Psychrometric Chart กับการเดินทางของอากาศ

สมจินต์ ดิสวัสดิ์
Chief of Engineering Department, EEC Engineering Network Co. Ltd

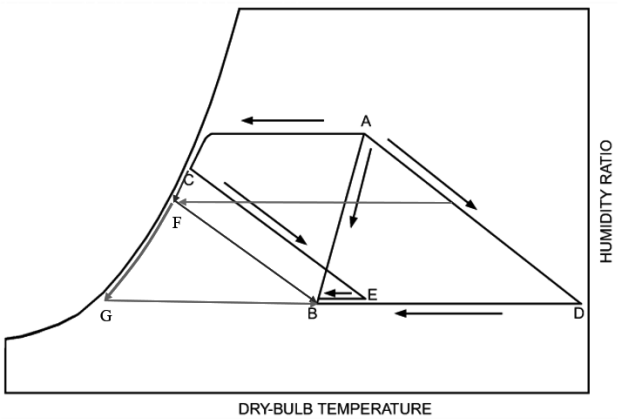
1. Introduction

Psychrometric chart เป็นชาร์ตที่แสดงคุณสมบัติของอากาศที่สภาวะต่างๆ ในที่นี้จะพูดถึงเฉพาะที่ความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล และจัดเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งของวิศวกรปรับอากาศ ในการที่จะเป็นตัวช่วยให้สามารถออกแบบระบบปรับอากาศให้เหมาะสมกับความต้องการ เมื่อมันเป็นเครื่องมือ สิ่งที่ต้องระลึกไว้ก็คือการฝึกใช้เครื่องมือให้ชำนาญ การฝึกใช้บ่อยๆเท่านั้นจึงจะทำให้เกิดความชำนาญ และสามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับการขี่จักรยาน หรือการขับรถยนต์ ฝึกแรกๆจะยากหน่อย พอชำนาญแล้วก็จะใช้ได้คล่องแคล่วยิ่ง ๆ ขึ้นไปเอง โดยการฝึกมีอยู่ 3 อย่างด้วยกันคือ 1) ฝึกเขียนสภาวะอากาศและกระบวนการลงบน Psychrometric chart 2) ฝึกเขียน Schematic diagram ของอุปกรณ์ต่าง ๆ ประกอบกันเป็นระบบ และ 3) ฝึกคำนวณหาสภาวะอากาศและขนาด Capacity ของอุปกรณ์แต่ละตัว อย่างไรก็ตามในบทความนี้จะไม่เน้นการคำนวณ แต่จะเน้นการทำความเข้าใจอุปกรณ์กับกระบวนการของมันบน Psychrometric chart เป็นหลัก

2. แผนที่การเดินทาง

หากเปรียบแล้วกระบวนการต่างๆบน Psychrometric chart ก็เหมือนกับการเดินทางของอากาศจากสภาวะหนึ่งไปยังอีกสภาวะหนึ่งหรือจากจุดใดจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งเปรียบเสมือนการเดินทางจริงๆของคนเรา ซึ่งแผนที่ถือเป็นเครื่องมือในการระบุตำแหน่งที่เราอยู่ในปัจจุบันและสามารถแสดงเส้นทางต่างๆในการที่จะไปถึงจุดหมายได้ ทั้งทางบก ทางน้ำ หรือทางอากาศ ไม่ว่าจะเป็นรถไฟ รถยนต์ จักรยาน เรือ เครื่องบิน หรือแม้กระทั่งการเดิน กระบวนการต่างๆบน Psychrometric chart เปรียบเสมือนการเดินทางของอากาศนั่นเองดังแสดงในรูปที่ 1

จากรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่าหากเราต้องการทำให้สภาวะของอากาศเปลี่ยนแปลงจากจุด A ไปยังจุด B เราสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น A ไป B โดยตรง, A ไป D ไป B, A ไป C ไป E ไป B, A ไป F ไป B และ A ไป G ไป B เป็นต้น และจะเห็นว่ายังสามารถที่จะมีเส้นทางการเดินทางได้อีกหลายๆเส้นด้วยกัน ทั้งนี้ส่วนที่เราต้องรู้คือแต่ละเส้นทางที่เดินนั้นต้องการอุปกรณ์อะไรในการทำให้เกิดเส้นทางหรือกระบวนการนั้นๆ



รูปที่ 1 แสดงเส้นทางการเดินทางของอากาศบน Psychrometric chart (Air conditioning map) [2]

ตารางที่ 1 สรุปเปรียบเทียบการเดินทางจริง ๆ กับกระบวนการทาง Psychrometric Chart

items	Travelling map	Air conditioning map
1	Location; A to B	Condition; A to B
2	Path/ Direction	Process line/ Direction
3	Distance	Capacity
4	Vehicle	Air conditioning equipment
5	Cost	Cost

ไม่ว่าจะเป็นการเดินทางในชีวิตประจำวัน หรือการเดินทางของอากาศบน Psychometric chart จะเห็นว่าเราสามารถเลือกเส้นทางเดินทางของเราได้หลายแบบ โดยเลือกให้เหมาะสมกับความต้องการของเรามากที่สุด แต่ละแบบจะมีข้อดี ข้อเสีย ข้อจำกัด และราคา ที่แตกต่างกันไป

3. พื้นฐานเบื้องต้นที่ควรรู้

ก่อนจะไปสู่เรื่องกระบวนการต่างๆบน Psychrometric chart ควรทำความเข้าใจกับความร้อนสองชนิดกันก่อน คือความร้อนสัมผัส (Sensible heat) และความร้อนแฝง (Latent heat)

ความร้อนสัมผัส (Sensible heat, qs) คือความร้อนที่ทำให้อากาศมี Dry bulb temperature เปลี่ยนแปลง ส่วนความร้อนแฝง (Latent heat, ql) คือความร้อนที่ทำให้อัตราส่วนความชื้น หรือ Moisture content ของอากาศเปลี่ยนแปลงหรือเป็นความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มหรือลดปริมาณไอน้ำในอากาศนั่นเอง และเมื่อนำความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงมารวมกันก็จะได้ค่าความร้อนรวม (Total heat, qt) นั่นเอง

หากเรานำค่าความร้อนสัมผัสหารด้วยค่าความร้อนรวมก็จะได้อัตราส่วนความร้อนสัมผัส หรือที่เรามักจะเรียกว่า Sensible Heat Ratio (SHR = qs/qt) นั่นเอง หากนำความร้อนสัมผัสของห้องหารความร้อนรวมของห้องเราก็จะเรียกว่า Room Sensible Heat Ratio (RSHR) แต่หากนำความร้อนสัมผัสของคอยล์เย็นหารด้วยความร้อนรวมของคอยล์เย็นเราก็จะเรียกว่า Grand Sensible Heat Ratio (GSHR)

นอกจากนี้ยังมีสมการ (หน่วย SI) ที่ควรรู้อีก 4 สมการคือ

$$qs\ (W) = 1.23 \times L/s \times dT\ (^{\circ}C) \quad (1)$$

$$ql\ (W) = 3010 \times L/s \times dw\ (kg/kg) \quad (2)$$

$$qt\ (W) = 1.20 \times L/s \times dh\ (kJ/kg) \quad (3)$$

$$mt\ (kg/h) = 4.32 \times L/s \times dw\ (kg/kg) \quad (4)$$

หรือเมื่ออยู่ในรูปของหน่วย IP ก็จะได้สมการดังนี้

$$qs\ (Btu/h) = 1.08 \times CFM \times dT\ (^{\circ}F) \quad (5)$$

$$ql\ (Btu/h) = 0.68 \times CFM \times dw\ (grains/lb), \quad (6)$$

1 lb = 7,000 grains

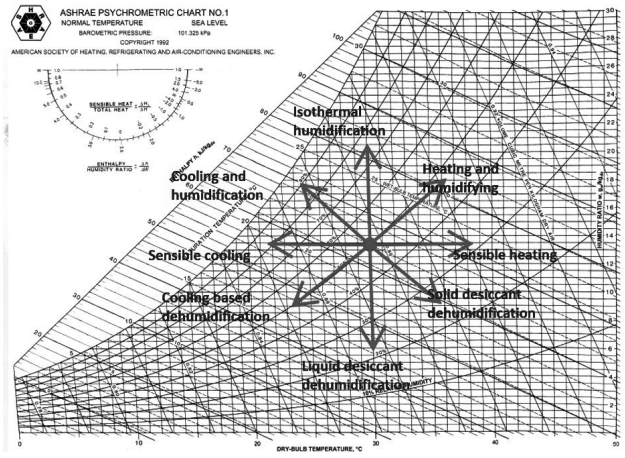
$$qt\ (Btu/h) = 4.45 \times CFM \times dh\ (Btu/lb) \quad (7)$$

$$mt\ (lb/h) = 4.50 \times CFM \times dw\ (lb/lb) \quad (8)$$

สมการที่ (4) และ (8) ใช้ในการหาปริมาณน้ำที่กลั่นตัวหรือปริมาณน้ำที่ต้องใส่เข้าไปในระบบ (mt) ขึ้นอยู่กับว่าเป็นกระบวนการลดความชื้นหรือเพิ่มความชื้น

4. Psychrometric Process

เช่นเดียวกับการเดินทางในชีวิตประจำวัน การเดินทางของอากาศ หรือกระบวนการของอากาศบน Psychrometric chart สามารถเดินทางได้ 8 ทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 แสดงกระบวนการต่าง ๆ บน Psychrometric chart

4.1 Sensible cooling and Sensible heating

เรามาเริ่มต้นกระบวนการแรกด้วย Sensible only กันก่อน ดังแสดงในรูปที่ 2 มันเป็นกระบวนการที่เป็นเส้นแนวนอนที่ไม่มีการเพิ่มหรือลดความชื้น นั่นคือ Moisture content คงที่ บน Psychrometric chart หากทำให้อากาศเย็นลงก็จะเป็น Sensible cooling หากทำให้อากาศร้อนขึ้นก็เป็น Sensible heating เราสามารถหาค่า Sensible heat ได้จากสมการที่ (1) และ (5)

อุปกรณ์ที่ทำให้เกิด Sensible cooling คือ Cooling coil ที่อุณหภูมิผิวคอยล์สูงกว่า Dew point temperature ของอากาศที่วิ่งผ่านคอยล์ ส่วนอุปกรณ์ที่ทำให้เกิด Sensible heating ก็คือ Hot water coil, Heater หรือ Refrigerant hot gas เป็นต้น

4.2 Latent heat removal and Latent heat addition

กระบวนการลดหรือเพิ่มความชื้นให้กับอากาศสามารถแสดงได้ตามรูปที่ 2 โดยเราสามารถหาค่าความร้อนแฝงได้จากสมการที่ (2) หรือ (6)

อย่างไรก็ตามเราไม่สามารถหาอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดกระบวนการ Purely moisture removal or addition ได้ โดยอุปกรณ์เพียงตัวเดียว เมื่อเราต้องการลดความชื้น เราต้องทำให้อากาศเย็นลงมาจนถึง Dew point temperature ของอากาศเพื่อให้เกิดการ Condense ดึงความชื้นออกด้วย Cooling coil หรือจะใช้ Liquid desiccant ในการดึงความชื้นออกจากอากาศ แต่เช่นกันอากาศที่ออกมาก็จะมีอุณหภูมิลดลงด้วย หากเราต้องการ Purely moisture removal จริง ๆ ก็ต้องทำ Reheating process อีกครั้ง

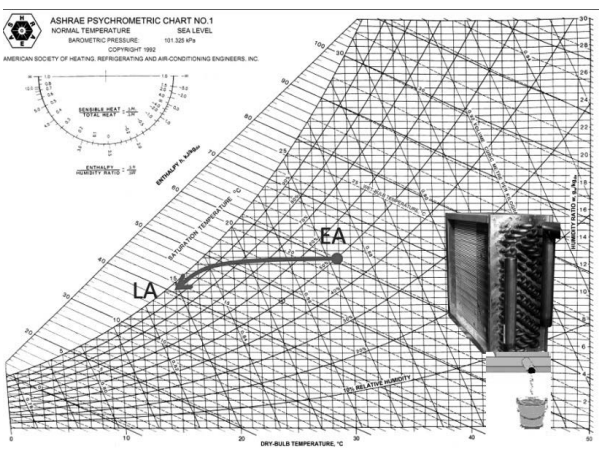
ทำนองเดียวกันเมื่อเราต้องการเพิ่มความชื้น แต่อุณหภูมิก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน เช่นการใช้ Steam humidifier ที่มีกระบวนการไกล้เคียงกับ Isothermal process ในอุปกรณ์จริง ๆ ก็จะทำให้อุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน หากต้องการ Purely moisture addition จริง ๆ ก็ต้องทำ Cooling process อีกครั้ง

4.3 Cooling and Dehumidification

4.3.1 โดยใช้ Cooling coil ที่ผิวคอยล์มีอุณหภูมิต่ำกว่า Dew point temperature

กระบวนการนี้มักจะใช้ในระบบปรับอากาศสำหรับประเทศร้อนชื้นอย่างเช่นประเทศไทย ทำได้โดยการใช้ Cooling coil ที่ผิวคอยล์มีอุณภูมิต่ำกว่า Dew point temperature ของอากาศที่ไหลเข้า Cooling coil โดยทั่วไปมักจะลากเส้นตรงจากจุดที่อากาศเข้า Cooling coil ไปยังจุดที่อากาศออกจาก Cooling coil แต่ในความเป็นจริงแล้วเส้นกระบวนการของ Cooling coil จะไม่เป็นเส้นตรง เนื่องจากอากาศที่ไหลผ่าน Cooling coil

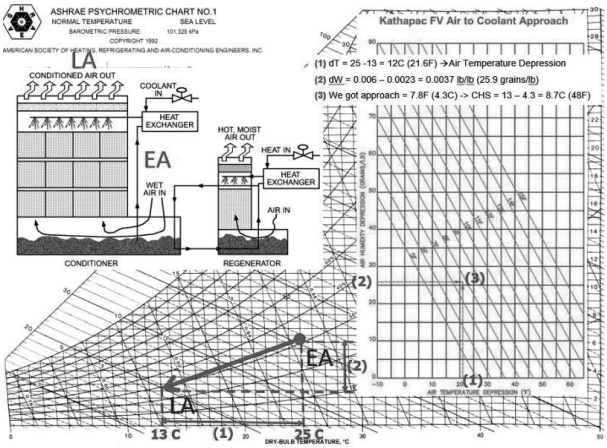
จะแบ่งเป็นส่องส่วนคือ 1) อากาศส่วนที่สัมผัสผิวคอยล์ (Contact air) โดยส่วนนี้อากาศจะเย็นลงจนกระทั่งเท่ากับ Dew point temperature ของมันเอง น้ำในอากาศก็จะกลั่นตัว อากาศส่วนนี้จะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิผิวคอลย์ และ 2) อากาศส่วนที่วิ่งผ่านคอยล์ (Bypass air) ไปโดยไม่สัมผัสกับผิวคอยล์ ซึ่งจะมีสภาวะเดียวกับอากาศที่เข้าคอยล์ โดยอากาศสองส่วนนี้จะผสมกันที่จุด Leaving air condition ซึ่งมักจะมีค่าอยู่ระหว่าง 85 — 98%rh โดยประมาณ หากต้องการค่าที่แม่นยำจริง ๆ ต้องให้ผู้ผลิต คำนวณให้อีกทีตาม Cooling coil ที่มีการผลิตจริง ๆ ซึ่งค่า Leaving air condition นี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของคอยล์และสภาวะอากาศและน้ำ (หรือสารทำความเย็น สำหรับระบบ Direct expansion, DX) รวมถึงอัตราการไหลของน้ำเป็นต้น



รูปที่ 3 แสดงกระบวนการสำหรับ Cooling coil ที่มีการทำความเย็นและลดความชื้น

4.3.2 โดยการใช้ Liquid desiccant

กระบวนการนี้จะใช้ในระบบปรับอากาศที่ต้องการดึง Dew point temperature, tdp ของห้องให้อยู่ในค่าต่ำๆ ซึ่งมักจะใช้กับระบบที่เกินความสามารถของ Cooling coil ไปแล้ว ดังตัวอย่างในรูปที่ 4 ค่าสภาวะอากาศที่ออกจาก Liquid desiccant สามารถหาได้จากข้อมูลของผู้ผลิต



รูปที่ 4 แสดงกระบวนการสำหรับ Liquid desiccant

4.4 Heating and Humidification

กระบวนการทำความร้อนและเพิ่มความชื้นจะใช้อุปกรณ์สองอย่างทำงานร่วมกัน คือ Heating coil ทำงานร่วมกับ Humidifier ดังจะแสดงให้เห็นในตัวอย่างกระบวนการปรับอากาศของ DOAS (100% Outside air)

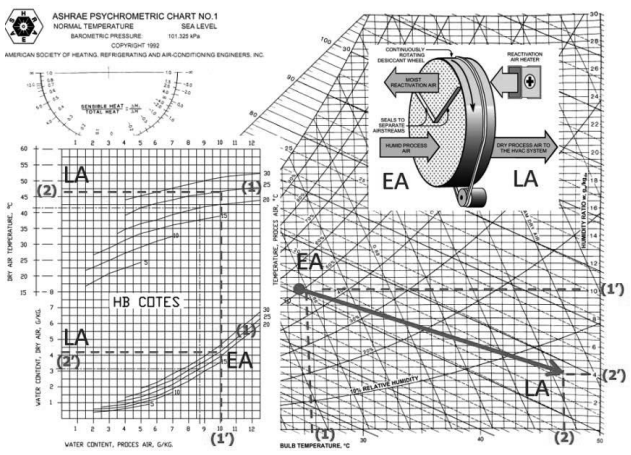
4.5 Cooling and Humidification

กระบวนการทำความเย็นและเพิ่มความชื้นใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Evaporative cooling ซึ่งเป็นการลดอุณหภูมิอากาศ ที่อากาศเย็นได้โดยการระเหยน้ำเพิ่มความชื้นให้กับอากาศโดย Wet bulb temperature คงที่ บางทีเราก็เรียกว่า Adiabatic humidification/cooling process หรืออาจพูดได้ว่าน้ำที่อยู่ในรูปของเหลวระเหยออกไปรวมอยู่กับอากาศในรูปของ Water vapor ทำให้อากาศเย็นลง และได้รับความชื้นเพิ่มขึ้นมา

ระบบ Evaporative cooling มักจะใช้กับภูมิอากาศแบบ Hot/Dry climate สำหรับภูมิอากาศแบบ Hot/Humid climate แบบประเทศไทยมักจะลดอุณหภูมิลงได้ 3 — 7 °C แต่ความชื้นจะสูงมาก ไม่สามารถทำ Thermal comfort ได้ และเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อโรคทางอากาศ

4.6 Heating and Dehumidification

โดยทั่วไปแล้วกระบวนการนี้เรามักจะต้องการลดความชื้นอย่างเดียว แต่เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์ใดสามารถทำได้ดังกล่าวมาแล้วในข้างต้น เมื่อเราต้องการลดความชื้นที่ต่ำกว่าความสามารถของ Mechanical cooling coil ไม่ว่าจะเป็นคอยล์น้ำเย็น หรือคอยล์สารทำความเย็น (DX) เราอาจต้องพิจารณาใช้ Solid dehumidifier ซึ่งจัดเป็น Chemical dehumidification โดยความชื้นจะถูกดูดโดยสารที่มีความสามารถในการดูดความชื้น ในทางทฤษฎีแล้วกระบวนการนี้จะมีความชันขนานไปกับเส้น Enthalpy แต่ในความเป็นจริงแล้ว Enthalpy จะสูงขึ้นในขณะที่ความชื้นลดลง เนื่องมาจากความร้อนที่เหลืออยู่จากกระบวนการ Reactivation ของอุปกรณ์



รูปที่ 5 แสดงกระบวนการสำหรับ Solid desiccant

4.7 Mixing of Air Streams

การผสมกันของอากาศสองส่วนเป็นกระบวนการที่พบได้บ่อยในระบบปรับอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 6สภาวะของอากาศที่ผสมกันแล้วจะอยู่บนเส้นที่เชื่อมต่อระหว่างสภาวะของอากาศทั้งสอง เราสามารถหาสภาวะอากาศที่ผสมกันได้โดยสมการดังต่อไปนี้

$$m_{da1} h_1 + m_{da2} h_2 = m_{da3} h_3 \quad (9)$$

$$m_{da1} + m_{da2} = m_{da3} \quad (10)$$

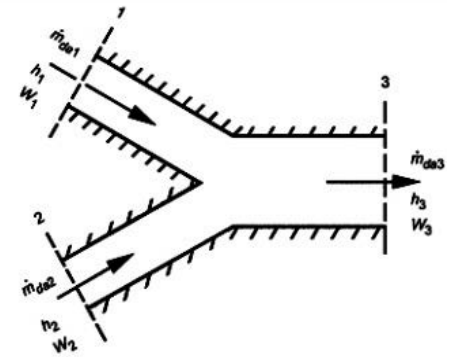
$$m_{da1} w_1 + m_{da2} w_2 = m_{da3} w_3 \quad (11)$$

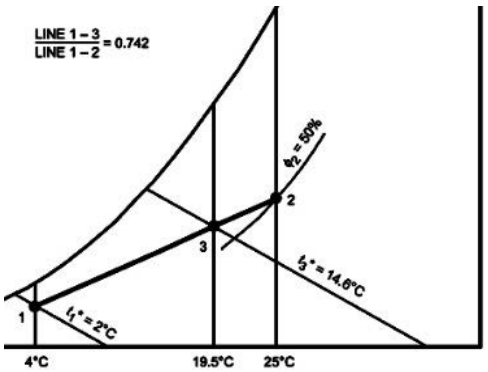
เมื่อ

m_{da} = mass flow rate of dry air, kg/s

h = enthalpy, kJ/kg_{da}

w = humidity ratio หรือ moisture content, kg/kg_{da}





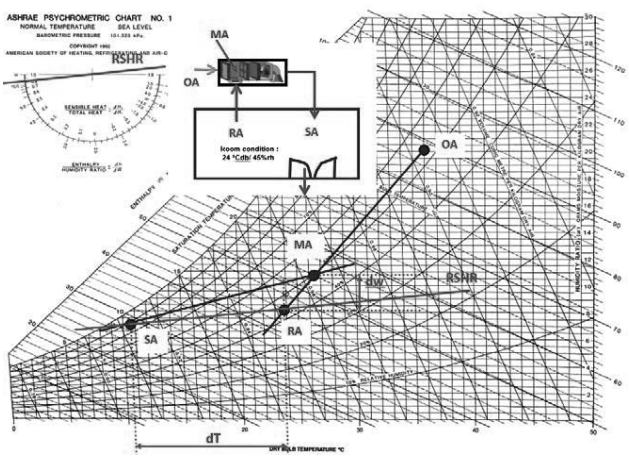
รูปที่ 6 แสดงกระบวนการ Mixing ของอากาศ [1]

5. ตัวอย่างกระบวนการปรับอากาศที่มีการผสมกันระหว่าง Return air กับ Outside air

ตัวอย่างนี้ Return air (RA) ผสมกับ Outside air (OA) ที่กล่องผสมลมของเครื่องส่งลมเย็น และถือว่าได้ผ่านการคำนวณ Cooling load มาแล้ว โดยเราได้ค่า Room Sensible Heat (RSH) กับ Room Latent Heat (RLH) จากนั้นก็นำไปหาค่า RSHR แล้วเริ่มจากการระบุสภาวะอากาศภายนอก (OA) สภาวะอากาศของห้อง (RA) จากนั้นลากเส้นเชื่อมต่อระหว่าง OA กับ RA และหาจุดที่อากาศผสมกัน (MA) จากนั้นลากเส้น

RSHR ผ่านสภาวะห้อง และลากเส้น Coil จากจุด MA ไปตัดกับเส้น RSHR ที่ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 90%rh เราก็จะได้กระบวนการของระบบปรับอากาศดังรูปที่ 7

ในบางครั้งถ้าเราเดินท่อลมส่งและท่อลมกลับยาว ๆ และผ่านพื้นที่ที่ไม่ปรับอากาศอาจจะมี Duct heat gains เกิดขึ้นก็อาจต้องเอามาพิจารณาด้วย โดยส่วนใหญ่จะอยู่ประมาณ 2 - 3% และบางครั้งอาจจะรวมเอาความร้อนที่เกิดขึ้นที่มอเตอร์พัดลมมาพิจารณาด้วย โดยพิจารณาว่าเป็น Blow thru หรือ Draw thru เพื่อกำหนดว่า Sensible heat ที่เกิดขึ้นจะอยู่ Downstream หรือ Upstream ของคอลย์

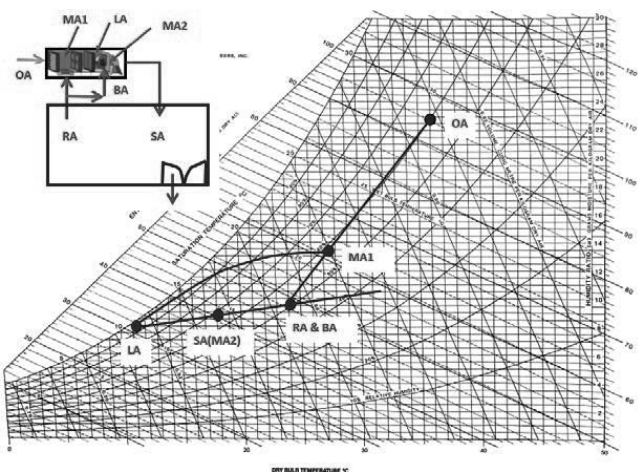


รูปที่ 7 แสดงกระบวนการระบบปรับอากาศที่มีการผสมกันระหว่าง Return air กับ Outside air

6. ตัวอย่างกระบวนการปรับอากาศที่ใช้ระบบ Return Air Face and Bypass

ในบางกรณีห้องต้องการปริมาณลมจ่าย (SA) จำนวนมากเช่น 30 ACH (Air Change per Hour) แต่เมื่อคิด Cooling load และให้ Leaving air (LA) ที่ออกจากคอยล์ที่ประมาณ 90%rh แล้ว ได้ปริมาณลม SA แล้วน้อยกว่าที่ต้องการ (เช่น 12 ACH) หากเพิ่มลมไปที่ 30 ACH จะทำให้อุณหภูมิ Supply air มีค่าสูงกว่าค่าที่ออกจากคอยล์ เช่นต้องการที่สภาวะ SA (MA2) ในกรณีนี้เรามักจะใช้วิธี Face and Bypass แทนที่จะใช้ Heater เนื่องจากประหยัดพลังงานได้มากกว่า

นอกจากนี้แล้ววิธี Return Face and Bypass อาจใช้กับระบบแอร์แบบ Displacement ventilation ได้ เนื่องจากระบบนี้ต้องการลมจ่ายเข้าพื้นที่ประมาณ 18 - 20 °C แทนที่จะเป็น 11 — 13 °C เช่นเดียวกับระบบกระจายลมแบบ Mixing system



รูปที่ 8 แสดงกระบวนการระบบปรับอากาศแบบ Return air face and bypass

7. ตัวอย่างกระบวนการปรับอากาศของ DOAS (100% Outside air)

ผู้เขียนมีโอกาสออกแบบให้กับโครงการในต่างประเทศที่มีทั้งฤดูร้อนและฤดูหนาว โดยโครงการนี้มี Dedicated Outdoor Air System (DOAS) ในการจ่าย Ventilation air ให้กับพื้นที่ปรับอากาศ ส่วนการทำความเย็นให้กับพื้นที่จะทำโดยเครื่องส่งลมเย็นภายในพื้นที่ สภาวะอากาศภายนอกที่ใช้ในการออกแบบมีดังนี้

Outdoor air, Summer Design condition:

41 °Cdb/30 °Cwb

Outdoor air, Winter Design condition:

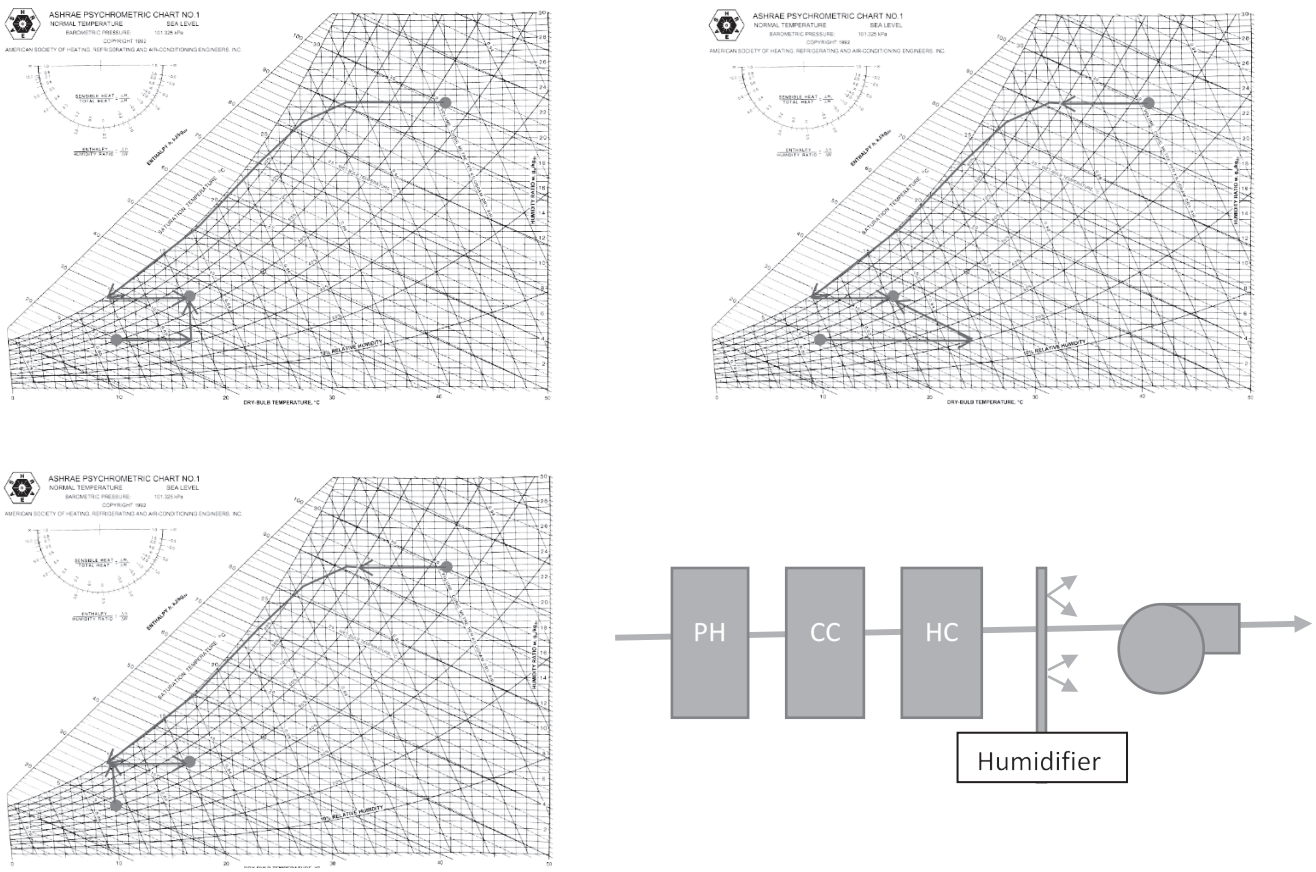
10 °Cdb/ 50%rh

Fresh air condition to room required:

17 °Cdb/ 60%rh

โดยสภาวะอากาศและกระบวนการของอากาศและอุปกรณ์ที่ใช้กับระบบ DOAS ดังกล่าวแสดงได้ในรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่าในช่วงหน้าร้อนเราต้องการกระบวนการ Cooling and dehumidification ด้วย Cooling coil (CC) แล้วตามด้วยกระบวนการ Sensible heating (Heating Coil, HC) ถึงจะสามารถทำสภาวะอากาศให้ได้ตามที่ต้องการ

ส่วนในช่วงหน้าหนาวเราต้องการกระบวนการ Sensible heating (Pre heating, PH) แล้วตามด้วยกระบวนการเพิ่มความชื้น (Humidification) สำหรับกระบวนการเพิ่มความชื้นสามารถเลือกได้สองแบบคือ Adiabatic humidifier หรือ Isothermal humidifier อย่างไรก็ตามเพื่อความสะอาดและมั่นใจได้ว่าระบบปลอดภัยจากเชื้อโรคต่าง ๆ ในที่นี้ผู้เขียนได้เลือก Isothermal humidifier หรือ dry steam humidifier



รูปที่ 9 แสดงกระบวนการปรับสภาวะอากาศและอุปกรณ์ประกอบของ DOAS (100% Outside air)

อาจมีข้อสังเกตอีกประการหนึ่งสำหรับช่วงหน้าหนาว จะเห็นว่าหากเราเลือกใช้ Isothermal humidifier เราไม่จำเป็นต้องมี Pre-heating coil (PH) ก็ได้

อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาอย่างถี่ถ้วนแล้วมีข้อควรระวังอย่างหนึ่งสำหรับการใช้ Humidifier คือ ไม่ควรจะทำความชื้นให้เกิน 80%rh เนื่องจากหากเกินนี้แล้วมีโอกาสสูงที่ไอน้ำที่จ่ายเข้าไปในระบบจะเริ่มผสมกับอากาศได้ไม่ดีเนื่องจากใกล้จุดอิ่มตัวแล้วจะกลั่นตัวกลับมาเป็นน้ำอยู่ในเครื่องส่งลมเย็น ดังนั้นการใช้ Isothermal humidifier เพียงอย่างเดียวจึงไม่สามารถทำได้ในกรณีนี้ นอกจากนี้แล้วการใช้ Isothermal humidifier ยังต้องการระยะ Downstream ของอุปกรณ์เพื่อให้ไอน้ำผสมเข้ากับอากาศได้อย่างสมบูรณ์ ผู้ใช้งานต้องศึกษาคู่มือผู้ผลิตสำหรับระยะติดตั้งนี้ เพื่อให้ใช้งานได้อย่างถูกต้อง

8. สรุป

วิศวกรปรับอากาศ ต้องมีความรู้และความเข้าใจในการใช้ Psychrometric chart ทั้งกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นและอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้เพื่อให้เกิดกระบวนการต่าง ๆ ขึ้น การเขียนกระบวนการลงบน Psychrometric chart ควรเขียนร่วมกับ Schematic diagram ของระบบปรับอากาศ เพื่อจะได้เห็นรายละเอียดของอุปกรณ์และกระบวนการทำงานของอุปกรณ์ นอกจากนี้แล้วการเขียนกระบวนการลงบน Psychrometric chart จะทำให้สามารถกำหนดขนาดและพารามิเตอร์ต่างๆของอุปกรณ์ได้ เช่น ปริมาณลม ความร้อนรวม ความร้อนสัมผัส ความร้อนแฝง จุดเข้า/จุดออกของอากาศที่ผ่านอุปกรณ์ รวมถึงจุดที่อากาศผสมกันเพื่อนำไปใช้ในการกำหนด Specification ของอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง

9. เอกสารอ้างอิง

[1] ASHRAE Fundamental Handbook, 2017

[2] ASHRAE HVAC Systems and Equipment, 2016

[3] www.kathabar.com, product catalog

[4] www.cotes.com, product catalog