

空氣의 性質과 空氣線圖

金 信 道
서울市立大學·助教授·工博

1. 空氣의 性質

1.1 空氣

지구는 약 80km 이상의 높이에 달하는 氣體層에 의해 둘러싸여 있으며, 이를 大氣라고 한다. 이 大氣의 무게로 인하여 지구표면에서는 大氣壓이라는 壓力이 존재한다. 大氣壓의 크기는 氣壓으로 나타내며, 1氣壓은 760mmHg(=1033cmH₂O)의 壓力과 같다.

大氣壓은 대개 지상 10km 이내에 존재하는 질소, 산소 등에 의해 발생되며 이 부분의 氣體를 특히 空氣라고 한다. 空氣는 질소(N₂) 78%, 산소(O₂) 21%, 아르곤(Ar) 1%, 이산화탄소(CO₂) 0.03%~0.04% 정도의 용적비로 구성되며, 그의 수증기, 먼지, 연기, 박테리아 등도 포함되어 있다.

(1) 空氣의 比熱과 比重

氣體를 일정한 壓力에서 加熱할 때의 比熱을 定壓比熱(C_p), 일정한 容積에서 加熱할 때의 比熱을 容積比熱(C_v)라고 한다. 理想氣體(Ideal Gas)의 경우 定壓比熱과 容積比熱의 比率는 1.4이다. 즉 C_p=1.4 C_v의 관계가 있다.

● 空氣의 比熱

乾空氣(Dry Air)의 定壓比熱(C_p)은 0.24[kcal/kg °C]이고, 濕空氣의 定壓比熱은 (2-1)식을 써서 산출할 수 있지만, 0.441·x의 값이 미소하므로 보통 空氣調和 設計에서는 濕空氣의 定壓比熱을 단순히 C_p≃0.24[kcal/kg °C]를 使用하는 例가 많다.

$$C_p = 0.24 + 0.441 \cdot x \text{ [kcal/kg } ^\circ\text{C]} \dots (2-1) \text{식 } x: \text{절대습도}$$

溫度 t°C인 乾空氣의 엔탈피(Enthalpy; i_a)는 (2-2)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$i_a = 0.24 \cdot t \text{ [kcal/kg]} \dots (2-2) \text{식}$$

(乾空氣는 수증기가 없으므로 잠열 성분

은 고려하지 않는다)

● 比重

空氣의 比重은 溫度에 따라 다르며, 乾空氣 1[Nm³]의 比重은 1.293[kg]이다.

*註 Nm³: 표준상태(0°C, 760mmHg)에서의 부피(체적)을 나타내는 단위이다. 보통 空氣調和 분야에서는 [m³]의 단위를 사용한다.

空氣調和 설계시 空氣의 比重으로는 단순히 濕空氣의 密度인 $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ 를 쓰기도 하며, 實用的으로는 空氣線圖上에서 比容積을 결정하여 그 역수를 比重으로 이용하게 된다.

1.2 空氣와 水蒸氣

(1) 乾空氣와 濕空氣

乾空氣란 공기중에 수분이 전혀 없는 상태 즉 濕度 0%인 공기를 말한다. 실제로는 이러한 공기는 존재하지 않지만, 空氣調和에서 溫度의 變化 및 濕度の 變化를 고려할 경우 수분과 공기를 분리하여 취급할 필요가 있으므로 수분이 전혀 없는 상태의 공기를 가정하여 乾空氣라고 한다. 大氣는 乾空氣와 水蒸氣의 혼합상태로서 이를 濕空氣라고 한다.

(2) 相對濕度와 絕對濕度

相對濕度는 같은 濕度상태의 공기에서 포화수증기 분압을 기준으로 한 濕空氣의 수증기 분압을 백분율(%)로 나타낸 것이다. 일반적으로 “습도가 몇 %이다”라는 것은 相對濕度を 의미한다.

$$\text{相對濕度 (R. H.)} = \frac{h}{h_o} \times 100 [\%]$$

... (2-3) 식

h_o: 같은 溫度상태인 공기의 포화 수증기 분압[mmHg]

h: 어떤 공기의 수증기 분압[mmHg]

같은 포화수증기 상태인 공기일지라도 溫度가 높을수록 수증기압이 높아지며 이때 함유할 수 있는 수증기량도 증가된다. 반대로 溫度가 낮을수록 포화수증기

상태일지라도 수증기 함유량은 적어진다. 이러한 성질을 이용하여 공기를 冷却시키면 공기중의 습기를 제거할 수 있어 除濕作用이 가능하다. 例를 들어 10°C, 1기압, 상대습도 100%인 포화상태의 濕空氣의 수증기분압은 9.2mmHg이며, 이때 乾空氣 1kg당 7.6g의 수증기량이 존재한다. 이를 같은 조건하에서 온도만을 20°C로 상승시키면 수증기량은 7.6g으로 동일하지만 수증기분압은 7.2mmHg, 상대습도는 53%로 낮아진다.

상대습도는 일상생활에 편리한 지표로 사용되지만 온도에 따라 수치가 변화하기 때문에 空氣調和 設計에서의 적용이 불편하다. 따라서 공기중의 수증기량을 乾空氣 1kg에 대한 수증기중량으로 표시한 절대습도를 사용하는 것이 일반적이다. 절대습도의 단위는 [kg/kg' 또는, g/kg']이며 여기서 kg'는 乾空氣를 의미한다.

(3) 濕空氣의 엔탈피

濕空氣는 乾空氣와 水蒸氣의 혼합체이므로 濕空氣의 엔탈피는 乾空氣 및 수증기의 엔탈피로 구성된다. 따라서 乾空氣의 엔탈피인 (2-2)식과 水蒸氣의 엔탈피인 (2-4)식을 이용하여 濕空氣의 엔탈피를 算出할 수 있다.

$$\text{수증기의 엔탈피 (i}_s\text{)} = 597 + 0.441 \times t \text{ [kcal/kg]} \dots (2-4) \text{식}$$

$$\text{濕空氣의 엔탈피 (i)} = 0.24t + (597 + 0.441 \cdot t) \cdot x \text{ [kcal/kg]} \dots (2-5) \text{식}$$

t: 수증기 온도

597: 수증기의 증발 잠열

x: 수증기 함유량

2. 空氣線圖

2.1 空氣線圖의 基礎

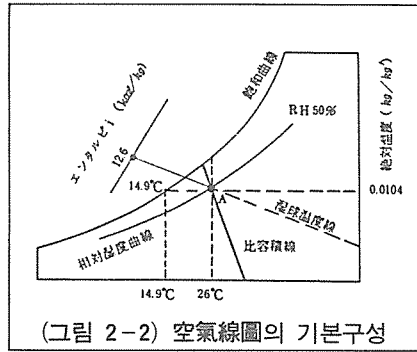
일정한 氣壓상태에서 濕空氣의 性質을 나타내는 요소에는 건구온도(t), 습구온

도(t'), 노점온도(t''), 상대습도(ζ), 절대습도(x), 엔탈피(i) 등이 있다. 이들 요소중 어느 2가지 성질만을 알 수 있다면 나머지 요소들의 성질도 상호관계 식으로부터 구할 수 있다. 관계식을 사용하면 계산이 복잡하고 번거롭기 때문에 일반적으로 이들 관계를 그림으로 나타낸 空氣線圖를 사용한다. (그림 2-1)은 空氣線圖중에서 대표적인 濕空氣線圖($i-x$ 線圖)를 나타낸 것이다. (표 2-1)은 공기의 성질을 표시하는 각종 기호 및 단위를 나타낸 것이다.

2.2 空氣線圖의 구성

空氣線圖의 基本構成은 [그림 2-2]와 같다. 점 A는 건구온도 26°C, 상대습도 50%를 나타내며, 이러한 점을 狀態點이라고 한다. 狀態點 A로부터 우측으로는 절대습도(0.0104kg/kg'), 좌측으로는

노점온도(14.9°C)를 표시한다. 또한 공기선도를 비스듬히 좌상단으로 따라가면 습구온도(18.7°C)를 알 수 있으며, 이와 비슷한 위치에 엔탈피(12.6kcal/kg)가 나타나 있다.



(그림 2-2) 空氣線圖의 기본구성

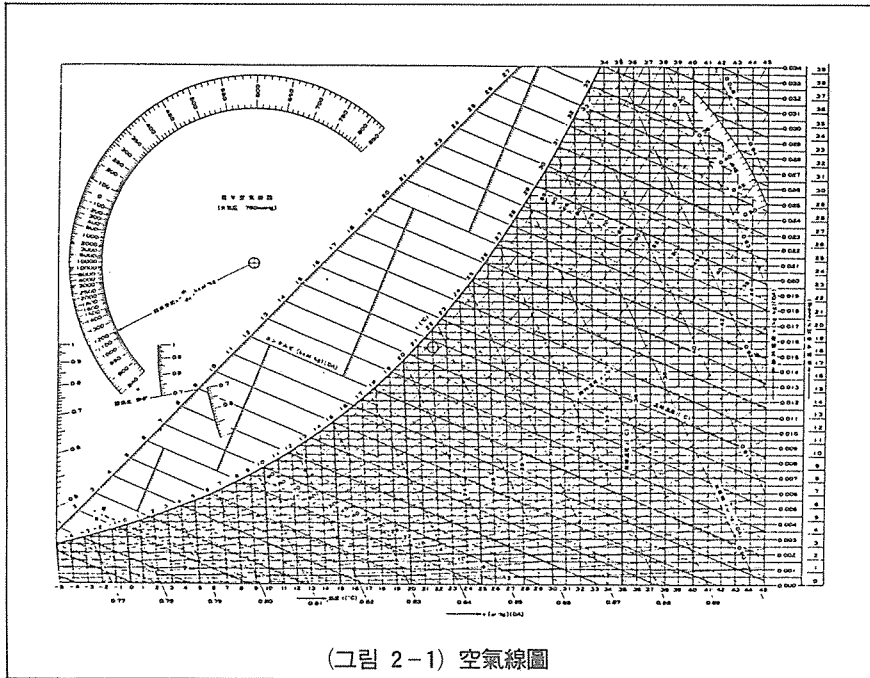
2.3 空氣線圖의 적용

空氣調和장치는 공기를 加熱·冷却 또

는 加濕·感濕하여 室内로 공급하기 위하여 설치하는 것이므로 이를 設計하기 위해서는 기본적으로 공기의 상태 및 성질을 파악해야 한다. 이러한 공기의 상태를 파악하고자 할 때 濕空氣線圖를 이용하면 매우 편리하다.

(1) 加熱

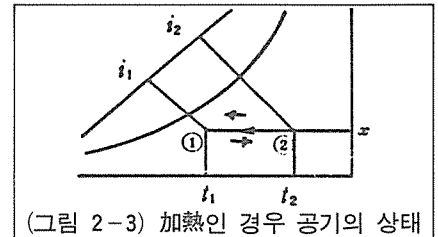
겨울철 暖房의 경우에는 공기를 室内 設計用 溫度보다 높게 加熱하여 室内에 공급한다. 加濕이 없이 加熱만을 할 경우 (그림 2-3)과 같이 공기의 상태가 變化한다. DB20°C, RH 60%인 공기를 加熱하면 공기 상태는 點①에서 加熱되어 DB는 상승하지만, 加濕은 없었으므로 절대습도(수분량)은 일정하게 되어 點②의 상태로 된다. 공기의 상태가 ①→②로 變化하였을 때의 熱量 q_{HC} [kcal/h]의 變化는 (2-6) 식과 같다.



(그림 2-1) 空氣線圖

(표 2-1) 공기 상태를 나타내는 기호와 단위

공기의 상태	기호	단 위	공기의 상태	기호	단 위
건 구 온 도 (D. B.) (dry bulb temperature)	t	°C	수증기 분압 (partial pressure of water vapour)	h	mmHg
습 구 온 도 (W. B.) (wet bulb temperature)	t'	°C	열 수 분 비 (moisture ratio)	u	kcal/kg
노 점 온 도 (D. P.) (dew point temperature)	t''	°C	비 용 적 (specific volume)	v	m ³ /kg' 또는 m ³ /kg DA
절 대 습 도 (A. H.) (absolute humidity)	x	kg/kg' 혹은 kg/kg DA	현 열 비 (sensible heat factor)	SHF	
상 대 습 도 (R. H.) (relative humidity)	ζ 또는 ζ_R	%			
엔 탈 피 (enthalpy)	i	kcal/kg' 또는 kcal/kg DA			



(그림 2-3) 加熱인 경우 공기의 상태

$$q_{HC} = G(i_2 - i_1) = 0.288Q(t_2 - t_1) \dots (2-6) \text{ 식}$$

i_1, i_2 : ①, ②인 상태의 엔탈피 [kcal/kg]

t_1, t_2 : ①, ②인 상태의 건구온도 [°C]

G: 가열된 공기의 질량 [kg/h]

Q: 가열된 공기의 부피 [m³/h]

(2) 冷却

銅管주위에 여러 개의 알미늄판을 부착하여 傳熱면적을 크게하고 管内部에 冷水 (Chilled Water)를 통과시키면, 공기와 冷水 사이에 열교환이 일어나서 공기가 冷却된다. 이러한 管을 冷却코일 (Cooling Coil)이라고 한다. 冷却코일의 표면온도가 주위를 통과하는 공기의 노점온도 (D. P)보다 높을 경우 이 공기는 결로가 발생하지 않으므로 減濕은 없이 冷却만이 일어난다. (그림 2-3)에서 ②→①로 공기상태가 變化하며, 공기로부터 제거된 熱量 (q_{cc} [kcal/h])은 (2-7) 식과 같다.

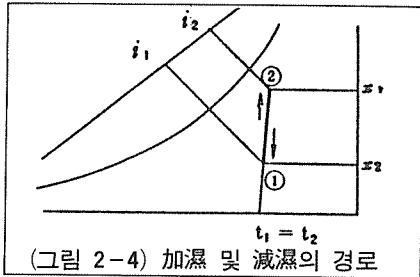
$$q_{cc} = G(i_2 - i_1) \dots (2-7) \text{ 식}$$

(3) 加濕 (減濕)

공기의 溫度는 변하지 않고 잠열 (Latent heat) 성분만이 증가하는 경우를 가

濕이라고 한다. 실제로 加濕만이 발생하는 경우는 거의 없으며, 溫度의 변화도 함께 발생하는 것이 보통이다. 加濕만이 발생하였다면 공기상태는(그림 2-4)의 ①→②의 상태변화가 발생하게 된다. 이와 반대로 ②→①의 변화를 減濕이라 한다.

이때 加濕量(또는 減濕量) L [kg/h] 과 잠열 증가량(또는 감소량) Q_{AL} [kcal/h]은 (2-8) 식과 같다.



(그림 2-4) 加濕 및 減濕의 경로

$$L = G(x_2 - x_1) \quad \left. \begin{array}{l} \\ Q_{AL} = G \cdot r(x_2 - x_1) \end{array} \right\} \dots (2-8) \text{ 식}$$

x_1, x_2 : ①, ② 상태의 절대습도
 r : 597kcal/kg (물의 증발 잠열)

(4) 加熱加濕(冷却減濕)

加熱과 加濕이 동시에 일어나는 경우는(그림 2-5)와 같이 ①→③으로 상태가 변하며, 이는 ①→②의 加熱 과정과 ②→③인 加濕과정으로 나누어 생각할 수 있다. 單位空氣量에 대한 加熱 및 加濕은 (2-9) 식과 같이 생각할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{①} \rightarrow \text{②} \rightarrow \text{③의 加熱量} &= (i_2 - i_1) + (i_3 - i_2) = (i_3 - i_1) \\ &= \text{①} \rightarrow \text{③의 加熱量} \\ \text{①} \rightarrow \text{②} \rightarrow \text{③의 加濕量} &= (x_2 - x_1) + (x_3 - x_1) = 0 + (x_3 - x_2) \\ &= \text{①} \rightarrow \text{③의 加濕量} \end{aligned} \quad \dots (2-9) \text{ 식}$$

여기서, 전체가열량 Q_{HC} [kcal/h] 는 點③에서 수직선을 그은 點④의 엔탈피를 사용하여 (2-10) 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} Q_{HC} &= Q_{HCS} + Q_{HCL} \\ Q_{HCS} &= G(i_4 - i_1) : \text{현열성분 (sensible heat)} \\ Q_{HCL} &= G(i_3 - i_4) : \text{잠열성분 (latent heat)} \end{aligned} \quad \dots (2-10) \text{ 식}$$

따라서,

$$Q_{HC} = G(i_3 - i_1) \quad \text{또한, 기습량 } L \text{ [kg/h]은 (2-11) 식}$$

과 같다.

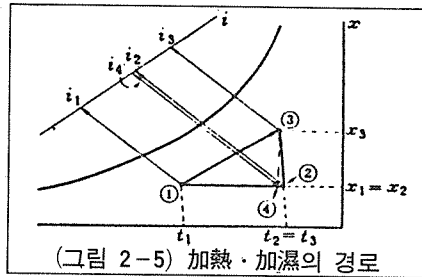
$$L = G(x_3 - x_1) \dots (2-11) \text{ 식}$$

전체가열량에 대한 현열성분의 비를 현열비 SHF (Sensible Heat Factor)라 하며, (2-12) 식과 같이 나타낸다.

$$SHF = \frac{Q_{HCS}}{Q_{HCS} + Q_{HCL}} \dots (2-12) \text{ 식}$$

현열비는 공기조화 설계에서 중요한 의미를 갖으며(그림 2-5)에서 ①-④가 현열성분, ④-③이 잠열성분을 나타낸다. 현열비를 구하기 위하여 엄밀하게는 點③에서 ①-②線上에 수선을 내려 點④를 결정해야 하지만 실제 설계에서는 이들의 오차를 무시하고 편의상 點④ 대신에 點②를 적용하는 것이 일반적이다.

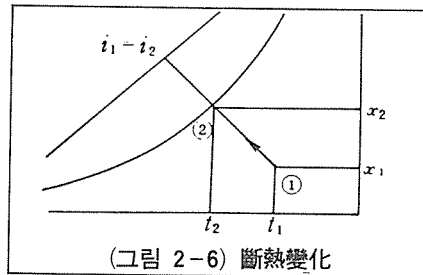
冷却減濕의 경우는 加熱加濕과 반대 현상으로 ③→①의 상태변화를 일컫는다.



(그림 2-5) 加熱·加濕의 경로

(5) 斷熱變化

에어와셔 (air washer)에서 入口空氣의 습구온도와 같은 온도의 물을 분무하면 공기의 엔탈피는 변하지 않고 습구온도를 따라(그림 2-6)의 ①→②로 변화가 일어난다. 이러한 변화를 斷熱變化라고 하며 이때 出口空氣는 수증기 포화상태이며, 이때의 온도를 단열포화온도라고 한다.



(그림 2-6) 斷熱變化

높은 온도의 공기가 에어와셔를 통과하면 분무되는 물은 공기의 열을 빼앗아 온도가 상승하여 증발하고 그 잠열을 간직한 수증기가 공기에 혼합되어 공기의 열량을 증가시킨다. 이때 공기로부터 수증기로 빼앗긴 열량과 분무된 물이 증발

하여 공기중에 함유된 열량이 같다면 熱의 流出入이 없는 斷熱變化가 발생한다.

(6) 斷熱混合

室内的 冷房은 공기를 적당한 온도로 냉각, 감습하고 필요환기량을 도입하여 실내로부터의 순환공기 (return air)와 혼합하여 室内에 공급함으로써 이루어진다.

혼합과정에서 열손실이 없다고 가정하고, (그림 2-7)의 공기상태 ①인 $t_1^\circ\text{C}$, $m_1\text{kg}$ 공기와 공기상태 ②인 $t_2^\circ\text{C}$, $m_2\text{kg}$ 의 공기를 $m_1 : m_2$ 의 비율 (단 $t_1 > t_2$)로 혼합한 공기온도 t_3 는 (2-13) 식을 써서 구할 수 있다.

$$\text{공기①의 잃은 열량} : 0.24m_1(t_1 - t_3)$$

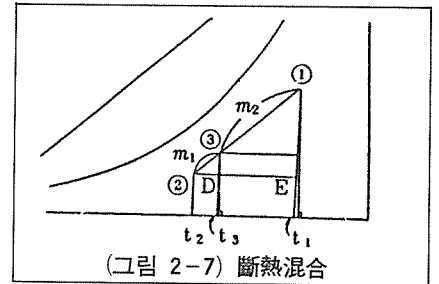
$$\text{공기②의 획득 열량} : 0.24m_2(t_3 - t_2)$$

$$\dots (2-13) \text{ 식}$$

위의 두값이 같으므로

$$0.24m_1(t_1 - t_3) = 0.24m_2(t_3 - t_2)$$

$$\therefore t_3 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} t_1 + \frac{m_2}{m_1 + m_2} t_2$$



(그림 2-7) 斷熱混合

(그림 2-7)에서 공기①과 공기②를 공기선도에서 연결하여 $m_1 : m_2$ 로 내분한 점을 ③이라고 할 때 각 점의 온도선이 평행에 가까우므로 (2-14) 식에 의해서 (2-13) 식을 확인할 수 있다.

$$\frac{\text{②D}}{\text{②E}} = \frac{\text{②③}}{\text{②①}}$$

$$\therefore \frac{t_3 - t_2}{t_1 - t_2} = \frac{m_1}{m_1 + m_2}$$

$$\therefore t_3 = t_2 + \frac{m_1}{m_1 + m_2} (t_1 - t_2)$$

$$\text{또는 } t_3 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} t_1 + \frac{m_2}{m_1 + m_2} t_2$$

$$\dots (2-14) \text{ 식}$$

즉, 공기①과 공기②를 斷熱混合할 경우 混合空氣의 상태는 濕空氣線圖의 點①과 點②를 이은 선분을 각각의 空氣重量比의 역으로 내분한 點③으로서 표시된다.