สูตรไม่ลับ งานปรับอากาศ

บุญพงษ์ กิจวัฒนาชัย

ประธานวิชาการสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย
ประธานสาขาเครื่องกลวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์
กรรมการสมาคมวิศวกรออกแบบและปรึกษาเครื่องกลและไฟฟ้าไทย
ผู้อำนวยการด้านวิศวกรรม บริษัท มิตรเทคนิคัลคอนซัลแท้นท์ จำกัด

ในช่วง 5 - 7 ปี ที่แล้ว ผมยังจำได้ว่าทุกครั้งที่นั่งทำงานบนโต๊ะ จะต้องมีแบบร่างสถาปัตยกรรมเพื่อให้ผมออกแบบระบบเครื่องกลแทบทุกวัน หันด้านซ้ายก็จะเป็นแบบสถาปัตยกรรม หันด้านขวาก็เป็นแบบโครงสร้าง Partition ด้านหน้าก็จะติดสูตรคำนวณต่าง ๆ ตาราง และ Chart เพื่อใช้ในการออกแบบ เรียกได้ว่าทุกหย่อมหญ้ารอบ ๆ โต๊ะทำงานจะเต็มไปด้วยบรรยากาศของงานออกแบบ ซึ่งก็เป็นแบบนี้มากว่า 10 ปี งานออกแบบบางงานคาอยู่บนโต๊ะเป็นอาทิตย์ บางทีเป็นเดือน แต่น้อยครั้งที่จะคาไว้ 1-2 วัน จนผมเบื่อแสนเบื่อ คิดว่าชีวิตนี้คงบรรลุมรรคผลกับงานออกแบบเป็นแน่แท้ และแล้วเดี๋ยวนี้ซิครับ บนโต๊ะทำงานของผมดูจะโล่ง ๆ มีแบบวางก็จะอยู่บนโต๊ะราว 1-2 ชั่วโมง นานสุด ๆ ก็คงไม่เกิน 2-3 วัน จนผมเกือบจะลืมไปแล้วว่าในอดีตความน่าเบื่อกับงานออกแบบเป็นยังไง รู้แต่ว่าคงอยู่แบบนี้ต่อ ๆ ไปคงไม่ดีแน่น คงต้องทำอะไรบางอย่างที่ดีกว่านั่งภาวนาหรือรอความหวังเป็นแน่แท้ ขอเพียงอย่างเดียวอย่าย่อท้อหรือสิ้นหวังเป็นอันขาด ก็ขอฝากข้อคิดเล็ก ๆ ไว้ก่อนเข้าเนื้อหาดังนี้

- เราจำเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ จากสิ่งที่เราได้ยิน
- เราจำได้เป็น 25 เปอร์เซ็นต์ จากสิ่งที่เราได้เห็น
- เราจำได้ถึง90 เปอร์เซ็นต์ จากสิ่งที่เราได้ลงมือทำ

เอาละครับ ขอเข้าเรื่องเลยดีกว่า จากประสบการณ์ในการออกแบบของผม ผมพบว่าหากมีข้อมูลสั้น ๆ เร็ว ๆ ที่สะดวก ๆ และอยู่ใกล้ ๆ มือ ก็จะทำให้งานออกแบบมีความรวดเร็ว เกิดความมั่นใจ และผิดพลาดน้อย ดังนั้น ผมจึงมักติดหรือสำเนารายละเอียดไม่ว่าจะเป็น สูตร ข้อมูลจำเป็น และตาราง ไว้เป็นชุด ๆ ติดไว้ที่บอร์ด หรือ Partition หน้าโต๊ะ เพื่ออ้างอิง ก็ลองพิจารณาที่รวบรวมไว้ในบทความนี้ หากได้ประโยชน์ก็สำเนาเก็บไว้ก็ดีครับ ข้อมูลพวกนี้ เรียกว่า Rules of Thumb ของผมครับ

สูตรต่าง ๆ ที่จำเป็น

Cooling Equations

H_S = 1.08 x CFM x ΔT

H_L = 0.68 x CFM x ΔWGr

H_T = 4.45 x CFM x Δh

H_T = HS + HL

SHR = HS/HT , HS/(HS+HL)

H_S : Sensible heat หน่วย BTU/Hr

H_L : Latent heat หน่วย BTU/Hr

H_T : Total heat หน่วย BTU/Hr

ΔT : Temperature difference หน่วย ^{o}F

ΔWGr: Humidity ratio difference หน่วย Gr.H2O/lb of dry air

Δh : Enthalpy difference หน่วย BTU/lb of dry air

CFM : Air flow rate หน่วย cubic feet per minute

SHR : Sensible heat ratio

R-Values, U-Values

R = 1/C = L/k

U = $1/\Sigma R$

R	:	Thermal Resistance	หน่วย Hr-Sq.Ft ^{o}F/BTU
C	:	Conductance	หน่วย BTU/Hr-Sq Ft ^{o}F
L	:	Thickness	หน่วย inch
k	:	Thermal Conductivity	หน่วย BTU-inch/Hr-Sq Ft ^{o}F
U	:	Thermal Conduction	หน่วย BTU/Hr-Sq Ft ^{o}F

สูตรต่าง ๆ ที่จำเป็น

Cooling Equations

H_S = 1.08 x CFM x ΔT

H_L = 0.68 x CFM x ΔWGr

H_T = 4.45 x CFM x Δh

H_T = HS + HL

SHR = HS/HT , HS/(HS+HL)

H_S : Sensible heat หน่วย BTU/Hr

H_L : Latent heat หน่วย BTU/Hr

H_T : Total heat หน่วย BTU/Hr

ΔT : Temperature difference หน่วย °F

ΔWGr: Humidity ratio difference หน่วย Gr.H2O/lb of dry air

Δh : Enthalpy difference หน่วย BTU/lb of dry air

CFM : Air flow rate หน่วย cubic feet per minute

SHR : Sensible heat ratio

R-Values, U-Values

R = 1/C = L/k

U = $1/\Sigma R$

R	:	Thermal Resistance	หน่วย Hr-Sq.Ft °F/BTU
C	:	Conductance	หน่วย BTU/Hr-Sq Ft °F
L	:	Thickness	หน่วย inch
k	:	Thermal Conductivity	หน่วย BTU-inch/Hr-Sq Ft °F
U	:	Thermal Conduction	หน่วย BTU/Hr-Sq Ft °F

Water System

$H = 500 \times GPM \times \Delta T$

$GPMch = Tons \times 24 / \Delta T$

$GPMcon = Tons \times 30 / \Delta T$

H	:	Total Cooling load	หน่วย BTU/Hr
GPM	:	Water flow rate	หน่วย Gallons per minute
ΔT	:	Temperature difference	หน่วย ^{o}F
GPMch	:	Chilled water flow rate	หน่วย Gallons per minute
GPMcon	:	Condenser water flow rate	หน่วย Gallons per minute

Air Change Rate

$AC = CFM \times 60 / Volume$

$CFM = AC \times Volume / 60$

AC	:	Air change rate per hour
Volume	:	Cubic feet

Mixed Air Temperature

$$T_{MA} = \left(T_{RA} \times \frac{CFM_{RA}}{CFM_{SA}}\right) + \left(T_{OA} \times \frac{CFM_{OA}}{CFM_{SA}}\right)$$

T_{MA}	:	Mixed air temperature	หน่วย ^{o}F
T_{RA}	:	Return air temperature	หน่วย ^{o}F
T_{OA}	:	Outdoor air Temperature	หน่วย ^{o}F
CFM_{RA}	:	Return air flow rate	หน่วย cubic feet per minute
CFM_{SA}	:	Supply air flow rate	หน่วย cubic feet per minute
CFM_{OA}	:	Outdoor air flow rate	หน่วย cubic feet per minute

Ductwork

$$TP = SP + VP$$

$$VP = V^2 / 4005^2$$

$$V = Q / A = \frac{Q \times 144}{W \times H}$$

$$D_{EQ} = \frac{1.30 \times (a \times b)^{0.625}}{(a + b)^{0.25}}$$

TP	:	Total pressure		
SP	:	Static pressure		
VP	:	Velocity pressure		
V	:	Velocity	หน่วย	ft/min
G	:	Air flow rate	หน่วย	Cubic feet per minute
A	:	Area of duct	หน่วย	Sq. ft.
W	:	Width of duct	หน่วย	Inches
H	:	Height of duct	หน่วย	Inches
D_{EQ}	:	Equivalent round duct size for Rectangular Duct		
a	:	One dimension of Rectangular duct	หน่วย	Inches
b	:	Adjacent side of Rectangular duct	หน่วย	Inches

Fan Laws

$$\frac{CFM2}{CFM1} = \frac{RPM2}{RPM1}$$

$$\frac{SP2}{SP1} = \left(\frac{CFM2}{CFM1}\right)^2 = \left(\frac{RPM2}{RPM1}\right)^2$$

$$\frac{BHP2}{BHP1} = \left(\frac{CFM2}{CFM1}\right)^3 = \left(\frac{RPM2}{RPM1}\right)^3 = \left(\frac{SP2}{SP1}\right)^{1.5}$$

$$BHP = \frac{CFM \times SP}{6356 \times FAN\ eff}$$

$$HP = BHP / Deff$$

RPM	:	Revolution per minute	หน่วย	rpm
SP	:	Static pressure	หน่วย	Inches of water
BHP	:	Brake horse power	หน่วย	hp
FANeff	:	Fan efficiency (~ 65 – 80%)		
Deff	:	Drive efficiency (~ 80 - 95%)		
HP	:	horse power		

Pump Laws

$$\frac{GPM2}{GPM1} = \frac{RPM2}{RPM1}$$

$$\frac{HD2}{HD1} = \left(\frac{GPM2}{GPM1}\right)^2 = \left(\frac{RPM2}{RPM1}\right)^2$$

$$\frac{BHP2}{BHP1} = \left(\frac{GPM2}{GPM1}\right)^3 = \left(\frac{RPM2}{RPM1}\right)^3 = \left(\frac{HD2}{HD1}\right)^{1.5}$$

$$BHP = \frac{GPM \times HD}{3960 \times PUMP\ eff}$$

$$HP = \frac{BHP}{Deff}$$

$$HV = V^2 / 2g$$

$$HD = \frac{P \times 2.31}{Sp.Gr}$$

HD	:	Head or friction loss	หน่วย	Feet

H_V	:	Velocity head	หน่วย	Feet
Sp.Gr	:	Specific gravity		
g	:	Acceleration due to gravity = 32.16 feet/Sec^2		
V	:	Velocity	หน่วย	Feet/Sec
P	:	Pressure	หน่วย	Pound per square Inches

Air Conditioning Condensate

$$GPM_{AC-cond} = \frac{CFM \times \Delta W}{SpV \times 8.33}$$

AC Condensate flow

Range : 0.02 – 0.08 GPM/Tons

Air handling unit (100% OA)	:	0.100	GPM/Tons
Air handling unit (15% OA)	:	0.041	GPM/Tons
Air handling unit (0% OA)	:	0.030	GPM/Tons

Mininum Air Conditioning Condensate Pipe Sizing

AC Tons	Size
0-20	1"
21-40	1 ¼"
41-60	1 ½"
61-100	2"
100-250	3"
251 and larger	4"

Efficiencies

$$COP = \frac{\text{Cooling Capacity in BTU/HR}}{\text{Compressor work in BTU/HR}}$$

$$EER = \frac{\text{Cooling Capacity in BTU/HR}}{\text{Compressor work in Watt}}$$

EER = 3.413 x COP

COP = Coefficient of performance

EER = Energy efficiency ratio

Cooling Tower

APPROACH = LWT - AWB

RANGE = EWT - LWT

$$C = \frac{(E + D + B)}{D + B}$$

$$B = \frac{E - [(C-1) \times D]}{(C-1)}$$

EWT : Condenser entering water temperature 100 °F

LWT : Condenser leaving water temperature 90 °F

RANGE : 10 °F

AWB : Ambient wet bulb temperature °Fwb

Condenser flow rate = 3.0 GPM/Tons @ 10 °FΔT

Power : 0.035 - 0.040 kw/Ton

C : Cycle of Concentration

B : Blowdown หน่วย gallons per minute

D : Drift หน่วย gallons per minute

E : Evaporation หน่วย gallons per minute

E = GPM cond x R x 0.0008

D = GPM cond x 0.0002

Moisture Condensation on Glass

$$T_{glass} = T_{room} - \left(\frac{U_{glass} \times (T_{room} - T_{OA})}{Ui} \right)$$

Ui = Inside air film หน่วย ^{o}F

If $T_{glass} < T_{room}$ Dew Point Condensation Occurs

Ventilation

1. Toilet room
   - 2.0 CFM / Sq. Ft
   - 10 AC
   - 100 CFM / Water Closet

2. Electrical room
   - 2.0 CFM / Sq. Ft
   - 10 AC
   - 5 CFM / KVA

3. Mechanical Room
   - 2.0 CFM / Sq. Ft

Air Distribution Systems

1. Ductwork Systems Sizing
   - a. Low Pressure : 0.08-0.01 Inch of Water/100 Ft
     1,500-1,800 feet per minute

b.	Medium Pressure	:	0.20-0.25 Inch of Water/100 Ft 2,000-2,500 feet per minute
c.	High Pressure	:	0.40-0.45 Inch of Water/100 Ft 2,500-3,500 feet per minute
d.	Transfer Duct	:	0.03-0.05 Inch of Water/100 Ft 1,000 feet per minute

2. Ductwork Testing

-3 inch of water and lower	:	1.5 x pressure rating
-2 inch to +2 inch of water	:	Generally no test
+3 inch of water and higher	:	1.5 x pressure rating

3. Ductwork Leakage Classes

Seal Class A	:	2-5% Total System Leakage
Seal Class B	:	3-10% Total System Leakage
Seal Class C	:	5-20% Total System Leakage
Unsealed	:	10-40% Total System Leakage

Kitchen Exhaust Ducts and Hoods

1. Exhaust / Makeup Air : 1,500-2,200 Ft/min Duct Velocity

2.	Duct Sheet Metal Gauge	:	16 USSG Galvanized Steel Sheet 18 USSG Stainless Steel Sheet
3.	Cleanout	:	Base of lower every 20 feet

4. Hood Exhaust Velocity

a. Canopy	:	100 CFM/Sq. Ft
b. Non Canopy	:	300 CFM/lineal Ft. of cooking surface

Hydraulic Piping System

Pipe sizing

a.	4 Ft/100 Ft	:	Pressure drop
b.	8 Feet per second	:	Velocity at Occupied area
c.	10 Feet per second	:	Velocity at Unoccupied area
d.	1.50 Feet per second	:	Minimum water velocity

Cleanroom Design Criteria

Cleanroom Design Criteria	Federal Standard 209E Classifications					
	1	10	100	1,000	10,000	100,000
Circulation rate : AC (base on 10' height)	360-540	360-540	210-540	120-300	30-120	12-60
Room Air Velocity Ft/min	60-90	60-90	35-90	20-50	5-20	2-10
% Filter Coverage	100	100	50-100	25-60	10-40	5-20
Room Characteristics	Laminar	Laminar	Laminar/ Nonlaminar	Nonlaminar	Nonlaminar	Nonlaminar
Unidirectional Flow	Yes	Yes	Yes/no	No	No	No
Parallelism Degree	10-35	10-35	10-35,N/A	N/A	N/A	N/A

Note 1. Temperature Range : 68-74 ^{o}F $\pm$ 0.1 - 2.0 ^{o}F

2. Relative Humidity : 30-50% RH $\pm$ 1-5 % RH

3. Smoke Purge Exhaust : 3-5 CFM/Sq. FT