

16. 조 습



1. 습도

(1) 개요

- ① 습도 조절 : 공기 또는 기타 기체를 물과 접촉시켜 공기나 기체 중의 수분을 조절
- ② 공기 조화(air conditioning) : 공기와 습도, 분진, 통풍 등을 조절
- ③ 공기(air) : 공기는 반드시 수증기를 함유하는데, 이런 공기를 습한 공기(humid air)라 하고, 수증기를 제거한 공기를 건조 공기(dry air)
- ④ 습도(humidity) : 습한 공기 중의 수증기의 양을 농도로 나타냄.

(2) 절대습도(absolute humidity, H)

- ① 정의 및 관계식 : 건조 공기의 질량에 대한 공기 속에 들어 있는 수증기의 질량비

$$H = \frac{w_w}{w_d} \quad [\text{kg} \cdot \text{H}_2\text{O} / \text{kg} \cdot \text{dry air}] \quad (16.1)$$

여기서 w_d : 건조공기의 질량 [kg]

w_w : 습한 공기 속에 들어 있는 수증기 질량 [kg]

- ② 습한 공기의 전압 : P (mmHg),

그 속에 들어 있는 수증기의 분압 : p_A (mmHg)

$$\frac{n_w}{n_d} = \frac{w_w/18}{w_d/29} = \frac{p_A}{P-p_A}$$

$$H = \frac{w_w}{w_d} = \frac{18}{29} \frac{p_A}{P-p_A} = 0.62 \frac{p_A}{P-p_A} \quad [\text{kg} \cdot \text{H}_2\text{O} / \text{kg} \cdot \text{dry air}]$$

(16.2)

- ③ 포화습도(saturated humidity) H_s : 일정 온도에서 공기가 함유할 수 있는 최대의 수증기량

그 온도에서의 포화수증기압을 p_s (p_s 는 부록의 수증기표에 의해서 구한다)라 하면 포화공기의 절대습도 :

$$H_s = 0.62 \frac{p_s}{P-p_s} \quad (16.3)$$

- (3) 상대습도(relative humidity) H_R : 공기중의 수증기의 분압 p 와 그 온도에서의 포화수증기

압 p_s 의 비를 백분율로 표시

$$H_R = \frac{p}{p_s} \times 100 [\%] \quad (16.4)$$

(4) 비교습도(percentage humidity) 또는 포화도 H_p : 어느 공기의 절대습도 H 와 그 온도에 대한 포화습도 H_s 의 비를 백분율로 표시

$$\begin{aligned} H_p &= \frac{H}{H_s} \times 100 \\ &= \frac{p/(P-p)}{P_s(P-p_s)} \times 100 = \frac{P-p_s}{P-p} \cdot \frac{p}{P_s} \times 100 \end{aligned} \quad (16.5)$$

o 비교습도와 상대습도의 사이에는 $p_s > p_v$ 이므로 비교습도 0%와 100%를 제외한 전 비교습도 범위의 값은 항상 상대습도의 값보다 작다($H_p < H_R$).

2. 습한 공기의 성질

16-1-3 **습윤비열(humid heat) C_H** : 1kg의 건조공기 및 그것과 공존하는 수증기의 온도를 1°C 높이는 데 필요한 열량

순공기 및 수증기의 비열 : 각각 0.24, 0.45 kcal/kg·°C로 하면 습윤비열 :

$$C_H = c_{pd} + c_{pA}H = 0.24 + 0.45H \text{ [kcal/kg·dry air·°C]} \quad (16.6)$$

포화비열(saturated heat) C_s : 포화공기의 경우 포화습도 H_s 일 때의 습윤비열

16-1-4 **습윤비용(humid volume)** : 1kg의 건조공기와 그에 수반되는 수증기가 점유하는 체적 [m^3]을 습윤비용 V_H

=> 습한 공기 비용적을 건량기준으로 나타낸 것으로, 온도 t [°C], 습도 H [혼합 몰수 : $(1/29 + H/18)$]일 때 보일-샤를의 법칙에 따름.

$$\begin{aligned} V_H &= 224 \left(\frac{1}{29} + \frac{H}{18} \right) \left(\frac{273+t}{273} \right) \\ &= (0.7720 + 1.24H) \left(\frac{273+t}{273} \right) \text{ [m}^3\text{/kg·dry air]} \end{aligned} \quad (16.7)$$

포화비용(saturated volume) : 포화습도일 경우 위의 식의 H 를 H_s 로 치환

16-1-5 습윤공기의 엔탈피(humid enthalpy) i : 0℃의 물과 공기를 기준으로 하여 건조 공기 1kg의 엔탈피와 동반된 수증기의 엔탈피의 합계

=> 0℃의 물과 공기를 기준상태로 하여 건량기준으로 나타낸 것으로서, 온도 t [℃], 습도 H 라면

$$i = 597H + C_H(T-0) = 597H + (0.24 + 0.45H)T \text{ [kcal/kg·dry air]} \quad (16.8)$$

여기서, 597 : 0℃에서 물의 증발잠열 [kcal/kg]

포화 엔탈피 i_s : H 를 H_s 로 치환한 포화공기의 습윤 엔탈피

16-1-6 노점(dew point) t_D : 깨끗한 금속면을 서서히 냉각해서 어느 온도에 도달하여 냉각면에 이슬(물방울)이 생기기 시작하는 온도

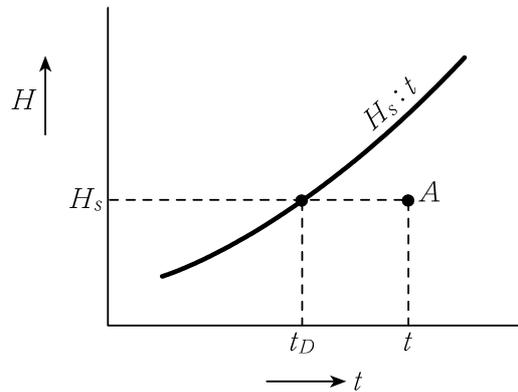


그림 16-1 습도와 노점

16-1-7 건 습구온도(wet bulb temperature)

습구 온도 :

(공기 증으로 확산 증발에 필요한 잠열 = 공기에서 물방울로 들어가는 현열)의 평형 온도

$$H_s - H \approx \frac{h}{\lambda k'} (t - t_w)$$

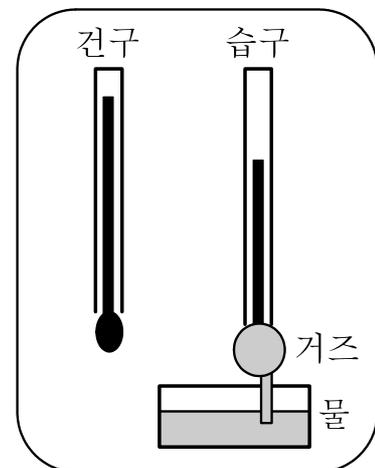


그림 16-2 건습구온도계

16-1-8 단열포화온도 (adiabatic saturation temperature) 또는 단열냉각온도

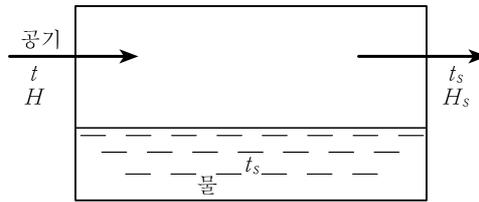


그림 16-3 단열냉각

$$H_s - H = \frac{C_H}{\lambda} (t - t_s)$$

t_s : 처음의 공기(t, H)의 단열포화온도

경사 $-(C_H/\lambda)$: 단열포화(냉각)선의 방정식

16-1-9 습구온도와 단열포화온도와의 관계

물-공기에서 $h/k' \approx C_H \Rightarrow$ 루이스의 관계($h/k' = 0.25 \sim 0.26$).

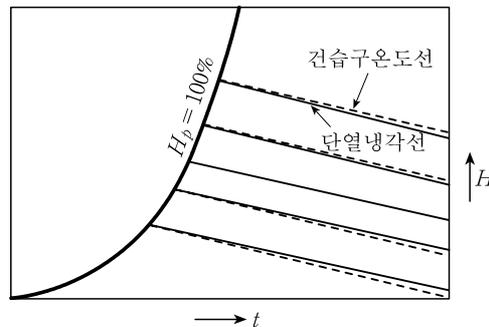


그림 16-4 루이스의 관계

16-1-10 습구도표 (humidity chart 또는 psychrometric chart)

- ① 온도 대 절대습도($t-H$) : 비교습도로 표시된다.
- ② 습도 대 습윤비용($H-C_H$)
- ③ 온도 대 습윤비용($t-V_H$)
- ④ 단열포화선
- ⑤ 등습구온도선 : ④와 대략 일치하므로 보통 어느 한쪽으로 대응한다.
- ⑥ 그외에 도표에 따라서는 온도 대 증발잠열($t-\lambda$), 온도 대 수증기분압 ($H-p$) 등

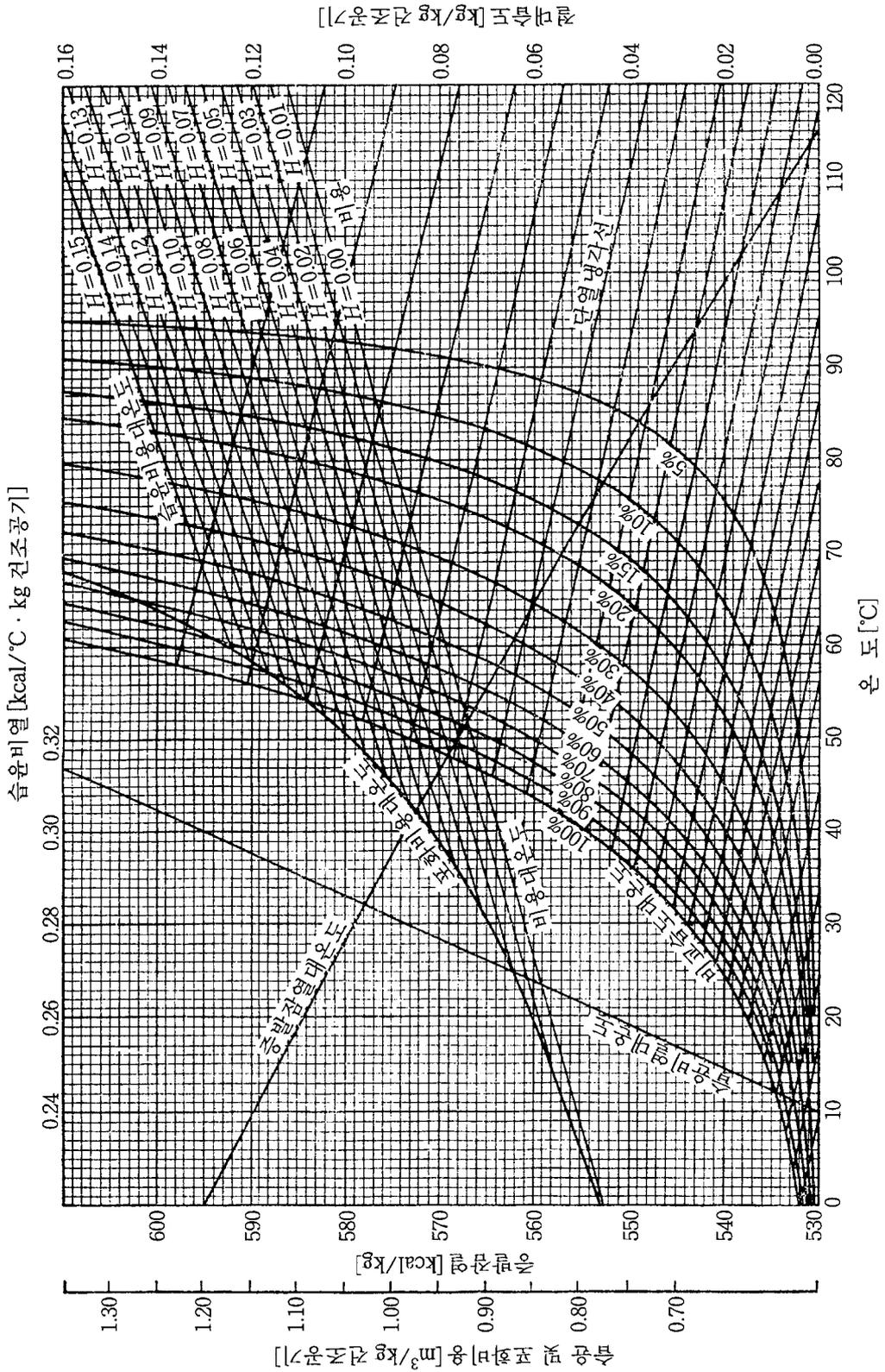


표 16-5 습구도표

16-1-11 습도의 측정

【1】 건습구온도계(psychromeyer)

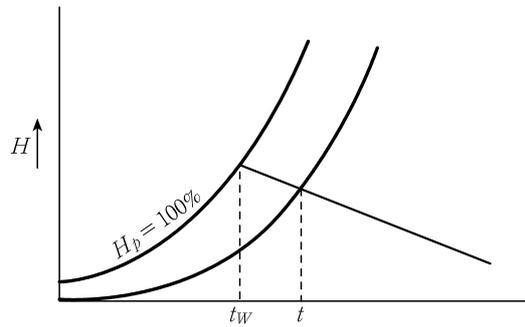


그림 16-6 습도를 구하는 방법

【2】 노점의 이용

공기의 온도 t 및 그 노점 t_D 를 알고 수증기표에서 p_s 를 또는 습도도표에서 H_s 를 구하면 H_R 또는 H_p 를 계산

16-2 조습 조작

16-2-1 증습 조작

【1】 단열 증습

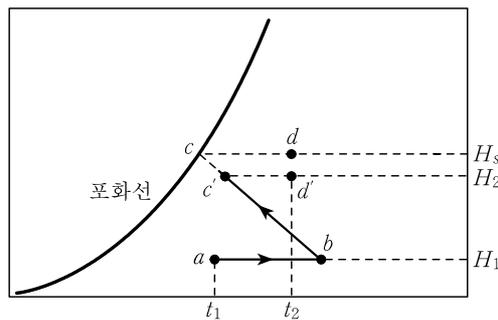


그림 16-7 단열증습 과정

$(H_2 - H_1) / (H_s - H_1)$: 증습효율

분무탑 : 대략 70~90%, 충전탑 : 100%

[2] 온수 증습

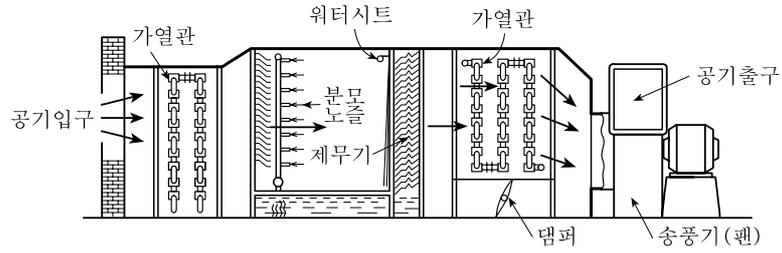


그림 16-8 공기조습장치외 예

16-2-2 감습 조작

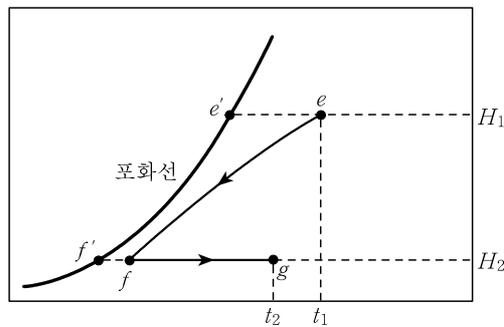


그림 16-9 감습 조작

16-3 냉수 조작

16-3-1 냉수 장치

- [1] 분수지(spray pond)**
- [2] 냉수탑(cooling tower)**

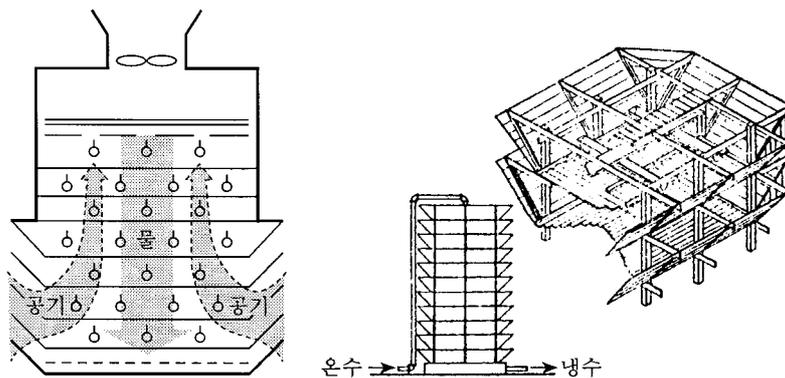


그림 16-10 냉수탑의 일례(자연통풍)

