

# // 열설비 설계 //

◦ 상양증발량 ( $G_e$ ): 1atm 포화수 ( $100^\circ\text{C}$ ) 1kg를 한시간 동안  
포화증기 ( $100^\circ\text{C}$ )로 만드는 능력

$$G_e = \frac{G(h_2 - h_1)}{539} \quad [\text{kg/h}]$$

$G$ : 증기 발생량 ( $\text{kg/h}$ )  
 $h_1$ : 급수 엔탈피 ( $\text{kcal/kg}$ )  
 $h_2$ : 증기 엔탈피 ( $\text{kcal/kg}$ )  
 $539 \text{ kcal/kg}$ : 물의 증발 잠열

◦ 증발 계수 (증발력) =  $\frac{\text{증기엔탈피} - \text{급수엔탈피}}{\text{잠열}(539)}$

◦ 재증발량 = 온도( $X$ )  $\times$  포화수, 응축수량 ( $\text{kg/h}$ )

◦ 수관보일러의 전열면적 ( $F$ ) =  $\pi \cdot D \cdot l \cdot N$  [ $\text{m}^2$ ]

\*  $D$ : 수관 외경 ( $\text{cm}$ ),  $l$ : 수관길이 ( $\text{m}$ ),  $N$ : 수관갯수

◦ 탱커서 보일러의 전열면적 ( $F$ ) =  $4DL$  [ $\text{m}^2$ ]

\*  $D$ : 외경 [ $\text{m}$ ]       $L$ : 길이 [ $\text{m}$ ]

◦ 배화 벽돌의 부피 비중 ( $S$ ) =  $\frac{w}{w_2 - w_1}$

$w$ : 벽돌을  $105 \sim 120^\circ\text{C}$  사이에서 건조시킨 무게  
 $w_1$ : 물속에서 3시간 끓인 이후 취리시킨 무게  
 $w_2$ : 물속에서 꺼내어 표면 수분을 닦은 무게

## 보일러 출력 (BHP)

1 BHP : 1 tcm 포화수 15.65 kg<sub>p</sub> 을 1 시간 동안 포화증기로 만드는 능력

$$BHP = \frac{G}{15.65} = \frac{G(h_2 - h_1)}{539 \times 15.65} \quad [kg/h]$$

$G$ : 증기 발생량 (kg/h)  
 $h_1$ : 급수 엔탈피 (kcal/kg)  
 $h_2$ : 증기 엔탈피 (kcal/kg)

• 면도선의 압력강하 ( $P_f$ ) =  $4f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho V^2}{2g}$

$f$ : 아찰저항 계수

$D$ : 면도선의 수력반경

$L$ : 면도의 길이

$\rho$ : 연소가스 밀도 [kg/m<sup>3</sup>]

$V$ : 연소가스 속도 [m/s]

$$\begin{aligned} \text{Prandtl 수} &= \frac{\mu C_p}{K} = \frac{\rho V C_p}{K} = \frac{\gamma}{\frac{K}{\rho C_p}} = \frac{\text{동점성계수}}{\text{유체온도의 전파속도}} \\ &= \frac{\text{열확산}}{\text{열전도}} \end{aligned}$$

↳ 운동량의 퍼짐도와 열적 퍼짐도의 비

4. 원형관의 열전도

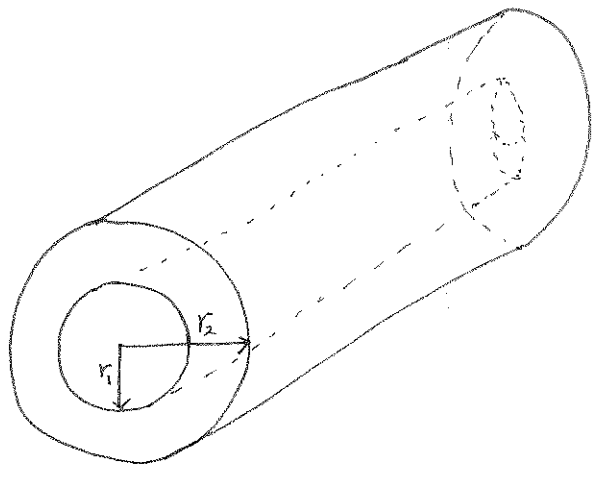
$$Q = \frac{2\pi \cdot \lambda \cdot l \cdot \Delta t}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

$\lambda$  : 열전도율 ( $\text{kcal}/\text{m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$ )

$l$  : 원형관의 길이 (m)

$r_1$  : 내 반경 (m)

$r_2$  : 외 반경 (m)



$\Delta t$  : 온도차 ( $^\circ\text{C}$ )

5. 중공구의 열전도

$$Q = \frac{4\pi K \Delta t}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}}$$

$K$  : 열전도 계수 ( $\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ )  
 $r_1, r_2$  : 내, 외 반경 (m)  
 $\Delta t$  : 온도차 ( $^\circ\text{C}$ )

6. 열관류율 (K)

$$K = \frac{1}{\frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{l_2}{\lambda_2}}$$

$\left[ \text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C} \right]$

# // 열 전달 //

1. 대류 열전달 (Convection Heat Transfer): 고체 면을 접하는 액체 또는 기체와의 열이동

$$Q_c = \alpha \times A \times \Delta t = \alpha \times A \times (t - t_w) \quad [\text{Kcal/h}]$$

$\alpha$ : 대류 열전달 계수  $[\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}]$

$A$ : 대류 열전달 면적 ( $\text{m}^2$ )

$t$ : 유체 온도  $[^\circ\text{C}]$ ,  $t_w$ : 고체 표면 온도  $[^\circ\text{C}]$

2. 평판 열전도 (Heat Conduction): 고체를 경계로 한 양쪽 면에서 열이동

$$Q_H = \frac{\lambda}{l} \times A \times \Delta t \quad [\text{Kcal/h}]$$

$\lambda$ : 열전도율  $[\text{Kcal}/\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}]$   $l$ : 길이  $[\text{m}]$

3. 열복사 (Thermal Radiation)

$$Q_r = \sigma \times A \times T^4 = \epsilon \times C_b \times A \times \left\{ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right\}$$

$\sigma$ : 스테판 - 볼츠만 상수  $[5.669 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4]$

$A$ : 복사 면적 ( $\text{m}^2$ )

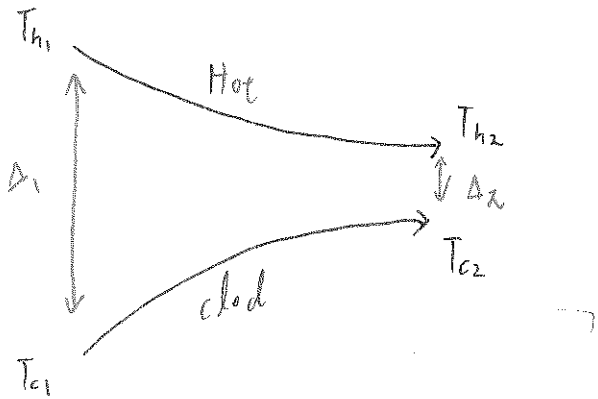
$\epsilon$ : 복사율 (흑도)

$T$ : 온도  $[\text{K}]$

$C_b$  (흑체 방사 계수):  $4.88 \text{ Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}^4$

# 7. 대향류와 평행류 (병류)

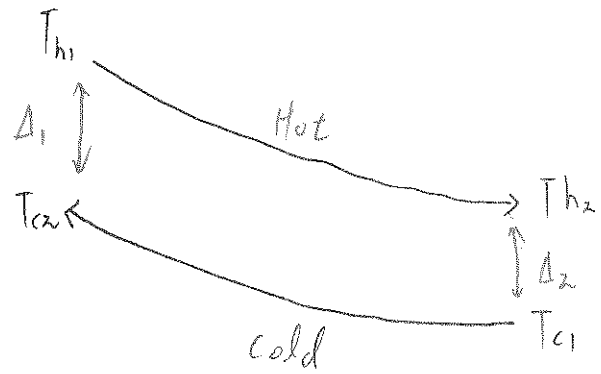
< 평행류 >



$$\Delta_1 = T_{h1} - T_{c1}$$

$$\Delta_2 = T_{h2} - T_{c2}$$

< 대향류 >



$$\Delta_1 = T_{h1} - T_{c2}$$

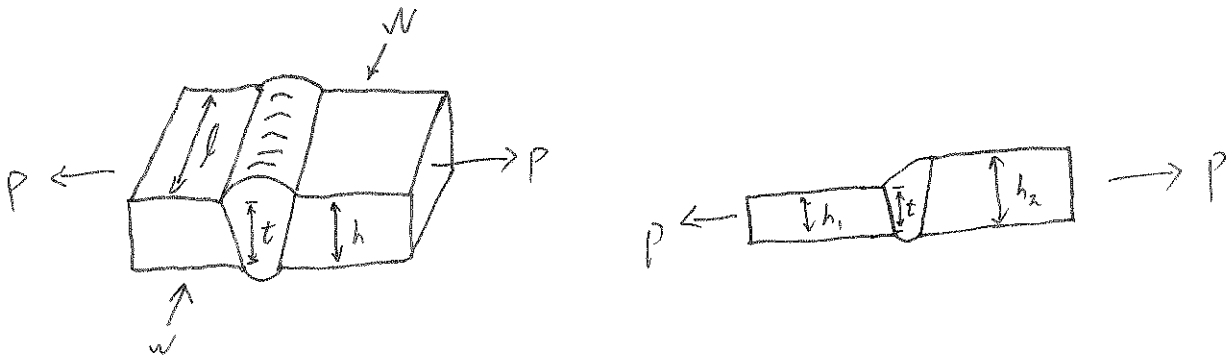
$$\Delta_2 = T_{h2} - T_{c1}$$

$$* \text{대수평균온도차 (LMTD)} = \frac{\Delta_1 - \Delta_2}{\ln\left(\frac{\Delta_1}{\Delta_2}\right)} = \frac{\text{방열체의 온도차}}{\text{전열 유효수 (NTU)}}$$

◦ 향류 열교환기의 저온측 온도효율 (Ec)

$$E_c = \frac{T_{c2} - T_{c1}}{T_{h1} - T_{c2}} = \frac{T_{c2} - T_{c1}}{\Delta_1}$$

// 용접 // (말대기 용접)



\* 말대기 용접은 모래의 두께가 작은 쪽을 취한다.

$P$ : 인장하중       $t$ : 목두께       $h$ : 모래두께

$l$ : 용접길이       $\sigma_t$ : 용접 금속의 인장응력

$$\textcircled{1} \text{ 인장응력 } (\sigma_t) = \frac{\text{인장하중}}{\text{인장과괴면적}} = \frac{P}{tl} = \frac{P}{hl}$$

$$\textcircled{2} \text{ 전단응력 } (\tau) = \frac{\text{전단하중}}{\text{전단과괴면적}} = \frac{w}{tl} = \frac{w}{hl}$$

// 리벳 //

• 보일러 리벳 이음의 이음에 관의 최소두께 ( $t_0$ )

$$t_0 = 0.6t + 2 \text{ [mm]}$$

$t$ : 두드림판의 최소두께 [mm]

|| 송풍기 ||

$$L = \frac{P_t Q}{102 \eta} \quad [kW]$$

$$L = \frac{P_t Q}{75 \eta} \quad [PS]$$

$P_t$ : 전압 [mm H<sub>2</sub>O]

$Q$ : 풍량 [m<sup>3</sup>/s]

$$1 PS = 735 W$$

$$1 hp = 746 W$$

# // 동체 설계 //

## 1. 내압을 받는 얇은 원통

$$\circ \text{ 원주방향 응력 } (\sigma_r) = \frac{Pd_s}{2t\gamma} \Rightarrow \text{두께}(t) = \frac{Pd_s}{2\sigma_r\gamma} + \alpha$$

P: 내압 (최고 사용압력)  $N/m^2$

d: 내경 m

s: 안전율

t: 두께 m

$\alpha$ : 부식 여백 (m)

$$\circ \text{ 축방향 (길이 방향) 응력 } (\sigma_l) = \frac{Pd}{4t}$$

## 2. 내압 주형 용기의 최소두께 (t)

◦ 동체의 두께가 안쪽 반지름의 0.356배 이하인 경우

$$t = \frac{P d_i}{400 \sigma \gamma \gamma - 0.4 P} \quad [mm]$$

P: 최고 사용압력 MPa,  $Kgf/cm^2$

$d_i$ : 동체의 안지름 [mm]

$\sigma$ : 재료의 허용 인장강도  $Kgf/mm^2$

$\gamma$ : 안전율의 역수 ( $\frac{1}{\gamma}$ )로서 인장강도에 대한 허용인장응력의 비

$\alpha$ : 부식 여백 [mm]

## 3. 동체의 최소 두께

동체 내경	동체 최소두께
~ 900mm 이하	6 mm
900mm 초과 ~ 1350mm 이하	8 mm
1350mm 초과 ~ 1800mm 이하	10 mm
1800mm 초과 ~	12 mm 이상



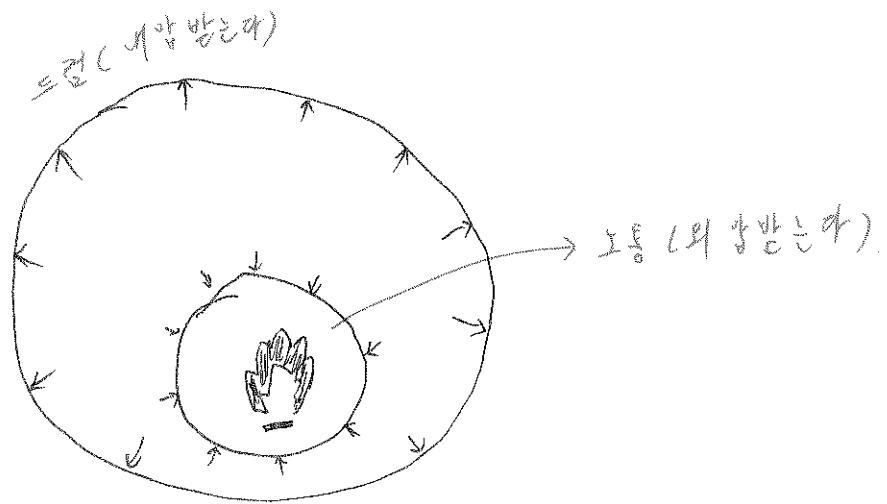
# // 화살 및 노퍽 //

◦ 파형노퍽의 최소두께 (t) =  $\frac{PD_m}{C}$  [mm]

p: 최고 사용압력 [Bar, kgf/cm<sup>2</sup>]

D<sub>m</sub>: 노퍽의 평균지름 (노퍽의 파형부에서는 최대내경과 최소내경의 평균치) [mm]

C: 파형형상에 따른 상수



# // 경관 //

• 경관의 최소두께 (t) =  $\frac{PR}{150\sigma_a \eta} + \alpha$

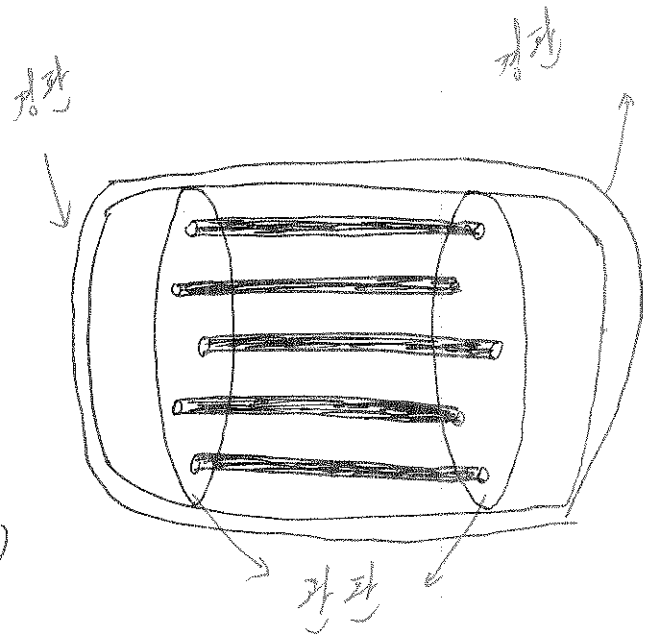
P: 최고과용압력 (Bar,  $\text{kgf/cm}^2$ )

R: 전방구형 경관 안쪽면의 반지름 (mm)

$\sigma_a$ : 재료의 허용 인장응력 ( $\text{kgf/mm}^2$ , MPa)

$\eta$ : 경관구조의 이음효율

$\alpha$ : 부식 여유 [mm]



• 연관 보일러 관관 최소두께 (t) =  $5 + \frac{D}{10}$  [mm]

D: 연관의 바깥지름

## // 관 두께 //

◦ 절단기통 주철관의 최소두께 ( $t$ ) =  $\frac{Pd}{2\sigma} + \alpha$  [mm]

$P$ : 릴리프 밸브의 작동압력 [MPa]

$d$ : 주철관의 안지름 [mm]

$\sigma$ : 재료의 인장응력 [MPa]

부식 여유 ( $\alpha$ ) { 2mm : 편을 부착할 때

4mm : 편을 부착하지 않을 때

## ◦ 연관의 최소두께

1) 연관 바깥지름이 150mm 이하인 경우

연관의 최소두께 ( $t$ ) =  $\frac{PD}{750} + 1.5$  [mm]

{  $P$ : 최고 사용 압력 [ $\text{kgf}/\text{cm}^2$ , Bar]  
 $D$ : 연관의 바깥지름

// 수 처리 //

$$1 \text{ ppm} = \frac{1}{10^6} \text{ mg/L} \Rightarrow \frac{1 \text{ mg} \times 10^{-3}}{1000 \text{ g}} = 10^{-6}$$

◦ 분출량 (CBD) 량

$$\text{분출량 (w)} = \frac{G(1-R)m_i}{m_o - m_i} \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

G: 증수량 (kg/h)

R: 증착수 회수율 =  $\frac{\text{증착수 량}}{\text{증발량}}$

$m_i$ : 증수중에 불순물의 농도 (ppm, mg/L)

$m_o$ : 관수 또는 보일러 수의 불순물 농도 (ppm, mg/L)

◦ pH 조정제

① pH 높이는 약제: 가성소다, 탄산소다.

② pH 낮추는 약제: 황산, 인산, 인산나트륨

③ 증수의 pH : 8~9

④ 수관식 보일러수(관수)의 pH : 10.5~11.8

◦ 해수 파그네시아 침전반응



# // 기타 //

• 전열면적에 따른 관의 호칭시름

전열면적	급수관	방출관
10m <sup>2</sup> 이하	바깥지름 15A 이상	바깥지름 20A 이상
10m <sup>2</sup> 초과	" 20A 이상	" 25A 이상

• 전열면적에 따른 방출관의 크기

전열면적	방출관
~ 10m <sup>2</sup> 미만	25A 이상
10m <sup>2</sup> 이상 ~ 15m <sup>2</sup> 미만	30A 이상
15m <sup>2</sup> 이상 ~ 20m <sup>2</sup> 미만	40A 이상
20m <sup>2</sup> 이상 ~	50A 이상

• 주철제 압력용기의 수압시험 압력

- 최고사용압력이 0.2MPa 이하인 경우 : 0.2MPa 로 수압시험
- 최고사용압력이 0.43MPa 이하인 경우 : 최고사용압력 x 2배로 수압시험

• 증기용 강재 보일러의 수압시험 압력

• 최고사용압력이 4.3 kgf/cm<sup>2</sup> ~ 15 kgf/cm<sup>2</sup> 인 경우

$$P \times 1.3 \text{ 배} + 3 \text{ kgf/cm}^2$$

↳ 수압시험 압력