

ตู้อบเมล็ดกาแฟระบบปั๊มความร้อนไฟฟ้ากระแสตรง

COFFEE BEANS HEAT-PUMP OVEN BY DIRECT CURRENT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COFFEE BEANS HEAT-PUMP OVEN BY DIRECT CURRENT



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 INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG
ACADEMIC YEAR 2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ตู้อบเมล็ดกาแฟระบบปั๊มความร้อนไฟฟ้ากระแสตรง	
	COFFEE BEANS HEAT-PUMP OVEN BY DIRECT CURRENT	
นักศึกษาผู้จัดทำ	พุทธรชาด ตริรัตน์	รหัสนักศึกษา 59010994
	อานนท์ รัตนกิจศร	รหัสนักศึกษา 59011564
	เอกราช จินดานิล	รหัสนักศึกษา 59011590
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์เชื้อ นกอยู่	
ปีการศึกษา	2562	

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาระบบปั๊มความร้อนโดยประยุกต์ใช้อุปกรณ์ของระบบปรับอากาศและเปลี่ยนทิศทางการไหลของของไหลเพื่อหาแนวโน้มในการอบเมล็ดกาแฟโดยสามารถใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ทำการออกแบบ และสร้างตู้อบเมล็ดกาแฟระบบปั๊มความร้อนไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งห้องอบแห้งมีปริมาตร 175 l โดยกว้าง 50 cm ยาว 70 cm 50 cm ภาตรองอบซึ่งทำจากสเตนเลสหนา 0.07 cm ขนาด 48 cm 38 cm ขอบสูง 2 cm ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรู 0.3 cm จำนวน 4 ภาต ส่วนระบบปั๊มความร้อน เครื่องอัดไอขนาด 250 BTU/hr พัดลมสำหรับถ่ายเทอากาศมีอัตราไหลอากาศเชิงปริมาตร 550 m³/hr ระบบปั๊มความร้อนทั้งหมดถูกควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 สำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องอัดไอและพัดลมสำหรับควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบ ระบบปั๊มความร้อนมีคุณสมบัติพาความร้อนที่มีความชื้นต่ำแก่เมล็ดกาแฟ มีคอนเดนเซอร์เป็นตัวให้ความร้อนโดยควบคุมอุณหภูมิและมีฮีตเอ็กซ์เชนเจอร์เป็นตัวลดความชื้น โดยความชื้นในระบบถูกควบคุมจากความเย็นของสารทำความเย็นภายในฮีตเอ็กซ์เชนเจอร์ อุปกรณ์ภายในรองรับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

คำสำคัญ : ปั๊มความร้อน, ไฟฟ้ากระแสตรง, คอนเดนเซอร์, ฮีตเอ็กซ์เชนเจอร์, เครื่องอัดไอ

Thesis Title COFFEE BEANS HEAT-PUMP OVEN BY DIRECT CURRENT
Authors Ms. Puttachad Treerat
Mr. Ekarat Jindanin
Mr. Anon Ratanakritsorn
Thesis Advisor Asst. Prof. Chuae Nokyoo
Year 2019

ABSTRACT

This project aims to design and build coffee beans heat pump oven by direct current. The drying section has the dimensions of 53 cm x 70 cm x 49 cm. Stainless steel drying tray 0.7 mm thick, size 48x38 cm, height 2 cm, hole diameter 3 mm. Use a compressor for heating 250 BTU/hr. Volumetric air flow rate 550 m³/hr. Tested the drying of ripe coffee beans at a drying temperature of 40-60 °c, providing hot air with low humidity to the coffee beans. Heat pump system is the application of air conditioning system as a heat pump system with a condenser to provide heat and an evaporator as a dehumidifier. The moisture in the system is condensed from the coolness of the refrigerant within the evaporator. Humidity and temperature can be controlled by a microcontroller. The whole system uses DC electricity which can be used to connect from solar energy sources in the future.

Keywords : Heat-pump, Direct current, condenser, evaporator, compressor

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ท่านอาจารย์เชื้อ นกอยู่ ซึ่งเป็นที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่าง ๆ จนช่วยให้การทำปริญญานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาจนได้ร่ำเรียนถึงทุกวันนี้และขอบคุณรุ่นพี่ที่เพื่อนและน้องที่ให้กำลังใจให้ความช่วยเหลือให้ความรัก ความปราณี จนทำให้การทำปริญญานิพนธ์สำเร็จสมดังประสงค์ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้โอกาสได้ทำปริญญานิพนธ์เรื่องนี้รวมทั้งมอบสิ่งดี ๆ ตลอดเวลาสี่ปี ที่ผู้จัดทำศึกษาอยู่ในสถาบันแห่งนี้ คุณความดีที่ได้ได้ปรากฏในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 หลักการพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กรรมวิธีการผลิตเมล็ดกาแฟแบบแห้ง.....	4
2.2 กระบวนการอบแห้ง	5
2.2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง.....	5
2.2.2 หลักการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ	7
2.2.3 ระบบปั๊มความร้อน	10
2.2.4 แผนภูมิไซโครเมตริก	11
2.2.5 การศึกษากระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะของอากาศโดยใช้แผนภูมิไซโครเมตริก.....	21
2.3 การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์	27
2.3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

2.3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino.....	27
2.3.3 Arduino Mega 2560.....	28
บทที่ 3 แผนผังและวิธีการดำเนินงาน.....	30
3.1 แผนผังการดำเนินงาน.....	30
3.2 วิธีการดำเนินงาน.....	31
3.2.1 ศึกษาหลักการทำงานของตู้อบเมล็ดกาแฟระบบปั๊มความร้อน.....	31
3.2.2 ออกแบบชุดทดลองระบบปั๊มความร้อนจากอุปกรณ์ของระบบปรับอากาศ.....	32
3.2.3 ออกแบบวิธีการทดลองทดสอบระบบปั๊มความร้อน บันทึกรผล.....	34
3.2.4 ออกแบบตู้อบเมล็ดกาแฟระบบปั๊มความร้อนไฟฟ้ากระแสตรง.....	35
3.2.5 สร้างตู้อบเมล็ดกาแฟระบบปั๊มความร้อนโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรง.....	36
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	40
4.1 ผลการทดสอบชุดทดลองระบบปั๊มความร้อนจากอุปกรณ์ของระบบปรับอากาศ.....	40
4.2 ผลการออกแบบตู้อบ.....	41
บทที่ 5 สรุปการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	45
5.1 สรุปการทดลอง.....	45
5.1.1 ผลการศึกษาระบบปั๊มความร้อนเพื่อศึกษาแนวโน้มในการอบเมล็ดกาแฟ.....	45
5.1.2 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องอบเมล็ดกาแฟระบบปั๊มความร้อน.....	45
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	46
บรรณานุกรม.....	47
ภาคผนวก.....	48

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอน้ำที่อากาศสามารถรับไว้ได้กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	14
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอน้ำและอุณหภูมิหยดน้ำค้าง.....	19
4.1 ผลการทดสอบตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าบดเคี้ยว.....	40



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปภาพแสดงระบบปรับอากาศ	8
2.2 แผงท่อทำความเย็น.....	9
2.3 แสดงวัฏจักรการทำงานของปั๊มความร้อน รูปจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทน	11
2.4 แผนภูมิไซโครเมตริกของ ASHRAE	12
2.5 แผนภูมิไซโครเมตริกของ Carrier.....	13
2.6 แสดงเส้นอัตราส่วนความชื้น	13
2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับปริมาณไอน้ำในอากาศ	14
2.8 แสดงเส้นความชื้นสัมพัทธ์.....	15
2.9 แสดงเส้นปริมาตรจำเพาะ	16
2.10 เส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้งบนแผนภูมิไซโครเมตริก	17
2.11 เทอร์มิเตอร์แบบกระเปาะแห้งและแบบกระเปาะเปียก.....	17
2.12 เส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกบนแผนภูมิไซโครเมตริก	18
2.13 แสดงการหาจุดน้ำค้างที่สถานะที่กำหนด	19
2.14 เส้นแสดงค่าเอลทาลปี	21
2.15 แสดงทิศทางของการลดและเพิ่มอุณหภูมิ.....	22
2.16 แสดงการลดความชื้นโดยการลดอุณหภูมิของอากาศ.....	23
2.17 การลดความชื้นโดยใช้วัสดุดูดความชื้น	24
2.18 การเพิ่มความชื้นโดยเติมไอน้ำเข้าสู่ระบบ	25
2.19 พัดลมแบบเติมน้ำแข็ง.....	25
2.20 การเพิ่มความชื้นแบบทำให้อากาศเย็นโดยการระเหย	26
2.21 สรุปกระบวนการการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของอากาศ.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.22 บอร์ด Arduino รุ่น Arduino Mega 2560.....	28
3.1 การทำงานของระบบปั๊มความร้อน.....	32
3.3 จัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์.....	33
3.4 เชื่อมต่อท่อทองแดงของชุดทดลองระบบปั๊มความร้อน.....	34
3.5 ทดสอบการทำงานของชุดทดลองระบบปั๊มความร้อน.....	34
3.6 จัดวางตำแหน่งอุปกรณ์.....	36
3.7 วางเส้นทางเดินของท่อทองแดงของชุดทดลองตู้อบลมร้อน.....	37
3.8 ตู้อบลมร้อนระบบปั๊มความร้อนไฟฟ้ากระแสตรง.....	37
3.9 โปรแกรม Arduino IDE.....	39
4.1 ห้องอบแห้ง.....	42
4.2 ห้องระบบปั๊มความร้อน.....	42
4.3 ทิศทางการไหลของอากาศระหว่างห้องอบและห้องปั๊มความร้อน.....	43
4.5 รูปภาพแผนผังการทำงานของระบบควบคุม.....	44

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

การเก็บเมล็ดกาแฟให้มีอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น และลดการสูญเสียผลิตภัณฑ์จากการเน่าเสีย โดยการแปรรูปเมล็ดกาแฟ ต้องทำแห้งเมล็ดกาแฟให้มีความชื้นลดน้อยลงจากการตากแดดระยะเวลาการตากประมาณ 2 สัปดาห์ และต้องทำการเก็บเมล็ดกาแฟในช่วงเวลากลางคืนเพื่อป้องกันความชื้นเพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์ จากนั้นต้องทำการบ่มกาแฟเป็นขั้นตอนต่อไป เนื่องจากระบบการอบแห้งสามารถทำการอบแห้งในรูปแบบของระบบปิด ซึ่งเป็นอิสระต่อสภาวะแวดล้อมภายนอก จึงทำให้สภาวะอากาศแวดล้อมไม่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ภายในห้องอบแห้ง โดยเฉพาะในช่วงที่อากาศมีความชื้นสูงและการปนเปื้อน อีกทั้งมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงเพราะมีการคืนความร้อนกลับ (recovery heat) สู่อุปกรณ์อบแห้งผ่านทางอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้ไม่ต้องปล่อยอากาศร้อนหลังการอบแห้งสู่สภาวะอากาศเป็นการช่วยลดปัญหาโลกร้อน อีกทั้งการอบแห้งด้วยเทคนิคนี้ยังสามารถใช้ในอุณหภูมิการอบแห้งที่ต่างกันได้ ทำให้เหมาะสมต่อการอบแห้งวัสดุที่มีความไวต่อการเสียหายเนื่องจากความร้อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้งจึงมีคุณภาพที่ดี แต่ต้นทุนในการลงทุนตัวเครื่องอบแห้งและต้นทุนการดำเนินการต่ำกว่าการอบแห้งแบบเย็น ด้วยเหตุผลนี้การนำเอาระบบบ่มความร้อนมาใช้ในการอบแห้ง จึงเป็นการช่วยคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้ง และเพื่อให้ตู้อบแห้งสามารถใช้พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ได้ในอนาคตจึงออกแบบตู้อบโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับพลังงานสะอาดหรือใช้ในพื้นที่ที่ขาดแคลนพลังงานไฟฟ้า

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษากระบวนการอบแห้งและการใช้พลังงานทดลองจากแสงอาทิตย์ การออกแบบระบบการทำงาน การศึกษาคู่มือการทำงานของโปรแกรมและอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยมีรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้

- 1) ศึกษากระบวนการอบแห้ง
- 2) ศึกษาการทำงานของคอมเพรสเซอร์และปั๊มความร้อน
- 3) ศึกษาปัจจัยในการอบลมร้อนจากแผนภูมิไซโครเมตริก

- 4) ศึกษาโปรแกรม Arduino IDE และการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
- 5) ศึกษาวิธีการควบคุมอุณหภูมิของตู้อบลมร้อน
- 6) เพื่อทราบถึงแนวโน้มในการใช้ตู้อบระบบปั๊มความร้อนกระแสตรงสำหรับอบเมล็ดกาแฟ

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงกระบวนการทำงานของตู้อบลมร้อน เพื่อทดสอบการทำงานภายใต้สถานะต่างๆ รวมไปถึงการควบคุม และแสดงผลของระบบการทำงาน ซึ่งมีการบันทึกผลเพื่อตรวจสอบและแก้ไขการทำงานของระบบได้ โดยมีรายละเอียดของขอบเขตการทำงานดังนี้

- 1) สามารถอ่านค่าและสามารถเปลี่ยนค่าผ่านปุ่มกดโดยจัดแสดงผลผ่านหน้าจอ LCD
- 2) สามารถเพิ่มลดอุณหภูมิระหว่าง 40 ถึง 60 °c ภายในตู้อบได้
- 3) สามารถใช้ตัวควบคุมลดความชื้นภายในตู้อบได้
- 4) สามารถปรับระดับความเร็วลม
- 5) สามารถบันทึกค่าการทำงานเพื่อนำมาประมวลผลและควบคุมการทำงาน
- 6) ตู้อบแห้งระบบปั๊มความร้อนที่ออกแบบ สร้างจากตู้อบต้นแบบมีความจุห้องอบแห้งขนาด

175 L

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

ในการศึกษาโครงการของปริญญานิพนธ์ ได้มีการเริ่มศึกษาตั้งแต่ระบบการทำงานของคู่มืออุปกรณ์ รวมไปถึงการใช้โปรแกรมต่าง ๆ ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

- 1) ศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานระบบเครื่องปรับอากาศ
- 2) ศึกษาการทำงานของปั๊มความร้อน
- 3) ศึกษาหลักการในการอบเมล็ดกาแฟจากแผนภูมิไซโครเมตริก
- 4) ออกแบบโครงสร้างการทำงานและศึกษาอุปกรณ์แต่ละชนิดที่ต้องนำมาใช้ในการทำงาน
- 5) ศึกษาการใช้งานโปรแกรมของอุปกรณ์ควบคุม (Arduino Mega 2560)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้เรียนรู้ระบบและกระบวนการอบโดยใช้ปั๊มความร้อน
- 2) ได้เรียนรู้คำสั่งและการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
- 3) ได้เรียนรู้การใช้งานของอุปกรณ์วัดความชื้นและอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ
- 4) ได้เรียนรู้การทำงานของคอมเพรสเซอร์และปั๊มความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) สามารถใช้ตู้อบความร้อนในการอบเมล็ดกาแฟ
- 6) สามารถลดความชื้นของเมล็ดกาแฟได้โดยการใช้ความสัมพันธ์ของไซโครเมตริกชาร์ต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กรรมวิธีการผลิตเมล็ดกาแฟแบบแห้ง

การผลิตเมล็ดกาแฟแบบแห้งเป็นวิธีการปล่อยให้ผลกาแฟสุกเต็มที่คั่วคั่ว ผลกาแฟจะมีสีเขียวเหลือง แดงจนถึงดำความชื้นจะแตกต่างกันมากจากร้อยละ 30 จนถึงร้อยละ 65 เมื่อความชื้นต่างกันคุณภาพจะแตกต่างกันเมื่อผลกาแฟสุกเต็มที่ร่วงหล่นลงดินทำให้จุลินทรีย์ในดินปนเปื้อนได้จึงมีโอกาสเข้าทำปฏิกิริยาและทำลายได้ครั้นฝนตกทำให้ผลกาแฟเปียกอาจเกิดเชื้อราขึ้นด้วยผลกาแฟที่สุกจะเกิด Mucilage เช่นกันค่อยๆละลายและถูกดูดซึมเข้าสู่ภายในเมล็ดทำให้กลิ่นรสดีขึ้นแต่ยากที่จะควบคุมจุลินทรีย์ที่จะปนเปื้อนได้ ความผันแปรของดินฟ้าอากาศทำให้เสื่อมคุณภาพ ถ้าหากสามารถควบคุมความชื้นได้เช่นเดียวกับกรรมวิธีแบบเปียกจะทำให้คุณภาพดีมาก หลังจากเก็บผลของกาแฟที่สุกเต็มที่ที่แห้งคั่วแล้ว ความชื้นก็ยังคงสูงอยู่จึงจำเป็นต้องนำมาผึ่งแดดให้แห้ง (Sun Drying) ซึ่งจะใช้เวลาาน การตากแห้งในหลักการนี้ต้องทำให้เมล็ดกาแฟมีความชื้นประมาณร้อยละ 12 เพราะถ้าหากความชื้นประมาณร้อยละ 15 เชื้อรา แบคทีเรีย สามารถเจริญเติบโตเข้าไปทำลายคุณภาพกาแฟได้ และถ้าความชื้นประมาณร้อยละ 20 เมล็ดก็จะเกิดการงอก ซึ่งจะมีผลทำให้องค์ประกอบของกาแฟลดคุณภาพลง แต่ถ้าหากความชื้นประมาณร้อยละ 8 เมล็ดกาแฟจะหดตัวมากทำให้คุณภาพต่อยลง สำหรับกาแฟที่เอา Mucilage ออกแล้ว จะผึ่งให้แห้งโดยในระยะแรกจะตากแดดให้ความชื้นลดลงจากร้อยละ 50-65 ลงมาถึง ร้อยละ 40-42 โดยการใช้เวลาผึ่งแดด 2-3 วัน จากนั้นก็ใช้เครื่อง Machine Drier เพื่อให้ความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 12 ขั้นตอนต่อไปคือการกะเทาะเปลือกของเมล็ดกาแฟ โดยจะเป็นการเอาส่วนเปลือกที่แข็ง Parchment และส่วน Silver Skin ออก โดยวิธีการผลิตเมล็ดกาแฟแบบเปียกจะเอาเพียง Parchment และ Silver Skin ออกเท่านั้น จะใช้แรงขับเคลื่อนน้อยกว่าแบบแห้ง การแยกจะแยกเอาเพียงเมล็ดที่ปราศจาก Parchment และ Seed ออกส่วนวิธีการผลิตเมล็ดกาแฟแบบแห้ง จะแห้งทั้งลูกการเอาเปลือกออก จะใช้หลักการขัดสีด้วยเครื่อง Abrasion Machine ให้เมล็ดขัดสีกันเอง ใช้ลมร้อนเป่าให้ส่วนของ Parchment และ Silver Skin ออกจากกัน เครื่องขัดสีจะมีเกลียว เมล็ดกาแฟจะเสียดสีกันระหว่างเกลียวกับเกลียว เมล็ดจะมีทางออกและมีที่ควบคุมน้ำหนักกำหนดไว้เช่น ถ้าถึง 1 กิโลกรัม จึงจะออกได้เพื่อให้เมล็ดกาแฟขัดสีอยู่ตลอดเวลา สำหรับเนื้อกาแฟจะออกทางช่องด้านหนึ่ง อีกส่วนทางหนึ่งปัมจะดันลมเข้าไปแยก Silver Skin ออก[1]

2.2 กระบวนการอบแห้ง

2.2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้ง (Drying) คือการกำจัดความชื้นหรือน้ำที่มีอยู่ในวัสดุให้ลดลงจนมีความชื้นอยู่ในปริมาณที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษา และมีคำอีกคำหนึ่งซึ่งเรามักจะพบอยู่เป็นประจำ คือ การทำแห้ง (Dehydration) ซึ่งเป็นการกำจัดความชื้นหรือน้ำออกจากวัสดุจะกระทั่งวัสดุนั้นไม่มีความชื้นหรือเข้าใกล้มวลแห้งการอบแห้งเป็นกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวที่สำคัญกระบวนการหนึ่งเพื่อให้ผลผลิตทางการเกษตรมีความเหมาะสมต่อการเก็บรักษา คือสามารถยืดอายุการเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่เสียหาย เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทั้งนี้เนื่องจากผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีความชื้นค่อนข้างสูงขณะทำการเก็บเกี่ยวทำให้เก็บรักษาได้ไม่นาน การอบแห้งจะช่วยให้สามารถเก็บรักษาผลผลิตได้เป็นระยะเวลายาวนานขึ้น ผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญและต้องทำการอบแห้งได้แก่ ธัญพืช ผลไม้ ผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่ม ผัก สมุนไพร เป็นต้นการอบแห้งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย[2]ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราการไหลของอากาศ และประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง โดยพฤติกรรมการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนเป็นตัวกลางในการพาความชื้นออกจากวัสดุ เมื่อสมมติให้ อุณหภูมิ ความชื้นและความเร็วของอากาศเหนือผิวของวัสดุอบแห้งมีค่าคงที่ตลอดกระบวนการและมีการถ่ายเทความร้อนสู่วัสดุโดยการพาความร้อน การเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุตลอดกระบวนการอบแห้ง โดยแบ่งการอบแห้งออกเป็น 3 ช่วง[4] คือ

ช่วง A-B ช่วงนี้เป็นช่วงสถานะที่ผิวของวัสดุเข้าสู่สมดุลกับอากาศเกิดขึ้นเมื่อเริ่มทำการอบแห้ง ความร้อนจากลมร้อนจะถ่ายเทสู่ผิววัสดุจนถึงค่า ๆ หนึ่งซึ่งมีความสมดุลระหว่างผิววัสดุกับอากาศ

ช่วง B-C ช่วงนี้เป็นช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant Rate Period of Drying) ช่วงนี้ผิววัสดุยังคงชุ่มไปด้วยน้ำ ซึ่งจะถูกนำออกจากผิววัสดุด้วยการระเหยซึ่งอัตราการอบแห้งในช่วงนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราการถ่ายเทความร้อนไปยังผิวของการอบแห้ง อัตราการถ่ายเทความร้อนมีความสมดุลกับอัตราการถ่ายเทความร้อนจึงทำให้อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุอบแห้งคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศอบแห้ง

ช่วง C-D ช่วงนี้เป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Period) เนื่องจากปริมาณความชื้นภายในเนื้อวัสดุเคลื่อนที่เข้าสู่ผิวด้านนอกลดลง ณ จุด C

เมื่อกระบวนการอบแห้งดำเนินต่อไปอุณหภูมิที่ผิวของวัสดุจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดกระบวนการ โดยปกติช่วงอัตราการอบแห้งลดลงประกอบไปด้วยสองช่วงคือ

ช่วงของการอบแห้งลดลงส่วนที่ 1 (C-E) ช่วงนี้ผิวของวัสดุจะแห้งและอัตราการอบแห้งลดลง

ช่วงของการอบแห้งลดลงส่วนที่ 2 (E-D) ช่วงนี้ระนาบของการระเหยจะเคลื่อนตัวเข้าสู่ภายในเนื้อวัสดุและผลกระทบจากปัจจัยภายนอก เช่น อัตราการไหลของอากาศ มีค่าน้อยลง เมื่อพิจารณาตลอดกระบวนการอบแห้งจะพบว่าช่วงของการอบแห้งลดลงเป็นช่วงหลักที่เกิดขึ้นอัตราการอบแห้งวัสดุโดยทั่วไปที่ใช้ลมร้อนเป็นตัวกลางในการส่งผ่านความร้อนจะเกิดขึ้นช้าหรือเร็วขึ้นมีปัจจัยที่สำคัญซึ่งมีผลต่ออัตราการอบแห้งคือ

1) ลักษณะทางธรรมชาติของวัสดุ เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งของวัสดุ ถ้าสภาพทางธรรมชาติของวัสดุเอื้ออำนวยต่อการส่งผ่านความร้อนไปยังโมเลกุลของน้ำ ภายในเนื้อวัสดุและเอื้ออำนวยต่อการเคลื่อนที่ของไอน้ำ ออกจากวัสดุ เช่น วัสดุที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนโมเลกุลของน้ำในเนื้อวัสดุสามารถเคลื่อนที่ออกมาได้ง่ายทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น

2) ขนาดและรูปร่างของวัสดุ วัสดุที่มีขนาดและรูปร่างที่ทำให้อัตราส่วนของพื้นที่ต่อปริมาตรมาก จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งผ่านความร้อนให้ทั่วชิ้นวัสดุทำให้การระเหยน้ำออกจากเนื้อวัสดุดีขึ้น อัตราการอบแห้งจึงเร็วขึ้น

3) ปริมาณและการจัดเรียงวัสดุ วัสดุที่หนา มาจัดเรียงซ้อนกันหลาย ๆ ชั้นในถาดทำให้ปริมาณของวัสดุต่อถาดมากเกินไปจะทำให้วัสดุที่อยู่บริเวณตรงกลางได้รับความร้อนไม่ทั่วถึงทำให้บริเวณนั้นมีอัตราการอบแห้งที่ช้า การจัดเรียงที่เหมาะสมควรทำการจัดเรียงเป็นแบบชั้นบางเพื่อให้วัสดุได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอ

4) อุณหภูมิของอากาศร้อน เมื่ออุณหภูมิของอากาศร้อนสูงขึ้นอัตราการอบแห้งจะเร็วขึ้น เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนกับวัสดุมีมากทำให้การถ่ายเทความร้อนสู่น้ำในเนื้อวัสดุได้ดีจึงทำให้น้ำในเนื้อวัสดุเคลื่อนที่และระเหยได้เร็วขึ้น ถึงแม้ว่าอุณหภูมิที่สูงจะทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้นแต่ก็ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมกับวัสดุที่ใช้ในการอบแห้งด้วย

5) ความชื้นของอากาศร้อน หากความชื้นของอากาศร้อนมีค่ามากจะมีผลให้การเคลื่อนที่ของน้ำและการระเหยของไอน้ำออกจากเนื้อวัสดุได้ยาก

6) ความดันของบรรยากาศ การอบแห้งโดยทั่วไปมักทำที่ความดันหนึ่งบรรยากาศ ถ้าหากมีการลดความดันของบรรยากาศในขณะที่ทำการอบแห้งจะทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น เนื่องจากจะทำให้จุดเดือดของน้ำลดลง ซึ่งการอบแห้งประเภทนี้เหมาะกับการอบแห้งวัสดุที่เสื่อมคุณภาพได้ง่ายเนื่องจากความร้อน เครื่องอบแห้งมีการลดความดันในสภาวะการอบแห้งเช่น เครื่องอบแห้งสุญญากาศแบบลูกกลิ้ง (Vacuum Drum Dryer) เป็นต้น

7) ความเร็วลมร้อน ถ้าความเร็วของลมร้อนมีค่ามากจะทำให้เกิดการระเหยของน้ำที่ผิวหน้าวัสดุ ได้ดีขึ้นทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น

8) สมบัติเชิงความร้อนและฟิสิกส์ของวัสดุ คุณสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งคือ ความร้อนจำเพาะ สภาพการนำความร้อน และการแพร่ความร้อน ส่วนคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ได้แก่ ความหนาแน่นจริง ความหนาแน่นปรากฏ และสัดส่วนช่องว่างอากาศในกองวัสดุการส่งผ่านความร้อนภายในผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นโดยการนำ เนื่องจาก internal gradient ของอุณหภูมิและมีเพียงเล็กน้อยที่เกิดจากการพาเนื่องจากการเคลื่อนที่ของความชื้น การเคลื่อนที่ของความชื้นในวัสดุอาหารอาจเกิดขึ้นจากกลไกที่ต่างกันคือ

8.1) Capillary Flow เนื่องจาก Gradients ของ Capillary Suction Pressure

8.2) การแพร่กระจายของเหลวเนื่องจาก Gradient ของความเข้มข้น

8.3) การแพร่กระจายของไอเนื่องจาก Partial Vapor-Pressure Gradients

8.4) Viscous Flow เนื่องจาก Total Pressure Gradient

ซึ่งมีสาเหตุมาจากความดันภายนอกหรืออุณหภูมิที่สูงการถ่ายเทมวลจากผลิตภัณฑ์ไปสู่สิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นเนื่องจากการพาความร้อน ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของ Partial Vapor Pressure ที่ Boundary Layer ในบริเวณรอยต่อของอากาศและผลิตภัณฑ์ การระเหยโดยตรงเกิดขึ้นเมื่อความดันไอในผิวมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศอย่างเช่นในกรณีนี้ของ Vacuum Drying และ Freeze Drying การสมดุลความร้อนอย่างง่ายของกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อน Brooker et al. (1992) ได้แนะนำสมการซึ่งทำการสมดุลพลังงานของอากาศกับความชื้นของวัสดุ โดยสมมติให้ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ จากวัสดุขึ้น มีค่าเท่ากับการเปลี่ยนแปลงความร้อนสัมผัสของอากาศ ซึ่งมีรูปสมการคือ สำหรับปริมาณน้ำ ที่ระเหยออกจากวัสดุ สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนัก เริ่มต้น ความชื้นเริ่มต้น และความชื้นสุดท้ายของวัสดุ [7]

2.2.2 หลักการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

การทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศโดยทั่วไปต้องอาศัยสารทำความเย็นที่ไหลอยู่ในระบบท่อปิดโดยมีเครื่องอัดไอสารทำความเย็นหรือคอมเพรสเซอร์ทำหน้าที่ เพิ่มความดันให้แก่สารทำความเย็น ซึ่งเป็นไอให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น (สูงกว่าอากาศภายนอก) แล้วระบายทิ้งที่แผงท่อระบายความร้อน (คอยล์ร้อนหรือคอนเดนเซอร์) ซึ่งติดตั้งอยู่ภายนอกห้อง โดยมีพัดลมทำหน้าที่เป่าระบายความร้อนที่แผงระบายความร้อนนี้ สารทำความเย็นภายหลังจากคอยล์ร้อนจะมีสถานะเป็นของเหลวที่ความดันสูง จะไหล

ผ่านเข้าชุดลดความดัน ก่อนจะไหลเข้าไปยังแผงท่อทำความเย็น (คอยล์เย็นหรือแฟนคอยล์) ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในห้อง สารทำความเย็นจะดูดความร้อนจากอากาศบริเวณโดยรอบของแผงท่อทำความเย็นทำให้อากาศที่ไหลผ่านมีอุณหภูมิต่ำลงและถูกส่งผ่านลมเย็นโดยพัดลมที่ติดตั้งอยู่ที่แผงทำความเย็นนี้ไปสู่บริเวณห้องเพื่อให้ได้อุณหภูมิตามต้องการ สารทำความเย็นภายหลังผ่านทางแผงคอยล์ทำความเย็นแล้วจะมีสถานะเป็นไอความดันต่ำก่อนจะไหลเข้าสู่เครื่องอัดไอสารทำความเย็น ทำให้เกิดการ ทำงานวัฏจักรไปเรื่อย ๆ ดังรูปที่ 2.1 รูปภาพแสดงระบบปรับอากาศ

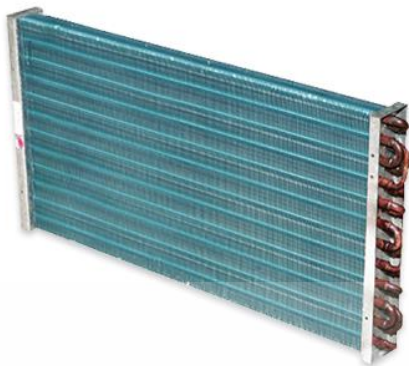


รูปที่ 2.1 รูปภาพแสดงระบบปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศ ประกอบด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญ 9 อย่างดังนี้

1) แผงท่อทำความเย็น (Evaporator)

แผงท่อทำความเย็นหรือคอยล์เย็น คือตัวสร้างความเย็น มีรูปร่างเป็นเส้นท่อขดไปตามความยาวของเครื่อง และจะมีแผ่นครีบอลูมิเนียมบาง ๆ หุ้มท่อเหล่านั้นอยู่ดังรูปที่ 2.2 แผงท่อทำความเย็นภายในแผงท่อทำความเย็นจะมีสารทำความเย็นไหลเวียนอยู่ เพื่อรับลมจากใบพัดและส่งลมเย็นออกไป



รูปที่ 2.2 แผงท่อทำความเย็น

2) คอมเพรสเซอร์ (Compressor)

คอมเพรสเซอร์คือ หัวใจของระบบปรับอากาศ เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ใช้ไฟฟ้า ทำหน้าที่อัดสารทำความเย็นหรือที่เราเรียกว่าน้ำยาแอร์ ในสถานะที่เป็นไอส่งตามไปตามท่อน้ำยาแอร์ที่เป็นท่อทองแดง ไปยังเครื่องควบแน่นหรือคอนเดนซิ่งยูนิตที่ทำหน้าที่ควบแน่นสารทำความเย็นที่มีแรงดันสูง และอยู่สถานะเป็นไอ หรือเป็นก๊าซโดยการระบายความร้อนออกจากน้ำยาแอร์ด้วยพัดลมระบายอากาศ ที่เรามองเห็นจากภายนอกตัวคอยล์ร้อนคือพัดลมที่ไว้คอยระบายความร้อนหลังจากถูกควบแน่นแล้วสารทำความเย็นแรงดันสูงจะถูส่งต่อไปยังชุดเครื่องระเหย หรือคอยล์เย็น หรือแฟนคอยล์ ผ่านชุดลดแรงดัน(แคปทิว หรือเอ็กแพนชันวาล์ว) ลดแรงดันสูงลงและเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซ แอมยังมีอุณหภูมิลดลง เราจึงใช้พัดลมในคอยล์เย็นนี้แหละระบายความเย็นออกจากท่อเพื่อปรับอากาศใน ห้องนั้นให้เย็นลง และสารทำความเย็นที่เหลือก็ถูกดูดกลับมายังคอมเพรสเซอร์อีกครั้ง เพื่อกลับเข้าสู่ระบบทำความเย็นต่อไปเป็น วัฏจักรความเย็น ไม่สิ้นสุดจนกว่าคอมเพรสเซอร์จะหยุดทำงาน

3) แผงท่อระบายความร้อน

เชื่อมต่อกับคอมเพรสเซอร์มีเป็นลักษณะเป็นท่อตะแกรง ทำหน้าที่ระบายความร้อนของน้ำยาที่ส่งมาจากคอมเพรสเซอร์ ออกสู่ภายนอก

4) พัดลมส่งลมเย็น (Blower)

ใบพัดลมคอยล์เย็น หรือ โบลเวอร์ ทำหน้าที่หมุนเวียนอากาศในห้องเพื่อถ่ายเทความเย็น โดนได้กำลังมาจากมอเตอร์ไฟฟ้า

5) พัดลมระบายความร้อน

อยู่ด้าน หลังแผงท่อระบายความร้อน ทำหน้าที่ดูดอากาศจากภายนอกอาคาร เข้ามาผ่านแผงท่อระบายความร้อนเพื่อให้ น้ำยาแอร์เย็นลงและกลั่นตัวกลายเป็น ของเหลวอีกครั้ง

6) แผ่นกรองอากาศ

ในเครื่องปรับอากาศทุกเครื่องจำเป็นต้องมีแผ่นกรองอากาศหรือฟิลเตอร์ เพราะฟิลเตอร์จะทำหน้าที่เป็นด่านแรกที่จะกรองอากาศโดยจะดักจับฝุ่นละอองและ สิ่งสกปรกอื่น ๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศไม่ให้ผ่านเข้าไปยังตัวแผงขดท่อคอยล์เย็นและ เป่ากลับ เข้าไปสู่บรรยากาศภายในห้องได้อีก

7) หน้ากากเครื่องที่มีแผ่นเคลือบกระจายลมเย็น

เป็นอุปกรณ์รับลมและกระจายลมเย็นไปยังพื้นที่ภายในห้อง

8) อุปกรณ์ควบคุมสำหรับการควบคุมอุณหภูมิห้อง

เป็นอุปกรณ์ควบคุมเครื่องปรับอากาศระยะไกลทำหน้าที่ ควบคุมการเปิด-ปิด เครื่อง ตั้งค่าอุณหภูมิห้อง ความเร็วพัดลม เป็นต้น

9) อุปกรณ์ป้องกันสารทำความเย็น

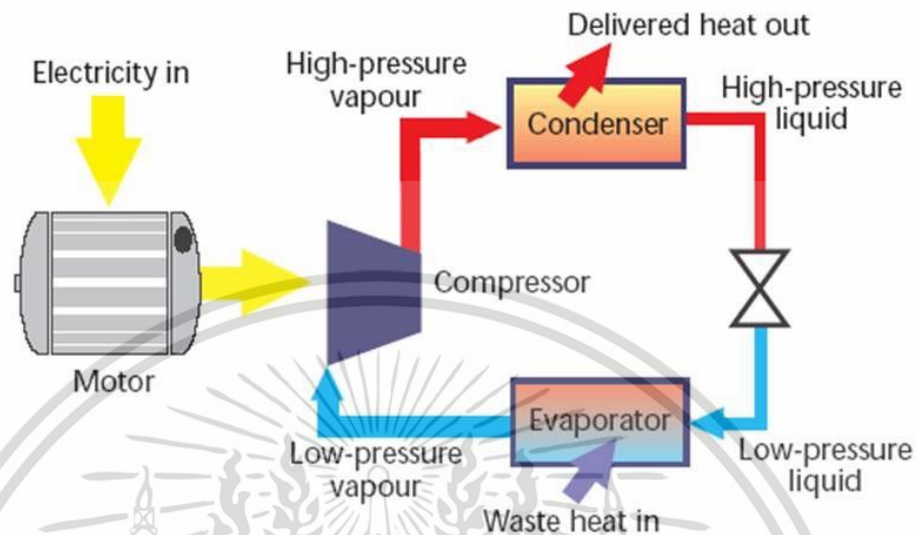
ทำหน้าที่ควบคุมการป้องกันสารทำความเย็น

2.2.3 ระบบปั๊มความร้อน

ปั๊มความร้อน คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำจากแหล่งหนึ่ง มาทำให้ร้อนขึ้น แล้วส่งไปยังแหล่งที่ต้องการซึ่งมีความร้อนสูง โดยใช้อุปกรณ์เช่นเดียวกับเครื่องปรับอากาศ แต่สามารถใช้ ความร้อนที่ออกจากเครื่องไปทำน้ำร้อน หรือลมร้อน ส่วนความเย็นที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นผลพลอยได้ เพื่อทำลมเย็นไปใช้ร่วมในระบบปรับอากาศ หรือนำไปผสมกับอากาศบริสุทธิ์เพื่อเข้าเครื่องทำความเย็น ต่อไปดังรูปที่ 2.3 ซึ่งมีหลักการทำงานคือ

- 1) สารทำความเย็น R134a รับความร้อนจากอากาศที่แผงท่อทำความเย็นซึ่ง กระบวนการนี้จะทำให้ได้ลมเย็นเป็นผลพลอยได้ สารทำความเย็นจะกลายเป็น แก๊ส
- 2) สารทำความเย็นจะเคลื่อนที่ไปที่คอมเพรสเซอร์ซึ่งสารทำความเย็นจะถูกบีบอัดให้มี ความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น
- 3) สารทำความเย็นเคลื่อนที่เข้าสู่คอนเดนเซอร์เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับน้ำหรือ อากาศ และสารทำความเย็นที่เย็นตัวลงจะกลั่นตัวกลับเป็นของเหลว

- 4) สารทำความเย็นเคลื่อนที่สู่อะกิกแพนชั้นวาล์ว ซึ่งทำให้อุณหภูมิต่ำลงอีก
- 5) สารทำความเย็นเคลื่อนที่สู่อะกิกแพนชั้นวาล์ว ซึ่งทำให้อุณหภูมิต่ำลงอีก



รูปที่ 2.3 แสดงวัฏจักรการทำงานของปั๊มความร้อน รูปจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทน

2.2.4 แผนภูมิไซโครเมตริก

Psychrometric เป็นแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์สมบัติของผสมระหว่างอากาศและไอน้ำ เนื่องจากอากาศในบรรยากาศจะมีไอน้ำปนอยู่ ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อสภาวะการแปรรูปอาหารและการเก็บรักษาอาหาร เช่น ปรับอากาศ เพื่อการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำโดยการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ การแช่เยือกแข็ง การทำแห้งการควบแน่น อุปกรณ์เพิ่มความชื้น เป็นต้น

แผนภูมิไซโครเมตริกได้มีการสร้างขึ้นโดยหลายหน่วยงาน แต่ที่นิยมใช้คือ แผนภูมิของ The American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineering หรือ ASHRAE ดังรูปที่ 2.4 และแผนภูมิของแครีเรีย (Carrier) ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งในแผนภูมิจากจะมีรายละเอียดปลีกย่อยแตกต่างกัน แต่จะมีโครงสร้างที่สำคัญเหมือนกัน เช่น แผนภูมิของ ASHRAE จะมีโปรแทรกเตอร์ ทางด้านบนซ้ายของแผนภูมิแสดงสเกลอัตราส่วนผลต่างเอ็นทัลปีต่อผลต่างอัตราส่วนความชื้น และสเกลอัตราส่วนความร้อนสัมผัสต่อความร้อนรวม ในขณะที่แผนภูมิของแครีเรียอาจแสดงสเกลอัตราส่วนความร้อนสัมผัส (Sensible Heat Ratio, SHR) ไว้ในแกนตั้งด้านขวามือของแผนภูมิ เป็นต้น

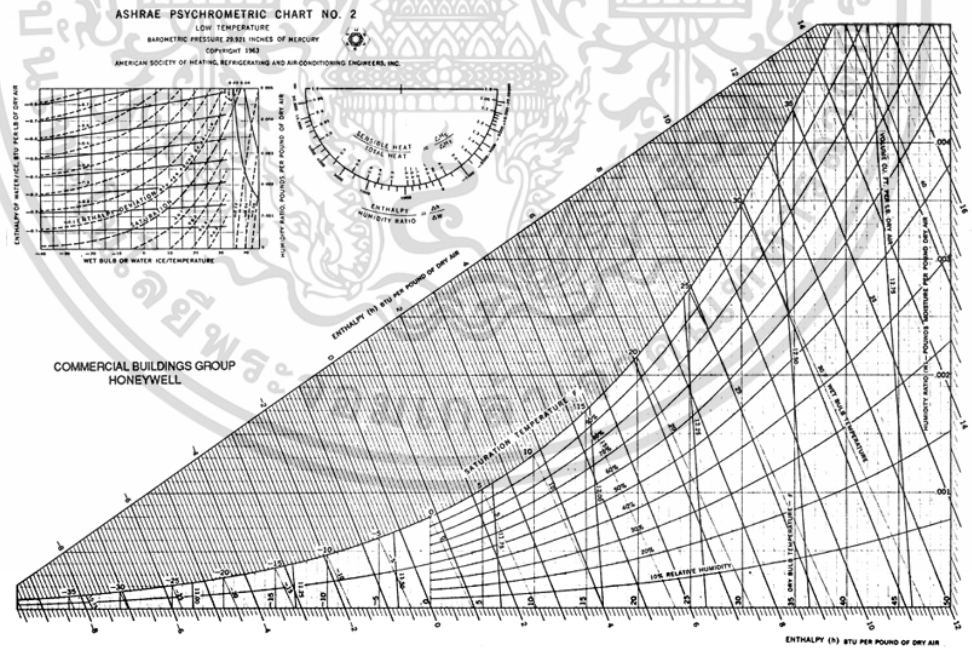
โดยทั่วไปแผนภูมิไซโครเมตริกใช้ได้สำหรับความดันคงที่ค่าหนึ่งเท่านั้น ความดันของแผนภูมิไซโครเมตริกที่นิยมใช้กันคือ ความดันที่ระดับน้ำทะเล ที่ความดันนี้จะมีแผนภูมิอยู่ด้วยกัน 3 ระดับ อุณหภูมิ คือ แผนภูมิสำหรับอุณหภูมิต่ำ -40 °F ถึง -50 °F แผนภูมิสำหรับอุณหภูมิช่วง 32 °F ถึง

120 °F และแผนภูมิสำหรับช่วง 60 °F ถึง 250 °F นอกจากนี้ยังมีแผนภูมิที่ความสูงจากระดับน้ำทะเล 5,000 Ft แต่มีเฉพาะช่วงอุณหภูมิปกติเท่านั้น

ในกรณีที่ต้องการทราบสมบัติของอากาศที่ความดันอื่น ๆ ซึ่งไม่มีในแผนภูมิไซโครเมตริก อาจคำนวณจากสมการสมบัติของอากาศโดยตรง หรืออ่านค่าจากแผนภูมิไซโครเมตริกที่มี ปรับแก้ค่าที่อ่านได้ ด้วยตัวปรับค่าที่เหมาะสม ซึ่งปกติถ้าความดันแตกต่างกันไม่เกิน 1 นิ้วปรอท (in Hg.) ความผิดพลาดจะมีค่าน้อยมาก

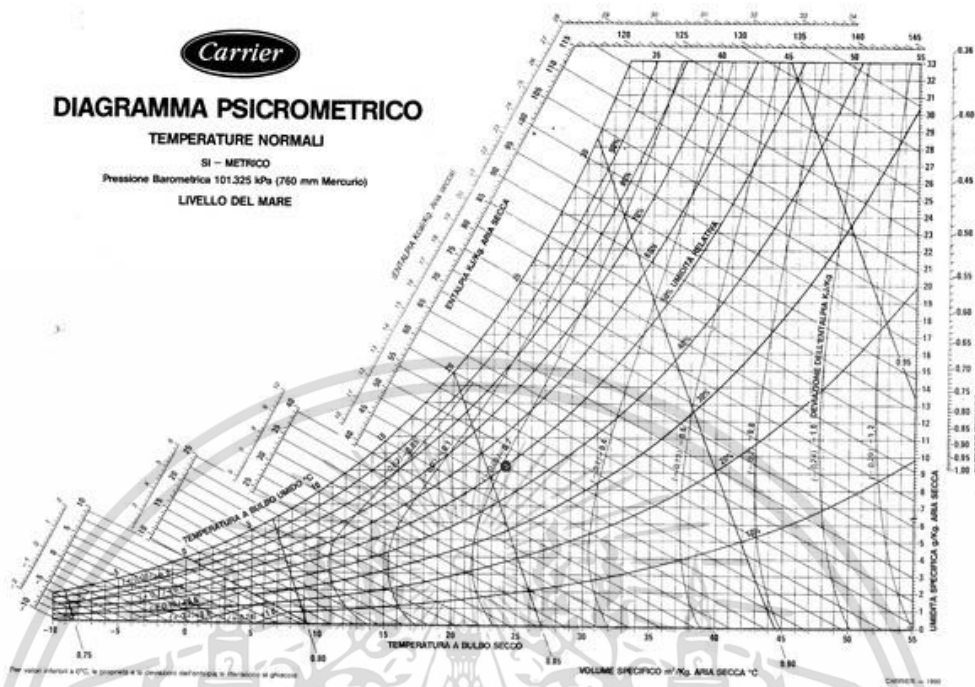
สมบัติของอากาศกับไอน้ำในอากาศที่มีในแผนภูมิไซโครเมตริก ประกอบด้วย

- ความชื้นสัมพัทธ์
- อุณหภูมิกระเปาะเปียก
- อุณหภูมิกระเปาะแห้ง
- อุณหภูมิจุดน้ำค้าง
- ความชื้นจำเพาะ
- เอนทัลปี



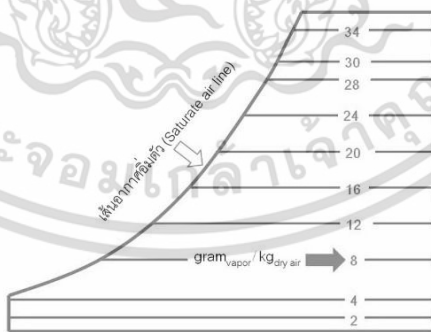
รูปที่ 2.4 แผนภูมิไซโครเมตริกของ ASHRAE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แผนภูมิไซโครเมตริกของ Carrier

แต่เมื่อปริมาณไอน้ำเพิ่มไปถึงจุดหนึ่งที่อากาศไม่สามารถรองรับปริมาณไอน้ำดังกล่าวไว้ได้ ไอน้ำส่วนที่เกินก็จะเริ่มกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำ ซึ่งเราจะเรียกว่าจุดอิ่มตัวของไอน้ำในอากาศหรือเรียกอากาศที่จุดนี้ว่าอากาศอิ่มตัวซึ่งก็คือสภาวะที่อากาศไม่สามารถที่จะดูดซับไอน้ำไว้ในตัวมันได้อีกแล้ว ในแผนภูมิไซโครเมตริกเส้นอากาศอิ่มตัว คือเส้นโค้งที่อยู่ทางด้านซ้ายของแผนภูมิไซโครเมตริก ดังรูปที่ 2.6



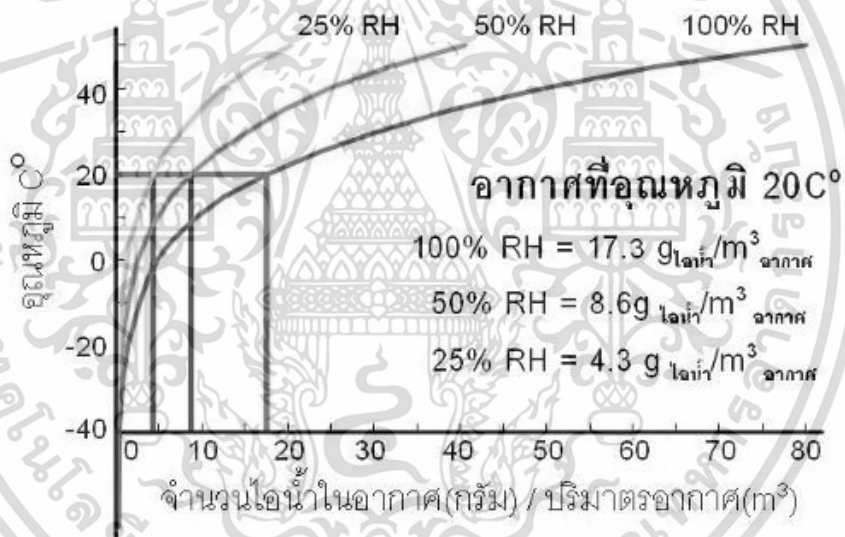
รูปที่ 2.6 แสดงเส้นอัตราส่วนความชื้น

1) อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio, w) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าค่าความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity) คืออัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำในอากาศ (m_v) กับมวลของอากาศแห้ง (m_o) ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริกเส้นอัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio Line) เป็นเส้นที่ลากจากเส้นไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Vapor) จากด้านซ้ายมือไปยังด้านขวามือดังรูปที่ 2.7 โดยที่ค่าอัตราส่วนความชื้นด้านล่างจะน้อยเพราะอุณหภูมิต่ำส่วนที่อุณหภูมิสูงอัตราส่วนความชื้นก็จะเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งอัตราส่วนความชื้นที่ปรากฏในแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นอัตราส่วนมวลของไอน้ำในอากาศเป็นกรัมต่อมวลอากาศแห้งเป็นกิโลกรัม

2) ความชื้นสัมพัทธ์ คือความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนมวลของไอน้ำในอากาศต่อจำนวนมวลของไอน้ำอิ่มตัวในสภาวะที่พิจารณา และเมื่อเรายังคงปล่อยไอน้ำเข้าไปเรื่อย ๆ จนปริมาณไอน้ำที่ผสมอยู่ในอากาศมากจนอากาศไม่สามารถรองรับปริมาณไอน้ำไว้ได้ไอน้ำส่วนเกินเหล่านั้นก็จะกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำ ปริมาณไอน้ำสูงสุดที่อากาศจะรับไว้ได้นี้ก็ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศยิ่งอากาศมีอุณหภูมิสูงจำนวนไอน้ำที่อากาศสามารถอุ้มไว้ได้ก็จะยิ่งสูงตามไปด้วยดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับปริมาณไอน้ำในอากาศ

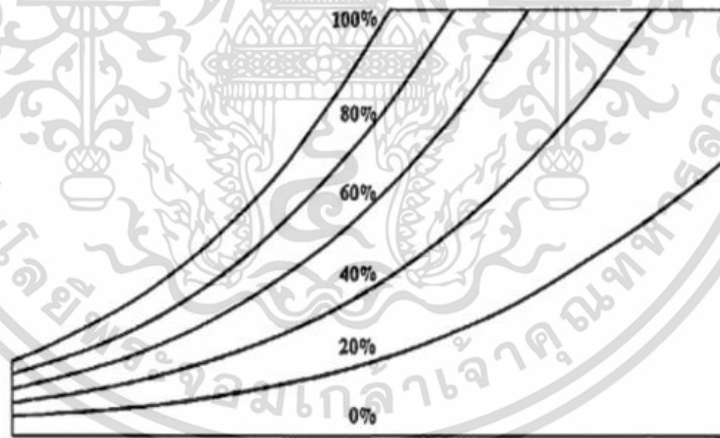
ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอน้ำที่อากาศสามารถรับไว้ได้กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

อุณหภูมิ °C (T _{ab})		5	10	15	20	25	30	35	40
จำนวนไอน้ำใน อากาศ กรัมต่ออากาศ 1 m 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 1 แสดงปริมาณไอน้ำที่อากาศสามารถรับไว้ได้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ เช่น ที่อุณหภูมิ 20 °C ความดันบรรยากาศ อากาศสามารถรองรับไอน้ำไว้ได้สูงสุดเป็นจำนวน 17.3 g ต่อปริมาตรอากาศ 1 m³ ซึ่งจุดนี้เองคือจุดที่มีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100% (100% RH) จากข้างต้นทำให้เราเข้าใจแล้วว่าจุดที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100% คือจุดที่มีปริมาณไอน้ำในอากาศจำนวนมากที่สุดที่อากาศสามารถรองรับไว้ได้ ดังนั้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ อุณหภูมิที่นำมาพิจารณาก็คือจะพิจารณาปริมาณไอน้ำในอากาศที่ 100% ของอุณหภูมินั้น ๆ เปรียบเทียบกับปริมาณไอน้ำในอากาศที่มีอยู่จริง ณ อุณหภูมินั้น ๆ เช่นที่ อุณหภูมิ 20 °C อากาศสามารถรองรับไอน้ำไว้ได้สูงสุด 17.3 g ระบายต่อ m³ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ก็จะมีปริมาตรไอน้ำเป็นครึ่งหนึ่งคือ $(17.3/2) = 8.65$ g ระบายต่อ m³ และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 25% ปริมาณไอน้ำในอากาศก็จะมีอยู่ $(17.3/4) = 4.325$ g ระบายต่อ m³

เส้นแสดงความชื้นสัมพัทธ์ในไซโครเมตริกชาร์ตดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยเส้นแรกทางขวามือสุดหรือเส้นที่อยู่ด้านนอกคือเส้นความชื้นสัมพัทธ์ 100% นั้นจะเป็นเส้นเดียวกับเส้นอากาศอิ่มตัวจุดที่อากาศสามารถรองรับปริมาณไอน้ำได้สูงสุดที่อุณหภูมิต่าง ๆ ถัดมาจากเส้นความชื้นสัมพัทธ์ 100% ค่าความชื้นสัมพัทธ์ก็จะลดต่ำลงมาเรื่อย ๆ อากาศที่มีปริมาณความชื้นอยู่เท่ากันแต่เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงค่าความชื้นสัมพัทธ์จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ดังรูป 2.8

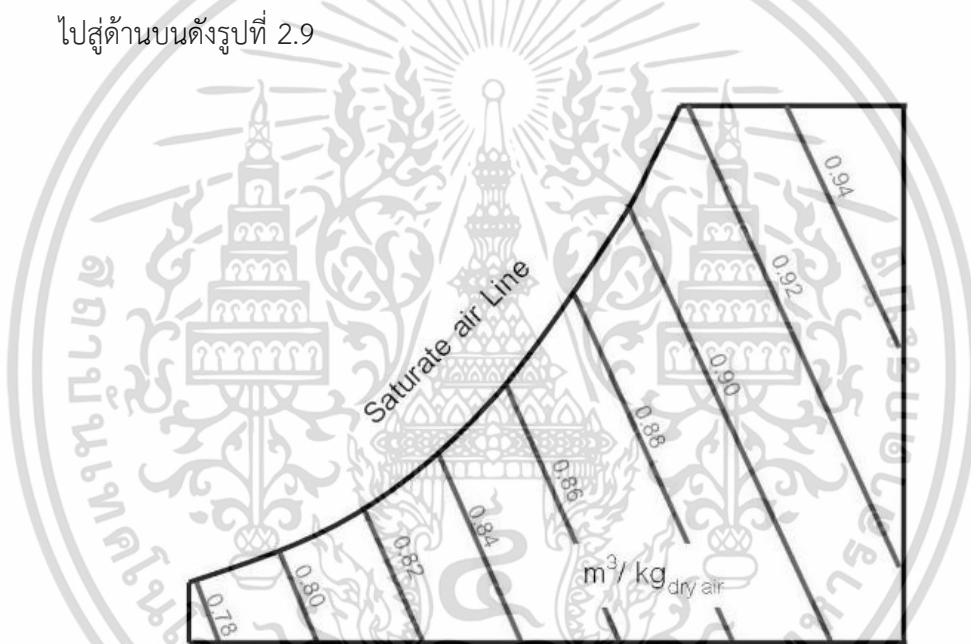


รูปที่ 2.8 แสดงเส้นความชื้นสัมพัทธ์

3) ปริมาตรจำเพาะของอากาศ

ปริมาตรจำเพาะ คืออัตราส่วนระหว่างปริมาตรต่อมวลของอากาศ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม ในระบบ SI เป็นที่ทราบกันดีว่าอากาศมีคุณสมบัติในการขยายตัวตามอุณหภูมิที่ความดันคงที่ในสภาวะความดันคงที่ถ้าอุณหภูมิต่ำอากาศจะมีปริมาตรจำเพาะน้อยหมายถึง

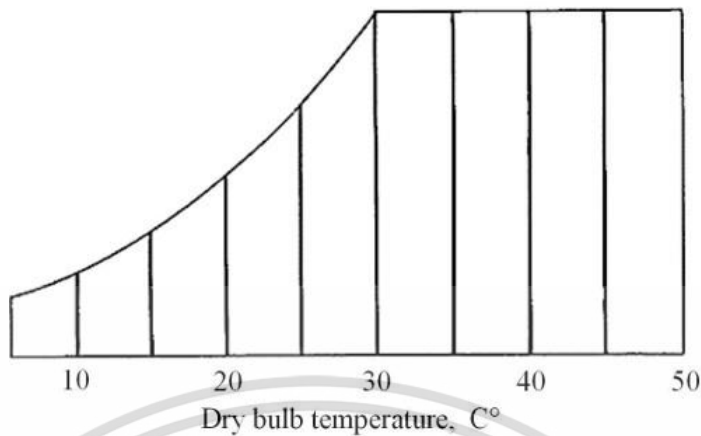
น้ำหนักอากาศต่อหน่วยปริมาตรจะมากในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิของอากาศสูงขึ้นอากาศจะขยายตัวออกทำให้ปริมาตรจำเพาะของอากาศของอากาศมากขึ้น ซึ่งก็คือน้ำหนักของอากาศต่อหน่วยปริมาตรจะลดลงหรืออากาศเบาขึ้น ตัวอย่างเช่นอากาศที่ความดันบรรยากาศอุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 60% จะมีปริมาตรจำเพาะเท่ากับ 0.825 m³/kg แต่ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนไปเป็น 25 °C ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 60% เท่าเดิม ปริมาตรจำเพาะของอากาศจะเท่ากับ 0.861 m³/kg จะเห็นว่าอุณหภูมิเปลี่ยนไป 10 °C แต่ปริมาตรจำเพาะอากาศเปลี่ยนไป 4.4% ในการคำนวณเราสามารถหาค่าปริมาตรจำเพาะสำหรับหาอัตราการไหลเชิงปริมาตรหรืออัตราการไหลเชิงมวล ของอากาศ สำหรับเส้นแสดงปริมาตรจำเพาะที่อยู่ในไซโครเมตริกชาร์ตนั้นจะเป็นเส้นทแยงจากซ้ายไปขวา โดยเส้นที่อยู่ด้านล่างจะมีค่าปริมาตรจำเพาะน้อยและเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ไปสู่ด้านบนดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงเส้นปริมาตรจำเพาะ

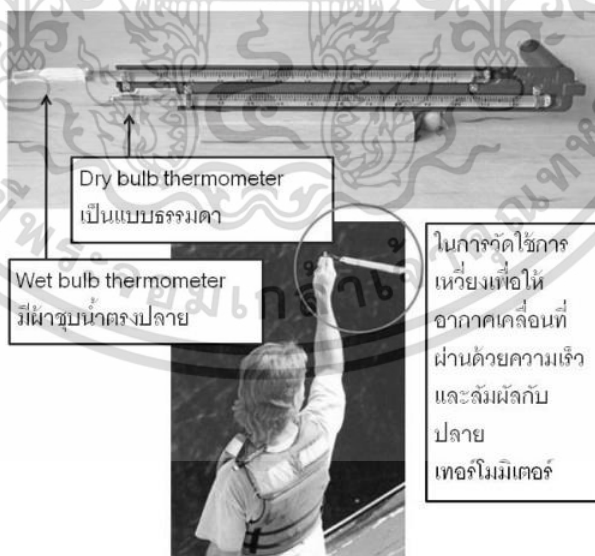
4) อุณหภูมิ

4.1) อุณหภูมิกระเปาะแห้ง คืออุณหภูมิที่วัดจากเทอร์โมมิเตอร์ธรรมดา ในแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นเส้นตามแนวตั้งอยู่ในแผนภูมิโดยค่าจะเรียงตั้งแต่น้อยไปหามากจากซ้ายมือไปยังขวามือ ดังรูปที่ 2.10



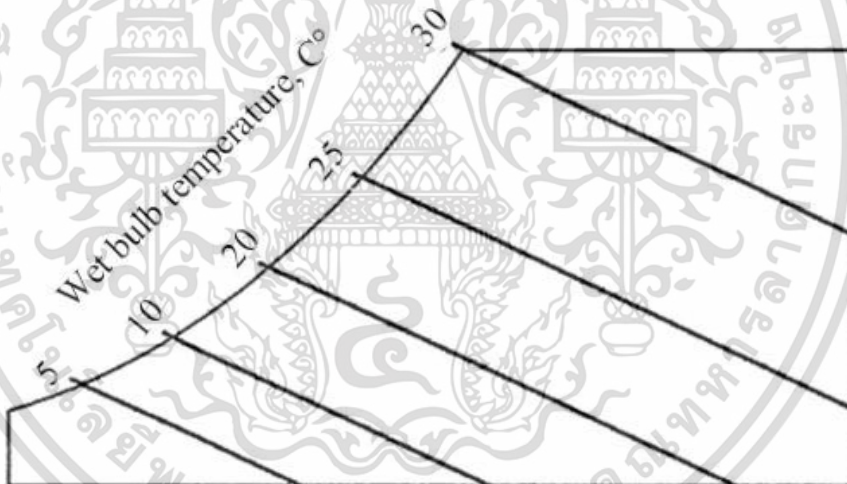
รูปที่ 2.10 เส้นอุณหภูมิกะเปาะแห้งบนแผนภูมิไซโครเมตริก

4.2) อุณหภูมิกะเปาะเปียก สำหรับการวัดอุณหภูมิกะเปาะเปียกในการวัดใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบเดียวกับที่วัดแบบกระเปาะแห้ง แต่ที่กระเปาะปลายเทอร์โมมิเตอร์จะมีผ้าชุบน้ำพอมุ่ม ๆ พันกระเปาะเอาไว้ดังรูปที่ 2.11 และในตอนวัดก่อนที่จะอ่านต้องทำให้ปลายกระเปาะเปียกดังกล่าวนั้นที่ด้วยความเร็วค่าหนึ่ง โดยปกติในการวัดจะใช้เชือกผูกและเหวี่ยงตัวเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกดังกล่าวให้เคลื่อนที่สักระยะหนึ่งแล้วจึงอ่านค่าอุณหภูมิ ที่เป็นเช่นนี้เพราะหากความชื้นในอากาศขณะที่ทำการวัดเวลาที่เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกเคลื่อนที่ผ่านอากาศก็จะทำให้ความชื้นที่อยู่ที่ผ้าชุบน้ำดังกล่าวระเหยได้ง่ายเพราะความชื้นในอากาศมีน้อย



รูปที่ 2.11 เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะแห้งและแบบกระเปาะเปียก

ในกระบวนการการระเหยของความชื้นของผ้าชุบน้ำที่ติดอยู่ที่ปลายเทอร์โมมิเตอร์แบบ กระจกเปียกนั้นจะดูดความร้อนรอบตัวกระจกเป่ามาทำให้ความชื้นเปลี่ยนสถานะจากของเหลว กลายเป็นไอ ดังนั้นจึงทำให้อุณหภูมิที่วัดได้หรืออุณหภูมิกระจกเป่าเปียกจะต่ำกว่าอุณหภูมิ กระจกเป่าแห้ง ในกรณีที่ในอากาศมีความชื้นอยู่มาก ความชื้นที่ผ้าที่หุ้มกระจกเป่าไว้จะระเหยได้ ยากดังนั้นความร้อนที่ใช้ในการระเหยตัวก็จะน้อยส่งผลให้ค่าที่วัดได้จะใกล้เคียงกับอุณหภูมิ กระจกเป่าแห้งดังที่กล่าวข้างต้นอุณหภูมิกระจกเป่าเปียกจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณความชื้นที่มีอยู่ใน อากาศในจุดที่ทำการวัด ถ้าความชื้นในอากาศน้อยความแตกต่างของอุณหภูมิกระจกเป่าแห้งกับ อุณหภูมิกระจกเป่าเปียกจะมาก ถ้าความชื้นในอากาศมากความแตกต่างของอุณหภูมิที่วัดได้จะ น้อยและอุณหภูมิกระจกเป่าแห้งกับกระจกเป่าเปียกจะเท่ากันที่เส้นอากาศอิ่มตัวหรือจุดที่ความชื้น สัมพัทธ์เท่ากับ 100% สำหรับเส้นอุณหภูมิกระจกเป่าเปียกที่อยู่ในแผนภูมิไซโครเมตริกนั้นจะเป็น ดังรูปที่ 2.12 โดยจะเอียงทแยงจากซ้ายไปขวาและค่าจะเพิ่มขึ้นจากน้อยไปมากจากด้านซ้ายไป ยังด้านขวา



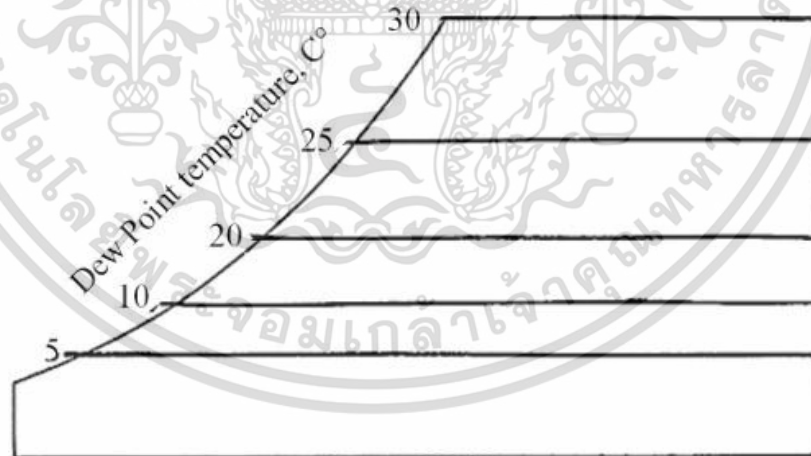
รูปที่ 2.12 เส้นอุณหภูมิกระจกเป่าเปียกบนแผนภูมิไซโครเมตริก

4.3) อุณหภูมิหยดน้ำค้าง คือ อุณหภูมิที่ความชื้นในอากาศเริ่มกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเมื่อ อากาศถูกลดอุณหภูมิที่ความดันคงที่ อีกนัยยะหนึ่งก็คืออุณหภูมิอิ่มตัวของไอน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับ ความดันของไอน้ำ

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอน้ำที่อากาศสามารถรับไว้ได้กับอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิหยดน้ำค้าง

อุณหภูมิ, C° (Tdb)	5	10	15	20	25	30	35
RH100% T _{dew point} , C°	6.8	5.0 C°	9.3	12.8	14.9 C°	17.3	20.0 C°
RH60% T _{dew point} , C°	4.0	-1.8 C°	5.6	7.7	7.3 C°	10.4	12.0 C°
RH50% T _{dew point} , C°	3.4	-4.6 C°	4.6	6.4	4.7 C°	8.6	9.3 C°
RH25% T _{dew point} , C°	1.7	-12 C°	2.3	3.2	-4.4 C°	4.3	-0.4 C°

อุณหภูมิหยดน้ำค้างของอากาศที่จุดต่าง ๆ สามารถหาได้ในไซโครเมตริกดังรูปที่ 2.13 โดยลากเส้นจากจุดนั้นขนานไปกับเส้นปริมาตรจำเพาะไปทางขวามือไปชนกับเส้นอากาศอิ่มตัว



รูปที่ 2.13 แสดงการหาจุดน้ำค้างที่สถานะที่กำหนด

5) เส้นอากาศอิ่มตัว

เป็นเส้นที่อยู่ในแนวเดียวกันเส้นความชื้นสัมพัทธ์ด้านนอกสุดซ้ายมือในแผนภูมิไซโครเมตริกหรือเป็นเส้นปิดแผนภูมิไซโครเมตริกทางด้านซ้ายมือ เส้นอากาศอิ่มตัวก็คือเส้นความชื้น

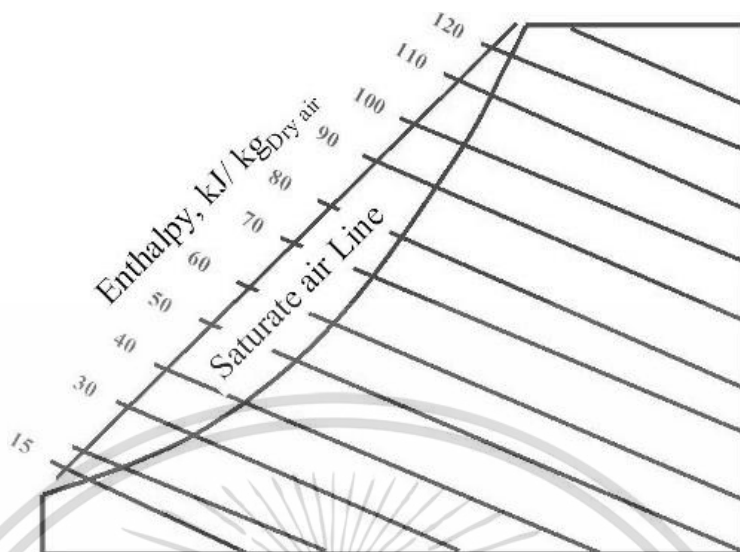
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมพัทธ์ 100% (100%RH) ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อเรื่องความชื้นสัมพัทธ์ว่าจุดอากาศอิ่มตัวก็คือจุดที่อากาศ ณ อุณหภูมินั้น ๆ สามารถรองรับไอน้ำไว้ได้มากที่สุดสำหรับจำนวนไอน้ำที่อากาศสามารถรับไว้ได้มากที่สุดที่อุณหภูมิต่าง ๆ นั้นดังแสดงในช่องความชื้นสัมพัทธ์ 100% (100%RH) ในตารางที่ 1 และตารางที่ 2

6) เอลทาลปี

ในทางเทอร์โมไดนามิกค่าเอลทาลปี คือค่าที่เป็นตัวบ่งบอกถึงระดับพลังงานของของไหล ซึ่งรวมถึงอากาศด้วย ซึ่งเป็นค่าพลังงานภายในของของไหลบวกกับพลังงานเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความดันและปริมาตรของของไหล

สำหรับค่าเอลทาลปีเราสามารถเปิดได้จากตารางไอน้ำอิ่มตัวในตำราเทอร์โมไดนามิกต่าง ๆ ได้ ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทั้งสามอย่างข้างต้นมักจะรวมอยู่ในรูป $u + pv$ ดังนั้นเพื่อเป็นความสะดวกในการคำนวณเราจึงให้ค่าจำกัดความเรียกผลรวมของคุณสมบัติทั้งสามตัวว่าเอลทาลปี โดยที่ถ้าเป็นเอลทาลปีต่อหน่วยมวลเราจะเรียกว่าเอลทาลปีจำเพาะมีหน่วยเป็น พลังงานต่อมวล สำหรับของไหลที่ความดันบรรยากาศค่าเอลทาลปีจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิโดยที่ถ้าอุณหภูมิมากค่าเอลทาลปีจะมากตามไปด้วย เช่น อากาศที่อุณหภูมิสูงจะมีค่าเอลทาลปีมากกว่าอากาศที่อุณหภูมิต่ำ เช่นถ้าเราต้องการที่จะลดอุณหภูมิอากาศจากอุณหภูมิ 40 °C ที่ความชื้นสัมพัทธ์หนึ่งให้เหลือ 20 °C ที่ความชื้นสัมพัทธ์หนึ่งนำค่าเอลทาลปีของจุดแรกไปลบเอลทาลปีที่จุดหลังจะสามารถคำนวณภาระทางความร้อนของกระบวนการลดอุณหภูมิในกระบวนการดังกล่าวได้



รูปที่ 2.14 เส้นแสดงค่าเอนทัลปี

เส้นแสดงระดับค่าเอนทัลปีในแผนภูมิไซโครเมตริกนั้นจะอยู่ด้านซ้ายมือหรือด้านหน้าของเส้นอากาศอิ่มตัวดังรูปที่ 2.14 โดยที่ค่าเอนทัลปีจะเพิ่มจากน้อยไปหามากตามระดับของอุณหภูมิของอากาศที่เพิ่มขึ้นตามทิศทางของลูกศรที่แสดงในรูป สำหรับการหาค่าเอนทัลปีที่จุดต่าง ๆ ตามสภาวะอากาศหลังจากที่เราพลอตจุดในไซโครเมตริกชาร์ทได้แล้วเราก็ลากเส้นตรงในแนวระนาบมาตัดกับเส้นอากาศอิ่มตัวทางซ้ายมือและเอาค่าที่จุดตัดนั้นมาดูว่าตรงกับค่าเอนทัลปีเท่าใด

2.2.5 การศึกษากระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาวะของอากาศโดยใช้แผนภูมิไซโครเมตริก

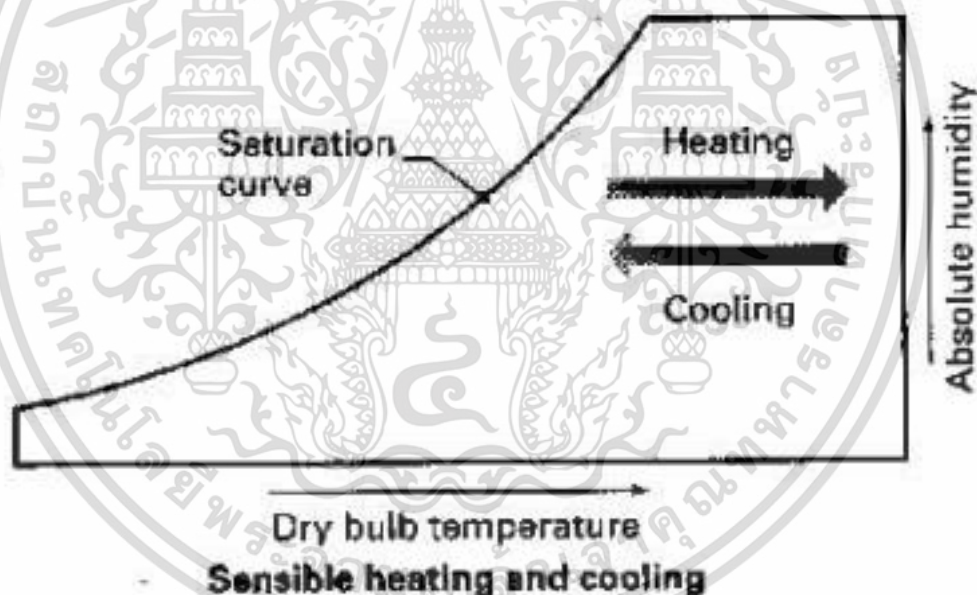
ในกระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาวะของอากาศแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นเครื่องมือที่จะช่วยให้เรามองการเปลี่ยนแปลงเหล่านั้นและสามารถนำมาคิดคำนวณหาพลังงานและทำให้เรารู้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงโดยไม่ต้องใช้สูตรในการคำนวณให้ยุ่งยากโดยที่กระบวนการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเราสามารถพิจารณาด้วยไซโครเมตริกชาร์ทได้ดังนี้

1) กระบวนการเพิ่มและลดความร้อน

1.1) กระบวนการเพิ่มความร้อน คือ กระบวนการที่ในระหว่างกระบวนการหรือจากการเปลี่ยนแปลงจากสภาวะหนึ่งไปยังอีกสภาวะหนึ่ง ความร้อนของอากาศจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นที่สภาวะความดันคงที่ ตัวอย่างเมื่อเราให้ความร้อนกับอากาศที่ความดันคงที่ อุณหภูมิของอากาศจะเพิ่มขึ้นและส่งผลให้ปริมาตรจำเพาะของอากาศเพิ่มขึ้นหรืออากาศมีน้ำหนักเบาขึ้นเพราะอากาศเกิดการขยายตัว ในขณะที่ไอน้ำในอากาศมีเท่าเดิม และค่าความชื้นสัมพัทธ์จะลดลง

เพราะอากาศสามารถรองรับไอน้ำที่ปะปนอยู่ได้เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 2.15 สำหรับกระบวนการนี้ส่วนใหญ่ก็จะเป็นกระบวนการอบเพื่อลดความชื้นกับวัสดุหรือพืชผลทางการเกษตรต่าง ๆ สำหรับความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการนี้จะเป็นความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) หรือความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเป็นส่วนใหญ่ ในส่วนของกระบวนการให้ความร้อนในไซโครเมตริกชาร์ตนั้นจะเป็นเส้นในแนวนอนกับแกนอุณหภูมิกระเปาะแห้งในทิศทางห่างออกไปจากเส้นอากาศอิมตัว

1.2) กระบวนการลดความร้อน คือกระบวนการที่ในระหว่างกระบวนการนั้นอุณหภูมิของอากาศจะลดลงที่ความดันคงที่ เช่น ในระบบการปรับอากาศ เมื่อเราเริ่มต้นเปิดเครื่องปรับอากาศก็จะทำให้อุณหภูมิในห้องปรับอากาศค่อย ๆ ลดลงที่ความดันคงที่ และผลจากกระบวนการนี้ก็จะทำให้ปริมาตรจำเพาะของอากาศจะลดลง หรืออากาศมีความหนาแน่นขึ้นและจะทำความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมากขึ้นตามไปด้วยดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงทิศทางของการลดและเพิ่มอุณหภูมิ

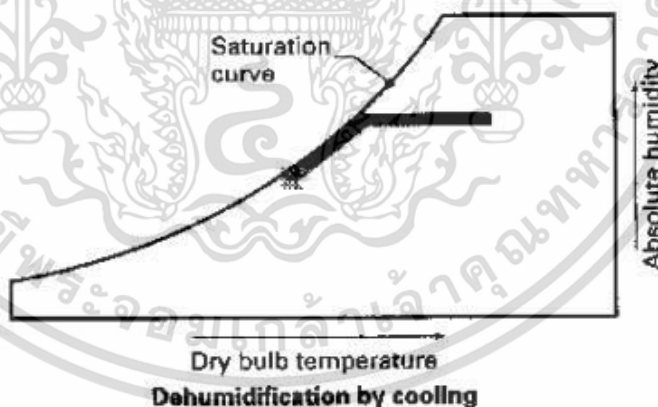
ดังนั้นในกระบวนการปรับอากาศของพื้นที่ปรับอากาศจึงจะต้องมีกระบวนการลดความชื้นตามมาด้วย ซึ่งจะกล่าวถึงในตอนหลัง เมื่อเราพิจารณาในแผนภูมิไซโครเมตริกเราจะเห็นว่ากระบวนการลดความร้อนของอากาศนี้จะมีทิศทางของอุณหภูมิตงกันข้ามกับกระบวนการเพิ่มความชื้นของอากาศ โดยที่กระบวนการที่เกิดขึ้นนั้นจะเริ่มจากสภาวะเริ่มต้นของ

กระบวนการมาในทิศทางของทางเส้นอากาศอิมตัวโดยที่เส้นของกระบวนการจะขนานกับเส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ในส่วนของความร้อนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ก็เป็นความร้อนสัมผัสเช่นกัน

2) กระบวนการลดความชื้น

อุณหภูมิลดความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นในการควบคุมสภาวะอากาศให้มีค่าความชื้นสัมพัทธ์น้อยที่อุณหภูมิต่ำนั้นสามารถที่ทำได้โดยวิธีการดังนี้

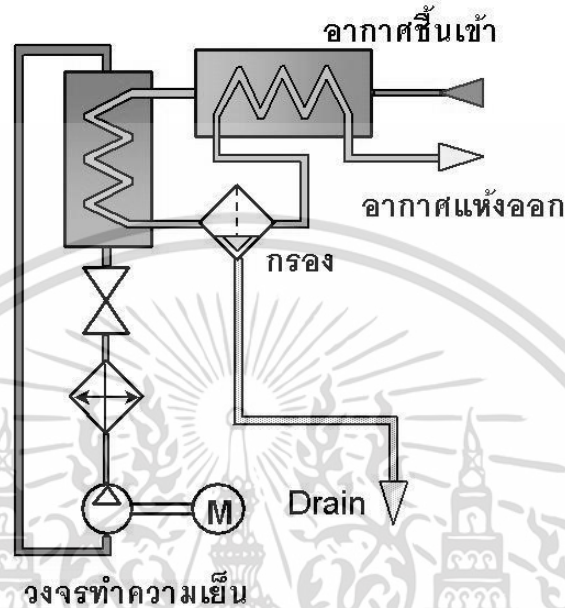
2.1) การลดความชื้นโดยการลดอุณหภูมิ คือ การลดอุณหภูมิของอากาศ ณ จุดที่เป็นจุดลดความชื้นให้ลดลงจนถึงจุดน้ำค้างของอากาศ ตัวอย่างที่เราสามารถเห็นได้ก็คือในห้องที่ติดเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก เราจะเห็นว่าที่ด้านล่างของคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศจะมีถาดรองน้ำร่องอยู่ซึ่งเป็นที่ร่องไอน้ำที่ควบแน่นจากการกลั่นตัวนั่นเอง โดยหลักการทำงานง่ายก็คือ สมมติในห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 25 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ดังนั้นอุณหภูมิหยดน้ำค้างของอากาศที่สภาวะดังกล่าวจะอยู่ที่ประมาณ 13.8 °C และที่คอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศจะมีอุณหภูมิประมาณ 7 °C ดังนั้นเมื่ออากาศถูกดูดเข้าไกล์คอยล์เพื่อลดอุณหภูมิของอากาศดังกล่าว และเมื่อที่จุดดังกล่าวมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดน้ำค้างของอากาศจึงทำให้ความชื้นในอากาศเกิดการกลั่นตัวกลายเป็นน้ำ ทำให้ปริมาณความชื้นในอากาศลดลงเป็นดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงการลดความชื้นโดยการลดอุณหภูมิของอากาศ

2.2) การลดความชื้นโดยวิธีการดูดซึมความชื้น เป็นการใช้วัสดุดูดซึมความชื้น เช่น ซิลิกาเจล เป็นตัวลดความชื้นออกจากอากาศ การลดความชื้นวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องลดอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 2.17 เมื่อนำวัสดุดูดความชื้นมาวาง วัสดุดูดความชื้นก็จะดูดไอน้ำหรือความชื้นใน

อากาศออกจากอากาศในระบบนั้น เป็นผลให้ความชื้นในอากาศลดลงโดยที่อุณหภูมิของอากาศคงที่

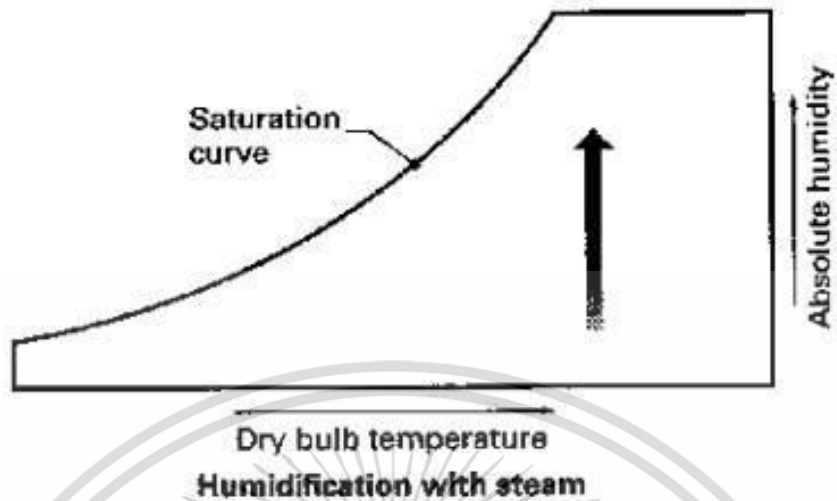


รูปที่ 2.17 การลดความชื้นโดยใช้วัสดุดูดความชื้น

3) กระบวนการเพิ่มความชื้น

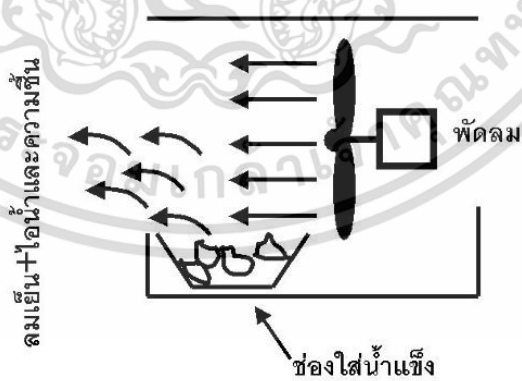
ในกรณีที่สภาวะอากาศรอบ ๆ ระบบนั้นมีความชื้นน้อยแต่เราต้องการให้มีความชื้นมากภายในระบบ เช่น ในระบบปรับอากาศในเมืองหนาวที่ใช้ฮีทเตอร์เป็นตัวเพิ่มอุณหภูมิของอากาศ แต่ความชื้นของระบบยังไม่ได้ตามที่ต้องการ ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการเพิ่มความชื้นให้กับระบบ

3.1) การเพิ่มความชื้นโดยการเติมน้ำเข้าสู่ระบบเมื่อเราเติมน้ำเข้าไปปะปนในอากาศ ไอน้ำก็จะเจือปนอยู่กับอากาศในระบบทำให้ภายในระบบดังกล่าวมีความชื้นมากขึ้นตามที่ต้องการ สำหรับในแผนภูมิไซโครเมตริกชาร์ตนั้นจะแสดงดังรูปที่ 2.18 โดยที่กระบวนการจะเริ่มที่อุณหภูมิเริ่มต้นและเมื่อไอน้ำค่อย ๆ เข้าไปในระบบแล้วความชื้นในระบบจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งยังคงที่ส่วนตัวแปรที่เปลี่ยนไปคือค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ กระเปาะเปียกดังรูป เราจะสังเกตได้ว่าเมื่อเราเพิ่มความชื้นเข้าไปในระบบเรื่อย ๆ ค่าตัวแปรหนึ่ง ที่เปลี่ยนตามคือค่าอัตราส่วนความชื้นที่เป็นเช่นนี้เพราะว่ามวลของไอน้ำที่เติมเข้าไปนั้นมากขึ้น

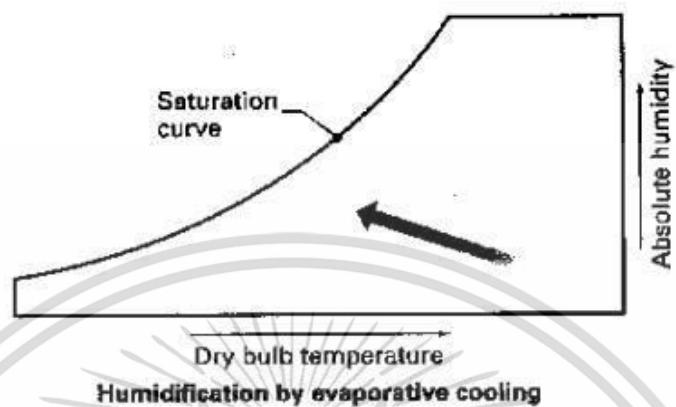


รูปที่ 2.18 การเพิ่มความชื้นโดยเติมน้ำเข้าสู่ระบบ

3.2) การเพิ่มความชื้นโดยการทำให้อากาศเย็นโดยการระเหยเพิ่มความชื้นในขณะที่ทำการลดอุณหภูมิไปในเวลาเดียวกัน ตัวอย่างของกระบวนการนี้ให้นึกถึงพัดลมแบบที่มีช่องใส่น้ำแข็งอยู่ที่ด้านหน้าของใบพัดดังรูปที่ 2.19 โดยสมมติ o_e พัดลมตัวนี้ไปวางไว้ในห้อง เมื่อพัดลมเริ่มทำงานพัดลมจะเป่าทำให้น้ำแข็งระเหยกลายเป็นไอเย็นออกมาทำให้อุณหภูมิรอบพัดลมนั้นเย็นลง ขณะเดียวกันปริมาณไอน้ำที่เกิดจากการระเหยจะมากขึ้นทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมากขึ้นสำหรับกระบวนการในแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นไปและมีทิศทางดังรูปที่ 2.20

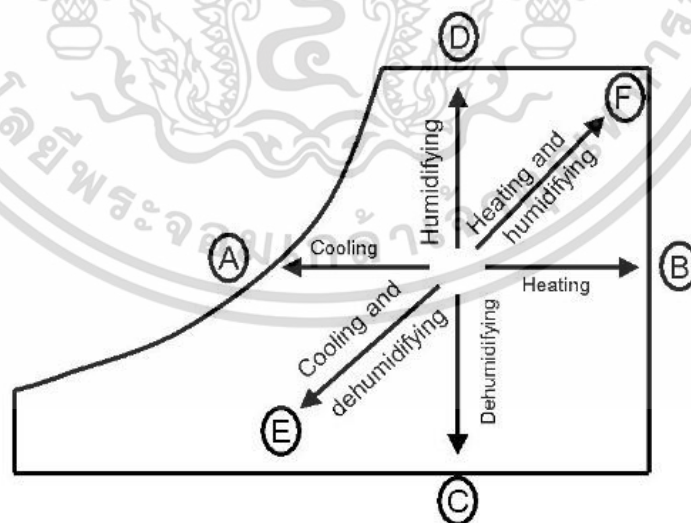


รูปที่ 2.19 พัดลมแบบเติมน้ำแข็ง



รูปที่ 2.20 การเพิ่มความชื้นแบบทำให้อากาศเย็นโดยการระเหย

จากที่กล่าวในเรื่องของกระบวนการต่าง ๆ ของการเปลี่ยนแปลงของอากาศที่กล่าวมาในข้างต้น พอจะสรุปกระบวนการต่าง ๆ ในรูปของแผนภูมิไซโครเมตริกได้ดังรูปที่ 2.21 ในการพิจารณาทิศทางของกระบวนการต่าง ๆ ให้พลอตที่จุดแรกของสภาวะอากาศลงในแผนภูมิไซโครเมตริก จากนั้นพลอตค่าสภาวะอากาศจุดที่สองลงในแผนภูมิไซโครเมตริก เมื่อได้จุดทั้งสองจุดลากเส้นจากจุดแรกไปยังจุดที่สอง จากนั้นจะได้เส้นของกระบวนการที่เกิดขึ้นและสามารถพิจารณาได้ว่ากระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการใด



รูปที่ 2.21 สรุปกระบวนการการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

2.3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์มาจากคำ 2 คำ คำหนึ่งคือ ไมโครหมายถึงขนาดเล็กและคำว่า คอนโทรลเลอร์หมายถึงตัวควบคุมหรืออุปกรณ์ควบคุม ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงหมายถึงอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก แต่ในตัวอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กนี้ ได้บรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ที่คนโดยส่วนใหญ่คุ้นเคย กล่าวคือภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้รวมเอาหน่วยประมวลผลหลัก หน่วยความจำ และพอร์ด ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกันโดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน ความแตกต่างของไมโครคอนโทรลเลอร์กับไมโครโปรเซสเซอร์ คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นมีความสมบูรณ์ภายในตัวของมันเอง คือ มีส่วนประกอบต่าง ๆ ครบถ้วน ส่วนไมโครโปรเซสเซอร์นั้นต้องทำงานร่วมกับอุปกรณ์ข้างเคียงที่เชื่อมต่อจากภายนอก เช่น หน่วยความจำ (Memory) หน่วยอินพุตเอาต์พุต (IO) ฯลฯ

2.3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino

Arduino เป็นแพลตฟอร์มต้นแบบด้านอิเล็กทรอนิกส์แบบโอเพ่นซอร์ส ซึ่งใช้ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ยืดหยุ่นและใช้งานง่าย มีไว้สำหรับ ศิลปิน นักออกแบบ งานอดิเรกและทุกคนที่สนใจในการสร้างวัตถุเชิงโต้ตอบหรือสภาพแวดล้อมโดยผู้ก่อตั้งมีความตั้งใจให้ราคาของอุปกรณ์นั้นถูกเมื่อเทียบกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอื่น ๆ เพื่อให้ทุกคนสามารถเข้าถึงได้โดยง่าย แพลตฟอร์ม Arduino ได้ออกแบบมาเพื่อให้ใช้งานง่าย ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างสถาปัตยกรรมภายในชิพ็ญ โดยรู้เพียงว่าบอร์ด Arduino ที่เลือกมาใช้งานนั้นมีขาที่ใช้ใช้งานอะไรบ้างมีคุณสมบัติต่าง ๆ อะไรบ้างก็สามารถใช้งานได้ ด้วยประสบการณ์และจำนวนการใช้งานของผู้ใช้จำนวนมาก Arduino จึงถูกใช้งานด้านต่าง ๆ มากมาย เนื่องจากการเขียนโค้ด โปรแกรมควบคุมการทำงานของ Arduino มีความง่ายและยืดหยุ่นสามารถใช้งานในระดับสูงได้อีกด้วย เครื่องมือที่ใช้สำหรับ เขียนโค้ดควบคุมมีเวอร์ชันที่สามารถรันได้ในทุกระบบปฏิบัติการไม่ว่าจะเป็น แมคอินทอช วินโดวส์หรือแม้กระทั่งลินุกซ์ก็ตามทำให้ได้รับความนิยมเป็นอย่างสูง แพลตฟอร์ม Arduino ประกอบไปด้วยฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์

ฮาร์ดแวร์ (Hardware) เป็นบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นส่วนหลัก ประกอบร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานหรือที่เรียกกันว่า "บอร์ด Arduino" โดยบอร์ด Arduino ก็มีหลายรุ่นให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมของงาน โดยในแต่ละรุ่นอาจมี

ความแตกต่างกันในเรื่องของขนาดของบอร์ด หรือสเปค เช่น จำนวนของขารับส่ง สัญญาณ, แรงดันไฟที่ใช้, ประสิทธิภาพของ MCU เป็นต้น

ซอฟต์แวร์ (Software) ภาษาที่ใช้เขียนโค้ดควบคุมบอร์ด Arduino เป็นภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมที่มีไวยากรณ์แบบเดียวกับภาษา C/C++ Arduino IDE เป็นเครื่องมือสำหรับเขียน โค้ดโปรแกรม การคอมไพล์โปรแกรม (การแปลงไฟล์ภาษาซีให้เป็นภาษาเครื่อง) และอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ด

2.3.3 Arduino Mega 2560

บอร์ด Arduino Mega 2560 ดังรูปที่ 2.22 ใช้ชิปไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ATmega2560 มีพอร์ตดิจิตอลอินพุตเอาต์พุตจำนวน 54 พอร์ต มีอนาล็อกอินพุตมาให้ 16 พอร์ต ทำงานที่ความถี่ 16MHz



รูปที่ 2.22 บอร์ด Arduino รุ่น Arduino Mega 2560

2.3.4 ซอฟต์แวร์ Arduino IDE

ซอฟต์แวร์ Arduino IDE ซอฟต์แวร์ Arduino IDE เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับบอร์ด Arduino ด้วย ภาษาซี (C/C++) ซึ่งในตัวซอฟต์แวร์มีเครื่องมือ (Tools) ให้ใช้งานที่เป็นทั้ง Editor สำหรับเขียนชุดคำสั่งโปรแกรม, เป็น Compiler สำหรับแปลงชุดคำสั่งภาษาซีเป็นภาษาเครื่อง และ เป็น Programmer สำหรับโปรแกรมชุดคำสั่ง ภาษาเครื่องลงในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์รวมทั้งมีหน้าต่าง Serial Monitor สำหรับดูผลลัพธ์การสื่อสารแบบอนุกรม และที่สำคัญสามารถติดตั้งใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่วมกับระบบปฏิบัติการของเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ทั้ง Window, Mac OS และ Linux ถือว่าเป็นซอฟต์แวร์ที่มีความสามารถสูงสำหรับใช้ในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ สะดวกต่อการใช้งาน[7]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

แผนผังและวิธีการดำเนินงาน

3.1 แผนผังการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานของการทำปริญญาโท สามารถแบ่งเรียงตามลำดับขั้นตอนได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการดำเนินงาน

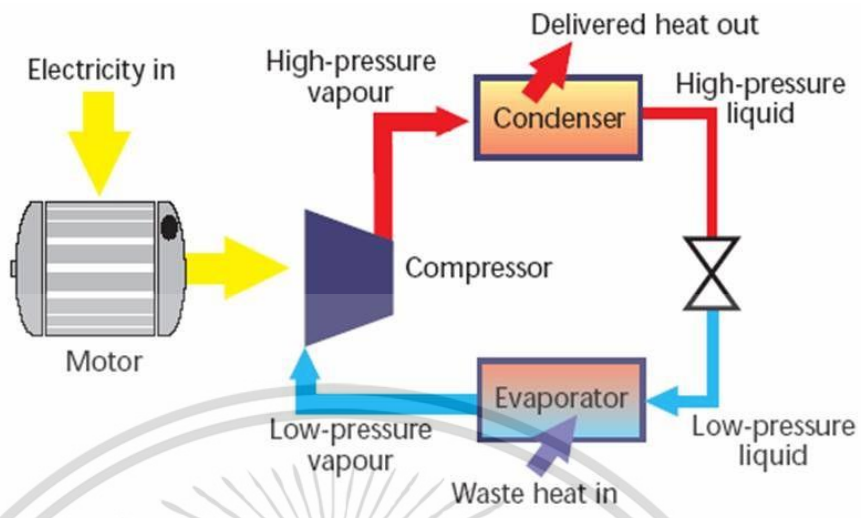
3.2.1 ศึกษาหลักการการทำงานของตู้อบเมล็ดกาแฟระบบปั๊มความร้อน

ตู้อบเมล็ดกาแฟโดยทั่วไปจะให้ความร้อนจากหัวแก๊ส หรือฮีทเตอร์ซึ่งมีความร้อนในอากาศสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความร้อนขึ้นลงเหลืออยู่ หรือใช้เวลานานในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ ซึ่งตู้อบเมล็ดกาแฟระบบปั๊มความร้อนสามารถให้ความร้อนที่มีความร้อนต่ำกว่าระบบทั่วไป โดยการนำระบบปรับอากาศมาประยุกต์ใช้เป็นระบบปั๊มความร้อนแทน ที่ใช้ความร้อนจากคอยล์ร้อนเป็นตัวเพิ่มอุณหภูมิ และลดความชื้นในอากาศจากคอยล์เย็นจากการควบแน่นของน้ำ ในระบบปิดของตู้อบเมล็ดกาแฟ

การประยุกต์ใช้ระบบปรับอากาศเป็นระบบปั๊มความร้อน จากการนำระบบปรับอากาศดังรูปที่ 3.2 มาประยุกต์ใช้เป็นระบบปั๊มความร้อนคือการใช้อุปกรณ์ในระบบเหมือนระบบปรับอากาศแต่นำความร้อนจากด้านคอยล์ร้อนมาใช้แทน โดยประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญ ๆ ดังนี้

- 1) คอมเพรสเซอร์ คือ หัวใจของระบบปรับอากาศ เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ใช้ไฟฟ้า ทำหน้าที่อัดสารทำความเย็นหรือที่เราเรียกว่าน้ำยาแอร์ ในสถานะที่เป็นไอ ส่งตามไปตามท่อน้ำยาแอร์ที่เป็นท่อทองแดง ไปยังเครื่องควบแน่นหรือคอนเดนซิงยูนิท ที่ทำหน้าที่ควบแน่นสารทำความเย็นที่มีแรงดันสูง และอยู่ในสถานะไอ หรือเป็นก๊าซโดยการระบายความร้อนออกจากน้ำยาแอร์ด้วยพัดลมระบายอากาศ ที่เรามองเห็นจากภายนอกตู้คอยล์ร้อนนั้น คือพัดลมที่ไว้คอยระบายความร้อน
- 2) แผงท่อระบายความร้อน เชื่อมต่อกับคอมเพรสเซอร์มีเป็นลักษณะเป็นท่อตะแกรง ทำหน้าที่ระบายความร้อนของน้ำยาที่ส่งมาจากคอมเพรสเซอร์ ออกสู่ภายนอก
- 3) เอกแพนชั่นวาล์ว ลดความดันน้ำยาน้ำยาเครื่องปรับอากาศ เมื่อผ่านคอยล์ร้อนมาจะเป็นน้ำยาที่มีความร้อนไม่สูงมากนัก และความดันก็ลดต่ำลง เมื่อน้ำยาเหล่านั้นมาถึงเอกแพนชั่นวาล์วจะถูกทำให้กลายเป็นน้ำยาที่เป็นแก๊ส เนื่องจากน้ำยาถูกบีบด้วยท่อที่เล็กของเอกแพนชั่นวาล์ว ทำให้เมื่อน้ำยาผ่านท่อของเอกแพนชั่นวาล์วแล้วจะสูญเสียแรงดัน จึงทำให้อุณหภูมิของน้ำยาลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว
- 4) แผงท่อทำความเย็น แผงท่อทำความเย็นหรือคอยล์เย็น คือตัวสร้างความเย็น มีรูปร่างเป็นเส้นท่อขดไปมาตามความยาวของเครื่อง และมีแผ่นอลูมิเนียมบาง ๆ หุ้มขดท่อเหล่านั้นอยู่ ภายในแผงท่อทำความเย็นจะมีสารทำความเย็นไหลเวียนอยู่ เพื่อรับลมจากใบพัด และส่งลมเย็นออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

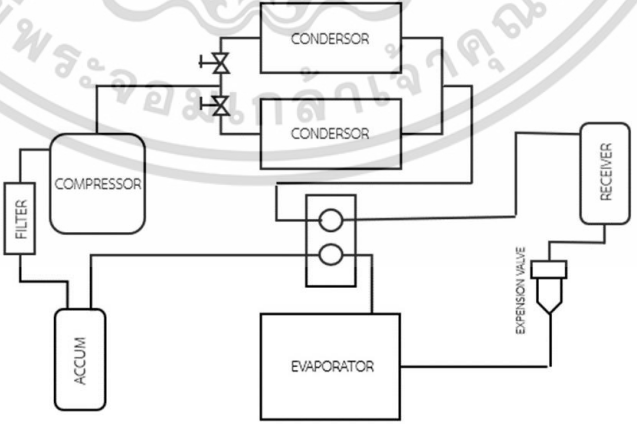


รูปที่ 3.2 การทำงานของระบบปั๊มความร้อน

3.2.2 ออกแบบชุดทดลองระบบปั๊มความร้อนจากอุปกรณ์ของระบบปรับอากาศ

ออกแบบชุดทดลองระบบปั๊มความร้อนจากอุปกรณ์ของระบบปรับอากาศ เพื่อทดสอบการทำงานของระบบปั๊มความร้อนจากอุปกรณ์ของระบบปรับอากาศ และเพื่อทดสอบความสามารถในการเพิ่มอุณหภูมิและลดความชื้นในอากาศ และได้เพิ่มคอยล์ร้อนเข้าไปอีก 1 ชุดเพื่อถ่ายเทความร้อนออกจากระบบ หากมีอุณหภูมิสูงเกินกว่าความต้องการ

- 1) ออกแบบระบบการทำงานของตู้อบลมร้อนระบบปั๊มความร้อนดังรูปที่ 3.3 จากอุปกรณ์ของระบบปรับอากาศ



รูปที่ 3.3 แผนผังของตู้อบลมร้อนระบบปั๊มความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) ทำชุดทดลองระบบปั๊มความร้อนจากอุปกรณ์ของระบบปรับอากาศ
การทดลองประกอบชุดทดลองระบบปั๊มความร้อนจากอุปกรณ์ของระบบปรับอากาศ เริ่มทำการทดลองโดยการประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบปรับอากาศ โดยนำความร้อนจากคอนเดนเซอร์มาใช้เสมือนเป็นปั๊มความร้อน และทำการเชื่อมต่อท่อทองแดงระหว่างอุปกรณ์เพื่อทำความเข้าใจระบบการทำงาน และทดสอบการทำงานของระบบปั๊มความร้อนจากระบบปรับอากาศ
- 3) วางแผนจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ และเส้นทางเดินของท่อทองแดง เพื่อทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 จัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ และเส้นทางเดินของท่อทองแดงของชุดทดลองระบบปั๊มความร้อน

- 4) ทำการเชื่อมต่อท่อทองแดงโดยใช้ความร้อนจากชุดเชื่อมแก๊สดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เชื่อมต่อท่อทองแดงของชุดทดลองระบบปั๊มความร้อน

- 5) ทดสอบการทำงานของชุดทดลองระบบปั๊มความร้อนจากระบบปรับอากาศไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อใช้การทำงานของอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ทดสอบการทำงานของชุดทดลองระบบปั๊มความร้อน

3.2.3 ออกแบบวิธีการทดลองทดสอบระบบปั๊มความร้อน บันทึกรูป

ทำการออกแบบวิธีการทดลองของระบบปั๊มความร้อน เพื่อศึกษาแนวโน้มในการอบแห้งเมล็ดกาแฟโดยมีตัวแปรที่สนใจในการทดลองคือ อุณหภูมิ ณ กึ่งกลางห้องอบ ซึ่งได้รับลมร้อนมาจากห้องระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปั๊มความร้อน ซึ่งประกอบด้วย แผงท่อทำความเย็น คอมเพรสเซอร์ แผงท่อระบายความร้อน พัดลม อุปกรณ์ควบคุมสำหรับการควบคุมอุณหภูมิห้อง อุปกรณ์ป้อนสารทำความเย็น ซึ่งลมร้อนจะออกจาก แผงท่อระบายความร้อน และใช้พัดลมเพื่อบังคับปริมาณการไหลของลมร้อน โดยมีวัตถุประสงค์ในการทดลองดังนี้

- 1) เพื่อศึกษาค่าของตัวแปรของค่าที่ป้อนที่มีผลต่อความเร็วลม
- 2) เพื่อศึกษาแนวโน้มในการอบเมล์ติกาแพะของตู้อบระบบปั๊มความร้อน
- 3) เพื่อใช้ตู้อบเป็นต้นแบบในการสร้างตู้อบเมล์ติกาแพะระบบปั๊มความร้อนโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรง

3.2.4 ออกแบบตู้อบเมล์ติกาแพะระบบปั๊มความร้อนไฟฟ้ากระแสตรง

มีส่วนประกอบหลักทั้งหมด 3 ส่วน คือ

- 1) ส่วนห้องอบแห้ง

เป็นส่วนสำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยจะประกอบด้วยช่องลมที่ถ่ายเทความร้อนเข้าผ่าน กระแสลมจากพัดลมและช่องลมระบายอากาศออกเพื่อให้อากาศนำพาความชื้นออกจากส่วนห้องอบ
- 2) ส่วนห้องระบบปั๊มความร้อน ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ
 - ก) ส่วนที่สร้างพลังงานความร้อนให้กับตู้อบ โดยดึงความร้อนจาก Condenser โดยผ่าน blower เพื่อส่งกระแสลมไปยังส่วนห้องอบ
 - ข) ส่วนที่ดักจับความชื้นในอากาศที่ออกจากห้องอบ โดย Evaporator ที่มีอุณหภูมิต่ำจะทำให้ไอน้ำในอากาศเกิดการควบแน่นและถ่ายเทออกไป
 - ค) ส่วนระบายความร้อนส่วนเกินจาก Condenser ตัวหลักที่ให้พลังงานความร้อน กับห้องอบโดย Condenser ตัวรอง
- 3) ส่วนระบบควบคุม

ระบบควบคุมจะทำงานโดย Microcontroller Arduino Mega 2560 เป็นตัวประมวลผลการทำงานโดยจะรับค่าจาก Keypad และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ เพื่อควบคุมการทำงานของ คอมเพรสเซอร์และพัดลม

3.2.5 สร้างตู้อบเมล็ดกาแฟระบบปั๊มความร้อนโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรง

การสร้างตู้อบเมล็ดกาแฟระบบปั๊มความร้อนถูกสร้างขึ้น มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการอบแห้งเมล็ดกาแฟโดยทำให้ความชื้นของเมล็ดลดลง จากการในการเพิ่มอุณหภูมิและลดความชื้นในอากาศ และศึกษาแนวโน้มการอบแห้งผลิตภัณฑ์ เพื่อพัฒนาต่อยอดสำหรับการประยุกต์ใช้ร่วมกับแผงพลังงานแสงอาทิตย์

3.2.5.1 ขั้นตอนการสร้างส่วนห้องอบแห้งเมล็ดกาแฟ และส่วนห้องระบบปั๊มความร้อน

- 1) จัดวางตำแหน่งอุปกรณ์และวางแผนเส้นทางเดินของท่อทองแดงภายในชุดทดลองตู้อบเมล็ดกาแฟระบบปั๊มความร้อนไฟฟ้ากระแสสลับดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 จัดวางตำแหน่งอุปกรณ์ และวางแผนเส้นทางเดินของท่อทองแดงภายในชุดทดลองตู้อบเมล็ดกาแฟ

- 2) วางเส้นทางเดินของท่อทองแดงดังรูปที่ 3.8 โดยหลังจากการจัดวางอุปกรณ์ภายในเป็นดังรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 วางเส้นทางเดินของท่อทองแดงของชุดทดลองตู้อบลมร้อน



รูปที่ 3.9 วางเส้นทางเดินของท่อทองแดงของชุดทดลองตู้อบลมร้อน

3.2.5.2 ขั้นตอนการสร้างส่วนระบบควบคุม

ระบบควบคุมอุณหภูมิจะใช้ Arduino เป็น Microcontroller ประมวลผล เพื่อควบคุมการทำงานของตู้อบลมร้อน โดยรับค่าอุณหภูมิจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิภายในตู้อบ และรับค่าอุณหภูมิเป้าหมายที่เราต้องการผ่านคีย์แพด แล้ว Arduino จะทำการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเป้าหมายกับอุณหภูมิในตู้อบลมร้อน เพื่อสั่งเปิดหรือปิดการทำงานของ compressor ผ่าน relay วงจรการทำงานของระบบควบคุมประกอบไปด้วยหลายส่วน ดังนี้

1) ส่วนตั้งค่าอุณหภูมิและความเร็วลม

จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักคือ Keypad , Arduino mega 2560 โดยจะรับค่าอุณหภูมิและความเร็วลมที่ต้องการผ่าน Keypad และส่งไปที่ Arduino เพื่อทำการ

เปรียบเทียบกับอุณหภูมิในตู้อบลมร้อน และควบคุมการทำงานของ Compressor และ Blower

2) ส่วนควบคุมอุณหภูมิหรือควบคุมการทำงานของ Compressor

จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักคือ Arduino Mega 2560 , Sensor DHT22 , Relay โดยหลังจากที่ทำการตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการ Arduino จะทำการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่ต้องการ กับอุณหภูมิในตู้อบลมร้อนที่วัดได้จาก Sensor DHT22 และทำการสั่งควบคุมการทำงานของ Compressor ด้วย Relay โดยการสับสวิทช์เปิดปิดแหล่งจ่ายไฟของ Compressor

3) ส่วนควบคุมความเร็วลมหรือควบคุมการทำงานของ Blower

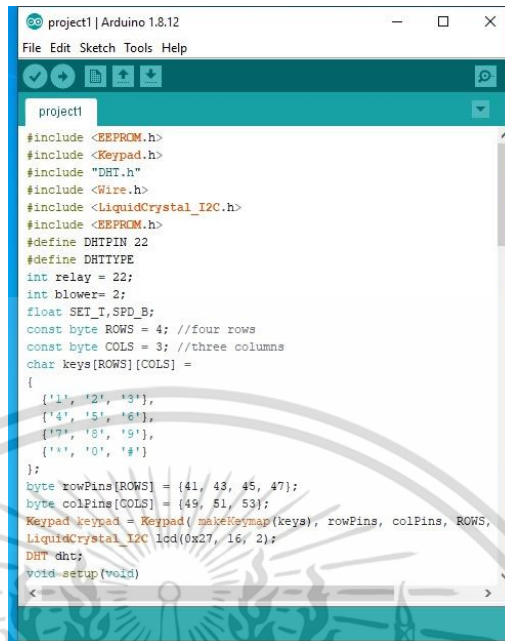
จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักคือ Arduino Mega 2560 , PWM Voltage Converter หลังจากทำการตั้งค่าความเร็วลมที่ต้องการ Arduino จะทำการสั่งควบคุมการทำงานของ Blower ด้วย PWM โดยการควบคุมความต่างศักย์ที่จ่ายเข้าควบคุมของ Blower (VIN) โดยกำหนดให้ทำงานตั้งแต่ 0% ถึง 100%

4) ส่วนแสดงผล

จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักคือ Arduino Mega 2560 , จอ LCD โดย Arduino จะรับค่าจาก Keypad และ DHT22 มาแสดงผ่านจอ LCD2.5

5) ส่วนโปรแกรม Arduino mega 2560 ใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการเขียน

โปรแกรมควบคุมการทำงานของตู้อบลมร้อนดังรูปที่ 3.10



```

project1 | Arduino 1.8.12
File Edit Sketch Tools Help
project1
#include <EEPROM.h>
#include <Keypad.h>
#include "DHT.h"
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <EEPROM.h>
#define DHT1PIN 22
#define DHTTYPE
int relay = 22;
int blower = 2;
float SET_I,SPD_B;
const byte ROWS = 4; //Four rows
const byte COLS = 3; //three columns
char keys[ROWS][COLS] =
{
  {'1', '2', '3'},
  {'4', '5', '6'},
  {'7', '8', '9'},
  {'*', '0', '#'}
};
byte rowPins[ROWS] = {41, 43, 45, 47};
byte colPins[COLS] = {49, 51, 53};
Keypad keypad = Keypad( makeKeymap(keys), rowPins, colPins, ROWS,
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
DHT dht;
void setup(void)

```

รูปที่ 3.10 โปรแกรม Arduino IDE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบชุดทดลองระบบปั๊มความร้อนจากอุปกรณ์ของระบบปรับอากาศ

จากการศึกษาหลักการเบื้องต้นของระบบปั๊มความร้อน ซึ่งปั๊มความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนจากที่หนึ่งสู่อีกที่หนึ่ง โดยมีอุปกรณ์หลักประกอบด้วย เครื่องอัดไอ เครื่องควบแน่น วาล์วลดความดัน และเครื่องระเหย ในวงจรการทำงานจะมีสารทำความเย็นที่ถูกดูด และอัดตัวโดยอุปกรณ์อัดไอ เพื่อเพิ่มอุณหภูมิ และแรงดันให้สูงขึ้น และถูกระบายความร้อนที่คอยล์ร้อน ทำให้อุณหภูมิลดลง และไหลไปยังวาล์วลดความดัน ทำให้สารทำความเย็นมีความดัน และอุณหภูมิลดลง สารทำความเย็นจะไหลเข้าสู่คอยล์เย็น และดูดซับความร้อนจากภายนอก ทำให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้น และไหลกลับไปยังอุปกรณ์อัดไออีกครั้ง ข้อดีของการใช้ปั๊มความร้อน คือ สามารถเพิ่มอุณหภูมิของอากาศได้ แม้ในเวลาไม่มีแสงแดด โดยได้ทำการทดสอบการอบเบื้องต้นในตู้อบระบบปั๊มความร้อนระบบไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเป็นเครื่องต้นแบบ และได้ผลจากการทดสอบเบื้องต้นเป็นดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าบนิคียแพต ของระบบปั๊มความร้อน

ค่าที่ป้อนลงบน คีคียแพต		ผลการทดสอบ	
อุณหภูมิ (°C)	อัตราการไหลของลม จากพัดลม (m ³ /h)	Temperature Range (°C)	Time (min)
45	183	44-46	6
45	366	44-46	5
45	550	44-47	5
50	183	49-51	7
50	366	49-51	6
50	550	49-52	6

จากตารางที่ 4.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ สามารถใช้เป็นการศึกษาแนวโน้มในการนำตู้อบระบบปั๊มความร้อน มาใช้ในการอบแห้งเมล็ดกาแฟต่อไป ทำให้พบว่าตู้อบระบบปั๊มความร้อนมีความเป็นไปได้ที่จะทำให้เมล็ดกาแฟแห้ง โดยการลดความชื้นของเมล็ดกาแฟผ่านลมร้อนที่ถูกปล่อยออกมาจากระบบปั๊มความร้อน ซึ่งทำให้สามารถออกแบบตู้อบระบบปั๊มความร้อนไฟฟ้ากระแสตรงได้

4.2 ผลการออกแบบตู้อบ

หลังจากทดสอบตู้อบและออกแบบตู้อบระบบบีบความร้อน ทำการสร้างตู้อบเมล็ดกาแฟระบบบีบความร้อน โดยมีเกณฑ์การสร้างและรายละเอียดของตู้อบเมล็ดกาแฟดังต่อไปนี้

4.2.1 เกณฑ์การออกแบบตู้อบ

4.2.1.1 ส่วนห้องอบ

1) ขนาดห้องอบแห้ง

การออกแบบเครื่องอบแห้งได้กระทำบนขอบเขตของงานวิจัยที่กำหนดไว้ว่า ปริมาตรส่วนของห้องอบแห้งมีปริมาตร 175 l หรือ 0.175 m^3 ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งจากข้อกำหนดดังกล่าวได้นำมาเป็นเงื่อนไขในการออกแบบขนาดห้องอบแห้งโดยเริ่มการคำนวณจาก การกำหนดขนาดของถาดใส่วัสดุขนาดกว้าง 40 cm ยาว 50 cm เพื่อให้ผู้ปฏิบัติการทดสอบสามารถทำงานได้สะดวกจากความกว้างและลึกของถาด กว้าง 50 cm ลึก 70 cm สูง 50 cm

2) ตู้อบสามารถอบเมล็ดกาแฟได้ครั้งละ 1 kg

ซึ่งปริมาณตัวอย่างที่ใช้สำหรับทดลองอบแห้ง เมล็ดกาแฟมีค่า Bulk Density 650 kg/m^3

พบว่าความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 50% wb คำนวณได้จาก

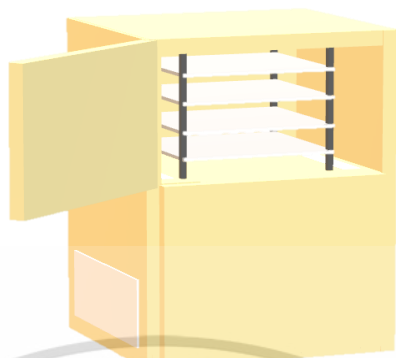
$$\begin{aligned} \text{ปริมาณเมล็ดกาแฟดิบ 1 ถาด} &= 650 \text{ kg/m}^3 \times 0.5 \text{ m} \times 0.4 \text{ m} \times 0.002 \text{ m} \\ &= 0.26 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น 4 ถาดใช้เมล็ดกาแฟ} &= 0.26 \text{ kg} \times 4 \\ &= 1.04 \text{ kg} \end{aligned}$$

ใช้ตัวอย่างเมล็ดกาแฟประมาณ 1 kg ในการทดลองอบแห้งต่อครั้ง

3) ถาดสำหรับใส่เมล็ดกาแฟต้องมีรูเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 0.3 cm เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างเมล็ดกาแฟและลมร้อน

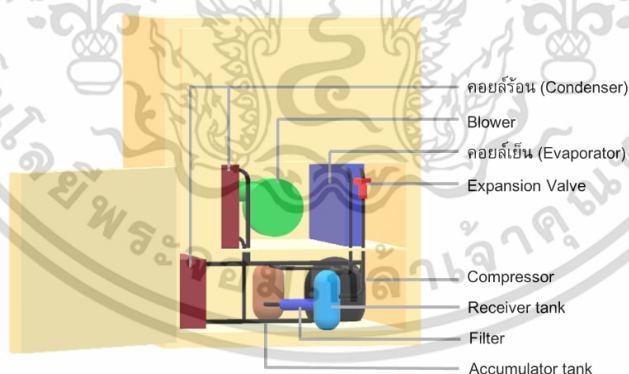
4) มีช่องขนาด 35 cm x 5 cm สำหรับปล่อยลมร้อน เข้า-ออก ทุกชั้น



รูปที่ 4.1 ห้องอบแห้ง

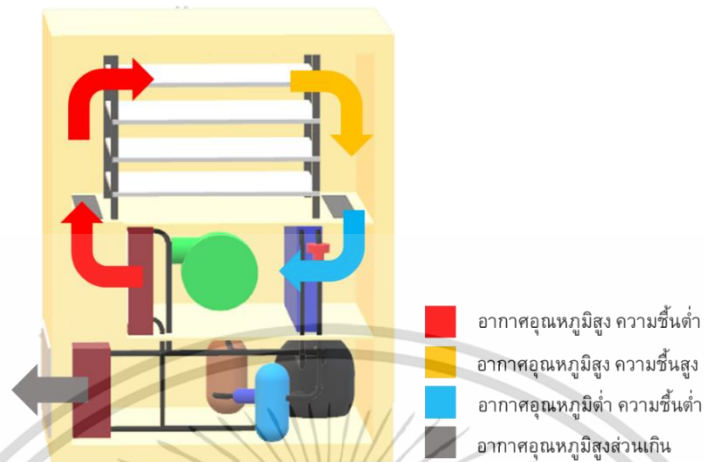
4.2.1.2 ส่วนห้องระบบปั๊มความร้อน

- 1) ห้องอบระบบปั๊มความร้อนดังรูปที่ 4.2 สามารถทำความร้อนให้ห้องระบบปั๊มความร้อนได้ อุณหภูมิระหว่าง 30 °c ถึง 60 °c
- 2) คอยล์เย็นในระบบปั๊มความร้อนสามารถลดความชื้นในอากาศที่ออกจากห้องอบและถ่ายเทออกสู่ภายนอกได้ โดยทิศทางการไหลของเป็นไปดังรูปที่ 4.3
- 3) ระบบปั๊มความร้อนสามารถทำงานได้ต่อเนื่องโดยไม่เกิดปัญหาในการอบ



รูปที่ 4.2 ห้องระบบปั๊มความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ทิศทางการไหลของอากาศระหว่างห้องอบและห้องปั๊มความร้อน

4.2.1.3 ส่วนระบบควบคุม

จะมีการออกแบบวงจรดังรูปที่ 4.4 โดยจะมีการทำงานดังต่อไปนี้

1) สามารถตั้งค่าอุณหภูมิและความเร็วลมในการอบผ่าน Keypad ผ่านวงจรที่ได้ออกแบบไว้ดัง

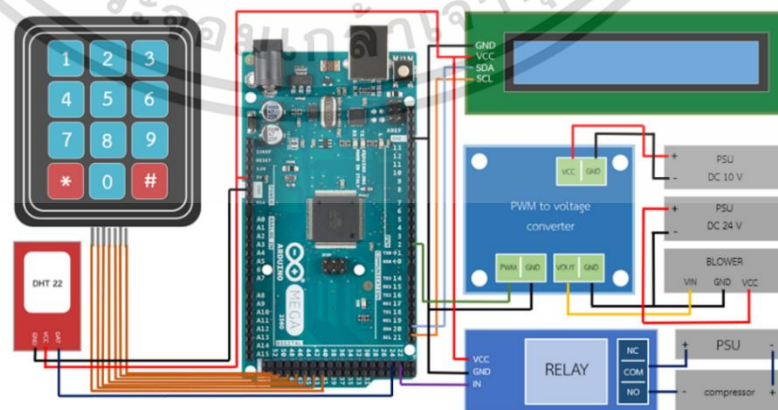
รูปที่ 4.4

2) จอ LCD แสดงการตั้งค่าอุณหภูมิความเร็วที่ต้องการ และแสดงค่าอุณหภูมิภายในห้องอบ

3) Arduino Mega 2560 สามารถควบคุมการทำงานของ Compressor ให้อุณหภูมิในห้องอบ

ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ต้องการ โดยมีค่าความต่างของอุณหภูมิไม่เกิน 2°C

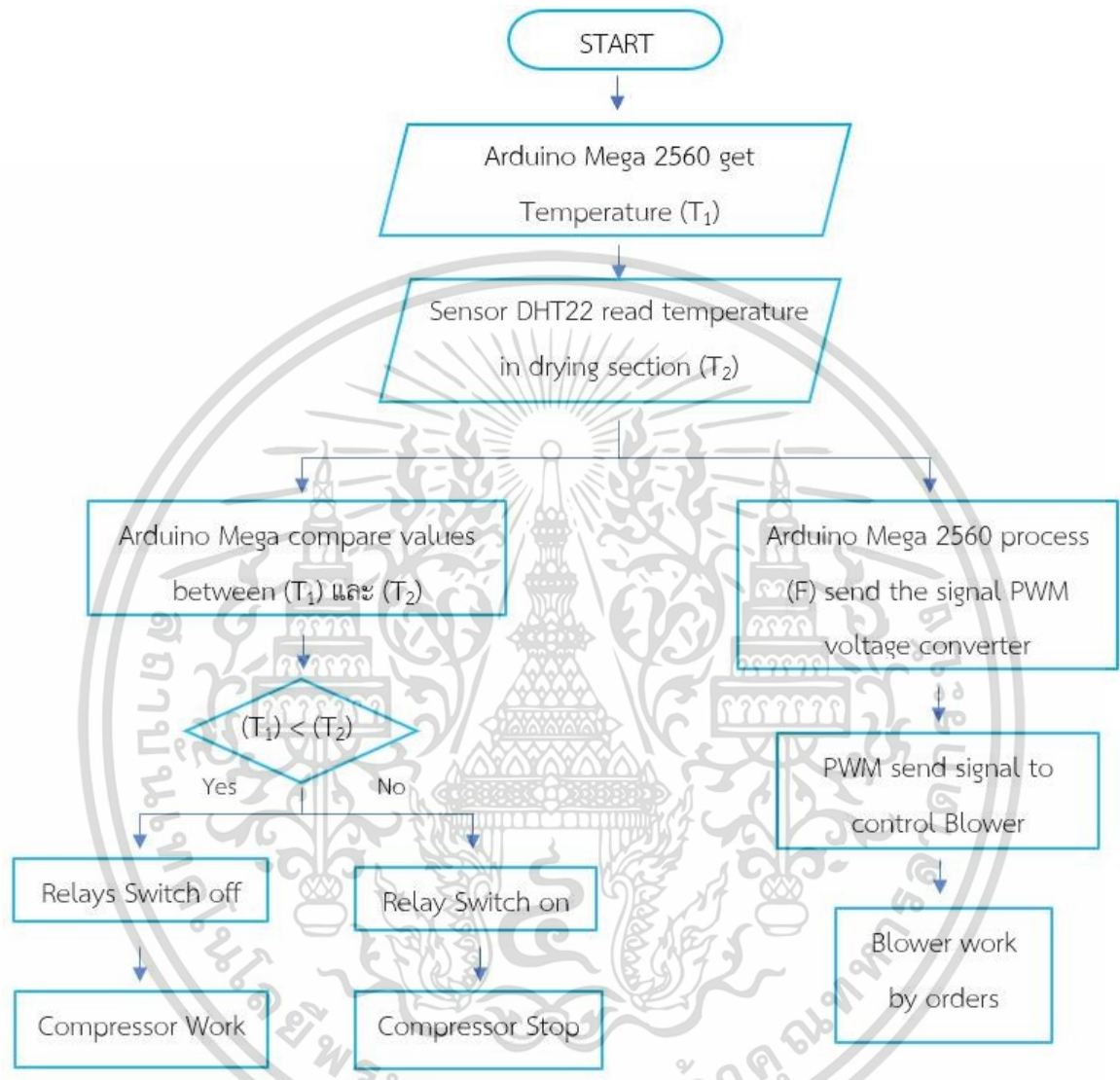
4) Arduino Mega 2560 สามารถควบคุมการทำงานของ Blower ให้ได้ความเร็วลมตามระดับที่ต้องการได้



รูปที่ 4.4 จวงจรควบคุมการทำงานของตู้อบลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) แผนผังการทำงานของระบบควบคุมจะทำงานตามขั้นตอนดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 รูปภาพแผนผังการทำงานของระบบควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาระบบปั๊มความร้อน โดยประยุกต์ใช้ระบบปรับอากาศ นำมาดัดแปลงเป็นปั๊มความร้อน โดยการประยุกต์เอาลมร้อนมาใช้งานแทน เพื่อศึกษาแนวโน้มในการอบแห้งเมล็ดกาแฟ จากนั้นทำการออกแบบตู้อบเมล็ดกาแฟและทำการสร้างตู้อบเมล็ดกาแฟระบบปั๊มความร้อน โดยอุปกรณ์ภายในรองรับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

5.1 สรุปการทดลอง

5.1.1 ผลการศึกษาของระบบปั๊มความร้อนเพื่อศึกษาแนวโน้มในการอบเมล็ดกาแฟ

จากการทดสอบการทำความร้อนของระบบปั๊มความร้อน พบว่าระบบปั๊มความร้อนสามารถให้ความร้อนในห้องอบให้เป็นไปตามต้องการได้ โดยสามารถป้อนค่าของอุณหภูมิ และความเร็วลมตามที่ต้องการบนคีย์แพดได้ จึงทำให้ทราบแนวโน้มในการอบแห้งเมล็ดกาแฟโดยระบบปั๊มความร้อน เป็นผลให้สามารถออกแบบและสร้างตู้อบได้ต่อไป

5.1.2 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องอบเมล็ดกาแฟระบบปั๊มความร้อน

จากการออกแบบตู้อบเมล็ดกาแฟระบบปั๊มความร้อนทำให้เกิดเกณฑ์ในการสร้างตู้อบเมล็ดกาแฟมีดังนี้

- 1) ส่วนห้องอบ มีปริมาตรของห้องอบเท่ากับ 0.175 m^3 (175 l) โดยกว้าง 50 cm ยาว 70 cm 50 cm ขนาดของถาดใส่วัสดุกว้าง 40 cm ยาว 50 cm มีรูที่ถาดเพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างเมล็ดกาแฟและลมร้อนเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 0.3 cm ตู้อบสามารถอบเมล็ดกาแฟได้ครั้งละ 1 kg คำนวณได้จากความหนาแน่นของเมล็ดกาแฟ มีช่องลมขนาด 35 cm x 5 cm สำหรับปล่อยลมร้อน เข้า-ออก
- 2) ส่วนห้องระบบปั๊มความร้อน ภายในประกอบด้วยเครื่องอัดไอไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 250 BTU/hr คอยล์เย็น คอนเดนเซอร์ และเอ็กซ์แพนชันวาล์วโดยระบบปั๊มความร้อน สามารถทำความร้อนให้ห้องอบลมร้อนได้อุณหภูมิระหว่าง $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ คอยล์เย็นลดความชื้นในอากาศที่ออกจากห้องอบ และถ่ายเทออกสู่ภายนอกได้ และระบบปั๊มความร้อนสามารถทำงานได้ต่อเนื่อง โดยไม่เกิดปัญหาในการอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) ส่วนระบบควบคุม สามารถตั้งค่าอุณหภูมิ และความเร็วลมในการอบผ่านคีย์แพด จอ LCD แสดงการตั้งค่าอุณหภูมิความเร็วที่ต้องการ และแสดงค่าอุณหภูมิภายในห้องอบ ส่วน Arduino Mega 2560 สามารถควบคุมการทำงานของ Compressor ให้อุณหภูมิในห้องอบ ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ต้องการ โดยมีค่าความต่างของอุณหภูมิไม่เกิน 2 °c และควบคุมการทำงานของ Blower ให้ได้ความเร็วลมตามระดับที่ต้องการได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) จากการทดลองจะเห็นว่า การกระจายอุณหภูมิลมร้อนเข้าห้องอบแห้งในช่วงแรกอุณหภูมิลมร้อนยังไม่มีความสม่ำเสมอ ดังนั้นควรปรับปรุงการกระจายลมร้อนให้ดีขึ้น
- 2) ควรปรับปรุงประตูหน้าห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อน ให้สามารถมองเห็นวัสดุขณะทำการอบแห้งอยู่ในห้องอบแห้งได้
- 3) เนื่องจากอุปกรณ์ภายในตู้อบถูกออกแบบให้รองรับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงได้ ทำให้ตู้อบสามารถใช้ต่อพลังงานจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ได้ในอนาคต
- 4) สามารถออกแบบให้ส่วนห้องอบ และปั๊มความร้อนให้แยกออกจากกันได้ เพื่อลดปัญหาการสูญเสียพลังงานความร้อนที่ไม่จำเป็น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับห้องอบขนาดใหญ่ได้

บรรณานุกรม

- [1] เทวรัตน์ ทิพย์วิมล, “การคงคุณภาพผักอบแห้งกิ่งสำเร็จรูปด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบบ่มความร้อน,” สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 27น. 2553
- [2] นางสาวจารุพัชร พิชัยอุตถุชฎ์ และคณะ. 2556.กระบวนการเก็บรักษากาแฟ[ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://sites.google.com/site/stampswu/home/prawati/laksana-thang-phvksastr/krabwnkar-keb-raksa-kafae>(12 เมษายน 2562)
- [3] บุญเกิด สนธิพันธ์. 2557. เอกสารประกอบการเรียน วิชาไมโครคอนโทรลเลอร์ (2105-2105). [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.ayuttech.ac.th/2017/images/pdf/boonkoed/microcontroller_9.pdf (05 พฤศจิกายน 2562)
- [4] ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนাপนนท์, อ.สมัคร รักแม่. Psychrometric chart / แผนภูมิไซโครเมตริก. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0573/psychrometric-chart> (21 ตุลาคม 2562)
- [5] สมชาติ ไสภณรณฤทธิ. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7. คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ. 338น.
- [6] สุทธิศักดิ์ ภัทรสถาพรกุล. 2543. การพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบบ่มความร้อน. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน จ.นครปฐม. 123 น.
- [7] IENERGYGURU, “Drying”, September 17, 2015. [Online] Available: <https://ienergyguru.com/2015/09/drying/> (April 12, 2020)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRODUCT SPECIFICATION

NAME: Single inlet Centrifugal Blower

MODEL: SH3G160-DCN-92

VERSION NUMBER: A0

Establish	Check	Review	Approve
Li Xuan		Liu Yu	

CUSTOMER APPROVE:

DATE:

Product Specification/Approval Sheet

1.0 Introduction

This specification describes the standard, operation environment, and technical requirements of the product.

2.0 Requirement of production standard and safety regulations

2.1 The product satisfy requirements

2.1.1 GB12350 «Safety requirements of small power motors»

2.1.2 GB/T13275 «General technical requirement for general centrifuga fan»

2.1.3 GB/T5171.1 «Small poer motors general technical requirements»

2.1.4 GB/T21418 «General specification for permanent magnet magnet brushless motor system»

3.0 Operating environment requirements

3.1 Operating temperature and humidity

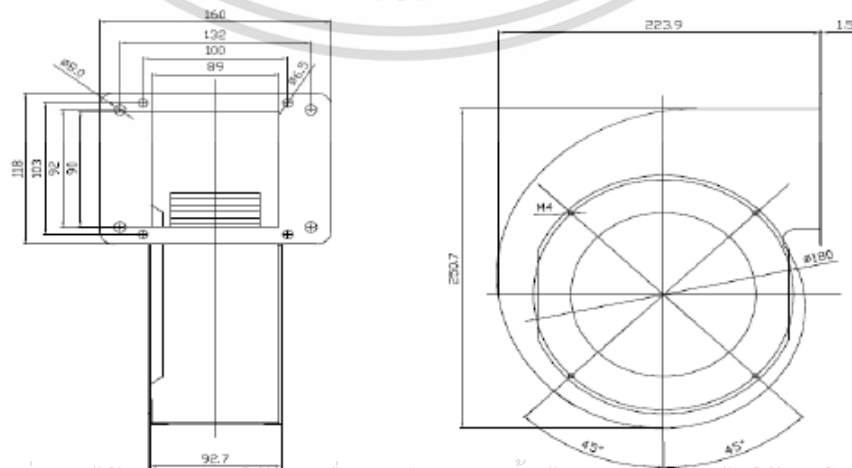
Operating temperatures from $-40^{\circ}\text{C} \sim +65^{\circ}\text{C}$, Operating humidity from 0% to 95% RH.

3.2 Storage temperature and humidity

Storage temperatures from -40°C to $+65^{\circ}\text{C}$; Storage humidity from 0% to 95% RH.

4.0 Mechanical requirements

4.1 Dimension drawing



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.2 Impeller
Impeller made of galvanized sheet steel,material accord with RoHS.
- 4.3 Motor
DC motor,the motor model is M3G9265
- 4.4 Balancing
At $1750 \pm 10\%$ r/min running speed,the residual unbalance of the fan is not less than G6.3(balancing precision grade) in each plane,according with JB/T9101.
- 4.5 Vibration of the fan
Vibration speed virtual value of fans ≤ 2.5 mm/s,test method accord with JB/T 8689.
- 4.6 Runout of impeller
Runout of impeller in axial and radial direction ≤ 1.0 mm.
- 4.7 Type of protection
Type of protection is IP42.
- 4.8 Fan turning
The rotor end clockwise.
- 4.9 Life time
Fan life expectance 40000 hours,determined when at rated voltage,running at full speed,environment temperature of 40°C ,operating humidity $\leq 70\%$ RH.

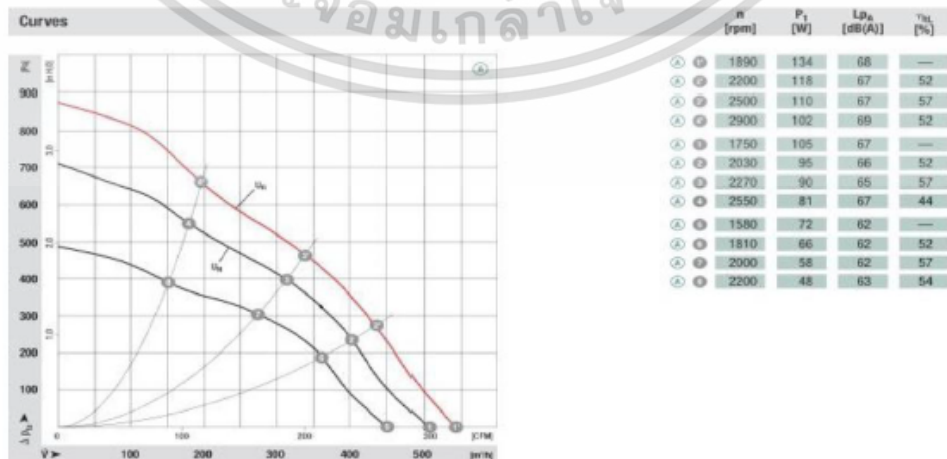
5.0 Fan performance

- 5.1 data
The noise standard is tested according to the air inlet of the centrifugal fan at 1m, and the product center is 1 meter away from the ground:

Voltage [V]	Operating [VDC]	Current draw [A]($\pm 10\%$)	Power input [w]($\pm 10\%$)	Speed[r/min] ($\pm 10\%$)	Air flow [m3/h]($\pm 10\%$)	Noise level [Lp dB(A)]	Insulation class
24	16-28	3.50	85	1750	550	60	B

5.2 Performance curve (Rating voltage 24V)

Single fan 2300RPM air volume pressure curve



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.2 Impeller
Impeller made of galvanized sheet steel,material accord with RoHS.
- 4.3 Motor
DC motor,the motor model is M3G9265
- 4.4 Balancing
At $1750 \pm 10\%$ r/min rumming speed,the residual unbalance of the fan is not less than G6.3(balancing precision grade) in each plane,according with JB/T9101.
- 4.5 Vibration of the fan
Vibration speed virtual value of fans ≤ 2.5 mm/s,test method accord with JB/T 8689.
- 4.6 Runout of impeller
Runout of impeller in axial and radial direction ≤ 1.0 mm.
- 4.7 Type of protection
Type of protection is IP42.
- 4.8 Fan turning
The rotor end clockwise.
- 4.9 Life time
Fan life expectance 40000 hours,determined when at rated voltage,running at full speed.environment temperature of 40°C.operating humidity $\leq 70\%$ RH.

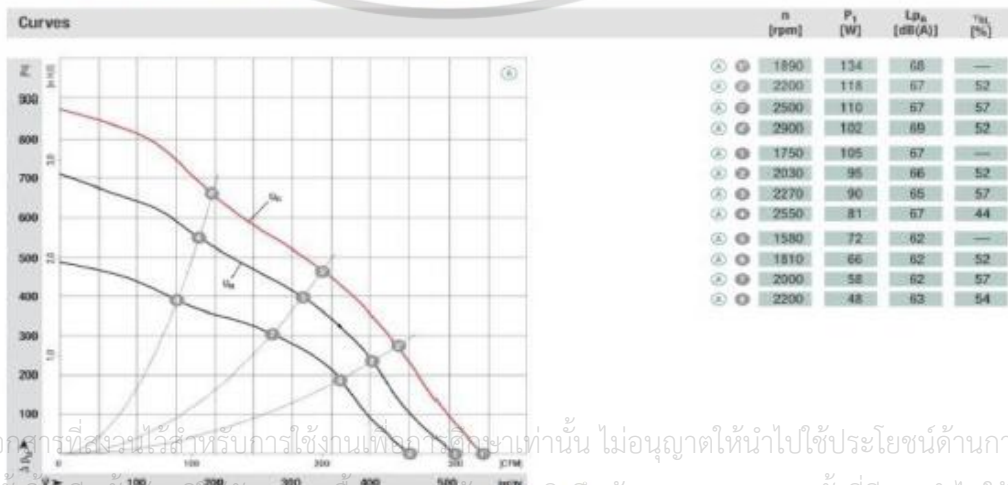
5.0 Fan performance

- 5.1 data
The noise standard is tested according to the air inlet of the centrifugal fan at 1 m, and the product center is 1 meter away from the ground:

Voltage [V]	Operating [VDC]	Current draw [A]($\pm 10\%$)	Power input [w]($\pm 10\%$)	Speed[r/min] ($\pm 10\%$)	Air flow [m3/h]($\pm 10\%$)	Noise level [Lp dB(A)]	Insulation class
24	16-28	3.50	85	1750	550	60	B

5.2 Performance curve (Rating voltage 24V)

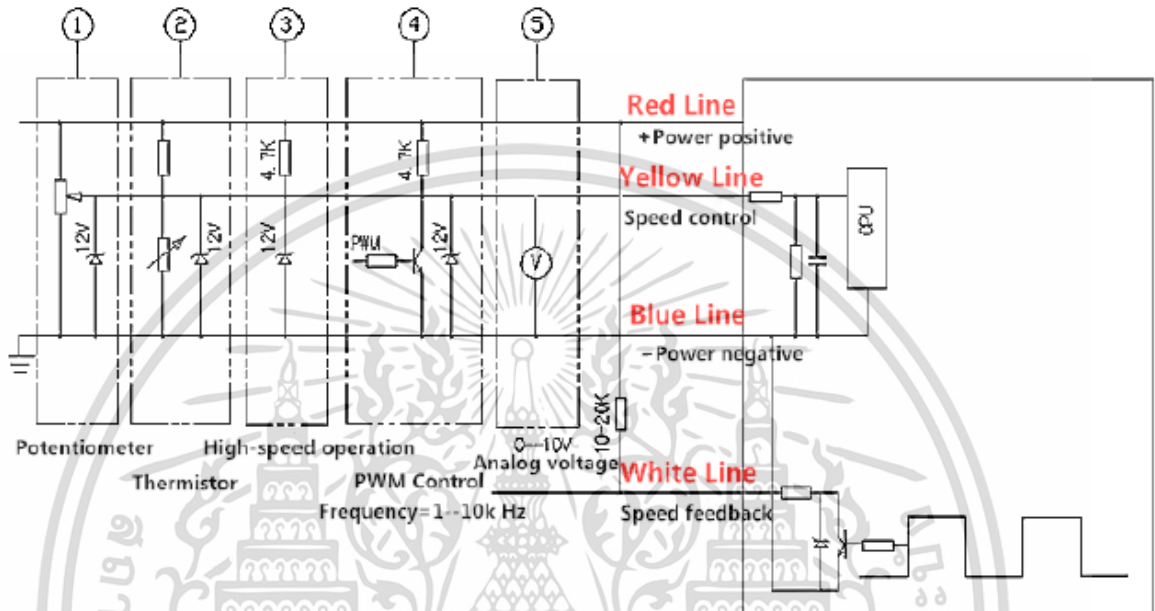
Single fan 2300RPM air volume pressure curve



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ออกจากรายการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.0 Electrical performance

6.1 View lead connection



6.2 Voltage range

The fan is designed to operate at a nominal voltage of 24VDC but can be operated in the DC supply voltage range of 16 to 32VDC; Over-voltage protection voltage is DC $32 \pm 1.5V$.

6.3 Main features

6.3.1 The feature of overcurrent protection, the value of overcurrent protection is not bigger 6.0A when input voltage is 24VDC.

6.3.2 Soft-starting

Soft-start time delay time less than 13S reached full speed;

6.3.3 Circuit board over-temperature protection features;

6.3.4 Loss phase protection;

6.3.5 The locked motor protection;

6.3.6 Overvoltage, undervoltage protection

6.4 Speed control

stand-alone mode

you can control the linear voltage by entering input-linear voltage or PWM signal control: 0~10VDC, starting voltage: $1.2 \pm 0.2V$;

PWM control signal: Amplitude 10VDC, frequency: 1~10KHz, 0~100%, duty ratio, start duty ratio: $12\% \pm 2\%$

6.5 Insulation class

Insulation class is 'B'.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6.6 Insulation resistance and strength
Insulation resistance and strength accord with the GB/T21418 «Permanent magnet Brushless Motor System General technical requirements»
- 6.7 Quality requests
Quality requests accord with *** standard.
- 7.0 Packaging and marks
- 7.1 Packaging
The packaging has to be well dimension and structure,so that the fans for on normal transport could not be damaged.
- 7.2 Marks(Can be made according to customer requirements, refer to the following)
Markings:Mark of manufacturer,type of fan,date of manufacture,weight,Size etc.
- 8.0 Other requirements on accessory
- 8.1 Inlet cones
Yes, No, According to sales order;
- 8.2 Scroll housing
Yes,/No
Scroll housing Material:
- 8.3 Annexent parts
linker(Yes No)
terminal(Yes No)
- 8.4 Logo
Yes No
- 9.0 Detailed list of the main parts:
- | NAME | SIZE | MATERIAL |
|------------------|--------------------------|----------------------------|
| Motor lead wire | 20AWG,Red、 Yellow、 Blue、 | Teflon cable |
| Impeller | Φ160*Φ92*62 | Galvanized steel |
| Rotor housing | Φ92*45L | Stretched steel plate |
| Enameled wire | | QZY-2/180, GB 6109.23-2008 |
| Electric control | 24VDC | PCBA |
| Base | | Die-cast aluminum |
| Bearing | NSK 6000ZZ | Steel |
| Magnetic strip | | Ferrite soft magnetic |
- 10.0 Note:
- 10.1 Th fan and motor must be used within the prescribed scope of temperature and humidity otherwise it will cause an unexpected damage.
- 10.2 Provide the right voltage according to the nameplate otherwise it will damage the product to use the extension cord .Any wrong connection may cause the damage of the fan.
Wiring depends on the wiring diagram and please connect the earth ground if required. we
- 10.3 don't suggest to use the extension cord. Any wrong connection may cause the damage of the fan.
- 10.4 Be careful when moving the fan and do not take the blades as a handle because it will cause the distortion and chatter.

Table 1:List of items test requirements

No.	Test Items	Testing Base	Specified Value	Type	
1	Voltage	Internal control	24VDC	Full inspection	
2	Current draw	Internal control	$\leq A$ (Fan full speed status)	Full inspection	
3	Power input	Internal control	$\leq W$ (Fan full speed status)	Full inspection	
4	Speed	Internal control	1750 \pm 10%RPM(Fan full speed status)	Full inspection	
5	Speed signal feedback (detection under rated voltage)	Waveform	Internal control	Output square wave signal	Full inspection
		Frequency	Internal control	87.5Hz	Full inspection
6	Withstand voltage test	GB/T 21418-2008 6.1.1 items	AC600V/50Hz, hold for 3 seconds, Leakage current < 5mA	Full inspection	
7	Insulation resistance test	GB/T 21418-2008 6.1.2 items	Cold insulation resistance $\geq 50M\Omega$	Full inspection	
8	Fan turning	Internal control	Clockwise direction	Full inspection	
9	Vibration of fan	JB/T 10563-2006 5.3(a) items	Vibration ≤ 2.5 (mm/S)	Sampling	
10	Fan size measurement	Internal control	Dimensions meet the drawing requirements	Sampling	
11	Stall protection (including self-starting times / current)	Internal control	9 times self-starting after the fan is blocked, then stop, the fan needs to be self-started again after power-on	Sampling	
12	Operating voltage	Internal control	16-28 VDC	Sampling	
13	Undervoltage protection	Internal control	≤ 16 VDC	Sampling	
14	Overvoltage protection	Internal control	28 \pm 2 VDC	Sampling	
15	Speed regulation voltage range	Internal control	1.2~10 VDC	Sampling	
16	Lead wire inspection (type, color, length)	Internal control	Red、Blue、Yellow、White 20AWG cable Length: 450 \pm 20mm	Sampling	
17	Aerodynamic performance test of ventilator	JB/T 10563-2006 5.4(b) items	Maximum pressure	1750rpm;600Pa	Type test
			Maximum volume	1750rpm;550m3/h	Type test
18	Fan noise test	JB/T 10563-2006 5.4© items	1750rpm; ≤ 67 dB 4.4A (Lp) @0Pa	Type test	
19	Impeller overspeed experiment	JB/T 10563-2006 5.4(d) items JB/T 6445-2005 Industrial fan impeller overspeed test	The impeller runs 1.5 times rated speed (1750rpm) for more than 2min, the impeller diameter deformation is $\leq 5/1000$, no cracks and other defects	Type test	

20	Low temperature test	GB/T 21418-2008 7.14 items	1:Continuous operation of 24H at 1:-25 ° C; 2: At room temperature, re-power on the rated power supply *85% start-up time is less than 2 minutes. 3: Under room temperature conditions, the rated voltage is running, the speed is regulated at 10V, and the performance meets the requirements of 2,3,4 of this list;	Type test
21	Constant damp heat	GB/T 21418-2008 7.18 items	1: Rated operation is placed in +40 ° C /93% RH environment for 7 days, the insulation resistance is $\geq 1M\Omega$, no obvious appearance quality change and rust phenomenon affecting normal work; 2: After returning to room temperature for 12 hours, it can operate normally.	Type test
22	Temperature rise test	GB/T 21418-2008 7.4 items	Winding, electronic components (MOS tube) $\leq 50K$	Type test
23	High temperature storage	Internal control	※:After +85 ° C / 24 hours, let room temperature for 4 hours, test under rated voltage, performance parameters meet 2, 3, 4 of this list.	Type test
24	High and low temperature impact test	Internal control	1:-25 ° C ~ +85 ° C / each 30 minutes / 3 cycles, after the test, the fan, the driver looks normal, no device drops, cracking, etc. 2: At room temperature, the rated voltage is running, the speed is 10V, and the performance meets 2, 3, and 4 of this list.	Type test
25	Lifetime	Internal control	Under the rated voltage, natural ambient temperature and ambient humidity, when the fan runs at full speed, the MTF life of the fan reaches 40,000 hours or more. The power, current and speed changes before and after the test do not exceed 15%.	Type test

โค้ดโปรแกรมควบคุม

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <EEPROM.h>
#include <Keypad.h>
#include "DHT.h"
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <EEPROM.h>
#define DHTPIN 22
#define DHTTYPE
int relay = 22;
int blower= 2;
float SET_T,SPD_B;
const byte ROWS = 4; //four rows
const byte COLS = 3; //three columns
char keys[ROWS][COLS] =
{
  {'1', '2', '3'},
  {'4', '5', '6'},
  {'7', '8', '9'},
  {'*', '0', '#'}
};
};
byte rowPins[ROWS] = {41, 43, 45, 47};
byte colPins[COLS] = {49, 51, 53};
Keypad keypad = Keypad( makeKeymap(keys), rowPins, colPins, ROWS, COLS );
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
DHT dht;
void setup(void)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("S<T= C,SPD= %>");
  lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("T= C ,H= %");
  pinMode (relay,OUTPUT);    digitalWrite (relay,HIGH);
  pinMode (blower,OUTPUT);   analogWrite(blower,0);
  SET_T = EEPROM.read(0);
  SPD_B = EEPROM.read(1);
  lcd.setCursor(4, 0); lcd.print(SET_T);
  lcd.setCursor(12, 0); lcd.print(SPD_B);
}
void loop(void)
{
  float humid,temp;
  char Key;
  int SPD;
  SPD = (SPD_B/100)*1023 ;
  while (Key == NO_KEY)
  {
    humid = dht.getHumidity();
    temp = dht.getTemperature();
    lcd.setCursor(2, 1); lcd.print(temp,1);
    lcd.setCursor(11, 1); lcd.print(humid,1);
    analogWrite(blower,SPD);
    if (temp < SET_T)
      {digitalWrite (relay,LOW);}
    Key = keypad.getKey();
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
if (Key == '*')
{
    lcd.setCursor(5, 0);
    lcd.blink();
    SET_T = GetNum(2,6,1);
    EEPROM.write(0,SET_T);
    SPD_B = GetNum(2,14,1);
    EEPROM.write(1,SPD_B);
    lcd.noBlink();
}
}
char BufNum[8];
void SlideNum(void)
{
    BufNum[6] = BufNum[5];
    BufNum[5] = BufNum[4];
    BufNum[4] = BufNum[3];
    BufNum[3] = BufNum[2];
    BufNum[2] = BufNum[1];
    BufNum[1] = BufNum[0];
}
unsigned long GetNum(int Count,int X,int Y)
{
    char Key,i,N;
    int Sum;
    lcd.setCursor(X+(Count-1),Y);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

N = 0;
for(i=0;i<Count;i++){BufNum[i] = ' ';}
i = 0;
while(Key != '#')
{ Key = NO_KEY;
  while(Key == NO_KEY){Key = keypad.getKey();}
  if(Key == '*'){for(i=0;i<Count;i++){BufNum[i] = ' '};N = 0;}
  if((N < Count)&&(Key >= '0')&&(Key <= '9'))
  {
    SlideNum();
    BufNum[0] = Key;
    N++;
  }
  lcd.setCursor(X,Y);
  for(i=0;i<Count;i++){lcd.print(BufNum[Count-(i+1)]);}
  lcd.setCursor(X+(Count-1),Y);
}
Sum = 0;
for(i=0;i<Count;i++)
{
  if(BufNum[Count-(i+1)]==0x20){BufNum[Count-(i+1)] = '0';}
  Sum = (Sum*10) + (BufNum[Count-(i+1)]-'0');
}
lcd.noCursor();
return(Sum);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

- High Performance, Low Power AVR[®] 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 135 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
 - On-Chip 2-cycle Multiplier
- Non-volatile Program and Data Memories
 - 64K/128K/256K Bytes of In-System Self-Programmable Flash
 - Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - 4K Bytes EEPROM
 - Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
 - 8K Bytes Internal SRAM
 - Up to 64K Bytes Optional External Memory Space
 - Programming Lock for Software Security
- JTAG (IEEE std. 1149.1 compliant) Interface
 - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
 - Extensive On-chip Debug Support
 - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - Four 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare- and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Four 8-bit PWM Channels
 - Six/Twelve PWM Channels with Programmable Resolution from 2 to 16 Bits (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
 - Output Compare Modulator
 - 8/16-channel, 10-bit ADC (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
 - Two/Four Programmable Serial USART (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Byte Oriented 2-wire Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 54/86 Programmable I/O Lines (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
 - 64-pad QFN/MLF, 64-lead TQFP (ATmega1281/2561)
 - 100-lead TQFP, 100-ball CBGA (ATmega640/1280/2560)
 - RoHS/Fully Green
- Temperature Range:
 - -40°C to 85°C Industrial
- Ultra-Low Power Consumption
 - Active Mode: 1 MHz, 1.8V: 510 µA
 - Power-down Mode: 0.1 µA at 1.8V
- Speed Grade (see “Maximum speed vs. VCC” on page 377):
 - ATmega640V/ATmega1280V/ATmega1281V:
 - 0 - 4 MHz @ 1.8 - 5.5V, 0 - 8 MHz @ 2.7 - 5.5V
 - ATmega2560V/ATmega2561V:
 - 0 - 2 MHz @ 1.8 - 5.5V, 0 - 8 MHz @ 2.7 - 5.5V
 - ATmega640/ATmega1280/ATmega1281:
 - 0 - 8 MHz @ 2.7 - 5.5V, 0 - 16 MHz @ 4.5 - 5.5V
 - ATmega2560/ATmega2561:
 - 0 - 16 MHz @ 4.5 - 5.5V



8-bit AVR[®]
Microcontroller
with
64K/128K/256K
Bytes In-System
Programmable
Flash

ATmega640/V
ATmega1280/V
ATmega1281/V
ATmega2560/V
ATmega2561/V

Preliminary
Summary

2549KS-AVR-01/07



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ATmega2560

Speed (MHz) ⁽²⁾	Power Supply	Ordering Code	Package ⁽¹⁾⁽³⁾	Operation Range
8	1.8 - 5.5V	ATmega2560V-8AU ATmega2560V-8CU	100A 100C1	Industrial (-40°C to 85°C)
16	4.5 - 5.5V	ATmega2560-16AU ATmega2560-16CU	100A 100C1	Industrial (-40°C to 85°C)

- Notes:
1. This device can also be supplied in wafer form. Please contact your local Atmel sales office for detailed ordering information and minimum quantities.
 2. See "Maximum speed vs. VCC" on page 377.
 3. Pb-free packaging, complies to the European Directive for Restriction of Hazardous Substances (RoHS directive). Also Halide free and fully Green.

Package Type	
64A	64-lead, Thin (1.0 mm) Plastic Gull Wing Quad Flat Package (TQFP)
64M2	64-pad, 9 x 9 x 1.0 mm Body, Quad Flat No-lead/Micro Lead Frame Package (QFN/MLF)
100A	100-lead, Thin (1.0 mm) Plastic Gull Wing Quad Flat Package (TQFP)
100C1	100-ball, Chip Ball Grid Array (CBGA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้