

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การทดสอบหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ
ในเครื่องทดสอบระบบปรับอากาศแบบไหลเวียน

TESTING TO FIND COEFFICIENT OF PERFORMANCE AT VARIOUS
RELATIVE HUMIDITY IN RECIRCULATING AIR CONDITIONING TRAINER



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104160
วัน,เดือน,ปี 3 ต.ค. 2552



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ
ในเครื่องทดสอบระบบปรับอากาศแบบไหลเวียน
TESTING TO FIND COEFFICIENT OF PERFORMANCE AT VARIOUS RELATIVE
HUMIDITY IN RECIRCULATING AIR CONDITIONING TRAINER



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง


เรื่อง การทดสอบหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ
ในเครื่องทดสอบระบบปรับอากาศแบบไหลเวียน

TESTING TO FIND COEFFICIENT OF PERFORMANCE AT VARIOUS RELATIVE
HUMIDITY IN RECIRCULATING AIR CONDITIONING TRAINER

ผู้จัดทำ

1. นายวีระพันธ์ ศรีพงษ์ รหัสนักศึกษา 48010853
2. นายวีระวงศ์ คำรัมย์ รหัสนักศึกษา 48010856
3. นายสกันธ์ฤทธิ์ ถัดทะพงษ์ รหัสนักศึกษา 48010922




อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร.อุเนัต พิณโสภณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ ในเครื่องทดสอบระบบปรับอากาศแบบไหลเวียน

นายวีระพันธ์	ศรีพงษ์	48010853
นายวีระวงศ์	คำรัมย์	48010856
นายสกนธ์ฤทธิ์	ถัดทะพงษ์	48010922
ผศ.ดร.อนุรัตน์	พิน โสภณ	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

โครงการนี้ทำการศึกษาและออกแบบระบบควบคุมความชื้นในเครื่องทดสอบระบบปรับอากาศแบบไหลเวียน เพื่อทดสอบหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแตกต่างกัน เดิมทีการวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องทดสอบนี้ทำได้โดยการนำค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งไปหาจากแผนภูมิไซโครเมตริก และเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศโดยการปรับขดลวดความร้อน (Heater) ในเครื่องกำเนิดไอน้ำได้สามระดับ ทำให้มีความจำกัดในการจำลองสถานะของอากาศ คณะผู้จัดทำจึงมีแนวความคิดที่จะออกแบบระบบควบคุมความชื้นที่สามารถเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ได้หลายค่า โดยการใช้เซนเซอร์ในการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ก่อนเข้าเครื่องระเหย (Evaporator) แล้วส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลเราสามารถกำหนดค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการจะควบคุมลงในโปรแกรมควบคุมบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ต่ำกว่าค่าที่เรากำหนดไว้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้วาล์วโซเลนอยด์เปิดเพื่อปล่อยไอน้ำเข้าสู่ระบบ ถ้าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเกินกว่าที่เรากำหนดไว้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้วาล์วโซเลนอยด์ปิด จนกระทั่งความชื้นสัมพัทธ์ในระบบตรงกับค่าที่กำหนดไว้และอยู่ในสถานะคงที่ จากนั้นจะทำการคำนวณหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น จากผลการทดลองค่าคลาดเคลื่อนในการควบคุมมีค่าประมาณความชื้นสัมพัทธ์ $\pm 3\%$ เมื่อใช้ความเร็วลมสูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์ $\pm 2\%$ เมื่อใช้ความเร็วลมปานกลาง สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและความเร็วลมเพิ่มขึ้น

**TESTING TO FIND COEFFICIENT OF PERFORMANCE
AT VARIOUS RELATIVE HUMIDITY
IN RECIRCULATING AIR CONDITIONING TRAINER**

Mr. Weerapan	Sripong	48010853
Mr. Weerawong	Khamratsamee	48010856
Mr. Sakonrit	Thadtapong	48010922
Dr. Unnat	Pinsopon, Asst.Prof	Advisor

Abstract

This project to study and develops humidity control system in the recirculating air conditioning trainer. For testing to find coefficient of performance (COP) at various relative humidity. At first this trainer measures humidity by bringing dry bulb and wet bulb plot in psychrometrics chart. And it cans change relatives humidity by adjusting heaters for three levels. It makes limit to simulate air condition. We have an idea to study and design humidity control system that cans change for various relatives humidity. We use sensors to measure relatives humidity before evaporator inlet. Sensors will send the data to microcontroller for processing. We can specify humidity into program on computer. To control solenoid valve releases steam into system. When humidity is more than specific value. Microcontroller will order to close solenoid valve. But if less than will be opened. Until humidity in system close to setting value and stable in this condition. And then we will calculate COP at steady state. From experiment we have an error about $\pm 3\%RH$ for maximum fan speed and $\pm 2\%RH$ for medium fan speed. Increasing of relative humidity will makes COP increase also. And COP when uses maximum fan speed is more than medium fan speed.

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำปริญญาบัตรนี้สำเร็จลงได้ด้วยความอนุเคราะห์โดยได้รับคำแนะนำและชี้แนวทางการศึกษาค้นคว้าเป็นอย่างดีจาก อาจารย์รัชชชัย นาคพิพัฒน์ อาจารย์อุจน์นัต พิณ โสภณและ อาจารย์สยาม สงวนรัมย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาผู้ทำปริญญาบัตร ขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาคเครื่องกลทุกท่านที่ได้ให้โอกาสและให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะรวมทั้งให้ความสะดวกในการยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ จนโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ นั่นก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูข้าพเจ้ามาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังคงคอยให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมาในทุก ๆ ด้าน อันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

หากปริญญาบัตรนี้มีข้อบกพร่องประการใด คณะผู้จัดทำขออ้อมรับความบกพร่องที่เกิดขึ้นด้วยประการทั้งปวง

นายวิระพันธ์

ศรีพงษ์

นายวิระวงศ์

คำร์ศรี

นายสกันธ์ฤทธิ์

ถัดทะพงษ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	1
1.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	1
บทที่ 2 ทฤษฎีระบบการทำความเย็น	2
2.1 หน่วยและพื้นฐานทั่วไป	2
2.2 แผนภาพความดัน-เอนทัลปี (P-h diagram)	3
2.3 คุณสมบัติทางไซโครเมตริก	4
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	7
3.1 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	7
3.2 อุปกรณ์ต่างๆ ที่ได้ทำการติดตั้งเพิ่ม	10
3.3 วิธีการทดลอง	13
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	23
4.1 สมการที่ใช้ในการคำนวณ	23
4.2 ตารางบันทึกผลการทดลอง	26
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	52
5.1 สรุปผลการทดลอง	52
5.2 ข้อเสนอแนะ	54

บรรณานุกรม	หน้า
ภาคผนวก ก.	55
ภาคผนวก ข.	56
ภาคผนวก ค.	83
ภาคผนวก ค.	88



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2-1	แสดงเส้นของเหลวอิมตัวและเส้นไออิมตัวแบ่งพื้นที่บนแผนภูมิเป็น 3 เขต	3
2-2	แสดงโครงสร้างของแผนภาพไซโครเมตริก	6
3-1	แสดงเครื่องทดสอบระบบปรับอากาศแบบไหลเวียน	7
3-2	แสดงตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น	10
3-3	แสดงวาล์วโซเลนอยด์และตำแหน่งการติดตั้งวาล์วโซเลนอยด์	11
3-4	แสดงบอร์ดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์และวาล์วโซเลนอยด์	11
3-5	แสดงเครื่องกำเนิดไอน้ำ	12
3-6	แสดงวาล์วระบายไอน้ำ	12
3-7	แสดงการปิดประตูของเครื่องทดสอบ	13
3-8	แสดงการเติมน้ำกลั่นที่วัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก	14
3-9	แสดงการต่อสายไฟที่มีฉนวนหุ้ม	14
3-10	แสดงสวิตช์ควบคุมขดลวดความร้อนที่อยู่ในสถานะปิด	15
3-11	แสดงสวิตช์ของเครื่องกำเนิดไอน้ำและคอมเพรสเซอร์ในสถานะปิด	15
3-12	แสดงเบรกเกอร์ (F1-F10) ในสถานะเปิด	16
3-13	แสดงชุดแผ่นปรับลมไปที่ตำแหน่ง 100%	16
3-14	แสดงการเปิดเบรกเกอร์ให้อยู่ในสถานะเปิด	17
3-15	แสดงการเปิดสวิตช์เพาเวอร์ให้อยู่ในสถานะเปิด	17
3-16	แสดงปุ่มเริ่มทำงาน (Start) และหยุดทำงาน (Stop)	18
3-17	แสดงการตั้งเทอร์มอสแตตของหม้อต้มที่ 105 องศาเซลเซียส	18
3-18	แสดงสวิตช์เครื่องกำเนิดไอน้ำที่ 5 กิโลวัตต์	19
3-19	แสดงสวิตช์พัดลมที่สามารถตั้งค่าสูงสุดหรือปานกลาง	19
3-20	แสดงการตั้งค่าความชื้นที่โปรแกรมควบคุมความชื้นตามแต่ละการทดลอง	20
3-21	แสดงการเปิดชุดทำให้อุ่นล่วงหน้าไปที่ตำแหน่ง 2 (1 กิโลวัตต์)	20
3-22	แสดงการเปิดอุปกรณ์อุ่นอากาศไปที่ตำแหน่ง 1 (0.5 กิโลวัตต์)	21
3-23	แสดงการเปิดเปิดสวิตช์คอมเพรสเซอร์	21
3-24	แสดงปุ่มจับเวลาที่โปรแกรมควบคุมความชื้นเพื่อเริ่มจับเวลา	22
4-1	แสดงความเร็วลมที่ตำแหน่งต่าง ๆ	24

4-2	แสดงความเร็วลมเฉลี่ย	25
4-3	แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัดโดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริกที่ความชื้นสัมพัทธ์ 40% โดยใช้ความเร็วของพัดลมสูงสุด	27
4-4	แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัดโดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริกที่ความชื้นสัมพัทธ์ 40% โดยใช้ความเร็วของพัดลมปานกลาง	29
4-5	แสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริกที่สภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 40% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุด	30
4-6	แสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริกที่สภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 40% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วปานกลาง	30
4-7	แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัดโดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริกที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50 % โดยใช้ความเร็วของพัดลมสูงสุด	33
4-8	แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัดโดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริกที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50 % โดยใช้ความเร็วของพัดลมปานกลาง	35
4-9	แสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริกที่สภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 50% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุด	36
4-10	แสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริกที่สภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 50% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วปานกลาง	36
4-11	แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัดโดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริกที่ความชื้นสัมพัทธ์ 60 % โดยใช้ความเร็วของพัดลมสูงสุด	39
4-12	แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัดโดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริกที่ความชื้นสัมพัทธ์ 60 % โดยใช้ความเร็วของพัดลมปานกลาง	41
4-13	แสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริกที่สภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 60% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุด	42
4-14	แสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริกที่สภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 60% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วปานกลาง	42
4-15	แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัดโดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริกที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70 % โดยใช้ความเร็วของพัดลมสูงสุด	45

- 4-16 แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัด โดยเซนเซอร์และจากการพล็อตใน
แผนภูมิไซโครเมตริกที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70 % โดยใช้ความเร็วของพัดลมปานกลาง 47
- 4-17 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริก
ที่สภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 70% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุด 48
- 4-18 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริก
ที่สภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 70% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วปานกลาง 48
- 4-19 แสดงค่า COP ที่สภาวะการควบคุมความชื้นต่าง ๆ 50
- 5-1 แสดงแผนภาพความดัน-เอนทัลปีของสารทำความเย็น R-22
จากผลของการเปลี่ยนแปลงสภาวะของอากาศในทางทฤษฎี 53



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4-1	แสดงผลการทดสอบที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 40 % โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุด	26
4-2	แสดงผลการทดสอบที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 40 % โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วปานกลาง	28
4-3	แสดงผลการทดสอบที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 50 % โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุด	32
4-4	แสดงผลการทดสอบที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 50 % โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วปานกลาง	34
4-5	แสดงผลการทดสอบที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 60 % โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุด	38
4-6	แสดงผลการทดสอบที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 60 % โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วปานกลาง	40
4-7	แสดงผลการทดสอบที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 70 % โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุด	44
4-8	แสดงผลการทดสอบที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 70 % โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วปานกลาง	46



บทที่ 1

บทนำ

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.1.1 เพื่อศึกษาและออกแบบระบบควบคุมความชื้นในเครื่องทดสอบระบบปรับอากาศ
- 1.1.2 เพื่อศึกษาหลักการทำงานของเครื่องทำความเย็นและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในระบบปรับอากาศอันเป็นผลเนื่องมาจากค่าความชื้นของสภาวะอากาศที่แตกต่างกัน
- 1.1.3 เพื่อเพิ่มรูปแบบการทดลองตลอดจนเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของอุปกรณ์อื่น ๆ ต่อไป

1.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

- 1.2.1 ทำให้ผู้วิจัยได้รู้วิธีการศึกษา การทดลอง และหาคำตอบของปัญหา เพื่อให้โครงการบรรลุวัตถุประสงค์
- 1.2.2 ทำให้ผู้วิจัยเข้าใจระบบเครื่องปรับอากาศ อุปกรณ์ในระบบเครื่องปรับอากาศ ระบบควบคุมความชื้นและสามารถออกแบบเครื่องปรับอากาศได้
- 1.2.3 ทำให้ผู้วิจัยรู้วิธีการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ รวมทั้งการนำเสนอผลการทดสอบด้วย
- 1.2.4 โครงการนี้เป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาต่อไปในอนาคต

1.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

แบ่งการทำงานเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการศึกษาถึงทฤษฎีของระบบการทำความเย็น การคำนวณต่าง ๆ ของระบบ รวมถึงศึกษาโปรแกรมการทำงานที่จะนำมาควบคุมความชื้นและคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้

ขั้นตอนที่ 2 จัดหาอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการติดตั้งชุดควบคุมความชื้น เมื่อทำการติดตั้งชุดควบคุมความชื้นเรียบร้อยแล้ว ก็ต้องมีการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ให้ทำงานได้และทำการทดลองรายละเอียดทั้งหมดนี้รวมถึงวิธีการทดลองจะอยู่ในบทที่ 3

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อทำการทดลองเสร็จแล้วก็นำผลที่ได้มาคำนวณ โดยส่วนนี้จะอยู่ในบทที่ 4 และนำค่าที่ได้จากการคำนวณมาเขียนกราฟเพื่อศึกษาแนวโน้มของแต่ละการทดลอง

ขั้นตอนที่ 4 ส่วนสุดท้ายนี้จะอยู่ในบทที่ 5 ซึ่งจะนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยครั้งนี้ ข้อเสนอแนะในการนำงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ รวมทั้งการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยเพื่อให้ได้ผลงานวิจัยที่ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีระบบการทำความเย็น

2.1 หน่วยและพื้นฐานทั่วไป

ขนาดของเครื่องทำความเย็น จะบอกเป็นหน่วยอังกฤษบีทียูต่อชั่วโมง (Btu/h) หน่วยเมตริก กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง (kcal/h) หน่วย SI กิโลวัตต์ (kW) หรือบอกขนาดเป็นตัน โดย 1 ตันทำความเย็นมีค่า 12,000 Btu/h ซึ่งมีความหมายคือ 1 ตันทำความเย็น เป็นความเย็นที่ได้จากการเสียความร้อนไปใช้ในการหลอมละลายน้ำแข็งหนัก 1 ตัน ที่อุณหภูมิ 32 °F หอมดในเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งสามารถแสดงค่าโดยการคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าความร้อนแฝงของการหลอมละลายของน้ำแข็ง} &= 144 \text{ Btu/lb} \\ \text{ฉะนั้น การละลายน้ำแข็งหมด 1 ตัน จะต้องใช้ความร้อน} &= \frac{2000 \times 144}{24} \text{ Btu/h} \\ &= 12,000 \text{ Btu/h} \end{aligned}$$

หรือสรุปได้ว่า จะให้น้ำแข็งละลายหมดก่อน บริเวณรอบ ๆ จะต้องส่งความร้อนให้กับน้ำแข็งคิดเป็นปริมาณความร้อน = 12,000 Btu/h หรือก็คือบริเวณนั้นจะเกิดความเย็นขึ้นคิดเป็นค่าเท่ากับ 12,000 Btu/h และเราเรียกขนาดความเย็นที่เกิดขึ้นนี้ว่า ความเย็นขนาด 1 ตัน

ประสิทธิภาพการทำความเย็น (Energy efficiency ratio, EER) เป็นค่าแสดงอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องทำความเย็น ซึ่งใช้อ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ

$$EER = \frac{R.E.}{W_c}$$

เมื่อ $R.E.$ = ปริมาณค่าความเย็นที่ทำได้ หน่วยบีทียูต่อชั่วโมง (Btu/h)

W_c = กำลังไฟฟ้าที่เครื่องอัด หน่วยวัตต์ (watt)

สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of performance, COP) คือ ค่าที่ใช้แสดงประสิทธิภาพของการทำความเย็น โดยเป็นค่าเปรียบเทียบระหว่างผลของความเย็นที่ได้ต่องานที่ให้กับระบบ หรือ

$$COP = \frac{EER}{3.412}$$

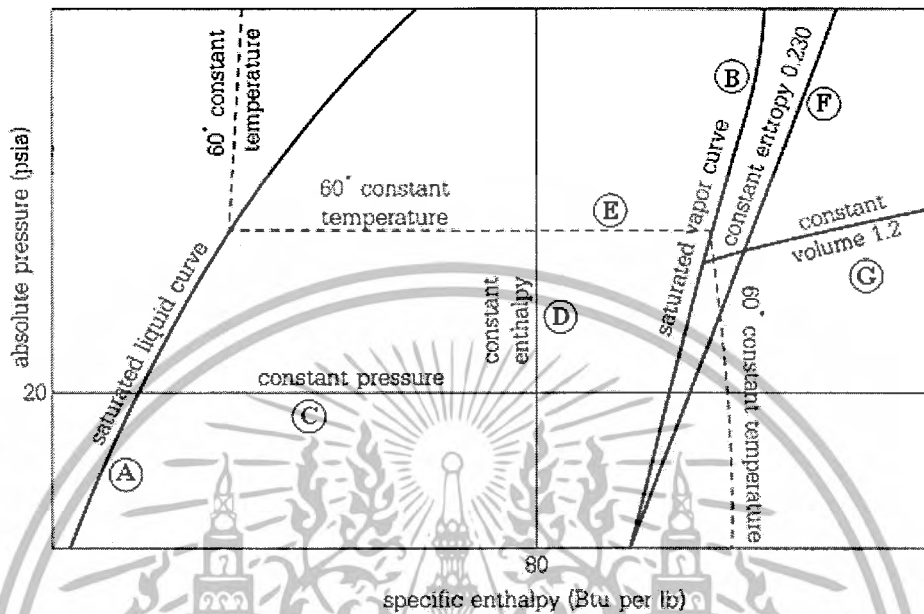
การเปลี่ยนค่า EER เป็น COP ทำได้ดังนี้

$$\begin{aligned} 1 \text{ watt} &= 3.412 \text{ Btu/h} \\ COP &= \frac{\text{Btu/h}}{\text{Btu/h}} = \frac{\text{Btu/h}}{3.412 \text{ watt}} = \frac{EER}{3.412} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 แผนภาพความดัน-เอนทัลปี (P-h diagram)

แผนภาพความดัน-เอนทัลปี เป็นแผนภาพซึ่งสามารถแสดงสภาวะต่าง ๆ ของสารทำความเย็นใน ทุกสภาวะทางเทอร์โมไดนามิกส์ และทุกกระบวนการในวัฏจักรทำความเย็น



รูปที่ 2-1 แสดงเส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้นไออิ่มตัวแบ่งพื้นที่บนแผนภูมิเป็น 3 เขต

วิธีการอ่านแผนภาพความดัน-เอนทัลปี ซึ่งประกอบด้วยเส้นบอกคุณสมบัติต่าง ๆ ของสารทำความเย็น โดยสามารถแยกทำความเข้าใจรายละเอียดของเส้นต่าง ๆ ได้ดังนี้

(1) เส้นของเหลวอิ่มตัว (เส้น A, Saturated liquid lines) และเส้นไออิ่มตัว (เส้น B, saturated vapor lines) เป็นเส้นแบ่งพื้นที่ของแผนภาพความดัน-เอนทัลปีออกเป็น 3 เขต คือ

- เขตของเหลวเย็นยิ่ง (Subcooled region) คือ พื้นที่บริเวณด้านซ้ายของเส้นของเหลวอิ่มตัว สารทำความเย็นที่อยู่ในพื้นที่นี้จะมีสภาวะเป็นของเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดอิ่มตัว เรียกว่า ของเหลวเย็นยิ่ง (Subcooled liquid)

- เขตไอร้อนยวดยิ่ง (Superheated region) คือ พื้นที่บริเวณด้านขวาของเส้นไออิ่มตัว สารทำความเย็นในพื้นที่นี้จะมีสภาวะเป็นไอที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดอิ่มตัว เรียกว่า ไอร้อนยวดยิ่ง หรือ ใอดง (Superheated vapor)

- เขตเปลี่ยนสถานะ (Phase change region) คือ พื้นที่ระหว่างเส้นของเหลวอิ่มตัว และเส้นไออิ่มตัว สารทำความเย็นในพื้นที่นี้จะมีสภาวะผสมระหว่างของเหลวและไอ (Liquid-Vapor mixture) หรือเป็นเขตเปลี่ยนสถานะ คือ การเปลี่ยนแปลงจากด้านซ้ายไปขวาเป็นการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอดตามกระบวนการกลายเป็นไอ (Vaporization) และการเปลี่ยนแปลงจากด้านขวาไปซ้ายเป็นการเปลี่ยนสถานะจากไอเป็นของเหลวตามกระบวนการควบแน่น (Condensation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดที่เชื่อมต่อระหว่างเส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้นไออิ่มตัว คือ จุดวิกฤต (Critical point) ซึ่งเป็นจุดที่สารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวอิ่มตัวไปเป็นไอร้อนยวดยิ่ง หรือจากไอร้อนยวดยิ่งไปเป็นของเหลวอิ่มตัวได้ทันที โดยไม่ต้องผ่านช่วงสภาวะผสมระหว่างของเหลวและไอ

(2) เส้นความดันคงที่ (เส้น C, Constant pressure lines) และเส้นเอนทัลปีคงที่ (เส้น D, Constant enthalpy lines) เส้นความดันคงที่ คือ กลุ่มของเส้นตรงในแนวระดับ รายงานเป็นความดันสัมบูรณ์ (Absolute pressure) มีหน่วยเป็น psia, kg/cm² abs หรือ bar ส่วนเส้นเอนทัลปีคงที่คือกลุ่มของเส้นตรงในแนวตั้ง รายงานเป็นค่าปริมาณความร้อนที่มีอยู่ในสารทำความเย็นต่อ 1 หน่วยมวล มีหน่วยเป็น Btu/lb, kcal/kg หรือ kJ/kg

(3) เส้นความแห้งคงที่ (Constant dryness lines – x) คือ เส้นซึ่งลากจากจุดวิกฤตลงมาด้านล่างอยู่ระหว่างเส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้นไออิ่มตัว เป็นเส้นที่บอกเปอร์เซ็นต์ของสารทำความเย็นส่วนที่เป็นไอ (โดยน้ำหนัก) เช่น เส้น x = 0.1 หมายความว่า มีสารทำความเย็นส่วนที่เป็นไอคิดเป็นน้ำหนัก 10% และส่วนที่เป็นของเหลว 90%

(4) เส้นอุณหภูมิคงที่ (เส้น E, Constant temperature lines) คือ เส้นที่อยู่ในแนวเกือบขนานกับเส้นเอนทัลปีเมื่ออยู่ในเขตของเหลวเย็นยิ่ง เป็นเส้นตรงขนานกับเส้นความดันเมื่ออยู่ในเขตเปลี่ยนสถานะและจะเปลี่ยนเป็นเส้นโค้งลงทางด้านล่างเมื่ออยู่ในเขตไอร้อนยวดยิ่ง มีหน่วยเป็น °F หรือ °C

(5) เส้นเอนโทรปีคงที่ (เส้น F, Constant entropy lines) คือ เส้นโค้งซึ่งเอียงขึ้นเป็นมุมสูง อยู่ในเขตไอร้อนยวดยิ่ง เป็นเส้นบอกอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าเอนทัลปีต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง 1 องศา มีหน่วยเป็น Btu/lb R, kcal/kg K หรือ kJ/kg K

(6) เส้นปริมาตรจำเพาะคงที่ (เส้น G, Constant specific volume lines) คือ เส้นโค้งที่เอียงขึ้นเป็นมุมใกล้กับแนวนอน อยู่ในเขตไอร้อนยวดยิ่ง เป็นเส้นที่บอกค่าของปริมาตรของสารทำความเย็นต่อ 1 หน่วยของมวล มีหน่วยเป็น ft³/lb, m³/kg

2.3 คุณสมบัติทางไซโครเมตริก

2.3.1 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature) หรือ DB เป็นอุณหภูมิของอากาศที่วัดโดยเทอร์มอมิเตอร์ที่ใช้กันทั่วไป

2.3.2 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) หรือ WB เป็นอุณหภูมิซึ่งวัดโดยใช้เทอร์มอมิเตอร์กระเปาะหุ้มด้วยสำลีชุบน้ำ และความเร็วของอากาศรอบ ๆ กระเปาะเปียกควรจะอยู่ระหว่าง 5 และ 10 เมตรต่อวินาที

2.3.3 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) หรือ R.H. อัตราส่วนของความดันจริงเฉพาะส่วนของไอน้ำที่ปริมาตรใด ๆ ของอากาศต่อความดันเฉพาะส่วนของไอน้ำ ถ้าไอน้ำในอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิของอากาศนั้นมักจะแสดงเป็นร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์

2.3.4 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature) หรือ DP คืออุณหภูมิที่ไอน้ำเริ่มกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ

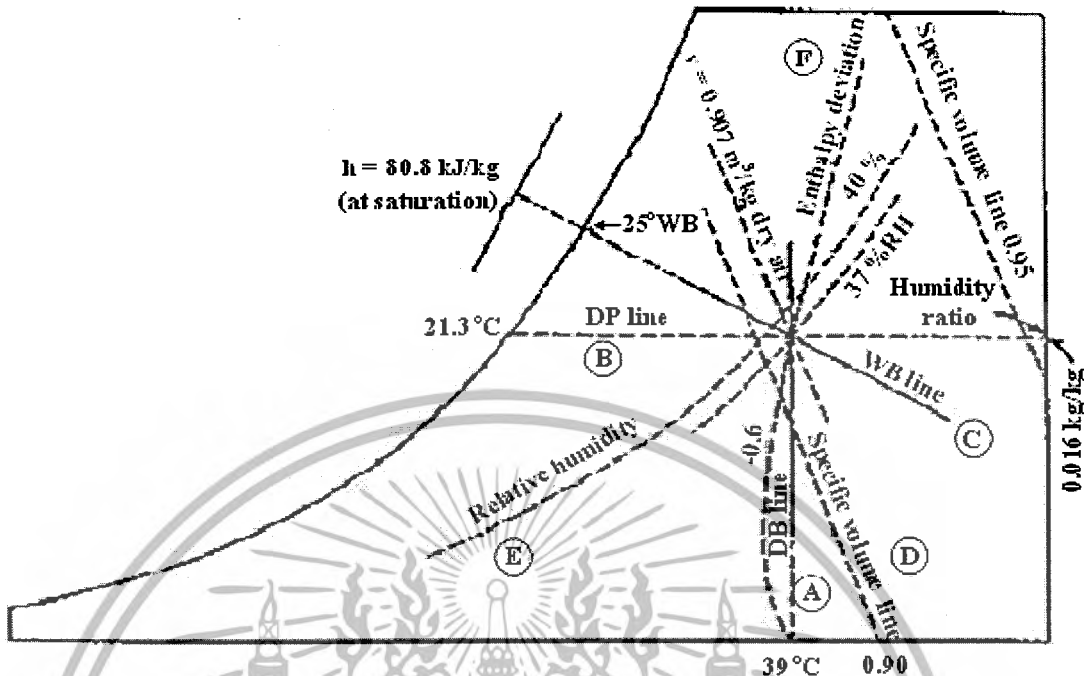
2.3.5 อัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio) หรือความชื้นจำเพาะ (Specific humidity) คือมวลไอน้ำต่อหนึ่งหน่วยมวลของอากาศแห้ง

2.3.6 ค่าความจุความร้อนหรือเอนทัลปี (Enthalpy) คือ ความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง ความร้อนรวมของอากาศที่สภาวะใด ๆ ก็คือ ผลรวมของความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง

2.3.7 อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะ (Sensible heat ratio) คืออัตราส่วนของปริมาณความร้อนจำเพาะต่อปริมาณความร้อนทั้งหมด

ค่าความชื้นที่ใช้กันมากในการวัดความชื้นของอากาศ คือความชื้นสัมพัทธ์ โดยจะใช้ในการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น การอบแห้ง การเพาะเลี้ยงดินกล้าและเห็ดต่าง ๆ การเก็บรักษาอาหารให้อยู่ได้นาน การปั่นด้าย และการปรับอากาศภายในห้องที่ติดตั้งเครื่องจักร เป็นต้น





รูปที่ 2-2 แสดงโครงสร้างของแผนภูมิไซโครเมตริก

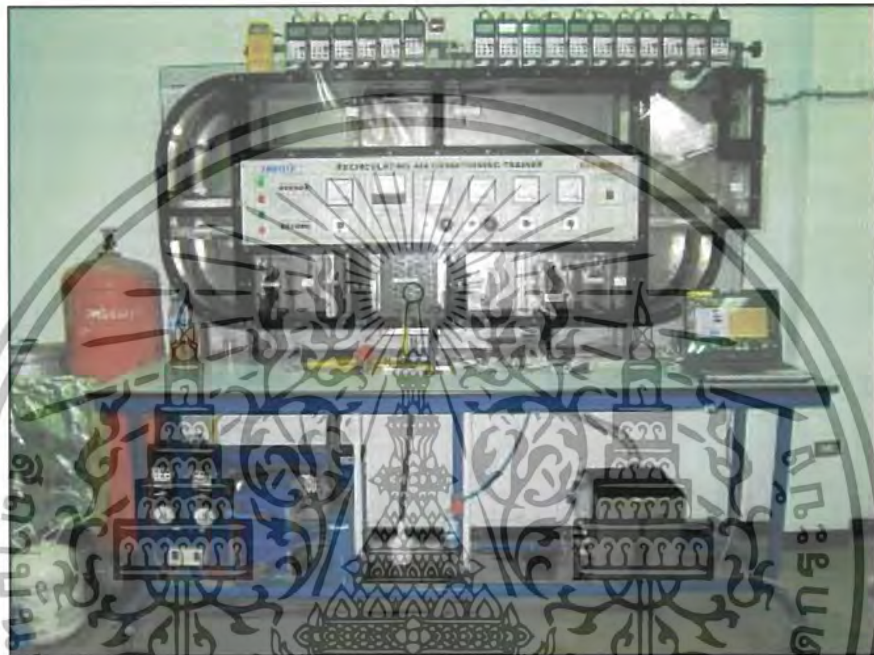
แผนภูมิไซโครเมตริก เป็นกราฟซึ่งแสดงคุณสมบัติของอากาศ ที่ใช้สำหรับพล็อตหรือลากจากค่าอ้างอิงต่าง ๆ ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้ หรือต้องการคำนวณจากคุณสมบัติของอากาศและไอน้ำ

- เส้นในแนวดิ่ง (เส้น A) ของแผนภาพเป็นเส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้งหรือ DB คงที่
- เส้นในแนวราบ (เส้น B) เป็นเส้นอุณหภูมิจุดน้ำค้างหรือ DP คงที่ และอัตราส่วนความชื้น
- เส้นที่ลากทแยงมุม (เส้น C) เป็นเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกหรือ WB คงที่
- เส้นที่ลากในแนวดิ่งแต่เฉียงมาทางซ้าย (เส้น D) เป็นเส้นปริมาตรจำเพาะคงที่
- เส้นโค้งที่ลากจากด้านซ้าย ไปยังด้านขวามือบนแผนภูมิ (เส้น E) เป็นเส้นความชื้นสัมพัทธ์ (R.H.)
- เส้นโค้งหักเห (เส้น F) เป็นเส้นของเอนทัลปีที่เกิดไปจากเอนทัลปีจำเพาะ

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3-1 แสดงเครื่องทดสอบระบบปรับอากาศแบบไหลเวียน

3.1.1 เกี่ยวกับเครื่องทดสอบ

เครื่องทดสอบระบบปรับอากาศแบบไหลเวียน เป็นเครื่องที่ใช้ทำการทดลองโดยใช้การเคลื่อนที่ของอากาศแบบไหลเวียน การไหลของอากาศอาจจะมาจากภายนอกหรือถูกจำลองขึ้นตามสถานะต่าง ๆ โดยเครื่องทดสอบนี้สามารถควบคุมการไหลของอากาศ การผสมกัน การเพิ่มอุณหภูมิ การลดอุณหภูมิ การเพิ่มความชื้น และการลดความชื้นได้

เครื่องทดสอบนี้สามารถควบคุมตัวแปรหลักในระบบปรับอากาศทั่วไป โดยค่าต่าง ๆ สามารถหาได้ โดยนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปพล็อตหาค่าในแผนภูมิไซโครเมตริก เครื่องทดสอบนี้ติดตั้งอยู่บนที่ตั้งที่สามารถเคลื่อนที่ได้ง่าย มองเห็นได้สะดวกและง่ายต่อการควบคุม

หมายเหตุ : แผนภาพแสดงส่วนต่าง ๆ ของเครื่องทดสอบระบบปรับอากาศแบบไหลเวียนแสดงไว้ใน

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องทดสอบ

ชุดทำให้อุ่นล่วงหน้า (Pre-heater) และอุปกรณ์อุ่นอากาศ (Re-heater)

ใช้เพื่อเพิ่มและลดอุณหภูมิของอากาศ โดยแต่ละชุดลดความร้อน มีกำลัง 0.5 กิโลวัตต์ และ 1.0 กิโลวัตต์ ซึ่งสามารถปรับได้ 3 ระดับโดยการสับสวิตช์

ตำแหน่ง 0 : ปิด

ตำแหน่ง 1 : 0.5 กิโลวัตต์

ตำแหน่ง 2 : 1.0 กิโลวัตต์

ตำแหน่ง 3 : 1.5 กิโลวัตต์

ชุดทำให้อุ่นล่วงหน้าและอุปกรณ์อุ่นอากาศถูกควบคุมโดยเทอร์มอสแตต

ชุดการทำความเย็น (Refrigeration unit)

ส่วนต่าง ๆ ของระบบการทำความเย็นในเครื่องทดสอบนี้เป็นแบบที่ใช้กันทั่วไป ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ คอมเพรสเซอร์ (Compressor) 1.5 แรงม้า เครื่องควบแน่น (Condenser) เครื่องระเหย (Evaporator) และสารทำความเย็น R-22 (R-22 refrigerant) และยังมีส่วนประกอบเสริมอีก คือ ถังพักสารทำความเย็นเหลว (Liquid receiver) ช่องตรวจใส (Sight glass) เกจวัดความดัน (pressure gauge) วาล์วระเหยสารทำความเย็นแบบทำงานด้วยอุณหภูมิ (Thermostatic expansion valve) อุปกรณ์กรองและเก็บความชื้น (Filter drier) และถังพัก (Accumulator)

พัดลม (Blower fan)

ใช้เพื่อให้อากาศเคลื่อนที่และสร้างความดันที่เหมาะสมเพื่อให้อากาศเคลื่อนที่ได้ในเครื่องทดสอบ ซึ่งควบคุมโดยสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้

โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter)

ใช้เพื่อวัดระดับแรงดันไฟฟ้าในวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยมีช่วงการวัดที่ 600 โวลต์ กระแสตรง โดยมีสวิตช์ที่สามารถปรับเลือกแต่ละเฟสได้ (L1-N, L2-N, L3-N และ L1-L2, L2-L3, L3-L1)

แอมมิเตอร์ (Ammeter)

แอมมิเตอร์ใช้วัดกระแสไฟฟ้าที่ผ่านแต่ละส่วน ซึ่งเครื่องทดสอบนี้มีการวัด 5 จุด ดังนี้

- A1; แอมมิเตอร์สำหรับพัดลม (5A)
- A2; แอมมิเตอร์สำหรับอุปกรณ์อุ่นอากาศ (10A)
- A3; แอมมิเตอร์สำหรับชุดทำให้อุ่นล่วงหน้า (10A)
- A4; แอมมิเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไอน้ำ (25A)
- A5; แอมมิเตอร์สำหรับคอมเพรสเซอร์ (25A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดอุณหภูมิ (Temperature meter)

เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล ใช้วัดจุดต่าง ๆ ที่สำคัญ 15 จุด โดยเชื่อมต่อกับเทอร์มอสตัทเปิด

เทอร์มอสตัท (Thermostat)

ใช้สำหรับควบคุมอุณหภูมิของวงจรไฟฟ้าและสร้างความปลอดภัยให้กับส่วนประกอบต่าง ๆ เทอร์มอสตัทจะตัดไฟเมื่อถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ โดยสามารถตั้งอุณหภูมิได้ในช่วง 30-110 องศาเซลเซียส โดยจะติดตั้งอยู่ที่วงจรควบคุมเครื่องกำเนิดไอน้ำ ชุดทำให้อุ่นล่วงหน้าและอุปกรณ์อุ่นอากาศ

ตัวควบคุมความดัน (Pressure control)

เป็นตัวควบคุมความดันในระบบการทำความเย็นซึ่งควบคุมทั้งด้านความดันสูงและความดันต่ำ

เกจวัดความดัน (Pressure gauge)

ใช้วัดความดันในระบบการทำความเย็น ซึ่งวัดทั้งด้านความดันสูงและด้านความดันต่ำ ที่ติดตั้งอยู่ใกล้กับคอนเดนเซอร์

มาตรความเร็วลม (Anemometer)

เครื่องทดสอบนี้มีมาตรความเร็วลม 2 ตัว คือที่ทางเข้าและช่องท่อทางเดินของอากาศ ใช้วัดความเร็วลมภายในเครื่องทดสอบ

3.1.3 ข้อปฏิบัติก่อนการทดลอง

- (1) ติดตั้งเครื่องทดสอบในห้องที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก และสภาพอากาศโดยรอบต้องไม่เปลี่ยนแปลงในขณะที่เครื่องทดสอบทำงานอยู่
- (2) เติมน้ำในเครื่องกำเนิดไอน้ำด้วยน้ำกลั่น ประมาณ 20 ลิตร โดยดูจากเกจวัดระดับน้ำ (ห้ามใช้เครื่องกำเนิดไอน้ำขณะที่ระดับน้ำข้างในต่ำกว่าระดับที่กำหนด)
- (3) เตรียมระบบคอมพิวเตอร์ให้พร้อม โดยใช้พอร์ตอนุกรม (RS232) ในการเชื่อมต่อเครื่องทดสอบกับเครื่องคอมพิวเตอร์ (ขั้นตอนในการใช้งานโปรแกรมอยู่ในภาคผนวก ข)
- (4) เติมน้ำกลั่นในหัววัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก และควรเติมในขณะที่ทำการทดลองด้วย
- (5) ต่อสายไฟในที่มีฉนวน
- (6) ตรวจสอบสวิทช์ควบคุม (ขดลวดความร้อน เครื่องกำเนิดไอน้ำและคอมเพรสเซอร์) ทุกจุดว่าอยู่ในสถานะปิดอยู่หรือไม่และ เบรกเกอร์ (F1-F10) เปิดอยู่หรือไม่
- (7) ตรวจสอบว่าพัดลมเปิดหรือไม่ (ห้ามทำการทดลองขณะที่พัดลมไม่ทำงาน)
- (8) ทำการปรับเทียบค่าอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์มอมิเตอร์แบบดิจิทัลให้ถูกต้อง ซึ่งสามารถปรับเทียบค่าได้จากตารางในภาคผนวก ข

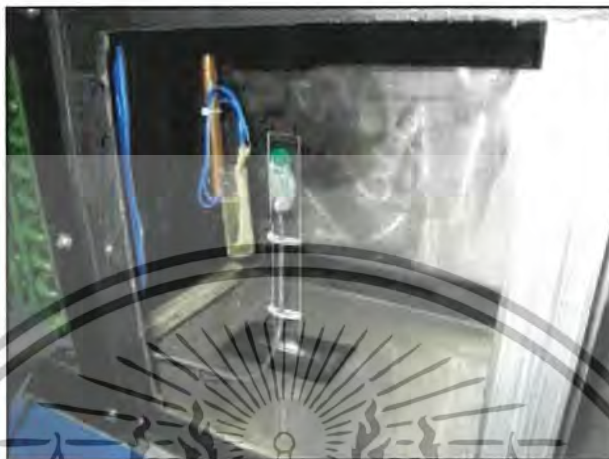
- (9) เครื่องทดสอบจะพร้อมทำงานเมื่อทำตามข้อกำหนดข้างต้นหมดทุกข้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ได้ทำการติดตั้งเพิ่ม

เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (SHT15)

ซึ่งรายละเอียดและวิธีการทำงานของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น SHT15 ได้กล่าวไว้แล้วในภาคผนวก ข

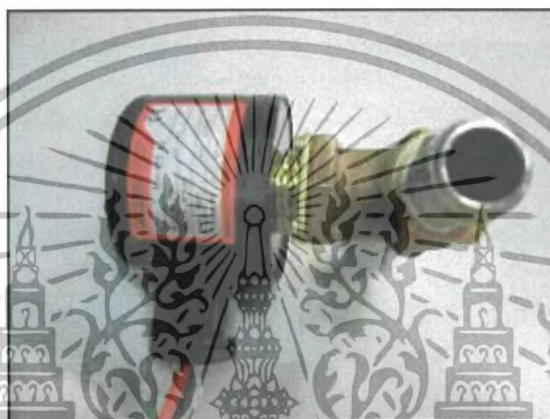


รูปที่ 3-2 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น

วาล์วโซเลนอยด์

ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว
- ใช้ไฟฟ้าแรงดัน 220 โวลต์
- ทนอุณหภูมิภายในสูงสุด 180 องศาเซลเซียส
- ใช้กับช่วงความดัน 0 ถึง 10 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร



รูปที่ 3-3 แสดงว่าลั่วโซเลนอยด์และตำแหน่งการติดตั้ง

บอร์ดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์และว่าลั่วโซเลนอยด์



รูปที่ 3-4 แสดงบอร์ดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์และว่าลั่วโซเลนอยด์

ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับบอร์ดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์และโซเลนอยด์ว่าลั่วนี้ได้กล่าวไว้
แล้วในภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องกำเนิดไอน้ำ (Steam generator)

เครื่องกำเนิดไอน้ำถูกใช้ในกระบวนการเพิ่มความชื้น ไอน้ำที่เกิดขึ้นจะไหลผ่านท่อเข้าสู่ระบบเพื่อเพิ่มความชื้นให้กับอากาศ

เครื่องกำเนิดไอน้ำ ต้องใช้น้ำกลั่น ในการใช้งานต้องมีน้ำอย่างน้อย 20 ลิตร ให้ความร้อนโดยขดลวดความร้อน 3 ตัว (1.0 กิโลวัตต์ จำนวน 1 ตัว และ 2.0 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ตัว) ซึ่งควบคุมโดย สวิตช์แบบปิด โดยสับสวิตซ์ได้ 3 ระดับโดยอธิบายได้ดังนี้

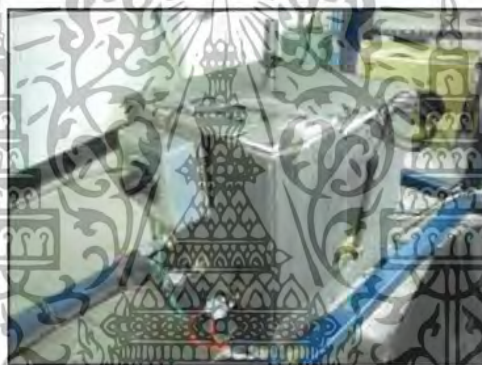
ตำแหน่ง 0 : ปิด

ตำแหน่ง 1 : 1.0 กิโลวัตต์

ตำแหน่ง 2 : 3.0 กิโลวัตต์

ตำแหน่ง 3 : 5.0 กิโลวัตต์

เครื่องกำเนิดไอน้ำถูกควบคุมโดยเทอร์มอสแตต



รูปที่ 3-5 แสดงเครื่องกำเนิดไอน้ำ

เครื่องกำเนิดไอน้ำจะมีวาล์วระบายไอน้ำออก เพื่อป้องกันการสะสมของไอน้ำในกรณีที่โซลินอยด์วาล์วปิดอยู่ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการระเบิด โดยปล่อยไอน้ำออกสู่ภายนอก



รูปที่ 3-6 แสดงวาล์วระบายไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับปริญญาตรีเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

การทดลองจะทำการทดลองทั้งหมด 8 การทดลอง โดยก่อนการทดลองแต่ละครั้งจะต้มน้ำที่อยู่ในเครื่องกำเนิดไอน้ำให้เดือดก่อน โดยเปิดสวิทช์เครื่องกำเนิดไอน้ำไปที่ตำแหน่ง 3 ซึ่งให้กำลังไฟฟ้าแก่ขดลวดความร้อน 5 กิโลวัตต์ ใช้เวลาประมาณ 10 นาที น้ำจึงจะเดือด แล้วจึงเริ่มทำการทดลอง การทดลองทั้งหมดมีดังนี้

การทดลองที่	ความเร็วลม		ความชื้นสัมพัทธ์ที่ควบคุม (ร้อยละ)
	ปานกลาง (ประมาณ 915 ft/min)	สูงสุด (ประมาณ 1246 ft/min)	
1		✓	40
2	✓		40
3		✓	50
4	✓		50
5		✓	60
6	✓		60
7		✓	70
8	✓		70

ขั้นตอนการทดลอง

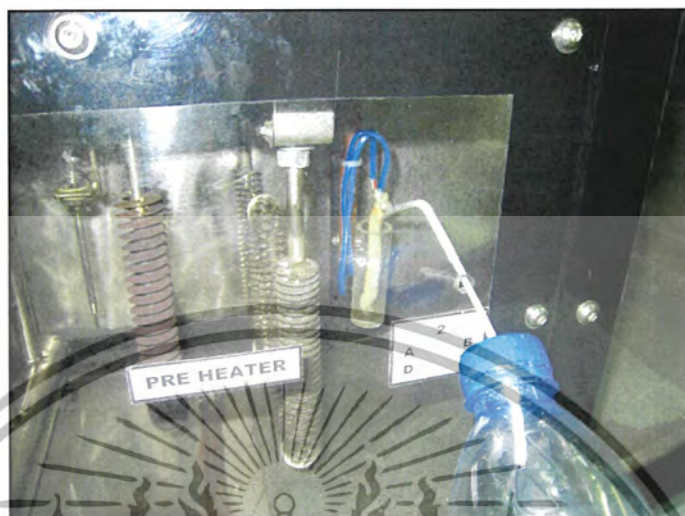
1. ปิดประตูทางออกของเครื่องทดสอบเพื่อให้อากาศในการทดลองเป็นแบบไหลเวียน



รูปที่ 3-7 แสดงการปิดประตูของเครื่องทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เติมน้ำกลั่นในที่วัดอุณหภูมิกระเปาะเป็ยก



รูปที่ 3-8 แสดงการเติมน้ำกลั่นในที่วัดอุณหภูมิกระเปาะเป็ยก

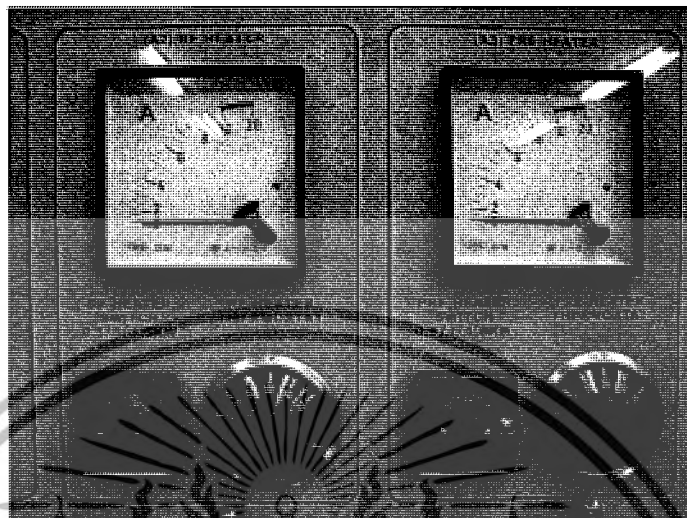
3. ต่อสายไฟที่มีฉนวนหุ้ม



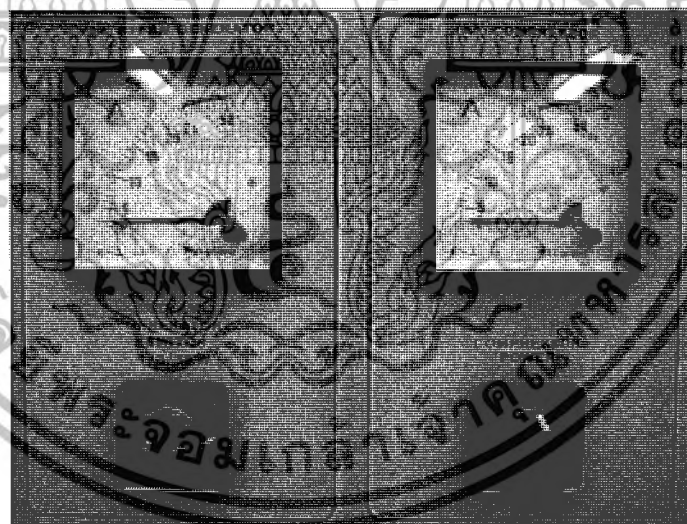
รูปที่ 3-9 แสดงการต่อสายไฟที่มีฉนวนหุ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ตรวจสอบสวิตช์ควบคุม (ขดลวดความร้อน เครื่องกำเนิดไอน้ำและคอมเพรสเซอร์) ทุกจุดว่าอยู่ในสถานะปิดอยู่หรือไม่ และเบรกเกอร์ (F1-F10) เปิดอยู่หรือไม่



รูปที่ 3-10 แสดงสวิตช์ควบคุมขดลวดความร้อนที่อยู่ในสถานะปิด



รูปที่ 3-11 แสดงสวิตช์ของเครื่องกำเนิดไอน้ำและคอมเพรสเซอร์ในสถานะปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-12 แสดงเบรกเกอร์ (F1-F10) ในสถานะเปิด

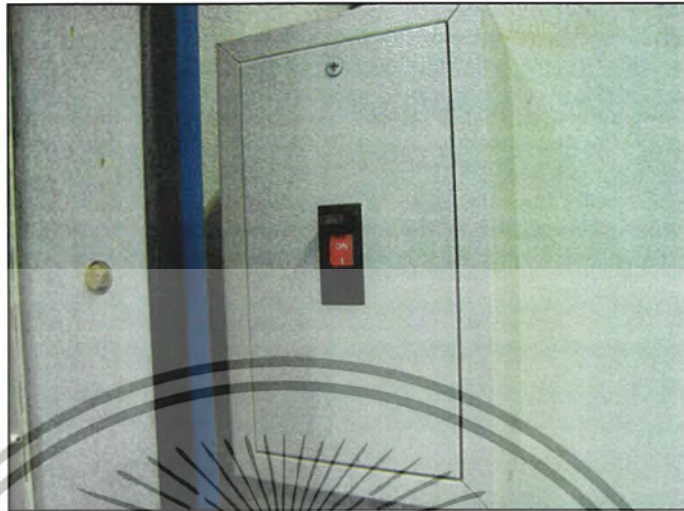
5. ปรับชุดแผ่นปรับลม (Damper) ไปที่ตำแหน่ง 100%



รูปที่ 3-13 แสดงชุดแผ่นปรับลมไปที่ตำแหน่ง 100%

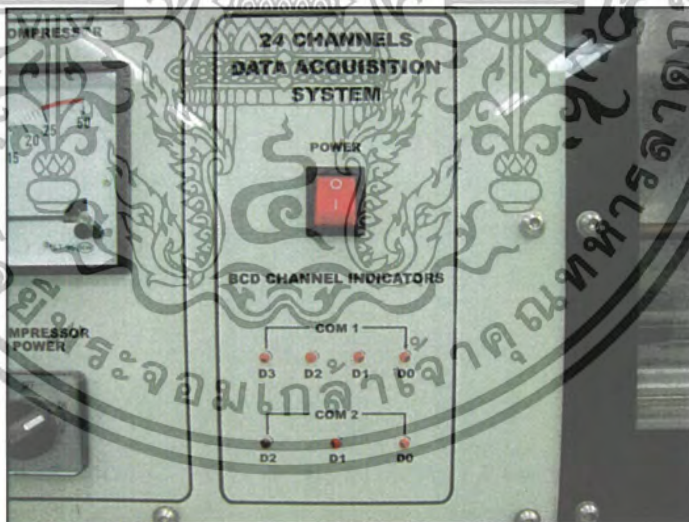
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เปิดเบรกเกอร์ให้อยู่ในสถานะเปิด



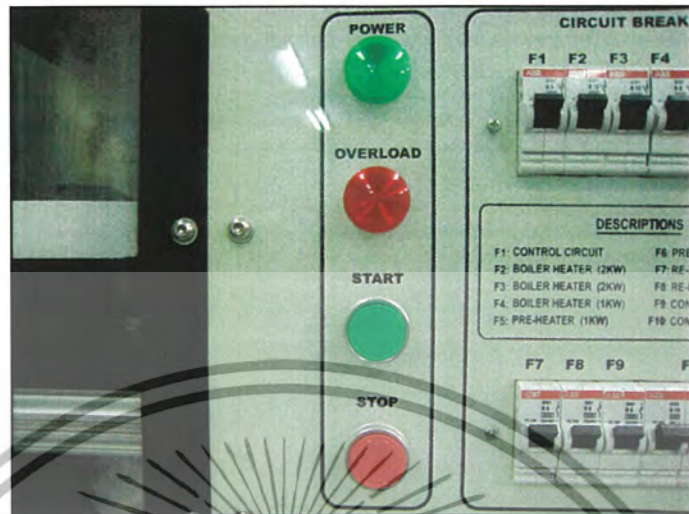
รูปที่ 3-14 แสดงการเปิดเบรกเกอร์ให้อยู่ในสถานะเปิด

7. เปิดสวิตช์เพาเวอร์ให้อยู่ในสถานะเปิด



รูปที่ 3-15 แสดงการเปิดสวิตช์เพาเวอร์ให้อยู่ในสถานะเปิด

8. กดปุ่ม Start เมื่อต้องการเริ่มการทำงานและปุ่ม Stop เมื่อต้องการหยุดการทำงาน



รูปที่ 3-16 แสดงปุ่ม Start และปุ่ม Stop

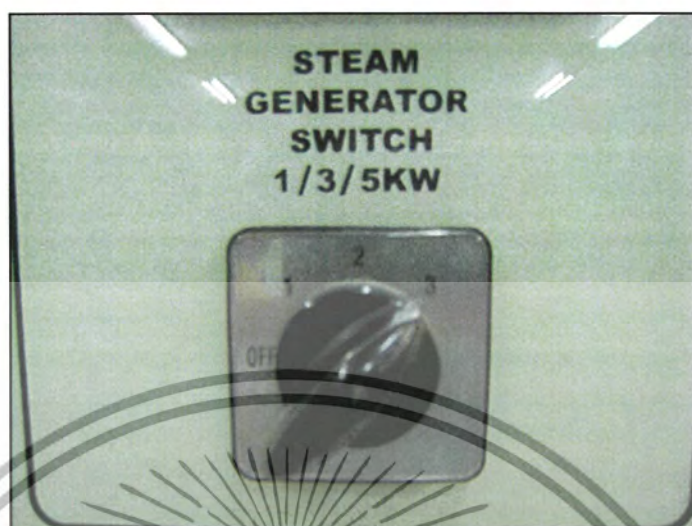
6. ตั้งเทอร์มอสแตตของหม้อต้ม ไปที่ 105 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3-17 แสดงการตั้งเทอร์มอสแตตของหม้อต้มที่ 105 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เปิดสวิตช์เครื่องกำเนิดไอน้ำไปที่ 5 กิโลวัตต์



รูปที่ 3-18 แสดงสวิตช์เครื่องกำเนิดไอน้ำที่ 5 กิโลวัตต์

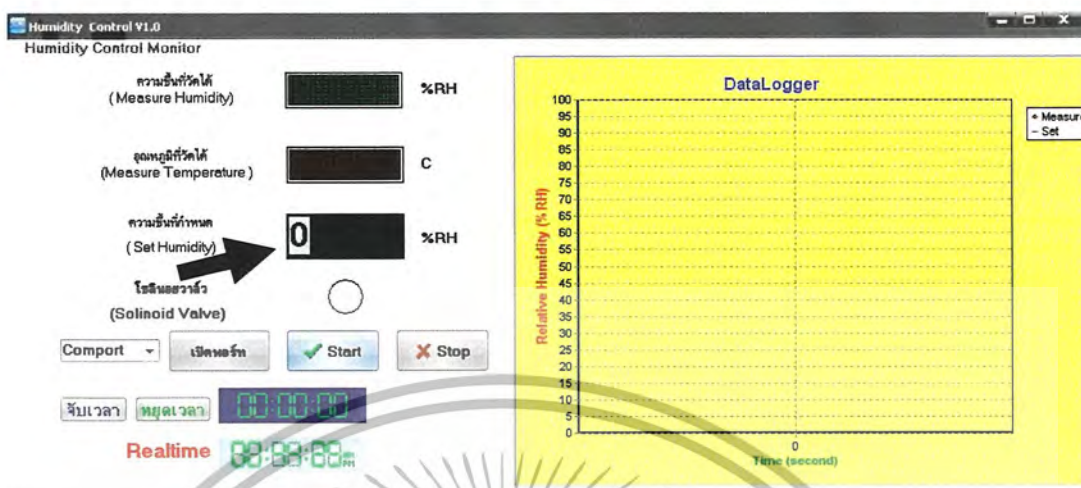
8. เปิดสวิตช์พัดลม ตั้งค่าเป็นสูงสุดหรือปานกลาง ตามแต่ผลการทดลองข้างต้น



รูปที่ 3-19 แสดงสวิตช์พัดลมที่สามารถตั้งค่าสูงสุดหรือปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ตั้งค่าความชื้นที่โปรแกรมควบคุมความชื้นตามแต่ละการทดลองข้างต้น



รูปที่ 3-20 แสดงการตั้งค่าความชื้นที่โปรแกรมควบคุมความชื้นตามแต่ละการทดลอง

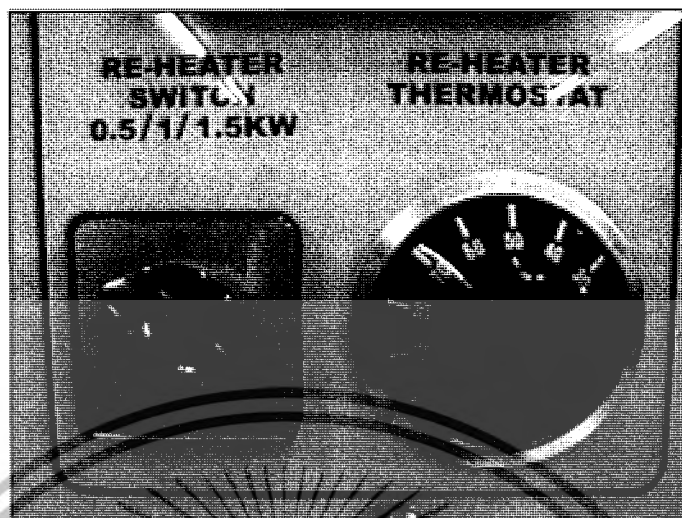
10. บันทึกค่า อุณหภูมิที่จุด 2A, 2B, 3A, 3B, 5A, 5B จากเครื่องวัดอุณหภูมิ
บันทึกค่า ความเร็วลมที่จุด 5 โดยดูจากมาตรความเร็วลมเครื่องที่ 2
บันทึกค่า ความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความชื้นที่แสดงทาง โปรแกรมวัดความชื้น
โดยค่าทั้งหมดนี้เป็นค่าที่เวลา $t = 0$
11. เปิดชุดทำให้อุ่นล่วงหน้าไปที่ตำแหน่ง 2 (1 กิโลวัตต์)



รูปที่ 3-21 แสดงการเปิดชุดทำให้อุ่นล่วงหน้าไปที่ตำแหน่ง 2 (1 กิโลวัตต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. เปิดอุปกรณ์อุ่นอากาศไปที่ตำแหน่ง 1 (0.5 กิโลวัตต์)



รูปที่ 3-22 แสดงการเปิดอุปกรณ์อุ่นอากาศไปที่ตำแหน่ง 1 (0.5 กิโลวัตต์)

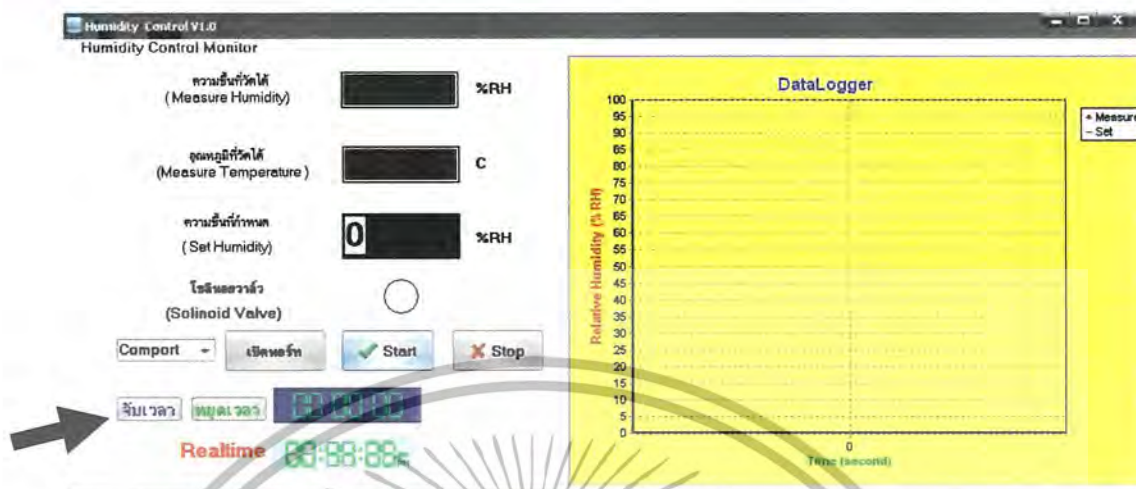
13. เปิดสวิตช์คอมเพรสเซอร์



รูปที่ 3-23 แสดงการเปิดสวิตช์คอมเพรสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. คลิปปุ่มจับเวลาที่โปรแกรมควบคุมความชื้นเพื่อเริ่มจับเวลา



รูปที่ 3-24 แสดงปุ่มจับเวลาที่โปรแกรมควบคุมความชื้นเพื่อเริ่มจับเวลา

15. ตั้งเกตและบันทึกค่าอุณหภูมิ จุด 2A, 2B, 3A, 3B, 5A, 5B, ค่าความชื้นและความเร็วลมที่จุด 5 ทุก ๆ 2 นาที จนครบ 30 นาที
16. เมื่อครบ 30 นาทีแล้ว ปิดสวิทช์ เครื่องกำเนิดไอน้ำ ชุดทำให้อุ่นล่วงหน้า อุปกรณ์อุ่นอากาศ และคอมเพรสเซอร์
17. เปิดประตูเครื่องทดสอบเพื่อระบายอากาศออก
18. เมื่อครบ 5 นาที หลังจากที่ คอมเพรสเซอร์ หยุดทำงาน ปิดสวิทช์ พัดลม และกดปุ่มหยุดที่เครื่องทดสอบ และกดปุ่มปิดการทำงานของเครื่อง
19. นำค่าที่ได้เขียนลงในแผนภูมิไซโครเมตริกเพื่อเปรียบเทียบค่าความชื้นที่เซนเซอร์วัดได้กับค่าที่ได้จากแผนภูมิไซโครเมตริกและคำนวณหาค่า COP และ EER ต่อไป

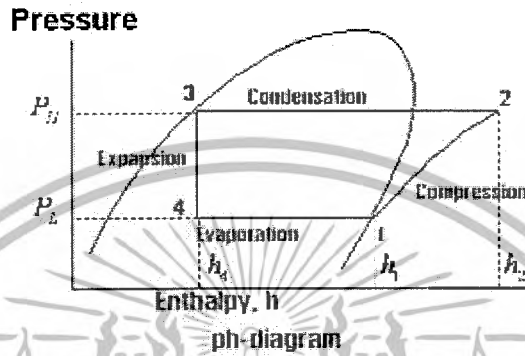
หมายเหตุ : เนื่องจากชั่วโมงการเรียนวิชา Mechanical engineering laboratory มีจำกัด ดังนั้นในการทดลองจริง เราจะเลือกการทดลองมาแค่ 4 การทดลอง เพื่อให้เห็นว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่างกันนั้น มีผลอย่างไรต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น ซึ่งแต่ละการทดลองจะใช้เวลาประมาณ 30 นาที โดยเมื่อทำเสร็จแต่ละการทดลอง ควรเว้นระยะการทดลองประมาณ 15-30 นาที เพื่อป้องกันการอ่านค่าที่ผิดพลาดของเซนเซอร์ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการตกค้างของไอน้ำในช่องรับความชื้นของเซนเซอร์เพื่อนำมาประมวลผลแล้วแปลงเป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่อไป ซึ่งการเว้นระยะการทดลองนี้จะทำให้ได้ค่าที่ถูกต้องและยังเป็นการยืดอายุการใช้งานของเซนเซอร์อีกด้วย ซึ่งเมื่อได้ผลการทดลองแล้ว ควรนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าในปริญญานิพนธ์เล่มนี้ (บทที่4 ผลการทดลอง) เพื่อเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 สมการที่ใช้ในการคำนวณ



$$COP_{\text{ทฤษฎี}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (4.1)$$

เมื่อ h_1 = เอนทัลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องระเหย (kJ / kg)

h_2 = เอนทัลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์ (kJ / kg)

h_4 = เอนทัลปีของสารทำความเย็นที่เข้าสู่เครื่องระเหย (kJ / kg)

จาก

$$EER = \frac{\dot{m} (h_m - h_{out})}{\dot{W}_{\text{electric}}} \quad (4.2)$$

และ

$$COP_{\text{ระบบ}} = \frac{EER}{3.412} \quad (4.3)$$

เมื่อ \dot{m} = อัตราการไหลโดยมวลของอากาศ (kg / h)

h_m, h_{out} = เอนทัลปีของอากาศที่ไหลเข้า, ออกในระบบ (kJ / kg)

$\dot{W}_{\text{electric}}$ = กำลังที่ให้แก่ระบบ ($watt$)

1 $watt$ = 3.412 (Btu / h)

อัตราการไหลของอากาศ (cfm)

$$cfm = V \times A \quad (4.4)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วลม หน่วยฟุตต่อนาที (ft/min)

A คือ พื้นที่หน้าตัด หน่วยตารางฟุต (ft^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหลโดยมวลของอากาศ (\dot{m})

$$\dot{m} = \frac{cfm}{v} \quad \text{หน่วยปอนด์ต่อนาที (lb/min)} \quad (4.5)$$

เมื่อ v คือ ปริมาตรจำเพาะของอากาศ หน่วยลูกบาศก์ฟุตต่อปอนด์ (ft^3/lb)

ปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Q)

$$Q = \dot{m} \times (h_{in} - h_{out}) \quad \text{หน่วยบีทียูต่อชั่วโมง (Btu/h)} \quad (4.6)$$

เมื่อ \dot{m} คือ อัตราการไหลโดยมวลของอากาศ หน่วยปอนด์ต่อนาที (lb/min)

h_{in}, h_{out} คือ เอนทัลปีของอากาศที่ไหลเข้า, ออกในระบบ (kJ / kg)

กำลังที่ให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้า ($\dot{w}_{electric}$)

$$\dot{w}_{electric} = EI \cos \theta \quad \text{หน่วยวัตต์ (watt)} \quad (4.7)$$

เมื่อ E คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า หน่วยโวลต์ (V)

I คือ กระแสไฟฟ้า หน่วยแอมแปร์ (A)

$\cos \theta$ คือ ตัวประกอบกำลัง (Power factor)

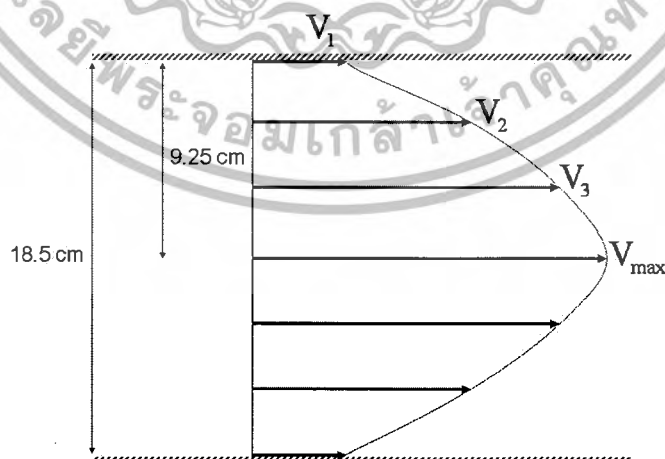
หมายเหตุ

ตัวประกอบกำลังของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 0.8

COP1 คือ ค่า COP เมื่อ $\dot{w}_{electric}$ = กำลังของคอมเพรสเซอร์

COP2 คือ ค่า COP เมื่อ $\dot{w}_{electric}$ = กำลังของคอมเพรสเซอร์+ กำลังของพัดลม

การคำนวณความเร็วลมเฉลี่ย

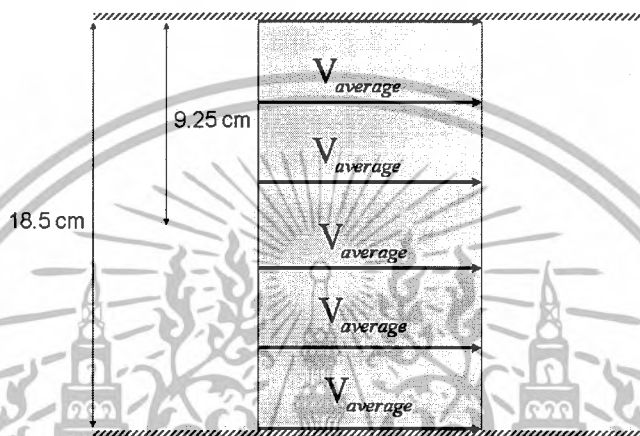


รูปที่ 4-1 ความเร็วลมที่ตำแหน่งต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาความเร็วลมเฉลี่ยที่ไหลผ่านท่อได้ดังนี้

- วัดความเร็วลมที่ตำแหน่งต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น ความเร็วลมจุดที่ 1 (V_1) ความเร็วลมจุดที่ 2 (V_2) ความเร็วลมจุดที่ 3 (V_3) เป็นต้น
- หาพื้นที่ภายใต้เส้นโค้งดังแสดงในรูปที่ 4-1
- หาความเร็วลมเฉลี่ยที่ทำให้พื้นที่ภายใต้เส้นโค้งในรูปที่ 4-1 และพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าในรูปที่ 4-2 มีพื้นที่เท่ากัน



รูปที่ 4-2 ความเร็วลมเฉลี่ย

จากการทดลอง

การทดลอง	ความเร็วลมสูงสุด (ฟุตต่อนาที)	ความเร็วลมเฉลี่ย (ฟุตต่อนาที)
ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 40% ใช้ความเร็วลมสูงสุด	1701	1230
ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 40% ใช้ความเร็วลมปานกลาง	1120	856
ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 50% ใช้ความเร็วลมสูงสุด	1705	1236
ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 50% ใช้ความเร็วลมปานกลาง	1135	862
ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 60% ใช้ความเร็วลมสูงสุด	1732	1256
ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 60% ใช้ความเร็วลมปานกลาง	1208	955
ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 70% ใช้ความเร็วลมสูงสุด	1746	1264
ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 70% ใช้ความเร็วลมปานกลาง	1239	985

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 4-1 แสดงผลการทดสอบที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 40 % โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุด

เวลา (นาที)	ความชื้นที่อ่าน ค่าจากเซนเซอร์ (%RH)	อุณหภูมิที่จุด 3 (°C)		ความชื้นที่อ่าน จากแผนภูมิ ไซโครเมตริก ที่จุด 3 (%RH)	อุณหภูมิที่จุด 2 (°C)		เอนทาลปี ที่จุด 2 (Btu/lb)	ค่าปริมาตร จำเพาะ ที่จุด 2 (ft ³ /lb)
		อุณหภูมิ กระเปาะ แห้ง	อุณหภูมิ กระเปาะ เปียก		อุณหภูมิ กระเปาะ แห้ง	อุณหภูมิ กระเปาะ เปียก		
0	58.6	25.6	20.0	60.4	25.4	21.3	34.3	13.9
2	49.4	27.7	20.4	52.1	24.8	18.2	29.8	13.7
4	45.5	27.2	19.4	48.6	23.2	16.7	27.8	13.6
6	43.3	25.4	17.3	44.8	22.1	16.2	27.1	13.6
8	42.6	25.3	17.1	43.9	21.6	15.8	26.7	13.6
10	41.4	25.1	17.2	45.2	21.5	15.4	26.3	13.5
12	40.8	24.7	16.7	44.4	20.7	14.9	25.6	13.5
14	41.7	24.9	16.7	43.6	19.9	14.4	25.1	13.5
16	40.4	24.7	16.6	43.4	19.4	14.2	24.7	13.4
18	39.6	23.9	15.8	42.7	19.6	14.1	24.6	13.4
20	41.7	23.5	15.4	42.1	19.0	13.6	24.1	13.4
22	41.2	23.3	15.1	41.2	18.2	13.3	24.4	13.4
24	41.2	23.4	15.2	41.3	18.2	13.3	23.7	13.4
26	39.7	23.4	15.3	42.2	18.4	13.2	23.4	13.4
28	41.2	23.2	15.1	41.7	17.9	12.8	23.2	13.4
30	39.1	22.7	14.6	41.2	17.4	12.7	23.1	13.3

เวลา (นาที)	อุณหภูมิที่จุด 5 (°C)		เอนทาลปี ที่จุด 5 (Btu/lb)	อัตราการไหล โดยมวล ของอากาศ (lb/min)	ผลต่าง เอนทาลปี ที่จุด 2 และจุด 5 (Btu/lb)	ปริมาณ การถ่ายเท ความร้อน ×10 ³ (Btu/h)	ประสิทธิภาพ ของการทำ ความเย็น COP 1	ประสิทธิภาพ ของการทำ ความเย็น COP 2
	อุณหภูมิ กระเปาะ แห้ง	อุณหภูมิ กระเปาะ เปียก						
0	25.3	21.2	34.3	0	0	0	0	0
2	22.9	14.9	25.6	26.0	4.19	6.55	3.48	2.85
4	22.0	13.9	24.5	26.2	3.32	5.22	2.77	2.27
6	20.9	13.3	23.8	26.2	3.38	5.32	2.82	2.31
8	20.1	12.8	23.2	26.2	3.45	5.43	2.88	2.36
10	19.9	12.4	22.7	26.4	3.53	5.60	2.97	2.43
12	19.3	11.8	22.1	26.4	3.46	5.49	2.91	2.39
14	18.6	11.4	21.7	26.4	3.40	5.39	2.86	2.34
16	18.0	11.1	21.4	26.6	3.37	5.38	2.86	2.34
18	18.0	10.8	21.0	26.6	3.58	5.72	3.04	2.49
20	17.6	10.4	20.6	26.6	3.47	5.54	2.94	2.41
22	16.9	10.6	20.9	26.6	3.56	5.69	3.02	2.47
24	16.7	9.94	20.2	26.6	3.54	5.65	3.00	2.46
26	16.8	9.67	19.9	26.6	3.53	5.89	2.99	2.45
28	16.4	9.39	19.6	26.6	3.53	5.64	2.99	2.45
30	16.1	9.33	19.6	26.8	3.46	5.57	2.96	2.42

หมายเหตุ พื้นที่แรเงา คือ ช่วงเวลาที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อ่านจากแผนภูมิไซโครเมตริกมีสถานะคงที่

ความเร็วลมเฉลี่ย = 1230 ft/min

พื้นที่หน้าตัด = 0.29 ft²

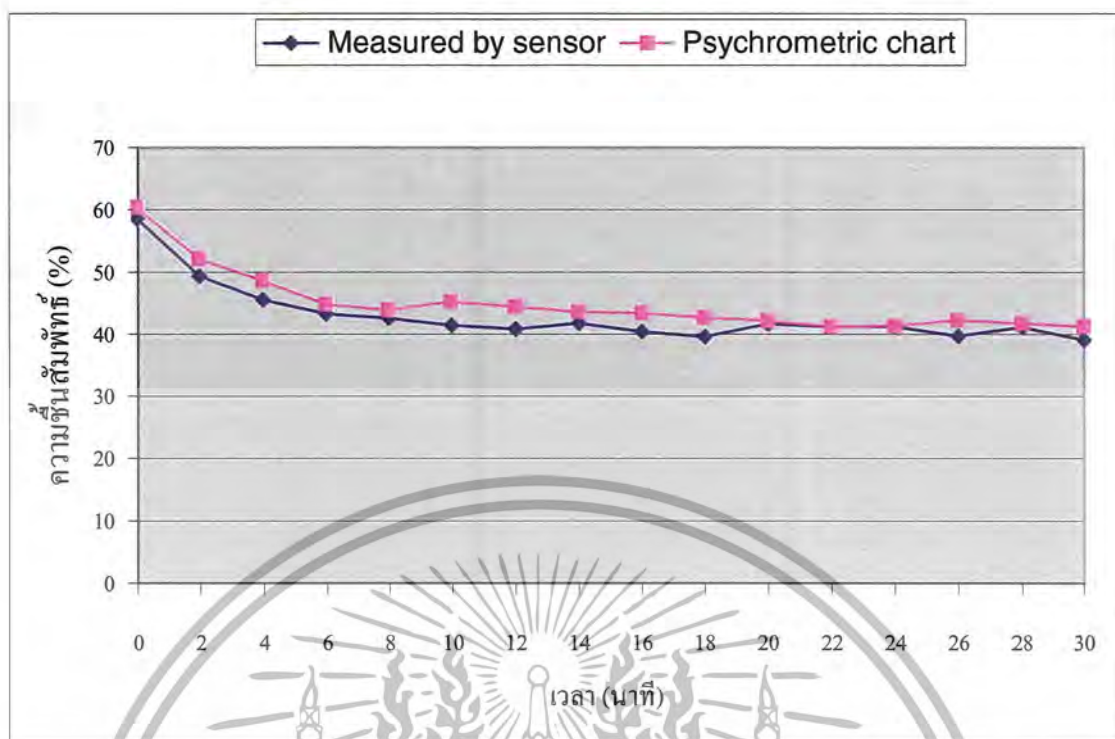
อัตราการไหลโดยปริมาตรของอากาศ (cfm) = 357 ft³/min

ความต่างศักย์ไฟฟ้า = 230 V

กระแสไฟฟ้าคอมเพรสเซอร์ = 3 A

กระแสไฟฟ้าพัดลม = 0.53 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-3 แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัดโดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริกที่ความชื้นสัมพัทธ์ 40% โดยใช้ความเร็วของพัดลมสูงสุด

จากรูปที่ 4-3 จะเห็นว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการอ่านค่าโดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริกจะมีค่าค่อย ๆ ลดลงในช่วงแรกและเริ่มคงที่เมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่ง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะ ในขณะที่เริ่มทำการทดลองอุณหภูมิและความชื้นภายในเครื่องทดสอบยังมีค่าสูงอยู่ เมื่อทำการทดลองไประยะหนึ่งระบบปรับอากาศจะทำให้อุณหภูมิและความชื้นของอากาศลดลงและเมื่อทำการทดลองประมาณ 20 นาที ค่าความชื้นของอากาศเริ่มมีค่าเข้าสู่สภาวะควบคุม

จากผลการทดลองหาค่า COP ที่สภาวะคงที่ ช่วงเวลา 20-30 นาที โดยมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 39.1 ถึง 41.7 เปอร์เซ็นต์

$$\text{COP1} = 2.98$$

$$\text{COP2} = 2.44$$

จากสมการที่ (4.1)

$$P_H = 16.95 \text{ bar}, P_L = 2.15 \text{ bar} \quad \text{จะได้ } h_1 = 104 \text{ Btu / lb}, h_2 = 126 \text{ Btu / lb}, h_4 = 43 \text{ Btu / lb}$$

$$\begin{aligned} \text{COP}_{\text{ทฤษฎี}} &= \frac{104 - 43}{126 - 104} \\ &= 2.77 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-2 แสดงผลการทดสอบที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 40 % โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วปานกลาง

เวลา (นาที)	ความชื้นที่อ่าน ค่าจากเซนเซอร์ (%RH)	อุณหภูมิที่จุด 3 (°C)		ความชื้นที่อ่าน จากแผนภูมิ ไซโครเมตริก ที่จุด 3 (%RH)	อุณหภูมิที่จุด 2 (°C)		ค่าเอนทาลปี ที่จุด 2 (Btu/lb)	ค่าปริมาตร จำเพาะ ที่จุด 2 (ft ³ /lb)
		อุณหภูมิ กระเปาะ แห้ง	อุณหภูมิ กระเปาะ เปียก		อุณหภูมิ กระเปาะ แห้ง	อุณหภูมิ กระเปาะ เปียก		
0	63.2	24.1	19.3	64.4	23.8	20.0	32.4	13.8
2	44.2	26.9	18.9	46.9	23.1	17.5	28.9	13.7
4	40.8	28.2	19.3	43.6	22.2	16.1	27.1	13.6
6	39.9	26.6	17.9	42.7	20.7	15.2	26.0	13.5
8	39.6	26.4	17.6	41.4	20.2	14.7	25.3	13.5
10	39.3	26.6	17.5	40.5	20.0	14.1	24.7	13.5
12	40.2	25.9	16.9	40.4	19.2	13.6	24.2	13.5
14	38.2	25.4	16.4	39.8	18.5	13.5	24.0	13.4
16	39.9	24.5	16.3	42.7	18.8	13.4	24.0	13.4
18	37.9	24.3	16.0	41.9	18.2	13.0	23.4	13.4
20	40.8	24.1	15.8	41.8	17.8	12.9	23.4	13.4
22	40.4	24.0	15.6	40.8	18.3	13.1	23.5	13.4
24	38.8	23.7	15.6	42.1	18.6	12.9	23.3	13.4
26	38.0	23.5	15.4	42.5	17.8	12.7	23.1	13.3
28	40.3	23.8	15.8	42.9	18.3	13.1	23.5	13.4
30	38.3	23.8	15.4	41.1	19.1	13.3	23.7	13.4

เวลา (นาที)	อุณหภูมิที่จุด 5 (°C)		เอนทาลปี ที่จุด 5 (Btu/lb)	อัตราการไหล โดยมวล ของอากาศ (lb/min)	ผลต่าง เอนทาลปี ที่จุด 2 และจุด 5 (Btu/lb)	ปริมาณ การถ่ายเท ความร้อน ×10 ³ (Btu/h)	ประสิทธิภาพ ของการทำ ความเย็น COP 1	ประสิทธิภาพ ของการทำ ความเย็น COP 2
	อุณหภูมิ กระเปาะ แห้ง	อุณหภูมิ กระเปาะ เปียก						
0	23.8	20.0	32.4	0	0	0	0	0
2	21.6	14.5	25.1	18.1	3.75	4.08	2.16	1.86
4	20.4	13.1	23.5	18.3	3.62	3.96	2.10	1.80
6	19.0	12.1	22.4	18.4	3.56	3.93	2.09	1.79
8	18.2	11.3	21.6	18.4	3.72	4.10	2.18	1.87
10	17.6	10.7	21.0	18.4	3.75	4.14	2.20	1.88
12	16.9	10.2	20.5	18.4	3.73	4.12	2.18	1.87
14	16.4	10.0	20.3	18.5	3.73	4.15	2.20	1.89
16	16.6	9.71	20.0	18.5	3.74	4.16	2.21	1.89
18	16.3	9.43	19.7	18.5	3.72	4.13	2.20	1.88
20	15.9	9.34	19.6	18.5	3.77	4.19	2.22	1.91
22	16.3	9.31	19.5	18.5	3.78	4.20	2.23	1.91
24	16.4	9.13	19.3	18.5	3.97	4.41	2.34	2.01
26	16.2	9.22	19.4	18.7	3.68	4.12	2.19	1.88
28	16.8	9.41	19.7	18.5	3.84	4.27	2.27	1.94
30	17.2	9.43	19.7	18.5	4.03	4.48	2.38	2.04

หมายเหตุ พื้นที่แรงเหว คือ ช่วงเวลาที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อ่านจากแผนภูมิไซโครเมตริกมีสภาวะคงที่

ความเร็วลมเฉลี่ย = 856 ft/min

พื้นที่หน้าตัด = 0.29 ft²

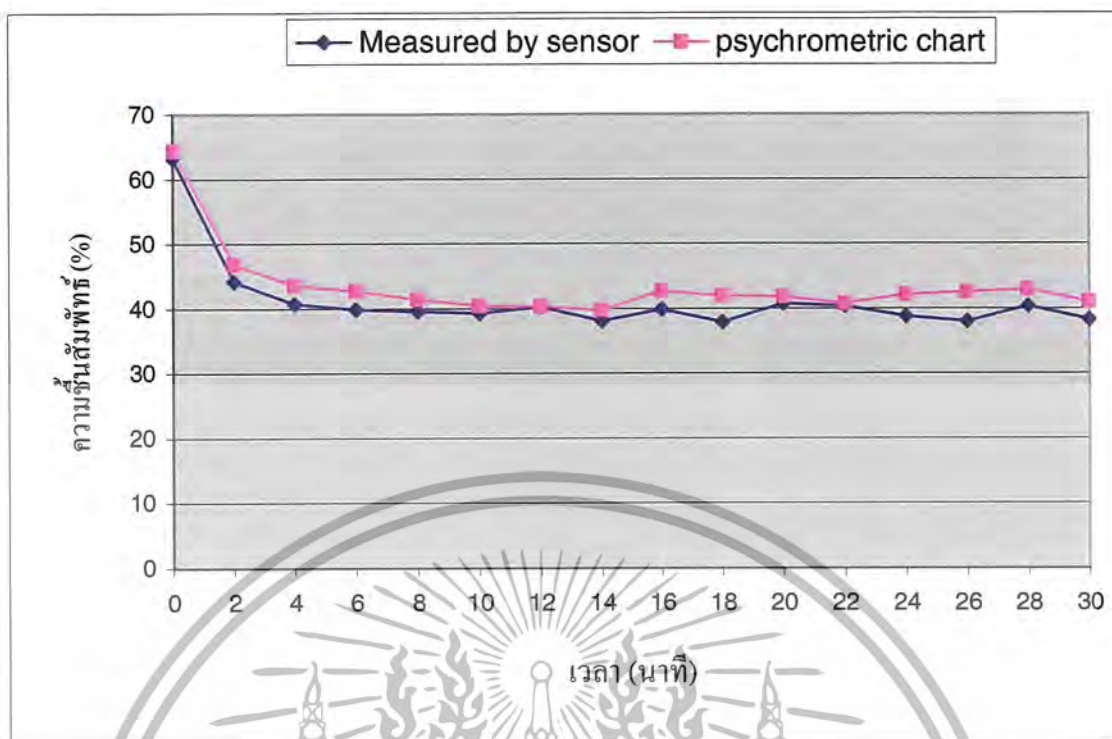
อัตราการไหลโดยปริมาตรของอากาศ (cfm) = 248 ft³/min

ความต่างศักย์ไฟฟ้า = 230 V

กระแสไฟฟ้าคอมเพรสเซอร์ = 3 A

กระแสไฟฟ้าพัดลม = 0.40 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัดโดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริกที่ความชื้นสัมพัทธ์ 40% โดยใช้ความเร็วของพัดลมปานกลาง

จากรูปที่ 4-4 จะเห็นว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการอ่านค่าโดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริกจะมีค่าค่อย ๆ ลดลงในช่วงแรกและเริ่มคงที่เมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่ง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะในขณะที่เริ่มทำการทดลองอุณหภูมิและความชื้นภายในเครื่องทดสอบยังมีค่าสูงอยู่ เมื่อทำการทดลองไประยะหนึ่งระบบปรับอากาศจะทำให้อุณหภูมิและความชื้นของอากาศลดลงและเมื่อทำการทดลองประมาณ 10 นาที ค่าความชื้นของอากาศเริ่มมีค่าเข้าสู่สภาวะควบคุม

จากผลการทดลองหาค่า COP ที่สภาวะคงที่ ช่วงเวลา 10-22 นาที โดยมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 37.9 ถึง 40.8 เปอร์เซ็นต์

$$\text{COP1} = 2.21$$

$$\text{COP2} = 1.89$$

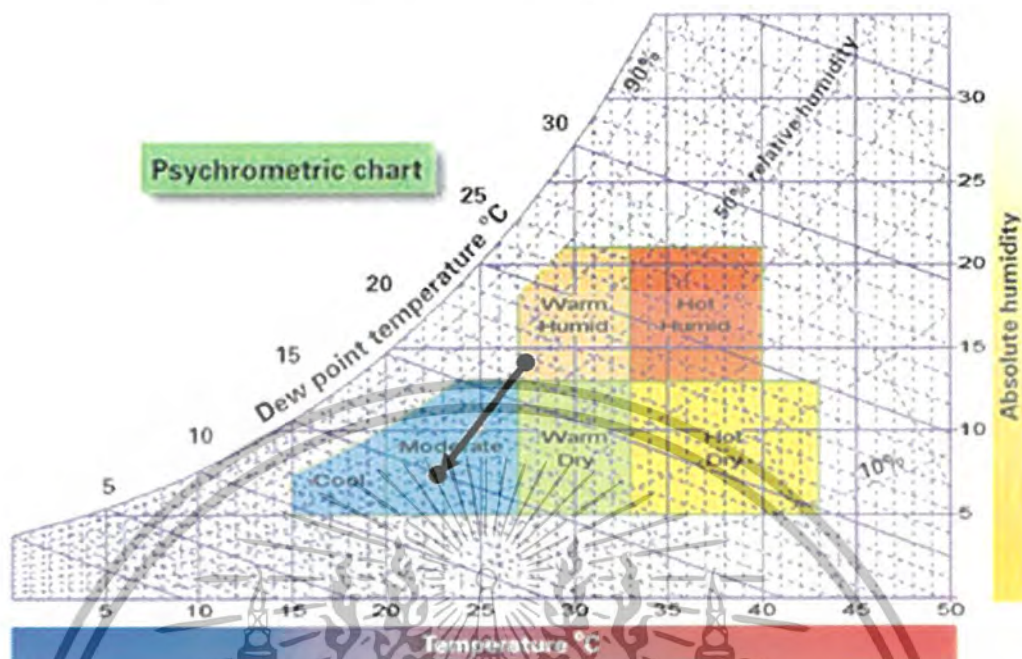
จากสมการที่ (4.1)

$$P_H = 16.65 \text{ bar}, P_L = 2.1 \text{ bar} \quad \text{จะได้ } h_1 = 103 \text{ Btu / lb}, h_2 = 125.5 \text{ Btu / lb}, h_4 = 42 \text{ Btu / lb}$$

$$\begin{aligned} \text{COP}_{\text{ทฤษฎี}} &= \frac{103 - 42}{125.5 - 103} \\ &= 2.71 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

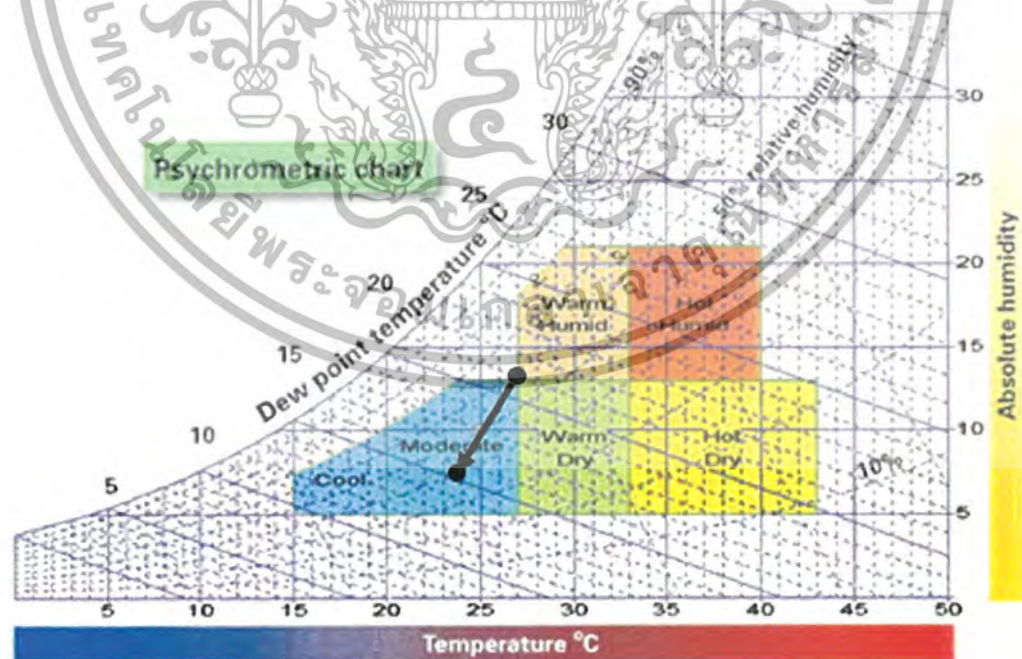
ที่สภาวะ 40%RH โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุด



รูปที่ 4-5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริก

ที่สภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 40% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุด

ที่สภาวะ 40%RH โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วปานกลาง



รูปที่ 4-6 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริก

ที่สภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 40% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 40% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุดและความเร็วปานกลางจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วปานกลางระบบจะเข้าสู่สภาวะควบคุมได้เร็วกว่า

จากผลการทดลองค่า $COP_{ระบบ}$ โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุดและความเร็วปานกลางมีค่าแตกต่างกันมาก มีสาเหตุอันเนื่องมาจากเมื่อความเร็วลมสูงขึ้นอัตราการไหลโดยมวลของอากาศที่ไหลผ่านเครื่องระเหยเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณความร้อนของอากาศที่ถ่ายเทให้กับสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นในขณะที่กำลังที่ให้กับคอมเพรสเซอร์มีค่าคงที่ ทำให้ค่า COP มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงขึ้น พิจารณาจากสมการที่ (4.2) และ (4.3)

เมื่อทำการทดลองที่ความเร็วสูงสุดมีปริมาณน้ำแข็งที่เกาะอยู่ที่บริเวณผิวท่อภายในเครื่องระเหยน้อยกว่าที่ความเร็วลมปานกลาง ผลของน้ำแข็งที่เกาะอยู่ที่ผิวท่อในเครื่องระเหยทำให้ประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องระเหยลดลง ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกไปก็จะลดลงด้วย นั่นคือ ถ้ามีปริมาณน้ำแข็งเกาะที่ผิวท่อมากจะทำให้ COP ลดลง ดังนั้น เมื่อเปิดพัดลมความเร็วสูงสุดจึงมีค่า COP มากกว่าเปิดพัดลมความเร็วปานกลาง

จากผลการทดลองหาค่า $COP_{ทฤษฎี}$ โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุดและความเร็วปานกลาง ค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากความดันของสารทำความเย็นที่เครื่องควบแน่นและเครื่องระเหยมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากและเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อความดันที่เครื่องควบแน่นเพิ่มความดันที่เครื่องระเหยก็เพิ่มตามไปด้วย เมื่อนำไปหาค่า COP จากแผนภูมิความดัน-เอนทัลปี จึงทำให้ค่าที่หาได้ใกล้เคียงกัน

จากรูปที่ 4-5 และ 4-6 จะเห็นได้ว่าเมื่อระบบทำความเย็นเริ่มทำงานไปเรื่อย ๆ จะทำให้อุณหภูมิและความชื้นของอากาศลดลง จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะที่ต้องการควบคุม อุณหภูมิและความชื้นที่ลดลงหมายถึงปริมาณความร้อนสัมผัสและปริมาณความร้อนแฝงของอากาศลดลง

ตารางที่ 4-3 แสดงผลการทดสอบที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 50 % โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุด

เวลา (นาที)	ความชื้นที่อ่าน ค่าจากเซนเซอร์ (%RH)	อุณหภูมิที่จุด 3 (°C)		ความชื้นที่อ่าน จากแผนภูมิ ไซโครเมตริก ที่จุด 3 (%RH)	อุณหภูมิที่จุด 2 (°C)		ค่าเอนทาลปี ที่จุด 2 (Btu/lb)	ค่าปริมาตร จำเพาะ ที่จุด 2 (ft ³ /lb)
		อุณหภูมิ กระเปาะ แห้ง	อุณหภูมิ กระเปาะ เปียก		อุณหภูมิ กระเปาะ แห้ง	อุณหภูมิ กระเปาะ เปียก		
0	79.5	25.3	23.3	85.0	24.9	22.7	36.5	13.9
2	63.3	27.7	22.6	65.3	24.5	20.2	32.6	13.8
4	55.4	26.7	21.7	57.4	23.4	18.4	30.1	13.7
6	52.0	26.4	19.3	54.8	22.4	17.9	29.5	13.6
8	52.0	25.4	18.5	53.6	21.7	16.8	28.0	13.6
10	52.2	25.8	19.0	53.3	22.0	17.3	28.7	13.6
12	50.3	26.1	19.3	52.9	22.1	16.9	28.1	13.6
14	49.4	25.3	18.3	51.4	21.4	16.5	27.6	13.6
16	48.2	24.7	17.9	51.8	20.7	15.9	26.8	13.5
18	48.0	25.3	18.2	50.7	20.6	16.2	27.2	13.5
20	48.2	25.2	18.1	49.9	20.9	15.9	26.8	13.5
22	50.4	24.8	17.5	50.8	20.4	15.7	26.5	13.5
24	50.1	23.0	16.3	51.2	19.4	15.6	26.4	13.5
26	51.5	24.0	17.3	51.6	20.0	15.7	26.4	13.5
28	49.0	24.2	17.4	51.6	20.1	15.6	26.2	13.5
30	48.6	24.3	17.2	49.7	20.1	15.3	26.1	13.5

เวลา (นาที)	อุณหภูมิที่จุด 5 (°C)		เอนทาลปี ที่จุด 5 (Btu/lb)	อัตราการไหล โดยมวล ของอากาศ (lb/min)	ผลต่าง เอนทาลปี ที่จุด 2 และจุด 5 (Btu/lb)	ปริมาณ การถ่ายเท ความร้อน ×10 ³ (Btu/h)	ประสิทธิภาพ ของการทำ ความเย็น COP 1	ประสิทธิภาพ ของการทำ ความเย็น COP 2
	อุณหภูมิ กระเปาะ แห้ง	อุณหภูมิ กระเปาะ เปียก						
0	24.9	22.6	36.5	0	0	0	0	0
2	22.7	16.4	27.5	26.0	4.11	6.41	3.40	2.79
4	22.4	15.5	26.3	26.2	3.76	5.90	3.13	2.57
6	21.6	14.9	25.6	26.4	3.90	6.17	3.27	2.68
8	20.6	13.9	24.4	26.4	3.60	5.69	3.02	2.48
10	20.8	14.2	24.7	26.4	3.93	6.21	3.30	2.70
12	20.9	13.8	24.3	26.4	3.87	6.12	3.25	2.66
14	20.3	13.4	23.8	26.4	3.74	5.91	3.14	2.57
16	19.4	12.8	23.2	26.6	3.60	5.74	3.05	2.49
18	19.4	13.0	23.4	26.6	3.76	5.99	3.18	2.60
20	19.6	12.6	23.0	26.6	3.81	6.07	3.22	2.64
22	19.2	12.4	22.7	26.6	3.81	6.07	3.22	2.64
24	18.8	12.3	22.6	26.6	3.80	6.05	3.21	2.63
26	18.8	12.3	22.6	26.6	3.83	6.10	3.24	2.65
28	19.1	12.1	22.4	26.6	3.84	6.12	3.25	2.66
30	18.8	11.9	22.3	26.6	3.83	6.10	3.24	2.65

หมายเหตุ พื้นที่เรเงา คือ ช่วงเวลาที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อ่านจากแผนภูมิไซโครเมตริกมีสภาวะคงที่

ความเร็วลมเฉลี่ย = 1236 ft/min

พื้นที่หน้าตัด = 0.29 ft²

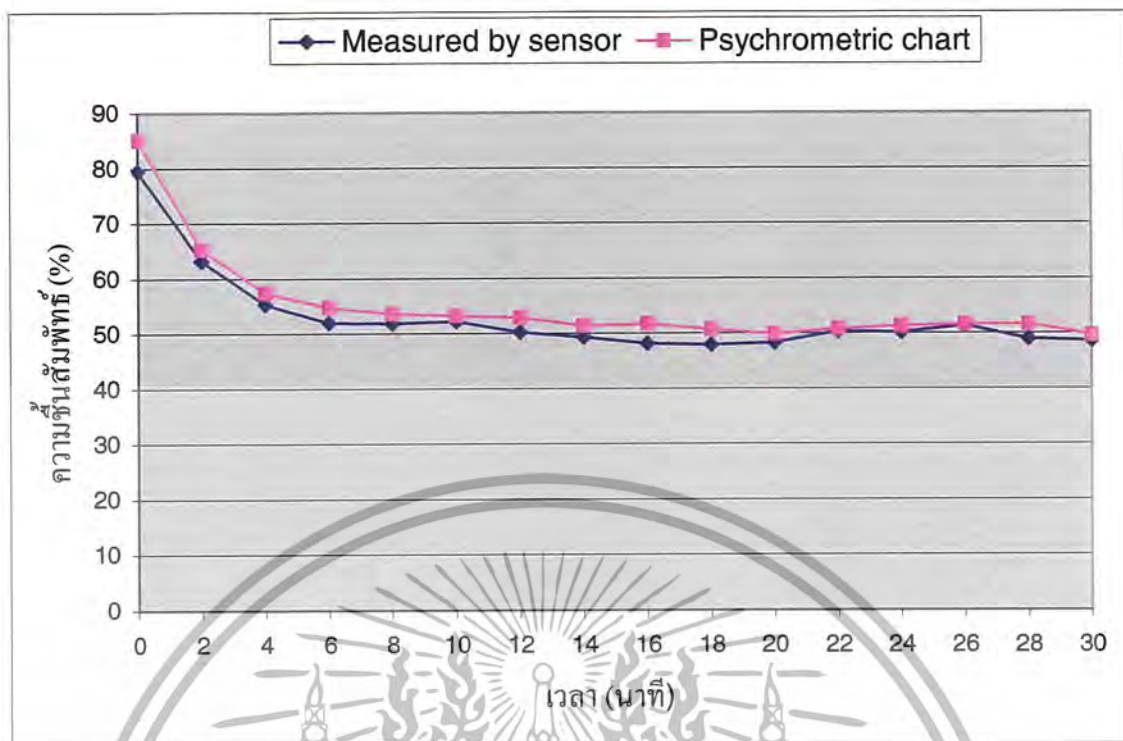
อัตราการไหลโดยปริมาตรของอากาศ (cfm) = 358 ft³/min

ความต่างศักย์ไฟฟ้า = 230 V

กระแสไฟฟ้าคอมเพรสเซอร์ = 3 A

กระแสไฟฟ้าพัดลม = 0.53 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัดโดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริกที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50 % โดยใช้ความเร็วของพัดลมสูงสุด

จากรูปที่ 4-7 จะเห็นว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการอ่านค่าโดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริกจะมีค่าค่อย ๆ ลดลงในช่วงแรกและเริ่มคงที่เมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่ง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะในขณะที่เริ่มทำการทดลองอุณหภูมิและความชื้นภายในเครื่องทดสอบยังมีค่าสูงอยู่ เมื่อทำการทดลองไประยะหนึ่งระบบปรับอากาศจะทำให้อุณหภูมิและความชื้นของอากาศลดลงและเมื่อทำการทดลองประมาณ 20 นาที ค่าความชื้นของอากาศเริ่มมีค่าเข้าสู่สภาวะควบคุม

จากผลการทดลองหาค่า COP ที่สภาวะคงที่ ช่วงเวลา 20-30 นาที โดยมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 48.2 ถึง 51.5 เปอร์เซ็นต์

$$\text{COP1} = 3.23$$

$$\text{COP2} = 2.65$$

จากสมการที่ (4.1)

$$P_H = 17.55 \text{ bar}, P_L = 2.2 \text{ bar} \quad \text{จะได้} \quad h_1 = 104.5 \text{ Btu / lb}, h_2 = 127 \text{ Btu / lb}, h_4 = 43.5 \text{ Btu / lb}$$

$$\begin{aligned} \text{COP}_{\text{ทฤษฎี}} &= \frac{104.5 - 43.5}{127 - 104.5} \\ &= 2.71 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-4 แสดงผลการทดสอบที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 50 % โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วปานกลาง

เวลา (นาที)	ความชื้นที่อ่าน ค่าจากเซนเซอร์ (%RH)	อุณหภูมิที่จุด 3 (°C)		ความชื้นที่อ่าน จากแผนภูมิ ไซโครเมตริก ที่จุด 3 (%RH)	อุณหภูมิที่จุด 2 (°C)		ค่าเอนทาลปี ที่จุด 2 (Btu/lb)	ค่าปริมาตร จำเพาะ ที่จุด 2 (ft ³ /lb)
		อุณหภูมิ กระเปาะ แห้ง	อุณหภูมิ กระเปาะ เปียก		อุณหภูมิ กระเปาะ แห้ง	อุณหภูมิ กระเปาะ เปียก		
0	77.3	26.4	23.6	78.9	26.3	24.4	39.5	14.0
2	65.1	30.7	25.9	68.5	26.3	21.1	34.0	13.9
4	50.2	30.5	22.3	53.2	24.7	19.7	31.9	13.8
6	48.9	30.1	22.1	50.9	24.4	19.0	31.1	13.8
8	49.0	29.6	21.5	50.5	24.4	18.3	30.0	13.7
10	48.8	29.1	21.3	50.1	23.1	17.7	29.4	13.7
12	49.8	28.7	21.2	51.4	22.9	17.6	29.0	13.7
14	47.9	28.0	20.2	49.3	22.9	16.5	27.5	13.6
16	50.2	27.6	20.2	51.1	21.8	16.6	28.0	13.6
18	49.5	27.3	20.0	51.4	21.7	16.6	27.8	13.6
20	47.6	27.6	19.7	50.3	22.1	16.7	27.8	13.6
22	47.2	27.3	19.4	49.6	21.7	16.4	27.4	13.6
24	48.7	27.2	19.7	50.1	21.7	16.5	27.6	13.6
26	49.7	27.1	19.8	50.9	22.2	16.6	27.6	13.6
28	48.0	26.9	19.7	51.1	21.7	16.3	27.3	13.6
30	50.3	26.7	19.6	51.9	21.7	16.6	27.7	13.6

เวลา (นาที)	อุณหภูมิที่จุด 5 (°C)		เอนทาลปี ที่จุด 5 (Btu/lb)	อัตราการไหล โดยมวล ของอากาศ (lb/min)	ผลต่าง เอนทาลปี ที่จุด 2 และจุด 5 (Btu/lb)	ปริมาณ การถ่ายเท ความร้อน $\times 10^3$ (Btu/h)	ประสิทธิภาพ ของการทำ ความเย็น COP 1	ประสิทธิภาพ ของการทำ ความเย็น COP 2
	อุณหภูมิ กระเปาะ แห้ง	อุณหภูมิ กระเปาะ เปียก						
0	26.3	24.4	39.5	0	0	0	0	0
2	25.1	18.1	29.6	18.0	4.42	4.77	2.53	2.17
4	23.7	16.7	27.8	18.1	4.03	4.38	2.33	1.99
6	22.9	15.9	26.8	18.1	4.22	4.59	2.44	2.09
8	22.8	15.1	25.8	18.2	4.21	4.61	2.45	2.10
10	21.7	14.6	25.2	18.2	4.22	4.62	2.45	2.10
12	21.5	14.2	24.8	18.2	4.19	4.59	2.44	2.09
14	20.9	12.9	23.3	18.4	4.20	4.63	2.46	2.11
16	20.3	13.3	23.8	18.4	4.23	4.67	2.48	2.12
18	20.1	13.2	23.6	18.4	4.21	4.64	2.47	2.11
20	20.4	13.1	23.5	18.4	4.33	4.78	2.54	2.17
22	20.5	13.1	23.5	18.4	3.98	4.39	2.33	2.00
24	20.2	13.1	23.5	18.4	4.12	4.54	2.41	2.07
26	20.5	12.9	23.3	18.4	4.31	4.75	2.52	2.16
28	20.4	12.9	23.3	18.4	4.02	4.43	2.35	2.02
30	20.3	13.2	23.6	18.4	4.13	4.55	2.42	2.07

หมายเหตุ พื้นที่แรงงา คือ ช่วงเวลาที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อ่านจากแผนภูมิไซโครเมตริกมีสภาวะคงที่

ความเร็วลมเฉลี่ย = 862 ft/min

พื้นที่หน้าตัด = 0.29 ft²

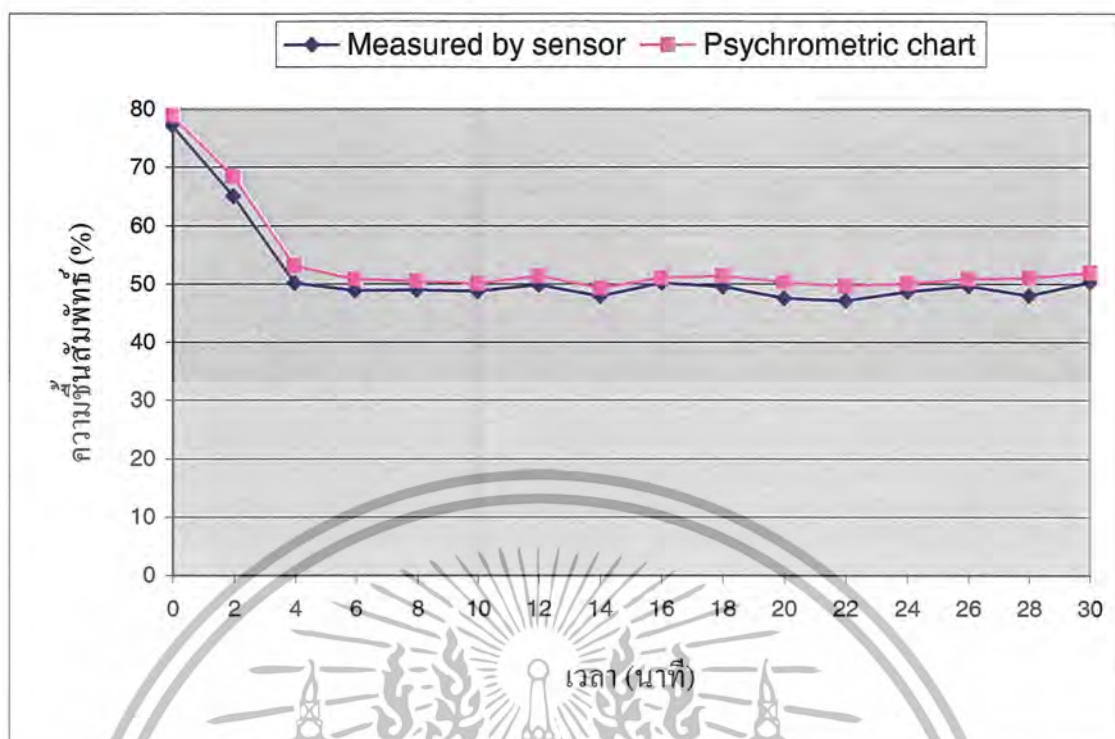
อัตราการไหลโดยปริมาตรของอากาศ (cfm) = 250 ft³/min

ความต่างศักย์ไฟฟ้า = 230 V

กระแสไฟฟ้าคอมเพรสเซอร์ = 3 A

กระแสไฟฟ้าพัดลม = 0.40 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-8 แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัดโดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริกที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50 % โดยใช้ความเร็วของพัดลมปานกลาง

จากรูปที่ 4-8 จะเห็นว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการอ่านค่าโดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริกจะมีค่าค่อย ๆ ลดลงในช่วงแรกและเริ่มคงที่เมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่ง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะในขณะที่เริ่มทำการทดลองอุณหภูมิและความชื้นภายในเครื่องทดสอบยังมีค่าสูงอยู่เมื่อทำการทดลองไประยะหนึ่งระบบปรับอากาศจะทำให้อุณหภูมิและความชื้นของอากาศลดลงและเมื่อทำการทดลองประมาณ 6 นาที ค่าความชื้นของอากาศเริ่มมีค่าเข้าสู่ภาวะควบคุม

จากผลการทดลองหาค่า COP ที่สภาวะคงที่ (ช่วงเวลา 6-18 นาที) โดยมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 47.9 ถึง 50.2 เปอร์เซ็นต์

$$\text{COP1} = 2.46$$

$$\text{COP2} = 2.10$$

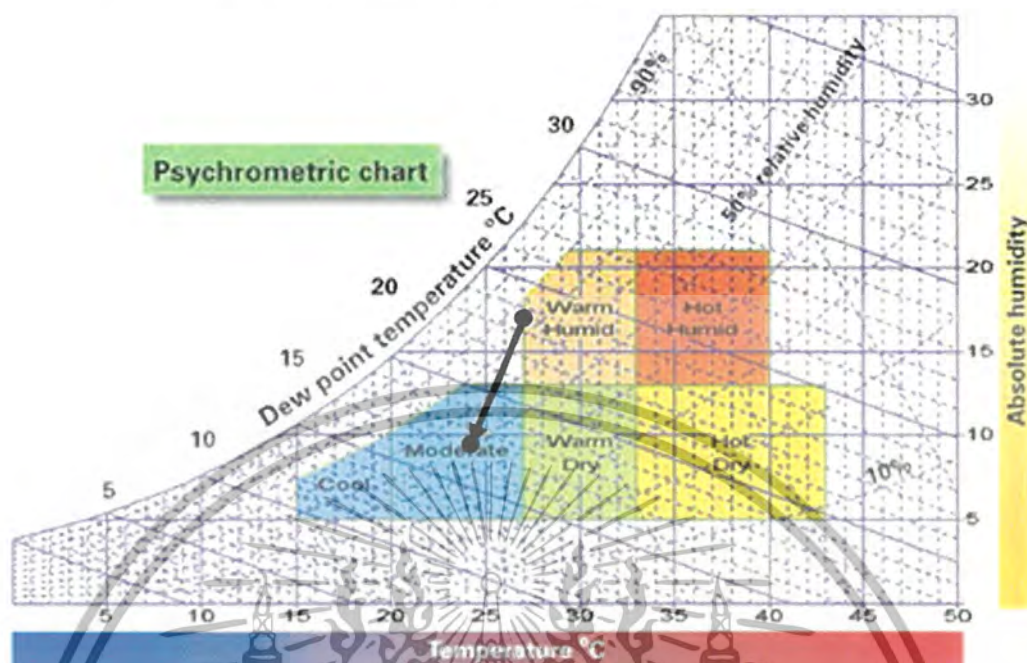
จากสมการที่ (4.1)

$$P_H = 16.90 \text{ bar}, P_L = 2.15 \text{ bar} \quad \text{จะได้ } h_1 = 104 \text{ Btu / lb}, h_2 = 126.75 \text{ Btu / lb}, h_4 = 43 \text{ Btu / lb}$$

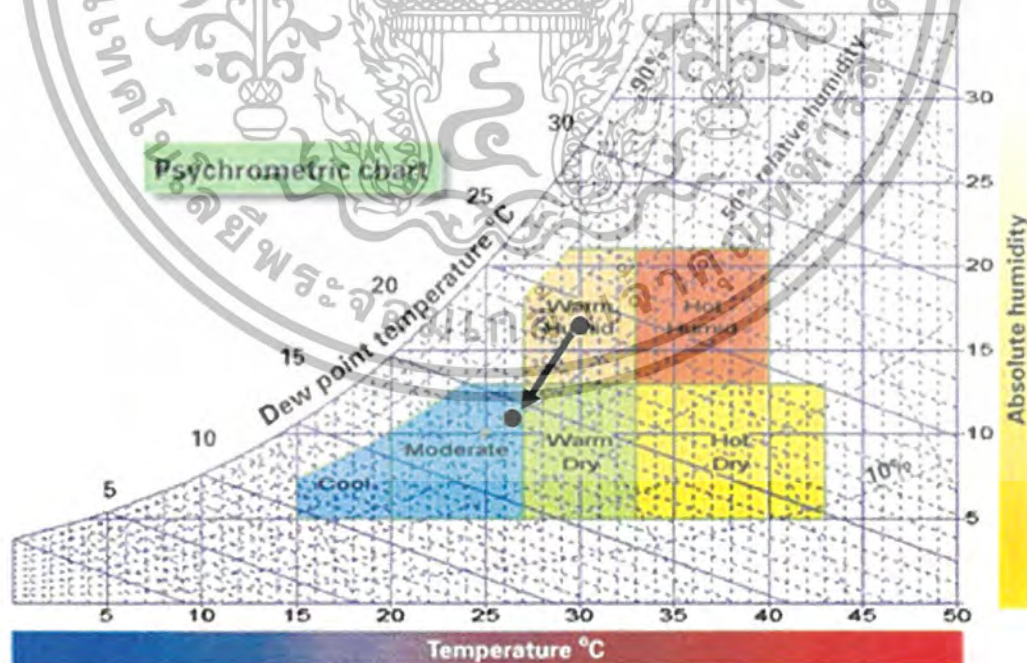
$$\begin{aligned} \text{COP}_{\text{ทฤษฎี}} &= \frac{104 - 43}{126.75 - 104} \\ &= 2.68 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สถานะ 50%RH โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุด



รูปที่ 4-9 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริก ที่สถานะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 50% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุด ที่สถานะ 50%RH โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วปานกลาง



รูปที่ 4-10 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริก

ที่ภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 50% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 50% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุดและความเร็วปานกลางจะเห็นว่าที่ความเร็วปานกลางระบบจะเข้าสู่สภาวะควบคุมได้เร็วกว่า

จากผลการทดลองค่า $COP_{ระบบ}$ โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุดและความเร็วปานกลางมีค่าแตกต่างกันมาก มีสาเหตุอันเนื่องมาจากเมื่อความเร็วลมสูงขึ้นอัตราการไหลโดยมวลของอากาศที่ไหลผ่านเครื่องระเหยเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณความร้อนของอากาศที่ถ่ายเทให้กับสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นในขณะที่กำลังที่ให้กับคอมเพรสเซอร์มีค่าคงที่ ทำให้ค่า COP มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงขึ้น พิจารณาจากสมการที่ (4.2) และ (4.3)

เมื่อทำการทดลองที่ความเร็วสูงสุดมีปริมาณน้ำแข็งที่เกาะอยู่ที่บริเวณผิวท่อภายในเครื่องระเหยน้อยกว่าที่ความเร็วลมปานกลาง ผลของน้ำแข็งที่เกาะอยู่ที่ผิวท่อในเครื่องระเหยทำให้ประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องระเหยลดลง ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกไปก็จะลดลงด้วย นั่นคือ ถ้ามีปริมาณน้ำแข็งเกาะที่ผิวท่อมากจะทำให้ COP ลดลง ดังนั้น เมื่อเปิดพัดลมความเร็วสูงสุดจึงมีค่า COP มากกว่าเปิดพัดลมความเร็วปานกลาง

จากผลการทดลองหาค่า $COP_{ทฤษฎี}$ โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุดและความเร็วปานกลาง ค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากความดันของสารทำความเย็นที่เครื่องควบแน่นและเครื่องระเหยมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากและเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อความดันที่เครื่องควบแน่นเพิ่มความดันที่เครื่องระเหยก็เพิ่มตามไปด้วย เมื่อนำไปหาค่า COP จากแผนภูมิความดัน-เอนทัลปี จึงทำให้ค่าที่หาได้ใกล้เคียงกัน

จากรูปที่ 4-9 และ 4-10 จะเห็นได้ว่าเมื่อระบบทำความเย็นเริ่มทำงานไปเรื่อย ๆ จะทำให้อุณหภูมิและความชื้นของอากาศลดลง จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะที่ต้องการควบคุม อุณหภูมิและความชื้นที่ลดลงหมายถึงปริมาณความร้อนสัมผัสและปริมาณความร้อนแฝงของอากาศลดลง

ตารางที่ 4-5 แสดงผลการทดสอบที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 60 % โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุด

เวลา (นาที)	ความชื้นที่อ่าน ค่าจากเซนเซอร์ (%RH)	อุณหภูมิที่จุด 3 (°C)		ความชื้นที่อ่าน จากแผนภูมิ ไซโครเมตริก ที่จุด 3 (%RH)	อุณหภูมิที่จุด 2 (°C)		ค่าเอนทาลปี ที่จุด 2 (Btu/lb)	ค่าปริมาตร จำเพาะ ที่จุด 2 (ft ³ /lb)
		อุณหภูมิ กระเปาะ แห้ง	อุณหภูมิ กระเปาะ เปียก		อุณหภูมิ กระเปาะ แห้ง	อุณหภูมิ กระเปาะ เปียก		
0	72.0	25.7	22.6	75.4	25.5	22.7	36.5	13.9
2	60.0	29.5	23.8	62.8	26.2	21.7	35.0	13.9
4	61.0	29.3	23.6	62.2	25.8	20.9	33.7	13.9
6	60.0	28.8	23.1	61.9	25.2	20.8	33.5	13.8
8	58.4	28.6	23.1	62.7	25.2	20.7	33.4	13.8
10	57.3	28.7	23.1	62.1	25.4	20.7	33.4	13.8
12	58.0	29.3	23.1	59.6	25.2	20.3	32.8	13.8
14	58.3	28.1	22.3	60.7	24.6	20.0	32.4	13.8
16	60.3	27.9	22.2	61.6	24.0	19.6	31.7	13.7
18	58.1	27.9	22.5	63.2	24.1	19.7	31.9	13.8
20	58.0	28.1	22.3	60.7	24.2	19.4	31.5	13.8
22	56.9	28.2	22.1	59.1	23.7	19.0	31.0	13.7
24	60.6	27.3	21.8	62.3	23.0	18.7	30.5	13.7
26	59.9	27.1	21.6	61.9	22.7	18.6	30.4	13.7
28	58.7	26.9	21.3	61.1	22.8	18.3	30.0	13.7
30	57.5	26.8	20.9	59.3	22.7	18.1	29.6	13.7

เวลา (นาที)	อุณหภูมิที่จุด 5 (°C)		เอนทาลปี ที่จุด 5 (Btu/lb)	อัตราการไหล โดยมวล ของอากาศ (lb/min)	ผลต่าง เอนทาลปี ที่จุด 2 และจุด 5 (Btu/lb)	ปริมาณ การถ่ายเท ความร้อน × 10 ³ (Btu/h)	ประสิทธิภาพ ของการทำ ความเย็น COP 1	ประสิทธิภาพ ของการทำ ความเย็น COP 2
	อุณหภูมิ กระเปาะ แห้ง	อุณหภูมิ กระเปาะ เปียก						
0	25.5	22.7	36.5	0	0	0	0	0
2	25.4	19.1	31.0	26.2	3.99	6.27	3.33	2.73
4	25.3	18.3	30.0	26.2	3.71	5.83	3.10	2.54
6	24.8	18.3	29.9	26.4	3.62	5.73	3.04	2.49
8	24.6	18.1	29.7	26.4	3.76	5.95	3.16	2.59
10	24.6	17.9	29.4	26.4	4.06	6.43	3.41	2.80
12	24.5	17.6	28.9	26.4	4.02	6.37	3.38	2.77
14	23.9	17.2	28.5	26.4	4.07	6.45	3.42	2.80
16	23.3	16.8	27.9	26.6	4.05	6.46	3.43	2.81
18	23.1	16.8	28.0	26.4	4.08	6.46	3.43	2.81
20	23.2	16.5	27.6	26.4	4.04	6.40	3.40	2.78
22	22.8	16.2	27.1	26.6	4.06	6.48	3.44	2.82
24	22.1	15.8	26.7	26.6	4.03	6.43	3.41	2.80
26	21.7	15.6	26.5	26.6	3.93	6.27	3.33	2.73
28	21.8	15.3	26.1	26.6	3.99	6.36	3.38	2.77
30	21.6	15.1	25.8	26.6	3.94	6.29	3.34	2.73

หมายเหตุ พื้นที่แรเงา คือ ช่วงเวลาที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อ่านจากแผนภูมิไซโครเมตริกมีสภาวะคงที่

ความเร็วลมเฉลี่ย = 1256 ft/min

พื้นที่หน้าตัด = 0.29 ft²

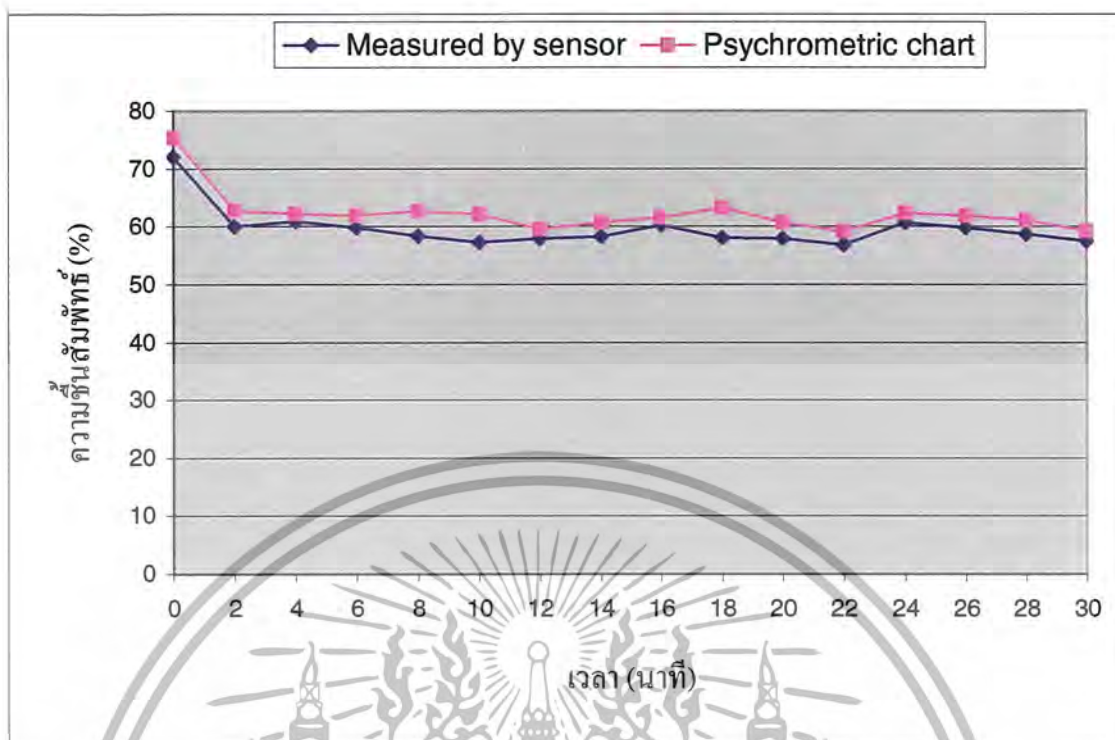
อัตราการไหลโดยปริมาตรของอากาศ (cfm) = 364 ft³/min

ความต่างศักย์ไฟฟ้า = 230 V

กระแสไฟฟ้าคอมเพรสเซอร์ = 3 A

กระแสไฟฟ้าพัดลม = 0.53 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-11 แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัด โดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริกที่ความชื้นสัมพัทธ์ 60% โดยใช้ความเร็วของพัดลมสูงสุด

จากรูปที่ 4-11 จะเห็นว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการอ่านค่าโดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริกจะมีค่าค่อย ๆ ลดลงในช่วงแรกและเริ่มคงที่เมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่งสาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะ ในขณะที่เริ่มทำการทดลองอุณหภูมิและความชื้นภายในเครื่องทดสอบยังมีค่าสูงอยู่ เมื่อทำการทดลองไประยะหนึ่งระบบปรับอากาศจะทำให้อุณหภูมิและความชื้นของอากาศลดลงและเมื่อทำการทดลองประมาณ 12 นาที ค่าความชื้นของอากาศเริ่มมีค่าเข้าสู่สภาวะควบคุม

จากผลการทดลองหาค่า COP ที่สถานะคงที่ (ช่วงเวลา 12-24 นาที) โดยมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 56.9 ถึง 60.6 เปอร์เซ็นต์

$$\text{COP1} = 3.42$$

$$\text{COP2} = 2.80$$

จากสมการที่ (4.1)

$$P_H = 17.66 \text{ bar}, P_L = 2.25 \text{ bar} \quad \text{จะได้} \quad h_1 = 105.5 \text{ Btu / lb}, h_2 = 128 \text{ Btu / lb}, h_4 = 44 \text{ Btu / lb}$$

$$\begin{aligned} \text{COP}_{\text{ทฤษฎี}} &= \frac{105.5 - 44}{128 - 105.5} \\ &= 2.73 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-6 แสดงผลการทดสอบที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 60 % โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วปานกลาง

เวลา (นาท)	ความชื้นที่อ่าน ค่าจากเซนเซอร์ (%RH)	อุณหภูมิที่จุด 3 (°C)		ความชื้นที่อ่าน จากแผนภูมิ ไซโครเมตริก ที่จุด 3 (%RH)	อุณหภูมิที่จุด 2 (°C)		ค่าเอนทาลปี ที่จุด 2 (Btu/lb)	ค่าปริมาตร ที่จุด 2 (ft ³ /lb)
		อุณหภูมิ กระเปาะ แห้ง	อุณหภูมิ กระเปาะ เปียก		อุณหภูมิ กระเปาะ แห้ง	อุณหภูมิ กระเปาะ เปียก		
0	68.5	25.3	22.0	75.4	25.2	21.7	34.9	13.9
2	65.8	29.3	24.6	68.6	25.0	19.1	31.1	13.8
4	60.2	27.5	22.1	62.9	23.6	19.0	30.9	13.7
6	58.6	28.0	22.3	61.3	23.2	18.5	30.2	13.7
8	59.3	28.1	22.6	62.3	23.3	20.4	30.1	13.7
10	61.2	27.1	21.5	61.3	22.3	17.4	28.9	13.6
12	60.8	27.3	21.8	62.2	21.8	17.4	28.5	13.6
14	58.3	26.9	21.3	61.4	22.1	17.3	28.7	13.6
16	58.0	27.2	21.3	59.6	21.6	16.7	27.9	13.6
18	58.8	26.6	21.1	61.5	20.9	16.8	28.1	13.6
20	62.3	26.4	21.1	62.8	21.3	16.9	28.0	13.6
22	58.0	27.5	21.6	59.6	21.7	16.8	28.0	13.6
24	58.6	25.6	20.4	62.9	20.8	16.3	27.4	13.5
26	57.1	25.8	20.4	62.0	20.8	16.4	27.4	13.5
28	56.6	26.7	20.9	60.2	21.5	16.8	27.9	13.6
30	57.3	26.1	20.6	60.8	21.0	16.5	27.6	13.6

เวลา (นาท)	อุณหภูมิที่จุด 5 (°C)		เอนทาลปี ที่จุด 5 (Btu/lb)	อัตราการไหล โดยมวล ของอากาศ (lb/min)	ผลต่าง เอนทาลปี ที่จุด 2 และจุด 5 (Btu/lb)	ปริมาณ การถ่ายเท ความร้อน $\times 10^3$ (Btu/h)	ประสิทธิภาพ ของกรทำ ความเย็น COP 1	ประสิทธิภาพ ของกรทำ ความเย็น COP 2
	อุณหภูมิ กระเปาะ แห้ง	อุณหภูมิ กระเปาะ เปียก						
0	25.2	21.7	34.9	0	0	0	0	0
2	23.6	16.3	27.3	20.1	3.79	4.56	2.42	2.08
4	22.6	16.2	27.2	20.2	3.71	4.50	2.39	2.05
6	21.9	15.6	26.4	20.2	3.84	4.66	2.47	2.12
8	21.8	15.3	26.1	20.2	3.94	4.78	2.54	2.17
10	20.9	14.7	25.3	20.4	3.91	4.78	2.54	2.17
12	20.4	14.3	24.9	20.4	3.95	4.83	2.56	2.20
14	20.5	14.0	24.5	20.4	3.92	4.79	2.54	2.18
16	20.1	13.6	24.0	20.4	3.94	4.81	2.56	2.19
18	19.6	13.6	24.1	20.4	3.95	4.83	2.56	2.20
20	19.8	13.5	24.0	20.4	3.96	4.84	2.57	2.20
22	20.2	13.5	24.0	20.4	4.01	4.90	2.60	2.23
24	19.6	14.8	25.5	20.5	3.91	4.81	2.56	2.19
26	19.6	13.1	23.5	20.5	3.92	4.83	2.56	2.20
28	20.1	13.4	23.8	20.4	4.10	5.01	2.66	2.28
30	19.9	13.3	23.7	20.4	3.87	4.73	2.51	2.15

หมายเหตุ พื้นที่แรงเหว คือ ช่วงเวลาที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อ่านจากแผนภูมิไซโครเมตริกมีสภาวะคงที่

ความเร็วลมเฉลี่ย = 955 ft/min

พื้นที่หน้าตัด = 0.29 ft²

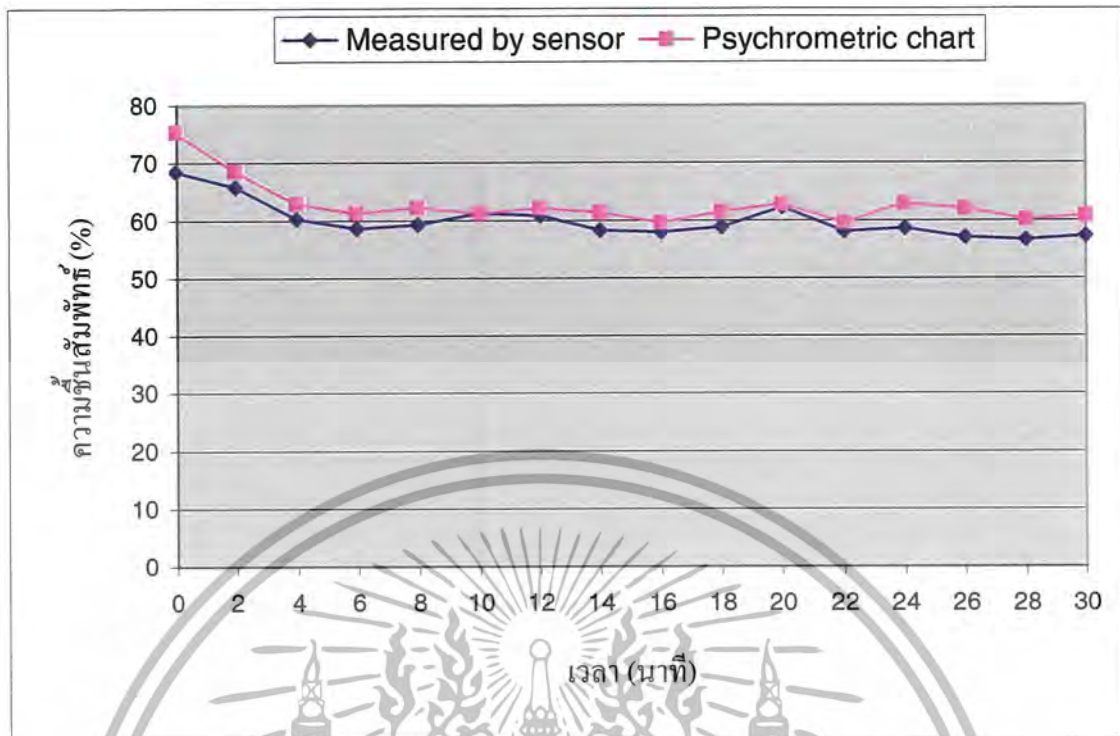
อัตราการไหลโดยปริมาตรของอากาศ (cfm) = 277 ft³/min

ความต่างศักย์ไฟฟ้า = 230 V

กระแสไฟฟ้าคอมเพรสเซอร์ = 3 A

กระแสไฟฟ้าพัดลม = 0.40 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-12 แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัดโดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริกที่ความชื้นสัมพัทธ์ 60 % โดยใช้ความเร็วของพัดลมปานกลาง

จากรูปที่ 4-12 จะเห็นว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการอ่านค่าโดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริกจะมีค่าค่อย ๆ ลดลงในช่วงแรกและเริ่มคงที่เมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่ง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะในขณะที่เริ่มทำการทดลองอุณหภูมิและความชื้นภายในเครื่องทดสอบยังมีค่าสูงอยู่ เมื่อทำการทดลองไประยะหนึ่งระบบปรับอากาศจะทำให้อุณหภูมิและความชื้นของอากาศลดลงและเมื่อทำการทดลองประมาณ 8 นาที ค่าความชื้นของอากาศเริ่มมีค่าเข้าสู่สภาวะควบคุม

จากผลการทดลองหาค่า COP ที่สภาวะคงที่ (ช่วงเวลา 8-22 นาที) โดยมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 58.0 ถึง 62.3 เปอร์เซ็นต์

$$\text{COP1} = 2.57$$

$$\text{COP2} = 2.20$$

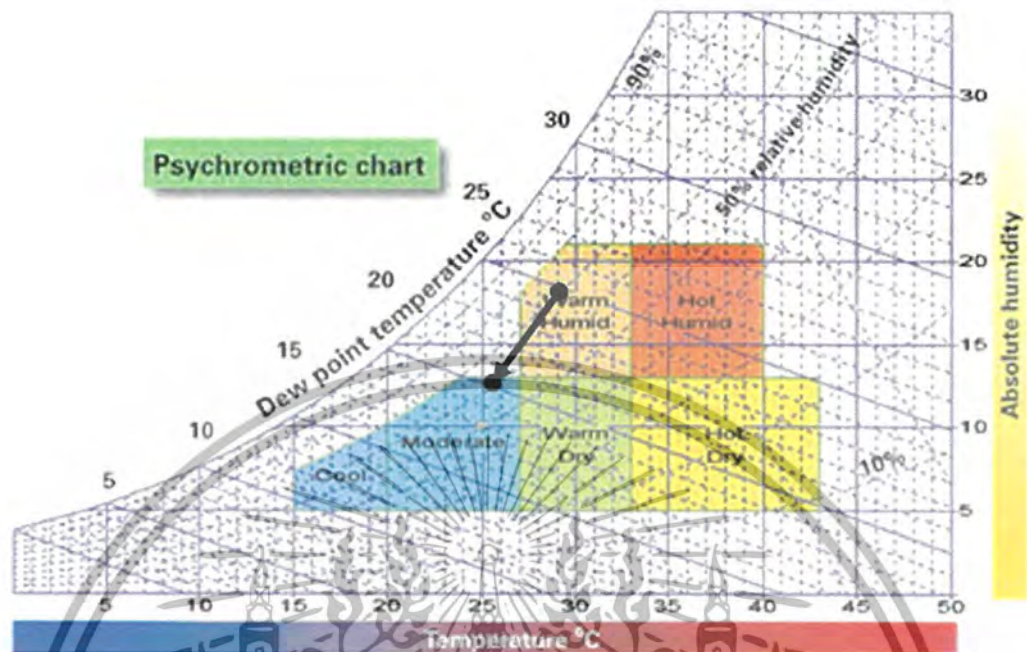
จากสมการที่ (4.1)

$$P_H = 17.35 \text{ bar}, P_L = 2.2 \text{ bar} \quad \text{จะได้ } h_1 = 104.5 \text{ Btu / lb}, h_2 = 127 \text{ Btu / lb}, h_4 = 43.5 \text{ Btu / lb}$$

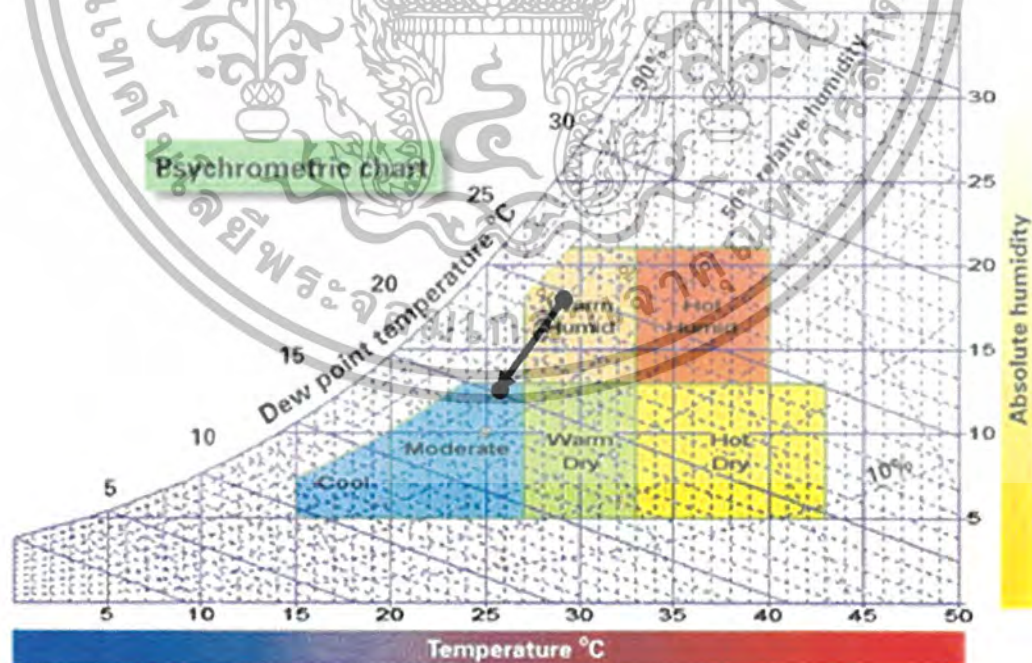
$$\begin{aligned} \text{COP}_{\text{ทฤษฎี}} &= \frac{104.5 - 43.5}{127 - 104.5} \\ &= 2.71 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สภาวะ 60%RH โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุด



รูปที่ 4-13 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริก
ที่สภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 60% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุด
ที่สภาวะ 60%RH โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วปานกลาง



รูปที่ 4-14 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริก

ที่สภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 60% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 60% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุดและความเร็วปานกลางจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วปานกลางระบบจะเข้าสู่สภาวะควบคุมได้เร็วกว่า

จากผลการทดลองค่า $COP_{ระบบ}$ โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุดและความเร็วปานกลางมีค่าแตกต่างกันมาก มีสาเหตุอันเนื่องมาจากเมื่อความเร็วลมสูงขึ้นอัตราการไหลโดยมวลของอากาศที่ไหลผ่านเครื่องระเหยเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณความร้อนของอากาศที่ถ่ายเทให้กับสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นในขณะที่กำลังที่ให้กับคอมเพรสเซอร์มีค่าคงที่ ทำให้ค่า COP มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงขึ้น พิจารณาจากสมการที่ (4.2) และ (4.3)

เมื่อทำการทดลองที่ความเร็วสูงสุดมีปริมาณน้ำแข็งที่เกาะอยู่ที่บริเวณผิวท่อภายในเครื่องระเหยน้อยกว่าที่ความเร็วลมปานกลาง ผลของน้ำแข็งที่เกาะอยู่ที่ผิวท่อในเครื่องระเหยทำให้ประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องระเหยลดลง ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกไปก็จะลดลงด้วย นั่นคือ ถ้ามีปริมาณน้ำแข็งเกาะที่ผิวท่อมักจะทำให้ COP ลดลง ดังนั้น เมื่อเปิดพัดลมความเร็วสูงสุดจึงมีค่า COP มากกว่าเปิดพัดลมความเร็วปานกลาง

จากผลการทดลองหาค่า $COP_{ทฤษฎี}$ โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุดและความเร็วปานกลาง ค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากความดันของสารทำความเย็นที่เครื่องควบแน่นและเครื่องระเหยมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากและเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อความดันที่เครื่องควบแน่นเพิ่มความดันที่เครื่องระเหยก็เพิ่มตามไปด้วย เมื่อนำไปหาค่า COP จากแผนภูมิความดัน-เอนทาลปี จึงทำให้ค่าที่หาได้ใกล้เคียงกัน

จากรูปที่ 4-13 และ 4-14 จะเห็นได้ว่าเมื่อระบบทำความเย็นเริ่มทำงานไปเรื่อย ๆ จะทำให้อุณหภูมิและความชื้นของอากาศลดลง จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะที่ต้องการควบคุม อุณหภูมิและความชื้นที่ลดลงหมายถึงปริมาณความร้อนสัมผัสและปริมาณความร้อนแฝงของอากาศลดลง

ตารางที่ 4-7 แสดงผลการทดสอบที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 70 % โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุด

เวลา (นาที)	ความชื้นที่อ่าน ค่าจากเซนเซอร์ (%RH)	อุณหภูมิที่จุด 3 (°C)		ความชื้นที่อ่าน จากแผนภูมิ ไซโครเมตริก ที่จุด 3 (%RH)	อุณหภูมิที่จุด 2 (°C)		ค่าเอนทัลปี ที่จุด 2 (Btu/lb)	ค่าปริมาตร จำเพาะ ที่จุด 2 (ft ³ /lb)
		อุณหภูมิ กระเปาะ แห้ง	อุณหภูมิ กระเปาะ เปียก		อุณหภูมิ กระเปาะ แห้ง	อุณหภูมิ กระเปาะ เปียก		
0	79.7	25.3	23.0	82.3	24.9	22.9	37.0	13.9
2	73.4	28.3	24.8	75.6	24.8	21.7	35.0	13.8
4	72.0	27.1	23.6	74.5	24.7	21.7	35.0	13.8
6	70.0	27.8	23.8	72.3	25.2	22.0	35.7	13.9
8	68.2	27.3	23.2	70.9	24.5	20.9	33.9	13.8
10	69.3	28.7	24.5	71.6	25.2	21.6	34.8	13.9
12	70.1	28.6	24.6	72.1	25.0	21.2	34.8	13.8
14	69.4	29.1	24.9	71.2	25.4	21.6	34.8	13.9
16	68.0	29.2	24.7	69.6	21.7	21.2	34.2	13.7
18	68.4	28.4	24.1	70.2	23.2	20.4	33.4	13.7
20	70.0	27.9	23.8	71.8	23.6	20.2	32.8	13.8
22	66.6	28.0	23.6	69.2	24.4	20.7	33.4	13.8
24	67.5	27.8	23.3	68.4	23.7	18.2	29.8	13.7
26	70.1	27.6	23.5	71.3	23.6	19.8	32.0	13.7
28	71.1	27.2	23.3	72.3	23.4	20.2	32.6	13.7
30	68.5	27.1	23.3	73.1	23.6	20.3	32.9	13.8

เวลา (นาที)	อุณหภูมิที่จุด 5 (°C)		เอนทัลปี ที่จุด 5 (Btu/lb)	อัตราการ ไหลโดยมวล ของอากาศ (lb/min)	ผลต่าง เอนทัลปี ที่จุด 2 และจุด 5 (Btu/lb)	ปริมาณ การถ่ายเท ความร้อน ×10 ³ (Btu/h)	ประสิทธิภาพ ของการทำ ความเย็น COP 1	ประสิทธิภาพ ของการทำ ความเย็น COP 2
	อุณหภูมิ กระเปาะ แห้ง	อุณหภูมิ กระเปาะ เปียก						
0	24.9	22.9	37.0	0	0	0	0	0
2	24.2	19.0	30.9	26.6	4.08	6.50	3.45	2.83
4	24.3	19.1	31.0	26.6	4.00	6.37	3.38	2.77
6	24.9	19.4	31.5	26.4	4.27	6.76	3.59	2.94
8	23.9	18.1	29.7	26.6	4.21	6.71	3.56	2.92
10	24.6	18.7	30.5	26.4	4.29	6.79	3.60	2.95
12	24.3	18.7	30.5	26.6	4.29	6.84	3.63	2.97
14	24.8	18.7	30.5	26.4	4.29	6.79	3.60	2.95
16	24.4	18.3	29.9	26.8	4.27	6.85	3.64	2.98
18	22.1	17.7	29.1	26.8	4.24	6.81	3.61	2.96
20	22.9	17.2	28.5	26.6	4.26	6.79	3.60	2.95
22	23.7	17.7	29.2	26.6	4.28	6.82	3.62	2.97
24	26.1	16.9	28.0	26.8	4.24	6.81	3.61	2.96
26	22.9	16.9	28.1	26.8	3.98	6.39	3.39	2.78
28	22.7	17.2	28.5	26.8	4.12	6.61	3.51	2.88
30	23.0	17.3	28.6	26.6	4.29	6.84	3.63	2.97

หมายเหตุ พื้นที่แรงจูง คือ ช่วงเวลาที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อ่านจากแผนภูมิไซโครเมตริกมีสภาวะคงที่

ความเร็วลมเฉลี่ย = 1264 ft/min

พื้นที่หน้าตัด = 0.29 ft²

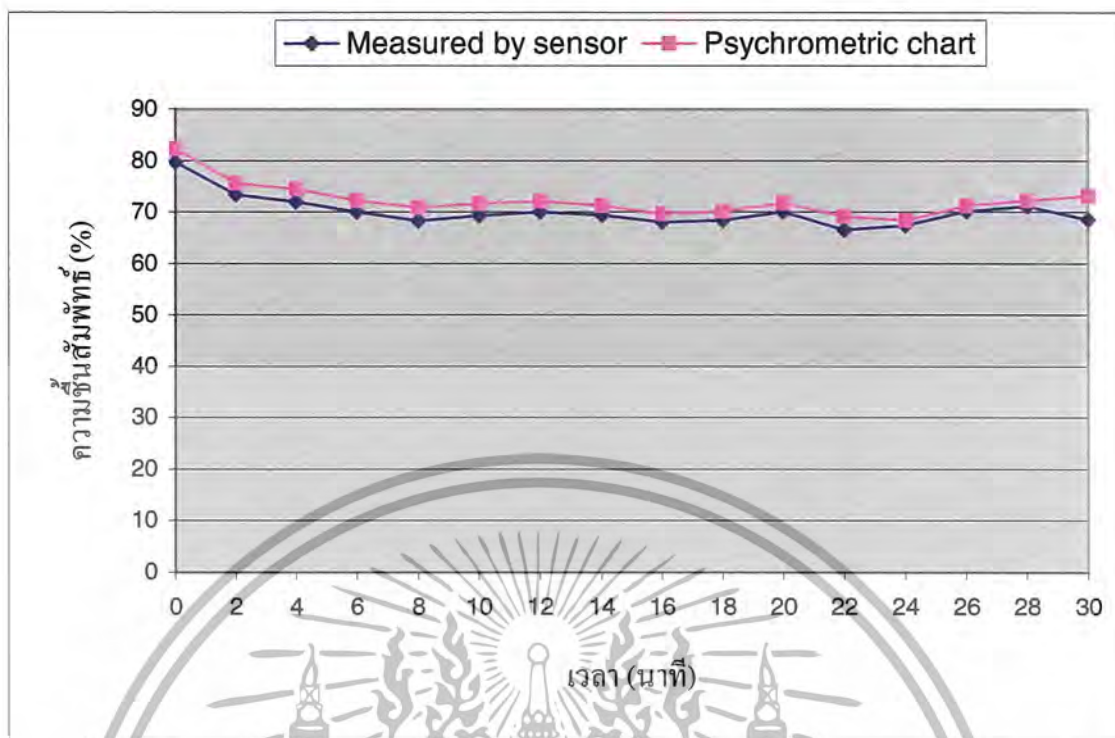
อัตราการไหลโดยปริมาตรของอากาศ (cfm) = 367 ft³/min

ความต่างศักย์ไฟฟ้า = 230 V

กระแสไฟฟ้าคอมเพรสเซอร์ = 3 A

กระแสไฟฟ้าพัดลม = 0.53 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-15 แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัด โดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริกที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70% โดยใช้ความเร็วของพัดลมสูงสุด

จากรูปที่ 4-15 จะเห็นว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการอ่านค่า โดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริกจะมีค่าค่อย ๆ ลดลงในช่วงแรกและเริ่มคงที่เมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่ง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะในขณะที่เริ่มทำการทดสอบอุณหภูมิและความชื้นภายในเครื่องทดสอบยังมีค่าสูงอยู่ เมื่อทำการทดสอบไประยะหนึ่งระบบปรับอากาศจะทำให้อุณหภูมิและความชื้นของอากาศลดลงและเมื่อทำการทดสอบประมาณ 6 นาที ค่าความชื้นของอากาศเริ่มมีค่าเข้าสู่สภาวะควบคุม

จากผลการทดลองหาค่า COP ที่สภาวะคงที่ (ช่วงเวลา 6-20 นาที) โดยมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 68.2 ถึง 70.1 เปอร์เซ็นต์

$$\text{COP1} = 3.61$$

$$\text{COP2} = 2.95$$

จากสมการที่ (4.1)

$$P_H = 17.98 \text{ bar}, P_L = 2.3 \text{ bar} \quad \text{จะได้ } h_1 = 106.25 \text{ Btu / lb}, h_2 = 128.5 \text{ Btu / lb}, h_4 = 45 \text{ Btu / lb}$$

$$\begin{aligned} \text{COP}_{\text{ทฤษฎี}} &= \frac{106.25 - 45}{128.5 - 106.25} \\ &= 2.75 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-8 แสดงผลการทดสอบที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 70 % โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วปานกลาง

เวลา (นาที)	ความชื้นที่อ่าน ค่าจากเซนเซอร์ (%RH)	อุณหภูมิที่จุด 3 (°C)		ความชื้นที่อ่าน จากแผนภูมิ ไซโครเมตริก ที่จุด 3 (%RH)	อุณหภูมิที่จุด 2 (°C)		ค่าเอนทาลปี ที่จุด 2 (Btu/lb)	ค่าปริมาตร จำเพาะ ที่จุด 2 (ft ³ /lb)
		อุณหภูมิ กระเปาะ แห้ง	อุณหภูมิ กระเปาะ เปียก		อุณหภูมิ กระเปาะ แห้ง	อุณหภูมิ กระเปาะ เปียก		
0	75.6	26.2	23.2	82.3	26.1	22.1	35.5	13.9
2	73.2	26.7	24.1	75.4	26.9	23.2	37.4	14.0
4	72.1	28.2	24.5	74.2	25.4	21.6	34.8	13.9
6	71.3	30.0	26.1	73.9	25.4	21.1	34.0	13.8
8	71.9	30.8	26.7	72.5	25.3	20.5	33.1	13.8
10	71.2	30.1	25.7	73.1	24.2	20.1	32.5	13.7
12	70.2	29.6	25.4	72.6	24.4	20.2	32.6	13.8
14	68.5	30.0	25.5	70.1	23.9	19.6	31.9	13.7
16	69.6	29.0	24.8	71.2	23.4	19.4	31.7	13.7
18	68.4	29.4	24.9	70.4	23.8	19.4	31.5	13.7
20	69.7	28.6	24.3	71.2	23.1	19.1	31.2	13.7
22	70.2	28.3	24.1	72.1	23.1	19.2	31.2	13.7
24	70.0	28.2	23.8	71.4	23.5	19.1	31.1	13.7
26	71.5	27.9	23.8	73.2	22.6	17.7	31.1	13.6
28	69.0	27.7	23.4	69.9	22.4	17.0	28.4	13.6
30	68.7	25.6	21.6	70.5	22.3	18.2	29.8	13.7

เวลา (นาที)	อุณหภูมิที่จุด 5 (°C)		เอนทาลปี ที่จุด 5 (Btu/lb)	อัตราการ ไหลโดยมวล ของอากาศ (lb/min)	ผลต่าง เอนทาลปี ที่จุด 2 และจุด 5 (Btu/lb)	ปริมาณ การถ่ายเท ความร้อน $\times 10^3$ (Btu/h)	ประสิทธิภาพ ของการทำ ความเย็น COP 1	ประสิทธิภาพ ของการทำ ความเย็น COP 2
	อุณหภูมิ กระเปาะ แห้ง	อุณหภูมิ กระเปาะ เปียก						
0	26.1	22.1	35.5	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	26.0	19.9	32.2	20.4	5.24	6.41	3.41	2.92
4	24.7	19.0	30.9	20.6	3.90	4.81	2.55	2.19
6	24.3	18.3	30.0	20.7	4.04	5.02	2.66	2.28
8	24.1	17.6	28.9	20.7	4.16	5.17	2.74	2.35
10	23.1	17.3	28.6	20.9	3.95	4.94	2.62	2.25
12	23.2	17.1	28.3	20.7	4.25	5.28	2.80	2.40
14	22.7	16.6	27.6	20.9	4.38	5.48	2.91	2.49
16	22.2	16.3	27.4	20.9	4.32	5.40	2.87	2.46
18	22.3	16.2	27.1	20.9	4.33	5.42	2.88	2.47
20	22.0	16.0	26.9	20.9	4.37	5.47	2.90	2.49
22	21.8	16.0	26.9	20.9	4.33	5.42	2.88	2.47
24	22.1	15.8	26.7	20.9	4.34	5.43	2.88	2.47
26	21.7	15.7	26.5	21.0	4.34	5.47	2.90	2.49
28	20.8	13.7	24.1	21.0	4.37	5.51	2.92	2.51
30	21.0	14.8	25.5	20.9	4.34	5.43	2.88	2.47

หมายเหตุ พื้นที่แรงงา คือ ช่วงเวลาที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อ่านจากแผนภูมิไซโครเมตริกมีสภาวะคงที่

ความเร็วลมเฉลี่ย = 985 ft/min

พื้นที่หน้าตัด = 0.29 ft²

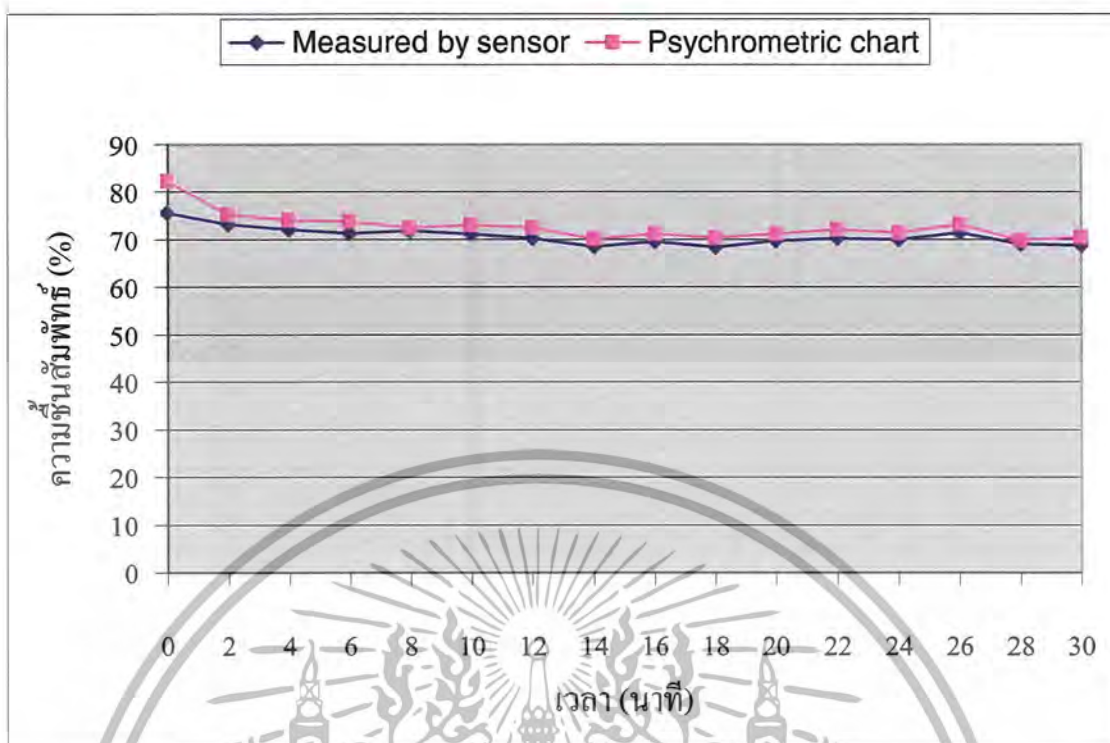
อัตราการไหลโดยปริมาตรของอากาศ (cfm) = 286 ft³/min

ความต่างศักย์ไฟฟ้า = 230 V

กระแสไฟฟ้าคอมเพรสเซอร์ = 3 A

กระแสไฟฟ้าพัดลม = 0.40 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-16 แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัดโดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริกที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70 % โดยใช้ความเร็วของพัดลมปานกลาง

จากรูปที่ 4-16 จะเห็นว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการอ่านค่าโดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริกจะมีค่าค่อย ๆ ลดลงในช่วงแรกและเริ่มคงที่เมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่ง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะในขณะที่เริ่มทำการทดลองอุณหภูมิและความชื้นภายในเครื่องทดสอบยังมีค่าสูงอยู่ เมื่อทำการทดลองไประยะหนึ่งระบบปรับอากาศจะทำให้อุณหภูมิและความชื้นของอากาศลดลงและเมื่อทำการทดลองประมาณ 14 นาที ค่าความชื้นของอากาศเริ่มมีค่าเข้าสู่สภาวะควบคุม

จากผลการทดลองหาค่า COP ที่สภาวะคงที่ (ช่วงเวลา 14-30 นาที) โดยมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 68.4 ถึง 71.5 เปอร์เซ็นต์

$$\text{COP1} = 2.89$$

$$\text{COP2} = 2.48$$

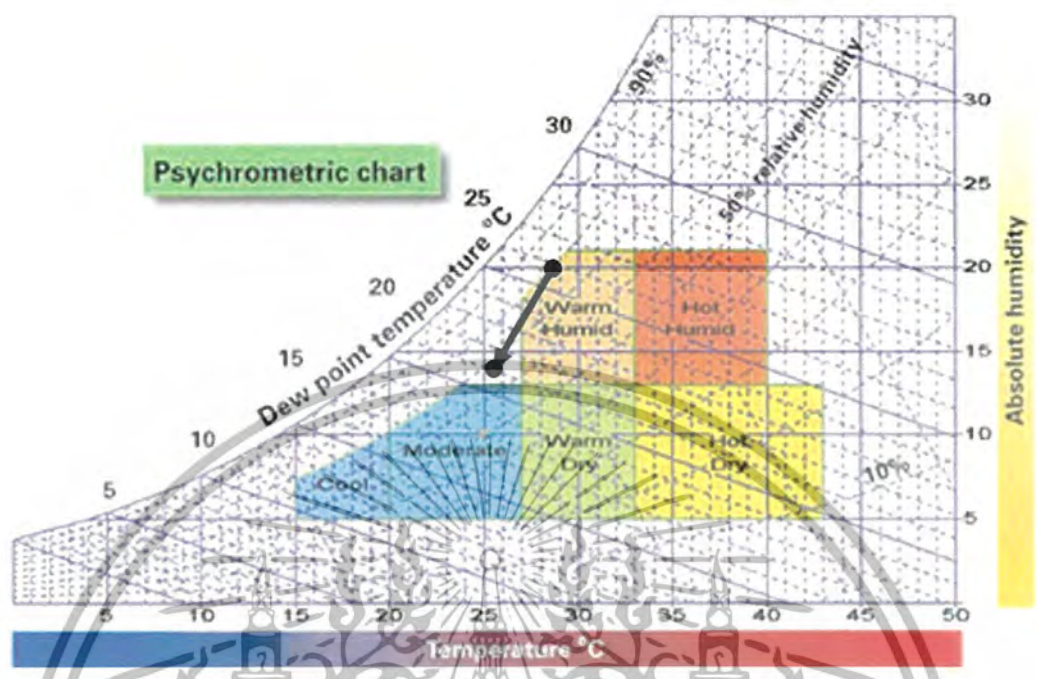
จากสมการที่ (4.1)

$$P_H = 17.68 \text{ bar}, P_L = 2.25 \text{ bar} \quad \text{จะได้ } h_1 = 105.5 \text{ Btu / lb}, h_2 = 128 \text{ Btu / lb}, h_4 = 44 \text{ Btu / lb}$$

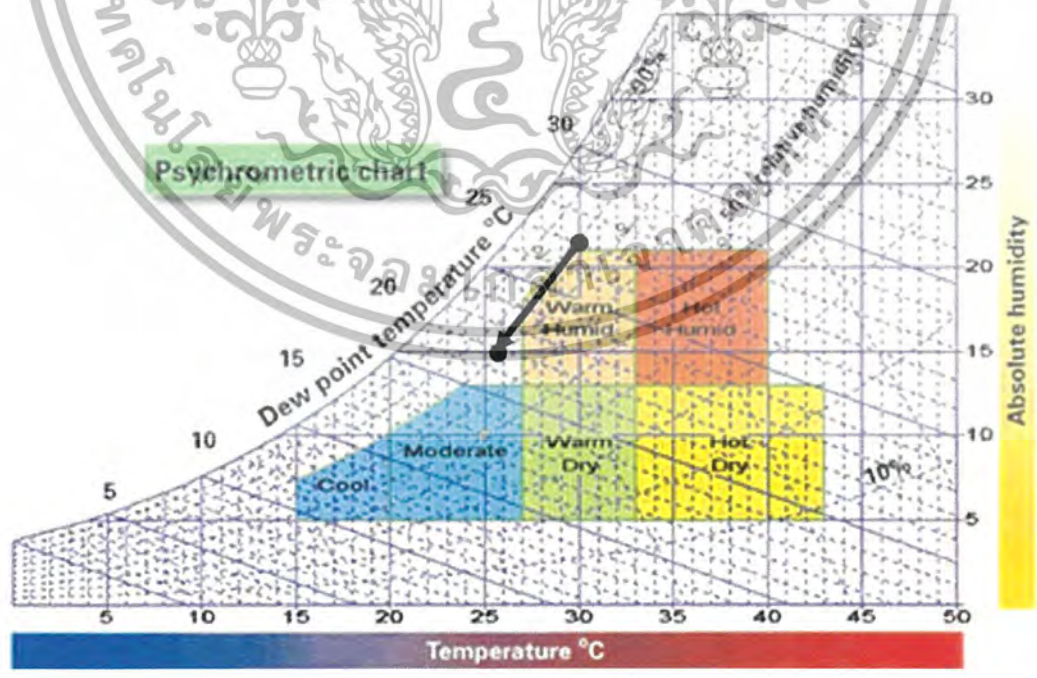
$$\begin{aligned} \text{COP}_{\text{ทฤษฎี}} &= \frac{105.5 - 44}{128 - 105.5} \\ &= 2.73 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สถานะ 70%RH โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุด



รูปที่ 4-17 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสถานะอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริก
 ที่สถานะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 70% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุด
 ที่สถานะ 70%RH โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วปานกลาง



รูปที่ 4-18 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสถานะอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ที่สถานะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 70% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วปานกลาง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

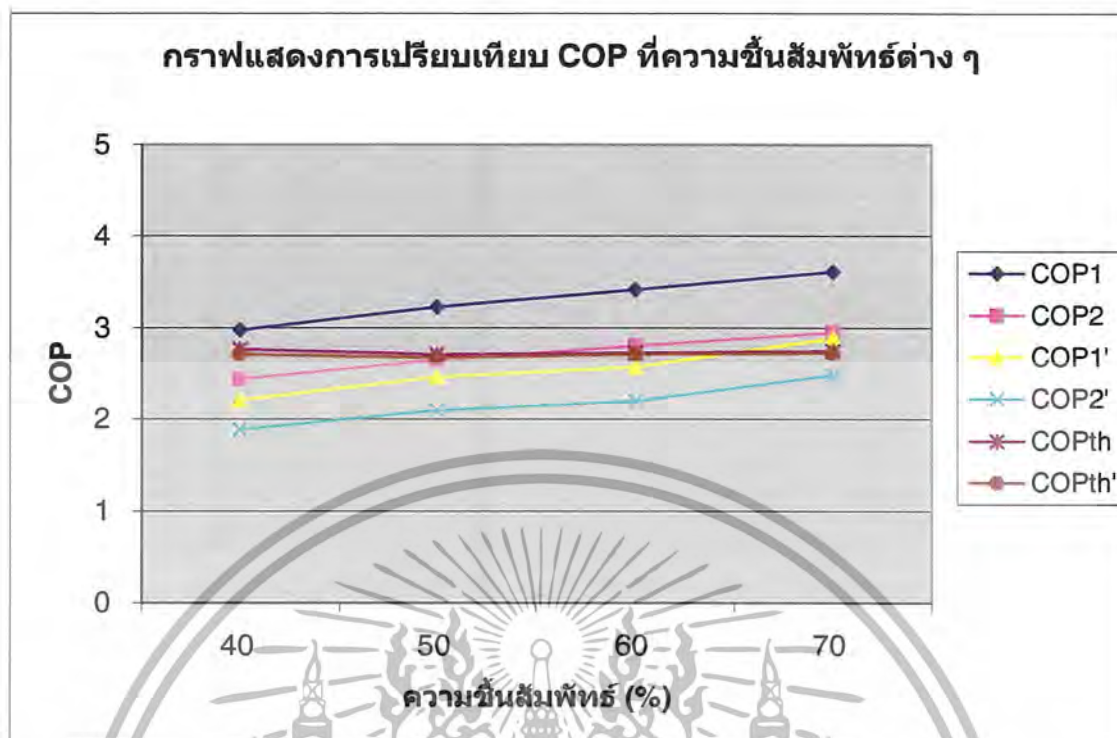
จากผลการทดสอบที่สถานะความชื้นสัมพัทธ์ 70% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุดและความเร็วปานกลางจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วปานกลางระบบจะเข้าสู่สถานะควบคุมได้เร็วกว่า

จากผลการทดลองค่า COP_{ระบบ} โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุดและความเร็วปานกลางมีค่าแตกต่างกันมาก มีสาเหตุอันเนื่องมาจากเมื่อความเร็วลมสูงขึ้นอัตราการไหลโดยมวลของอากาศที่ไหลผ่านเครื่องระเหยเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณความร้อนของอากาศที่ถ่ายเทให้กับสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นในขณะที่กำลังที่ให้กับคอมเพรสเซอร์มีค่าคงที่ ทำให้ค่า COP มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงขึ้น พิจารณาจากสมการที่ (4.2) และ (4.3)

เมื่อทำการทดลองที่ความเร็วสูงสุดมีปริมาณน้ำแข็งที่เกาะอยู่ที่บริเวณผิวท่อภายในเครื่องระเหยน้อยกว่าที่ความเร็วลมปานกลาง ผลของน้ำแข็งที่เกาะอยู่ที่ผิวท่อในเครื่องระเหยทำให้ประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องระเหยลดลง ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกไปก็จะลดลงด้วย นั่นคือ ถ้ามีปริมาณน้ำแข็งเกาะที่ผิวท่อมากจะทำให้ COP ลดลง ดังนั้น เมื่อเปิดพัดลมความเร็วสูงสุดจึงมีค่า COP มากกว่าเปิดพัดลมความเร็วปานกลาง

จากผลการทดลองหาค่า COP_{พหุผล} โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุดและความเร็วปานกลาง ค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากความดันของสารทำความเย็นที่เครื่องควบแน่นและเครื่องระเหยมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากและเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อความดันที่เครื่องควบแน่นเพิ่มความดันที่เครื่องระเหยก็เพิ่มตามไปด้วย เมื่อนำไปหาค่า COP จากแผนภูมิความดัน-เอนทาลปี จึงทำให้ค่าที่หาได้ใกล้เคียงกัน

จากรูปที่ 4-17 และ 4-18 จะเห็นได้ว่าเมื่อระบบทำความเย็นเริ่มทำงานไปเรื่อยๆ จะทำให้อุณหภูมิและความชื้นของอากาศลดลง จนกระทั่งเข้าสู่สถานะที่ต้องการควบคุม อุณหภูมิและความชื้นที่ลดลงหมายถึงปริมาณความร้อนสัมผัสและปริมาณความร้อนแฝงของอากาศลดลง



รูปที่ 4-19 แสดงค่า COP ที่สถานะการควบคุมความชื้นต่าง ๆ

- COP1 = ค่าประสิทธิภาพของการทำความเย็น โดยใช้ความเร็วลมสูงสุด และคิดกำลังที่ให้แก่คอมเพรสเซอร์เท่านั้น
- COP2 = ค่าประสิทธิภาพของการทำความเย็น โดยใช้ความเร็วลมสูงสุด และคิดกำลังที่ให้แก่คอมเพรสเซอร์และพัดลม
- COP1' = ค่าประสิทธิภาพของการทำความเย็น โดยใช้ความเร็วลมปานกลาง และคิดกำลังที่ให้แก่คอมเพรสเซอร์เท่านั้น
- COP2' = ค่าประสิทธิภาพของการทำความเย็น โดยใช้ความเร็วลมปานกลาง และคิดกำลังที่ให้แก่คอมเพรสเซอร์และพัดลม
- COPth = ค่าประสิทธิภาพของการทำความเย็นในทางทฤษฎี โดยใช้ความเร็วลมสูงสุด
- COPth' = ค่าประสิทธิภาพของการทำความเย็นในทางทฤษฎี โดยใช้ความเร็วลมปานกลาง

จากผลที่ได้จากการทดลองนำมาสร้างกราฟการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นที่ความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกัน จะเห็นว่าค่า COP มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความชื้นของอากาศ ซึ่งมีสาเหตุมาจากในขณะที่ทำการทดลองเมื่อระบบทำความเย็นเริ่มทำงานอากาศเริ่มเคลื่อนที่ผ่านเครื่องระเหยมีการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศและสารทำความเย็นผ่านผิวท่อภายในเครื่องระเหย ความร้อนของอากาศก็จะถูกสารทำความเย็นดูดออกไป ความชื้นหรือไอน้ำของอากาศจะถูกเอกสารถนเป็นเอกสารถนที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควมแน่นและระบายออกแต่มีไอน้ำบางส่วนที่ยังเกาะอยู่บริเวณผิวท่อจนกลายเป็นน้ำแข็งเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณน้ำแข็งที่เกาะที่ผิวท่อก็จะเพิ่มมากขึ้น ผลที่เกิดขึ้นจะทำให้อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยลดลงและประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของเครื่องระเหยก็จะมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน เนื่องจากพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับสารทำความเย็นถูกแทนที่ด้วยน้ำแข็ง

เมื่อมีการเพิ่มความชื้นให้แก่อากาศด้วยไอน้ำจากเครื่องกำเนิดไอน้ำซึ่งมีอุณหภูมิสูง จากการทดลองจะสังเกตเห็นว่าปริมาณของน้ำแข็งที่เกาะที่ผิวท่อภายในเครื่องระเหยจะมีปริมาณลดลงและอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความชื้นของอากาศ ผลของอัตราการไหลของอากาศที่เพิ่มขึ้นและปริมาณน้ำแข็งที่น้อยลงนี้ทำให้การคำนวณค่า COP จากการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความชื้นของอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4-19



บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

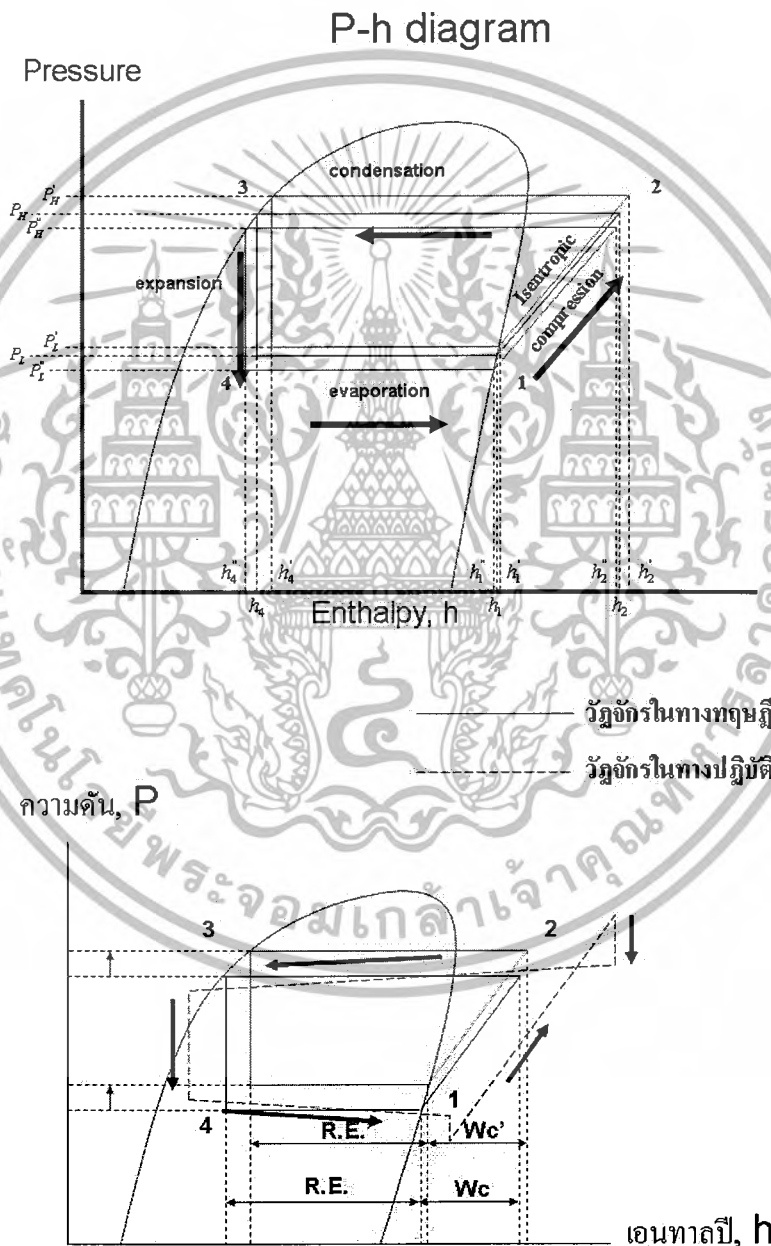
5.1 สรุปผลการทดลอง

1. จากกราฟการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัดโดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริก จะพบว่าค่าที่อ่านได้จากทั้งสองวิธีในตอนแรกจะมีค่าค่อยๆลดลงและเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไปช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งสาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะตอนที่เริ่มทำการทดลอง อุณหภูมิและความชื้นภายในเครื่องทดสอบยังมีค่าสูงอยู่ ซึ่งเมื่อทำการทดลองไประยะหนึ่ง ระบบปรับอากาศจะทำให้อุณหภูมิลดลงจึงส่งผลให้ค่าความชื้นลดลงไปด้วย จนกระทั่งมีค่าคงที่ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการควบคุม เมื่อทดสอบที่ความชื้นสูงขึ้นระบบจะเข้าสู่สภาวะควบคุมได้เร็วขึ้น เนื่องจากในตอนแรกความชื้นในเครื่องทดสอบมีค่าสูง ถ้าต้องการควบคุมความชื้นที่สูงขึ้น ระบบจะใช้เวลาในการลดความชื้นน้อยลง ทำให้เข้าสู่สภาวะควบคุมได้เร็วขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อนของการควบคุมมีค่าประมาณความชื้นสัมพัทธ์ $\pm 3\%$ เมื่อใช้ความเร็วลมในการทดลองสูงสุดและมีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณความชื้นสัมพัทธ์ $\pm 2\%$ เมื่อใช้ความเร็วลมในการทดลองปานกลาง แสดงว่า การใช้ความเร็วลมในการทดลองต่ำกว่าจะทำให้สามารถควบคุมความชื้นได้แม่นยำกว่า

2. จากการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของการทำความเย็น เมื่อเวลาผ่านไปจะเห็นว่าในระยะแรก จะยังไม่คงที่เพราะอยู่ในช่วงที่เครื่องกำลังเริ่มทำงาน แต่เมื่อระบบทำงานไประยะหนึ่ง จะเริ่มคงที่มากขึ้น เพราะค่าของอุณหภูมิและความชื้นในระบบเริ่มคงที่ ดังนั้นการหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นควรใช้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นที่สภาวะคงที่ (Steady State) จะได้ค่าที่มีความถูกต้องมากที่สุด

3. การเพิ่มอุณหภูมิและความชื้นของอากาศก่อนเข้าเครื่องระเหยจะทำให้ความดันด้านดูด (Suction line, P_L) และความดันด้านขยาย (Discharge line, P_H) เพิ่มขึ้นตามไปด้วยเพราะการเพิ่มอุณหภูมิและความชื้นของอากาศโดยการใช้ไอน้ำทำให้อุณหภูมิและเอนทัลปีของอากาศเพิ่มขึ้น ความร้อนที่เพิ่มขึ้นนี้จะถูกสารทำความเย็นพาออกไปทำให้อุณหภูมิและความดันของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จากการวิเคราะห์ในทางทฤษฎีของกรณีนี้ จะเห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นลดลงเมื่อภาระการทำความเย็นเพิ่มขึ้น สาเหตุมาจากการที่คอมเพรสเซอร์ทำงานเต็มประสิทธิภาพตลอดเวลาด้วยอัตราส่วนการอัดประมาณ 8:1 กำลังที่ให้แก่อคอมเพรสเซอร์จึงมีค่าคงที่ แต่ค่าการทำความเย็น (Refrigerating Effect, R.E.) มีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มภาระของการทำความเย็น ดังแสดงในรูปที่ 5-1

4. ปริมาณน้ำแข็งที่เกาะที่บริเวณผิวท่อภายในเครื่องระเหยมีผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของระบบ เนื่องจากน้ำแข็งที่เกาะอยู่ที่ผิวท่อจะทำให้พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศและสารทำความเย็นมีปริมาณน้อยลง ทำให้ปริมาณความร้อนที่ถูกดูดออกไปลดลงในขณะที่คอมเพรสเซอร์ทำงานเต็มประสิทธิภาพตลอดเวลา ดังนั้น ยังมีน้ำแข็งเกาะที่ผิวท่อเครื่องระเหยมากขึ้นสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นก็จะลดลง ด้วยเหตุนี้ถ้าต้องการให้ระบบมีสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นมากที่สุดควรมีการควบคุมให้มีปริมาณน้ำแข็งเกาะที่ผิวท่อภายในเครื่องระเหยน้อยที่สุดด้วย



รูปที่ 5-1 แสดงแผนภูมิความดัน-เอนทาลปีของสารทำความเย็น R-22

จากผลของการเปลี่ยนแปลงสถานะของอากาศในทางทฤษฎี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. จากผลที่ได้จากการทดลอง จะเห็นว่าค่า COP มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความชื้นของอากาศ ซึ่งมีสาเหตุมาจากในขณะที่ทำการทดลองเมื่อระบบทำความเย็นเริ่มทำงานอากาศเริ่มเคลื่อนที่ผ่านเครื่องระเหย มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศและสารทำความเย็นผ่านผิวท่อภายในเครื่องระเหย ความร้อนของอากาศก็ถูกสารทำความเย็นดูดออกไป ความชื้นหรือไอน้ำของอากาศจะถูกควบแน่นและระบายออก แต่มีไอน้ำบางส่วนที่ยังเกาะอยู่บริเวณผิวท่อจนกลายเป็นน้ำแข็ง เมื่อเวลาผ่านไป ปริมาณน้ำแข็งที่เกาะที่ผิวท่อก็จะเพิ่มมากขึ้น ผลที่เกิดขึ้นจะทำให้อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยลดลงและประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของเครื่องระเหยก็จะมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน เนื่องจากพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับสารทำความเย็นถูกแทนที่ด้วยน้ำแข็ง

เมื่อมีการเพิ่มความชื้นให้แก่อากาศด้วยไอน้ำจากเครื่องกำเนิดไอน้ำซึ่งมีอุณหภูมิสูง จากการทดลองจะสังเกตเห็นว่าปริมาณของน้ำแข็งที่เกาะที่ผิวท่อภายในเครื่องระเหยจะมีปริมาณลดลงและอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความชื้นของอากาศ ผลของอัตราการไหลของอากาศที่เพิ่มขึ้นและปริมาณน้ำแข็งที่น้อยลงนี้ทำให้การคำนวณค่า COP จากการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความชื้นของอากาศ

5.2 ข้อเสนอนะ

1. ในระหว่างที่ความชื้นเกินกว่าค่าที่เรากำหนดไว้ จะทำให้วาล์วโซเลนอยด์ปิด มีผลทำให้ความดันในเครื่องกำเนิดไอน้ำเพิ่มมากขึ้น ผู้ทำการทดลองจึงควรเปิดวาล์วทางด้านหลังเพื่อเป็นการระบายไอน้ำที่เพิ่มขึ้นออกไป จะทำให้ความดันลดลง มิเช่นนั้นอาจทำให้เครื่องกำเนิดไอน้ำเกิดความเสียหายหรืออาจเกิดการระเบิดได้

2. ก่อนการใช้เครื่องมือวัดใด ๆ ควรมีการปรับเทียบค่าให้มีความถูกต้องแม่นยำ เพราะอุปกรณ์บางชิ้นใช้งานมานานก็ย่อมจะเสื่อมสภาพไปบ้าง การใช้อุปกรณ์ที่มีความแม่นยำในการวัดสูงก็จะส่งผลให้ผลการทดลองมีความแม่นยำตามไปด้วย

3. ก่อนทำการทดลองหรือทำการใช้งานอุปกรณ์ใด ๆ ควรทำการศึกษาและอ่านคู่มือประกอบการทดลองอย่างละเอียดถี่ถ้วน เพื่อความถูกต้องของผลการทดลองและที่สำคัญคือ เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้นั่นเอง

4. จากการทดลองจะเห็นว่ายังมีความคลาดเคลื่อนในการควบคุมความชื้น ผู้ที่สนใจศึกษาหรือพัฒนาต่อไป ควรทดลองใช้อุปกรณ์อื่นแทนที่วาล์วโซเลนอยด์ เพื่อที่จะสามารถควบคุมให้อยู่ในสถานะคงที่และแม่นยำที่สุด

บรรณานุกรม

- [1] อัครเดช สิ้นธุภักดิ์, “การทำความเย็น”, ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ, ปี พ.ศ. 2538
- [2] วิทยา ยงเจริญ, “พื้นฐานการทำความเย็นและการปรับอากาศ (ภาคทฤษฎี)”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, ปี พ.ศ. 2544.
- [3] Richard G.Jordan and Gayle B.Priester, “Refrigeration & Air Conditioning”, 2nd edition, Prentice-Hall of India Private Limited New Delhi,1973.
- [4] นคร ภักดีชาติ, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, “ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ด้วยโปรแกรมภาษาซี ฉบับ P89V51RD2”, ปี พ.ศ. 2521





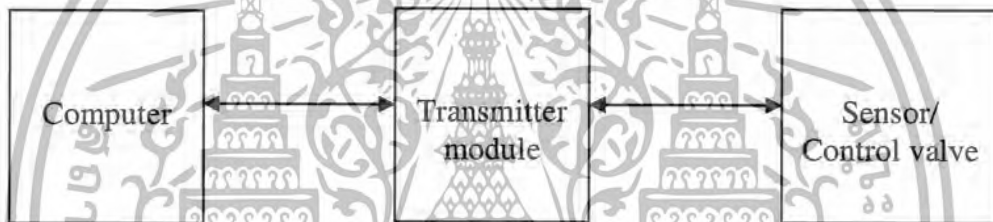
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีการควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์

การรับ-ส่งค่าข้อมูลทางคอมพิวเตอร์

การรับส่งค่าในรูปของข้อมูลต่าง ๆ ในเครื่องทดสอบระบบปรับอากาศแบบหมุนวนนั้น ข้อมูลที่ต้องการทราบคือ ค่าความชื้นของอากาศก่อนเข้าอีแวปโพเรเตอร์ โดยมีความสำคัญต่อการนำค่ามาควบคุมการปล่อยไอน้ำให้เหมาะสมในสถานะต่าง ๆ จึงได้มีการนำระบบและโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาเพื่อใช้ในการวัดค่าความชื้นและเพื่อควบคุมการปล่อยไอน้ำเข้าระบบได้อย่างเหมาะสม

อีกทั้งเนื่องจากการวิจัยนี้ต้องการให้มีการวัดและควบคุมค่าความชื้น โดยการสั่งงานอย่างต่อเนื่องจากเครื่องคอมพิวเตอร์ ผู้วิจัยจึงเลือกการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม โดยใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) วัดค่าความชื้นและประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS51) และแสดงผลต่อในจอแสดงผล (Monitor)

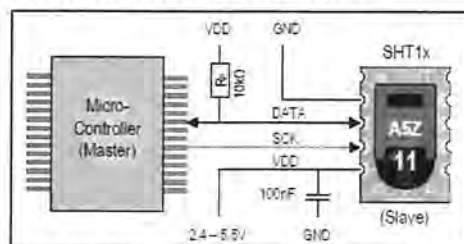


รูปที่ 1 แสดงการทำงานของชุดรับส่งข้อมูล

ด้วยเหตุนี้ก่อนอื่นจึงต้องทำความเข้าใจถึงโครงสร้างของการวัดและการบันทึกค่าความชื้น การควบคุมการทำงานของวาล์ว รวมทั้งโปรแกรมที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้ด้วย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การวัดอุณหภูมิและความชื้นด้วย SHT15

SHT15 เป็นเซ็นเซอร์ประเภทคาปาซิทีฟ (Capacitive) ที่สามารถตรวจจับความชื้นและอุณหภูมิได้ในตัวเดียวกัน ซึ่งภายในมีวงจรแปลง Analog เป็น Digital โดยมีการเชื่อมต่อแบบ 2-wire ส่งสัญญาณจากเซนเซอร์ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2 แสดงเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น SHT15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับ SHT15

การเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับ SHT15 เป็นแบบ 2-wire interface ประกอบด้วยสายสัญญาณ 2 เส้นคือ

(1) Serial Clock Input (SCK) เป็นการเชื่อมต่อแบบซิงโครนัสระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับ SHT15 โดยที่สัญญาณ SCK ไม่มีข้อจำกัดความถี่ต่ำสุด

(2) Serial Data (Data) เป็นสายส่งข้อมูลรับส่งระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับ SHT15 ซึ่งจะมี ความต้านทาน 10 กิโลโอห์ม ต่อ 10 กิโลโอห์ม ต่อ pull up ไว้

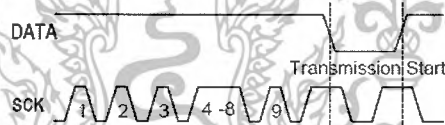
การวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

(1) ในการส่งคำสั่ง จะต้องมีความสอดคล้องกันระหว่าง SCK กับ DATA โดยที่สัญญาณ DATA จะเปลี่ยนไปก็ต่อเมื่อสัญญาณ SCK อยู่ในช่วงขอบขาลงจนช่วงขอบขาขึ้นต่อไป



รูปที่ 3 แสดงคำสั่งให้ SHT15 พร้อมที่จะทำงาน

(2) คำสั่งให้ SHT15 ลบข้อมูลเพื่อที่พร้อมจะทำงานใหม่



รูปที่ 4 แสดงคำสั่งให้ SHT15 ลบข้อมูลเพื่อที่พร้อมจะทำงานใหม่

(3) คำสั่งวัดอุณหภูมิและความชื้น เมื่อ SHT15 พร้อมที่จะทำงานแล้วเราสามารถที่จะส่งคำสั่งวัดอุณหภูมิและความชื้นได้ โดยส่งข้อมูล 8 บิต ได้ตามตารางข้างล่าง

ตารางที่ 1 แสดงรหัสคำสั่ง 8 บิต

Command	Code	Description
Reserved	0000x	Reserved
Measure Temperature	00011	Temperature measurement
Measure Humidity	00101	Humidity measurement
Status Register Read	00111	Read access to the status register (see application note)
Status Register Write	00110	Write access to the status register (see application note)
Reserved	0101x-1110x	Reserved
Soft reset	11110	resets the chip, clears the status register to default values wait 11ms before next command

เมื่อสัญญาณ SCK clock ถึงครั้งที่ 8 SHT15 จะส่งสัญญาณ DATA จึงมีบิตเป็น 0 ในสัญญาณ SCK clock ครั้งที่ 9 จนถึงขอบขาลงของ SCK clock สัญญาณ DATA จึงมีบิตเป็น 1

(4) หลังจากเสร็จสิ้นการส่งคำสั่งแล้ว จะต้องคอย SHT 15 ทำการวัดสมบรณ์ก่อน โดยใช้เวลาประมาณ 55, 210 มิลลิวินาที ในการส่งข้อมูล 12, 14 บิต ตามลำดับ โดยเมื่อการวัดเสร็จ สมบูรณ์แล้ว SHT15 จะส่ง DATA บิต 0 มาให้คอนโทรลเลอร์รับรู้

ในการวัดอุณหภูมิและความชื้น ค่าที่อ่านจะเป็นข้อมูล 14 บิต และ 12 บิต ตามลำดับ โดยส่งข้อมูลมาทีละ 8 บิต ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องส่งข้อมูลบิต 0 ไปใน SCK clock ครั้งที่ 9 เพื่อแสดงว่าได้รับข้อมูลแล้วจากนั้น SHT15 จะส่งข้อมูลมาอีก 8 บิต และ ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องส่งข้อมูลบิต 0 ไปใน SCK clock ครั้งที่ 18 เพื่อแสดงว่าได้รับข้อมูลแล้ว

การเปลี่ยนแปลงข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นเป็นหน่วยมาตรฐาน

(1) การเปลี่ยนข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์

$$RH_{\text{linear}} = C_1 + C_2 \cdot SO_{RH} + C_3 \cdot (SO_{RH})^2$$

โดยที่

SO_{RH} เป็นค่าที่ได้จากการแปลงเลขฐานสองจากข้อมูลที่วัดได้จาก SHT15 เป็นเลขฐานสิบ

SO_{RH}	C_1	C_2	C_3
12 bit	-4	0.0405	-2.8×10^{-6}
8 bit	-4	0.648	-7.2×10^{-4}

จากสมการเป็นการวัดสัญญาณที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (77 °F) ในกรณีที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจาก 25 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อความชื้นสัมพัทธ์

$$RH_{true} = (T_C \cdot 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{linear}$$

โดยที่

SO_{RH}	t_1	t_2
12 bit	0.01	0.0405
8 bit	0.01	0.648

(2) การเปลี่ยนข้อมูลอุณหภูมิ

$$\text{Temperature} = d_1 + d_2 \cdot SO_T$$

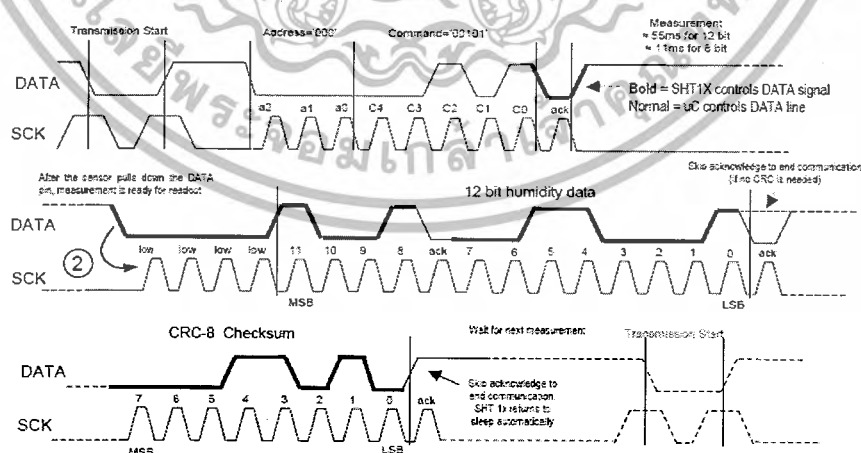
โดยที่

SO_T	d_1	d_2
14 bit	0.01	0.018
12 bit	0.04	0.072

และ

V_{dd}	d_1 (C)	d_2 (F)
5 V	-40.00	-40.00
4 V	-39.75	-39.50
3.5 V	-39.66	-39.35
3 V	-39.60	-39.28
2.5 V	-39.55	-39.23

ตัวอย่างในการวัดความชื้นสัมพัทธ์



รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างในการวัดความชื้นสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้จากการวัด “0000 1001 0011 0001” ทำเป็นเลขฐานสิบเท่ากับ 2353 แทนในสมการ

$$RH_{true} = (T_c - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{linear} \quad 75.79 \%RH$$

การเปลี่ยนข้อมูล Digital

1. การเปลี่ยนข้อมูล Digital เป็นข้อมูล Temperature

ค่าของข้อมูล Temperature มีลักษณะเป็นเชิงเส้นสามารถคำนวณได้โดยใช้สูตร

$$Temperature = d_1 + d_2 \cdot SO_T$$

เมื่อ SO_T = Serial Output Temperature

d_1, d_2 = ค่าคงที่เชิงเส้น

เช่น อ่านข้อมูล Digital ขนาด 14 Bit ได้ $SO_T = 011010 11111111B = 06911 \text{ dec}$ ที่แรงดัน 5 V.

เมื่อต้องการอ่านค่าเป็นองศา Celsius จะได้ค่า $d_1 = -40, d_2 = 0.01$

ผลการคำนวณ Temperature = 29.11 °C

2. การเปลี่ยนข้อมูล Digital เป็นข้อมูล Humidity

ค่าของข้อมูล Humidity มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น สามารถคำนวณได้ตามขั้นตอนดังนี้

คำนวณ RH-Linear โดยใช้สูตร

$$RH_{linear} = C_1 + C_2 \cdot SO_{RH} + C_3 \cdot (SO_{RH})^2$$

เมื่อ RH = Serial Output Humidity แบบ Linear และ C_1, C_2, C_3 มีค่าเป็น

$$C_1 = -4 \quad C_2 = 0.0405 \quad C_3 = -2.8 \cdot 10^{-6} \quad \text{for 12 bit } SO_{RH}$$

$$C_1 = -4 \quad C_2 = 0.648 \quad C_3 = -7.2 \cdot 10^{-6} \quad \text{for 8 bit } SO_{RH}$$

เมื่อได้ค่า RH_{linear} และ T_c (จาก 8.1) แล้ว หาค่า RH true โดยใช้สูตร

$$RH_{true} = (T_c - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{linear}$$

$$t_1 = 0.01, t_2 = 0.00008, t_2 = 0.00128 \text{ for 8 bit } SO_{RH}$$

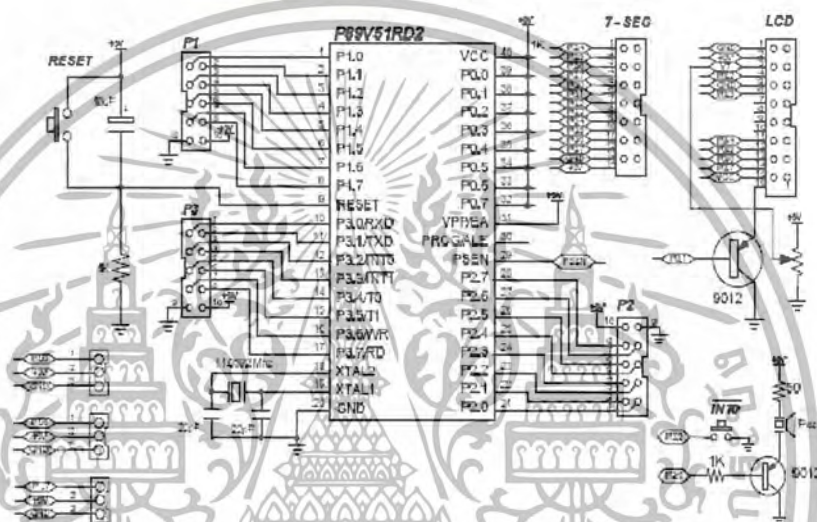
เช่น อ่านข้อมูล Digital ขนาด 12 bit ได้ RH-linear = 0110 11111111B = 1791 dec

ที่แรงดัน 5 V. อ่านค่า $T_c = 29.11C$ (จาก 3.3.1) เมื่อต้องการหาค่า Humidity จะได้ค่า $C_1 = -4,$

$$C_2 = 0.0405, C_3 = -0.0000028$$

ผลการคำนวณ Humidity = 60.18 %

บอร์ดรับส่งค่าอุณหภูมิผ่านพอร์ตอนุกรมเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 6 แสดงวงจรภายในของบอร์ดรับส่งค่าอุณหภูมิผ่านพอร์ตอนุกรมเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์

เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ที่ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามที่เราได้เขียนโปรแกรมควบคุม ซึ่งเราจะใช้บอร์ด P89V51RD2 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ของบอร์ดนี้ซึ่งมีราคาถูกและสามารถใช้งานได้ดี ไม่มีปัญหาในการโปรแกรมสามารถขยายต่อได้ง่าย มีคุณสมบัติดังนี้

- ใช้ไฟฟ้าแรงดัน 5 โวลต์กระแสตรง
- Serial Port เป็นพอร์ตอนุกรมของบอร์ด สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่มี serial port ได้เลย
- ISP-Program เป็นพอร์ตสำหรับการโปรแกรมไฟล์ hex ลงบนตัวไมโครคอนโทรลเลอร์
- Reset เป็นสวิทช์รีเซ็ตการทำงานของบอร์ด
- Port1-3 เป็นพอร์ตใช้งานทั่วไป เอาไว้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ
- Relay เป็นพอร์ตสำหรับเชื่อมต่อขับ relay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุม

ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วนคือ

1. ตัวตรวจจับ มีหน้าที่วัดสิ่งที่ต้องการจะควบคุม เช่น อุณหภูมิ, ความดัน และความชื้น เป็นต้น โดยจะส่งผลที่วัดได้นั้นให้กับตัวควบคุม
2. ตัวควบคุม มีหน้าที่รับผลของการวัดจากตัวตรวจจับ ปรับปรุงผลให้เหมาะสม จากนั้นจึงส่งต่อไปยังตัวถูกควบคุม
3. ตัวถูกควบคุม มีหน้าที่รับผลจากตัวควบคุมแล้วทำงานตามผลที่ได้รับมา ตัวอย่างของตัวถูกควบคุม เช่น Valve Actuator, Damper Actuator Relay และมอเตอร์ เป็นต้น
4. แหล่งจ่ายพลังงาน มีหน้าที่ส่งพลังงานให้แก่ตัวตรวจจับ ตัวควบคุมและตัวถูกควบคุม พลังงานที่ใช้ในการควบคุม ได้แก่ ความร้อน, ไฟฟ้า, อากาศที่มีความดันสูง และของเหลวที่มีความดันสูง เป็นต้น

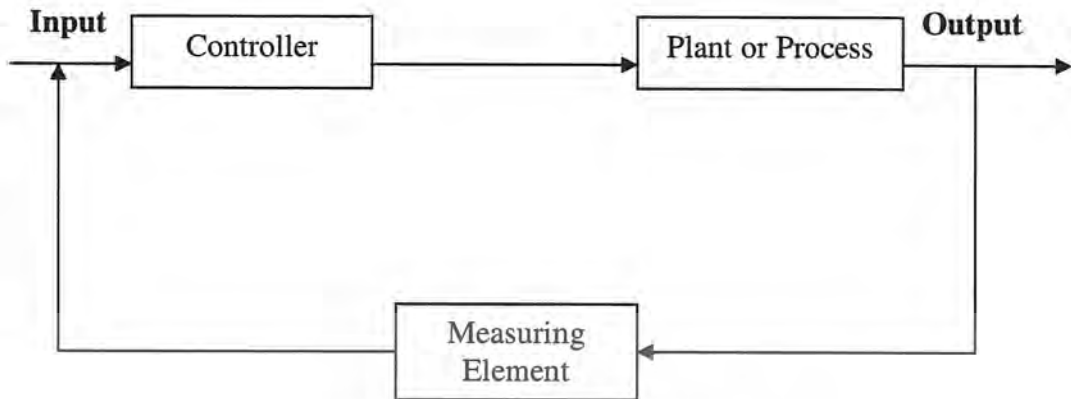
ชนิดของระบบควบคุม

ระบบควบคุมแบบ Open-loop เป็นระบบควบคุมที่เอาต์พุทของระบบจะไม่มีผลต่อการควบคุมเลย นั่นคือ ในกรณีของระบบควบคุมแบบ open-loop นั้น เอาต์พุทของระบบจะไม่ถูกป้อนกลับเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับอินพุท แสดงดังรูปที่ 3.6 เป็น Block Diagram ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุทกับเอาต์พุทของระบบควบคุมแบบ Open-loop



รูปที่ 7 แสดงระบบควบคุมแบบ Open-loop

ระบบควบคุมแบบ Close-loop เป็นระบบควบคุมที่เอาต์พุทจะมีผลโดยตรงต่อการควบคุม ดังนั้นระบบควบคุมแบบ Close-loop ก็คือระบบควบคุมแบบป้อนกลับนั่นเอง โดยสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน (Actuating Error Signal) ซึ่งเป็นสัญญาณความแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุทกับสัญญาณเอาต์พุทที่ป้อนกลับ (Feedback Signal) จะถูกป้อนให้กับตัวควบคุม (Controller) เพื่อที่จะลดค่าความคลาดเคลื่อนให้น้อยลง และทำให้เอาต์พุทของระบบมีค่าตามที่ต้องการ สัญญาณป้อนกลับนี้อาจเป็นสัญญาณเอาต์พุทโดยตรง หรือเป็นสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันหรือเป็นค่าอนุพันธ์ของสัญญาณเอาต์พุทก็ได้ แสดงดังรูปที่ 3-7 เป็น Block Diagram ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุทและเอาต์พุทของระบบควบคุมแบบ Close-loop



รูปที่ 8 แสดงระบบควบคุมแบบ Close-loop

วงจรควบคุมการเปิดปิดของโซลินอยด์วาล์ว



รูปที่ 9 แสดงวงจรควบคุมการเปิดปิดของโซลินอยด์วาล์ว

หลักการทำงาน

- (1) ถ้า P3.4 ส่งสัญญาณลอจิก “0” ออกมาจะทำให้หลอดLED ไม่มีกระแสไฟผ่านและสวิทช์ของ Relay จะอยู่ที่ Nc ทำให้ไม่มีกระแสเข้าโซลินอยด์วาล์วทำให้โซลินอยด์วาล์วอยู่ในตำแหน่งปิด
- (2) ถ้า P3.4 ส่งสัญญาณลอจิก “1” ออกมาจะทำให้หลอดLED มีกระแสไฟผ่านทำให้มีไฟติดและสวิทช์ของ Relay จะสับไปอยู่ที่ No ทำให้มีกระแสเข้าโซลินอยด์วาล์วทำให้โซลินอยด์วาล์วอยู่ในตำแหน่งเปิด

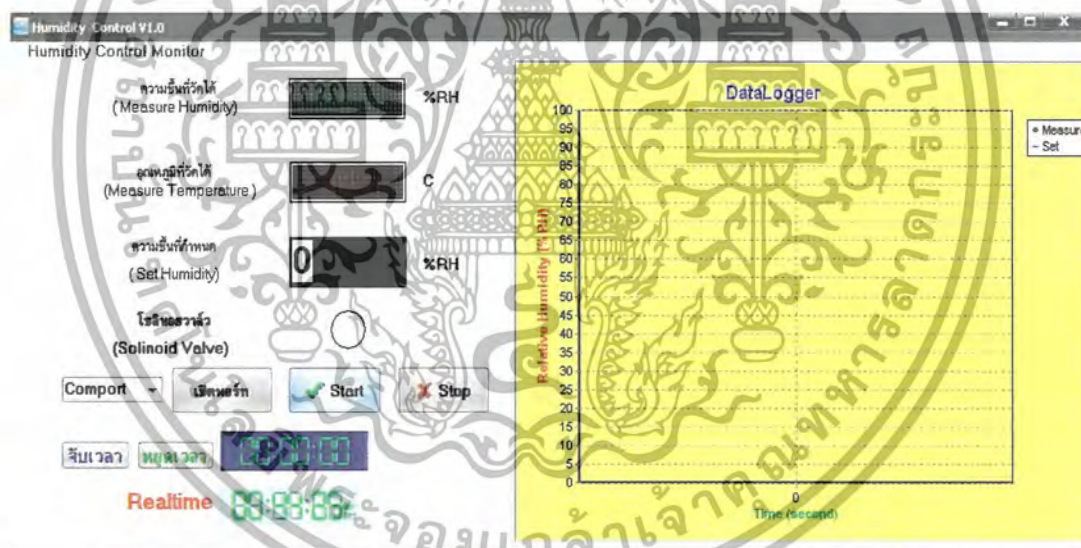
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่ใช้ในการแสดงค่าความชื้นและควบคุมกระบวนการ

โปรแกรมควบคุมการทำงาน

ผู้วิจัยเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการวัดค่าความชื้นและควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว ผ่านทางโปรแกรมบอร์แลนด์เดลฟีย์ (Borland Delphi) โดยติดต่อชุดเซ็นเซอร์กับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งทำงานโดยการประมวลผลแล้วส่งค่าไปยังพอร์ตอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยจุดประสงค์หลักของโปรแกรมคือการรับค่าอุณหภูมิจากเซ็นเซอร์วัดความชื้น (SHT15) ที่ต้องการทราบแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดไว้เพื่อใช้ในการสั่งเปิดปิดโซลินอยด์วาล์ว

โปรแกรมที่ใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิและควบคุมการทำงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนแสดงค่าอุณหภูมิและความชื้น, ส่วนควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว, ส่วนแสดงเวลาที่ใช้ในการทำงานและส่วนเก็บค่าข้อมูลแสดงเป็นกราฟ มีรายละเอียดดังนี้



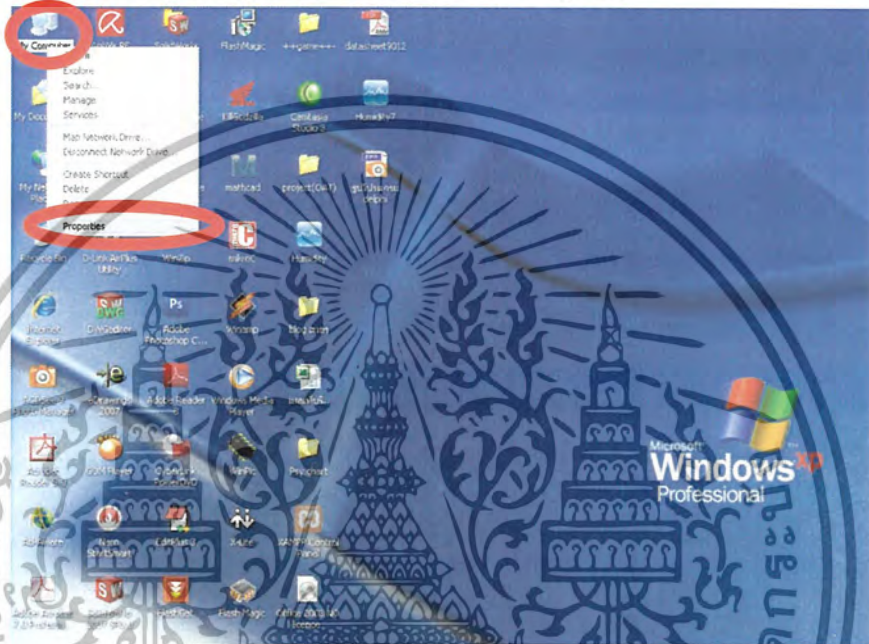
รูปที่ 1 แสดงโปรแกรมควบคุมการทำงาน

ขั้นตอนในการเริ่มใช้งาน

โปรแกรมจะเริ่มทำงานได้นั้นมีขั้นตอนดังนี้

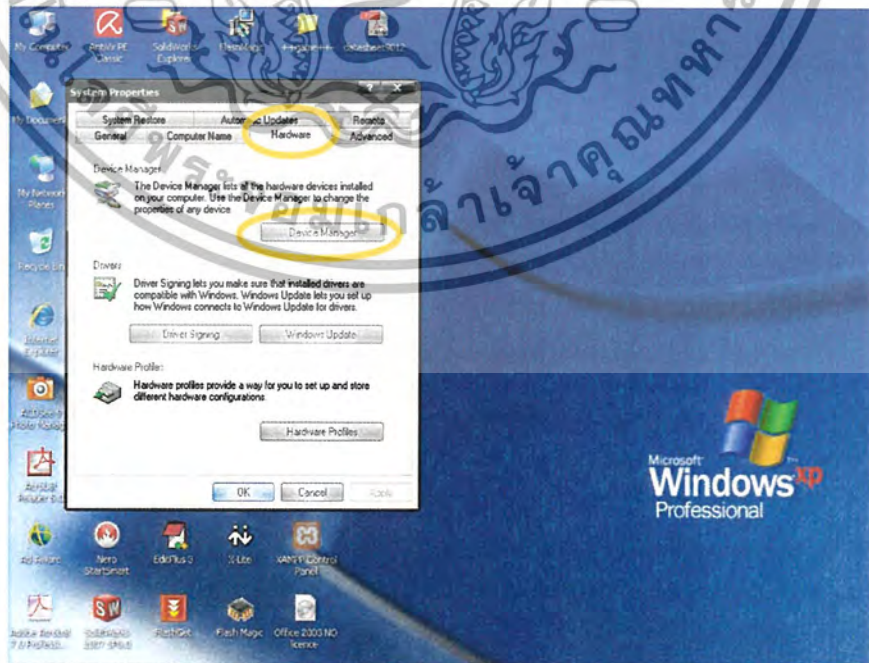
1. เลือกพอร์ต (Port) ของ serial port ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ท่านใช้งานซึ่งมีวิธีการดูว่าคอมพิวเตอร์ใช้ Comport หมายเลขอะไรนั้นทำได้ดังนี้ (สำหรับโน้ตบุ๊กให้หาหัวแปลง serial port ไปเป็น USB มาเชื่อมต่อแล้วลง driver ของ serial port ให้เรียบร้อย)

- คลิกขวาที่ไอคอน My Computer จากนั้นเลือกไปยัง Properties



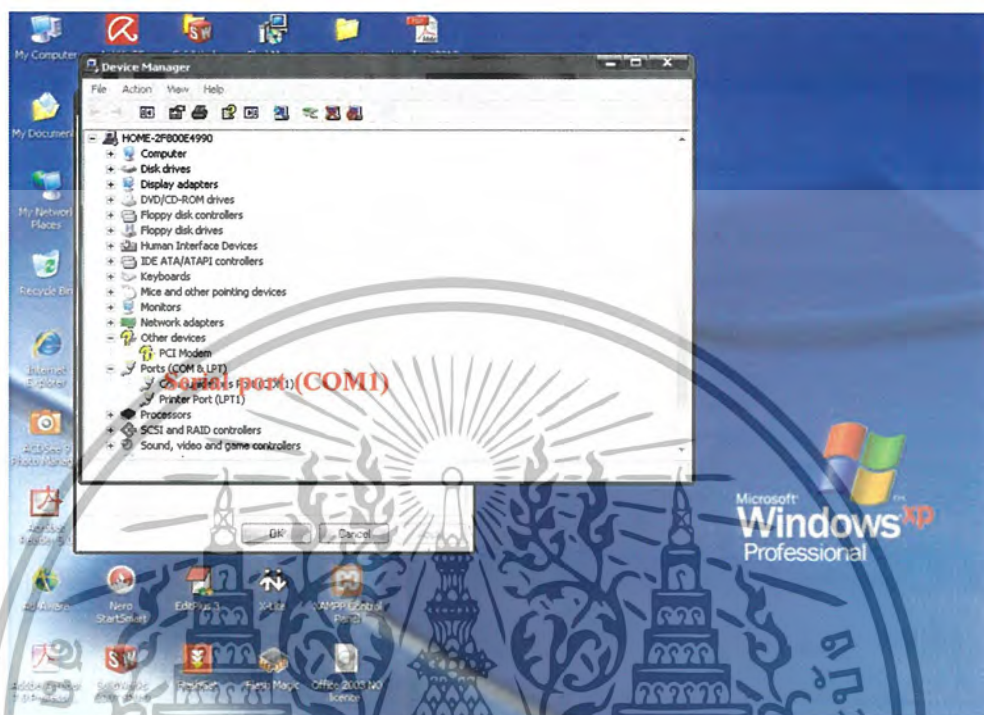
รูปที่ 2 แสดงขั้นตอนการเลือกคอมพอร์ต ขั้นตอนที่ 1

- เลือกแท็บ Hardware จากนั้นคลิกซ้ายที่แท็บ Device Manager



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3 แสดงขั้นตอนการเลือกคัมพอร์ต ขั้นตอนที่ 2 ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เลือกที่ Ports (COM&LPT) จะสังเกตเห็น Serial Port (COM...) ในที่นี้เป็น COM1 แสดงว่าท่านต้องเลือก Comport ให้ตรงกัน



รูปที่ 4 แสดงขั้นตอนการเลือกคอมพอร์ท ขั้นตอนที่ 3

เมื่อกด

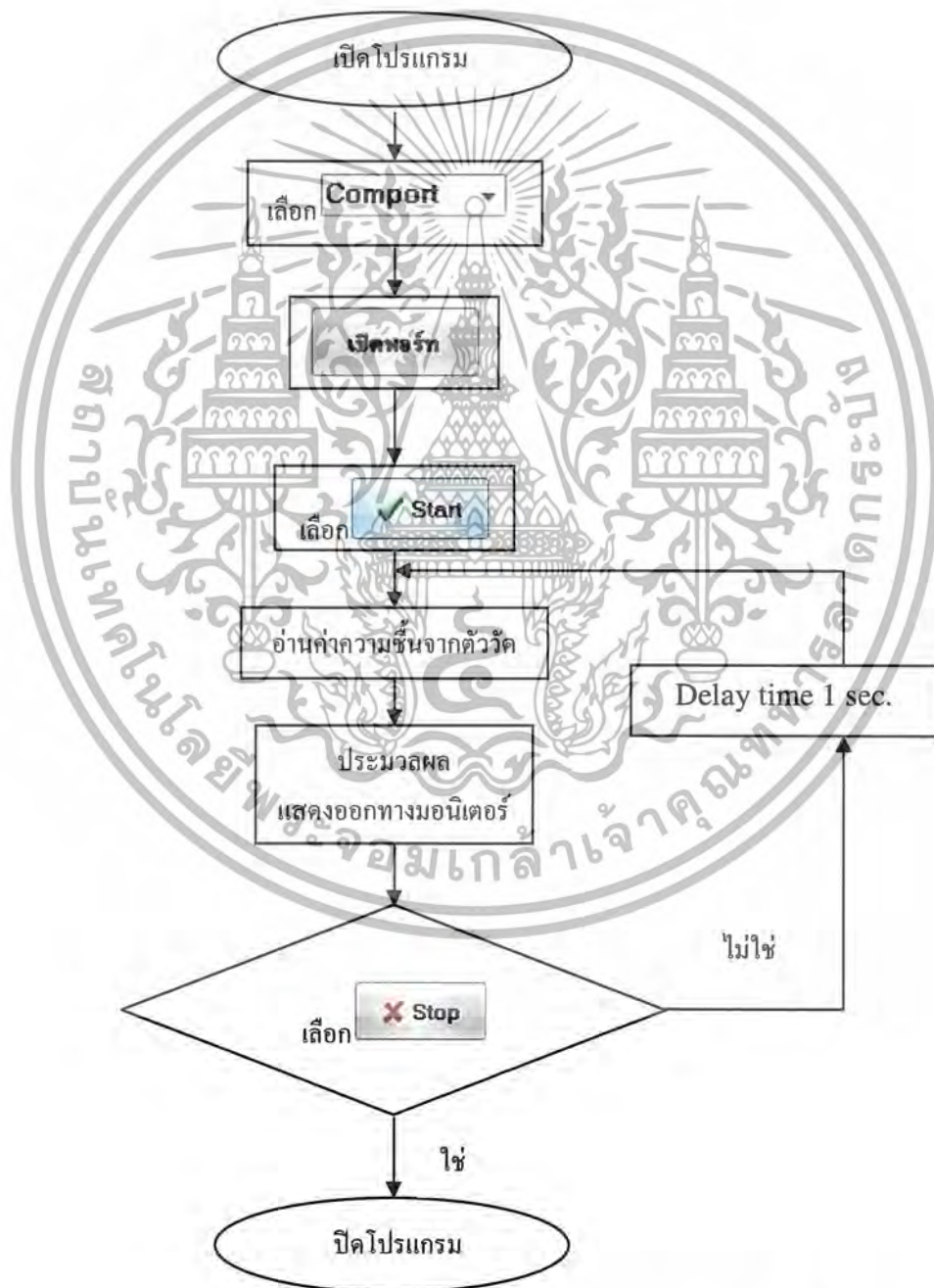
- เมื่อทำการเลือก Comport แล้ว จากนั้นให้คลิกที่ปุ่ม คอมพิวเตอร์ของท่านก็จะสามารถรับส่งข้อมูลได้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนแสดงค่าอุณหภูมิและความชื้น

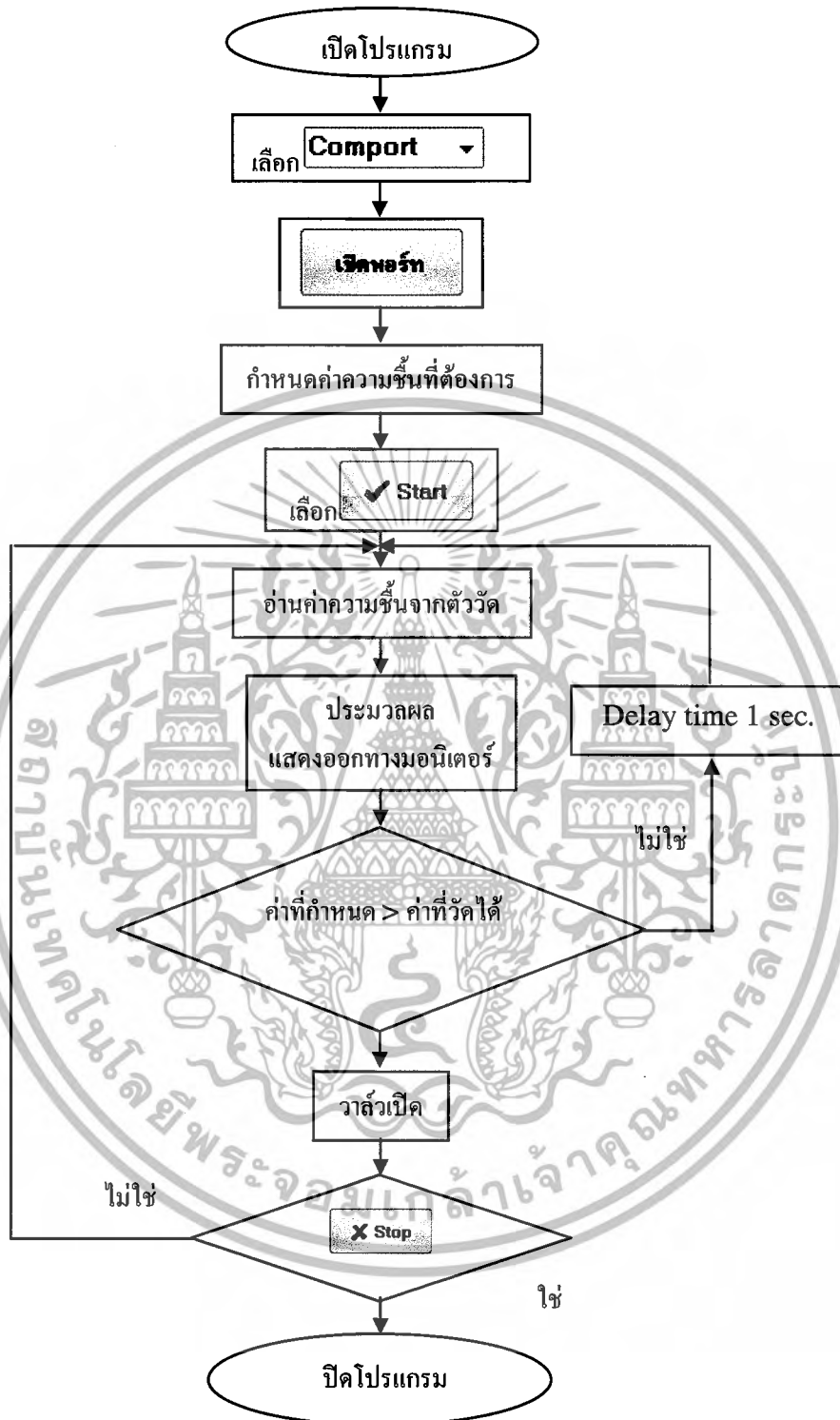
- ความชื้นที่วัดได้ : วัดความชื้นของอากาศก่อนเข้าฮีเวปโพเรเตอร์
- อุณหภูมิที่วัดได้ : วัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศก่อนเข้าฮีเวปโพเรเตอร์

จะสามารถอ่านค่าและแสดงผลของความชื้นสัมพัทธ์ได้เมื่อทำการคลิกที่ปุ่ม  และหยุดการทำงานเมื่อคลิกที่ปุ่ม 



รูปที่ 5 แสดง Flow Chart การทำงานการอ่านค่าความชื้น


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

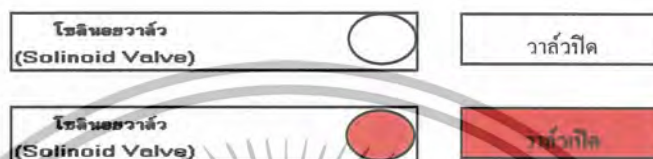


รูปที่ 6 แสดง Flow Chart การทำงานการควบคุมโซลินอยด์วาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว

- ใส่ค่าความชื้นที่ต้องการควบคุมไว้ใน (Set Humidity) ความชื้นที่กำหนด **0** %RH
- ดูสถานะของโซลินอยด์วาล์วได้ที่ โซลินอยด์วาล์ว (Solinooid Valve) 



รูปที่ 7 แสดงการสังเกตสถานะของโซลินอยด์วาล์ว

ส่วนแสดงเวลาที่ใช้ในการทดลอง

- เลือก **จับเวลา** เมื่อต้องการจับเวลาในการทดลองเพื่อการบันทึกผล
- เลือก **หยุดเวลา** เมื่อต้องการหยุดการจับเวลา
- **Realtime** **00:00:00** จะแสดงเวลาจริงที่ทำการทดลองในขณะนั้น

รูปที่ 8 แสดงส่วนแสดงเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนแสดงกราฟระหว่างเวลากับค่าความชื้นที่วัดได้และค่าความชื้นที่กำหนด

- เส้นสีแดง : ความชื้นที่วัดได้
- เส้นสีเขียว : ความชื้นที่กำหนด
- แกนนอน : เวลา หน่วยเป็น วินาที
- แกนตั้ง : ความชื้นสัมพัทธ์ หน่วยเป็น %

จะทำการบันทึกค่าลงในกราฟทุก ๆ 1 วินาที



รูปที่ 9 แสดงส่วนบันทึกข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง (Source Code)

```

#include "reg52.h"
#include "absacc.h"
#include "Function.c"
#include "LCD.c"

sbit DAT = P3^2;
sbit SCK = P3^3;
sbit Solinoid = P3^4;

float Humidity,Temp,TempC,Humi,RH25C;
unsigned char Step = 0,Level = 0,Load;
bit RFlag= 0,Flag=0;

void SHT15_Write(unsigned char Value)
{
  unsigned char i;
  for(i=0;i<8;i++)
  { if((Value & 0x80)==0x80){ DAT = 1;}
    else { DAT = 0;}
    SCK = 1; Wait(10);
    SCK = 0; Wait(10);
    Value = Value << 1;
  }
  DAT = 1;
  SCK = 1;Wait(10);
  SCK = 0;Wait(10);
}

/***** reads a byte form the I2C-bus and gives an acknowledge in case of "ack=1" *****/
unsigned char SHT15_Read(unsigned char Ack)
{
  unsigned char i,Value=0;
  DAT = 1;

```

การเรียกใช้ฟังก์ชันต่าง ๆ มาใช้งาน

การเซตค่าบิต ให้ส่งค่าที่ตำแหน่งต่าง ๆ เช่น ให้ส่งค่า DATA ที่พอร์ตที่ 3 ขาที่ 2 เป็นต้น

เซตค่าต่าง ๆ ว่าให้เก็บค่าแบบไหน ในที่นี้กำหนดให้เก็บค่าเป็นเลขทศนิยม

//เซตค่าบิตเริ่มต้นการทำงานของ RFlag และ Flag ให้เท่ากับ 0

//เป็นฟังก์ชันสั่งให้ SHT15 ทำงาน

//กำหนดค่า i ขึ้นมา

//ค่า i มีทั้งหมด 8 บิต

//จำลองค่าเพื่อcheckว่าให้อ่านอุณหภูมิหรือความชื้น

ให้ Check ว่าจบคำสั่งก่อนหน้าแล้วหรือยัง อาจมีกรณีที่ส่งค่าต่อ ๆ กันมา

บอกว่าพร้อมที่จะทำคำสั่งต่อมา โดยการเซต clock ไว้ 9 ลูก

// กำหนดค่าตัวแปรเริ่มต้น

// กำหนดค่าตัวแปรเริ่มต้น

```
for(i=0;i<8;i++)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{ Value = Value << 1;          //นำค่า value จากคำสั่ง write มาหาค่า value ใหม่
  SCK=1; Wait(10);           //check ว่า SCKเท่ากับ 1 หรือไม่ แล้วรอ 10 ms
  if(DAT == 1){Value = Value + 1;} // check ว่า DATAเท่ากับ 1 หรือไม่ ถ้า=1 ให้หาvalueใหม่
  SCK=0; Wait(10);          //ถ้า SCK=0 ให้รอ 10 ms
}

```

```

DAT = Ack; Wait(10);
SCK = 1;  Wait(10);
SCK = 0;  Wait(10);
DAT = 1;

```

จะติดค่า DATA เมื่อ SCK เป็น 1 เท่านั้น

```

return Value;
}

```

//แสดงค่า value ที่ได้ออกมา

/***** generates a transmission start *****/

void SHT15_Start(void) //ฟังก์ชันส่งค่าให้ SHT15 เริ่มทำงานหลังจากทำการresetแล้ว

```

{
  DAT = 1; SCK = 0; Wait(10);
  SCK = 1; Wait(10);
  DAT = 0; Wait(10);
  SCK = 0; Wait(10);
  SCK = 1; Wait(10);
  DAT = 1; Wait(10);
  SCK = 0; Wait(10);
}

```

เริ่มส่งค่าต่างๆ เหล่านี้เข้าไป ให้ SHT15

/** communication reset: DATA-line=1 and at least 9 SCK cycles followed by transstart ***/

void SHT15_Reset(void) //เป็นฟังก์ชันในการ reset ค่าต่าง ๆ ที่ค้างอยู่ก่อนจึงเริ่ม start

```

{unsigned char i;
  DAT = 1;
  SCK = 0;          //Initial state
  for(i=0;i<9;i++) //9 SCK cycles
  { SCK=1;Wait(10);
    SCK=0;Wait(10);
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
SHT15_Start();
}
/**** makes a measurement (humidity/temperature) without checksum ****/

unsigned int SHT15_Command(unsigned char Mode)//ฟังก์ชันสั่งงานให้กับSHT15ว่าให้ทำอะไร
{
    unsigned error=0;           //กำหนดตัวแปรเริ่มต้น ให้ error = 0
    unsigned int i,Value;

    SHT15_Start();           //สั่งให้ฟังก์ชัน SHT15_Start ที่สร้างไว้ก่อนหน้านี้เริ่มทำงาน
    if(Mode==1){SHT15_Write(0x03);} //ถ้าเขียนที่ 03 ให้ทำงานที่โหมดที่1คือการอ่านค่าอุณหภูมิ
    if(Mode==2){SHT15_Write(0x05);} //ถ้าเขียนที่ 05 ให้ทำงานที่โหมดที่2คือการอ่านค่าความชื้น
    DAT = 1;
    for (i=0;i<100;i++)
    { if(DAT==0){i = 101;}
      Delay(10);
    }
    Value = SHT15_Read(0); //อ่านข้อมูลที่ได้มาเก็บไว้ในค่า value
    Value = (Value << 8) + SHT15_Read(1); //เก็บค่า value 8 bit
    return(Value); //แสดงค่า value ที่อ่านได้
}

void Show_Temp(float Temp,unsigned char x,unsigned char y)//ฟังก์ชันแสดงอุณหภูมิ
{
    Goto_XY(x,y);           //อ้างอิงตัวแปร x กับ y
    CountToLCD(Temp*100); //ให้แสดงใน LCD
    Wr_Char(BufDisp[3]); //แสดงข้อมูลที่เก็บไว้ใน BufDisp ตำแหน่งที่ 3
    Wr_Char(BufDisp[2]); //แสดงข้อมูลที่เก็บไว้ใน BufDisp ตำแหน่งที่ 2
    Wr_Char('.'); //แสดงจุดทศนิยม
    Wr_Char(BufDisp[1]); //แสดงข้อมูลที่เก็บไว้ใน BufDisp ตำแหน่งที่ 1
    Wr_Char(BufDisp[0]); //แสดงข้อมูลที่เก็บไว้ใน BufDisp ตำแหน่งที่ 0
}

```

กระบวนการนี้ทำเพื่อรอให้ SHT15 อ่านค่าเสร็จ
ก่อนแล้วจึงทำขั้นตอนถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void Show_Humidity(float Humid,unsigned char x,unsigned char y)//ฟังก์ชันแสดงค่าความชื้น
{
    Goto_XY(x,y);           //อ้างอิงตัวแปร x กับ y
    CountToLCD(Humid*100); //ให้แสดงใน LCD
    Wr_Char(BufDisp[3]);    //แสดงข้อมูลที่เก็บไว้ใน BufDisp ตำแหน่งที่ 3
    Wr_Char(BufDisp[2]);    //แสดงข้อมูลที่เก็บไว้ใน BufDisp ตำแหน่งที่ 2
    Wr_Char('.');           //แสดงจุดทศนิยม
    Wr_Char(BufDisp[1]);    //แสดงข้อมูลที่เก็บไว้ใน BufDisp ตำแหน่งที่ 1
    Wr_Char(BufDisp[0]);    //แสดงข้อมูลที่เก็บไว้ใน BufDisp ตำแหน่งที่ 0
}

//----- Serial Port -----//
void Serial_Int(void) interrupt 4 //เซตค่าเฉพาะของ serial port
{ unsigned char Ch;
  if(RI==1)
  { Ch = Rx_Byte();
    if(Level==0)
    { if(Ch == ':'){Level = 1;}else
      if(Ch == '>'){Level = 3;}
      }else
    if(Level==1)
    { if(Ch == 'R'){Level = 2;}
      else {Level = 0;}
    }else
    if(Level==2)
    { Level = 0;
      if(Ch == 13 ){Flag = 1;}
    }else
    if(Level==3)
    { if(Ch == 'S'){Level = 4;}
      else {Level = 0;}
    }else
    if(Level==4)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    { Level = 5;
      Load = Ch;
    }else
    if(Level==5)
    { Level = 0;
      if(Ch == 13 ){RFlag = 1;}
    }//else{Level = 0;}
  }
}
//-----//
//----- *** Main Program *** -----//
//-----//
void main() //ฟังก์ชันนี้จะไม่มีคำสั่งกลับไปให้ฟังก์ชันใดๆอีก
{ Sound();
  Light = 1;
  Init_LCD(); //เซตค่าเริ่มต้นของLCD
  Init_Serial(96); //เซตค่า bit rate = 9600 bits/sec
  Wr_String("Temp = ",1); //แสดงค่าในโหมด 1 ในที่นี้คืออุณหภูมินั่นเอง
  Wr_String("Humidity = ",2); //แสดงค่าในโหมด 2 ในที่นี้คือความชื้นนั่นเอง
  Level = 0;
  while(1)
  {
    SHT15_Reset(); //สั่งให้ SHT15ทำการ reset ค่าต่าง ๆ ก่อน
    Temp = SHT15_Command(1); //สั่งให้อ่านค่าของโหมด 1(อุณหภูมิ)

    SHT15_Reset(); //สั่งให้ SHT15ทำการ reset ค่าต่าง ๆ ก่อน
    Humidity = SHT15_Command(2); //สั่งให้อ่านค่าของโหมด 2 (ความชื้น)

    TempC = (0.01*Temp) - 40.0; //ทำการประมวลผลโดยการแปลงเลขฐานสองเป็นเลขฐานสิบ
    Show_Temp(TempC,1,12);

    RH25C = -4.0 +(0.0405*Humidity)-(0.0000028*Humidity*Humidity);
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Humi = (TempC - 25.0)*(0.01+0.00008*Humidity)+RH25C;
```

```
Show_Humidity(Humi,2,12);
```

```

    if(Flag == 1) //ถ้าเงื่อนไขด้านล่างนี้เป็นจริง เซตค่า Flag=1 ถ้าไม่เป็นจริง Flag=0
    {
        Tx_Byte(':');
        CountToLCD(Humi*100);

        Tx_Byte(BufDisp[3]);
        Tx_Byte(BufDisp[2]);
        Tx_Byte('.');
        Tx_Byte(BufDisp[1]);
        Tx_Byte(BufDisp[0]);
        Tx_Byte(',');
        CountToLCD(TempC*100);
        Tx_Byte(BufDisp[3]);
        Tx_Byte(BufDisp[2]);
        Tx_Byte('.');
        Tx_Byte(BufDisp[1]);
        Tx_Byte(BufDisp[0]);
        Tx_Byte(13);
        Flag = 0;
    }

    if(RFlag == 1) //ถ้า Flag=1 จะทำการcheck ค่า load ต่อ
    {if(Load=='1'){Solinoind = 0;} //ถ้าcheckค่าload=1ให้ส่งลอจิก 0 ไปยังโซลินอยด์แล้ว
    if(Load=='0'){Solinoind = 1;} //ถ้าcheckค่าload=0ให้ส่งลอจิก 1 ไปยังโซลินอยด์แล้ว

        Tx_Byte('O');Tx_Byte('K');Tx_Byte(13);
        RFlag = 0;
    }
}
}

```

BORLAND Delphi7

โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง (Source Code)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

unit Huminity1;

interface

uses

  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, VrFormShape, VaClasses, VaComm, StdCtrls, VrEdit, VrControls,
  VrMatrix, XPMAn, Buttons, ExtCtrls, ComCtrls, VrLcd, TeeProcs, TeEngine,
  Chart, Series;

type

TForm1 = class(TForm)
  XPMManifest1: TXPMManifest;
  VaComm1: TVaComm;
  GroupBox1: TGroupBox;
  VrMatrix2: TVrMatrix;
  Shape1: TShape;
  VrStrEdit1: TVrStrEdit;
  VrMatrix1: TVrMatrix;
  Label1: TLabel;
  Label2: TLabel;
  Label3: TLabel;
  Label4: TLabel;
  Label5: TLabel;
  Label6: TLabel;
  Label7: TLabel;
  Label8: TLabel;
  ComboBox1: TComboBox;
  SpeedButton3: TSpeedButton;
  BitBtn1: TBitBtn;
  BitBtn2: TBitBtn;
  Timer1: TTimer;
  Label9: TLabel;
  StatusBar1: TStatusBar;
  Label10: TLabel;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Label11: TLabel;
VrClock1: TVrClock;
SpeedButton1: TSpeedButton;
SpeedButton2: TSpeedButton;
VrClock2: TVrClock;
Label12: TLabel;
Chart1: TChart;
Series1: TLineSeries;
Series2: TLineSeries;
procedure ComboBox1Change(Sender: TObject);
procedure SpeedButton3Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
procedure VaComm1RxChar(Sender: TObject; Count: Integer);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure SpeedButton1Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton2Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
//ฟังก์ชันก่อนหน้าโปรแกรมจะเรียกมาให้เมื่อใช้งาน
var
  //กำหนดตัวแปรและรูปแบบของตัวแปรนั้นๆ
  Form1: TForm1;
  Buf : String;
  Count : Integer;
  Step,Index : Integer;
  Measured1,Set1 : Array[1..1000]of String;
implementation

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{$R *.dfm}
```

```

procedure TForm1.ComboBox1Change(Sender: TObject);           //ช่องเลือกComport
begin
VaComm1.Close;
VaComm1.PortNum := ComboBox1.ItemIndex + 1;
end;

procedure TForm1.SpeedButton3Click(Sender: TObject);       //สร้างปุ่ม "เปิดพอร์ต"
begin
VaComm1.Open;
StatusBar1.Panels[0].Text := ' Open Port ';
end;

procedure TForm1.BitBtn2Click(Sender: TObject);           //สร้างปุ่ม "start"
begin
Timer1.Enabled := True;                                   //timer1 เริ่มทำงานเมื่อกด start
StatusBar1.Panels[1].Text := ' Start ';
end;

procedure TForm1.BitBtn1Click(Sender: TObject);
begin
Timer1.Enabled := False;                                  //timer1 หยุดทำงานเมื่อกด stop
StatusBar1.Panels[1].Text := ' Stop ';
end;

procedure TForm1.Timer1Timer(Sender: TObject);
begin
VaComm1.ReadText;                                         //เมื่อtimer1เริ่มทำงานให้อ่านค่าความขึ้นมา
VaComm1.WriteText(':R'+#13);                               //แสดงค่าความขึ้นที่อ่านได้
end;
Index := 0;                                               //กำหนดค่าเริ่มต้น

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Step := Step+1;           //กำหนดค่าเริ่มต้นการนับ
Measured1[Step] := VrMatrix1.Text; //นำค่าที่อ่านได้ไปเก็บไว้เป็นค่าใหม่
Set1[Step] := VrStrEdit1.Text; //นำค่าที่กำหนดไปเก็บไว้เป็นค่าใหม่
Chart1.Series[0].Add(StrToFloat(Measured1[Step]),IntToStr(Step)); //นำค่าใหม่ที่ได้อ่านไปพล็อตใน
กราฟแสดงไว้ที่เส้นseries 0 (เส้นแรก)
Chart1.Series[1].Add(StrToFloat(Set1[Step]),IntToStr(Step)); //นำค่าใหม่ที่ได้อ่านไปพล็อตในกราฟ
แสดงไว้ที่เส้นseries 1 (เส้นที่สอง)
End;

```

```
end;
```

```

procedure TForm1.VaComm1RxChar(Sender: TObject; Count: Integer); //ฟังก์ชันรับค่าจาก
ภายนอก

```

```

Var St : String; //ประกาศตัวแปรต่างๆ

```

```

    Size : Integer;

```

```

    Humidity : real;

```

```

Begin //เริ่มทำการรับค่า

```

```

St := VaComm1.Readtext;

```

```

Buf := Buf + St;

```

```

Size := length(Buf);

```

```

if(Buf[Size] = #13) Then

```

```

    Begin

```

```

        if(Buf[1] = ':')And(Buf[13] = #13)Then

```

```

            Begin

```

```

                VrMatrix1.Text := Copy(Buf,2,5); //แสดงค่าความชื้น

```

```

                VrMatrix2.Text := Copy(Buf,8,5); //แสดงค่าอุณหภูมิ

```

```

                Humidity := StrToFloat(Copy(Buf,2,5));

```

```

                if(VrStrEdit1.Text <> "") then

```

```

                    begin

```

```

                        if Humidity < StrToFloat(VrStrEdit1.Text) Then //ถ้าความชื้นที่วัดได้<ที่กำหนด

```

```

                            Begin VaComm1.Writetext('>S1'+#13); //ให้ส่งค่าออกไปยังmicrocontroller

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Shape1.Brush.Color := Clred; //แสดงวงกลมเป็นสีแดง
End else
Begin //ถ้าความชื้นที่วัดได้>ที่กำหนด
VaComm1.WriteText('>S0'+#13);
Shape1.Brush.Color := clBlack; //แสดงวงกลมเป็นสีดำ
End;
End;
End;
Buf := "";
End;
end;
procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
Index := 0; //กำหนดให้ตัวแปรมีค่าเริ่มต้น
Step := 0;
Buf := "";
StatusBar1.Panels[0].Text := ' Close Port '; //เมื่อเริ่ม โปรแกรมให้ port ปิด
StatusBar1.Panels[1].Text := ' Stop ';
VrClock2.Active := True; //เมื่อเริ่ม โปรแกรมให้แสดงเวลาจริง
end;
procedure TForm1.SpeedButton1Click(Sender: TObject);
begin
VrClock1.Active := True; //เมื่อกดปุ่มนี้ให้เริ่มจับเวลา
end;
procedure TForm1.SpeedButton2Click(Sender: TObject);
begin
VrClock1.Active := False; //เมื่อกดปุ่มนี้ให้หยุดการจับเวลา
end;
end.

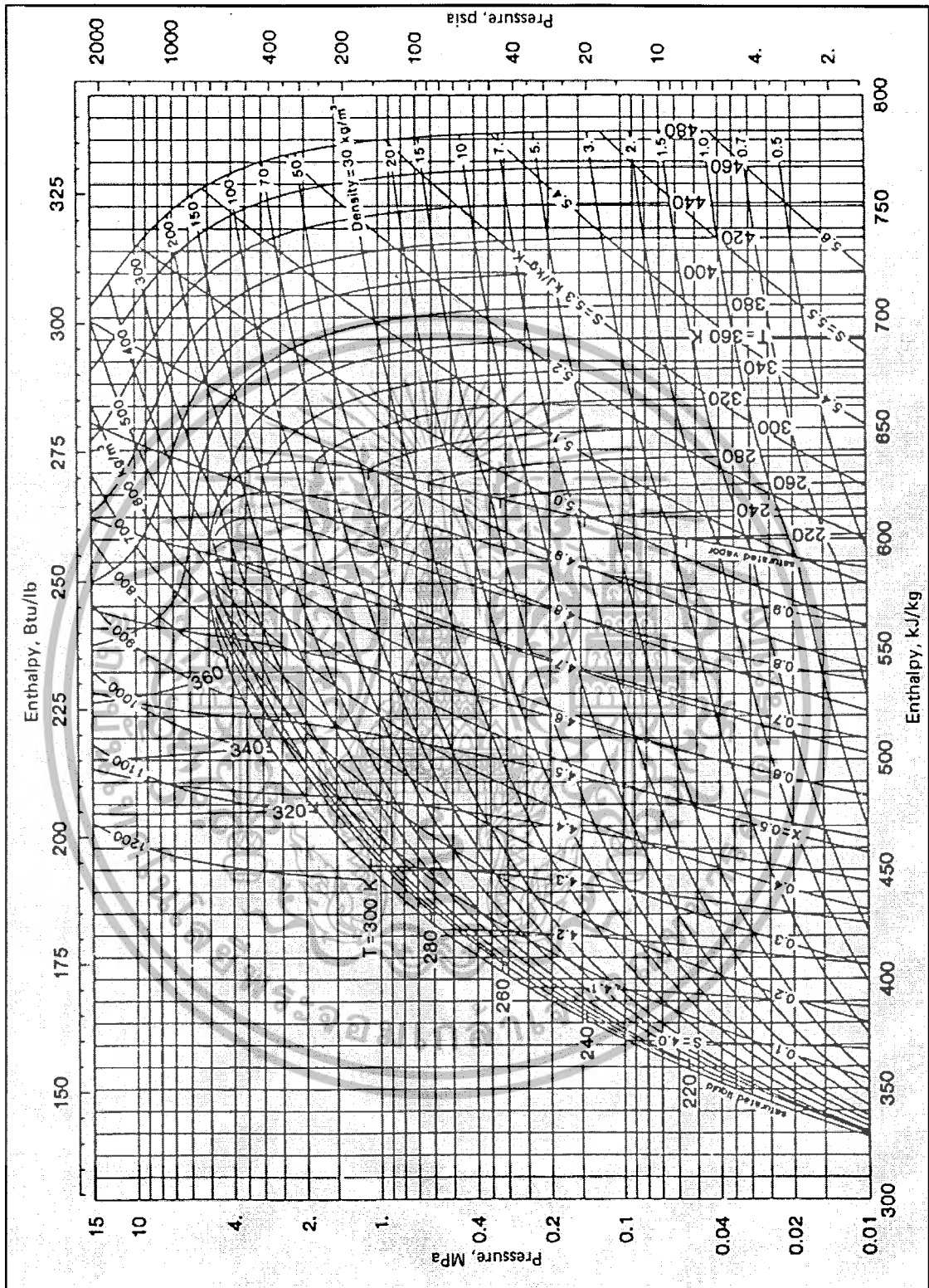
```



ภาคผนวก ข

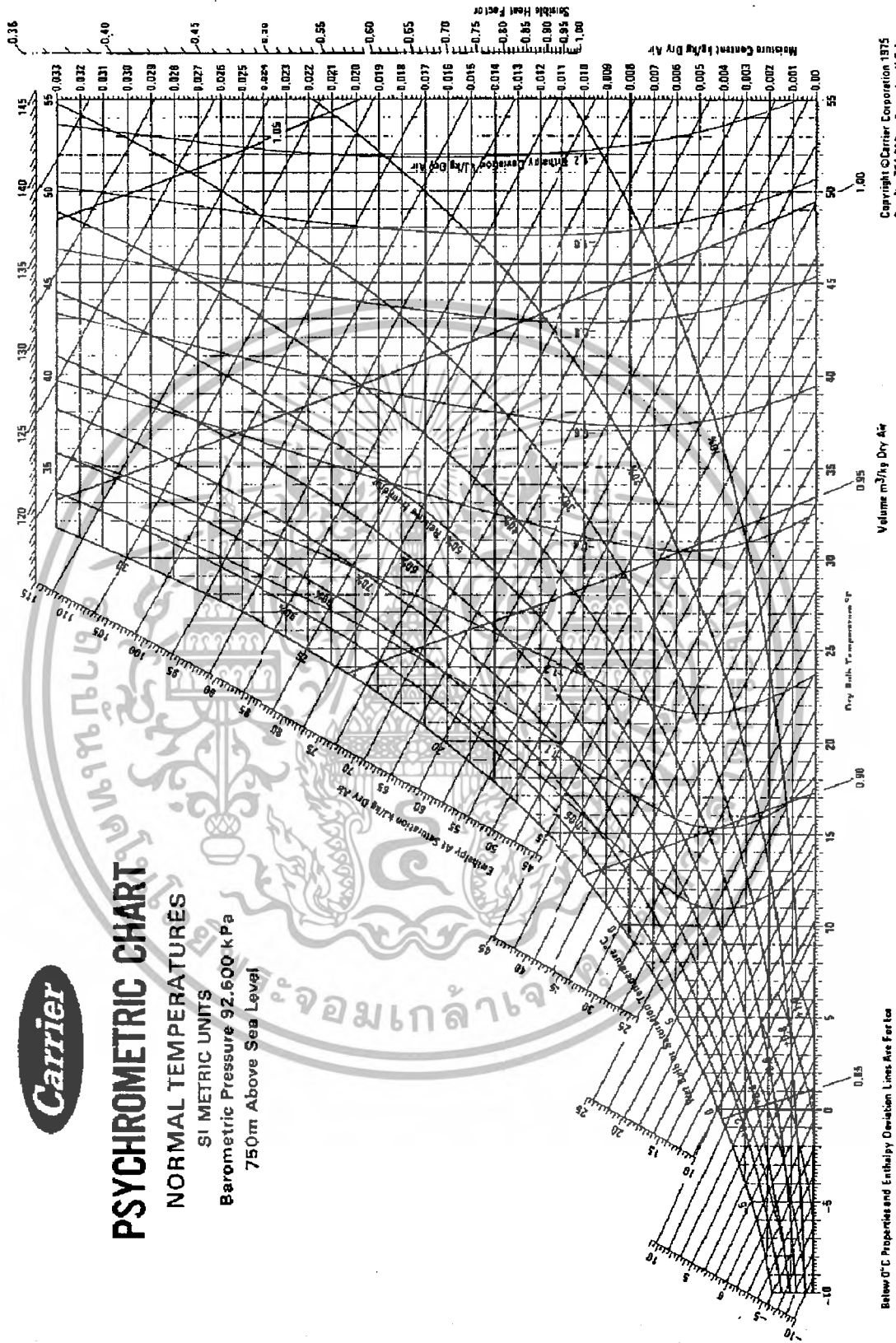
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภาพความดัน-เอนทัลปี (P-h diagram) ของสารทำความเย็น R-22



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

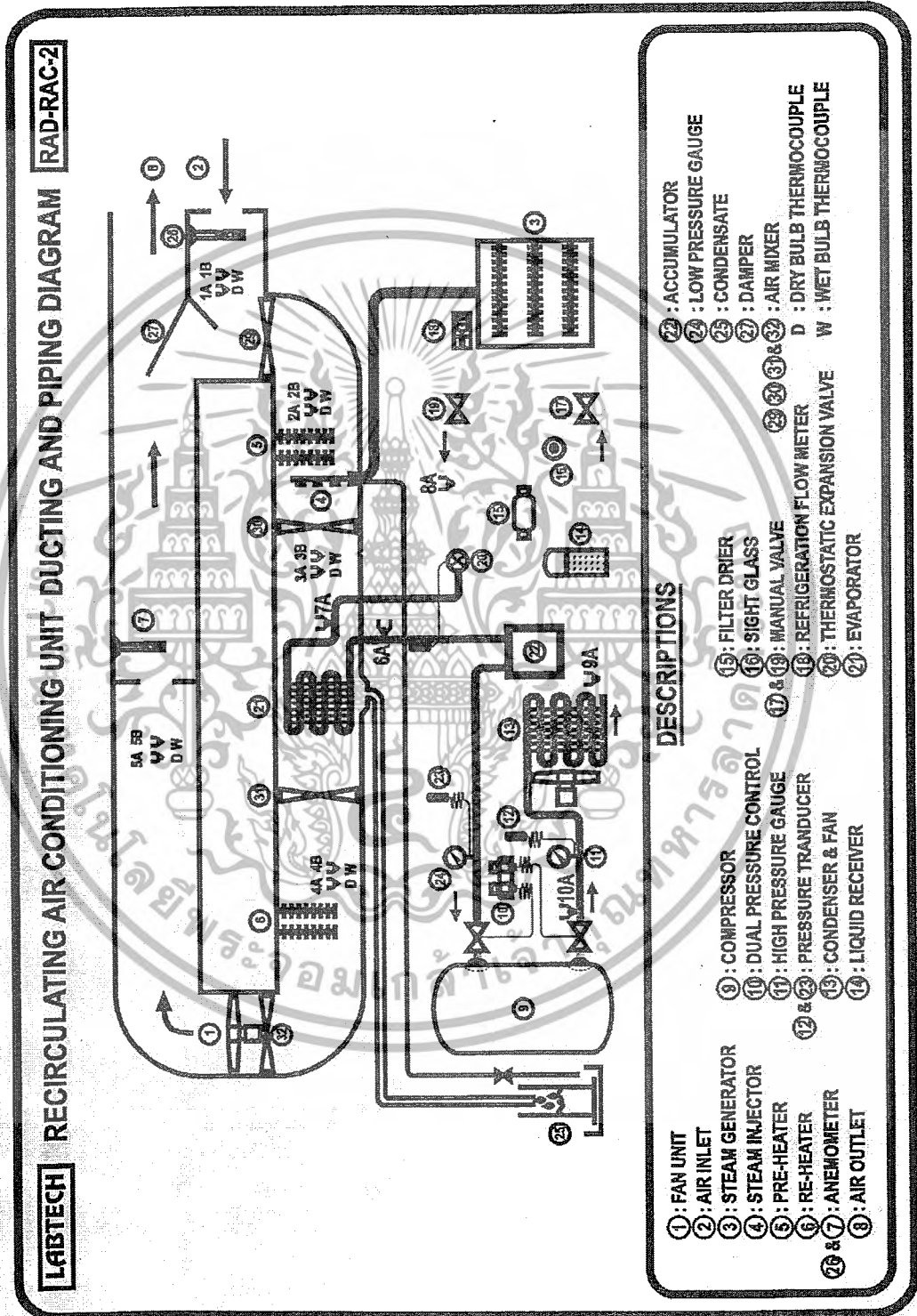
แผนภูมิไซโครเมตริก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

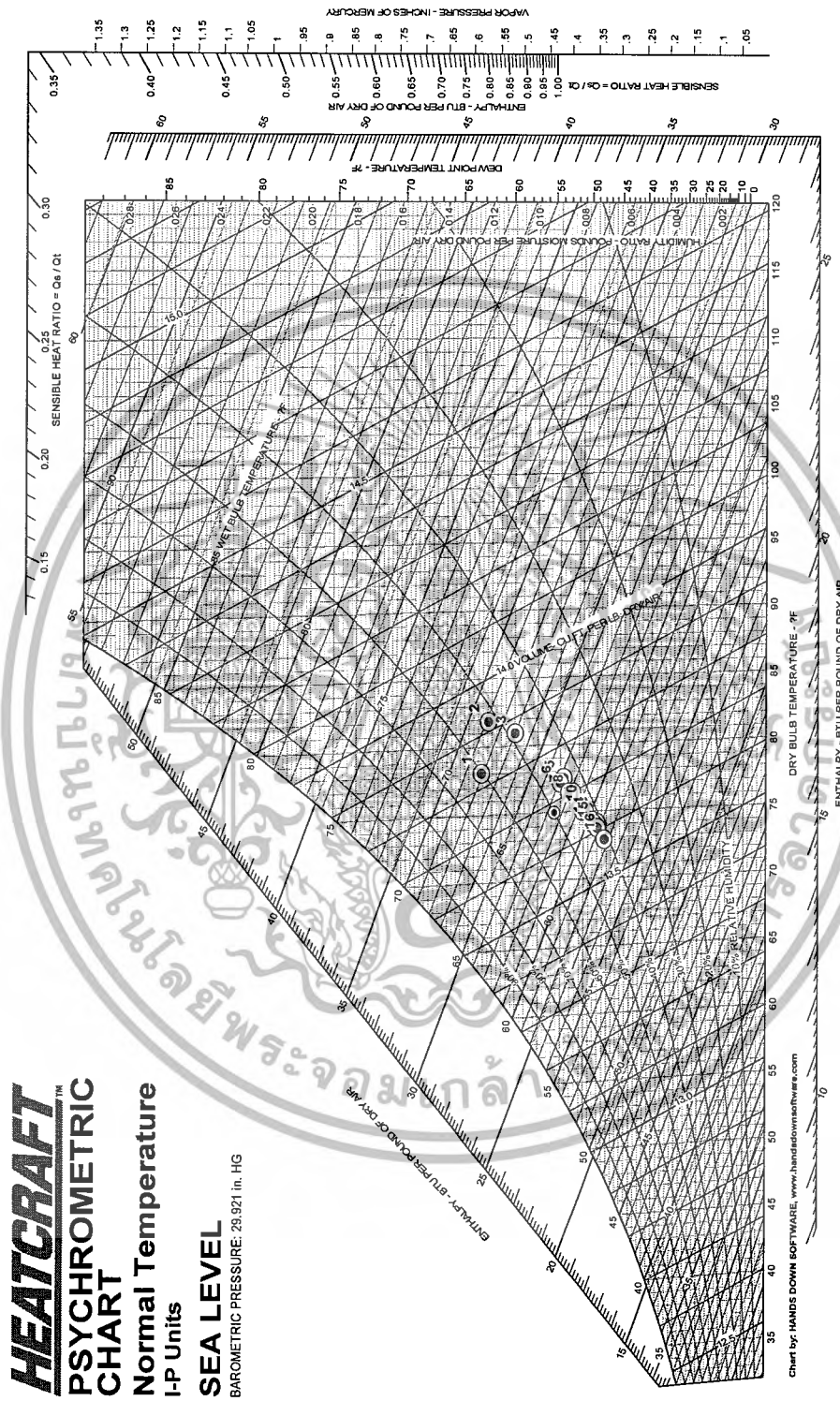
แผนภาพของเครื่องทดสอบระบบปรับอากาศแบบไหลเวียน

RE-CIRCULATING AIR CONDITIONING TRAINER DUCTING AND PIPING DIAGRAM



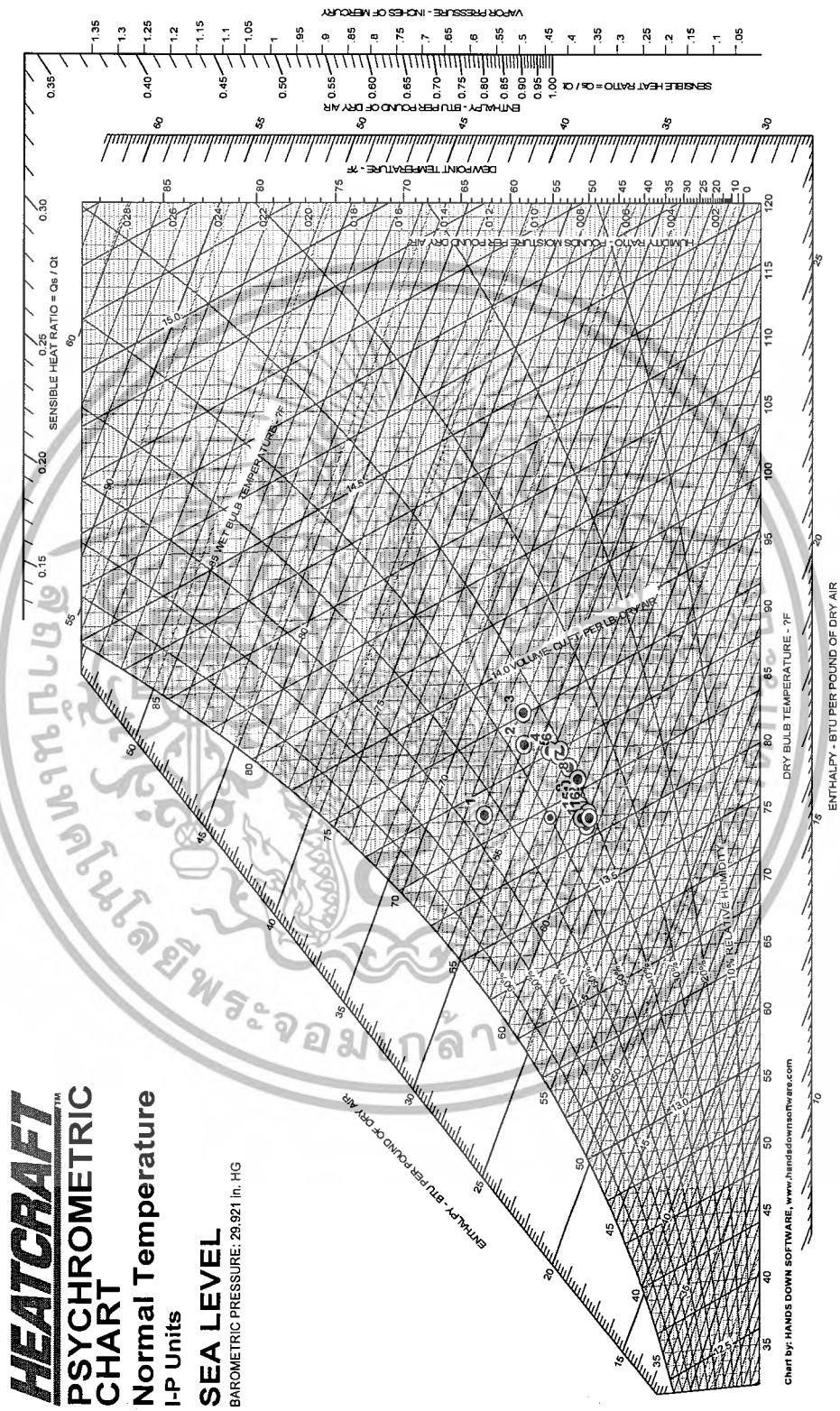
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานะความชื้นสัมพัทธ์ 40% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุด



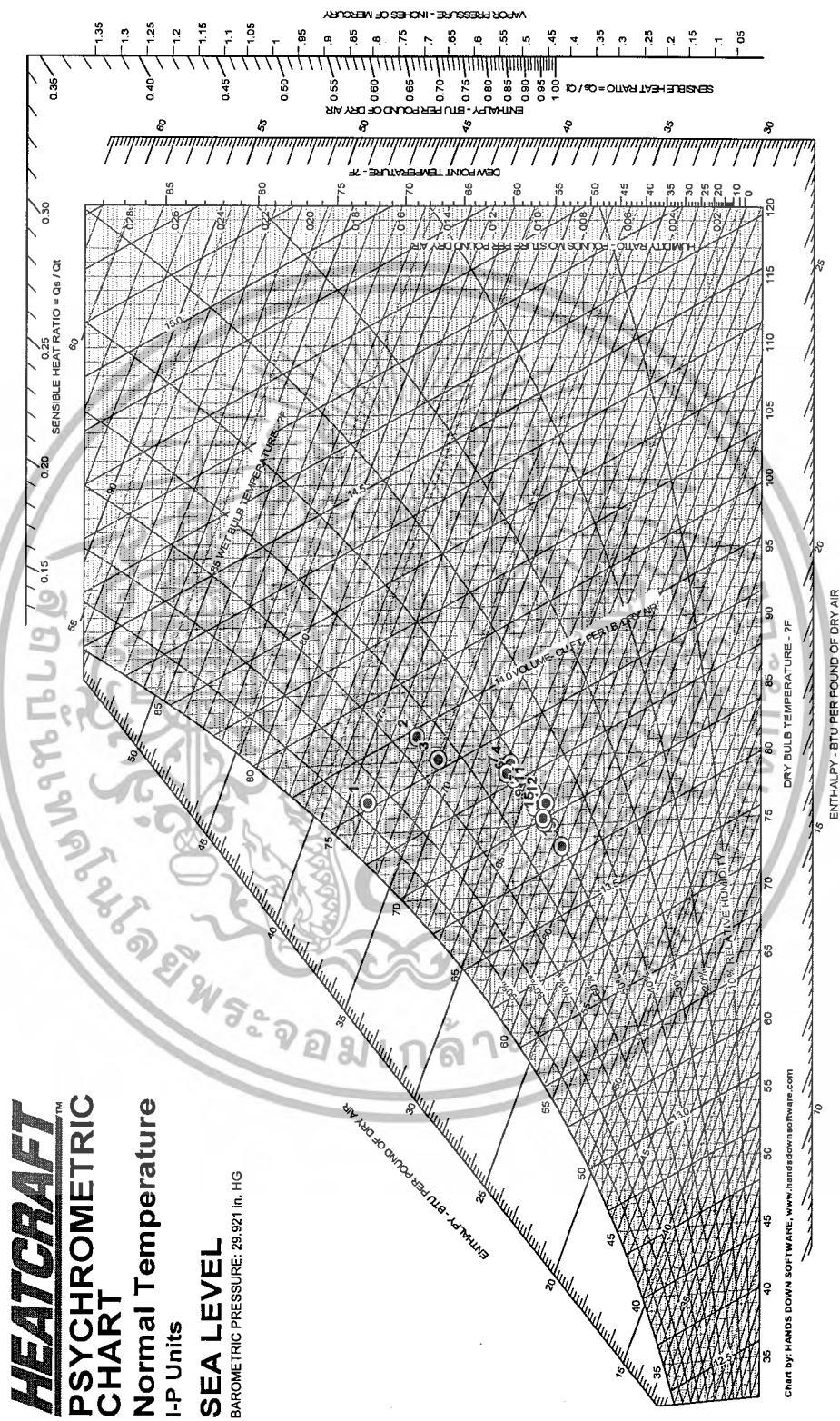
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สถานะความชื้นสัมพัทธ์ 40% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วปานกลาง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

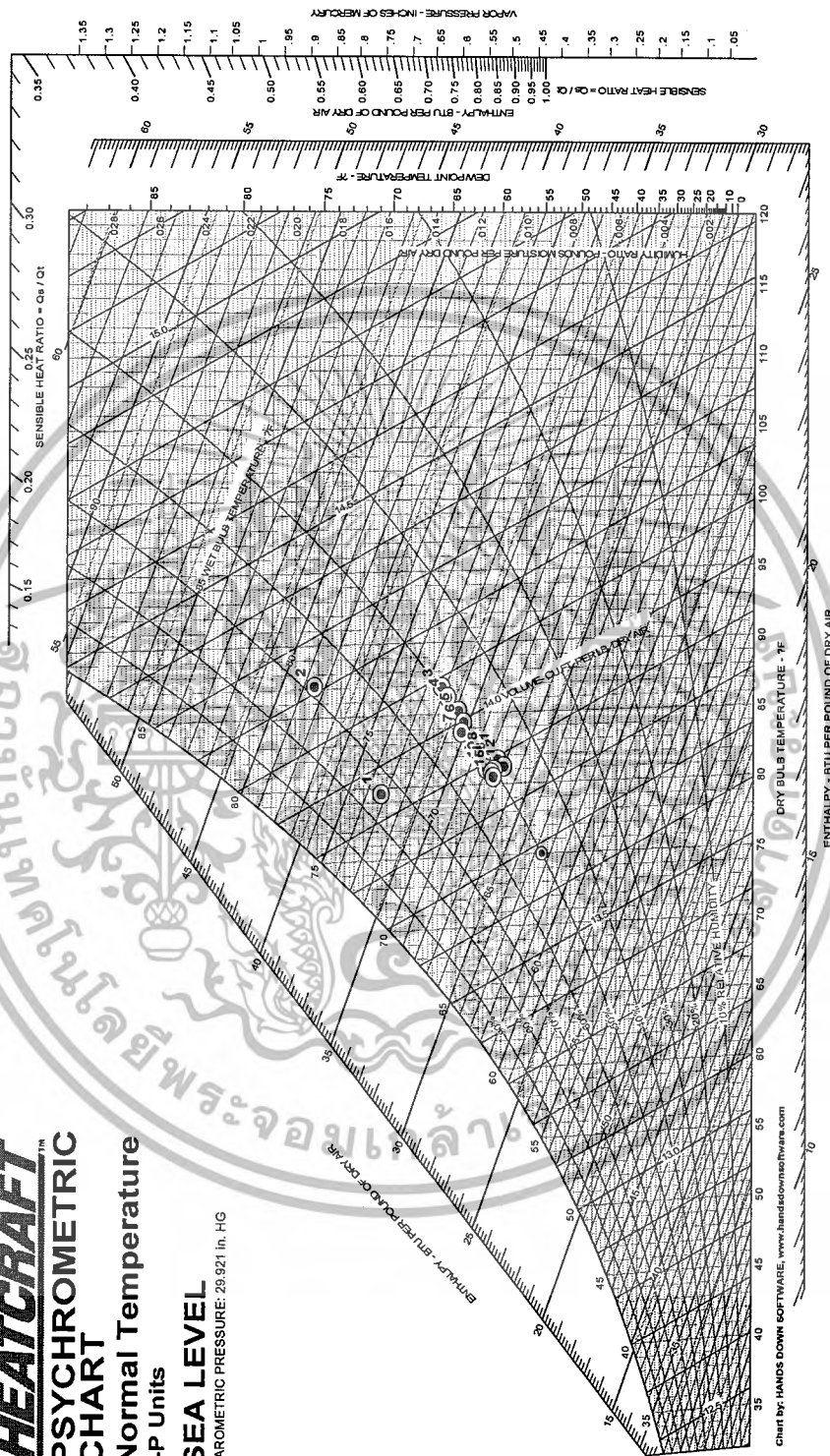
ที่สถานะความชื้นสัมพัทธ์ 50% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สถานะความชื้นสัมพัทธ์ 50% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วปานกลาง

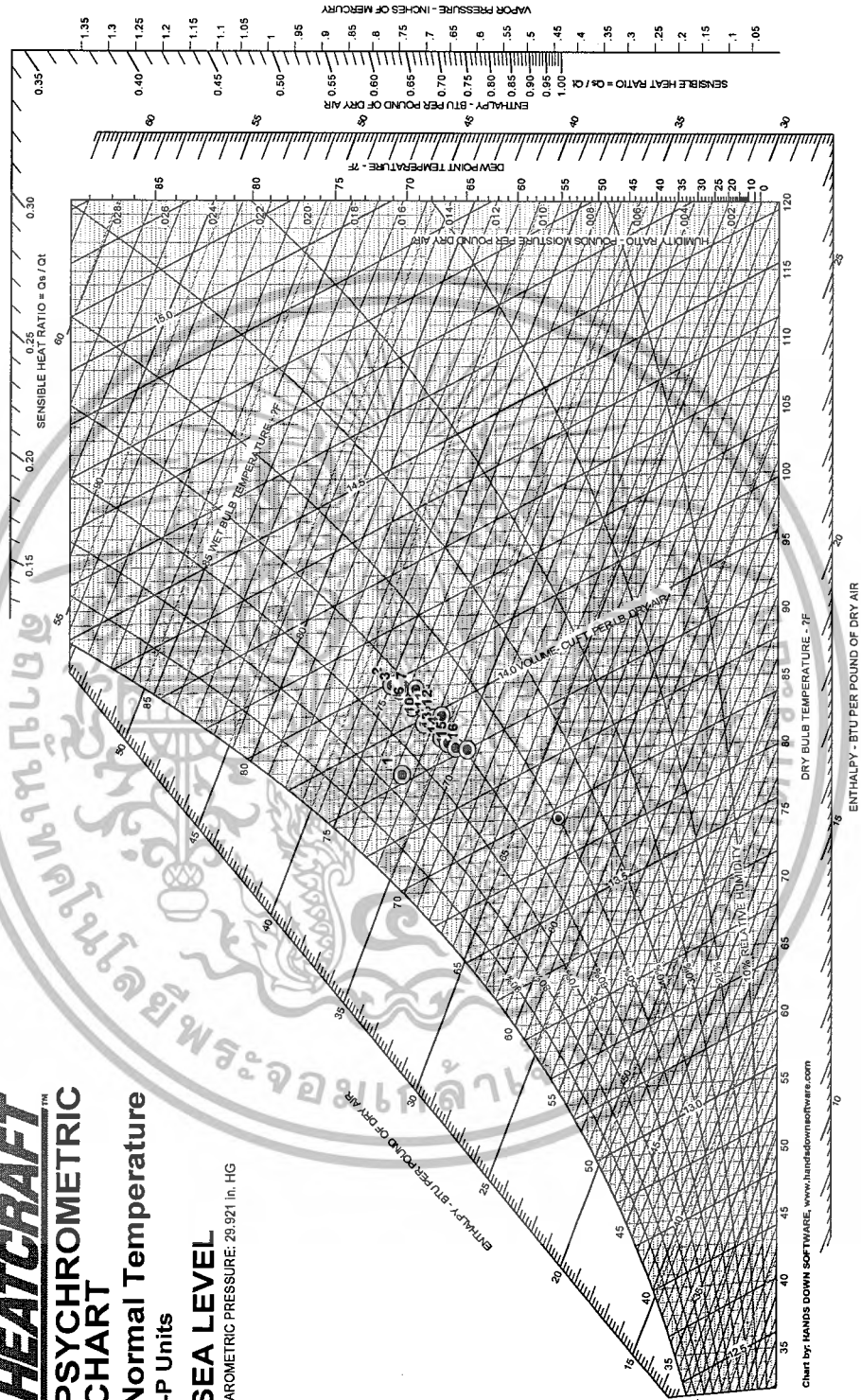
HEATCRAFT™
PSYCHROMETRIC CHART
 Normal Temperature
 I-P Units
SEA LEVEL
 BAROMETRIC PRESSURE: 29.9211 in. HG



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

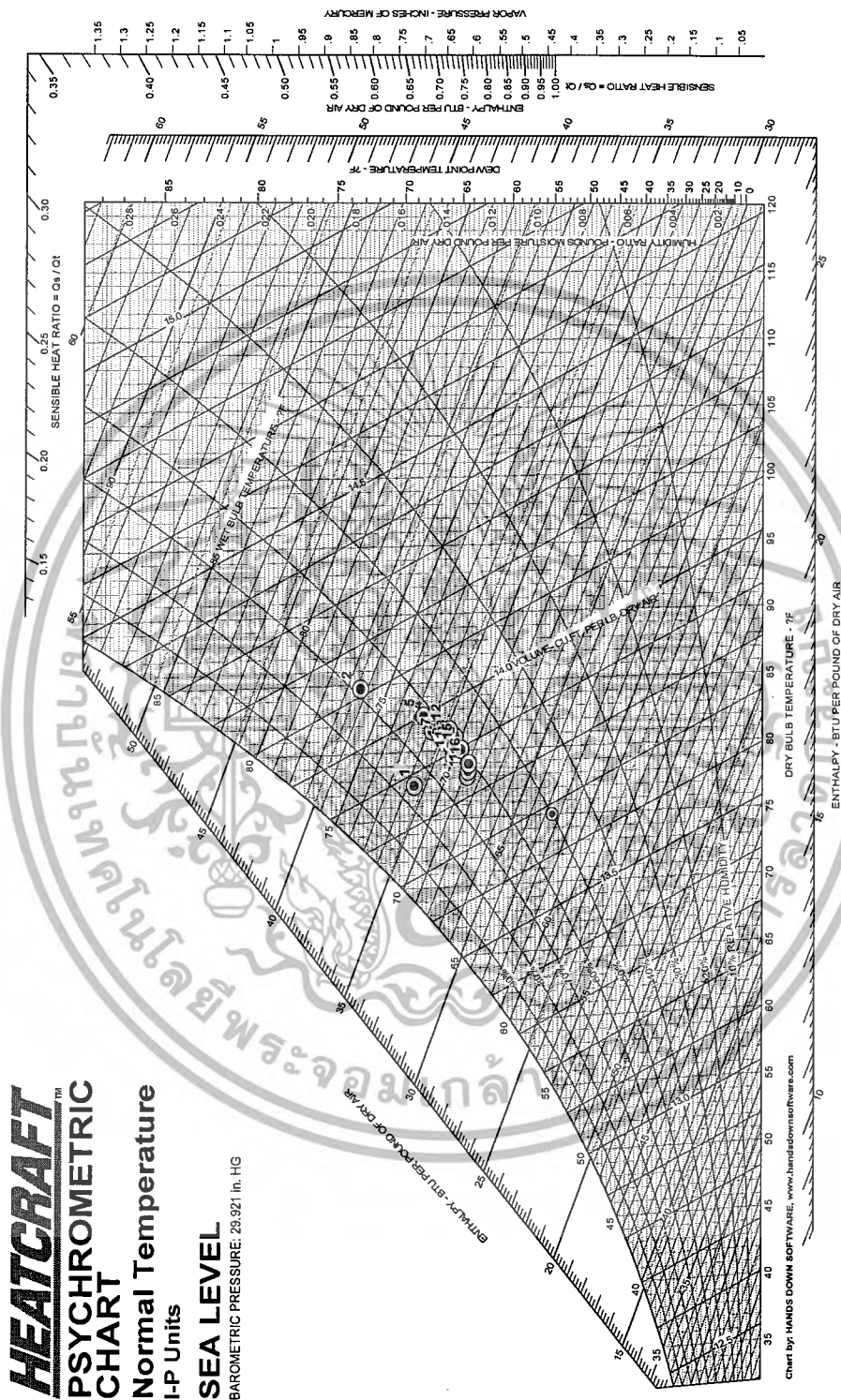
ที่สถานะความชื้นสัมพัทธ์ 60% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุด

HEATCRAFT™
PSYCHROMETRIC CHART
 Normal Temperature
 I-P Units
SEA LEVEL
 BAROMETRIC PRESSURE: 29.921 in. HG



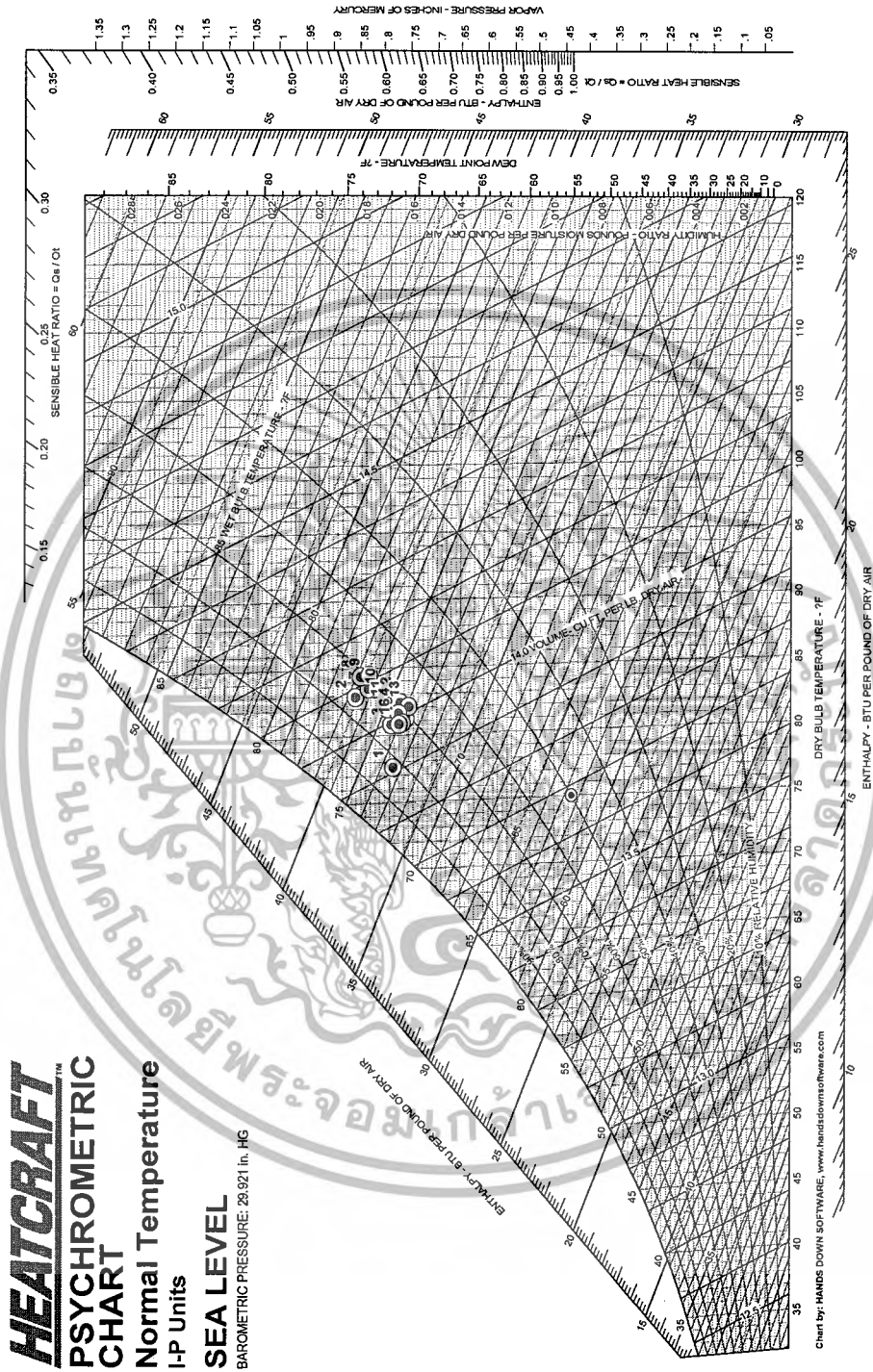
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สถานะความชื้นสัมพัทธ์ 60% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วปานกลาง



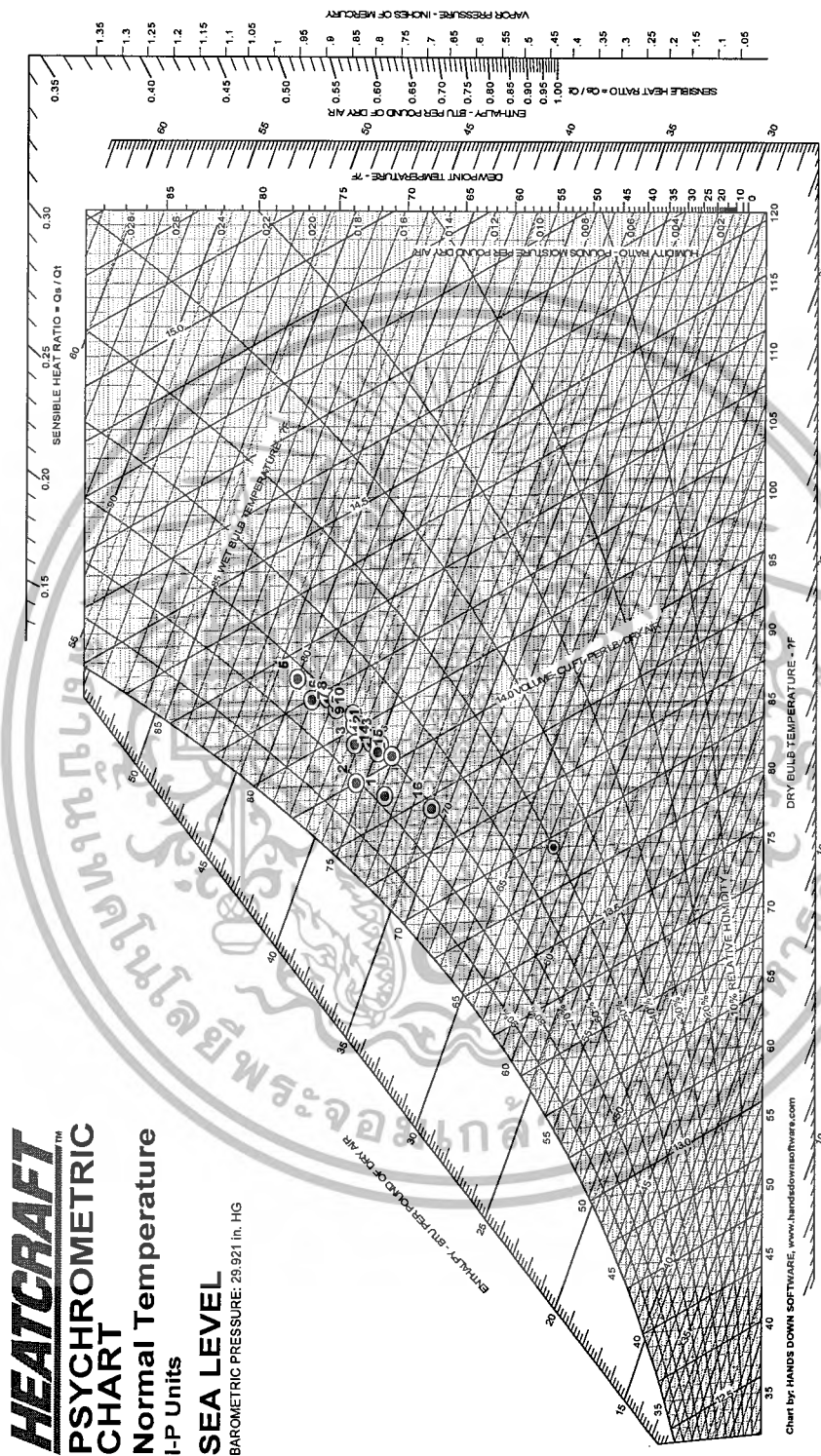
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สถานะความชื้นสัมพัทธ์ 70% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วสูงสุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สถานะความชื้นสัมพัทธ์ 70% โดยเปิดพัดลมที่ความเร็วปานกลาง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงการปรับเทียบค่าอุณหภูมิให้ถูกต้อง (Calibrate) ที่จุด T₂ (DB)

อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)	อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)	อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)	อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)	อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)
0	-0.69	21	20.2	42	41.1	63	62.1	84	83.0
1	0.31	22	21.2	43	42.1	64	63.1	85	84.0
2	1.30	23	22.2	44	43.1	65	64.1	86	85.0
3	2.30	24	23.2	45	44.1	66	65.1	87	86.0
4	3.29	25	24.2	46	45.1	67	66.0	88	87.0
5	4.29	26	25.2	47	46.1	68	67.0	89	88.0
6	5.29	27	26.2	48	47.1	69	68.0	90	89.0
7	6.28	28	27.2	49	48.1	70	69.0	91	90.0
8	7.28	29	28.2	50	49.1	71	70.0	92	90.9
9	8.27	30	29.2	51	50.1	72	71.0	93	91.9
10	9.27	31	30.2	52	51.1	73	72.0	94	92.9
11	10.3	32	31.2	53	52.1	74	73.0	95	93.9
12	11.3	33	32.2	54	53.1	75	74.0	96	94.9
13	12.3	34	33.2	55	54.1	76	75.0	97	95.9
14	13.3	35	34.2	56	55.1	77	76.0	98	96.9
15	14.3	36	35.2	57	56.1	78	77.0	99	97.9
16	15.3	37	36.2	58	57.1	79	78.0	100	98.9
17	16.2	38	37.2	59	58.1	80	79.0		
18	17.2	39	38.2	60	59.1	81	80.0		
19	18.2	40	39.2	61	60.1	82	81.0		
20	19.2	41	40.2	62	61.1	83	82.0		

ตารางแสดงการปรับเทียบค่าอุณหภูมิให้ถูกต้อง (Calibrate) ที่จุด T₂ (WB)

อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)	อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)	อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)	อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)	อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)
0	-0.59	21	20.3	42	41.2	63	62.2	84	83.1
1	0.41	22	21.3	43	42.2	64	63.2	85	84.1
2	1.40	23	22.3	44	43.2	65	64.2	86	85.1
3	2.40	24	23.3	45	44.2	66	65.2	87	86.1
4	3.39	25	24.3	46	45.2	67	66.1	88	87.1
5	4.39	26	25.3	47	46.2	68	67.1	89	88.1
6	5.39	27	26.3	48	47.2	69	68.1	90	89.1
7	6.38	28	27.3	49	48.2	70	69.1	91	90.1
8	7.38	29	28.3	50	49.2	71	70.1	92	91.0
9	8.37	30	29.3	51	50.2	72	71.1	93	92.0
10	9.37	31	30.3	52	51.2	73	72.1	94	93.0
11	10.4	32	31.3	53	52.2	74	73.1	95	94.0
12	11.4	33	32.3	54	53.2	75	74.1	96	95.0
13	12.4	34	33.3	55	54.2	76	75.1	97	96.0
14	13.4	35	34.3	56	55.2	77	76.1	98	97.0
15	14.4	36	35.3	57	56.2	78	77.1	99	98.0
16	15.4	37	36.3	58	57.2	79	78.1	100	99.0
17	16.3	38	37.3	59	58.2	80	79.1		
18	17.3	39	38.3	60	59.2	81	80.1		
19	18.3	40	39.3	61	60.2	82	81.1		
20	19.3	41	40.3	62	61.2	83	82.1		

ตารางแสดงการปรับเทียบค่าอุณหภูมิให้ถูกต้อง (Calibrate) ที่จุด T₃ (DB)

อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)	อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)	อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)	อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)	อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)
0	-0.49	21	20.5	42	41.4	63	62.4	84	83.3
1	0.51	22	21.5	43	42.4	64	63.4	85	84.3
2	1.51	23	22.5	44	43.4	65	64.4	86	85.3
3	2.50	24	23.5	45	44.4	66	65.4	87	86.3
4	3.50	25	24.5	46	45.4	67	66.4	88	87.3
5	4.50	26	25.5	47	46.4	68	67.4	89	88.3
6	5.50	27	26.5	48	47.4	69	68.4	90	89.3
7	6.50	28	27.5	49	48.4	70	69.4	91	90.3
8	7.49	29	28.5	50	49.4	71	70.4	92	91.3
9	8.49	30	29.5	51	50.4	72	71.4	93	92.3
10	9.49	31	30.5	52	51.4	73	72.4	94	93.3
11	10.5	32	31.5	53	52.4	74	73.4	95	94.3
12	11.5	33	32.4	54	53.4	75	74.4	96	95.3
13	12.5	34	33.4	55	54.4	76	75.4	97	96.3
14	13.5	35	34.4	56	55.4	77	76.4	98	97.3
15	14.5	36	35.4	57	56.4	78	77.4	99	98.3
16	15.5	37	36.4	58	57.4	79	78.4	100	99.3
17	16.5	38	37.4	59	58.4	80	79.4		
18	17.5	39	38.4	60	59.4	81	80.4		
19	18.5	40	39.4	61	60.4	82	81.4		
20	19.5	41	40.4	62	61.4	83	82.3		

ตารางแสดงการปรับเทียบค่าอุณหภูมิให้ถูกต้อง (Calibrate) ที่จุด T₃ (WB)

อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)	อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)	อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)	อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)	อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)
0	-0.80	21	20.2	42	41.2	63	62.1	84	83.1
1	0.20	22	21.2	43	42.2	64	63.1	85	84.1
2	1.20	23	22.2	44	43.2	65	64.1	86	85.1
3	2.20	24	23.2	45	44.2	66	65.1	87	86.1
4	3.20	25	24.2	46	45.2	67	66.1	88	87.1
5	4.20	26	25.2	47	46.2	68	67.1	89	88.1
6	5.20	27	26.2	48	47.2	69	68.1	90	89.1
7	6.19	28	27.2	49	48.2	70	69.1	91	90.1
8	7.19	29	28.2	50	49.2	71	70.1	92	91.1
9	8.19	30	29.2	51	50.2	72	71.1	93	92.1
10	9.19	31	30.2	52	51.2	73	72.1	94	93.1
11	10.2	32	31.2	53	52.2	74	73.1	95	94.1
12	11.2	33	32.2	54	53.2	75	74.1	96	95.1
13	12.2	34	33.2	55	54.2	76	75.1	97	96.1
14	13.2	35	34.2	56	55.2	77	76.1	98	97.1
15	14.2	36	35.2	57	56.1	78	77.1	99	98.1
16	15.2	37	36.2	58	57.1	79	78.1	100	99.1
17	16.2	38	37.2	59	58.1	80	79.1		
18	17.2	39	38.2	60	59.1	81	80.1		
19	18.2	40	39.2	61	60.1	82	81.1		
20	19.2	41	40.2	62	61.1	83	82.1		

ตารางแสดงการปรับเทียบค่าอุณหภูมิให้ถูกต้อง (Calibrate) ที่จุด T_s (DB)

อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)	อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)	อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)	อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)	อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)
0	-0.90	21	20.1	42	41.1	63	62.0	84	83.0
1	0.10	22	21.1	43	42.1	64	63.0	85	84.0
2	1.10	23	22.1	44	43.1	65	64.0	86	85.0
3	2.10	24	23.1	45	44.1	66	65.0	87	86.0
4	3.10	25	24.1	46	45.1	67	66.0	88	87.0
5	4.10	26	25.1	47	46.1	68	67.0	89	88.0
6	5.10	27	26.1	48	47.1	69	68.0	90	89.0
7	6.09	28	27.1	49	48.1	70	69.0	91	90.0
8	7.09	29	28.1	50	49.1	71	70.0	92	91.0
9	8.09	30	29.1	51	50.1	72	71.0	93	92.0
10	9.09	31	30.1	52	51.1	73	72.0	94	93.0
11	10.1	32	31.1	53	52.1	74	73.0	95	94.0
12	11.1	33	32.1	54	53.1	75	74.0	96	95.0
13	12.1	34	33.1	55	54.1	76	75.0	97	96.0
14	13.1	35	34.1	56	55.1	77	76.0	98	97.0
15	14.1	36	35.1	57	56.0	78	77.0	99	98.0
16	15.1	37	36.1	58	57.0	79	78.0	100	99.0
17	16.1	38	37.1	59	58.0	80	79.0		
18	17.1	39	38.1	60	59.0	81	80.0		
19	18.1	40	39.1	61	60.0	82	81.0		
20	19.1	41	40.1	62	61.0	83	82.0		

ตารางแสดงการปรับเทียบค่าอุณหภูมิให้ถูกต้อง (Calibrate) ที่จุด T₅ (WB)

อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)	อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)	อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)	อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)	อุณหภูมิ ที่อ่านค่าจาก เทอร์มอมิเตอร์ DB (°C)	อุณหภูมิจริง (°C)
0	-0.60	21	20.3	42	41.3	63	62.2	84	83.2
1	0.40	22	21.3	43	42.3	64	63.2	85	84.2
2	1.40	23	22.3	44	43.3	65	64.2	86	85.2
3	2.39	24	23.3	45	44.3	66	65.2	87	86.1
4	3.39	25	24.3	46	45.3	67	66.2	88	87.1
5	4.39	26	25.3	47	46.3	68	67.2	89	88.1
6	5.39	27	26.3	48	47.3	69	68.2	90	89.1
7	6.38	28	27.3	49	48.3	70	69.2	91	90.1
8	7.38	29	28.3	50	49.3	71	70.2	92	91.1
9	8.38	30	29.3	51	50.3	72	71.2	93	92.1
10	9.37	31	30.3	52	51.3	73	72.2	94	93.1
11	10.4	32	31.3	53	52.2	74	73.2	95	94.1
12	11.4	33	32.3	54	53.2	75	74.2	96	95.1
13	12.4	34	33.3	55	54.2	76	75.2	97	96.1
14	13.4	35	34.3	56	55.2	77	76.2	98	97.1
15	14.4	36	35.3	57	56.2	78	77.2	99	98.1
16	15.4	37	36.3	58	57.2	79	78.2	100	99.1
17	16.4	38	37.3	59	58.2	80	79.2		
18	17.4	39	38.3	60	59.2	81	80.2		
19	18.4	40	39.3	61	60.2	82	81.2		
20	19.3	41	40.3	62	61.2	83	82.2		



ภาคผนวก ค.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Datasheet SHT1x (SHT10, SHT11, SHT15)

Humidity and Temperature Sensor

- Fully calibrated
- Digital output
- Low power consumption
- Excellent long term stability
- SMD type package – reflow solderable



Product Summary

SHT1x (including SHT10, SHT11 and SHT15) is Sensirion's family of surface mountable relative humidity and temperature sensors. The sensors integrate sensor elements plus signal processing on a tiny foot print and provide a fully calibrated digital output. A unique capacitive sensor element is used for measuring relative humidity while temperature is measured by a band-gap sensor. The applied CMOSens® technology guarantees excellent reliability and long term stability. Both sensors are seamlessly coupled to a 14bit analog to digital converter and a serial interface circuit. This results in superior signal quality, a fast response time and insensitivity to external disturbances (EMC).

Each SHT1x is individually calibrated in a precision humidity chamber. The calibration coefficients are programmed into an OTP memory on the chip. These coefficients are used to internally calibrate the signals from the sensors. The 2-wire serial interface and internal voltage regulation allows for easy and fast system integration. The tiny size and low power consumption makes SHT1x the ultimate choice for even the most demanding applications.

SHT1x is supplied in a surface-mountable LCC (Leadless Chip Carrier) which is approved for standard reflow soldering processes. The same sensor is also available with pins (SHT7x) or on flex print (SHTA1).

Dimensions

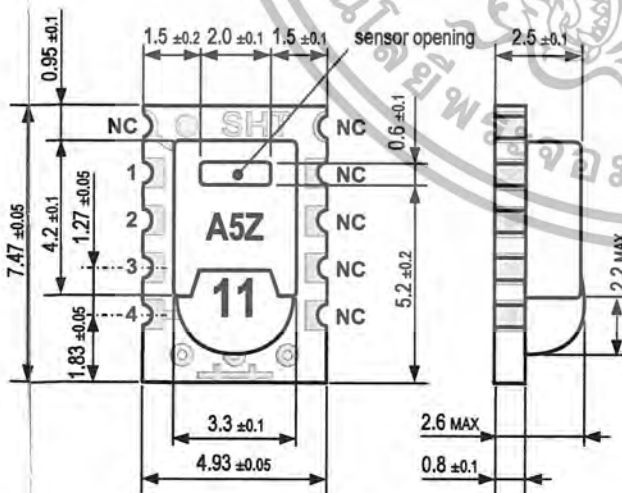


Figure 1: Drawing of SHT1x sensor packaging, dimensions in mm (1mm = 0.039inch). Sensor label gives "11" for SHT11 as an example. Contacts are assigned as follows: 1:GND, 2:DATA, 3:SCK, 4:VDD.

Sensor Chip

SHT1x V4 – for which this datasheet applies – features a version 4 Silicon sensor chip. Besides a humidity and a temperature sensor the chip contains an amplifier, A/D converter, OTP memory and a digital interface. V4 sensors can be identified by the alpha-numeric traceability code on the sensor cap – see example "A5Z" code on Figure 1.

Material Contents

While the sensor is made of a CMOS chip the sensor housing consists of an LCP cap with epoxy glob top on an FR4 substrate. The device is fully RoHS and WEEE compliant, thus it is free of Pb, Cd, Hg, Cr(6+), PBB and PBDE.

Evaluation Kits

For sensor trial measurements, for qualification of the sensor or even experimental application of the sensor there is an evaluation kit *EK-H2* available including sensor, hard and software to interface with a computer.

For more sophisticated and demanding measurements a multi port evaluation kit *EK-H3* is available which allows for parallel application of up to 20 sensors.

Sensor Performance

Relative Humidity

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution ¹		0.4	0.05	0.05	%RH
		8	12	12	bit
Accuracy ² SHT10	typical		±4.5		%RH
	maximal	see Figure 2			
Accuracy ² SHT11	typical		±3.0		%RH
	maximal	see Figure 2			
Accuracy ² SHT15	typical		±2.0		%RH
	maximal	see Figure 2			
Repeatability			±0.1		%RH
Replacement		fully interchangeable			
Hysteresis			±1		%RH
Nonlinearity	raw data		±3		%RH
	linearized		<<1		%RH
Response time ³ τ (63%)			8		s
Operating Range		0		100	%RH
Long term drift ⁴	normal		< 0.5		%RH/yr

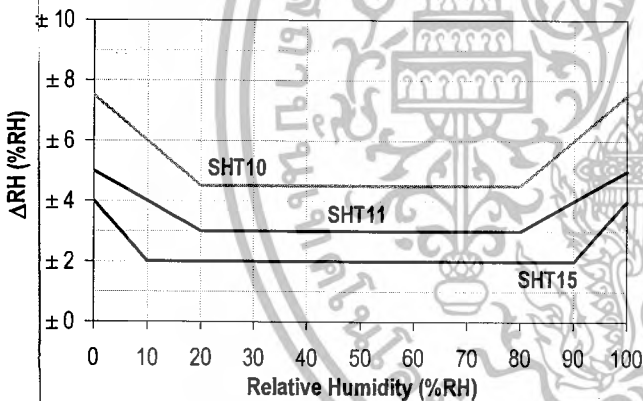


Figure 2: Maximal RH-accuracy at 25°C per sensor type.

Temperature

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution ¹		0.04	0.01	0.01	°C
		12	14	14	bit
Accuracy ² SHT10	typical		±0.5		°C
	maximal	see Figure 3			
Accuracy ² SHT11	typical		±0.4		°C
	maximal	see Figure 3			
Accuracy ² SHT15	typical		±0.3		°C
	maximal	see Figure 3			
Repeatability			±0.1		°C
Replacement		fully interchangeable			
Operating Range		-40		123.8	°C
		-40		254.9	°F
Response Time ⁶ τ (63%)		5		30	s
Long term drift			< 0.04		°C/yr

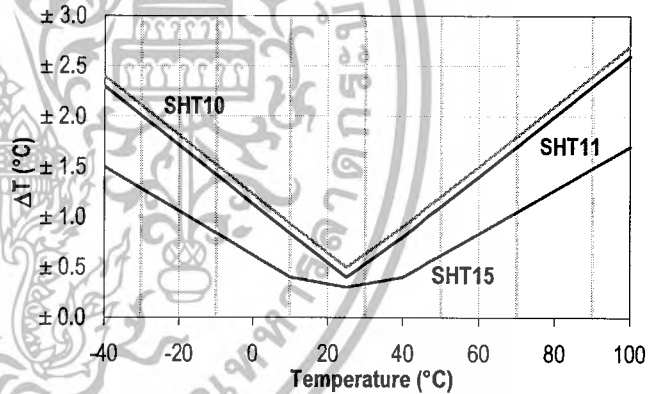


Figure 3: Maximal T-accuracy per sensor type.

Electrical and General Items

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Source Voltage		2.4	3.3	5.5	V
Power Consumption ⁵	sleep		2	5	μW
	measuring		3		mW
	average		150		μW
Communication	digital 2-wire interface, see Communication				
Storage	10 – 50°C (0 – 125°C peak), 20 – 60%RH				

Packaging Information

Sensor Type	Packaging	Quantity	Order Number
SHT10	Tape & Reel	2000	1-100218-04
	Tape & Reel	100	1-100051-04
SHT11	Tape & Reel	400	1-100098-04
	Tape & Reel	2000	1-100524-04
	Tape & Reel	100	1-100085-04
SHT15	Tape & Reel	100	1-100085-04
	Tape & Reel	400	1-100093-04

¹ The default measurement resolution of is 14bit for temperature and 12bit for humidity. It can be reduced to 12/8bit by command to status register.

² Accuracies are tested at Outgoing Quality Control at 25°C (77°F) and 3.3V. Values exclude hysteresis and non-linearity.

³ Time for reaching 63% of a step function, valid at 25°C and 1 m/s airflow.

⁴ Value may be higher in environments with high contents of volatile organic compounds. See Section 1.3 of Users Guide.

⁵ Values for VDD=5.5V at 25°C, average value at one 12bit measurement per second.

⁶ Response time depends on heat capacity of and thermal resistance to sensor substrate.

Users Guide SHT1x

1 Application Information

1.1 Operating Conditions

Sensor works stable within recommended normal range – see Figure 4. Long term exposures to conditions outside normal range, especially at humidity >80%RH, may temporarily offset the RH signal (+3 %RH after 60h). After return to normal range it will slowly return towards calibration state by itself. See Section 1.4. "Reconditioning Procedure" to accelerate eliminating the offset. Prolonged exposure to extreme conditions may accelerate ageing.

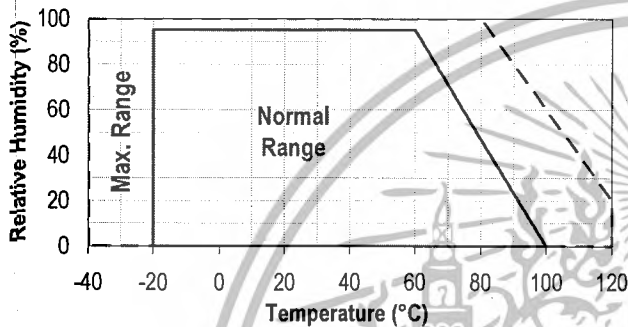


Figure 4: Operating Conditions

1.2 Soldering instructions

For soldering SHT1x standard reflow soldering ovens may be used. The sensor is qualified to withstand soldering profile according to IPC/JEDEC J-STD-020C with peak temperatures at 260°C during up to 40sec including Pb-free assembly in IR/Convection reflow ovens.

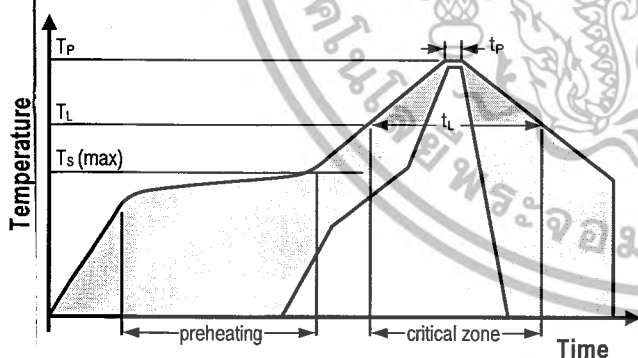


Figure 5: Soldering profile according to JEDEC standard. $T_P < 260^\circ\text{C}$ and $t_P < 40\text{sec}$ for Pb-free assembly. $T_L < 220^\circ\text{C}$ and $t_L < 150\text{sec}$. Ramp-up/down speeds shall be $< 5^\circ\text{C/sec}$.

For soldering in Vapor Phase Reflow (VPR) ovens the peak conditions are limited to $T_P < 233^\circ\text{C}$ during $t_P < 60\text{sec}$ and ramp-up/down speeds shall be limited to 10°C/sec . For manual soldering contact time must be limited to 5 seconds at up to 350°C .

IMPORTANT: After soldering the devices should be stored at >75%RH for at least 12h to allow the polymer to re-hydrate. Otherwise the sensor may read an offset that slowly disappears if exposed to ambient conditions.

In no case, neither after manual nor reflow soldering, a board wash shall be applied. Therefore it is strongly recommended to use "no-clean" solder paste. In case of application with exposure of the sensor to corrosive gases the soldering pads shall be sealed to prevent loose contacts or short cuts.

For the design of the SHT1x footprint it is recommended to use dimensions according to Figure 7. Sensor pads are coated with $35\mu\text{m Cu}$, $5\mu\text{m Ni}$ and $0.1\mu\text{m Au}$.

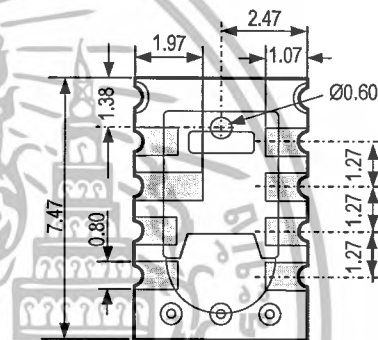


Figure 6: Rear side electrodes of sensor, view from top side.

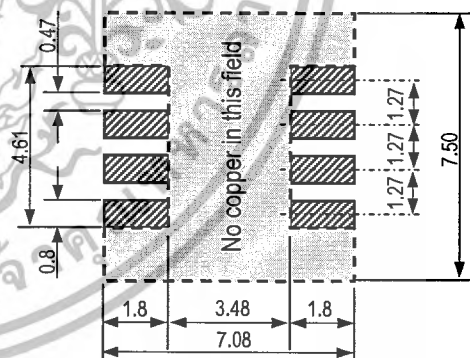


Figure 7: Recommended footprint for SHT1x. Values in mm.

1.3 Storage Conditions and Handling Instructions

It is of great importance to understand that a humidity sensor is not a normal electronic component and needs to be handled with care. Chemical vapors at high concentration in combination with long exposure times may offset the sensor reading.

For these reasons it is recommended to store the sensors in original packaging including the sealed ESD bag at following conditions: Temperature shall be in the range of $10^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}$ ($0 - 125^\circ\text{C}$ for limited time) and humidity at $20 - 60\%RH$ (sensors that are not stored in ESD bags).

⁷ $233^\circ\text{C} = 451^\circ\text{F}$, $260^\circ\text{C} = 500^\circ\text{F}$, $350^\circ\text{C} = 662^\circ\text{F}$

For sensors that have been removed from the original packaging we recommend to store them in ESD bags made of PE-HD⁸.

In manufacturing and transport the sensors shall be prevented of high concentration of chemical solvents and long exposure times. Out-gassing of glues, adhesive tapes and stickers or out-gassing packaging material such as bubble foils, foams, etc. shall be avoided. Manufacturing area shall be well ventilated.

For more detailed information please consult the document "Handling Instructions" or contact Sensirion.

1.4 Reconditioning Procedure

As stated above extreme conditions or exposure to solvent vapors may offset the sensor. The following reconditioning procedure may bring the sensor back to calibration state:

Baking: 100 – 105°C at < 5%RH for 10h
 Re-Hydration: 20 – 30°C at ~ 75%RH for 12h⁹.

1.5 Temperature Effects

Relative humidity reading strongly depends on temperature. Therefore, it is essential to keep humidity sensors at the same temperature as the air of which the relative humidity is to be measured. In case of testing or qualification the reference sensor and test sensor must show equal temperature to allow for comparing humidity readings.

If the SHT1x shares a PCB with electronic components that produce heat it should be mounted in a way that prevents heat transfer or keeps it as low as possible. Measures to reduce heat transfer can be ventilation, reduction of copper layers between the SHT1x and the rest of the PCB or milling a slit into the PCB around the sensor (see Figure 8).

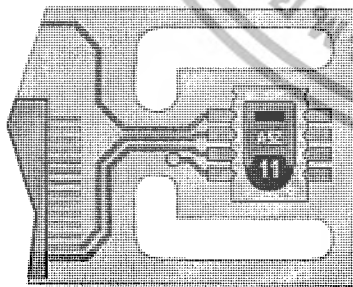


Figure 8: Top view of example of mounted SHT1x with slits milled into PCB to minimize heat transfer.

Furthermore, there are self-heating effects in case the measurement frequency is too high. Please refer to Section 3.3 for detailed information.

1.6 Light

The SHT1x is not light sensitive. Prolonged direct exposure to sunshine or strong UV radiation may age the housing.

1.7 Membranes

SHT1x does not contain a membrane at the sensor opening. However, a membrane may be added to prevent dirt and droplets from entering the housing and to protect the sensor. It will also reduce peak concentrations of chemical vapors. For optimal response times the air volume behind the membrane must be kept minimal. Sensirion recommends and supplies the SF1 filter cap for optimal IP54 protection (for higher protection – i.e. IP67 - SF1 must be sealed to the PCB with epoxy). Please compare Figure 9.

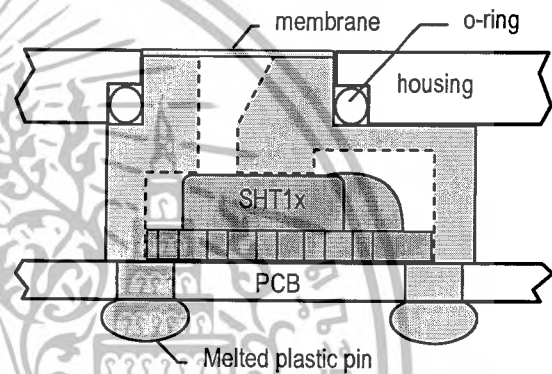


Figure 9: Side view of SF1 filter cap mounted between PCB and housing wall. Volume below membrane is kept minimal.

1.8 Materials Used for Sealing / Mounting

Many materials absorb humidity and will act as a buffer increasing response times and hysteresis. Materials in the vicinity of the sensor must therefore be carefully chosen. Recommended materials are: Any metals, LCP, POM (Delrin), PTFE (Teflon), PE, PEEK, PP, PB, PPS, PSU, PVDF, PVF.

For sealing and gluing (use sparingly): High filled epoxy for electronic packaging (e.g. glob top, underfill), and Silicone. Out-gassing of these materials may also contaminate the SHT1x (see Section 1.3). Therefore try to add the sensor as a last manufacturing step to the assembly, store the assembly well ventilated after manufacturing or bake at >50°C for 24h to outgas contaminants before packing.

1.9 Wiring Considerations and Signal Integrity

Carrying the SCK and DATA signal parallel and in close proximity (e.g. in wires) for more than 10cm may result in cross talk and loss of communication. This may be resolved by routing VDD and/or GND between the two data signals and/or using shielded cables. Furthermore, slowing down SCK frequency will possibly improve signal integrity. Power supply pins (VDD, GND) must be decoupled with a 100nF capacitor if wires are used.

⁸ For example, 3M antistatic bag, product "1910" with zipper .

⁹ 75%RH can conveniently be generated with saturated NaCl solution. 100 – 105°C correspond to 212 – 221°F, 20 – 30°C correspond to 68 – 86°F

Capacitor should be placed as close to the sensor as possible. Please see the Application Note "ESD, Latchup and EMC" for more information.

1.10 ESD (Electrostatic Discharge)

ESD immunity is qualified according to MIL STD 883E, method 3015 (Human Body Model at ±2 kV).

Latch-up immunity is provided at a force current of ±100mA with $T_{amb} = 80^{\circ}C$ according to JEDEC78A. See Application Note "ESD, Latchup and EMC" for more information.

2 Interface Specifications

Pin	Name	Comment
1	GND	Ground
2	DATA	Serial Data, bidirectional
3	SCK	Serial Clock, input only
4	VDD	Source Voltage
NC	NC	Must be left unconnected

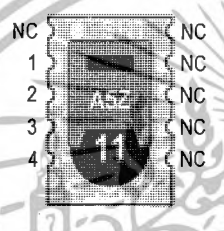


Table 1: SHT1x pin assignment, NC remain floating.

2.1 Power Pins (VDD, GND)

The supply voltage of SHT1x must be in the range of 2.4 – 5.5V, recommended supply voltage is 3.3V. Power supply pins Supply Voltage (VDD) and Ground (GND) must be decoupled with a 100 nF capacitor – see Figure 10.

The serial interface of the SHT1x is optimized for sensor readout and effective power consumption. The sensor cannot be addressed by I²C protocol, however, the sensor can be connected to an I²C bus without interference with other devices connected to the bus. The controller must switch between the protocols.

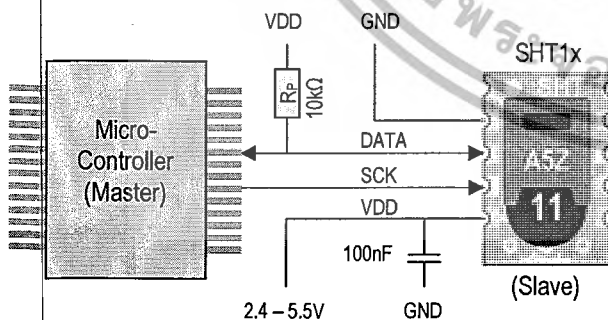


Figure 10: Typical application circuit, including pull up resistor R_p and decoupling of VDD and GND by a capacitor.

2.2 Serial clock input (SCK)

SCK is used to synchronize the communication between microcontroller and SHT1x. Since the interface consists of fully static logic there is no minimum SCK frequency.

2.3 Serial data (DATA)

The DATA tri-state pin is used to transfer data in and out of the sensor. For sending a command to the sensor, DATA is valid on the rising edge of the serial clock (SCK) and must remain stable while SCK is high. After the falling edge of SCK DATA may be changed. For safe communication DATA valid shall be extended T_{SU} and T_{HO} before the rising and after the falling edge of SCK, respectively – see Figure 11. For reading data from the sensor, DATA is valid T_V after SCK has gone low and remains valid until the next falling edge of SCK.

To avoid signal contention the microcontroller must only drive DATA low. An external pull-up resistor (e.g. 10kΩ) is required to pull the signal high – it should be noted that pull-up resistors may be included in I/O circuits of microcontrollers. See Table 2 for detailed I/O characteristic of the sensor.

2.4 Electrical Characteristics

The electrical characteristics such as power consumption, low and high level, input and output voltages depend on the supply voltage. Table 2 gives electrical characteristics of SHT1x with the assumption of 5V supply voltage if not stated otherwise. For proper communication with the sensor it is essential to make sure that signal design is strictly within the limits given in Table 3 and Figure 11.

Parameter	Conditions	min	typ	max	Units
Power supply DC ¹⁰		2.4	3.3	5.5	V
	measuring		0.55	1	mA
Supply current	average ¹¹	2	28		µA
	sleep		0.3	1.5	µA
Low level output voltage	$I_{OL} < 4 \text{ mA}$	0		250	mV
High level output voltage	$R_P < 25 \text{ k}\Omega$	90%		100%	VDD
Low level input voltage	Negative going	0%		20%	VDD
High level input voltage	Positive going	80%		100%	VDD
Input current on pads				1	µA
Output current	on			4	mA
	Tri-stated (off)		10	20	µA

Table 2: SHT1x DC characteristics. R_p stands for pull up resistor, while I_{OL} is low level output current.

¹⁰ Recommended voltage supply for highest accuracy is 3.3V, due to sensor calibration.

¹¹ Minimum value with one measurement of 8 bit accuracy without OTP reload per second, typical value with one measurement of 12bit accuracy per second.

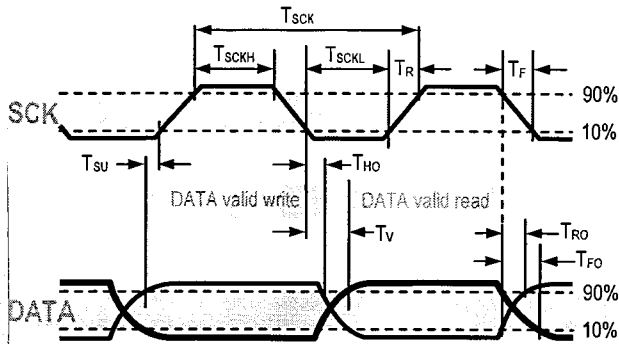


Figure 11: Timing Diagram, abbreviations are explained in Table 3. Bold DATA line is controlled by the sensor, plain DATA line is controlled by the micro-controller. Both valid times refer to the left SCK toggle.

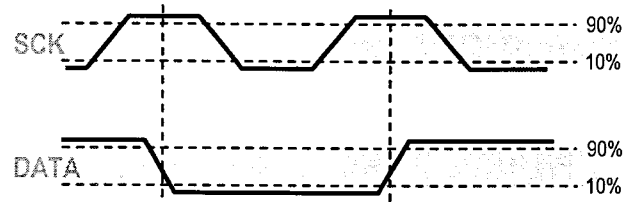


Figure 12: "Transmission Start" sequence

The subsequent command consists of three address bits (only '000' is supported) and five command bits. The SHT1x indicates the proper reception of a command by pulling the DATA pin low (ACK bit) after the falling edge of the 8th SCK clock. The DATA line is released (and goes high) after the falling edge of the 9th SCK clock.

Parameter	Conditions	min	typ	max	Units	
F _{sck}	VDD > 4.5V	0	0.1	5	MHz	
	VDD < 4.5V	0	0.1	1	MHz	
T _{sckx}	SCK hi/low time	100			ns	
T _R /T _F	SCK rise/fall time	1	200	*	ns	
T _{Fo}	DATA fall time	OL = 5pF	3.5	10	20	ns
		OL = 100pF	30	40	200	ns
T _{Ro}	DATA rise time	**	**	**	ns	
T _V	DATA valid time	200	250	***	ns	
T _{Su}	DATA setup time	100	150	***	ns	
T _{Ho}	DATA hold time	10	15	****	ns	

* $T_{R,max} + T_{F,max} = (F_{sck})^{-1} - T_{sckH} - T_{sckL}$
 ** T_{Ro} is determined by the R_p*C_{bus} time-constant at DATA line
 *** T_{V,max} and T_{Su,max} depend on external pull-up resistor (R_p) and total bus line capacitance (C_{bus}) at DATA line
 **** T_{Ho,max} < T_V - max (T_{Ro}, T_{Fo})

Table 3: SHT1x I/O signal characteristics, OL stands for Output Load, entities are displayed in Figure 11.

3 Communication with Sensor

3.1 Start up Sensor

As a first step the sensor is powered up to chosen supply voltage VDD. The slew rate during power up shall not fall below 1V/ms. After power-up the sensor needs 11ms to get to Sleep State. No commands must be sent before that time.

3.2 Sending a Command

To initiate a transmission, a Transmission Start sequence has to be issued. It consists of a lowering of the DATA line while SCK is high, followed by a low pulse on SCK and raising DATA again while SCK is still high – see Figure 12.

Command	Code
Reserved	0000x
Measure Temperature	00011
Measure Relative Humidity	00101
Read Status Register	00111
Write Status Register	00110
Reserved	0101x-1110x
Soft reset, resets the interface, clears the status register to default values. Wait minimum 11 ms before next command	11110

Table 4: SHT1x list of commands

3.3 Measurement of RH and T

After issuing a measurement command ('00000101' for relative humidity, '00000011' for temperature) the controller has to wait for the measurement to complete. This takes a maximum of 20/80/320 ms for a 8/12/14bit measurement. The time varies with the speed of the internal oscillator and can be lower by up to 30%. To signal the completion of a measurement, the SHT1x pulls data line low and enters Idle Mode. The controller must wait for this Data Ready signal before restarting SCK to readout the data. Measurement data is stored until readout, therefore the controller can continue with other tasks and readout at its convenience.

Two bytes of measurement data and one byte of CRC checksum (optional) will then be transmitted. The micro controller must acknowledge each byte by pulling the DATA line low. All values are MSB first, right justified (e.g. the 5th SCK is MSB for a 12bit value, for a 8bit result the first byte is not used).

Communication terminates after the acknowledge bit of the CRC data. If CRC-8 checksum is not used the controller may terminate the communication after the measurement data LSB by keeping ACK high. The device automatically returns to Sleep Mode after measurement and communication are completed.

Important: To keep self heating below 0.1°C, SHT1x should not be active for more than 10% of the time – e.g. maximum one measurement per second at 12bit accuracy shall be made.

3.4 Connection reset sequence

If communication with the device is lost the following signal sequence will reset the serial interface: While leaving DATA high, toggle SCK nine or more times – see Figure 13. This must be followed by a Transmission Start sequence preceding the next command. This sequence resets the interface only. The status register preserves its content.

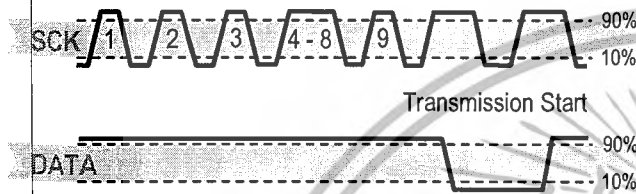


Figure 13: Connection Reset Sequence

3.5 CRC-8 Checksum calculation

The whole digital transmission is secured by an 8bit checksum. It ensures that any wrong data can be detected and eliminated. As described above this is an additional feature of which may be used or abandoned.

Please consult Application Note "CRC-8 Checksum Calculation" for information on how to calculate the CRC.

Status Register

Some of the advanced functions of the SHT1x such as selecting measurement resolution, end of battery notice or using the heater may be activated by sending a command to the status register. The following section gives a brief overview of these features. A more detailed description is available in the Application Note "Status Register".

After the command Status Register Read or Status Register Write – see Table 4 – the content of 8 bits of the status register may be read out or written. For the communication compare Figures 16 and 17 – the assignation of the bits is displayed in Table 5.

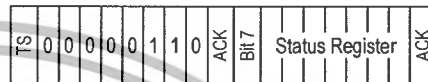


Figure 14: Status Register Write



Figure 15: Status Register Read

Examples of full communication cycle are displayed in Figures 15 and 16.

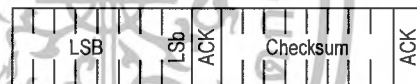
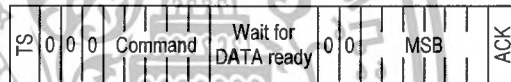


Figure 16: Overview of Measurement Sequence. TS = Transmission Start, MSB = Most Significant Byte, LSB = Last Significant Byte, LSb = Last Significant Bit.

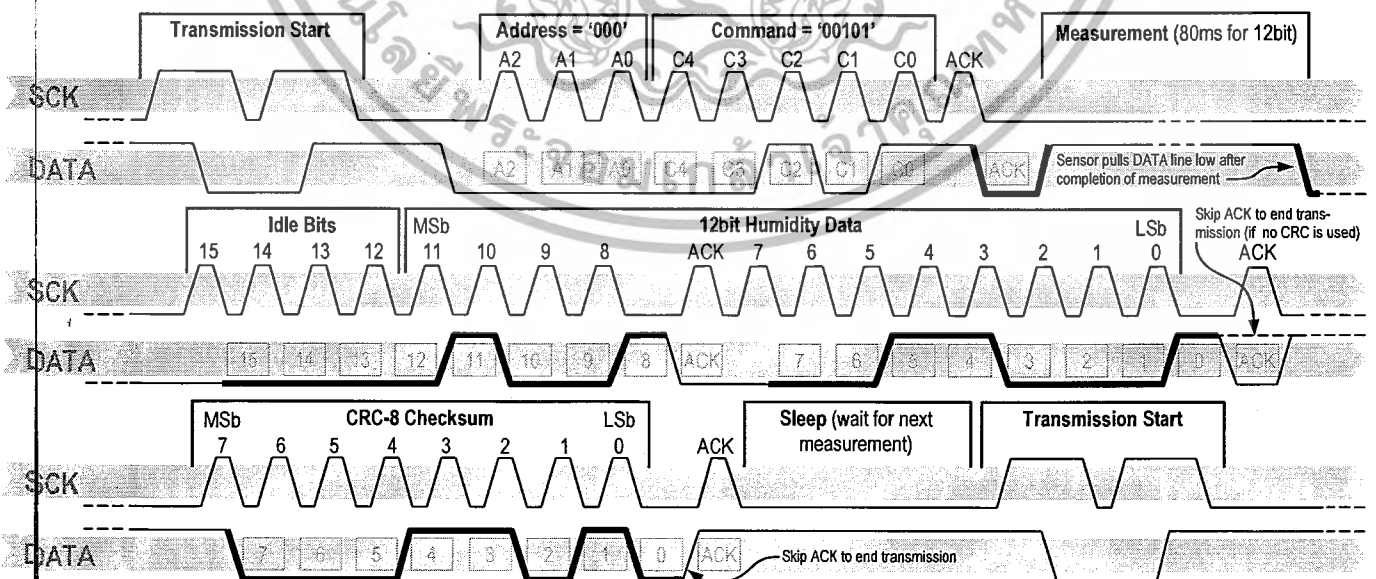


Figure 17: Example RH measurement sequence for value "0000'1001'0011'0001" = 2353 = 75.79 %RH (without temperature compensation). DATA valid times are given and referenced in boxes on DATA line. Bold DATA lines are controlled by sensor while plain lines are controlled by the micro-controller.

Bit	Type	Description	Default
7		reserved	0
6	R	End of Battery (low voltage detection) '0' for VDD > 2.47 '1' for VDD < 2.47	X No default value, bit is only updated after a measurement
5		reserved	0
4		reserved	0
3		For Testing only, do not use	0
2	R/W	Heater	0 off
1	R/W	no reload from OTP	0 reload
0	R/W	'1' = 8bit RH / 12bit Temp. resolution '0' = 12bit RH / 14bit Temp. resolution	0 12bit RH 14bit Temp.

Table 5: Status Register Bits

Measurement resolution: The default measurement resolution of 14bit (temperature) and 12bit (humidity) can be reduced to 12 and 8bit. This is especially useful in high speed or extreme low power applications.

End of Battery function detects and notifies VDD voltages below 2.47 V. Accuracy is ±0.05 V.

Heater: An on chip heating element can be addressed by writing a command into status register. The heater may increase the temperature of the sensor by 5 – 10°C¹² beyond ambient temperature. The heater draws roughly 8mA @ 5V supply voltage.

For example the heater can be helpful for functionality analysis: Humidity and temperature readings before and after applying the heater are compared. Temperature shall increase while relative humidity decreases at the same time. Dew point shall remain the same.

Please note: The temperature reading will display the temperature of the heated sensor element and not ambient temperature. Furthermore, the sensor is not qualified for continuous application of the heater.

4 Conversion of Signal Output

4.1 Relative Humidity

For compensating non-linearity of the humidity sensor – see Figure 18 – and for obtaining the full accuracy of the sensor it is recommended to convert the humidity readout (SO_{RH}) with the following formula with coefficients given in Table 6:

$$RH_{linear} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2 \text{ (%RH)}$$

SO _{RH}	c ₁	c ₂	c ₃
12 bit	-2.0468	0.0367	-1.5955E-6
8 bit	-2.0468	0.5872	-4.0845E-4

Table 6: Optimized V4 humidity conversion coefficients

The values given in Table 6 are newly introduced and provide optimized accuracy for V4 sensors along the full measurement range. The parameter set c_x^{*}, which has been proposed in earlier datasheets, which was optimized for V3 sensors, still applies to V4 sensors and is given in Table 7 for reference.

SO _{RH}	c ₁ [*]	c ₂ [*]	c ₃ [*]
12 bit	-4.0000	0.0405	-2.8000E-6
8 bit	-4.0000	0.6480	-7.2000E-4

Table 7: V3 humidity conversion coefficients, which also apply to V4.

For simplified, less computation intense conversion formulas see Application Note "RH and Temperature Non-Linearity Compensation". Values higher than 99% RH indicate fully saturated air and must be processed and displayed as 100%RH¹³. Please note that the humidity sensor has no significant voltage dependency.

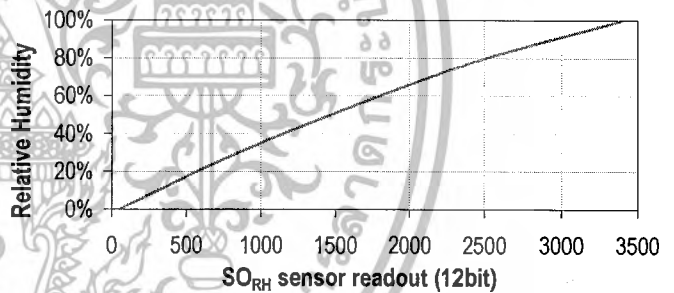


Figure 18: Conversion from SO_{RH} to relative humidity

4.2 Temperature compensation of Humidity Signal

For temperatures significantly different from 25°C (~77°F) the humidity signal requires a temperature compensation. The temperature correction corresponds roughly to 0.12%RH/°C @ 50%RH. Coefficients for the temperature compensation are given in Table 8.

$$RH_{true} = (T_c - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{linear}$$

SO _{RH}	t ₁	t ₂
12 bit	0.01	0.00008
8 bit	0.01	0.00128

Table 8: Temperature compensation coefficients¹⁴

¹³ If wetted excessively (strong condensation of water on sensor surface), sensor output signal can drop below 100%RH (even below 0%RH in some cases), but the sensor will recover completely when water droplets evaporate. The sensor is not damaged by water immersion or condensation.

¹⁴ Coefficients apply both to V3 as well as to V4 sensors.

4.3 Temperature

The band-gap PTAT (Proportional To Absolute Temperature) temperature sensor is very linear by design. Use the following formula to convert digital readout (SO_T) to temperature value, with coefficients given in Table 9:

$$T = d_1 + d_2 \cdot SO_T$$

VDD	d ₁ (°C)	d ₁ (°F)	SO _T	d ₂ (°C)	d ₂ (°F)
5V	-40.1	-40.2	14bit	0.01	0.018
4V	-39.8	-39.6	12bit	0.04	0.072
3.5V	-39.7	-39.5			
3V	-39.6	-39.3			
2.5V	-39.4	-38.9			

Table 9: Temperature conversion coefficients¹⁵.

4.4 Dew Point

SHT1x is not measuring dew point directly, however dew point can be derived from humidity and temperature readings. Since humidity and temperature are both measured on the same monolithic chip, the SHT1x allows superb dew point measurements.

For dew point (T_d) calculations there are various formulas to be applied, most of them quite complicated. For the temperature range of -40 – 50°C the following approximation provides good accuracy with parameters given in Table 10:

$$T_d(RH, T) = T_n \cdot \frac{\ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) + \frac{m \cdot T}{T_n + T}}{m - \ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) - \frac{m \cdot T}{T_n + T}}$$

Temperature Range	T _n (°C)	m
Above water, 0 – 50°C	243.12	17.62
Above ice, -40 – 0°C	272.62	22.46

Table 10: Parameters for dew point (T_d) calculation.

Please note that “ln(...)” denotes the natural logarithm. For RH and T the linearized and compensated values for relative humidity and temperature shall be applied.

For more information on dew point calculation see Application Note “Dew point calculation”.

5 Environmental Stability

If sensors are qualified for assemblies or devices, please make sure that they experience same conditions as the reference sensor. It should be taken into account that response times in assemblies may be longer, hence enough dwell time for the measurement shall be granted. For detailed information please consult Application Note “Qualification Guide”.

The SHT1x sensor series were tested according to AEC-Q100 Rev. F qualification test method. Sensor specifications are tested to prevail under the AEC-Q100 temperature grade 2 test conditions listed in Table 11¹⁶. Sensor performance under other test conditions cannot be guaranteed and is not part of the sensor specifications. Especially, no guarantee can be given for sensor performance in the field or for customer’s specific application.

Please contact Sensirion for detailed information.

Environment	Standard	Results ¹⁷
HTSL	125°C, 1000 hours	Within specifications
TC	-50°C - 125°C, 1000 cycles Acc. JESD22-A104-C	Within specifications
UHST	130°C / 85%RH, 96h	Within specifications
THU	85°C / 85%RH, 1000h	Within specifications
ESD immunity	MIL STD 883E, method 3015 (Human Body Model at ±2kV)	Qualified
Latch-up	force current of ±100mA with T _{amb} = 80°C, acc. JEDEC 17	Qualified

Table 11: Qualification tests: HTSL = High Temperature Storage Lifetime, TC = Temperature Cycles, UHST = Unbiased Highly accelerated temperature and humidity Test, THU = Temperature humidity unbiased

6 Packaging

6.1 Packaging type

SHT1x are supplied in a surface mountable LCC (Leadless Chip Carrier) type package. The sensor housing consists of a Liquid Crystal Polymer (LCP) cap with epoxy glob top on a standard 0.8mm FR4 substrate. The device is fully RoHS and WEEE compliant – it is free of Pb, Cd, Hg, Cr(6+), PBB and PBDE.

¹⁵ Temperature coefficients have slightly been adjusted compared to datasheet SHTxx version 3.01. Coefficients apply to V3 as well as V4 sensors.

¹⁶ Sensor operation temperature range is -40 to 105°C according to AEC-Q100 temperature grade 2.

¹⁷ According to accuracy and long term drift specification given on Page 2.

Device size is 7.47 x 4.93 x 2.5 mm (0.29 x 0.19 x 0.1 inch), see Figure 1, weight is 100 mg.

6.2 Traceability Information

All SHT1x are marked with an alphanumeric, three digit code on the chip cap (for reference: V3 sensors were labeled with numeric codes) – see "A5Z" on Figure 1. The lot numbers allow full traceability through production, calibration and testing. No information can be derived from the code directly, respective data is stored at Sensirion and is provided upon request.

Labels on the reels are displayed in Figures 19 and 20, they both give traceability information.

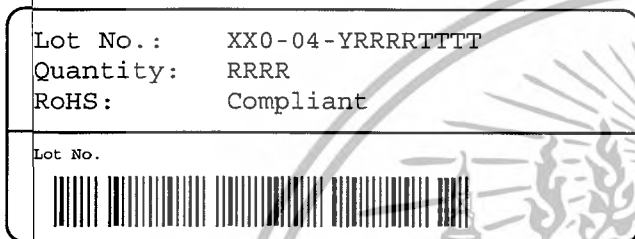


Figure 19: First label on reel: XX = Sensor Type (11 for SHT11), 04 = Chip Version (V4), Y = last digit of year, RRRR = number of sensors on reel, TTTT = Traceability Code.

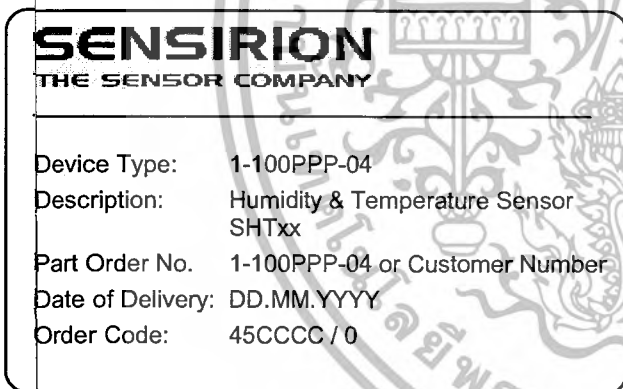


Figure 20: Second label on reel: For Device Type and Part Order Number please refer to Table 12, Delivery Date (also Date Code) is date of packaging of sensors (DD = day, MM = month, YYYY = year), CCCC = Sensirion order number.

6.3 Shipping Package

SHT1x are shipped in 12mm tape at 100pcs, 400pcs and 2000pcs – for details see Figure 21 and Table 12. Reels are individually labeled with barcode and human readable labels.

Sensor Type	Packaging	Quantity	Order Number
SHT10	Tape & Reel	2000	1-100218-04
SHT11	Tape & Reel	100	1-100051-04
	Tape & Reel	400	1-100098-04
	Tape & Reel	2000	1-100524-04
SHT15	Tape & Reel	100	1-100085-04
	Tape & Reel	400	1-100093-04

Table 12: Packaging types per sensor type.

Dimensions of packaging tape is given in Figure 21. All tapes have a minimum of 480mm empty leader tape (first pockets of the tape) and a minimum of 300mm empty trailer tape (last pockets of the tape).

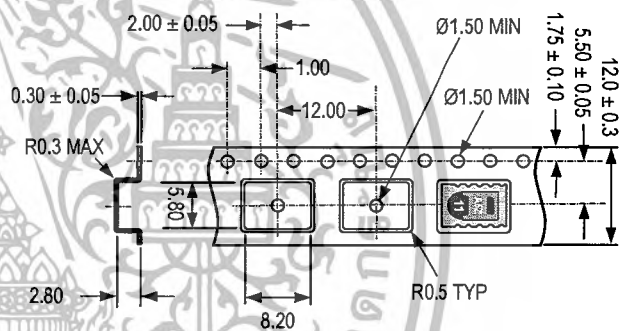


Figure 21: Tape configuration and unit orientation within tape, dimensions in mm (1mm = 0.039inch). The leader tape is at the right side of the figure while the trailer tape is to the left (direction of unreeling).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไปทางกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Revision History

Date	Version	Page(s)	Changes
March 2007	3.0	1 – 10	Data sheet valid for SHTxx-V4 and SHTxx-V3
August 2007	3.01	1 – 10	Electrical characteristics added, measurement time corrected
July 2008	4.0	1 – 11	New release, rework of datasheet
September 2008	4.1	3, 4	Adjustment of normal operating range and recommendation for antistatic bag

Important Notices

Warning, Personal Injury

Do not use this product as safety or emergency stop devices or in any other application where failure of the product could result in personal injury. Do not use this product for applications other than its intended and authorized use. Before installing, handling, using or servicing this product, please consult the data sheet and application notes. Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.

If the Buyer shall purchase or use SENSIRION products for any unintended or unauthorized application, Buyer shall defend, indemnify and hold harmless SENSIRION and its officers, employees, subsidiaries, affiliates and distributors against all claims, costs, damages and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if SENSIRION shall be allegedly negligent with respect to the design or the manufacture of the product.

ESD Precautions

The inherent design of this component causes it to be sensitive to electrostatic discharge (ESD). To prevent ESD-induced damage and/or degradation, take customary and statutory ESD precautions when handling this product.

See application note "ESD, Latchup and EMC" for more information.

Warranty

SENSIRION warrants solely to the original purchaser of this product for a period of 12 months (one year) from the date of delivery that this product shall be of the quality, material and workmanship defined in SENSIRION's published specifications of the product. Within such period, if proven to be defective, SENSIRION shall repair and/or replace this product, in SENSIRION's discretion, free of charge to the Buyer, provided that:

- notice in writing describing the defects shall be given to SENSIRION within fourteen (14) days after their appearance;

- such defects shall be found, to SENSIRION's reasonable satisfaction, to have arisen from SENSIRION's faulty design, material, or workmanship;
- the defective product shall be returned to SENSIRION's factory at the Buyer's expense; and
- the warranty period for any repaired or replaced product shall be limited to the unexpired portion of the original period.

This warranty does not apply to any equipment which has not been installed and used within the specifications recommended by SENSIRION for the intended and proper use of the equipment. EXCEPT FOR THE WARRANTIES EXPRESSLY SET FORTH HEREIN, SENSIRION MAKES NO WARRANTIES, EITHER EXPRESS OR IMPLIED, WITH RESPECT TO THE PRODUCT. ANY AND ALL WARRANTIES, INCLUDING WITHOUT LIMITATION, WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, ARE EXPRESSLY EXCLUDED AND DECLINED.

SENSIRION is only liable for defects of this product arising under the conditions of operation provided for in the data sheet and proper use of the goods. SENSIRION explicitly disclaims all warranties, express or implied, for any period during which the goods are operated or stored not in accordance with the technical specifications.

SENSIRION does not assume any liability arising out of any application or use of any product or circuit and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. All operating parameters, including without limitation recommended parameters, must be validated for each customer's applications by customer's technical experts. Recommended parameters can and do vary in different applications.

SENSIRION reserves the right, without further notice, (i) to change the product specifications and/or the information in this document and (ii) to improve reliability, functions and design of this product.

Copyright© 2007, SENSIRION.
CMOSens® is a trademark of Sensirion
All rights reserved

Headquarter and Sales Offices

Headquarter

SENSIRION AG
Laubisruetistr. 50
CH-8712 Staefa ZH
Switzerland

Phone: +41 (0)44 306 40 00
Fax: +41 (0)44 306 40 30
info@sensirion.com
<http://www.sensirion.com/>

Sales Office USA:

SENSIRION Inc.
2801 Townsgate Rd., Suite 240
Westlake Village, CA 91361
USA

Phone: 805 409 4900
Fax: 805 435 0467
michael.karst@sensirion.com
<http://www.sensirion.com/>

Sales Office Korea:

SENSIRION KOREA Co. Ltd.
#1414, Anyang Construction Tower B/D,
1112-1, Bisan-dong, Anyang-city
Gyeonggi-Province
South Korea

Phone: 031 440 9925-27
Fax: 031 440 9927
info@sensirion.co.kr
<http://www.sensirion.co.kr>

Sales Office Japan:

SENSIRION JAPAN Co. Ltd.
Postal Code: 108-0074
Shinagawa Station Bldg. 7F,
4-23-5, Takanawa, Minato-ku
Tokyo, Japan

Phone: 03 3444 4940
Fax: 03 3444 4939
info@sensirion.co.jp
<http://www.sensirion.co.jp>

Find your local representative at: <http://www.sensirion.com/rep>



การทดสอบหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ ในเครื่องทดสอบระบบปรับอากาศแบบไหลเวียน¹

วีระพันธ์ ศรีพงษ์², วีระวงศ์ คำรัมย์², สกนธ์ฤทธิ์ ถัดทะพงษ์², ผศ.ดร.อนุหนัด พิณโสภณ³

บทคัดย่อ

โครงการนี้ทำการศึกษาและออกแบบระบบควบคุมความชื้นในเครื่องทดสอบระบบปรับอากาศแบบไหลเวียน เพื่อทดสอบหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแตกต่างกัน เดิมทีการวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องทดสอบนี้ทำได้โดยการนำค่าอุณหภูมิ กระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งไปหาจากแผนภูมิไซโครเมตริก และเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศโดยการปรับขดลวดความร้อน (Heater) ในเครื่องกำเนิดไอน้ำได้สามระดับ ทำให้มีความจำกัดในการจำลองสภาวะของอากาศ คณะผู้จัดทำจึงมีแนวความคิดที่จะออกแบบระบบควบคุมความชื้นที่สามารถเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ได้หลายค่า โดยใช้เซนเซอร์ในการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ก่อนเข้าเครื่องระเหย (Evaporator) แล้วส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล เราสามารถกำหนดค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการจะควบคุมลงในโปรแกรมควบคุมบนหน้าจอกอมพิวเตอร์ได้ เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ต่ำกว่าค่าที่เรากำหนดไว้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้วาล์วโซเลนอยด์เปิดเพื่อปล่อยไอน้ำเข้าสู่ระบบ ถ้าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเกินกว่าที่เรากำหนดไว้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้วาล์วโซเลนอยด์ปิด จนกระทั่งความชื้นสัมพัทธ์ในระบบตรงกับค่าที่กำหนดไว้และอยู่ในสภาวะคงที่ จากนั้นจะทำการคำนวณหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น จากผลการทดลองค่าคลาดเคลื่อนในการควบคุมมีค่าประมาณความชื้นสัมพัทธ์ $\pm 3\%$ เมื่อใช้ความเร็วลมสูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์ $\pm 2\%$ เมื่อใช้ความเร็วลมปานกลาง สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและความเร็วลมเพิ่มขึ้น

Abstract

This project to study and develops humidity control system in the recirculating air conditioning trainer. For testing to find coefficient of performance (COP) at various relative humidity. At first this trainer measures humidity by bringing dry bulb and wet bulb plot in psychrometrics chart. And it cans change relatives humidity by adjusting heaters for three levels. It makes limit to simulate air condition. We have an idea to study and design humidity control system that cans change for various relatives humidity. We use sensors to measure relatives humidity before evaporator inlet. Sensors will send the data to microcontroller for processing. We can specify humidity into Program on computer. To control solenoid valve releases steam into system. When humidity is more than specific value. Microcontroller will order to close solenoid valve. But if less than will be opened. Until humidity in system close to setting value and stable in this condition. And then we will calculate COP at steady state. From experiment we have an error about $\pm 3\%RH$ for maximum fan speed and $\pm 2\%RH$ for medium fan speed. Increasing of relative humidity will makes COP increase also. And COP when uses maximum fan speed is more than medium fan speed.

© 2008 Department of Mechanical Engineering, KMUTL. All rights reserved

Keywords: dry bulb, wet bulb, psychrometrics

1. บทนำ

จากการศึกษาเครื่องทดสอบระบบปรับอากาศ เราพบว่าเครื่องทดสอบยังไม่มีระบบควบคุมความชื้นที่ถูกต้องแม่นยำ จึงส่งผลให้การคำนวณค่าต่างๆ ที่ออกมามีค่าที่คลาดเคลื่อนและไม่ถูกต้อง ดังนั้นการศึกษาและแนวทางในการพัฒนาครั้งนี้จึงออกแบบให้เป็นการควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม และมีเซนเซอร์วัดความชื้นเป็นตัวตรวจจับ ซึ่งข้อดีของการใช้การควบคุมแบบนี้คือสามารถควบคุมความชื้นได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ทำให้ค่าต่างๆที่คำนวณได้มีความถูกต้อง เมื่อสร้างเสร็จแล้วจะเป็นประโยชน์ และเป็นแนวทางในการพัฒนาสำหรับรุ่นต่อไป

¹ ชื่ออังกฤษ "Testing to find coefficient of performance at various relative humidity in recirculating air conditioning trainer"

² นักศึกษามหาวิทยาลัยวิศวกรรมเครื่องกล สจล. ห้อง 4G รหัส 48010853, 48010856 และ 48010922 ตามลำดับ

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล. โทร. 0 2326 4197, อีเมล kpunnut@kmitl.ac.th

สัญลักษณ์

EER	ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน	P_{motor}	กำลังงานที่ใช้ของคอมเพรสเซอร์
COP	สมรรถนะของการทำความเย็น	h_1	เอนทัลปีของอากาศก่อนเข้าอีแวปโปเรเตอร์
Q_{total}	ปริมาณความร้อนรวม	h_2	เอนทัลปีของอากาศออกจากอีแวปโปเรเตอร์
$Q_{sensible}$	ปริมาณความร้อนสัมผัส	cfm	อัตราการไหลโดยปริมาตรของอากาศ
Q_{latent}	ปริมาณความร้อนแฝง	v	ปริมาตรจำเพาะของไอน้ำในอากาศ

2. วัตถุประสงค์

เนื่องจากการทดสอบระบบทำความเย็นในเครื่องทดสอบระบบปรับอากาศแบบหมุนวนที่ใช้ในการศึกษาวิชา “การทำทำความเย็น (Refrigeration)” ในปัจจุบัน การหาค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH) ทำได้โดยการนำค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb temperature, WB) และค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb temperature, DB) ไปเขียนลงในแผนภูมิไซโครเมตริก และการเพิ่มความชื้นให้แก่ระบบ ทำได้โดยการฉีดพ่นไอน้ำจากเครื่องกำเนิดไอน้ำ (Steam generator) เข้าสู่ระบบ จากนั้นก็ทำการหาค่าความชื้นตามวิธีการที่ผ่านมาเมื่อค่าความชื้นตรงตามความต้องการของผู้ทดลองแล้ว ก็จะปิดเครื่องกำเนิดไอน้ำ วิธีการที่กล่าวมานี้มีความยุ่งยากและอาจจะเกิดความผิดพลาดได้ง่ายเนื่องจากอุณหภูมิหรือความดันจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

ด้วยเหตุนี้จึงทำโครงการนี้ขึ้นเพื่อการศึกษา ออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมความชื้นที่สามารถหาและควบคุมค่าความชื้นในระบบให้มีค่าคงที่(ตามความต้องการของผู้ใช้)สะดวกต่อการใช้งานและมีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น

ที่กำหนดให้ในสภาวะใด ๆ คือ มวลของไอน้ำต่อปริมาตรของอากาศที่สภาวะนั้น ความชื้นสมบูรณ์หรืออาจจะเรียกว่า ความหนาแน่นไอน้ำ (Vapor density) มีหน่วยเป็น กรัมต่อลูกบาศก์เมตร (g/m³) หรือ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m³)

$$\text{ความชื้นสมบูรณ์} = \frac{1}{v} \quad (\text{kg/m}^3)$$

เมื่อ $v =$ ปริมาตรจำเพาะของไอน้ำ

3.2 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH)

หมายถึง อัตราส่วนความดันของไอน้ำในอากาศที่มีอยู่ในอากาศขึ้นกับความดันอิ่มตัวของไอน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน (ความดันไอน้ำที่เกิดขึ้นจริง)

$$\%RH = \frac{\text{ความดันที่จุดอิ่มตัวของไอน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน}}{\text{ความดันไอน้ำที่เกิดขึ้นจริง}} \times 100$$

%RH บางครั้งหมายถึง อัตราส่วนของความหนาแน่นไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศขึ้นและความหนาแน่นไอน้ำที่อิ่มตัว

3.3 สัมประสิทธิ์สมรรถนะ, COP (Coefficient of performance)

คือค่าที่ใช้แสดงประสิทธิภาพของการทำความเย็น โดยเป็นค่าเปรียบเทียบระหว่างผลของความเย็นที่ได้ทำงานที่ให้กับระบบ หรือ

$$COP = \frac{Q_{total} \text{ (Btu / hr)}}{P_{motor} \text{ (Btu / hr)}}$$

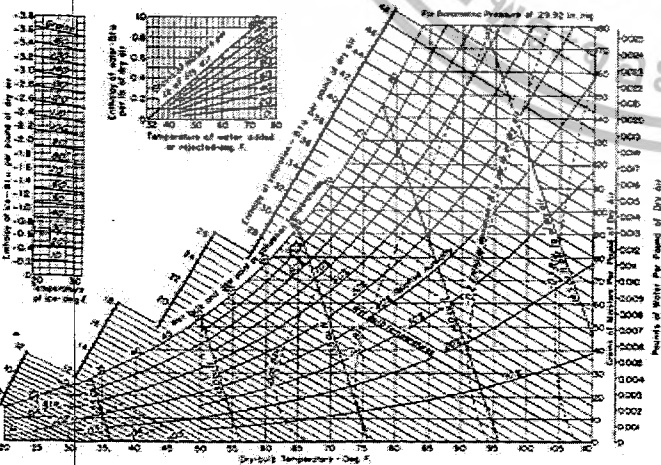
เมื่อ $Q_{total} = Q_{sensible} + Q_{latent}$

$$= \frac{cfm(h_2 - h_1)}{v} \quad (\text{Btu/min})$$

$$EER = 3.412(COP)$$

3.4 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb temperature, DB)

หมายถึง อุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ กระเปาะแห้ง ในการวัดจะต้องให้อยู่ในที่อากาศถ่ายเทสะดวก เพื่อให้ค่าที่อ่านได้ถูกต้องและป้องกันค่าที่ผิดพลาดจากการแผ่รังสีนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 1 แผนภูมิไซโครเมตริก

3. ทฤษฎี

3.1 ความชื้นสมบูรณ์ของอากาศ (Absolute Humidity)

เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb temperature, WB)

หมายถึง อุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ที่กระเปาะหุ้มด้วยผ้าที่ชื้น โดยมีกระแสลมที่มีความเร็วระหว่าง 5-10 เมตรต่อวินาที พัดผ่านกระเปาะ



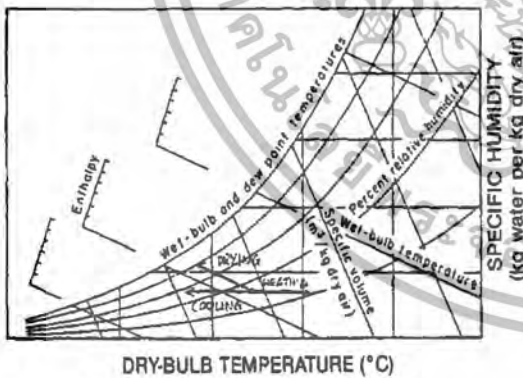
รูปที่ 3 วาล์วโซเลนอยด์

3.6 แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric charts)

เป็นกราฟซึ่งแสดงคุณสมบัติของอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 1 ค่าที่กำหนดในแผนภูมิเป็นค่าที่ได้จากอากาศมาตรฐานและที่ความกดดันของบรรยากาศ

รูปที่ 2 เป็นการแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างทั่วไปของแผนภูมิไซโครเมตริกและคุณสมบัติพื้นฐานบางอันของอากาศ

- (1) เส้นในแนวตั้งของแผนภูมิเป็นเส้นอุณหภูมิ DB คงที่
- (2) เส้นในแนวราบเป็นเส้นอุณหภูมิ DP คงที่และอัตราส่วนความชื้น
- (3) เส้นที่ลากทแยงมุมเป็นเส้นอุณหภูมิ WB คงที่
- (4) เส้นที่ลากในแนวตั้งแต่เฉียงมาทางด้านซ้ายเป็นเส้นปริมาตรจำเพาะคงที่
- (5) เส้นโค้งที่ลากจากด้านล่างซ้ายมือไปยังด้านขวามือบนแผนภูมิเป็นเส้นความชื้นสัมพัทธ์และเส้นส่วนโค้งทางซ้ายสุดของแผนภูมิเป็นเส้น 100%RH
- (6) เส้นโค้งหักเห (Deviation curve) เป็นเส้นของเอนทัลปีที่ผิดไปจากเอนทัลปีจำเพาะ



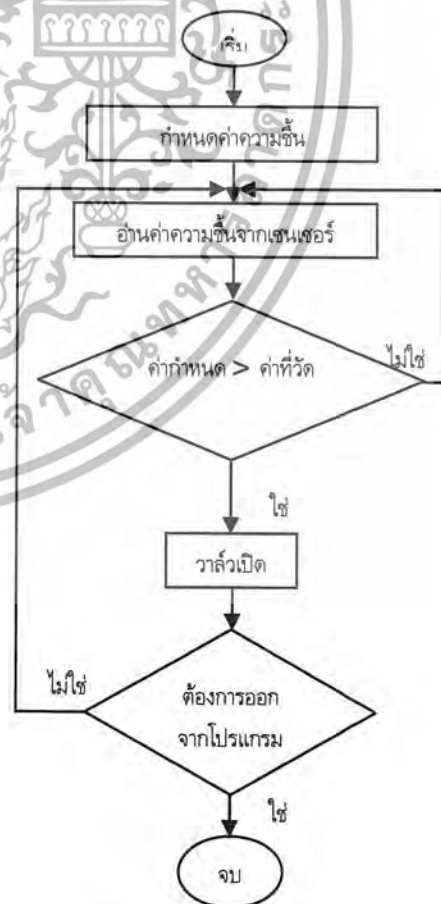
รูปที่ 2 โครงสร้างทั่วไปของแผนภูมิไซโครเมตริก

4. ขอบเขตของการทำวิจัย

- 4.1 ศึกษาและทดลองการควบคุมความชื้น
- 4.2 ออกแบบและสร้างระบบควบคุมความชื้น
- 4.3 ทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมความชื้นในเครื่องทดสอบระบบปรับอากาศ

5. วิธีการทำวิจัย

5.1 แผนภูมิการทำงาน (Flow chart) ของระบบควบคุมความชื้น



3.7 วาล์วทำงานด้วยไฟฟ้า (Solenoid valve)

วาล์ว 2/2 ปกติเปิด เลื่อนลิ้นไปด้วยขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า (วาล์วแบบนึ่งบ่า) (2/2 way single solenoid valve)

- ช่วงความดันที่ใช้งาน 0-10 kg/cm²
- ใช้ไฟฟ้าแรงดัน 220 VAC
- เรือนวาล์วทำจากทองเหลือง

เอกสารนี้ตีพิมพ์ครั้งแรกใน ค.ศ. 1800 และใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อยู่ภายใต้ลิขสิทธิ์ใดๆ และไม่ควรถูกใช้เพื่อการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

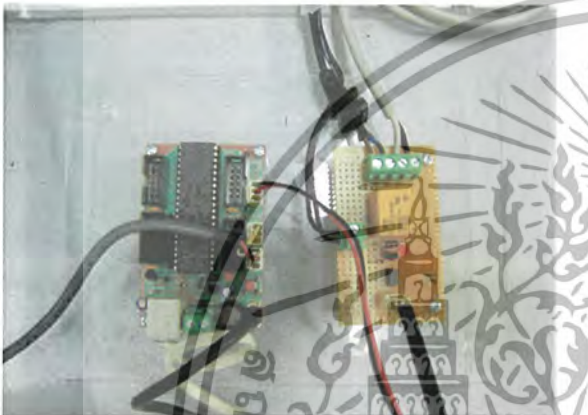
- ระยะเวลาการเปิด 50-700 ms
- ระยะเวลาการปิด 100-2500 ms

รูปที่ 4 แผนภูมิการทำงานเบื้องต้น

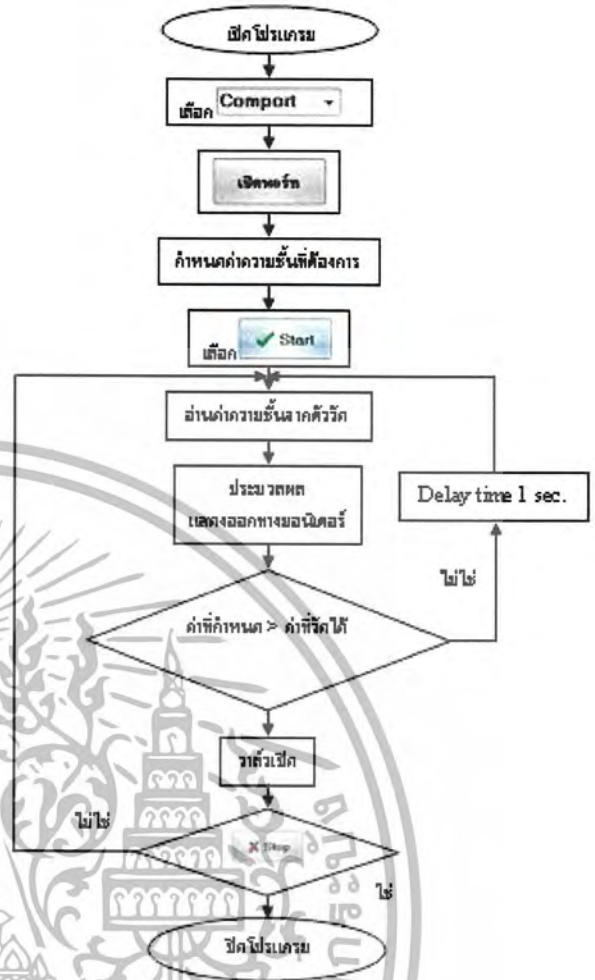
5.2 ออกแบบและสร้างระบบควบคุมความชื้น

ในการสร้างและการออกแบบระบบควบคุมความชื้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1.เขียนโปรแกรมอ่านค่าความชื้นจากเซนเซอร์ผ่านทางบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นเขียนโปรแกรมรับค่าจากไมโครคอนโทรลเลอร์และแสดงผลบนจอมอนิเตอร์ นำค่าที่รับมาประมวลผลเพื่อสั่งงานให้แก่โซเลนอยด์วาล์วเปิดปิดเพื่อปล่อยความชื้นหรือไอน้ำเข้าระบบ ทำการควบคุมการทำงานของโซเลนอยด์วาล์วผ่านทางรีเลย์

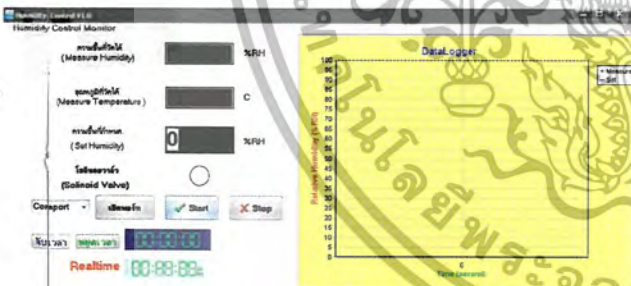


รูปที่ 5 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรรีเลย์



รูปที่ 8 แผนภูมิการไหลของการทำงานที่จอแสดงผล

2. ติดตั้งและซ่อมบำรุงเครื่องมือต่าง ๆ เช่น เปลี่ยนชนิดความถี่ของเครื่องกำเนิดไอน้ำ เติมน้ำทำความเย็น R-22ให้แก่ระบบ เป็นต้น



รูปที่ 6 หน้าจอแสดงผลที่ได้จากการวัดและการควบคุม



รูปที่ 7 การติดตั้งวาล์วโซเลนอยด์



รูปที่ 9 การติดตั้งและซ่อมบำรุงเครื่องกำเนิดไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 7 การติดตั้งวาล์วโซเลนอยด์



รูปที่ 10 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆและพร้อมทำการทดสอบ

5.3 ทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมความชื้น

- วิธีการทดสอบการทดลองจะทำการทดลองทั้งหมด

8 การทดลอง โดยก่อนการทดลองแต่ละครั้งจะต้มน้ำที่อยู่ใน Steam

generator ให้เดือดก่อน โดยปิด Steam generator switch ไปที่

ตำแหน่ง 2 ซึ่งให้กำลังแก่ Heater 3 kW ใช้เวลาประมาณ 10 นาที น้ำ

จึงจะเดือด แล้วจึงเริ่มทำการทดลอง

การทดลองทั้งหมดมีดังนี้

การทดลองที่ 1 : ความเร็วลมสูงสุด ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 40%

การทดลองที่ 2 : ความเร็วลมปานกลาง ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 40%

การทดลองที่ 3 : ความเร็วลมสูงสุด ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 50%

การทดลองที่ 4 : ความเร็วลมปานกลาง ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 50%

การทดลองที่ 5 : ความเร็วลมสูงสุด ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 60%

การทดลองที่ 6 : ความเร็วลมปานกลาง ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 60%

การทดลองที่ 7 : ความเร็วลมสูงสุด ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 70%

การทดลองที่ 8 : ความเร็วลมปานกลาง ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 70%

- ขั้นตอนการทดลอง

1. ปิดประตูทางออกของเครื่องทดสอบเพื่อให้อากาศในการ

ทดลองเป็นแบบหมุนเวียน

2. เติมน้ำกลั่นในถังวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก

3. ต่อสายไฟในที่ที่มีฉนวน

4. ตรวจสอบดูสวิทช์ควบคุม (Heater, Boiler and Compressor)

ทุกจุดว่าอยู่ในสถานะปิดอยู่หรือไม่และ Breakers (F1-F10) ปิดอยู่

หรือไม่

5. ปรับ Damper ไปที่ตำแหน่ง 0%

6. ตั้ง Thermostat ของ Boiler ไปที่ 105°C

7. เปิด Boiler ไปที่ 5 kW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เปิดสวิทช์ Blower fan ตั้งค่าเป็น Max หรือ Medium ตามแต่ผลการทดลองข้างต้น

9. ตั้งค่าความชื้นที่โปรแกรมควบคุมความชื้นตามแต่ผลการทดลองข้างต้น

10. บันทึกค่า อุณหภูมิที่จุด 2A, 2B, 3A, 3B, 5A, 5B จาก Thermometer

บันทึกค่า ความเร็วลมที่จุด 5 โดยดูจาก Anemometer 2

บันทึกค่า ความชื้นที่วัดได้จากเซ็นเซอร์วัดความชื้นที่แสดงทางโปรแกรมวัดความชื้น

โดยค่าทั้งหมดนี้เป็นค่าที่เวลา $t=0$

11. เปิด Pre-Heater ไปที่ตำแหน่ง 2 (1 kW)

12. เปิด Re-Heater ไปที่ตำแหน่ง 1 (0.5 kW)

13. เปิดสวิทช์คอมเพรสเซอร์

14. คลิกปุ่มจับเวลาที่โปรแกรมควบคุมความชื้นเพื่อเริ่มจับเวลา

15. สังเกตและบันทึกค่าอุณหภูมิ จุด 2A, 2B, 3A, 3B, 5A, 5B, ค่าความชื้นและความเร็วลมที่จุด 5 ทุกๆ 2 นาที จนครบ 30 นาที

16. เมื่อครบ 30 นาทีแล้ว ปิดสวิทช์ Steam generator, Pre-Heater, Re-Heater และ Compressor

17. เปิดประตูเครื่องทดสอบเพื่อระบายความชื้นออก

18. เมื่อครบ 5 นาที หลังจากที่ Compressor หยุดทำงาน ปิดสวิทช์ Blower fan และกดปุ่ม Stop ที่เครื่องทดสอบ และกดปุ่ม

Power เพื่อปิดการทำงานของเครื่อง

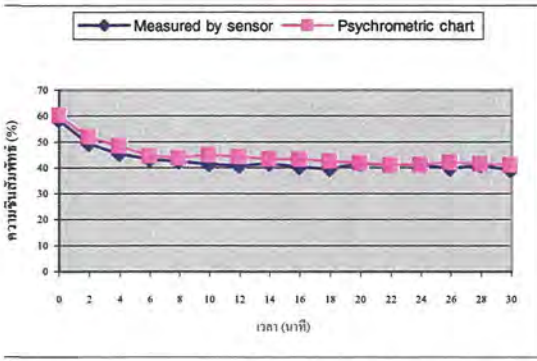
19. นำค่าที่ได้ plot ลงใน Psychrometric Chart เพื่อเปรียบเทียบค่าความชื้นที่เซ็นเซอร์วัดได้กับค่าที่ได้จาก Psychrometric

Chart และคำนวณหาค่า COP และ EER ต่อไป

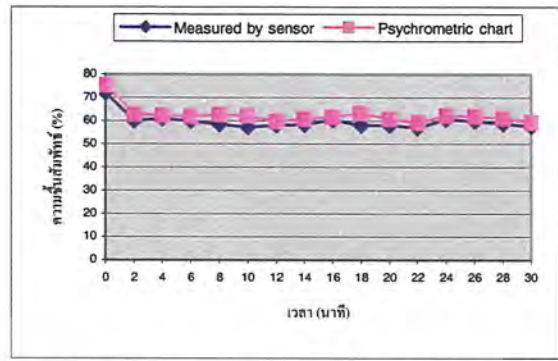
หมายเหตุ : ในการทดลองแต่ละครั้งเมื่อทดลองเสร็จและปิดเครื่องแล้ว ต้องรอประมาณ 30 นาที จึงจะทดลองการทดลองอันต่อไป

ได้ เพื่อให้เซ็นเซอร์วัดค่าได้อย่างถูกต้องแม่นยำและมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

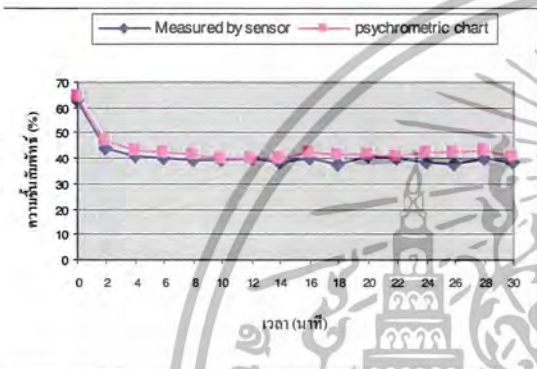
การทดลอง



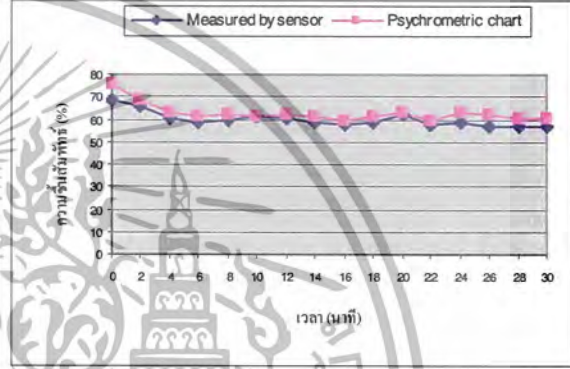
การทดลองที่ 1 ความเร็วลมสูงสุด ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 40%



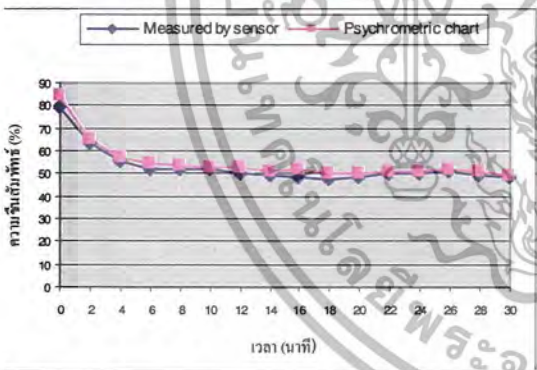
การทดลองที่ 5 ความเร็วลมสูงสุด ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 60%



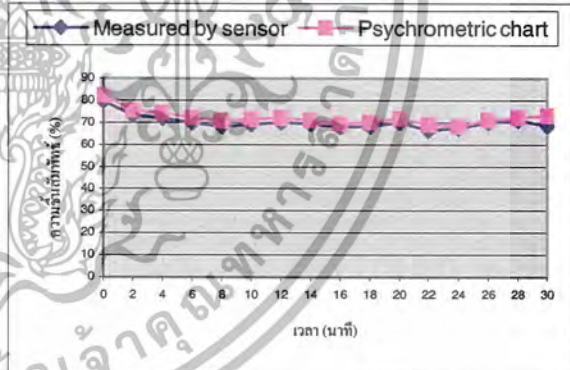
การทดลองที่ 2 ความเร็วลมปานกลาง ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 40%



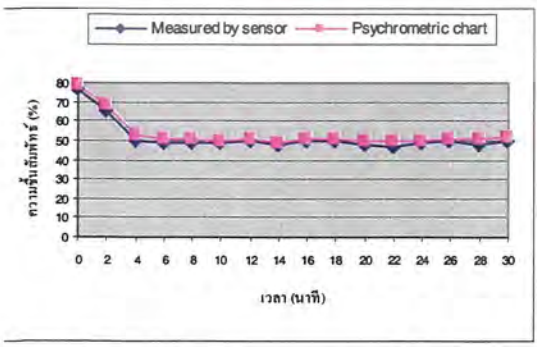
การทดลองที่ 6 ความเร็วลมปานกลาง ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 60%



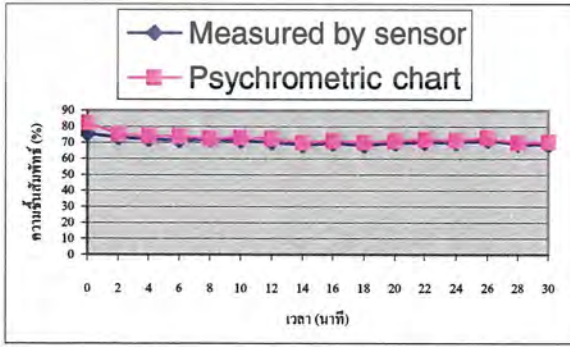
การทดลองที่ 3 ความเร็วลมสูงสุด ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 50%



การทดลองที่ 7 ความเร็วลมสูงสุด ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 70%

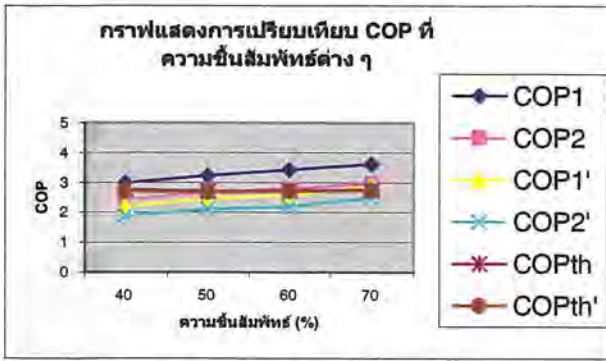


การทดลองที่ 4 ความเร็วลมปานกลาง ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 50%



การทดลองที่ 8 ความเร็วลมปานกลาง ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงค่า COP ที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ

7. สรุปผล

1. จากกราฟการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการวัดโดยเซนเซอร์และจากการพล็อตในแผนภูมิไซโครเมตริก จะพบว่าค่าที่อ่านได้จากทั้งสองวิธีในตอนแรกจะมีค่าค่อนข้างลดลงและเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไปช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งสาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะตอนที่เริ่มทำการทดลอง อุณหภูมิและความชื้นภายในเครื่องทดสอบยังมีค่าสูงอยู่ ซึ่งเมื่อทำการทดลองไประยะหนึ่ง ระบบปรับอากาศจะทำให้อุณหภูมิลดลงจึงส่งผลให้ค่าความชื้นลดลงไปด้วย จนกระทั่งมีค่าคงที่ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการควบคุม เมื่อทดสอบที่ความชื้นสูงขึ้นระบบจะเข้าสู่สภาวะควบคุมได้เร็วขึ้น เนื่องจากในตอนแรกความชื้นในเครื่องทดสอบมีค่าสูง ถ้าต้องการควบคุมความชื้นที่สูงขึ้น ระบบจะใช้เวลาในการลดความชื้นน้อยลง ทำให้เข้าสู่สภาวะควบคุมได้เร็วขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อนของการควบคุมมีค่าประมาณความชื้นสัมพัทธ์ $\pm 3\%$ เมื่อใช้ความเร็วลมในการทดลองสูงสุดและมีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณความชื้นสัมพัทธ์ $\pm 2\%$ เมื่อใช้ความเร็วลมในการทดลองปานกลาง แสดงว่า การใช้ความเร็วลมในการทดลองตัวกว่าจะทำให้สามารถควบคุมความชื้นได้แม่นยำกว่า

2. จากการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของการทำความเย็นเมื่อเวลาผ่านไปจะเห็นว่าในระยะแรก จะยังไม่คงที่เพราะอยู่ในช่วงที่เครื่องกำลังเริ่มทำงาน แต่เมื่อระบบทำงานไประยะหนึ่ง จะเริ่มคงที่มากขึ้น เพราะว่าค่าของอุณหภูมิและความชื้นในระบบเริ่มคงที่ ดังนั้นการหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นควรใช้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นที่สภาวะคงที่ (Steady State) จะได้อัตราที่มีค่าความถูกต้องมากที่สุด

3. การเพิ่มอุณหภูมิและความชื้นของอากาศก่อนเข้าเครื่องระเหยจะทำให้ความดันด้านดูด (Suction line, P_L) และความดันด้านขยาย (Discharge line, P_H) เพิ่มขึ้นตามไปด้วยเพราะการเพิ่มอุณหภูมิและความชื้นของอากาศโดยการใช้น้ำทำให้อุณหภูมิและเอนทัลปีของอากาศเพิ่มขึ้น ความร้อนที่เพิ่มขึ้นนี้จะถูกสารทำความเย็นพาออกไปที่อุณหภูมิและความดันของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จาก

การวิเคราะห์ในทางทฤษฎีของกรณีนี้ จะเห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นลดลงเมื่อภาระการทำความเย็นเพิ่มขึ้น สาเหตุมาจากการที่คอมเพรสเซอร์ทำงานเต็มประสิทธิภาพตลอดเวลา ด้วยอัตราส่วนการอัดประมาณ 8:1 กำลังที่ให้แก่อคอมเพรสเซอร์จึงมีค่าคงที่ แต่ค่าการทำความเย็น (Refrigerating Effect, R.E.) มีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มภาระของการทำความเย็น

4. ปริมาณน้ำแข็งที่เกาะที่บริเวณผิวท่อภายในเครื่องระเหยมีผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของระบบ เนื่องจากน้ำแข็งที่เกาะอยู่ที่ผิวท่อจะทำให้พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศและสารทำความเย็นมีปริมาณน้อยลง ทำให้ปริมาณความร้อนที่ถูกดูดออกไปลดลงในขณะที่คอมเพรสเซอร์ทำงานเต็มประสิทธิภาพตลอดเวลา ดังนั้น ยิ่งมีน้ำแข็งเกาะที่ผิวท่อเครื่องระเหยมากขึ้น สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นก็จะลดลง ด้วยเหตุนี้ถ้าต้องการให้ระบบมีสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นมากที่สุดควรมีการควบคุมให้มีปริมาณน้ำแข็งเกาะที่ผิวท่อภายในเครื่องระเหยน้อยที่สุดด้วย

5. จากผลที่ได้จากการทดลอง จะเห็นว่าค่า COP มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความชื้นของอากาศ ซึ่งมีสาเหตุมาจากในขณะทำการทดลองเมื่อระบบทำความเย็นเริ่มทำงานอากาศเริ่มเคลื่อนที่ผ่านเครื่องระเหย มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศและสารทำความเย็นผ่านผิวท่อภายในเครื่องระเหย ความร้อนของอากาศก็就会被สารทำความเย็นดูดออกไป ความชื้นหรือไอน้ำของอากาศจะถูกควบแน่นและระบายออกแต่มีไอน้ำบางส่วนที่ยังเกาะอยู่บริเวณผิวท่อจนกลายเป็นน้ำแข็ง เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณน้ำแข็งที่เกาะที่ผิวท่อก็จะเพิ่มมากขึ้น ผลที่เกิดขึ้นจะทำให้อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยลดลงและประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของเครื่องระเหยก็จะมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน เนื่องจากพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับสารทำความเย็นถูกแทนที่ด้วยน้ำแข็ง

เมื่อมีการเพิ่มความชื้นให้แก่อากาศด้วยไอน้ำจากเครื่องกำเนิดไอน้ำซึ่งมีอุณหภูมิสูง จากการทดลองจะสังเกตเห็นว่าปริมาณของน้ำแข็งที่เกาะที่ผิวท่อภายในเครื่องระเหยจะมีปริมาณลดลงและอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความชื้นของอากาศ ผลของอัตราการไหลของอากาศที่เพิ่มขึ้นและปริมาณน้ำแข็งที่น้อยลงนี้ทำให้การคำนวณค่า COP จากการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความชื้นของอากาศ

8. ข้อเสนอแนะ

1. การเพิ่มความชื้นให้กับระบบโดยการใช้ไอน้ำจะทำให้สภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงไปได้ เพราะว่าไอน้ำไม่ได้เพิ่มเพียงแค่ความชื้นแต่ยังเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบด้วย
2. ถ้าต้องการค่าความแม่นยำเพิ่มมากขึ้นควรใช้ตัวควบคุมที่ทำงานได้ละเอียดกว่ามาใช้ในการควบคุม
3. ก่อนการใช้เครื่องมือวัดใด ๆ ควรมีการปรับเทียบค่าให้มีความถูกต้องแม่นยำ เพราะอุปกรณ์บางชิ้นใช้งานมานานก็ย่อมจะเสื่อมสภาพไปบ้าง

9. แผนการปฏิบัติงาน

ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2551

การปฏิบัติงาน	เดือน				
	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
1. เลือกหัวข้อโครงการ					
2. ศึกษาหาข้อมูลและออกแบบ					

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2551

การปฏิบัติงาน	เดือน			
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1. จัดซื้ออุปกรณ์และประดิษฐ์				
2. ทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน				
3. ปรับปรุงและพัฒนา				

เอกสารอ้างอิง

[1] สันติ นุราช, อุทฤษฎี ต้นทูลฐานที่ เรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ฉบับภาษา C

[2] PIC16F87/88 Data sheet , 18/20-pin enhanced FLASH ,Microcontroller With nano Watt Technology, 2002 Microchip Technology, Inc.

[3] SHT1X/SHT7X Humidity & Temperature Sensmitter Datasheet, Sensirion The sensor company

[4] PIC Microcontroller Learning By Doing ด้วยภาษา C ฉบับรวมเครื่องโปรแกรมและอุปกรณ์ครบชุด, สมาร์ทเลิร์นนิ่ง, 2550

อัครเดช สันธุกัด, ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์ การทำความเย็น, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ทำกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้