

การทดลองเชิงศึกษาเกี่ยวกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง
ร่วมกับหน่วยลดความชื้นสำหรับภูมิอากาศแบบร้อนชื้น



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การทดลองเชิงศึกษาเกี่ยวกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง
ร่วมกับหน่วยลดความชื้นสำหรับภูมิอากาศแบบร้อนชื้น



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXPERIMENTAL STUDY OF DIRECT EVAPORATIVE COOLER WITH
DEHUMIDIFICATION FOR HOT AND HUMID CLIMATE



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF CHEMICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาบัตร

การทดลองเชิงศึกษาเกี่ยวกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทาง
ตรงร่วมกับหน่วยลดความชื้นสำหรับภูมิอากาศแบบร้อนชื้น

ชื่อนักศึกษา

นางสาวเบญจนาрі สิงห์รัตนพันธุ์

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตร

อ.บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาบัตรนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาบัตร

.....ประธานกรรมการ

(อ. บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์)

.....กรรมการ

(ผศ.ดร. พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์)

.....กรรมการ

(ผศ.ดร. สันติ วัฒนานุกรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การทดลองเชิงศึกษาเกี่ยวกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรงร่วมกับหน่วยลดความชื้นสำหรับภูมิอากาศแบบร้อนชื้น
ชื่อนักศึกษา	นางสาวเบญจนาрі สิงห์รัตนพันธุ์
รหัสประจำตัว	57010711
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	อ.บุญชัย โชติวิริยวานิชย์

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีจัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการทดลองเชิงศึกษาเกี่ยวกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรงร่วมกับหน่วยลดความชื้น โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรง ส่วนที่ 2 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรงร่วมกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจล ส่วนที่ 3 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยการเป่าอากาศผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจล ก่อนลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่อทองแดง และเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรงเป็นลำดับสุดท้าย และส่วนที่ 4 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องอัดอากาศร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรง จากผลการทดลองพบว่า การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องอัดอากาศเป็นหน่วยลดความชื้น สามารถลดอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมลงได้ต่ำที่สุดจากการทดลอง โดยสามารถลดอุณหภูมิของอากาศลงได้ประมาณ 4-6 องศาเซลเซียส ความชื้นขาออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรงอยู่ที่ประมาณ 73-99 %RH ซึ่งขณะทำการทดลองอากาศมีอุณหภูมิแวดล้อมประมาณ 30.3-31.0 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 66-80 %RH

Project Title	Experimental Study of Direct Evaporative Cooler with Dehumidification for Hot and Humid Climate
Student	Miss Benchanaree Singrattanaphan
Student ID.	57010711
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2017
Project Adviser	Mr. Boonchai Chotiviriyavanich

Abstract

This project is aimed at the experimental study of the direct evaporative cooler with the dehumidifier unit. The experiment was divided into 4 parts. Part 1 is the experimental study of air temperature reduction by using only a direct evaporative cooler. Part 2 is the experimental study of air temperature reduction by using the direct evaporative cooler with silica gel. Part 3 is the experimental study of air temperature reduction by using blower to blow the air through silica gel desiccant, then reduce the air temperature with copper coil. And finally, the direct evaporative cooling system was used. Part 4 is the experimental study of air temperature reduction by using the direct evaporative cooler with the air compressor to reduce humidity of the air. The results show that the experiment on reducing air temperature by using air compressor as a dehumidifier can make the lowest air temperature from all experiment. The air temperature can be reduced by about 4-6 degrees Celsius. The relative humidity of the air from the direct evaporative cooler is approximately 73-99 %RH. This experimental part started when the ambient air temperature is around 30.3-31.0 degrees Celsius and the relative humidity is around 66-80 %RH.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก อ. บุญชัย โชควิทยาวิเศษ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และเสนอแนะแนวทางในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานวิจัย รวมทั้งให้ความเอาใจใส่และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆภายในเล่มปริญญาานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ดียิ่งขึ้น ตลอดจนให้ความช่วยเหลือจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆในงานวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากอาจารย์เป็นอย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์ และ ผศ.ดร. สันติ วัฒนานุกรณ์ กรรมการสอบหัวข้อปริญญาานิพนธ์ ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ จนปริญญาานิพนธ์สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และผู้เชี่ยวชาญผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้คำปรึกษา สนับสนุนเครื่องมือ ตลอดจนให้ความรู้ในวิชาต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณนันทพงศ์ ไชยานุกุลกิตติ ที่คอยให้กำลังใจอยู่เคียงข้าง และให้คำแนะนำต่างๆตลอดจนความช่วยเหลือในทุกๆด้านสำหรับการทำงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อตรีเนตรและคุณแม่เบญรงค์ สิงห์รัตนพันธุ์ บิดามารดาของผู้วิจัย ที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกสิ่งทุกอย่าง จนทำให้ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงโดยสมบูรณ์ในที่สุด

เบญจนารี สิงห์รัตนพันธุ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I	
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II	
กิตติกรรมประกาศ.....	III	
สารบัญ.....	IV	
สารบัญตาราง.....	VII	
สารบัญรูป.....	IX	
บทที่ 1 บทนำ		
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1	
1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย.....	2	
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2	
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2	
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....		4
2.1 คุณสมบัติของอากาศ (Psychrometry)	4	
2.2 กระบวนการอิ่มตัวแบบแอดิเอแบติก (Adiabatic Saturation Process).....	8	
2.3 ระบบการทำความเย็นแบบระเหย (Evaporative Cooling System).....	9	
2.3.1 ระบบการทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (Direct Evaporative Cooling, DEC).....	9	
2.3.2 ระบบการทำความเย็นแบบระเหยโดยทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling, IEC).....	11	
2.3.3 ระบบการทำความเย็นแบบระเหยโดยทางอ้อมแบบ Regenerative (Regenerative Evaporative Cooling, R-IEC).....	13	
2.3.4 ระบบการทำความเย็นแบบระเหยโดยทางอ้อมแบบอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Indirect Evaporative cooling, D-IEC).....	15	

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 กระบวนการลดความชื้น (Dehumidification)	17
2.4.1 การลดความชื้นโดยใช้ระบบอากาศอัด (Compressed Air System).....	17
2.4.2 การลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้น (Desiccant Dehumidification).....	19
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	22
3.1 รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	22
3.1.1 สารดูดความชื้นซิลิกาเจล.....	22
3.1.2 เครื่องอัดอากาศ.....	22
3.1.3 เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง.....	23
3.1.4 เครื่องมีดวัดและการเก็บข้อมูล.....	24
3.2 วิธีการทดลอง.....	25
3.2.1 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหย โดยตรง (ส่วนที่ 1)	26
3.2.2 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหย โดยตรงร่วมกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจล (ส่วนที่ 2)	27
3.2.3 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยการเป่าอากาศผ่านสารดูดความ ชื้นซิลิกาเจล ก่อนลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่อทองแดง และเข้าสู่เครื่อง ทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงเป็นลำดับสุดท้าย (ส่วนที่ 3)	28
3.2.4 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องอัดอากาศร่วมกับ เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (ส่วนที่ 4)	29
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	31
4.1 ผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหย โดยตรง (ส่วนที่ 1)	31

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 ผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหย โดยทางตรงร่วมกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจล (ส่วนที่ 2).....	34
4.3 ผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยการเป่าอากาศผ่านสารดูดความชื้น ซิลิกาเจล ก่อนลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่อทองแดง และเข้าสู่เครื่องทำความเย็น แบบระเหยโดยทางตรงเป็นลำดับสุดท้าย (ส่วนที่ 3).....	39
4.4 ผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องอัดอากาศร่วมกับเครื่องทำ ความเย็นแบบระเหยโดยทางตรง (ส่วนที่ 4).....	44
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	49
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	49
5.2 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยต่อไป.....	50
เอกสารอ้างอิง.....	52
ภาคผนวก.....	53
ภาคผนวก ก ข้อมูลผลการทดลองโดยใช้เพียงเครื่องทำความเย็นแบบระเหย โดยทางตรง (ส่วนที่ 1)	53
ภาคผนวก ข ข้อมูลผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำ ความเย็นแบบระเหยโดยทางตรงร่วมกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจล (ส่วนที่ 2).....	64
ภาคผนวก ค ข้อมูลผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำ ความเย็นแบบระเหยโดย ทางตรงร่วมกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจล และท่อทองแดง (ส่วนที่ 3)	75
ภาคผนวก ง ข้อมูลผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องอัด อากาศร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรง.....	92
ภาคผนวก จ แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart).....	103
ประวัติผู้เขียน.....	105

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 รายละเอียดของเครื่องอัดอากาศที่ใช้ในการทดลอง.....	23
4.1 สรุปผลที่ได้จากการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็น แบบระเหยโดยตรง (ส่วนที่ 1).....	33
4.2 สรุปผลที่ได้จากการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็น แบบระเหยโดยตรงร่วมกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจล (ส่วนที่ 2).....	36
4.3 สรุปผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยการเป่าอากาศผ่านสารดูดความชื้น ซิลิกาเจล ก่อนลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่อทองแดง และเข้าสู่เครื่องทำความเย็น แบบระเหยโดยตรงเป็นลำดับสุดท้าย (ส่วนที่ 3).....	40
4.4 สรุปผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องอัดอากาศร่วมกับเครื่องทำ ความเย็นแบบระเหยโดยตรง (ส่วนที่ 4).....	45
ก.1 ตารางบันทึกผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เพียงเครื่องทำความเย็น แบบระเหยโดยตรง ที่ความเร็วลม 5522.5 ลิตรต่อชั่วโมง (4 กรกฎาคม 2561, 18.19-22.49 น.).....	54
ก.2 ตารางบันทึกผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เพียงเครื่องทำความเย็น แบบระเหยโดยตรง ที่ความเร็วลม 5522.5 ลิตรต่อชั่วโมง (5 กรกฎาคม 2561, 0.00-4.30 น.).....	59
ข.1 ตารางบันทึกผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็น แบบระเหยโดยตรงร่วมกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจลด้านหน้า 514.35 กรัม ที่ความเร็วลม 5516.1 ลิตรต่อชั่วโมง (1 กรกฎาคม 2561, 0.25-1.05 น.)	65
ข.2 ตารางบันทึกผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็น แบบระเหยโดยตรงร่วมกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจลด้านหน้า 1200.02 กรัม ที่ความเร็วลม 5481.4 ลิตรต่อชั่วโมง (7 กรกฎาคม 2561, 23.00-3.30 น.)	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.1 ตารางบันทึกผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยการเป่าอากาศผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจล ก่อนลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่อทองแดง และเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงเป็นลำดับสุดท้าย โดยใช้สารดูดความชื้นซิลิกาเจลน้ำหนัก 514.35 กรัม ที่ความเร็วลม 5516.1 ลิตรต่อชั่วโมง (3 กรกฎาคม 2561, 0.30-5.00 น.).....	76
ค.2 ตารางบันทึกผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยการเป่าอากาศผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจล ก่อนลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่อทองแดง และเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงเป็นลำดับสุดท้าย โดยใช้สารดูดความชื้นซิลิกาเจลน้ำหนัก 1200.04 กรัม ที่ความเร็วลม 5481.4 ลิตรต่อชั่วโมง (6 กรกฎาคม 2561, 22.00-2.30 น.).....	84
ง.1 ตารางบันทึกผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องอัดอากาศร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงไม่หุ้มฉนวน ที่ความเร็วลม 5500 ลิตรต่อชั่วโมง (29 มิถุนายน 2561, 20.35-1.05 น.).....	93
ง.2 ตารางบันทึกผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องอัดอากาศร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงหุ้มฉนวน ที่ความเร็วลม 8500 ลิตรต่อชั่วโมง (8 กรกฎาคม 2561, 5.30-10.00 น.).....	98

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1	แผนภูมิไซโครเมตริกและโครงสร้างโดยทั่วไป..... 5
รูปที่ 2.2	กระบวนการอิมัลชันแบบแอเดียเบติกและแผนภูมิไซโครเมตริกของกระบวนการ..... 9
รูปที่ 2.3	แผนภาพแสดงโครงสร้างการทำงานและรูปแบบการไหลของน้ำและอากาศในระบบ DEC... 10
รูปที่ 2.4	แผนภูมิไซโครเมตริกแสดงกระบวนการทำงานของระบบ DEC..... 10
รูปที่ 2.5	แผนภูมิไซโครเมตริกแสดงกระบวนการทำงานของระบบแบบ IEC..... 11
รูปที่ 2.6	แผนภาพแสดงโครงสร้างการทำงานและรูปแบบการไหลของน้ำและอากาศในระบบ แบบ IEC..... 12
รูปที่ 2.7	แผนภาพแสดงโครงสร้างการทำงานและรูปแบบการไหลของน้ำและอากาศในระบบแบบ R-IEC..... 13
รูปที่ 2.8	แผนภูมิไซโครเมตริกแสดงกระบวนการทำงานของระบบ R-IEC..... 14
รูปที่ 2.9	แผนภาพแสดงโครงสร้างการทำงานและรูปแบบการไหลของน้ำและอากาศในระบบ D-IEC..... 15
รูปที่ 2.10	แผนภูมิไซโครเมตริกแสดงกระบวนการทำงานของระบบ D-IEC..... 16
รูปที่ 2.11	แสดงลักษณะภายในเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ..... 18
รูปที่ 2.12	แสดงเครื่องอัดอากาศแบบหมุนเหวี่ยง..... 19
รูปที่ 2.13	แสดงกระบวนการลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้นบนแผนภาพไซโครเมตริก..... 19
รูปที่ 2.14	สารดูดความชื้นซิลิกาเจลสีต่างๆ..... 20
รูปที่ 3.1	อุปกรณ์ลดความชื้นสำหรับบรรจุซิลิกาเจล 514.35 กรัม..... 22
รูปที่ 3.2	อุปกรณ์ลดความชื้นสำหรับบรรจุซิลิกาเจล 1200 กรัม..... 22
รูปที่ 3.3	เครื่องอัดอากาศสำหรับใช้ในการทดลอง ที่ความดัน 7-9 บาร์..... 23
รูปที่ 3.4	เครื่องทำความเย็นแบบระเหยที่ใช้ในการทดลอง..... 24
รูปที่ 3.5	เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นดิจิตอล..... 25
รูปที่ 3.6	เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล..... 25
รูปที่ 3.7	เครื่องวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตร (Rotameter)..... 25
รูปที่ 3.8	การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหย โดยตรง (ส่วนที่ 1)..... 26

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.9 การลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดย ทางตรงร่วมกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจล (ส่วนที่ 2).....	27
รูปที่ 3.10 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยการเป่าอากาศผ่านสารดูดความชื้น ซิลิกาเจล ก่อนลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่อทองแดง และเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบ ระเหยโดยทางตรงเป็นลำดับสุดท้าย (ส่วนที่ 3).....	28
รูปที่ 3.11 การลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องอัดอากาศร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบ ระเหยโดยทางตรง (ส่วนที่ 4).....	30
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองส่วนที่ 1).....	32
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองส่วนที่ 1).....	32
รูปที่ 4.3 อุณหภูมิต่ำสุดที่เป็นไปได้ของอากาศจากผลการทดลองส่วนที่ 1 เมื่อดูจากแผนภูมิไซโครเมตริก.....	34
รูปที่ 4.4 การลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรง ร่วมกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจลดน้ำหนัก 1200.02 กรัม (การทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 2).....	35
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 1).....	36
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 1).....	37
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 2).....	37
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 2)	38
รูปที่ 4.9 อุณหภูมิต่ำสุดที่เป็นไปได้ของอากาศจากผลการทดลองส่วนที่ 2 เมื่อดูจากแผนภูมิไซโครเมตริก.....	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองส่วนที่ 3 ครั้งที่ 1).....	41
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองส่วนที่ 3 ครั้งที่ 1).....	42
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองส่วนที่ 3 ครั้งที่ 2).....	42
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองส่วนที่ 3 ครั้งที่ 2).....	43
รูปที่ 4.14 อุณหภูมิต่ำสุดที่เป็นไปได้ของอากาศจากผลการทดลองส่วนที่ 3 เมื่อดูจากแผนภูมิไฮโครเมตริก.....	44
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองส่วนที่ 4 ครั้งที่ 1).....	46
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองส่วนที่ 4 ครั้งที่ 1).....	46
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองส่วนที่ 4 ครั้งที่ 2).....	47
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองส่วนที่ 4 ครั้งที่ 2).....	47
รูปที่ 4.19 อุณหภูมิต่ำสุดที่เป็นไปได้ของอากาศจากผลการทดลองส่วนที่ 4 เมื่อดูจากแผนภูมิไฮโครเมตริก.....	48
รูปที่ ก.1 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศและน้ำที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ของการทดลองส่วนที่ 1 ครั้งที่ 1.....	58
รูปที่ ก.2 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ของการทดลองส่วนที่ 1 ครั้งที่ 1.....	58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ ก.3 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศและน้ำที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ของการทดลองส่วนที่ 1 ครั้งที่ 2.....	63
รูปที่ ก.4 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ของการทดลองส่วนที่ 1 ครั้งที่ 2.....	63
รูปที่ ข.1 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศและน้ำที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ของการทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 1.....	69
รูปที่ ข.2 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ของการทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 1.....	69
รูปที่ ข.3 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศและน้ำที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ของการทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 2.....	74
รูปที่ ข.4 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ของการทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 2.....	74
รูปที่ ค.1 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศและน้ำที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ของการทดลองส่วนที่ 3 ครั้งที่ 1.....	83
รูปที่ ค.2 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ของการทดลองส่วนที่ 3 ครั้งที่ 1.....	83
รูปที่ ค.3 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศและน้ำที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ของการทดลองส่วนที่ 3 ครั้งที่ 2.....	91
รูปที่ ค.4 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ของการทดลองส่วนที่ 3 ครั้งที่ 2.....	91
รูปที่ ง.1 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศและน้ำที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ของการทดลองส่วนที่ 4 ครั้งที่ 1.....	97
รูปที่ ง.2 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ของการทดลองส่วนที่ 4 ครั้งที่ 1.....	97

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ ง.3 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศและน้ำที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ของการทดลองส่วนที่ 4 ครั้งที่ 2.....	102
รูปที่ ง.4 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา ของการทดลองส่วนที่ 4 ครั้งที่ 2.....	102
รูปที่ จ.1 แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart).....	104



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากประเทศไทยมีสภาพอากาศที่ค่อนข้างร้อน ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการใช้เครื่องปรับอากาศกันอย่างแพร่หลาย แต่โดยทั่วไปแล้วเครื่องปรับอากาศมีข้อเสียหลักคือใช้สารเคมี หรือที่เรียกว่าสารทำความเย็น เป็นสารหล่อเย็นไหลเวียนอยู่ภายในระบบของเครื่องปรับอากาศ โดยสารทำความเย็นเหล่านี้เป็นหนึ่งในตัวทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศและก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ซึ่งแม้ว่าในปัจจุบันจะมีการคิดค้นและพัฒนาสารทำความเย็นที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลงมาบ้างแล้วก็ตาม อีกทั้งเครื่องปรับอากาศยังสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเป็นอย่างมาก ด้วยเหตุนี้จึงมีการคิดค้นเทคโนโลยีประเภทอื่นขึ้นมาเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ หนึ่งในเทคโนโลยีทางเลือกนั้นก็คือเครื่องทำความเย็นแบบระเหย ซึ่งเป็นระบบปรับอากาศประเภทหนึ่งที่ประหยัดพลังงานได้มาก และไม่มีการใช้สารเคมี จึงไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อชั้นโอโซนในบรรยากาศ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในธรรมชาติล้วนแต่มีระบบการทำความเย็นแบบระเหยเกิดขึ้นมาได้เอง ยกตัวอย่างเช่น บริเวณใกล้กับน้ำตกหรือธารน้ำ บริเวณผิวน้ำเหนือทะเลสาบ ทะเล และมหาสมุทร หรือพื้นผิวใดๆก็ตามที่มีความเปียกชื้น เป็นต้น ถึงแม้ว่าระบบการทำความเย็นแบบระเหยจะมีข้อดีมากมาย แต่ข้อเสียของระบบนี้คือ ไม่เหมาะสมต่อการใช้งานในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น เนื่องจากภูมิอากาศเช่นนี้จะทำให้เครื่องทำความเย็นมีความสามารถในการลดอุณหภูมิของอากาศได้น้อยลงเป็นอย่างมาก

จากสาเหตุข้างต้นที่กล่าวมาทั้งหมด จึงเกิดงานวิจัยมากมายเกี่ยวกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหย ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทยที่ทำให้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยมีประสิทธิภาพต่ำลงมาก งานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงมีจุดมุ่งหมายไปที่การสร้างเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรง โดยเพิ่มส่วนของหน่วยลดความชื้นเข้าไปก่อนเข้าสู่ส่วนของการลดอุณหภูมิ เพื่อให้ความชื้นในอากาศลดลงต่ำมากที่สุด และส่งผลทำให้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยมีประสิทธิภาพสูงที่สุดตามมา

1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษา ทดสอบ และเปรียบเทียบความสามารถในการลดอุณหภูมิของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรงร่วมกับหน่วยลดความชื้น โดยเทียบกับกรณีที่ลดอุณหภูมิโดยไม่ใช้หน่วยลดความชื้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ออกแบบและติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรงร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้
 - ส่วนที่ 1 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรง
 - ส่วนที่ 2 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรงร่วมกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจล
 - ส่วนที่ 3 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยการเป่าอากาศผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจล ก่อนลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่อทองแดง และเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรงเป็นลำดับสุดท้าย
 - ส่วนที่ 4 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องอัดอากาศร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรง
2. ทดสอบการลดอุณหภูมิของอากาศด้วยเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรง
3. เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ทั้งหมดด้วยกัน เพื่อดูว่าการทดลองใดสามารถลดอุณหภูมิของอากาศได้มากที่สุด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจหลักการทำงานของระบบการทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรงมากยิ่งขึ้น
2. เข้าใจขั้นตอนต่างๆในการทำโครงการงานวิจัยมากขึ้น
3. สามารถนำระบบการทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรงไปประยุกต์ใช้กับงานภาคอุตสาหกรรมหรือเกษตรกรรมได้ เช่น การประยุกต์ใช้งานในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น
4. เครื่องทำความเย็นแบบระเหยไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีสำหรับเป็นสารหล่อเย็น ดังนั้นอากาศที่ได้จากเครื่องทำความเย็นประเภทนี้จึงไม่ก่อให้เกิดมลพิษหรือทำลายสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทำให้ทราบถึงปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อความสามารถในการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทดลองเชิงศึกษาเกี่ยวกับการทำความเย็นด้วยเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรงร่วมกับหน่วยลดความชื้น มีความจำเป็นต้องศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับข้อมูลพื้นฐานและทฤษฎีต่างๆที่สำคัญ โดยในบทนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าข้อมูลตามหัวข้อต่อไปนี้

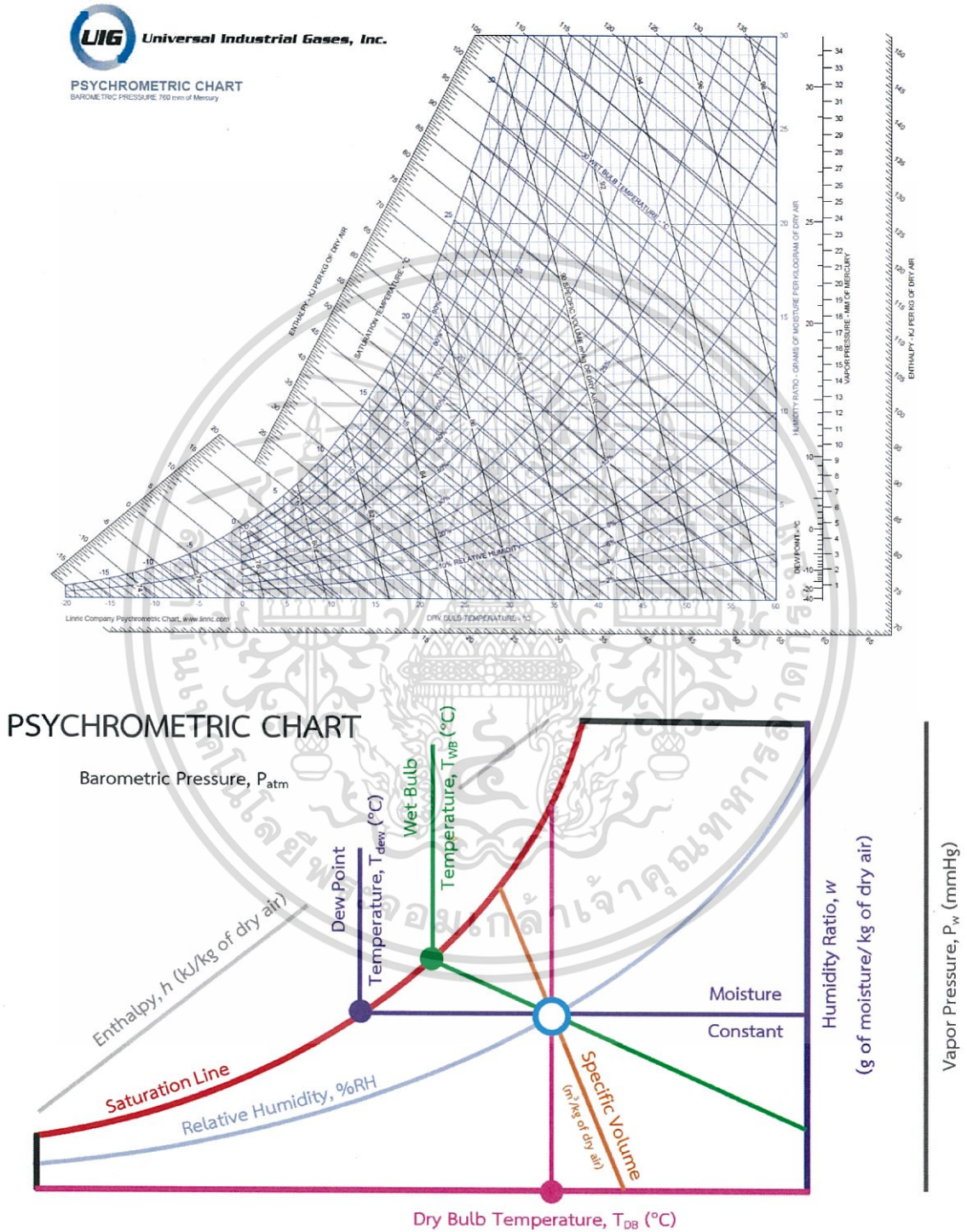
- คุณสมบัติของอากาศ (Psychrometry)
- กระบวนการอิ่มตัวแบบแอดิยาเบติก (Adiabatic Saturation Process)
- ระบบการทำความเย็นแบบระเหย (Evaporative Cooling System)
- กระบวนการลดความชื้น (Dehumidification)
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณสมบัติของอากาศ (Psychrometry) [3]

บนพื้นผิวโลกของเราจะประกอบไปด้วยชั้นอากาศที่เรียกว่า ชั้นบรรยากาศ (Atmosphere) โดยชั้นบรรยากาศที่อยู่ติดกับพื้นผิวโลกมากที่สุด หรือชั้นโฮโมสเฟียร์ (Homosphere) จะประกอบไปด้วยอากาศแห้งและไอน้ำ หรือที่เรียกว่า Moist Air โดยที่ไอน้ำนั้นจะมีน้ำหนักเบากว่าอากาศ ดังจะเห็นได้จากเมฆที่ลอยอยู่บนท้องฟ้า ซึ่งเกิดจากการรวมตัวหรือเกาะกลุ่มกันของไอน้ำในอากาศ

การศึกษาคุณสมบัติของอากาศนั้น สามารถอ่านได้จากแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart) ซึ่งเป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของของผสมระหว่างอากาศและไอน้ำในชั้นบรรยากาศ รวมทั้งยังมีประโยชน์สำหรับการคำนวณ วิเคราะห์ และแก้ปัญหาที่ซับซ้อนเกี่ยวกับกระบวนการและวัฏจักรการทำงานของเครื่องปรับอากาศ โดยทั่วไปแล้วแผนภูมิไซโครเมตริกจะใช้กับความดันคงที่ค่าหนึ่งที่ระบุเอาไว้ภายในแผนภูมินั้น ความดันดังกล่าวที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือความดันอากาศที่ระดับน้ำทะเล (ความดัน 1 บรรยากาศ) ซึ่งบนแผนภูมิไซโครเมตริกนี้จะประกอบไปด้วยค่าพารามิเตอร์หรือตัวแปรต่างๆ คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิกระเปาะเปียก อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราส่วนความชื้น เอนทัลปีของอากาศ ความดันไอน้ำ และปริมาตร

จำเพาะ ดังที่แสดงเอาไว้ในรูปที่ 2.1 ซึ่งถ้าหากทราบตัวแปรเพียง 2 ตัวใดๆก็ตามในกลุ่มนี้ ก็จะสามารถหาค่าของตัวแปรที่เหลือได้



รูปที่ 2.1 แผนภูมิไซโครเมตริกและโครงสร้างโดยทั่วไป [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของตัวแปรต่างๆที่ปรากฏบนแผนภูมิไซโครเมตริกมีดังนี้

1) อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature)

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง คืออุณหภูมิของอากาศที่สามารถวัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์หรือเครื่องบันทึกอุณหภูมิต่างๆทั่วไป มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) หรือองศาฟาเรนไฮต์ ($^{\circ}\text{F}$) โดยในแผนภูมิไซโครเมตริกนั้น จะสามารถอ่านค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งได้จากเส้นตรงในแนวตั้ง โดยตัวเลขของอุณหภูมิจะอยู่ด้านล่างของแผนภูมิ

2) อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature)

อุณหภูมิกระเปาะเปียก คืออุณหภูมิของอากาศที่วัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์ที่มีผ้าหรือสำลีเปียกน้ำหุ้มอยู่ที่บริเวณกระเปาะวัด ซึ่งอุณหภูมิที่อ่านได้ จะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่ทำการวัดในเวลาเดียวกัน เนื่องจากเมื่อน้ำระเหยออกจากผ้าเปียกที่หุ้มกระเปาะอยู่ออกสู่บรรยากาศโดยรอบ น้ำที่ระเหยจะดึงเอาความร้อนออกไปด้วย ส่งผลทำให้ผ้าที่หุ้มกระเปาะอยู่เย็นตัวลง ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จึงต่ำลง แต่ในกรณีที่อากาศในชั้นบรรยากาศโดยรอบอ้อมตัวไปด้วยไอน้ำแล้ว หรือก็คืออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ 100% น้ำจะไม่สามารถระเหยออกจากผ้าที่หุ้มกระเปาะได้อีก ดังนั้นค่าที่อ่านได้จากอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ณ เวลานั้นจะมีค่าเท่ากัน ในแผนภูมิไซโครเมตริก จะสามารถอ่านค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกได้จากเส้นตรงที่ทแยงมุมจากล่างขวา ไปยังบนซ้าย

3) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature)

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง คืออุณหภูมิที่อากาศมีไอน้ำอิ่มตัว จนกระทั่งไอน้ำเริ่มกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำบนพื้นผิวที่อากาศไปสัมผัสโดน ในแผนภูมิไซโครเมตริกจะสามารถอ่านได้จากเส้นตรงในแนวนอน ตัวเลขที่แสดงจะใช้ตัวเลขเดียวกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก โดยแสดงอยู่บนเส้นโค้งด้านซ้ายของแผนภูมิ ซึ่งเป็นเส้นอุณหภูมิอิ่มตัว หรือก็คือเส้นความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100%

4) อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio, ω)

อัตราส่วนความชื้น หรือสามารถเรียกว่า ความชื้นจำเพาะหรือความชื้นสัมบูรณ์ (Specific or Absolute Humidity) คืออัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศเทียบกับมวลของอากาศแห้ง ที่ปริมาตรและอุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาจากอากาศแห้ง 1 กิโลกรัม อากาศแห้งที่ไม่มีไอน้ำเจือปนอยู่เลยจะมีค่าอัตราส่วนความชื้นเท่ากับศูนย์ เมื่อเพิ่มไอน้ำบางส่วนเข้าไปในอากาศแห้งนี้ ค่าอัตราส่วนความชื้นก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น หากเพิ่มไอน้ำมากยิ่งขึ้นไปจนกระทั่งอากาศไม่สามารถ

รองรับปริมาณของไอน้ำได้อีก เราจะเรียกอากาศที่จุดนี้ว่า “อากาศอิ่มตัว” ซึ่งในแผนภูมิไซโครเมตริก นั้น ค่าอัตราส่วนความชื้นสามารถอ่านได้จากเส้นตรงแนวนอน โดยตัวเลขจะอ่านได้จากทางด้านขวามือของแผนภูมิ

$$\text{อัตราส่วนความชื้น } (\omega) = \frac{\text{มวลของไอน้ำในอากาศ } (m_v)}{\text{มวลของอากาศแห้ง } (m_a)} \quad (\text{g water vapor/dry air})$$

5) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, %RH)

ความชื้นสัมพัทธ์ คืออัตราส่วนระหว่างปริมาณของไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ เทียบกับปริมาณของไอน้ำที่ทำให้อากาศอิ่มตัว ณ ขณะนั้น โดยเปรียบเทียบที่ปริมาตรและอุณหภูมิที่เท่ากัน ซึ่งปริมาณของไอน้ำในอากาศนั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศ อากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะสามารถกักเก็บไอน้ำได้มากกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้นถ้าอุณหภูมิของอากาศลดลงเรื่อยๆจนถึงจุดที่ทำให้เกิดสถานะ “อากาศอิ่มตัว” ที่จุดนี้อากาศจะมีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100% และไม่สามารถรองรับปริมาณของไอน้ำได้อีกต่อไป ซึ่งถ้าหากอุณหภูมิของอากาศยังคงลดต่ำลงไปอีก ไอน้ำจะควบแน่นและเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว โดยอุณหภูมิที่ทำให้ไอน้ำเกิดการควบแน่นนี้จะเรียกว่า “อุณหภูมิจุดน้ำค้าง” (Dew Point Temperature) ซึ่งในแผนภูมิไซโครเมตริก เส้นความชื้นสัมพัทธ์จะเป็นเส้นโค้งเอียงจากล่างซ้ายขึ้นไปยังบนขวา ตัวเลขสามารถอ่านได้จากบริเวณตรงกลางของเส้นโค้ง (1% - 90%) เส้นโค้งซ้ายสุดจะเป็นเส้นโค้งที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100%

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์ } (\%RH) = \frac{\text{ปริมาณไอน้ำที่อยู่ในอากาศ } (m_v)}{\text{ปริมาณไอน้ำที่ทำให้อากาศอิ่มตัว } (m_g)} \times 100\%$$

6) ความดันไอน้ำ (Water Vapor Pressure)

ความดันไอน้ำ คือความดันที่เกิดขึ้นจากโมเลกุลของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ โดยอากาศที่มีปริมาณไอน้ำมาก จะมีค่าความดันไอน้ำสูงกว่าอากาศที่มีปริมาณไอน้ำน้อยกว่า โดยปกติแล้วไอน้ำหรือความชื้นเหล่านี้ จะถ่ายเทจากบริเวณที่มีความดันไอน้ำสูงไปยังบริเวณที่มีความดันไอน้ำต่ำกว่า ซึ่งหลักการนี้มักใช้กับการลดความชื้นของอากาศ

7) ความดันไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Vapor Pressure)

ความดันไอน้ำอิ่มตัว คือความดันไอน้ำที่มากที่สุดที่อุณหภูมิของอากาศ ณ ขณะนั้นจะสามารถรองรับได้ เกิดขึ้นในกรณีที่อากาศถูกบรรจุลงในภาชนะปิดที่มีของเหลวบรรจุร่วมอยู่ด้วย ซึ่งความดันไอน้ำอิ่มตัวนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศเพียงอย่างเดียว

8) เอนทัลปีของอากาศ (Enthalpy)

เอนทัลปีของอากาศ คือค่าปริมาณความร้อนที่มีอยู่ในอากาศ ณ ขณะนั้น มีหน่วยเป็น กิโลจูลต่อกิโลกรัมของอากาศแห้ง (kJ/kg dry air) โดยในแผนภูมิไซโครเมตริกจะอยู่บนเส้นเดียวกันกับเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียก โดยเป็นเส้นทแยงมุมจากล่างขวาไปยังบนซ้าย ตัวเลขสามารถอ่านได้จากทางด้านบนซ้ายของแผนภูมิ

9) ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume)

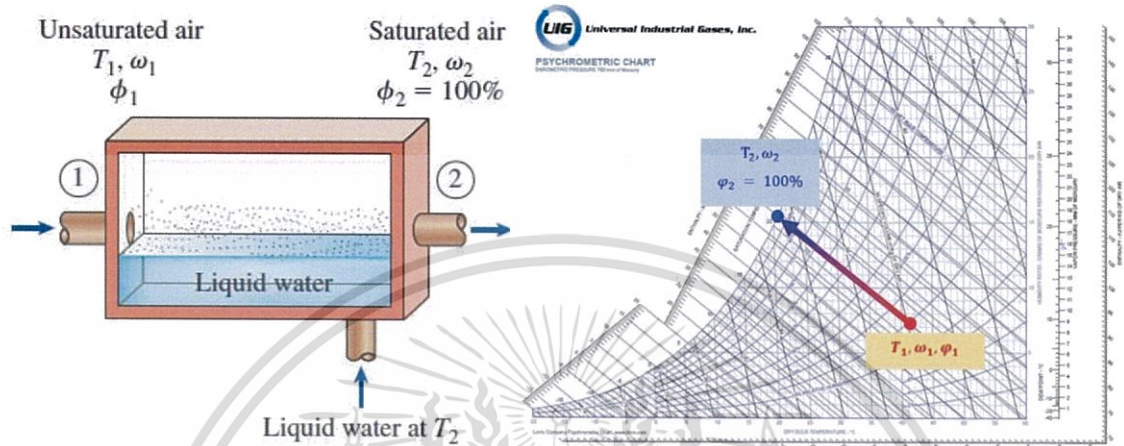
ปริมาตรจำเพาะ คือปริมาตรของอากาศ ณ ขณะนั้นต่อน้ำหนักของอากาศแห้ง 1 กิโลกรัม มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของอากาศแห้ง (m^3/kg dry air) จากแผนภูมิไซโครเมตริกจะสามารถอ่านได้จากเส้นตรงแนวเอียง โดยตัวเลขจะแสดงอยู่ประมาณตรงกลางของเส้น

2.2 กระบวนการอิ่มตัวแบบแอดิยาเบติก (Adiabatic Saturation Process) [10]

หลักการพื้นฐานของระบบการทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงอย่างง่ายของความร้อนจำเพาะไปเป็นความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะ โดยอากาศที่ไม่อิ่มตัวจะถูกทำให้เย็นลงโดยสัมผัสกับน้ำ ความร้อนจำเพาะบางส่วนในอากาศจะถ่ายเทเข้าไปในน้ำ และกลายเป็นความร้อนแฝงที่ทำให้ น้ำบางส่วนระเหยและเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ จากนั้นความร้อนแฝงก็จะเคลื่อนที่ตามไอน้ำที่ระเหยออกมาแพร่เข้าสู่อากาศ

ถ้าหากกระบวนการที่เกิดขึ้นเป็นกระบวนการแอดิยาเบติก ก็จะไม่มีการสูญเสียหรือรับเอาความร้อนจากสภาพแวดล้อมโดยรอบที่อยู่รอบระบบเข้ามา ดังนั้นอุณหภูมิของอากาศที่สัมผัสกับน้ำก็จะลดลงเนื่องจากอากาศสูญเสียความร้อนไปให้น้ำในรูปของความร้อนจำเพาะ ความร้อนจำเพาะที่ถ่ายเทเข้าสู่ น้ำเมื่อเปลี่ยนไปเป็นความร้อนแฝงที่ส่งผลทำให้ น้ำบางส่วนระเหยกลายเป็นไอแล้ว ไอน้ำก็จะแพร่เข้าสู่อากาศ ทำให้ความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้นและมีอุณหภูมิลดลง ซึ่งการแลกเปลี่ยนความร้อนจำเพาะไปเป็นความร้อนแฝงจากอากาศไปน้ำ ที่ทำให้ อุณหภูมิของอากาศลดลง จะเกิดขึ้นจนกว่าจะถึงจุดที่อากาศอิ่มตัว หรือก็คือไม่สามารถรองรับปริมาณไอน้ำได้อีกต่อไปแล้ว ณ จุดนี้จะเป็นจุดอุณหภูมิอิ่มตัวของอากาศ นั่น

คืออากาศจะไม่สามารถถูกลดอุณหภูมิได้อีกต่อไป อุณหภูมิกับความดันไอของอากาศ และอุณหภูมิกับความดันไอน้ำจะมีค่าเท่ากัน โดยไม่มีการแลกเปลี่ยนหรือถ่ายเทความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอกเข้ามาในระบบ จึงเรียกกระบวนการนี้ว่ากระบวนการอิมตัวแบบแอเดียเบติก



รูปที่ 2.2 กระบวนการอิมตัวแบบแอเดียเบติกและแผนภูมิไซโครเมตริกของกระบวนการ [6,8]

2.3 ระบบทำความเย็นแบบระเหย (Evaporative Cooling System) [7]

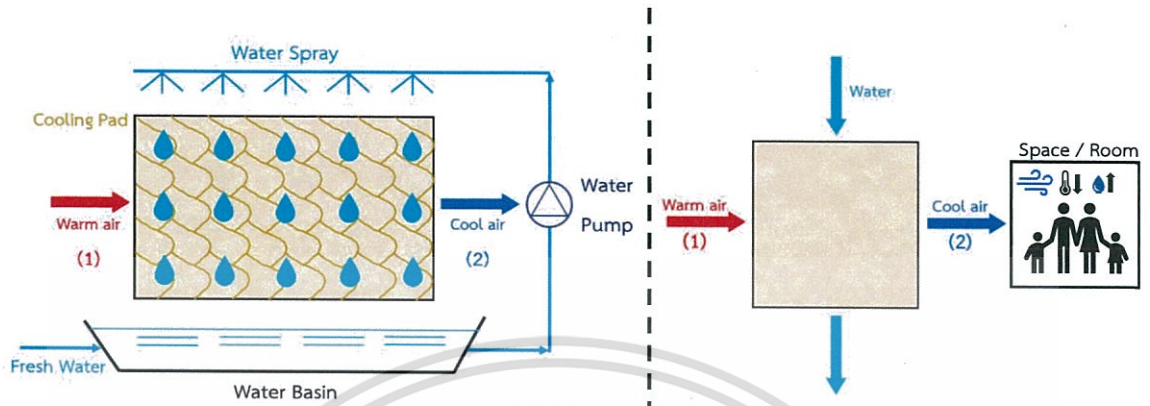
เทคโนโลยีการทำความเย็นแบบระเหยจะอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนและมวลสารระหว่างอากาศกับน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปจะสามารถแบ่งระบบการทำความเย็นแบบระเหยออกได้ 2 ประเภทหลักด้วยกัน คือ ระบบการทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (Direct Evaporative Cooling System) และระบบการทำความเย็นแบบระเหยโดยทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling System) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 ระบบการทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (Direct Evaporative Cooling, DEC)

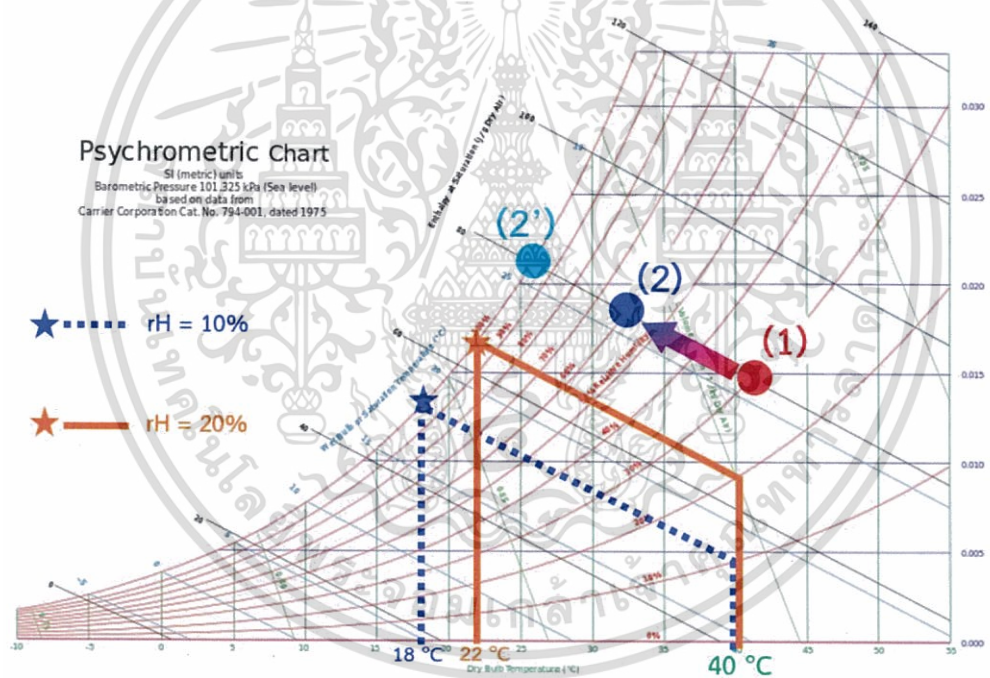
ระบบการทำความเย็นแบบระเหยประเภทนี้มีรูปแบบการทำงานพื้นฐาน แสดงไว้ดังรูปที่ 2.3 คือเริ่มจากอากาศร้อนขาเข้า (1) เคลื่อนที่ผ่านแผงรังผึ้งหรือคูลลิ่งแพด (Cooling Pad) ที่มีน้ำพ่นเป็นละอองจากด้านบนลงมายังแผง จากนั้นความร้อนที่อยู่ภายในอากาศร้อนขาเข้า (1) จะเคลื่อนที่เข้าไปภายในน้ำ ส่งผลทำให้น้ำบางส่วนระเหยกลายเป็นไอ ปนเข้าไปกับอากาศที่ไหลผ่าน จึงทำให้อากาศที่ขาออก (2) มีอุณหภูมิลดลง แต่มีความชื้นเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งกระบวนการทำงานทั้งหมดตั้งแต่ขั้นตอน (1) ไปจนถึง (2) จะมีเอนทัลปีคงที่ และมีเส้นทางการดำเนินไปของกระบวนการตามที่แสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไว้ในรูปที่ 2.4 โดยจะเห็นได้ว่าระบบการทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงจะมีโอกาสลดอุณหภูมิได้ต่ำสุดที่สถานะอิ่มตัว (2') เท่านั้น



รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงโครงสร้างการทำงานและรูปแบบการไหลของน้ำและอากาศในระบบ DEC



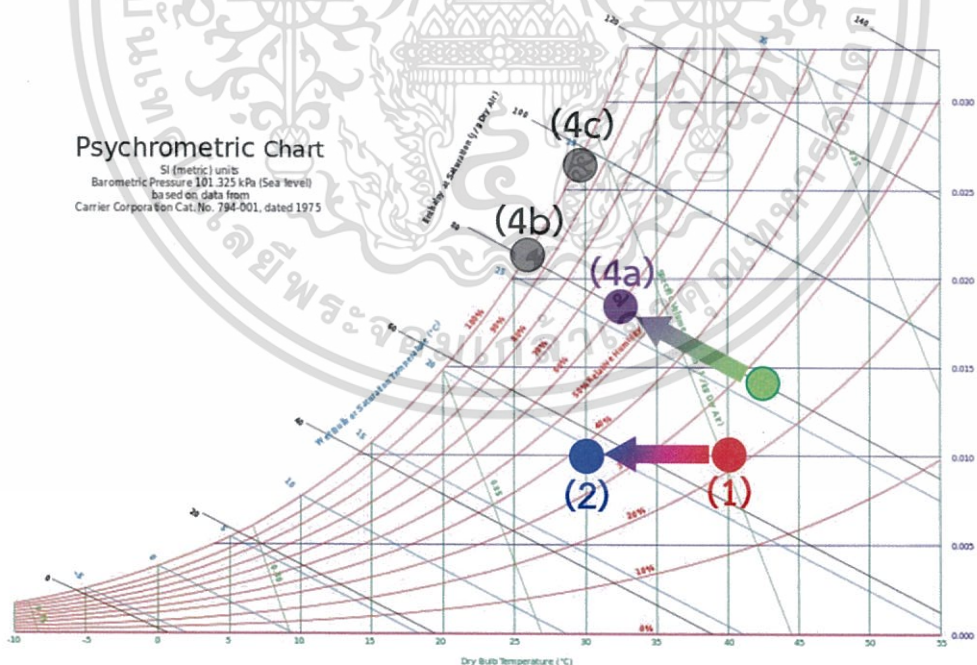
รูปที่ 2.4 แผนภูมิไซโครเมตริกแสดงกระบวนการทำงานของระบบ DEC

ข้อดีของระบบการทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง คือมีโครงสร้างของระบบที่ไม่ซับซ้อน และสามารถทำได้ง่าย แต่มีข้อเสียหลักคืออากาศขาออกจะมีความชื้นที่เพิ่มสูงขึ้นเสมอ และจากรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่า ยิ่งในอากาศมีความชื้นสูงขึ้นมากเท่าไร ความสามารถในการลดอุณหภูมิก็จะยิ่งลดต่ำลงเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

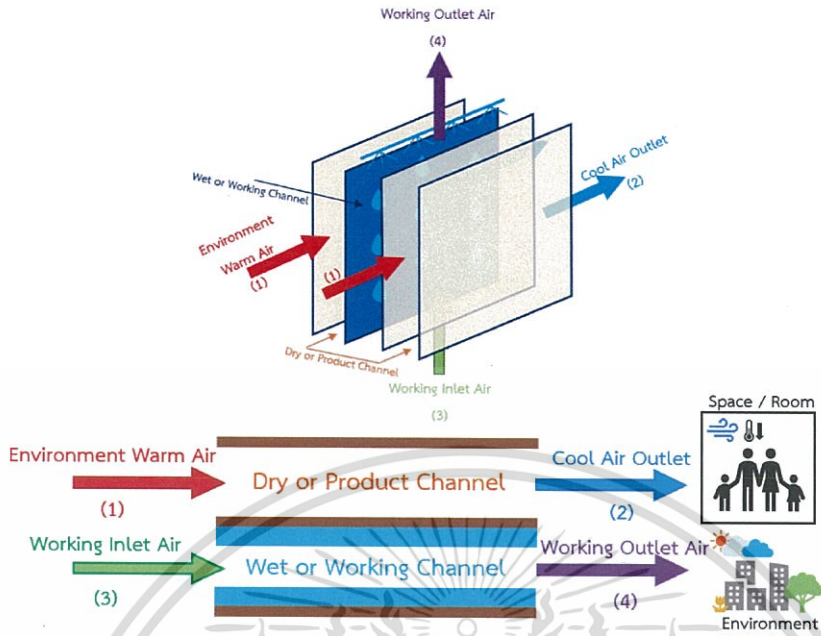
2.3.2 ระบบการทำความเย็นแบบระเหยโดยทางอ้อม (Indirect Evaporative Cooling, IEC)

หลักการการทำงานของระบบการทำความเย็นแบบระเหยโดยทางอ้อม แสดงเอาไว้ดังรูปที่ 2.6 คือ เริ่มจากอากาศร้อนขาเข้า (1) เคลื่อนที่ผ่านช่องทางแห้ง (Dry Channel) อากาศร้อนขาเข้า (3) จะเคลื่อนที่ผ่านช่องทางเปียก (Wet Channel) ซึ่งช่องทางเปียกนี้จะมีหลักการการทำงานเหมือนกับระบบแบบ DEC การไหลของอากาศร้อนขาเข้า (1) ในช่องทางแห้ง และการไหลของอากาศร้อนขาเข้า (3) ในช่องทางเปียก จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกัน ความร้อนจากอากาศร้อนขาเข้า (3) จะถ่ายเทเข้าไปในน้ำ ทำให้น้ำบางส่วนระเหยกลายเป็นไอด้วยความร้อนแฝง (Latent Heat) อากาศเย็นขาออก (4) จึงมีอุณหภูมิลดลง แต่จะมีความชื้นเพิ่มขึ้นโดยที่เอนทัลปีคงที่ ส่วนอากาศร้อนขาเข้า (1) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านช่องทางแห้งออกไปเป็นอากาศเย็นขาออก (2) จะมีอุณหภูมิลดลงโดยที่อัตราส่วนความชื้นคงที่ เนื่องจากความร้อนจากอากาศร้อนขาเข้า (1) จะถ่ายเทผ่านพื้นผิวสัมผัสระหว่างช่องทางแห้งและเปียกเข้าไปยังช่องทางเปียก ก่อนจะแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำและอากาศที่อยู่ในช่องทางเปียกนี้ นี่จึงเป็นสาเหตุว่าทำไมกระบวนการทำงานผ่านช่องทางแห้งของอากาศจากจุดที่ (1) ไปยังจุดที่ (2) ถึงมีอัตราส่วนความชื้นคงที่ โดยกระบวนการทำงานของระบบแบบ IEC บนแผนภูมิไซโครเมตริกแสดงไว้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แผนภูมิไซโครเมตริกแสดงกระบวนการทำงานของระบบแบบ IEC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงโครงสร้างการทำงานและรูปแบบการไหลของน้ำและอากาศในระบบแบบ IEC

จากรูปที่ 2.6 โดยทั่วไปแล้วเมื่ออากาศร้อนขาเข้า (3) ที่ผ่านช่องทางเปียก มีสภาพเข้าใกล้สภาวะอิ่มตัว (คือที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100%) ความร้อนจากอากาศร้อนขาเข้า (1) ที่อยู่ในรูปของความร้อนแฝง (Latent Heat) จะถ่ายเทผ่านพื้นผิวสัมผัสระหว่างสองช่องทางก่อนจะถูกดูดซึมเข้าไปในน้ำที่อยู่ในช่องทางเปียก ส่วนความร้อนจากอากาศร้อนขาเข้า (1) ที่อยู่ในรูปของความร้อนจำเพาะ (Sensible Heat) จะถูกดูดซึมเข้าไปในอากาศร้อนขาเข้า (3) ด้วยเหตุนี้อุณหภูมิของอากาศร้อนขาออก (4) จึงสามารถเป็นไปได้ทั้งหมด 3 กรณีด้วยกัน คือ

(4a) มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศร้อนขาเข้า (3) ที่สภาวะไม่ถึงสภาวะอิ่มตัว จากนั้นออกมาเป็นอากาศร้อนขาออก (4)

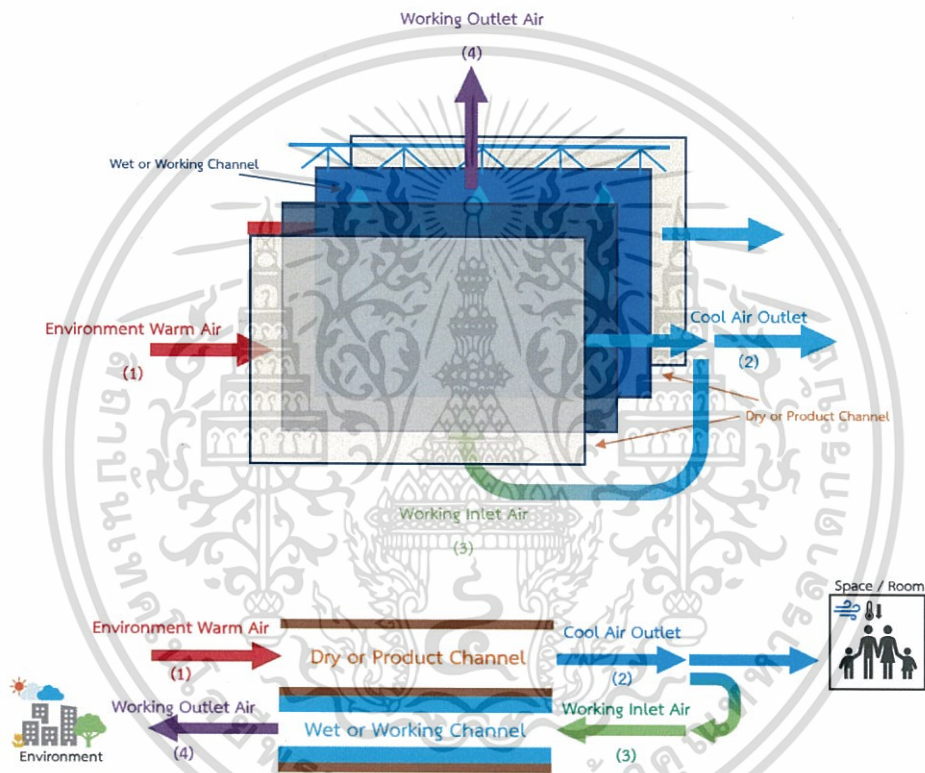
(4b) มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศร้อนขาเข้า (3) คืออากาศเย็นขาออก (4) ที่ออกมา มีสภาวะอิ่มตัว

(4c) มีอุณหภูมิและเอนทัลปีสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศร้อนขาเข้า (3) เนื่องจากอากาศในช่องทางเปียกนี้ เข้าสู่สภาวะอากาศอิ่มตัวเสียก่อน ทำให้เมื่อได้รับพลังงานความร้อนผ่านผนังมาจากช่องทางแห้งแล้ว อุณหภูมิของอากาศที่ออกมาจึงสูงขึ้น

ข้อดีของระบบการทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม คือระบบนี้จะทำให้อากาศเย็นขึ้นโดยไม่ต้องคำนึงถึงความชื้นในอากาศ และไม่ทำให้ความชื้นของอากาศที่ออกมาเพิ่มสูงขึ้น แต่มีข้อเสียคือ

กระบวนการที่จะทำให้อากาศร้อนขาเข้า (1) มีอุณหภูมิลดลง จะถูกจำกัดไว้ด้วยอุณหภูมิระเปาะเปียกของอากาศร้อนขาเข้า (3) รวมถึงประสิทธิภาพในการทำงานของระบบแบบ IEC ก็ยังต่ำกว่าระบบ DEC ด้วย ดังนั้นจึงมีการนำระบบทั้งสองประเภทนี้มาใช้ร่วมกันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานมากที่สุด

2.3.3 ระบบการทำความเย็นแบบระเหยโดยทางอ้อมแบบ Regenerative (Regenerative Evaporative Cooling, R-IEC)

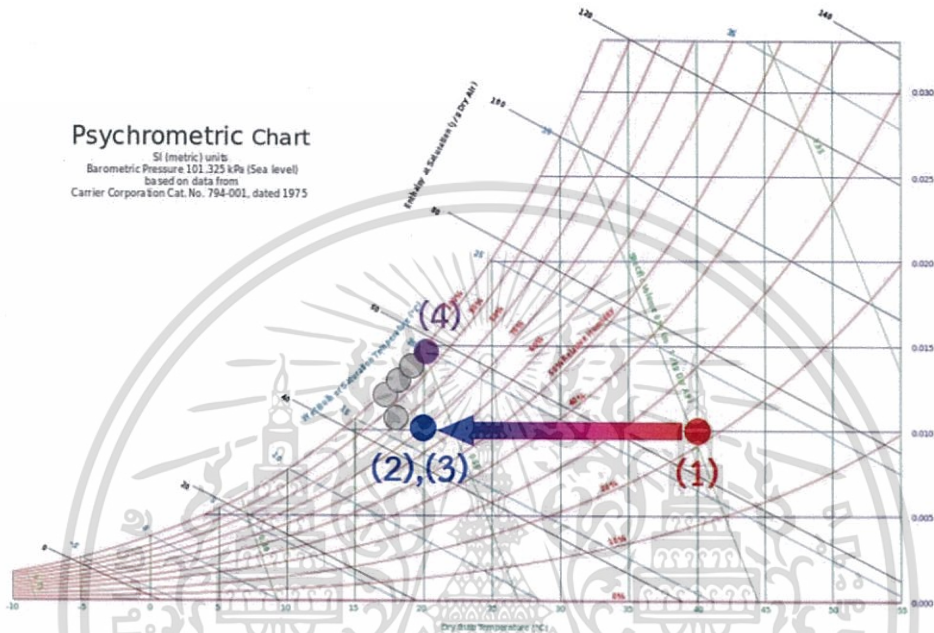


รูปที่ 2.7 แผนภาพแสดงโครงสร้างการทำงานและรูปแบบการไหลของน้ำและอากาศในระบบ R-IEC

จากรูปที่ 2.7 ระบบการทำความเย็นแบบระเหยประเภทนี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของอากาศของระบบการทำความเย็นแบบระเหยโดยทางอ้อมให้ดียิ่งขึ้น เพื่อให้อากาศเย็นขาออก (2) มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิระเปาะเปียกของอากาศร้อนขาเข้า (3) หลักการทำงานโดยทั่วไปจะคล้ายคลึงกับระบบแบบ IEC ธรรมดา เพียงแต่เมื่ออากาศร้อนขาเข้า (1) ไหลผ่านช่องทางผ่านแห้งออกมาเป็นอากาศเย็นขาออก (2) อากาศเย็นขาออก (2) บางส่วนจะถูกใช้เป็นอากาศร้อนขาเข้า (3) ก่อนจะไหลผ่านช่องทางผ่านเปียกออกไปเป็นอากาศเย็นขาออก (4) ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีนี้เนื่องจากอากาศร้อนขาเข้า (3) นั้นถูกทำให้เย็นตัวลงมาก่อนหน้าแล้ว อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศร้อนขาเข้า (3) นี้จึงต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศร้อนภายนอก รวมไปถึงอากาศร้อนขาเข้า (3) ของระบบแบบ IEC ธรรมดาด้วย จึงทำให้อุณหภูมิที่สามารถลดได้ที่เป็นไปได้มีค่าต่ำลงเมื่อเทียบกับระบบแบบ IEC ธรรมดา



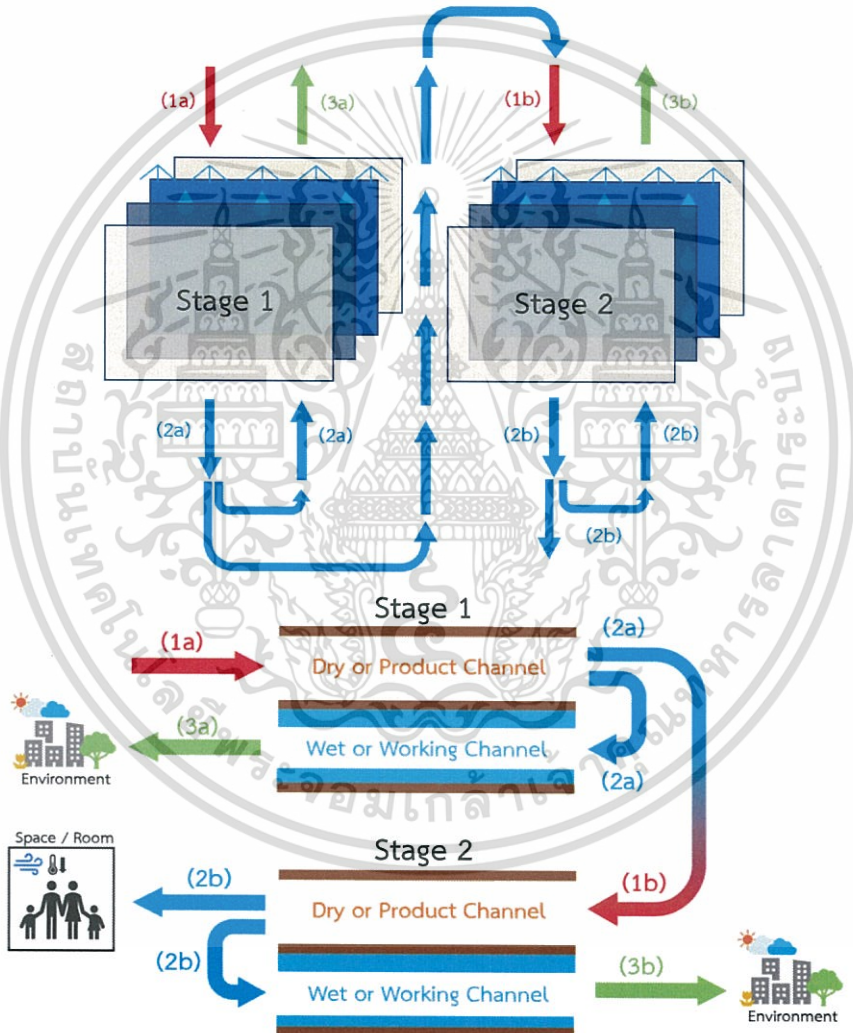
รูปที่ 2.8 แผนภูมิไซโครเมตริกแสดงกระบวนการทำงานของระบบ R-IEC

กระบวนการทำงานของระบบแบบ R-IEC ที่แสดงไว้ในแผนภูมิไซโครเมตริกดังรูปที่ 2.8 จะเห็นได้ว่าการทำงานจากขั้นที่ (1) ไปยังขั้นที่ (2) จะมีอัตราส่วนความชื้นคงที่ และอุณหภูมิกระเปาะแห้งสุดท้ายของอากาศเย็นขาออก (2) ของระบบแบบ R-IEC สามารถถูกพิจารณาว่าต่ำกว่าของระบบแบบ IEC ธรรมดาได้ รวมทั้งยังต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศร้อนขาเข้า (1) ด้วย ส่วนกระบวนการทำงานจากขั้นที่ (3) ไปยังขั้นที่ (4) นั้น อุณหภูมิของอากาศเย็นขาออก (4) สามารถเป็นไปได้หลายค่า โดยอุณหภูมิที่ต่ำสุดที่ไปได้จะเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศเย็นขาเข้า (3)

ข้อดีของระบบการทำความเย็นแบบระเหยประเภทนี้ คือสามารถลดอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้าได้ต่ำกว่าระบบ IEC ธรรมดา ทั้งยังไม่มีเพิ่มความชื้นเพิ่มขึ้นมาในอากาศ แต่มีข้อเสียหลักคืออัตราการไหลของอากาศร้อนขาเข้า (3) จะต่ำกว่าของระบบ IEC ธรรมดา

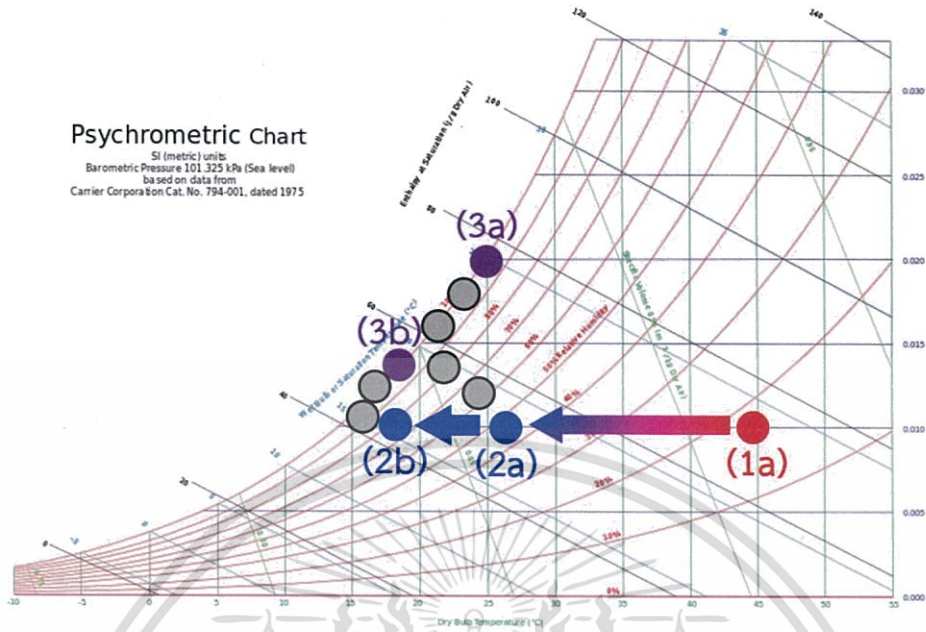
2.3.4 ระบบการทำความเย็นแบบระเหยโดยทางอ้อมแบบอุณหภูมิจุดน้ำค้าง
(Dew Point Indirect Evaporative cooling, D-IEC)

ระบบการทำความเย็นแบบระเหยประเภทนี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถลดอุณหภูมิของอากาศลงได้จนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ซึ่งระบบการทำความเย็นแบบ D-IEC นี้จะประกอบไปด้วยระบบแบบ R-IEC หลายตัวต่อเข้าด้วยกัน ตัวอย่างระบบแบบ D-IEC ที่ประกอบขึ้นจากระบบ R-IEC สองตัว แสดงไว้ดังรูปที่ 2.9 และมีเส้นทางการดำเนินไปของกระบวนการทำงานบนแผนภูมิไซโครเมตริก ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 แผนภาพแสดงโครงสร้างการทำงานและรูปแบบการไหลของน้ำและอากาศในระบบ D-IEC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แผนภูมิไซโครเมตริกแสดงกระบวนการทำงานของระบบ D-IEC

อากาศร้อนขาเข้า (1a) จะเคลื่อนที่ไหลผ่านช่องทางผ่านแห่งหนึ่งของเครื่องทำความเย็นส่วนที่หนึ่ง และแลกเปลี่ยนความร้อนผ่านพื้นผิวสัมผัสระหว่างสองช่องทางผ่านเข้าไปยังช่องทางเป็ยกของเครื่อง ดังนั้นอากาศที่บริเวณขาออก (2a) จะมีอุณหภูมิลดลง อากาศเย็นขาออก (2a) บางส่วนจะถูกแบ่งให้ไหลผ่านเข้าไปในช่องทางผ่านเป็ยกของเครื่องทำความเย็นส่วนที่หนึ่ง ในขั้นตอนนี้จะมีหลักการทำงานเหมือนกับระบบ DEC และได้ออกมาเป็นอากาศเย็นขาออก (3a) ที่มีอัตราส่วนความชื้นเพิ่มขึ้น ในขณะที่อากาศเย็นขาออก (2a) ส่วนที่เหลือจะเคลื่อนที่ไปยังเครื่องทำความเย็นส่วนที่สอง โดยทำหน้าที่เป็นอากาศร้อนขาเข้า (1b) ของเครื่องส่วนที่สองแทน และหลักการทำงานภายในเครื่องทำความเย็นส่วนที่สองนี้จะเหมือนกันกับเครื่องทำความเย็นส่วนที่หนึ่ง ซึ่งจากรูปที่ 2.10 อากาศเย็นที่เราต้องการจะเป็นอากาศเย็นขาออก (2b) ที่ออกมาจากช่องทางผ่านแห่งของเครื่องทำความเย็นส่วนที่สอง ที่นอกจากจะมีอุณหภูมิต่ำลงเกือบถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างแล้ว ยังไม่มีความชื้นเพิ่มขึ้นมาในอากาศอีกด้วย

ข้อดีของระบบการทำความเย็นแบบ D-IEC คือเราสามารถลดอุณหภูมิของอากาศได้จนเกือบถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้าง โดยที่อัตราส่วนความชื้นภายในอากาศคงที่ แต่ข้อเสียของระบบนี้คืออัตราการไหลของอากาศจะค่อยๆลดลงตามจำนวนของเครื่องทำความเย็นที่นำมาต่อกัน

2.4 กระบวนการลดความชื้น (Dehumidification) [1,2,5]

เนื่องจากอากาศแวดล้อมโดยทั่วไปมักจะมีความชื้นที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นก่อนเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหย จึงควรมีการลดความชื้นของอากาศลงก่อน ซึ่งวิธีการลดความชื้นที่จะกล่าวถึงนี้ ได้แก่ การลดความชื้นโดยใช้ระบบอากาศอัด และการลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้น โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.4.1 การลดความชื้นโดยใช้ระบบอากาศอัด (Compressed Air System)

ระบบอากาศอัด (Compressed Air System) หรือที่เรียกอีกชื่อว่า “ระบบปั๊มลม” เป็นระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก โดยจะใช้เป็นแหล่งกำเนิดและป้อนอากาศอัดให้แก่อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆภายในโรงงาน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วระบบอัดอากาศจะมีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับค่าพลังงานและปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูง แต่ถ้าหากมีการจัดการกับระบบอัดอากาศได้อย่างเหมาะสม ก็จะสามารถประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษาได้เป็นจำนวนมาก

เครื่องอัดอากาศที่นิยมใช้โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

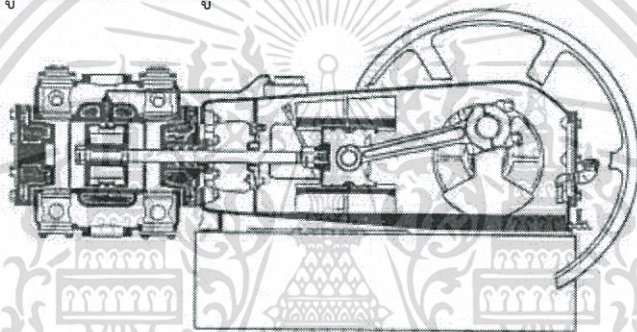
1) เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ (Reciprocating compressors)

เครื่องอัดอากาศประเภทนี้โดยส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็ก และใช้กำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์ขนาดเล็ก โดยมีสายพานเป็นอุปกรณ์ถ่ายทอดกำลังงานไปสู่เครื่องอัดเพื่อให้ลูกสูบเคลื่อนที่อัดอากาศให้มีปริมาตรเล็กลง ทำให้ความดันของอากาศที่ถูกอัดสูงขึ้น อากาศอัดจะถูกส่งไปเก็บไว้ในถังเก็บอากาศ (Air Receiver Tank) ก่อนที่จะถูกนำไปใช้งานอื่นๆต่อไป เครื่องอัดอากาศประเภทนี้ส่วนใหญ่จะระบายความร้อนด้วยอากาศ ดังนั้นบริเวณรอบๆเสื้อสูบของเครื่องอัดจึงทำเป็นแผ่นครีป (vane) เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการระบายความร้อนให้มากยิ่งขึ้น การเคลื่อนที่ของลูกสูบในจังหวะอัดแต่ละครั้งจะทำให้อากาศหรือแก๊สเกิดการอัดตัว การไหลของอากาศอัดจะมีลักษณะเป็นแบบห้วงๆ (Pulsation) ไม่ต่อเนื่องกัน ซึ่งเป็นผลเสียต่อระบบท่อส่ง เพราะอาจทำให้เกิดความดันย้อนกลับ ณ จุดที่มีการหักเลี้ยวในระบบท่อส่งได้ ส่งผลทำให้ท่อส่งอาจได้รับความเสียหายในภายหลัง

เนื่องจากในอากาศแวดล้อมโดยทั่วไปจะมีความชื้นหรือไอน้ำ รวมไปถึงฝุ่นละอองขนาดเล็กปะปนอยู่ ดังนั้นอากาศที่เข้าสู่เครื่องอัดอากาศจึงมีไอน้ำและฝุ่นละอองปะปนเข้าไปด้วย เมื่ออากาศถูกอัดตัว โมเลกุลของอากาศจะเกิดการเสียดสีกัน ทำให้อากาศที่ถูกอัดมีความร้อนสูงขึ้น ดังนั้นอากาศที่ถูกอัดก่อนที่จะถูกนำไปยังถังเก็บอากาศ จึงต้องมีการระบายความร้อนออกเสียก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายจากความร้อนขึ้น จนส่งผลทำให้ชิ้นส่วนภายในเครื่องอัด

อากาศได้รับความเสียหาย อากาศอัดดังกล่าวเมื่อถูกนำไปเก็บในถังเก็บอากาศแล้ว จะยังมีความร้อนหลงเหลืออยู่บ้าง แต่เมื่ออากาศอัดภายในถังเก็บอากาศเย็นตัวลง ก็จะทำให้ไอน้ำควบแน่น กลั่นตัวเป็นหยดน้ำนอนก้นอยู่ในถังเก็บอากาศ ดังนั้นอากาศขาออกจากถังจึงมีความชื้นที่ลดลงต่ำมาก ส่วนน้ำที่นอนก้นอยู่ในถังอาจก่อให้เกิดความเสียหายได้ในขณะที่นำอากาศไปใช้งาน ดังนั้นจึงต้องมีการระบายน้ำส่วนนี้ออกไปจากถังเก็บอากาศ ก่อนที่จะมีการใช้งานอยู่เสมอทุกวัน ส่วนอากาศที่ออกจาก

ในงานวิจัยฉบับนี้จะใช้เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบในการทดลองลดความชื้นของอากาศ ก่อนเข้าสู่ส่วนของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง โดยลักษณะภายในของเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ แสดงเอาไว้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะภายในเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

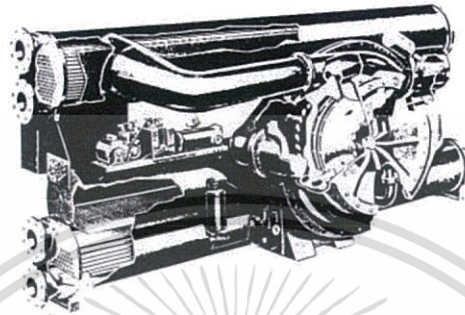
2) เครื่องอัดอากาศแบบโรตารี (Rotary compressors)

เครื่องอัดอากาศแบบโรตารีหรือแบบลูกสูบหมุน จะอัดอากาศอันเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ผลัดกันของโรเตอร์ในลักษณะการแทนที่ของอากาศ อากาศอัดที่ได้จะมีอัตราการไหลที่สม่ำเสมอ แต่จะมีค่าความดันที่ค่อนข้างต่ำมาก การหมุนของโรเตอร์เพื่ออัดอากาศจะต้องหมุนด้วยความเร็วรอบที่สูง ซึ่งจะทำให้เกิดเสียงดังรบกวนและชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่อยู่ภายในเครื่องจะมีอัตราการสึกหรอที่ค่อนข้างสูง

3) เครื่องอัดอากาศแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal compressors)

เป็นเครื่องอัดอากาศที่ใช้หลักการทางด้านพลศาสตร์ ทำงานด้วยการเปลี่ยนพลังงานจลน์เป็นความดัน ทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศอัดจะถูกเหวี่ยงตัวออกไปในแนวรัศมี อากาศจะถูกดูดเข้าสู่พื้นที่ตรงกลางเพลลาใบพัด และถูกเหวี่ยงตัวออกไปในแนวรัศมีของใบพัดเข้าสู่ผนังเครื่องอัด หลังจากนั้นจะถูกส่งไปตามระบบท่อ อากาศอัดที่ได้จะมีความดันสูงขึ้นแต่ความเร็ว

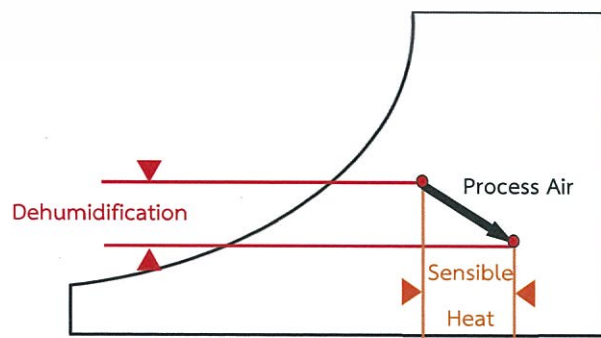
ยังคงที่ เมื่อเราต้องการอากาศอัดที่มีค่าความดันสูงมากขึ้น เราสามารถทำได้โดยการใช้เครื่องอัดอากาศหลายสเตจ โดยที่อากาศอัดซึ่งได้จากสเตจแรกจะถูกส่งต่อไปยังสเตจต่อไป และอัดอากาศให้ได้ความดันค่าที่ต้องการ อากาศที่อัดได้ในแต่ละสเตจจะมีความร้อนสูงขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการระบายความร้อนออกจากอากาศอัดก่อนที่จะส่งอากาศอัดไปยังสเตจต่อไป



รูปที่ 2.12 แสดงเครื่องอัดอากาศแบบหมุนเหวี่ยง

2.4.2 การลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้น (Desiccant Dehumidification) [5]

การลดความชื้นด้วยกระบวนการนี้จะใช้หลักการความแตกต่างกันระหว่างความดันไอของสาร เพื่อนำไอน้ำออกจากอากาศชื้น โดยการให้อากาศชื้นไหลผ่านสารดูดความชื้น ซึ่งความดันไอที่ผิวของสารดูดความชื้นที่ยังแห้งอยู่ จะมีค่าต่ำกว่าความดันไอของอากาศชื้น จึงส่งผลทำให้ไอน้ำในอากาศชื้นสามารถระเหยไปยังผิวของสารดูดความชื้นได้ ซึ่งกระบวนการลดความชื้นวิธีนี้จะดำเนินไปโดยที่ผิวของสารดูดความชื้นจะดูดซับไอน้ำของอากาศชื้นเอาไว้จนกระทั่งเกิดสถานะสมดุลระหว่างความดันไอที่ผิวของสารดูดความชื้นกับความดันไอของอากาศชื้น ซึ่งการระเหยออกไปของไอน้ำจากอากาศชื้น จะทำให้อากาศที่ผ่านกระบวนการนี้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น หรือก็คือ จะเกิดปฏิกิริยาการคายความร้อน (Exothermic Reaction) ขึ้นในระบบ ดังนั้นอากาศที่ผ่านกระบวนการนี้จึงมีอัตราส่วนความชื้นลดลง แต่กลับมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามมาด้วย



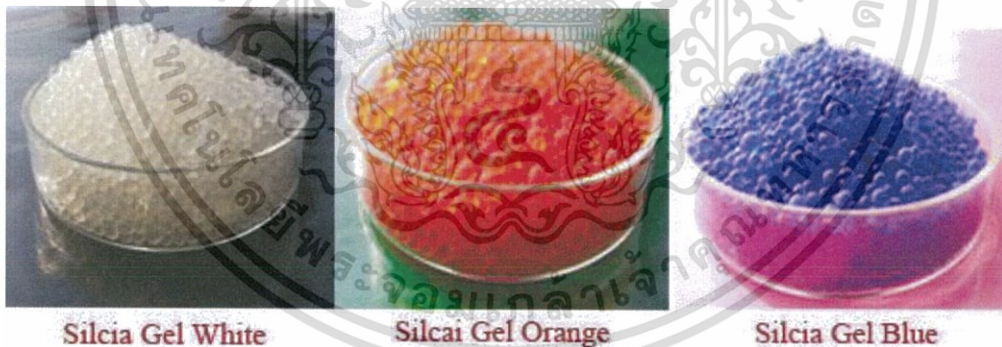
รูปที่ 2.13 แสดงกระบวนการลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้นบนแผนภาพไซโครเมตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิลิกาเจล (Silica Gel) [2]

ซิลิกาเจลหรือซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เกิดจากการผสมกันระหว่างโซเดียมซิลิเกต (Sodium Silicate) และกรดซัลฟิวริก (Sulfuric Acid) มีลักษณะเป็นเม็ดกลมหรือผงสีขาว ที่มีขนาดเม็ดประมาณ 2-5 มิลลิเมตร และมีความพรุนสูง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนประมาณ 2.4 นาโนเมตร ทำให้มีพื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดความชื้นเป็นจำนวนมาก จึงมีคุณสมบัติในการดูดความชื้นประมาณ 35-40% ของน้ำหนักตัวมันเอง แต่โดยทั่วไปแล้วซิลิกาเจลนอกจากจะนำมาใช้สำหรับเป็นสารดูดความชื้นแล้ว ซิลิกาเจลยังถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ที่หลากหลาย เช่น ใช้เป็นส่วนผสมของพลาสติกเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ใช้ผสมในเครื่องสำอางเพื่อลดแรงตึงผิว รวมทั้งยังใช้เป็นสารตั้งต้นในการทำให้เกิดเมฆ เป็นต้น

ซิลิกาเจลโดยทั่วไปจะมีสีขาว แต่ในบางครั้งก็จะมี การเติมสารเคมีที่มีสีลงไป เช่น เติมนิกโคบอลต์คลอไรด์ (CoCl_2) เพื่อให้ซิลิกาเจลมีสีน้ำเงิน เป็นต้น ซึ่งเมื่อดูดความชื้นเต็มที่แล้ว ซิลิกาเจลสีน้ำเงินจะเปลี่ยนไปเป็นสีชมพู ทำให้ง่ายต่อการสังเกตและบอกได้ว่าซิลิกาเจลนั้นดูดความชื้นจนอิ่มตัวแล้วหรือไม่ ถ้าหากซิลิกาเจลดูดความชื้นจนอิ่มตัวแล้ว เราสามารถไล่ความชื้นออกจากซิลิกาเจลได้โดยการให้ความร้อน เช่น การใช้ตู้อบ หรือนำไปตากแดด เมื่อความชื้นถูกไล่ออกจากซิลิกาเจลจนหมด ซิลิกาเจลก็จะเปลี่ยนจากสีชมพูกลับไปเป็นสีน้ำเงินอีกครั้ง ซึ่งจะทำให้สามารถนำซิลิกาเจลนี้กลับมาใช้ใหม่ได้อีก



Silica Gel White

Silica Gel Orange

Silica Gel Blue

รูปที่ 2.14 สารดูดความชื้นซิลิกาเจลสีต่างๆ

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุทธินันท์ ดันโพธิ์ [4] ได้ทำการศึกษาการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง โดยออกแบบ สร้าง และทดสอบเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง และใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายอุณหภูมิและความชื้นของระบบที่จะเกิดขึ้น รวมทั้งแนวทางวิธีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดความชื้นโดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดความชื้นสำหรับระบบของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง พบว่า เมื่อใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่สร้างจากสแตนเลส และใช้กระดาษชนิดพิเศษเคลือบเซลลูโลสขนาด 550×550 มิลลิเมตร จำนวน 4 แผ่น เป็นแผ่นระเหยน้ำ จะสามารถลดอุณหภูมิของอากาศภายในห้องลงได้ต่ำที่สุด 7.1 องศาเซลเซียส ความชื้นในระบบเพิ่มขึ้น 12.5 % ที่อุณหภูมิบรรยากาศ 34.6 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ 51.1 % เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ลดความชื้นก่อนเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง พบว่าถ่านกัมมันต์รูปสี่เหลี่ยมที่มีความหนา 50.8 มิลลิเมตร จะสามารถลดความชื้นได้ดีที่สุด และลดความชื้นแวดล้อมโดยเฉลี่ยได้เท่ากับ 3.1 %

อิทธิศักดิ์ คล้ายมงคล [5] ได้ทำการศึกษาระบบปรับอากาศด้วยสารดูดความชื้นร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางอ้อม โดยใช้เบดซิลิกาเจลขนาดกว้าง 0.5 เมตร ยาว 0.5 เมตร หนา 0.05 เมตร และใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยประเภทท่อ ที่สร้างจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.2 เซนติเมตร และยาว 1.45 เมตร จำนวน 171 ท่อ พบว่า การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของอากาศจะส่งผลทำให้สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศด้วยสารดูดความชื้นซิลิกาเจลร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางอ้อมเพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิที่ลดได้ของอากาศที่ผ่านระบบนี้ก็กลับมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งอุณหภูมิของอากาศที่ลดได้หลังจากผ่านระบบปรับอากาศนี้ อยู่ที่ประมาณ 4-6 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ และหน่วยลดความชื้น รวมทั้งอธิบายถึงรายละเอียดต่างๆของวิธีการทดลอง

3.1 รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 สารดูดความชื้นซิลิกาเจล

ในส่วนของการทดลองที่ใช้หน่วยลดความชื้นเป็นซิลิกาเจล ซิลิกาเจลจะบรรจุลงในท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร (2 นิ้ว) ซึ่งโครงสร้างของอุปกรณ์ในส่วนนี้แสดงเอาไว้ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2 โดยรูปที่ 3.1 ใช้สำหรับบรรจุซิลิกาเจลที่น้ำหนัก 514.35 กรัม และรูปที่ 3.2 ใช้สำหรับบรรจุซิลิกาเจลที่น้ำหนักรวม 1200 กรัม



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ลดความชื้นสำหรับบรรจุซิลิกาเจล 514.35 กรัม



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ลดความชื้นสำหรับบรรจุซิลิกาเจล 1200 กรัม

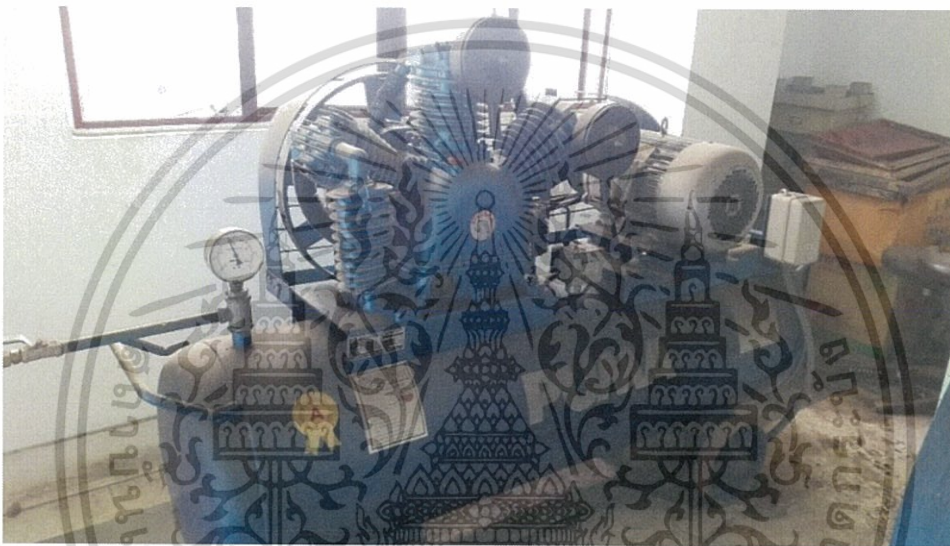
3.1.2 เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)

เครื่องอัดอากาศที่ใช้ในการทดลองแสดงเอาไว้ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งความดันของอากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศจะถูกตั้งค่าเอาไว้ที่ประมาณ 7-9 บาร์ รายละเอียดต่างๆของเครื่องอัดอากาศนี้แสดงเอาไว้ดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของเครื่องอัดอากาศที่ใช้ในการทดลอง

	AIR COMPRESSOR				AIR RECEIVER	
TYPE	TPP-100				D X L	
MOTER	10 HP	R.P.M.	900		\varnothing 495 x 1850 mm	
	7.5 kw	DISPL.	1110 L/min		CAPACITY	315 L
BORE	100 mm	W.P.	16 kg/cm ³	DESIGH PRESS	20 kg/cm ³	
STROKE	70 mm	MAX.P.	18 kg/cm ³	TEST PRESS	30 kg/cm ³	



รูปที่ 3.3 เครื่องอัดอากาศสำหรับการทดลอง ที่ความดัน 7-9 บาร์

3.1.3 เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง

แบบจำลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่ใช้ในการทดลอง สร้างจากถังพลาสติก เส้นผ่านศูนย์กลาง 39 เซนติเมตร สูง 36 เซนติเมตร และความจุ 22.7 ลิตร (6 แกลลอน) ภายในประกอบไปด้วยท่อ PVC และปั้มน้ำ ซึ่งท่อ PVC นั้นจะต่ออยู่กับอุปกรณ์ก่อนหน้า เช่น หน่วยลดความชื้นซิลิกาเจล ท่อทองแดง หรือพัดลมโบลเวอร์ เป็นต้น ตัวท่อจะวางอยู่เหนือผิวน้ำและเจาะรูเพื่อให้อากาศออก ส่วนปั้มน้ำจะช่วยปั้มน้ำที่อยู๋ภายในถังสามารถเคลื่อนที่กระจายตัวลงมาจากริเวณด้านบนของถังและสัมผัสกับอากาศที่ออกจากท่อ PVC ได้อย่างทั่วถึง ซึ่งการจัดวางส่วนประกอบของเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง แสดงเอาไว้ดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 เครื่องทำความเย็นแบบระเหยที่ใช้ในการทดลอง

3.1.4 เครื่องมือวัดและการเก็บข้อมูล

ในงานวิจัยนี้จะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบผล โดยมีรายละเอียดของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองดังต่อไปนี้

1) การวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ทั้งอุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง จะใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นดิจิทัลแบบมีสาย (Digital Hygrometer Temperature And Humidity) ดังรูปที่ 3.5 โดยมีช่วงวัดอุณหภูมิอยู่ที่ -50 ถึง 90 องศาเซลเซียส ช่วงวัดความชื้นสัมพัทธ์ 10 ถึง 99 %RH ค่าความแม่นยำอุณหภูมิ ± 1 องศาเซลเซียส ค่าความแม่นยำความชื้นสัมพัทธ์ ± 5 %RH ค่าความละเอียดของมาตรวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับ 0.1 องศาเซลเซียส และ 1 %RH ตามลำดับ

2) การวัดอุณหภูมิของน้ำที่ตำแหน่งต่างๆของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง จะใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล (LCD Digital Thermometer) ดังรูปที่ 3.6 โดยมีช่วงวัดอุณหภูมิอยู่ที่ -50 ถึง 110 องศาเซลเซียส ค่าความละเอียดอุณหภูมิ 0.1 องศาเซลเซียส และมีค่าความแม่นยำอุณหภูมิ ± 1 องศาเซลเซียส

3) การวัดอัตราการไหลของอากาศสำหรับการทดลองการลดอุณหภูมิด้วยเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง โดยใช้เครื่องวัดอากาศในการลดความชื้น จะใช้เครื่องวัดอัตราการไหล

เชิงปริมาตร (Rotameter) ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งมีช่วงการวัดอัตราการไหลอยู่ที่ 1000 ถึง 8500 ลิตรต่อชั่วโมง ค่าความละเอียด 500 ลิตรต่อชั่วโมง

4) การวัดอัตราการไหลของอากาศสำหรับการทดลองการลดอุณหภูมิด้วยเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ซึ่งใช้พัลลมโบลเวอร์ในการเป่าอากาศเข้าสู่ส่วนเครื่องทำความเย็นหรือหน่วยลดความชื้น จะวัดอัตราการไหลของอากาศโดยใช้วิธีการแทนที่น้ำและจับเวลา



รูปที่ 3.5 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นดิจิทัล



รูปที่ 3.6 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล



รูปที่ 3.7 เครื่องวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตร (Rotameter)

3.2 วิธีการทดลอง

งานวิจัยฉบับนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วนหลักด้วยกัน คือ

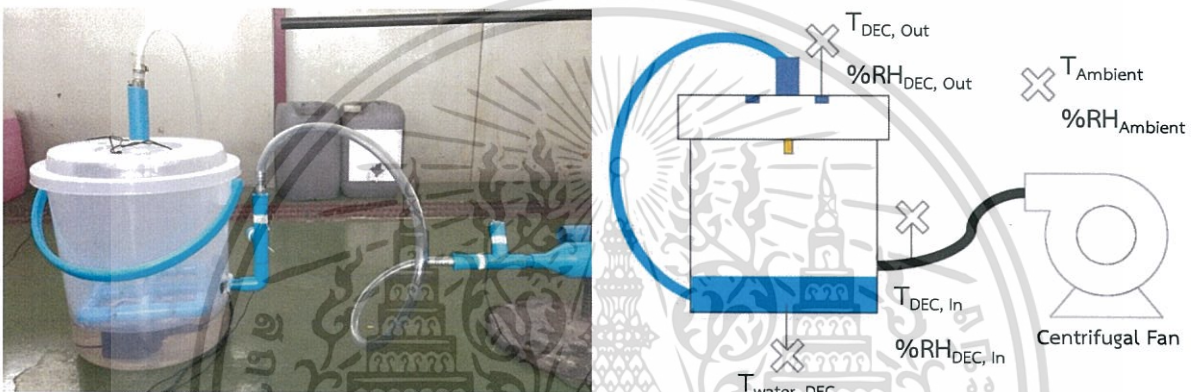
- ส่วนที่ 1 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง
- ส่วนที่ 2 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงร่วมกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจล
- ส่วนที่ 3 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยการเป่าอากาศผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจลก่อนลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่อทองแดง และเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงเป็นลำดับสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ส่วนที่ 4 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องอัดอากาศร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง

3.2.1 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (ส่วนที่ 1)

การทดลองในส่วนนี้ อากาศจากพัดลมโบลเวอร์จะไหลเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง และลดอุณหภูมิของอากาศลงโดยตรง โดยไม่ผ่านส่วนของหน่วยลดความชื้นก่อน ซึ่งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้ แสดงเอาไว้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (ส่วนที่ 1)

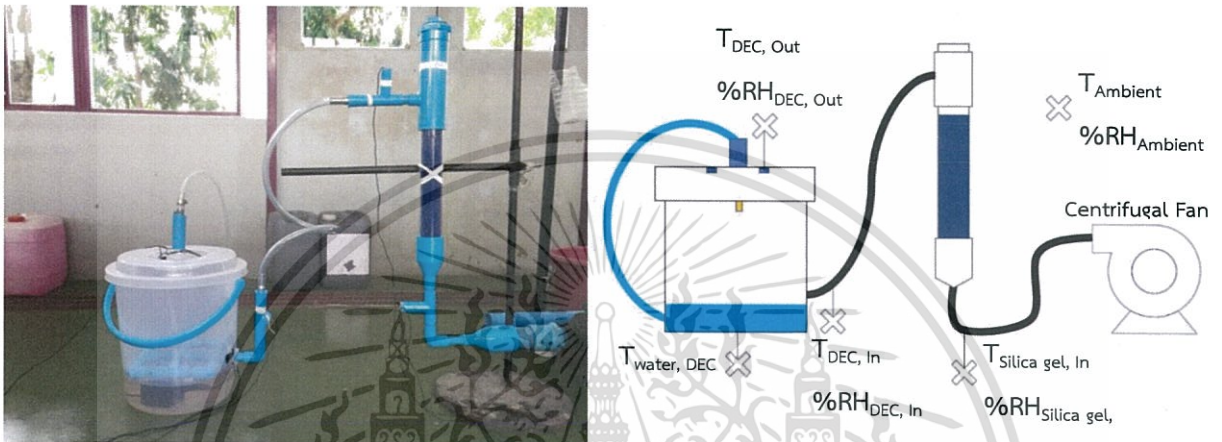
ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงเข้ากับพัดลมโบลเวอร์ รวมถึงติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และเครื่องมือวัดอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ตามตำแหน่งต่างๆดังรูปที่ 3.8
- 2) เปิดการทำงานของปั้มน้ำที่อยู่ภายในเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ซึ่งสามารถปั้มน้ำได้ที่อัตราการไหลเชิงปริมาตรประมาณ 900 ลิตรต่อชั่วโมง เพื่อปั้มน้ำกระจายตัวลงมาจากบริเวณด้านบนของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง
- 3) เปิดพัดลมโบลเวอร์เพื่อเป่าอากาศเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง โดยปรับให้อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศอยู่ที่ประมาณ 5500 ลิตรต่อชั่วโมง
- 4) บันทึกผลข้อมูลที่ได้ทั้งหมด โดยในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงแรกจะบันทึกค่าทุกๆ 1 นาที หลังจากนั้นจะบันทึกผลทุกๆ 5 นาที โดยทำการทดลองทั้งหมด 4 ชั่วโมงครึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ร่วมกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจล (ส่วนที่ 2)

การทดลองในส่วนนี้ อากาศจากพัดลมโบลเวอร์จะไหลเข้าสู่ส่วนของสารดูดความชื้นซิลิกาเจล เพื่อลดความชื้นของอากาศลงก่อน จากนั้นอากาศที่ได้จะไหลเข้าสู่ส่วนของเครื่องทำความเย็นแบบระเหย โดยทางตรง ซึ่งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้ แสดงเอาไว้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ร่วมกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจล (ส่วนที่ 2)

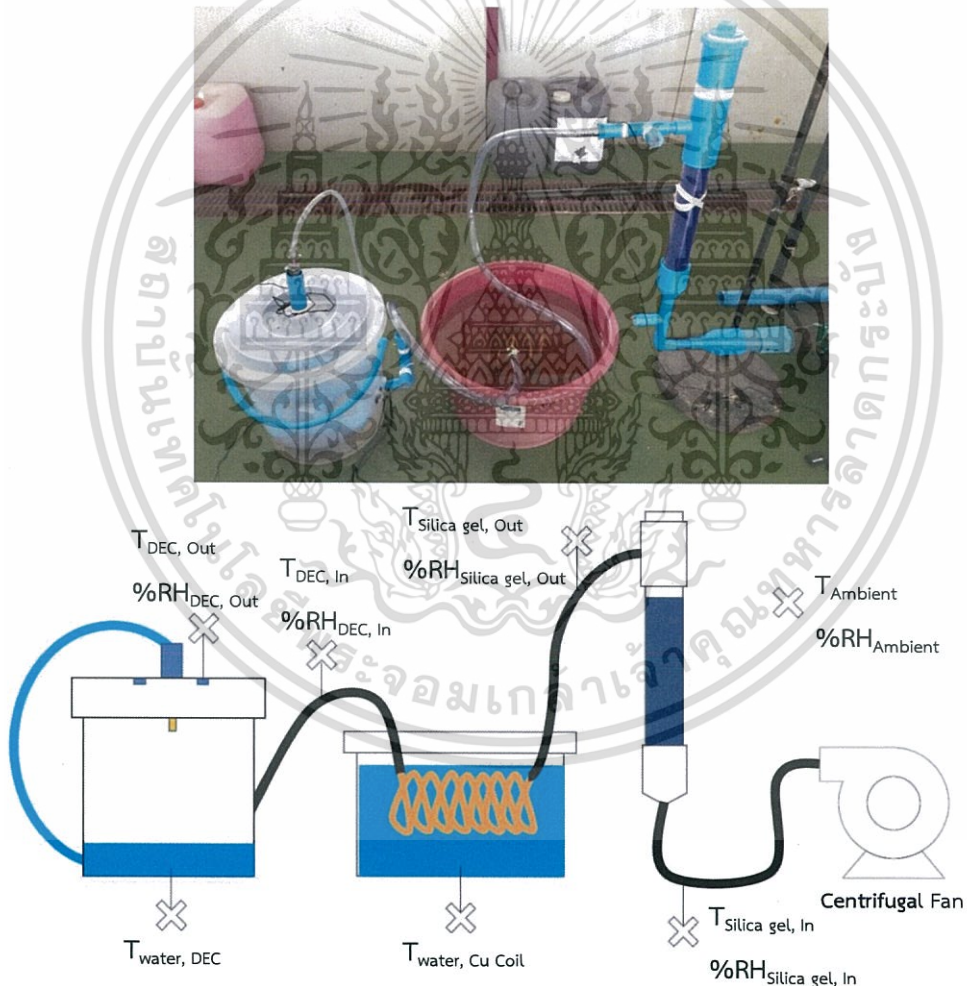
ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงเข้ากับพัดลมโบลเวอร์ รวมทั้งติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และเครื่องมือวัดอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ตามตำแหน่งต่างๆดังรูปที่ 3.9
- 2) เปิดการทำงานของปั้มน้ำที่อยู่ภายในเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ซึ่งสามารถปั้มน้ำได้ที่อัตราการไหลเชิงปริมาตรประมาณ 900 ลิตรต่อชั่วโมง เพื่อปั้มให้น้ำกระจายตัวลงมาจากบริเวณด้านบนของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง
- 3) เปิดพัดลมโบลเวอร์เพื่อเป่าอากาศเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง โดยปรับให้อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศหลังจากออกจากหน่วยลดความชื้นซิลิกาเจลอยู่ที่ประมาณ 5500 ลิตรต่อชั่วโมง
- 4) บันทึกผลข้อมูลที่ได้ทั้งหมด โดยในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงแรกจะบันทึกค่าทุกๆ 1 นาที หลังจากนั้นจะบันทึกผลทุกๆ 5 นาที โดยทำการทดลองทั้งหมด 4 ชั่วโมงครึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยการเป่าอากาศผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจล ก่อนลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่อทองแดง และเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงเป็นลำดับสุดท้าย (ส่วนที่ 3)

การทดลองในส่วนนี้ จะเป็นการทดลองโดยเมื่อลดความชื้นของอากาศลงด้วยซิลิกาเจลแล้ว จะนำอากาศที่ได้ไปผ่านเข้าสู่ท่อทองแดงที่สัมผัสอยู่กับน้ำ เพื่อลดอุณหภูมิของอากาศหลังจากซิลิกาเจลลงก่อน เพราะเมื่ออากาศสัมผัสกับซิลิกาเจลจะเกิดปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic Reaction) ขึ้นในระบบ ทำให้อากาศที่ได้หลังจากผ่านซิลิกาเจลนั้นมีความชื้นลดลง แต่กลับมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วย จากนั้นจึงนำอากาศหลังจากผ่านท่อทองแดงผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงเป็นลำดับสุดท้าย ซึ่งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้ แสดงเอาไว้ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยการเป่าอากาศผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจล ก่อนลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่อทองแดง และเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงเป็นลำดับสุดท้าย (ส่วนที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

1) ติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงเข้ากับพัดลมโบลเวอร์ ท่อทองแดง และหน่วยลดความชื้นซิลิกาเจล รวมทั้งติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และงเครื่องมือวัดอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ตามตำแหน่งต่างๆดังรูปที่ 3.10

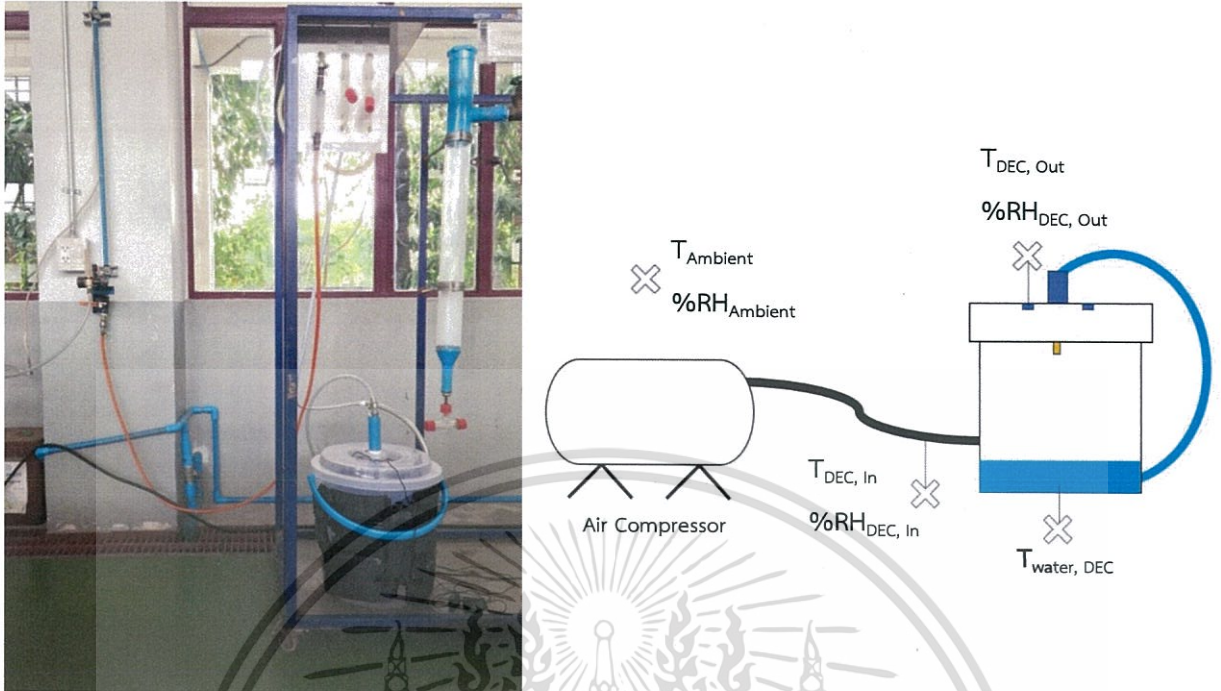
2) เปิดการทำงานของปั้มน้ำที่อยู่ภายในเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ซึ่งสามารถปั้มน้ำได้ที่อัตราการไหลเชิงปริมาตรประมาณ 900 ลิตรต่อชั่วโมง เพื่อปั้มน้ำกระจายตัวลงมาจากบริเวณด้านบนของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง

3) เปิดพัดลมโบลเวอร์เพื่อเป่าอากาศเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง โดยปรับให้อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศหลังจากออกจากหน่วยลดความชื้นซิลิกาเจลอยู่ที่ประมาณ 5500 ลิตรต่อชั่วโมง

4) บันทึกผลข้อมูลที่ได้ทั้งหมด โดยในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงแรกจะบันทึกค่าทุกๆ 1 นาที หลังจากนั้นจะบันทึกผลทุกๆ 5 นาที โดยทำการทดลองทั้งหมด 4 ชั่วโมงครึ่ง

3.2.4 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องอัดอากาศร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (ส่วนที่ 4)

การทดลองในส่วนนี้จะใช้เครื่องอัดอากาศที่มีความดันขาออกของปั้มอยู่ที่ประมาณ 7-9 บาร์ ร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง ซึ่งเครื่องอัดอากาศที่มีความดันสูงจะช่วยให้ไอน้ำในอากาศที่ถูกดูดเข้าสู่ถึงเก็บอากาศของตัวเครื่องควบแน่นกลายเป็นของเหลว ส่งผลทำให้ความชื้นของอากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศลดลง ซึ่งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้ จะแสดงเอาไว้ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องอัดอากาศร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหย โดยทางตรง (ส่วนที่ 4)

ขั้นตอนการทดลอง

- 1) ติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรงเข้ากับท่อจากเครื่องอัดอากาศ รวมถึงติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และเครื่องมือวัดอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรง ตามตำแหน่งต่างๆดังรูปที่ 3.11
- 2) เปิดการทำงานของปั้มน้ำที่อยู่ภายในเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรง ซึ่งสามารถปั้มน้ำได้ที่อัตราการไหลเชิงปริมาตรประมาณ 900 ลิตรต่อชั่วโมง เพื่อปั้มน้ำกระจายตัวลงมาจากบริเวณด้านบนของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรง
- 3) เปิดวาล์วของท่ออากาศที่ออกจากเครื่องอัดอากาศ เพื่อให้อากาศไหลเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรง โดยปรับให้อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศหลังจากท่อปั้ม ที่ต้องการทำการทดลองอยู่ที่ประมาณ 5500 ลิตรต่อชั่วโมงสำหรับการทดลองที่ไม่ต้องหุ้มฉนวนถึง และ 8500 ลิตรต่อชั่วโมงสำหรับการทดลองที่ต้องหุ้มฉนวนถึง เพื่อทดสอบความแตกต่างที่จะเกิดขึ้น
- 4) บันทึกผลข้อมูลที่ได้ทั้งหมด โดยในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงแรกจะบันทึกค่าทุกๆ 1 นาที หลังจากนั้นจะบันทึกผลทุกๆ 5 นาที โดยทำการทดลองทั้งหมด 4 ชั่วโมงครึ่ง

บทที่ 4

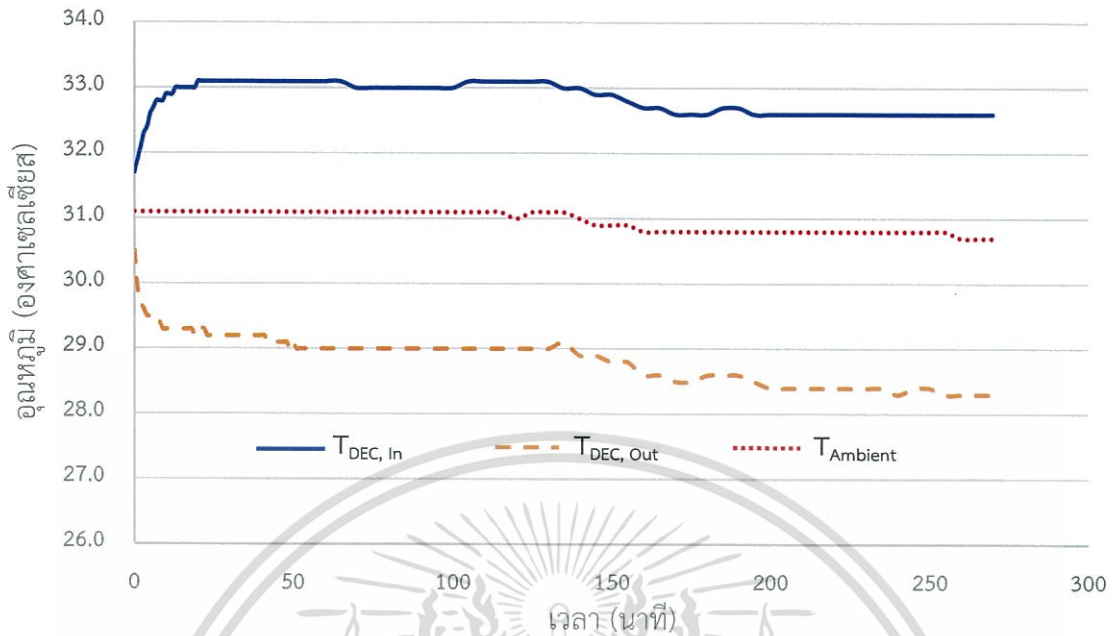
ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลที่ได้จากการทดลองซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ส่วนด้วยกัน คือ

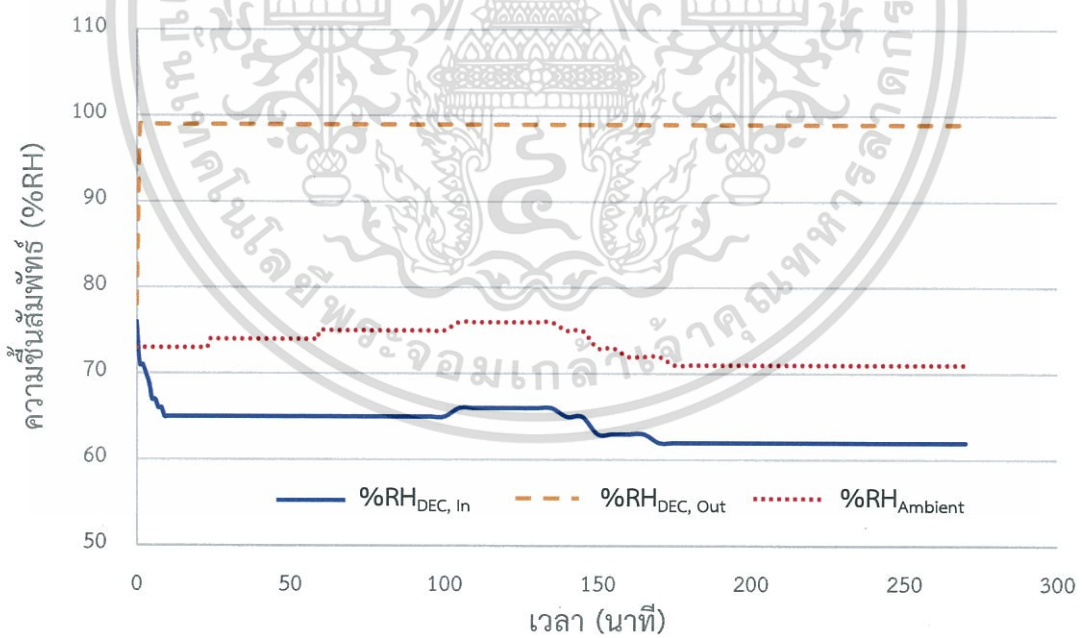
- ส่วนที่ 1 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง
- ส่วนที่ 2 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงร่วมกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจล
- ส่วนที่ 3 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยการเป่าอากาศผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจลก่อนลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่อทองแดง และเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงเป็นลำดับสุดท้าย
- ส่วนที่ 4 การทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องอัดอากาศร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง

4.1 ผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (ส่วนที่ 1)

จากผลการทดลองที่ได้พบว่า หากใช้เพียงเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงเพียงอย่างเดียวในการลดอุณหภูมิของอากาศ จะสามารถลดอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมลงได้เฉลี่ยประมาณ 1-2 องศาเซลเซียสเท่านั้น ซึ่งผลที่ได้ใกล้เคียงและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันจากทุกการทดลอง เนื่องจากอัตราการไหลเชิงปริมาตรที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากัน และอุณหภูมิแวดล้อมของอากาศมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะเพิ่มสูงขึ้นไปจนถึง 99 %RH ทั้งนี้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่ใช้ สามารถลดอุณหภูมิของอากาศลงได้ถึง 4 องศาเซลเซียส หากใช้อุณหภูมิของอากาศหลังผ่านพัดลมโบลเวอร์แล้วเป็นตัวตั้งต้น เนื่องจากเมื่ออากาศแวดล้อมผ่านเข้าสู่พัดลมโบลเวอร์แล้ว จะทำให้อุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้น โดยที่ความชื้นของอากาศลดลง จึงส่งผลทำให้อากาศขาออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง มีอุณหภูมิลดลงไปได้น้อยเมื่อเทียบกับอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมที่อยู่โดยรอบ ซึ่งผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศที่ดีที่สุด โดยใช้เพียงเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงเพียงอย่างเดียว ได้สรุปเอาไว้ดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา
(การทดลองส่วนที่ 1)



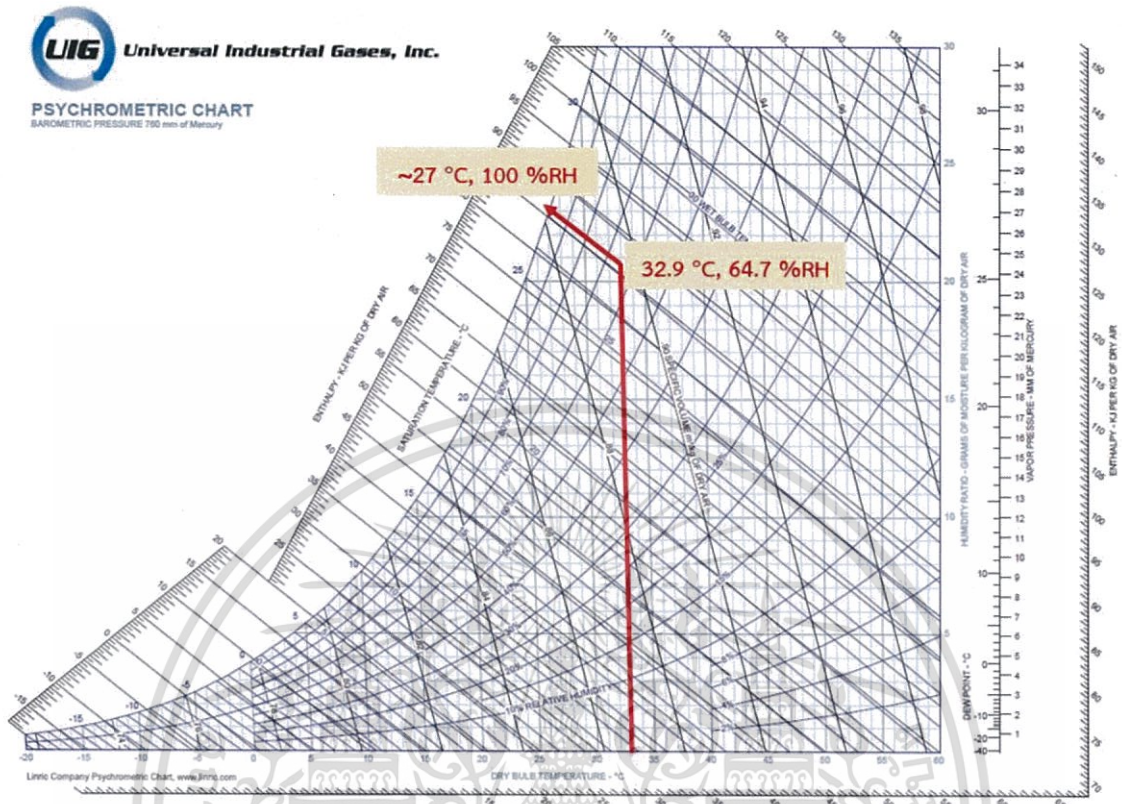
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา
(การทดลองส่วนที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 สรุปผลที่ได้จากการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (ส่วนที่ 1)

ค่าพารามิเตอร์	ผลการทดลอง
อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศขาออกจากพัดลมโบลเวอร์ (LPH)	5522.5
อุณหภูมิของอากาศแวดล้อมโดยเฉลี่ย (°C)	31.0
อุณหภูมิของอากาศหลังจากผ่านพัดลมโบลเวอร์โดยเฉลี่ย (°C)	32.9
อุณหภูมิของอากาศหลังออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (°C)	29.0
ผลต่างระหว่างอุณหภูมิหลังผ่านพัดลมโบลเวอร์และหลังออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงโดยเฉลี่ย (°C)	3.9
ผลต่างระหว่างอุณหภูมิแวดล้อมและหลังออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงโดยเฉลี่ย (°C)	2.0
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมโดยเฉลี่ย (%RH)	73.3
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังผ่านพัดลมโบลเวอร์โดยเฉลี่ย (%RH)	64.7
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงโดยเฉลี่ย (%RH)	98.8

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าหากเทียบกับแผนภูมิไซโครเมตริก ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังผ่านพัดลมโบลเวอร์ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดของอากาศที่เป็นไปได้เมื่อออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง จะมีค่าประมาณ 27 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงถือได้ว่าผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มของค่าเป็นไปตามทฤษฎี เนื่องจากในการทดลองจริง ระบบที่ใช้ในการทดลองไม่ได้เป็นระบบแอเดียแบติกแบบสมบูรณ์ จึงอาจเกิดการสูญเสียหรือรับพลังงานความร้อนจากภายนอกขึ้นได้ ดังนั้นอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองจึงสูงกว่าอุณหภูมิทางทฤษฎีจากแผนภูมิไซโครเมตริก



รูปที่ 4.3 อุณหภูมิต่ำสุดที่เป็นไปได้ของอากาศจากผลการทดลองส่วนที่ 1 เมื่อดูจากแผนภูมิไซโครเมตริก

4.2 ผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงร่วมกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจล (ส่วนที่ 2)

จากผลการทดลองที่ได้พบว่า หากลดความชื้นของอากาศลงด้วยสารดูดความชื้นซิลิกาเจลก่อนเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงเพื่อลดอุณหภูมิของอากาศ จะสามารถลดอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมลงได้เฉลี่ยประมาณ 1-3 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการบันทึกผลการทดลองสองครั้ง อุณหภูมิแวดล้อมขณะทำการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน แต่การทดลองครั้งที่สองมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมที่มากกว่าการทดลองครั้งที่หนึ่งประมาณ 10 %RH เมื่ออากาศผ่านเข้าสู่สารดูดความชื้นซิลิกาเจล จากการทดลองครั้งที่หนึ่งที่ใช้สารดูดความชื้นซิลิกาเจนน้ำหนัก 514.35 กรัม จะสามารถลดความชื้นของอากาศลงได้ต่ำสุดเท่ากับ 18 %RH และคงที่อยู่ได้แค่ประมาณ 10 นาที ก่อนที่ความสามารถในการลดความชื้นของซิลิกาเจลจะค่อยๆลดลง ส่งผลทำให้ความชื้นของอากาศหลังผ่านสารดูดความชื้นซิลิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กาเจลหลังจากนี้ค่อยๆเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านมา สำหรับการทดลองครั้งที่สองที่ใช้สารดูดความชื้นซิลิกาเจลน้ำหนัก 1200.02 กรัม ดังรูปที่ 4.4 ค่าความชื้นสัมพัทธ์หลังผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจลจะลดลงได้ต่ำที่สุดอยู่ที่ 13 %RH และเป็นค่าคงที่อยู่นานประมาณ 20 นาทีก่อนที่ความชื้นหลังผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจลจะค่อยๆเพิ่มขึ้น โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดลองทั้งสองครั้งนี้ แสดงเอาไว้ดังรูปที่ 4.6 และ 4.8 ซึ่งสามารถสังเกตเห็นจากการทดลองได้ว่า ยิ่งลดความชื้นของอากาศลงได้และคงที่เป็นระยะเวลาเวลานานกว่าได้มากเท่าไร เมื่ออากาศผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงแล้ว อุณหภูมิของอากาศสุดท้ายก็จะยิ่งน้อยลงตามไปด้วย นี่จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้การทดลองครั้งที่สอง สามารถลดอุณหภูมิของอากาศลงได้มากกว่าการทดลองครั้งที่หนึ่ง

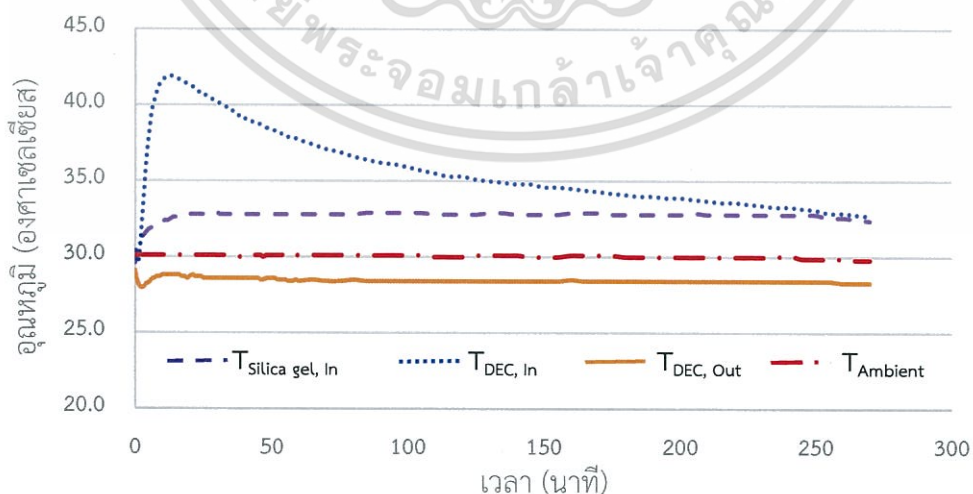
ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง จะเพิ่มสูงขึ้นไปเรื่อยๆจนคงที่ที่ 99 %RH ทั้งสองการทดลอง อุณหภูมิหลังออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงจะคงที่ที่ประมาณ 28.4 องศาเซลเซียสสำหรับการทดลองครั้งที่หนึ่ง และประมาณ 27.4 องศาเซลเซียสสำหรับการทดลองครั้งที่สอง ซึ่งกราฟแสดงค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆที่ได้จากการทดลองทั้งหมดแสดงเอาไว้ดังรูปที่ 4.5 และ 4.7 โดยผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงร่วมกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจล ได้สรุปเอาไว้ดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.4 การลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง
ร่วมกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจลน้ำหนัก 1200.02 กรัม
(การทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 2)

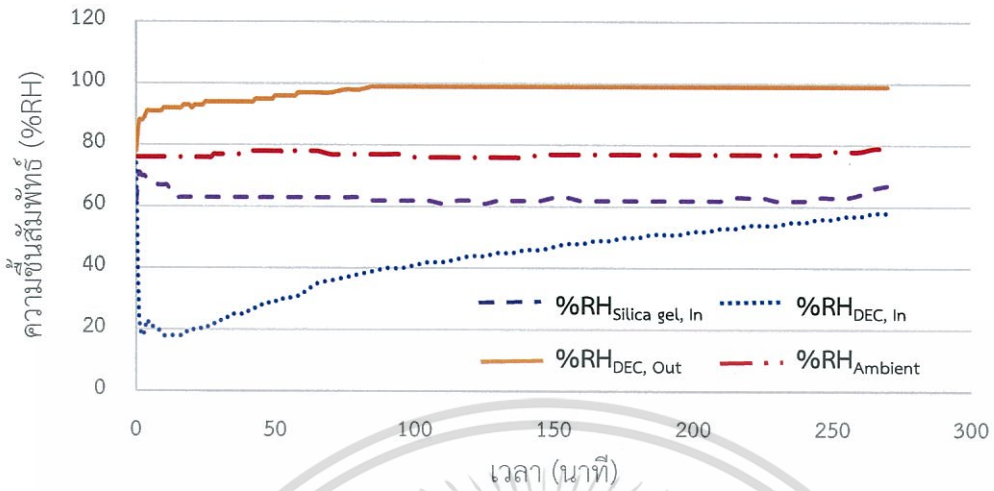
ตารางที่ 4.2 สรุปผลที่ได้จากการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหย โดยทางตรงร่วมกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจล (ส่วนที่ 2)

ค่าพารามิเตอร์	ผลการทดลองครั้งที่	
	1	2
น้ำหนักของซิลิกาเจลที่ใช้ในการทดลอง (g)	514.35	1200.02
อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศขาออกจากพัดลมโบลเวอร์ (LPH)	5516.1	5481.4
อุณหภูมิของน้ำภายในเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรงโดยเฉลี่ย (°C)	28.6	26.9
อุณหภูมิของอากาศแวดล้อมโดยเฉลี่ย (°C)	30.1	30.5
อุณหภูมิของอากาศหลังจากผ่านพัดลมโบลเวอร์โดยเฉลี่ย (°C)	32.7	32.9
อุณหภูมิของอากาศหลังผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจลโดยเฉลี่ย (°C)	37.3	37.6
อุณหภูมิของอากาศหลังออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรง (°C)	28.5	27.6
ผลต่างระหว่างอุณหภูมิหลังผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจลและหลังออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรงโดยเฉลี่ย (°C)	8.8	10.1
ผลต่างระหว่างอุณหภูมิแวดล้อมและหลังออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรงโดยเฉลี่ย (°C)	1.6	2.9
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมโดยเฉลี่ย (%RH)	76.9	65.3
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจลโดยเฉลี่ย (%RH)	34.3	26.5
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรงโดยเฉลี่ย (%RH)	95.6	93.7

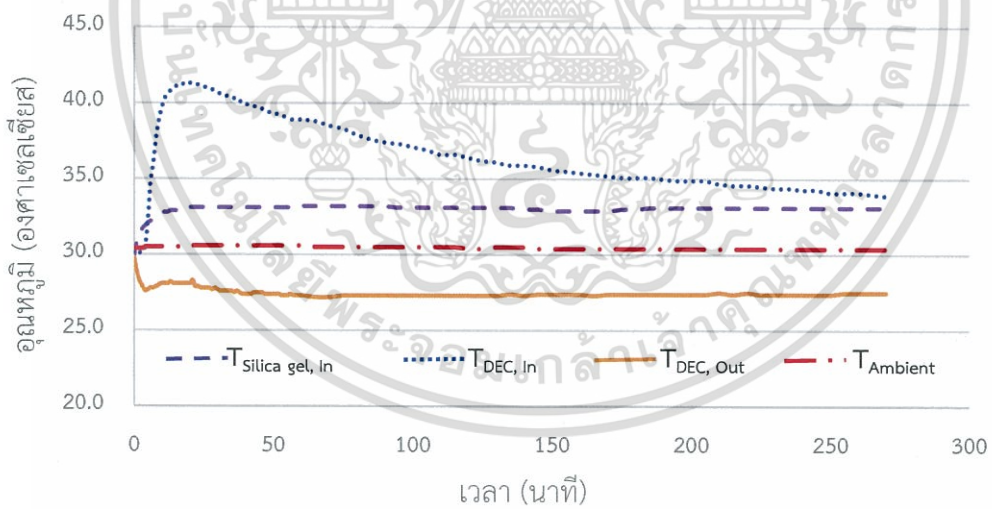


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

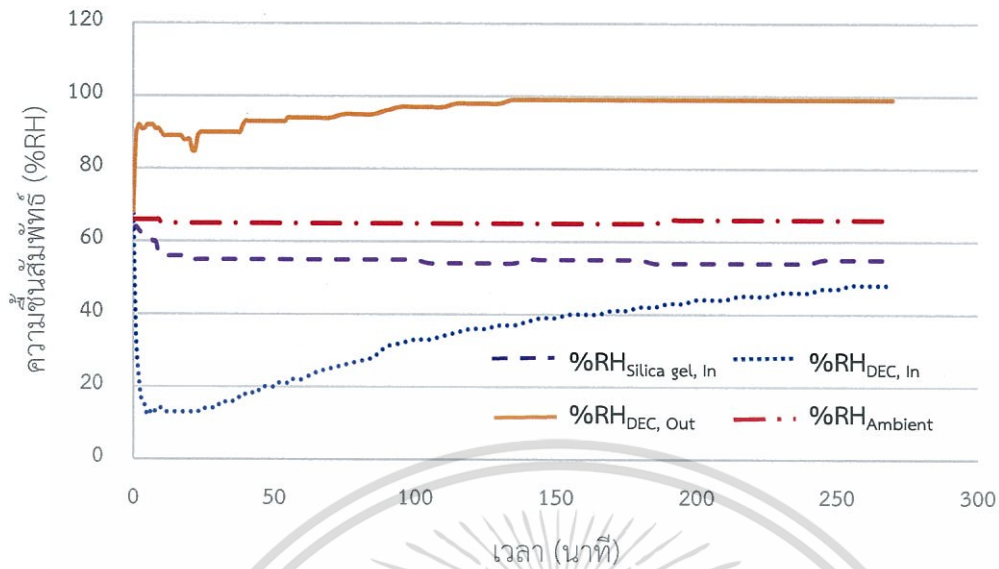


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 1)



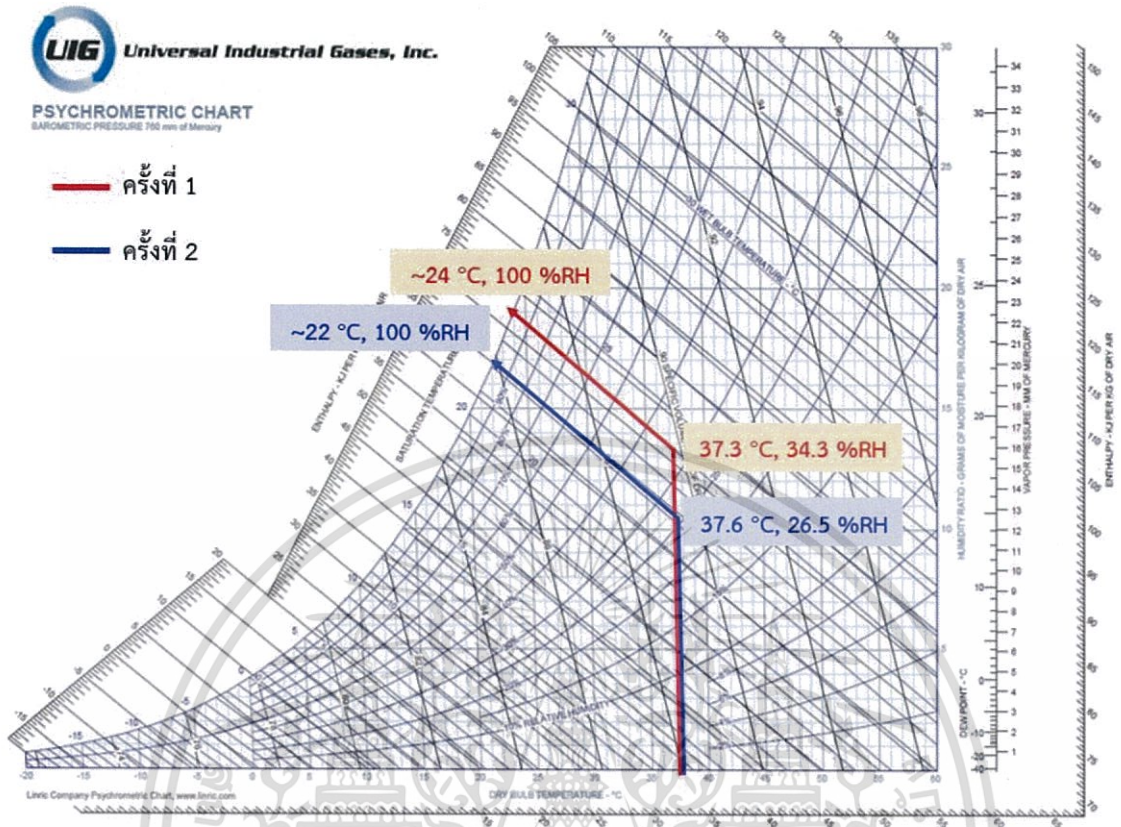
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 2)

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าหากเทียบกับแผนภูมิไซโครเมตริก ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจล อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดของอากาศที่เป็นไปได้เมื่อออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง จะมีค่าประมาณ 24 องศาเซลเซียส สำหรับการทดลองครั้งที่หนึ่ง และประมาณ 22 องศาเซลเซียสสำหรับการทดลองครั้งที่สอง ดังนั้นจึงถือได้ว่าผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มของค่าเป็นไปตามทฤษฎี และไม่ลดอุณหภูมิต่ำลงเกินกว่าที่ควรเป็นไปได้ทางทฤษฎี เนื่องจากในการทดลองจริง ระบบที่ใช้ในการทดลองไม่ได้เป็นระบบแอดเดียแบตคแบบสมบูรณ์ จึงอาจเกิดการสูญเสียหรือรับพลังงานความร้อนจากภายนอกขึ้นได้ ดังนั้นอุณหภูมิจึงสูงกว่าอุณหภูมิตามทฤษฎีจากแผนภูมิไซโครเมตริก



รูปที่ 4.9 อุณหภูมิต่ำสุดที่เป็นไปได้ของอากาศจากผลการทดลองส่วนที่ 2 เมื่อดูจากแผนภูมิไซโครเมตริก

4.3 ผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยการเป่าอากาศผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจล ก่อนลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่อทองแดง และเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงเป็นลำดับสุดท้าย (ส่วนที่ 3)

จากการบันทึกผลการทดลองสองครั้ง โดยให้อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศหลังจากสารดูดความชื้นซิลิกาเจลมีค่าประมาณ 5500 ลิตรต่อชั่วโมงทั้งสองการทดลอง พบว่าสามารถลดอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมลงได้เฉลี่ยประมาณ 2 องศาเซลเซียสเท่านั้น โดยเมื่ออากาศผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจลมาแล้ว แนวโน้มของผลที่ได้จากการทดลองจะเหมือนกันกับการทดลองในส่วนที่ 2 กล่าวคือ เมื่อใช้สารดูดความชื้นซิลิกาเจลที่ปริมาณมากขึ้น อากาศที่ผ่านสารดูดความชื้นนี้จะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดน้อยกว่าอากาศที่ผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจลที่มีปริมาณน้อยกว่า อีกทั้งการใช้สารดูดความชื้นซิลิกาเจลที่มากขึ้น ยังส่งผลทำให้ความกว้างของช่วงเวลาที่สามารถลดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจนอยู่ในจุดที่เป็นค่าคงที่เพิ่มขึ้น กระทั่งสารดูดความชื้นซิลิกาเจลมีความสามารถในการดูดซับไอน้ำในอากาศได้น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเมื่อผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจลจึงค่อยๆเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านมา ซึ่งผลที่ได้นี้สามารถสังเกตเห็นได้จากกราฟรูปที่ 4.11 และ 4.13 แต่ถึงแม้ว่าความชื้นสัมพัทธ์และอัตราส่วนความชื้นของไอน้ำในอากาศจะลดลงไปจากการถูกสารดูดความชื้นซิลิกาเจลดูดซับความชื้นเอาไว้ อุณหภูมิของอากาศที่ได้กลับเพิ่มสูงขึ้นมาด้วย เมื่อนำอากาศที่ได้ไหลผ่านเข้าสู่ท่อทองแดงที่แช่อยู่ในน้ำ ถึงแม้จะสามารถลดอุณหภูมิของอากาศลงไปจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิของน้ำได้ แต่ความชื้นสัมพัทธ์ที่ขาออกของท่อทองแดงกลับเพิ่มสูงขึ้นมาอีกครั้ง ซึ่งเป็นไปตามแผนภูมิไซโครเมตริก เพราะแม้อัตราส่วนความชื้นของไอน้ำในอากาศจะลดลงหลังจากผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจลมาแล้ว แต่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะเพิ่มขึ้นเมื่อลดอุณหภูมิของอากาศลงโดยที่อัตราส่วนความชื้นในอากาศคงที่ ดังนั้นสุดท้ายแล้วอากาศที่ได้หลังจากผ่านส่วนของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง จึงสามารถลดอุณหภูมิลงไปได้แค่มิเก็องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นผลมาจากการที่อากาศยังคงมีความชื้นสัมพัทธ์ที่ค่อนข้างสูงอยู่

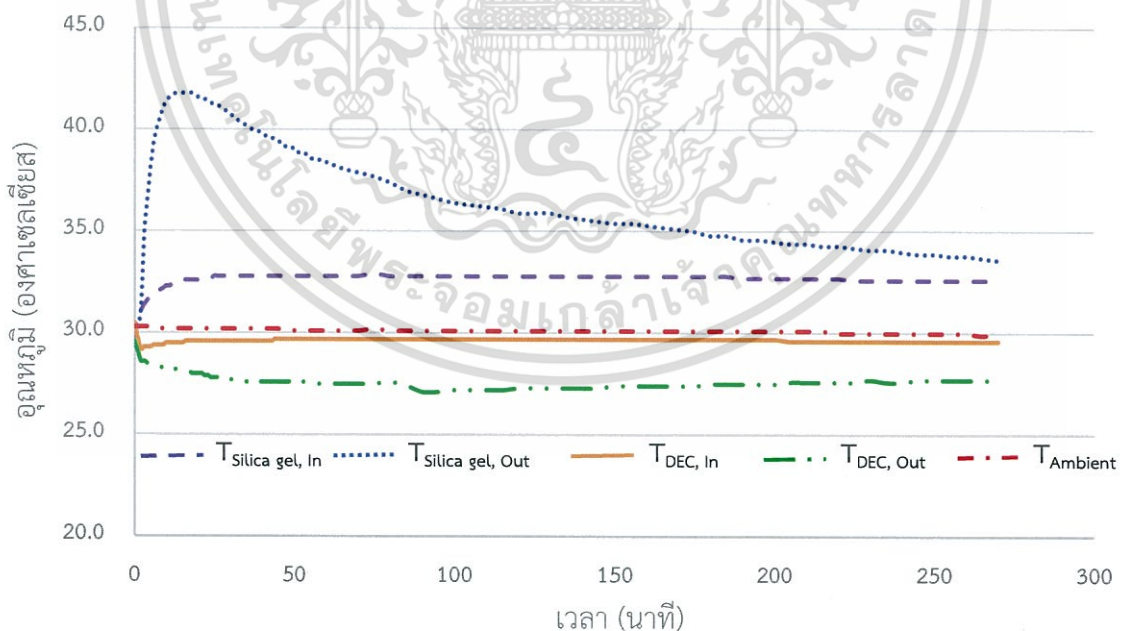
ในส่วนของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังจากออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง จะเพิ่มสูงขึ้นไปเรื่อยๆจนคงที่ที่ 99 %RH ทั้งสองการทดลอง อุณหภูมิหลังจากออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงจะคงที่ที่ประมาณ 27.7 องศาเซลเซียสสำหรับการทดลองครั้งที่หนึ่ง และประมาณ 27.3 องศาเซลเซียสสำหรับการทดลองครั้งที่สอง ซึ่งจะเห็นได้ว่าไม่แตกต่างจากผลการทดลองที่ได้ในส่วนที่ 2 มากนัก โดยกราฟแสดงค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆที่ได้จากการทดลองทั้งหมดแสดงเอาไว้ดังรูปที่ 4.10 และ 4.12 โดยผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงร่วมกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจล ได้สรุปเอาไว้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สรุปผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยการเป่าอากาศผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจล ก่อนลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่อทองแดง และเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงเป็นลำดับสุดท้าย (ส่วนที่ 3)

ค่าพารามิเตอร์	ผลการทดลองครั้งที่	
	1	2
น้ำหนักของซิลิกาเจลที่ใช้ในการทดลอง (g)	514.35	1200.04
อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศขาออกจากพัดลมโบลเวอร์ (LPH)	5516.1	5481.4
อุณหภูมิของน้ำในถังแช่ท่อทองแดงโดยเฉลี่ย (°C)	29.0	29.2
อุณหภูมิของน้ำภายในเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงโดยเฉลี่ย (°C)	28.1	27.5
อุณหภูมิของอากาศแวดล้อมโดยเฉลี่ย (°C)	30.1	29.7
อุณหภูมิของอากาศหลังผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจลโดยเฉลี่ย (°C)	37.8	37.9

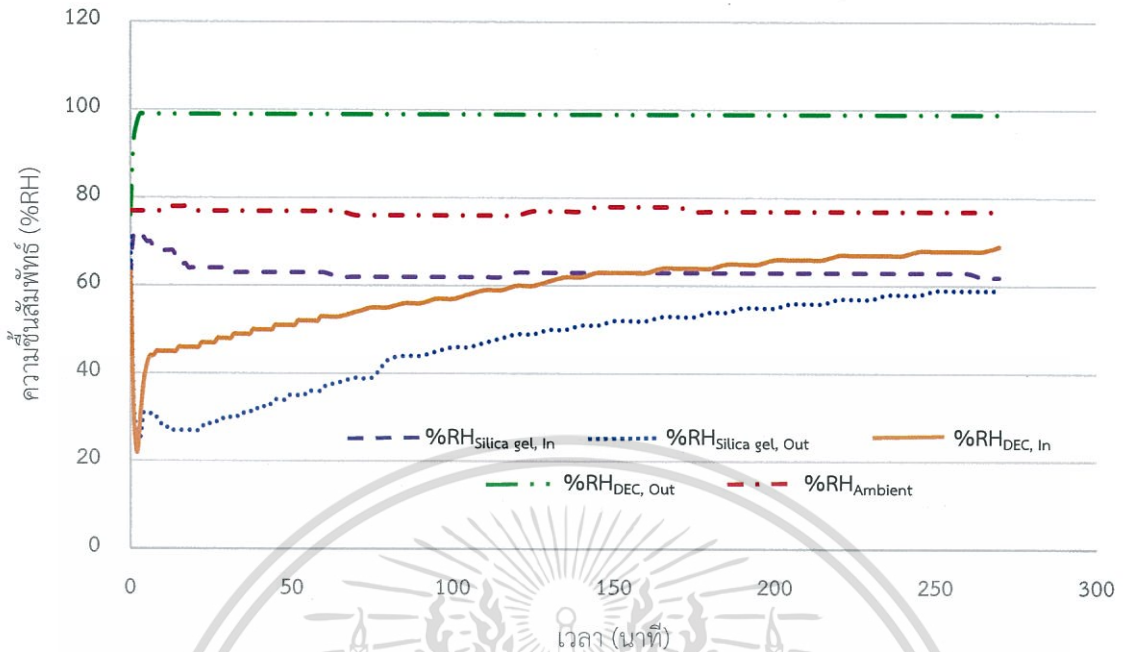
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพารามิเตอร์	ผลการทดลองครั้งที่	
	1	2
อุณหภูมิของอากาศหลังผ่านท่อทองแดงโดยเฉลี่ย (°C)	29.6	29.4
อุณหภูมิของอากาศหลังออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (°C)	27.7	27.2
ผลต่างระหว่างอุณหภูมิหลังผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจลและหลังผ่านท่อทองแดงโดยเฉลี่ย (°C)	8.2	8.5
ผลต่างระหว่างอุณหภูมิหลังผ่านท่อทองแดงและหลังออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงโดยเฉลี่ย (°C)	1.9	2.2
ผลต่างระหว่างอุณหภูมิแวดล้อมและหลังออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงโดยเฉลี่ย (°C)	2.4	2.5
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมโดยเฉลี่ย (%RH)	77.0	82.3
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจลโดยเฉลี่ย (%RH)	39.8	26.5
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังผ่านท่อทองแดงโดยเฉลี่ย (%RH)	53.7	47.2
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงโดยเฉลี่ย (%RH)	98.7	98.8

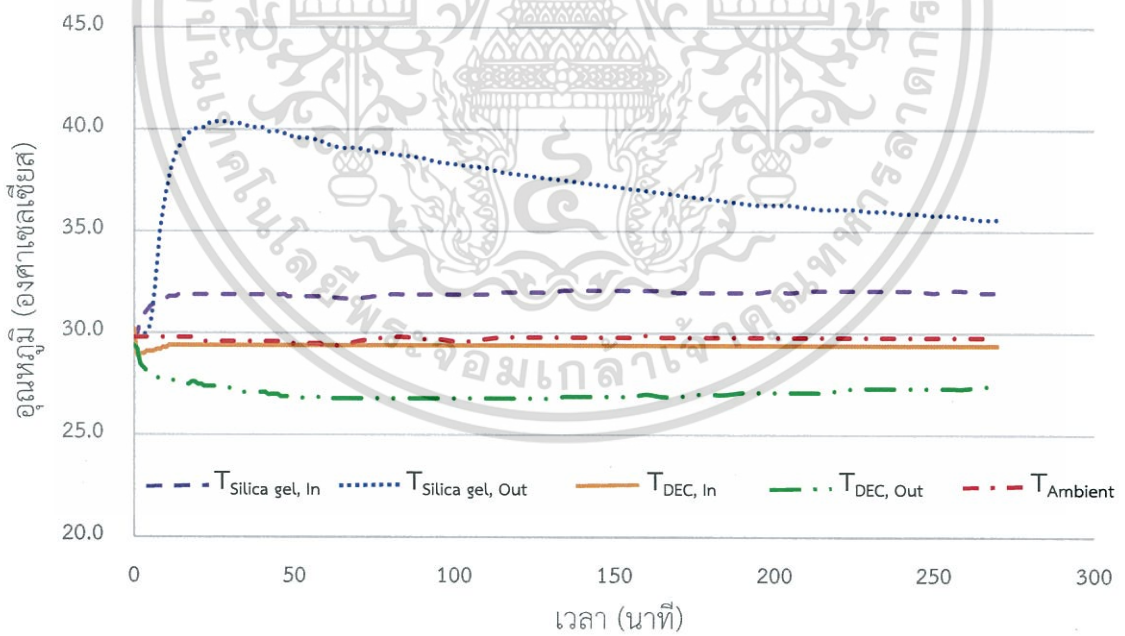


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา
(การทดลองส่วนที่ 3 ครั้งที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

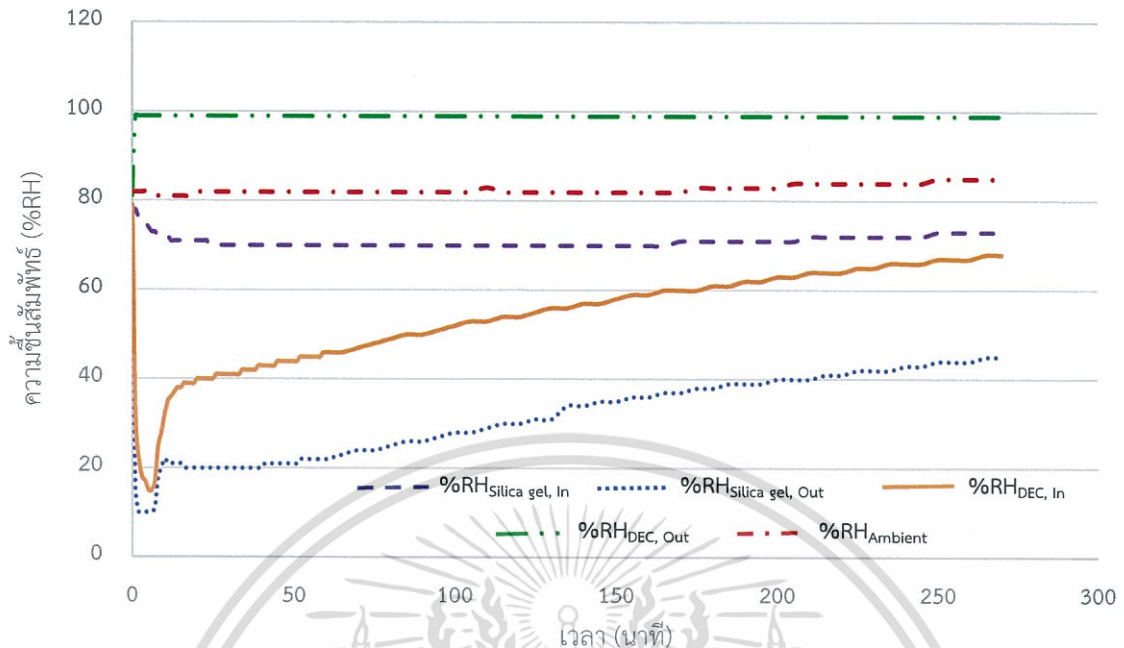


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองส่วนที่ 3 ครั้งที่ 1)



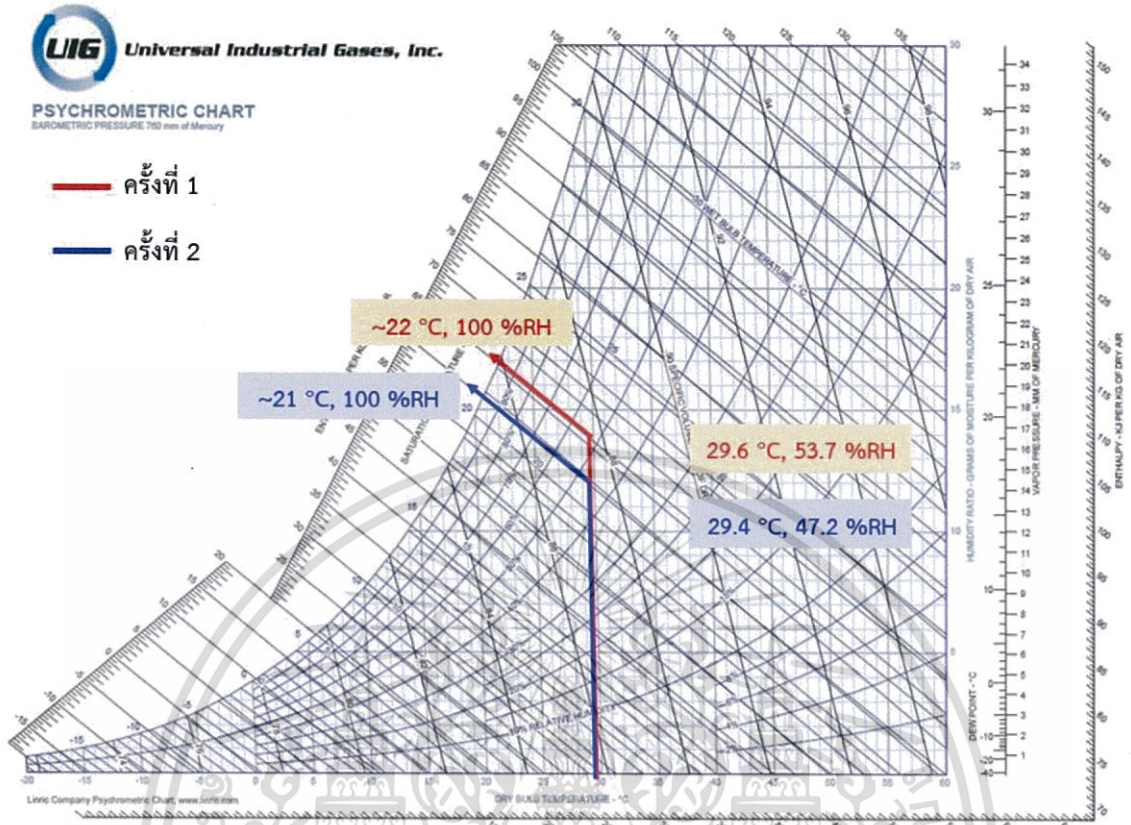
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองส่วนที่ 3 ครั้งที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองส่วนที่ 3 ครั้งที่ 2)

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าหากเทียบกับแผนภูมิไซโครเมตริก ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังผ่านท่อทองแดง ซึ่งเป็นส่วนสุดท้ายก่อนเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง พบว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดของอากาศที่เป็นไปได้เมื่อออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง จะมีค่าประมาณ 22 องศาเซลเซียส สำหรับการทดลองครั้งที่หนึ่ง และประมาณ 21 องศาเซลเซียสสำหรับการทดลองครั้งที่สอง ดังนั้นจึงถือได้ว่าผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มของค่าเป็นไปตามทฤษฎี และไม่ลดอุณหภูมิต่ำลงเกินกว่าที่ควรเป็นไปได้ทางทฤษฎี เนื่องจากในการทดลองจริง ระบบที่ใช้ในการทดลองไม่ได้เป็นระบบแอดิเอแบติกแบบสมบูรณ์ จึงอาจเกิดการสูญเสียหรือรับพลังงานความร้อนจากภายนอกขึ้นได้ ดังนั้นอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองจึงสูงกว่าอุณหภูมิทางทฤษฎีจากแผนภูมิไซโครเมตริก



รูปที่ 4.14 อุณหภูมิต่ำสุดที่เป็นไปได้ของอากาศจากผลการทดลองส่วนที่ 3
เมื่อดูจากแผนภูมิไซโครเมตริก

4.4 ผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องอัดอากาศร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (ส่วนที่ 4)

จากผลการทดลองพบว่า การปรับอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงร่วมกับเครื่องอัดอากาศนั้น จะลดอุณหภูมิของอากาศลงได้เฉลี่ยประมาณ 4-6 องศาเซลเซียส เนื่องจากเครื่องอัดอากาศที่ใช้ซึ่งตั้งค่าความดันของอากาศขาออกจากเครื่องเอาไว้ที่ประมาณ 7-9 บาร์ จะทำให้อากาศที่ปะปนอยู่ในอากาศเกิดการควบแน่น และกลั่นตัวลงมาเป็นของเหลว นั่นจึงทำให้อากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศมีความชื้นลดลง ส่วนอุณหภูมิขาออกจากเครื่องอัดอากาศโดยเฉลี่ยก็มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิแวดล้อมภายในบริเวณที่ทำการปรับอากาศ ดังนั้นด้วยสาเหตุที่อุณหภูมิของอากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศ มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิแวดล้อม โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศมีค่าที่ต่ำมาก จึงส่งผลทำให้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง สามารถลดอุณหภูมิของ

อากาศลงได้มากกว่าการทดลองที่ผ่านมา เพียงแต่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่ได้จากการทดลองในส่วนนี้จะมีค่าไม่คงที่

การทดลองในส่วนนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนย่อย ดังนี้

- ส่วนที่ 1 จะทดลองปรับอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่ไม่หุ้มฉนวน และใช้อัตราการไหลเชิงปริมาตรที่ 5500 ลิตรต่อชั่วโมง

- ส่วนที่ 2 จะเป็นการทดลองโดยหุ้มฉนวนเข้ากับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง และปรับให้อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศอยู่ที่ 8500 ลิตรต่อชั่วโมง

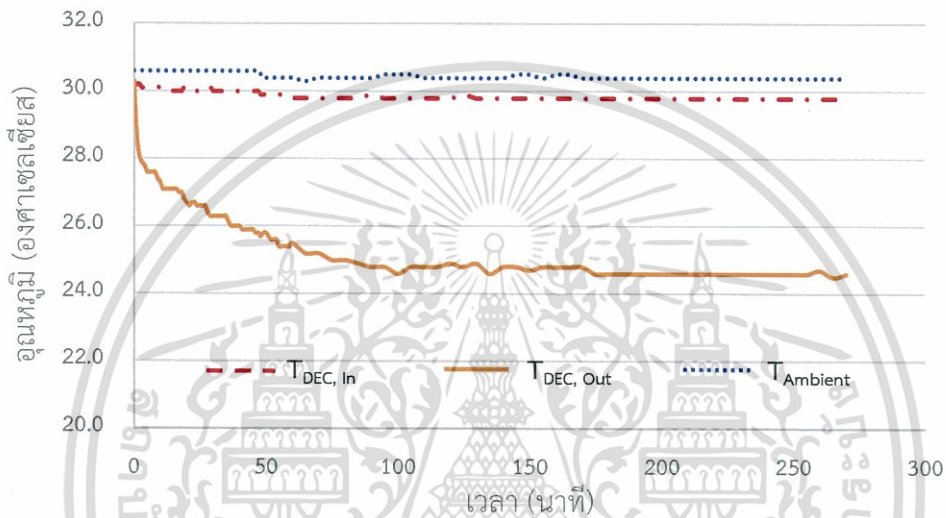
พบว่า การทดลองในส่วนย่อยที่สองจะสามารถลดอุณหภูมิลงได้ต่ำกว่าการทดลองในส่วนย่อยที่หนึ่ง ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิหลังจากผ่านเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงกับสภาพแวดล้อมโดยรอบแตกต่างกันค่อนข้างมาก จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้นระหว่างตัวเครื่องและสภาพแวดล้อมได้ง่าย การหุ้มฉนวนเข้ากับตัวเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง จึงทำให้ไม่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างสภาพแวดล้อมภายนอกกับระบบภายในเครื่อง แตกต่างจากการทดลองในส่วนย่อยที่หนึ่งที่ไม่หุ้มฉนวน จึงทำให้ความร้อนจากภายนอกสามารถถ่ายโอนเข้ามาภายในตัวเครื่องได้ ส่วนอัตราการไหลเชิงปริมาตรที่ต่างกันไม่ได้ส่งผลต่อการลดอุณหภูมิที่ได้มากนัก เพียงแต่ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงโดยเฉลี่ย ลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการทดลองในส่วนย่อยที่สองเท่านั้น ซึ่งผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงร่วมกับเครื่องอัดอากาศ ได้สรุปเอาไว้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สรุปผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องอัดอากาศร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (ส่วนที่ 4)

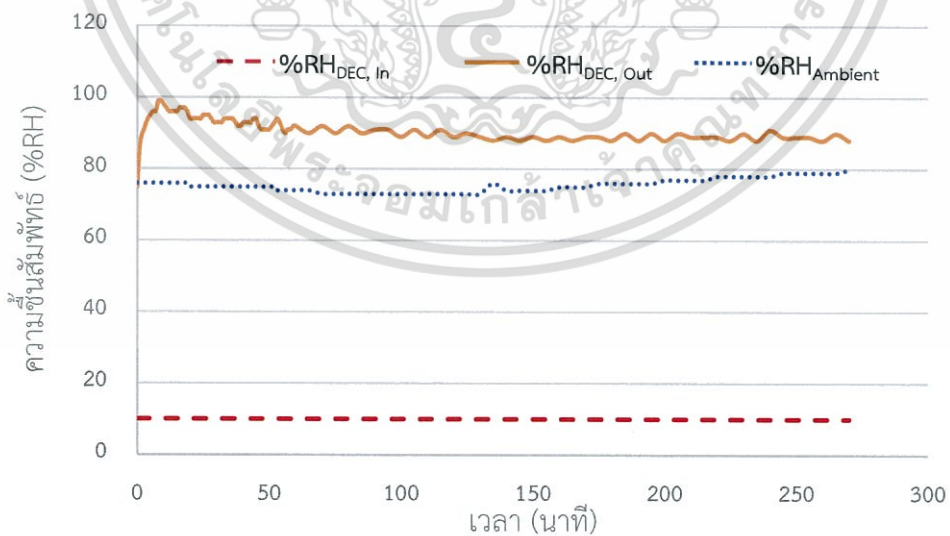
ค่าพารามิเตอร์	ผลการทดลองครั้งที่	
	1	2
อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศ (LPH)	5500	8500
อุณหภูมิของน้ำภายในเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงโดยเฉลี่ย (°C)	25.3	23.1
อุณหภูมิของอากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศโดยเฉลี่ย (°C)	29.9	29.5
อุณหภูมิของอากาศแวดล้อมโดยเฉลี่ย (°C)	30.5	30.5
อุณหภูมิของอากาศหลังออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง (°C)	25.8	24.5
ผลต่างระหว่างอุณหภูมิแวดล้อมและหลังออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงโดยเฉลี่ย (°C)	4.7	6.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพารามิเตอร์	ผลการทดลองครั้งที่	
	1	2
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมโดยเฉลี่ย (%RH)	75.3	69.1
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศโดยเฉลี่ย (%RH)	10.0	10.8
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงโดยเฉลี่ย (%RH)	91.7	83.5

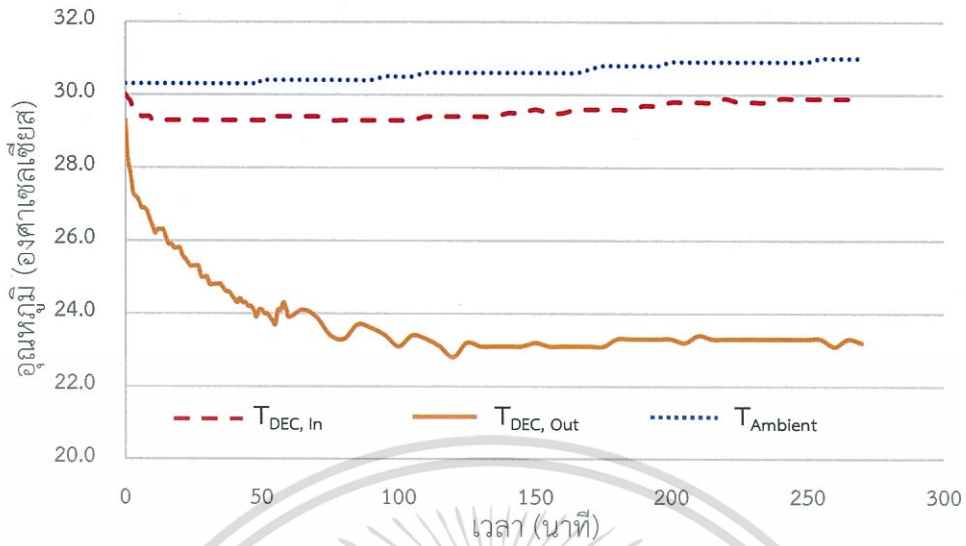


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองส่วนที่ 4 ครั้งที่ 1)

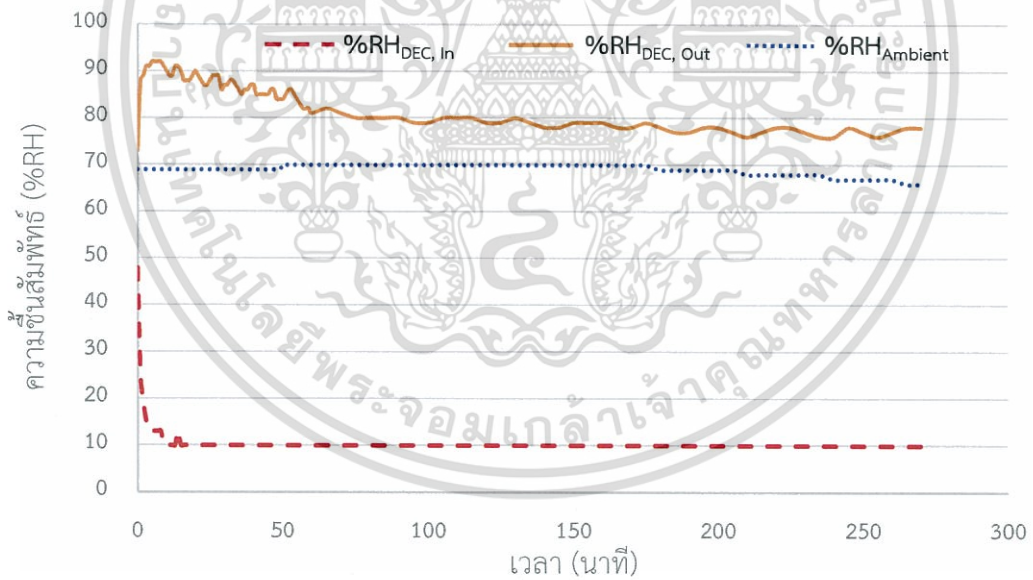


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา (การทดลองส่วนที่ 4 ครั้งที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



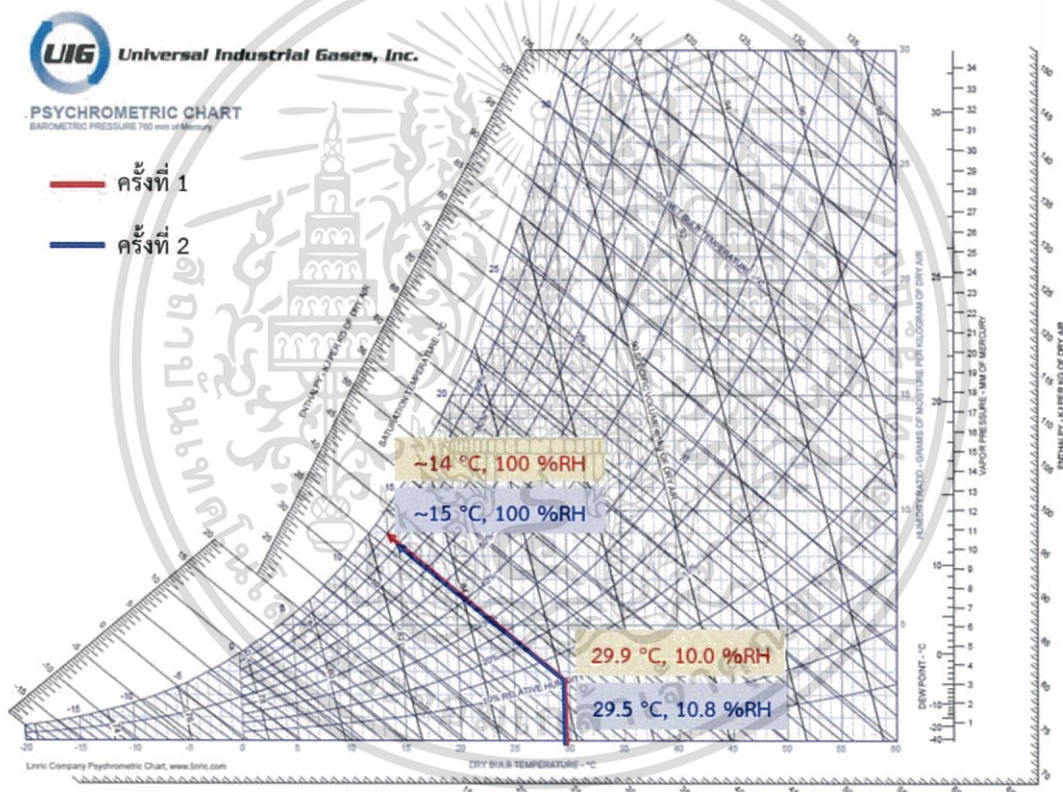
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา
(การทดลองส่วนที่ 4 ครั้งที่ 2)



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลา
(การทดลองส่วนที่ 4 ครั้งที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.19 ซึ่งถ้าหากเทียบกับแผนภูมิไซโครเมตริก ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศผ่านเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง พบว่า อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดของอากาศที่เป็นไปได้เมื่อออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง จะมีค่าประมาณ 14 องศาเซลเซียส สำหรับการทดลองครั้งที่หนึ่ง และประมาณ 15 องศาเซลเซียสสำหรับการทดลองครั้งที่สอง ดังนั้นจึงถือได้ว่าผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มของค่าเป็นไปตามทฤษฎี และไม่ลดอุณหภูมิต่ำลงเกินกว่าที่ควรเป็นไปได้ทางทฤษฎี เนื่องจากในการทดลองจริง ระบบที่สามารถทำให้เกิดขึ้นได้ในการทดลองนี้ ไม่ได้เป็นระบบแอดเดียแบติกที่สมบูรณ์แบบ จึงอาจเกิดการถ่ายโอนพลังงานความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ระบบของตัวเครื่องขึ้นได้ ดังนั้นอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองจึงสูงกว่าอุณหภูมิทางทฤษฎีจากแผนภูมิไซโครเมตริก



รูปที่ 4.19 อุณหภูมิต่ำสุดที่เป็นไปได้ของอากาศจากผลการทดลองส่วนที่ 4
เมื่อดูจากแผนภูมิไซโครเมตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อศึกษาการลดอุณหภูมิของอากาศ โดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ และหน่วยลดความชื้น สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. หากใช้พัดลมโบลเวอร์เป่าอากาศเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง และลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เพียงเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงเพียงอย่างเดียว และไม่ผ่านการลดความชื้นของอากาศแวดล้อมลงก่อน ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมอยู่ในช่วง 71-76 %RH และ 30.3-31.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จะสามารถลดอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมได้เพียง 1-2 องศาเซลเซียสเท่านั้น โดยอุณหภูมิของอากาศขาออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยที่ต่ำที่สุดที่วัดได้จะอยู่ในช่วงประมาณ 28.2-28.5 องศาเซลเซียส

2. หากลดความชื้นของอากาศลงด้วยสารดูดความชื้นซิลิกาเจลก่อนเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง จะสามารถลดอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมได้เฉลี่ยประมาณ 1-3 องศาเซลเซียส โดยการทดลองที่ใช้ปริมาณของซิลิกาเจลมากกว่า จะสามารถลดความชื้นของอากาศได้มากขึ้นและนานขึ้น ทำให้สามารถลดอุณหภูมิของอากาศลงได้ต่ำกว่าการทดลองที่ใช้ซิลิกาเจลดน้อยกว่า ซึ่งอุณหภูมิของอากาศขาออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยที่ต่ำที่สุดที่วัดได้จะอยู่ในช่วงประมาณ 28.7-28.9 องศาเซลเซียสสำหรับการทดลองที่ใช้ซิลิกาเจล 514.35 กรัม และ 27.3-27.5 องศาเซลเซียสสำหรับการทดลองที่ใช้ซิลิกาเจล 1200.02 กรัม โดยขณะที่ทำการทดลอง ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมอยู่ในช่วง 65-84 %RH และ 29.8-30.6 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

3. ระบบปรับอากาศที่เมื่อลดความชื้นของอากาศลงด้วยซิลิกาเจลแล้ว อากาศที่ได้จะถูกนำไปผ่านเข้าสู่ท่อทองแดงที่สัมผัสอยู่กับน้ำ เพื่อลดอุณหภูมิของอากาศหลังจากออกจากซิลิกาเจลลงก่อน จากนั้นจึงนำอากาศหลังจากผ่านท่อทองแดงผ่านเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงเป็นลำดับสุดท้าย การทดลองนี้จะสามารถลดอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมได้เฉลี่ยประมาณ 1-3 องศาเซลเซียสเท่านั้น ซึ่งการทดลองทั้งสองครั้งที่ใช้ปริมาณซิลิกาเจลไม่เท่ากัน ล้วนให้ผลที่ได้ใกล้เคียงกัน คืออุณหภูมิของอากาศขาออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยที่ต่ำที่สุดที่วัดได้จะอยู่ในช่วงประมาณ 26.8-27.1 องศาเซลเซียส เฉลี่ยรวมตลอดระยะเวลาการทดลองจะอยู่ที่ประมาณ 27.2-27.7 องศาเซลเซียส ความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมพัทธ์ของอากาศอยู่ในช่วง 76-85 %RH และอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมอยู่ในช่วง 29.4-30.3 องศาเซลเซียส

4. การใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงร่วมกับเครื่องอัดอากาศ จะสามารถลดอุณหภูมิของอากาศลงได้เฉลี่ยประมาณ 4-6 องศาเซลเซียส โดยที่ถ้าหากหุ้มฉนวนรอบตัวเครื่องทำความเย็นแบบระเหย จะสามารถลดอุณหภูมิลงได้มากกว่าการไม่หุ้มฉนวน เนื่องจากการหุ้มฉนวนจะทำให้ไม่เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างระบบภายในตัวเครื่องและสภาพแวดล้อมโดยรอบ อุณหภูมิต่ำสุดของอากาศหลังจากผ่านเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงที่ไม่หุ้มฉนวน จะอยู่ที่ประมาณ 24.5-24.7 องศาเซลเซียส และ 23.1-23.3 องศาเซลเซียสสำหรับการหุ้มฉนวน ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมขณะทำการทดลองอยู่ในช่วง 66-80 %RH และ 30.3-31.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

5. จากการทดลองทั้งหมดพบว่า การลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงร่วมกับเครื่องอัดอากาศ จะสามารถลดอุณหภูมิของอากาศลงได้มากที่สุด เนื่องจากเครื่องอัดอากาศที่ใช้มีความดันสูง จึงทำให้ไอน้ำที่ปะปนอยู่ในอากาศเกิดการควบแน่นจนกลายเป็นของเหลว ส่งผลทำให้ความชื้นของอากาศขาออกจากเครื่องอัดอากาศต่ำลงมาก อีกทั้งอากาศเหล่านี้ยังมีอุณหภูมิลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิแวดล้อมอีกด้วย ซึ่งแตกต่างจากการลดความชื้นของอากาศลงด้วยซิลิกาเจล ที่นอกจากจะลดความชื้นได้น้อยกว่าการใช้เครื่องอัดอากาศแล้ว ยังส่งผลทำให้อุณหภูมิของอากาศขาออกจากซิลิกาเจลเพิ่มสูงขึ้นด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยต่อไป

1. ควรศึกษาและทดลองสารดูดความชื้นชนิดอื่น เพื่อหาสารดูดความชื้นที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการลดความชื้น
2. ควรศึกษาอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมกับระบบปรับอากาศด้วยหน่วยลดความชื้นร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง
3. ควรลองศึกษาเครื่องทำความเย็นแบบระเหยประเภทอื่น ว่ามีความสามารถในการลดอุณหภูมิได้มากกว่าหรือน้อยกว่าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงอย่างไรบ้าง เพื่อหาหนทางที่ดีที่สุดในการปรับอากาศให้เหมาะสมกับบุคคลและสภาพแวดล้อมภายในบริเวณที่ติดตั้งเครื่อง
4. ควรศึกษาหาหนทางในการเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างอากาศและน้ำ เพื่อหาหนทางที่เป็นไปได้ในการระเหยน้ำได้มากขึ้นของเครื่องทำความเย็นแบบระเหย โดยลองทดสอบการบรรจุ Packing ที่หลากหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ควรศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการประหยัดพลังงานของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรงร่วมกับหน่วยลดความชื้น
6. ควรศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางตรงไปใช้ประโยชน์กับภาคเกษตรกรรมหรืออุตสาหกรรม เช่น ประยุกต์ใช้งานในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น รวมทั้งควรศึกษาถึงความคุ้มค่าในการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2547). *ตอนที่ 4 บทที่ 1 ระบบอัดอากาศ บีมน้ำ และพัดลม*. ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานอาวุโส (ผอส.) ด้านความร้อน (pp. 1-1 - 1-72).
- [2] ซิลิกาเจล (*Silica gel*). Glassware Chemical. [ออนไลน์]. สืบค้นจากอินเทอร์เน็ต, <http://glasswarechemical.com/materials/ซิลิกาเจล-silica-gel/>, สืบค้นเมื่อ 18 กรกฎาคม 2561.
- [3] วิบูลย์ เทเพนทร์. *คุณสมบัติของอากาศ (Psychrometry)*. กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว, สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม, กรมวิชาการเกษตร.
- [4] สุทธิพันธ์ ต้นโพธิ์. (2545). *การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี).
- [5] อธิศักดิ์ คล้ายมงคล. (2545). *การปรับอากาศด้วยสารดูดความชื้นร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยอ้อม*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี).
- [6] Cengel, Y.A. and Ghajar, A.J., (2015). *Thermodynamics: An Engineering Approach, Fifth Edition in SI Units*. McGraw-Hill Education : New York.
- [7] 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.
- [8] *Psychrometric Chart*. Universal Industrial Gases, Inc. [Online]. From http://www.uigi.com/UIGI_SI.PDF, Retrieved February 2, 2018.
- [9] Wang S.K., (2001). *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration – Second Edition*. McGraw-Hill Education : The United States of America.
- [10] Watt J.R., (1986). *Evaporative Air Condition Handbook Second Edition*. Chapman and Hall Ltd : New York.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
ข้อมูลผลการทดลองโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง
(ส่วนที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 1

ตารางที่ ก.1 ตารางบันทึกผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหย โดยทางตรง ที่ความเร็วลม 5522.5 ลิตรต่อชั่วโมง (4 กรกฎาคม 2561, 18.19-22.49 น.)

เวลา (นาทึ)	ความชื้น (%RH)			อุณหภูมิ (°C)			
	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}
0	76	78	73	31.7	30.5	31.1	30.3
1	71	99	73	31.9	29.9	31.1	30.3
2	71	99	73	32.1	29.7	31.1	30.2
3	70	99	73	32.3	29.6	31.1	30.1
4	69	99	73	32.4	29.5	31.1	30.0
5	67	99	73	32.6	29.5	31.1	30.1
6	67	99	73	32.7	29.5	31.1	29.9
7	66	99	73	32.8	29.4	31.1	29.8
8	66	99	73	32.8	29.4	31.1	29.9
9	65	99	73	32.8	29.3	31.1	29.8
10	65	99	73	32.9	29.3	31.1	29.8
11	65	99	73	32.9	29.3	31.1	29.8
12	65	99	73	32.9	29.3	31.1	29.7
13	65	99	73	33.0	29.3	31.1	29.7
14	65	99	73	33.0	29.3	31.1	29.6
15	65	99	73	33.0	29.3	31.1	29.6
16	65	99	73	33.0	29.3	31.1	29.6
17	65	99	73	33.0	29.3	31.1	29.6
18	65	99	73	33.0	29.3	31.1	29.5
19	65	99	73	33.0	29.2	31.1	29.6
20	65	99	73	33.1	29.2	31.1	29.5
21	65	99	73	33.1	29.3	31.1	29.5
22	65	99	73	33.1	29.3	31.1	29.5
23	65	99	73	33.1	29.2	31.1	29.5
24	65	99	74	33.1	29.2	31.1	29.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)			อุณหภูมิ (°C)			
	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}
25	65	99	74	33.1	29.2	31.1	29.4
26	65	99	74	33.1	29.2	31.1	29.4
27	65	99	74	33.1	29.2	31.1	29.4
28	65	99	74	33.1	29.2	31.1	29.4
29	65	99	74	33.1	29.2	31.1	29.4
30	65	99	74	33.1	29.2	31.1	29.4
31	65	99	74	33.1	29.2	31.1	29.4
32	65	99	74	33.1	29.2	31.1	29.4
33	65	99	74	33.1	29.2	31.1	29.4
34	65	99	74	33.1	29.2	31.1	29.3
35	65	99	74	33.1	29.2	31.1	29.3
36	65	99	74	33.1	29.2	31.1	29.3
37	65	99	74	33.1	29.2	31.1	29.3
38	65	99	74	33.1	29.2	31.1	29.3
39	65	99	74	33.1	29.2	31.1	29.2
40	65	99	74	33.1	29.2	31.1	29.2
41	65	99	74	33.1	29.2	31.1	29.2
42	65	99	74	33.1	29.1	31.1	29.2
43	65	99	74	33.1	29.1	31.1	29.2
44	65	99	74	33.1	29.1	31.1	29.2
45	65	99	74	33.1	29.1	31.1	29.2
46	65	99	74	33.1	29.1	31.1	29.2
47	65	99	74	33.1	29.1	31.1	29.2
48	65	99	74	33.1	29.1	31.1	29.2
49	65	99	74	33.1	29.0	31.1	29.1
50	65	99	74	33.1	29.1	31.1	29.2
51	65	99	74	33.1	29.0	31.1	29.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 (ต่อ)

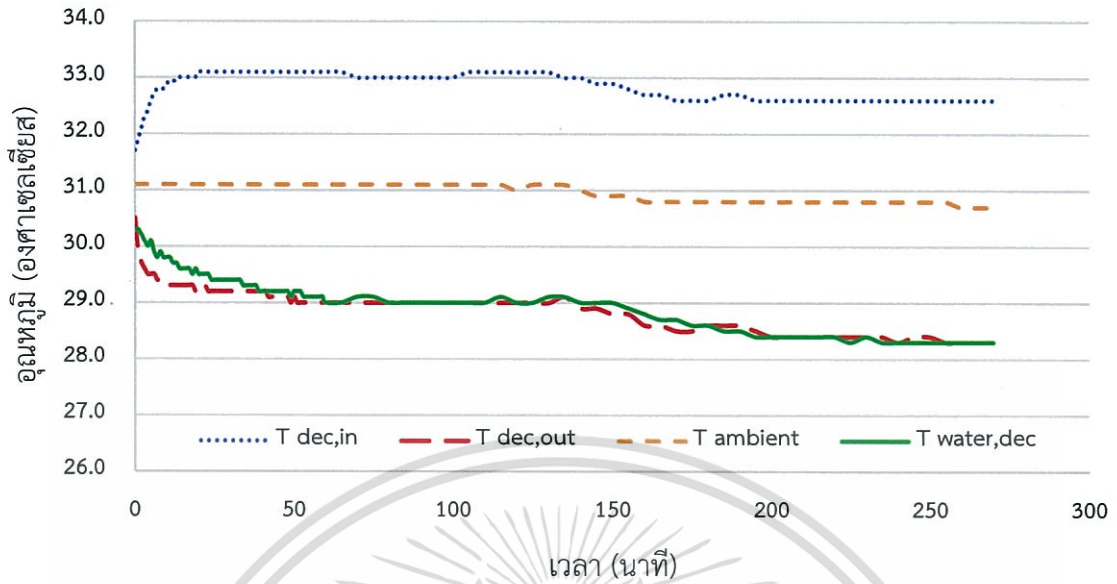
เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)			อุณหภูมิ (°C)			
	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}
52	65	99	74	33.1	29.0	31.1	29.2
53	65	99	74	33.1	29.0	31.1	29.1
54	65	99	74	33.1	29.0	31.1	29.1
55	65	99	74	33.1	29.0	31.1	29.1
56	65	99	74	33.1	29.0	31.1	29.1
57	65	99	74	33.1	29.0	31.1	29.1
58	65	99	74	33.1	29.0	31.1	29.1
59	65	99	74	33.1	29.0	31.1	29.1
60	65	99	75	33.1	29.0	31.1	29.0
65	65	99	75	33.1	29.0	31.1	29.0
70	65	99	75	33.0	29.0	31.1	29.1
75	65	99	75	33.0	29.0	31.1	29.1
80	65	99	75	33.0	29.0	31.1	29.0
85	65	99	75	33.0	29.0	31.1	29.0
90	65	99	75	33.0	29.0	31.1	29.0
95	65	99	75	33.0	29.0	31.1	29.0
100	65	99	75	33.0	29.0	31.1	29.0
105	66	99	76	33.1	29.0	31.1	29.0
110	66	99	76	33.1	29.0	31.1	29.0
115	66	99	76	33.1	29.0	31.1	29.1
120	66	99	76	33.1	29.0	31.0	29.0
125	66	99	76	33.1	29.0	31.1	29.0
130	66	99	76	33.1	29.0	31.1	29.1
135	66	99	76	33.0	29.1	31.1	29.1
140	65	99	75	33.0	28.9	31.0	29.0
145	65	99	75	32.9	28.9	30.9	29.0
150	63	99	73	32.9	28.8	30.9	29.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

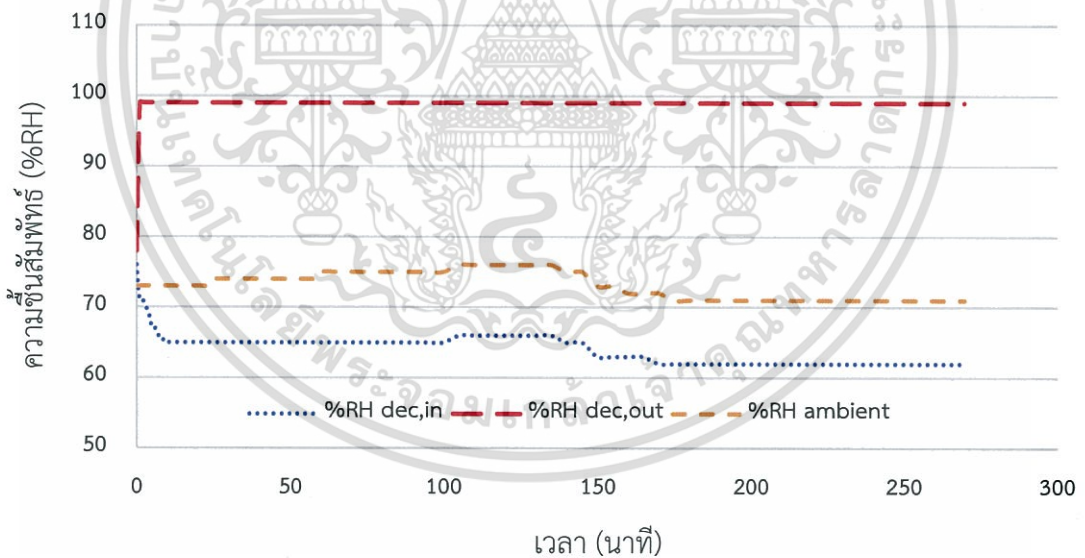
ตารางที่ ก.1 (ต่อ)

เวลา (นาทีย)	ความชื้น (%RH)			อุณหภูมิ (°C)			
	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}
155	63	99	73	32.8	28.8	30.9	28.9
160	63	99	72	32.7	28.6	30.8	28.8
165	63	99	72	32.7	28.6	30.8	28.7
170	62	99	72	32.6	28.5	30.8	28.7
175	62	99	71	32.6	28.5	30.8	28.6
180	62	99	71	32.6	28.6	30.8	28.6
185	62	99	71	32.7	28.6	30.8	28.5
190	62	99	71	32.7	28.6	30.8	28.5
195	62	99	71	32.6	28.5	30.8	28.4
200	62	99	71	32.6	28.4	30.8	28.4
205	62	99	71	32.6	28.4	30.8	28.4
210	62	99	71	32.6	28.4	30.8	28.4
215	62	99	71	32.6	28.4	30.8	28.4
220	62	99	71	32.6	28.4	30.8	28.4
225	62	99	71	32.6	28.4	30.8	28.3
230	62	99	71	32.6	28.4	30.8	28.4
235	62	99	71	32.6	28.4	30.8	28.3
240	62	99	71	32.6	28.3	30.8	28.3
245	62	99	71	32.6	28.4	30.8	28.3
250	62	99	71	32.6	28.4	30.8	28.3
255	62	99	71	32.6	28.3	30.8	28.3
260	62	99	71	32.6	28.3	30.7	28.3
265	62	99	71	32.6	28.3	30.7	28.3
270	62	99	71	32.6	28.3	30.7	28.3
เฉลี่ย	64.7	98.8	73.3	32.9	29.0	31.0	29.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศและน้ำที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลาของการทดลองส่วนที่ 1 ครั้งที่ 1



รูปที่ ก.2 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลาของการทดลองส่วนที่ 1 ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 2

ตารางที่ ก.2 ตารางบันทึกผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหย โดยทางตรง ที่ความเร็วลม 5522.5 ลิตรต่อชั่วโมง (5 กรกฎาคม 2561, 0.00-4.30 น.)

เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)			อุณหภูมิ (°C)			
	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}
0	72	75	72	30.5	30.6	30.6	29.8
1	72	92	72	31.9	30.1	30.6	30.0
2	71	99	72	32.1	29.9	30.6	30.0
3	71	99	72	32.3	29.8	30.6	29.9
4	71	99	72	32.4	29.7	30.6	29.8
5	71	99	72	32.6	29.6	30.6	29.8
6	70	99	72	32.7	29.5	30.6	29.8
7	69	99	72	32.7	29.5	30.6	29.8
8	67	99	72	32.7	29.5	30.6	29.9
9	67	99	72	32.7	29.4	30.6	29.9
10	66	99	72	32.8	29.4	30.6	29.8
11	66	99	72	32.8	29.3	30.6	29.8
12	66	99	72	32.8	29.3	30.6	29.7
13	66	99	72	32.8	29.3	30.6	29.7
14	66	99	72	32.8	29.3	30.6	29.7
15	66	99	72	32.8	29.3	30.5	29.6
16	65	99	72	32.8	29.3	30.5	29.6
17	65	99	72	32.8	29.3	30.5	29.6
18	65	99	72	32.8	29.3	30.5	29.6
19	65	99	72	32.8	29.3	30.5	29.6
20	65	99	72	32.9	29.3	30.5	29.6
21	65	99	72	32.9	29.3	30.5	29.5
22	65	99	72	32.9	29.2	30.5	29.5
23	65	99	72	32.9	29.3	30.5	29.5
24	65	99	73	32.9	29.3	30.5	29.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)			อุณหภูมิ (°C)			
	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}
25	65	99	73	32.9	29.3	30.5	29.5
26	65	99	73	32.9	29.3	30.5	29.4
27	65	99	73	32.9	29.3	30.5	29.4
28	65	99	73	32.9	29.3	30.5	29.4
29	65	99	73	32.9	29.2	30.5	29.4
30	65	99	73	32.9	29.2	30.5	29.4
31	65	99	73	32.9	29.2	30.5	29.3
32	65	99	73	32.9	29.2	30.5	29.3
33	65	99	73	32.9	29.2	30.5	29.3
34	65	99	73	32.9	29.1	30.5	29.3
35	65	99	73	32.9	29.1	30.5	29.2
36	65	99	73	32.9	29.2	30.5	29.2
37	65	99	73	32.9	29.2	30.5	29.2
38	65	99	73	32.9	29.2	30.5	29.2
39	65	99	73	32.9	29.2	30.5	29.2
40	65	99	73	32.9	29.2	30.5	29.2
41	65	99	73	32.9	29.2	30.5	29.2
42	65	99	73	32.9	29.2	30.5	29.2
43	65	99	73	32.9	29.2	30.5	29.2
44	65	99	73	32.9	29.1	30.5	29.1
45	65	99	73	32.9	29.1	30.5	29.1
46	65	99	73	32.9	29.1	30.5	29.1
47	65	99	73	32.9	29.1	30.5	29.1
48	65	99	73	32.9	29.1	30.5	29.2
49	65	99	73	32.9	29.1	30.5	29.1
50	65	99	73	32.9	29.1	30.5	29.1
51	65	99	73	32.9	29.0	30.5	29.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ)

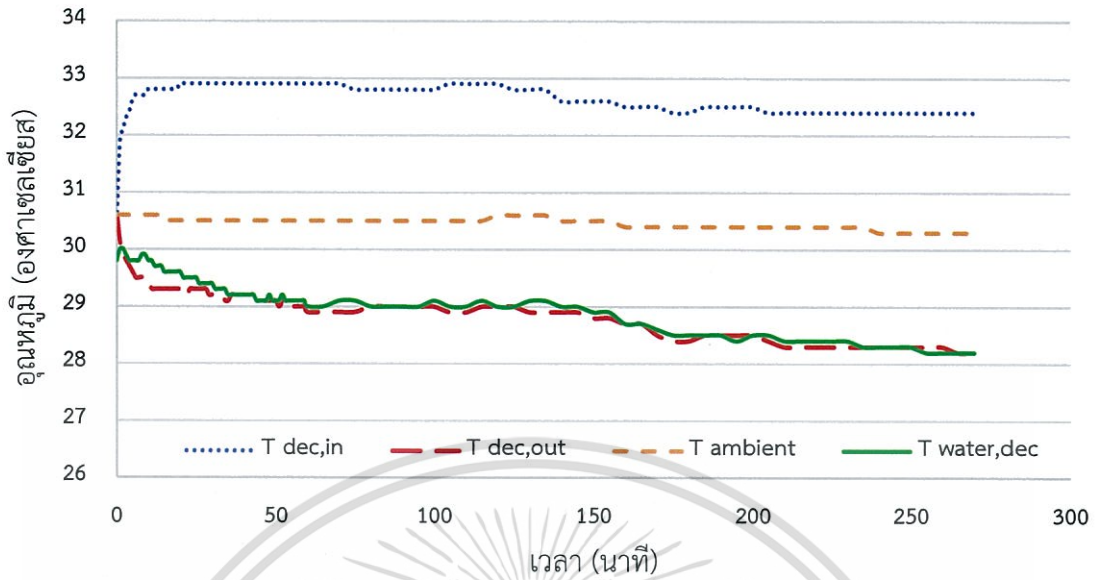
เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)			อุณหภูมิ (°C)			
	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}
52	65	99	73	32.9	29.1	30.5	29.2
53	65	99	73	32.9	29.0	30.5	29.1
54	65	99	73	32.9	29.0	30.5	29.1
55	65	99	73	32.9	29.0	30.5	29.1
56	65	99	73	32.9	29.0	30.5	29.1
57	65	99	73	32.9	29.0	30.5	29.1
58	65	99	73	32.9	29.0	30.5	29.1
59	65	99	73	32.9	29.0	30.5	29.1
60	65	99	73	32.9	28.9	30.5	29.0
65	64	99	73	32.9	28.9	30.5	29.0
70	64	99	73	32.9	28.9	30.5	29.1
75	65	99	73	32.8	28.9	30.5	29.1
80	65	99	74	32.8	29.0	30.5	29.0
85	65	99	74	32.8	29.0	30.5	29.0
90	65	99	74	32.8	29.0	30.5	29.0
95	63	99	74	32.8	29.0	30.5	29.0
100	63	99	74	32.8	29.0	30.5	29.1
105	63	99	74	32.9	28.9	30.5	29.0
110	63	99	74	32.9	28.9	30.5	29.0
115	63	99	74	32.9	29.0	30.5	29.1
120	62	99	74	32.9	29.0	30.6	29.0
125	62	99	73	32.8	29.0	30.6	29.0
130	62	99	73	32.8	28.9	30.6	29.1
135	62	99	73	32.8	28.9	30.6	29.1
140	62	99	72	32.6	28.9	30.5	29.0
145	62	99	72	32.6	28.9	30.5	29.0
150	62	99	72	32.6	28.8	30.5	28.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

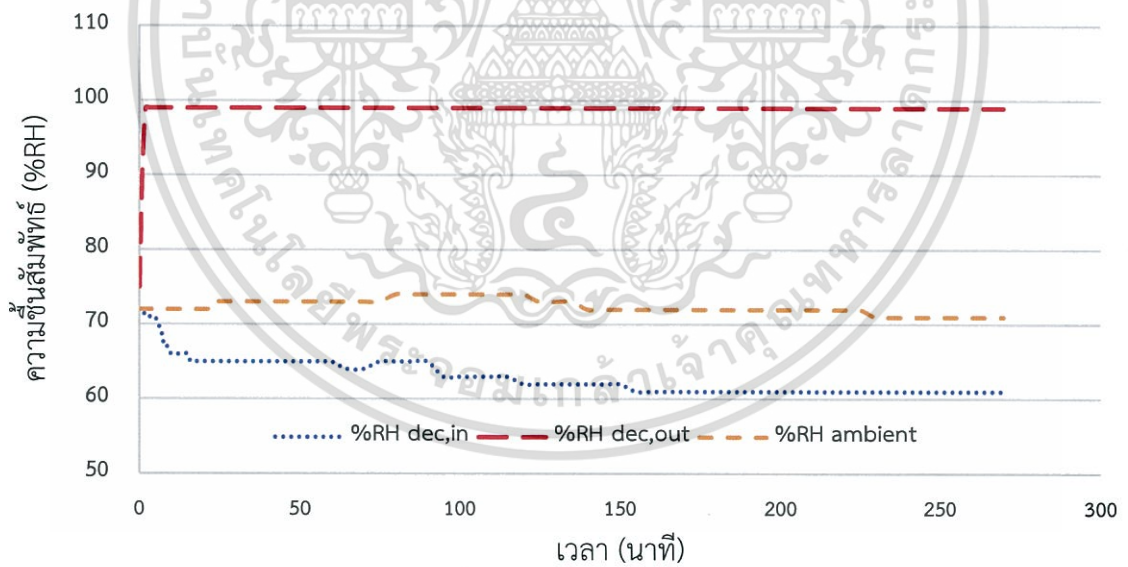
ตารางที่ ก.2 (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)			อุณหภูมิ (°C)			
	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}
155	61	99	72	32.6	28.8	30.5	28.9
160	61	99	72	32.5	28.7	30.4	28.7
165	61	99	72	32.5	28.7	30.4	28.7
170	61	99	72	32.5	28.5	30.4	28.6
175	61	99	72	32.4	28.4	30.4	28.5
180	61	99	72	32.4	28.4	30.4	28.5
185	61	99	72	32.5	28.5	30.4	28.5
190	61	99	72	32.5	28.5	30.4	28.5
195	61	99	72	32.5	28.5	30.4	28.4
200	61	99	72	32.5	28.5	30.4	28.5
205	61	99	72	32.4	28.4	30.4	28.5
210	61	99	72	32.4	28.3	30.4	28.4
215	61	99	72	32.4	28.3	30.4	28.4
220	61	99	72	32.4	28.3	30.4	28.4
225	61	99	72	32.4	28.3	30.4	28.4
230	61	99	71	32.4	28.3	30.4	28.4
235	61	99	71	32.4	28.3	30.4	28.3
240	61	99	71	32.4	28.3	30.3	28.3
245	61	99	71	32.4	28.3	30.3	28.3
250	61	99	71	32.4	28.3	30.3	28.3
255	61	99	71	32.4	28.3	30.3	28.2
260	61	99	71	32.4	28.3	30.3	28.2
265	61	99	71	32.4	28.2	30.3	28.2
270	61	99	71	32.4	28.2	30.3	28.2
เฉลี่ย	64.3	98.7	72.5	32.7	29.0	30.5	29.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศและน้ำที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลาของการทดลองส่วนที่ 1 ครั้งที่ 2



รูปที่ ก.4 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลาของการทดลองส่วนที่ 1 ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
ข้อมูลผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดย
ทางตรงร่วมกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจล
(ส่วนที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 1

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหย โดยทางตรงร่วมกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจลน้ำหนัก 514.35 กรัม ที่ความเร็วลม 5516.1 ลิตรต่อชั่วโมง (1 กรกฎาคม 2561, 0.25-1.05 น.)

เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)				อุณหภูมิ (°C)				
	%RH _{Silica gel, In}	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{Silica gel, In}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}
0	61	74	78	76	29.6	30.4	29.1	30.1	29.3
1	71	26	88	76	30.9	29.6	28.3	30.1	29.4
2	70	18	88	76	31.2	30.9	28.0	30.1	29.3
3	70	19	89	76	31.4	33.6	28.0	30.1	29.1
4	69	23	91	76	31.6	36.1	28.2	30.1	29.0
5	69	21	91	76	31.8	38.0	28.3	30.1	29.0
6	68	21	91	76	31.9	39.5	28.5	30.1	29.0
7	68	20	91	76	32.1	40.3	28.6	30.1	28.8
8	67	20	91	76	32.1	40.9	28.7	30.1	28.7
9	67	19	91	76	32.3	41.4	28.7	30.1	28.6
10	67	18	92	76	32.3	41.6	28.8	30.1	28.6
11	67	18	92	76	32.4	41.8	28.8	30.1	28.6
12	66	18	92	76	32.4	41.9	28.8	30.1	28.5
13	66	18	92	76	32.5	41.9	28.8	30.1	28.5
14	64	18	92	76	32.6	41.9	28.8	30.1	28.5
15	63	18	92	76	32.6	41.8	28.8	30.1	28.5
16	63	18	92	76	32.6	41.7	28.8	30.1	28.5
17	63	19	93	76	32.7	41.6	28.7	30.1	28.3
18	63	19	93	76	32.7	41.5	28.7	30.1	28.4
19	63	20	93	76	32.8	41.4	28.6	30.1	28.3
20	63	20	92	76	32.8	41.3	28.7	30.1	28.3
21	63	20	93	76	32.8	41.2	28.8	30.1	28.3
22	63	20	93	76	32.8	41.1	28.7	30.1	28.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

เวลา (นาทึ่)	ความชื้น (%RH)				อุณหภูมิ (°C)				
	%RH _{Silica gel, In}	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{Silica gel, In}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}
23	63	20	93	76	32.8	40.9	28.7	30.1	28.3
24	63	21	93	76	32.8	40.8	28.7	30.1	28.3
25	63	21	94	76	32.8	40.8	28.6	30.1	28.2
26	63	21	94	76	32.8	40.6	28.6	30.1	28.2
27	63	22	94	76	32.8	40.5	28.6	30.1	28.2
28	63	22	94	77	32.8	40.4	28.6	30.1	28.2
29	63	22	94	77	32.8	40.3	28.6	30.1	28.2
30	63	23	94	77	32.9	40.2	28.6	30.1	28.2
31	63	23	94	77	32.8	40.1	28.6	30.1	28.2
32	63	24	94	77	32.8	40.0	28.6	30.1	28.2
33	63	24	94	77	32.8	39.9	28.6	30.1	28.2
34	63	24	94	77	32.8	39.8	28.6	30.1	28.2
35	63	25	94	77	32.8	39.6	28.6	30.1	28.1
36	63	25	94	77	32.8	39.6	28.6	30.0	28.1
37	63	25	94	77	32.8	39.4	28.6	30.0	28.2
38	63	25	94	77	32.8	39.3	28.6	30.0	28.1
39	63	26	94	77	32.8	39.3	28.6	30.0	28.2
40	63	26	94	77	32.8	39.1	28.6	30.0	28.1
41	63	26	94	77	32.8	39.1	28.6	30.0	28.2
42	64	27	94	78	32.8	39.0	28.6	30.0	28.1
43	64	27	95	78	32.8	38.9	28.6	30.1	28.2
44	63	27	95	78	32.8	38.8	28.6	30.1	28.2
45	63	28	95	78	32.8	38.8	28.6	30.1	28.1
46	63	28	95	78	32.8	38.7	28.5	30.1	28.2
47	63	28	95	78	32.8	38.6	28.5	30.0	28.2
48	63	29	95	78	32.8	38.5	28.6	30.1	28.1
49	63	29	95	78	32.8	38.4	28.6	30.1	28.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

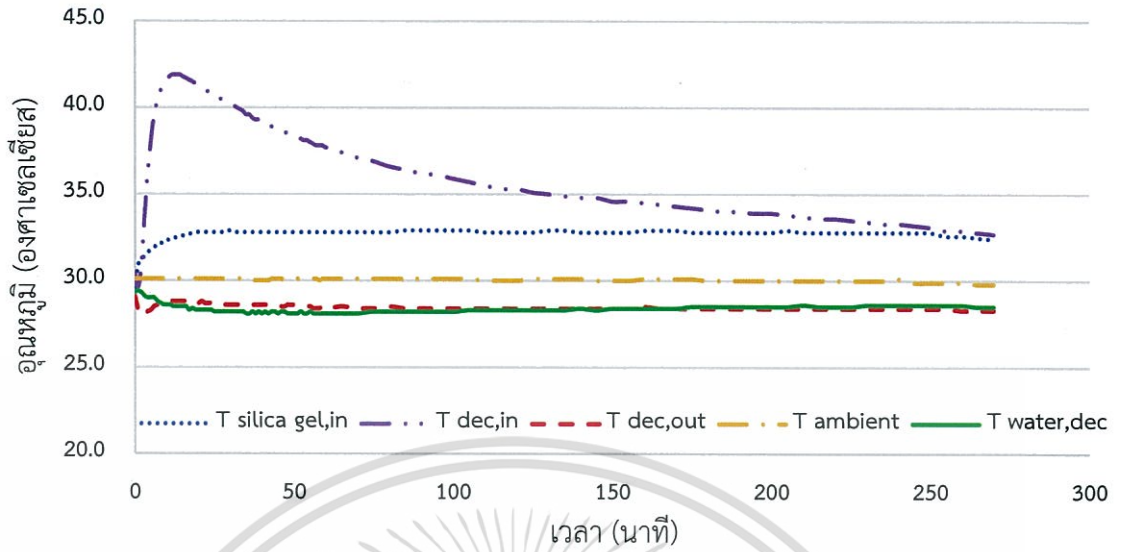
เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)				อุณหภูมิ (°C)				
	%RH _{Silica gel, In}	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{Silica gel, In}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}
50	63	29	96	78	32.8	38.4	28.6	30.1	28.1
51	63	30	96	78	32.8	38.3	28.6	30.1	28.1
52	63	30	96	78	32.8	38.2	28.5	30.1	28.2
53	63	30	96	77	32.8	38.1	28.5	30.1	28.1
54	63	30	96	78	32.8	38.1	28.5	30.1	28.1
55	63	30	96	78	32.8	38.0	28.5	30.1	28.2
56	63	31	96	78	32.8	37.9	28.4	30.1	28.1
57	63	31	96	78	32.8	37.8	28.4	30.1	28.1
58	63	31	97	78	32.8	37.8	28.4	30.0	28.1
59	63	31	97	78	32.8	37.8	28.5	30.1	28.1
60	63	32	97	78	32.8	37.7	28.4	30.1	28.1
65	63	35	97	78	32.8	37.4	28.5	30.1	28.1
70	63	36	97	77	32.8	37.1	28.4	30.1	28.1
75	63	37	98	77	32.8	36.9	28.4	30.1	28.2
80	63	38	98	77	32.8	36.6	28.5	30.1	28.2
85	62	39	99	77	32.9	36.4	28.4	30.1	28.2
90	62	40	99	77	32.9	36.2	28.4	30.1	28.2
95	62	40	99	77	32.9	36.1	28.4	30.1	28.2
100	62	41	99	76	32.9	35.9	28.4	30.1	28.2
105	62	42	99	76	32.9	35.7	28.4	30.1	28.3
110	61	42	99	76	32.8	35.5	28.4	30.0	28.3
115	62	43	99	76	32.8	35.3	28.4	30.0	28.3
120	62	44	99	76	32.8	35.3	28.4	30.0	28.3
125	61	44	99	76	32.8	35.1	28.4	30.1	28.3
130	62	45	99	76	32.9	35.0	28.4	30.1	28.3
135	62	45	99	76	32.9	34.9	28.4	30.1	28.3
140	62	46	99	76	32.8	34.8	28.4	30.1	28.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

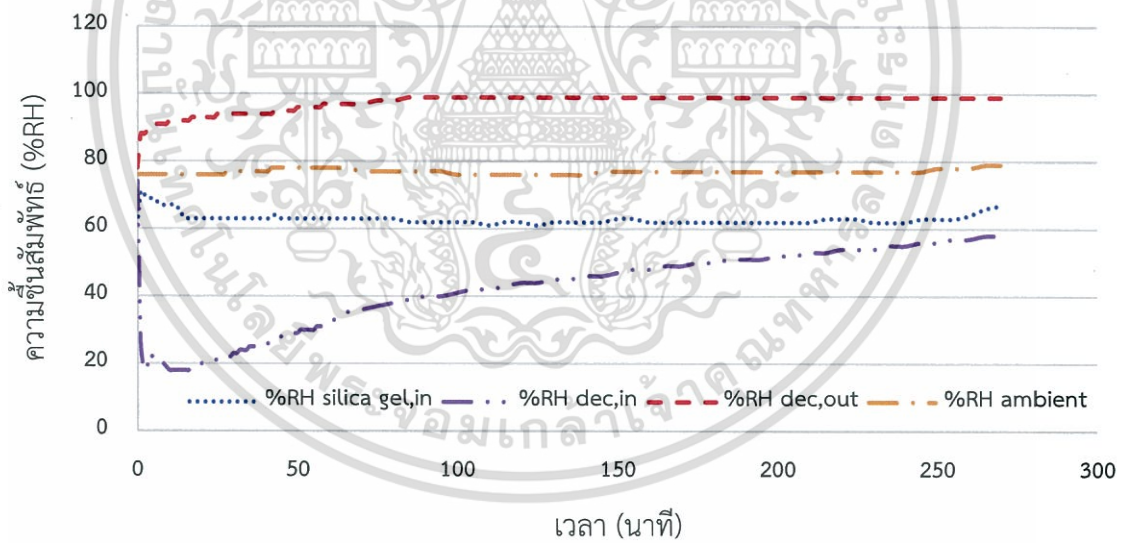
ตารางที่ ข.1 (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)				อุณหภูมิ (°C)				
	%RH _{Silica gel, In}	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{Silica gel, In}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}
145	62	46	99	77	32.8	34.8	28.4	30.0	28.3
150	63	47	99	77	32.8	34.6	28.4	30.0	28.4
155	63	48	99	77	32.8	34.6	28.4	30.0	28.4
160	62	48	99	77	32.9	34.5	28.5	30.1	28.4
165	62	49	99	77	32.9	34.4	28.4	30.1	28.4
170	62	49	99	77	32.9	34.3	28.4	30.1	28.4
175	62	50	99	77	32.8	34.2	28.4	30.1	28.5
180	62	50	99	77	32.8	34.1	28.4	30.0	28.5
185	62	51	99	77	32.8	34.0	28.4	30.0	28.5
190	62	51	99	77	32.8	34.0	28.4	30.0	28.5
195	62	51	99	77	32.8	33.9	28.4	30.0	28.5
200	62	52	99	77	32.8	33.9	28.4	30.0	28.5
205	62	52	99	77	32.9	33.8	28.4	30.0	28.5
210	62	53	99	77	32.8	33.7	28.4	30.0	28.6
215	63	53	99	77	32.8	33.6	28.4	30.0	28.5
220	63	54	99	77	32.8	33.6	28.4	30.0	28.5
225	63	54	99	77	32.8	33.5	28.4	30.0	28.5
230	62	54	99	77	32.8	33.4	28.4	30.0	28.6
235	62	55	99	77	32.8	33.3	28.4	30.0	28.6
240	62	55	99	77	32.8	33.3	28.4	30.1	28.6
245	63	56	99	77	32.8	33.2	28.4	29.9	28.6
250	63	56	99	78	32.8	33.1	28.4	29.9	28.6
255	63	57	99	78	32.6	32.9	28.4	29.9	28.6
260	64	57	99	78	32.6	32.9	28.3	29.9	28.6
265	66	58	99	79	32.5	32.8	28.3	29.8	28.5
270	67	58	99	79	32.4	32.7	28.3	29.8	28.5
เฉลี่ย	63.4	34.3	95.6	76.9	32.7	37.3	28.5	30.1	28.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศและน้ำที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลาของการทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 1



รูปที่ ข.2 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลาของการทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 2

ตารางที่ ข.2 ตารางบันทึกผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหย โดยทางตรงร่วมกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจลน้ำหนัก 1200.02 กรัม ที่ความเร็วลม 5481.4 ลิตรต่อชั่วโมง (7 กรกฎาคม 2561, 23.00-3.30 น.)

เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)				อุณหภูมิ (°C)				
	%RH _{Silica gel, In}	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{Silica gel, In}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}
0	63	72	68	66	29.9	30.2	29.8	30.4	30.1
1	64	34	89	66	30.9	30.0	28.8	30.4	30.0
2	63	22	92	66	31.4	30.1	28.2	30.4	29.6
3	62	16	91	66	31.7	30.1	27.9	30.4	29.2
4	61	15	91	66	31.9	30.5	27.6	30.5	29.0
5	61	12	92	66	32.1	32.3	27.7	30.5	28.7
6	61	13	92	66	32.2	34.8	27.8	30.5	28.5
7	60	14	92	66	32.4	36.1	27.8	30.5	28.3
8	60	13	91	66	32.5	37.8	27.9	30.5	28.2
9	57	14	91	66	32.6	38.9	28.0	30.5	28.0
10	57	14	90	65	32.7	39.7	28.1	30.5	27.9
11	57	13	89	65	32.8	40.3	28.1	30.5	27.8
12	56	13	89	65	32.8	40.6	28.1	30.5	27.7
13	56	13	89	65	32.9	40.8	28.2	30.5	27.7
14	56	13	89	65	32.9	41.0	28.1	30.5	27.6
15	56	13	89	65	32.9	41.1	28.1	30.5	27.4
16	56	13	89	65	32.9	41.2	28.1	30.5	27.5
17	56	13	89	65	33.0	41.3	28.1	30.5	27.3
18	56	13	88	65	33.0	41.2	28.1	30.6	27.3
19	56	13	88	65	33.0	41.2	28.1	30.6	27.2
20	56	13	88	65	33.1	41.3	28.1	30.6	27.2
21	56	13	85	65	33.1	41.3	28.3	30.6	27.1
22	55	13	85	65	33.1	41.3	27.9	30.6	27.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)				อุณหภูมิ (°C)				
	%RH _{Silica gel, In}	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{Silica gel, In}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}
23	55	13	89	65	33.1	41.2	27.9	30.6	27.1
24	55	14	90	65	33.1	41.1	27.8	30.6	27.1
25	55	14	90	65	33.1	41.1	27.8	30.6	27.0
26	55	14	90	65	33.1	41.0	27.8	30.6	26.9
27	55	14	90	65	33.1	41.0	27.8	30.6	26.9
28	55	14	90	65	33.1	40.9	27.7	30.6	26.9
29	55	15	90	65	33.1	40.8	27.8	30.6	26.8
30	55	15	90	65	33.1	40.7	27.7	30.6	26.7
31	55	15	90	65	33.1	40.6	27.6	30.6	26.8
32	55	15	90	65	33.1	40.6	27.6	30.6	26.8
33	55	16	90	65	33.1	40.5	27.6	30.6	26.7
34	55	16	90	65	33.1	40.4	27.6	30.6	26.7
35	55	16	90	65	33.1	40.4	27.6	30.6	26.7
36	55	16	90	65	33.1	40.3	27.5	30.6	26.6
37	55	17	90	65	33.1	40.3	27.6	30.6	26.7
38	55	17	90	65	33.1	40.1	27.5	30.6	26.6
39	55	17	92	65	33.1	40.1	27.4	30.6	26.5
40	55	18	93	65	33.1	39.9	27.4	30.6	26.5
41	55	18	93	65	33.1	39.9	27.4	30.6	26.5
42	55	18	93	65	33.1	39.8	27.4	30.6	26.5
43	55	19	93	65	33.1	39.8	27.5	30.6	26.5
44	55	19	93	65	33.1	39.7	27.5	30.6	26.4
45	55	19	93	65	33.1	39.6	27.5	30.6	26.4
46	55	20	93	65	33.1	39.6	27.5	30.6	26.5
47	55	20	93	65	33.1	39.5	27.4	30.6	26.4
48	55	20	93	65	33.1	39.4	27.4	30.6	26.4
49	55	20	93	65	33.1	39.4	27.4	30.6	26.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

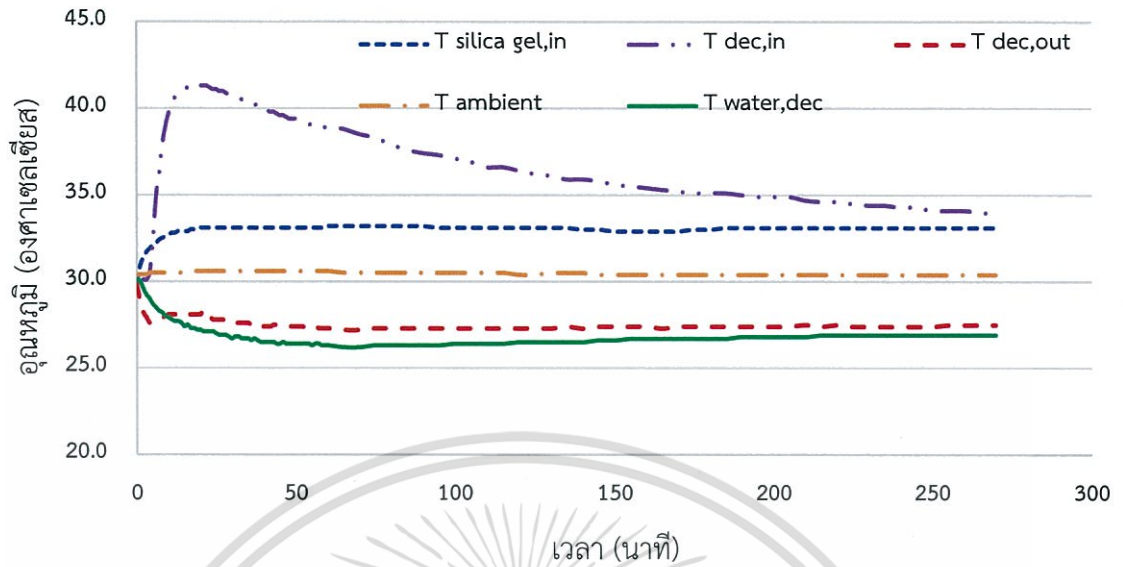
เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)				อุณหภูมิ (°C)				
	%RH _{Silica gel, In}	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{Silica gel, In}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}
50	55	20	93	65	33.1	39.4	27.4	30.6	26.4
51	55	21	93	65	33.1	39.3	27.4	30.6	26.4
52	55	21	93	65	33.1	39.2	27.4	30.6	26.4
53	55	21	93	65	33.1	39.1	27.3	30.6	26.4
54	55	21	93	65	33.1	39.1	27.3	30.6	26.4
55	55	21	94	65	33.1	39.0	27.3	30.6	26.3
56	55	22	94	65	33.1	38.9	27.4	30.6	26.4
57	55	22	94	65	33.1	38.9	27.3	30.6	26.4
58	55	22	94	65	33.1	38.9	27.3	30.6	26.3
59	55	22	94	65	33.1	38.9	27.3	30.6	26.3
60	55	22	94	65	33.2	38.9	27.3	30.6	26.3
65	55	24	94	65	33.2	38.8	27.2	30.5	26.2
70	55	25	94	65	33.2	38.5	27.2	30.5	26.2
75	55	26	95	65	33.2	38.3	27.3	30.5	26.3
80	55	27	95	65	33.2	37.9	27.3	30.5	26.3
85	55	28	95	65	33.2	37.6	27.3	30.5	26.3
90	55	31	96	65	33.2	37.4	27.3	30.5	26.3
95	55	32	97	65	33.1	37.3	27.3	30.5	26.3
100	55	33	97	65	33.1	37.1	27.3	30.5	26.4
105	54	33	97	65	33.1	36.9	27.3	30.5	26.4
110	54	34	97	65	33.1	36.6	27.3	30.5	26.4
115	54	35	98	65	33.1	36.6	27.3	30.5	26.4
120	54	36	98	65	33.1	36.4	27.3	30.4	26.5
125	54	36	98	65	33.1	36.2	27.3	30.4	26.5
130	54	37	98	65	33.1	36.1	27.3	30.5	26.5
135	54	37	99	65	33.1	35.9	27.4	30.5	26.5
140	55	38	99	65	33.0	35.9	27.3	30.5	26.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

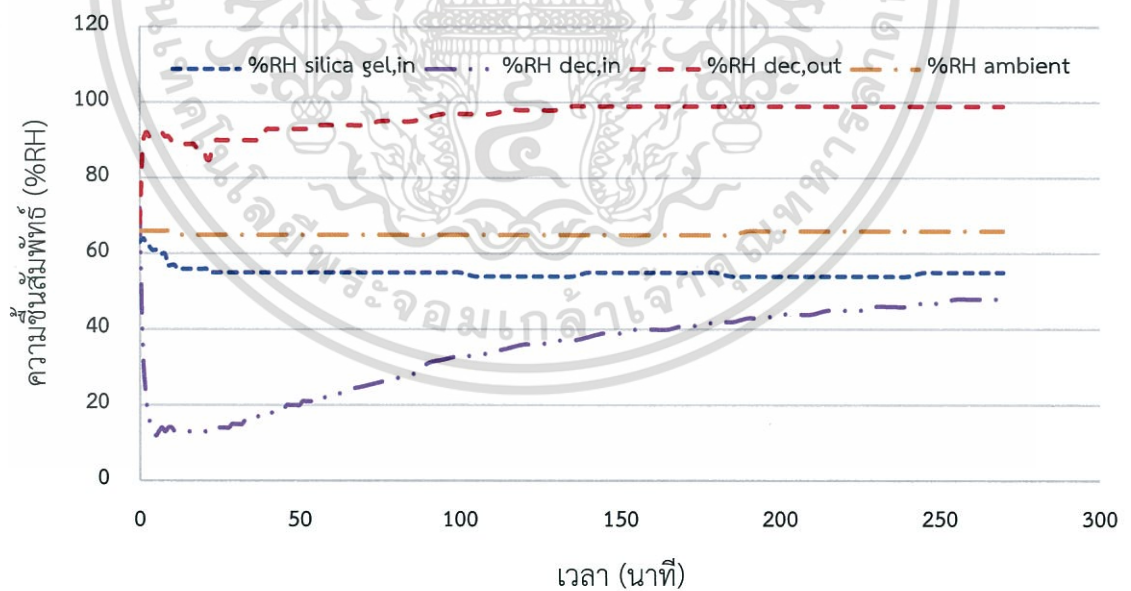
ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)				อุณหภูมิ (°C)				
	%RH _{Silica gel, In}	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{Silica gel, In}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}
145	55	39	99	65	33.0	35.8	27.4	30.4	26.6
150	55	39	99	65	32.9	35.6	27.4	30.4	26.6
155	55	40	99	65	32.9	35.5	27.4	30.4	26.7
160	55	40	99	65	32.9	35.4	27.4	30.4	26.7
165	55	40	99	65	32.9	35.3	27.3	30.4	26.7
170	55	41	99	65	32.9	35.2	27.4	30.4	26.7
175	55	41	99	65	33.0	35.1	27.4	30.4	26.7
180	55	42	99	65	33.0	35.1	27.4	30.4	26.7
185	54	42	99	65	33.1	35.1	27.4	30.4	26.7
190	54	43	99	66	33.1	35.0	27.4	30.4	26.8
195	54	43	99	66	33.1	34.9	27.4	30.4	26.8
200	54	44	99	66	33.1	34.9	27.4	30.4	26.8
205	54	44	99	66	33.1	34.9	27.4	30.4	26.8
210	54	44	99	66	33.1	34.7	27.5	30.4	26.8
215	54	45	99	66	33.1	34.6	27.4	30.4	26.9
220	54	45	99	66	33.1	34.6	27.5	30.4	26.9
225	54	45	99	66	33.1	34.5	27.4	30.4	26.9
230	54	46	99	66	33.1	34.4	27.4	30.4	26.9
235	54	46	99	66	33.1	34.4	27.4	30.4	26.9
240	54	46	99	66	33.1	34.3	27.4	30.4	26.9
245	55	47	99	66	33.1	34.3	27.4	30.4	26.9
250	55	47	99	66	33.1	34.1	27.4	30.4	26.9
255	55	48	99	66	33.1	34.1	27.5	30.4	26.9
260	55	48	99	66	33.1	34.1	27.5	30.4	26.9
265	55	48	99	66	33.1	34.0	27.5	30.4	26.9
270	55	48	99	66	33.1	33.9	27.5	30.4	26.9
เฉลี่ย	55.6	26.5	93.7	65.3	32.9	37.6	27.6	30.5	26.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ ข.3 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศและน้ำที่ตำแหน่งต่างๆเกี่ยวกับเวลาของการทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 2



รูปที่ ข.4 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเกี่ยวกับเวลาของการทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค
ข้อมูลผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยการเป่าอากาศผ่านสารดูดความชื้น
ซิลิกาเจล ก่อนลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่อทองแดง และเข้าสู่เครื่องทำความเย็น
แบบระเหยโดยตรงเป็นลำดับสุดท้าย
(ส่วนที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 1

ตารางที่ ค.1 ตารางบันทึกผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยการเป่าอากาศผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจล ก่อนลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่อทองแดง และเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงเป็นลำดับสุดท้าย โดยใช้สารดูดความชื้นซิลิกาเจลน้ำหนัก 514.35 กรัม ที่ความเร็วลม 5516.1 ลิตรต่อชั่วโมง (3 กรกฎาคม 2561, 0.30-5.00 น.)

เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)						
	%RH _{Silica Gel, In}	%RH _{Silica Gel, Out}	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{Silica Gel, In}	T _{Silica Gel, Out}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}	T _{water, Cu Coil}
0	62	71	63	76	77	29.8	30.4	30.5	29.6	30.3	29.9	28.7
1	72	34	31	93	77	30.9	30.2	29.7	29.1	30.3	29.9	28.7
2	72	25	22	97	77	31.1	31.2	29.2	28.6	30.3	29.8	28.7
3	72	25	30	99	77	31.4	34.9	29.3	28.6	30.3	29.6	28.7
4	71	31	38	99	77	31.6	36.6	29.3	28.5	30.3	29.6	28.7
5	70	31	42	99	77	31.8	38.2	29.3	28.4	30.3	29.5	28.7
6	70	31	44	99	77	31.9	39.4	29.4	28.4	30.2	29.4	28.7
7	69	30	44	99	77	32.0	40.1	29.4	28.4	30.2	29.3	28.7
8	69	30	45	99	77	32.1	40.6	29.4	28.3	30.2	29.2	28.7
9	69	29	45	99	77	32.2	41.1	29.4	28.3	30.2	29.2	28.7
10	68	28	45	99	77	32.3	41.4	29.5	28.4	30.2	29.1	28.7
11	68	28	45	99	78	32.3	41.6	29.5	28.3	30.2	29.0	28.7
12	68	27	45	99	78	32.4	41.7	29.5	28.3	30.2	28.9	28.7

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

เวลา (นาทื)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)						
	%RH _{Silica Gel, In}	%RH _{Silica Gel, Out}	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{Silica Gel, In}	T _{Silica Gel, Out}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}	T _{water, Cu Coil}
13	68	27	45	99	78	32.4	41.8	29.5	28.2	30.2	28.9	28.7
14	67	27	45	99	78	32.5	41.8	29.5	28.2	30.2	28.8	28.7
15	67	27	46	99	78	32.5	41.8	29.5	28.1	30.2	28.8	28.7
16	65	27	46	99	78	32.6	41.8	29.6	28.1	30.2	28.7	28.7
17	65	27	46	99	78	32.6	41.8	29.6	28.1	30.2	28.5	28.7
18	64	27	46	99	77	32.6	41.8	29.6	28.0	30.2	28.6	28.7
19	64	27	46	99	77	32.6	41.7	29.6	28.0	30.2	28.5	28.8
20	64	27	46	99	77	32.6	41.6	29.6	28.0	30.2	28.5	28.7
21	64	27	46	99	77	32.7	41.6	29.6	28.0	30.2	28.4	28.7
22	64	28	47	99	77	32.7	41.5	29.6	27.9	30.2	28.4	28.7
23	64	28	47	99	77	32.7	41.4	29.6	27.9	30.2	28.3	28.8
24	64	28	47	99	77	32.7	41.3	29.6	27.8	30.2	28.3	28.7
25	64	29	47	99	77	32.8	41.3	29.6	27.8	30.2	28.2	28.8
26	64	29	47	99	77	32.8	41.2	29.6	27.8	30.2	28.2	28.7
27	64	29	48	99	77	32.8	41.1	29.6	27.7	30.2	28.3	28.8
28	64	29	48	99	77	32.8	41.0	29.6	27.8	30.2	28.2	28.8

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)						
	%RH _{Silica Gel, In}	%RH _{Silica Gel, Out}	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{Silica Gel, In}	T _{Silica Gel, Out}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}	T _{water, Cu Coil}
29	64	30	48	99	77	32.8	40.9	29.6	27.8	30.2	28.2	28.8
30	64	30	48	99	77	32.8	40.8	29.6	27.7	30.2	28.1	28.8
31	64	30	48	99	77	32.8	40.6	29.6	27.7	30.2	28.0	28.8
32	63	30	49	99	77	32.8	40.5	29.6	27.7	30.2	28.1	28.8
33	63	30	49	99	77	32.8	40.4	29.6	27.7	30.2	28.0	28.8
34	63	31	49	99	77	32.8	40.3	29.6	27.7	30.2	28.0	28.8
35	63	31	49	99	77	32.8	40.2	29.6	27.6	30.2	28.0	28.8
36	63	31	49	99	77	32.8	40.1	29.6	27.7	30.2	27.9	28.8
37	63	31	49	99	77	32.8	40.0	29.6	27.6	30.2	27.9	28.8
38	63	32	50	99	77	32.8	40.0	29.6	27.6	30.2	27.9	28.8
39	63	32	50	99	77	32.8	39.9	29.6	27.6	30.2	27.8	28.8
40	63	32	50	99	77	32.8	39.8	29.6	27.6	30.2	27.8	28.9
41	63	32	50	99	77	32.8	39.7	29.6	27.6	30.2	27.8	28.9
42	63	33	50	99	77	32.8	39.6	29.6	27.6	30.2	27.7	28.9
43	63	33	50	99	77	32.8	39.6	29.6	27.6	30.2	27.7	28.9
44	63	33	50	99	77	32.8	39.5	29.7	27.6	30.2	27.7	28.9

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)						
	%RH _{Silica Gel, In}	%RH _{Silica Gel, Out}	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{Silica Gel, In}	T _{Silica Gel, Out}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}	T _{water, Cu Coil}
45	63	34	51	99	77	32.8	39.4	29.7	27.6	30.2	27.8	28.9
46	63	34	51	99	77	32.8	39.4	29.7	27.6	30.1	27.7	28.9
47	63	34	51	99	77	32.8	39.2	29.7	27.6	30.1	27.7	28.9
48	63	34	51	99	77	32.8	39.2	29.7	27.6	30.1	27.7	28.9
49	63	35	51	99	77	32.8	39.1	29.7	27.6	30.1	27.7	28.9
50	63	35	51	99	77	32.8	39.1	29.7	27.5	30.1	27.7	28.9
51	63	35	51	99	77	32.8	38.9	29.7	27.6	30.1	27.7	28.9
52	63	35	52	99	77	32.8	38.9	29.7	27.6	30.1	27.6	28.9
53	63	35	52	99	77	32.8	38.8	29.7	27.6	30.1	27.7	28.9
54	63	35	52	99	77	32.8	38.8	29.7	27.5	30.1	27.7	28.9
55	63	36	52	99	77	32.8	38.6	29.7	27.5	30.1	27.6	28.9
56	63	36	52	99	77	32.8	38.6	29.7	27.5	30.1	27.7	29.0
57	63	36	52	99	77	32.8	38.6	29.7	27.5	30.1	27.5	28.9
58	63	36	52	99	77	32.8	38.5	29.7	27.5	30.1	27.5	29.0
59	63	36	53	99	77	32.8	38.4	29.7	27.5	30.1	27.6	29.0
60	63	37	53	99	77	32.8	38.4	29.7	27.5	30.1	27.5	29.0

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

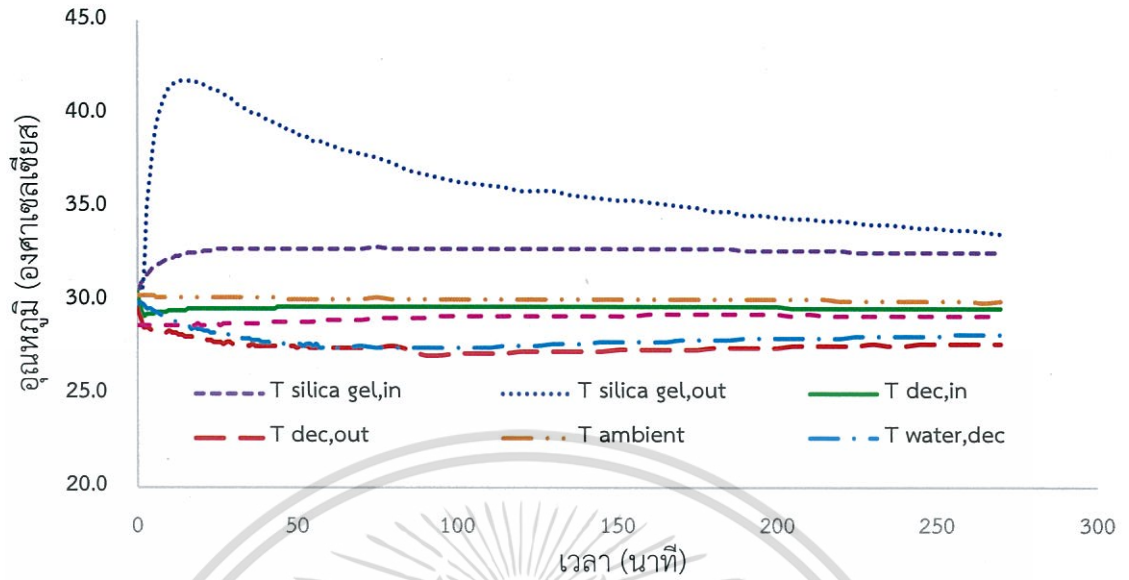
เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)						
	%RH _{Silica Gel, In}	%RH _{Silica Gel, Out}	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{Silica Gel, In}	T _{Silica Gel, Out}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}	T _{water, Cu Coil}
65	62	38	53	99	77	32.8	38.1	29.7	27.5	30.1	27.5	29.0
70	62	39	54	99	76	32.8	37.9	29.7	27.5	30.1	27.6	29.0
75	62	39	55	99	76	32.9	37.7	29.7	27.5	30.2	27.5	29.1
80	62	43	55	99	76	32.8	37.4	29.7	27.6	30.1	27.5	29.1
85	62	44	56	99	76	32.8	37.0	29.7	27.4	30.1	27.5	29.1
90	62	44	56	99	76	32.8	36.8	29.7	27.1	30.1	27.5	29.1
95	62	45	57	99	76	32.8	36.6	29.7	27.1	30.1	27.5	29.2
100	62	46	57	99	76	32.8	36.4	29.7	27.2	30.1	27.5	29.2
105	62	46	58	99	76	32.8	36.3	29.7	27.2	30.1	27.5	29.2
110	62	47	59	99	76	32.8	36.2	29.7	27.2	30.1	27.5	29.2
115	62	48	59	99	76	32.8	36.1	29.7	27.2	30.1	27.6	29.2
120	63	49	60	99	76	32.8	35.9	29.7	27.3	30.1	27.6	29.2
125	63	49	60	99	77	32.8	35.9	29.7	27.3	30.1	27.6	29.2
130	63	50	61	99	77	32.8	35.9	29.7	27.3	30.1	27.7	29.2
135	63	50	62	99	77	32.8	35.7	29.7	27.3	30.1	27.7	29.2
140	63	51	62	99	77	32.8	35.6	29.7	27.3	30.1	27.7	29.2

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

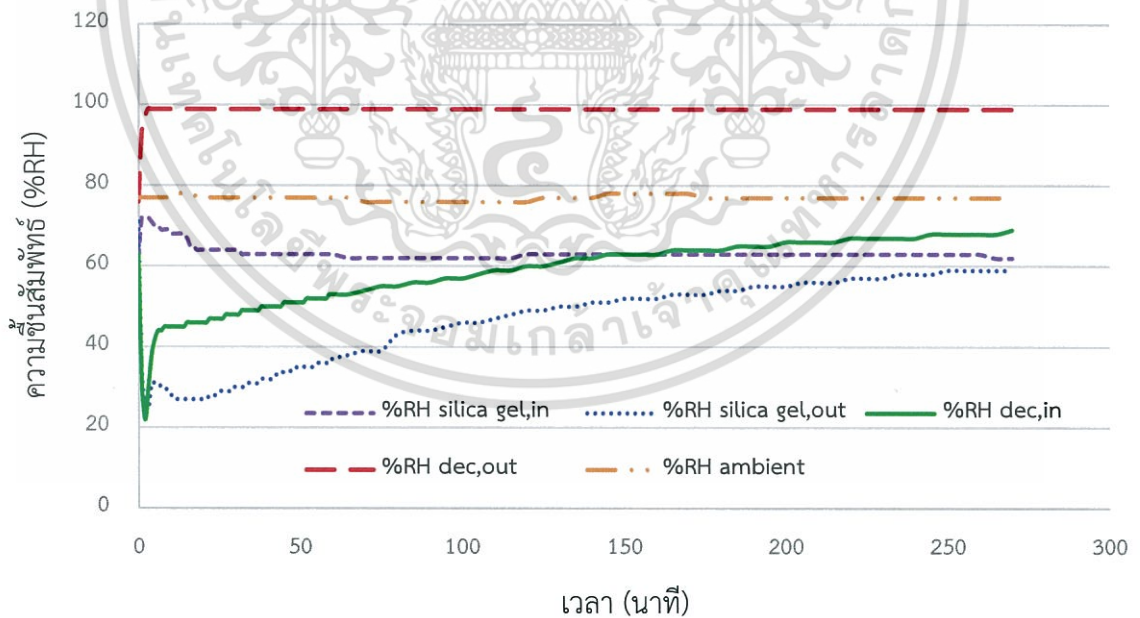
เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)						
	%RH _{Silica Gel, In}	%RH _{Silica Gel, Out}	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{Silica Gel, In}	T _{Silica Gel, Out}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}	T _{water, Cu Coil}
145	63	51	63	99	78	32.8	35.5	29.7	27.3	30.1	27.8	29.2
150	63	52	63	99	78	32.8	35.4	29.7	27.4	30.1	27.8	29.2
155	63	52	63	99	78	32.8	35.4	29.7	27.4	30.1	27.8	29.2
160	63	52	63	99	78	32.8	35.3	29.7	27.4	30.1	27.8	29.3
165	63	53	64	99	78	32.8	35.2	29.7	27.4	30.1	27.8	29.3
170	63	53	64	99	78	32.8	35.1	29.7	27.4	30.1	27.9	29.3
175	63	53	64	99	77	32.8	35.0	29.7	27.4	30.1	27.9	29.3
180	63	54	64	99	77	32.8	34.8	29.7	27.5	30.1	27.9	29.3
185	63	54	65	99	77	32.8	34.8	29.7	27.5	30.1	27.9	29.3
190	63	55	65	99	77	32.7	34.6	29.7	27.5	30.1	28.0	29.3
195	63	55	65	99	77	32.7	34.6	29.7	27.5	30.1	28.0	29.3
200	63	55	66	99	77	32.7	34.5	29.7	27.5	30.1	28.0	29.3
205	63	56	66	99	77	32.7	34.4	29.6	27.6	30.1	28.0	29.2
210	63	56	66	99	77	32.7	34.4	29.6	27.6	30.1	28.0	29.3
215	63	56	66	99	77	32.7	34.3	29.6	27.6	30.1	28.0	29.2
220	63	57	67	99	77	32.7	34.3	29.6	27.6	30.0	28.0	29.2

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)						
	%RH _{Silica Gel, In}	%RH _{Silica Gel, Out}	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{Silica Gel, In}	T _{Silica Gel, Out}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}	T _{water, Cu Coil}
225	63	57	67	99	77	32.6	34.2	29.6	27.6	30.0	28.1	29.2
230	63	57	67	99	77	32.6	34.1	29.6	27.7	30.0	28.1	29.2
235	63	58	67	99	77	32.6	34.1	29.6	27.6	30.0	28.1	29.2
240	63	58	67	99	77	32.6	34.0	29.6	27.6	30.0	28.1	29.2
245	63	58	68	99	77	32.6	33.9	29.6	27.7	30.0	28.1	29.2
250	63	59	68	99	77	32.6	33.9	29.6	27.7	30.0	28.1	29.2
255	63	59	68	99	77	32.6	33.8	29.6	27.7	30.0	28.2	29.2
260	63	59	68	99	77	32.6	33.8	29.6	27.7	30.0	28.2	29.2
265	62	59	68	99	77	32.6	33.7	29.6	27.7	29.9	28.2	29.2
270	62	59	69	99	77	32.6	33.6	29.6	27.7	30.0	28.2	29.2
เฉลี่ย	64.0	39.8	53.7	98.7	77.0	32.6	37.8	29.6	27.7	30.1	28.1	29.0



รูปที่ ค.1 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศและน้ำที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลาของการทดลองส่วนที่ 3 ครั้งที่ 1



รูปที่ ค.2 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลาของการทดลองส่วนที่ 3 ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 2

ตารางที่ ค.2 ตารางบันทึกผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยการเป่าอากาศผ่านสารดูดความชื้นซิลิกาเจล ก่อนลดอุณหภูมิของอากาศด้วยท่อทองแดง และเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงเป็นลำดับสุดท้าย โดยใช้สารดูดความชื้นซิลิกาเจลน้ำหนัก 1200.04 กรัม ที่ความเร็วลม 5481.4 ลิตรต่อชั่วโมง (6 กรกฎาคม 2561, 22.00-2.30 น.)

เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)						
	%RH _{Silica Gel, In}	%RH _{Silica Gel, Out}	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{Silica Gel, In}	T _{Silica Gel, Out}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}	T _{water, Cu Coil}
0	77	64	79	81	82	29.7	30.1	30.2	29.4	29.8	30.0	29.2
1	78	15	31	99	82	30.0	29.8	28.9	29.2	29.8	30.2	29.2
2	76	10	22	99	82	30.6	29.9	29.0	28.5	29.8	30.0	29.2
3	76	10	18	99	82	30.9	29.9	29.0	28.3	29.8	29.8	29.1
4	75	10	17	99	82	31.1	30.1	29.1	28.1	29.8	29.7	29.2
5	74	10	15	99	81	31.3	30.4	29.1	27.9	29.8	29.5	29.1
6	73	10	15	99	81	31.4	31.5	29.1	27.8	29.8	29.5	29.2
7	73	11	17	99	81	31.5	33.1	29.2	27.8	29.8	29.2	29.1
8	72	18	25	99	81	31.6	34.9	29.2	27.8	29.8	29.2	29.2
9	72	20	28	99	81	31.6	36.0	29.3	27.8	29.8	29.0	29.1
10	72	22	32	99	81	31.7	36.9	29.3	27.8	29.8	29.0	29.2
11	72	21	35	99	81	31.8	37.7	29.4	27.7	29.8	28.8	29.2
12	71	21	36	99	81	31.8	38.3	29.4	27.7	29.8	28.8	29.1

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

เวลา (นาทื)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)						
	%RH _{Silica Gel, In}	%RH _{Silica Gel, Out}	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{Silica Gel, In}	T _{Silica Gel, Out}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}	T _{water, Cu Coil}
13	71	21	37	99	81	31.8	38.8	29.4	27.6	29.8	28.7	29.2
14	71	21	38	99	81	31.9	39.1	29.4	27.6	29.8	28.6	29.2
15	71	21	38	99	81	31.9	39.4	29.4	27.6	29.8	28.6	29.1
16	71	20	39	99	81	31.9	39.6	29.4	27.6	29.8	28.4	29.2
17	71	20	39	99	81	31.9	39.8	29.4	27.5	29.8	28.4	29.2
18	71	20	39	99	82	31.9	39.9	29.4	27.6	29.8	28.3	29.2
19	71	20	39	99	82	31.9	40.0	29.4	27.6	29.7	28.2	29.1
20	71	20	40	99	82	31.9	40.1	29.4	27.5	29.7	28.2	29.1
21	71	20	40	99	82	31.9	40.1	29.4	27.5	29.7	28.1	29.2
22	71	20	40	99	82	31.9	40.1	29.4	27.4	29.6	28.1	29.1
23	71	20	40	99	82	31.9	40.3	29.4	27.4	29.6	28.0	29.2
24	70	20	40	99	82	31.9	40.3	29.4	27.4	29.6	28.0	29.2
25	70	20	40	99	82	31.9	40.3	29.4	27.4	29.6	27.9	29.2
26	70	20	41	99	82	31.9	40.4	29.4	27.4	29.6	27.9	29.2
27	70	20	41	99	82	31.9	40.4	29.4	27.4	29.6	27.9	29.2
28	70	20	41	99	82	31.9	40.4	29.4	27.3	29.6	27.9	29.2

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)						
	%RH _{Silica Gel, In}	%RH _{Silica Gel, Out}	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{Silica Gel, In}	T _{Silica Gel, Out}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}	T _{water, Cu Coil}
29	70	20	41	99	82	31.9	40.3	29.4	27.3	29.6	27.7	29.2
30	70	20	41	99	82	31.9	40.3	29.4	27.3	29.6	27.7	29.2
31	70	20	41	99	82	31.9	40.3	29.4	27.3	29.6	27.7	29.2
32	70	20	41	99	82	31.9	40.3	29.4	27.3	29.6	27.6	29.2
33	70	20	41	99	82	31.9	40.3	29.4	27.2	29.6	27.6	29.2
34	70	20	42	99	82	31.9	40.2	29.4	27.1	29.6	27.5	29.2
35	70	20	42	99	82	31.9	40.2	29.4	27.1	29.6	27.5	29.2
36	70	20	42	99	82	31.9	40.1	29.4	27.1	29.6	27.4	29.2
37	70	20	42	99	82	31.9	40.1	29.4	27.1	29.6	27.4	29.2
38	70	20	42	99	82	31.9	40.1	29.4	27.1	29.6	27.4	29.2
39	70	20	43	99	82	31.9	40.1	29.4	27.1	29.6	27.3	29.2
40	70	20	43	99	82	31.9	40.1	29.4	27.1	29.6	27.3	29.2
41	70	21	43	99	82	31.9	40.0	29.4	27.1	29.6	27.3	29.2
42	70	21	43	99	82	31.9	39.9	29.4	27.0	29.6	27.2	29.2
43	70	21	43	99	82	31.9	39.9	29.4	27.0	29.6	27.2	29.2
44	70	21	43	99	82	31.9	39.9	29.4	27.0	29.6	27.2	29.2

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

เวลา (นาท)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)						
	%RH _{Silica Gel, In}	%RH _{Silica Gel, Out}	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{Silica Gel, In}	T _{Silica Gel, Out}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}	T _{water, Cu Coil}
45	70	21	44	99	82	31.9	39.9	29.4	27.0	29.6	27.1	29.2
46	70	21	44	99	82	31.9	39.8	29.4	26.9	29.6	27.1	29.2
47	70	21	44	99	82	31.9	39.8	29.4	26.9	29.6	27.1	29.1
48	70	21	44	99	82	31.8	39.8	29.4	26.9	29.6	27.1	29.2
49	70	21	44	99	82	31.8	39.7	29.4	26.9	29.5	27.1	29.2
50	70	21	44	99	82	31.8	39.6	29.4	26.9	29.5	27.0	29.2
51	70	21	44	99	82	31.8	39.6	29.4	26.9	29.5	27.1	29.2
52	70	22	45	99	82	31.8	39.6	29.4	26.9	29.5	26.9	29.2
53	70	22	45	99	82	31.8	39.6	29.4	26.8	29.5	26.9	29.2
54	70	22	45	99	82	31.8	39.6	29.4	26.8	29.5	26.9	29.2
55	70	22	45	99	82	31.8	39.5	29.4	26.8	29.5	26.9	29.2
56	70	22	45	99	82	31.8	39.5	29.4	26.8	29.5	26.9	29.2
57	70	22	45	99	82	31.8	39.5	29.4	26.8	29.5	26.9	29.2
58	70	22	45	99	82	31.8	39.4	29.4	26.9	29.5	26.9	29.2
59	70	22	46	99	82	31.8	39.4	29.4	26.8	29.4	26.9	29.2
60	70	22	46	99	82	31.8	39.3	29.4	26.8	29.4	26.9	29.2

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

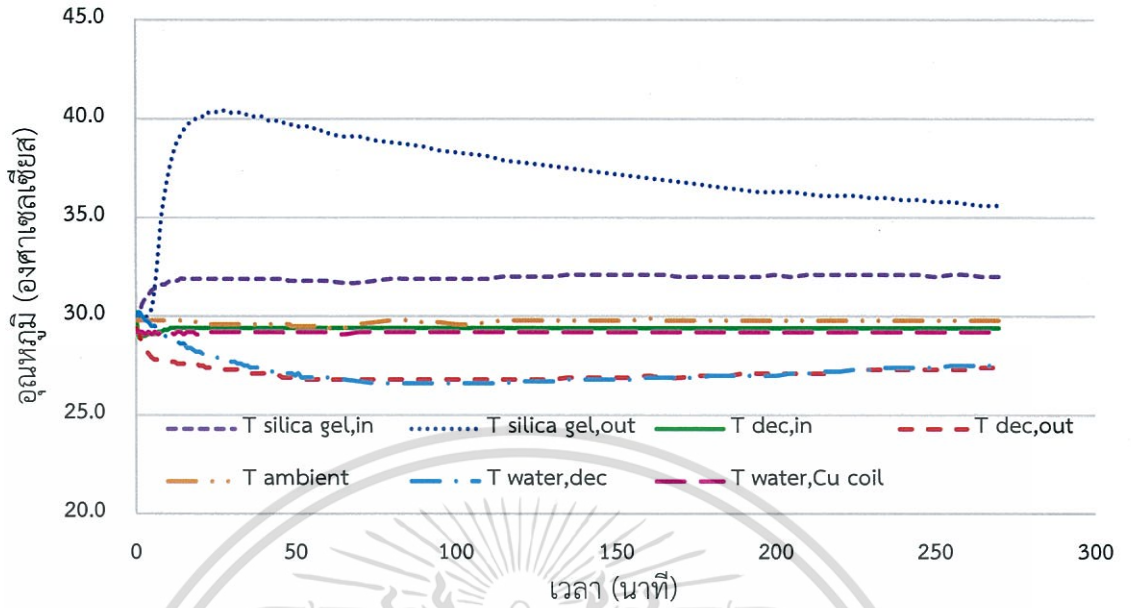
เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)						
	%RH _{Silica Gel, In}	%RH _{Silica Gel, Out}	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{Silica Gel, In}	T _{Silica Gel, Out}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}	T _{water, Cu Coil}
65	70	23	46	99	82	31.7	39.1	29.4	26.8	29.4	26.8	29.1
70	70	24	47	99	82	31.7	39.1	29.4	26.8	29.6	26.7	29.2
75	70	24	48	99	82	31.8	38.9	29.4	26.8	29.7	26.6	29.2
80	70	25	49	99	82	31.9	38.8	29.4	26.8	29.8	26.6	29.2
85	70	26	50	99	82	31.9	38.7	29.4	26.8	29.8	26.6	29.2
90	70	26	50	99	82	31.9	38.6	29.4	26.8	29.7	26.6	29.2
95	70	27	51	99	82	31.9	38.4	29.4	26.8	29.7	26.6	29.2
100	70	28	52	99	82	31.9	38.3	29.4	26.8	29.6	26.6	29.2
105	70	28	53	99	82	31.9	38.2	29.4	26.8	29.6	26.6	29.2
110	70	29	53	99	83	31.9	38.1	29.4	26.8	29.7	26.6	29.2
115	70	30	54	99	82	32.0	37.9	29.4	26.8	29.8	26.6	29.2
120	70	30	54	99	82	32.0	37.8	29.4	26.8	29.8	26.7	29.2
125	70	31	55	99	82	32.0	37.7	29.4	26.8	29.8	26.7	29.2
130	70	31	56	99	82	32.0	37.6	29.4	26.8	29.8	26.7	29.2
135	70	34	56	99	82	32.1	37.5	29.4	26.9	29.8	26.8	29.2
140	70	34	57	99	82	32.1	37.4	29.4	26.9	29.8	26.8	29.2

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

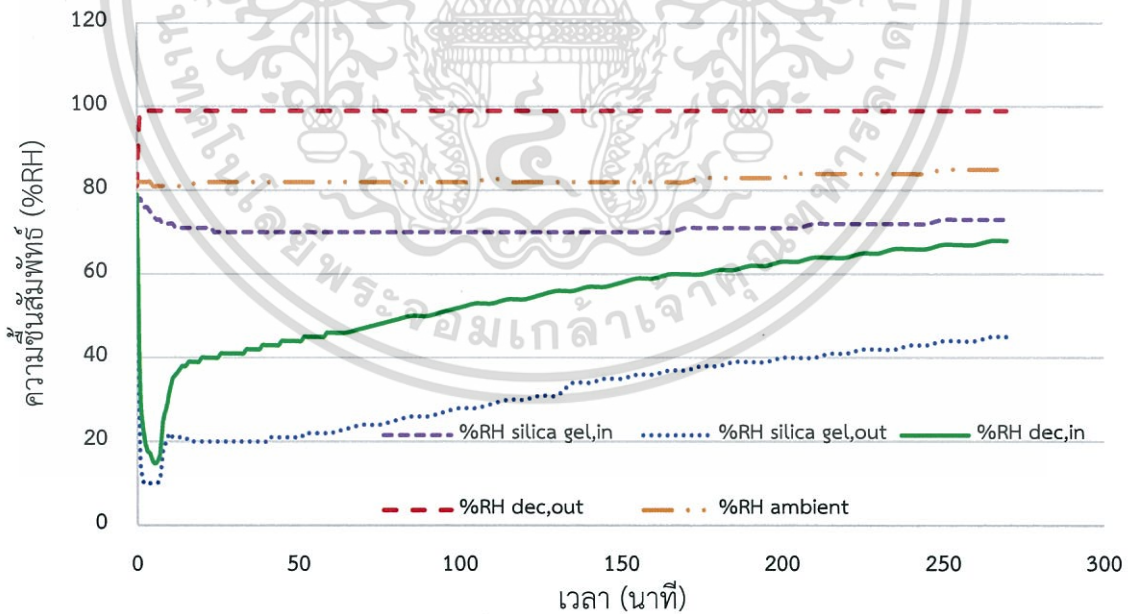
เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)						
	%RH _{Silica Gel, In}	%RH _{Silica Gel, Out}	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{Silica Gel, In}	T _{Silica Gel, Out}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}	T _{water, Cu Coil}
145	70	35	57	99	82	32.1	37.3	29.4	26.9	29.8	26.8	29.2
150	70	35	58	99	82	32.1	37.2	29.4	26.9	29.8	26.8	29.2
155	70	36	59	99	82	32.1	37.1	29.4	26.9	29.8	26.8	29.2
160	70	36	59	99	82	32.1	37.0	29.4	27.0	29.9	26.9	29.2
165	70	37	60	99	82	32.1	36.9	29.4	26.9	29.8	26.9	29.2
170	71	37	60	99	82	32.0	36.8	29.4	26.9	29.8	26.9	29.2
175	71	38	60	99	83	32.0	36.7	29.4	27.0	29.8	26.9	29.2
180	71	38	61	99	83	32.0	36.6	29.4	27.0	29.8	27.0	29.2
185	71	39	61	99	83	32.0	36.5	29.4	27.0	29.8	27.0	29.2
190	71	39	62	99	83	32.0	36.4	29.4	27.1	29.8	27.0	29.2
195	71	39	62	99	83	32.0	36.3	29.4	27.1	29.8	27.0	29.2
200	71	40	63	99	83	32.1	36.3	29.4	27.1	29.8	27.0	29.2
205	71	40	63	99	84	32.0	36.3	29.4	27.1	29.8	27.1	29.2
210	72	40	64	99	84	32.1	36.2	29.4	27.1	29.8	27.1	29.2
215	72	41	64	99	84	32.1	36.1	29.4	27.1	29.8	27.2	29.2
220	72	41	64	99	84	32.1	36.1	29.4	27.2	29.8	27.2	29.2

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)					อุณหภูมิ (°C)						
	%RH _{Silica Gel, In}	%RH _{Silica Gel, Out}	%RH _{DEC, In}	%RH _{DEC, Out}	%RH _{Ambient}	T _{Silica Gel, In}	T _{Silica Gel, Out}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}	T _{water, Cu Coil}
225	72	42	65	99	84	32.1	36.1	29.4	27.3	29.8	27.3	29.2
230	72	42	65	99	84	32.1	36.0	29.4	27.3	29.8	27.3	29.2
235	72	42	66	99	84	32.1	36.0	29.4	27.3	29.8	27.4	29.2
240	72	43	66	99	84	32.1	35.9	29.4	27.3	29.8	27.4	29.2
245	72	43	66	99	84	32.1	35.9	29.4	27.3	29.8	27.4	29.2
250	73	44	67	99	85	32.0	35.8	29.4	27.3	29.8	27.4	29.2
255	73	44	67	99	85	32.1	35.8	29.4	27.3	29.8	27.5	29.2
260	73	44	67	99	85	32.1	35.7	29.4	27.3	29.8	27.5	29.2
265	73	45	68	99	85	32.0	35.6	29.4	27.4	29.8	27.5	29.2
270	73	45	68	99	85	32.0	35.6	29.4	27.4	29.8	27.5	29.2
เฉลี่ย	71.0	26.5	47.2	98.8	82.3	31.8	37.9	29.4	27.2	29.7	27.5	29.2




รูปที่ ค.3 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศและน้ำที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลาของการทดลองส่วนที่ 3 ครั้งที่ 2



รูปที่ ค.4 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลาของการทดลองส่วนที่ 3 ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง
ข้อมูลผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องอัดอากาศ
ร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรง
(ส่วนที่ 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 1

ตารางที่ ง.1 ตารางบันทึกผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องอัดอากาศร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงไม่หุ้มฉนวน ที่ความเร็วลม 5500 ลิตรต่อชั่วโมง (29 มิถุนายน 2561, 20.35-1.05 น.)

เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)			อุณหภูมิ (°C)			
	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}
0	10	75	76	30.1	30.3	30.6	29.0
1	10	87	76	30.2	28.8	30.6	29.0
2	10	90	76	30.2	28.1	30.6	28.9
3	10	92	76	30.1	27.9	30.6	28.8
4	10	94	76	30.1	27.8	30.6	28.6
5	10	95	76	30.1	27.6	30.6	28.5
6	10	96	76	30.1	27.6	30.6	28.4
7	10	96	76	30.1	27.6	30.6	28.3
8	10	99	76	30.1	27.6	30.6	28.2
9	10	99	76	30.1	27.4	30.6	28.1
10	10	98	76	30.1	27.3	30.6	28.1
11	10	97	76	30.0	27.1	30.6	28.0
12	10	96	76	30.0	27.1	30.6	27.8
13	10	96	76	30.0	27.1	30.6	27.7
14	10	96	76	30.0	27.1	30.6	27.5
15	10	96	76	30.0	27.1	30.6	27.6
16	10	97	76	30.0	27.1	30.6	27.4
17	10	97	76	30.0	27.0	30.6	27.3
18	10	97	76	30.0	27.0	30.6	27.3
19	10	96	76	30.1	26.8	30.6	27.2
20	10	94	75	30.0	26.7	30.6	27.0
21	10	94	75	30.0	26.6	30.6	27.0
22	10	94	75	30.0	26.7	30.6	26.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)			อุณหภูมิ (°C)			
	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}
23	10	94	75	30.0	26.7	30.6	26.9
24	10	94	75	30.0	26.6	30.6	26.7
25	10	95	75	30.0	26.6	30.6	26.6
26	10	95	75	30.0	26.6	30.6	26.6
27	10	95	75	30.1	26.6	30.6	26.6
28	10	94	75	30.1	26.4	30.6	26.5
29	10	93	75	30.1	26.3	30.6	26.4
30	10	93	75	30.0	26.3	30.6	26.3
31	10	93	75	30.0	26.3	30.6	26.2
32	10	93	75	30.0	26.3	30.6	26.2
33	10	94	75	30.0	26.3	30.6	26.1
34	10	94	75	30.0	26.3	30.6	26.1
35	10	94	75	30.0	26.3	30.6	26.0
36	10	94	75	30.0	26.1	30.6	25.9
37	10	93	75	30.0	26.0	30.6	26.0
38	10	92	75	30.0	26.0	30.6	25.9
39	10	92	75	30.0	26.0	30.6	25.9
40	10	93	75	30.0	26.0	30.6	25.9
41	10	93	75	30.0	25.9	30.6	25.7
42	10	93	75	30.0	25.9	30.6	25.7
43	10	93	75	30.0	25.9	30.6	25.7
44	10	94	75	30.0	25.9	30.6	25.7
45	10	94	75	30.0	25.9	30.6	25.6
46	10	92	75	30.0	25.8	30.6	25.5
47	10	91	75	30.0	25.8	30.5	25.3
48	10	91	75	29.9	25.7	30.5	25.3
49	10	91	75	29.9	25.8	30.5	25.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

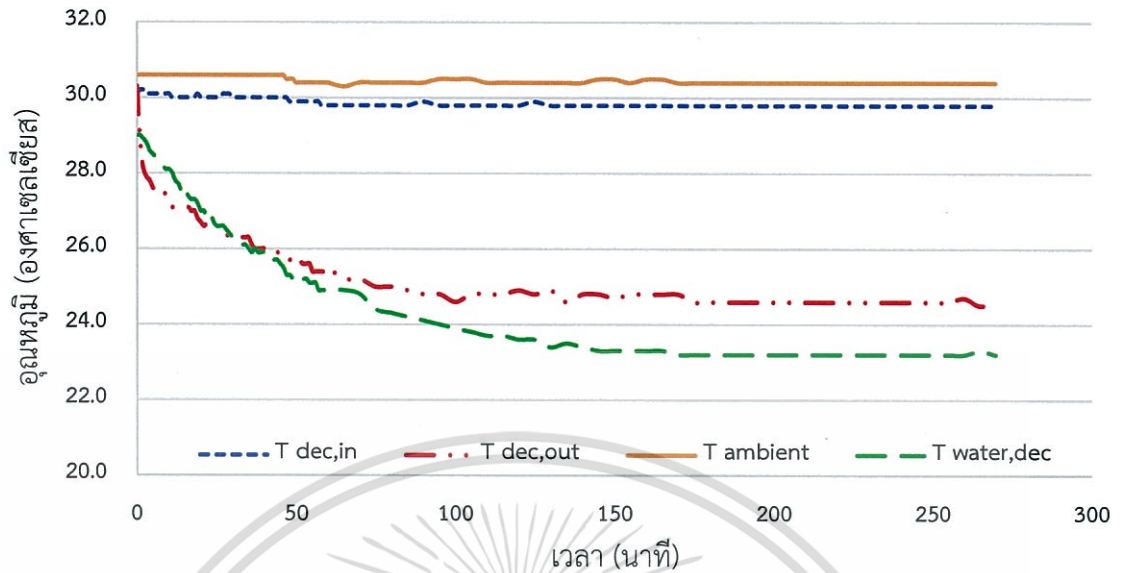
เวลา (นาทีก)	ความชื้น (%RH)			อุณหภูมิ (°C)			
	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}
50	10	91	75	29.9	25.8	30.4	25.2
51	10	92	75	29.9	25.7	30.4	25.3
52	10	93	75	29.9	25.6	30.4	25.2
53	10	94	74	29.9	25.6	30.4	25.2
54	10	93	74	29.9	25.6	30.4	25.1
55	10	91	74	29.9	25.4	30.4	25.1
56	10	90	74	29.9	25.4	30.4	25.1
57	10	91	74	29.9	25.4	30.4	24.9
58	10	91	74	29.8	25.4	30.4	24.9
59	10	92	74	29.8	25.4	30.4	24.9
60	10	92	74	29.8	25.5	30.4	24.9
65	10	90	74	29.8	25.2	30.3	24.9
70	10	92	73	29.8	25.2	30.4	24.8
75	10	90	73	29.8	25.0	30.4	24.4
80	10	92	73	29.8	25.0	30.4	24.3
85	10	90	73	29.8	24.9	30.4	24.2
90	10	91	73	29.9	24.8	30.4	24.1
95	10	91	73	29.8	24.8	30.5	24.0
100	10	89	73	29.8	24.6	30.5	23.9
105	10	91	73	29.8	24.8	30.5	23.8
110	10	89	73	29.8	24.8	30.4	23.7
115	10	91	73	29.8	24.8	30.4	23.7
120	10	89	73	29.8	24.9	30.4	23.6
125	10	90	73	29.9	24.8	30.4	23.6
130	10	89	73	29.8	24.9	30.4	23.4
135	10	88	76	29.8	24.6	30.4	23.5
140	10	89	74	29.8	24.8	30.4	23.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

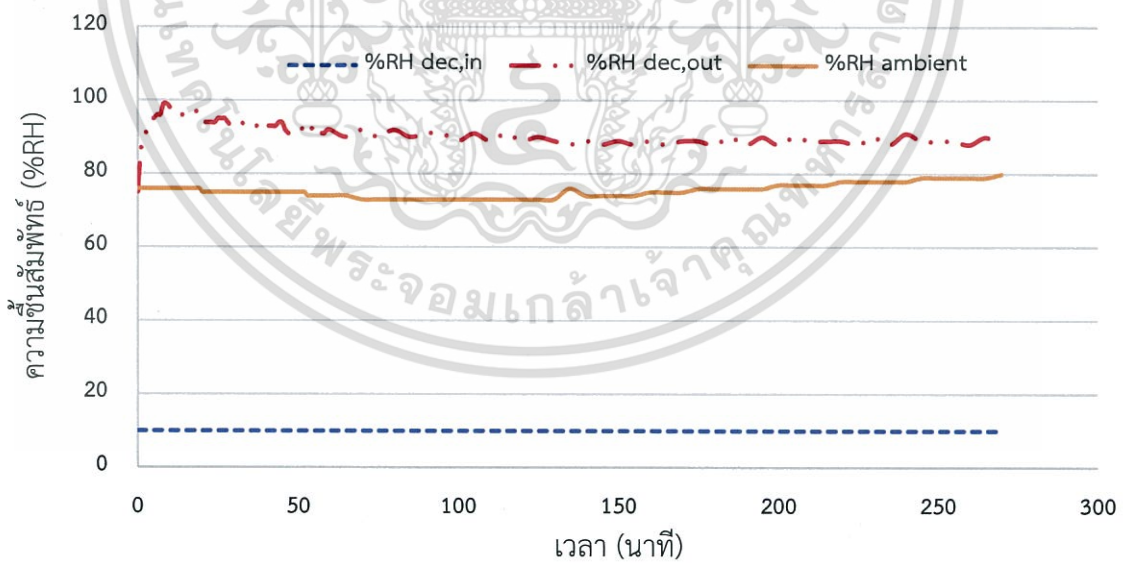
ตารางที่ ง.1 (ต่อ)

เวลา (นาทีก)	ความชื้น (%RH)			อุณหภูมิ (°C)			
	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}
145	10	88	74	29.8	24.8	30.5	23.3
150	10	89	74	29.8	24.7	30.5	23.3
155	10	88	74	29.8	24.8	30.4	23.3
160	10	89	75	29.8	24.8	30.5	23.3
165	10	88	75	29.8	24.8	30.5	23.3
170	10	89	75	29.8	24.8	30.4	23.2
175	10	89	76	29.8	24.6	30.4	23.2
180	10	88	76	29.8	24.6	30.4	23.2
185	10	90	76	29.8	24.6	30.4	23.2
190	10	88	76	29.8	24.6	30.4	23.2
195	10	90	76	29.8	24.6	30.4	23.2
200	10	88	77	29.8	24.6	30.4	23.2
205	10	90	77	29.8	24.6	30.4	23.2
210	10	89	77	29.8	24.6	30.4	23.2
215	10	89	77	29.8	24.6	30.4	23.2
220	10	89	78	29.8	24.6	30.4	23.2
225	10	88	78	29.8	24.6	30.4	23.2
230	10	90	78	29.8	24.6	30.4	23.2
235	10	88	78	29.8	24.6	30.4	23.2
240	10	91	78	29.8	24.6	30.4	23.2
245	10	89	79	29.8	24.6	30.4	23.2
250	10	89	79	29.8	24.6	30.4	23.2
255	10	89	79	29.8	24.6	30.4	23.2
260	10	88	79	29.8	24.7	30.4	23.2
265	10	90	79	29.8	24.5	30.4	23.3
270	10	88	80	29.8	24.6	30.4	23.2
เฉลี่ย	10.0	91.7	75.3	29.9	25.8	30.5	25.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.1 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศและน้ำที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลาของการทดลองส่วนที่ 4 ครั้งที่ 1



รูปที่ ง.2 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลาของการทดลองส่วนที่ 4 ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 2

ตารางที่ ง.2 ตารางบันทึกผลการทดลองการลดอุณหภูมิของอากาศโดยใช้เครื่องอัดอากาศร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยตรงหุ้มฉนวน ที่ความเร็วลม 8500 ลิตรต่อชั่วโมง (8 กรกฎาคม 2561, 5.30-10.00 น.)

เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)			อุณหภูมิ (°C)			
	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}
0	48	73	69	30.0	29.3	30.3	28.6
1	25	88	69	29.9	28.2	30.3	28.6
2	19	89	69	29.8	27.8	30.3	28.6
3	15	91	69	29.6	27.3	30.3	28.3
4	13	91	69	29.5	27.2	30.3	28.1
5	13	92	69	29.5	27.1	30.3	27.9
6	13	92	69	29.4	26.9	30.3	27.8
7	13	92	69	29.4	26.9	30.3	27.5
8	13	92	69	29.4	26.8	30.3	27.3
9	10	91	69	29.4	26.6	30.3	27.2
10	10	90	69	29.3	26.4	30.3	27.0
11	10	89	69	29.3	26.2	30.3	26.9
12	10	89	69	29.3	26.3	30.3	26.6
13	10	91	69	29.3	26.3	30.3	26.5
14	13	91	69	29.3	26.3	30.3	26.4
15	10	90	69	29.3	26.1	30.3	26.2
16	10	88	69	29.3	25.9	30.3	26.1
17	10	88	69	29.3	25.9	30.3	25.9
18	10	88	69	29.3	25.8	30.3	25.7
19	10	89	69	29.3	25.8	30.3	25.7
20	10	90	69	29.3	25.8	30.3	25.5
21	10	89	69	29.3	25.6	30.3	25.4
22	10	88	69	29.3	25.5	30.3	25.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 (ต่อ)

เวลา (นาทื)	ความชื้น (%RH)			อุณหภูมิ (°C)			
	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}
23	10	87	69	29.3	25.4	30.3	25.1
24	10	87	69	29.3	25.3	30.3	25.0
25	10	88	69	29.3	25.3	30.3	24.9
26	10	89	69	29.3	25.3	30.3	24.8
27	10	89	69	29.3	25.3	30.3	24.7
28	10	89	69	29.3	25.0	30.3	24.6
29	10	86	69	29.3	25.0	30.3	24.4
30	10	87	69	29.3	25.0	30.3	24.4
31	10	87	69	29.3	24.8	30.3	24.3
32	10	88	69	29.3	24.8	30.3	24.1
33	10	88	69	29.3	24.8	30.3	24.1
34	10	87	69	29.3	24.8	30.3	24.0
35	10	86	69	29.3	24.8	30.3	23.9
36	10	85	69	29.3	24.7	30.3	23.8
37	10	86	69	29.3	24.6	30.3	23.7
38	10	86	69	29.3	24.6	30.3	23.6
39	10	87	69	29.3	24.5	30.3	23.5
40	10	87	69	29.3	24.4	30.3	23.5
41	10	85	69	29.3	24.3	30.3	23.4
42	10	85	69	29.3	24.4	30.3	23.4
43	10	85	69	29.3	24.3	30.3	23.2
44	10	85	69	29.3	24.3	30.3	23.1
45	10	85	69	29.3	24.2	30.3	23.1
46	10	86	69	29.3	24.2	30.3	23.0
47	10	86	69	29.3	24.1	30.3	22.9
48	10	84	69	29.3	23.9	30.3	22.9
49	10	84	69	29.3	24.1	30.3	22.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 (ต่อ)

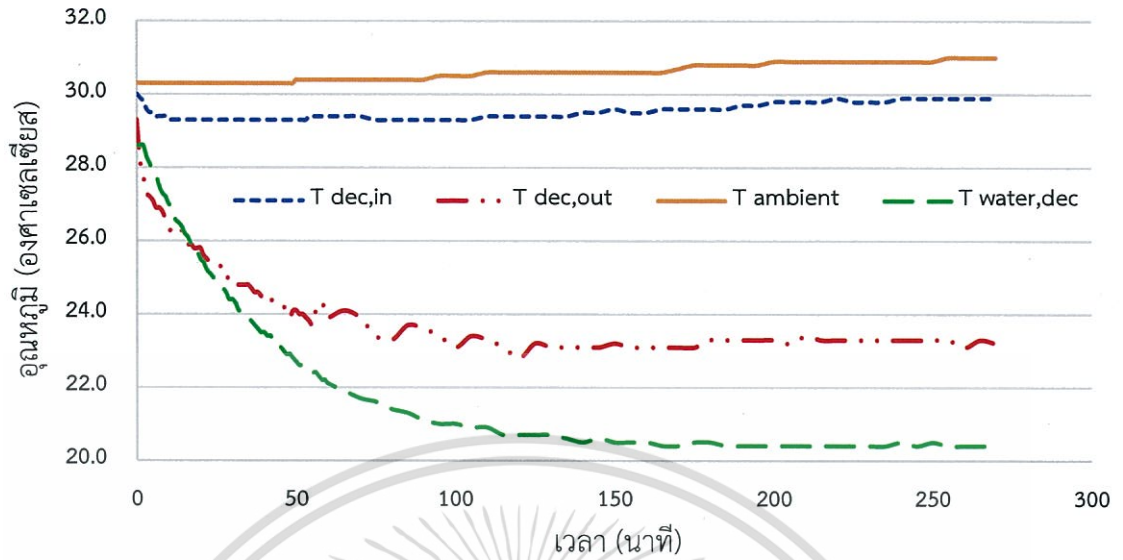
เวลา (นาที)	ความชื้น (%RH)			อุณหภูมิ (°C)			
	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}
50	10	84	70	29.3	24.1	30.4	22.7
51	10	85	70	29.3	24.0	30.4	22.6
52	10	86	70	29.3	24.0	30.4	22.6
53	10	86	70	29.3	23.9	30.4	22.5
54	10	85	70	29.4	23.8	30.4	22.5
55	10	84	70	29.4	23.7	30.4	22.4
56	10	83	70	29.4	24.1	30.4	22.4
57	10	82	70	29.4	24.1	30.4	22.3
58	10	82	70	29.4	24.3	30.4	22.2
59	10	82	70	29.4	24.1	30.4	22.2
60	10	81	70	29.4	23.9	30.4	22.1
65	10	82	70	29.4	24.1	30.4	21.9
70	10	81	70	29.4	23.9	30.4	21.7
75	10	80	70	29.3	23.4	30.4	21.6
80	10	80	70	29.3	23.3	30.4	21.4
85	10	80	70	29.3	23.7	30.4	21.3
90	10	80	70	29.3	23.6	30.4	21.1
95	10	79	70	29.3	23.4	30.5	21.0
100	10	79	70	29.3	23.1	30.5	21.0
105	10	80	70	29.3	23.4	30.5	20.9
110	10	80	70	29.4	23.3	30.6	20.9
115	10	80	70	29.4	23.1	30.6	20.7
120	10	79	70	29.4	22.8	30.6	20.7
125	10	79	70	29.4	23.2	30.6	20.7
130	10	80	70	29.4	23.1	30.6	20.7
135	10	79	70	29.4	23.1	30.6	20.6
140	10	78	70	29.5	23.1	30.6	20.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

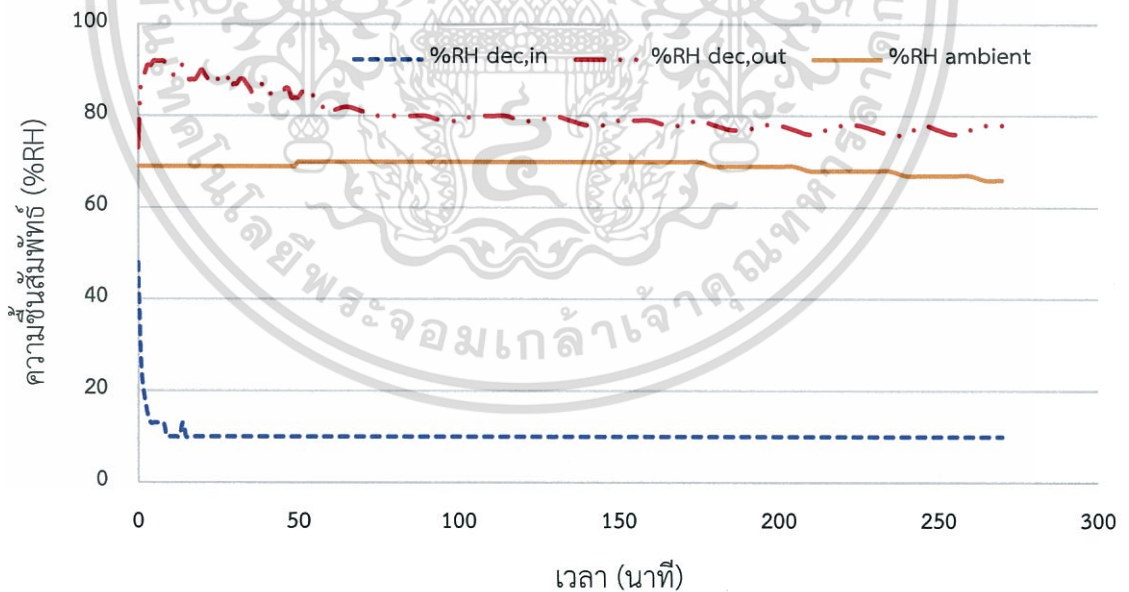
ตารางที่ ง.2 (ต่อ)

เวลา (นาทื)	ความชื้น (%RH)			อุณหภูมิ (°C)			
	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{DEC, In}	T _{DEC, Out}	T _{Ambient}	T _{water, DEC}
145	10	78	70	29.5	23.1	30.6	20.6
150	10	79	70	29.6	23.2	30.6	20.5
155	10	79	70	29.5	23.1	30.6	20.5
160	10	79	70	29.5	23.1	30.6	20.5
165	10	78	70	29.6	23.1	30.6	20.4
170	10	78	70	29.6	23.1	30.7	20.4
175	10	79	70	29.6	23.1	30.8	20.5
180	10	78	69	29.6	23.3	30.8	20.5
185	10	77	69	29.6	23.3	30.8	20.4
190	10	77	69	29.7	23.3	30.8	20.4
195	10	78	69	29.7	23.3	30.8	20.4
200	10	78	69	29.8	23.3	30.9	20.4
205	10	77	69	29.8	23.2	30.9	20.4
210	10	76	68	29.8	23.4	30.9	20.4
215	10	77	68	29.8	23.3	30.9	20.4
220	10	78	68	29.9	23.3	30.9	20.4
225	10	78	68	29.8	23.3	30.9	20.4
230	10	77	68	29.8	23.3	30.9	20.4
235	10	76	68	29.8	23.3	30.9	20.4
240	10	76	67	29.9	23.3	30.9	20.5
245	10	78	67	29.9	23.3	30.9	20.4
250	10	77	67	29.9	23.3	30.9	20.5
255	10	76	67	29.9	23.3	31.0	20.4
260	10	77	67	29.9	23.1	31.0	20.4
265	10	78	66	29.9	23.3	31.0	20.4
270	10	78	66	29.9	23.2	31.0	20.4
เฉลี่ย	10.8	83.5	69.1	29.5	24.5	30.5	23.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.3 กราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศและน้ำที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลาของการทดลองส่วนที่ 4 ครั้งที่ 2



รูปที่ ง.4 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับเวลาของการทดลองส่วนที่ 4 ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

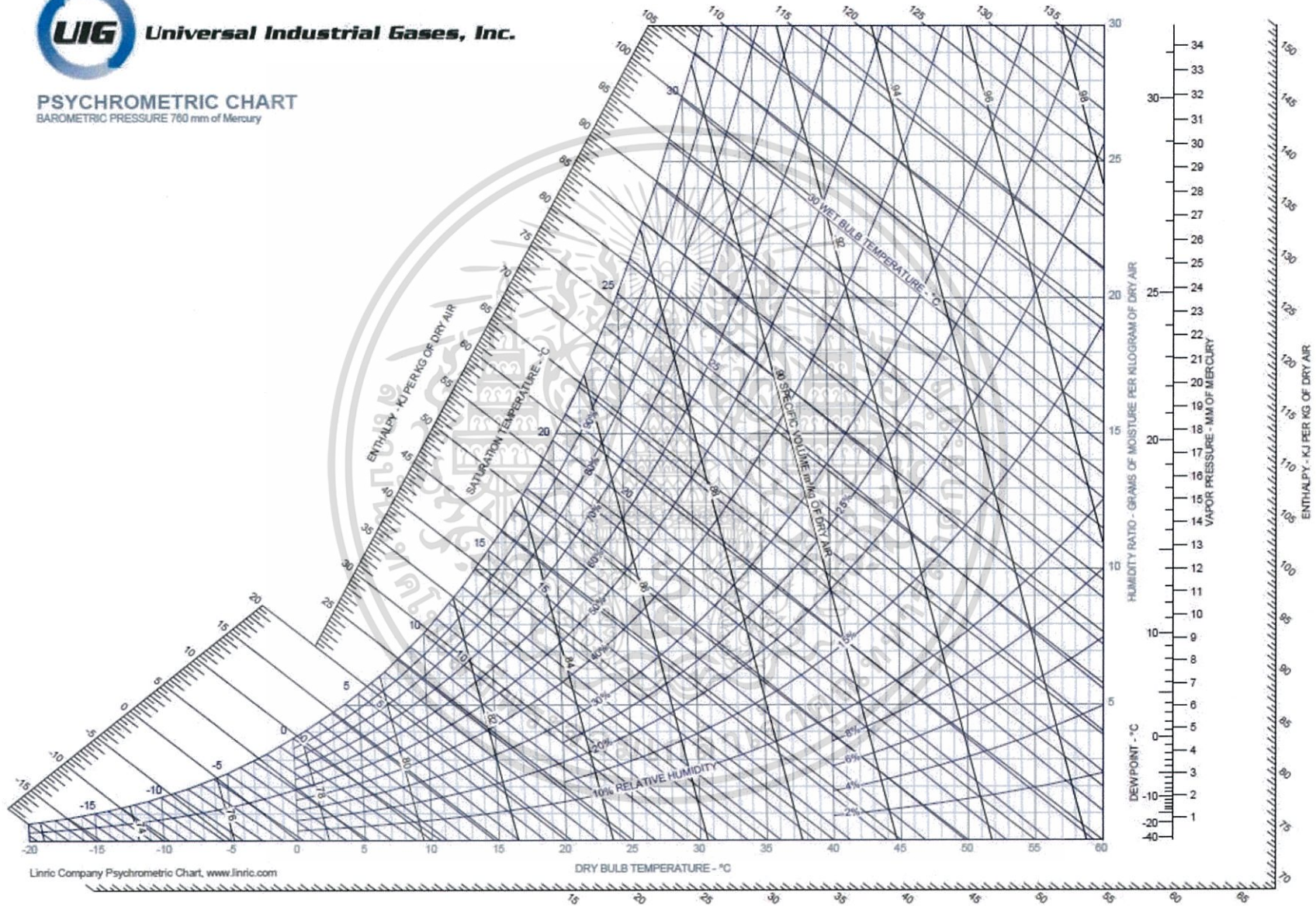


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Universal Industrial Gases, Inc.

PSYCHROMETRIC CHART
BAROMETRIC PRESSURE 760 mm of Mercury



รูปที่ จ.1 แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart)

ประวัติผู้เขียน



- ชื่อ - นามสกุล** นางสาวเบญจนาрі สิงห์รัตนพันธุ์
- วัน เดือน ปีเกิด** 12 มีนาคม 2538
- ที่อยู่** 14/1201 หมู่ 13 ซอย 16 หมู่บ้านบัวทองธานี ถนนกาญจนาภิเษก ตำบลบางบัวทอง อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี 11110
- Email** benzaiten_lan.er@hotmail.com, 57010711@kmitl.ac.th
- โทรศัพท์** 092-451-2373
- ประวัติการศึกษา**
- ระดับอนุบาลและประถมศึกษา โรงเรียนพระแม่สกลสงเคราะห์ พ.ศ. 2541-2549
 - ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โครงการห้องเรียนพิเศษส่งเสริมความเป็นเลิศด้านคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ (Gifted Program) โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการนนทบุรี พ.ศ. 2550-2552
 - ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย หลักสูตรวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการนนทบุรี พ.ศ. 2553-2556
- ทุนที่เคยได้รับ**
- ทุนโครงการนักเรียนแลกเปลี่ยน AFS รุ่นที่ 51 ณ ประเทศสหพันธรัฐรัสเซีย เป็นระยะเวลา 10 เดือน พ.ศ. 2555-2556
- ประสบการณ์การฝึกงาน**
- ฝึกงานที่บริษัท เบอร์ลี ยุคเกอร์ เซลล์ล็อกซ์ จำกัด แผนก Paper Machine (PM) เลขที่ 598 หมู่ 10 ตำบลท่าตูม อำเภอสรีมหาโพธิ จังหวัดปราจีนบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้