

# 공기선도

## 1. 습공기

### 1) 개요

- 공기조화에서 다루는 대기는 혼합기체로서, 그 속에는 질량 조성비로 75.53%의 질소 (N<sub>2</sub>), 23.14%의 산소(O<sub>2</sub>), 1.28%의 아르곤(Ar), 0.05% 및 0.000524%의 He과 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>)등으로 구성되는 건공기와 질량으로 1~3%의 수증기(수증기양 표현 습공기 물성치 인 습도비, 비습도 및 절대습도 x 0.01~0.03)가 포함되어있다. 이와 같이 수증기를 포함한 공기를 습공기라 한다.
- 공기 중에 포함되어있는 수증기량은 온도와 압력에 따라 어느 한도가 있고, 이 한도까지 수증기를 포함한 상태의 공기를 포화공기(포화습공기, saturated air)라 한다.

### 2) 압력

- 습공기는 이상기체로 가정이 가능한 건공기와 불포화수증기(응축전 수증기)인 과열증기의 혼합물로서 습공기 전체 압력인 전압은 건공기의 부분압과 수증기의 부분압으로 아래 식으로 산정된다.

$$- P_t = P_a + P_w$$

$$- P_t \quad : \text{습공기 전압, 101.325 KPa}$$

$$- P_a \quad : \text{습공기 중 건공기 부분압, 100.143 KPa}$$

$$- P_w \quad : \text{습공기 중 수증기 부분압, 1.182 KPa}$$

### 3) 체적 및 비체적

- 습공기 체적은 건공기, 수증기가 동일 체적을 이룬다.
- 건공기  $V =$  수증기  $V =$  습공기  $V$

### 4) 질량 및 중량

- 습공기 질량은 건공기 단위 1kg에 대한 수증기의 질량인 절대습도 x의 합으로 정의한다.
- 건공기 1 kg + x 절대습도 [수증기질량/DA-kg] = (1+x) kg
- x: 절대습도, 0.007376 kg/kg'

## 5) 포화습공기(saturated air) & 불포화습공기(unsaturated air)

### 가. 포화습공기

- 습공기중에 포함되어 있는 수증기량은, 습공기의 압력, 습공기의 온도에 따라 최대값이 있으며, 최대량의 수증기를 포함하고 있는 공기를 포화습공기라 하며, 특히 포화습공기 상태에서 온도를 내리거나 또는 수증기의 추가 공급 시 습공기중 수분은 응축되며, 건축 불의 단열성이 떨어지는 부위에 내외부 결로가 발생한다.

### 나. 불포화 습공기

- 최대량의 수증기를 포함하고 있지 않은 공기를 불포화공기라 한다.

## 6) 수증기분압

- 습공기중의 수증기의 분압을 말하며,  $P_w$ (mmHg, atm,  $\text{kgf}/\text{cm}^2$  등)로 표시한다. 포화습공기의 수증기 분압은  $P_{ws}$ 로 표시한다.
  - $P_w = P_{ws}$  포화습공기
  - $P_w < P_{ws}$  불포화습공기
  - $P_w = 0$  건공기
  - $P = P_a + P_w$  여기서  $P$ 는 전압이다.

## 7) 엔탈피

- 습공기의 엔탈피는 건조공기가 그 상태에서 가지고 있는 열량과 동일온도에서 수증가가 갖고 있는 열량과의 합이다.
- 이때 건조공기가 갖고 있는 열량은 현열이고, 수증가가 갖고 있는 열량은 현열과 잠열을 포함하고 있다.
- 건조공기 1kg에 함유된 수증가  $x$  kg일 때
  - 건조공기의 엔탈피는  $i_a$  [kcal/kg]
  - $i_a = G \times C_p \times \Delta t = 0.24t$
  - 수증기의 엔탈피는  $i_w$  [kcal/kg]
  - $i_w = G \times C_p \times \Delta t = 597.3 + 0.441t$
  - 습공기의 엔탈피는  $I$  [kcal/kg]

$$i_w = i_a + i_w \times x = 0.24t + (597.3 + 0.441t)x$$

• 현열과 잠열

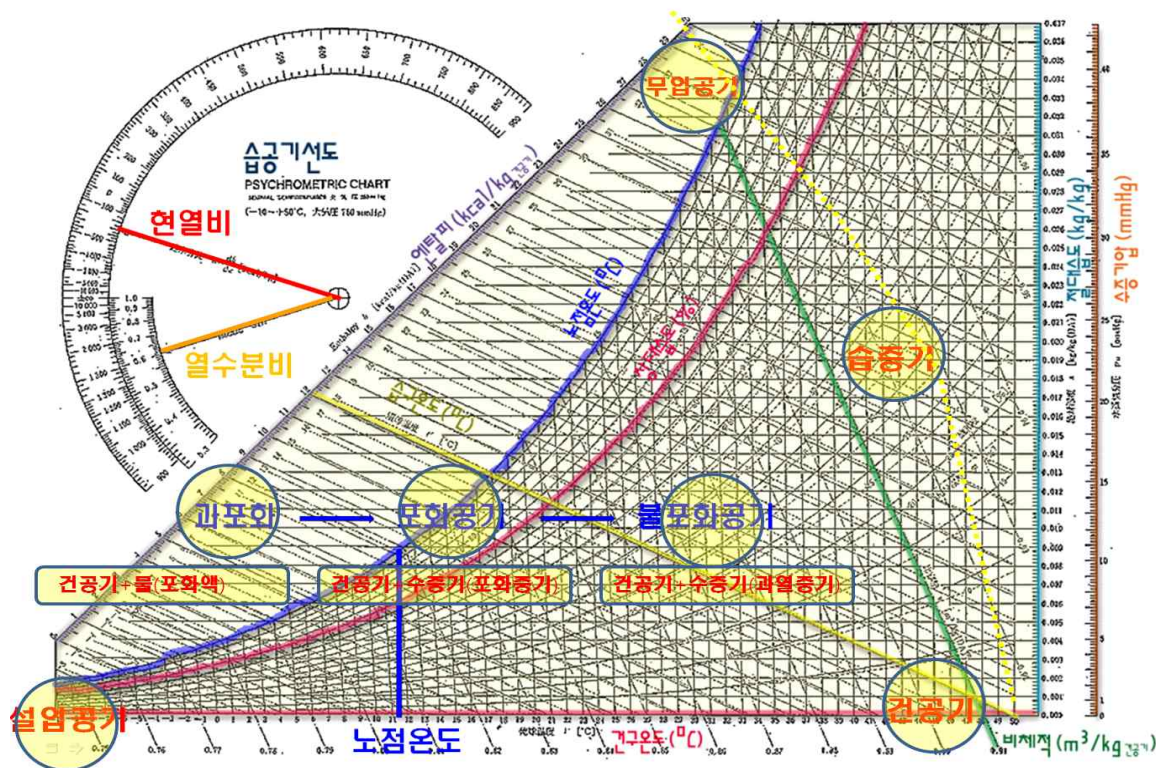
$$\text{현열}(q_s) = 0.24t + 0.441tx = (0.24 + 0.441x)t$$

$$\text{잠열}(q_L) = 0597.3x$$

## 2. 습공기 선도

### 1) 개요

- 모리엘선도라 한다.
- 수직축으로 x(절대습도)와 사교축 h(엔탈피)로 구성되어 있다.
- 실제 선도 상으로 가로축 t(온도)로 나타나나 이것은 좌표축이 아니다.
- 가로축이 온도이긴 하나 등 건구온도선이 수직으로 연결되진 않음 즉 등온선이 등 간격으로 분할되지 않는다.

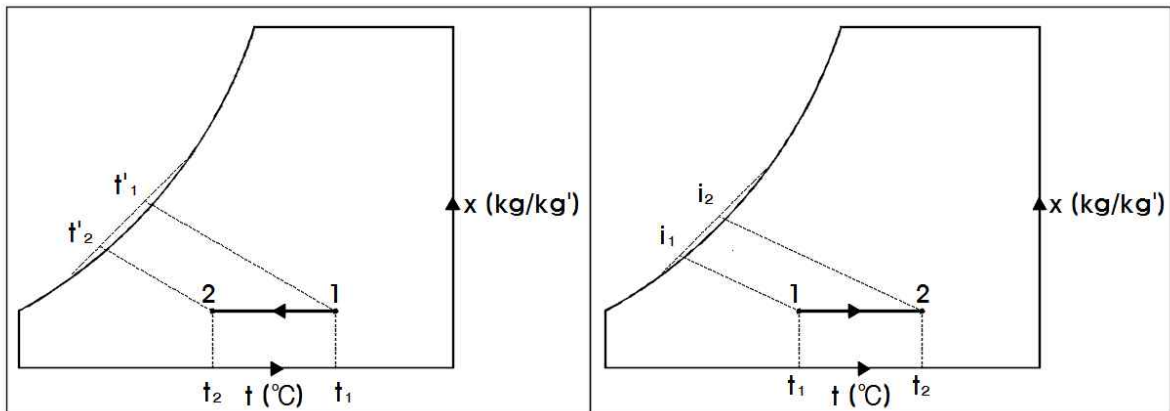


[그림 1] 대기압기준, 습공기선도

## 2) 상태변화에 따른 습공기 선도

### 가. 냉각

- 건코일을 사용한 현열만의 냉각의 경우 수증기량은 변화지 않고 온도만 저하하므로 공기선도상에서 절대습도가 일정한 선상에서 변화한다.
- 건구온도는 떨어지고 상대습도는 높게 되어 포화곡선에 달하게 되면 상대습도 100% 즉 포화상태 또는 노점온도로 된다.
- 냉각열량  $q_c = G(i_1 - i_2) = \frac{Q}{v}(i_1 - i_2) = G \times C_p \times (t_1 - t_2) = 0.24 G(t_1 - t_2) = 0.29 Q(t_1 - t_2)$ 
  - $q_c$  : 냉각열량 (kcal/h)
  - $t_1, t_2$  : 건구온도
  - $G$  : 풍량(kg/h)
  - $i_1, i_2$  : 엔탈피
  - $Q$  : 풍량 ( $m^3/h$ )
  - $C_p$  : 정압비열 ( $\approx 0.24$  kcal/kg $^{\circ}C$ )
- 아래 그림 좌측이 냉각시 습공기선도상의 변화이다.



[그림 2] 습공기 선도 상에서 냉각(좌) 및 가열(우)

### 나. 가열

- 가열코일로 공기를 가열하는 경우에는 수증기량은 변하지 않고 냉각과 반대방향으로 수평이동을 한다.
- 건구온도는 증가하고 상대습도는 떨어진다.
- 가열열량  $q_h = G(i_1 - i_2) = \frac{Q}{v}(i_1 - i_2) = G \times C_p \times (t_1 - t_2) = 0.24 G(t_1 - t_2) = 0.29 Q(t_1 - t_2)$ 
  - $q_h$  : 가열열량 (kcal/h)
  - $t_1, t_2$  : 건구온도
  - $G$  : 풍량(kg/h)
  - $i_1, i_2$  : 엔탈피
  - $Q$  : 풍량 ( $m^3/h$ )
  - $C_p$  : 정압비열 ( $\approx 0.24$  kcal/kg $^{\circ}C$ )

- 위의 그림 우측이 가열시의 습공기선도상의 변화이다.

#### 다. 단열가습

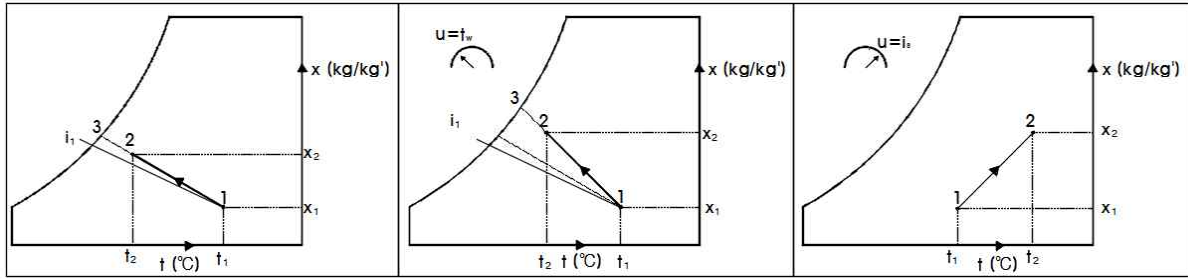
- 공기세정기에서 분무수를 냉각하거나 가열하지 않고 계속분무하는 경우 공기의 방출열과 분무수의 증발 잠열이 같게 되어 분무수 온도에서 평형상태를 이룰 때의 변화이다.
- 온도의 저하와 절대습도의 상승이 발생한다.
- 증발한 물의 엔탈피가 추가될 뿐이므로 실제로는 엔탈피의 변화는 없는 것으로 간주한다. 아래 그림 좌측이 단열가습시 습공기선도상의 변화이다.
- 포화효율  $\eta = \frac{1-2}{1-3}$

#### 라. 가습냉각

- 분무수를 가열하는 경우 공기의 상태변화는 단열가습선 보다 위쪽으로 변화한다.
- 건구온도는 떨어지고 절대습도는 증가하여 전체적으로 엔탈피가 증가한다.
- 열수분비  $u=tw$ (물의온도)의 직선과 평행하게 변화한다.
- 아래 그림 중간이 가습냉각시 습공기선도상의 변화이다.

#### 마. 증기분무

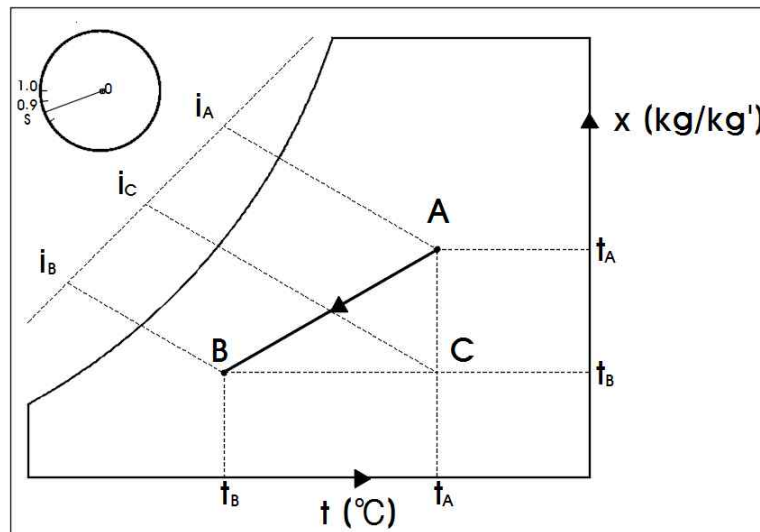
- 공기의 가열을 동반하는 가습장치로 많이 사용한다.
- 열수분비  $u=597.5 + 0.441 t_s$  의선을 따라 변화한다. ( $t_s$  : 증기온도)
- 증기가습에 의한 공기의 온도상승은  $\Delta t$ 는
- $\Delta t \approx 1.8 (t_s - t_1) \Delta x$ 
  - $t_s$  : 증기온도 (°C)
  - $t_1$  : 입구공기온도 (°C)
  - $\Delta x$  : 가습에 의한 절대습도의 증기량
- 아래 그림 우측이 증기분무시 습공기선도상의 변화이다.



[그림 3] 단열가습(좌), 가습냉각(중), 증기분무가습(우)

### 3. 공조 방식의 공기선도 작도

### 1) 공기선도 상의 현열비



[그림 4] 공기선도 상의 현열비

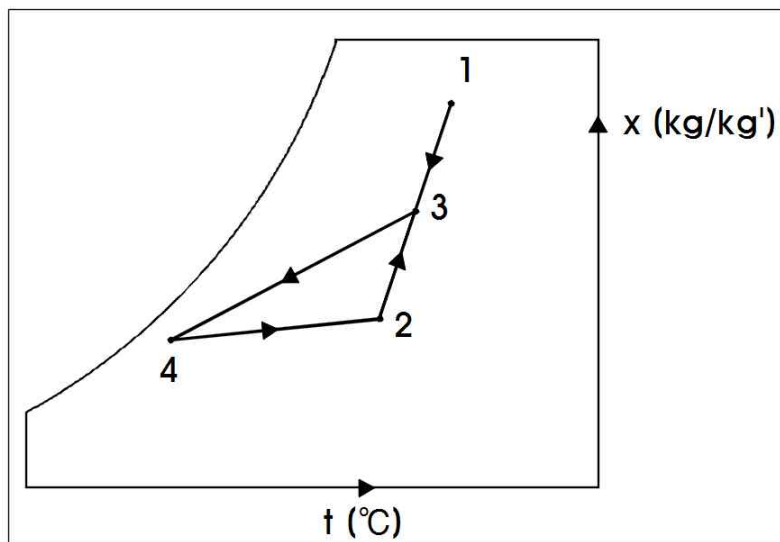
- 현열비(SHF, sensible heat factor)란 엔탈피 변화에 대한 현열량의 변화비율을 말한다.
- $$SHF = \frac{C_p \cdot \Delta t}{\Delta i} = \frac{C_p(t_A - t_B)}{(i_A - i_B)} = \frac{(i_C - t_B)}{(i_A - i_B)}$$
- 현열비가 일정하게 변화하면 공기선도상에서 거의 일정한 경사의 직선으로 표시되며, 이 경사를 나타낸 것이 현열비 눈금이다.
- 기준점 O과 눈금상의 S점을 연결한 직선과 평행한 상태변화의 현열비는 S점 값이다.
- 현열비가 주어졌을 때 현열비 눈금에서의 이 값과 0점을 연결하여 이것에 평행한 선(상태선)을 그으면 이 직선상 점에서 상태변화하는 현열비가 된다.
- 송풍공기의 상태점은 실내의 SHF 상태선 상에 있어야 한다.
- 실내 상대선과 포화곡선과의 교점을 실내의 장치노점온도라 하고 냉각코일의 표면온도

를 코일의 장치노점온도라 한다.

## 2) 여름철

### 가. 냉각감습에 의한 상태변화

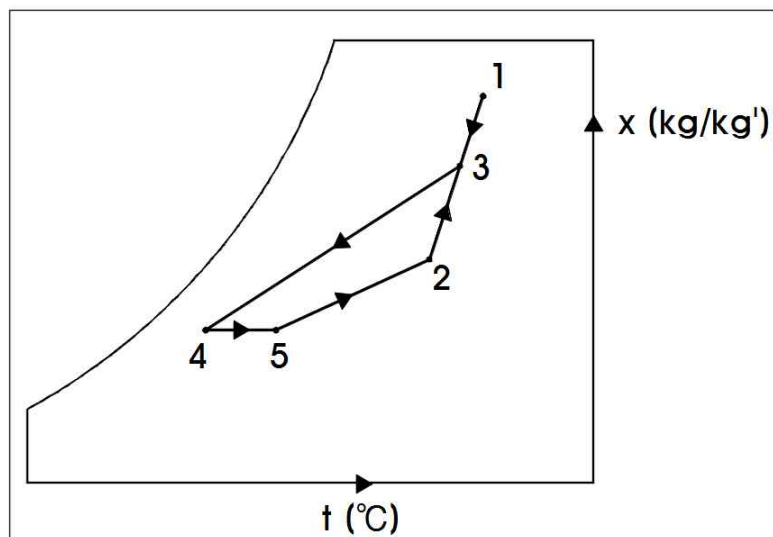
- 1-3 과정 : 외기 1과 실내공기 2를 단열혼합하여 3가 되는 과정으로 고온다습한 외기가 건구온도와 절대습도가 동시에 저하되는 과정이다.
- 2-3 과정 : 실내공기 2가 고온다습한 외기1과 혼합하여 3이 되는 과정으로 실냉공기의 절대습도와 건구온도가 상승하는 과정이다.
- 3-4 과정 : 혼합공기 3이 냉각코일을 통과하면서 냉각감습되는 과정으로 건구온도와 절대습도가 저하되는 과정이다.
- 4-2 과정 : 냉각코일 출구공기 4가 실내의 현열 및 잠열부하를 처리하며 실내공기 2가 되는 과정이다. 실내 현열비의 상태선을 따라서 진행한다.



[그림 5] 냉각감습에 의한 공조방식의 습공기선도

## 나. 냉각감습 및 재열에 의한 상태변화

- 1-3 과정 : 외기 1과 실내공기 2를 단열혼합 하여 혼합공기 3이 되는 과정으로 고온다습한 외기의 건구온도와 절대습도가 저하된다.
- 2-3 과정 : 실내공기 2가 고온다습한 외기1과 혼합하여 3이 되는 과정으로 실내공기의 절대습도와 건구온도가 상승하는 과정이다.
- 3-4 과정 : 혼합공기 3이 냉각코일을 통과하면서 냉각감습되는 과정으로 건구온도와 절대습도가 저하되는 과정이다.
- 4-5 과정 : 냉각감습된 공기 4가 재열코일에 의해 건구 온도가 상승하는 과정으로 절대습도의 변화는 없으나, 상대습도는 저하된다.
- 5-2 과정 : 냉각코일 출구공기 5가 실내의 현열 및 잠열부하를 처리하며 실내공기 2가 되는 과정이다. 실내 현열비의 상태선을 따라서 진행한다.

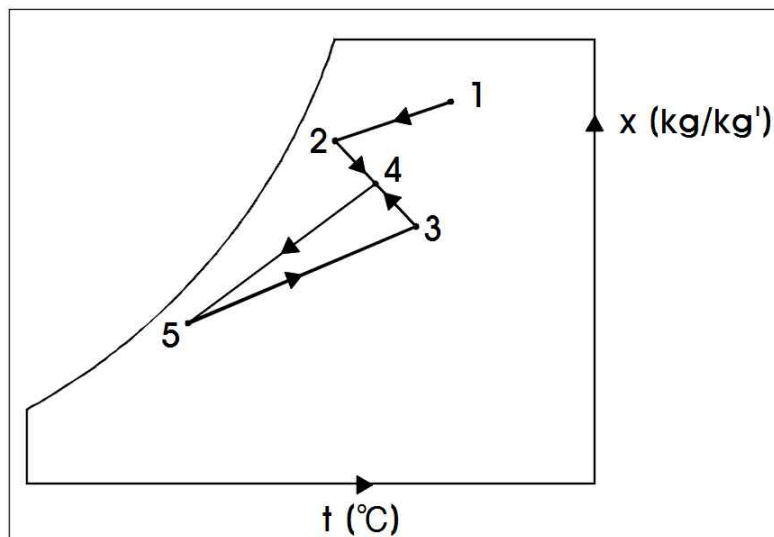


[그림 6] 냉각감습 및 재열에 의한 공조방식의 습공기선도



#### 다. 예냉, 냉각감습에 의한 상태변화

- 1-2 과정 : 고온다습한 외기를 예냉코일을 통과시켜 1차로 온도와 습도를 저하시키는 과정이다.
- 2-4 과정 : 예냉된 공기2에 실내공기 3를 단열혼합 하여 혼합공기 4이 되는 과정으로 건구온도와 절대습도가 2차로 저하된다.
- 3-4 과정 : 실내공기3과 예냉된 공기2를 혼합하여 혼합공기 4가되는 과정으로 실내공기의 절대습도와 건구온도가 상승하는 과정이다.
- 4-5 과정 : 혼합공기 3이 냉각코일을 통과하면서 냉각감습되는 과정으로 건구온도와 절대습도가 저하되는 과정이다.
- 5-3 과정 : 냉각코일 출구공기 5가 실내의 현열 및 잠열부하를 처리하며 실내공기 3가 되는 과정이다. 실내 현열비의 상태선을 따라서 진행한다.

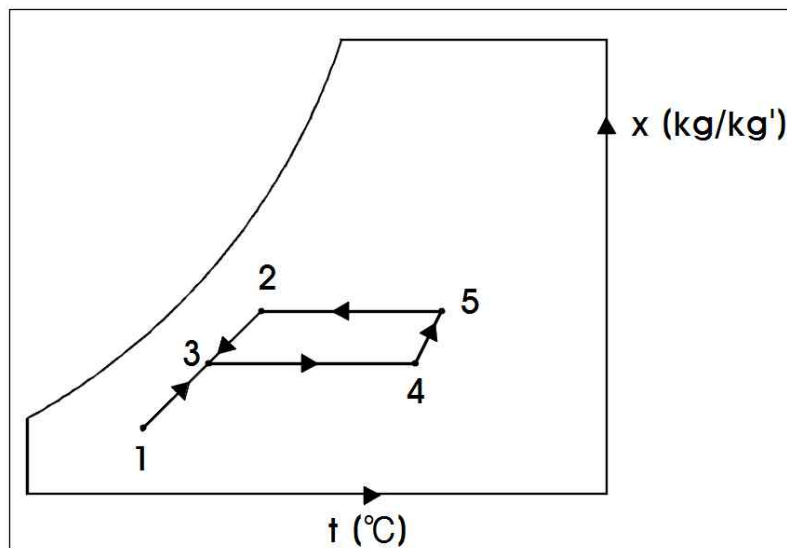


[그림 7] 예냉, 냉각감습에 의한 공조방식의 습공기선도

### 3) 겨울철

#### 가. 가열 및 가습에 의한 상태변화

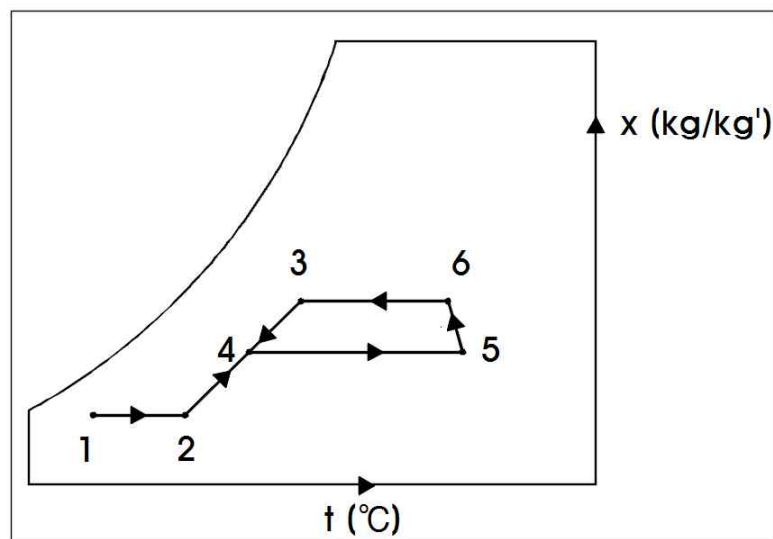
- 1-3 과정 : 외기 1과 실내공기 2를 단열혼합하여 혼합공기 3이 되는 과정으로 저온 저습의 외기가 건구온도와 절대습도가 동시에 상승되는 과정이다.
- 2-3 과정 : 실내공기 2가 저온저습한 외기1과 혼합하여 3이 되는 과정으로 실내공기의 절대습도와 건구온도가 저하되는 과정이다.
- 3-4 과정 : 혼합공기 3이 가열코일을 통과하면서 가열되는 과정으로 건구온도만 상승하는 과정이다.
- 4-5 과정 : 가열코일을 통과하여 가열된 공기를 증기로 가습하여 절대습도가 상승하는 과정이다. 증기의 열수분비 선을 따라 이동한다.
- 5-2 과정 : 가열가습된 공기 5가 실내에 배출되어 실내의 현열부하를 처리하고 실내공기 2가 되는 과정이다.



[그림 8] 가열 및 가습에 의한 공조방식의 습공기선도

## 나. 예열, 가열 및 가습에 의한 상태변화

- 1-2 과정 : 저온저습한 외기공기 1이 예열코일을 통과하여 건구온도가 상승하는 과정이다.
- 2-4 과정 : 예열로 일부 가열된 공기 2가 실내공기 3과 단열혼합하여 혼합공기 4가 되는 과정으로 건구온도와 절대습도가 동시에 상승되는 과정이다.
- 3-4 과정 : 실내공기 3이 1차 예열된 공기2와 혼합하여 4이 되는 과정으로 실내공기의 절대습도와 건구온도가 저하되는 과정이다.
- 4-5 과정 : 혼합공기 4가 가열코일을 통과하면서 가열되는 과정으로 건구온도만 상승하는 과정이다.
- 5-6 과정 : 가열코일을 통과하여 가열된 공기를 온수분무가습을 통하여 절대습도가 상승하는 과정이다. 온수의 열수분비 선을 따라 이동한다.
- 6-3 과정 : 가열가습된 공기 5가 실내에 취출 되어 실내의 현열부하를 처리하고 실내공기 2가 되는 과정이다.



[그림 9] 예열, 가열 및 가습에 의한 공조방식의 습공기선도

## 참고문헌

1. 설비공학 편람 3판 제2권 공기조화, 대한설비 공학회