การควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

โดย รศ.ดร.วิทยา ยงเจริญ

1. บทนำ

ในการปรับอากาศให้มีสภาวะเหมาะสมกับการใช้งานจำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและหรือความชื้นของอากาศภายในห้องให้คงที่แม้ว่าอุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายนอกห้องจะเปลี่ยนไปตามเวลาและฤดูกาล รวมทั้งภาระความร้อนในห้องที่เปลี่ยนไปตามลักษณะการใช้งาน ในห้องทำงานทั่วไปการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่อย่างเดียวก็เพียงพอเนื่องจากเครื่องปรับอากาศที่ขายกันตามท้องตลาดจะลดทั้งอุณหภูมิและความชื้นในอากาศอยู่แล้ว เมื่อควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 25 ^{o}C ความชื้นก็จะมีค่าประมาณ 60%RH ซึ่งเป็นสภาวะที่สบายสำหรับคนไทย ส่วนในห้องที่ผลิตยา อุปกรณ์อิเล็คทรอนิก หรือในห้องผ่าตัดที่ต้องการความชื้นต่ำก็จำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายในห้องให้คงที่

2. ระบบควบคุม (Control System)

ระบบควบคุมมีจุดประสงค์เพื่อควบคุมตัวแปรในกระบวนการให้มีค่าคงที่ตลอดเวลาโดยอัตโนมัติไม่ว่าจะมีการเปลี่ยนค่าที่ควบคุมหรือมีภาระเปลี่ยนแปลง คุณภาพในการควบคุมจะต้องมีความผิดพลาดน้อยที่สุดภายในเวลาที่สั้นที่สุดและต้องมีเสถียรภาพในการควบคุม ระบบควบคุมประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วน คือ

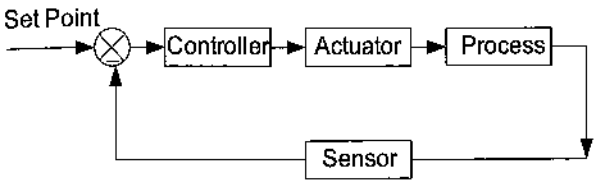
1. หัววัด (Sensor/Transmitter) มีหน้าที่วัดสิ่งที่ต้องการจะควบคุมหรือตัวแปร (Control Variable) เช่น อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น แล้วส่งผลไปให้ตัวควบคุม

2. ตัวควบคุม (Controller) มีหน้าที่รับผลของการวัดจากตัววัดแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าปรับตั้ง (Set point) ที่ตัวควบคุมถ้ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นก็จะส่งผลไปให้ตัวถูกควบคุมเพื่อปรับแก้กระบวนการจนกระทั่งได้ค่าตามที่ตั้งไว้

3. ตัวถูกควบคุม (Controlled device) หรือ ตัวทำงาน (Actuator) มีหน้าที่รับผลจากตัวควบคุมแล้วนำไปปรับตัวแปรในกระบวนการที่ต้องการควบคุม

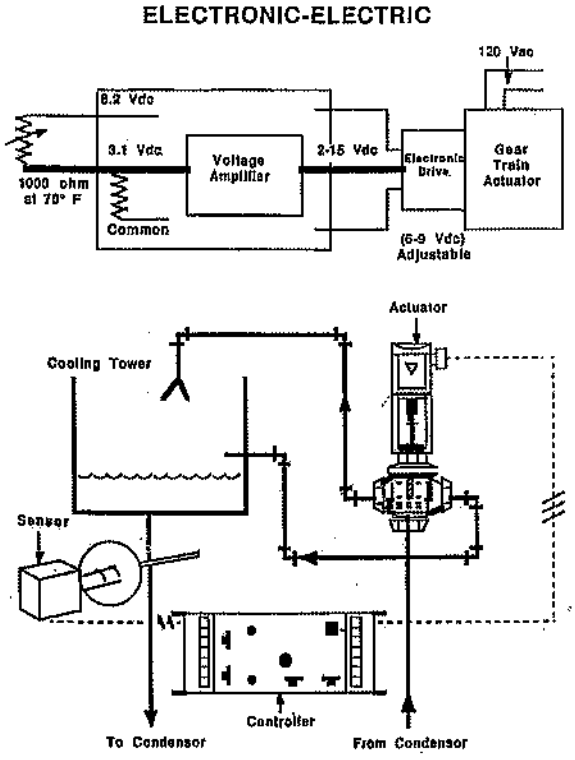
4. กระบวนการ เป็นกระบวนการที่ใช้ปรับตัวแปรควบคุม

นอกจากนี้ต้องมีแหล่งจ่ายพลังงาน ให้กับตัววัด ตัวควบคุมและตัวทำงานเพื่อทำงาน แหล่งพลังงานที่ใช้ในระบบควบคุมมีหลายชนิด เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานลมและพลังงานไฮโดรลิกเป็นต้น โดยทั่วไประบบควบคุมจะต่อกันเป็นลูปปิดโดยมีตัววัดทำหน้าที่ป้อนค่ากลับไปให้ตัวควบคุมดังแสดงในรูปที่ 1 การควบคุมจะมีเสถียรภาพก็ต้องป้อนกลับแบบลบ (negative feedback) ซึ่งจะขึ้นกับคุณสมบัติของตัววัด ตัวควบคุมและตัวทำงานว่าเป็น direct acting (DA) หรือ reversed acting (RA)



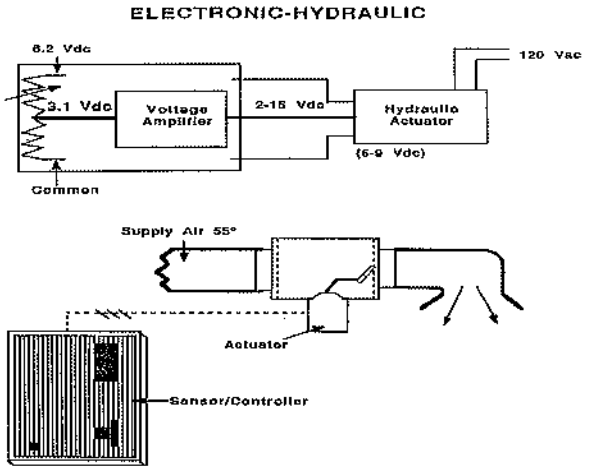
รูปที่ 1 เป็นระบบควบคุมป้อนกลับแบบลบ

รูปที่ 2 เป็นระบบควบคุมอุณหภูมิน้ำออกจากหอทำความเย็น (Cooling Tower) มีหัววัดอุณหภูมิเป็นแบบ RTD (Resistance Thermometer Detector) มีความต้านทาน 1000 โอห์มที่อุณหภูมิ 70°F หัววัดอุณหภูมิจะติดตั้งไว้ที่ท่อน้ำตรงทางออกของหอทำความเย็น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นหัววัดอุณหภูมิจะส่งค่าความต้านทานที่เพิ่มขึ้นไปให้กับตัวควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกซึ่งจะเปลี่ยนความต้านทานเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าขนาด 2-15 VDC ส่งไปให้กับตัวทำงานและวาล์วควบคุมซึ่งเป็นชนิด วาล์วสามทางและใช้พลังงานไฟฟ้า หอทำความเย็นจะทำกระบวนการทำความเย็นโดยการระเหยน้ำไปกับอากาศแห้ง การควบคุมอุณหภูมิทำได้โดยการปรับปริมาณน้ำร้อนที่มาจากคอนเดนเซอร์ไปสัมผัสกับอากาศแห้ง น้ำส่วนที่เหลือจะ bypass ไปเข้าที่อ่างน้ำของหอทำความเย็น



รูปที่ 2 ระบบควบคุมอุณหภูมิน้ำออกจากหอทำความเย็น (Cooling Tower)

รูปที่ 3 เป็นระบบควบคุมอุณหภูมิในห้อง มีหัววัดอุณหภูมิเป็นแบบติดตั้งไว้ในห้อง ตัวควบคุม เป็นแบบอิเล็กทรอนิก โดยอยู่รวมกับหัววัดจึงนิยมเรียกว่า Thermostat ส่วนตัวทำงานใช้พลังงานไฮโดรลิกและแดมเปอร์ควบคุม กระบวนการทำความเย็นทำได้โดยใช้แดมเปอร์ปรับปริมาณอากาศเย็นที่อุณหภูมิ 55 °F จ่ายเข้าไปรับความร้อนภายในห้อง ถ้าอากาศในห้องมีอุณหภูมิสูงก็จะส่งปริมาณลมเย็นเข้าไปในห้องเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3 เป็นระบบควบคุมอุณหภูมิในห้อง

1. **หัววัด (Sensor/Transmitter)** หัววัดในระบบปรับอากาศที่สำคัญได้แก่หัววัดที่เป็นแบบ Analog เช่น หัววัดอุณหภูมิ และ หัววัดความชื้น เป็นต้น

Temperature Sensor ได้แก่ เทอร์โมมิเตอร์ชนิดความต้านทาน (RTD) เช่น Thermistor, Platinum และ Balco เป็นต้น Platinum เป็นโลหะที่มีความต้านทานเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิเป็นแบบเชิงเส้นตามสมการที่ 1

$$R = Ro(1+ \alpha(T-To)) \qquad (1)$$

เมื่อ $\alpha = 0.0039\ ^{\circ}C^{-1}$

Pt_{100} Ro = 100 โอห์มที่อุณหภูมิ 0°C ความไว (Sensitivity) $= Ro\alpha = 0.39\ \Omega/^{\circ}C$

Pt_{1000} Ro = 1000 โอห์มที่อุณหภูมิ 0°C ความไว $= Ro\alpha = 3.9\ \Omega/^{\circ}C$

Thermistor เป็นอโลหะหรือสารกึ่งตัวนำที่มีความต้านทานเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิแบบไม่เป็นเชิงเส้นตามสมการที่ 2

$$R = R_o e^{\beta(\frac{1}{T}-\frac{1}{T_o})} \qquad (2)$$

เมื่อ $\beta = 4000\ K$

$Ro = 10\ k\Omega$ ที่อุณหภูมิ 25 ^{o}C ความไว

$= -Ro\beta T^{-2} = -450\ \Omega/^{o}C$

Thermistor จะมีข้อดีคือมีความไวสูงกว่า Platinum มากแต่มีข้อเสียคือความไวมีค่าเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิที่วัดด้วย

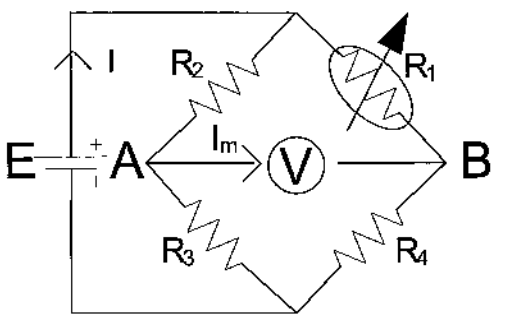
Humidity Sensor ที่ใช้ทั่วไปมีสองชนิดคือแบบขดลวดเคลือบด้วยเกลือลิเธี่ยมคลอไรด์ ($LiCl_2$) จะมีความต้านทานลดลงเมื่อมีความชื้นเพิ่มขึ้น (reversed acting) มี accuracy ± 2% และวัดได้ไม่เกิน 95 %RH หัววัดชนิดนี้เมื่อถูกละอองน้ำจะเสีย ส่วนอีกชนิดเป็น Thin-film polymer capacitive มีค่า capacitance เปลี่ยนแปลงตามความชื้นตามสมการที่ 3 ซึ่งสามารถเปลี่ยนค่า ε หรือเปลี่ยนค่าระยะระหว่างแผ่นก็ได้ มี accuracy ±3% และ output เป็นแบบ linear ในช่วงการวัด 0-100 %RH

$$C = \varepsilon l/A \qquad (3)$$

เมื่อ C - Capacitance, ε - Dielectric Constant

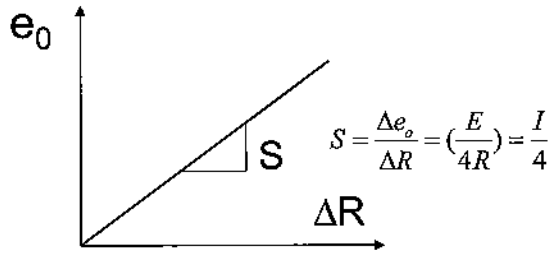
l - ระยะระหว่างแผ่น, A - พื้นที่รวม

หัววัดต้องการแหล่งพลังงานไฟฟ้าเพื่อเปลี่ยนค่าความต้านทานหรือค่า capacitance เป็นแรงดันไฟฟ้า ถ้าเป็นค่าความต้านทานสามารถใช้ได้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรง (direct current, DC) และไฟฟ้ากระแสสลับ (alternating current, AC) ส่วน capacitance ใช้ได้เฉพาะกระแสสลับอย่างเดียว วงจรที่นิยมใช้จะเป็นวงจรบริดจ์ แสดงดังรูปที่ 4 สำหรับหัววัดแบบความต้านทาน และรูปที่ 5 สำหรับหัววัดแบบ capacitance



ก

ก.วงจรบริดจ์สำหรับหัววัดแบบความต้านทานและ



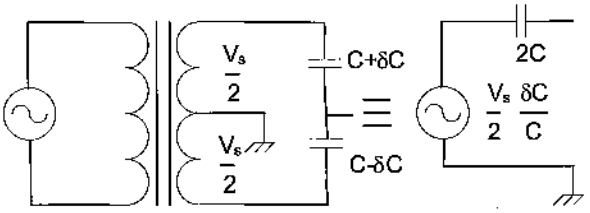
ข

รูปที่ 4 ข.แรงดันไฟฟ้าสัมพันธ์กับความต้านทานที่เปลี่ยนแปลง

สมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงเป็นไปตามสมการที่ 4

$$e_o = (\frac{E}{4R + 2\Delta R})\Delta R \approx (\frac{E}{4R})\Delta R \qquad (4)$$

เมื่อ $R_1 = R + \Delta R$ และ $R_1 \gg \Delta R$



รูปที่ 5 วงจร half Bridge สำหรับหัววัดแบบ capacitance 2 หัววัด

สมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับค่า capacitance ที่เปลี่ยนแปลงเป็นไปตามสมการที่ 5

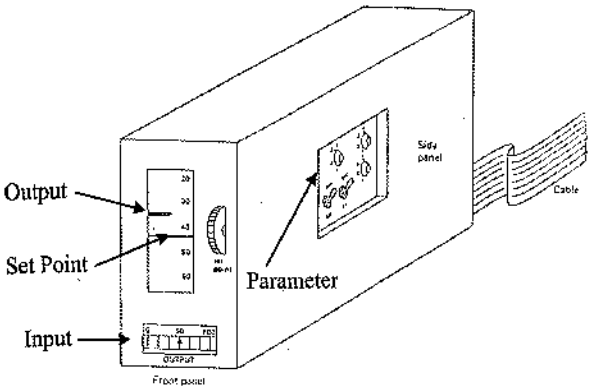
$$e_o = (\frac{V_s}{2})\frac{\delta C}{} \qquad (5)$$

เมื่อใช้หัววัดจำนวน 2 หัวอยู่ในวงจรบริดจ์ $C_1 = C + \delta C$ และ $C_2 = C - \delta C$ โดยที่ $C \gg \delta C$

2. ตัวควบคุม (Controller)

ตัวควบคุมมีหน้าที่เปรียบเทียบค่าที่วัดจากหัววัดกับค่าปรับตั้ง (set point) แล้วนำค่าผิดพลาดหรือค่าปรับแก้ส่งต่อไปให้ตัวทำงานเพื่อปรับเปลี่ยนกระบวนการให้ได้ค่าตัวแปรที่ควบคุมเท่าค่าที่ปรับตั้ง ค่าปรับแก้จะมีลักษณะการกระทำ (control action) ได้หลายแบบ ตัวควบคุมแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งจะแสดง ค่า Input ที่รับมาจากหัววัด ค่า output ที่ส่งไปให้ตัวทำงาน ค่าปรับตั้ง และ parameters ที่ใช้ควบคุมลักษณะการกระทำคือ

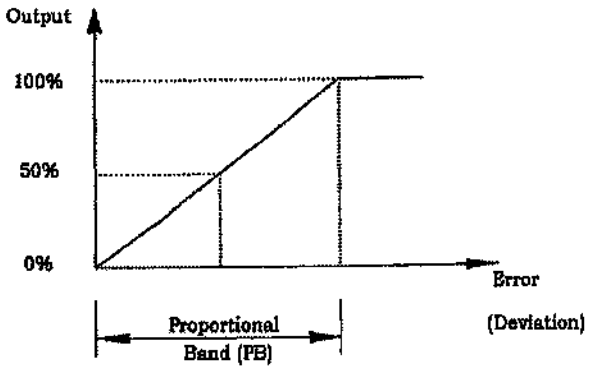
Prpportional band, Integral time (reset time), derivative time, directing acting, และ reversed acting เป็นต้น



รูปที่ 6 ตัวควบคุม

การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control)

นิยมเรียกระบบควบคุมแบบนี้ว่า "P-control" คุณลักษณะของการควบคุมแบบนี้เป็นระบบการควบคุมที่สัญญาณคำสั่ง (output) ที่ออกจากตัวควบคุมไปยังอุปกรณ์ควบคุมเป็นสัดส่วนแปรตามความ ค่าความผิดพลาด (Error) หรือค่าปรับแก้ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 สัญญาณการควบคุมแบบสัดส่วนชนิด Directing

ระบบการควบคุมแบบสัดส่วน จะสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดได้ละเอียดกว่าระบบการควบคุมแบบสองตำแหน่ง เนื่องจากระบบแบบสัดส่วนสามารถตอบสนองตามสัดส่วนของความผิดพลาด ไม่ใช่ตอบสนองแบบเปิดเต็มที่ (100%) หรือแบบปิดสนิท (0%)

Proportional band (PB) หรือ Throttling Range เป็นช่วงค่าการเปลี่ยนของตัวแปรควบคุมที่ทำให้ Output เปลี่ยนจาก 0% เป็น 100% นอกช่วงนี้ ตัวควบคุมจะให้ค่าเป็น 0% หรือ 100% ถ้า PB มีค่าน้อยการควบคุมจะมีความไวสูง

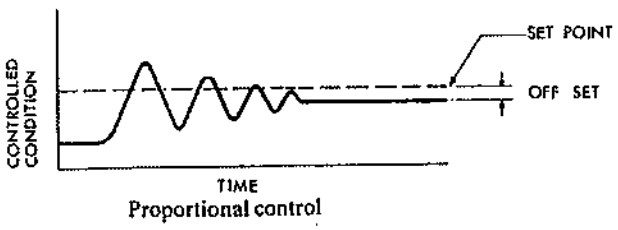
ความไว (Sensitivity) ของตัวควบคุม คือ อัตราส่วนระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงของ Output กับค่าการเปลี่ยนแปลง ของ Input เช่นตัวควบคุมที่มีความไว 10 V/1°F หมายถึงค่า input เปลี่ยนค่าไป 1°F จะทำให้แรงดันไฟฟ้าขาออกของตัวควบคุมเปลี่ยนค่าไป 10 V

Offset คือ ผลต่างระหว่างค่าปรับตั้งและค่าตัวแปรควบคุมที่สภาวะคงตัว (steady state) บางครั้งเรียกว่าความเบี่ยงเบน (Deviation) หรือค่าความผิดพลาด (Error) อย่างถาวร

Direct acting หมายถึงOutput ของตัวควบคุมเพิ่มขึ้นเมื่อ Input มีค่าเพิ่มขึ้นส่วน Reversed acting Output ของตัวควบคุมเพิ่มขึ้นเมื่อ Input มีค่าลดลง

ระบบการควบคุมแบบสัดส่วน จะมี Offset หรือค่าความผิดพลาดอย่างถาวรจากค่าปรับตั้งเสมอ เนื่องจาก Input หนึ่งค่าจะให้ Output เพียงหนึ่งค่าเท่านั้น สมมุติให้ตัวควบคุมให้ค่า output 50% ทำให้วาล์วควบคุมน้ำเย็นเปิด 50% ที่ค่าอุณหภูมิปรับตั้ง เมื่อภาระทำความเย็นเพิ่มขึ้นจำเป็นต้องเปิดวาล์วควบคุมน้ำเย็นเป็น 60% เพื่อทำให้สมดุลกับภาระที่เพิ่มขึ้น การที่จะเปิดวาล์วควบคุมน้ำเย็นเพิ่มอีก 10% อุณหภูมิก็ต้องเพิ่มจากค่าปรับตั้งนั่นก็คือค่า Offset ซึ่งค่า offset นี้สามารถลดลงได้โดยการเพิ่มความไวหรือลด Proportional Band ของตัวควบคุม แต่ถ้า Proportional Band มีค่าน้อย จะทำให้การเคลื่อนตัววาล์วควบคุมเคลื่อนที่กลับไปกลับมาบ่อยๆ ซึ่งเรียกว่า "Hunting"

ตัวควบคุมที่มีการกระทำแบบสัดส่วน จะใช้ได้ดีกับระบบที่มีภาระการเปลี่ยนแปลงมากและมี Lag time ไม่มากนัก การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรควบคุมที่เวลาต่างๆ ใน การควบคุมแบบสัดส่วน แสดงในรูปที่ 8

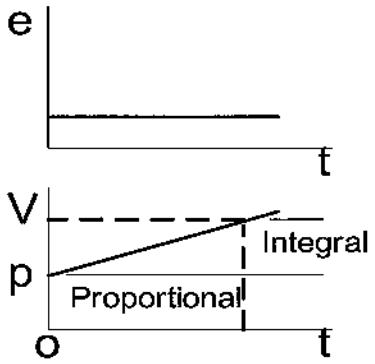


รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรควบคุมที่เวลาต่างๆ ในการควบคุมแบบสัดส่วน

การควบคุมแบบ PI (Proportional + Integral Control)

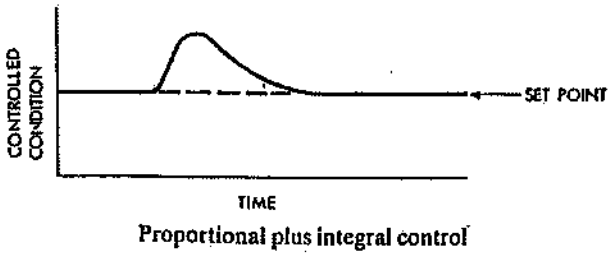
จากข้อจำกัดของระบบการควบคุมแบบสัดส่วนที่ยังมีค่า offset อยู่ จึงได้มีการเพิ่ม Integral Control Action เข้ามา เพื่อช่วยทำให้ไม่เกิดค่า offset

Integral Control Action ที่เพิ่มเข้ามาทำให้สัญญาณ output แปรตามผลรวมของความผิดพลาด (Error) ที่เวลาต่างๆ ($\int edt$) ในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ โดยทั่วไป P-Control Action ให้ค่า output ไว้ที่ค่าหนึ่งซึ่งไม่ขึ้นกับเวลาและเป็นตัวหลักในการควบคุม ส่วน I-Control Action จะช่วยเสริมโดยปรับค่า Output ให้เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 9

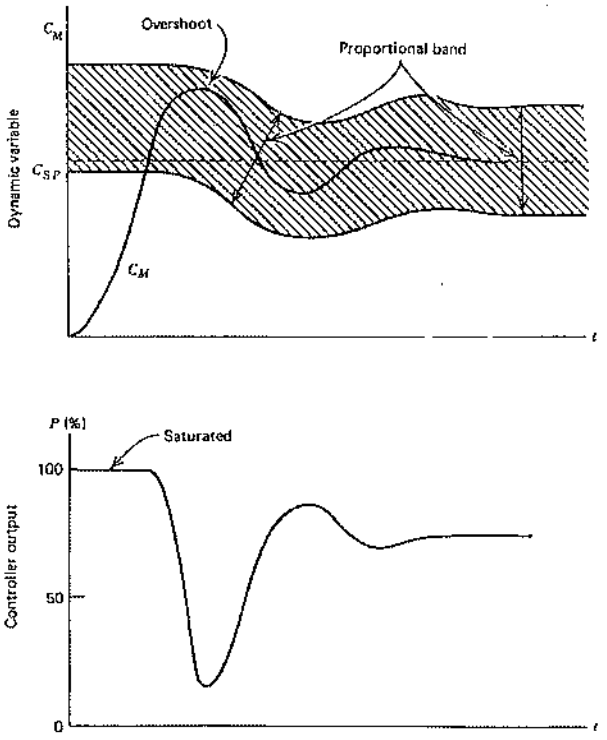


รูปที่ 9 สัญญาณ output ของตัวควบคุม V เมื่อ error, e เป็นค่าคงที่

เพื่อให้อุปกรณ์ที่ถูกควบคุม ทำงานต่อให้เร็วขึ้นจนได้ Error เป็นศูนย์ และการทำงานของตัว I-Control Action จะทำงานอยู่ในช่วงเวลา (Integral time) ที่ตั้งไว้ในตัวควบคุม ดังนั้นระบบการควบคุมแบบ PI จะใช้เวลานานพอสมควร ในการปรับตั้งค่า (Tuning) ให้เท่ากับ Set point ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 การควบคุมแบบ Proportional + Integral (PI)



รูปที่ 11 สัญญาณควบคุมและการตอบสนองต่อการควบคุมของตัวแปรควบคุม

ตัวควบคุมที่มีระบบการควบคุมแบบ PI นิยมใช้ในระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงภาระ มากๆ แต่จะต้องเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ เพราะถ้าเปลี่ยนแปลงเร็วๆ Integral Control Action จะทำให้ค่าที่ต้องการควบคุมแกว่ง โดยเฉพาะในตอนเริ่มต้นทำให้เกิด Overshoot ขึ้นได้ ดังนั้น Integral control จะช่วยลด offset แต่ก็มีข้อเสียคือ ระบบอาจเกิดการแกว่งได้ สัญญาณควบคุมและการตอบสนองต่อการควบคุมของตัวแปรควบคุมแสดงในรูปที่ 11

3. ตัวทำงาน (Actuator) หรือตัวถูกควบคุม (Controlled Device)

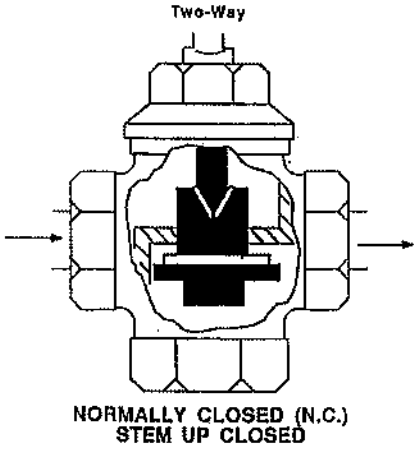
ในระบบปรับอากาศตัวทำงาน ได้แก่ วาล์วควบคุม (Valve Actuator), แดมเปอร์ปรับปริมาณลม (Damper Actuator), Relay และ Solenoid Valve เป็นต้น วาล์วควบคุม (Valve Actuator)

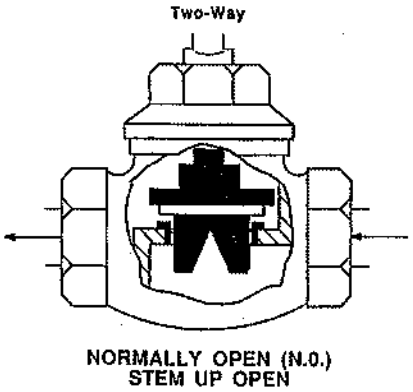
วาล์วควบคุมมีแบบวาล์ว 2 ทาง และวาล์ว 3 ทาง และมีทั้งแบบปกติปิด (NC) ซึ่งเมื่อตัวทำงานไม่มีสัญญาณไฟฟ้าเข้าวาล์วจะปิดและแบบปกติเปิด (NO) ซึ่งเมื่อตัวทำงานไม่มีสัญญาณไฟฟ้าเข้าวาล์วจะเปิดวาล์วควบคุมจะต้องให้ถูกทิศการไหลหากติดตั้งผิดเวลาวาล์ว

อยู่ใกล้กับตำแหน่งปิดจะเกิดอากาศเปิดปิดทำให้เกิดเสียง ดังขนาดของวาล์วควบคุม Cv หาได้จากสมการที่ 6

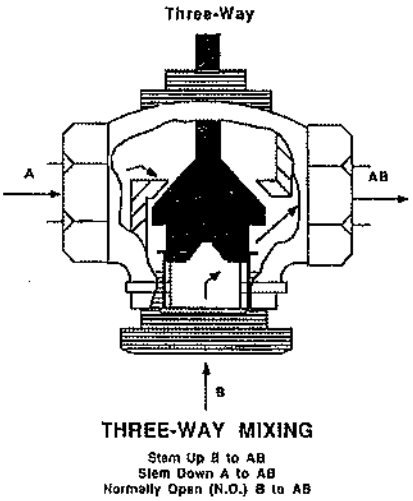
$$Q = Cv\sqrt{\Delta P} \qquad (6)$$

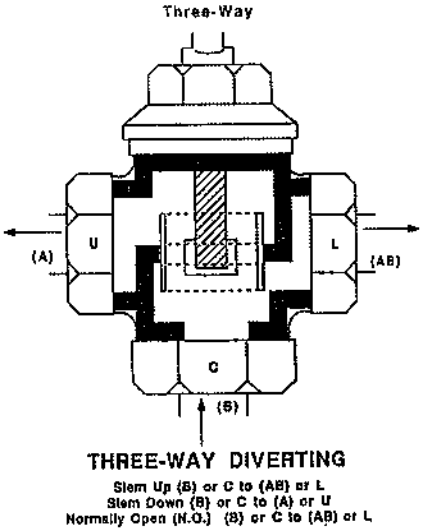
รูปที่ 12 แสดงวาล์วน้ำแบบสองทางแบบปกติปิด โดยที่ก้านวาล์วยกขึ้นวาล์วจะปิด และแบบปกติเปิดโดยที่ก้านวาล์วยกขึ้นวาล์วจะเปิด รูปที่ 13 แสดงวาล์วน้ำแบบสามทางแบบผสม (Mixing) และแบบแยก (Diverting) และรูปที่ 14 แสดงวาล์วน้ำพร้อมตัวทำงานแบบใช้พลังงานไฟฟ้า



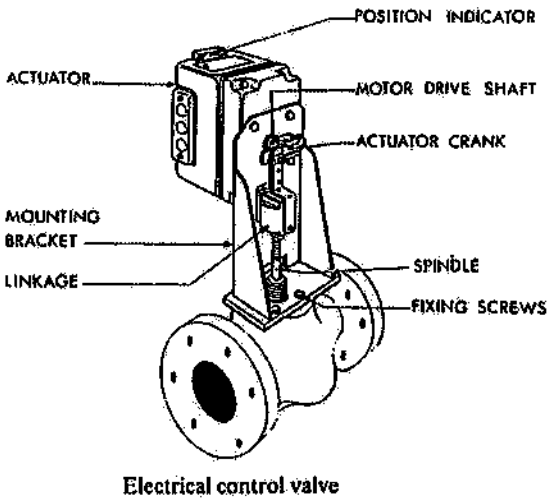


รูปที่ 12 วาล์วน้ำแบบสองทาง (Two-Way Valve)



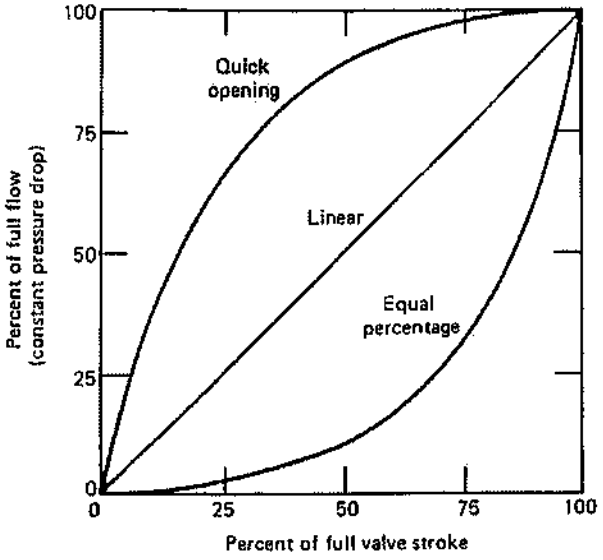


รูปที่ 13 วาล์วแบบสามทาง (Three-Way Valve)



รูปที่ 14 Electrical Control Valve

วาล์วควบคุมน้ำยังแบ่งได้ตามลักษณะการใช้งานในการควบคุมอัตราการไหลได้ 3 ชนิดคือชนิด Quick Opening ชนิด Linear และชนิด Equal Percentage ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของก้านวาล์วเป็นเปอร์เซ็นต์ของช่วงชัก (stoke) กับอัตราการไหลเป็นเปอร์เซ็นของอัตราการไหลสูงสุด (Full Flow) แสดงในรูปที่ 15 การนำไปใช้งานชนิด Quick Opening จะใช้กับการควบคุมแบบสองตำแหน่งหรือแบบเปิด/ปิด ชนิด Linear จะใช้กับการควบคุมแบบสัดส่วนที่ใช้ไอน้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ส่วนชนิด Equal Percentage จะใช้กับการควบคุมแบบสัดส่วนที่ใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยพื้นที่ในการเปิดจะไม่เป็นเชิงเส้นกับระยะการเคลื่อนที่ของก้านวาล์วทั้งนี้ก็เพื่อให้ปริมาณการถ่ายเทความร้อนแปรผันตรงเป็นเชิงเส้นกับระยะการเคลื่อนที่ของก้านวาล์วซึ่งเคลื่อนที่ตามสัญญาณจากตัวควบคุม

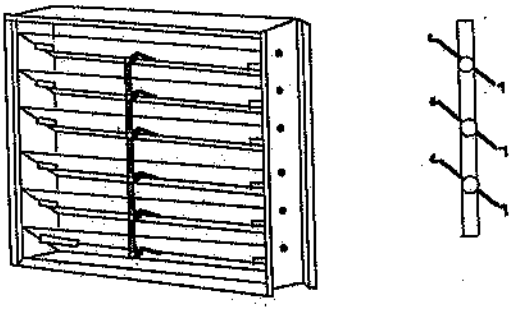


Flow characteristics of control valves.

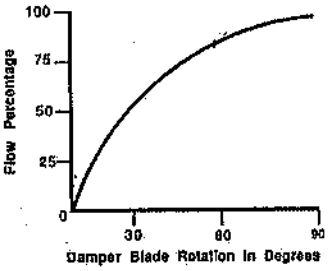
รูปที่ 15 คุณลักษณะการไหลของวาล์วควบคุม

แดมเปอร์ (Damper)

แดมเปอร์จะใช้ในการควบคุมปริมาณลมแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ ชนิด Parallel Blade และชนิด Opposed Blade ดังแสดงในรูปที่ 16 และ รูปที่ 17 ตามลำดับ ชนิด Parallel Blade จะใช้ได้ดีในการผสมอากาศเข้าด้วยกัน ส่วนชนิด Opposed Blade จะใช้ในการควบคุมที่ใช้แรงขับน้อยจากตัวทำงาน

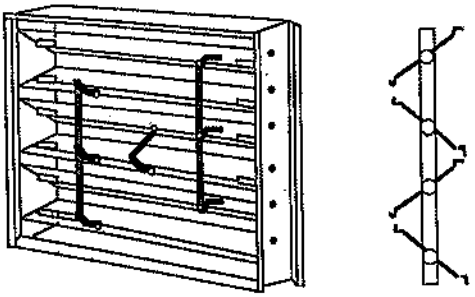


PARALLEL BLADE DAMPER

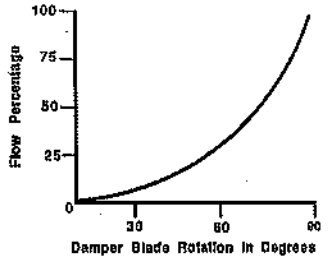


PARALLEL-BLADE DAMPER OPERATING CHARACTERISTICS

รูปที่ 16 Damper แบบ Parallel Blade



OPPOSED BLADE DAMPER



OPPOSED-BLADE DAMPER OPERATING CHARACTERISTICS

รูปที่ 17 Damper แบบ Opposed Blade

4. กระบวนการในการปรับสภาวะอากาศ

กระบวนการในการปรับสภาวะอากาศสามารถแสดงโดยการใช้แผนภูมิไซโครเมทริกส์ (Psychrometric Chart) เช่น กระบวนการทำความร้อน กระบวนการทำความเย็น กระบวนการเพิ่มความชื้น และกระบวนการลดความชื้น เป็นต้น

แผนภูมิไซโครเมทริกส์ (Psychrometric Chart) เป็นแผนภูมิแสดงคุณสมบัติของอากาศชื้นที่ประกอบด้วย

1 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature) Tdb, ^{o}C

2 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) Twb, ^{o}C

3 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature) Tdew, ^{o}C

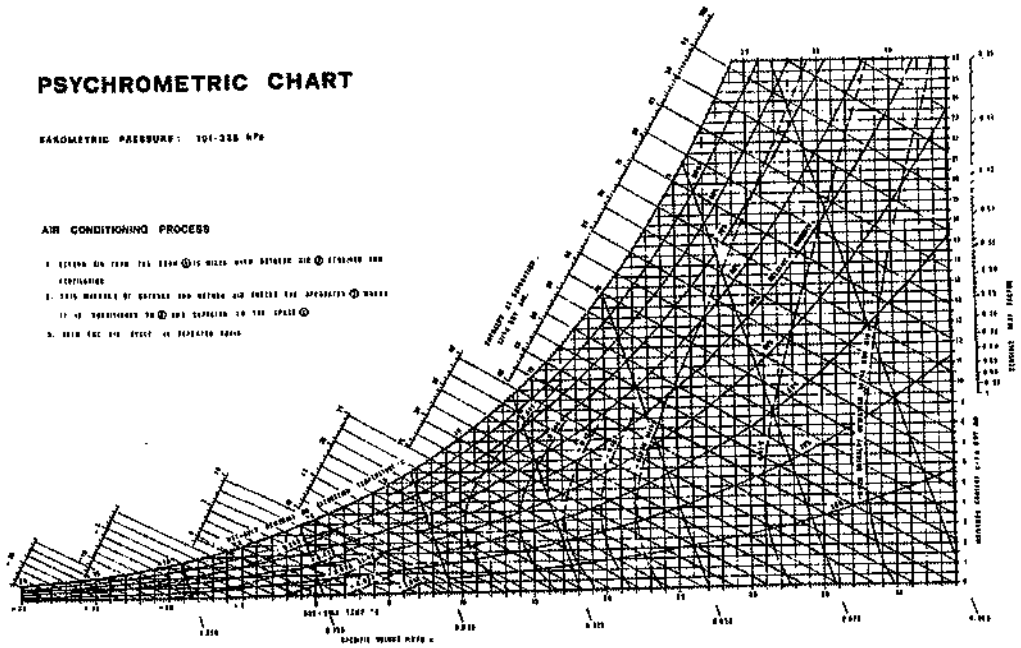
4 ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume, Humid volume) v, m^3/kg

5 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) RH,%

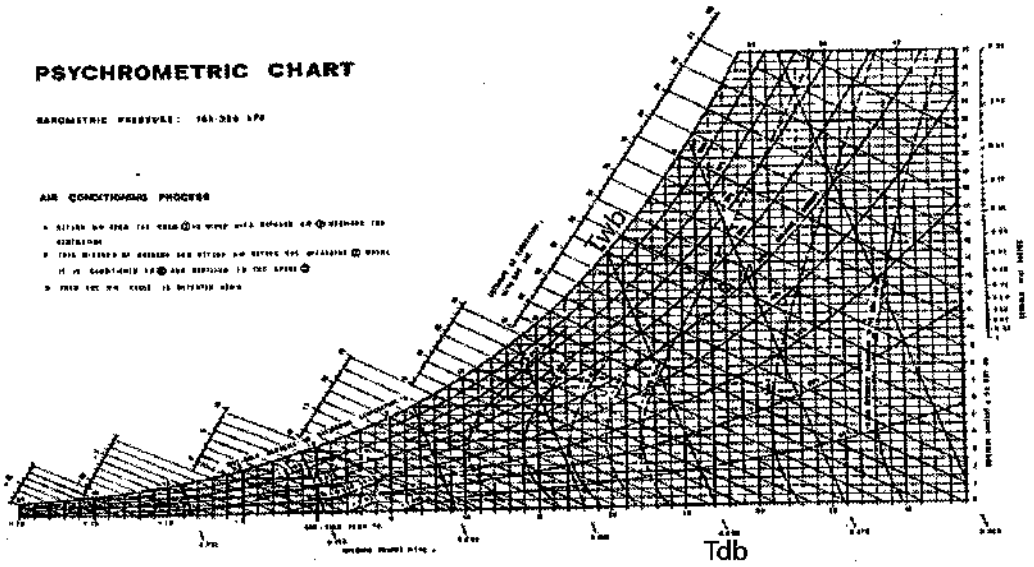
6 ความชื้นจำเพาะ อัตราส่วนความชื้น หรือปริมาณความชื้น (Specific humidity, Humidity ratio, Moisture Content) W, kgW/kgda บอกปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอากาศชื้น

7 เอนทัลปี (Enthalpy) h, kJ/kgda เป็นพลังงานที่มีอยู่ในอากาศชื้น

โดยความสัมพันธ์ของค่าต่างๆ สามารถแสดงในรูปที่ 18



รูปที่ 18 แผนภูมิไซโครเมทริกส์

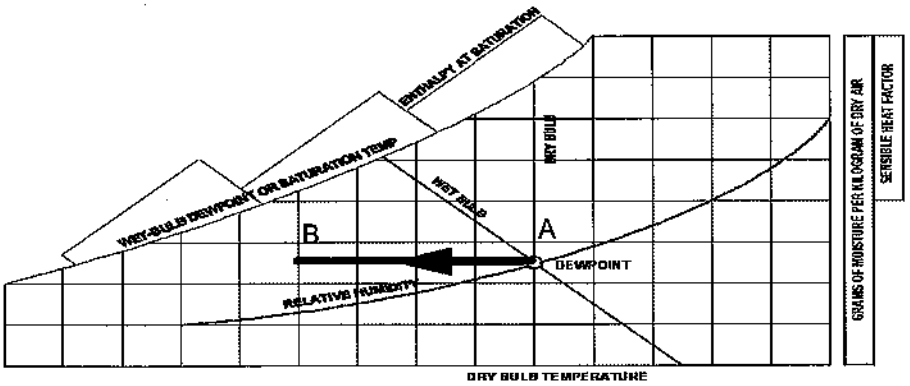


รูปที่ 19 A เป็นจุดตัดของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง และอุณหภูมิกระเปาะเปียก

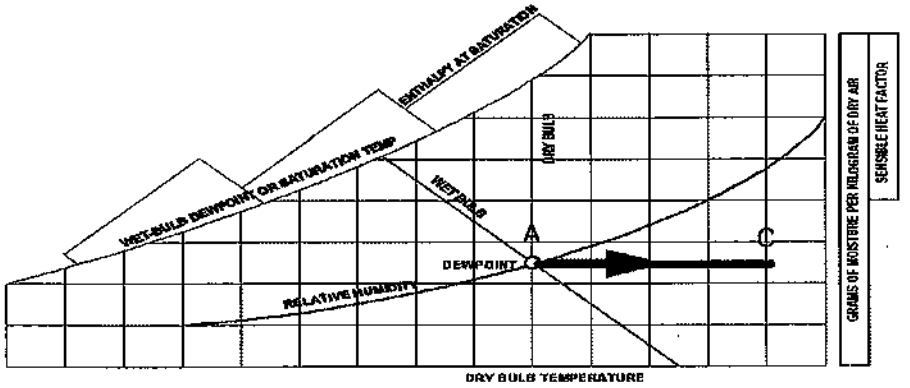
ในการการหาค่าคุณสมบัติต่างๆ ของอากาศจากแผนภูมิไซโครเมทริกส์นั้น ถ้าทราบคุณสมบัติ เพียง 2 ค่า ก็จะสามารถหาค่าได้ทั้งหมด โดยดูที่จุดตัดกันของค่าทั้งสอง ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ค่า ของอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียก เช่นในการหาจุด A ดังแสดงในรูปที่ 19 เมื่อกำหนดจุดได้แล้วก็สามารถหาค่าของคุณสมบัติอื่นๆ ที่เหลือได้

จากความสัมพันธ์ข้างต้น เราสามารถเขียนกระบวนการต่างๆ ลงบน แผนภูมิไซโครเมทริกส์ ไปประยุกต์ใช้ในงานปรับอากาศ ได้หลายรูปแบบ เช่น

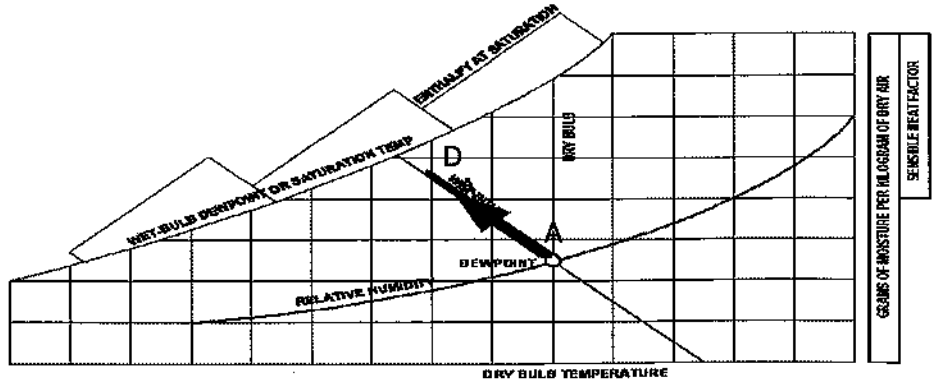
รูปที่ 20 กระบวนการทำความเย็น AB รูปที่ 21 กระบวนการทำความร้อน AC รูปที่ 22 กระบวนการเพิ่มความชื้นโดยการฉีดพ่นน้ำฝอยไปในอากาศ AD และรูปที่ 23 กระบวนการลดความชื้นและการทำความเย็น AE โดยให้อากาศไหลผ่านคอยล์เย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิน้ำค้างของอากาศ เป็นต้น



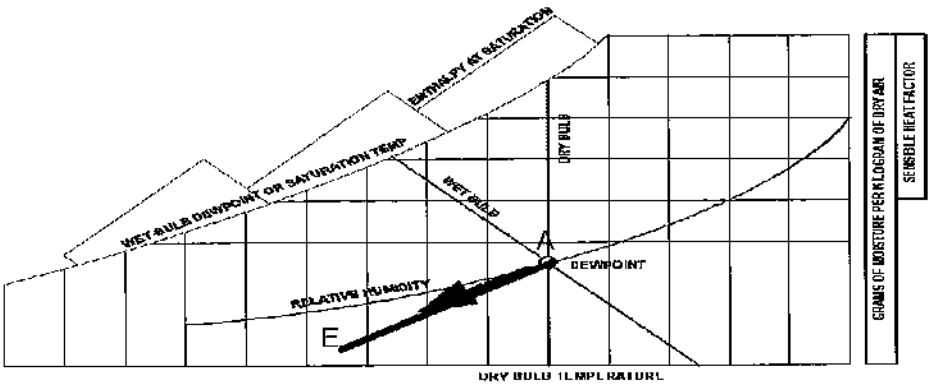
รูปที่ 20 กระบวนการทำความเย็นผ่านคอยล์น้ำเย็น



รูปที่ 21 กระบวนการให้ความร้อน AC ผ่านคอยล์น้ำร้อน



รูปที่ 22 กระบวนการเพิ่มความชื้น AD โดยการฉีดพ่นน้ำฝอย ไปในอากาศ



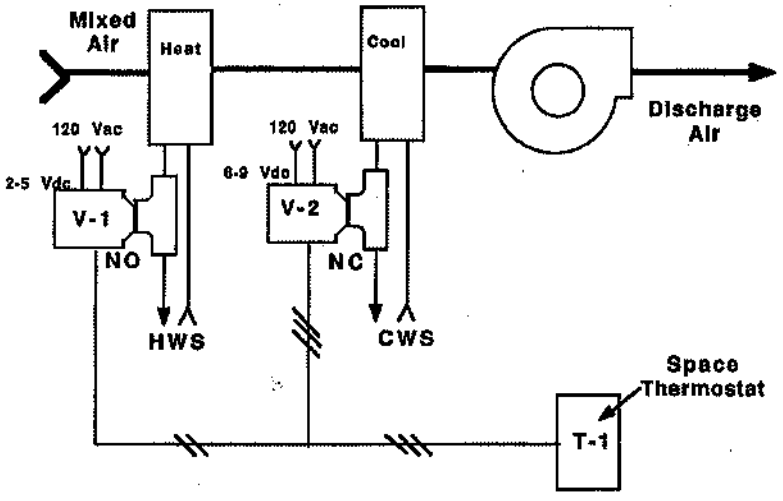
รูปที่ 23 กระบวนการลดความชื้นและการทำความเย็น AE
ผ่านคอยล์น้ำเย็นที่มีอุณหภูมิผิวคอยล์ต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศ

5. การควบคุมอุณหภูมิในห้อง

การควบคุมอุณหภูมิในห้องทำได้โดยติดตั้ง Space Thermostat ไว้ในห้องเพื่อตรวจวัดอุณหภูมิของอากาศภายในห้อง แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิที่ต้องการหากมีค่าไม่เท่ากันก็จะส่งสัญญาณไปปิดหรือเปิดวาล์วควบคุมน้ำเพื่อปรับแก้อุณหภูมิลมจ่าย (Discharge Air) ที่ส่งเข้ามาในห้องทำให้ห้องได้อุณหภูมิตามที่ปรับตั้งไว้ (Temperature Setpoint)

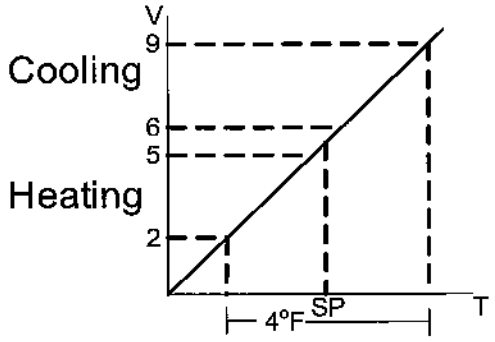
ระบบควบคุมอุณหภูมิแสดงในรูปที่ 24 คอยล์ร้อนจะทำให้อากาศผสม (Mixed Air) ระหว่างอากาศกลับ (Return Air) จากห้องและอากาศบริสุทธิ์ (Fresh Air) จากภายนอกห้องให้ร้อนส่วนและคอยล์เย็นจะทำให้อากาศผสมเย็นโดยมีพัดลมทำหน้าที่หมุนเวียนอากาศเข้าไปในห้อง Thermostat (T-1) แบบ Direct Acting จะทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิโดยสั่งวาล์วควบคุมน้ำร้อน V-1 แบบปกติเปิด (normally open, NO) และวาล์วควบคุมน้ำเย็น V-2 แบบปกติปิด (normally closed, NC) ให้ปิดหรือเปิดวาล์วควบคุมน้ำเพื่อปรับแก้อุณหภูมิในห้อง การเลือกอุปกรณ์ในลักษณะนี้จะทำให้มีการป้อนกลับเป็นแบบลบ

ในการทำงาน Thermostat ซึ่งมีช่วงการทำงาน 2-9 V จะส่งสัญญาณไปที่วาล์วควบคุมน้ำเย็นและวาล์วควบคุมน้ำร้อน เมื่อ Thermostat ต้องการเพิ่มอุณหภูมิในห้อง แรงดันไฟฟ้าขาออกจะลดลงและวาล์วควบคุมน้ำร้อนจะเปิดมากขึ้นไปทางตำแหน่งปกติเปิดเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นไปถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ แรงดันไฟฟ้าขาออกจะเพิ่มขึ้นทำให้วาล์วควบคุมน้ำร้อนซึ่งมีช่วงการทำงาน 2-5 V ปิด ถ้าอุณหภูมิในห้องยังสูงต่อไปอีก Thermostat



รูปที่ 24 ระบบควบคุมอุณหภูมิแสดง

ก็จะมีแรงดันขาออกเพิ่มขึ้น ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ วาล์วควบคุมน้ำเย็นซึ่งมีช่วยการทำงาน 6-9 V จะเริ่มเปิดและจะเปิดต่อไปจนถึงตำแหน่งเปิดสุดถ้าอุณหภูมิยังคงเพิ่มขึ้น วาล์วทั้งสองจะปิดสนิทเมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่าระหว่าง 5 ถึง 6 V ช่วง dead band นี้มีไว้เพื่อให้วาล์วควบคุมน้ำร้อนปิดสนิทก่อนที่จะเปิดวาล์วควบคุมน้ำเย็น หรือในทางกลับกัน ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันไฟฟ้าขาออกของ Thermostat แสดงในรูปที่ 25

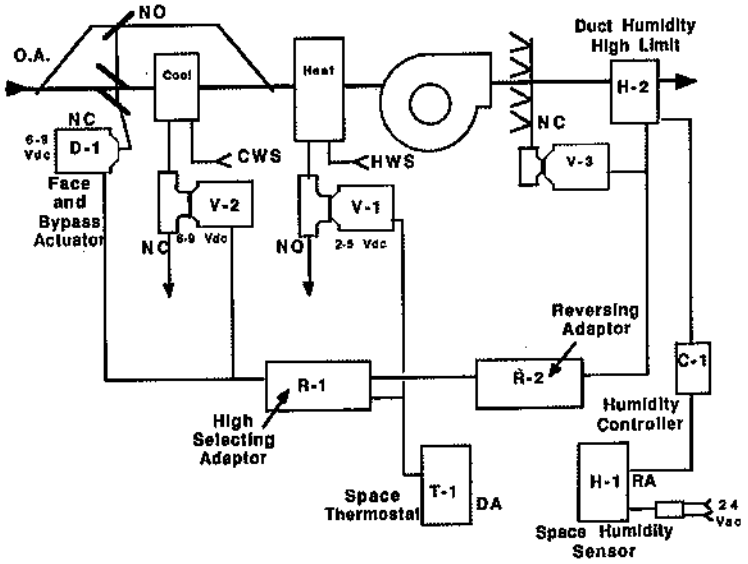


รูปที่ 25 Thermostat Output กับ อุณหภูมิ

6. การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในห้อง

การควบคุมอุณหภูมิจะเหมือนกับตัวอย่างที่แล้ว ดังแสดงในรูปที่ 26 โดย มี Thermostat (T-1) แบบ DAจะทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิโดยสั่งวาล์วควบคุมน้ำร้อน V-1แบบปกติเปิด (NO) และวาล์วควบคุมน้ำเย็น V-2 แบบปกติปิด (NC) ให้ปิดหรือเปิดวาล์วควบคุมน้ำเพื่อปรับแก้อุณหภูมิในห้อง แต่การจัดวางคอยล์น้ำร้อนจะต่างกัน โดยในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น คอยล์น้ำร้อนจะต้องวางอยู่หลังคอยล์น้ำเย็นเพื่อสามารถทำกระบวนการ Reheat ได้ การควบคุมความชื้น จะใช้ Face and bypass dampers เพื่อควบคุมการไหลของอากาศผ่านคอยล์เย็น และในการเพิ่มความชื้นจะใช้การฉีดน้ำให้เป็นฝอยให้กับอากาศ Humidity Controller ซึ่งรับสัญญาณความชื้นในห้องจาก Space Humidity Sensor จะทำหน้าที่ควบคุมความชื้นโดยสั่งวาล์วควบคุมน้ำ V-3 แบบปกติปิด (NC) เพื่อเพิ่มความชื้นและวาล์วควบคุมน้ำเย็น V-2 แบบปกติปิด (NC) เพื่อลดความชื้นในห้อง

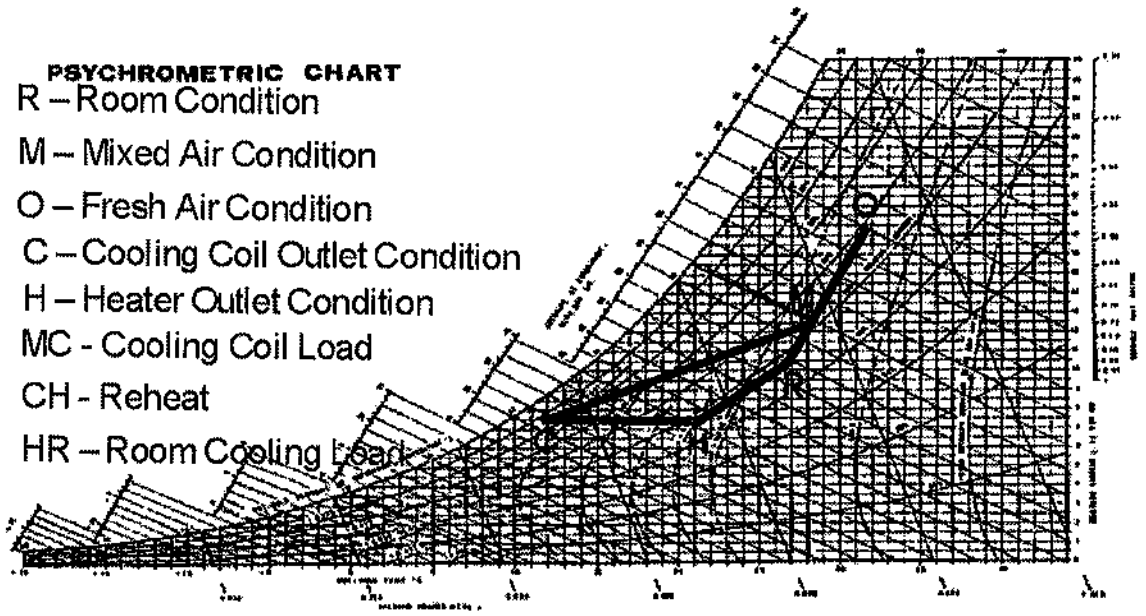
ในการทำงาน เมื่ออุณหภูมิในห้องเพิ่มขึ้นแรงดันไฟฟ้าจาก Thermostat (T-1) จะเพิ่มขึ้นและไปปิดวาล์วควบคุมน้ำร้อน V-1 ในทิศทางของตำแหน่งปิด ถ้าอุณหภูมิในห้องเพิ่มขึ้นต่อไปอีกแรงดันไฟฟ้าก็จะเพิ่มตาม แล้วทำให้สัญญานขาออกของ select adaptor (R-1) สูงตามไปด้วยจึงทำให้วาล์วควบคุมน้ำเย็น V-2 เปิด ในขณะเดียวกันแดมเปอร์แบบปกติเปิดก็จะเริ่มปิดในทิศทางไปสู่ตำแหน่งปิด และแดมเปอร์แบบปกติปิดก็จะเริ่มเปิดในทิศทางไปสู่ตำแหน่งเปิด ในเวลาเดียวกันหัววัดความชื้นแบบ Reversed Acting (H-1) ก็วัดความชื้นแล้วส่งสัญญาณไปให้ตัวควบคุม (C-1) ซึ่งจะขยายสัญญาณให้สูงขึ้น



รูปที่ 26 ระบบการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในห้อง

สัญญาณควบคุมนี้จะไปเข้าตัวควบคุมแบบจำกัดค่าสูง (H-2) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้า เมื่อความชื้นในท่อลมเพิ่มขึ้นสูงกว่า ค่าที่ปรับตั้งไว้ซึ่งโดยทั่วไปปรับตั้งไว้ที่ 90% สัญญาณก็ไม่สามารถส่งผ่าน วาล์วควบคุมความชื้นแบบปกติปิด (V-3) ออกไปได้ เมื่อไม่มีสัญญาณเข้าวาล์วก็จะปิดทำให้ไม่มีการเพิ่มความชื้น ถ้าความชื้นในห้องและความชื้นในท่อลมต่ำกว่าค่าที่ปรับตั้งสัญญาณควบคุมก็จะส่งไปที่วาล์วควบคุมความชื้นแบบปกติปิด (V-3) เพื่อปรับตำแหน่งให้เหมาะสมกับความชื้นในห้อง เนื่องจากตัววัดความชื้นเป็นแบบ Reversed Acting ดังนั้นเมื่อความชื้นสูงสัญญาณจะมีค่าต่ำและเมื่อส่งไปที่ Reversing Adaptor ก็จะส่งต่อไปเข้า High Selector Adaptor (R-1) ดังนั้นเมื่อความชื้นสูง สัญญาณที่ส่งไปที่ High Selector Adaptor (R-1) มีค่าสูงตามไปด้วย และเมื่อถูกเลือกสัญญาณก็จะไปควบคุมวาล์วควบคุมน้ำเย็นและแดมเปอร์แบบ face and bypass เพื่อทำความเย็นและลดความชื้น

ในระบบควบคุมนี้จะเหมาะสมกับพื้นที่ที่มีความชื้นต่ำในหน้าหนาวและต้องการลดความชื้นในหน้าร้อนซึ่งมีความชื้นสูงในระบบนี้วาล์วควบคุมน้ำเย็นและแดมเปอร์จะเปิดที่ค่าหนึ่งเพื่อทำความเย็นตามกระบวนการ MC แสดงในรูปที่ 26 เนื่องจากความชื้นสูงแม้ว่า thermostat ในห้องต้องการให้ทำความร้อนในกรณีนี้อากาศจะถูกทำให้ร้อน (reheat) โดยคอลย์ร้อนตามกระบวนการ CH ในรูปที่ 27 ด้วยปริมาณเพื่อทำให้ได้อุณหภูมิในห้องตามความต้องการ



รูปที่ 27 กระบวนการในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

จากกระบวนการต่างๆ ที่แสดงในแผนภูมิไซโครเมทริกส์จะได้ค่าพลังงานเอนทัลปีของอากาศชื้นที่สภาวะต่างๆ ทำให้หาขนาดของคอยล์เย็น ขนาดของคอยล์ร้อนและขนาดของพัดลมได้