กล่องควบคุมความชื้น

HUMIDITY CONTROL BOX

ปัญญาศักดิ์ เลิศอารีพงศ์
ปัณณวัฒน์ เชี่ยววัฒกี
สุกฤษฎิ์ ตระการวิโรจน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

กล่องควบคุมความชื้น

HUMIDITY CONTROL BOX

ปัญญาศักดิ์ เลิศอารีพงศ์
ปัณณวัฒน์ เชี่ยววัฒกี
สุกฤษฎิ์ ตระการวิโรจน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HUMIDITY CONTROL BOX

PANYASAK LOEDAREPONG
PANNAWAT CHIEOWATTHAKEE
SUKRIT TRAKARNVIROJ

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสาร[illegible]ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง[illegible]ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์ กล่องควบคุมความชื้น

HUMIDITY CONTROL BOX

นักศึกษาผู้จัดทำ	นายปัญญาศักดิ์	เลิศอารีพงศ์	**รหัสนักศึกษา**	53010971
	นายปัณณวัฒน์	เชี่ยววัฒกี	**รหัสนักศึกษา**	53010973
	นายสุกฤษฎิ์	ตระการวิโรจน์	**รหัสนักศึกษา**	53011717

ปริญญา วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา 2556

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.สาท คำมูล	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	กล่องควบคุมความชื้น			
	HUMIDITY CONTROL BOX			
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายปัญญาศักดิ์	เลิศอารีพงศ์	รหัสนักศึกษา	53010971
	นายปัณณวัฒน์	เชี่ยววัฒกี	รหัสนักศึกษา	53010973
	นายสุกฤษฎิ์	ตระการวิโรจน์	รหัสนักศึกษา	53011717
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.สาท	คำมูล		
ปีการศึกษา	2556			

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาการควบคุมความชื้นในกล่องควบคุมความชื้น ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 เพื่อศึกษาหลักการควบคุม อย่างเป็นระบบ มีการเลือกใช้เซนเซอร์วัดความชื้น (DHT22) ที่มีความละเอียดรวมถึงหลักการทำงาน และการศึกษาออกแบบวงจรรีเลย์เพื่อช่วยให้แหล่งจ่ายภายนอกเข้ามาทำงานร่วมกับ ระบบได้ กล่องควบคุมความชื้นนั้นมีการควบคุมความชื้นเป็นสองระดับตามที่เราได้เขียนโปรแกรมไว้ คือเมื่อความชื้นภายในกล่องมีค่าถึงระดับที่หนึ่งจะทำให้พัดลมระบายอากาศตัวที่หนึ่งทำงานเพื่อระบายอากาศออกจากกล่องควบคุมความชื้นและถ้าความชื้นยังมากขึ้นไปถึงระดับที่สองพัดลมระบายอากาศตัวที่สองจะดูดอากาศจากกล่องที่บรรจุซิลิกาเจลซึ่งมีความชื้นต่ำกว่า เข้ามาเพื่อให้ความชื้นภายในกล่องควบคุมความชื้นลงจึงสามารถควบคุมความชื้นกล่องควบคุมความชื้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	HUMIDITY CONTROL BOX
Authors	Mr. Panyasak Loedarepong
	Mr. Pannawat Chieowatthakee
	Mr. Sukrit Trakarnviroj
Thesis Advisor	Asst.Prof. Sat Kammool
Year	2013

ABSTRACT

This project is study about humidity control box. The overall structure consists of a humidity sensor capacitance type with high resolution, full range and more accuracy. Microcontroller Board Relay control circuit to turn on/off the fan. 12V DC fan, closed box and silica gel. Starting on moisture occurs in a closed box. Moisture that happens was detected by humidity sensor. then the value will be send to the microcontroller board according to the conditions . To open a relay and activated an external DC power to the first fan, first fan is sucking moisture out of the box. Or a second fan to blow low moisture in to the box for decrease relative humidity in system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ ที่ให้คำปรึกษาชี้แนะมาโดยตลอด ร่วมทั้งคำติชมที่กระตุ้นให้คิดและปรับแก้ชิ้นงาน เพื่อนๆที่ค่อยช่วยเหลือ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ที่ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์ของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คณะผู้ทำวิจัยขอมอบให้แด่คณะอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ 1

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 1

1.4 ขั้นตอนการศึกษา 1

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง 2

2.1 ความชื้น(Humidity) 2

2.2 แผนภูมิไซโครเมตริก 4

2.3 เซนเซอร์ความชื้นและหลักการทำงาน 12

2.3.1 เซนเซอร์วัดความชื้นแบบค่าความจุไฟฟ้า 12

2.3.2 เซนเซอร์ความชื้นแบบตัวต้านทาน 13

2.3.3 เซนเซอร์ความชื้นแบบนำความร้อน 14

2.4 คอนโทรลเลอร์ 15

2.4.1 โครงสร้างของ Arduino Uno R3 15

2.4.2 โปรแกรมสำหรับเขียนโค้ดคำสั่ง (Arduino IDE) 16

2.5 คำสั่งเฉพาะของ Arduino 18

2.5.1 กลุ่มคำสั่งสำหรับใช้งาน Digital I/O 18

2.5.2 โค้ดของโปรแกรมในการกำหนดเงื่อนไขควบคุมความชื้นและควบคุมรีเลย์ 19

2.6 ซิลิกาเจล(Silica Gel) 22

บทที่ 3 การออกแบบ 24

3.1 โครงสร้างของระบบโดยรวม 24

3.2 วงจรรีเลย์ 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ลบเปลี่ยนข้อความนี้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

3.2.1 **หลักการทำงานของวงจรรีเลย์**.....26

3.3 แผนลำดับของโปรแกรมควบคุม.....27

3.4 การทำงานของระบบ.....27

3.4.1 เมื่อมีความชื้นที่ระดับสูง(มากกว่าหรือเท่ากับA%).....27

3.4.2 เมื่อมีความชื้นที่ระดับสูงมาก(มากกว่าหรือเท่ากับB%).....27

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....28

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....34

5.1 สรุปผลการทดลอง.....34

5.2 ปัญหา อุปสรรค และวิธีการแก้ไข.....34

5.3 ข้อเสนอแนะ.....35

บรรณานุกรม.....37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

เนื่องด้วยในสภาพอากาศรอบๆตัวเราจะมีความชื้นปะปนอยู่ทุกๆที่ แต่ในอุตสาหกรรมบางประเภทต้องมีการควบคุมความชื้น เช่น อุตสาหกรรมอาหารและยา ที่ต้องมีการควบคุมความชื้น เพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ได้ราคาและคุณภาพสูงสุด โดยอาจมีวิธีการควบคุมความชื้นที่แตกต่างกันไป แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาการควบคุมความชื้นภายในกล่องปิด โดยพัดลมระบายการและเลือกใช้สารดูดความชื้น ซึ่งมีราคาที่ประหยัดกว่าเครื่องกำจัดความชื้นทั่วๆไป โดยใช้เซนเซอร์ DHT 22 เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความชื้น รวมถึงอธิบายหลักการทำงานของตัวเซนเซอร์ DHT 22 โดยใช้ Arduino Uno3 เป็น ไมโครคอนโทรลเลอร์

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาการทำงานของเซนเซอร์ความชื้นแบบค่าความจุไฟฟ้า (DHT 22)
2. ศึกษาการทำงานและเขียนโปรแกรมควบคุมบน ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino)
3. ศึกษาและออกแบบวงจรรีเลย์

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงการควบคุมความชื้นภายในกล่องปิด ที่จำลองขึ้นมาโดยควบคุมการทำงานของพัดลมระบายอากาศผ่านวงจรรีเลย์ เพื่อควบคุมความชื้นไม่ให้สูงเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้ โดยมีการแสดงค่าความชื้นออกมาเป็นเปอร์เซ็นผ่านหน้าจอมอนิเตอร์ เพื่อทำการตรวจเช็คค่าและควบคุมต่อไป

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาหาเซนเซอร์ที่จะใช้วัดความชื้น
2. ศึกษาวงจรที่ใช้ควบคุมพัดลม
3. ศึกษาการเขียนโปรแกรมภาษาซี
4. ศึกษาการทดลองตรวจวัดความชื้น

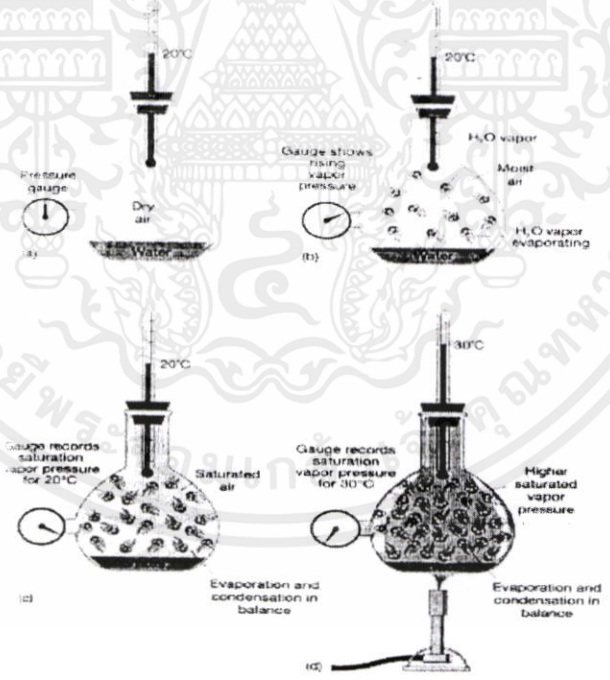
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความชื้น (Humidity)

เป็นคำที่ใช้บอกปริมาณไอน้ำในอากาศ การบอกปริมาณความชื้นมี2แบบได้แก่ ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute humidity) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) การวัดความชื้นแต่ละแบบเราต้องเข้าใจการอิ่มตัวก่อน ยกตัวอย่างคือภาชนะปิดที่มีน้ำอยู่ครึ่งภาชนะ อากาศเหนือผิวน้ำเป็นอากาศแห้งและมีอุณหภูมิเท่ากับน้ำ (ภาพที่ 2.1.1)

เมื่อโมเลกุลไอน้ำในภาชนะปิดเพิ่มปริมาณขึ้นความดันไอก็เพิ่มขึ้น โมเลกุลไอน้ำบางส่วนจะกลับไปเป็นของเหลว ในที่สุดจำนวนโมเลกุลไอน้ำที่กลับไปเป็นของเหลวจะเท่ากับจำนวนโมเลกุลน้ำที่ระเหยเป็นไอ ณ จุดนี้เรากล่าวว่าอากาศ “อิ่มตัวหรือเต็มความจุ” อย่างไรก็ตามถ้าเราเพิ่มอุณหภูมิของน้ำในภาชนะปิด น้ำจะกลายเป็นไอได้เพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากการอิ่มตัวที่อุณหภูมิสูงต้องการความชื้นมากขึ้น หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่า “ความจุไอน้ำของอากาศขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ” (ตาราง2.1.1)



รูปที่ 2.1.1 ความดันไอและการอิ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ (°C)	กรัม/กิโลกรัม
-40	0.1
-30	0.3
-20	0.75
-10	2
0	3.5
5	5
10	7
15	10
20	14
25	20
30	26.5
35	35
40	47

ตารางที่ 2.1.1 ความจุไอน้ำต่ออุณหภูมิ

เพราะฉะนั้นแล้วความหมายของความชื้นแต่ละแบบคือ

1.) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) คือ ปริมาณเปรียบเทียบระหว่างมวลของ ไอน้ำ ที่มีอยู่จริงในอากาศขณะนั้นกับมวลของไอน้ำในอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิและปริมาตรเดียวกันมีค่าเป็นร้อยละ

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์} = \frac{\text{มวลของไอน้ำในอากาศที่มีอยู่จริงในขณะนั้น}(g)}{\text{มวลของไอน้ำในอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิและปริมาตรเดียวกัน}(g)} \times 100\%$$

โดยในประจำวัน คำว่า “ความชื้น” มักหมายถึง “ความชื้นสัมพัทธ์” มากกว่า โดยแสดงเป็นร้อยละในการพยากรณ์อากาศและ เครื่องวัดความชื้นในอากาศของครัวเรือน

$$\text{ความชื้นสัมบูรณ์}(g/m^3) = \frac{\text{มวลของไอน้ำในอากาศ}(g)}{\text{ปริมาตรของอากาศ}(m^3)}$$

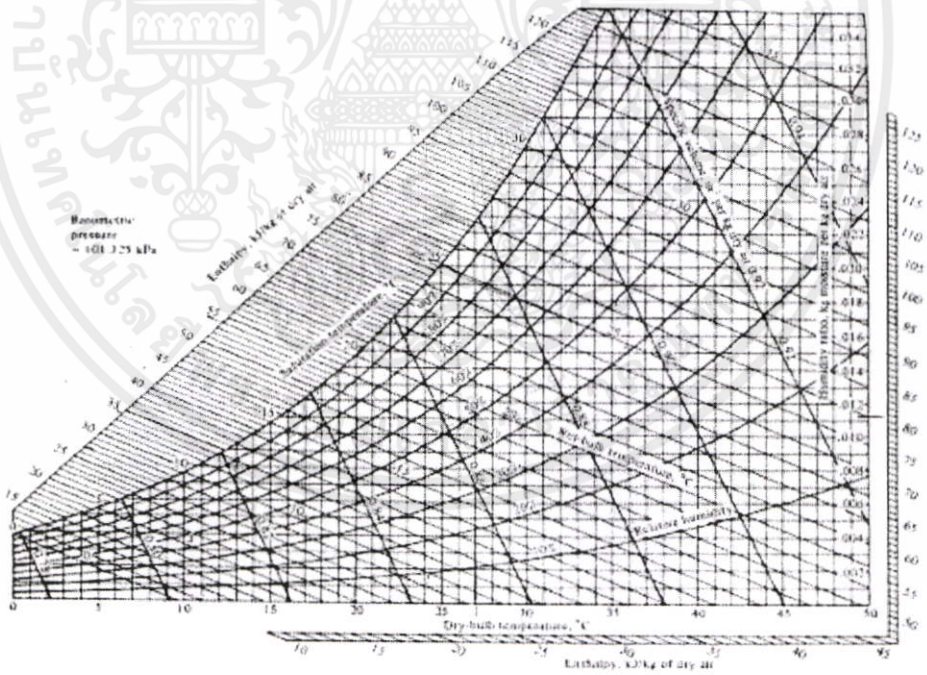
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) ความชื้นสัมบูรณ์(Absolute Humididty) อัตราส่วนระหว่างมวลไอน้ำในอากาศ กับปริมาตรของอากาศนั้นมีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

นอกจากนี้ยังมีอีกหนึ่งอย่างที่ควรรู้คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point) ซึ่งก็คือ อุณหภูมิที่เมื่ออากาศชื้นถูกทำให้เย็นลงขณะที่ปริมาณไอน้ำยังคงที่ การลดอุณหภูมิถึงจุดหนึ่งจะทำให้ไอน้ำเกิดการอิ่มตัว และกลั่นตัวควบแน่นเป็นหยดน้ำ ที่ความดันบรรยากาศ (atmospheric pressure) คงที่ ตัวอย่าง อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ที่เห็นในชีวิตประจำวัน เช่น การตั้งแก้วน้ำเย็นไว้ และมีหยดน้ำมาเกาะที่ผิวแก้วด้านนอก เกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิของอากาศบริเวณแก้วน้ำเย็นต่ำกว่าจุดน้ำค้างและกลั่นตัวเกาะอยู่บนผิวแก้ว

2.2 แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychometric Chart)

แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychometric Chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้บ่งบอกถึงรายละเอียดของอากาศที่สภาวะต่าง ๆประโยชน์ของแผนภมินี้ทำให้เข้าใจถึงธรรมชาติ และ กระบวนการการเปลี่ยนแปลงของสภาวะของอากาศตลอดจนสามารถนำมาใช้งานและวิเคราะห์แก้ไขปัญหาในงานที่เกี่ยวข้องได้ดียิ่งขึ้น เช่น สามารถใช้ประเมินภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ของระบบปรับอากาศ ซึ่งจะนำไปสู่การประเมินค่าของพลังงานที่ใช้ของระบบปรับอากาศได้ต่อไป



รูปที่ 2.2(ก) แผนภูมิไซโครเมติก

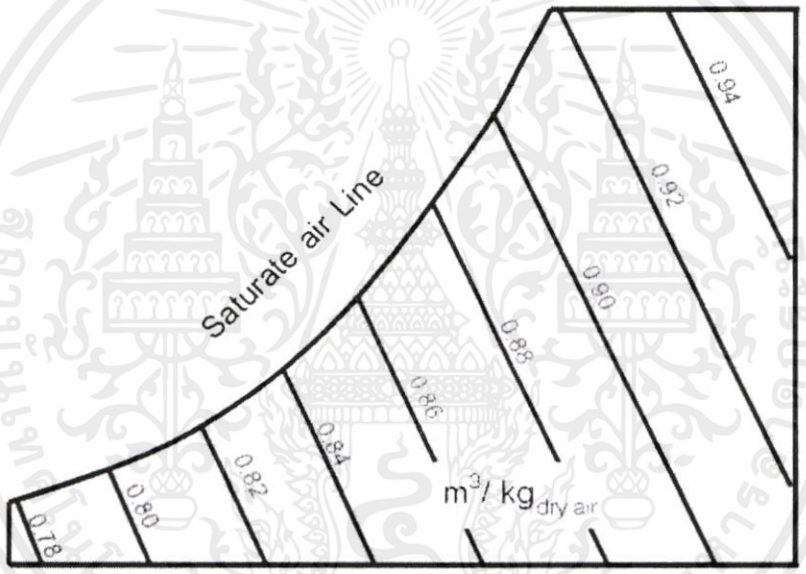
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภูมิไซโครเมติกประกอบไปด้วยสี่ส่วนหลักๆที่สำคัญคือ

1. ความชื้น(Humidity) อย่างที่กล่าวไปแล้วความชื้นคือ “ปริมาณไอน้ำในอากาศ” ความชื้นยังแบ่งออกเป็นความชื้นจำเพาะหรือสัดสวนความชื้น และ ความชื้นสัมบูรณ์ ซึ่งอธิบายไปแล้วในตอนต้น

2. ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (Specific volume, ν)

ปริมาตรจำเพาะ คืออัตราส่วนระหว่างปริมาตร ต่อมวล ของอากาศ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม (m3/kg) ในระบบ SI อย่างที่รู้กันว่าอากาศมีคุณสมบัติในการขยายตัวตามอุณหภูมิ(แปรผันตรงกัน)ที่ความดันคงที่ (Constant pressure) ในสภาวะความดันคงที่ ถ้าอุณหภูมิต่ำอากาศจะมีปริมาตรจำเพาะน้อยหมายถึงน้ำหนักอากาศต่อหน่วยปริมาตรจะมากในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิขออากาศสูงขึ้นอากาศจะขยายตัวออกทำให้ปริมาตรจำเพาะของอากาศของอากาศมากขึ้น



รูปที่ 2.2(ข) แสดงเส้นปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume)

ในการคำนวณเราจะสามารถใช้ค่าปริมาตรจำเพาะสำหรับหาอัตราการไหลเชิงปริมาตร (G) หรืออัตราการไหลเชิงมวล ของอากาศ สำหรับเส้นแสดงปริมาตรจำเพาะที่อยู่ในแผนภูมิไซโครเมตริกนั้นจะเป็นเส้นทแยงจากซ้ายไปขวา โดยเส้นที่อยู่ด้านล่างจะมีค่าปริมาตรจำเพาะน้อยและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไปสู่ด้านบนดังรูป

สำหรับการหาปริมาตรจำเพาะโดยการคำนวณนั้นสามารถทำได้ดังสมการ $\nu = \frac{R_a T}{P_a} = \frac{R_a T}{(P_{atm} - P_v)}$ ..... (4)

โดยที่ R_a คือค่าคงที่ของอากาศแห้ง, 0.2870 kJ/kg.k

T คือ อุณหภูมิในสภาวะที่พิจารณา, K

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

P_v คือแรงดันย่อยของไอน้ำ, kN/m^2

P_a คือแรงดันย่อยของอากาศแห้ง, kN/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิที่ว่าคืออุณหภูมิของกระเปาะแห้ง และ กระเปาะเปียก

3.1 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature, Tdb)

คืออุณหภูมิที่วัดจากเทอร์โมมิเตอร์ธรรมดา เช่น ตอนนี้อุณหภูมิรอบห้องเป็นเท่าไหร่ นอกห้องเป็นเท่าไหร่ก็สามารถอ่านค่าจากเทอร์โมมิเตอร์ที่ติดอยู่ที่ฝาผนัง ค่าอุณหภูมิดังกล่าวคืออุณหภูมิกระเปาะแห้ง ในแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นเส้นตามแนวตั้งอยู่ในแผนภูมิโดยค่าจะเรียงตั้งแต่น้อยไปหามากจากซ้ายมือไปยังขวามือ

3.2 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb Temperature, Twb)

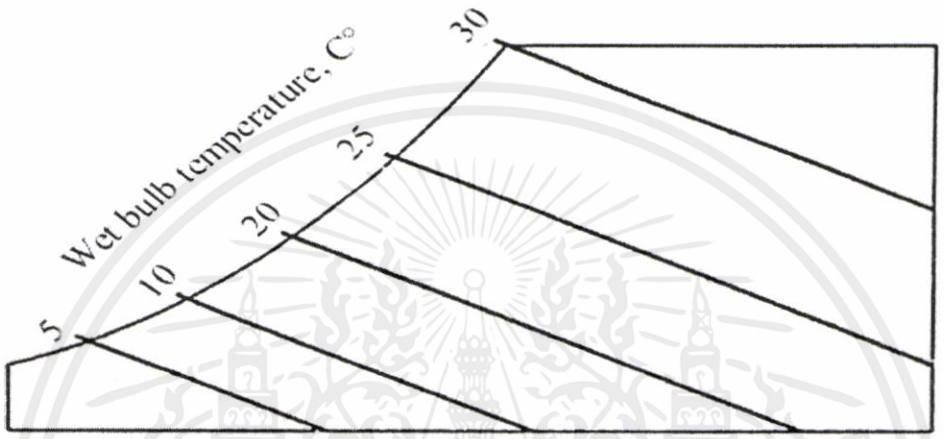
กระเปาะ (Bulb) ก็คือส่วนปลายที่ใช้รับอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอทที่เราใช้แหย่ไปยังจุดที่ต้องการวัด ในตอนแรกที่กล่าวถึงอุณหภูมิกระเปาะแห้งซึ่งก็คือในตอนที่ทำการวัดนั้นกระเปาะรับอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์จะต้องแห้งจึงทำให้อุณหภูมิที่วัดได้จึงเป็นอุณหภูมิแวดล้อมที่อยู่รอบ ๆ เทอร์โมมิเตอร์ตัวนั้น สำหรับการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกนั้นในการวัดก็ใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบเดียวกับที่วัดแบบกระเปาะแห้ง แต่ที่กระเปาะปลายเทอร์โมมิเตอร์จะเอาผ้าชุบน้ำพอชุ่ม ๆ พันกระเปาะเอาไว้และในตอนวัดก่อนที่จะอ่านก็จะต้องทำให้ปลายกระเปาะเปียกดังกล่าวเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว ๆ หนึ่ง โดยปกติในการวัดจะใช้เชือกผูกและเหวี่ยงตัวเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกดังกล่าวให้เคลื่อนที่สักพักนึงแล้วจึงอ่านค่าอุณหภูมิ ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าถ้าความชื้นในอากาศขณะที่ทำการวัดน้อยเวลาที่เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกเคลื่อนที่ผ่านอากาศก็จะทำให้ความชื้นที่อยู่ที่ผ้าชุบน้ำดังกล่าวระเหยได้ง่ายเพราะความชื้นในอากาศมีน้อย

รูปที่ 3.2(ก) การปรับความชื้นกระเปาะเปียก

ในกระบวนการการระเหยของความชื้นของผ้าชุบน้ำที่ติดอยู่ที่ปลายเทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะเปียกนั้นจะดูดความร้อนรอบ ๆ ตัวกระเปาะมาทำให้ความชื้นเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ดังนั้นจึงทำให้อุณหภูมิที่วัดได้หรืออุณหภูมิกระเปาะเปียกจะต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ในกรณีที่ในอากาศมีความชื้นอยู่มาก ความชื้นที่ผ้าที่หุ้มกระเปาะไว้จะระเหยได้ยากดังนั้นความร้อนที่ใช้ในการระเหยตัวก็จะน้อยส่งผลให้ค่าที่วัดได้จะใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังที่กล่าวข้างต้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอากาศในจุดที่ทำการวัด ถ้าความชื้นในอากาศน้อยความแตกต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้งกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกจะมาก และถ้าความชื้นในอากาศมากความแตกต่างของอุณหภูมิที่วัดได้จะน้อย และอุณหภูมิกระเปาะแห้งกับกระเปาะเปียกจะเท่ากันที่เส้นอากาศอิ่มตัว หรือจุดที่ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100% สำหรับเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่อยู่ในแผนภูมิไซโครเมตริกนั้นจะเอียงทแยงจากซ้ายไปขวาและค่าจะเพิ่มขึ้นจากน้อยไปมากจากด้านซ้ายไปยังด้านขวา

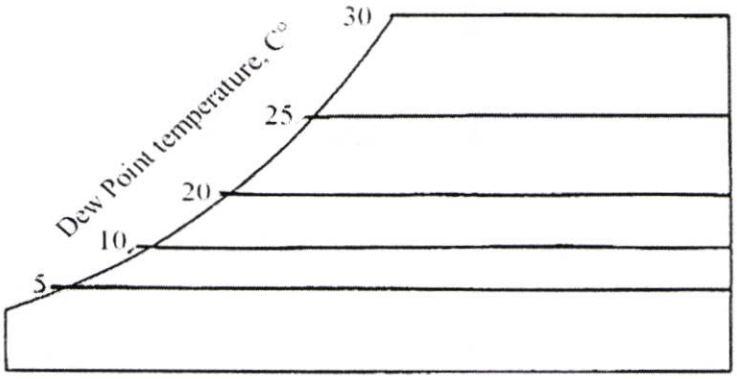


รูปที่ 3.2(ข) แสดงอุณหภูมิประเปาะเปียก

3.3 อุณหภูมิหยดน้ำค้าง (Dew point Temperature)

อุณหภูมิที่ความชื้นในอากาศเริ่มกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเมื่ออากาศถูกลดอุณหภูมิที่ความดันคงที่ " หรืออีกนัยยะหนึ่งก็คืออุณหภูมิอิ่มตัวของไอน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับความดันของไอน้ำเพื่อให้การนึกภาพของอุณหภูมิหยดน้ำค้างออกได้โดยง่ายให้เรานึกถึงหยดน้ำที่เกาะอยู่ด้านข้างของแก้วน้ำเย็น หรือหยดน้ำค้างที่เกาะอยู่ตามยอดหญ้าในตอนเช้าของฤดูร้อน ลักษณะดังกล่าวเกิดขึ้นได้ก็เนื่องจากการที่อากาศที่มีความชื้นสูงถูกลดอุณหภูมิลง ทำให้ความสามารถในการรองรับความชื้นในอากาศที่อุณหภูมิต่ำลดลง ดังนั้นปริมาณความชื้นในอากาศที่เกินจากความสามารถในการรองรับของอากาศที่อุณหภูมิต่ำลง จึงกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 จุดน้ำค้างที่สภาวะที่กำหนด

อุณหภูมิหยดน้ำค้างของอากาศที่จุดต่าง ๆ สามารถหาได้ในไซโครเมตริก โดยลากเส้นจากจุดนั้นขนานไปกับเส้นปริมาตรจำเพาะไปทางขวามือไปชนกับเส้นอากาศอิ่มตัว

4. เส้นอากาศอิ่มตัว (Saturation Line, Air saturation line)

เป็นเส้นที่อยู่ในแนวเดียวกันเส้นความชื้นสัมพัทธ์ด้านนอกสุดซ้ายมือในแผนภูมิไซโครเมตริก หรือเป็นเส้นปิดแผนภูมิไซโครเมตริกทางด้านซ้ายมือ จริง ๆ แล้วเส้นอากาศอิ่มตัวก็คือเส้นความชื้นสัมพัทธ์100%(100%RH)

5. เอลทาลปี้ (Enthalpy)

ในทางเทอร์โมไดนามิกค่าเอลทาลปี้ (Enthalpy) คือค่าที่เป็นตัวบ่งบอกถึงระดับพลังงานของของไหลซึ่งรวมถึงอากาศด้วย ซึ่งเป็นค่าพลังงานภายในของของไหลบวกกับพลังงานเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความดันและปริมาตร (PV) ของของไหลดังสมการ

$$h = u + pv \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

h คือ เอลทาลปี้, Jule/kg

U คือ พลังงานภายใน, Jule/kg

pv คือ ความสัมพันธ์ของความดันและปริมาตร ($\frac{N}{m^2}m^3$), Jule

สำหรับค่าเอลทาลปี้เราสามารถเปิดได้จากตารางไอน้ำอิ่มตัวในตำราเทอร์โมไดนามิกต่าง ๆ ได้ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทั้งสามอย่างข้างต้นมักจะรวมอยู่ในรูป u + pv ดังนั้นเพื่อเป็นความสะดวกในการคำนวณเราจึงให้คำจำกัดความเรียกผลรวมของความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทั้งสามตัวว่าเอลทาลปี้ (Enthalpy, h) โดยที่ถ้าเป็นเอลทาลปี้ต่อหน่วยมวลเราจะเรียกว่าเอลทาลปี้จำเพาะมีหน่วยเป็น พลังงานต่อมวลเช่น kJ/kg สำหรับของไหลที่ความดันบรรยากาศค่าเอลทาลปี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิโดยที่ถ้าอุณหภูมิมากค่าเอลทาลปี้จะมากตามไปด้วย เช่น อากาศที่อุณหภูมิสูงจะมีค่าเอลทาลปี้มากกว่าอากาศที่อุณหภูมิต่ำ เช่นถ้าเราต้องการที่จะลดอุณหภูมิอากาศจากอุณหภูมิ 40 เซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์หนึ่งให้เหลือ 20 เซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์หนึ่งเราก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาค่าเอลทาลปี้ของจุดแรกไปลบเอลทาลปี้ที่จุดหลังเราก็สามารถคำนวณภาระทางความร้อนของกระบวนการลดอุณหภูมิในกระบวนการดังกล่าวได้

การหาค่าเอลทาลปี้ของอากาศแห้งและอากาศชื้นสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$h = C_p T + \omega h_g \quad \text{.....(7)}$$

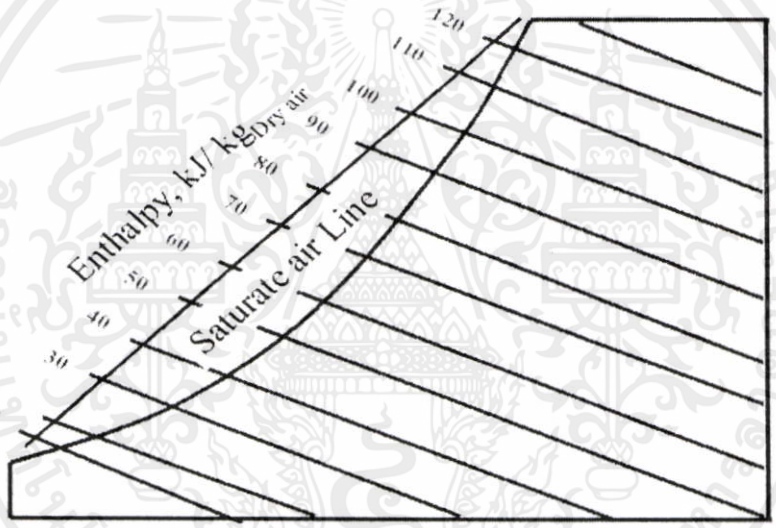
โดยที่ h คือค่าเอลทาลปี้, kJ/kg

C_p คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศแห้ง, 1kJ/kg.k

T คืออุณหภูมิในสภาวะที่พิจารณา, K

ω คืออัตราส่วนความชื้น, ไม่มีหน่วย

h_g คือค่าเอลทาลปี้ของไอน้ำอิ่มตัว, kJ/kg



รูปที่ 5(ก) เส้นแสดงค่าเอลทาลปี้

เส้นแสดงระดับค่าเอลทาลปี้ในแผนภูมิไซโครเมตริกนั้นจะอยู่ด้านซ้ายมือหรือด้านหน้าของเส้นอากาศอิ่มตัวดังรูปที่ 13 โดยที่ค่าเอลทาลปี้จะเพิ่มจากน้อยไปหามากตามระดับของอุณหภูมิของอากาศที่เพิ่มขึ้นตามทิศทางของลูกศรที่แสดงในรูป สำหรับการหาค่าเอลทาลปี้ที่จุดต่าง ๆ ตามสภาวะอากาศหลังจากที่เราพลอตจุดในไซโครเมตริกชาร์ทได้แล้วเราก็ลากเส้นตรงในแนวระนาบมาตัดกับเส้นอากาศอิ่มตัวทางซ้ายมือและเอาค่าที่จุดตัดนั้นมาดูว่าตรงกับค่าเอลทาลปี้เท่าใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง วิธีการคำนวณหาค่าต่างๆโดยใช้แผนภูมิไซโครเมติก

พิจารณาอากาศในห้องที่ความดันบรรยากาศห้องหนึ่งที่อุณหภูมิ 20 เซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 40% ให้ใช้แผนภูมิไซโครเมตริกหาค่าต่าง ๆ ของอากาศดังต่อไปนี้

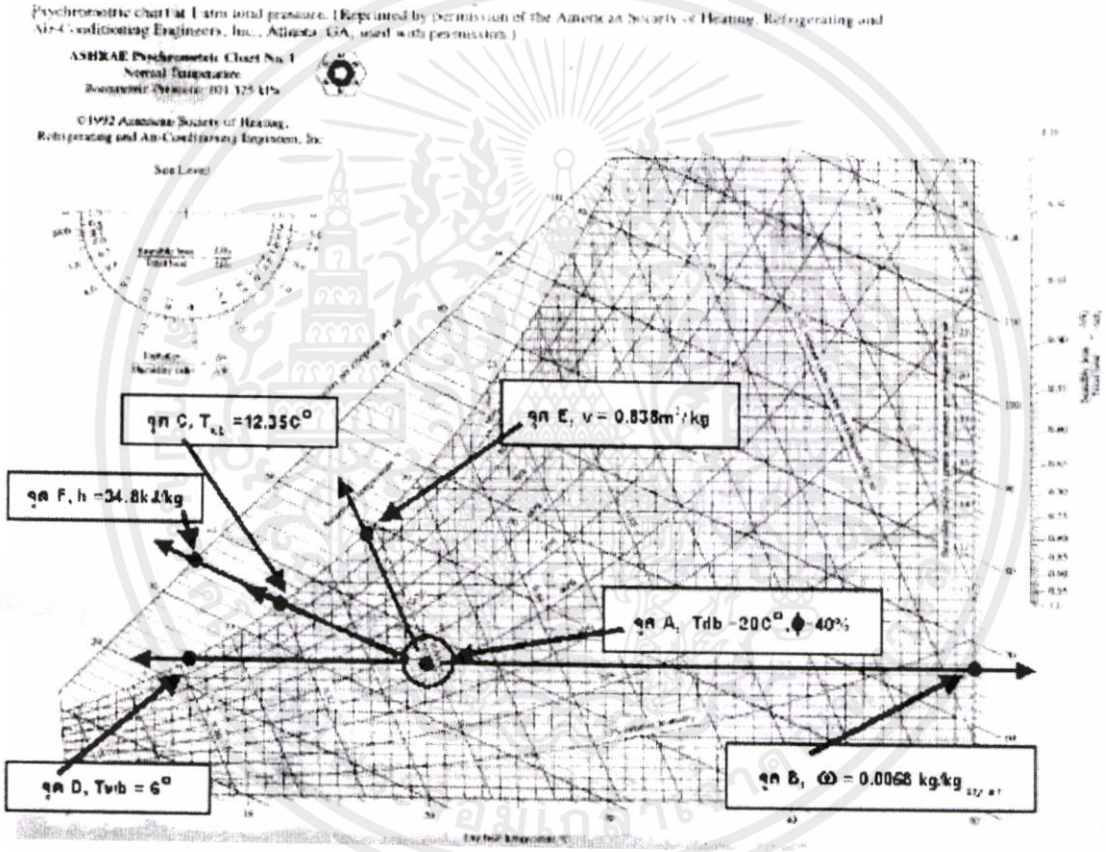
ก) อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio)

ข) อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature, Tdb)

ค) อุณหภูมิหยดน้ำค้าง (Dew Point Temperature)

ง) ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (Specific Volume)

จ) เอลทาลปี้หรือระดับพลังงานของอากาศ (Enthalpy, h)



รูปที่ 5(ข) แผนภูมิไซโครเมตริก

แผนภูมิไซโครเมตริก เมื่อเราทราบค่าอุณหภูมิซึ่งเป็นอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ให้เราพลอตจุดลงที่จุดตัดระหว่างเส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้ง 20 เซลเซียส และเส้นความชื้นสัมพัทธ์ 40% เราจะได้จุด A ซึ่งเป็นจุดที่ตรงกับคุณสมบัติของอากาศ ณ จุดนั้น

จากนั้นเราก็ทำการหาค่าต่าง ๆ ที่ต้องการโดย

ก.) อัตราส่วนความชื้น ให้เราลากเส้นจากจุด A ไปทางขวามือโดยขนานไปกับแกนของอุณหภูมิกระเปาะแห้งไปตัดกับเส้นอัตราส่วนความชื้น(Humidity ratio, ส่ง) จากนั้นเราก็พลอทตรงจุดตัดที่

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

จุด B และเทียบอัตราส่วนจากจากสเกลค่าที่จุดดังกล่าวเราก็จะได้อัตราส่วนความชื้นเท่ากับ 0.0058 kg/kg Dry Air หรือ 5.8กรัม /kg Dry Air

ข.) อุณหภูมิกระเปาะเปียก ให้เราลากเส้นจากจุด A ให้ขนานไปกับเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกไปจนตัดกับเส้นอากาศอิ่มตัวจากนั้นเราก็พลอทจุดตรงจุดตัดระหว่างสองเส้นดังกล่าวที่จุด C และเทียบอัตราส่วนระหว่างเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกสองเส้นที่จุดดังกล่าวเราก็จะได้ค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกเท่ากับ 12.35 เซลเซียส

ค.) อุณหภูมิหยดน้ำค้าง หาได้โดยการลากเส้นไปทางซ้ายมือของจุดA โดยให้ขนานไปกับเส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้งไปจนตัดกับเส้นอากาศอิ่มตัวที่จุด D และเทียบอัตราส่วนระหว่างเส้นอุณหภูมิหยดน้ำค้างสองเส้นที่จุดดังกล่าว เราก็จะได้ค่าอุณหภูมิหยดน้ำค้าง 6 เซลเซียส หมายความว่าถ้าวางวัตถุใดก็ตามที่มีอุณหภูมิ 6 เซลเซียส ที่สภาวะนี้ก็จะมีหยดน้ำที่เกิดจากการกลั่นตัวของไอน้ำมาเกาะที่วัตถุดังกล่าว

ง.) ปริมาตรจำเพาะของอากาศ ให้เราลากเส้นจากจุด A โดยขนานกับเส้นแสดงค่าปริมาตรจำเพาะในแผนภูมิไซโครเมตริกจนไปตัดกับเส้นไอน้ำอิ่มตัวที่จุด E จากนั้นก็เทียบระยะสเกลหาค่า เราจะได้ค่าปริมาตรจำเพาะตรงจุดนี้เท่ากับ 0.838 m3/kg

จ.) ค่าเอลทาลปี้หรือระดับพลังงานของอากาศ หาได้โดยลากเส้นจากจุด A ให้ขนานกับเส้น เอลทาลปี้ที่อยู่ด้านนอกของแผนภูมิไซโครเมตริก ให้ไปตัดกับเส้นเอลทาลปี้ที่จุด F จากนั้นก็เทียบสเกลหาค่า เราจะได้ค่าเอลทาลปี้ที่จุดนี้เท่ากับ 34.8 kJ/kg

จากตัวอย่างแรกคงจะทำให้เรามีความเข้าใจถึงการหาค่าต่าง ๆ ในแผนภูมิไซโครเมตริกกันบ้างแล้ว ในการหาค่าต่าง ๆ นั้นตัวแปรที่เราจำเป็นต้องรู้ตัวแปรอย่างน้อย 2 ตัวคือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งกับความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิกระเปาะเปียกกับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง หรืออุณหภูมิกระเปาะแห้งกับอุณหภูมิหยดน้ำค้าง เราถึงจะสามารถหาค่าของคุณสมบัติที่เหลือได้จากแผนภูมิไซโครเมตริก

2.3 เซนเซอร์ความชื้นและหลักการทำงาน (Humidity Sensor and Principle)

ที่ใช้ในการวัดความชื้นในอุตสาหกรรมและการทดลองโดยทั่วไปมี มีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด คือ Capacitive, Thermal Conductivity และ Resistive การเลือกใช้เซนเซอร์แต่ละแบบ ต้องดูความเหมาะสมและความสามารถของตัวเซนเซอร์ คือ

1) ความแม่นยำ (Accuracy)

2) ความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability)

3) เสถียรภาพในช่วงเวลายาว ๆ (Stability)

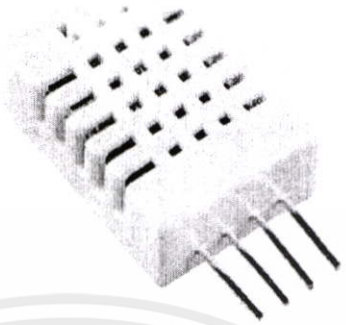
4) ความสามารถในการชดเชย (Condensation)

5) ความทนทานต่อสารเคมี

6) ขนาด และรูปตัวถังของเซนเซอร์ (Size & Package)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 เซนเซอร์วัดความชื้นแบบค่าความจุไฟฟ้า (Capacitive Humidity Sensor)



รูปที่ 2.3.1 เซนเซอร์วัดความชื้นแบบค่าความจุไฟฟ้า

เซนเซอร์วัดค่าความชื้นแบบนี้วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) เซนเซอร์แบบนี้มีโครงสร้างที่ประกอบไปด้วยชั้นฐานแผ่นฟิล์มบางที่ทำจากโพลีเมอร์ หรือ เมทัลออกไซด์ ถูกวางอยู่ระหว่างอิเล็กโตรดทั้งสอง โดยใช้หลักการพื้นฐานในการดูดความชื้นของพอลิเมอร์เมื่อพอลิเมอร์ดูดความชื้นค่าความจุไฟฟ้าก็จะเปลี่ยนแปลงโดย RHเปลี่ยนแปลง 1% ค่าความจุจะเปลี่ยน0.2 -0.5 PF

ข้อดี
1. สามารถวัดได้ทั้งความชื้น และ อุณหภูมิ
2. มีเสถียรภาพที่ดีในระยะยาว
3. ใช้พลังงานต่ำ
4. ให้ out put เป็นดิจิตอล

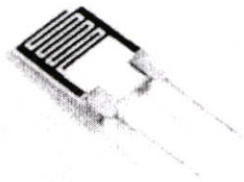
ข้อด้อย
ความแม่นยำอยู่ในช่วง +-2%RH จนถึง +-5%RH

- ในการทดลองเราเลือกใช้ตัวนี้ (DHT22) เพราะ หาซื้อได้ง่าย ทนทาน ความแม่นยำ และความสามารถในการวัดซ้ำอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถรับได้ ดังตารางต่อไปนี้

Model	DHT22
Power supply	3.3-6V DC
Output signal	digital signal via single-bus
Sensing element	Polymer capacitor
Operating range	humidity 0-100%RH; temperature -40~80Celsius
Accuracy	humidity +-2%RH(Max +-5%RH); temperature <+-0.5Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH; temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +-1%RH; temperature +-0.2Celsius
Humidity hysteresis	+-0.3%RH
Long-term Stability	+-0.5%RH/year
Sensing period	Average: 2s

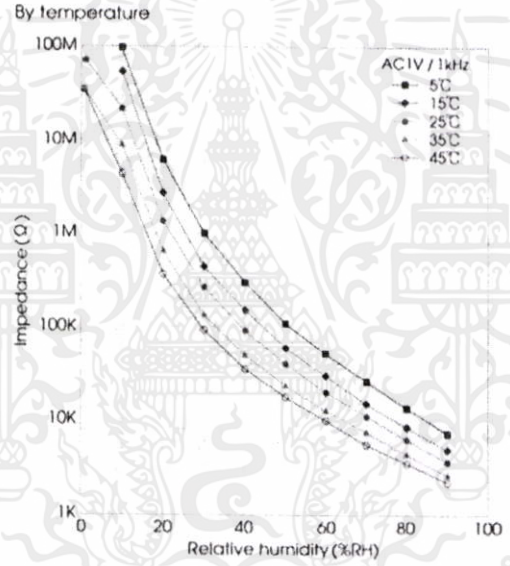
เอกสารนี้ใช้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 เซนเซอร์ความชื้นแบบตัวต้านทาน (Resistive Humidity Sensor)



รูปที่ 2.1.2 เซนเซอร์ความชื้นแบบตัวต้านทาน

เซนเซอร์ความชื้นนี้จะวัดการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ไฟฟ้า ของตัวกลางดูดความชื้น อย่างเช่น โพลิเมอร์ เกลืออิมพีแดนซ์ที่เปลี่ยนจะแปรผันกับค่าความความชื้นในลักษณะของกราฟเอกซ์โปเนนเชียลกลับด้าน



รูปที่ 2.1.3 ความสัมพันธ์ความต้านทานและความชื้น

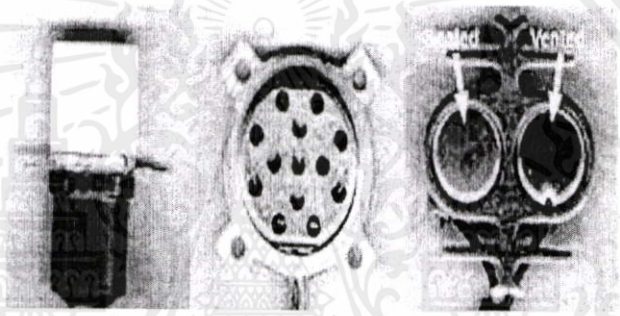
<u>ข้อดี</u>
1. มีค่าความเป็นเชิงเส้นที่ดี.
2. ใช้พลังงานต่ำ
3. ทนต่อมลพิษ

<u>ข้อด้อย</u>
1. ย่านการวัดต่ำ
2. ความแม่นยำต่ำ + - 5%RH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Operating range:	humidity(20-95%RH) temperature(0-60Celsius)
Power supply:	1.5V AC(Max sine)
Operating frequency:	500Hz-2kHz
Rated power:	0.2mW(Max sine)
Central value:	31kΩ(at 25Celsius, 1kHz ,1V AC, 60%RH)
Impedance range:	19.8-50.2kΩ(at 25Celsius, 1kHz ,1V AC, 60%RH)
Accuracy:	+-5%RH
Hysteresis:	+-1%RH
Long-term stability:	+-1%RH/year
Response time:	<10s
Dimensions:	with case 12*15*5mm, without case 8*10*0.7mm

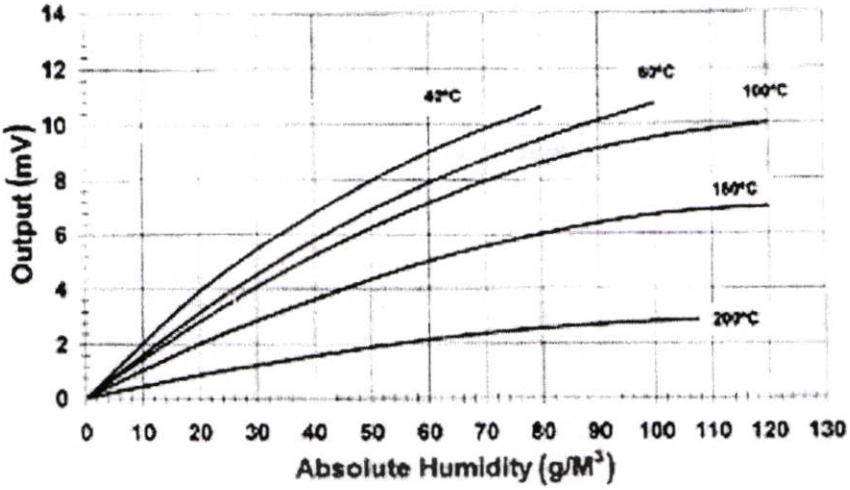
2.3.3 เซนเซอร์ความชื้นแบบนำความร้อน (Thermal Conductivity)



รูปที่ 2.1.4 เซนเซอร์ความชื้นแบบนำความร้อน

เซนเซอร์นี้ทำงาน โดยอาศัยเทอร์มิสเตอร์(Thermistor) 2 ตัว ต่ออยู่ในวงจรบริดจ์โดยเทอร์มิสเตอร์ตัวหนึ่งบรรจุอยู่ในแคปซูลที่มีก๊าซไนโตรเจน และเทอร์มิสเตอร์อีกตัวหนึ่งถูกวางอยู่ในบรรยากาศ กระแสไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านเทอร์มิสเตอร์ทั้งสอง ส่งผลให้เกิดความร้อนสูงขึ้นในตัวเทอร์มิสเตอร์มากกว่า 200 °C และความร้อนที่กระจายออกจากเทอร์มิสเตอร์ในแคปซูลจะมากกว่า เทอร์มิสเตอร์ที่อยู่ในบรรยากาศ ความแตกต่างของอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์ทั้งสองนี้ เป็นความต่างของการนำความร้อนของไอน้ำเทียบเก็บไนไตรเจนแห้ง ความแตกต่างของค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์จึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความชื้นสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1.5 ความสัมพันธ์ค่าความต่างศักย์,ความชื้นสัมบูรณ์

ข้อดี 1.ทนอุณหภูมิได้สูง
2.ทนต่อไอระเหยและสารเคมี

ข้อด้อย 1.ความแม่นยำต่ำ + - 5%RH
2.ราคาค่อนข้างสูงกว่าสองแบบที่ผ่านมา

2.4 คอนโทรลเลอร์ (Controller)

ใช้ Arduino Uno R3 เป็นตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ สาเหตุที่เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดนี้เนื่องจากมีลักษณะ Open Source มีกลุ่มนักพัฒนาโปรแกรมจำนวนมาก มีรูปแบบคำสั่งพื้นฐานไม่ซับซ้อน มีความสะดวกในการเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ผ่านทาง USB ก็สามารถอัพโหลดโค้ดคำสั่งลง ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างสะดวก

2.4.1 โครงสร้างของ Arduino Uno R3

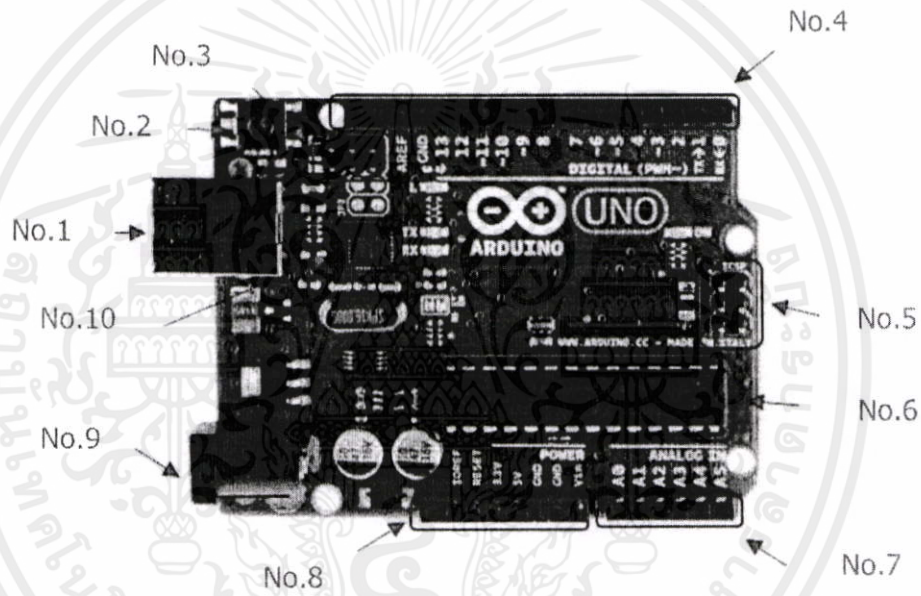
Arduino Uno R3 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด ที่ใช้ ATmega328 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) ซึ่งบอร์ดจะมีขา Digital 14 ขา อินพุต/เอาต์พุต (สามารถใช้เป็น PWM ได้ 6 ขา) และมีขา Analog อินพุตได้อีก 6 ขา, Ceramic resonator กำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่ความถี่ 16 MHz, มี USB Connector, Power Jack DC และ ปุ่มรีเซต การจ่ายไฟเลี้ยงสามารถต่อสาย USB จากคอมพิวเตอร์ หรือ สาย Power Jack Dc จาก AC to DC Adapter หรือจาก Battery

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

ตารางแสดง 2.4.1 Specification



รูปที่ 2.4.1 รูปแสดงส่วนประกอบ Arduino

No.1 : USB Port ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU

No.2 : Reset Button เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่

No.3 : ICSP Port(ATmega162) เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2

No.4 : Digital Input/Output ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin 0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin 3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM

No.5 : ICSP Port(ATmega328) เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader

No.6 : MCU(ATmega328) เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino

No.7 : Analog Input/Output

No.8 : Power Socket ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขา ไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, V_{in}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.9 : Power Jack DC 7-12 V รับไฟเลี้ยงจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง7-12 V
No.10 : MCU(ATmega16U2) เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to
Serial โดย ATmega328 จะติดต่อ กับ Computer ผ่าน ATmega16U2

2.4.2 โปรแกรมสำหรับเขียนโค้ดคำสั่ง (Arduino IDE)

1. เขียนคำสั่งบนคอมพิวเตอร์ ผ่านทางโปรแกรม Arduino IDE ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จาก Arduino.cc/en/main/software

2. หลังจากที่เขียนโค้ดคำสั่งเรียบร้อยแล้วต่อบอร์ด Arduino กับ Computer ผ่านสาย USB3. เลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ใช้โดยเข้าไปที่ Tools->Board->Arduinoไปที่ Tools-

รูปที่ 2.4.2 โปรแกรมสำหรับเขียนโค้ดคำสั่ง

4. กดปุ่ม Verify(เครื่องหมายถูก) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโค้ดคำสั่งและ Compile โค้ดคำสั่งจากนั้นกดปุ่มลูกศรเพื่ออัพโหลดโค้ดคำสั่งไปยังบอร์ด Arduino ผ่านทางสาย USB เมื่ออัพโหลดเรียบร้อยแล้ว จะแสดงข้อความแถบข้างล่าง “Done uploading” และบอร์ดจะเริ่มทำงานตามที่เขียนโปรแกรมไว้ได้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 คำสั่งเฉพาะของ Arduino

2.5.1 กลุ่มคำสั่งสำหรับใช้งาน Digital I/O Void pin Mode (pin,mode)

คำสั่งนี้ ใช้ทำหน้าที่สำหรับกำหนดหน้าที่การทำงานของขา I/O ที่เป็น Digital I/O Pin ของไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ตามที่ Arduino กำหนดไว้ ว่าต้องการจะกำหนดใช้งานขา Digital I/O ขาใด เพื่อใช้งานเป็น Input หรือ Output

รูปแบบของคำสั่ง

PinMode (pin,mode)

ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการ

- Pin หมายถึง หมายเลข รหัส Pin ของขาสัญญาณที่ทำหน้าที่เป็น Digital I/O Pin ซึ่งจะมีทั้งหมดจำนวน 14 Pin คือ 0 ถึง 13 โดยต้องกำหนดรูปแบบของตัวเลข ให้เป็นแบบจำนวนเต็ม (int) ด้วย
- Mode หมายถึง หน้าที่การทำงานของ Digital I/O Pin ที่ต้องการกำหนด ซึ่งสามารถกำหนดได้ 2 หน้าที่ โดยใช้รหัสข้อความ เป็น INPUT และ OUTPUT

ค่าที่คืนกลับจากฟังก์ชั่น

- ไม่มีการส่งค่ากลับ

รูปแบบคำสั่ง

Void digitalWrite(pin,value)

คำสั่งนี้ ใช้ทำหน้าที่สำหรับกำหนดสถานะทาง Output ให้กับ Digital I/O Pin ว่าต้องการให้มีสภาวะทางโลจิกเป็น High หรือ Low ซึ่งขาสัญญาณที่จะสั่งงานด้วยคำสั่งนี้ จะต้องถูกกำหนดคุณสมบัติให้ทำหน้าที่เป็น Output เรียบร้อยแล้ว

รูปแบบของคำสั่ง

digitalWrite(pin,value)

ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการ

- Pin หมายถึง หมายเลข รหัส Pin ของขาสัญญาณที่ทำหน้าที่เป็น Digital I/O Pin ซึ่งจะมีทั้งหมดจำนวน 14 Pin คือ 0 ถึง 13 โดยต้องกำหนดรูปแบบของตัวเลข ให้เป็นแบบจำนวนเต็ม (int) ด้วย
- Value หมายถึงค่าสถานะทาง Output ของ Digital Output Pin ที่ต้องการกำหนด ซึ่งสามารถกำหนดค่าสถานะให้กับ Pin ได้ 2 ค่า คือ HIGH และ LOW

ค่าที่คืนกลับจากฟังก์ชั่น

- ไม่มีการส่งค่ากลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบคำสั่ง

Int digitalRead(pin)

คำสั่งนี้ ใช้ทำหน้าที่สำหรับอ่านค่าสถานะ Logic Input ของ Digital Input Pin ว่ามีค่าสถานะเป็น High หรือ Low ซึ่งขาสัญญาณที่จะสั่งอ่านค่าด้วยคำสั่งนี้ จะต้องถูกกำหนดคุณสมบัติให้ทำหน้าที่เป็น Input เรียบร้อยแล้ว

รูปแบบของคำสั่ง

Var = digitalRead(pin)

ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการ

- Pin หมายถึง รหัส Pin ของขาสัญญาณที่ทำหน้าที่เป็น Digital Input Pin ซึ่งจะมีทั้งหมดจำนวน 14 Pin คือ 0 ถึง 13 โดยต้องกำหนดรูปแบบของตัวเลข ให้เป็นแบบจำนวนเต็ม (int) ด้วย

ค่าที่คืนกลับจากฟังก์ชั่น

- Var คือตัวแปรแบบ int สำหรับใช้รอรับค่าที่ส่งคืนกลับมาจากฟังก์ชั่น ซึ่งเป็นค่าสถานะทางโลจิกของ Digital Input Pin ซึ่งมีค่าเป็น HIGH หรือ LOW

2.5.2 โค้ดของโปรแกรมในการกำหนดเงื่อนไขควบคุมความชื้นและควบคุมรีเลย์

```
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2 // เลือกขาที่ใช้เชื่อมต่อ
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 11  เลือกรุ่น ซึ่งDHT11 จะมีความละเอียดน้อยกว่า

        DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
int Relay1 = 5; // กำหนดขาของรีเลย์ตัวที่ 1
int Relay2 =6; // กำหนดขาของรีเลย์ตัวที่ 2
int lev1=60; // กำหนดค่าความชื้นสูง(A%)
int lev2=65; //กำหนดค่าความชื้นสูงมาก(B%)
int lev3=40;//กำหนดค่าความชื้นต่ำ

void setup() {
Serial.begin(9600);
Serial.println("DHTxx test!");
dht.begin();
pinMode(Relay1,OUTPUT);
pinMode(Relay2,OUTPUT);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}

void loop() {
  float h = dht.readHumidity();
  float t = dht.readTemperature();

// check if returns are valid, if they are NaN (not a number) then something went
wrong!
if (isnan(t) || isnan(h)) {
    Serial.println("Failed to read from DHT");
 }
/* else {
    Serial.print("Humidity: ");
    Serial.print(h);
    Serial.print(" %\t");
    Serial.print("Temperature: ");
    Serial.print(t);
    Serial.println(" *C"); */

if (h<=lev1 && h>=lev3 )
// เงื่อนไขแรกถ้าค่าความชื้นอยู่ระหว่างlevel1และlevel 2สั่งรีเลย์ LOWทั้งคู่
{
  Serial.println("Normal RH");
  Serial.print("Humidity: ");
  Serial.print(h);
  Serial.print(" %\t");
  Serial.print("Temperature: ");
  Serial.print(t);
  Serial.println(" *C");
  digitalWrite(Relay1,LOW);
  digitalWrite(Relay2,LOW);

}
else if(h>lev1 && h<=lev2 )
//เงื่อนไขที่สองถ้าค่าความชื้นมากกว่า level1 และน้อยกว่า level2 ให้สั่งรีเลย์ตัวแรก HIGH ตัวสอง
LOW

{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Serial.println("HIGH  RH");
    Serial.print("Humidity: ");
     Serial.print(h);
     Serial.print(" %\t");
     Serial.print("Temperature: ");
     Serial.print(t);
     Serial.println(" *C");
     digitalWrite(Relay1,HIGH);
     digitalWrite(Relay2,LOW);
  }

  else if(h>lev2)
//เงื่อนไขที่สามถ้าค่าความชื้นมากกว่า Level2 ให้สั่งรีเลย์ทั้งสองตัว HIGH
  {
    Serial.println("HIGH HIGH  RH");
    Serial.print("Humidity: ");
     Serial.print(h);
     Serial.print(" %\t");
     Serial.print("Temperature: ");
     Serial.print(t);
     Serial.println(" *C");
     digitalWrite(Relay1,HIGH);
     digitalWrite(Relay2,HIGH);
  }
  Else
//ถ้าไม่เข้าเงื่อนไขใดเลย ให้พิม “Out of range”
{
 Serial.println("OUT OF RANGE");
}
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ซิลิกาเจล(Silica Gel)

รูปที่ 2.6 ซิลิกาเจล

ซิลิกาเจลคือ สารสังเคราะห์ที่สกัดจากทรายขาวผสมกรดกำมะถันมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ซิลิกอน ไดออกไซด์ (Silicon Dioxide) มีลักษณะเป็นเม็ดกลม โดยทั่วไป ซิลิกาเจล จะมีลักษณะเป็นโพรง มีรูพรุน ทำให้มีพื้นผิว ที่ใช้ในการดูดความชื้นเป็นจำนวนมาก ประมาณ 35-40 % ของน้ำหนักตัวเอง

ข้อมูลเฉพาะของซิลิกาเจลเป็นตามตารางดังนี้

ซิลิก้า เจล (Silica Gel) : ส่วนประกอบ								
แร่ธาตุ	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	TiO_2	CaO	ZrO_2	Na_2O	Ig.loss
ปริมาณ (%)	99.71	0.01	0.19	0.09	0.01	0.02	0.02	0.02

ซิลิก้า เจล (Silica Gel) : ความสามารถในการดูดความชื้น (30°C)	
ความชื้นสัมพัทธ์	ความสามารถในการดูดความชื้น
20%	> 10 %
50%	> 20%
90%	> 30%

ซิลิก้า เจล (Silica Gel) : ข้อมูลทางกายภาพ	
จุดเดือด = 2900 °F , 1900 °C	ความหนาแน่น = 43 lb/ft^3 , 0.70 - 0.78 g./ M^3
จุดเดือด °C >190	อัตราการระเหยของน้ำ <10% at 175 °F
ลักษณะทางกายภาพ = เม็ดสีน้ำเงิน , เม็ดใส	ความต้านทาน = 4,000 - 7,000 W. cm
ลักษณะทางกายภาพ = ไม่ละลายน้ำ	ความชื้นในสาร< 3.0 %
พื้นที่ผิว 650 m^2 / g.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข้อมูลเฉพาะของซิลิกาเจล

ซิลิกาเจล (Silica Gel) มี 4 ชนิดคือ

- ชนิดเม็ดสีขาว (White Silica Gel)

มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นประมาณ 35-40% ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแต่ละเม็ดประมาณ 2-5 มิลลิเมตร

- ชนิดเม็ดสีน้ำเงิน (Blue Silica Gel)

มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นเหมือนกับเม็ดใสทุกประการ เพียงแต่มีการเพิ่มสาร พิเศษเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ในการตรวจวัด ปริมาณความชื้นที่กักเก็บไว้ ทำให้ผู้ใช้รู้ว่ามีการเก็บความชื้นไว้ในปริมาณเท่าไร โดยจะแสดงเป็นสีน้ำเงินและสีชมพู หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า เม็ดเป็นสีน้ำเงิน หมายความว่า สารดูดความชื้นนั้นยังไม่ได้ใช้งานหรือไม่ทำงานนั่นเอง ส่วนเม็ด ที่เป็นสีชมพูหรือสีม่วงอ่อน แสดงว่าหมดอายุในการใช้งาน ควรเปลี่ยน สารดูดความชื้นใหม่

- ชนิดเม็ดสีส้ม (Orange Silica Gel)

มีคุณเหมือนกับชนิดสีน้ำเงินทุกประการ การทำงาน จะเลี่ยนจากสีส้ม เป็นสีเขียวอ่อน ซิลิกาเจลชนิดนี้ยังไม่ได้รับความนิยมในเมืองไทย เนื่องจากมีราคาค่อนข้างสูง

- ชนิดเม็ดทราย (Silica Sand)

มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นเหมือนกับเม็ดใสทุกประการแตกต่างกันที่ ขนาดของเม็ดของสาร ซึ่งสารดูดความชื้น ชนิดเม็ดทราย จะมีขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร

ความหมายของสีที่แสดงบนเม็ดสี ซิลิกาเจล (Silica Gel)

ปริมาณความชื้นต่อความสามารถในการดูดความชื้น สี
ดูดความชื้นไว้ประมาณ 20 % เปลี่ยนสีเป็น สีฟ้า
ดูดความชื้นไว้ประมาณ 35 % เปลี่ยนสีเป็น สีม่วง
ดูดความชื้นไว้ประมาณ 50 % เปลี่ยนสีเป็น สีชมพู

ความปลอดภัยของ ซิลิกาเจล (Silica Gel)

ซิลิกาเจล (Silica Gel) : ข้อปฏิบัติเมื่อเกิดอุบัติเหตุ สัมผัสกับผิวหนัง ล้างด้วยน้ำเปล่า เพื่อป้องกันฝุ่นจากการสูดดม และเข้าในตา สัมผัสกับดวงตา ระคายเคืองเมื่อเข้าตา สูดเข้าทางจมูก อาจมีการระคายเคืองในโพรงจมูก กรณีสูดเข้าไป ไฟไหม้ อาจมีการระคายเคืองในโพรงจมูก กรณีสูดเข้าไป

ประโยชน์ของ ซิลิกา เจล (Silica Gel)

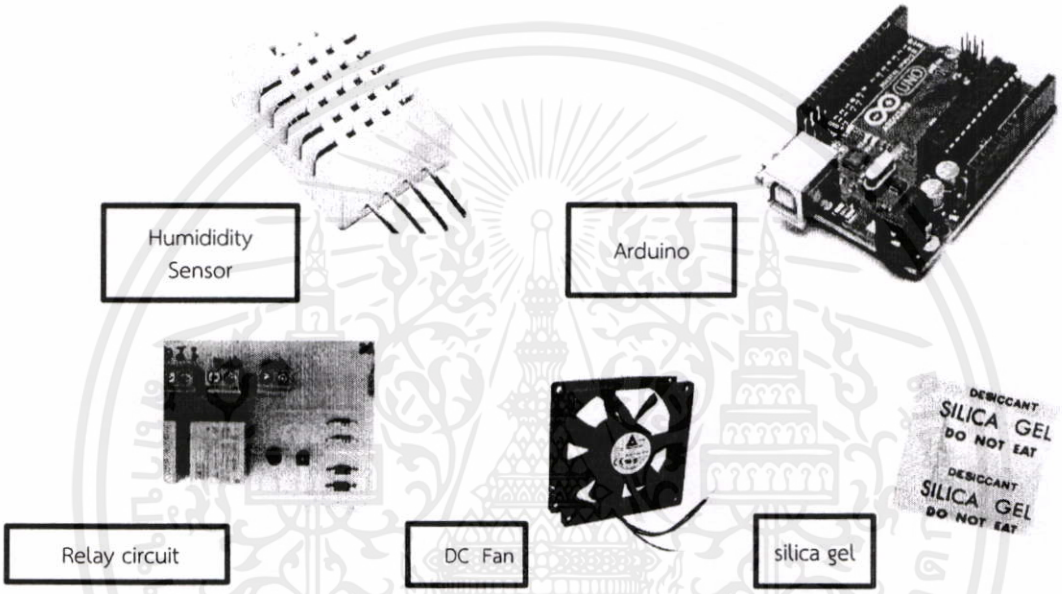
1. ซิลิกาเจล สามารถดูดความชื้นได้ถึง 30 % ของน้ำหนักตัวเอง
2. ซิลิกาเจล ไม่มีวันหมดอายุ หากเก็บในที่ที่ไม่มีอากาศ หรือความชื้น
3. ซิลิกาเจล ไม่ไช่ วัตถุไวไฟ
4. ซิลิกาเจล บรรจุได้หลากหลายขนาด สะดวกในการเลือกใช้
5. ซิลิกาเจล สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยวิธีการอบที่ อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 2 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ

3.1 โครงสร้างของระบบโดยรวม

ระบบทั้งหมดประกอบไปด้วย



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์โดยรวม

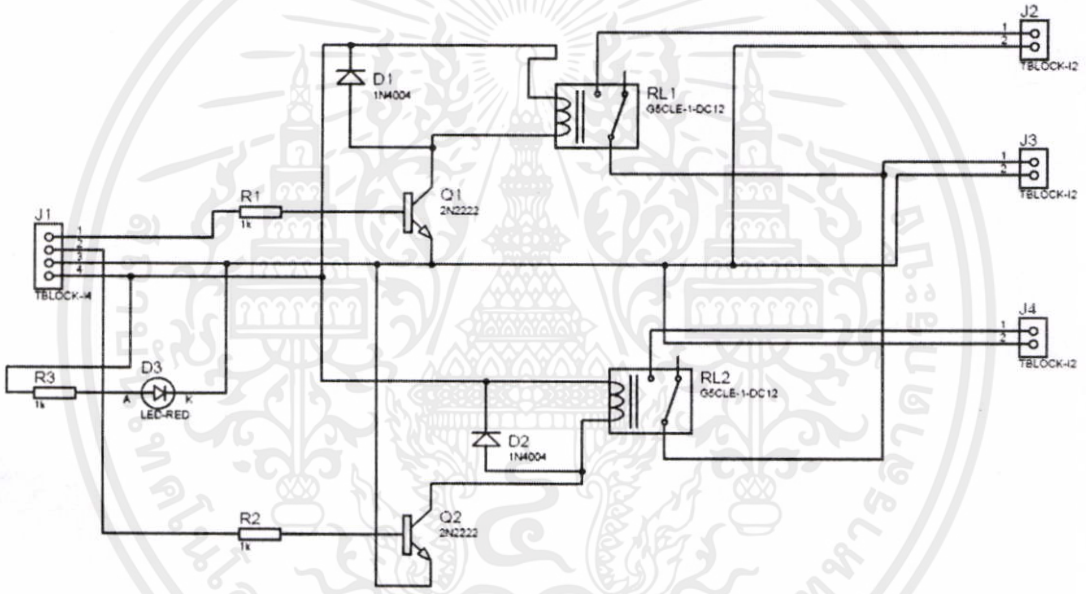
โครงสร้างระบบโดยรวมประกอบไปด้วยเซนเซอร์วัดความชื้นแบบค่าความจุไฟฟ้า บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรรีเลย์ควบคุมการเปิดปิดพัดลม พัดลมกระแสตรง 12 VDC กล่องปิด และซิลิกาเจล เริ่มจากเมื่อมีความชื้นเกิดขึ้นในกล่องปิด ค่าความชื้นที่เกิดขึ้นจะถูกตรวจรู้จากเซนเซอร์ความชื้นหลังจากนั้นค่าจะถูกส่งต่อไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเข้าเงื่อนไขที่กำหนดไว้ เพื่อสั่งให้วงจรรีเลย์ทำงานและส่งผ่านไฟฟ้ากระแสตรงไปยังพัดลมตัวที่หนึ่งเพื่อทำหน้าที่ดูดความชื้นออกจากกล่อง หรือพัดลมตัวที่สองเพื่อเป่าความชื้นที่ต่ำกว่าภายในกล่องเข้าสู่ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

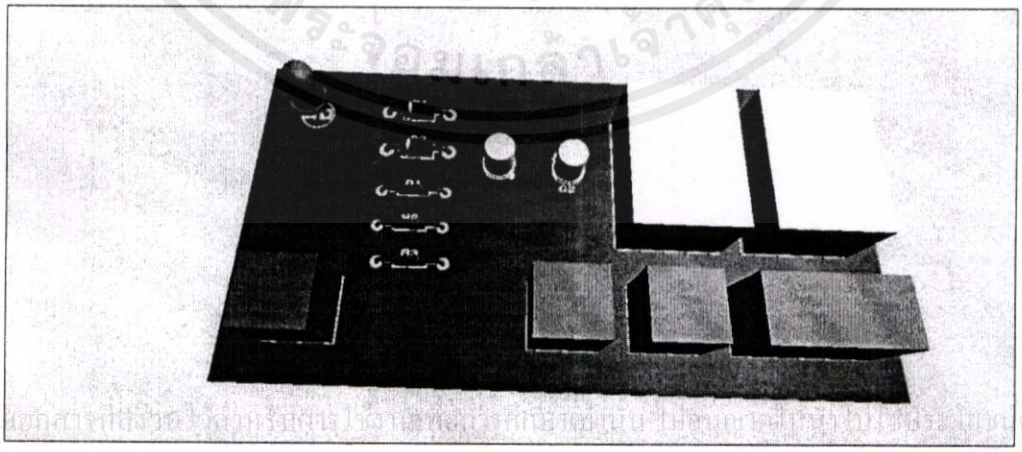
ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

1. รีเลย์ 5V 5 pin 2 ตัว
2. ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N2222 2 ตัว
3. ไดโอดเบอร์ 1N4004 2 ตัว
4. รีซิสเตอร์ 1 k ohm 3 ตัว
5. LED 1 ตัว
6. Terminal Box 4 ตัว

3.2 วงจรรีเลย์

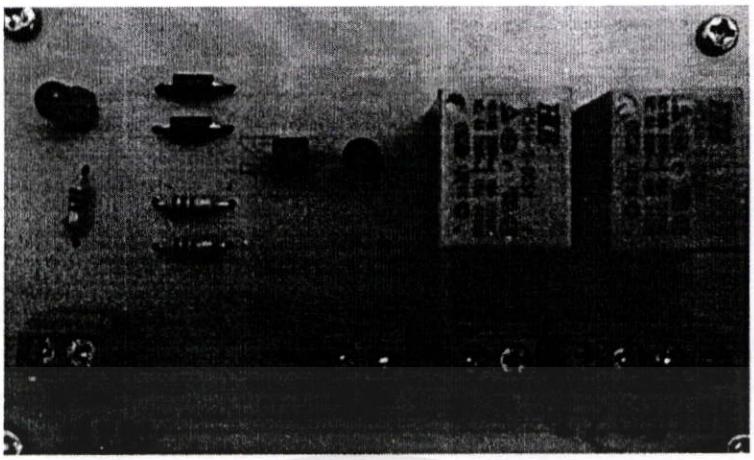


รูป 3.2 ข. วงจรรีเลย์ออกแบบโดยโปรแกรม Poteus

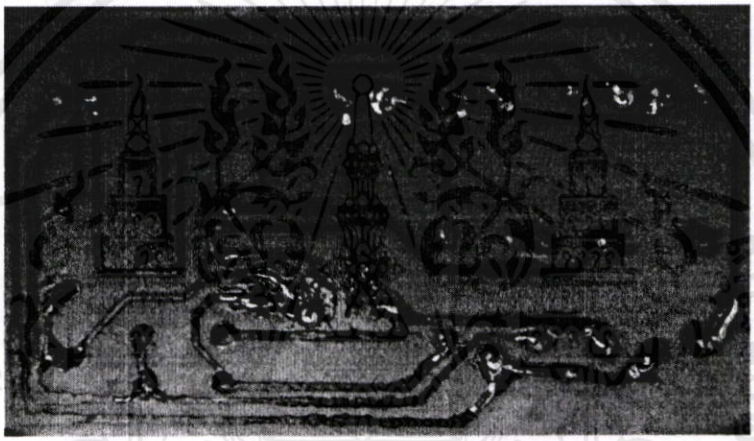


รูปที่ 3.2 ค. วงจรรีเลย์ 3 มิติออกแบบโดยโปรแกรม Poteus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ง. วงจรรีเลย์จริงด้านหน้า



รูปที่ 3.1 จ. วงจรรีเลย์จริงด้านหลัง

3.2.1 **หลักการทำงานของวงจรรีเลย์**

จากรูปเป็นวงจรขับรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่ขยายกระแส ด้วยเหตุผลเพราะไม่สามารถจะใช้ขา เอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ป้อนกระแสไฟที่ขดลวดของรีเลย์โดยตรงได้ เนื่องจากว่ากระแสที่จ่ายออกมาจากขา เอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่าน้อยเกินไป ดังนั้นเราจึงต้องมีส่วนของวงจรทรานซิสเตอร์เพื่อที่จะทำการขยายกระแสให้เพียงพอในการป้อนให้กับขดลวดของรีเลย์ ส่วนไดโอดนำมาต่อไว้สำหรับป้องกันแรงดันย้อนกลับที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กในขณะเกิดการยุบตัว ซึ่งอาจจะทำให้ทรานซิสเตอร์เสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 แผนลำดับของโปรแกรมควบคุม

คำอธิบายแผนลำดับของโปรแกรมควบคุม เมื่อเซนเซอร์วัดความชื้นได้ A% แล้ว ไมโครคอนโทลเลอร์อาร์ดูโนจะทำการประมวลผลตามที่ได้เขียนเงื่อนไขในโปรแกรมไว้แล้วจะส่งสัญญาณไฟ 5VDC ออกไปสั่งการให้รีเลย์ตัวที่หนึ่งทำงานจะทำให้ไฟเลี้ยง 12VDC ของที่รีเลย์ตัวที่หนึ่งส่งไปถึงพัดลมตัวที่หนึ่งและพัดลมตัวที่หนึ่งจะทำงานระบายอากาศออกจากกล่อง จากนั้นเมื่อเซนเซอร์วัดความชื้นได้ B% ไมโครคอนโทลเลอร์อาร์ดูโนจะทำการประมวลผลตามที่ได้เขียนเงื่อนไขในโปรแกรมไว้แล้วจะส่งสัญญาณไฟ 5 VDC ไปสั่งการให้รีเลย์ตัวที่สองทำงานจะทำให้ไฟเลี้ยง 12VDC ของที่รีเลย์ตัวที่สองส่งไปถึงพัดลมตัวที่สองและพัดลมตัวที่สองจะทำงานดูดอากาศจากกล่องที่มีซิลิกาเจลซึ่งมีความชื้นต่ำเข้ามาในกล่องควบคุมความชื้นเพื่อลดความชื้นในกล่องควบคุมความชื้นลงโดยที่ความชื้น A% มีค่าน้อยกว่า B% ขึ้นอยู่ตามความเหมาะสมของลักษณะการใช้งานรวมถึงสิ่งแวดล้อมนั้น

3.4 การทำงานของระบบ

3.4.1 เมื่อมีความชื้นที่ระดับสูง(มากกว่าหรือเท่ากับA%)

เมื่อความชื้นมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ A% ตามที่เขียนไว้ในเงื่อนไขของไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะจ่ายไฟกระแสตรง 5 vdc ออกทางพอร์ต1 เพื่อเปิดสวิตช์รีเลย์ส่งผลให้ไฟกระแสตรง 12 vdc จ่ายให้พัดลมคู่แรกเพื่อทำการดูดความชื้นในกล่องออกเพื่อระบายความชื้น

3.4.2 เมื่อมีความชื้นที่ระดับสูงมาก(มากกว่าหรือเท่ากับB%)

เมื่อความชื้นมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ B% ตามที่เขียนไว้ในเงื่อนไขของไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะจ่ายไฟกระแสตรง 5 vdc ออกทางพอร์ต1 และพอร์ต2 เพื่อเปิดสวิตช์รีเลย์ ส่งผลให้ไฟกระแสตรง 12 vdc จ่ายให้พัดลมคู่แรกเพื่อทำการดูดความชื้นในกล่องออก และจ่ายให้พัดลมตัวที่สองที่ต่อกับกล่องความชื้นต่ำด้วยซิลิกาเจล เพื่อดูดความชื้นต่ำจากกล่องเล็กเข้าสู่กล่องควบคุมเพื่อลดระดับความชื้นภายในกล่องอีกทางหนึ่ง

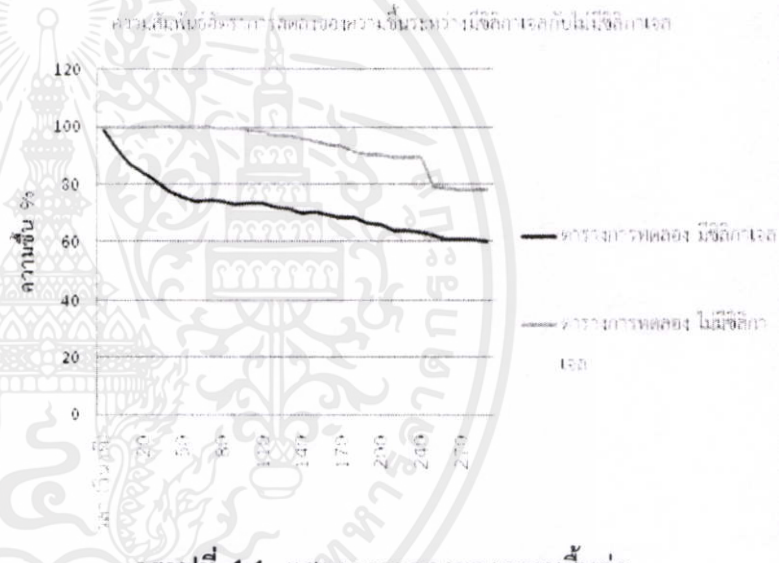
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 เริ่มจากวัดความสามารถในการดูดความชื้นของซิลิกาเจล ขณะที่มีความชื้นสูงสุด (RH=99.9%) ทดลองโดยการนำน้ำร้อนใส่เข้าไปในกล่องปิดเพื่อเพิ่มความชื้นในอากาศให้เร็วที่สุด จากนั้น เมื่อความชื้นขึ้นสูงสุด นำแหล่งความชื้นออกและวัดค่าความชื้นต่อเวลาขณะที่มีซิลิกาเจลและไม่มีซิลิกาเจล

ตารางการทดลอง		
เวลา (วินาที)	มีซิลิกาเจล	ไม่มีซิลิกาเจล
0	99	99.9
10	92.1	99.9
20	87.2	99.9
30	83.9	99.9
40	80.9	99.9
50	77.6	99.9
60	75.6	99.9
70	74	99.9
80	74.6	99.9
90	73.8	99.5
100	73	99.3
110	73.3	98.9
140	71.5	96.6
170	69.6	93.7
200	66.2	90
240	63.7	89
270	61	78.5
300	60	78



กราฟที่ 4.1 แสดงการลดลงของความชื้นต่อเวลา

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงการลดลงของความชื้นต่อเวลาเมื่อมีและ

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ซิลิกาเจลมีผลอย่างมากในการดูดความชื้นที่สูงได้เป็นอย่างดี

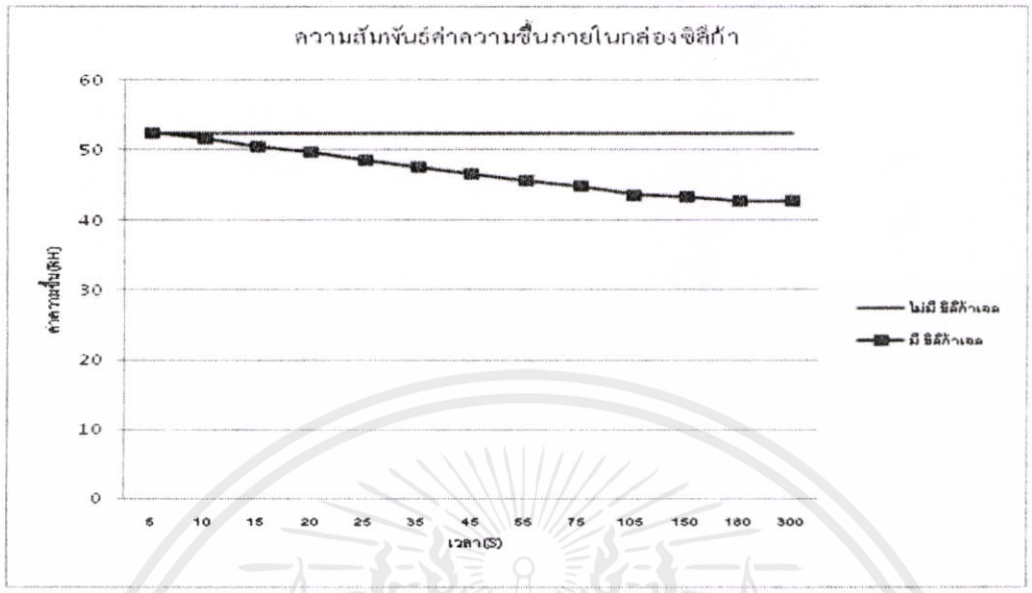
เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ที่ได้รับการคุ้มครองตามกฎหมาย ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 วัดความสามารถในการดูดความชื้นของซิลิกาที่ความชื้นห้อง โดยการนำเซนเซอร์ความชื้นไปวัดในกล่องเล็กที่เราเตรียมไว้โดยวัดความชื้นต่อเวลาเมื่อมีซิลิกาเจลและไม่มีซิลิกาเจล

ค่าความชื้น (RH%)		
เวลา	มี ซิลิกาเจล	ไม่มี ซิลิกาเจล
5	52.5	52.4
10	51.6	52.4
15	50.5	52.4
20	49.6	52.4
25	48.6	52.4
35	47.5	52.4
45	46.7	52.4
55	45.6	52.4
75	44.9	52.4
105	43.7	52.4
150	43.3	52.4
180	42.8	52.4
300	42.7	52.4

ตารางที่ 4.1.2(ก) ค่าความชื้นกล่องควบคุมที่มีและไม่มีซิลิกาเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



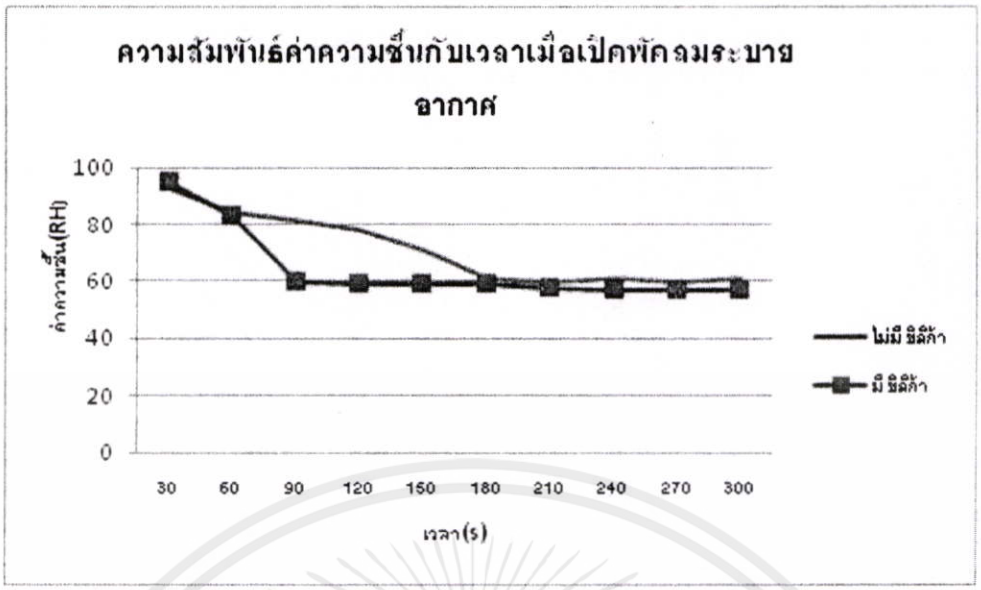
กราฟที่ 4.1.2 ความชื้นกล่องควบคุมเมื่อมีและไม่มีซิลิกาเจล

เวลา	ค่าความชื้น	
	ไม่มี ซิลิกา เจล(%)	มี ซิลิกา เจล (%)
30	92.8	94.5
60	84.5	82.6
90	81.3	59.5
120	78.2	58.7
150	71	58.8
180	61.3	58.8
210	59.7	57.3
240	60.8	57.1
270	59.5	57.1
300	60.9	57.1

ตารางที่ 4.1.2(ข) ความสัมพันธ์ของความชื้นต่อเวลาเมื่อเปิดพัดลมระบายอากาศ

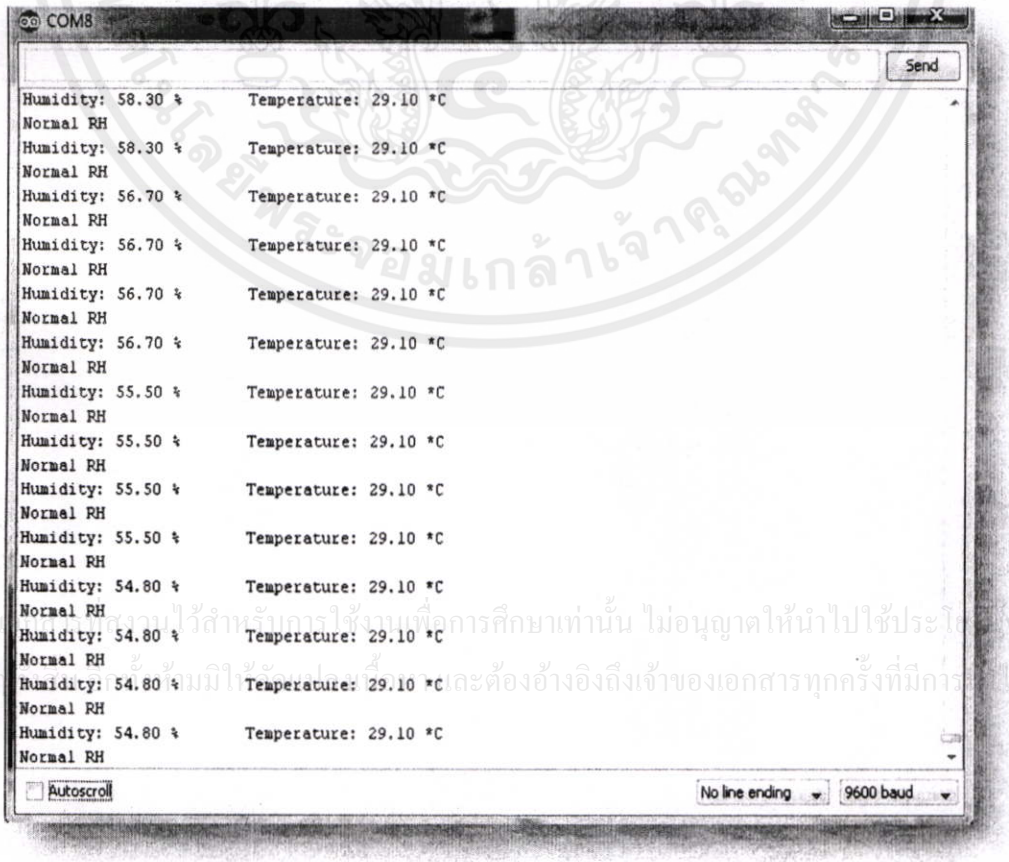
4.1.3 เป็นการทดลองจริงเพื่อวัดความสามารถของกล่องความชื้นต่ำว่ามีประสิทธิภาพในการลดความชื้นของระบบได้รวดเร็วขึ้นกว่าการใช้พัดลมธรรมดาหรือไม่ โดยใช้เงื่อนไขจริงทดลองโดยการนำน้ำร้อนใส่เข้าไปในกล่องปิดเพื่อเพิ่มความชื้นในอากาศให้เร็วที่สุดจากนั้น เมื่อความชื้นขึ้นสูงสุด นำแหล่งความชื้นออกและวัดค่าความชื้นต่อเวลาขณะที่มีซิลิกาเจลและไม่มีซิลิกาเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

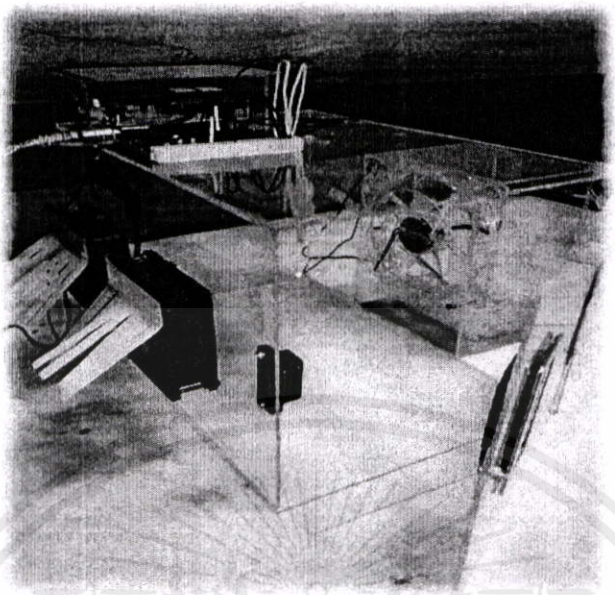


กราฟที่ 4.1.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาเมื่อมีพัดลมระบายอากาศ

4.2.1 จากผลการทดการทดลองเมื่อนำแหล่งความชื้นประเภทต่างๆไปวางไว้ในกล่องปิดเพื่อเพิ่มปริมาณไอน้ำในอากาศผลที่ได้คือเมื่อความชื้นมากกว่ามากกว่าหรือเท่ากับ 40% (level 3)และน้อยกว่าเท่ากับ 60% (level ตามที่ได้เขียนเงื่อนไขไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์จอจะแสดงผล “ Normal RH ”พร้อมทั้งแสดงค่าความชื้นและอุณหภูมิดังรูป

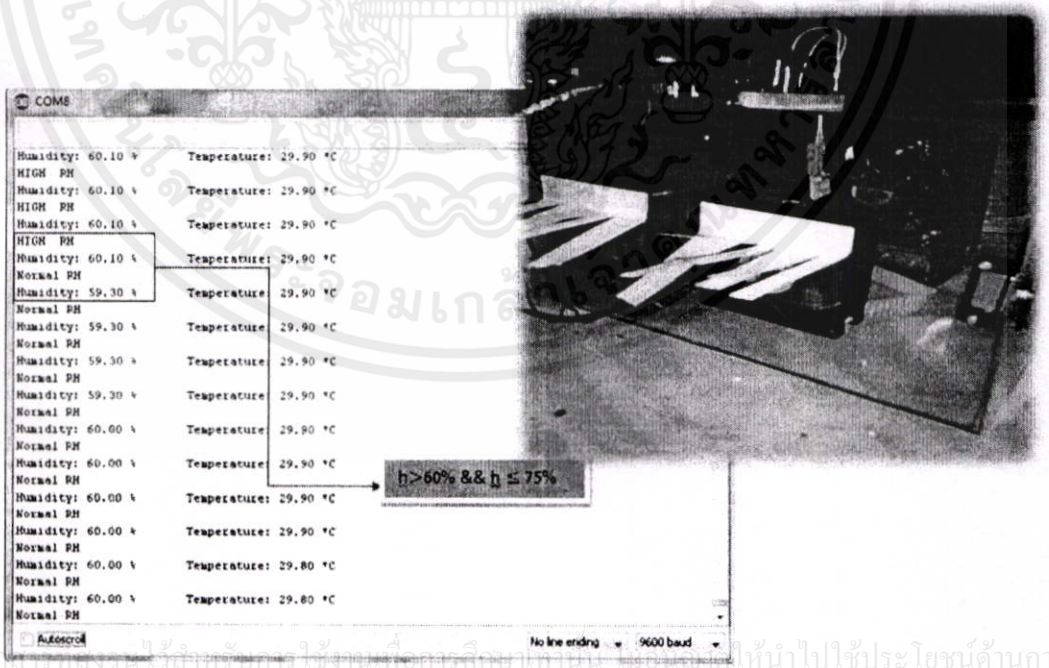


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.1 การทำงานของพัดลมระบายความชื้น

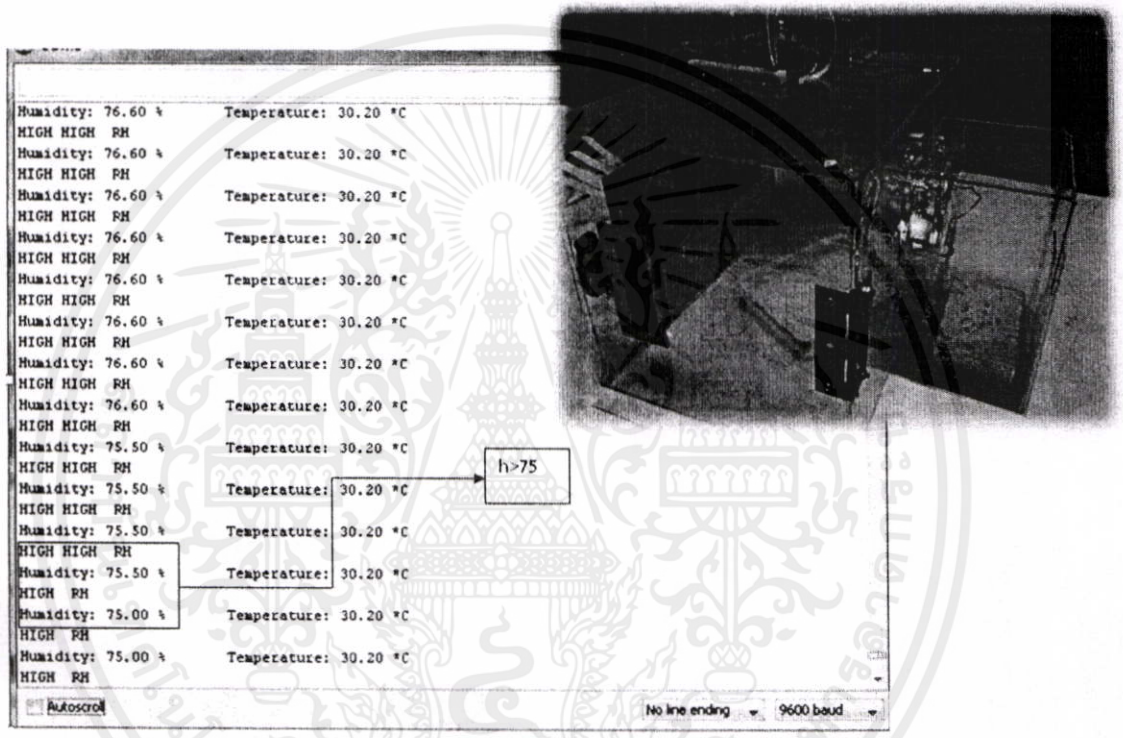
4.2.2 เมื่อความชื้นมากกว่า 60% (level 1)และยังไม่เกิน 75% (level 2)ตามที่เขียนเงื่อนไขไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์จอจะแสดงผล " HIGH RH "แสดงค่าความชื้นและอุณหภูมิพร้อมทั้งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ส่ง OUT PUT HIGH ไปที่พอร์ต 1 ส่งผลให้ รีเลย์ตัวแรกสวิตช์จากขา NC ไปยัง NO ไฟ 12 VDC จากภายนอกส่งผ่านถึงพัดลมคู่แรกเพื่อทำการระบายความชื้นออกดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2.2 การสั่งงานของโปรแกรมและการทำงานของพัดลมระบายความชื้น

4.2.3 เมื่อความชื้นมากกว่าเท่ากับ 75% (level 2)ตามที่เขียนเงื่อนไขไว้ใน ไมโครคอนโทรลเลอร์จอจะแสดงผล“ HIGH HIGH RH ” ตามที่เขียนเงื่อนไขไว้ใน ไมโครคอนโทรลเลอร์จอจะแสดงผล “ HIGH RH ”แสดงค่าความชื้นและอุณหภูมิพร้อมทั้งบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่ง OUT PUT HIGH ไปที่พอร์ต 1และพอร์ต 2 ส่งผลให้ รีเลย์ทั้งสองสวิตช์ จากขา NC ไปยัง NO ไฟ 12 VDCจากภายนอกส่งผ่านถึงพัดลมคู่แรกเพื่อทำการระบายความชื้นออกและพัดลมตัวที่สองเพื่อดูดความชื้นต่ำในกล่องซิลิกาเจลเข้าไปรวมกับความชื้นภายในกล่องเพื่อลดความชื้นในกล่องควบคุมความชื้นดังรูป



รูปที่ 4.2.3 การสั่งงานของโปรแกรมและการทำงานของพัดลมระบายความชื้น

จากนั้นทดลองเปลี่ยนระดับของความชื้นในการเขียนเงื่อนไขโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ A%(level 1) ,B% (level 2) และ C%(level 3) ผลที่ได้เป็นไปตามผลการทดลองข้างต้น

จากนั้นทดลองเปลี่ยนแหล่งจ่ายความชื้นผลที่ได้เป็นไปตามการทดลองข้างต้นแตกต่างกันเพียงเวลาในการเข้าเงื่อนไขเท่านั้น อันเนื่องมาจากแหล่งจ่ายความชื้นต่างชนิดกันจะทำให้เกิดความชื้นในเวลาที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากแนวคิดที่ว่าความชื้นที่เหนือซิลิกาเจลสามารถนำไปลดความชื้นโดยรวมของระบบได้ดีกว่าการใช้พัดลมดูดความชื้นเพียงอย่างเดียวเป็นจริง และการทดลองสามารถทำตามเงื่อนไขที่เขียนไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ทั้งหมดแต่ยังไม่สามารถทำให้ความชื้นภายในกล่องลดต่ำกว่าความชื้นภายนอกได้มากนักเนื่องจากวิธีการลดความชื้นที่ใช้ส่วนหนึ่งมาจากซิลิกาเจลซึ่งประสิทธิภาพที่สามารถระบายความชื้นได้ที่ความชื้นและอุณหภูมิห้องคือประมาณ 20% แต่สำหรับความชื้นสูงสามารถควบคุมได้ตามวัตถุประสงค์

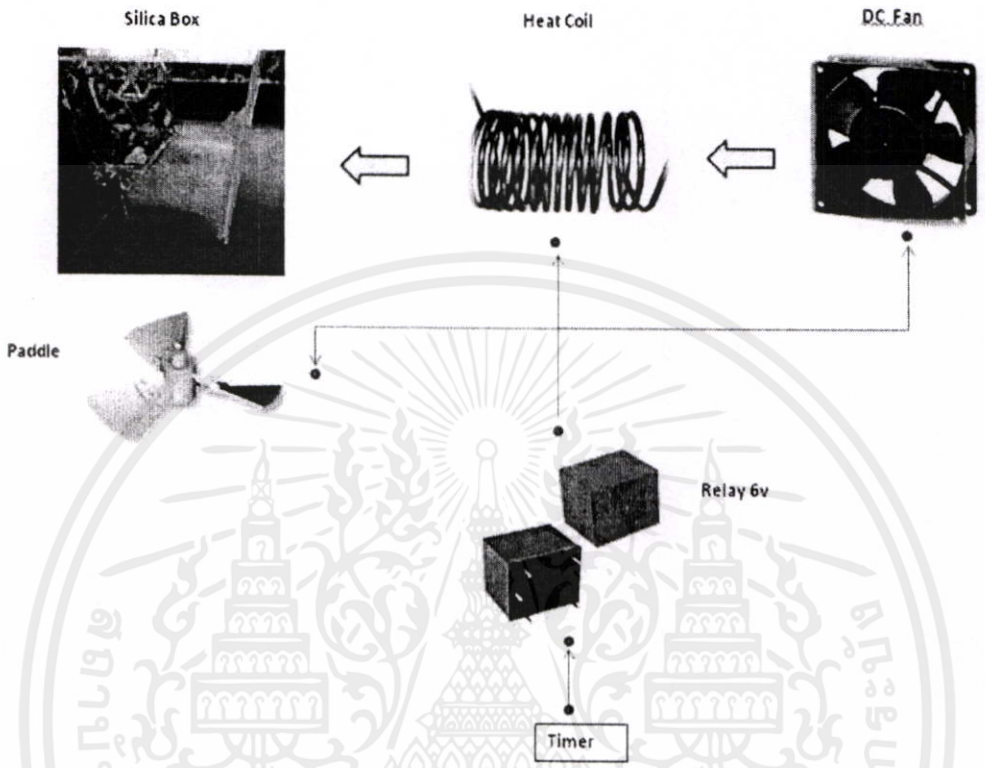
5.2 ปัญหา อุปสรรค และวิธีการแก้ไข

1. สัญญาณไฟที่ไมโครคอนโทลเลอร์ อาดูโนไม่เพียงพอที่จะจ่ายให้พัดลม 12 VDC ทำงานได้ทั้งสองตัว
   วิธีการแก้ไข : สร้างวงจรรีเลย์รับแหล่งจ่ายภายนอก 12 VDC มาเพื่อสามารถให้พัดลมสามารถทำงานได้
2. ปัญหาเนื่องจากการทดลองบนโฟโตบอร์ดนั้นทำให้ไม่สามารถตรวจสอบการผิดพลาดได้
   วิธีการแก้ไข : ทำเป็นลายวงจรออกแบบโดยใช้โปรแกรมโพธีอุสแล้วกัดปริ๊นท์เป็นลายวงจรที่สมบูรณ์แทนการใช้โพโตบอร์ด
3. การทดลองผิดพลาดจึงทำให้ไมโครคอนโทลเลอร์ อาดูโนเสียหายเนื่องจากการจ่ายไฟฟ้าเกิน
   วิธีการแก้ไข : สั่งซื้อไมโครคอนโทลเลอร์ใหม่ ตรวจสอบการใช้งานและความปลอดภัยก่อนใช้
4. สายไฟฟ้าส่งสัญญาณไม่ดีเท่าที่ควรทำให้ตรวจสอบความผิดพลาดได้ยาก
   วิธีการแก้ไข : ซื้อสายไฟส่งสัญญาณสำเร็จรูปที่ดีมีการเข้าหัวสายเรียบร้อยให้สะดวกต่อการใช้งาน
5. ปัญหาเนื่องจากการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทลเลอร์อาดูโน
   วิธีการแก้ไข : มีการซื้อหนังสือคู่มือสำหรับการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานไมโครคอนโทลเลอร์อาดูโนมาศึกษาและปรึกษาผู้มีความรู้
6. กล่องควบคุมความชื้นไม่เป็นระบบปิดอย่างสมบูรณ์
   วิธีการแก้ไข : มีการทำอุปกรณ์เพื่อปิดตำแหน่งที่ไม่สมบูรณ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นและอยู่ในค่าที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. แนะนำระบบการนำกลับมาใช้ใหม่ของสารดูดความชื้นซิลิกาเจลแบบเม็ด



รูปที่ 5.3 ข้อแนะนำระบบการนำกลับมาใช้ใหม่ของสารดูดความชื้น

ในระบบการควบคุมความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้นซิลลิกาเจลแบบเม็ดนั้น เมื่อใช้ไประยะเวลาหนึ่งประสิทธิภาพการดูดความชื้นของสารดูดความชื้นซิลลิกาเจลแบบเม็ดจะลดลงจนกระทั่งไม่สามารถดูดความชื้นได้อีกเม็ดซิลิกาจะเปลี่ยนสีจากสีน้ำเงินเป็นสีขาว ดังนั้นจึงต้องมีการสร้างระบบการนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยได้ทำการออกแบบระบบระบบการนำกลับมาใช้ใหม่ของสารดูดความชื้นซิลิกาเจลแบบเม็ดดังนี้ 1. ให้ความร้อนกับสารดูดความชื้นซิลิกาเจลแบบเม็ดโดยการใช้แหล่งความร้อนภายนอกคือ ขดลวดความร้อน 2. เมื่อขดลวดได้รับกระแสไฟฟ้าจะเป็นขดลวดความร้อนทำให้อุณหภูมิบริเวณโดยรอบเพิ่มสูงขึ้น 3. ใช้พัดลมเป่าอากาศที่ร้อนเนื่องจากขดลวดทำความร้อนพาความร้อนไปที่สารดูดความชื้นซิลิกาเจลแบบเม็ดโดยที่มีการกวนซิลิกาเจลแบบเม็ดอยู่ตลอดทำให้ความชื้นที่เก็บไว้ซิลิกาเจลแบบเม็ดระเหยไปอย่างทั่วถึง 4. เมื่อความชื้นระเหยไปหมดแล้วจะสังเกตได้ว่าเม็ดซิลิกาจะเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำเงินแสดงว่าความชื้นระเหยไปหมดแล้ว 5. สามารถนำสารดูดความชื้นซิลิกาเจลแบบเม็ดกลับมาใช้ใหม่ได้อีกครั้ง

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ในการทดลองควรเลือกทดลองในอุณหภูมิห้อง
3. ตรวจสอบการเชื่อมต่อสายสัญญาณให้ถูกต้อง
4. เลือกใช้สัญญาณไฟฟ้าให้เหมาะสมกับอุปกรณ์
5. เงื่อนไขการระบายความชื้นขึ้นอยู่กับสถานการณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

เอกชัย มะการ. 2552. เรียนรู้เข้าใจงานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ด้วย Arduino. กรุงเทพฯ : อีทีที.

ขวัญชัย กุลสันติธำรงค์. 2556. ความชื้นในอากาศ ใครว่าไม่สำคัญ. กรุงเทพฯ

สมชัย อัครทิวา. 2547. เทอร์โมไดนามิกส์. กรุงเทพฯ : แมคกรอ-ฮิล/สำนักพิมพ์ท็อป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้