

[10차 : 습공기 성질과 선도]

1. 습공기

- 습공기 : 건공기(수증기가 없는 공기) + 수증기를 포함한 공기 → [보통 우리가 호흡하거나 사용하는 공기]
- Dalton의 법칙에 의해 전압력(P) = P_a (건공기의 분압) + P_w (수증기의 분압)

- 건공기

* 건공기의 조성	N ₂	O ₂	Ar	CO ₂	Ne	He
분자량(M)	28	32	39.9	44	20	4
체적비(r _h)	78.10	20.95	0.93	0.030	1.8×10 ⁻³	5.2×10 ⁻⁴
질량비(g _h)	75.52	23.15	1.286	0.046	1.2×10 ⁻³	0.7×10 ⁻⁴

$\sum M_h r_h = 28 \times 78.10 + 32 \times 20.95 + 39.9 \times 0.93 + 44 \times 0.030 + 20 \times 1.8 \times 10^{-3} + 4 \times 5.2 \times 10^{-4} = 28.964 \text{ kg/kmol}$
 (∵ 공기의 분자량 : 28.964 kg/kmol)

$$PV = nRT, r_h = \frac{V_h}{V} = \frac{n_h}{n}, n_h = nr_h$$

$$g_h = \frac{m_h}{m} = \frac{n_h M_h}{nM} = \frac{nr_h M_h}{n \sum r_h M_h} = \frac{r_h M_h}{\sum r_h M_h}$$

* 일반가스정수(MR) 및 가스정수(R)

$$PV = mRT = nMRT = nR_u T$$

$$(SI \text{ 단위}) R_u = MR = \frac{PV}{T} = \frac{101325 \times 22.4}{273} \approx 8314 \text{ [J/kmol}^\circ\text{K]} \approx 8314 \text{ [J/kmol}^\circ\text{K]}$$

$$(공학단위) R_u = MR = \frac{PV}{T} = \frac{1.0332 \times 10^4 \times 22.4}{273} \approx 848 \text{ [kg}_f\text{.m/kmol}^\circ\text{K]}$$

- 공기의 기체정수(가스정수) : $R_a = \frac{MR}{M_a} = \frac{8314}{28.965} \approx 287.1 \text{ [J/kg}^\circ\text{K]}$, $R_a = \frac{MR}{M_a} = \frac{848}{28.965} \approx 29.27 \text{ [kg}_f\text{.m/kg}_f\text{ }^\circ\text{K]}$
- 수증기의 기체정수 : $R_w = \frac{MR}{M_w} = \frac{8314}{18.051} \approx 462 \text{ [J/kg}^\circ\text{K]}$, $47.05 \text{ [kg}_f\text{.m/kg}_f\text{ }^\circ\text{K]}$

[1] 습공기의 상태 표시법

- Gibbs Dalton의 법칙으로부터 혼합물의 압력,

$$\text{습공기의 전압력} : P = P_{N_2} + P_{O_2} + P_{CO_2} + P_{Ar} + P_w = P_a + P_w \text{ (건공기의 분압} + \text{수증기의 분압)}$$

- 습도(Humidity) : 공기중에 포함되어 있는 수증기의 양

(1) 상대습도(RH: Relative humidity) φ : 1m³의 습공기 속에 통일온도, 압력에서 함유하는 수증기의 밀도(ρ_w)과 포화증기의 밀도(ρ_s)의 비

$$\therefore \varphi = \frac{\rho_w}{\rho_s} \times 100 = \frac{P_w(\text{수증기분압})}{P_s(\text{포화증기의 분압})} \times 100 (\%)$$

(2) 절대습도(습도비, humidity ratio) x : 1m³의 습공기 속에 실제 함유하고 있는 수증기의 질량(m_w)과 건공기의 질량(m_a)의 비

$$\therefore x = \frac{m_w}{m_a} = \frac{\rho_w V}{\rho_a V} = \frac{\frac{P_w}{R_w T} V}{\frac{P_a}{R_a T} V} = \frac{\varphi P_s V / 0.4619 T}{(P - \varphi P_s) V / 0.287 T} \approx 0.622 \frac{\varphi P_s}{P - \varphi P_s} = 0.622 \frac{P_w}{P_a}$$

($\because P = P_a + P_w \rightarrow P_a = P - P_w = P - \varphi P_s$)

(공학단위) $x = \frac{G_w}{G_a} = \frac{\gamma_w V}{\gamma_a V} = \frac{\frac{P_w}{R_w T} V}{\frac{P_a}{R_a T} V} = \frac{\varphi P_s V / 47.05 T}{(P - \varphi P_s) V / 29.27 T}$

여기서 $R_w = 0.4619 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} [= 47.05 \text{ kg}_f\cdot\text{m/kg}_f\cdot^\circ\text{K}]$,

$R_a = 0.287 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} [= 29.27 \text{ kg}_f\cdot\text{m/kg}_f\cdot\text{K}]$

또 $\rho_w = \varphi \rho_s$, $\frac{\rho_w}{\gamma_s} = \frac{P_w}{P_s}$ 에서 $\rho_s = \rho_w \frac{P_s}{P_w} = \frac{P_s}{R_w T}$ 이므로 $\therefore \text{상대습도}(\varphi) = \frac{xP}{P_s(0.622 + x)}$

(3) 노점(露点, Dew Point): 습공기를 일정한 압력에서 냉각하면 상대습도($\frac{\rho_w}{\rho_s}$)는 점차 증가하여 포화상태가 되는 온도 (수증기가 응축[응결]되면 이슬이 된다.)

* 노점에서 $P_w = P_s$ 일 때, 상대습도 $\varphi = 1$ 인 습공기를 포화공기(saturated air)라 한다.

이때 포화습공기의 절대습도 $x_s = 0.622 \frac{P_s}{P - P_s}$, 습공기의 포화도(비교습도) $\phi = \frac{x(\text{절대습도})}{x_s(\text{포화습공기의 절대습도})} = \varphi \frac{P - P_s}{P - \varphi P_s}$

(4) 습공기의 분자량, 가스정수, 비중량

① 분자량(M); $M = M_a \frac{P_a}{P} + M_w \frac{P_w}{P} = M_a \frac{P - \varphi P_s}{P} + M_w \frac{\varphi P_s}{P} = 28.964(1 - \frac{\varphi P_s}{P}) + 18.016 \frac{\varphi P_s}{P} = 28.96 - 10.93 \frac{\varphi P_s}{P}$
 ($\because M_a = 28.964, M_w = 18.016 \text{ kg}_f/\text{kmol}$)

② 가스정수(R); $R = \frac{848}{M} = \frac{848}{28.96 - 10.93 \frac{\varphi P_s}{P}} \text{ [kg}_f\cdot\text{m/kg}_f\cdot\text{K}]$

③ 비중량; $\gamma = \gamma_a + \gamma_w = \frac{P_a}{R_a T} + \frac{P_w}{R_w T} \text{ [kg}_f/\text{m}^3]$

($\because R_a = 29.27, R_w = 47.05 \text{ kg}_f\cdot\text{m/kg}_f\cdot\text{K}$)

(5) 습공기의 비열과 엔탈피

① 비열

건공기의 등압비열 $C_{pa} = 0.24$ (SI단위 1.005), 수증기의 등압비열 $C_{pw} = 0.444$ kcal/kg_f°C (SI단위 1.86) ($\because x = 0.622 \frac{\varphi P_s}{P - \varphi P_s}$)

$$- \underline{C_p(\text{습공기의 등압비열})} = C_{pa} + C_{pw}x = 0.24 + 0.444x = 0.24 + 0.274 \frac{\varphi P_s}{P - \varphi P_s}$$

<-----> 습공기 중에 수증기의 양은 x임으로

$$(\because \text{SI단위 ; } C_p = 1.005 + 1.86t = 1.005 + 1.86 \times 0.622 \frac{\varphi P_s}{P - \varphi P_s})$$

$$- \underline{C_v(\text{습공기의 등적비열})} = C_p - AR(1+x) = 0.17 + 0.217 \frac{\varphi P_s}{P - \varphi P_s}$$

$$(\because C_p = 0.24 + 0.274 \frac{\varphi P_s}{P - \varphi P_s}, A = \frac{1}{427} \text{ kcal/kg}_f \cdot \text{m},$$

$$R = \frac{848}{M} = \frac{848}{28.96 - 10.93 \frac{\varphi P_s}{P}}, x = 0.622 \frac{\varphi P_s}{P - \varphi P_s} \text{ 를 대입하면 위 식이 된다.)$$

습공기 = 건공기 + 수증기

$$M = M_a + M_w$$

$$V = V_a + V_w$$

$$P = P_a + P_w$$

$$r = r_a + r_w$$

$$T = T_a + T_w$$

$$(1+x) = 1 + x$$

$$C_p = C_{pa} + C_{pw}$$

② 엔탈피

$$- \underline{\text{공학단위 : } h = h_a + xh_w = C_{pa}t + x(h_g + C_{pw}t) = 0.24t + x(597.5 + 0.444t) \text{ [kcal/kg}_f\text{]}}$$

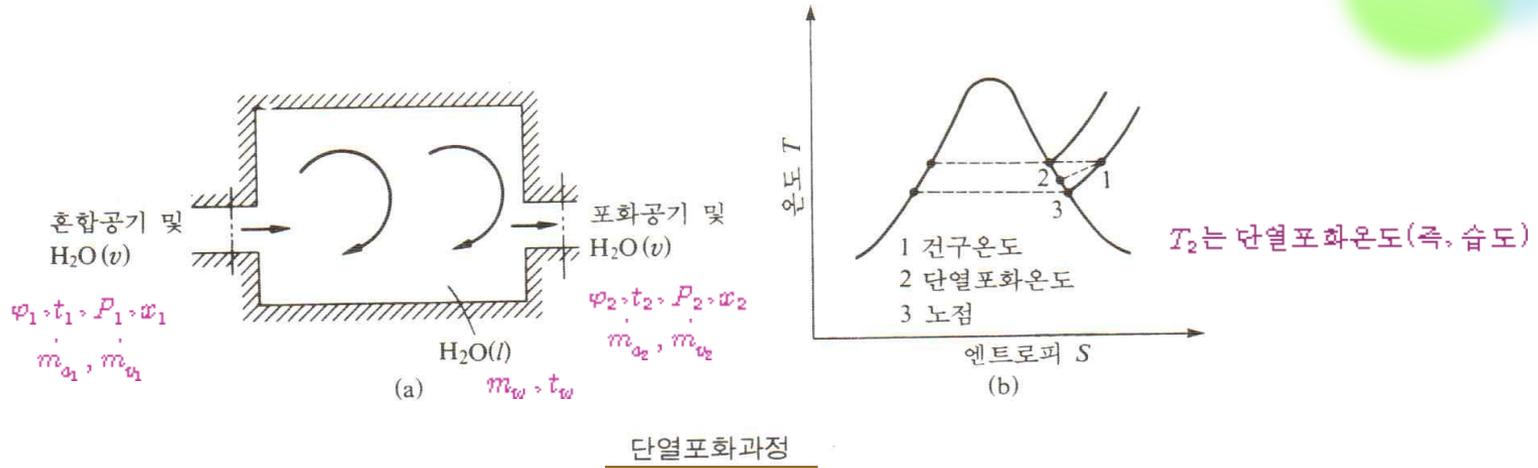
$$(\because \text{건공기의 엔탈피 } h_a = C_{pa}t, \text{ 수증기의 엔탈피 } h_w = h_g + C_{pw}t)$$

$$0^\circ\text{C 수증기의 엔탈피(물의 증발열), } h_g = 597.5 \text{ kcal/kg}_f = 2501.6 \text{ kJ/kg}$$

$$- \underline{\text{SI단위 : } h = h_a + xh_w = C_{pa}t + x(h_g + C_{pw}t) = 1.0t + x(2501.6 + 1.86t) \text{ [kJ/kg]}}$$

(6) 습도 측정과 단열포화과정

- 건습계에 의해 건구온도(dry bulb temp.)와 습구온도(wet bulb temp.)를 측정



단열포화과정

- 단열포화과정 : 물을 채운 긴 관로 속에 습공기를 유입하여 **물의 일부를 증발시켜서 단열적으로 포화공기**로 되게 하는 과정
- 이 때 습공기의 온도는 건습계로부터 측정된 습구온도와 같으므로 이 과정은 습공기의 상대습도를 측정하는 방법으로 이용

질량보존식과 에너지보존식으로부터

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a, \quad \dot{m}_{v1} + \dot{m}_w = \dot{m}_{v2} \quad \longrightarrow \quad \dot{m}_a h_{a1} + \dot{m}_{v1} h_{v1} + \dot{m}_w h_w = \dot{m}_a h_{a2} + \dot{m}_{v2} h_{v2}$$

$$h_{a1} + \frac{\dot{m}_{v1}}{\dot{m}_a} h_{v1} + \frac{\dot{m}_w}{\dot{m}_a} h_w = h_{a2} + \frac{\dot{m}_{v2}}{\dot{m}_a} h_{v2} \quad (\because \dot{m}_w = \dot{m}_{v2} - \dot{m}_{v1}, \text{ 각각의 절대습도는 입구의 } x_1 = \frac{\dot{m}_{v1}}{\dot{m}_a}, \text{ 출구의 } x_2 = \frac{\dot{m}_{v2}}{\dot{m}_a})$$

$$h_{a1} + x_1 h_{v1} + (x_2 - x_1) h_w = h_{a2} + x_2 h_{v2} \quad \longrightarrow \quad x_1 (h_{v1} - h_w) = (h_{a2} - h_{a1}) + x_2 (h_{v2} - h_w) = C_{pa} (T_2 - T_1) + x_2 (h_{v2} - h_w)$$

따라서, 절대습도 $x_1 = \frac{C_{pa} (T_2 - T_1) + x_2 (h_{v2} - h_w)}{(h_{v1} - h_w)}$

여기서, 습공기의 입, 출구 온도, 공급액체의 온도를 측정하고, 출구의 상대습도 $\phi_2 = 1$ 로부터 절대습도 x_2 를 계산하면 절대습도 x_1 또는 상대습도 ϕ_1 를 구할 수 있다.

[2] 습공기선도(Psychrometric Chart)

$t-x$ 선도(건구온도와 상대습도를 알면 선도에서 구할 수 있다.), $h-x$ 선도
 전압력(P)가 일정하면 건구온도 t , 습구온도 t' , 절대습도 x , 상대습도 ϕ ,
 노점온도 t'' , 엔탈피 h , 비체적 v , 수증기분압 P_w 등의 여러 양을 선도로 나타냄.

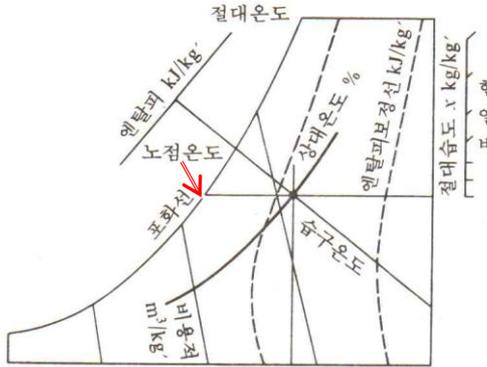


그림 18-4 습공기선도의 구성

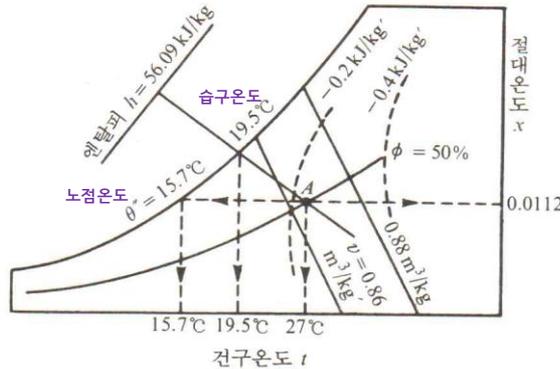


그림 18-5

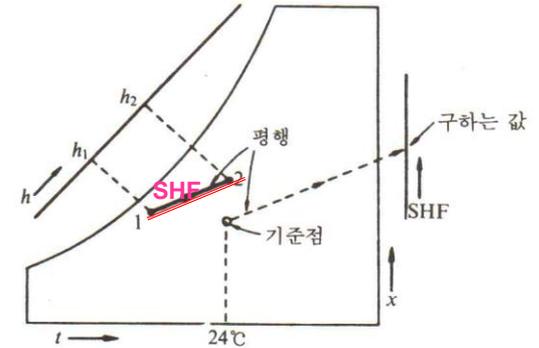


그림 18-6 현열비를 구하는 방법

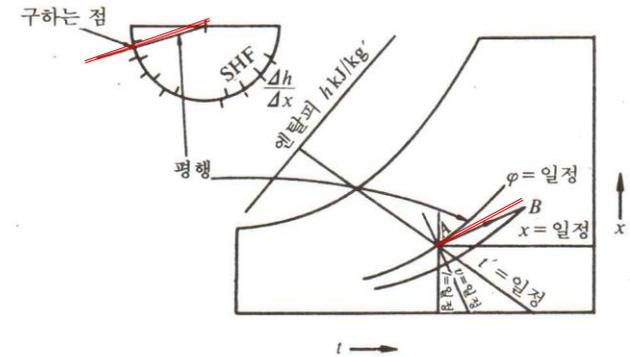


그림 18-7 습공기선도의 구성과 현열비 구하기

(현열비 구하는법)

- **현열비**(SHF, Sensible Heat Factor) : 전열량변화에 대한 현열비율

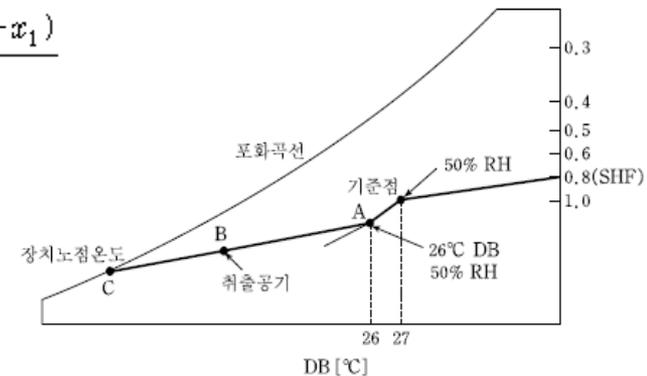
$$SHF = \frac{\text{현열}}{\text{현열}(\dot{q}_s) + \text{잠열}(\dot{q}_l)} = \frac{\dot{q}_s}{\dot{q}} = \frac{\Delta h - \text{잠열변화}}{\Delta h} = 1 - \frac{597(x_2 - x_1)}{\Delta h} = 1 - \frac{2501.3(x_2 - x_1)}{\Delta h}$$

- 공학단위 : $h = h_a + xh_w = C_{pa}t + x(h_g + C_{pw}t) = 0.24t + x(597.5 + 0.444t)$ [kcal/kg_f]

- SI단위 : $h = h_a + xh_w = C_{pa}t + x(h_g + C_{pw}t) = 1.0t + x(2501.6 + 1.86t)$ [kJ/kg]

- **열수분비**(u) : 습공기 상태변화에 따른 수분증가에 대한 엔탈피의 증가비율

$$u = \frac{h_2 - h_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta h}{\Delta x}$$



ASHRAE PSYCHROMETRIC CHART NO. 1

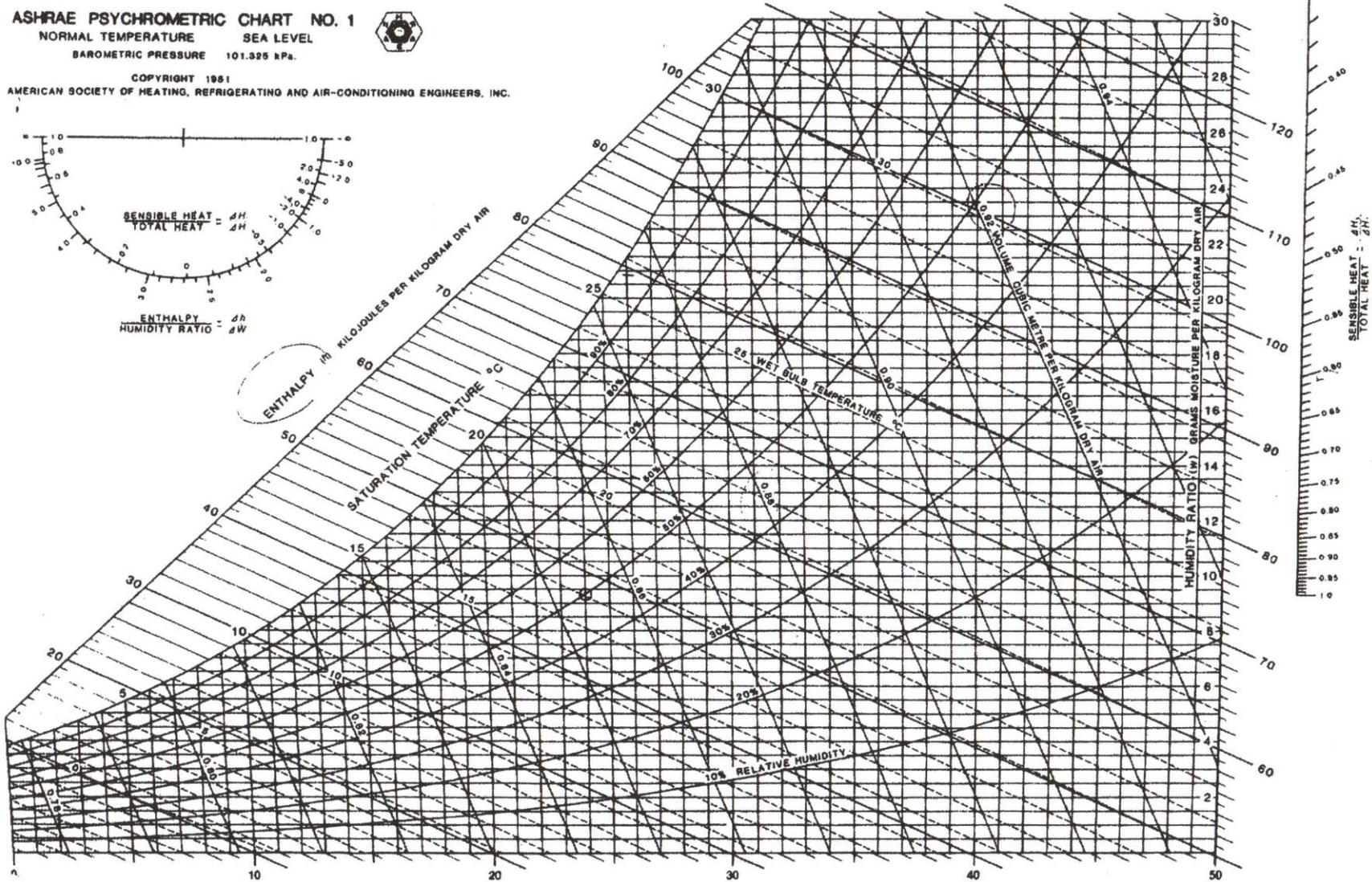
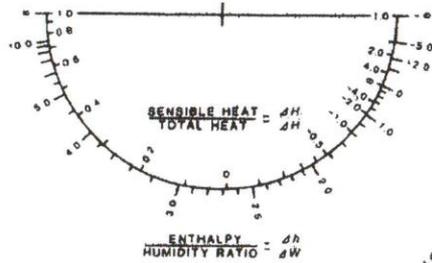
NORMAL TEMPERATURE SEA LEVEL

BAROMETRIC PRESSURE 101.325 kPa.



COPYRIGHT 1981

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC.



Prepared by: CENTER FOR APPLIED THERMODYNAMIC STUDIES, University of Idaho

DRY BULB TEMPERATURE °C

Chart 1b

습공기선도

