

공조배관계의 설계

1 배관설계의 기초

1.1 배관계의 설계순서

공조설비에 이용되는 액체 기체 등의 유체는 다음과 같은 종류가 있다.

- ① 냉수, 온수
- ② 수증기, 응축수
- ③ 냉매(액, 가스)
- ④ 액체연료(등유, 경유, 중유 등)
- ⑤ 기체연료(도시가스, LPG 등)
- ⑥ 공기
- ⑦ 연소가스

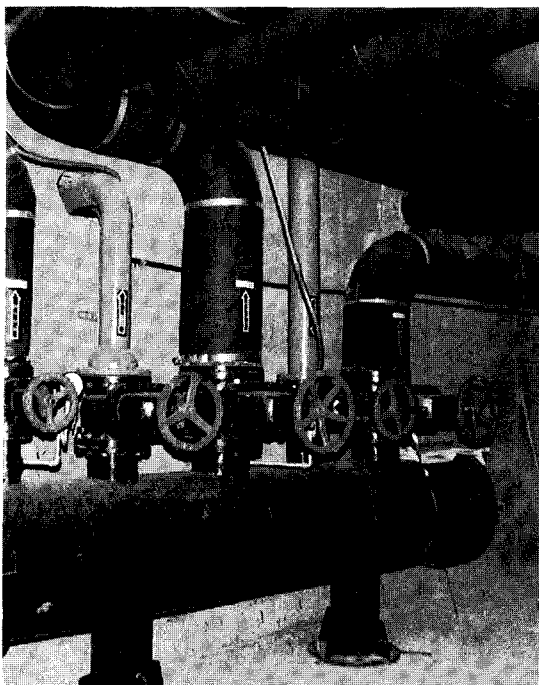
위의 유체 운반을 위한 배관계설계의 기본 원칙 : 설계순서는 유체의 종류와 관계없이 거의 유사하며 본 장에서는 냉수, 온수, 증기, 냉매의 배관시스템에 대하여 주로 기술하였다.

배관계의 설계순서는 운송유체의 종류에 따라 상세부분은 약간 차이가 있으나 대부분 <그림 1>의 순서에 의한다.

배관계의 설계시에는 공조기와 팬코일유닛 등의 유체를 이용하는 말단기와 냉동기·펌프 등의 열원기기를 건물내 비치 및 결정후 건물의 방위, 사용시간, 용도 등 기타 여러사항을 검토하여 조닝을 하며 조닝후 건물의 내용에 적합한 직접환수식 또는 역환수식(reverse return) 등의 배관 방식을 결정하여 기간에 가장 합리적이고 경제적인 배관경로를 정한다.

배관경로는 각기기류 사이를 최대한 짧게 연결하여야 하며 다른 설비의 배관류와 덕트의 경로에 대하여도 충분히 검토하여 상호간섭하지 않도록 한다.

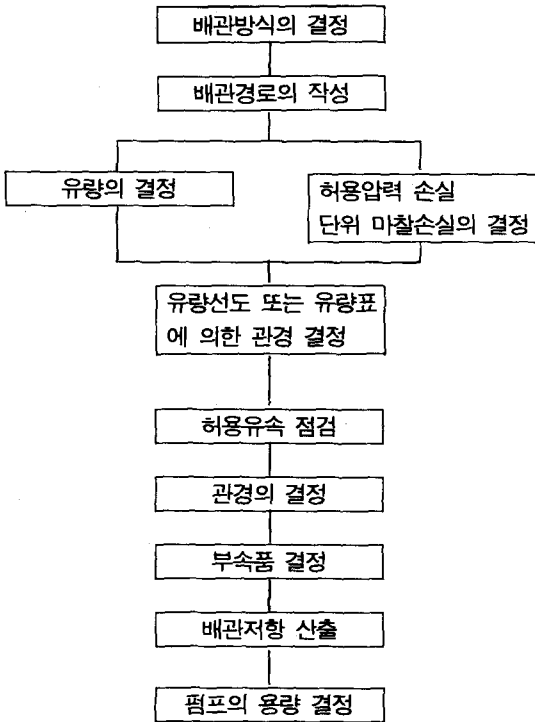
배관경로 결정후 필요한 밸브류, 관이물쇠 등의 형식, 수량, 위치등을 결정하고 경로 전체에



허용되는 총 압력손실 또는 배관단위 길이당 마찰손실과 배관각부의 유량에 대해 마찰저항선도 또는 표에 의해 관경을 결정한다.

관경결정시에는 과대한 유속에 의한 소음, 진동, 마모의 발생, 지나치게 높은 펌프의 양정과 펌프동력 등의 장애가 발생하지 않도록 관내유속과 단위마찰손실이 허용범위내 적절한 값이 되도록 조정하여야 한다.

일반적으로 수배관계에서는 단위마찰손실에 의해 관경을 구하며 실제높이에 배관계 전체에 대한 저항치를 더하여 펌프의 양정을 구하는 것이 일반적이나 증기배관, 냉매배관계에서는 배관계 전체의 총 압력손실을 최초로 정한 후 이 값을 배관의 가장 먼 곳의 2배정도 길이를 나눈 값으로 단위 마찰 손실을 구하여 관경을 결정하므로 최종적으로 그 결과가 총압력손실이 최초로 결정된 값 이내 여부를 확인하여 설계한다.



<그림 1> 배관의 설계순서

1.2 베르누이 정리와 압력의 단위

배압축성 비점성 이상유체의 정상흐름에 대하여 다음의 베르누이식이 성립한다.

$$\frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + z = H(\text{일정}) \quad (1)$$

p : 압력[kgf/m²]

v : 유속[m/s]

z : 기준면으로부터의 높이 [m]

γ : 유체의 비중량 [kgf/m³]

g : 중력, 가속도=9.8[m/s²]

위 식중 $\frac{p}{\gamma}$ 는 압력수두, $\frac{v^2}{2g}$ 은 속도수두, z 는 위치 수두, H 를 전 수두라 한다.

위의 베르누이 식은 흐름에 따라 유체단위유량당의 압력에너지, 속도에너지, 위치에너지의 총계는 일정하다는 것을 나타내는 것으로 유체의 에너지보존법칙 이라고도 한다.

[예제 1]

p : 5000 [kgf/m²], v = 2[m/s] 기준면에서의 높이 z = 10[m]의 위치로서 관내를 흐르는 물 (γ = 1000kgf/m³)의 전수두를 구하시오.

[해답]

$$\text{압력수두 } \frac{p}{\gamma} = \frac{5000}{1000} = 5[\text{m}]$$

$$\text{속도수두 } \frac{v^2}{2g} = \frac{2^2}{2 \times 9.8} = 0.024[\text{m}]$$

위치수두 z = 10[m]

따라서 전수두 H = 5 + 0.024 + 10 = 15.204[m]

[예제 2]

예제 1의 흐름이 기준면으로부터 14m 높이까지 흐르며 이때 관내 압력이 500kgf/m²이 되었다. 관내의 유속을 구하시오. 다만 관내 흐름에 대한 압력손실은 없는 것으로 한다.

[해답]

$$\text{압력수두 } \frac{p}{\gamma} = \frac{500}{1000} = 0.5[\text{m}]$$

위치수두 z = 14[m]

전수두는 예제1 값과 같으므로 H = 15.204[m]

따라서 속도수두 $\frac{v^2}{2g}$ 은 다음식에 의해 구한다.

$$\frac{v^2}{2g} = H - \left(\frac{p}{\gamma} + z \right) = 15.204 - (0.5 + 14) = 0.704(\text{m})$$

따라서 유속은 $v = \sqrt{0.704 \times 2g} = \sqrt{0.704 \times 2 \times 9.8} \approx 3.71(\text{m/s})$

[예제 3]

<그림 2>와 같이 고가수조의 수면에서 10m 낮은 위치까지의 배관으로 물을 유도하여 관 말에서 물을 분출시킬때의 유속을 구하시오. 다만 관내의 압력손실은 없는 것으로 한다.

[해답]

물탱크 상부의 수면위치 1 관말의 물분출부 2 나 첨자를 붙인후 식을 세우면 다음과 같다.

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (2)$$

여기서 p_1, p_2 는 대기압이며 수조의 수면이 정지하여 있으므로

$$v_1 = 0$$

따라서 위식은 다음과 같이 된다.

$$\frac{v_2^2}{2g} = z_1 - z_2 = 10[\text{m}]$$

따라서 분출속도

$$v_2 = \sqrt{10 \times 2g} = \sqrt{10 \times 2 \times 9.8} = 14[\text{m/s}]$$

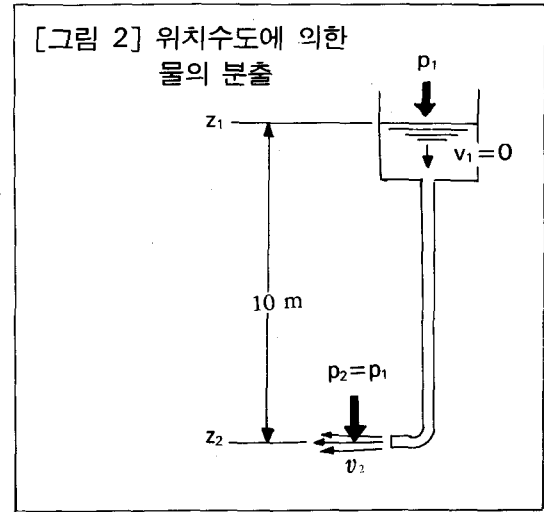
실제 관내에 유체가 흐를 때 관내 표면의 거칠기와 유체의점성 등에 따라 관내벽과 유체와의 사이에 마찰이 발생하며 구부러짐. 확대, 축소, 밸브 등의 부속품에 의해 압력손실이 발생한다.

<그림3>은 관계통에서 이러한 압력손실 Δp 를 이겨낸 높이 z_1 에서 z_2 까지 유체를 밀어올릴 양점이 필요하다.

이를 위하여 펌프에 의한 수두 H_m 을 유체에 주는 경우가 많다.

이러한 점을 고려하면 식 1은 다음과 같이 된다.

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + H_m = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + \frac{\Delta p}{\gamma} \quad (3)$$



높은곳에서 물을 낙하시키는 경우는 $(z_1 - z_2)$ 으로 관의 마찰에 의한 마찰손실을 이기고 유속은 v_1 에서 v_2 로 증가된다.

식 1의 전수두 H의 단위는 [m]로서 유체의 높이 또는 깊이를 나타내고 있다.

압력수두를 H_p 로 하면 식 1에 의해

$$H_p = \frac{p}{\gamma} \quad (4)$$

따라서 $p = \gamma h_p$ (5)가 된다.

상온의 물에서 $\gamma = 1000(\text{kgf/m}^3)$ 이므로 $H_p = 1$ [m]의 경우

$p = 1000 \times 1 = 1000[\text{kgf/m}^2]$ 가 된다.

이는 면적 1m^2 의 바닥위에 깊이 1m 수주 또는 1mAq 라 한다.

$$1\text{m} = 100(\text{cm}) \times 100(\text{cm}) = 10000(\text{cm}^2) \text{에서}$$

$$1000[\text{kgf/m}^2] = 0.1[\text{kgf/cm}^2]$$

따라서

$$1\text{mAq} = 1000[\text{kgf/m}^2] = 0.1[\text{kgf/cm}^2]$$

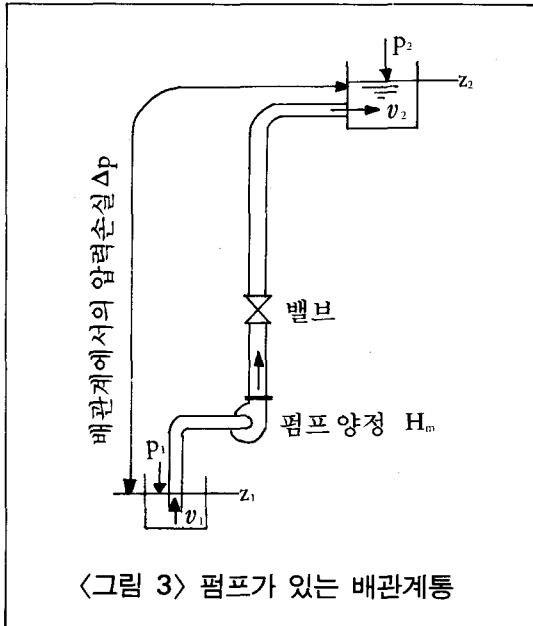
$$1[\text{kgf/m}^2] = 1[\text{mmAq}]$$

실용상 압력의 단위로서 유체가 물인 경우 [mAq]이나 공기의 경우 [mmAq]가 사용된다.

[예제 4]높이 100m의 공기주와 수주의 바닥에서의 압력을 구하시오.

[해답]

상온의 물의 경우 위의 설명에서 100mAq가 된다.



<그림 3> 펌프가 있는 배관계통

$$\begin{aligned} \gamma &= 1000[\text{kgf/m}^3] \text{에서} \\ P &= \gamma H_p = 1000 \times 100 = 100000[\text{kgf/m}^2] \\ &= 100[\text{mAq}] \\ &= 10[\text{kgf/cm}_2] \end{aligned}$$

상온의 증기 비중량 $\gamma = 1.2\text{kgf/m}^3$ 정도이므로

$$\begin{aligned} p &= \gamma H_p = 1.2 \times 100 = 120[\text{kgf/m}^2] \\ &= 120[\text{mmAq}] \end{aligned}$$

1.3 관내흐름의 마찰저항

앞에서의 내용에서 물체는 점성을 갖고 있으며 이러한 점성에 의해 관내를 흐를 때 벽면에서 마찰저항이 발생하여 흐름을 방해한다. 이러한 유체의 점성을 점도라 하며 일반적으로 μ 로 표시한다.

μ 의 단위는 공학단위로서 $[\text{kgf} \cdot \text{s/m}^2]$ 이며 CGS단위로는 푸아즈(POISE : P : 이다.

$$1(P) = 1[\text{g/cm} \cdot \text{s}] = 0.0102[\text{kgf} \cdot \text{s/m}^2]$$

또한 점도 μ 를 밀도 (단위체적당의 질량) ρ 로 나눈 값을 동점도라 하며 ν 로 표시한다.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (6)$$

이의 공학 단위는 $[\text{m}^2/\text{s}]$ 스톡스(Stokes)라 하며 $0.01\text{st} = 1\text{cst}$ (Centi Stokes)이다.

액체의 μ 는 온도가 높아지면 감소하며 기체의

μ 는 대기압하에서 온도가 상승하면 증가한다. 각종유체의 동점도 $\nu[\text{m}^2/\text{s}]$ 의 값은 <그림 4>에 나타냈다.

관내 흐름의 마찰저항에 의한 압력손실 ΔP_f (kgf/m^2)는 다음식에 의해 구한다.

$$\Delta P_f = \lambda \frac{\ell}{d} \times \frac{v^2}{2g} \times \gamma \quad (7)$$

ℓ : 관의 길이 [m]

d : 관의 직경 [m]

v : 관내흐름의 평균 유속 [m/s]

γ, g : 식(8.1)과 동일

λ : 관 마찰계수

관 마찰계수는 유체의 성질, 유속(λ), 관내경 (d), 관내의거칠기 (ϵ) 등에 의해 변하며 일반적으로 레이놀드수(Re)와 상대조도 ϵ/d 의 계수로 표시된다.

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (8)$$

Re 는 흐름의 상태를 나타내는 무차원수로서 Re 가 적은경우 관내의 흐름이 층류(層流)를 이루고 있으며 어느정도 값이 커지면 관내 유체는 난류(亂流)가 발생한다.

또한 층류에서 난류로 이동하는 부분에서는 유체의 흐름이 불안정한 영역으로서 천이(遷移)상태라 한다.

일반적으로 직관내 흐름에 대하여 층류와 난류의 천이를 나타내는 천이점의 한계 Re 는 2320이며 기술적으로는

층류 $Re < 2000$

천이영역 $2000 < Re < 4000$

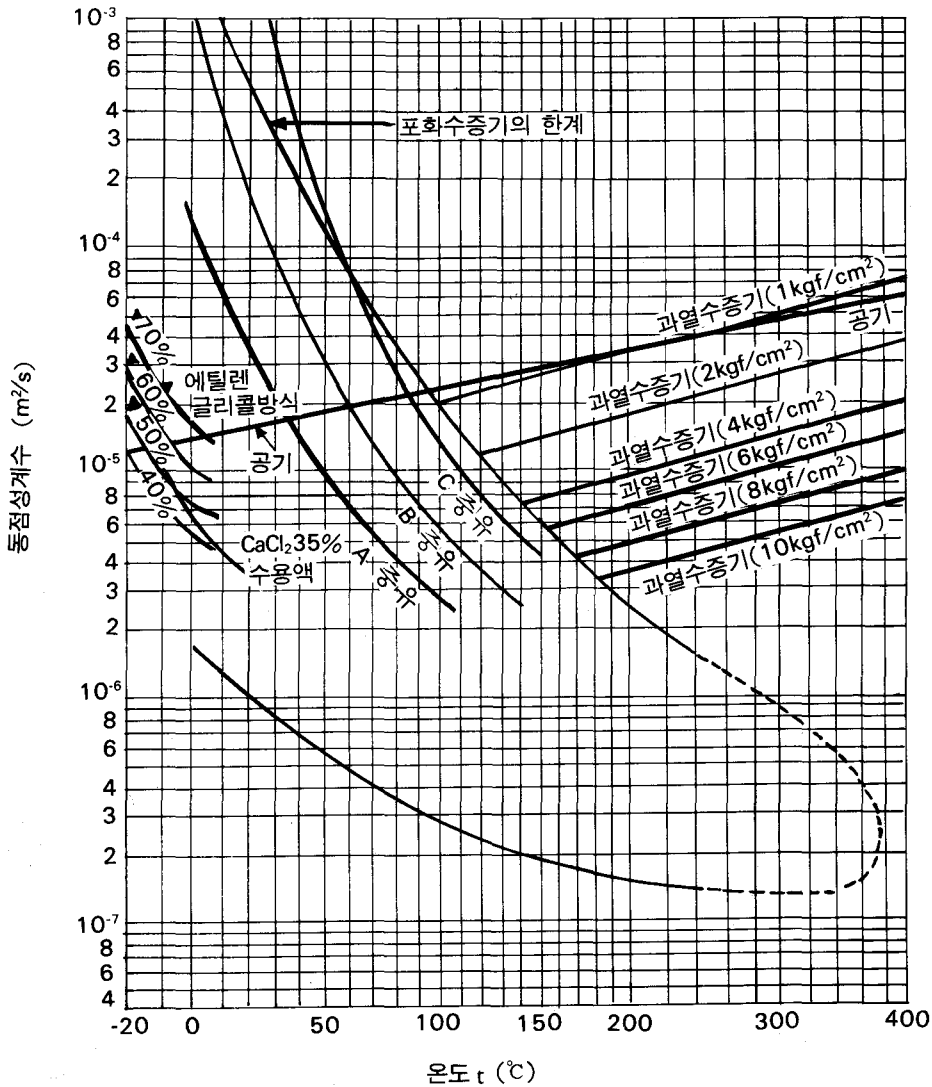
난류 $4000 < Re$ 로 취급한다.

관내면의 거칠기 ϵ 는 <표 1>과 같다.

<표1>관 내면의 절대조도 (ε)

관 재료의 종류	ε(mm)
인발강관, 염화비닐관	0.0015
폴리에틸렌관, 알루미늄관	
아연도금 강관(신품)	0.15
강관(내부에 녹이있음)	0.3
콘크리트관(깨끗하면)	0.5
콘크리트관(거친면)	2

<그림 4>액체와 기체의 동점도



[예제 5]

온도 20°C의 공기, 물, B중유 을 각기 평균유속 8m/s, 2.5m/s, 1m/s로 내경 10cm 의관내를 흐른 다할때 각기의 Re를 구하시오.

[해답]

d=0.1m<그림8-4>에의해 각기의 동점도 $V[m²/s]$ 를 구하면

공기 $V=1.7 \times 10^{-5}$

물 $V=1 \times 10^{-6}$

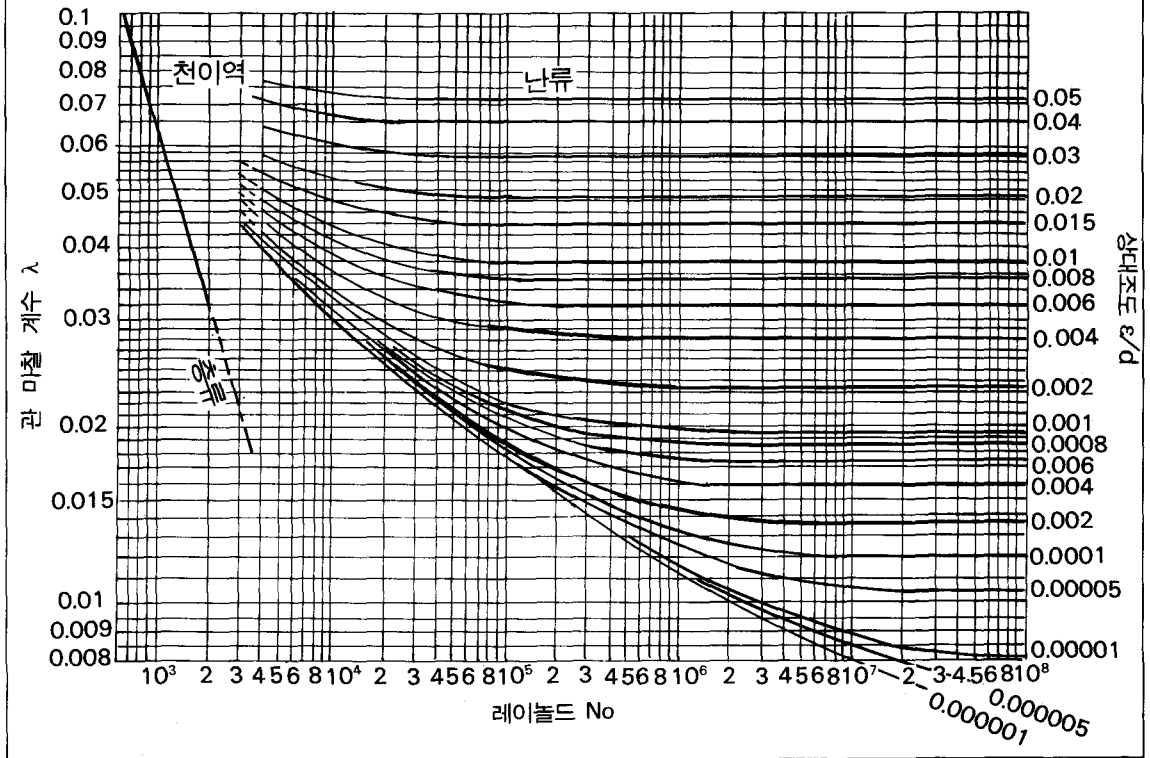
B중유 $V=1.7 \times 10^{-4}$ 로서

$$\text{공기의 } Re = \frac{vd}{V} = \frac{8 \times 0.1}{1.7 \times 10^{-5}} = 4.7 \times 10^4$$

$$\text{물의 } Re = \frac{vd}{V} = \frac{2.5 \times 0.1}{1 \times 10^{-6}} = 2.5 \times 10^5$$

$$\text{B중유 } Re = \frac{vd}{V} = \frac{1 \times 0.1}{1.7 \times 10^{-4}} = 5.88 \times 10^2$$

〈그림 5〉 무디 선도



이에 의해 공기와 물이 흐르는 배관에서 일반적으로 난류이나 연료유의 경우 층류가 됨을 알 수 있다.

λ의 값은 층류에 대하여 다음식으로 구한다.

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (9)$$

또한 난류에 대하여 여러가지 실험식이 주어졌으나 실용적으로 〈그림 5〉의 무디선도가 이용되며 난류영역에서의 무디식은 다음과 같다.

$$\lambda = 0.0055 \left[1 + \left(2000 \frac{\epsilon}{d} + \frac{10^6}{Re} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (10)$$

[예제 6]

예제 5에서 구한 B중유관 1m당의 마찰손실을 구하시오.

[해답]

예제 5에서 B중유의 $Re = 5.88 \times 10^2$

$$\lambda = \frac{64}{588} = 0.109$$

식 7에서 $\ell = 1[m]$, $d = 0.1[m]$, $V = [m/s]$

$\gamma = 930[kgf/m^3]$ 에서

$$\begin{aligned} \Delta pf &= \lambda \times \frac{1}{d} \times \frac{v^2}{2g} \times \gamma = 0.109 \times \frac{1}{0.1} \\ &\times \frac{1^2}{2 \times 9.8} \times 930 \\ &= 51.72[kgf/m^2] = 51.72[mmAg] \end{aligned}$$

[예제 7]

예제 5의 수배관 1m당 마찰저항 손실을 구하시오

[해답]

물의 경우 $Re = 2.5 \times 10^4$ 관내면의 상대거칠기 강관(녹있음)의 값 $\epsilon = 0.3[mm]$ 를 이용한다.

$$\frac{\epsilon}{d} = \frac{0.3[mm]}{0.1[m]} = \frac{0.3[mm]}{100[mm]} = 0.003$$

〈그림 5〉에서 Re 와 ϵ/d 에 의해 $\lambda = 0.0265$ 를 구한다.

따라서 식(7)에서 $\ell = 1m$ $d = 0.1(m)$ $v = 2.5$

(m/s), $\gamma = 1000(\text{kgf/m}^3)$ 를 대입하여

$$\Delta p_f = \lambda \frac{l}{d} \times \frac{v^2}{2g} \gamma = 0.0265 \times \frac{1}{0.1} \times \frac{2.5^2}{2 \times 9.8} \times 1000 = 84.5[\text{kgf/m}^2] = 84.5[\text{mmAg}]$$

관의 단면이 각형, 타원형 등 원형이 아닌경우 관의 단면적 A와 관의둘레길이 S로부터 등가직경 d_e 를 다음식에서 구한다.

이를 식7에서 식10의 d의대사 사용한다.

$$d_e = 4 \frac{A}{S} \quad (11)$$

$A/S = m$ 를 수력평균 반경이라 한다.

[예제 8]

장변 20cm 단변 10cm의 각형단면의 등가직경을 구하시오

[해답]

단면적 $A = 20 \times 10 = 200[\text{cm}^2]$

주변길이 $S = 2 \times (10 + 20) = 60[\text{cm}^2]$

$$d_e = 4 \frac{A}{S} = 4 \times \frac{200}{60} = 13.33[\text{cm}]$$

1.4 국부저항과 상당길이

배관시스템은 직관만으로 구성되어 있지 않고 방향의전환 분류, 합류, 관직경의 확대, 축소 밸브등의 부속품 설치 등이 같이 이루어져 있다.

이와같은 직관 이외부분에는 마찰에 의한 압력손실외에 방향전환과 유속의 변화등에 의한 압력손실이 발생하며 이를 국부저항이라 한다.

국부저항에의한 압력손실 $\Delta P_d[\text{kgf/m}^2]$ 는 다음식에 의한다.

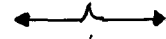
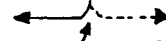
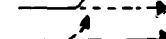
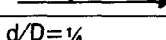
$$\Delta P_d = \xi \frac{v^2}{2g} \gamma \quad (12)$$

여기서 γ, g, v 는 식1에서 사용한 내용과 동일하며 ξ 는 국부저항계수 또는 손실계수라 하며 이음쇠류 밸브류 등의 형상, 크기, 직경 등에 따라 다르며 이는 <표2>와 같다.

[예제 9]

호칭경 50A의 앵글밸브를 전개하고 유속 1.5m/s로 물이 흐를때 국부저항에 의한 압력손실을 구하시오.

<표2>. 국부저항계수

명칭	형식	ξ
스통밸브	全開 40A 以下	15.0
	50A 以上	7.0
앵글밸브	全開 40A 以下	8.5
	50A 以上	3.9
게이트밸브	開度 1/2	4.4
	" 3/4	0.9
	全開 40A 以下	0.27
	開度 1/2	3.2
	" 3/4	0.72
	全開 50A 以上	0.18
스윙체크밸브		2.0
엘보	45° 단엘보	0.15
	장엘보	0.125
	90° 단엘보	0.26
	장엘보	0.20
	180° 단엘보	0.60
	장엘보	0.24
티		3.0
		1.8
		1.5
		0.68
급확대	$d/D = 1/4$	0.86
	$d/D = 1/2$	0.55
	$d/D = 3/4$	0.20
급축소	$d/D = 1/4$	0.44
	$d/D = 1/2$	0.36
	$d/D = 3/4$	0.20

[해답]

표2에 의해 50A 앵글밸브 국부저항계수 ξ 는 3.9이다.

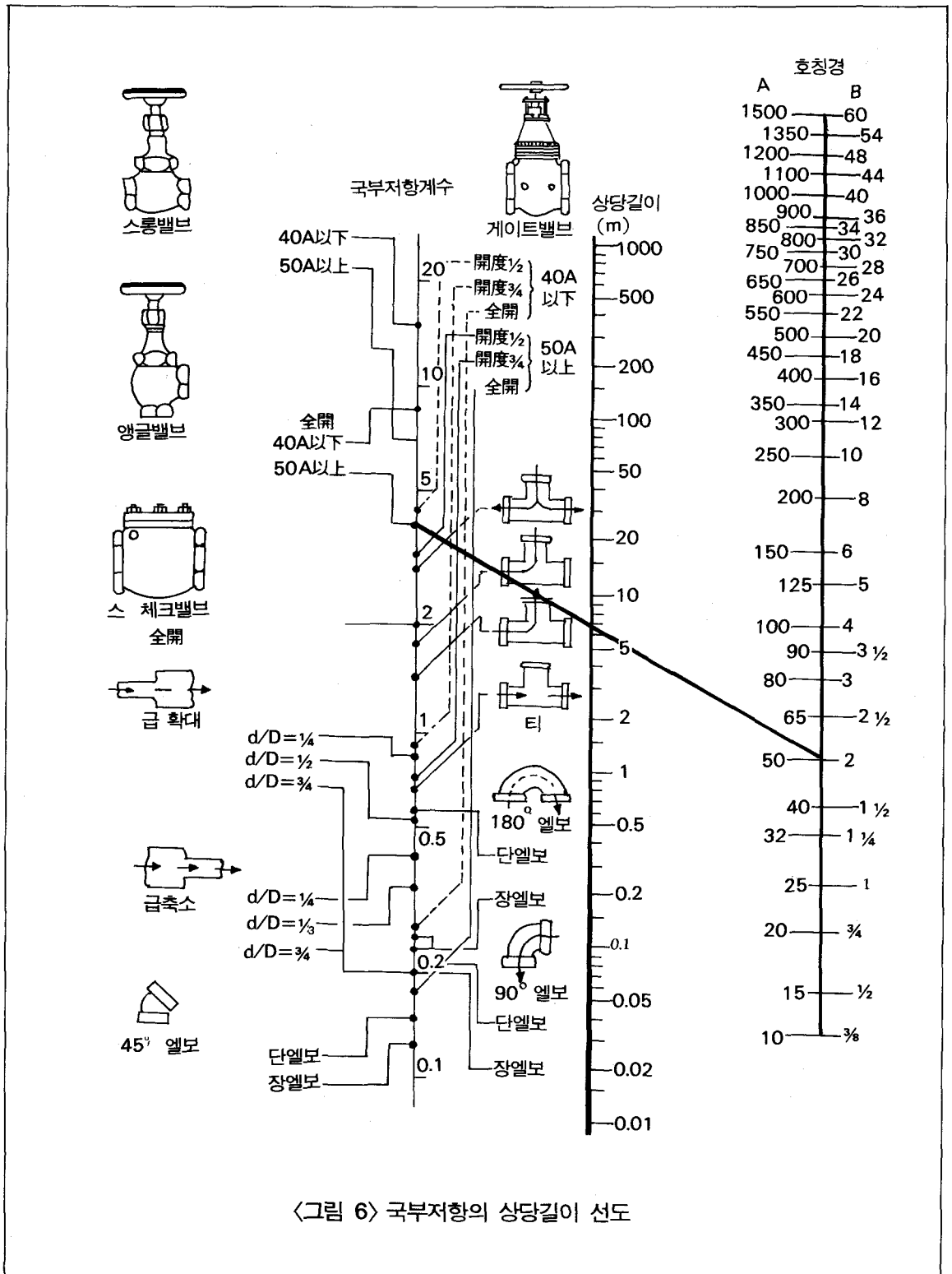
20°C 의 물 $\gamma = 998.20 [\text{kgf/m}^3]$

$g = 9.8[\text{m/s}]$ $v = 1.5[\text{m/s}]$ 를 식 12에 대입하면

$$\begin{aligned} \Delta P_d &= 3.9 \times \frac{1.5^2}{2 \times 9.8} \times 998.2 \\ &= 446.9[\text{kgf/m}^2] = 446.9[\text{mmAg}] \end{aligned}$$

이와같은 국부저항에 의한 압력손실을 같은 압력손실이 발생하는 동일관경의 직관길이를 환산하면 배관계 전체의 압력손실을 구하는데 편리하다.

이를 위하여 직관의 마찰저항에 의한 압력손



〈그림 6〉 국부저항의 상당길이 선도

실을 구하는식 18·7과 국부저항에 의한 압력손실의 식(12)를 같이하여 구하면

$$\lambda \frac{\ell}{d} \times \frac{v^2}{2g} \gamma = \xi \frac{v^2}{2g} \gamma$$

$$\lambda \frac{\ell}{d} = \xi \quad (14) \text{에서 } \ell \frac{\xi}{\lambda} \quad (13) \text{ d } (15) \text{가되며}$$

윗식에서 국부저항에 의한 압력손실을 같은 압력손실이 이 발생하는 직관의 길이 ℓ 을 구하며, 이를 국부저항의 상당장이라 하며 보통 $\ell_e(m)$ 로 표시한다.

<그림6>은 <표2>에 표시된 각종 국부저항의 상당길이를 구하기 위한 계산 선도이다.

[예제 10]

예제 9에서의 앵글밸브 상당길이를 <그림6>에 의해 구하시오.

[해답]

<그림6>의 실선으로 표시된 해답이다.

왼쪽의 수직축상에 앵글밸브 50A 이상의 점과 오른쪽의 호칭경 50A와의 점을 직선으로 연결하여 상당길이의 수직축과 교차한 점을 구하면 상당길이는 6.5m가 된다.

식7에 의해 50A의 직관 1.5m/s 20°C의 물이 흐를경우 배관길이 1m당의 마찰저항에 의한 마찰저항을 구하여본다.

호칭경 50A의 내경은 52.9mm이며 예제 5의 답을 이용하여 20°C의 물을 50A의관에 1.5m/s로 흐를경우

$$Re = \frac{v^d}{\nu} = \frac{1.5 \times 0.0529}{1 \times 10^{-6}} = 7.935 \times 10^4$$

또한 관내면 절대조로 $\epsilon = 0.3[\text{mm}]$ 로 할때

$$\frac{\epsilon}{d} = \frac{0.3}{52.9} = 0.005671$$

<그림5>에 의해 Re와 ϵ/d 에서 $x = 0.032$ 를 구한다. 이 값을 식 7에 대입하면

$$\begin{aligned} \Delta P_f &= \lambda \frac{\ell}{d} \times \frac{v^2}{2g} \lambda \\ &= 0.032 \times \frac{1}{0.0529} \times \frac{1.5^2}{2 \times 9.8} \times 998.2 \\ &= 69.3[\text{kgf/m}^2] \end{aligned}$$

이 결과를 예제9의 답 446.9 kgf/m²으로 나누면 50A 앵글 밸브 전개시 상당길이 ℓ_e 가 구하여 진다.

$$\ell_e = \frac{446.9}{69.3} = 6.45[\text{m}]$$

<그림6>에 의한 값과 동일하다.