

공기선도를 쉽게 읽는 법과 쓰는 법 ①

용어의 뜻

新日本空調(株) 川本 誠(Makoto Kawamoto)

본고는 日本의 建築設備와 配管工事 96년 2월호에 게재된 내용을 金孝經 (서울대 名譽教授) 博士가 翻譯한 것으로서 武斷으로 轉載하거나 複寫 사용 할 수 없음을 알려드립니다. [편집자 주]

[1] 머리말

공기조화 공부를 시작할 때 교과서의 전반에 나오는 공기선도는 매우 이해하기 어렵다. 또 현실의 각종 공기조화 시스템이 공기선도상 어떤 공기상태로 되어 있는가는 알기 어려운 일이다. 실무적으로 공기조화기의 용량선정에는 공기선도가 이용되고 있다. 그래서 충분한 공기선도를 이해할 필요가 있다.

여기서는 공기선도의 기초와 간단한 응용설명을 [제①회/용어의 뜻] [제②회/공기선도의 기본적 독법과 쓰는 방법] [제③회/공기선도의 간단한 응용]으로 분류해 3회 연재할 예정이다.

[2] 공기의 상태

우리 생활 속에서 봄·가을의 계절은 피부로 느끼는 바람도 시원스러운 것이다. 반면 장마철에는 축축하고, 겨울에는 피부나 목이 말라서 건조감이 있다. 이러한 체감은 우리 주위에 있는 공기와 관계되고 있다는 것은 누구나 알고 있는 사실이다.

그러면 습기를 느낄 때나 건조감이 있을 때 공기의 상태는 어떻게 되어 있는 것일까. 온도계로서 설명할 수도 있으나, 여기서는 공기선도를 사용해서 설명해 본다.

그래서 공기상태를 명확하게 설명하는 수단으로서, 또 공기조화장치의 설계를 하기 위해서 이용하는 공기선도(정확하게는 습공기선도 h-x선도) (psychrometric chart) (그림 1)에 대해서 설명한다.

여기서 공기선도를 이용하기 전에 공기선도상에 그려져 있는 용어, 선의 뜻은 무엇인가를 알 필요가 있다.

1] 건공기와 습공기(Dry Air, Wet air)

화학적으로 공기는 산소와 질소, 기타 몇 개의 기체로 구성되어 있다. 그속에 질량으로서 1~3% 정도의 수증기(수분)가 포함되어 있다.

이와같이 수증기를 함유하는 공기를 「습공기」라 하고, 수증기를 전혀 함유하지 않는 공기를 「건공기」라고 부른다. 수증기를 전혀 함유하지

얇은 공기란 있을 수 없고, 단지 「공기」라고 할 때는 「습공기」를 뜻하는 것이다.

또 「습공기」의 질량을 고려할 때 실용상 「습공기 1kg」과 「건공기 1kg」은 거의 같다고 보아도 지장이 없다.(그림 2)

이것은 수증기의 질량이 극히 적음으로 습공기의 질량(건공기 1kg+수증기 xkg)의 수증기 xkg 을 고려하지 않아도 좋다는 것이다.

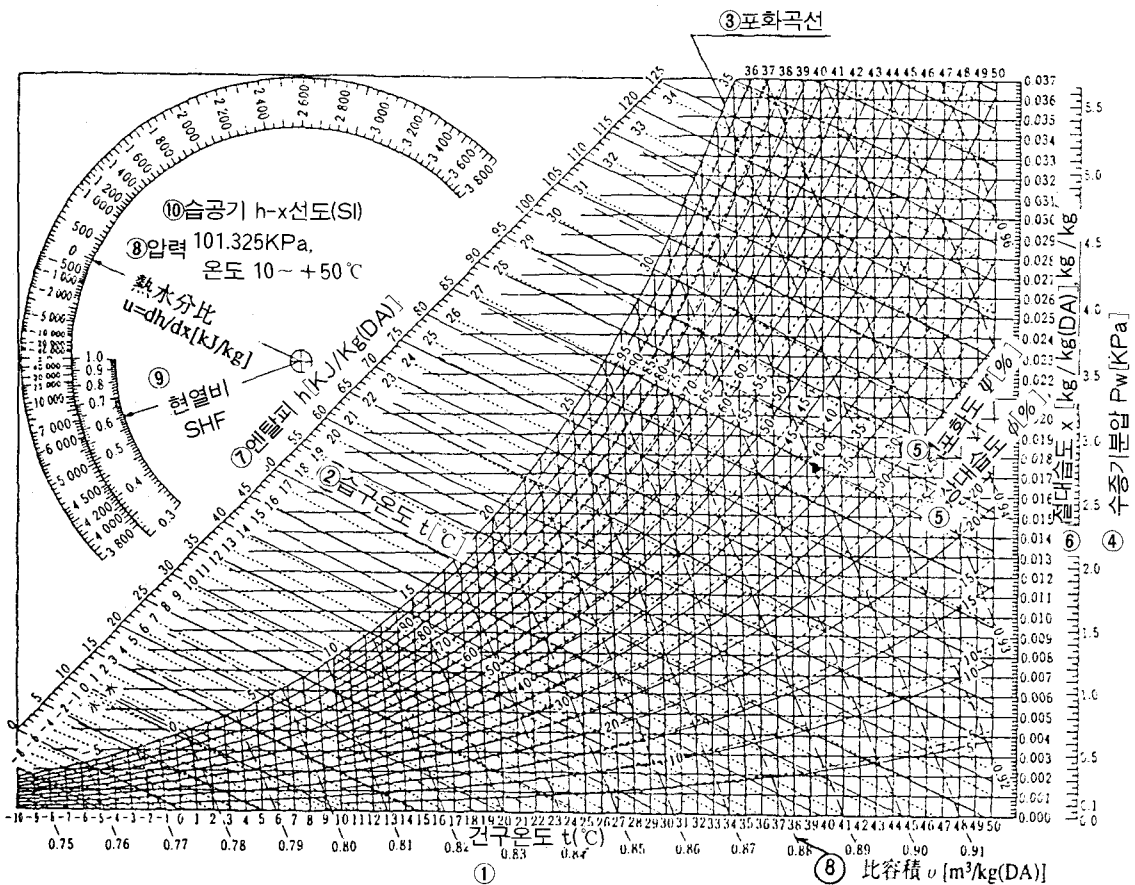
2] 포화공기와 불포화공기

공기는 일정량의 수분을 함유할 수 있다.(건구온도의 값에 따라서 다르며, 온도가 높을수록 많은 수분을 함유할 수 있다)그러나 일정량을

넘으면 수증기는 공기중을 부유하여 안개로 되어 물건에 부착해서 이슬이 된다.

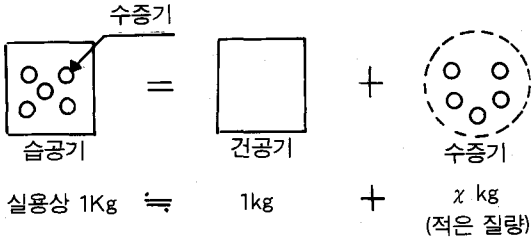
이와같이 함유할 수 있는 만큼의 수증기를 함유하는 공기를 「포화공기」, 수증기를 더 함유할 여유가 있는 공기를 「불포화공기」, 공기가 수증기를 더 함유할 수 없이 대기중에 남는 상태의 공기를 「안개있는 공기」라고 한다.

추운 지방에서는 겨울 대기중의 수증기가 어는 다이아몬드더스트현상이 생기는 일이 있다. 이것은 「안개 있는 공기」의 수증기가 동결해서 「얼음 있는 공기(눈(雪)이 있는 공기라고도 함)」로 되는 까닭이다.

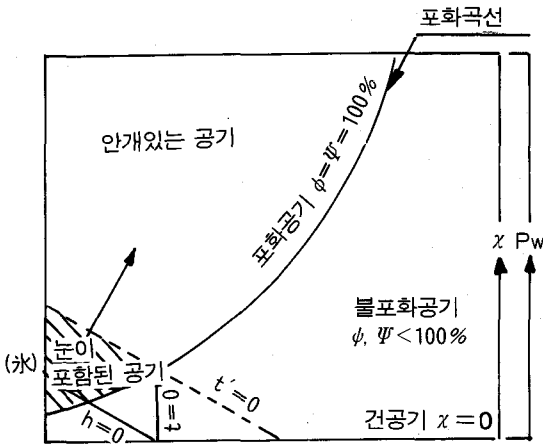


[그림 1] 습공기 h-x선도(SI)

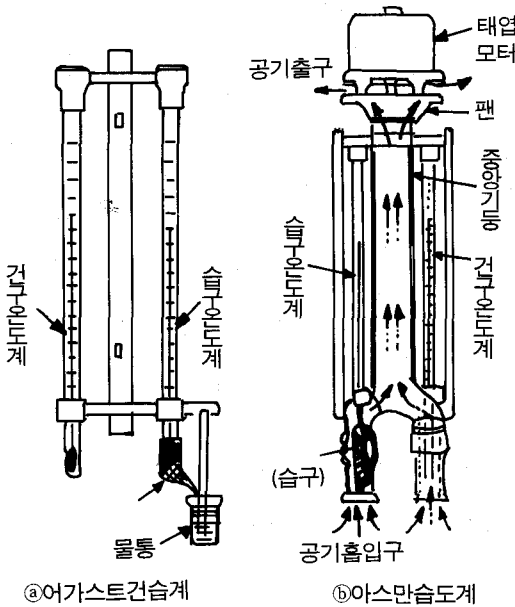
※ 출처 : 공기조화위생공학편람 제3장 P85 (그림 3.12)



[그림 2] 건공기와 습공기



[그림 3] 습공기 h-x선도



[그림 4] 건습구온도계

또 공기선도상에서 각 온도의 포화공기의 상태점을 연결하는 곡선을 포화곡선이라고 말한다. (그림 3)

3] 건구온도와 습구온도

건구온도 $t(°C)$:(DB) (Dry Bulb Temperature)
 습구온도 $t'(°C)$:(WB) (Wet Bulb Temperature)

우리가 가정에서 두 개의 온도계를 한쌍으로 해서 그중 한 개의 온도계에 거즈를 둘러 감은 것을 본 일이 있을 것이다.(그림 4의 ③)

거즈가 붙어있지 않은 온도계의 표시온도를 「건구온도」라고 한다.(일상 사용하고 있는 기온, 실온을 측정하는 온도계는 거의 전부 「건구온도」를 표시하고 있다고 보아도 좋을 것이다) 이것은 온도계 주위의 공기온도를 측정하고 있는 것이다.

또 거즈가 감겨져 있어 물통으로부터 물을 빨아 올려서 감온부를 적시고 있는 온도계가 표시하는 온도를 「습구온도」라고 한다. 습구온도는 거즈의 수분이 증발할 때 기화열을 빼았음으로 건구온도보다 낮은 것이 일반적이다.

만약에 건구온도와 습구온도가 같은 눈금을 표시하고 있다면 비오는 날의 옥외와 같은 포화공기나 안개가 있는 공기의 상태를 측정하고 있든지 또는 물통의 물이 없어져서 거즈가 건조하여 있을 때이다.

즉 통상, 건구온도와 습구온도의 차가 크면 공기가 건조하고, 차가 적으면 습기가 많은 것이다.

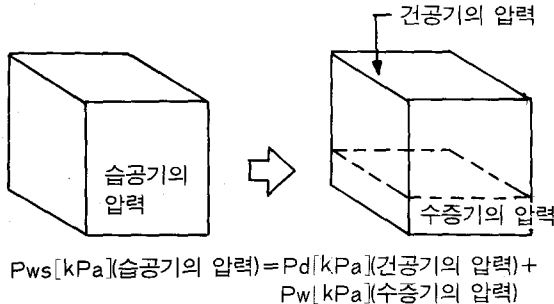
또 실무용으로 습구온도계의 거즈부분에 일정한 기류를 흐르게 해서 측정 정도를 높게 한 것이 아스만온도계이다.(그림 4의 ④)

공기선도상에서 건구온도는 세로로 그은 실선으로 표시하며(그림 1), 하부의 ① 횡축의 눈금으로 읽는다. 습구온도는 좌상으로부터 우하(右下)로 그은 점선으로 표시되며(그림 1의 ②)의 포화곡선상의 온도 눈금으로 읽는다.

공기선도에서 알 수 있는 바와 같이 (그림 1의 ③)의 곡선상에서는 건구온도와 습구온도는 동일한 온도로 된다. 이 공기는 포화공기의 상태를 표시하고 있다. 그리고 건구온도와 습구온도는 모두 표시되어 있는 선과 선은 평행하지 않다는(예로서 건구온도 20℃와 30℃를 표시하는 각각의 세로의 선은 평행하지 않다) 것에 주의하기 바란다.

4] 수증기분압 Pw [kPa](mmHg)

습공기는 건공기와 수증기로 되어 있음을 알게 되었다. 이 습공기가 갖는 압력중 수증기의 압력을 「수증기분압」이라고 한다. 습공기중의 수증기의 양에 따라서 수증기분압은 변하고, 습도를 가늠하게 된다.(그림 5)



[그림 5] 수증기분압이란

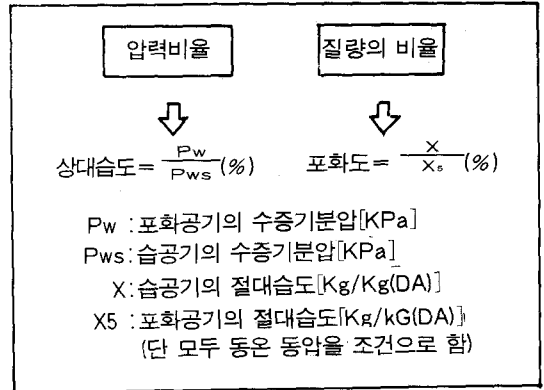
수증기분압은 공기선도의 우측에 눈금으로 표시되어 있으며 수평방향으로 읽는다.(그림 1의 ④)

5] 상대습도(관계습도)와 포화도(비교습도)

상대습도 ϕ [%] (RH) (Relative Humidity)

포화도 Ψ [%]

우리들은 습도 50% 혹은 80%라고 가정용 습도계로서 읽는다. 이것은 어느 건구온도에서 수증기분압이 포화공기의 수증기분압에 대하여 얼마인가의 비율을 표시한 것이며, 「상대습도」 또는 「관계습도」라고 한다.



[그림 6] 상대습도와 포화도

또 어느 건구온도에서 절대습도가 포화공기의 「절대습도」에 대하여 얼마인가의 비율을 표시한 것을 「포화도」 또는 「비교습도」라고 한다. (그림 6)

건구온도가 높아지면 포화도는 상대습도보다 약간 높게 되는데 상온부근 이하에서는 거의 같은 값을 표시한다.(실무상대차는 없으나 일반 공조에서는 상대습도로서 계산하는 일이 많다)

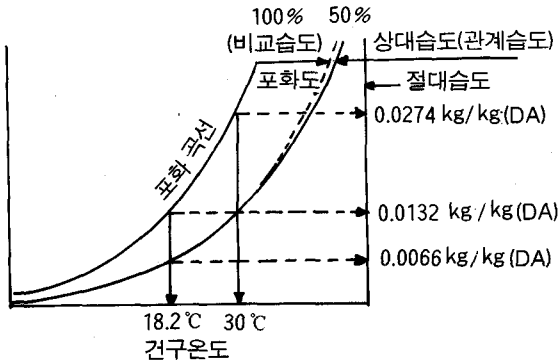
동시에 어느 온도의 공기중에 얼마의 수증기가 함유되어 있는가를 비율로서 표시하고 있다.

상대습도와 포화도는 공기선도상 포화곡선과 건구온도의 횡축과의 사이에 곡선으로 표시되어 있다.(그림 1의 ⑤)

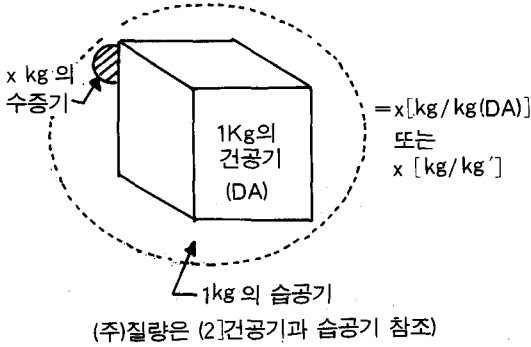
6] 절대습도 x [kg/kg(DA)], kg/kg'

감각적인 공기의 습기는 상대습도로서 알 수 있다. 그러나 공기중에 얼마나 수증기가 함유되어 있는가는 구체적으로 표현되지 않는다. 또 기온(건구온도)이 변하면 같은 값의 상대습도일 지라도 공기중에 함유되는 수증기량은 변한다. (그림 7)

실질적인 공기의 습기를 「건공기 1kg이 함유하는 습공기중의 수증기량이 x kg」이라고 하는 습도표현을 하면 수치적으로는 확실하다. 여기서 공기는 온도·기압이 변하면 용적도 변화한다.



[그림 7] 상대습도와 절대습도



[그림 8] 절대습도 알아보기

한편, 공기의 질량은 어떤 상태에서도 변화하는 일이 없다. 그렇기 때문에 「절대습도」는 건공기 1kg의 질량을 기준으로 하며 $x \text{ kg/kg(DA)}$ 또는 $x \text{ kg/kg}$ 로서 표현한다. (그림 8)

덧붙여서 말한다면 (5)의 포화도도 절대습도의 비(比)로서 표현하는데 이것도 불변의 질량 기준으로 표시할 수 있다는 장점이 있다.

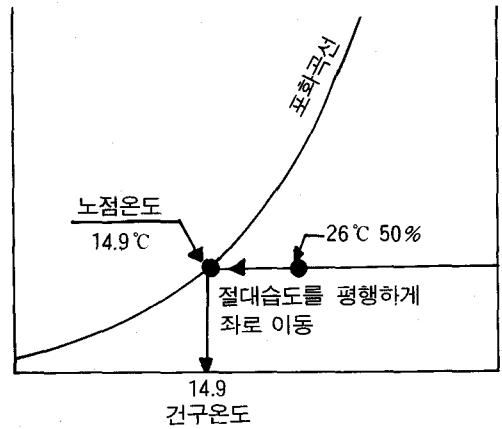
공기선도상에서 절대습도(그림 1의 ⑥)를 읽는 방법은 수평선을 따라서 우측 세로축의 눈금을 사용한다.

7] 노점온도 $tD[^\circ\text{C}]$ (DP) (Dew Point Temperature)

무더운 여름, 냉장고에서 꺼낸 보리차 용기에

잠시후 많은 이슬이 생겨서 시원하게 느끼는 일이 있다. 이와같이 공기중의 수증기가 공기로부터 분리되어 물방울이 되는 것을 「응축」 또는 「결로」라고 하며, 이 응축이 시작되는 온도를 노점온도라고 한다.

공기선도상에서 절대습도의 횡선이 포화곡선과 만나는 온도가 그 공기의 「노점온도」를 표시한다.(그림 9)



[그림 9] 노점온도

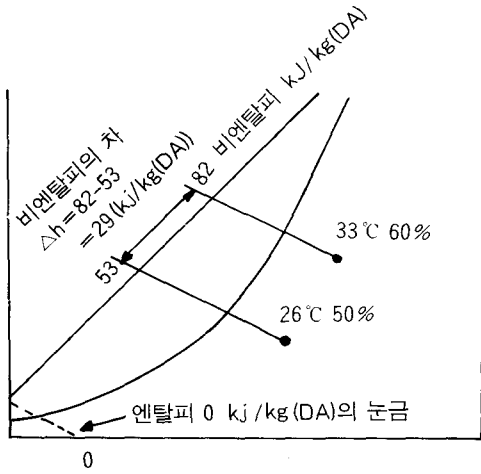
8] 비(比) 엔탈피 $h \text{ [kJ/kg(DA)] (kcal/kg(DA))}$

비엔탈피는 공기가 갖는 에너지를 표시한 것이다. 일상 생활상 어떤 상태의 공기도 에너지를 갖고 있다.

그러나 이것으로는 에너지량의 비교와 파악이 안됨으로 건구온도 0°C , 절대습도 0 kg/kg(DA) 조건의 공기를 비엔탈피 0 kJ/kg(DA) (kcal/kg(DA))라고 정하였다.

이것으로 공기선도상의 어느 상태점 A와 어느 상태점 B의 비엔탈피의 차로써 공기에 어느 정도의 에너지가 가하여졌는가, 또는 제거되었는가를 알 수 있다. (그림 10)

비엔탈피의 눈금은 공기선도상의 포화곡선의 상측에 경사지어 표시되며, 선도상의 임의의 점



[그림 10] 비엔탈피와 비엔탈피의 차

부터 좌상의 실선을 따라 눈금을 읽는다.(그림 1의 ⑦)

9] 비용적 v [$m^3/kg(DA)$]

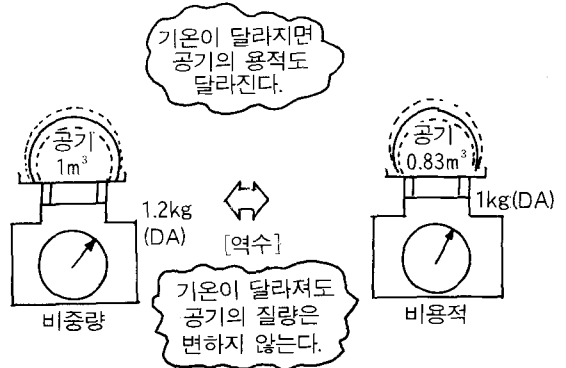
공기선도의 좌상으로부터 우하(右下)로 그은 경사된 굵은 선(그림 1의 ⑧)이 비용적을 표시한다.

비용적이라 함은 건공기 1kg을 함유하는 습공기의 용적을 표시한다.

그러면 비용적은 어떤 역할을 하는 것일까. 실내에서 발생하는 열부하를 처리하기 위한 공기는 시간당의 송풍공기의 용적으로서 표현하는데(예로서 m^3/h) 공기의 용적은 온도에 따라서 변한다.

공기는 온도가 높아지면 팽창하고 낮아지면 축소한다. 그래서 정확한 풍량산정을 할 때는 온도변화에 영향을 받지 않는 질량기준으로 한다. 그때 풍량을 비용적으로 나누어서 시간당의 공기의 질량(예로서 kg/h)으로 환산할 필요가 있다.

단, 일반공조에 있어서 표준공기(20°C의 건공기)의 비용적 $0.83m^3/kg(DA)$ 로서 풍량계산을 하여도 실용상 문제는 없다. (그림 11)



[그림 11] 비용적을 고려하는 방법

[풍량]

$$\frac{Qm^3/h}{0.83m^3/kg(DA) (m^3/kg f(DA))}$$

$$= 1.2 kg(DA)/ m^3(kgf(DA)/m^3) \times Qm^3/h$$

$$= 1.2 \times Q (kg/h)$$

[용적량]

가습량(Kg/h) = $1.2 \times Q \times \Delta X$

전열량(KJ/h) = $1.2 \times Q \times \Delta h$

전열량(Kcal/h) = $1.2 \times Q \times \Delta h$

현열량(Kcal/h) = $1.005 \times 1.2 \times Q \times \Delta t$

$$= 1.21 \times Q \times \Delta t$$

현열량(Kcal/h) = $0.24 \times 1.2 \times Q \times \Delta t$

$$= 0.29 \times Q \times \Delta t$$

ΔX : 절대습도차 ($kg/kg(DA)$)

Δh : 엔탈피차 ($kJ/kg(DA)$) (SI)

Δh : 엔탈피차 ($kcal/kg(DA)$) (종래 단위계)

Δt : 온도차 ($^{\circ}C$)

$0.83 m^3/kg(DA)$: 표준공기의 비용적 (종래 단위계 $m^3/kgf(DA)$)

$1.2 kg(DA)/m^3$: 표준공기의 밀도(비중량) (종래 단위계 $kgf(DA)/m^3$)

$1.005 (kJ/kg \cdot ^{\circ}C)$: 건공기의 정압비열(SI)

$0.24 (kcal/kgf \cdot ^{\circ}C)$: 건공기의 정압비열 (종래 단위계)

Q : 풍량(m^3/h)

[그림 12] 비용적의 사용방법

10] 열수분비 U[kj/kg](kcal/kg)

열수분비는 절대습도의 변화량에 대한 엔탈피 변화량으로 표시한다. 즉 공기중의 수증기량의 증감에 따라서 공기가 갖는 에너지의 증감을 선도상의 경사로서 표시한다.

일반적으로 가습의 변화를 공기선도상에 작도할 때 사용한다. 공기선도의 좌측 상부에 그려진 분도기와 같은 그림으로 열수분비의 경사를 정하고 작도시에 같은 경사의 선을 긋는 기준으로 한다. (그림 1의 ⑧)

11] 현열비(SHF)(Sensible Heat Factor)

현열비는 현열/(현열+잠열)의 비를 표시한다.

현열비는 실내에 보내는 송풍량, 송풍온도를 결정할 때 이용한다. 공기선도상의 열수분비의 하부에 원호 모양으로 그려지며 열수분비와 같이 취급해서 현열비의 경사를 정하여 작도시의 기준으로 한다.(그림 1의 ⑨)

열수분비, 현열비는 공기의 상태를 표시하는 수치는 아니며 공기선도에서 공기의 상태변화를 작도할 때 이용하는 기준선이 되는 것이다.

[3] 공기선도

쾌적성은 착의량 기류속도, 개인차 등 여러가지 조건에 따라서 정하여 지는데 공기의 상태를 고려할 때는 공기선도에서 명확한 기준을 표시할 수 있다. 공기선도에는 h-x선도 외에 캐리어 선도라고 부르는 t-x선도, 냉각탑 등의 열교환 계산에 이용되는 t-h선도도 있다.

공기선도를 이용하면 공기의 상태를 표시하는 몇개의 요소(예로서 건구온도, 절대습도 등) 중 두 가지 요소만 알면 공기의 상태를 바로 알게 되어 편리하다.

또 그림 1의 공기선도는 대기압 101[kPa](760mmHg)일 때의 선도(그림 1의 ⑩)이며, 실용상으로는 이 선도를 이용하여도 지장이 없다.

[다음에 계속]

<參考文獻>

- (1) 空氣調和·衛生工學便覽 1. 基礎編(第12版), 空氣調和·衛生工學會編(丸善).
- (2) 100万人の空氣調和(第1版), 小原淳平編(オーム社).
- (3) 空氣調和設備の實務の知識(改訂第2版), (オーム社).
- (4) 空氣調和設備計도 設計の實務の知識(第1版), (オーム社).
- (5) 空氣調和ハンドブック(改訂3版), 井上字市, (丸善).
- (6) 新日本空調株式社內用資料L1, B 코스.

筆者連絡先

川本 誠

新日本空調株式 東京本店 設計部 設計課 担当副課長

103 東京都中央區日本橋本石町 4-4-20

TEL : 03-5255-8665 FAX : 03-3279-3426