การคำนวณ เพื่อการเลือกอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศ
Calculations for HVAC Equipment Selection

ตุลย์ มณีวัฒนา*
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวันกรุงเทพฯ 10330
**ติดต่อ: โทรศัพท์: 0-2218-6640 โทรสาร 0-2218-6640 E-mail:tul.m@chula.ac.th*

1. คำนำ

การเลือกขนาดของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ HVAC อาทิเช่น คอยล์เย็น และพัดลม วิศวกรจะต้องพิจารณาเลือกระบบ HVAC ที่จะใช้เสียก่อน จากนั้นจึงนำเอาความรู้ว่ากระบวนการต่างๆ ในระบบเป็นอย่างไร และผลลัพธ์ ของการคำนวณภาระความร้อนมา Plot ลงบนแผนภูมิไซโคเมตริก (Psychrometric Chart) เพื่อคำนวณขนาดของลมจ่าย และทราบสภาวะของอากาศที่จุดต่างๆ ในระบบ สภาวะของอากาศที่จุดต่างๆ ดังกล่าว จะทำให้วิศวกรสามารถนำไปกำหนดขนาดของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ HVAC ได้ อาทิเช่น ขนาดของคอยล์เย็น และขนาดของพัดลม เป็นต้น

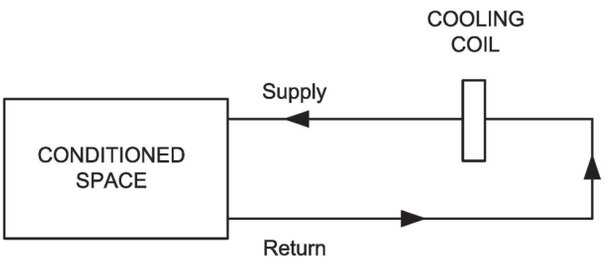
เพื่อเป็นการสาธิตให้เห็นขั้นตอนต่างๆ ดังกล่าวให้ชัดเจน ผู้เขียนจะขออธิบาย โดยการยกตัวอย่าง ระบบ HVAC อย่างง่ายๆ มาใช้ประกอบการอธิบาย โดยตัวอย่างต่างๆ เหล่านี้ จะใช้ข้อมูล Design Condition และ Room Load ต่างๆ ชุดเดียวกัน คือ

- อากาศภายนอก 95 FDB, 75 FWB
  (35 DBC, 23.9 WBC)
- อุณหภูมิห้อง 78 FDB, 50%RH
  (25.6 DBC, 50% RH)
- RSH 200,000 BTUH
- RLH 50,000 BTUH

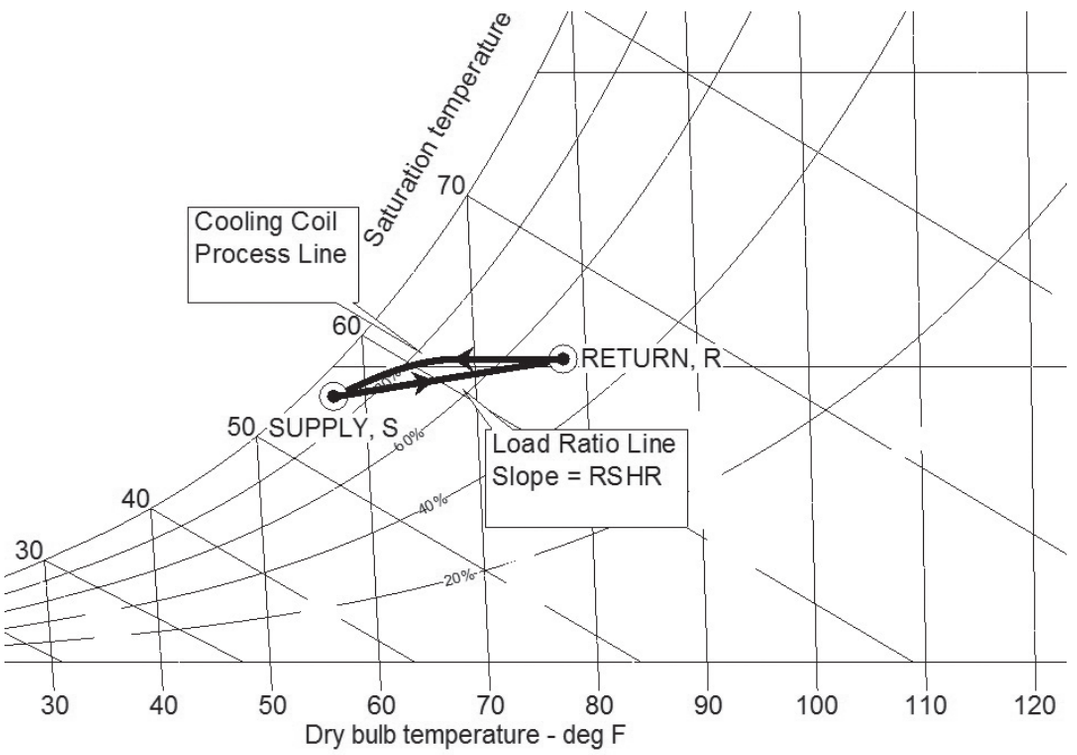
โดยในแต่ละตัวอย่างจะเริ่มจากระบบที่ง่ายที่สุดก่อน จากนั้นจึงจะค่อยๆ เพิ่มเติมอุปกรณ์ หรือกระบวนการ ให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้นเรื่อยๆ ตามลำดับ

2. ตัวอย่างที่ 1 : Recirculating Air System

รูปที่ 1 แสดงระบบปรับอากาศแบบง่ายที่สุด มีเพียง Cooling Coil ทำความเย็นให้แก่ Supply Air เพื่อนำเข้าไปจ่ายยังห้อง (Conditioned Space) กระบวนการดังกล่าวสามารถนำลงไป Plot ในแผนภูมิไซโครเมตริกได้ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 Recirculating Air System



รูปที่ 2 กระบวนการในตัวอย่างที่ 1

การ Plot เริ่มจากการกำหนดจุด Return, R ซึ่งก็คือสภาวะของอากาศภายในห้องปรับอากาศ จากนั้นก็ทำการคำนวณ Room Sensible Heat Ratio (RSHR) จาก

$$RSHR = \frac{RSH}{RTH} = \frac{200{,}000}{(200{,}000 + 50{,}000)} = 0.8$$

และเพื่อความสะดวก ในตัวอย่างนี้และตัวอย่างต่อๆ ไปทั้งหมด จะใช้สมมุติฐานว่าอากาศเมื่อผ่านคอยล์เย็นแล้วจะออกมาที่สภาวะ 90% RH (สมมุติฐานนี้เป็นการประมาณค่าเบื้องต้นที่ดีสำหรับคอยล์เย็นโดยทั่วไป)

จากจุด R ถ้าลากเส้นที่มีความเอียงให้ได้ค่า SHR = 0.8 เส้นดังกล่าวจะมาตัดกับเส้น 90%RH คงที่ที่จุด Supply, S ซึ่งจะเป็นจุดที่ลมจะจ่ายออกมาจาก Cooling Coil จุดตัดดังกล่าวอยู่ที่ 57.2 FDB (14 DBC)

ในรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่า มีเส้นเชื่อมโยงจุด R และ S อยู่สองเส้น เส้นล่าง (เส้นตรง) เป็นเส้นแสดง Process ที่ลมจ่ายค่อยๆ รับ Load จากภายในห้อง (Conditioned Space) แล้วค่อยๆ ร้อนและชื้นขึ้นจนกลายไปเป็นสภาวะ Return Air หรือ สภาวะห้อง (เส้นตรงเส้นนี้นิยมเรียกกันว่า Load Ratio Line) ส่วนเส้นบนที่โค้งๆ จะเป็นกระบวนการที่

อากาศไหลผ่าน Cooling Coil แล้วออกไปจ่ายให้แก่ห้อง (Conditioned Space)

บริเวณลมจ่ายหาได้จาก

$$CFM = \frac{RSH}{1.1\,(t_R - t_S)} = \frac{200{,}000}{1.1(78 - 57.2)} = 8{,}740\ CFM$$

ในตัวอย่างนี้ Coil Load มีค่าเท่ากันกับ Room Load การ Specify ขนาดของ Cooling Coil สำหรับในตัวอย่างที่ 1 นี้ คือ เราต้องการ Cooling Coil ที่ทำความเย็นได้ 250,000 BTUH มีค่า SHR = 0.8 โดยมีค่า Entering Condition อยู่ที่ 78 FDB, 50% RH และมีค่าLeaving Condition อยู่ที่ 57.2 FDB 90% RH

3. ตัวอย่างที่ 2 : All Outside Air System

ในตัวอย่างนี้ Conditioned Space มี Load เหมือนกันทุกประการกับตัวอย่างที่ 1 แต่จะถูกปรับอากาศ โดยใช้ 100% Outside Air ตามรายละเอียดของระบบดังแสดงในรูปที่ 3 เราจะมาพิจารณาดูกันว่า ในกรณีนี้ Cooling Coil จะมีความแตกต่างกันกับในตัวอย่างที่ 1 อย่างไร

กระบวนการในตัวอย่างที่ 2 นี้เมื่อนำไป Plot ลงบน Psychrometric Chart จะมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 4

การ Plot เริ่มจาก

ก) กำหนดจุด Room (Return, R) และจุด Outside Air (OA) ลงบน Chart

ข) จากจุด R ลากเส้นตรงที่มีความชันเท่ากันกับ RSHR ลงไปตัดกับเส้น RH = 90% ดังแสดงในรูป จุดตัดจะเป็นจุดที่ลมเย็นจะจ่ายออกมาจาก Cooling Coil ตามที่ได้ตั้งสมมุติฐานไว้

ค) จากจุด OA ซึ่งเป็นจุดที่อากาศภายนอกไหลเข้า Cooling Coil ลากเส้น Coil Curve ลงมายังจุด Supply, S ดังแสดงในรูป เส้นโค้งนี้จะเป็นตัวแทนของกระบวนการที่อากาศภายนอกไหลผ่าน Cooling Coil แล้วออกมาจ่ายเข้าห้องที่จุด Supply, S

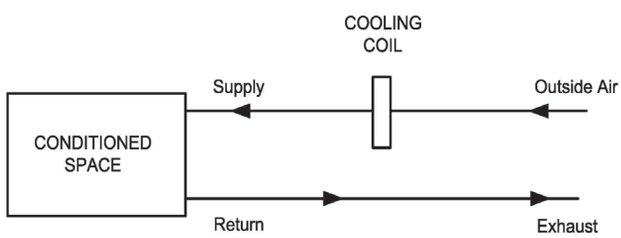
ง) Supply Air CFM จะมีค่าเท่าเดิมกับตัวอย่างที่ 1 คือ 8,740 CFM

จ) Cooling Coil Load จะหาได้จาก

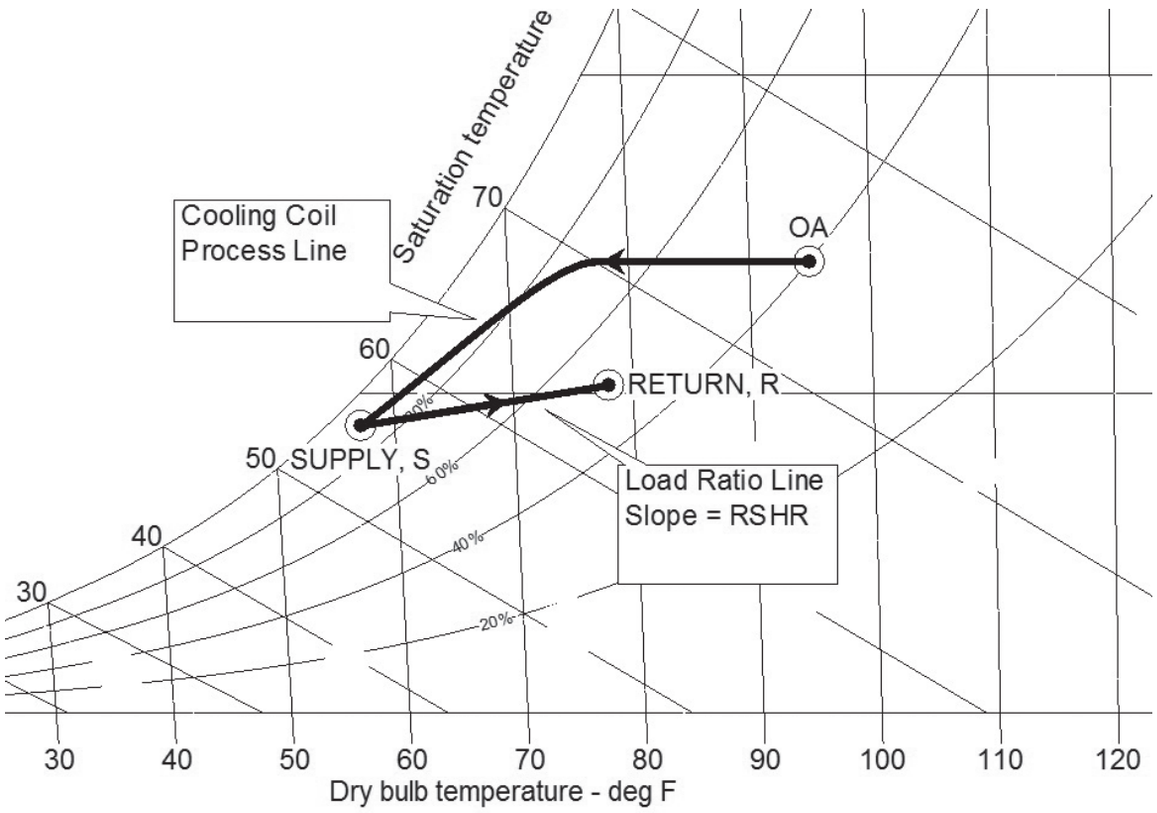
Coil Sensible Heat (q_S) = 1.1 x CFM x Δt
= 1.1 x 8,740 x (95.0 -57.2)
= 363,000 BTUH

Coil Latent Heat (q_L) = 4,840 x CFM x ΔW
= 4,840 x 8,740 x (0.0141-0.0090)
= 216,000 BTUH

Coil Total Heat (q_T) = Coil Sensible Heat + Coil Latent Heat
= 363,000 + 216,000
= 579,000 BTUH



รูปที่ 3 All Outside Air System



รูปที่ 4 กระบวนการในตัวอย่างที่ 2

ค่า ΔW คือ ค่าความแตกต่างของค่า W ที่จุดเข้า และออกจาก Cooling Coil (จุด OA และจุด S) ซึ่งสามารถหาได้จาก Psychrometric Chart โดยตรง จากรูปที่ 4 และการ Plot กระบวนการลงบน Psychrometric Chart ดังแสดงในตัวอย่าง วิศวกรจะสามารถเห็นภาพกระบวนการที่เกิดขึ้นกับอากาศได้ทั้งหมด และสามารถระบุขนาดของ Cooling Coil ที่ต้องการได้อย่างละเอียด คือ เป็น Cooling Coil ที่สามารถจ่ายลมเย็นได้ 8,740 CFM มี Total Heat = 579,000 BTUH มี SH = 360,000 BTUH โดยมีค่า Entering Condition อยู่ที่ 95 FDB, 75 FWB และมีค่า Leaving Condition อยู่ที่ 57.2 FDB 90% RH ตามลำดับ

การระบุรายละเอียดทางด้านสมรรถนะของ Cooling Coil ให้ถูกต้องดังที่กล่าว จะทำให้การเลือก Cooling Coil ที่จะนำมาใช้ในการติดตั้งเป็นไปอย่างถูกต้อง และทำให้ระบบ HVAC ทำงานได้อย่างถูกต้อง

ความแตกต่างของ Cooling Coil Load ในตัวอย่างที่ 1 กับ 2 อยู่ตรงที่ว่า Cooling Coil ในตัวอย่างที่ 2 นี้จะต้องทำให้อากาศภายนอกเย็นลงมาจนถึงอุณหภูมิห้องก่อน เราเรียกการทำความเย็นส่วนนี้ว่าเป็นส่วนการทำความเย็นให้อากาศระบาย (Ventilation Load) ซึ่งถ้าเอาความเย็นในส่วนนี้ไปรวมกับ Load ของห้อง ก็จะได้ขนาดทำความเย็นรวมของ Cooling Coil ดังนี้

Ventilation Load

q_S = 1.1 x 8,740 x (95-78) = 163,000 BTUH

q_L = 4,840 x 8,740 x (0.0141-0.0102)

= 165,000 BTUH

q_T = 163,000 + 165,000 = 328,000 BTUH

เมื่อเอา Ventilation Load นี้ไปรวมกับค่าของ Room Load ก็จะมีค่าเท่ากันกับ Cooling Coil Load ที่หาได้จากการ Plot กระบวนการลงบน Psychrometric Chart

Room Load

q_S = 200,000 BTUH

q_L = 50,000 BTUH

q_T = 250,000 BTUH

รวม Ventilation Load กับ Room Load จะได้

q_S = 163,000 + 200,000 = 363,000 BTUH

q_L = 165,000 + 50,000 = 216,000 BTUH

q_T = 328,000 + 250,000 = 578,000 BTUH

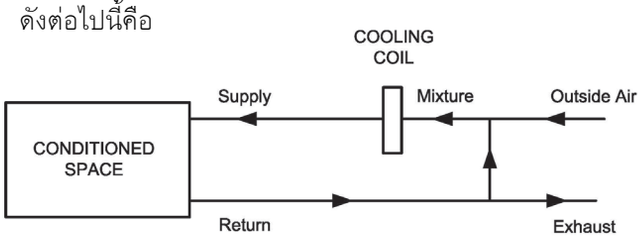
ซึ่งจะเห็นได้ว่า ผลรวมมีค่าเท่ากันกับ Coil Load ที่หาได้ไปแล้ว (มี error เล็กน้อยเนื่องจากการปัดเศษ)

4. ตัวอย่างที่ 3 : Mixture of Outside Air กับ Return Air

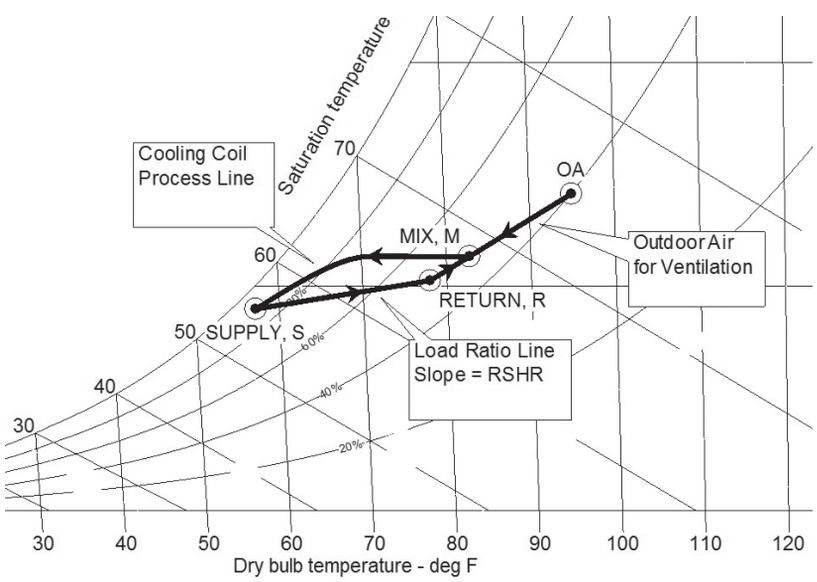
ในตัวอย่างนี้ Room Load อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิลมจ่ายมีค่าเหมือนกันกับตัวอย่างที่ผ่านมาทั้งหมด ยกเว้นแต่มีการนำเอาอากาศจากภายนอกจำนวน 2,500 CFM เข้ามาผสมกับ Return Air เพื่อการระบายอากาศ และมีการ Exhaust อากาศทิ้งไป ดังแสดงในรูปที่ 5

ระบบในรูปที่ 5 นี้เป็นแบบอย่างของระบบปรับอากาศขนาดกลางที่ใช้กันอยู่อย่างมากมายตั้งแต่ในอดีตจนมาถึงปัจจุบัน ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีการนำเอา Concept ของ Dedicated Outdoor Air System (DOAS) มาใช้กันอย่างแพร่หลายแล้วก็ตาม Concept ดังแสดงในรูปที่ 5 นี้ ก็ยังคงมีใช้กันอยู่อย่างมาก โดยเฉพาะในระบบปรับอากาศขนาดเล็กจนถึงกลาง

กระบวนการใน Psychrometric Chart ของระบบนี้มีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 6 ปริมาณลมจ่ายเข้าไปยัง Condition Space ยังคงมีค่าเท่าเดิมคือ 8,740 CFM (สาเหตุที่มีค่าเท่าเดิมก็เนื่องมาจากว่า ค่า RSH และอุณหภูมิลมจ่ายไม่มีการเปลี่ยนแปลง) กระบวนการเริ่มจากลมกลับส่วนที่เหลือจากการ Exhaust ไปแล้วถูกนำมาผสมกับอากาศภายนอก ได้เป็นลมผสมที่จุด M จากนั้นก็ถูกส่งผ่าน Cooling Coil ไปออกที่จุด Supply, S เพื่อจ่ายเข้าไปยัง Conditioned Space ลมจ่ายดังกล่าวก็จะทำการรับ Room Load ทำให้ร้อน และชื้นขึ้นมาตามเส้นตรงจากจุด S มายังจุด R และเริ่มต้นกระบวนการผสมใหม่อีก เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ รายละเอียดการคำนวณเพื่อหา Coil Load มีดังต่อไปนี้คือ



รูปที่ 5 Mixed Air System



รูปที่ 6 กระบวนการในตัวอย่างที่ 3

ก) Mixture Condition หาได้จาก

$$t_M = t_R + \frac{CFM_{OA}}{Total\ CFM} \times (t_R - t_S)$$

$$= 78 + \frac{2,500}{8,740}(95 - 78)$$

= 82.9 DBF

เมื่อทราบค่า t_M แล้วก็สามารถกำหนดจุด t_M ลงบน Chart ได้ และจะทำให้ทราบด้วยอีกว่า RH_M = 47% และ W_M = 0.0114 lb/lb

ข) Coil Load

q_S = 1.1 x 8,740 x (82.9-57.2)

= 247,000 BTUH

q_L = 4,840 x 8,740 x (0.0114-0.0090)

= 101,000 BTUH

q_T = 247,000 + 101,000 = 348,000 BTUH

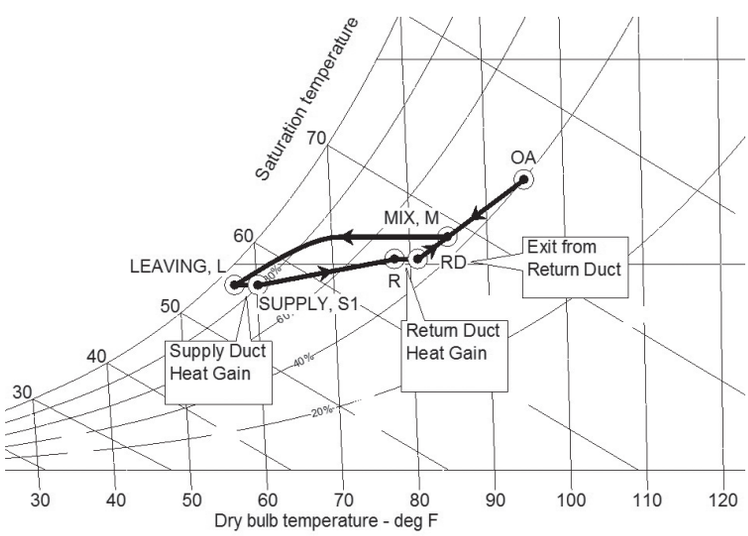
เช่นเดียวกันกับตัวอย่างที่แล้วๆ มา การ Plot กระบวนการที่สมบูรณ์ลงบน Psychrometric Chart จะทำให้วิศวกรเห็นภาพที่สมบูรณ์ของกระบวนการ และการ Specify ขนาดของอุปกรณ์ก็จะมีความถูกต้องแม่นยำ และป้องกันความผิดพลาดได้เป็นอย่างดี ขนาดที่ต้องระบุของ Cooling Coil ในตัวอย่างนี้ คือ Coil เย็นต้องจ่ายลม 8,740 CFM มีค่า Total Heat = 348,000 BTUH มีค่า SH = 247,000 BTUH โดยมีค่า Entering Condition อยู่ที่ 82.9 FDB, 47% RH และมีค่า Leaving Condition อยู่ที่ 57.2 FDB, 90% RH

5. ตัวอย่างที่ 4 : Duct Heat Gains

ในทางปฏิบัติ ท่อลมส่งและท่อลมจ่ายจะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนไปอีกราว 2-3% สำหรับท่อส่ง และอีกราว 2-3% สำหรับท่อลมกลับ ความร้อนที่เพิ่มขึ้นนี้ต้องถูกคิดรวมอยู่ใน Psychrometric Process

รูปที่ 7 แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของ Heat Gain ในท่อลมส่งและท่อลมกลับ กระบวนการ Sensible Heating จากจุด L มายังจุด S เป็น Heat Gain ที่เกิดขึ้นในท่อลมจ่าย และกระบวนการ Sensible Heat Gain จากจุด R ไปยังจุด RD (Return Duct Exit) เป็น Heat Gain ที่เกิดขึ้นในท่อลมกลับ

จะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่า เมื่อเกิด Heat Gain ในทั้งสองกรณี การ Plot ค่า Coil Curve ลงบน Psychrometric Chart จากจุด M มายังจุด L จะครอบคลุม Heat Gain ทั้งหมด ทำให้ไม่เกิดความผิดพลาดในการเลือกขนาด Coil ถ้าวิศวกรมิได้ทำการรวมเอา Heat Gain ในท่อลมเข้ามาคิดรวมไว้ Cooling Coil ที่เลือกมาก็จะมีขนาดเล็กเกินไป ไม่สามารถทำความเย็นได้เพียงพอ

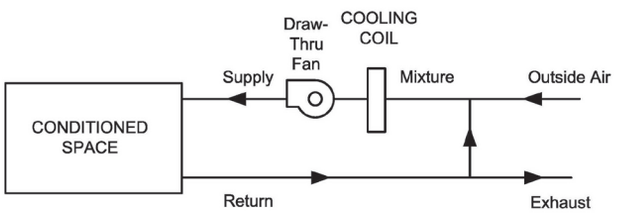


รูปที่ 7 กระบวนการในตัวอย่างที่ 4

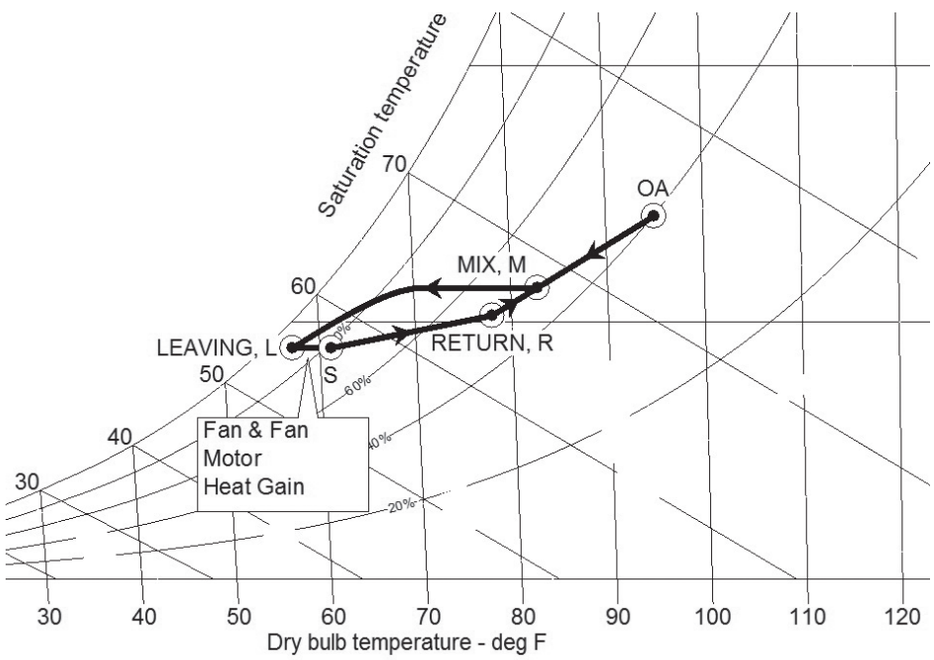
6. ตัวอย่างที่ 5 : Draw-Thru Fan Heat Gain

รูปที่ 8 เป็น Schematic Diagram แสดงการติดตั้งพัดลมแบบ Draw-Thru Fan ไว้ในระบบการไหลหมุนเวียนลม ในความเป็นจริง พัดลมนี้ต้องมีอยู่ในทุกตัวอย่าง เพียงแต่ในตัวอย่างแรกๆ เราละเลยไปก็เพื่อความสะดวกในการอธิบายจากตัวอย่างที่ง่ายๆ ก่อน พัดลมดังกล่าวเมื่อถูกรวมเข้ามาคิดก็จะทำให้เรามีภาระ Load เพิ่มขึ้นจากตัวพัดลม และ Motor กระบวนการบน Psychrometric Chart ที่มี Draw-Thru Fan (ไม่มี Heat Gain จาก Duct) แสดงอยู่ในรูปที่ 9

Heat Gain จาก Fan และ Motor คือ กระบวนการ Sensible Heating จากจุด Leaving, L ไปยังจุด Supply, S



รูปที่ 8 Draw-Thru Fan System



รูปที่ 9 กระบวนการในตัวอย่างที่ 5

การหาขนาดของ Fan และ Fan Motor Heat Gain นี้มีรายละเอียดอยู่ใน ASHRAE Handbook ฉบับ Fundamentals เช่นเดียวกันกับในตัวอย่างที่ผ่านๆ มา การ Plot กระบวนการทั้งหมดตามจริงลงบน Psychrometric Chart จะทำให้วิศวกรไม่ลืมที่จะรวมขนาดของ Fan Motor ไว้เป็นส่วนหนึ่งของ Coil Load ด้วย และสามารถมองเห็นภาพของกระบวนการทั้งหมดได้ตามที่เป็นจริง

7. สรุป

วิศวกรปรับอากาศ ควรมีความเข้าใจการประยุกต์ใช้ Psychrometric Chart ในการหาค่า CFM และการกำหนดขนาดของ Cooling Coil และอุปกรณ์อื่นๆ ในระบบปรับอากาศ ภายหลังจากการคำนวณภาระความร้อน และได้มาแล้ว ซึ่ง Room Total Heat (RTH), Room Sensible Heat (RSH) และ Room Latent Heat (RLH) วิศวกรสามารถนำค่าของ Load เหล่านั้นมา Plot เส้น Load Ratio Line ลงบน Psychrometric Chart และกำหนดค่า CFM ของลมจ่ายได้

เมื่อทำการ Plot เส้น Load Ratio Line นี้ได้แล้ว วิศวกรก็สามารถกำหนดจุดการทำงานอื่นๆ ต่อไปได้ อาทิ เช่น จุดของสภาวะอากาศภายนอกหรือจุดของการ Mixing ต่างๆ เมื่อวิศวกรทำการ Plot จุดต่างๆ เหล่านั้นจนครบ และลากเส้นต่อเชื่อมจุดต่างๆ ตามที่ควรจะเป็น ตาม Schematic Diagram ของระบบ HVAC ที่กำหนดขึ้น วิศวกรก็จะสามารถ Specify รายละเอียดต่างๆ ของอุปกรณ์ที่จะต้องนำมาติดตั้งได้ การละเลยที่จะไม่ Plot กระบวนการลงบน Psychrometric Chart ก็มักจะนำไปสู่ความผิดพลาดเสียหาย และระบบทำงานไม่ได้ ผู้เขียนจึงอยากขอแนะนำว่า หากวิศกรกำลังออกแบบระบบปรับอากาศอยู่ โดยเฉพาะระบบที่มีความพิเศษมาก การจัดทำรายการคำนวณที่มีการ Plot กระบวนการของระบบลงไปบน Psychrometric Chart จึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก

เอกสารอ้างอิง

[1] Rudoy and Cuba. Cooling and Heating Load Calculation Manual, ASHRAE GRP158, Chapter 6 and Appendix A6.