับ 19.03 °C



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะการทำงานของระบบ R-IEC [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การทดลอง

3.1 รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)

รูปที่ 3.1 เครื่องอัดอากาศสำหรับใช้ในการทดลอง ที่ความดัน 7-9 บาร์

2. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นอากาศ (Hygrometer) ดังรูปที่ 3.2 โดยมีช่วงวัดอุณหภูมิอยู่ที่ -50 ถึง 90 องศาเซลเซียส ค่าความแม่นยำอุณหภูมิ ±1 องศาเซลเซียส ช่วงวัดความชื้นสัมพัทธ์ 10 ถึง 99 % ค่าความแม่นยำความชื้นสัมพัทธ์ ±5 %

รูปที่ 3.2 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นดิจิตอล

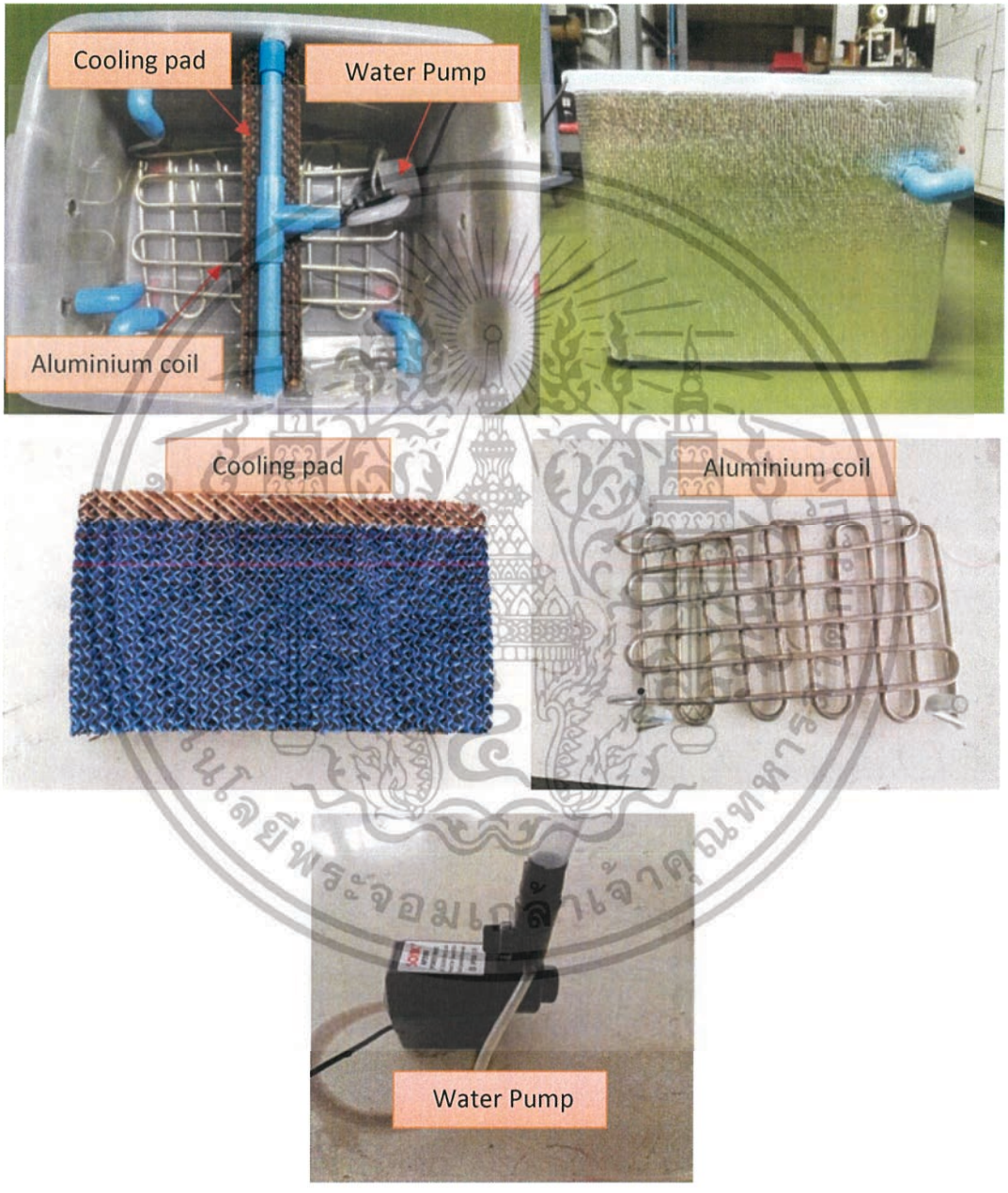
3. เครื่องวัดอุณหภูมิน้ำ(LCD Digital Thermometer) ดังรูปที่ 3.3 โดยมีช่วงวัดอุณหภูมิอยู่ที่ -50 ถึง 110 องศาเซลเซียสค่าความแม่นยำอุณหภูมิ ±1 องศาเซลเซียส

รูปที่ 3.3 เครื่องวัดอุณหภูมิน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เครื่องทำความเย็นแบบระเหย

เครื่องทำความเย็นแบบระเหยทำจากถังพลาสติกกว้าง 39 เซนติเมตร ยาว 56.5 เซนติเมตร สูง 35 เซนติเมตร ภายในประกอบด้วยท่ออลูมิเนียม ปั๊มน้ำ และ กระดาษ Cooling pad กว้าง 38 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร หนา 5 เซนติเมตร โดยภายนอกถังมีการหุ้มฉนวน ซึ่งการจัดวางส่วนประกอบของเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำความเย็นแบบระเหย แสดงไว้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เครื่องทำความเย็นแบบระเหยและอุปกรณ์ภายในเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง คือ

การทดลองที่ 1 การทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง

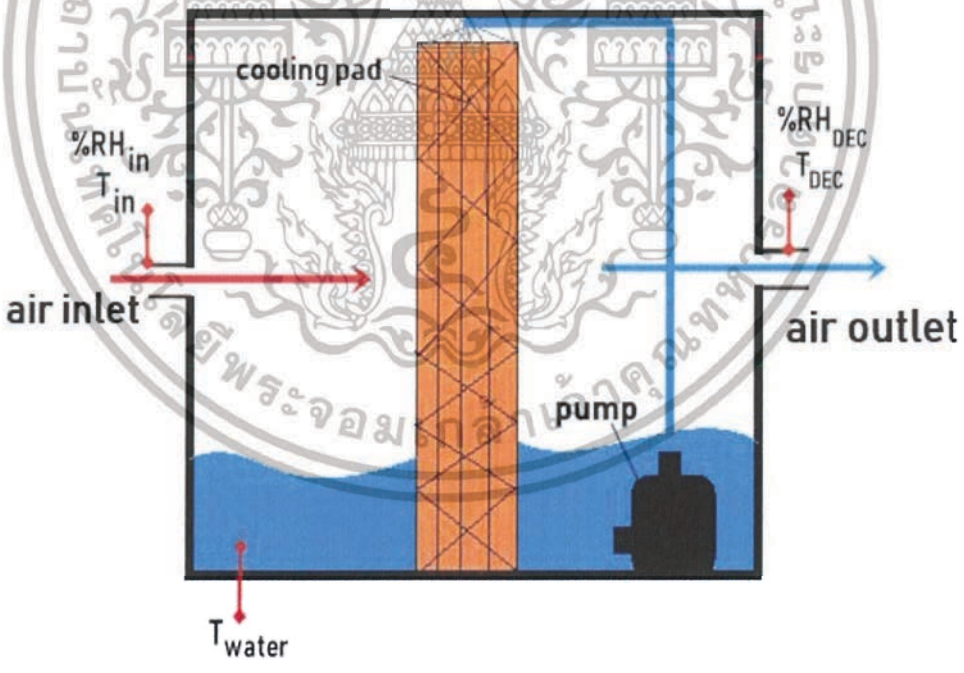
การทดลองที่ 2 การทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม

การทดลองที่ 3 การทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยลดอุณหภูมิอากาศด้วยท่ออลูมิเนียมและเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง

การทดลองที่ 4 การทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยแบ่งอากาศออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 ลดอุณหภูมิอากาศด้วยท่ออลูมิเนียม และเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ส่วนที่ 2 เข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม

3.2.1 การทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง

การทดลองในส่วนนี้ จะใช้อากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ซึ่งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้ แสดงไว้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง

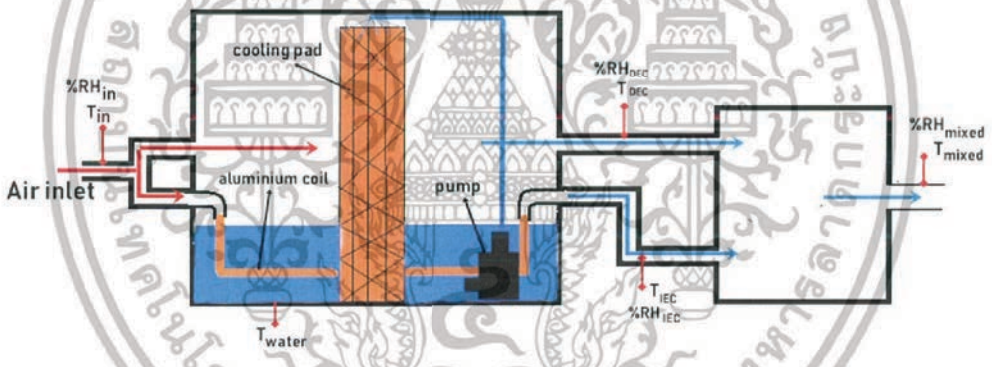
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

1) ติดตั้งเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรงเข้ากับเครื่องอัดอากาศ ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และเครื่องมือวัดอุณหภูมิของน้ำภายในเครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม ตามตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ 3.5
2) เปิดปั๊มน้ำที่อยู่ภายในเครื่องทำความเย็น
3) เปิดวาล์วท่ออากาศที่ออกจากเครื่องอัดอากาศ เข้าเครื่องทำความเย็นระเหย ปรับอัตราการไหลตามที่กำหนด
4) บันทึกผลข้อมูลที่เวลาต่างๆ

3.2.2 การทดลองลดอุณหภูมิอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรงร่วมกับอ้อม

การทดลองในส่วนนี้ จะใช้อากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม ซึ่งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้ แสดงไว้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การทดลองลดอุณหภูมิอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรงร่วมกับโดยอ้อม

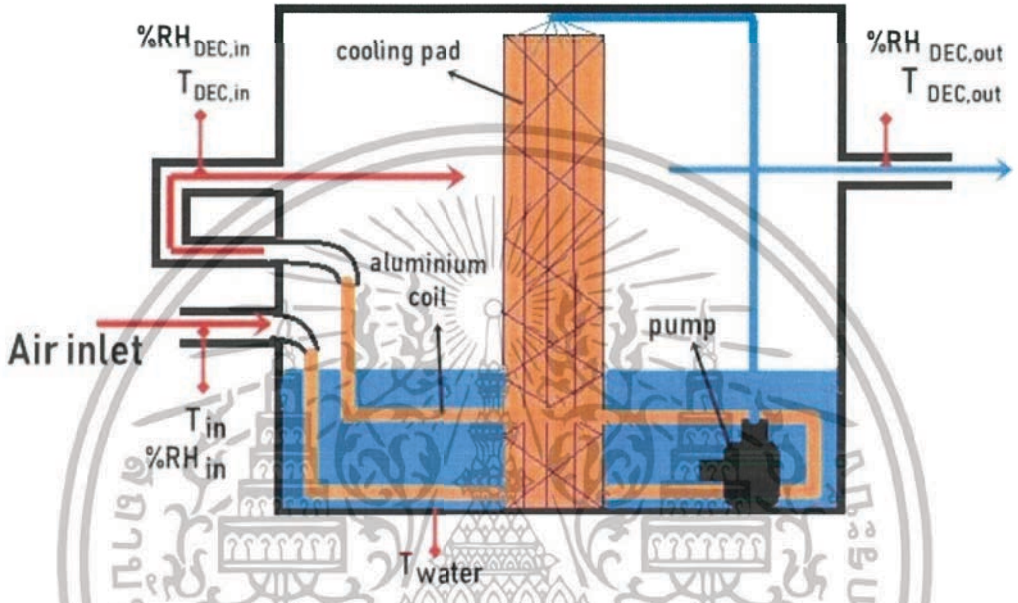
ขั้นตอนการทดลอง

1) ติดตั้งเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรงร่วมกับโดยอ้อมเข้ากับเครื่องอัดอากาศ ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และเครื่องมือวัดอุณหภูมิของน้ำภายในเครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม ตามตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ 3.6
2) เปิดปั๊มน้ำที่อยู่ภายในเครื่องทำความเย็น
3) เปิดวาล์วของท่ออากาศที่ออกจากเครื่องอัดอากาศ เข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหย ปรับอัตราการไหลตามที่กำหนด
4) บันทึกผลข้อมูลที่เวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยลดอุณหภูมิอากาศด้วยท่ออลูมิเนียม และเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง

การทดลองในส่วนนี้ จะใช้อากาศขาเข้าจากเครื่องอัดอากาศแล้วทำการลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่ออลูมิเนียมก่อนเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงเป็นลำดับสุดท้าย ซึ่งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้ แสดงไว้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยลดอุณหภูมิอากาศด้วยท่ออลูมิเนียม และเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง

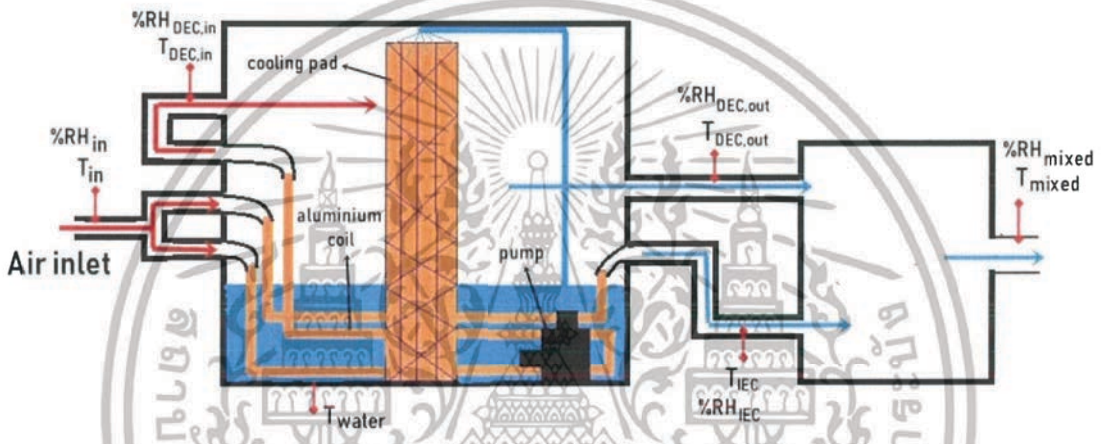
ขั้นตอนการทดลอง

1) ติดตั้งเครื่องทำความเย็นระเหยเข้ากับเครื่องอัดอากาศ ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และเครื่องมือวัดอุณหภูมิของน้ำภายในเครื่องทำความเย็นแบบระเหย ตามตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ 3.7
2) เปิดปั๊มน้ำที่อยู่ภายในเครื่องทำความเย็นแบบระเหย
3) เปิดวาล์วของท่ออากาศที่ออกจากเครื่องอัดอากาศ เข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหย ปรับอัตราการไหลตามที่กำหนด
4) บันทึกผลข้อมูลที่เวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยแบ่งอากาศออกเป็น 2 ส่วน โดยอากาศส่วนที่ 1 ลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่ออลูมิเนียมและเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง อากาศส่วนที่ 2 เข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม

การทดลองในส่วนนี้ จะใช้อากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศแล้วแบ่งอากาศออกเป็น 2 ส่วน โดยอากาศส่วนที่ 1 ทำการลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่ออลูมิเนียมก่อนเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง อากาศส่วนที่ 2 เข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม ซึ่งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้ แสดงไว้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยแบ่งอากาศออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 ลดอุณหภูมิอากาศด้วยท่ออลูมิเนียม และเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ส่วนที่ 2 เข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม

ขั้นตอนการทดลอง

1) ติดตั้งเครื่องทำความเย็นระเหยเข้ากับเครื่องอัดอากาศ ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และเครื่องมือวัดอุณหภูมิของน้ำภายในเครื่องทำความเย็นแบบระเหย ตามตำแหน่งต่างๆ ดังรูปที่ 3.8
2) เปิดปั๊มน้ำที่อยู่ภายในเครื่องทำความเย็นแบบระเหย
3) เปิดวาล์วของท่ออากาศที่ออกจากเครื่องอัดอากาศ เข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหย ปรับอัตราการไหลตามที่กำหนด
4) บันทึกผลข้อมูลที่เวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

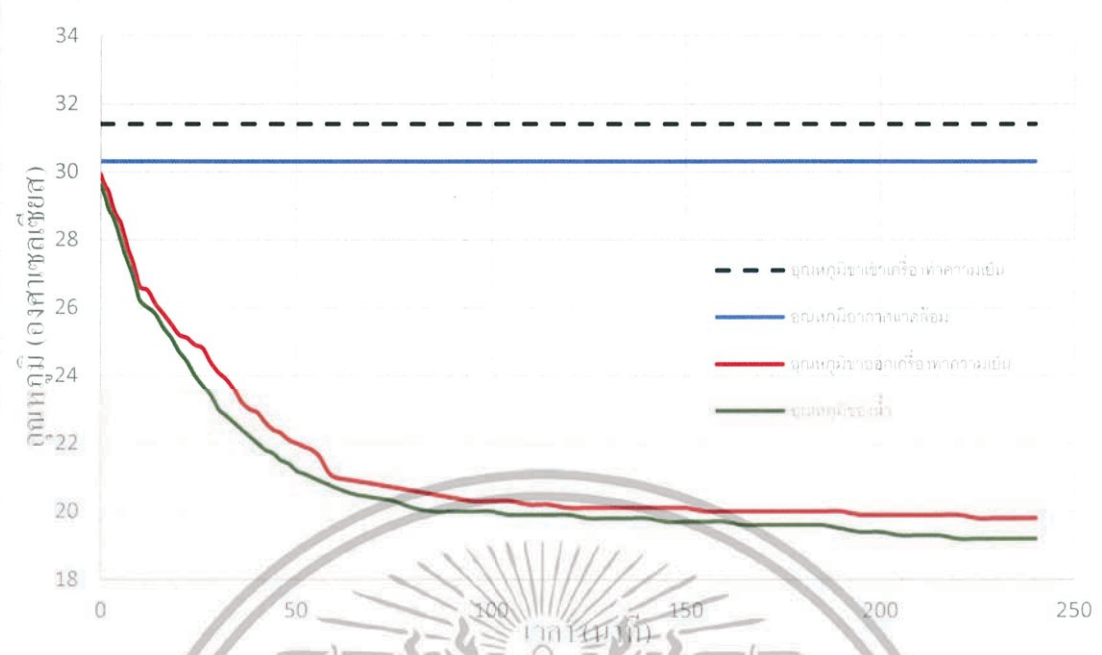
4.1 ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (การทดลองที่ 1)

จากผลการทดลอง การลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ใช้อากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศที่อุณหภูมิประมาณ 31.4 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 12 % พบว่าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงสามารถลดอุณหภูมิของอากาศลงเหลือ 19.8 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง 94 % จากการทดลองพบว่าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงสามารถลดอุณหภูมิอากาศได้มาก เนื่องจากความชื้นที่ออกจากเครื่องอัดอากาศมีค่าต่ำ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎีแล้วอุณหภูมิที่ลดได้ยังมีค่าสูงกว่าในทางทฤษฎีอยู่ เนื่องจากระบบที่ทำการทดลองไม่ได้เป็นระบบแอเดียแบติคที่สมบูรณ์แบบ จึงเกิดการถ่ายโอนความร้อนจากบรรยากาศเข้าสู่ระบบของตัวเครื่องได้ ผลการทดลองการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องอัดอากาศร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ได้สรุปเอาไว้ดังตารางที่ 4.1 รูปที่ 4.1 4.2 และ 4.3

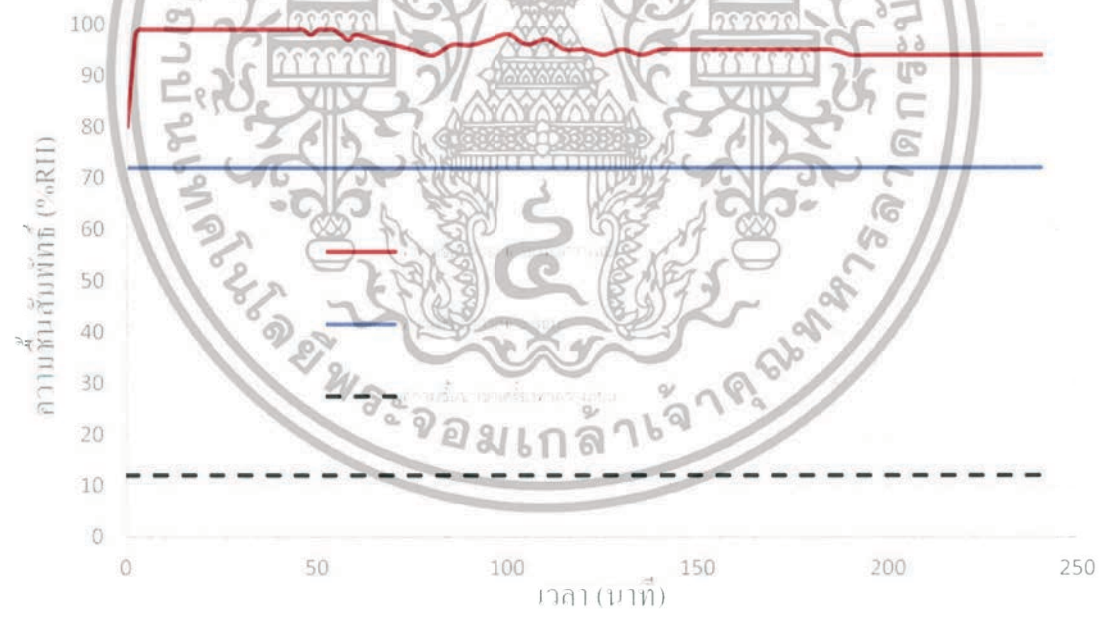
ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (การทดลองที่ 1)

ค่าพารามิเตอร์	ผลการทดลอง
อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศ (LPH)	8,500
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม (%RH)	72
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออกเครื่องอัดอากาศ (%RH)	12
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออกเครื่องทำความเย็นแบบระเหย (%RH)	94
อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม (°C)	30.3
อุณหภูมิของอากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (°C)	31.4
อุณหภูมิของอากาศขาออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (°C)	19.8
อุณหภูมิน้ำภายในเครื่องทำความเย็นเริ่มต้น (°C)	29.6
อุณหภูมิน้ำภายในเครื่องทำความเย็นสุดท้าย (°C)	19.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

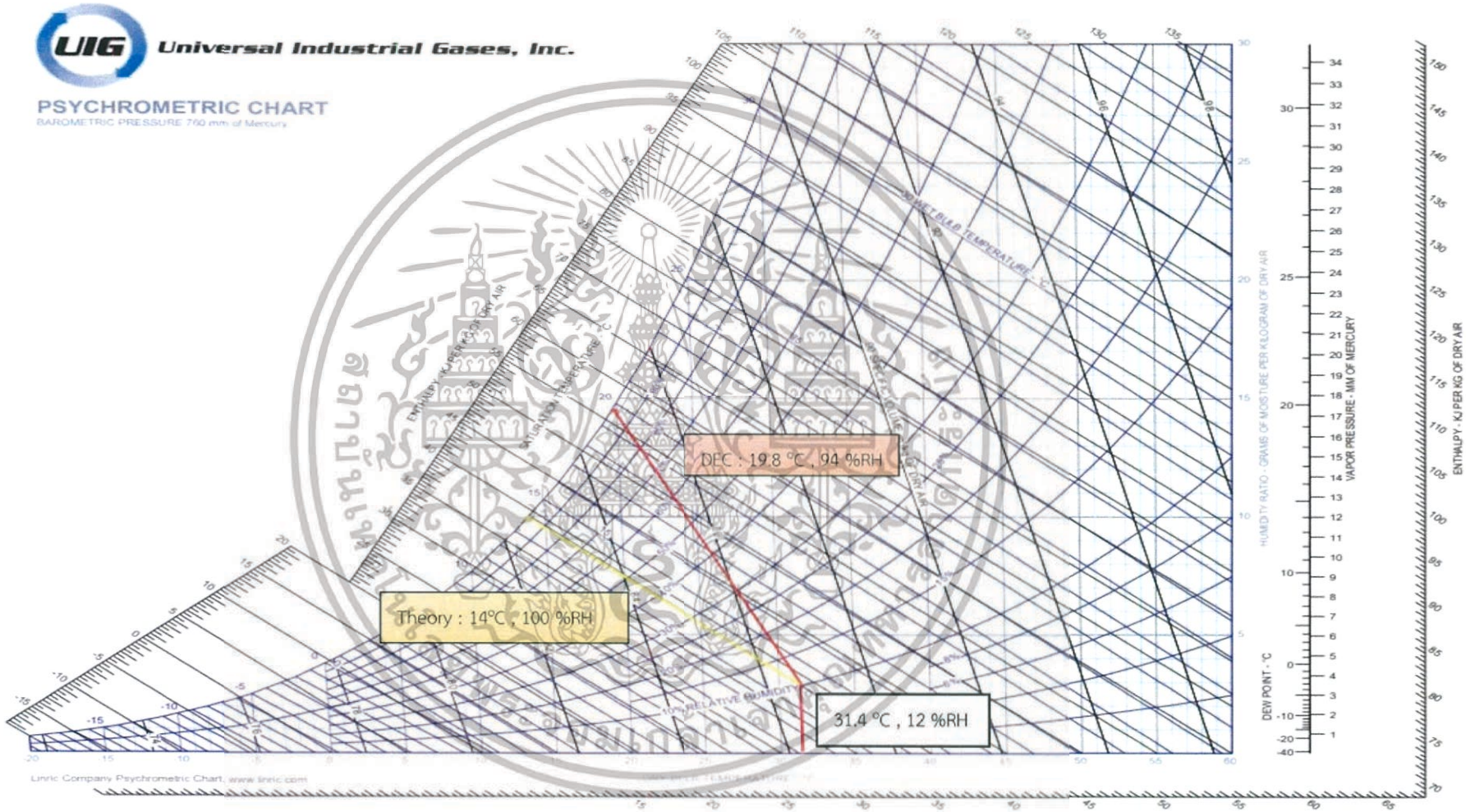


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองที่ 1)



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แผนภูมิไซโครเมตริคอุณหภูมิต่ำสุดที่เป็นไปได้ของอากาศจากการทดลองที่ 1

4.2 ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงร่วมกับโดยอ้อม (การทดลองที่ 2)

การทดลองในส่วนนี้ จะแบ่งการไหลของอากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 เข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่อัตราการไหล 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง ส่วนที่ 2 อากาศไหลผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อมปรับอัตราการไหลที่ 8,500 7,000 5,500 ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ และอากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศที่อุณหภูมิช่วง 30.5-30.8 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 12 % พบว่าในส่วนที่ 1 สามารถลดอุณหภูมิของอากาศลงเหลือช่วง 20.2-20.9 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ช่วง 92-98 % และส่วนที่ 2 ที่อัตราการไหล 8,500 7,000 และ 5,500 ลิตรต่อชั่วโมง สามารถลดอุณหภูมิลงเหลือ 21.0 23.8 และ 24.5 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 18% 17% และ 18% ตามลำดับ จากรูปที่ 4.4 4.6 และ 4.8 พบว่าอุณหภูมิของน้ำเมื่อเทียบกับการทดลองที่ 1 จะมีค่าสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากอากาศถ่ายเทความร้อนผ่านผนังท่อจึงส่งผลต่ออุณหภูมิของน้ำ และอุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่ขาออกของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงและ ขาออกของท่ออลูมิเนียม ยังไม่ได้อยู่ในช่วงสภาวะสบายของมนุษย์ โดยองค์กร ASHVE (American Society of Heating & Ventilating Engineers) ได้กำหนดถึงช่วงสภาวะสบาย ช่วงอุณหภูมิดังกล่าว คือ ความชื้นสัมพัทธ์ ในอากาศอยู่ระหว่าง 30% ถึง 70% ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่ทำให้ผิวหนังแห้งหรือรู้สึกเหนียวตัวจนเกินไป กับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง อยู่ในช่วง 18 องศาเซลเซียส ถึง 29 องศาเซลเซียส ผู้วิจัยจึงทดลองนำเอาอากาศขาออกของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงและโดยอ้อมมารวมกัน พบว่าทั้งอุณหภูมิและความชื้นของอากาศหลังรวมกันในทุกอัตราการไหลที่ทำการทดลองอยู่ในช่วงสภาวะสบายของมนุษย์ ดังที่แสดงในรูปที่ 4.10

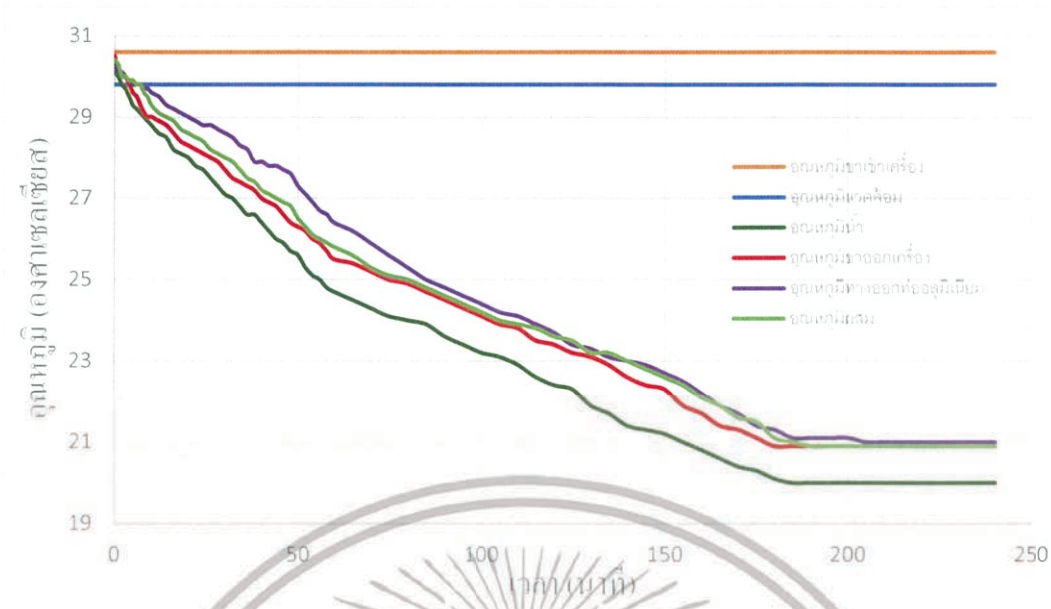
ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยนำเอาอากาศขาออกของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงและโดยอ้อมมารวมกัน ได้สรุปเอาไว้ดังตารางที่ 4.2 และ รูปที่ 4.4 4.5 4.6 4.7 4.8 4.9 และ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

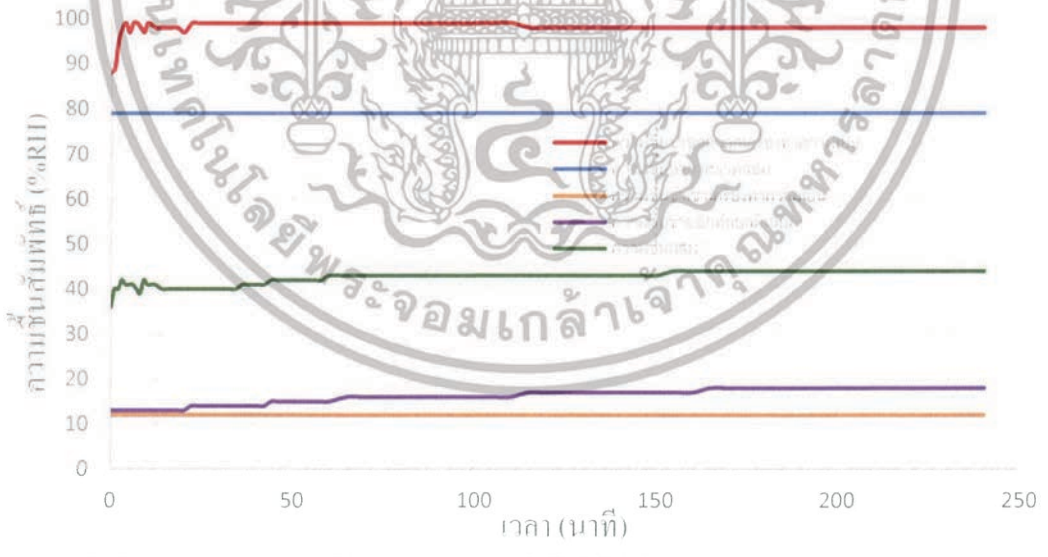
ตารางที่ 4.2 สรุปผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงร่วมกับโดยอ้อม (การทดลองที่ 2)

ค่าพารามิเตอร์	ผลการทดลอง		
อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (LPH)	8,500	8,500	8,500
อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศเข้าสู่ท่ออลูมิเนียม(LPH)	8,500	7,000	5,500
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม (%RH)	79	72	80
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออกเครื่องอัดอากาศ (%RH)	12	12	12
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออกเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (%RH)	98	94	98
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออกจากท่ออลูมิเนียม (%RH)	18	18	17
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังรวมอากาศขาออกของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงและโดยอ้อม (%RH)	44	58	62
อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม (°C)	29.8	29.3	29.7
อุณหภูมิของอากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง และขาเข้าท่ออลูมิเนียม (°C)	30.6	30.8	30.5
อุณหภูมิของอากาศขาออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (°C)	20.9	20.6	20.2
อุณหภูมิของอากาศขาออกจากท่ออลูมิเนียม (°C)	21.0	23.8	24.5
อุณหภูมิของอากาศหลังรวมอากาศขาออกของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงและโดยอ้อม (°C)	20.9	21.9	22.5
อุณหภูมิน้ำภายในเครื่องทำความเย็นเริ่มต้น (°C)	30.1	30.5	29.5
อุณหภูมิน้ำภายในเครื่องทำความเย็นสุดท้าย (°C)	20.0	19.6	19.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

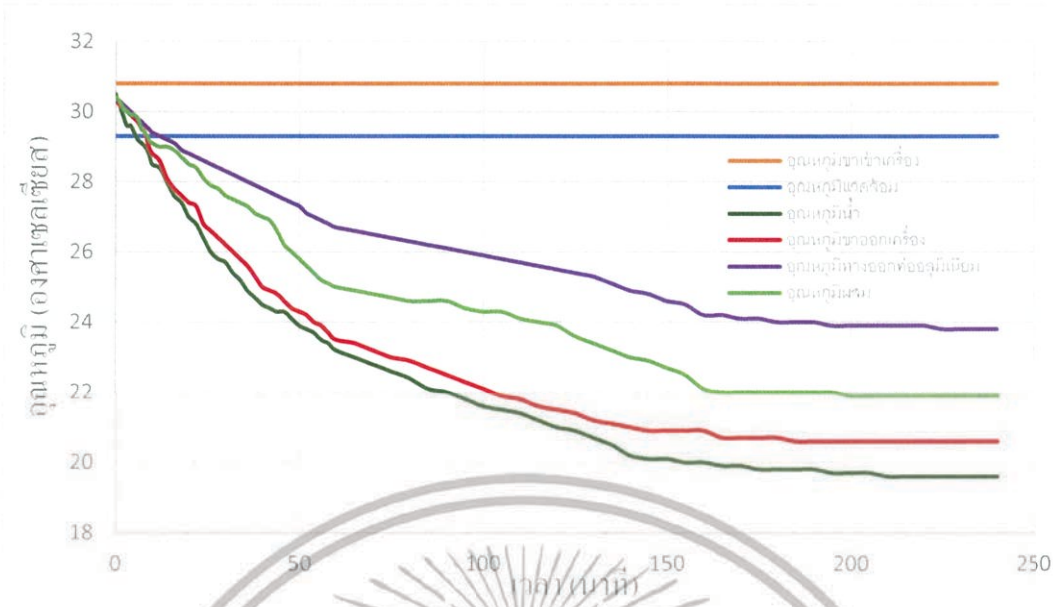


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ที่อัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการไหลผ่านเข้าเครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง (การทดลองที่ 2)

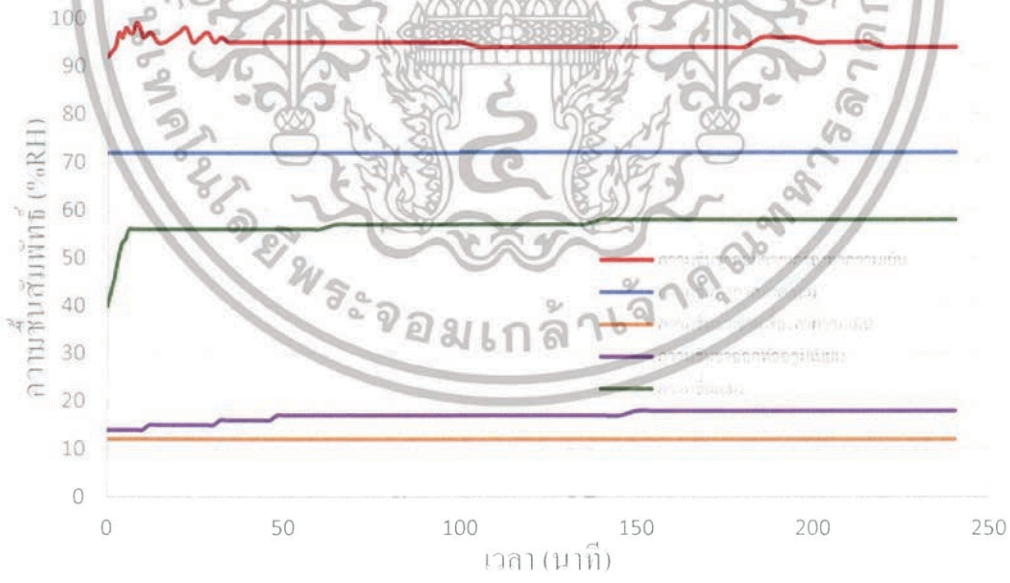


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ที่อัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการไหลผ่านเครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง (การทดลองที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

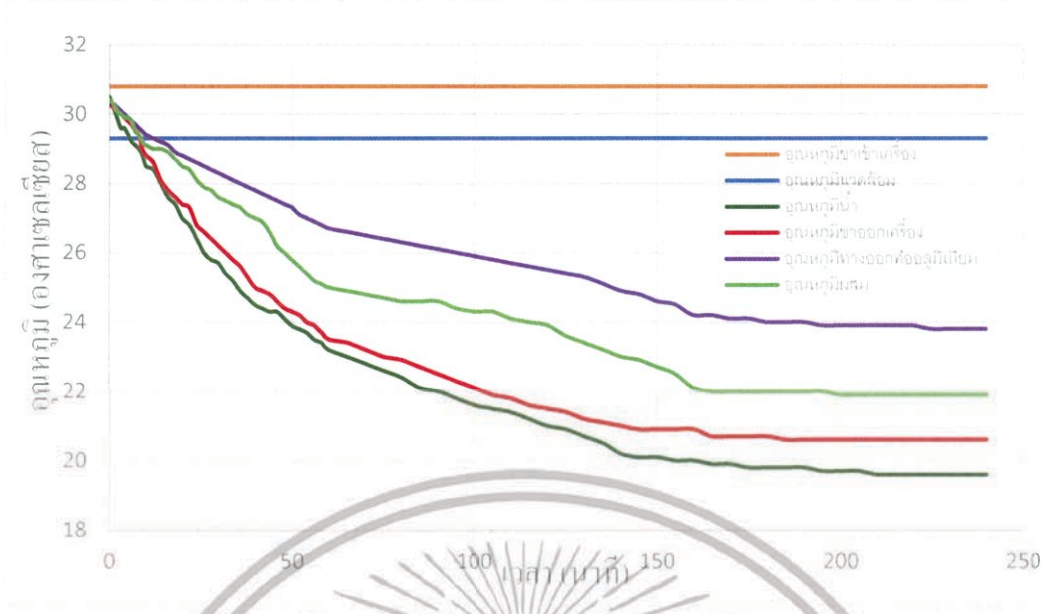


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ที่อัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการไหลผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 7,000 ลิตรต่อชั่วโมง (การทดลองที่ 2)

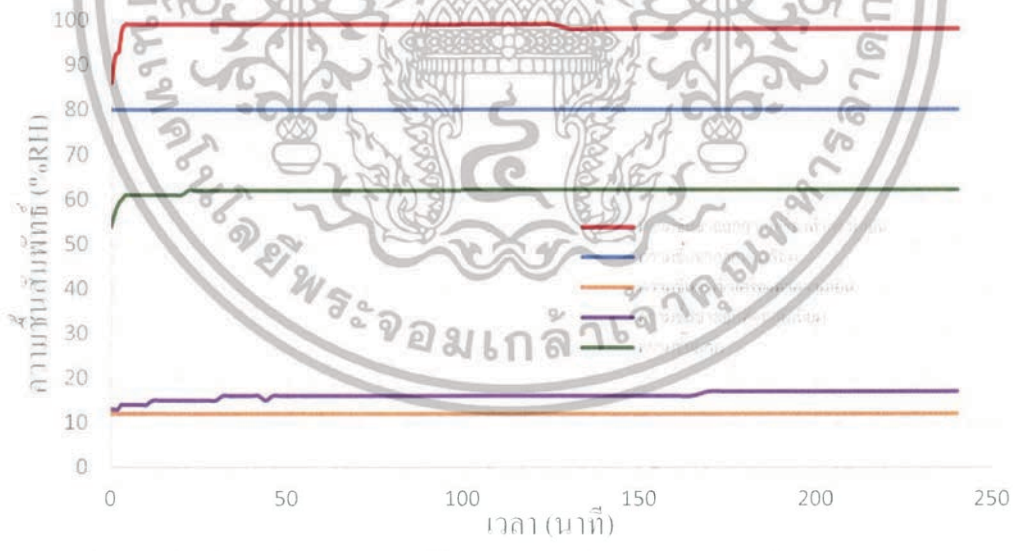


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ที่อัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการไหลผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 7,000 ลิตรต่อชั่วโมง (การทดลองที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

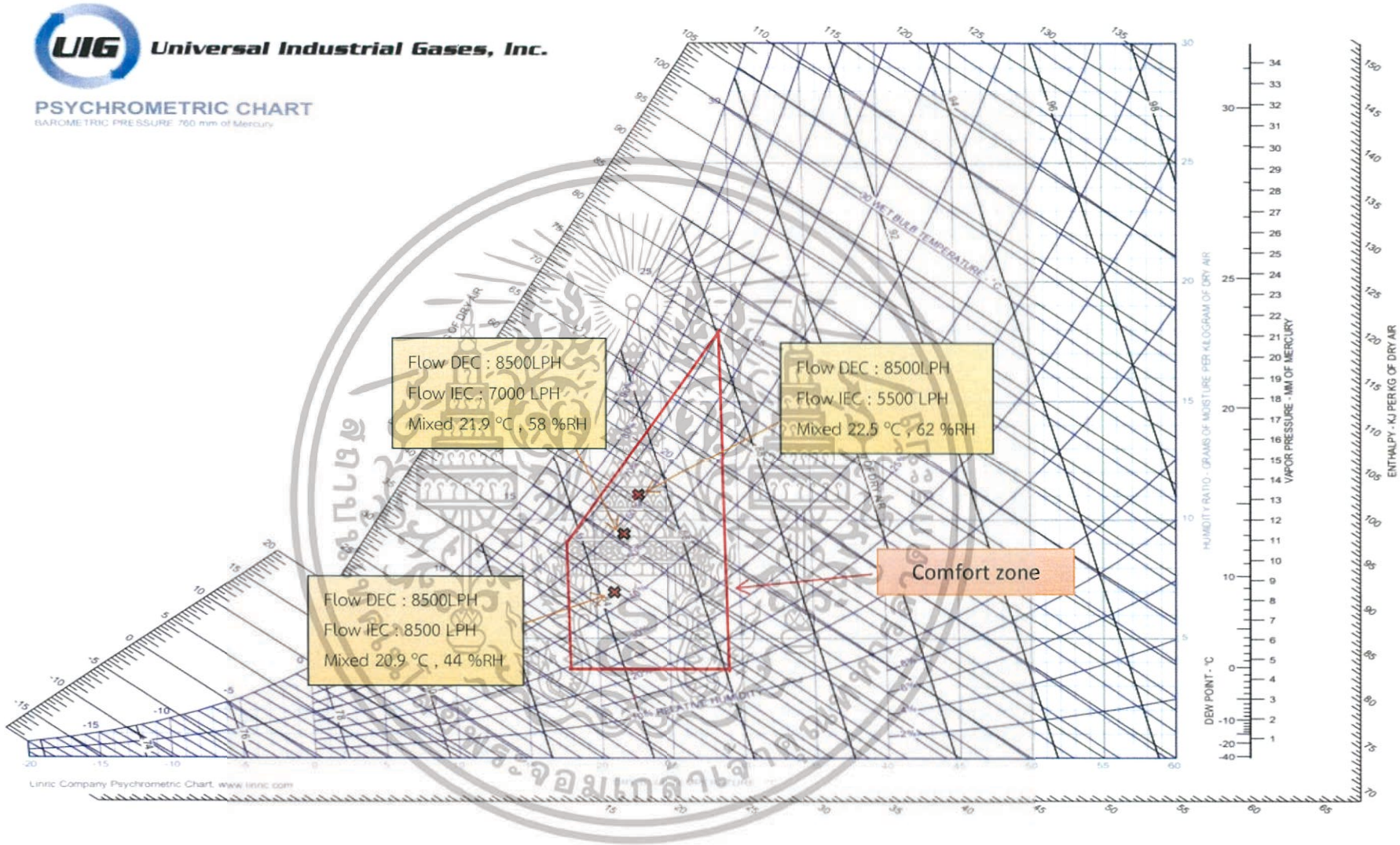


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ที่อัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการไหลผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 5,500 ลิตรต่อชั่วโมง (การทดลองที่ 2)



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ที่อัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการไหลผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 5,500 ลิตรต่อชั่วโมง (การทดลองที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แผนภูมิไซโครเมตริคหลังรวมอากาศขาออกของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรงกับโดยอ้อมจากการทดลองที่ 2

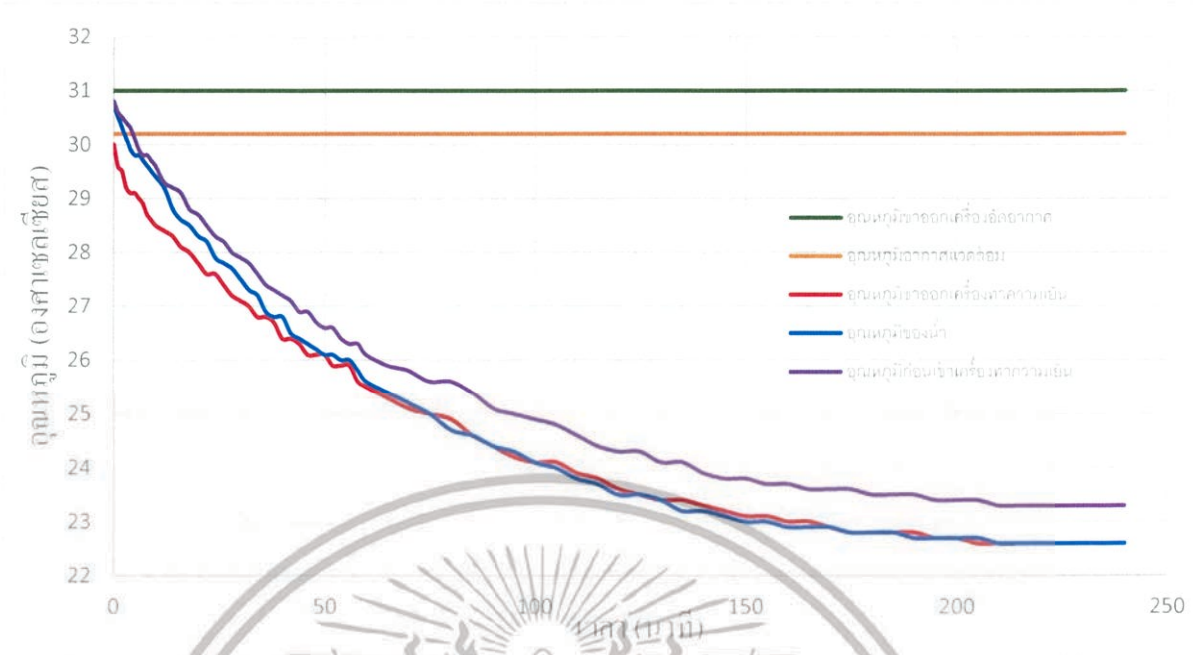
4.3 ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่ออลูมิเนียมก่อนเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (การทดลองที่ 3)

จากผลการทดลอง การทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยลดอุณหภูมิอากาศด้วยท่ออลูมิเนียมก่อนเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ใช้อากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศที่อุณหภูมิประมาณ 31.0 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 12 % พบว่าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงสามารถลดอุณหภูมิของอากาศเหลือ 22.6 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง 98 % เมื่อเทียบกับการทดลองที่ 1 ทั้งอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิของน้ำค่อนข้างแตกต่างกันพอสมควร ทั้งๆที่การลดอุณหภูมิอากาศผ่านท่อก่อนที่จะเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงตามทฤษฎีควรจะมีอุณหภูมิของอากาศที่ต่ำกว่าการทดลองที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านท่อเกิดการถ่ายเทความร้อนมายังน้ำ จึงทำให้น้ำไม่สามารถลดอุณหภูมิได้มากไปกว่านี้ กระบวนการดำเนินไปตามรูปที่ 4.13 ผลการทดลองการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องอัดอากาศร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ได้สรุปเอาไว้ดังตารางที่ 4.3 รูปที่ 4.11 และ 4.12

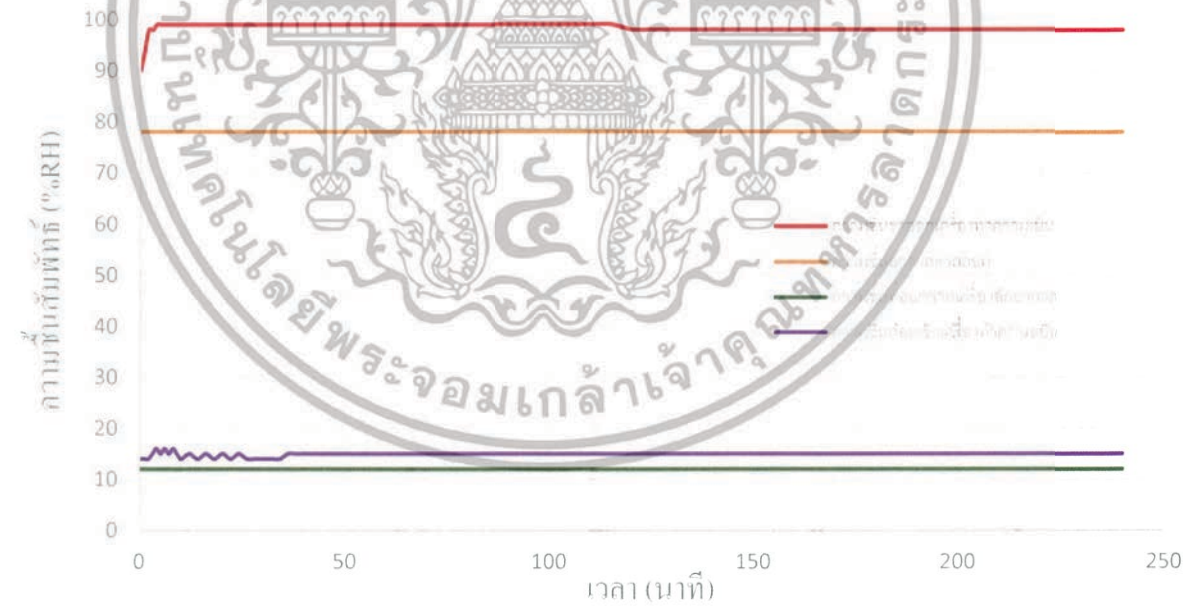
ตารางที่ 4.3 สรุปผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่ออลูมิเนียม และเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (การทดลองที่ 3)

ค่าพารามิเตอร์	ผลการทดลอง
อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศ (LPH)	8,500
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม (%RH)	78
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออกเครื่องอัดอากาศ (%RH)	12
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเข้าเครื่องทำความเย็น (%RH)	15
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออกเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (%RH)	98
อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม (°C)	30.2
อุณหภูมิของอากาศขาออกเครื่องอัดอากาศ (°C)	31.0
อุณหภูมิของอากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (°C)	23.3
อุณหภูมิของอากาศขาออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (°C)	22.6
อุณหภูมิน้ำภายในเครื่องทำความเย็นเริ่มต้น (°C)	30.7
อุณหภูมิน้ำภายในเครื่องทำความเย็นสุดท้าย (°C)	22.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

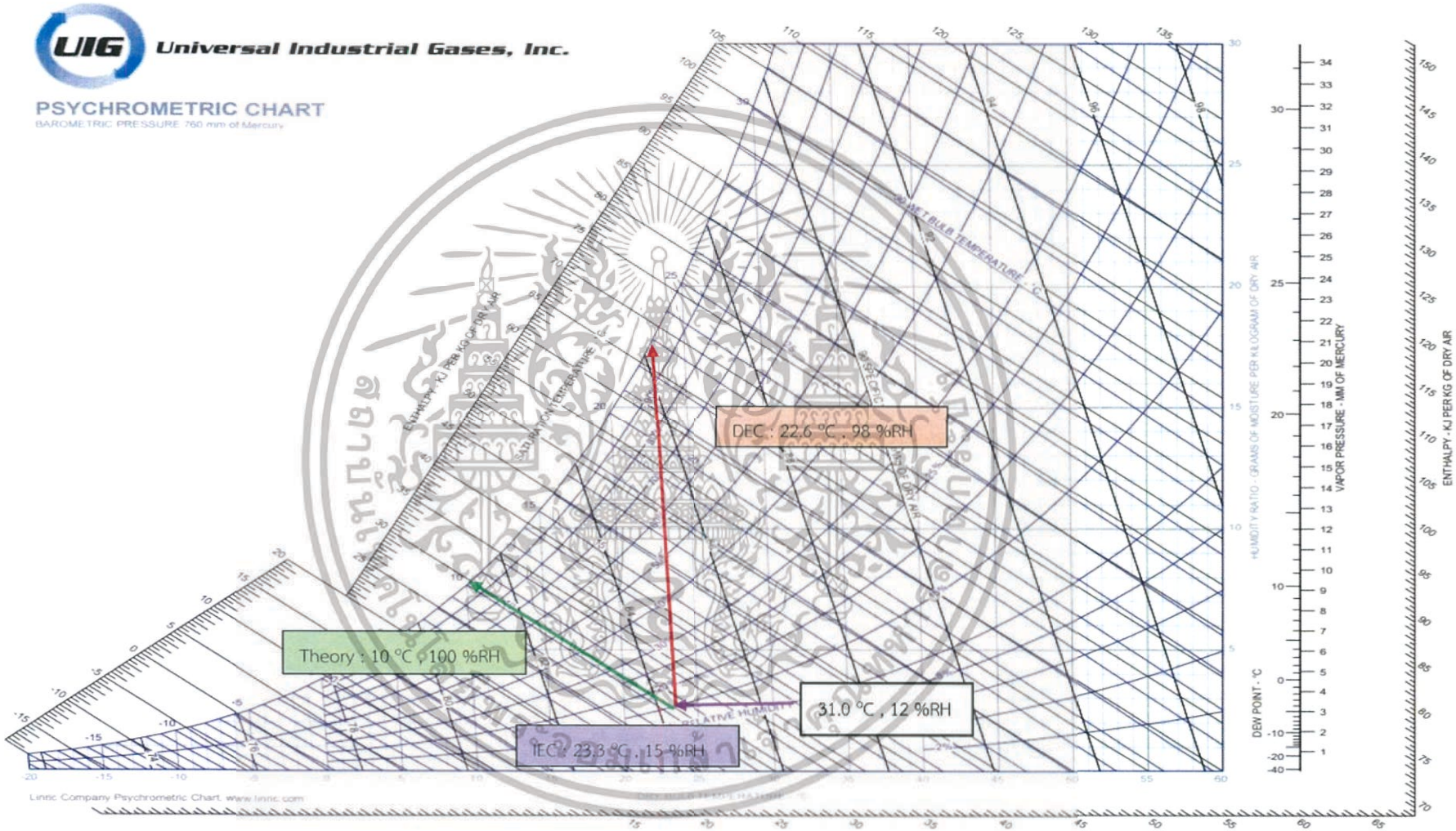


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองที่ 3)



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แผนภูมิไซโครเมตริคอุณหภูมิต่ำสุดที่เป็นไปได้ของอากาศจากการทดลองที่ 3

4.4 ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยแบ่งอากาศออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 ลดอุณหภูมิอากาศด้วยท่ออลูมิเนียม และเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ส่วนที่ 2 เข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม (การทดลองที่ 4)

การทดลองในส่วนนี้ จะมีลักษณะคล้ายกับการทดลองที่ 3 แต่มีการเพิ่มท่ออลูมิเนียมเข้ามาทำการแบ่งการไหลของอากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ทำการลดอุณหภูมิด้วยท่ออลูมิเนียมก่อนเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่อัตราการไหล 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง ส่วนที่ 2 อากาศไหลผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม ปรับอัตราการไหลที่ 8,500 7,000 5,500 ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ และอากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศที่อุณหภูมิช่วง 30.0-30.8 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 10-12 % พบว่าในส่วนที่ 1 สามารถลดอุณหภูมิของอากาศลงเหลือช่วง 23.2-24.5 องศาเซลเซียส และส่วนที่ 2 สามารถลดอุณหภูมิเหลืออยู่ในช่วง 24.7 - 26.2 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าอากาศขาออกส่วนที่ 1 มีอุณหภูมิของอากาศสูงกว่าการทดลองที่ 3 เนื่องมาจากมีการเพิ่มท่ออลูมิเนียมเข้ามา ส่งผลให้พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลต่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น และส่วนสุดท้ายนำเอาอากาศขาออกของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงและโดยอ้อมมารวมกัน สามารถลดอุณหภูมิลงเหลือ 24.6 24.0 และ 23.5 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 46% 55% และ 67% ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงสภาวะสบายของมนุษย์ ดังรูปที่ 4.20 ผลการทดลองในส่วนนี้ ได้สรุปไว้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สรุปผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยแบ่งอากาศออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 ลดอุณหภูมิอากาศด้วยท่ออลูมิเนียม และเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ส่วนที่2 เข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม (การทดลองที่ 4)

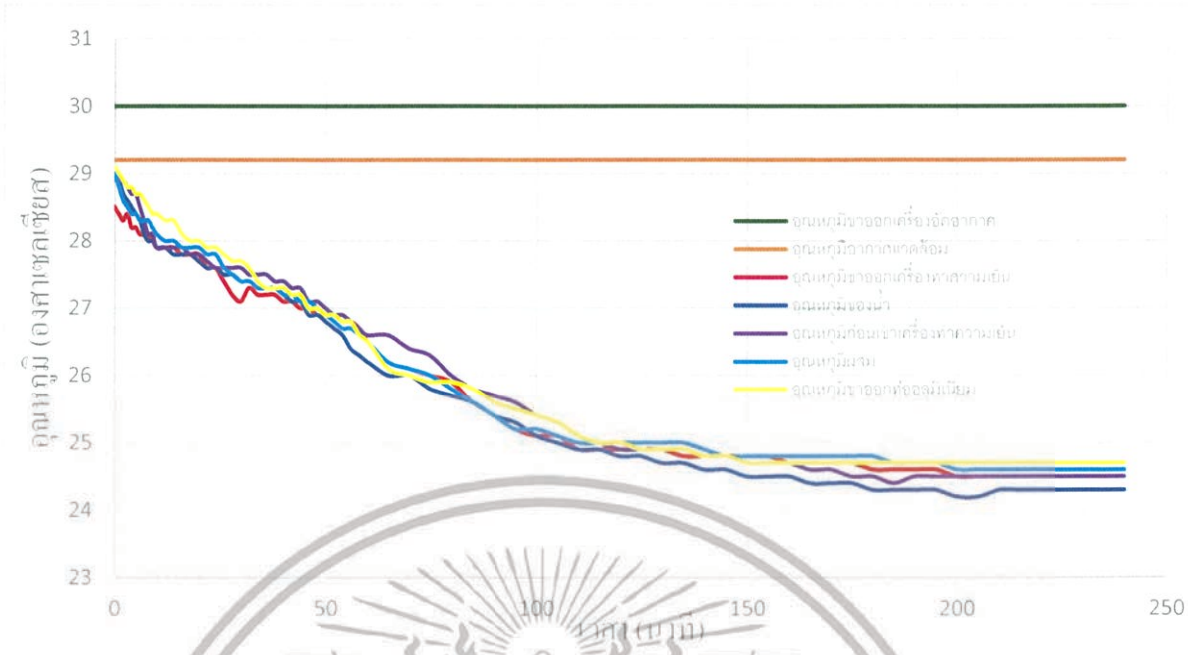
ค่าพารามิเตอร์	ผลการทดลอง		
อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (LPH)	8,500	8,500	8,500
อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศเข้าสู่ท่ออลูมิเนียม(LPH)	8,500	7,000	5,500
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม (%RH)	81	77	69
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออกเครื่องอัดอากาศ (%RH)	12	10	10
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (%RH)	13	13	14
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออกเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (%RH)	99	99	99
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม (%RH)	15	14	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

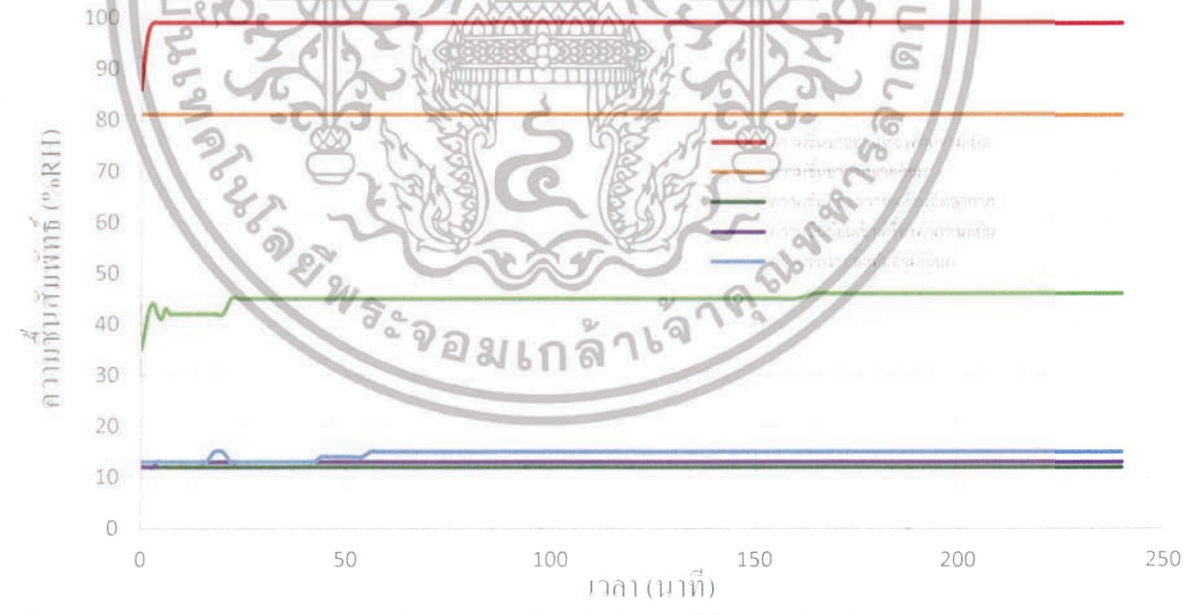
ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังรวมอากาศขาออกของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงและโดยอ้อม (%RH)	46	55	67
อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม (°C)	29.2	28.8	29.8
อุณหภูมิของอากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง และขาเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม (°C)	30.0	30.8	30.5
อุณหภูมิของอากาศที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยท่ออลูมิเนียมก่อนเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (°C)	24.5	23.5	23.3
อุณหภูมิของอากาศขาออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (°C)	24.5	23.7	23.2
อุณหภูมิของอากาศขาออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม (°C)	24.7	25.8	26.2
อุณหภูมิของอากาศหลังรวมอากาศขาออกของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงและโดยอ้อม (°C)	24.6	24.0	23.5
อุณหภูมิน้ำภายในเครื่องทำความเย็นเริ่มต้น (°C)	29.0	28.6	29.5
อุณหภูมิน้ำภายในเครื่องทำความเย็นสุดท้าย (°C)	24.3	23.6	23.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

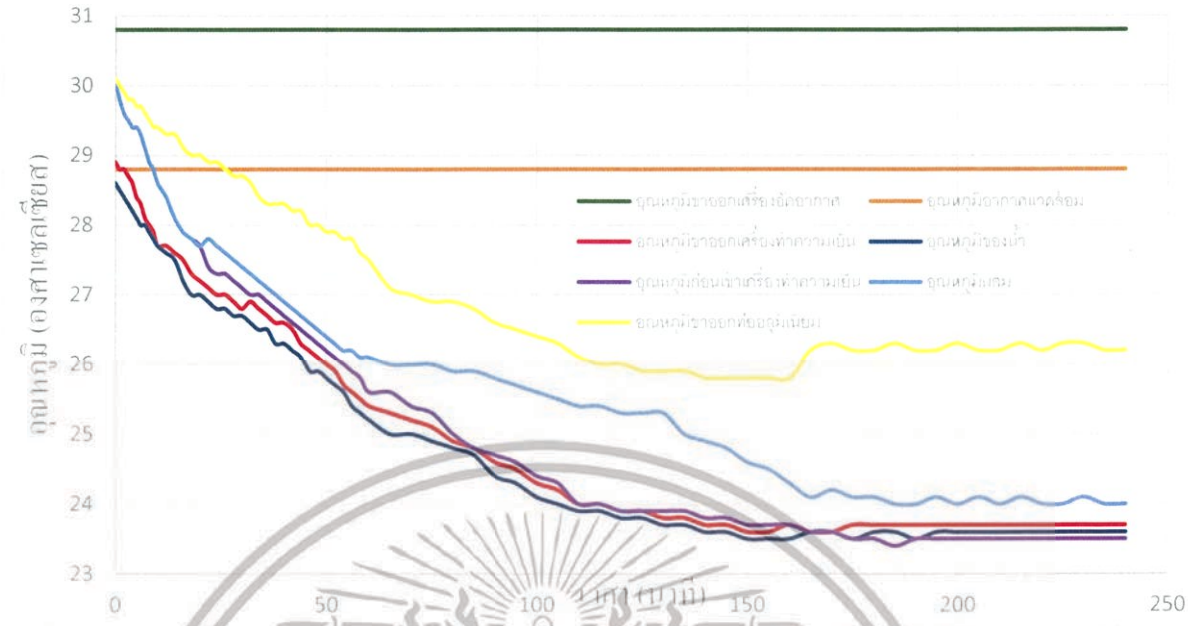


รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ที่อัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการไหลผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง (การทดลองที่ 4)

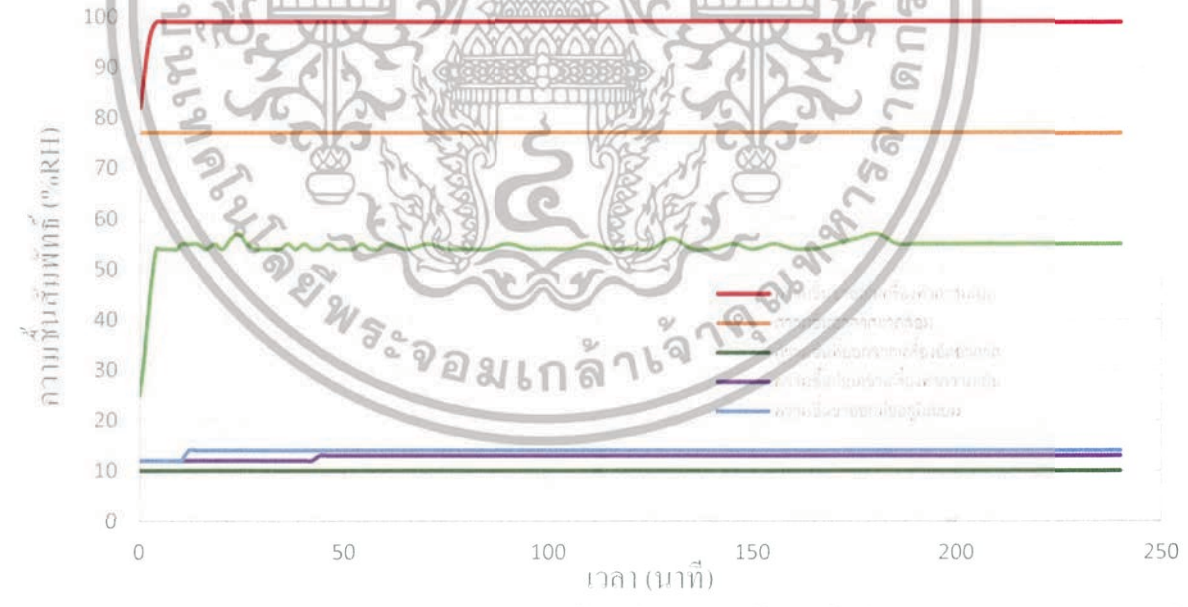


รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ที่อัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการไหลผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง (การทดลองที่ 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

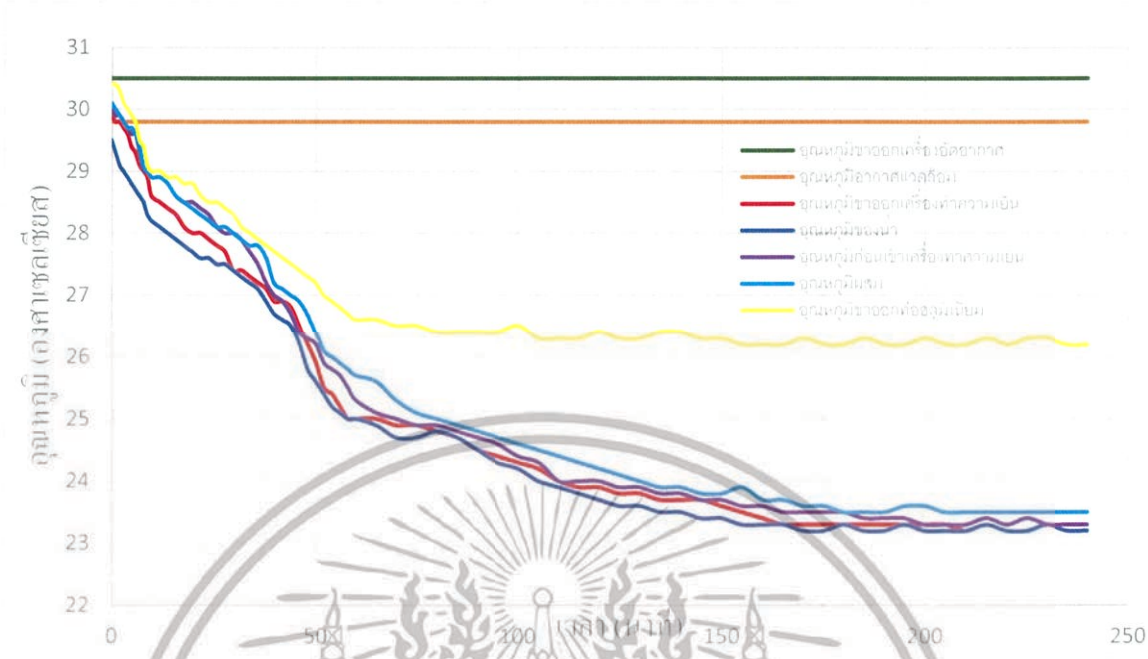


รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ที่อัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการไหลผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 7,000 ลิตรต่อชั่วโมง (การทดลองที่ 4)

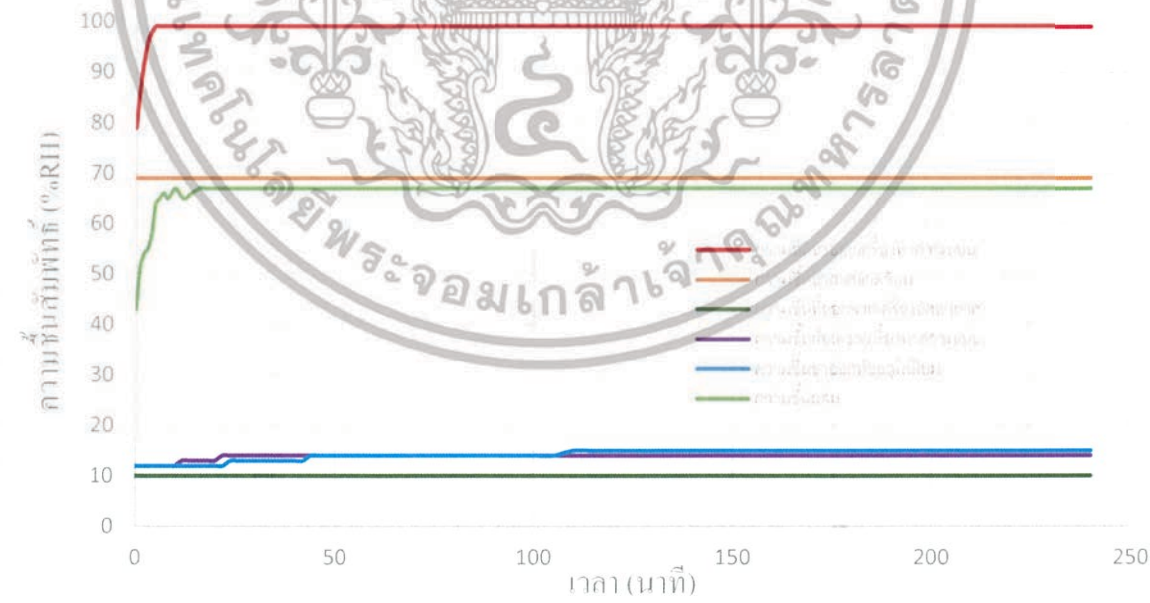


รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ที่อัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการไหลผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 7,000 ลิตรต่อชั่วโมง (การทดลองที่ 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

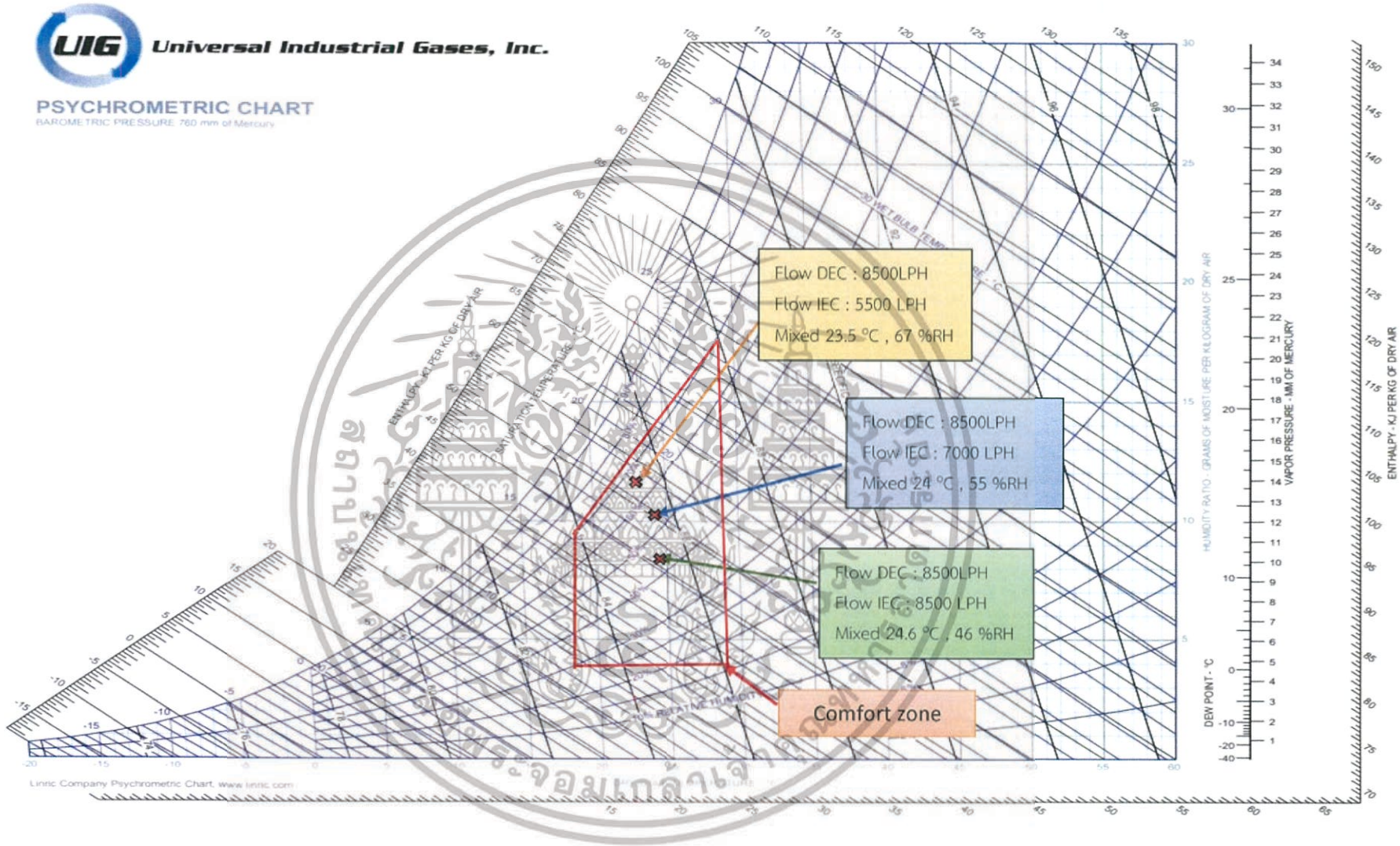


รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ที่อัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการไหลผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 5,500 ลิตรต่อชั่วโมง (การทดลองที่ 4)



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ที่อัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการไหลผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อม 5,500 ลิตรต่อชั่วโมง (การทดลองที่ 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 แผนภูมิไซโครเมตริคหลังรวมอากาศขาออกของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรงกับโดยอ้อมจากการทดลองที่ 4

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่ใช้อากาศโดยความชื้นต่ำจากเครื่องอัดอากาศ (การทดลองที่ 1) โดยความชื้นเริ่มต้นก่อนเข้าสู่เครื่องทำความเย็นอยู่ที่ 12 %RH สามารถลดอุณหภูมิของอากาศได้มากที่สุดประมาณ 12 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับ เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่ใช้อากาศความชื้นสูง [10] โดยความชื้นเริ่มต้นก่อนเข้าสู่เครื่องทำความเย็นอยู่ที่ 67 %RH สามารถลดอุณหภูมิของอากาศลงได้เพียง 4 องศาเซลเซียสเท่านั้น สามารถสรุปได้ว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีผลต่อการลดอุณหภูมิของอากาศ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำ จะสามารถลดอุณหภูมิของอากาศได้มากที่สุด ซึ่งผลการทดลองที่ได้ก็เป็นไปตามทฤษฎี

2. เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงร่วมกับโดยอ้อม (การทดลองที่ 2) อัตราการไหลอากาศของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรงที่ 8,500 ลิตรต่อชั่วโมงโดยทำการปรับอัตราการไหลอากาศของเครื่องทำความเย็นระเหยแบบโดยอ้อม ที่อัตราการไหลที่ 8,500 7,000 และ 5,500 ลิตรต่อชั่วโมง แล้วนำเอาอากาศที่ทางออกของเครื่องทำความเย็นระเหยแบบโดยตรงและโดยอ้อมมารวมกัน อากาศขาออกที่นำมารวมกันจะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 21.0 - 24.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ช่วง 44% - 62% ซึ่งทั้งอุณหภูมิและความชื้นจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นกับอัตราการไหลของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม ถ้าอัตราการไหลมากจะส่งผลให้อุณหภูมิอากาศและความชื้นหลังรวมลดลง ถ้าอัตราการไหลน้อยจะส่งผลให้อุณหภูมิอากาศและความชื้นหลังรวมเพิ่มขึ้น ซึ่งทั้งหมดนี้อยู่ในช่วงสุขสบายของมนุษย์

3. ส่วนการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยลดอุณหภูมิอากาศด้วยท่ออลูมิเนียมก่อนผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (การทดลองที่ 3) สามารถลดอุณหภูมิของอากาศลงได้ประมาณ 8 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่ 1 แล้วประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิยังต่ำกว่า

4. ส่วนการทดลองที่ 4 แบ่งอากาศออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ลดอุณหภูมิของอากาศผ่านท่อก่อนเข้าเครื่องทำความเย็นระเหยโดยตรง และส่วนที่ 2 อากาศเข้าเครื่องระเหยโดยอ้อมอัตราการไหลที่ 8,500 7,000 และ 5,500 ลิตรต่อชั่วโมง นำเอาอากาศที่ทางออกของเครื่องทำความเย็นระเหยแบบโดยตรงและโดยอ้อมมารวมกัน ผลการทดลองมีแนวโน้มเหมือนกับการทดลองที่ 2 แต่อุณหภูมิอากาศที่สามารถลดได้ยังมีค่าที่สูงกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากการเพิ่มท่อเข้ามาจึงส่งผลต่อการลดอุณหภูมิ

5. จากผลการทดลองที่ 2 และ 4 เมื่ออัตราการไหลอากาศขาเข้าของเครื่องทำความเย็นระเหยโดยอ้อมเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิที่ขาออกมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิขาออกของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง เนื่องจากความเร็วของอากาศที่สูงจะส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจึงเกิดถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศได้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Evaporative Cooling. [ออนไลน์]. สืบค้นจากอินเตอร์เน็ต, http://en.wikipedia.org/wiki/Evaporative_cooler, สืบค้นเมื่อ 18 พฤศจิกายน 2561.

[2] วิบูลย์ เทเพนทร์. คุณสมบัติของอากาศ (Psychrometry). กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว, สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม, กรมวิชาการเกษตร.

[3] Cengel, Y.A. and Ghajar, A.J.,(2015). Thermodynamics: An Engineering Approach, Fifth Edition in SI Units. McGraw-Hill Education : New York.

[4] Porumb B., Unguresan P., Tutunaru L.F.Serban A., Balan M.,(2015). A Review of Indirect Evaporative Cooling Technology. Energy Procedia 85(2016) 461-471.

[5] การลดความชื้นโดยสารดูดความชื้น.,[ออนไลน์].สืบค้นจากอินเตอร์เน็ต, http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/factory/factory_dehumidific ation.html, สืบค้นเมื่อ 11 พฤศจิกายน 2561.

[6] อิทธิศักดิ์ คล้ายมงคล. (2545). การปรับอากาศด้วยสารดูดความชื้นร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี).

[7] Xin Cui., Wei Tian., Xiaohu Yang., Qiongxiang Kong., Yue Chai., (2018). Experimental study on a cross-flow regenerative indirect evaporative cooling system. Energy Procedia 395-400.

[8] Compressed air and water content.[ออนไลน์]. สืบค้นจากอินเตอร์เน็ต, https://www.engineeringtoolbox.com/water-content-compressed-air

[9] Christie John Geankoplis.,(2018). Transport Processes and Separation Process Principles, Pearson New International Edition.

[10] เบญจนารี สิงห์รัตนพันธุ์. (2560). การทดลองเชิงศึกษาเกี่ยวกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรงร่วมกับหน่วยลดความชื้นสำหรับภูมิอากาศแบบร้อนชื้น. (ปริญญานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงร่วมกับเครื่องอัดอากาศ (การทดลองที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 1

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงร่วมกับเครื่องอัดอากาศที่อัตราการไหลอากาศ 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)			อุณหภูมิ (°C)			
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,out}$	T_{in}	$T_{Ambient}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$
0	72	12	80	31.4	30.3	29.6	29.9
1	72	12	89	31.4	30.3	29.3	29.6
2	72	12	98	31.4	30.3	28.9	29.4
3	72	12	99	31.4	30.3	28.7	29.0
4	72	12	99	31.4	30.3	28.4	28.7
5	72	12	99	31.4	30.3	28.0	28.5
6	72	12	99	31.4	30.3	27.6	28.1
7	72	12	99	31.4	30.3	27.3	27.7
8	72	12	99	31.4	30.3	27.0	27.4
9	72	12	99	31.4	30.3	26.6	27.0
10	72	12	99	31.4	30.3	26.2	26.6
12	72	12	99	31.4	30.3	26.0	26.5
14	72	12	99	31.4	30.3	25.8	26.1
16	72	12	99	31.4	30.3	25.4	25.8
18	72	12	99	31.4	30.3	25.1	25.5
20	72	12	99	31.4	30.3	24.7	25.4
22	72	12	99	31.4	30.3	24.4	25.3
24	72	12	99	31.4	30.3	24.0	25.2
26	72	12	99	31.4	30.3	23.7	25.1
28	72	12	99	31.4	30.3	23.4	24.9
30	72	12	99	31.4	30.3	23.0	24.8
32	72	12	99	31.4	30.3	22.8	24.7
34	72	12	99	31.4	30.3	22.6	24.6
36	72	12	99	31.4	30.3	22.4	24.5
38	72	12	99	31.4	30.3	22.2	24.3
40	72	12	99	31.4	30.3	22.0	24.2
42	72	12	99	31.4	30.3	21.8	24.1
44	72	12	99	31.4	30.3	21.7	24.0
46	72	12	99	31.4	30.3	21.5	23.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 (ต่อ)

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)			อุณหภูมิ (°C)			
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,out}$	T_{in}	$T_{Ambient}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$
48	72	12	98	31.4	30.3	21.4	23.8
50	72	12	99	31.4	30.3	21.2	23.5
52	72	12	99	31.4	30.3	21.1	23.2
54	72	12	99	31.4	30.3	21.0	22.8
56	72	12	98	31.4	30.3	20.9	22.6
58	72	12	97	31.4	30.3	20.8	22.4
60	72	12	98	31.4	30.3	20.7	22.1
65	72	12	97	31.4	30.3	20.5	21.8
70	72	12	96	31.4	30.3	20.4	21.6
75	72	12	95	31.4	30.3	20.3	21.4
80	72	12	94	31.4	30.3	20.1	21.1
85	72	12	96	31.4	30.3	20.0	20.9
90	72	12	96	31.4	30.3	20.0	20.9
95	72	12	97	31.4	30.3	20.0	20.8
100	72	12	98	31.4	30.3	20.0	20.8
105	72	12	96	31.4	30.3	19.9	20.8
110	72	12	97	31.4	30.3	19.9	20.7
115	72	12	95	31.4	30.3	19.9	20.7
120	72	12	95	31.4	30.3	19.9	20.7
125	72	12	94	31.4	30.3	19.8	20.7
130	72	12	95	31.4	30.3	19.8	20.6
135	72	12	94	31.4	30.3	19.8	20.6
140	72	12	95	31.4	30.3	19.8	20.6
145	72	12	95	31.4	30.3	19.7	20.6
150	72	12	95	31.4	30.3	19.7	20.5
155	72	12	95	31.4	30.3	19.7	20.5
160	72	12	95	31.4	30.3	19.7	20.4
165	72	12	95	31.4	30.3	19.6	20.4
170	72	12	95	31.4	30.3	19.6	20.4
175	72	12	95	31.4	30.3	19.6	20.3
180	72	12	95	31.4	30.3	19.6	20.3
185	72	12	95	31.4	30.3	19.6	20.2
190	72	12	94	31.4	30.3	19.5	20.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 (ต่อ)

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)			อุณหภูมิ (°C)			
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,out}$	T_{in}	$T_{Ambient}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$
195	72	12	94	31.4	30.3	19.4	20.1
200	72	12	94	31.4	30.3	19.4	20.1
205	72	12	94	31.4	30.3	19.3	20.0
210	72	12	94	31.4	30.3	19.3	20.0
215	72	12	94	31.4	30.3	19.3	20.0
220	72	12	94	31.4	30.3	19.2	19.9
225	72	12	94	31.4	30.3	19.2	19.9
230	72	12	94	31.4	30.3	19.2	19.8
235	72	12	94	31.4	30.3	19.2	19.8
240	72	12	94	31.4	30.3	19.2	19.8

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงและโดยอ้อม (การทดลองที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงและโดยอ้อม

- อากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่ 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง

- อากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นโดยอ้อมที่ 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)					
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$\%RH_{IEC,out}$	$\%RH_{mixed}$	T_{in}	$T_{Ambient}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$	$T_{IEC,out}$	T_{mixed}
0	79	12	88	13	36	30.6	29.8	30.1	30.5	30.3	30.4
1	79	12	89	13	40	30.6	29.8	30	30.2	30.1	30.3
2	79	12	95	13	40	30.6	29.8	29.8	30.1	30.1	30.0
3	79	12	98	13	42	30.6	29.8	29.7	30.0	30.0	30.0
4	79	12	99	13	41	30.6	29.8	29.5	29.8	29.9	29.9
5	79	12	97	13	41	30.6	29.8	29.3	29.6	29.8	29.9
6	79	12	99	13	41	30.6	29.8	29.2	29.5	29.8	29.8
7	79	12	99	13	40	30.6	29.8	29.1	29.3	29.8	29.8
8	79	12	98	13	39	30.6	29.8	29.0	29.1	29.7	29.6
9	79	12	97	13	42	30.6	29.8	28.9	29.0	29.7	29.5
10	79	12	99	13	41	30.6	29.8	28.8	29.0	29.6	29.3
12	79	12	98	13	41	30.6	29.8	28.6	28.9	29.5	29.1
14	79	12	98	13	40	30.6	29.8	28.5	28.8	29.3	29.0
16	79	12	98	13	40	30.6	29.8	28.2	28.6	29.2	28.9
18	79	12	98	13	40	30.6	29.8	28.1	28.4	29.1	28.7
20	79	12	97	13	40	30.6	29.8	28.0	28.3	29.0	28.6

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)					
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$\%RH_{IEC,out}$	$\%RH_{mixed}$	T_{in}	$T_{Ambient}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$	$T_{IEC,out}$	T_{mixed}
22	79	12	99	14	40	30.6	29.8	27.8	28.2	28.9	28.5
24	79	12	99	14	40	30.6	29.8	27.7	28.1	28.8	28.4
26	79	12	99	14	40	30.6	29.8	27.5	28.0	28.8	28.2
28	79	12	99	14	40	30.6	29.8	27.4	27.9	28.7	28.1
30	79	12	99	14	40	30.6	29.8	27.3	27.7	28.6	28.0
32	79	12	99	14	40	30.6	29.8	27.1	27.5	28.5	27.9
34	79	12	99	14	40	30.6	29.8	27.0	27.4	28.3	27.7
36	79	12	99	14	41	30.6	29.8	26.8	27.3	28.2	27.5
38	79	12	99	14	41	30.6	29.8	26.6	27.2	27.9	27.4
40	79	12	99	14	41	30.6	29.8	26.6	27.0	27.9	27.2
42	79	12	99	14	41	30.6	29.8	26.4	26.9	27.8	27.1
44	79	12	99	15	42	30.6	29.8	26.2	26.8	27.8	27.0
46	79	12	99	15	42	30.6	29.8	26.0	26.6	27.7	26.9
48	79	12	99	15	42	30.6	29.8	25.9	26.4	27.6	26.8
50	79	12	99	15	42	30.6	29.8	25.7	26.3	27.3	26.5
52	79	12	99	15	42	30.6	29.8	25.6	26.2	27.1	26.3
54	79	12	99	15	42	30.6	29.8	25.3	26.0	26.9	26.1
56	79	12	99	15	42	30.6	29.8	25.1	25.9	26.7	26.0
58	79	12	99	15	42	30.6	29.8	25.0	25.7	26.6	25.9
60	79	12	99	15	43	30.6	29.8	24.8	25.5	26.4	25.8

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)					
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$\%RH_{IEC,out}$	$\%RH_{mixed}$	T_{in}	$T_{Ambient}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$	$T_{IEC,out}$	T_{mixed}
65	79	12	99	16	43	30.6	29.8	24.7	25.4	26.2	25.6
70	79	12	99	16	43	30.6	29.8	24.5	25.2	25.9	25.3
75	79	12	99	16	43	30.6	29.8	24.3	25.0	25.6	25.1
80	79	12	99	16	43	30.6	29.8	24.1	24.9	25.3	25.0
85	79	12	99	16	43	30.6	29.8	24.0	24.7	25.0	24.8
90	79	12	99	16	43	30.6	29.8	23.9	24.5	24.8	24.6
95	79	12	99	16	43	30.6	29.8	23.6	24.3	24.6	24.4
100	79	12	99	16	43	30.6	29.8	23.4	24.1	24.4	24.2
105	79	12	99	16	43	30.6	29.8	23.1	23.9	24.2	24.0
110	79	12	99	16	43	30.6	29.8	23	23.8	24.1	23.9
115	79	12	98	17	43	30.6	29.8	22.9	23.6	23.9	23.8
120	79	12	98	17	43	30.6	29.8	22.6	23.5	23.7	23.6
125	79	12	98	17	43	30.6	29.8	22.3	23.4	23.4	23.5
130	79	12	98	17	43	30.6	29.8	22.1	23.2	23.3	23.2
135	79	12	98	17	43	30.6	29.8	22.1	23.1	23.1	23.2
140	79	12	98	17	43	30.6	29.8	22.0	22.9	23.0	23.0
145	79	12	98	17	43	30.6	29.8	21.9	22.6	22.9	22.8
150	79	12	98	17	43	30.6	29.8	21.8	22.4	22.7	22.6
155	79	12	98	17	44	30.6	29.8	21.6	22.3	22.5	22.4
160	79	12	98	17	44	30.6	29.8	21.4	21.9	22.2	22.1

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)					
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$\%RH_{IEC,out}$	$\%RH_{mixed}$	T_{in}	$T_{Ambient}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$	$T_{IEC,out}$	T_{mixed}
165	79	12	97	18	44	30.6	29.8	21.3	21.7	21.9	21.9
170	79	12	97	18	44	30.6	29.8	21.2	21.4	21.7	21.6
175	79	12	97	18	44	30.6	29.8	21.0	21.3	21.4	21.5
180	79	12	97	18	44	30.6	29.8	20.8	21.1	21.3	21.1
185	79	12	96	18	44	30.6	29.8	20.6	20.9	21.1	21.0
190	79	12	96	18	44	30.6	29.8	20.4	20.9	21.1	20.9
195	79	12	96	18	44	30.6	29.8	20.3	20.9	21.1	20.9
200	79	12	95	18	44	30.6	29.8	20.1	20.9	21.1	20.9
205	79	12	95	18	44	30.6	29.8	20.0	20.9	21.0	20.9
210	79	12	95	18	44	30.6	29.8	20.0	20.9	21.0	20.9
215	79	12	95	18	44	30.6	29.8	20.0	20.9	21.0	20.9
220	79	12	95	18	44	30.6	29.8	20.0	20.9	21.0	20.9
225	79	12	95	18	44	30.6	29.8	20.0	20.9	21.0	20.9
230	79	12	95	18	44	30.6	29.8	20.0	20.9	21.0	20.9
235	79	12	95	18	44	30.6	29.8	20.0	20.9	21.0	20.9
240	79	12	95	18	44	30.6	29.8	20.0	20.9	21.0	20.9

ตารางที่ ข.2 ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงและโดยอ้อม

- อากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่ 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง

- อากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นโดยอ้อมที่ 7,000 ลิตรต่อชั่วโมง

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)					
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$\%RH_{IEC,out}$	$\%RH_{mixed}$	T_{in}	$T_{Ambient}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$	$T_{IEC,out}$	T_{mixed}
0	72	12	92	14	40	30.8	29.3	30.5	30.3	30.3	30.4
1	72	12	93	14	43	30.8	29.3	30.2	30.2	30.3	30.3
2	72	12	94	14	46	30.8	29.3	29.9	30.1	30.2	30.1
3	72	12	97	14	50	30.8	29.3	29.6	30	30.1	30.0
4	72	12	96	14	53	30.8	29.3	29.6	29.9	30	29.9
5	72	12	98	14	54	30.8	29.3	29.4	29.8	29.9	29.9
6	72	12	97	14	56	30.8	29.3	29.2	29.7	29.8	29.8
7	72	12	97	14	56	30.8	29.3	29.1	29.5	29.7	29.5
8	72	12	99	14	56	30.8	29.3	29.0	29.4	29.6	29.4
9	72	12	98	14	56	30.8	29.3	28.8	29.0	29.5	29.2
10	72	12	96	14	56	30.8	29.3	28.5	28.8	29.4	29.1
12	72	12	97	15	56	30.8	29.3	28.4	28.6	29.3	29.0
14	72	12	95	15	56	30.8	29.3	28.0	28.1	29.2	29.0
16	72	12	95	15	56	30.8	29.3	27.6	27.8	29.1	28.9
18	72	12	96	15	56	30.8	29.3	27.4	27.6	28.9	28.7
20	72	12	97	15	56	30.8	29.3	27.0	27.4	28.8	28.5

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)					
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$\%RH_{IEC,out}$	$\%RH_{mixed}$	T_{in}	$T_{Ambient}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$	$T_{IEC,out}$	T_{mixed}
22	72	12	98	15	56	30.8	29.3	26.8	27.3	28.7	28.4
24	72	12	95	15	56	30.8	29.3	26.4	26.8	28.6	28.1
26	72	12	96	15	56	30.8	29.3	26.0	26.6	28.5	27.9
28	72	12	97	15	56	30.8	29.3	25.8	26.4	28.4	27.8
30	72	12	95	15	56	30.8	29.3	25.7	26.2	28.3	27.6
32	72	12	96	16	56	30.8	29.3	25.4	26.0	28.2	27.5
34	72	12	95	16	56	30.8	29.3	25.2	25.8	28.1	27.4
36	72	12	95	16	56	30.8	29.3	24.9	25.6	28.0	27.3
38	72	12	95	16	56	30.8	29.3	24.7	25.3	27.9	27.1
40	72	12	95	16	56	30.8	29.3	24.5	25.0	27.8	27.0
42	72	12	95	16	56	30.8	29.3	24.4	24.9	27.7	26.9
44	72	12	95	16	56	30.8	29.3	24.3	24.8	27.6	26.6
46	72	12	95	16	56	30.8	29.3	24.3	24.6	27.5	26.2
48	72	12	95	17	56	30.8	29.3	24.1	24.4	27.4	26.0
50	72	12	95	17	56	30.8	29.3	23.9	24.3	27.3	25.8
52	72	12	95	17	56	30.8	29.3	23.8	24.2	27.1	25.6
54	72	12	95	17	56	30.8	29.3	23.7	24.0	27.0	25.4
56	72	12	95	17	56	30.8	29.3	23.5	23.9	26.9	25.2
58	72	12	95	17	56	30.8	29.3	23.4	23.7	26.8	25.1
60	72	12	95	17	56	30.8	29.3	23.2	23.5	26.7	25.0

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)					
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$\%RH_{IEC,out}$	$\%RH_{mixed}$	T_{in}	$T_{Ambient}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$	$T_{IEC,out}$	T_{mixed}
65	72	12	95	17	57	30.8	29.3	23.0	23.4	26.6	24.9
70	72	12	95	17	57	30.8	29.3	22.8	23.2	26.5	24.8
75	72	12	95	17	57	30.8	29.3	22.6	23.0	26.4	24.7
80	72	12	95	17	57	30.8	29.3	22.4	22.9	26.3	24.6
85	72	12	95	17	57	30.8	29.3	22.1	22.7	26.2	24.6
90	72	12	95	17	57	30.8	29.3	22.0	22.5	26.1	24.6
95	72	12	95	17	57	30.8	29.3	21.8	22.3	26.0	24.4
100	72	12	95	17	57	30.8	29.3	21.6	22.1	25.9	24.3
105	72	12	94	17	57	30.8	29.3	21.5	21.9	25.8	24.3
110	72	12	94	17	57	30.8	29.3	21.4	21.8	25.7	24.1
115	72	12	94	17	57	30.8	29.3	21.2	21.6	25.6	24.0
120	72	12	94	17	57	30.8	29.3	21.0	21.5	25.5	23.9
125	72	12	94	17	57	30.8	29.3	20.9	21.4	25.4	23.6
130	72	12	94	17	57	30.8	29.3	20.7	21.2	25.3	23.4
135	72	12	94	17	57	30.8	29.3	20.5	21.1	25.1	23.2
140	72	12	94	17	58	30.8	29.3	20.2	21.0	24.9	23.0
145	72	12	94	17	58	30.8	29.3	20.1	20.9	24.8	22.9
150	72	12	94	18	58	30.8	29.3	20.1	20.9	24.6	22.7
155	72	12	94	18	58	30.8	29.3	20.0	20.9	24.5	22.5
160	72	12	94	18	58	30.8	29.3	20.0	20.9	24.2	22.1

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)					
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$\%RH_{IEC,out}$	$\%RH_{mixed}$	T_{in}	$T_{Ambient}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$	$T_{IEC,out}$	T_{mixed}
165	72	12	94	18	58	30.8	29.3	19.9	20.7	24.2	22.0
170	72	12	94	18	58	30.8	29.3	19.9	20.7	24.1	22.0
175	72	12	94	18	58	30.8	29.3	19.8	20.7	24.1	22.0
180	72	12	94	18	58	30.8	29.3	19.8	20.7	24.0	22.0
185	72	12	96	18	58	30.8	29.3	19.8	20.6	24.0	22.0
190	72	12	96	18	58	30.8	29.3	19.8	20.6	24.0	22.0
195	72	12	96	18	58	30.8	29.3	19.7	20.6	23.9	22.0
200	72	12	95	18	58	30.8	29.3	19.7	20.6	23.9	21.9
205	72	12	95	18	58	30.8	29.3	19.7	20.6	23.9	21.9
210	72	12	95	18	58	30.8	29.3	19.6	20.6	23.9	21.9
215	72	12	95	18	58	30.8	29.3	19.6	20.6	23.9	21.9
220	72	12	94	18	58	30.8	29.3	19.6	20.6	23.9	21.9
225	72	12	94	18	58	30.8	29.3	19.6	20.6	23.8	21.9
230	72	12	94	18	58	30.8	29.3	19.6	20.6	23.8	21.9
235	72	12	94	18	58	30.8	29.3	19.6	20.6	23.8	21.9
240	72	12	94	18	58	30.8	29.3	19.6	20.6	23.8	21.9

ตารางที่ ข.3 ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงและโดยอ้อม

- อากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่ 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง

- อากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นโดยอ้อมที่ 5,500 ลิตรต่อชั่วโมง

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)					
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$\%RH_{IEC,out}$	$\%RH_{mixed}$	T_{in}	$T_{Ambient}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$	$T_{IEC,out}$	T_{mixed}
0	80	12	86	13	54	30.5	29.7	29.5	29.9	30.5	30.1
1	80	12	92	13	57	30.5	29.7	29.3	29.7	30.4	29.9
2	80	12	93	13	59	30.5	29.7	29	29.4	30.3	29.8
3	80	12	98	14	60	30.5	29.7	28.8	29.1	30.1	29.6
4	80	12	99	14	61	30.5	29.7	28.7	28.9	30.0	29.5
5	80	12	99	14	61	30.5	29.7	28.4	28.8	30.0	29.3
6	80	12	99	14	61	30.5	29.7	28	28.5	29.9	29.2
7	80	12	99	14	61	30.5	29.7	27.7	28.2	29.8	29.1
8	80	12	99	14	61	30.5	29.7	27.4	27.9	29.7	28.9
9	80	12	99	14	61	30.5	29.7	27.1	27.7	29.6	28.7
10	80	12	99	14	61	30.5	29.7	26.8	27.4	29.5	28.4
12	80	12	99	15	61	30.5	29.7	26.5	27	29.4	28.0
14	80	12	99	15	61	30.5	29.7	26.2	26.9	29.3	27.9
16	80	12	99	15	61	30.5	29.7	25.9	26.6	29.2	27.6
18	80	12	99	15	61	30.5	29.7	25.5	26.3	29.1	27.3
20	80	12	99	15	61	30.5	29.7	25.3	26.0	29.0	27.0

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)					
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$\%RH_{IEC,out}$	$\%RH_{mixed}$	T_{in}	$T_{Ambient}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$	$T_{IEC,out}$	T_{mixed}
22	80	12	99	15	62	30.5	29.7	25	25.9	28.9	26.8
24	80	12	99	15	62	30.5	29.7	24.8	25.7	28.9	26.8
26	80	12	99	15	62	30.5	29.7	24.7	25.6	28.8	26.6
28	80	12	99	15	62	30.5	29.7	24.5	25.3	28.7	26.3
30	80	12	99	15	62	30.5	29.7	24.4	25.1	28.7	25.1
32	80	12	99	16	62	30.5	29.7	24.3	24.9	28.6	25.9
34	80	12	99	16	62	30.5	29.7	24.2	24.7	28.6	25.7
36	80	12	99	16	62	30.5	29.7	24	24.6	28.5	25.6
38	80	12	99	16	62	30.5	29.7	23.8	24.3	28.4	25.3
40	80	12	99	16	62	30.5	29.7	23.6	24.0	28.2	25.0
42	80	12	99	16	62	30.5	29.7	23.5	23.9	28.1	24.9
44	80	12	99	15	62	30.5	29.7	23.4	23.8	28	24.7
46	80	12	99	16	62	30.5	29.7	23.3	23.6	27.9	24.5
48	80	12	99	16	62	30.5	29.7	23.2	23.4	27.7	24.2
50	80	12	99	16	62	30.5	29.7	23.1	23.3	27.6	24.2
52	80	12	99	16	62	30.5	29.7	23.0	23.2	27.5	24.1
54	80	12	99	16	62	30.5	29.7	22.9	23.0	27.3	24
56	80	12	99	16	62	30.5	29.7	22.8	22.9	27	23.9
58	80	12	99	16	62	30.5	29.7	22.7	22.7	26.9	23.7
60	80	12	99	16	62	30.5	29.7	22.6	22.7	26.6	23.7

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)					
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$\%RH_{IEC,out}$	$\%RH_{mixed}$	T_{in}	$T_{Ambient}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$	$T_{IEC,out}$	T_{mixed}
65	80	12	99	16	62	30.5	29.7	22.5	22.6	26.7	23.6
70	80	12	99	16	62	30.5	29.7	22.3	22.4	26.7	23.4
75	80	12	99	16	62	30.5	29.7	22.2	22.2	26.5	23.2
80	80	12	99	16	62	30.5	29.7	22.1	22.2	26.5	23.2
85	80	12	99	16	62	30.5	29.7	22.0	22.1	26.4	23.1
90	80	12	99	16	62	30.5	29.7	22.0	22.1	26.4	23.1
95	80	12	99	16	62	30.5	29.7	21.9	22.0	26.3	23.0
100	80	12	99	16	62	30.5	29.7	21.8	21.9	26.1	23.0
105	80	12	99	16	62	30.5	29.7	21.6	21.8	26.0	22.9
110	80	12	99	16	62	30.5	29.7	21.5	21.8	25.9	22.9
115	80	12	99	16	62	30.5	29.7	21.4	21.6	25.8	22.9
120	80	12	99	16	62	30.5	29.7	21.1	21.5	25.8	22.9
125	80	12	99	16	62	30.5	29.7	20.8	21.2	25.7	22.9
130	80	12	98	16	62	30.5	29.7	20.6	21	25.7	22.9
135	80	12	98	16	62	30.5	29.7	20.4	20.9	25.6	22.9
140	80	12	98	16	62	30.5	29.7	20.1	20.8	25.6	22.8
145	80	12	98	16	62	30.5	29.7	20	20.8	25.5	22.8
150	80	12	98	16	62	30.5	29.7	20	20.8	25.4	22.8
155	80	12	98	16	62	30.5	29.7	19.9	20.7	25.3	22.8
160	80	12	98	16	62	30.5	29.7	19.9	20.7	25.2	22.8

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)					
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$\%RH_{IEC,out}$	$\%RH_{mixed}$	T_{in}	$T_{Ambient}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$	$T_{IEC,out}$	T_{mixed}
165	80	12	98	16	62	30.5	29.7	19.8	20.7	25.2	22.7
170	80	12	98	17	62	30.5	29.7	19.8	20.7	25.1	22.6
175	80	12	98	17	62	30.5	29.7	19.8	20.6	25.1	22.6
180	80	12	98	17	62	30.5	29.7	19.7	20.6	24.9	22.6
185	80	12	98	17	62	30.5	29.7	19.7	20.5	24.8	22.5
190	80	12	98	17	62	30.5	29.7	19.7	20.5	24.8	22.5
195	80	12	98	17	62	30.5	29.7	19.6	20.5	24.7	22.5
200	80	12	98	17	62	30.5	29.7	19.6	20.5	24.7	22.5
205	80	12	98	17	62	30.5	29.7	19.5	20.4	24.7	22.5
210	80	12	98	17	62	30.5	29.7	19.5	20.4	24.6	22.5
215	80	12	98	17	62	30.5	29.7	19.5	20.3	24.6	22.5
220	80	12	98	17	62	30.5	29.7	19.4	20.3	24.6	22.5
225	80	12	98	17	62	30.5	29.7	19.4	20.2	24.5	22.5
230	80	12	98	17	62	30.5	29.7	19.4	20.2	24.5	22.5
235	80	12	98	17	62	30.5	29.7	19.4	20.2	24.5	22.5
240	80	12	98	17	62	30.5	29.7	19.4	20.2	24.5	22.5

ภาคผนวก ค
ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่ออลูมิเนียมก่อนเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (การทดลองที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3

ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่ออลูมิเนียมก่อนเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ที่อัตราการไหล 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)				อุณหภูมิ (°C)				
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$T_{Ambient}$	T_{in}	$T_{DEC,in}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$
0	78	12	14	90	30.2	31	30.8	30.7	30
1	78	12	14	94	30.2	31	30.6	30.5	29.6
2	78	12	14	98	30.2	31	30.5	30.3	29.5
3	78	12	15	98	30.2	31	30.4	30.1	29.2
4	78	12	16	99	30.2	31	30.3	29.9	29.1
5	78	12	17	99	30.2	31	30.1	29.8	29.1
6	78	12	17	99	30.2	31	29.9	29.8	29.0
7	78	12	18	99	30.2	31	29.8	29.7	28.9
8	78	12	17	99	30.2	31	29.8	29.6	28.7
9	78	12	17	99	30.2	31	29.7	29.5	28.6
10	78	12	16	99	30.2	31	29.6	29.4	28.5
12	78	12	16	99	30.2	31	29.3	29.2	28.4
14	78	12	15	99	30.2	31	29.2	28.8	28.3
16	78	12	15	99	30.2	31	29.1	28.6	28.1
18	78	12	15	99	30.2	31	28.8	28.5	28.0
20	78	12	15	99	30.2	31	28.7	28.3	27.8

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)				อุณหภูมิ (°C)				
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$T_{Ambient}$	T_{in}	$T_{DEC,in}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$
22	78	12	15	99	30.2	31	28.5	28.2	27.6
24	78	12	15	99	30.2	31	28.3	27.9	27.6
26	78	12	15	99	30.2	31	28.2	27.8	27.4
28	78	12	15	99	30.2	31	28.0	27.7	27.2
30	78	12	15	99	30.2	31	27.9	27.5	27.1
32	78	12	15	99	30.2	31	27.8	27.3	27.0
34	78	12	15	99	30.2	31	27.6	27.2	26.8
36	78	12	15	99	30.2	31	27.4	26.9	26.8
38	78	12	15	99	30.2	31	27.3	26.8	26.7
40	78	12	15	99	30.2	31	27.2	26.8	26.4
42	78	12	15	99	30.2	31	27.1	26.5	26.4
44	78	12	15	99	30.2	31	26.9	26.4	26.3
46	78	12	15	99	30.2	31	26.9	26.3	26.1
48	78	12	15	99	30.2	31	26.7	26.2	26.1
50	78	12	15	99	30.2	31	26.6	26.1	26.1
52	78	12	15	99	30.2	31	26.6	26.1	25.9
54	78	12	15	99	30.2	31	26.4	26.0	25.9
56	78	12	15	99	30.2	31	26.3	26.0	25.9
58	78	12	15	99	30.2	31	26.3	25.8	25.6
60	78	12	15	99	30.2	31	26.1	25.6	25.5

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)				อุณหภูมิ (°C)				
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$T_{Ambient}$	T_{in}	$T_{DEC,in}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$
65	78	12	15	99	30.2	31	25.9	25.4	25.3
70	78	12	15	99	30.2	31	25.8	25.2	25.1
75	78	12	15	99	30.2	31	25.6	25.0	25.0
80	78	12	15	99	30.2	31	25.6	24.7	24.9
85	78	12	15	99	30.2	31	25.4	24.6	24.6
90	78	12	15	99	30.0	31	25.1	24.4	24.4
95	78	12	15	99	30.0	31	25.0	24.3	24.2
100	78	12	15	99	30.0	31	24.9	24.1	24.1
105	78	12	15	99	30.0	31	24.8	24.0	24.1
110	78	12	15	99	30.0	31	24.6	23.8	23.9
115	78	12	15	99	30.0	31	24.4	23.7	23.8
120	78	12	15	98	30.0	31	24.3	23.5	23.6
125	78	12	15	98	30.0	31	24.3	23.5	23.5
130	78	12	15	98	30.0	31	24.1	23.4	23.4
135	78	12	15	98	30.0	31	24.1	23.2	23.4
140	78	12	15	98	30.0	31	23.9	23.2	23.3
145	78	12	15	98	29.8	31	23.8	23.1	23.2
150	78	12	15	98	29.8	31	23.8	23.0	23.1
155	78	12	15	98	29.8	31	23.7	23.0	23.1
160	78	12	15	98	29.8	31	23.7	22.9	23.0

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)				อุณหภูมิ (°C)				
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$T_{Ambient}$	T_{in}	$T_{DEC,in}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$
165	78	12	15	98	29.8	31	23.6	22.9	23.0
170	78	12	15	98	29.8	31	23.6	22.9	22.9
175	78	12	15	98	29.8	31	23.6	22.8	22.8
180	78	12	15	98	29.8	31	23.5	22.8	22.8
185	78	12	15	98	29.8	31	23.5	22.8	22.8
190	78	12	15	98	29.8	31	23.5	22.7	22.8
195	78	12	15	98	29.8	31	23.4	22.7	22.7
200	78	12	15	98	29.8	31	23.4	22.7	22.7
205	78	12	15	98	29.8	31	23.4	22.7	22.6
210	78	12	15	98	29.8	31	23.3	22.6	22.6
215	78	12	15	98	29.8	31	23.3	22.6	22.6
220	78	12	15	98	29.8	31	23.3	22.6	22.6
225	78	12	15	98	29.8	31	23.3	22.6	22.6
230	78	12	15	98	29.8	31	23.3	22.6	22.6
235	78	12	15	98	29.8	31	23.3	22.6	22.6
240	78	12	15	98	29.8	31	23.3	22.6	22.6

ภาคผนวก ง
ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่ออลูมิเนียมก่อนเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงและโดยอ้อม (การทดลองที่ 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่ออลูมิเนียมก่อนเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงและโดยอ้อม

- อากาศขาเข้าผ่านท่ออลูมิเนียมก่อนเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่ 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง

- อากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นโดยอ้อมที่ 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)						อุณหภูมิ (°C)						
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$\%RH_{IEC,out}$	$\%RH_{mixed}$	$T_{Ambient}$	T_{in}	$T_{DEC,in}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$	$T_{IEC,out}$	T_{mixed}
0	81	12	12	86	13	35	29.2	30.0	28.9	29.0	28.5	29.1	29.0
1	81	12	12	94	13	39	29.2	30	28.9	28.9	28.4	29.0	28.8
2	81	12	12	98	13	43	29.2	30	28.9	28.7	28.3	28.9	28.6
3	81	12	12	99	13	44	29.2	30	28.8	28.6	28.4	28.8	28.5
4	81	12	13	99	13	42	29.2	30	28.7	28.5	28.2	28.8	28.4
5	81	12	13	99	13	41	29.2	30	28.7	28.4	28.2	28.7	28.4
6	81	12	13	99	13	43	29.2	30	28.5	28.3	28.1	28.7	28.3
7	81	12	13	99	13	42	29.2	30	28.3	28.1	28.1	28.6	28.3
8	81	12	13	99	13	42	29.2	30	28.1	28.0	28.1	28.5	28.3
9	81	12	13	99	13	42	29.2	30	28.1	28.0	28.0	28.4	28.2
10	81	12	13	99	13	42	29.2	30	27.9	27.9	27.9	28.4	28.1
12	81	12	13	99	13	42	29.2	30	27.9	27.9	27.9	28.3	28.0
14	81	12	13	99	13	42	29.2	30	27.9	27.8	27.9	28.3	28.0
16	81	12	13	99	13	42	29.2	30	27.9	27.8	27.8	28.1	27.9
18	81	12	13	99	15	42	29.2	30	27.8	27.8	27.8	28.0	27.9
20	81	12	13	99	15	42	29.2	30	27.8	27.7	27.8	28.0	27.9

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)						อุณหภูมิ (°C)						
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$\%RH_{IEC,out}$	$\%RH_{mixed}$	$T_{Ambient}$	T_{in}	$T_{DEC,in}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$	$T_{IEC,out}$	T_{mixed}
22	81	12	13	99	13	43	29.2	30	27.7	27.6	27.6	27.9	27.8
24	81	12	13	99	13	43	29.2	30	27.6	27.6	27.6	27.9	27.8
26	81	12	13	99	13	43	29.2	30	27.6	27.5	27.4	27.8	27.6
28	81	12	13	99	13	43	29.2	30	27.6	27.5	27.2	27.7	27.5
30	81	12	13	99	13	43	29.2	30	27.6	27.4	27.1	27.7	27.4
32	81	12	13	99	13	43	29.2	30	27.5	27.4	27.3	27.6	27.4
34	81	12	13	99	13	43	29.2	30	27.5	27.3	27.2	27.4	27.3
36	81	12	13	99	13	43	29.2	30	27.5	27.3	27.2	27.3	27.3
38	81	12	13	99	13	43	29.2	30	27.4	27.3	27.2	27.3	27.3
40	81	12	13	99	13	43	29.2	30	27.4	27.2	27.1	27.3	27.2
42	81	12	13	99	13	43	29.2	30	27.3	27.1	27.1	27.2	27.2
44	81	12	13	99	14	44	29.2	30	27.3	27.1	27.0	27.2	27.1
46	81	12	13	99	14	44	29.2	30	27.1	26.9	27.0	27.0	27.1
48	81	12	13	99	14	44	29.2	30	27.1	26.9	26.9	27.0	27.0
50	81	12	13	99	14	44	29.2	30	27.0	26.8	26.9	26.9	26.9
52	81	12	13	99	14	44	29.2	30	26.9	26.7	26.9	26.9	26.8
54	81	12	13	99	14	44	29.2	30	26.9	26.6	26.8	26.8	26.7
56	81	12	13	99	15	44	29.2	30	26.8	26.4	26.8	26.8	26.7
58	81	12	13	99	15	44	29.2	30	26.7	26.3	26.7	26.6	26.6
60	81	12	13	99	15	44	29.2	30	26.6	26.2	26.5	26.5	26.5

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)						อุณหภูมิ (°C)						
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$\%RH_{IEC,out}$	$\%RH_{mixed}$	$T_{Ambient}$	T_{in}	$T_{DEC,in}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$	$T_{IEC,out}$	T_{mixed}
65	81	12	13	99	15	45	29.2	30	26.6	26.0	26.2	26.1	26.2
70	81	12	13	99	15	45	29.2	30	26.4	26.0	26.1	26.0	26.1
75	81	12	13	99	15	45	29.2	30	26.3	25.8	26.0	25.9	26.0
80	81	12	13	99	15	45	29.2	30	26.0	25.7	25.9	25.9	25.8
85	81	12	13	99	15	45	29.2	30	25.8	25.6	25.6	25.8	25.6
90	81	12	13	99	15	45	29.2	30	25.7	25.4	25.4	25.6	25.4
95	81	12	13	99	15	45	29.2	30	25.6	25.3	25.2	25.5	25.2
100	81	12	13	99	15	45	29.2	30	25.4	25.1	25.1	25.4	25.2
105	81	12	13	99	15	45	29.2	30	25.3	25.0	25.1	25.3	25.1
110	81	12	13	99	15	45	29.2	30	25.1	24.9	24.9	25.1	25.0
115	81	12	13	99	15	45	29.2	30	25.0	24.9	24.9	25.0	25.0
120	81	12	13	99	15	45	29.2	30	24.9	24.8	24.9	25.0	25.0
125	81	12	13	99	15	45	29.2	30	24.9	24.8	24.9	24.9	25.0
130	81	12	13	99	15	45	29.2	30	24.9	24.7	24.9	24.9	25.0
135	81	12	13	99	15	45	29.2	30	24.9	24.7	24.8	24.9	25.0
140	81	12	13	99	15	45	29.2	30	24.8	24.6	24.8	24.8	24.9
145	81	12	13	99	15	45	29.2	29.8	24.8	24.6	24.8	24.8	24.8
150	81	12	13	99	15	45	29.2	29.8	24.7	24.5	24.8	24.7	24.8
155	81	12	13	99	15	45	29.2	29.8	24.7	24.5	24.8	24.7	24.8
160	81	12	13	99	15	45	29.2	29.8	24.7	24.5	24.7	24.7	24.8

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)						อุณหภูมิ (°C)						
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$\%RH_{IEC,out}$	$\%RH_{mixed}$	$T_{Ambient}$	T_{in}	$T_{DEC,in}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$	$T_{IEC,out}$	T_{mixed}
165	81	12	13	99	15	46	29.2	29.8	24.6	24.4	24.7	24.7	24.8
170	81	12	13	99	15	46	29.2	29.8	24.6	24.4	24.7	24.7	24.8
175	81	12	13	99	15	46	29.2	29.8	24.5	24.4	24.7	24.7	24.8
180	81	12	13	99	15	46	29.2	29.8	24.5	24.3	24.6	24.7	24.8
185	81	12	13	99	15	46	29.2	29.8	24.4	24.3	24.6	24.7	24.7
190	81	12	13	99	15	46	29.2	29.8	24.5	24.3	24.6	24.7	24.7
195	81	12	13	99	15	46	29.2	29.8	24.5	24.3	24.6	24.7	24.7
200	81	12	13	99	15	46	29.2	29.8	24.5	24.2	24.5	24.7	24.6
205	81	12	13	99	15	46	29.2	29.8	24.5	24.2	24.5	24.7	24.6
210	81	12	13	99	15	46	29.2	29.8	24.5	24.3	24.5	24.7	24.6
215	81	12	13	99	15	46	29.2	29.8	24.5	24.3	24.5	24.7	24.6
220	81	12	13	99	15	46	29.2	29.8	24.5	24.3	24.5	24.7	24.6
225	81	12	13	99	15	46	29.2	29.8	24.5	24.3	24.5	24.7	24.6
230	81	12	13	99	15	46	29.2	29.8	24.5	24.3	24.5	24.7	24.6
235	81	12	13	99	15	46	29.2	29.8	24.5	24.3	24.5	24.7	24.6
240	81	12	13	99	15	46	29.2	29.8	24.5	24.3	24.5	24.7	24.6

ตารางที่ ง.2 ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่ออลูมิเนียมก่อนเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงและโดยอ้อม

- อากาศขาเข้าผ่านท่ออลูมิเนียมก่อนเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่ 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง
- อากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นโดยอ้อมที่ 7,000 ลิตรต่อชั่วโมง

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)						อุณหภูมิ (°C)						
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$\%RH_{IEC,out}$	$\%RH_{mixed}$	$T_{Ambient}$	T_{in}	$T_{DEC,in}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$	$T_{IEC,out}$	T_{mixed}
0	77	10	12	82	12	25	28.8	30.8	30.0	28.6	28.9	30.1	30.0
1	77	10	12	89	12	32	28.8	30.8	29.8	28.5	28.8	30.0	29.8
2	77	10	12	95	12	41	28.8	30.8	29.6	28.4	28.8	29.9	29.6
3	77	10	12	98	12	49	28.8	30.8	29.5	28.3	28.7	29.8	29.5
4	77	10	12	99	12	54	28.8	30.8	29.4	28.2	28.6	29.8	29.4
5	77	10	12	99	12	54	28.8	30.8	29.4	28.1	28.4	29.7	29.4
6	77	10	12	99	12	54	28.8	30.8	29.3	28.0	28.3	29.7	29.3
7	77	10	12	99	12	54	28.8	30.8	29.1	28.0	28.1	29.6	29.1
8	77	10	12	99	12	54	28.8	30.8	28.9	27.9	28.0	29.5	28.9
9	77	10	12	99	12	54	28.8	30.8	28.8	27.8	27.9	29.4	28.8
10	77	10	12	99	12	55	28.8	30.8	28.6	27.7	27.7	29.4	28.6
12	77	10	12	99	12	55	28.8	30.8	28.4	27.6	27.7	29.3	28.4
14	77	10	12	99	12	55	28.8	30.8	28.1	27.5	27.6	29.3	28.1
16	77	10	12	99	12	54	28.8	30.8	27.9	27.2	27.5	29.1	27.9
18	77	10	12	99	12	55	28.8	30.8	27.8	27.0	27.3	29.0	27.8
20	77	10	12	99	12	54	28.8	30.8	27.7	27.0	27.2	29.0	27.7

ตารางที่ ง.2 (ต่อ)

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)						อุณหภูมิ (°C)						
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$\%RH_{IEC,out}$	$\%RH_{mixed}$	$T_{Ambient}$	T_{in}	$T_{DEC,in}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$	$T_{IEC,out}$	T_{mixed}
22	77	10	12	99	12	56	28.8	30.8	27.4	26.9	27.1	28.9	27.8
24	77	10	12	99	12	57	28.8	30.8	27.3	26.8	27.0	28.9	27.7
26	77	10	12	99	12	55	28.8	30.8	27.3	26.8	27.0	28.8	27.6
28	77	10	12	99	12	54	28.8	30.8	27.2	26.7	26.9	28.7	27.5
30	77	10	12	99	12	54	28.8	30.8	27.1	26.7	26.8	28.7	27.4
32	77	10	12	99	12	54	28.8	30.8	27.0	26.6	26.9	28.6	27.3
34	77	10	12	99	12	54	28.8	30.8	27.0	26.5	26.8	28.4	27.2
36	78	10	12	99	12	55	28.8	30.8	26.9	26.5	26.7	28.3	27.1
38	78	10	12	99	12	54	28.8	30.8	26.8	26.3	26.6	28.3	27.0
40	78	10	12	99	12	55	28.8	30.8	26.7	26.3	26.6	28.3	26.9
42	78	10	12	99	12	54	28.8	30.8	26.6	26.2	26.5	28.2	26.8
44	78	10	13	99	14	54	28.8	30.8	26.5	26.1	26.3	28.2	26.7
46	78	10	13	99	14	55	28.8	30.8	26.4	26.9	26.2	28.0	26.6
48	78	10	13	99	14	54	28.8	30.8	26.3	25.9	26.1	28.0	26.5
50	78	10	13	99	14	54	28.8	30.8	26.2	25.8	26.0	27.9	26.4
52	78	10	13	99	14	54	28.8	30.8	26.1	25.7	25.9	27.9	26.3
54	78	10	13	99	14	55	28.8	30.8	26.0	25.6	25.7	27.8	26.2
56	78	10	13	99	14	54	28.8	30.8	25.9	25.4	25.6	27.8	26.2
58	78	10	13	99	14	54	28.8	30.8	25.8	25.3	25.5	27.6	26.1
60	78	10	13	99	14	55	28.8	30.8	25.6	25.2	25.4	27.5	26.1

ตารางที่ ง.2 (ต่อ)

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)						อุณหภูมิ (°C)						
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$\%RH_{IEC,out}$	$\%RH_{mixed}$	$T_{Ambient}$	T_{in}	$T_{DEC,in}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$	$T_{IEC,out}$	T_{mixed}
65	78	10	13	99	14	54	28.8	30.8	25.6	25.0	25.3	27.1	26.0
70	78	10	13	99	14	55	28.8	30.8	25.4	25.0	25.2	27.0	26.0
75	78	10	13	99	14	54	28.8	30.8	25.3	24.9	25.1	26.9	26.0
80	78	10	13	99	14	54	28.8	30.8	25.0	24.8	24.9	26.9	25.9
85	78	10	13	99	14	54	28.8	30.8	24.8	24.7	24.8	26.8	25.9
90	78	10	13	99	14	55	28.8	30.8	24.7	24.4	24.6	26.6	25.8
95	78	10	13	99	14	54	28.8	30.8	24.6	24.3	24.5	26.5	25.7
100	78	10	13	99	14	54	28.8	30.8	24.4	24.1	24.3	26.4	25.6
105	78	10	13	99	14	54	28.8	30.8	24.3	24.0	24.2	26.3	25.5
110	78	10	13	99	14	55	28.8	30.8	24.0	23.9	24.0	26.1	25.4
115	78	10	13	99	14	54	28.8	30.8	24.0	23.9	24.0	26.0	25.4
120	78	10	13	99	14	54	28.8	30.8	23.9	23.8	23.9	26.0	25.3
125	78	10	13	99	14	54	28.8	30.8	23.9	23.8	23.9	25.9	25.3
130	78	10	13	99	14	56	28.8	30.8	23.9	23.7	23.8	25.9	25.3
135	78	10	13	99	14	54	28.8	30.8	23.9	23.7	23.8	25.9	25.0
140	78	10	13	99	14	54	28.8	30.8	23.8	23.6	23.7	25.8	24.9
145	78	10	13	99	14	55	28.8	30.8	23.8	23.6	23.7	25.8	24.8
150	78	10	13	99	14	54	28.8	30.8	23.7	23.5	23.6	25.8	24.6
155	78	10	13	99	14	55	28.8	30.8	23.7	23.5	23.6	25.8	24.5
160	78	10	13	99	14	54	28.8	30.8	23.7	23.5	23.7	25.8	24.3

ตารางที่ ง.2 (ต่อ)

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)						อุณหภูมิ (°C)						
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$\%RH_{IEC,out}$	$\%RH_{mixed}$	$T_{Ambient}$	T_{in}	$T_{DEC,in}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$	$T_{IEC,out}$	T_{mixed}
165	79	10	13	99	14	54	28.8	30.8	23.6	23.6	23.5	25.8	24.1
170	79	10	13	99	14	55	28.8	30.8	23.6	23.6	23.6	25.8	24.2
175	79	10	13	99	14	56	28.8	30.8	23.5	23.5	23.7	25.8	24.1
180	79	10	13	99	14	57	28.8	30.8	23.5	23.6	23.7	25.8	24.1
185	79	10	13	99	14	55	28.8	30.8	23.4	23.6	23.7	25.8	24.0
190	79	10	13	99	14	55	28.8	30.8	23.5	23.5	23.7	25.8	24.0
195	79	10	13	99	14	55	28.8	30.8	23.5	23.6	23.7	25.8	24.1
200	79	10	13	99	14	55	28.8	30.8	23.5	23.6	23.7	25.8	24.0
205	79	10	13	99	14	55	28.8	30.8	23.5	23.6	23.7	25.8	24.1
210	79	10	13	99	14	55	28.8	30.8	23.5	23.6	23.7	25.8	24.0
215	79	10	13	99	14	55	28.8	30.8	23.5	23.6	23.7	25.8	24.1
220	79	10	13	99	14	55	28.8	30.8	23.5	23.6	23.7	25.8	24.0
225	79	10	13	99	14	55	28.8	30.8	23.5	23.6	23.7	25.8	24.0
230	79	10	13	99	14	55	28.8	30.8	23.5	23.6	23.7	25.8	24.1
235	79	10	13	99	14	55	28.8	30.8	23.5	23.6	23.7	25.8	24.0
240	79	10	13	99	14	55	28.8	30.8	23.5	23.6	23.7	25.8	24.0

ตารางที่ ง.3 ผลการทดลองลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่ออลูมิเนียมก่อนเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงและโดยอ้อม

- อากาศขาเข้าผ่านท่ออลูมิเนียมก่อนเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่ 8,500 ลิตรต่อชั่วโมง
- อากาศขาเข้าเครื่องทำความเย็นโดยอ้อมที่ 5,500 ลิตรต่อชั่วโมง

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)						อุณหภูมิ (°C)						
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$\%RH_{IEC,out}$	$\%RH_{mixed}$	$T_{Ambient}$	T_{in}	$T_{DEC,in}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$	$T_{IEC,out}$	T_{mixed}
0	69	10	12	79	12	43	29.8	30.5	30.0	29.5	29.9	30.4	30.1
1	69	10	12	86	12	51	29.8	30.5	29.9	29.3	29.8	30.4	30.0
2	69	10	12	92	12	54	29.8	30.5	29.9	29.1	29.8	30.3	29.9
3	69	10	12	96	12	55	29.8	30.5	29.8	29.0	29.7	30.1	29.8
4	69	10	12	98	12	58	29.8	30.5	29.7	28.9	29.6	30.0	29.7
5	69	10	12	99	12	64	29.8	30.5	29.6	28.8	29.4	29.9	29.7
6	69	10	12	99	12	65	29.8	30.5	29.6	28.7	29.3	29.8	29.6
7	69	10	12	99	12	66	29.8	30.5	29.3	28.6	29.1	29.5	29.4
8	69	10	12	99	12	65	29.8	30.5	29.0	28.5	29.0	29.4	29.1
9	69	10	12	99	12	66	29.8	30.5	29.0	28.3	28.9	29.1	29.0
10	69	10	12	99	12	67	29.8	30.5	28.9	28.2	28.6	29.0	28.9
12	69	10	12	99	12	65	29.8	30.5	28.9	28.1	28.5	29.0	28.9
14	69	10	12	99	12	66	29.8	30.5	28.8	28.0	28.4	28.9	28.8
16	69	10	12	99	12	67	29.8	30.5	28.6	27.9	28.3	28.9	28.6
18	69	10	12	99	12	67	29.8	30.5	28.5	27.8	28.1	28.8	28.5
20	69	10	12	99	12	67	29.8	30.5	28.5	27.7	28.0	28.8	28.4

ตารางที่ ง.3 (ต่อ)

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)						อุณหภูมิ (°C)						
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$\%RH_{IEC,out}$	$\%RH_{mixed}$	$T_{Ambient}$	T_{in}	$T_{DEC,in}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$	$T_{IEC,out}$	T_{mixed}
22	69	10	12	99	12	67	29.8	30.5	28.4	27.6	28.0	28.6	28.3
24	69	10	12	99	13	67	29.8	30.5	28.3	27.6	27.9	28.5	28.2
26	69	10	12	99	13	67	29.8	30.5	28.1	27.5	27.8	28.5	28.1
28	69	10	12	99	13	67	29.8	30.5	28.0	27.5	27.7	28.4	28.1
30	69	10	12	99	13	67	29.8	30.5	28.0	27.4	27.4	28.3	28.0
32	69	10	12	99	13	67	29.8	30.5	27.9	27.3	27.4	28.1	27.9
34	69	10	12	99	13	67	29.8	30.5	27.7	27.2	27.3	28.0	27.8
36	69	10	12	99	13	67	29.8	30.5	27.5	27.1	27.2	27.9	27.8
38	69	10	12	99	13	67	29.8	30.5	27.2	26.9	27.1	27.8	27.6
40	69	10	12	99	13	67	29.8	30.5	27.0	26.7	26.9	27.7	27.2
42	69	10	12	99	13	67	29.8	30.5	26.9	26.6	26.9	27.6	27.1
44	69	10	13	99	14	67	29.8	30.5	26.7	26.5	26.8	27.5	27.0
46	69	10	13	99	14	67	29.8	30.5	26.4	26.2	26.5	27.4	26.9
48	69	10	13	99	14	67	29.8	30.5	26.3	25.8	26.2	27.3	26.7
50	69	10	13	99	14	67	29.8	30.5	26.2	25.6	25.9	27.2	26.4
52	69	10	13	99	14	67	29.8	30.5	25.9	25.4	25.5	27.0	26.1
54	69	10	13	99	14	67	29.8	30.5	25.8	25.2	25.4	26.9	26.0
56	69	10	13	99	14	67	29.8	30.5	25.7	25.1	25.2	26.8	25.9
58	69	10	13	99	14	67	29.8	30.5	25.5	25.0	25.0	26.7	25.8
60	69	10	13	99	14	67	29.8	30.5	25.3	25.0	25.0	26.6	25.7

ตารางที่ ง.3 (ต่อ)

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)						อุณหภูมิ (°C)						
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$\%RH_{IEC,out}$	$\%RH_{mixed}$	$T_{Ambient}$	T_{in}	$T_{DEC,in}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$	$T_{IEC,out}$	T_{mixed}
65	69	10	14	99	14	67	29.8	30.5	25.1	24.9	25.0	26.6	25.6
70	69	10	14	99	14	67	29.8	30.5	25.0	24.7	24.9	26.5	25.3
75	69	10	14	99	14	67	29.8	30.5	24.9	24.7	24.9	26.5	25.1
80	69	10	14	99	14	67	29.8	30.5	24.9	24.8	24.8	26.4	25.0
85	69	10	14	99	14	67	29.8	30.5	24.8	24.7	24.7	26.4	24.9
90	69	10	14	99	14	67	29.8	30.5	24.7	24.5	24.5	26.4	24.8
95	69	10	14	99	14	67	29.8	30.5	24.6	24.3	24.4	26.4	24.7
100	69	10	14	99	14	67	29.8	30.5	24.4	24.2	24.3	26.5	24.6
105	69	10	14	99	14	67	29.8	30.5	24.3	24.0	24.2	26.3	24.5
110	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	24.0	23.9	24.0	26.3	24.4
115	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	24.0	23.8	23.9	26.3	24.3
120	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	24.0	23.7	23.9	26.4	24.2
125	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	23.9	23.6	23.8	26.3	24.1
130	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	23.9	23.6	23.8	26.3	24.0
135	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	23.8	23.5	23.7	26.4	23.9
140	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	23.8	23.5	23.7	26.4	23.9
145	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	23.7	23.4	23.7	26.3	23.8
150	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	23.7	23.4	23.6	26.3	23.8
155	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	23.6	23.3	23.5	26.2	23.9
160	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	23.6	23.3	23.4	26.2	23.7

ตารางที่ ง.3 (ต่อ)

เวลา(นาที)	ความชื้น (%RH)						อุณหภูมิ (°C)						
	$\%RH_{Ambient}$	$\%RH_{in}$	$\%RH_{DEC,in}$	$\%RH_{DEC,out}$	$\%RH_{IEC,out}$	$\%RH_{mixed}$	$T_{Ambient}$	T_{in}	$T_{DEC,in}$	T_{water}	$T_{DEC,out}$	$T_{IEC,out}$	T_{mixed}
165	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	23.5	23.3	23.3	26.2	23.7
170	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	23.5	23.2	23.3	26.3	23.6
175	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	23.5	23.2	23.3	26.2	23.6
180	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	23.5	23.3	23.3	26.2	23.5
185	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	23.4	23.2	23.3	26.3	23.5
190	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	23.4	23.2	23.3	26.2	23.5
195	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	23.4	23.3	23.3	26.2	23.6
200	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	23.3	23.2	23.3	26.3	23.6
205	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	23.3	23.2	23.3	26.2	23.5
210	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	23.3	23.2	23.2	26.2	23.5
215	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	23.4	23.3	23.3	26.3	23.5
220	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	23.3	23.2	23.2	26.2	23.5
225	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	23.4	23.2	23.2	26.3	23.5
230	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	23.3	23.3	23.3	26.3	23.5
235	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	23.3	23.2	23.2	26.2	23.5
240	69	10	14	99	15	67	29.8	30.5	23.3	23.2	23.2	26.2	23.5