ตู้อบลมร้อน
HOT AIR OVEN

พีรศิษฐ์ ศรีเกษม
สรรพวิท มั่นคง
อภิวัฒน์ แก้วไพรฑูรย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

ตู้อบลมร้อน

HOT AIR OVEN

พีรศิษฐ์ ศรีเกษม
สรรพวิท มั่นคง
อภิวัฒน์ แก้วไพรฑูรย์

ว.00266124

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOT AIR OVEN

PEERASIT SRIKASEM
SAPPAWIT MUNKHONG
APIWAT KAEWPAITUNE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERIG
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2560
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์ ตู้อบลมร้อน
HOT AIR OVEN

นักศึกษาผู้จัดทำ นายพีรศิษฐ์ ศรีเกษม **รหัสนักศึกษา** 57010925
นายสรรพวิท มั่นคง **รหัสนักศึกษา** 57011309
นายอภิวัฒน์ แก้วไพรฑูรย์ **รหัสนักศึกษา** 57011478

ปริญญา วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2560

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เชื้อ นกอยู่	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ตู้อบลมร้อน HOT AIR OVEN		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายพีรศิษฐ์	ศรีเกษม	รหัสนักศึกษา 57010925
	นายสรรพวิท	มั่นคง	รหัสนักศึกษา 57011309
	นายอภิวัฒน์	แก้วไพฑูรย์	รหัสนักศึกษา 57011478
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์เชื้อ นกอยู่		
ปีการศึกษา	2560		

บทคัดย่อ

กรรมวิธีการอบแห้งถือว่าเป็นวิธีถนอมอาหารที่ได้รับความนิยมเป็นวงกว้างในอุตสาหกรรมอาหาร ทั้งในอุตสาหกรรมที่มีขนาดใหญ่ไปจนถึงผู้ประกอบการระดับท้องถิ่น เนื่องจากเป็นการถนอมอาหารที่ยืดอายุของอาหารได้นาน อีกทั้งยังช่วยรักษารสชาติและคุณค่าทางอาหารได้ในระดับหนึ่ง แต่ในการถนอมอาหารโดยวิธีการอบแห้งนั้นมีต้นทุนในการผลิตตู้อบค่อนข้างสูง ดังนั้นโครงการนี้จึงจัดทำขึ้นเผื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้น โดยมีการประยุกต์ใช้ระบบเครื่องปรับอากาศมาใช้ในระบบตู้อบ โดยควบคุมความชื้น อุณหภูมิ และความเร็วลม อุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการนี้ เช่น แผงระบายความร้อนและความเย็นของระบบเครื่องปรับอากาศ พัดลมระบายอากาศ เครื่องอัดอากาศ เป็นต้น ซึ่งใช้ความรู้ทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้ Arduino UNO และสามารถแสดงผลผ่านโครงการนี้มีการควบคุมอย่างเป็นระบบจงส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพมากขึ้น และปริมาณของผลิตภัณฑ์เพียงพอกับความต้องการของตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	HOT AIR OVEN
Authors	Mr.Peerasit Srikasem
	Mr.Sappawit Munkhong
	Mr.Apiwat Kaewpaitune
Thesis Advisor	Asst. Prof.Chuae Nokyoo
Year	2017

ABSTRACT

Drying methods are widely used in the food industry, both in large industries and local entrepreneurs. It is a preservative that prolongs the life of food, and also helps to maintain the taste and nutrition to a certain extent. However, the cost of constructing oven for the drying method is quite expensive. This project thus aims to reducing this cost through a design of a hot air oven, which incorporates an air conditioning system. Temperature and humidity data from the sensors are sed as feedback input in to the Arduino UNO, in order to control the temperature and humidity inside the oven. The measured temperature and humidity are displayed on an LCD screen. Result show that the developed systematic control results in more quality produce and sufficient to meet market demand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รศ.วิริยะ กองรัตน์ ซึ่งเป็นที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษา และคำแนะนำต่าง ๆ จนช่วยให้การทำปริญญานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

และขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เป็นที่เคารพยิ่งที่เป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา รวมทั้งส่งเสียจนได้ร่ำเรียนถึงทุกวันนี้ และขอบคุณรุ่นพี่ เพื่อน และน้องที่ให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ ให้ความรักความปราณี จนทำให้การทำปริญญานิพนธ์ให้สำเร็จสำเร็จดังสมประสงค์

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้โอกาสที่ได้ทำปริญญานิพนธ์เรื่องนี้ รวมทั้งมอบสิ่งดี ๆตลอดเวลาสี่ปีที่ผู้จัดทำศึกษาอยู่ในสถาบันแห่งนี้ คุณความดีใดที่ได้ปรากฏในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ บิดา มารดา ครู-อาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VI
สารบัญรูป VII

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญของโครงการ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ 1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 หลักการทำงานของระบบเครื่องปรับอากาศ 3
2.2 หลักการทำงานของปั๊มความร้อน (Heat-Pump) 4
2.3 คอมเพรสเซอร์ (Compressor) 4
2.4 คอยล์เย็น (Evaporator) 5
2.5 คอยล์ร้อน (Condenser) 6
2.6 เครื่องควบคุมการไหลของสารทำความเย็น (Expansion Valve) 7
2.7 แผนภูมิไซโครเมทริก (Psychrometric chart) 8
2.7.1 คุณสมบัติสำคัญ ๆ ของอากาศ 9
2.7.1.1 ความชื้น (Humidity) 9
2.7.1.2 ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (Specific Volume) 13
2.7.1.3 อุณหภูมิ (Temperature) 14
2.7.1.4 เส้นอากาศอิ่มตัว (Saturation Line, Air saturation line) 19
2.4.1.5 เอลทาลปี้ (Enthalpy) 19
2.7.2 การศึกษากระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาวะของอากาศโดยใช้แผนภูมิไซโครเมตริก 20
2.7.2.1 กระบวนการเพิ่มและลดความร้อน (Heating and Cooling Process) 20
2.7.2.2 กระบวนการลดความชื้น (Dehumidification Process) 22
2.7.3 ดูการเปลี่ยนแปลงของอากาศจากแผนภูมิไซโครเมตริก 25
2.7.4 การประยุกต์ใช้แผนภูมิไซโครเมทริก 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.8 การควบคุม 26
2.8.1 Arduino 26
2.8.2 SHT1X 27

บทที่ 3 หลักการทำงานและการประกอบติดตั้งตู้อบลมร้อน 28
3.1 หลักการทำงานของตู้อบลมร้อน 28
3.1.1 ระบบทางเดินของน้ำยาเครื่องปรับอากาศ 28
3.1.2 ระบบหมุนเวียนลมภายในตู้อบลมร้อน 29
3.1.3 ตำแหน่งของการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้ (Sensor) 30
3.2 การประกอบติดตั้งตู้อบลมร้อน 30
3.2.1 ตู้ทดลอง 30
3.2.2 ตู้สำเร็จ 33
3.3 แผนผังการทำงาน 34

บทที่ 4 ผลการทดลอง 35

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 42

บรรณานุกรม 43

ภาพผนวก 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอน้ำ ที่อากาศสามารถรับไว้ได้กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ 12

2.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอน้ำ ที่อากาศสามารถรับไว้ได้กับอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิหยดน้ำค้าง 18

4.1 ผลที่ได้จากการทดลองทำงานที่ 40 องศาเซลเซียส (ครั้งที่ 1) 36

4.2 ผลที่ได้จากการทดลองทำงานที่ 40 องศาเซลเซียส (ครั้งที่ 2) 37

4.3 ผลที่ได้จากการทดลองทำงานที่ 40 องศาเซลเซียส (ครั้งที่ 3) 37

4.4 ผลที่ได้จากการทดลองทำงานที่ 40 องศาเซลเซียส (ครั้งที่ 4) 38

4.5 ผลที่ได้จากการทดลองทำงานที่ 40 องศาเซลเซียส (ครั้งที่ 5) 38

4.6 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในจุดต่างๆของตู้อบลมร้อนที่ 40 องศาเซลเซียส 39

4.7 ผลที่ได้จากการทดลองทำงานที่ 50 องศาเซลเซียส (ครั้งที่ 1) 39

4.8 ผลที่ได้จากการทดลองทำงานที่ 50 องศาเซลเซียส (ครั้งที่ 2) 40

4.9 ผลที่ได้จากการทดลองทำงานที่ 50 องศาเซลเซียส (ครั้งที่ 3) 40

4.10 ผลที่ได้จากการทดลองทำงานที่ 50 องศาเซลเซียส (ครั้งที่ 4) 41

4.11 ผลที่ได้จากการทดลองทำงานที่ 50 องศาเซลเซียส (ครั้งที่ 5) 41

4.12 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในจุดต่างๆของตู้อบลมร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	หลักการทำงานของระบบเครื่องปรับอากาศ	3
2.2	หลักการทำงานของปั๊มความร้อน	4
2.3	ชนิดของคอมเพรสเซอร์	5
2.4	คอยล์เย็น หรือ Evaporator	6
2.5	คอยล์ร้อน หรือ Condenser	7
2.6	ชนิดของอุปกรณ์ควบคุมการไหลของสารทำความเย็น	7
2.7	แผนภูมิไซโครเมทริก	8
2.8	แสดงลักษณะอากาศที่สภาวะต่างๆ	9
2.9	แสดงเส้นอัตราส่วนความชื้น	10
2.10	แสดงสภาวะต่างๆของไอน้ำในอากาศ	11
2.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับปริมาณไอน้ำในอากาศ	12
2.12	แสดงเส้นความชื้นสัมพัทธ์	13
2.13	แสดงเส้นปริมาตรจำเพาะ	14
2.14	เส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้งบนแผนภูมิไซโครเมตริก	15
2.15	เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก	16
2.16	เส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกบนแผนภูมิไซโครเมตริก	17
2.17	แสดงการหาจุดน้ำค้างที่สภาวะที่กำหนด	18
2.18	เส้นแสดงค่าเอลทาลปี้	20
2.19	แสดงทิศทางของการลดและเพิ่มอุณหภูมิ	21
2.20	แสดงการลดความชื้นโดยการลดอุณหภูมิของอากาศ	22
2.21	แสดงวงจรลดความชื้น (Air Dryer) ของเครื่องอัดอากาศ	22
2.22	การลดความชื้นโดยใช้วัสดุดูดความชื้น	23
2.23	การเพิ่มความชื้นโดยเติมไอน้ำเข้าระบบ	24
2.24	พัดลมแบบเติมน้ำแข็ง	25
2.25	การเพิ่มความชื้นแบบทำให้อากาศเย็นโดยการระเหย	25
2.26	กระบวนการการเปลี่ยนแปลงต่างๆของอากาศ	26
2.27	แสดงพอร์ตต่างๆบนบอร์ดอาดุยโน่	27
2.28	อุปกรณ์ตรวจวัด SHT1X	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.1	ระบบทางเดินน้ำยาของตู้อบ	29
3.2	ระบบการหมุนเวียนของลมภายในตู้	30
3.3	ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้	30
3.4	ทดลองวางตำแหน่งคอลย์	31
3.5	ทำการประกอบตู้ต้นแบบ	31
3.6	ตู้ตัวทดลอง	32
3.7	ทดลองทำงานทั้งระบบ	32
3.8	ต้นแบบตู้โดยใช้โปรแกรม SketchUp	33
3.9	ตู้จริง	33
3.10	ติดตั้งฉนวนกันความร้อน	34
3.11	ติดตั้งระบบเครื่องปรับอากาศภายในตู้อบ	34
3.12	แผนผังการควบคุมของระบบตู้อบลมร้อน	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันระบบเศรษฐกิจในอุตสาหกรรมอาหารในไทยมีการพัฒนาและขยายตัวใหญ่ขึ้น เพื่อตอบสนอง ต่อความต้องการที่เพิ่มขึ้นของประชากร ทำให้สายอาชีพได้รับการพัฒนาจนเกิดขึ้นเป็นอาชีพที่มีความหลากหลายและมีลักษณะเฉพาะเจาะจงกับสายงานมากยิ่งขึ้น เพื่อให้การทำงานมีประสิภาพและสอดคล้องกับความต้องการของอุตสาหกรรมอาหารในปัจจุบัน ซึ่งอาชีพของประชากรส่วนใหญ่ในประเทศนั้น ยังคงเป็นอาชีพเกษตรกรรมอันเป็นอาชีพดังเดิมตั้งแต่สมัยก่อนจนถึงปัจจุบันมีการสนับสนุนให้ประชากรพัฒนาแปรรูปอาหารเพื่อเพิ่มคุณค่าและราคา ซึ่งมีความเหมาะสมทั้งทางด้านภูมิศาสตร์และภูมิอากาศที่สามารถเพาะปลูกพืชผักรวมไปถึงผลไม้ชนิดต่างๆได้ดีและมีคุณภาพ ส่งผลให้ผลผลิตสามารถพัฒนาหรือแปรรูปต่อได้ในหลายรูปแบบความต้องการของผู้บริโภค ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถแปรรูปได้อย่างมีประสิทธิภาพ คงคุณค่าและยืนอายุเวลาบริโภค ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพลดลงหรือเกิดการเน่าเสียจึงต้องมีการแปรรูปผลิตภัณฑ์ให้สามารถแปรรูปไว้บริโภคนอกฤดูกาลเพื่อลดความเสียหายและรวมไปถึงการสร้างมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ ซึ่งวิธีการที่ใช้ในการแปรรูปมีได้หลากหลายวิธี หนึ่งในนั้นคือ กระบวนการอบแห้ง ซึ่งเป็นวิธีการถนอมอาหารที่คงคุณค่าทางสารอาหารได้ เพื่อลดปริมาณการเน่าเสียรวมไปถึงเพิ่มคุณค่าและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ให้อยู่ในระดับมาตรฐานของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) ทั้งยังสามารถใช้ได้กับธุรกิจขนาดเล็กไปจนถึงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และสามารถจัดจำหน่ายได้ทั้งภายในประเทศและส่งออกนอกประเทศในลักษณะอาหารว่าง

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษากระบวนการอบแห้ง การออกแบบระบบการทำงาน การศึกษาคู่มือการทำงานของโปรแกรมและอุปกรณ์ต่างๆ การเชื่อมต่อระหว่างสายอุปกรณ์ รวมไปถึงการอ่านข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นผ่านปุ่มกดและแสดงผลผ่านจอLCD เพื่อความเข้าใจในระบบและการอ่านค่าภายในตู้อบแห้งจึงมีรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้

1) ศึกษาระบบตู้อบลมร้อน และระบบเครื่องปรับอากาศ
2) ศึกษาระบบปั๊มความร้อน (Heat-pump)
3) ศึกษาฝังไซโครเมตริก (Psychometric Chart)
4) ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ควบคุม (Arduino Uno)
5) ศึกษาการทำงานและคำสั่งของอุปกรณ์วัดความชื้น (SHT-1X)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงกระบวนการทำงานของตู้อบลมร้อน เพื่อทดสอบการทำงานภายใต้สถานะต่างๆ รวมไปถึงการควบคุมและแสดงผลของระบบการทำงานซึ่งมีการบันทึกผลเพื่อตรวจสอบและแก้ไขการทำงานของระบบได้ โดยมีลายละเอียดของขอบเขตการทำงานดังนี้

1) สามารถอ่านค่าและสามารถเปลี่ยนค่าผ่านปุ่มกดโดยจัดแสดงผลผ่านหน้าจอLCD
2) สามารถเพิ่มลดอุณหภูมิภายในตู้อบได้ (40-60องศาเซลเซียส)
3) สามารถลดความชื่นภายในตู้อบได้
4) สามารถบันทึกค่าการทำงานเพื่อนำมาประมวลผลและควบคุมการทำงาน

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

ในการศึกษาโครงการของปริญญานิพนธ์ ได้มีการเริ่มศึกษาตั้งแต่ระบบการทำงานของกระบวนการ คู่มืออุปกรณ์ รวมไปถึงการใช้โปรแกรมต่างๆ ซึ่งมรขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1) ศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของตู้อบลมร้อน และระบบเครื่องปรับอากาศ
2) ศึกษาระบบการทำงานของปั๊มความร้อน (Heat-pump)
3) ออกแบบโครงสร้างการทำงานและศึกษาอุปกรณ์แต่ละชนิดที่ต้องนำมาใช้ในการทำงาน
4) ศึกษาการใช้งานโปรแกรมของอุปกรณ์ควบคุม (Arduino UNO)
5) ศึกษาการเชื่อมต่อ Arduino MEGA กับอุปกรณ์อ่านความชื้น (SHT-1X) คำสั่งของปุ่มกด (Touch Pad) และจอแสดงผล (LCD)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถถนอมประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ให้มีการเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้น
2) สามารถเพิ่มอัตราการผลิตได้มากยิ่งขึ้นและลดต้นทุนในการผลิตตู้อบ
3) สามารถนำศาสตร์ความรู้ในด้านวิศวกรรมการวัดคุมไปประยุกต์กับศาสตร์อื่นๆ
4) สามารถนำความรู้ไปเผยแพร่เพื่อเป็นประโยชน์กับสังคม
5) ได้เรียนรู้การทำงานและการแก้ไขปัญหาต่างๆในระหว่างการดำเนินงาน

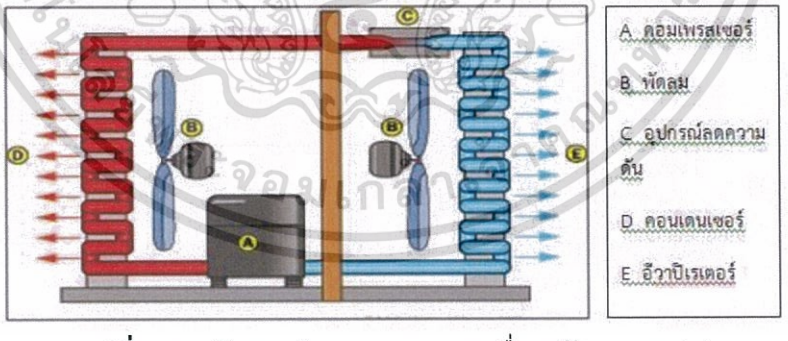
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการทำงานของระบบเครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนหรือที่รู้จักในทั่วไปว่าแอร์บ้านมีลักษณะการทำงานตามหลักการของเครื่องทำความเย็น โดยการนำเอาความร้อนจากอากาศในพื้นที่ห้องถ่ายเทไปสู่พื้นที่ด้านนอกโดยอาศัยตัวกลางคือ สารทำความเย็นหรือที่เรียกกันว่าน้ำยาแอร์ โดยมีรูปแบบการทำงาน ดังนี้

1) เริ่มจากคอมเพรสเซอร์ทำหน้าที่ดูดสารทำความเย็นที่เป็นแก๊สจากคอยล์เย็น (Evaporator) โดยสารทำความเย็นที่ดูดเข้ามาจะมีความดันต่ำและมีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งสารทำความเย็นจะถูกดูดเข้าคอมเพรสเซอร์ทางท่อดูดและตัวคอมเพรสเซอร์จะอัดสารทำความเย็นที่เป็นแก๊สให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น
2) ต่อมาสารทำความเย็นจะถูกดันออกทางท่อทางส่งและส่งผ่านไปยังคอยล์ร้อน (Condenser) ซึ่งมีหน้าที่รับเอาสารทำความเย็นไว้และระบายความร้อนออกจากสาร ทำความเย็นผ่านตัวกลางซึ่งปกติคืออากาศสารทำความเย็นจะมีอุณหภูมิต่ำจนควบแน่นเป็นของเหลว แต่ยังมีความดันและอุณหภูมิสูง ซึ่งจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ลดความดัน
3) สารทำความเย็นเหลวจะถูกส่งไปอุปกรณ์ลดความดัน ซึ่งมีหน้าที่ลดความดันน้ำยา
4) สารทำความเย็นที่ถูกลดความดันแล้วจะถูกส่งไปยังคอยล์เย็น (Evaporator) เมื่อไหลเข้าคอยล์เย็น (Evaporator) จะรับความร้อนผ่านตัวกลางคืออากาศทำให้สารทำความเย็นเดือดกลายเป็นก๊าซ
5) สารทำความเย็นผ่านอิวาปอเรเตอร์โดยการนำพาความร้อนจากอากาศแล้วจะมีความดันและอุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะไหลกลับเข้าคอมเพรสเซอร์เพื่อทำการเพิ่มความดันต่อไป ดังรูปที่ 2.1

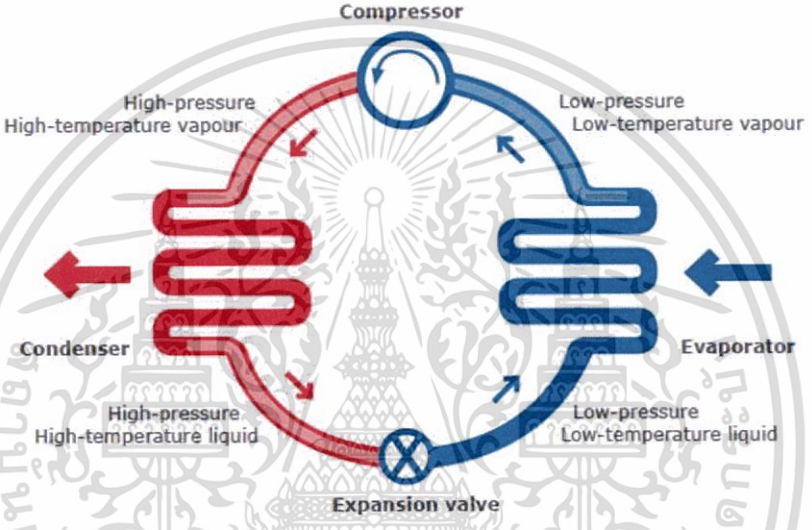


รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของระบบเครื่องปรับอากาศ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หลักการทำงานของปั๊มความร้อน (Heat-Pump)

หลักการทำงานของปั๊มความร้อนคือการถ่ายเทความร้อนไม่ใช่การสร้างความร้อน กล่าวคือ ปั๊มความร้อนทำงานโดยการการดึงความร้อนจากแหล่งความร้อน (Heat Source) แล้วนำไปถ่ายเทในบริเวณที่ต้องการความร้อน (Heat Sink) ด้วยเหตุนี้จึงถูกเรียกว่าปั๊มความร้อน เพราะทำหน้าที่ในการปั๊มเอาความร้อนจากแห่งหนึ่งไปยังอีกแห่งหนึ่ง ที่สำคัญคือปั๊มความร้อนไม่ได้เป็นตัวสร้างความร้อน แต่ส่งผ่านความร้อน ซึ่งวัฏจักรการทำงานก็ไม่แตกต่างจากระบบการทำความเย็นทั่วไปที่มีใช้กันอยู่ซึ่งเป็นระบบอัดไอ (Mechanical Vapor Compression Refrigeration System) ต่างกันเพียงแต่ปั๊มความร้อนจะเลือกใช้ประโยชน์จากด้านความร้อนเป็นหลักและควบคุมอุณหภูมิดานความร้อนแทนด้านความเย็น ส่วนความเย็นที่ได้ก็จะกลายเป็นผลพลอยได้ของระบบ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของปั๊มความร้อน [5]

2.3 คอมเพรสเซอร์ (Compressor)

คอมเพรสเซอร์ (Compressor) เปรียบหมือนหัวใจของระบบปรับอากาศเป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ใช้ไฟฟ้า ทำหน้าที่อัดสารทำความเย็นหรือน้ำยาเครื่องปรับอากาศในสถานะที่เป็นไอส่งตามไปตามท่อน้ำยาที่เป็นท่อทองแดงไปยังเครื่องควบแน่น (Condensing Unit) ที่ทำหน้าที่ควบแน่นสารทำความเย็นที่มีแรงดันสูงและอยู่สถานะเป็นไอหรือเป็นก๊าซโดยการระบายความร้อนออกจากน้ำยาแอร์ด้วยพัดลมระบายอากาศ ส่วนทางด้านคอลย์ร้อนจะมีพัดลมที่ไว้คอยระบายความร้อนหลังจากถูกควบแน่นแล้ว สารทำความเย็นแรงดันสูงจะถูส่งต่อไปยังชุดเครื่องระเหย หรือคอยล์เย็น หรือแฟนคอยล์ ผ่านชุดลดแรงดัน (Capillary Tube หรือ Expansion Valve) ลดแรงดันสูงลงและเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซแถมยังมีอุณหภูมิลดลงเราจึงใช้พัดลมในคอยล์เย็นในการระบายความเย็นออกจากท่อเพื่อปรับอากาศในห้องนั้นให้เย็นลงและสารทำความเย็นที่เหลือก็ถูกดูดกลับมายังคอมเพรสเซอร์อีกครั้ง เพื่อกลับเข้าสู่ระบบทำความเย็นต่อไป วัฏจักรความเย็นจะไม่สิ้นสุดจนกว่าคอมเพรสเซอร์จะหยุดทำงาน

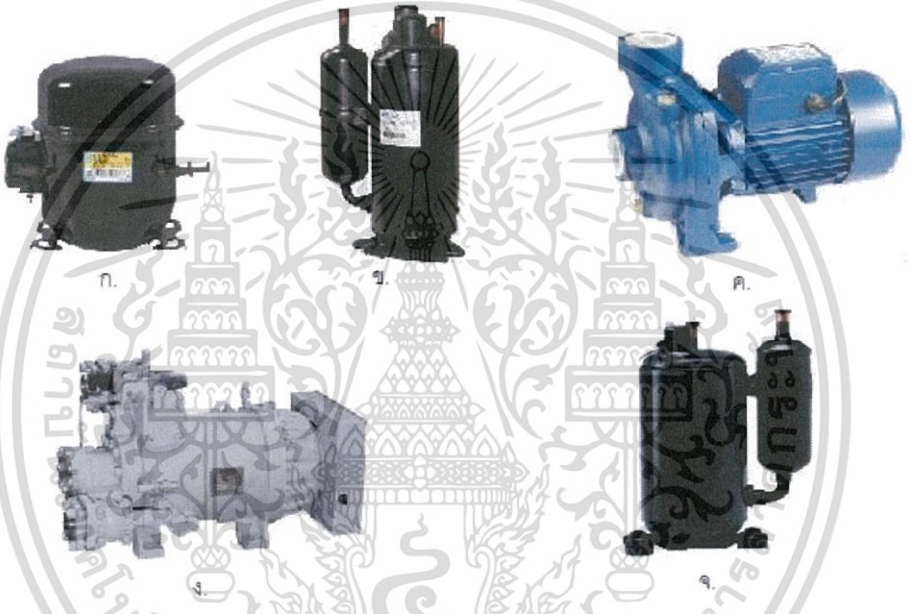
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของคอมเพรสเซอร์

คอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศมี 5ประเภทหลักคือ

1) คอมเพรสเซอร์ลูกสูบ (Reciprocating)
2) คอมเพรสเซอร์โรตารี่ (Rotary compressor)
3) คอมเพรสเซอร์แรงเหวี่ยง (Centrifugal compressor)
4) สกรูคอมเพรสเซอร์ (screw compressors)
5) สโกล์คอมเพรสเซอร์ (Scroll compressors)

ทั้ง 5 ชนิดของคอมเพรสเซอร์แอร์ทำงานด้วยเหมือนกันคือ อัดน้ำยาแอร์ให้มีแรงดันสูงและส่งไปสู่ระบบการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ แต่มีข้อแตกต่างที่กระบวนการทำงานและส่วนประกอบที่แตกต่างกันไปดังที่ได้แยกประเภทไว้ข้างต้นและแยกตามประเภทของสารทำความเย็นด้วย



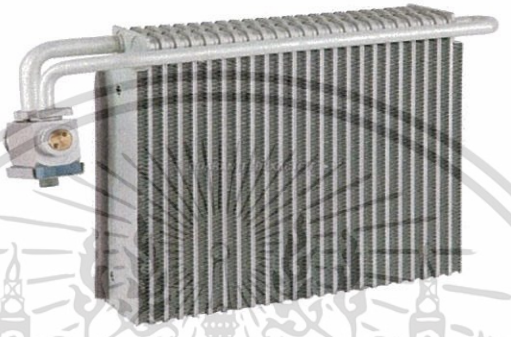
รูปที่ 2.3 คอมเพรสเซอร์ ชนิดลูกสูบ (ก.) โรตารี่ (ข.) แรงเหวี่ยง (ค.) สกรู (ง.) สโกล์ (จ.) [6]

2.4 คอยล์เย็น (Evaporator)

เครื่องระเหย (Evaporator) เป็นส่วนประกอบหนึ่งของระบบทำความเย็นเป็นที่ซึ่งสารทำความเย็นอยู่ในสภาวะอุณหภูมิอิ่มตัวและไออิ่มตัวเครื่องระเหยจะดึงเอาความร้อนแฝงจากรอบๆพื้นที่ทำความเย็นออกโดยทั่วไปแล้วเราจะทำความเย็นโดยการเติมอากาศเข้าไปในพื้นที่ทำความเย็นแต่ในระบบทำความเย็นบางระบบจะใช้น้ำหรือน้ำเกลือแทนอากาศจะเคลื่อนที่ผ่านบนเครื่องระเหยโดยวิธีธรรมชาติหรือแบบบังคับโดยใช้แรงภายนอกมากระทำในแบบธรรมชาติจะนิยมใช้กับตู้เย็นที่ใช้ในบ้านซึ่งจะติดตั้งเครื่องระเหยอยู่ด้านบนของห้องอากาศอุ่นจะลอยจากใต้อาคารและจะลอยไปบนเครื่องระเหยดังนั้นจะเกิดการพาความร้อนขึ้นทั่วไปในระบบทำความเย็นอากาศจะลอยขึ้นบนเครื่องระเหยโดยใช้พัดลมเป็นเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของเครื่องระเหยโครงสร้างที่สำคัญของเครื่องระเหยมี 3 ชนิดคือ ท่อเปลือยแผ่นโลหะ และครีบระบายความร้อนท่อเปลือยในเครื่องระเหยท่อเปลือยในเครื่องระเหยมีรูปแบบง่ายๆ และประกอบด้วยท่อตรงที่ทำจากทองแดงหรือท่อที่เป็นตัวนำความร้อน ครีบระบายความร้อนจะมีผลทำให้พื้นที่สัมผัสของเครื่องระเหยกับอากาศเพิ่มขึ้น ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่สารทำความเย็นจะมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามครีบระบายความร้อนจะต้องติดให้แน่นกับท่อในเครื่องระเหย ไม่เช่นนั้นแล้วประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนก็จะลดลง วิธีหนึ่งที่ใช้ติดตั้งคือการบัดกรีหรือใช้วิธีอื่นในการติดบนท่อ ครีบระบายความร้อนในเครื่องระเหยจะเล็กกว่าแบบอื่นแต่จะมีความสามารถในการทำความเย็นเท่ากัน ดังรูปที่ 2.4

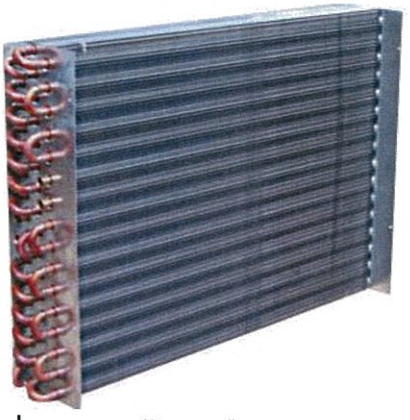


รูปที่ 2.4 คอยล์เย็น หรือ Evaporator [7]

2.5 คอยล์ร้อน (Condenser)

คอยล์ร้อน (Condenser) ถูกนำมาใช้ในระบบทำความเย็น คอนเดนเซอร์จะระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นที่ไหลผ่านตัวเครื่อง สารตัวกลางเพื่อทำความเย็น สามารถเลือกใช้ได้หลายชนิด ความร้อนจาก(Evaporator)และคอมเพรสเซอร์ (Compressor) ในระบบทำความเย็นจะถูกส่งไปยังน้ำยาหล่อเย็น (Coolant) ก่อนที่จะส่งไปยังคอนเดนเซอร์ หรือคอยล์ร้อน (Condenser) และเมื่อน้ำยาหล่อเย็นไหลผ่านตัวคอยล์ร้อน (Condenser) ทำให้ก็จะเย็นตัวลงและเกิดการควบแน่นและเปลี่ยนสถานะจากก๊าซเป็นของเหลว ความร้อนจะถูกระบายออกจากคอยล์ร้อน (Condenser) ด้วยอากาศหรือน้ำดังนั้นคอยล์ร้อน (Condenser) จึงแบ่งเป็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศหรือระบายความร้อนด้วยน้ำคอยล์ร้อน (Condenser) ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศจะใช้พัดลมเป่า ขณะที่ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ จะใช้เครื่องสูบน้ำส่งน้ำระบายความร้อน ดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 คอยล์ร้อน หรือ Condenser [8]

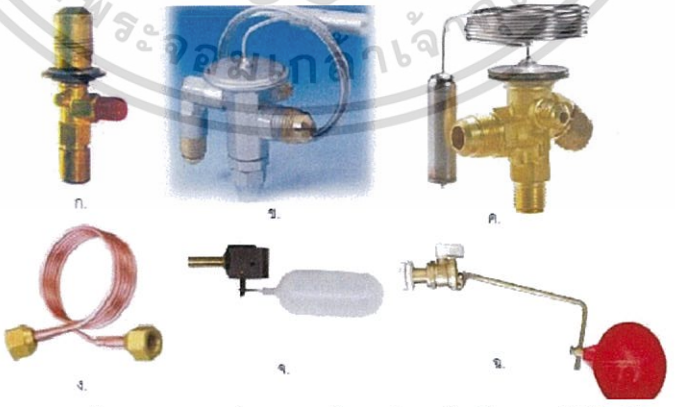
2.6 เครื่องควบคุมการไหลของสารทำความเย็น (Expansion Valve)

เครื่องควบคุมการไหลของสารทำความเย็นเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งของระบบทำความเย็นชนิดอัดไอมีหน้าที่ควบคุมสารทำความเย็นจากของเหลว (Liquid line) ไปยังคอยล์เย็น (Evaporator) ในอัตราส่วนที่สัมพันธ์กับการระเหยของสารความเย็นเหลวที่เกิดขึ้นในคอยล์เย็นควบคุมความแตกต่างของความดันระหว่างความดันสูงกับความดันต่ำของระบบให้พอดีกับการระเหย

ชนิดของเครื่องควบคุมการไหลของสารทำความเย็น

เครื่องควบคุมการไหลของสารทำความเย็นมี 6 ประเภทหลักคือ

1) วาล์วขยายตัวปรับด้วยมือ (Hand expansion valve)
2) วาล์วขยายตัวแบบอัตโนมัติ (automatic expansion valve)
3) วาล์วขยายตัวแบบอัตโนมัติ เทอร์โมสะแตติค (thermostatic expansion valve)
4) ท่อแคพิลลารี (capillary tube)
5) วาล์วลูกลอยความดันต่ำ (low Pressure float valve)
6) วาล์วลูกลอยความดันสูง (high Pressure float valve)



รูปที่ 2.6 เครื่องควบคุมการไหลของสารทำความเย็น ชนิดปรับมือ(ก.) อัตโนมัติ(ข.) เทอร์โมสะแตติค (ค.) ท่อแคพิลลารี(ง.) วาล์วลูกลอยความดันต่ำ(จ.) และวาล์วลูกลอยความดันสูง(ฉ.) [9]

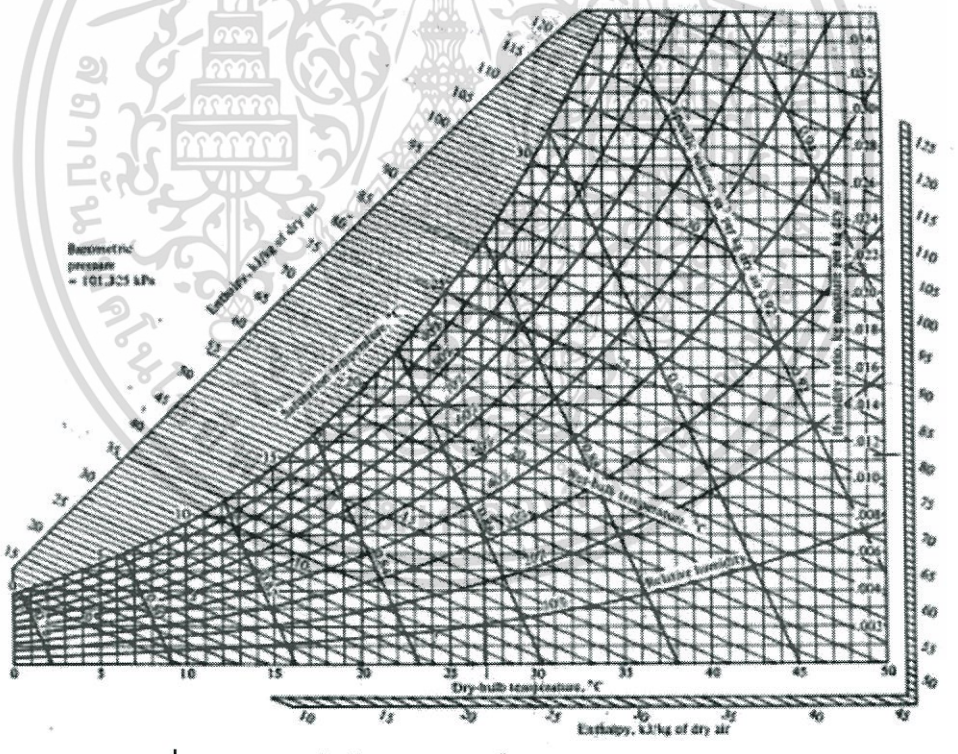
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 แผนภูมิไซโครเมทริก (Psychrometric chart)

แผนภูมิไซโครเมทริกเป็นแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์สมบัติของผสมระหว่างอากาศและไอน้ำ เนื่องจากอากาศในบรรยากาศจะมีไอน้ำปนอยู่ ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อสภาวะการแปรรูปอาหารและการเก็บรักษาอาหาร เช่น ปรับอากาศเพื่อการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำโดยการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ การแช่เยือกแข็ง การทำแห้ง การควบแน่น อุปกรณ์เพิ่มความชื้น เป็นต้น

นิยมใช้ในการคำนวณด้านการปรับอากาศเพราะสะดวกช่วยให้คำนวณผลได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีสมบัติอากาศที่สำคัญต่างๆ รวมอยู่ในแผนภูมิทำให้ลดขั้นตอนในการคำนวณไปได้อย่างมาก

โดยทั่วไปแผนภูมิไซโครเมทริกใช้ได้สำหรับความดันคงที่ค่าหนึ่งเท่านั้นความดันของแผนภูมิไซโครเมทริกที่นิยมใช้กันคือ ความดันที่ระดับน้ำทะเลที่ความดันนี้จะมีแผนภูมิอยู่ด้วยกัน 3 ระดับอุณหภูมิ คือ แผนภูมิสำหรับอุณหภูมิต่ำ -40 – 50 °F แผนภูมิสำหรับอุณหภูมิช่วง 32-120 °F และแผนภูมิสำหรับช่วง 60-250 °F นอกจากนี้ยังมีแผนภูมิที่ความสูงจากระดับน้ำทะเล 5,000 ft อีกด้วย แต่มีเฉพาะช่วงอุณหภูมิปกติเท่านั้น ในกรณีที่ต้องการทราบสมบัติของอากาศที่ความดันอื่นๆซึ่งไม่มีในแผนภูมิไซโครเมทริกอาจคำนวณจากสมการสมบัติของอากาศโดยตรงหรืออ่านค่าจากแผนภูมิไซโครเมทริกที่มีแล้วปรับแก้ค่าที่อ่านได้ด้วยตัวปรับค่าที่เหมาะสมซึ่งปกติถ้าความดันแตกต่างกันไม่เกิน 1 inHg ความผิดพลาดจะมีค่าน้อยมาก ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แผนภูมิไซโครเมทริก หรือ Psychrometric Chart [3]

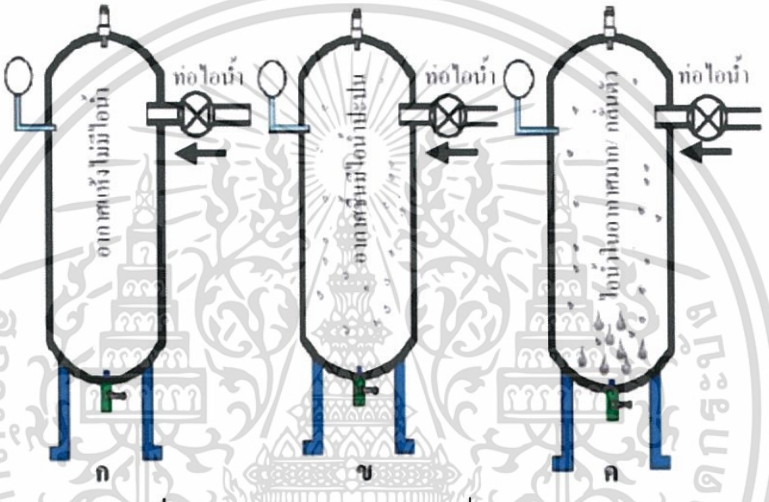
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 คุณสมบัติสำคัญ ๆ ของอากาศ

ในงานทางวิศวกรรม เช่น งานปรับอากาศหรือทำความเย็นนั้นคุณสมบัติต่าง ๆ ของอากาศเป็นสิ่งที่มีผลกับสิ่งที่เราต้องการควบคุม เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และอื่นๆ วิทยานิพนธ์เล่มจะอธิบายถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของอากาศเพื่อให้เป็นที่เข้าใจอย่างง่าย ๆ ดังนี้คือ

2.7.1.1 ความชื้น (Humidity)

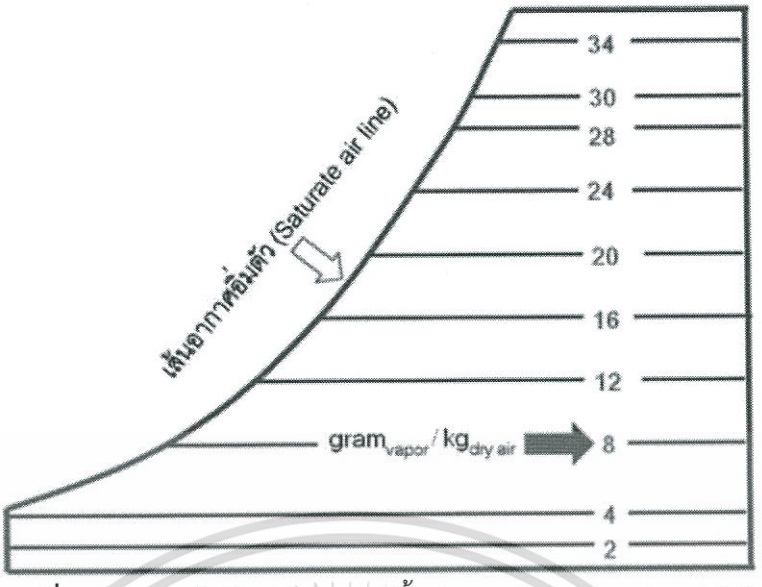
ความชื้น (Humidity) คือ อัตราส่วนของไอน้ำที่ปะปนอยู่ในอากาศต่อจำนวนอากาศที่อ้างอิง อากาศที่มีไอน้ำปะปนอยู่มากเรียกว่าอากาศชื้นหรืออากาศเปียก เช่นลมระบายความร้อนที่ออกมาจากคูลลิ่งทาวเวอร์ (Cooling Tower) หรืออากาศก่อนที่ฝนจะตกจะมีอัตราส่วนของไอน้ำที่ผสมอยู่ในอากาศมาก



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะอากาศที่สภาวะต่าง ๆ [3]

ดังที่กล่าวมาแล้วตั้งแต่ข้างต้นว่าความชื้นคือจำนวนไอน้ำที่ปนอยู่ในอากาศ จากรูปที่ 2.8 ถ้านำเอาอากาศจำนวนหนึ่งมากำจัดความชื้นออกให้หมด จะเรียกอากาศที่ไม่มีไอน้ำเจือปนอยู่ว่า “อากาศแห้ง (Dry Air)” ดังรูปที่ 2.8ก จากนั้นถ้าเราค่อยๆ ปล่อยไอน้ำข้าไปในอากาศดังกล่าวเรื่อยๆ ดังรูปที่ 2.8ข เมื่ออากาศมีไอน้ำผสมอยู่เราเรียกอากาศนั้นว่า “อากาศชื้น” ซึ่งหมายถึงอากาศที่มีไอน้ำปะปนอยู่ซึ่งก็เหมือนกับอากาศในบรรยากาศบนโลกนั่นเอง ในตอนแรกที่เราเริ่มปล่อยไอน้ำเข้าไปผสมปะปนกับอากาศนั้นปริมาณไอน้ำในอากาศจะมีน้อยอากาศจะสามารถรองรับไอน้ำจำนวนดังกล่าวไว้ได้ แต่เมื่อปริมาณไอน้ำเพิ่มไปถึงจุดหนึ่งที่อากาศไม่สามารถรองรับปริมาณไอน้ำดังกล่าวไว้ได้ ไอน้ำส่วนที่เกินก็จะเริ่มกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำ เรียกว่า “จุดอิ่มตัวของไอน้ำในอากาศ” หรือเรียกอากาศที่จุดนี้ว่า “อากาศอิ่มตัว (Saturated Air)” ซึ่งก็คือสภาวะที่อากาศไม่สามารถที่จะดูดซับไอน้ำไว้ในตัวมันได้อีกแล้ว ในแผนภูมิไซโครเมตริกเส้นอากาศอิ่มตัว (Saturated Air Line) คือเส้นโค้งที่อยู่ทางด้านซ้ายของแผนภูมิไซโครเมตริก ดังรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงเส้นอัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio Line) [3]

1) อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ค่าความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity) คืออัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำในอากาศ (mv) กับมวลของอากาศแห้ง (ma) ที่ปริมาตรอากาศที่พิจารณา ดังสมการที่ 2.1

$$\omega = \frac{m_v(kg_{vapor})}{m_a(kg_{dry\ air})} = \frac{P_vV/(R_vT)}{P_aV/R_aT} = \frac{P_v/R_v}{P_a/R_a} = 0.622\,{}^{P_v}/_{P_a} \qquad (2.1)$$

หรือ $$\omega = \frac{0.622P_v}{P_{atm} - P_v} \qquad (2.2)$$

โดยที่ ω คืออัตราส่วนความชื้น, $\frac{kg_{vapor}}{kg_{dry\ air}}$

m_v คือจำนวนมวลของไอน้ำในอากาศ, $\frac{kg_{vapor}}{kg_{dry\ air}}$

m_a คือจำนวนมวลของอากาศแห้ง, $kg_{dry\ air}$

T คืออุณหภูมิในสภาวะที่พิจารณา, K

P_v คือแรงดันย่อยของไอน้ำ, $\frac{kN}{m^2}$

P_a คือแรงดันย่อยของอากาศแห้ง, kN/m^2

R_v คือค่าคงที่ของไอน้ำ, $0.4615\ kJ/kg.k$

R_a คือค่าคงที่ของอากาศแห้ง, $0.2870\ kJ/kg.k$

V คือปริมาตรอากาศ, m^3

P_{atm} คือความดันบรรยากาศ, $kN/m^2(P_a + P_v)$

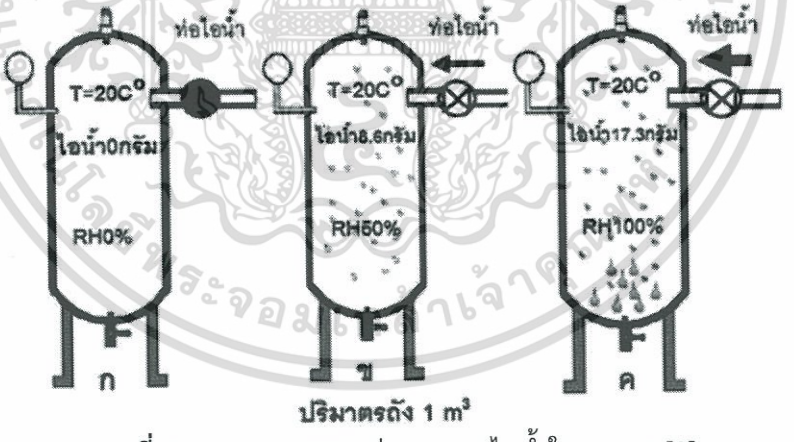
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น สภาวะหนึ่งมีไอน้ำอยู่ในอากาศ 8 g ต่อปริมาตรอากาศ 1 m^3 โดยที่น้ำหนักของอากาศแห้ง (ไม่รวมน้ำหนักไอน้ำ) ตรงจุดนั้นเท่ากับ 0.88 kg/m^3 ดังนั้น อัตราส่วนความชื้นที่สภาวะดังกล่าวจะเท่ากับ 1/0.88= 9.1 $g_{vapor}/ kg_{Dry\ Air}$

ในแผนภูมิไซโครเมตริกเส้นอัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio Line) เป็นเส้นที่ลากจากเส้นไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Vapor) จากด้านซ้ายมือไปยังด้านขวามือดังรูปที่ 2.9 โดยที่ค่าอัตราส่วนความชื้นด้านล่างจะน้อยเพราะอุณหภูมิต่ำส่วนที่อุณหภูมิสูงอัตราส่วนความชื้นก็จะเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งอัตราส่วนความชื้นที่ปรากฏในแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นอัตราส่วนมวลของไอน้ำในอากาศเป็น

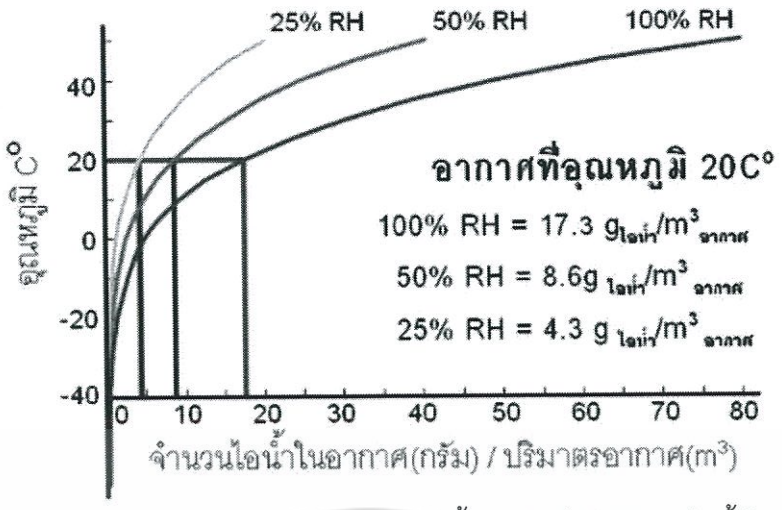
2) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity or RH) คือความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนมวลของไอน้ำในอากาศต่อจำนวนมวลของไอน้ำอิ่มตัวในสภาวะที่พิจารณา เพื่อความเข้าใจให้พิจารณารูปที่ 2.9 และรูปที่ 2.10 ในรูปที่ 2.10ก เป็นถังที่มีปริมาตร 1 m^3บรรจุอากาศแห้งอุณหภูมิอากาศภายในถัง 20°C ที่ความดันบรรยากาศในถังไม่มีไอน้ำปะปนอยู่ในอากาศดังนั้นถังใบนี้จึงมีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 0% ต่อมาเราเปิดวาล์วและค่อยๆ ปล่อยไอน้ำเข้าไปในถังเรื่อยๆ ถึงตอนนี้ในถังก็จะมีไอน้ำผสมอยู่ อากาศในถังก็จะเป็นอากาศชื้นดังรูปที่ 2.10ข และเมื่อเรายังคงปล่อยไอน้ำเข้าไปเรื่อยๆ จนปริมาณ ไอน้ำที่ผสมอยู่ในอากาศมากจนอากาศไม่สามารถรองรับปริมาณไอน้ำไว้ได้ไอน้ำส่วนเกินเหล่านั้นก็จะกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำอยู่ที่ก้นถังดังรูปที่ 2.10ค

ปริมาณไอน้ำสูงสุดที่อากาศจะรับไว้ได้นี้ก็จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศยิ่งอากาศมีอุณหภูมิสูงจำนวนไอน้ำที่อากาศสามารถอุ้มไว้ได้ก็จะยิ่งสูงตามไปด้วย ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงสภาวะต่าง ๆ ของไอน้ำในอากาศ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับปริมาณไอน้ำในอากาศ [3]

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอน้ำที่อากาศสามารถรับไว้ได้กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

อุณหภูมิ, °C(T_{db})		5	10	15	20	25	30	35	40
จำนวนไอน้ำในอากาศ, กรัมต่ออากาศ $1m^3$, (g/m^3)	RH100%	6.8	9.3	12.8	17.3	22.9	30.3	39.6	51.0
	RH50%	3.4	4.6	6.4	8.6	11.5	15.2	19.8	25.5
	Rh25%	1.7	2.3	3.2	4.3	5.7	7.6	9.9	12.8
* ข้อมูลในตารางเป็นข้อมูลที่ได้จากการคำนวณอาจมีความคลาดเคลื่อนในบางค่า									

จากตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณไอน้ำที่อากาศสามารถรับไว้ได้ที่อุณหภูมิต่างๆ เช่น ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ อากาศสามารถรองรับไอน้ำไว้ได้สูงสุดเป็นจำนวน 17.3 กรัมต่อปริมาตรอากาศ $1m^3$ ซึ่งจุดนี้เองคือจุดที่มีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100% (100% RH) จากข้างต้นทำให้เราเข้าใจแล้วว่าจุดที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100% คือจุดที่มีปริมาณไอน้ำในอากาศจำนวนมากที่สุดที่อากาศสามารถรองรับไว้ได้ ดังนั้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ ณ อุณหภูมิที่นำมาพิจารณาก็คือจะพิจารณาปริมาณไอน้ำในอากาศที่ 100% ของอุณหภูมินั้นๆ เปรียบเทียบกับปริมาณไอน้ำในอากาศที่มีอยู่จริง ณ อุณหภูมินั้นๆ เช่นที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส อากาศสามารถรองรับไอน้ำไว้ได้สูงสุด 17.3 g $_{vapor}$/ $m^3_{Dry\ Air}$ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ก็จะมีปริมาตรไอน้ำเป็นครึ่งหนึ่ง คือ (17.3/2) = 8.65 g $_{vapor}$/ $m^3_{Dry\ Air}$ และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 25% ปริมาณไอน้ำในอากาศก็จะมีอยู่ (17.3/4) = 4.325 g $_{vapor}$/ $m^3_{Dry\ Air}$ ซึ่งนอกจากนั้นเราสามารถที่จะหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศได้จากสมการที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} \times 100 = \frac{P_v/(R_v T)}{P_g V/ R_v T} \times 100 = \frac{P_v}{P_g} \times 100 \quad (2.3)$$

เมื่อ ϕ คือความชื้นสัมพัทธ์, %

m_v คือมวลของไอน้ำในอากาศ ณ จุดที่ทำการวัด, $kg_{vapor}/\ kg_{dry\ air}$

m_g คือมวลของไอน้ำที่อากาศสามารถรับไว้ได้สูงสุดของอุณหภูมิที่ต้องการวัด, $kg_{vapor}/\ kg_{dry\ air}$

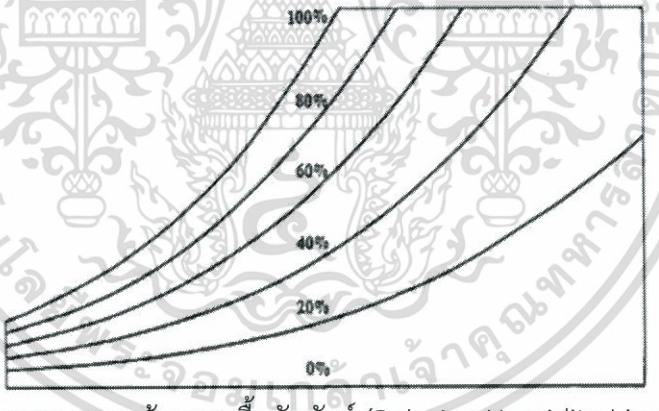
P_v คือแรงดันย่อยของไอน้ำในอากาศ, kN/m^2

R_v คือค่าคงที่ของไอน้ำ, $0.4615\ kJ/kg.k$

P_g คือแรงดันย่อยของอากาศ, kN/m^2

T คืออุณหภูมิในสภาวะที่พิจารณา, K

เส้นแสดงความชื้นสัมพัทธ์ในไซโครเมตริกชาร์ทดังแสดงในรูปที่ 2.12 โดยเส้นแรกทางขวามือสุดหรือเส้นที่อยู่ด้านนอกคือเส้นความชื้นสัมพัทธ์ 100% นั้นจะเป็นเส้นเดียวกับเส้นอากาศอิ่มตัว (Saturated Air Line) หรือจุดที่อากาศสามารถรองรับปริมาณไอน้ำได้สูงสุดที่อุณหภูมิต่างๆ ถัดมาจากเส้นความชื้นสัมพัทธ์ 100% ค่าความชื้นสัมพัทธ์ก็จะลดต่ำลงมาเรื่อยๆ อากาศที่มีปริมาณความชื้นอยู่เท่าๆ กันแต่เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงค่าความชื้นสัมพัทธ์จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงเส้นความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity Line) [3]

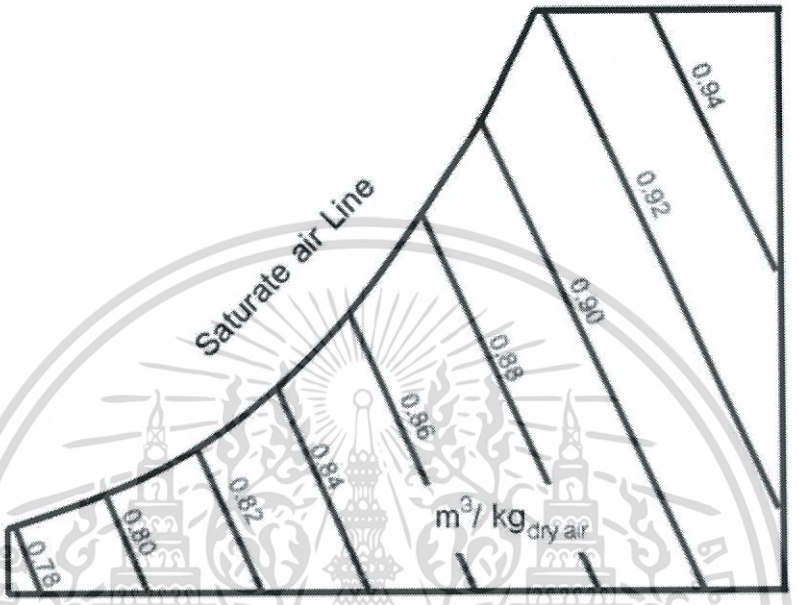
2.7.1.2 ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (Specific Volume, v)

ปริมาตรจำเพาะ คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาตร (Volume) ต่อมวล (Mass) ของอากาศมีหน่วยเป็น m^3/kg ในระบบ SI เป็นที่ทราบกันดีว่าอากาศมีคุณสมบัติในการขยายตัว ตามอุณหภูมิที่ความดันคงที่ (Constant Pressure) ในสภาวะความดันคงที่ถ้าอุณหภูมิต่ำอากาศจะมีปริมาตรจำเพาะน้อยหมายถึงน้ำหนักอากาศต่อหน่วยปริมาตรจะมากในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิของอากาศสูงขึ้นอากาศจะขยายตัวออกทำให้ปริมาตรจำเพาะของอากาศของอากาศมากขึ้นซึ่งก็คือน้ำหนักของอากาศต่อหน่วยปริมาตรจะลดลงหรืออากาศเบาขึ้นนั่นเอง

ตัวอย่างเช่นอากาศที่ความดันบรรยากาศอุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 60% จะมีปริมาตรจำเพาะเท่ากับ $0.825\ m^3/kg$ แต่ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนไปเป็น 25 °C ที่ความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมพัทธ์ 60% เท่าเดิม ปริมาตรจำเพาะของอากาศจะเท่ากับ 0.861 m^3/kg จะเห็นว่าอุณหภูมิเปลี่ยนไป 10 °C แต่ปริมาตรจำเพราะอากาศเปลี่ยนไป 4.4% ในการคำนวณสามารถใช้ค่าปริมาตรจำเพาะสำหรับหาอัตราการไหลเชิงปริมาตร (G) หรืออัตราการไหลเชิงมวล (m) ของอากาศ สำหรับเส้นแสดงปริมาตรจำเพาะที่อยู่ในไซโครเมตริกชาร์ตนั้นจะเป็นเส้นทะแยงจากซ้ายไปขวา โดยเส้นที่อยู่ด้านล่างจะมีค่าปริมาตรจำเพาะน้อยและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไปสู่ด้านบน ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.13 แสดงเส้นปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume) [3]

สำหรับการหาปริมาตรจำเพาะโดยการคำนวณนั้นสามารถทำได้ดังสมการ

$$v = \frac{R_a T}{P_a} = \frac{R_a T}{(P_{atm} - P_v)} \tag{2.4}$$

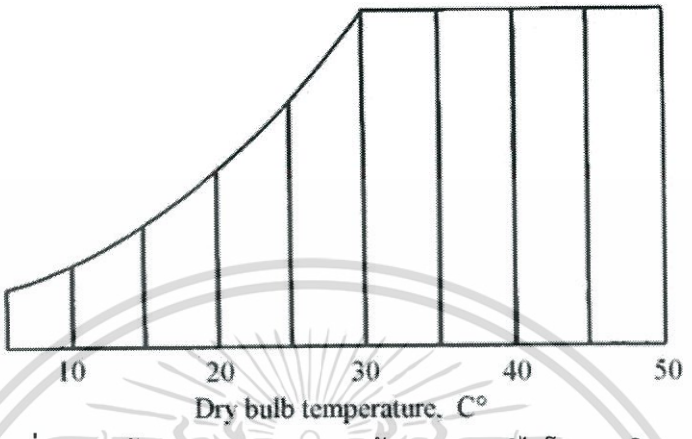
โดยที่ R_a คือค่าคงที่ของอากาศแห้ง, $0.2870\ kJ/kg.k$
T คืออุณหภูมิในสภาวะที่พิจารณา, K
P_{atm} คือความดันบรรยากาศ, $\frac{kN}{m^2} or\ (P_a + P_v)$
P_v คือแรงดันย่อยของไอน้ำในอากาศ, kN/m^2
P_a คือแรงดันย่อยของอากาศแห้ง, kN/m^2

2.7.1.3 อุณหภูมิ (Temperature)

ในห้องปรับอากาศจะมีความเย็นกว่ากลางแดดจ้าในหน้าร้อนในช่องแช่แข็งของตู้เย็นจะเย็นกว่าในห้องปรับอากาศ อุณหภูมินอกจากจะเป็นตัวบ่งบอกถึงความร้อนหรือเย็นแล้วยังเป็นตัวที่บ่งบอกถึงระดับพลังงานที่มีอยู่ในอากาศ อากาศที่ร้อนย่อมจะมีพลังงานอยู่ในตัวเองมากกว่าอากาศที่เย็น อุณหภูมิของอากาศแบ่งออกเป็นสองชนิดซึ่งมีความสัมพันธ์กัน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature, *Tdb*) คืออุณหภูมิที่วัดจากเทอร์โมมิเตอร์ธรรมดา เช่น อยากรู้ว่าตอนนี้อุณหภูมิเท่าไหร่ ก็อ่านค่าจากเทอร์โมมิเตอร์ที่ติดอยู่ที่ฝาผนังค่าอุณหภูมิดังกล่าวคืออุณหภูมิกระเปาะแห้งในแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นเส้นตามแนวตั้งอยู่ในแผนภูมิโดยค่าจะเรียงตั้งแต่น้อยไปหามากจากซ้ายมือไปยังขวามือ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 เส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้งบนแผนภูมิไซโครเมตริก [3]

2) อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature, *Twb*)

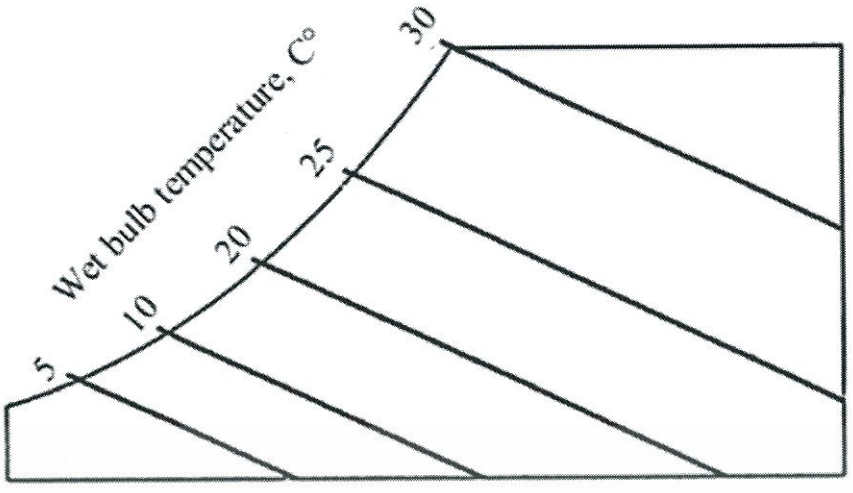
กระเปาะ (Bulb) คือส่วนปลายที่ใช้รับอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอทที่ใช้แหย่ไปยังจุดที่ต้องการวัดในตอนแรกที่กล่าวถึงอุณหภูมิกระเปาะแห้งซึ่งก็คือในตอนที่ทำการวัดนั้นกระเปาะรับอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์จะต้องแห้งจึงทำให้อุณหภูมิที่วัดได้จึงเป็นอุณหภูมิแวด-ล้อมที่อยู่รอบๆเทอร์โม-มิเตอร์ตัวนั้น ดังรูปด้านบนของรูปที่ 2.15 สำหรับการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกนั้นในการวัดก็ใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบเดียว-กับที่วัดแบบกระเปาะแห้ง แต่ที่กระเปาะปลายเทอร์โม-มิเตอร์จะเอาผ้าชุบน้ำพอชุ่มๆพันกระเปาะเอาไว้และในตอนวัดก่อนที่จะอ่านก็จะต้องทำให้ปลายกระเปาะเปียกดังกล่าวเคลื่อนที่ด้วยความเร็วๆหนึ่ง โดยปกติในการวัดจะใช้เชือกผูกและเหวี่ยงตัวเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกดังกล่าวให้เคลื่อนที่สักพักนึงแล้วจึงอ่านค่าอุณหภูมิ ดังรูปที่ 2.16
ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าถ้าความชื้นในอากาศขณะที่ทำการวัดน้อยเวลาที่เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกเคลื่อนที่ผ่านอากาศก็จะทำให้ความชื้นที่อยู่ที่ผ้าชุบน้ำดังกล่าวระเหยได้ง่ายเพราะความชื้นในอากาศมีน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.15 เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะแห้งและแบบกระเปาะเปียก เมื่อรวมกันจะเรียก Sling Psychrometer [3]

ในกระบวนการการระเหยของความชื้นของผ้าชุบน้ำที่ติดอยู่ที่ปลายเทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะเปียกนั้นจะดูดความร้อนรอบๆตัวกระ-เปาะมาทำให้ความชื้นเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ดังนั้นจึงทำให้อุณหภูมิที่วัดได้หรืออุณหภูมิกระเปาะเปียกจะต่ำกว่าาอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ในกรณีที่ในอากาศมีความชื้นอยู่มากความชื้นที่ผ้าที่หุ้มกระเปาะไว้จะระเหยได้ยาก ดังนั้นความร้อนที่ใช้ในการระเหยตัวก็จะน้อยส่งผลให้ค่าที่วัดได้จะใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ดังที่กล่าวข้างต้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอากาศในจุดที่ทำการวัดถ้าความชื้นในอากาศน้อยความแตกต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้งกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกจะมากและถ้าความชื้นในอากาศมากความแตกต่างของอุณหภูมิที่วัดได้จะน้อยและอุณหภูมิกระเปาะแห้งกับกระเปาะเปียกจะเท่ากันที่เส้นอากาศอิ่มตัว (Saturated Temperature) หรือจุดที่ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100% สำหรับเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่อยู่ในแผนภูมิไซโครเมตริกนั้นจะเป็นดังรูปที่ 2.16 โดยจะเอียงทแยงจากซ้ายไปขวาและค่าจะเพิ่มขึ้นจากน้อยไปมากจากด้านซ้ายไปยังด้านขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 เส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกบนแผนภูมิไซโครเมตริก [3]

1) อุณหภูมิหยดน้ำค้าง (Dew Point Temperature)

อุณหภูมิหยดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) คือ “อุณหภูมิที่ความชื้นในอากาศเริ่มกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเมื่ออากาศถูกลดอุณหภูมิที่ความดันคงที่” หรืออีกนัยยะหนึ่งก็คืออุณหภูมิอิ่มตัวของไอน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับความดันของไอน้ำดังสมการที่ 2.5

$$Tdp = T_{sat}(pv) \tag{2.5}$$

โดยที่ pv คือ แรงดันย่อยของไอน้ำที่อุณหภูมิจุดไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิที่อ้างอิง, kN/m^2

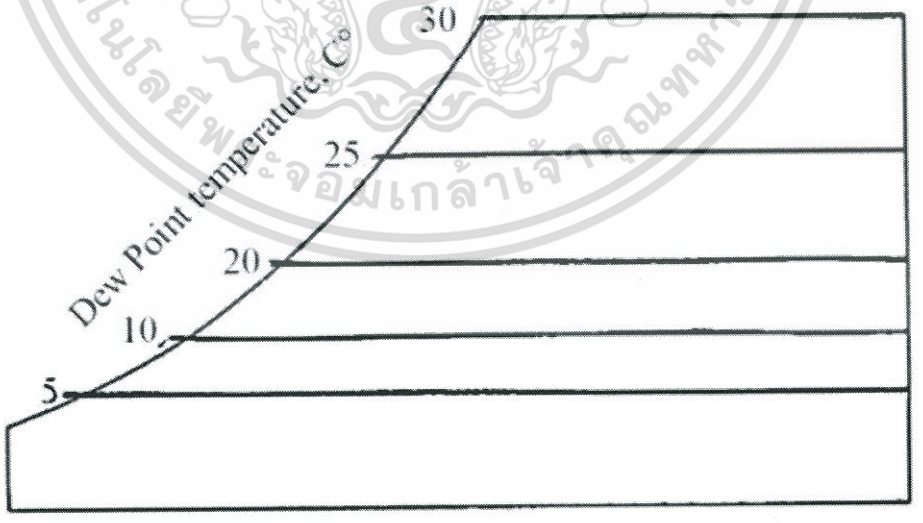
หยดน้ำที่เกาะอยู่ด้านข้างของแก้วน้ำเย็นหรือหยดน้ำค้างที่เกาะอยตามยอดหญ้าในตอนเช้าของฤดูร้อน ลักษณะดังกล่าวเกิดขึ้นได้ก็เนื่องจากการที่อากาศที่มีความชื้นสูงถูกลดอุณหภูมิลง ทำให้ความ-สามารถในการรองรับความชื้นในอากาศที่อุณหภูมิต่ำลดลง ดังนั้นปริมาณความชื้นในอากาศที่เกินจากความสามารถในการรองรับของอากาศที่อุณหภูมิต่ำลงจึงกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอน้ำที่อากาศสามารถรับไว้ได้กับอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิหยดน้ำค้าง

อุณหภูมิ °C(Tdb)		5	10	15	20	25	30	35
จำนวนไอน้ำในอากาศ, กรัมต่ออากาศ $1m^3$, (g/m^3)	$RH100\%$	6.8	9.3	12.8	17.3	22.9	30.3	39.6
	$T_{dew\ point}$,°C	5.0°C	9.9°C	14.9°C	20.0°C	25.0°C	30.0°C	35.0°C
	$RH100\%$	4.0	5.6	7.7	10.4	13.7	18.2	23.8
	$T_{dew\ point}$,°C	1.8°C	2.6°C	7.3°C	12.0°C	16.7°C	21.4°C	26.0°C
	$RH100\%$	3.4	4.6	6.4	8.6	11.5	15.2	19.8
	$T_{dew\ point}$,°C	4.6°C	0.2°C	4.7°C	9.3°C	13.8°C	18.4°C	23.0°C
	$RH100\%$	1.7	2.3	3.2	4.3	5.7	7.6	9.9
	$T_{dew\ point}$,°C	12°C	8.4°C	4.4°C	0.4°C	3.7°C	7.9°C	12.0°C

อุณหภูมิหยดน้ำค้างของอากาศที่จุดต่างๆสามารถหาได้ในไซโครเมตริกโดยลากเส้นจากจุดนั้นขนานไปกับเส้นปริมาตรจำเพาะไปทางขวามือไปชนกับเส้นอากาศอิ่มตัว



รูปที่ 2.17 แสดงการหาจุดน้ำค้างที่สภาวะที่กำหนด [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1.4 เส้นอากาศอิ่มตัว (Saturation Line)

เป็นเส้นที่อยู่ในแนวเดียวกันเส้นความชื้นสัมพัทธ์ด้านนอกสุดซ้ายมือในแผนภูมิไซโครเมตริกหรือเป็นเส้นปิดแผนภูมิไซโครเมตริกทางด้านซ้ายมือจริงๆ แล้วเส้นอากาศอิ่มตัวก็คือเส้นความชื้นสัมพัทธ์ 100% (100%RH) ดังในรูปที่ 2.11 และรูปที่ 2.18 นั่นเอง ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อเรื่องความชื้นสัมพัทธ์ว่าจุดอากาศอิ่มตัวก็คือจุดที่อากาศ ณ อุณหภูมินั้นๆ สามารถรองรับไอน้ำไว้ได้มากที่สุดสำหรับจำนวนไอน้ำที่อากาศสามารถรับไว้ได้มากที่สุดที่อุณหภูมิต่างๆ นั้นดังแสดงในช่องความชื้นสัมพัทธ์ 100 % (100%RH) ในตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2

2.7.1.5 เอลทาลปี้ (Enthalpy)

ในทางเทอร์โมไดนามิกค่าเอลทาลปี้ (Enthalpy) คือค่าที่เป็นตัวบ่งบอกถึงระดับพลังงานของของไหลซึ่งรวมถึงอากาศด้วยซึ่งเป็นค่าพลังงานภายในของของไหลบวกกับพลังงานเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความดันและปริมาตร (PV) ของของไหลดังสมการที่ 2.6

$$h = u + pv \qquad (2.6)$$

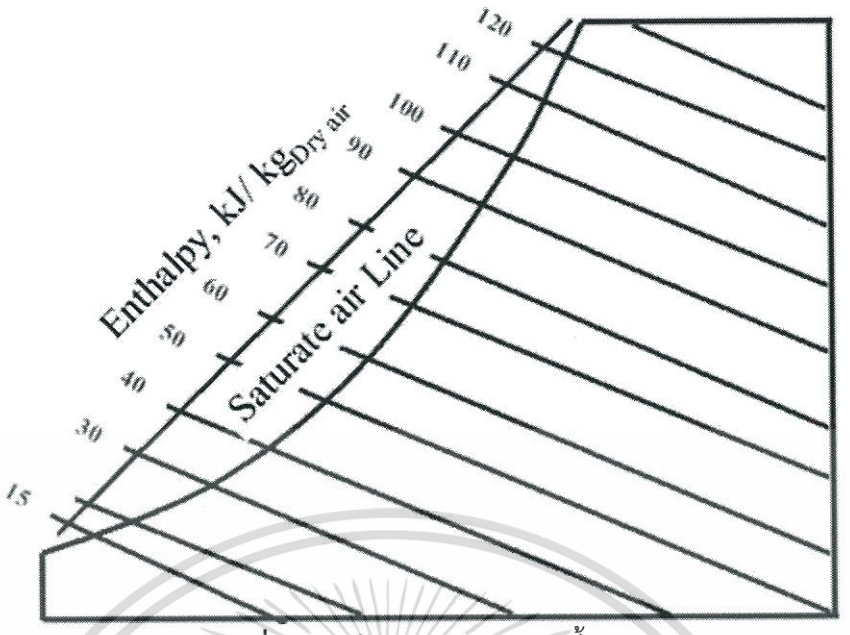
โดยที่ h คือเอลทาลปี้, Jue/kg
u คือพลังงานภายใน, Jue/kg
pv คือความสัมพันธ์ของความดันและปริมาตร$\left(\frac{N}{m^2}m^3\right), Jule$

สำหรับค่าเอลทาลปี้ สามารถเปิดได้จากตารางไอน้ำอิ่มตัวในตำราเทอร์โมไดนามิกต่าง ๆ ได้ ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทั้งสามอย่างข้างต้นมักจะรวมอยู่ในรูป $u + pv$ ดังนั้นเพื่อเป็นความสะดวกในการคำนวณ จึงให้คำจำกัดความเรียกผลรวมของความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทั้งสามตัวว่าเอลทาลปี้ (Enthalpy, *h*) โดยที่ถ้าเป็นเอลทาลปี้ต่อหน่วยมวลเราจะเรียกว่าเอลทาลปี้จำเพาะมีหน่วยเป็นพลังงานต่อมวลเช่น kJ/kg สำหรับของไหลที่ความดันบรรยากาศค่าเอลทาลปี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิโดยที่ถ้าอุณหภูมิมากค่าเอลทาลปี้จะมากตามไปด้วย เช่น อากาศที่อุณหภูมิสูงจะมีค่าเอลทาลปี้มากกว่าอากาศที่อุณหภูมิต่ำ เช่นถ้าต้องการที่จะลดอุณหภูมิอากาศจากอุณหภูมิ 40°C ที่ความ ชื้นสัมพัทธ์หนึ่งให้เหลือ 20°Cที่ความชื้นสัม-พัทธ์หนึ่งเราก็เอาค่าเอลทาลปี้ของจุดแรกไปลบเอลทาลปี้ที่จุดหลังเรา ก็สามารถคำนวณภาระทางความร้อนของกระบวนการลดอุณหภูมิในกระบวน-การดังกล่าวได้การหาค่าเอลทาลปี้ของอากาศแห้งและอากาศชื้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.7

$$h = C_pT + \omega h_g \qquad (2.7)$$

โดยที่ h คือเอลทาลปี้, Jue/kg
C_p คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศแห้ง, $1kJ/kg.k$
T คืออุณหภูมิในสภาวะที่พิจารณา, K
ω คืออัตราส่วนความชื้น, ไม่มีหน่วย
h_g คือค่าเอลทาลปี้ของไอน้ำอิ่มตัว,kJ/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 เส้นแสดงค่าเอลทาลปี้ [3]

เส้นแสดงระดับค่าเอลทาลปี้ในแผนภูมิไซโครเมตริกนั้นจะอยู่ด้านซ้ายมือหรือด้านหน้าของเส้นอากาศอิ่มตัวดังรูปที่ 2.18 โดยที่ค่าเอลทาลปี่จะเพิ่มจากน้อยไปหามากตามระดับของอุณหภูมิของอากาศที่เพิ่มขึ้นตามทิศทางของลูกศรที่แสดงในรูปที่ 2.18 สำหรับการหาค่าเอลทาลปี้ที่จุดต่างๆ ตามสภาวะอากาศหลังจากที่เราพลอตจุดในไซโครเมตริกชาร์ทได้แล้วเราก็ลากเส้นตรงในแนวระนาบมาตัดกับเส้นอากาศอิ่มตัวทางซ้ายมือและเอาค่าที่จุดตัดนั้นมาดูว่าตรงกับค่าเอลทาลปี้เท่าได

2.7.2 การศึกษากระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาวะของอากาศโดยใช้แผนภูมิไซโครเมตริก

ในกระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาวะของอากาศแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นเครื่องมือที่จะช่วยให้มองการเปลี่ยนแปลงเหล่านั้นและสามารถนำมาคิดคำนวณหาพลังงานและทำให้เรารู้ค่าตัวแปลต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงโดยไม่ต้องใช้สูตรในการคำนวณให้ยุ่งยากโดยที่กระบวนการเปลี่ยน-แปลงต่างๆที่เกิดขึ้นเราสามารถพิจารณาด้วยไซโครเมตริกชาร์ทได้ดังนี้

2.7.2.1 กระบวนการเพิ่มและลดความร้อน (Heating and Cooling Process)

1) กระบวนการเพิ่มความร้อน (Heating Process)

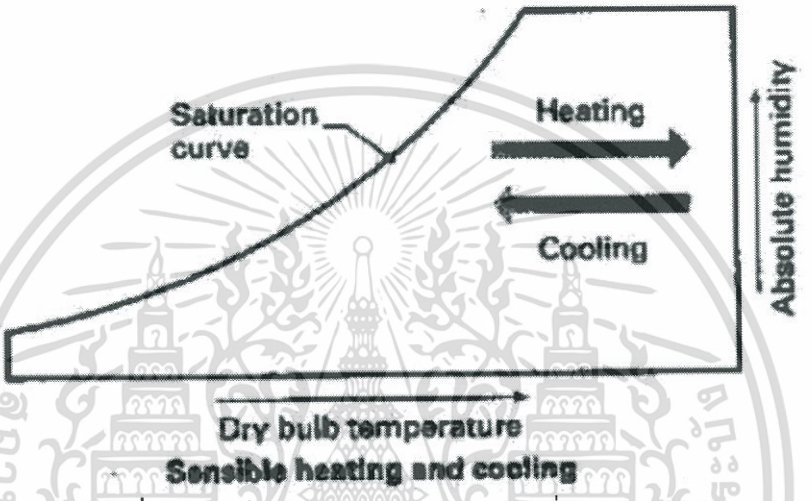
คือกระบวนการที่ในระหว่างกระบวนการหรือจากการเปลี่ยนแปลงจากสภาวะหนึ่งไปยังอีกสภาวะหนึ่ง ความร้อนของอากาศจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นที่สภาวะความดันคงที่ ตัวอย่าง เมื่อให้ความร้อนกับอากาศที่ความดันคงที่ อุณหภูมิของอากาศจะเพิ่มขึ้นและส่งผลให้ปริมาตรจำ-เพาะของอากาศเพิ่มขึ้นหรืออากาศ มีน้ำหนักเบาขึ้นเพราะอากาศเกิดการขยายตัวในขณะที่ไอน้ำในอากาศมีเท่าเดิม และค่าความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงเพราะอากาศสามารถรองรับไอน้ำที่ปะปนอยู่ได้เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 2.19 สำหรับกระบวนการนี้ ส่วนใหญ่ก็จะเป็นกระบวนการอบเพื่อลดความชื้นกับวัสดุหรือผืชผลทางการเกษตรต่างๆสำหรับความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการนี้จะเป็นความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) หรือความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเป็นส่วนใหญ่ ในส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของกระบวนการให้ความร้อน (Heating) ในไซโครเมตริกชาร์ตนั้นจะเป็นเส้นในแนวขนานกับแกนอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Tdb) ในทิศทางห่างออกไปจากเส้นอากาศอิ่มตัว ดังรูปที่ 2.19

2) กระบวนการลดความร้อน (Cooling Process)

คือกระบวนการที่ในระหว่างกระบวนการนั้นอุณหภูมิของอากาศจะลดลงที่ความดันคงที่ เช่น ในระบบการปรับอากาศเมื่อเราเริ่มต้นเปิดเครื่องปรับอากาศก็จะทำให้อุณหภูมิในห้องปรับอากาศค่อยๆ ลดลงที่ความดันคงที่และผลจากกระบวนการนี้ก็จะทำให้ปริมาตรจำเพาะของอากาศจะลดลงหรืออากาศมีความหนาแน่นขึ้นและจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมากขึ้นตามไปด้วย



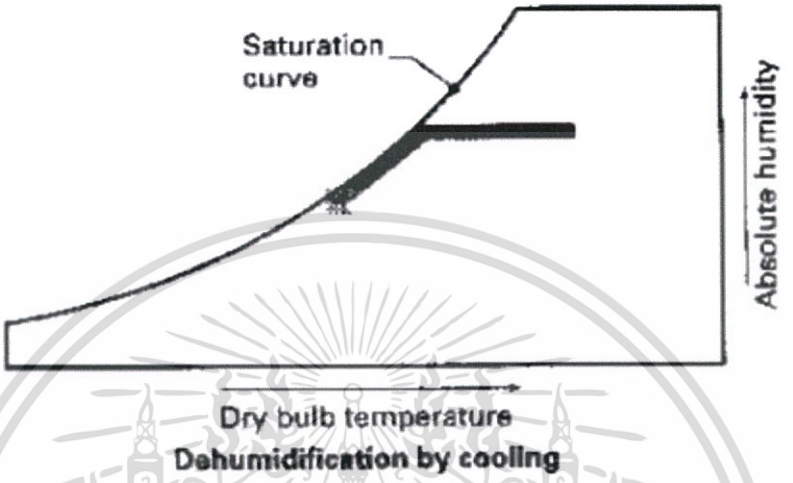
รูปที่ 2.19 แสดงทิศทางของการลดและเพิ่มอุณหภูมิ [3]

ดังนั้นในกระบวนการปรับอากาศของพื้นที่ปรับอากาศจึงจะต้องมีกระบวนการลดความชื้นตามมาด้วย ซึ่งจะกล่าวถึงในตอนหลัง เมื่อพิจารณาในแผนภูมิไซโครเมตริกเราจะเห็นว่ากระบวนการลดความร้อนของอากาศนี้จะมีทิศทางของอุณหภูมิตรงกันข้ามกับกระบวนการเพิ่มความร้อนของอากาศ โดยที่กระบวนการที่เกิดขึ้นนั้นจะเริ่มจากสภาวะเริ่มต้นของกระบวนการมาในทิศทางของทางเส้นอากาศอิ่มตัวโดยที่เส้นของกระบวนการจะขนานกับเส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้งดังรูปที่ 2.19 ในส่วนของความร้อนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ก็เป็นความร้อนสัมผัสเช่นกัน

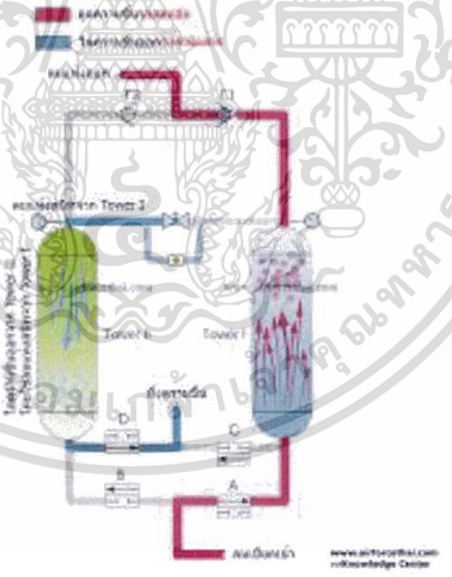
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2.2 กระบวนการลดความชื้น (Dehumidification Process)

ได้มีการกล่าวถึงคุณสมบัติต่างๆ ของความชื้นตั้งแต่ตอนแรกๆ ของบทความนี้แล้วเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าที่สภาวะความดันคงที่ถ้าอุณหภูมิลดลงความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นดังนั้นในการควบคุมสภาวะอากาศให้มีค่าความชื้นสัมพัทธ์น้อยที่อุณหภูมิต่ำนั้นสามารถที่จะทำได้โดยวิธีการ ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แสดงการลดความชื้นโดยการลดอุณหภูมิของอากาศ [3]



รูปที่ 2.21 แสดงวงจรลดความชื้น (Air Dryer) ของเครื่องอัดอากาศ [3]

1) การลดความชื้นโดยการลดอุณหภูมิ (Dehumidification by Cooling)

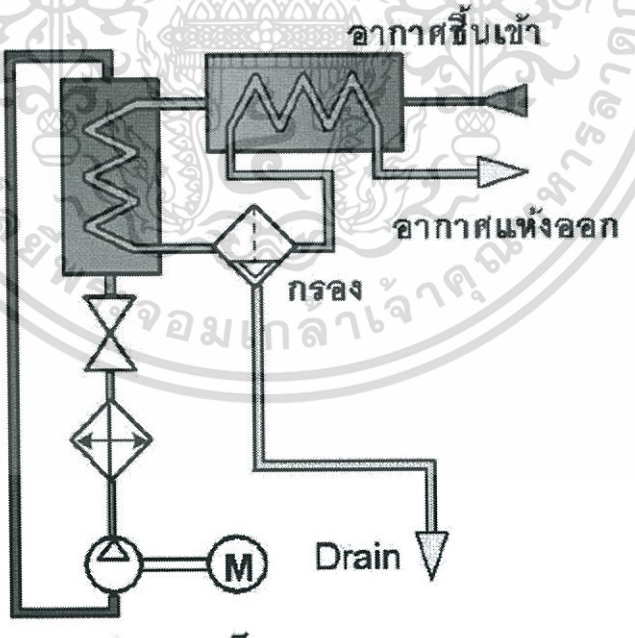
คือการลดอุณหภูมิของอากาศ ณ จุดที่เป็นจุดลดความชื้นให้ลดลงจนถึงจุดน้ำค้าง (Tdp) ของอากาศตัวอย่างที่เราสามารถเห็นได้ก็คือในห้องที่ติดเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กเราจะเห็นว่าที่ด้านล่างของคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศจะมีถาดรองน้ำรองอยู่ซึ่งเป็นที่รองไอน้ำที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบแน่นจากการกลั่นตัวนั่นเอง โดยหลักการทำงานง่ายก็คือสมมติในห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 25°C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ดังนั้นอุณหภูมิหยดน้ำค้างของอากาศที่สภาวะดังกล่าวจะอยู่ที่ประมาณ 13.8°Cและที่คอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศจะมีอุณหภูมิประมาณ 7°C ดังนั้นเมื่ออากาศถูกดูดเข้าใกล้คอยล์เพื่อลดอุณหภูมิของอากาศดังกล่าวและเมื่อที่จุดดังกล่าวมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดน้ำค้างของอากาศจึงทำให้ความชื้นในอากาศเกิดการกลั่นตัวกลายเป็นน้ำทำให้ปริมาณความชื้นในอากาศลดลง สำหรับเส้นการลดความชื้นด้วยการลดอุณหภูมินั้นจะแสดง ดังรูปที่ 2.20 อีกตัวอย่างหนึ่งก็คือการลดปริมาณน้ำในลมอัดของเครื่องอัดลม (Air Compressor) ดังรูปที่ 2.21

2) การลดความชื้นโดยวิธีการดูดซึมความชื้น (Dehumidification by Absorption)

การลดความชื้นแบบนี้เป็นการใช้วัสดุดูดซึมความชื้น (Absorption Material) เช่น ซิลิก้าเจล เป็นตัวลดความชื้นออกจากอากาศการลดความชื้นวิธีนี้จึงไม่จำเป็นต้องลดอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 2.22 เมื่อนำวัสดุดูดความชื้นมาวางวัสดุดูดความชื้นก็จะดูดไอน้ำหรือความชื้นในอากาศออกจากอากาศในระบบนั้นเป็นผลให้ความชื้นในอากาศลดลงโดยที่อุณหภูมิของอากาศคงที่



รูปที่ 2.22 การลดความชื้นโดยใช้วัสดุดูดความชื้น [3]

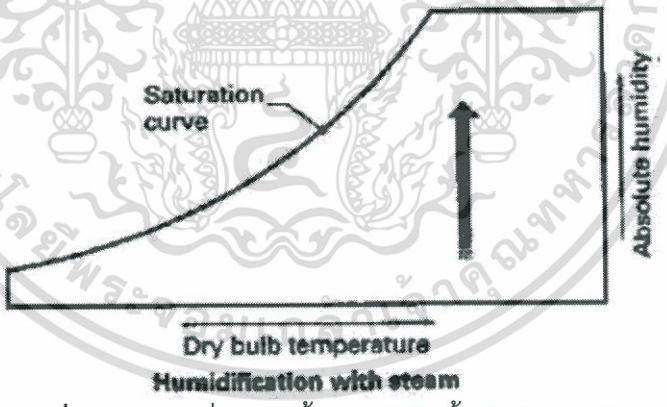
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) กระบวนการเพิ่มความชื้น (Humidity Process)

ในกรณีที่สภาวะอากาศรอบๆ ระบบนั้นมีความชื้นน้อยแต่ต้องการให้มีความชื้นมากภายในระบบ เช่น ในระบบปรับอากาศในเมืองหนาวที่ใช้ฮีทเตอร์เป็นตัวเพิ่มอุณหภูมิของอากาศแต่ความชื้นของระบบยังไม่ได้ตามที่ต้องการดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการเพิ่มความชื้นให้กับระบบซึ่งวิธีการส่วนใหญ่ที่ทำกันคือ

1) การการเพิ่มความชื้นโดยการเติมไอน้ำเข้าสู่ระบบ (Humidification by Steam)

เมื่อเราเติมไอน้ำเข้าไปปะปนในอากาศ ไอน้ำก็จะเจือปนอยู่กับอากาศในระบบทำให้ภายในระบบดังกล่าวมีความชื้นมากขึ้นตามที่ต้องการสำหรับในแผนภูมิไซโครเมตริกชาร์ตนั้นจะแสดงดังรูปที่ 2.22 โดยที่กระบวนการจะเริ่มที่อุณหภูมิเริ่มต้นและเมื่อไอน้ำค่อยๆ เข้าไปในระบบแล้วความชื้นในระบบจะค่อยๆ เพิ่มโดยที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งยังคงที่ส่วนตัวแปรที่เปลี่ยนไปคือค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกระเปาะเปียกดังรูปที่ 2.22 เราจะสังเกตได้ว่าเมื่อเราเพิ่มความชื้นเข้าไปในระบบเรื่อยๆ ค่าตัวแปรหนึ่งที่เปลี่ยนตามคือค่าอัตราส่วนความชื้นที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่ามวลของไอน้ำที่เราเติมเข้าไปนั้นมากขึ้นนั่นเอง



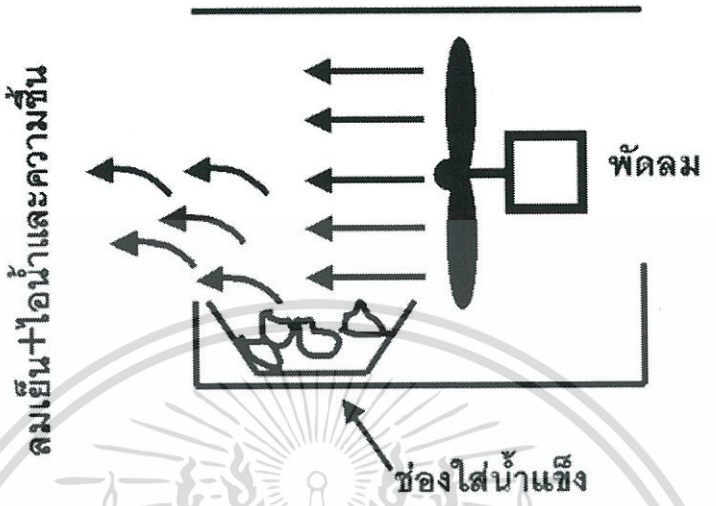
รูปที่ 2.23 การเพิ่มความชื้นโดยเติมไอน้ำเข้าสู่ระบบ [3]

2) การเพิ่มความชื้นโดยการทำให้อากาศเย็นโดยการระเหย (Humidification by Evaporative Cooling)

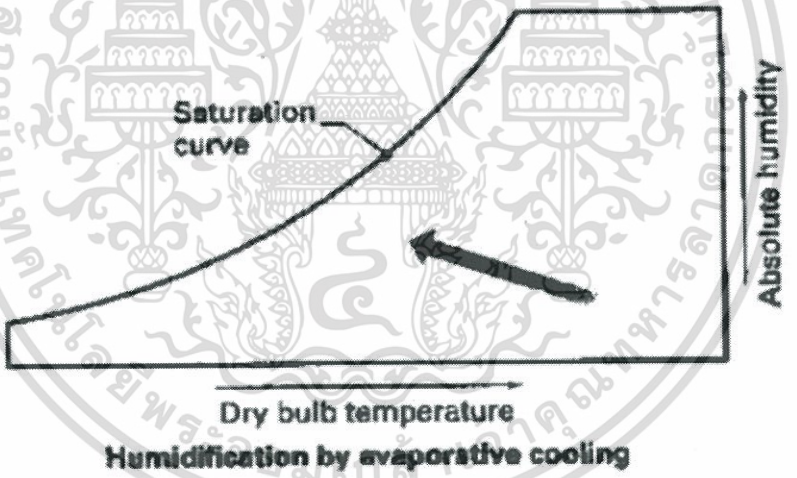
คือการเพิ่มความชื้นในขณะที่ทำการลดอุณหภูมิไปในเวลาเดียวกันตัวอย่างของกระบวนการนี้ให้เรานึกถึงพัดลมแบบที่มีช่องใส่น้ำแข็งอยู่ที่ด้านหน้าของใบพัดดังรูปที่ 2.24 สมมติว่าเอาพัดลมตัวนี้ไปวางไว้ในห้องเมื่อพัดลมเริ่มทำงานพัดลมก็จะเป่าทำให้น้ำแข็งระเหยกลายเป็นไอเย็นออกมาทำให้อุณหภูมิรอบๆ พัดลมนั้นค่อยๆเย็นลง แต่ขณะ-เดียวกันนั้นปริมาณไอน้ำที่เกิดจากการระเหยก็จะค่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากขึ้นทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศค่อยๆ มากขึ้นๆไปด้วย สำหรับกระบวนการในแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นไปและมีทิศทางดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.24 พัดลมแบบเติมน้ำแข็ง [3]

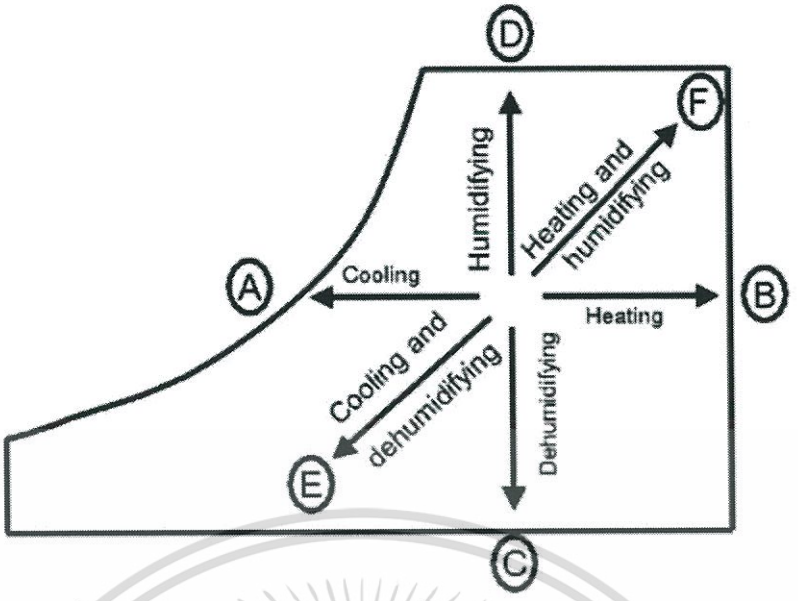


รูปที่ 2.25 การเพิ่มความชื้นแบบทำให้อากาศเย็นโดยการระเหย [3]

2.7.3 ดูการเปลี่ยนแปลงของอากาศจากแผนภูมิไซโครเมตริก

จากที่กล่าวในเรื่องของกระบวนการต่างๆ ของการเปลี่ยนแปลงของอากาศที่กล่าวมาในข้างต้นพอจะสรุปกระบวนการต่างๆ ในรูปของแผนภูมิไซโครเมตริกได้ดังรูปที่ 2.25 ในการพิจารณาทิศทางของกระบวนการต่างๆ นั้นให้พลอตที่จุดแรกของสภาวะอากาศลงในแผนภูมิไซโครเมตริกจากนั้นก็พลอตค่าสภาวะอากาศจุดที่สองลงในแผนภูมิไซโครเมตริกเมื่อได้จุดทั้งสองจุดแล้วก็จากเส้นจากจุดแรกไปยังจุดที่สองจากนั้นเราก็ได้เส้นของกระบวนการที่เกิดขึ้นและสามารถพิจารณาได้ว่ากระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการที่ 1 ดังรูปที่ 2.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 สรุปกระบวนการการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของอากาศ [3]

2.7.4 การประยุกต์ใช้แผนภูมิไซโครเมทริก

แผนภูมิไซโครเมทริกนั้นทำให้ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นภาพของกระบวนการปรับอากาศของกระบวนการต่างๆ ได้ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้ในกระบวนการต่างๆ เช่น การปรับอากาศภายในอาคารสำนักงานให้เหมาะสม การอบแห้งต่างๆ เป็นต้น ตัวอย่างภาพรวมของกระบวนการปรับอากาศที่สามารถพบได้โดยการใช้แผนภูมิไซโครเมทริก เช่น

- กระบวนการทำความร้อน (Heating) หรือกระบวนการทำความเย็น (Cooling) จะปรากฏเป็นเส้นแนวนอนบนแผนภูมิ ถ้าไม่มีกระบวนการเพิ่มความชื้น (Humidification) หรือกระบวนการลดความชื้น (Dehumidification) เข้ามาเกี่ยวข้อง

- ถ้ามีกระบวนการเพิ่มหรือลดความชื้นเข้ามาเกี่ยวข้อง การเบี่ยงเบนเกิดขึ้นบนเส้นแนวนอนและเส้นแนวตั้งซึ่งเกิดจากการเพิ่มความชื้นหรือเอาความชื้นออกจากอากาศในระหว่างกระบวนการ

2.8 การควบคุม

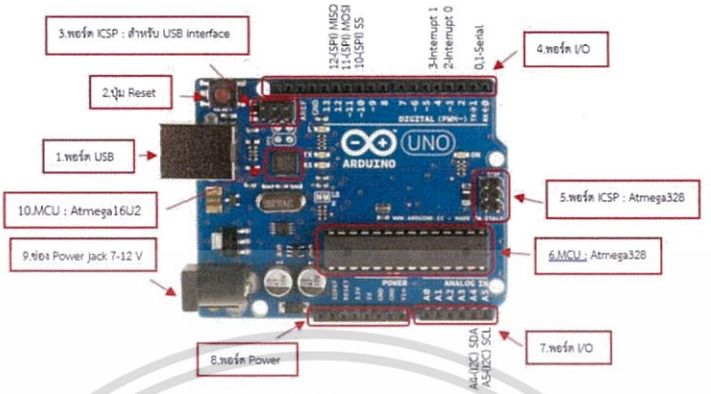
2.8.1 Arduino

Arduino (อาดูโน่) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR กล่าวคือไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ในการคิดคำนวณ รับค่าจากระบบวัดผลภายนอก เข้ามาประมวลผล เพื่อสั่งการตอบสนองออกไปที่อุปกรณ์ต่อเชื่อมอื่นๆ ส่วนอาดูโน่จะพัฒนามาแบบ Open Source ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างมาก เนื่องจากสามารถนำไปต่อยอดใช้งานได้หลายด้านและมีการใช้งานที่ง่าย สามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino ได้

การใช้งานอาดูโน่จะใช้ภาษาซีที่เป็นลักษณะเฉพาะ มีการเขียนไลบารี่ของอาดูโน่ เพื่อให้สามารถสั่งงานไมโครคอนโทรลเลอร์ที่แตกต่างกัน โครงการได้ออกแบบบอร์ดทดลองมาหลากหลายรูปแบบเพื่อการใช้งานร่วมกับ โปรแกรม Arduino IDE ของโครงการ ซึ่งซอร์ฟแวร์สามารถดาวน์โหลดได้ฟรีอีกทั้งยังมีราคาถูกมากทำให้เป็นที่นิยมสำหรับผู้เริ่มต้นนักประดิษฐ์และนักออกแบบ ตัวอย่างประยุกต์การใช้งาน เช่น เครื่องมือวัดและแสดงค่าอุณหภูมิ หุ่นยนต์ อุปกรณ์วัดความเร่ง รถยนต์ การเชื่อมต่อใช้งานแบบสมาร์ทโฮม Smart home เป็นต้น

เอกสารนี้ใช้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

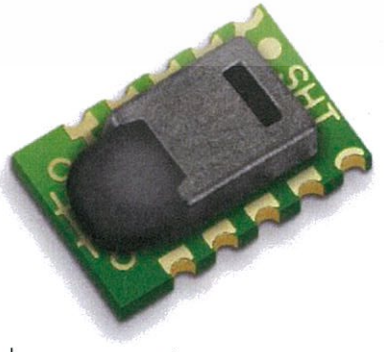
สำหรับตัวบอร์ดจะมีพอร์ตต่างๆสำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกโดยบอร์ดแต่ละประเภทก็จะมีพอร์ตที่คล้ายกัน ยกตัวอย่างโมเดล Arduino UNO R3 แสดงพอร์ตต่างๆ ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 แสดงพอร์ตต่างๆบนบอร์ดอาดุยโน่ (Arduino) [10]

2.8.2 SHT1X

SHT1X คือ อุปกรณ์ตรวจวัด ตระกูล Sensirion ซึ่งติดตั้งความชื้นสัมพัทธ์และเซ็นเซอร์อุณหภูมิพื้นผิว เซ็นเซอร์ประกอบองค์ประกอบของเซ็นเซอร์พร้อมการประมวลผลสัญญาณบนรอยเท้าขนาดเล็กและให้เอาต์พุตแบบดิจิตอลที่มีการปรับเทียบอย่างสมบูรณ์ ใช้เซ็นเซอร์วัดความอิ่มตัวแบบเฉพาะตัวเพื่อวัดความชื้นสัมพัทธ์ในขณะที่วัดโดยใช้เซ็นเซอร์ช่องว่าเทคโนโลยีCMOSens® ที่นำมาใช้ช่วยรับประกันความน่าเชื่อถือและเสถียรภาพในระยะยาว เซ็นเซอร์ทั้งสองรุ่นได้รับการเชื่อมต่อกันอย่างลงตัวกับตัวแปลงอนาล็อก 14 บิตและดิจิตอลอนุกรม ส่งผลให้คุณภาพสัญญาณที่เหนือกว่าเวลาในการตอบสนองที่รวดเร็วและไม่รู้สึกไวต่อการรบกวนจากภายนอก (EMC) แต่ละ SHT1x ถูกปรับเทียบเป็นรายบุคคลในห้องความชื้นสัมพัทธ์แม่นยำ ค่าสัมประสิทธิ์การปรับเทียบถูกตั้งโปรแกรมเป็นหน่วยความจำ OTP บนชิป ค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้ใช้ในการปรับเทียบสัญญาณภายในจากเซ็นเซอร์ อินเทอร์เฟซแบบอนุกรม 2 สายและการควบคุมแรงดันไฟฟ้าภายในช่วยให้สามารถรวมระบบได้ง่ายและรวดเร็ว ขนาดเล็กและการใช้พลังงานต่ำทำให้ SHT1x เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับการใช้งานที่ต้องการความต้องการมากที่สุด



รูปที่ 2.28 อุปกรณ์ตรวจวัด SHT1X [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
หลักการทำงานและการประกอบติดตั้งตู้อบลมร้อน

3.1 หลักการทำงานของตู้อบลมร้อน

โดยปรกติระบบการทำงานของแอร์จะให้อากาศเย็นภายในห้องอาคาร ส่วนอากาศร้อนจะปล่อยทิ้งสู่ภายนอกแต่หลักการทำงานของตู้อบลมร้อนระบบนี้จะนำระบบการทำงานของเครื่อง-ปรับอากาศมาประยุกต์ใช้ โดยใส่ทั้งด้านลมร้อนและลมเย็นเข้าไปในตู้อบที่เป็นระบบปิดนั้นเอง

3.1.1 ระบบทางเดินของน้ำยาเครื่องปรับอากาศ

เนื่องจากเป็นการนำระบบเครื่องปรับอากาศมาประยุกต์ใช้จึงยังต้องรักษาการวางระบบการเดินท่อในแบบของเครื่องปรับอากาศไว้แต่ได้มีการเพิ่มคอลย์ร้อน (Condenser) เข้ามาเพื่อช่วยระบายความร้อนส่วนเกินภายในตู้อบ

1) คอมเพลสเซอร์อัดน้ำยา

คอมเพรสเซอร์จะทำการอัดน้ำยาเครื่องปรับอากาศเข้าสู่ระบบ เมื่อน้ำยาโดนบีบอัดจะทำให้ความดันของน้ำยาสูงและอุณหภูมิก็จะสูงขึ้นไปด้วย

2) สต๊อปวาล์วควบคุมปริมาณการไหลของน้ำยา

สต๊อปวาล์ว (Stop Valve) มีหน้าที่ในการควบคุมปริมาณการไหลของน้ำยาภายในระบบ และยังควบคุมทิศทางการไหลของน้ำยาได้อีกด้วย โดยในการทำงานของสต๊อปวาล์วสำหรับระบบตู้อบนี้ จะทำหน้าที่ควบคุมทางเดินน้ำยาในกรณีที่อุณหภูมิภายในตู้ถึงค่าที่ตั้งไว้ สต๊อปวาล์วก็จะทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำยาให้ไปยังคอลย์ร้อน (Condenser) อีกตัวหนึ่งซึ่งทำหน้าที่ระบายความร้อนของน้ำยาที่ถูกคอมเพรสเซอร์บีบอัดมา

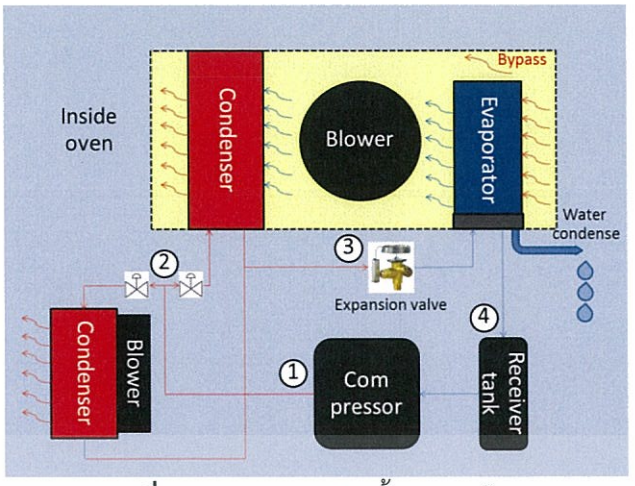
3) เอกแปนชั่นวาล์ว (Expansion Valve) ลดความดันน้ำยา

น้ำยาเครื่องปรับอากาศเมื่อผ่านคอลย์ร้อน (Condenser) มาจะเป็นน้ำยาที่มีความร้อนไม่สูงมากนักและความดันก็ลดต่ำลงเมื่อน้ำยาเหล่านั้นมาถึงเอกเพนชั่นวาล์วจะถูกทำให้กลายเป็นน้ำยาที่เป็นแก๊ส เนื่องจากน้ำยาถูกบีบด้วยท่อที่เล็กของเอกเพนชั่นวาล์วทำให้เมื่อน้ำยาผ่านท่อของเอกแพนชั่นวาล์วแล้วจะสูญเสียแรงดันจึงทำให้อุณหภูมิของน้ำยาลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว

4) ถังพักน้ำยา(Receiver Tank)

น้ำยาที่ออกมาจากคอลย์เย็น(Evaporator)จะมาผ่านที่ถังพักเพื่อกักน้ำยาที่ยังเป็นของเหลว ป้องกันไม่ให้คอมเพรสเซอร์เสียหาย ดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ระบบทางเดินน้ำยาของตู้อบ

3.1.2 ระบบหมุนเวียนลมภายในตู้อบลมร้อน

จากรูปที่ 3.1 จะสามารถอธิบายได้ว่า ในการออกแบบตู้อบนั้น ได้มีการจัดวางตำแหน่งของคอลย์ร้อน(Condenser) คอลย์เย็น(Evaporator) และตัวเป่าลม(Blower) ไว้ภายในตู้อบเพื่อทำการสร้างลมร้อนและดักจับไอน้ำที่ออกมาจากวัตถุและยังมีคอลย์ร้อน(Condenser)อีกหนึ่งตัวสำหรับระบายความร้อนของน้ำยาในกรณีที่อุณหภูมิถึงค่าที่กำหนด ทั้งนี้ทางเดินของน้ำยาจะถูกควบคุมโดย-สต็อปวาล์ว ว่าจะให้น้ำยานั้นไหลไปยังคอลย์ร้อนตัวไหน

1) อากาศชื้น อุณหภูมิสูง

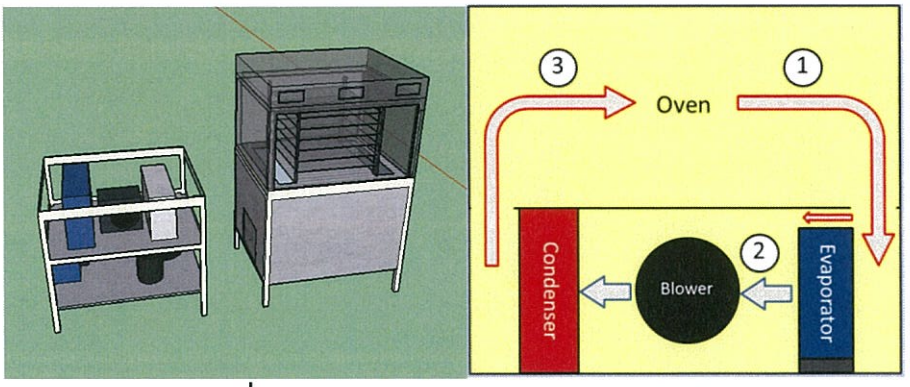
ลมร้อนที่ผ่านวัตถุภายในตู้อบ จะทำให้วัตถุคลายไอน้ำออกมาเรื่อยๆ ทำให้ลมมีปริมาณไอน้ำมาก

2) อากาศแห้ง อุณหภูมิต่ำ

ลมร้อนที่มีปริมาณไอน้ำมากจะถูกดูดกลับเข้ามาผ่านคอยเย็น ซึ่งจะทำการดักจับไอน้ำในอากาศบางส่วนออกไป ทำให้ได้ลมเย็นที่อากาศแห้ง

3) อากาศแห้ง อุณหภูมิสูง

ลมเย็นที่แห้งจะถูกเป่าผ่านคอยร้อนอีกครั้ง ทำให้กลายเป็นลมร้อนที่แห้ง ลมร้อนนี้จะถูกเป่าเข้าไปผ่านชิ้นงานเพื่อทำให้ชิ้นงานนั่นคลายน้ำออกมาวนเป็นระบบไหลเวียนลมภายในตู้

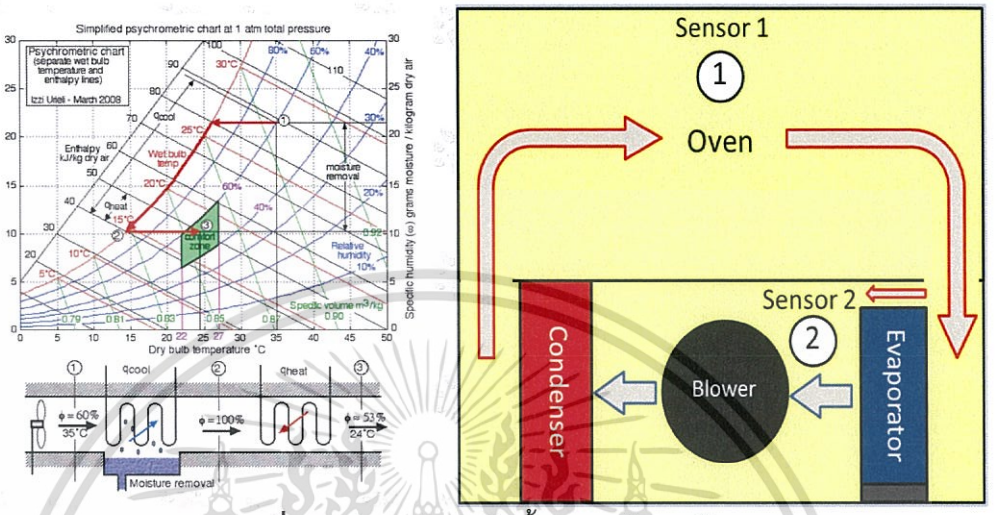


รูปที่ 3.2 ระบบการหมุนเวียนของลมภายในตู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ตำแหน่งของการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้(Sensor)

ภายในตู้อบ ได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้ไว้2จุด คือ ภายในตู้วางวัตถุ และ ระหว่างคอลย์ร้อน และคอลย์เย็น เพื่อตรวจดูอุณหภูมิของลมและความชื้นในลมที่หมุนเวียนภายในตู้ ทั้งนี้ค่าที่ได้จะต้องนำไปใส่ไว้ในผังไซโครเมตริกซ์ เพื่อตรวจสอบค่าความชื้นในขณะที่ทำการอบแห้งวัตถุ



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้

3.2 การประกอบติดตั้งตู้อบลมร้อน

3.2.1 ตู้ทดลอง

จุดเริ่มต้นในการสร้างตู้อบจะต้องทำการออกแบบระบบทำความเย็นเพื่อทดสอบระบบว่าอุปกรณ์แต่ละตัวทำงานสัมพันธ์กันหรือไม่ พร้อมปรับแก้ระบบให้เสถียรเพียงพอระบบเสถียรก็สามารถนำระบบทำความเย็นที่ได้ตามต้องการมาติดตั้งในตู้ทดลองเพื่อทดสอบเรื่องอุณหภูมิกับความชื้นว่ามีค่าเท่าไร พร้อมปรับแก้ให้ระบบสามารถทำอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้อบลมร้อนได้ตามสมมุติฐานที่ได้วางไว้ ก่อนที่จะติดตั้งในตู้อบลมร้อนจริง

1) ออกแบบและประกอบระบบทำความเย็นโดยนำคอลย์ร้อนและคอลย์เย็นมประกอบในตำแหน่งที่คำนวณไว้และทำการเดินท่อทองแดงขนาด3/8″เพื่อทดสอบทางเดินน้ำยาแอร์(R134a)

รูปที่ 3.4 ทดลองวางตำแหน่งของคอลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ประกอบตู้อบเพื่อทำการทดลองโดยใช้เหล็กฉากขนาด 1.5″ มาเชื่อมกันเป็นฐานตู้ แบ่งเป็น 2 ชั้นคือ ส่วนของห้องลมร้อน และ ส่วนวางอุปกรณ์ระบบแอร์

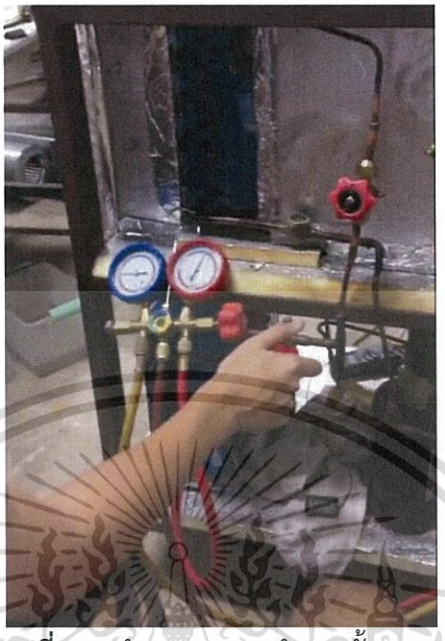
รูปที่ 3.5 ทำการประกอบตู้ต้นแบบเพื่อทดลองทำงานเป็นระบบ

3) ติดตั้งระบบทำความเย็นเข้ากับตู้ทดลองโดยทำการบุฉนวนกันความร้อนทั้ง 5ด้าน และส่วนด้านล่างของตูเจาะรูสองรูสำหรับลมขาเข้าและลมขาออก ชั้นวางชั้นที่ 1 ติดตั้งคอลย์ร้อน พัดลม และคอลย์เย็น

รูปที่ 3.6 ตู้ตัวทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

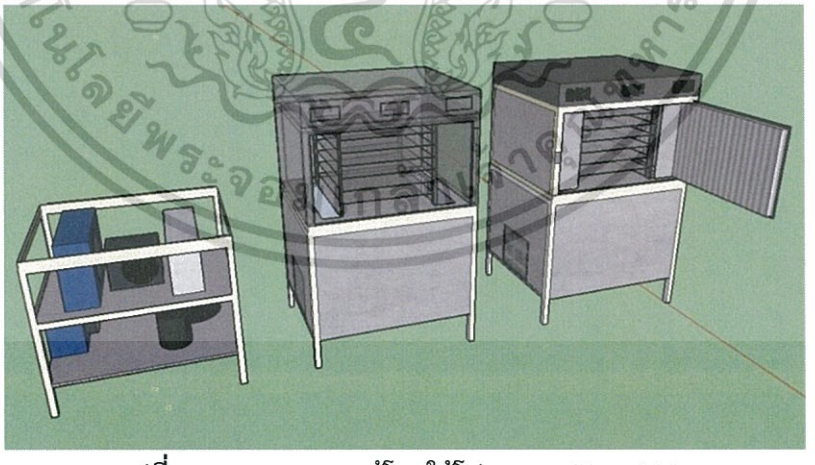
4) ทดสอบระบบทดลอง โดยปรับเทียบด้วยเกทวัดความดันเพื่อปรับแรงดันในระบบให้เหมาะสมกับการใช้งาน



รูปที่ 3.7 ทำการทดลองทำงานทั้งระบบ

3.2.2 ตู้สำเร็จ

1) ออกแบบตู้อบลมร้อนแบบ 3D ตามที่ได้ออกไว้ด้วยโปรแกรม Sketchup เพื่อสั่งทำจากโรงงานอลูมิเนียม โดยออกแบบให้เห็นโครงสร้างภายในได้ชัดเจน



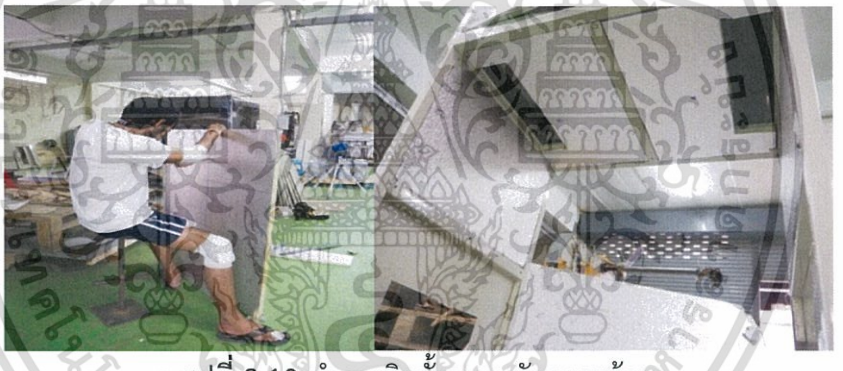
รูปที่ 3.8 แบบการวาดตู้โดยใช้โปรแกรม SketchUp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ควบคุมการประกอบตู้อบลมร้อน โดยเดินทางไปติดตั้งที่โรงงานเพื่อให้ตู้อบเป็นไปตามโครงสร้างที่ออกแบบไว้จากนั้นนำกลับมาทดสอบระบบ

รูปที่ 3.9 ตู้จริงที่ได้จากการวาด SketchUp

3) ติดตั้งฉนวนเข้ากับตู้อบลมร้อน โดยใช้ฉนวนกันความร้อนบุความผนังของตู้อบทั้งหมดเพื่อกันความร้อนออกจากระบบและป้องกันระบบจากสภาพแวดล้อมภายนอกเข้าภายในระบบ



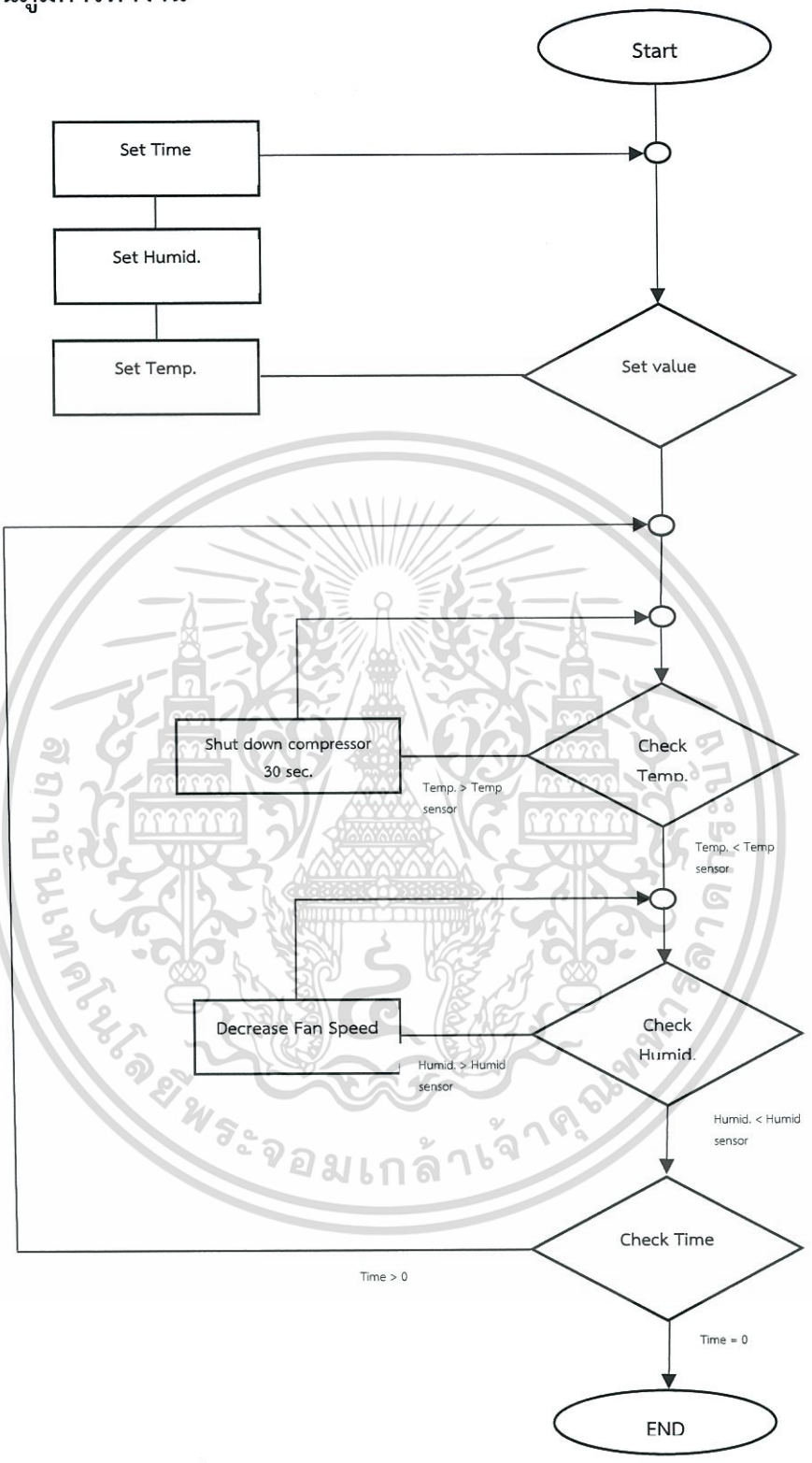
รูปที่ 3.10 ทำการติดตั้งฉนวนกันความร้อน

4) ติดตั้งระบบทำความเย็นเข้ากับตู้อบลมร้อน โดนทำการเจาะและยึดชุดทำความเย็นและทำให้เป็นระบบเพื่อให้ลมหมุนเวียนภายในตู้เท่านั้น

รูปที่ 3.11 ติดตั้งระบบเครื่องปรับอากาศภายในตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 แผนภูมิการทำงาน



รูปที่ 3.12 แผนภูมิการควบคุมของระบบตู้อบลมร้อน

รูปที่ 3.12 เป็นการแสดงลำดับการควบคุมการทำงานของตู้อบลมร้อนด้วยอาร์ดูโน่ ในการควบคุมเวลา อุณหภูมิ และความชื้น จากการตั้งค่าของผู้ใช้งานเปรียบเทียบกับค่าที่อุปกรณ์ตรวจวัดสามารถวัดค่าออกมาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

จากการทดลองทำงานตู้อบลมร้อนในอุณหภูมิต่างๆ ภายใต้ระยะเวลาที่เท่ากันและอุณหภูมิภายนอกใกล้เคียงกัน ทำให้ได้ค่าดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลที่ได้จากการทดลองทำงานที่ 40 °C (ครั้งที่ 1)

Result		1 In oven	2 Evaporator	3 Condenser
5 minutes	Temp	27.41	11.21	18.42
	Humidity	67.14	66.80	66.74
10 minutes	Temp	31.50	12.97	22.36
	Humidity	50.32	51.49	51.03
15 minutes	Temp	37.41	12.12	29.89
	Humidity	30.05	29.36	30.53
20 minutes	Temp	38.61	15.16	36.35
	Humidity	29.51	28.66	29.74
25 minutes	Temp	41.32	15.95	37.65
	Humidity	28.85	27.70	27.43
30 minutes	Temp	41.89	16.34	38.98
	Humidity	23.63	25.64	25.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลที่ได้จากการทดลองทำงานที่ 40 ℃ (ครั้งที่ 2)

Result		1 In oven	2 Evaporator	3 Condenser
5 minutes	Temp	27.57	11.54	18.95
	Humidity	67.65	67.51	67.29
10 minutes	Temp	30.32	12.74	22.94
	Humidity	51.98	50.36	51.39
15 minutes	Temp	37.57	12.54	30.57
	Humidity	30.14	29.74	30.74
20 minutes	Temp	38.59	14.74	35.64
	Humidity	29.41	29.36	29.41
25 minutes	Temp	40.36	16.34	37.98
	Humidity	27.84	27.72	27.45
30 minutes	Temp	40.91	16.74	35.46
	Humidity	25.61	25.62	25.62

ตารางที่ 4.3 ผลที่ได้จากการทดลองทำงานที่ 40 ℃ (ครั้งที่ 3)

Result		1 In oven	2 Evaporator	3 Condenser
5 minutes	Temp	27.32	11.10	18.356
	Humidity	67.24	67.10	66.81
10 minutes	Temp	29.56	12.21	22.14
	Humidity	50.47	51.42	51.63
15 minutes	Temp	37.98	12.63	30.53
	Humidity	29.12	29.68	29.54
20 minutes	Temp	39.41	14.85	35.41
	Humidity	28.32	29.12	28.75
25 minutes	Temp	40.47	15.98	37.84
	Humidity	27.41	27.32	27.01
30 minutes	Temp	41.25	16.78	38.74
	Humidity	25.61	25.63	25.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลที่ได้จากการทดลองทำงานที่ 40 °C (ครั้งที่ 4)

Result		1 In oven	2 Evaporator	3 Condenser
5 minutes	Temp	27.22	11.95	18.95
	Humidity	66.98	66.74	66.51
10 minutes	Temp	30.68	12.31	22.99
	Humidity	51.23	51.71	51.99
15 minutes	Temp	37.03	12.01	30.84
	Humidity	29.58	29.36	29.45
20 minutes	Temp	38.17	14.36	35.85
	Humidity	29.01	28.32	29.04
25 minutes	Temp	41.35	15.78	38.51
	Humidity	28.88	27.71	27.49
30 minutes	Temp	41.84	16.32	38.99
	Humidity	25.61	25.61	25.61

ตารางที่ 4.5 ผลที่ได้จากการทดลองทำงานที่ 40 °C (ครั้งที่ 5)

Result		1 In oven	2 Evaporator	3 Condensor
5 minutes	Temp	27.54	12.35	18.41
	Humidity	67.64	67.54	67.12
10 minutes	Temp	30.96	12.33	22.01
	Humidity	51.69	51.95	51.46
15 minutes	Temp	37.54	12.63	30.56
	Humidity	30.45	30.31	31.32
20 minutes	Temp	38.79	15.645	36.20
	Humidity	29.64	29.74	30.04
25 minutes	Temp	40.92	16.41	37.94
	Humidity	28.42	28.13	27.94
30 minutes	Temp	41.52	16.98	38.69
	Humidity	25.62	25.63	25.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในจุดต่างๆของตู้อบลมร้อนที่ 40 ℃

Result		1 In oven	2 Evaporator	3 Condenser
5 minutes	Temp	27.41	11.63	18.61
	Humidity	67.33	67.13	66.89
10 minutes	Temp	30.60	12.51	22.48
	Humidity	51.13	51.38	51.50
15 minutes	Temp	37.50	12.38	30.47
	Humidity	29.86	29.71	30.31
20 minutes	Temp	38.71	14.95	35.89
	Humidity	29.17	29.04	29.39
25 minutes	Temp	40.88	16.28	37.98
	Humidity	28.28	27.71	27.46
30 minutes	Temp	41.48	16.63	38.77
	Humidity	25.62	25.62	25.62

ตารางที่ 4.7 ผลที่ได้จากการทดลองทำงานที่ 50 ℃ (ครั้งที่ 1)

Result		1 In oven	2 Evaporator	3 Condenser
5 minutes	Temp	35.20	15.72	33.76
	Humidity	60.13	60.02	59.73
10 minutes	Temp	44.69	16.88	37.49
	Humidity	29.94	29.88	29.89
15 minutes	Temp	47.80	18.23	45.64
	Humidity	23.74	23.57	23.49
20 minutes	Temp	49.00	18.50	46.76
	Humidity	22.03	22.01	22.01
25 minutes	Temp	50.01	19.12	47.51
	Humidity	21.11	21.12	21.12
30 minutes	Temp	50.21	19.53	48.93
	Humidity	20.21	20.21	20.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลที่ได้จากการทดลองทำงานที่ 50 °C (ครั้งที่ 2)

Result		1 In oven	2 Evaporator	3 Condenser
5 minutes	Temp	35.72	14.96	34.21
	Humidity	63.44	63.35	62.97
10 minutes	Temp	43.76	16.02	38.64
	Humidity	29.59	29.41	29.46
15 minutes	Temp	47.21	18.10	44.99
	Humidity	23.84	23.77	23.68
20 minutes	Temp	48.36	18.23	47.29
	Humidity	22.03	22.00	22.01
25 minutes	Temp	50.13	18.59	46.99
	Humidity	21.45	21.46	21.46
30 minutes	Temp	50.20	19.33	47.98
	Humidity	20.20	20.21	20.21

ตารางที่ 4.9 ผลที่ได้จากการทดลองทำงานที่ 50 °C (ครั้งที่ 3)

Result		1 In oven	2 Evaporator	3 Condenser
5 minutes	Temp	35.90	15.12	33.49
	Humidity	57.62	57.59	57.07
10 minutes	Temp	43.80	16.38	37.29
	Humidity	29.95	29.81	29.59
15 minutes	Temp	47.32	18.21	45.01
	Humidity	23.90	23.68	23.41
20 minutes	Temp	49.25	18.74	46.68
	Humidity	22.02	22.02	22.01
25 minutes	Temp	50.21	19.57	47.49
	Humidity	21.29	21.28	21.28
30 minutes	Temp	50.34	19.21	48.65
	Humidity	20.21	20.22	20.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ผลที่ได้จากการทดลองทำงานที่ 50 °C (ครั้งที่ 4)

Result		1 In oven	2 Evaporator	3 Condenser
5 minutes	Temp	35.37	14.82	33.77
	Humidity	59.43	59.33	58.94
10 minutes	Temp	44.74	16.22	37.51
	Humidity	29.49	29.44	29.25
15 minutes	Temp	47.56	18.54	45.23
	Humidity	23.36	23.95	23.75
20 minutes	Temp	47.22	18.69	46.58
	Humidity	22.00	22.02	22.02
25 minutes	Temp	50.11	18.85	47.22
	Humidity	21.11	21.12	21.12
30 minutes	Temp	50.37	19.03	48.95
	Humidity	20.21	20.21	20.20

ตารางที่ 4.11 ผลที่ได้จากการทดลองทำงานที่ 50 °C (ครั้งที่ 5)

Result		1 In oven	2 Evaporator	3 Condenser
5 minutes	Temp	35.53	15.51	34.34
	Humidity	61.79	61.70	61.36
10 minutes	Temp	44.72	16.58	38.99
	Humidity	29.79	29.71	29.69
15 minutes	Temp	47.98	18.79	45.32
	Humidity	23.89	23.74	23.54
20 minutes	Temp	48.78	18.56	46.94
	Humidity	21.99	22.02	22.01
25 minutes	Temp	50.03	19.32	47.33
	Humidity	21.34	21.35	21.35
30 minutes	Temp	50.21	19.68	49.58
	Humidity	20.22	20.21	20.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในจุดต่างๆของตู้อบลมร้อนที่ 50 ℃

Result		1 In oven	2 Evaporator	3 Condenser
5 minutes	Temp	35.14	16.22	33.91
	Humidity	60.41	60.37	60.01
10 minutes	Temp	44.39	16.41	37.98
	Humidity	29.75	29.65	29.70
15 minutes	Temp	47.57	18.37	45.23
	Humidity	23.74	23.74	23.57
20 minutes	Temp	48.12	18.54	46.85
	Humidity	22.01	22.02	22.01
25 minutes	Temp	50.09	18.54	47.85
	Humidity	21.26	21.46	21.46
30 minutes	Temp	50.24	19.35	48.81
	Humidity	20.22	20.21	20.21

ตารางข้างต้นคือการทดลองการทำงานของตู้อบลมร้อน ณ อุณหภูมิ 40 และ 50 ℃ ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกัน จากค่าเฉลี่ยทั้ง 5 ครั้ง ตู้อบลมร้อนนี้สามารถทำความร้อนได้ถึงค่าอุณหภูมิที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์

จากการออกแบบและสร้างตู้อบลมร้อนระบบนี้ทำให้ได้ข้อสรุปว่าตู้อบระบบนี้สามารถใช้งานอบวัตถุได้จริง และยังสามารถดึงเอาน้ำในวัตถุออกมาได้มากพอสมควร แต่เนื่องจากการทำชิ้นงานชิ้นนี้ถือเป็นการทดลองแนวคิดและริเริ่มแนวคิดใหม่ในการวางระบบตู้อบลมร้อน จึงพบปัญหาในขณะทำงานมากพอสมควร ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของการเรียนรู้ระบบเครื่องปรับอากาศ การเชื่อมท่อทองแดง การวางแผนและจัดซื้อจัดหาอุปกรณ์ การออกแบบด้วยโปรแกรม รวมไปถึงการเขียนโปรแกรมควบคุมระบบการทำงาน ทั้งนี้ปัญหาทั้งหมดสามารถแก้ไขได้ในเวลาต่อมา

ตู้อบลมร้อนเครื่องนี้ มีจุดบกพร่องคือ ในขณะนี้ยังมีวาล์วบางตัวที่ยังต้องใช้คนในการปรับตั้ง จึงทำให้ความเที่ยงตรงในการควบคุมนั้นยังไม่ดีเท่าที่ควร และในการควบคุมนี้ยังถือเป็นการควบคุมอุณหภูมิเป็นหลัก จึงควรวางแผนและวางระบบสำหรับการควบคุมทั้งอุณหภูมิและความชื้นให้มีประสิทธิภาพมากกว่าที่เป็นอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] https://www.chaichana.net/ตู้อบลมร้อน , “เตาอบลมร้อน(ตู้อบแห้ง)”

[2] https://ienergyguru.com/2015/01/เครื่องปรับอากาศแบบsplit-type , “ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน”

[3] http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=19123 , “แผนภูมิไซโครเมตริก”

[4] https://www.bloggang.com/m/mainblog.php?id=kanichikoong&month=17-06-2009&group=21&gblog=2 , “ระบบเครื่องปรับอากาศเบื้องต้น”

[5] https://www.sciencelearn.org.nz/resources/259-interpreting-representations-heat-pump-cycle , “Heat pump”

[6] http://kulthorn.brandexdirectory.com/ , “ชนิดของคอมเพรสเซอร์”

[7] https://m.buyautoparts.com/buynow/60-50355_N , “Evaporator”

[8] https://m.indiamart.com/proddetail.php?i=16447829973 , “Condenser”

[9] http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Refrigeration/Website/unit8_1.htm , “Expansion valve”

[10] https://www.arduitronics.com/product/8/arduino-uno-r3-free-usb-cable , “Arduino UNO R3”

[11] https://www.digikey.com/product-detail/en/sensirion-ag/SHT15/1649-1003-1-ND/5872285 , “SHT 1X”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

1. โปรแกรมคำสั่ง

```
#include <Keypad_I2C.h>
#include <Keypad.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <LCD.h>

unsigned long ShowTime;
unsigned long ShowTime1;
unsigned long Timebegin;
unsigned long Timecount;
unsigned long TimeTotal,TimeDef;
unsigned long hour,Min,sec,hourR,MinR,secR,hourB,MinB,secB;
#define I2CADDR 0x20
#define I2C_ADDR 0x3F
#define BACKLIGHT_PIN 3
int b;

const byte ROWS = 4;
const byte COLS = 4;
char hexaKeys[ROWS][COLS] = {
  {'D','C','B','A'},
  {'#','9','6','3'},
  {'0','8','5','2'},
  {'*','7','4','1'}
};
byte rowPins[ROWS] = {3, 2, 1, 0};
byte colPins[COLS] = {7, 6, 5, 4};
int mode,pause;
char key;
int temp,H,num;
int n1,n2,n3,n4,n5,n6;
int show,curs,start;

int temperatureCommand  = 3;
int humidityCommand = 5;
int clockPin  = 11 ;
int dataPin   = 10 ;
int dataPin2  = 12 ;

int ack;
int val;

int ack2;
int val2;

float temperature;
float temperature2;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if(mode==1)
{
 lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("T1 =");lcd.print((float)temperature);lcd.print("  H1 =");lcd.print((float)humidity);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("T2 =");lcd.print((float)temperature2);lcd.print("  H2 =");lcd.print((float)humidity2);
 lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("spT =");lcd.print(temp);lcd.print("  ");lcd.print("  spH =");lcd.print(H);
  if(start==1){
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("start");}
  if(start==0){
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("stop ");}

sendCommandSHT(temperatureCommand , dataPin , clockPin);
waitForResultSHT(dataPin);
val = getData16SHT(dataPin, clockPin);
skipCrcSHT(dataPin, clockPin);
temperature = (float) val * 0.01 - 40;
sendCommandSHT2(temperatureCommand , dataPin2 , clockPin);
waitForResultSHT2(dataPin2);
val2 = getData16SHT2(dataPin2, clockPin);
skipCrcSHT2(dataPin2, clockPin);
temperature2 = (float) val2 * 0.01 - 40;

sendCommandSHT(humidityCommand, dataPin, clockPin);
waitForResultSHT(dataPin);
val = getData16SHT(dataPin, clockPin);
skipCrcSHT(dataPin, clockPin);
humidity = (3.0 + 0.0405 * (float)val) + (-0.0000028 * (float)val * (float)val);

sendCommandSHT2(humidityCommand, dataPin2, clockPin);
waitForResultSHT2(dataPin2);
val2 = getData16SHT2(dataPin2, clockPin);
skipCrcSHT2(dataPin2, clockPin);
humidity2 = (3.0 + 0.0405 * (float)val2) + (-0.0000028 * ((float)val2) * ((float)val2));
  if(start==0)
  {
  lcd.setCursor(8,3);
  lcd.print(hour);
  lcd.setCursor(10,3);
  lcd.print(":");
  lcd.setCursor(11,3);
  lcd.print(Min);
  lcd.setCursor(13,3);
  lcd.print(":");
  lcd.setCursor(14,3);
  lcd.print(sec);
  if(num==10)
  {Timebegin=ShowTime1;start=1;}
  if(start==1)
  {
  lcd.setCursor(8,3);
  lcd.print(hourB);
  lcd.setCursor(10,3);
  lcd.print(":");
  lcd.setCursor(11,3);
  lcd.print(MinB);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
lcd.setCursor(13,3);
lcd.print(":");
lcd.setCursor(14,3);
lcd.print(secB);
if(hourB<10)
{
lcd.setCursor(9,3);
lcd.print(" ");
}
if(MinB<10)
{
lcd.setCursor(12,3);
lcd.print(" ");
}
if(secB<10)
{
lcd.setCursor(15,3);
lcd.print(" ");
}
      TimeDef=ShowTime1-Timebegin;
      TimeTotal=(hour*3600)+(Min*60)+sec;
      Timecount=TimeTotal-TimeDef;
      hourB=Timecount/3600;
      MinB=(Timecount%3600)/60;
      secB=Timecount%60;
      if(temperature>(temp+3)){on=1;timedelay=ShowTime1;}
      if(on==1){digitalWrite(2, HIGH);}
      if(temperature<=(temp+3))if(ShowTime1-timedelay>=settimedelay)on=0;
      if(on==0){digitalWrite(2, LOW);}
    }
    if(num==11)
     {
      start=1;
     }
    if(Timecount==0)
    {
      start=0;
    }
}
 if(mode==2)
 {
   lcd.setCursor(0,0);
     lcd.print("SET HUMID");
   lcd.setCursor(0,1);
   lcd.print("H = ");
   lcd.setCursor(5,1);
   lcd.print(n1);
   lcd.setCursor(6,1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  lcd.print(n2);
  lcd.setCursor(7,1);
  lcd.print(n3);
  if(curs==3)
  {if(num<10)if(num>=0){n1=n2;n2=n3;n3=num;curs++;show=0;}}
  if(curs==2)
  {if(num<10)if(num>=0){n2=n3;n3=num;curs++;show=0;}}
  if(curs==1)
  {if(num<10)if(num>=0){n3=num;curs++;show=0;}}
  if(num==11)
  {curs=curs-1;n3=n2;n2=n1;n1=0;show=0;}
  if(num==10)
  {H=(n1*100)+(n2*10)+(n3);n1=0;n2=0;n3=0;mode=1;curs=1;show=0;lcd.clear();}
}
if(mode==3)
{
   lcd.setCursor(0,0);
   lcd.print("SET TEMP");
   lcd.setCursor(0,1);
   lcd.print("T = ");
   lcd.setCursor(5,1);
   lcd.print(n1);
   lcd.setCursor(6,1);
   lcd.print(n2);
   lcd.setCursor(7,1);
   lcd.print(n3);
  if(curs==3)
  {if(num<10)if(num>=0){n1=n2;n2=n3;n3=num;curs++;show=0;}}
  if(curs==2)
  {if(num<10)if(num>=0){n2=n3;n3=num;curs++;show=0;}}
  if(curs==1)
  {if(num<10)if(num>=0){n3=num;curs++;show=0;}}
  if(num==11)
  {curs=curs-1;n3=n2;n2=n1;n1=0;show=0;}
  if(num==10)
  {temp=(n1*100)+(n2*10)+(n3);n1=0;n2=0;n3=0;mode=1;curs=1;show=0;lcd.clear();}
}
if(mode==4)
{
   lcd.setCursor(0,0);
   lcd.print("SET TIME");
   lcd.setCursor(0,1);
   lcd.print("Hour");
   lcd.setCursor(7,1);
   lcd.print("Min");
   lcd.setCursor(13,1);
   lcd.print("Sec");
   lcd.setCursor(1,2);
   lcd.print(n1);
   lcd.setCursor(2,2);
   lcd.print(n2);
   lcd.setCursor(6,2);
   lcd.print(":");
   lcd.setCursor(8,2);
   lcd.print(n3);
   lcd.setCursor(9,2);
   lcd.print(n4);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    lcd.setCursor(12,2);
    lcd.print(":");
    lcd.setCursor(14,2);
    lcd.print(n5);
    lcd.setCursor(15,2);
    lcd.print(n6);
   if(curs==6)
   {if(num<10)if(num>=0){n5=n6;n6=num;curs++;show=0;}}
   if(curs==5)
   {if(num<10)if(num>=0){n6=num;curs++;show=0;}}
   if(curs==4)
   {if(num<10)if(num>=0){n3=n4;n4=num;curs++;show=0;}}
   if(curs==3)
   {if(num<10)if(num>=0){n4=num;curs++;show=0;}}
   if(curs==2)
   {if(num<10)if(num>=0){n1=n2;n2=num;curs++;show=0;}}
   if(curs==1)
   {if(num<10)if(num>=0){n2=num;curs++;show=0;}}
   if(num==11)
   {curs=curs-1;n6=n5;n5=n4;n4=n3;n3=n2;n2=n1;n1=0;show=0;}
   if(num==10)
   {hour=(n1*10)+(n2);Min=(n3*10)+(n4);sec=(n5*10)+(n6);
   n1=0;n2=0;n3=0;n4=0;n5=0;n6=0;mode=1;curs=1;show=0;lcd.clear();}
 }
 num=99;
 }
 int shiftIn(int dataPin, int clockPin);
int shiftIn(int dataPin2, int clockPin)
  {
    int ret = 0;

    for (int i=0; i<4; ++i) {
      digitalWrite(clockPin, LOW);
      //delay(10); not needed :)
      ret = ret*2 + digitalRead(dataPin);
      digitalWrite(clockPin, HIGH);
    }
    return(ret);
    }

 void sendCommandSHT(int command, int dataPin, int clockPin){
    int ack;

    pinMode(dataPin, OUTPUT);
    pinMode(clockPin, OUTPUT);
    digitalWrite(dataPin, HIGH);
    digitalWrite(clockPin, HIGH);
    digitalWrite(dataPin, LOW);
    digitalWrite(clockPin, LOW);
    digitalWrite(clockPin, HIGH);
    digitalWrite(dataPin, HIGH);
    digitalWrite(clockPin, LOW);

    shiftOut(dataPin , clockPin , MSBFIRST , command);

    digitalWrite(clockPin, HIGH);
    pinMode(dataPin, INPUT);
    ack = digitalRead(dataPin);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  if (ack == LOW)
      digitalWrite(clockPin, LOW);
  ack = digitalRead(dataPin);
  if (ack == HIGH);

}
void sendCommandSHT2(int command, int dataPin2, int clockPin){
  int ack2;

  pinMode(dataPin2, OUTPUT);
  pinMode(clockPin, OUTPUT);
  digitalWrite(dataPin2, HIGH);
  digitalWrite(clockPin, HIGH);
  digitalWrite(dataPin2, LOW);
  digitalWrite(clockPin, LOW);
  digitalWrite(clockPin, HIGH);
  digitalWrite(dataPin2, HIGH);
  digitalWrite(clockPin, LOW);

  shiftOut(dataPin2 , clockPin , MSBFIRST , command);

  digitalWrite(clockPin, HIGH);
  pinMode(dataPin2, INPUT);
  ack2 = digitalRead(dataPin2);
  if (ack2 == LOW)

  digitalWrite(clockPin, LOW);
  ack2 = digitalRead(dataPin2);
  if (ack2 == HIGH);
  void waitForResultSHT(int dataPin){
    int ack;

    pinMode(dataPin, INPUT);
    for(int i=0; i<100; ++i) {
      delay(10);
      ack = digitalRead(dataPin);
      if (ack == LOW)
        break;
    }
    if (ack == HIGH);
  }
  void waitForResultSHT2(int dataPin2){
    int ack2;

    pinMode(dataPin2, INPUT);

    for(int i=0; i<100; ++i) {
      delay(10);
      ack2 = digitalRead(dataPin2);
      if (ack2 == LOW)
        break;
    }
    if (ack2 == HIGH);

  }

  int getData16SHT(int dataPin, int clockPin){
    int val;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  pinMode(dataPin, INPUT);
  pinMode(clockPin, OUTPUT);
  val = shiftIn(dataPin, clockPin, 8);
  val *= 256;

  pinMode(dataPin, OUTPUT);
  digitalWrite(dataPin, HIGH);
  digitalWrite(dataPin, LOW);
  digitalWrite(clockPin, HIGH);
  digitalWrite(clockPin, LOW);

  pinMode(dataPin, INPUT);
  val |= shiftIn(dataPin, clockPin, 8);
  return val;
}

int getData16SHT2(int dataPin2, int clockPin){
  int val2;

  pinMode(dataPin2, INPUT);
  pinMode(clockPin, OUTPUT);
  val2 = shiftIn(dataPin2, clockPin, 8);
  val2 *= 256;
  pinMode(dataPin2, OUTPUT);
  digitalWrite(dataPin2, HIGH);
  digitalWrite(dataPin2, LOW);
  digitalWrite(clockPin, HIGH);
  digitalWrite(clockPin, LOW);

  pinMode(dataPin2, INPUT);
  val2 |= shiftIn(dataPin2, clockPin, 8);
  return val2;
}

void skipCrcSHT(int dataPin, int clockPin){
  pinMode(dataPin, OUTPUT);
  pinMode(clockPin, OUTPUT);
  digitalWrite(dataPin, HIGH);
  digitalWrite(clockPin, HIGH);
  digitalWrite(clockPin, LOW);
}

void skipCrcSHT2(int dataPin2, int clockPin){
  pinMode(dataPin2, OUTPUT);
  pinMode(clockPin, OUTPUT);
  digitalWrite(dataPin2, HIGH);
  digitalWrite(clockPin, HIGH);
  digitalWrite(clockPin, LOW);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้