

공조배관의 설계

생산기술연구원 건설사업부 과장 박종일

2. 냉온수 배관의 설계

2.1 냉온수 배관의 유량선도

배관의 저항을 앞절에서와 같은식 7 식12를 이용하며 계산하면 대단히 복잡하여진다. 따라서 일반적으로 이용하는 배관에 대하여는 식7을 이용하여 마찰저항에 의한 압력손실도를 작성하여 사용하고 있다.

그림7은 20℃의 물을 일반적으로 사용하고 있는 배관용 탄소강 강관(KSD 3507)에 대하여 작성된 선도로서 수배관 유량선도(마찰저항선도)라하며 그림작성시 관내면의 절대로도 $\epsilon = 0.3(\text{mm})$ 로 하였다. 선도의 요소는 관의 호칭경과 유속을 사용하며 횡축에 유량, 종축에 직관 1m 당의 압력손실[mmAg]를 나타냈다.

계산에 사용되는 가스관의 각종제원은 표3과 같다.

[예제 1]

호칭경 50A 관에 유속 1.5m/s 의 물이 흐를때 유량과 직관 1개당의 압력손실을 구하시오.

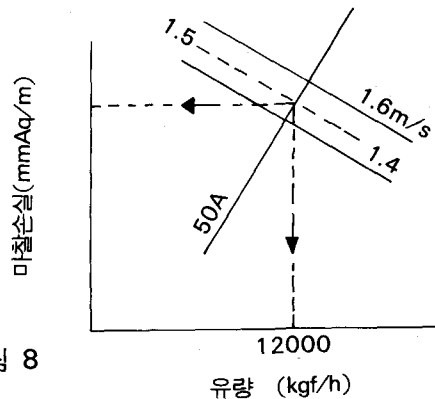


그림 8

[해답]

그림 7에서 50A와 1.5m/s의 교점을 구하여 그림 8과 같이 수평축상에 유량 200kg/min 이 구하여지며 수직축에서 압력손실 72[mmag/m]가 구하여진다.

그림 7은 20℃의 물에 대한 선도이다. 수온이 다른 물의 비중량이 변하므로 t℃의 유량 W_t 는 20℃의 유량 W_{20} 에 대하여 다음과 같이 보정하여야 한다.

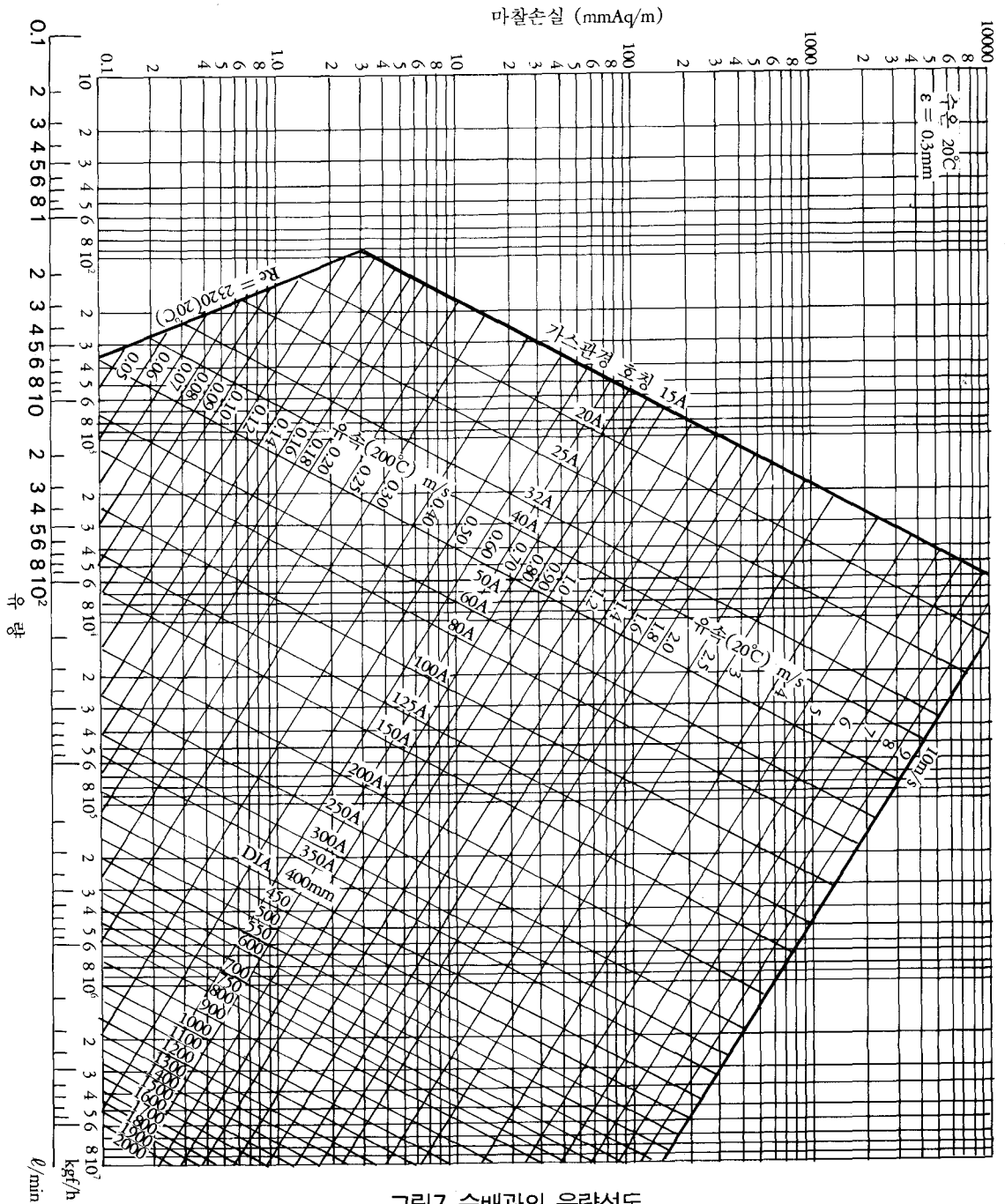


그림7 수배관의 유량선도

$$W_t = W_{20} \times \frac{\gamma_t}{\gamma_{20}} \text{ (kg/h)}$$

[예제 12]

예제 11의 수온을 80°C 로 할 때 유량과 압력

손실을 구하십시오.

[해답] 표4에 온도와 물의 비중량을 나타냈다. 이에 의해

$$\gamma_{20} = 998.2$$

$$\gamma_{80} = 971.8$$

표3. 배관용 탄소강 강관 규격(KSD 3507)

관의 호칭		바깥지름 [mm]	바깥지름 허용차		두께 [mm]	두께의 허용차	소켓을 포함하지 않은 무게 [kg/m]
A	B		테이퍼 나사관	기타 관			
15	1/2	21.7	± 0.5mm		2.65		1.25
20	3/4	27.2	± 0.5mm		2.65		1.60
25	1	34.0	± 0.5mm		3.25		2.46
32	1¼	42.7	± 0.5mm		3.25		3.16
40	1½	48.6	± 0.5mm		3.25		3.63
50	2	60.5	± 0.5mm	± 1%	3.65		5.12
65	2¼	76.3	± 0.7mm	± 1%	3.65	6.34	
80	3	89.1	± 0.8mm	± 1%	4.05	+규정하지 않음 -12.5% 최대	8.49
100	4	114.3	± 0.8mm	± 1%	4.5		12.2
125	5	139.8	± 0.8mm	± 1%	4.85		16.1
150	6	165.2	± 0.8mm	± 1%	4.85		19.2
250	8	216.5	± 1.0mm	± 1%	5.85		30.4
250	10	267.4	± 1.3mm	± 1%	6.40		41.2
300	12	318.5	± 1.5mm	± 1%	7.00		53.8
350	14	355.6	—	± 1%	7.60		65.2
400	16	406.4	—	± 1%	7.9		77.6
450	18	457.2	—	± 1%	7.9		87.5
500	20	508.0	—	± 1%	7.9		97.4

$$\Delta P_{1, 80} = 72 \times \frac{971.8}{998.2} = 70.1 [\text{mmAq/m}]$$

$$W_{80} = 200 \times \frac{998.2}{971.8} = 194.71 [\text{kgf/m}]$$

2.2 냉온수 배관법의 분류

(1) 일과식과 순환식

일과식은 그림 9(a)와 같이 패키지형 공조기의 냉각수로 시수 또는 정수를 사용후 그대로 배수로 흘러 버리는 방식으로 초기에 소규모 설비에서 사용하였으나 최근에는 물의 유효한 이용 측면에서 사용되고 있지 않고 있다.

순환식은 그림 9(b)와 같이 한번 사용한 물을 냉각탑에서 냉각하여 재이용하는 것으로 일반적으로 냉온수배관이나 냉각수배관에 사용하고 있다.

(2) 개방식과 밀폐식

그림 10은 냉동기주변 냉수와 냉각수의 배관계통을 나타내는 것으로 냉각수배관측은 냉각탑에서 냉각수가 대기에 개방되어져 있는 방식을

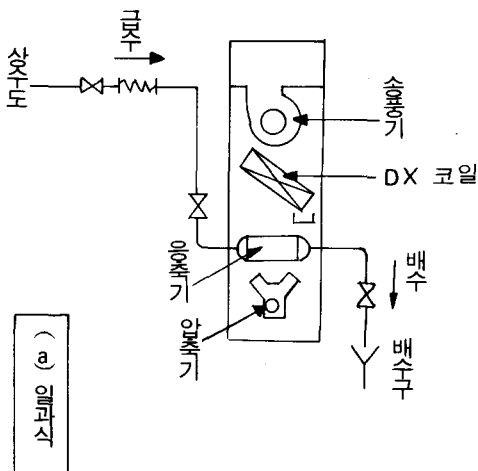
개방식이라 하며 냉수측은 냉동기의 증발기와 공기조화기의 공기냉각코일 사이를 순환하여 대기중에 냉수가 개방되어져 있지 않은 배관방식을 밀폐식이라 한다.

밀폐식의 경우 배관계내의 수온이 변화하면 물의 팽창 수축이 발생한다. 밀폐된 용기에의 물의 팽창시에는 용기내 큰 압력이 작용하여 용기가 파손 될 수도 있으며 수축시에는 배관중의 아주 작은 틈새등을 통하여 공기가 시스템내도 침입하여 물의 흐름과 열교환기의 전열을 방해한다. 따라서 밀폐식에서는 이와 같은 물의 팽창 수축을 흡수하기 위한 팽창탱크를 실시한다. 팽창탱크는 그림 11(a)와 같이 배관계의 최고 높은 부위에 설치하여 탱크내의 수면이 대기와 접촉하는 개방식 팽창탱크와 1b)의 그림과 같이 배관계의 임의의 장소에 설치하여 팽창수의 시스템 밖으로의 배출, 수축시 펌프로의 압송 등을 하거나 팽창수조내 불활성 가스를 봉입하여 가스의 체적변화에 의해 팽창수축을 흡수하는 밀폐식

표4. 수온과 물의 비중량

온도 (°C)	비중량 γ (kg/l)	1/ γ (l/kgf)
0	0.99984	1.00016
10	0.99970	1.00030
20	0.99820	1.00180
30	0.99564	1.00438
40	0.99221	1.00785
50	0.98804	1.01210
60	0.98321	1.01708
70	0.99978	1.02272
80	0.97180	1.02902
90	0.96531	1.03594
100	0.9583	1.04351
110	0.951	1.0515
120	0.943	1.0604
130	0.935	1.0695
140	0.926	1.0799
150	0.917	1.0905
160	0.908	1.1013
170	0.898	1.1135
180	0.887	1.1273
190	0.876	1.1415
200	0.865	1.1560

그림 9 배관방식



팽창 탱크로 나뉜다.

(3) 직접환수법(Direct Return)과 역환수법(Reverse Return)

그림 12(a)에서와 같이 다수와 방열기, 팬코일유닛 등이 1개의 배관계에 접속되어져 있는 경우.

그림의 팬코일 유닛 A와 냉동기간의 배관전체 길이가와 팬코일유닛 F와의 길이를 비교하면 ①~②, ③~④ 구간만큼 F에 대해 배관길이가 길어지며 배관저항도 커진다.

따라서 A와 F에 대하여 배관계의 저항을 같게 하여 유량의 불균형을 해소하기 위하여는 A에 밸브를 설치하여 관로를 좁게하여 국부저항을 증가시켜 F에 대한 전 저항을 같게할 필요가 있다.

이와 같은 방법을 직접 환수법이라 한다. 이에 대하여 그림 12(b)에서는 A로부터의 환수관을 한번 더 F쪽으로 회전시켜 B,C,D,E,F의 환수와 같이 냉동기로 보내면 A와 F에 대하여 배관전체의 길이가 같게되어 배관계의 전저항은 같아지고 유량의 균형도 유지된다. 이러한 배관법을 역환수법(Reverse Return)이라 한다.

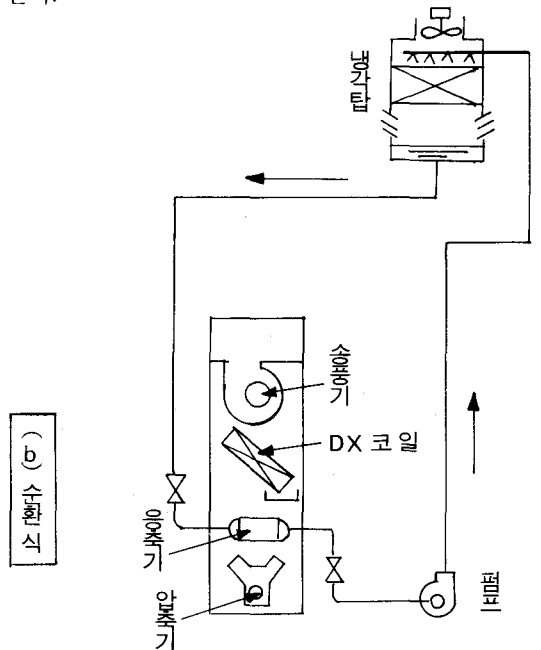
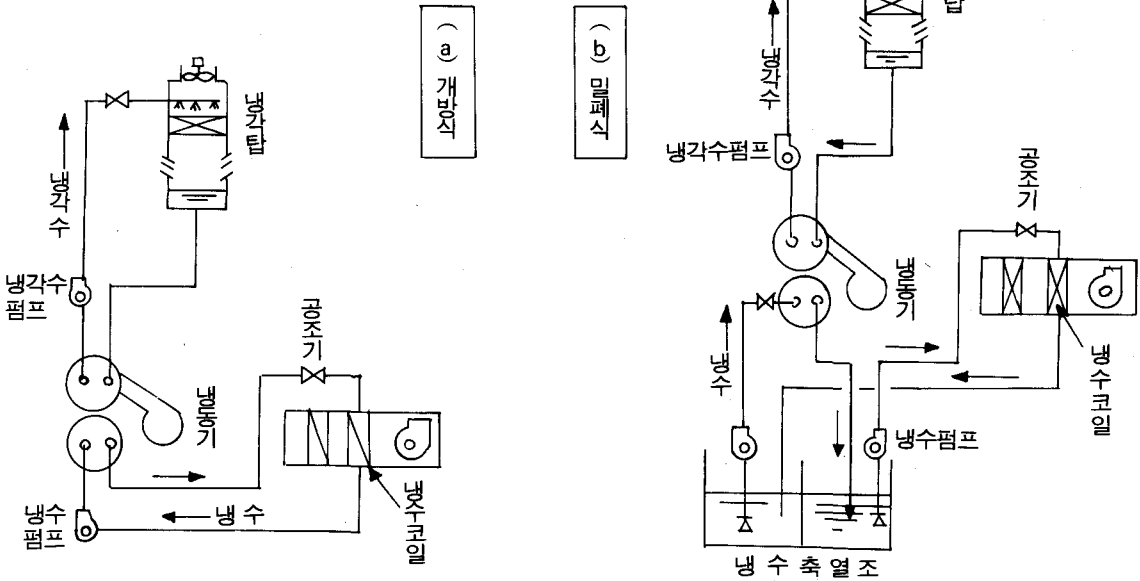


그림 10 배관방식



역환수법은 유량의 균형유지에는 바람직하나 배관설치공간이 넓어야 하며 배관공사비도 많이 소요된다.

주배관에서 최초의 기기와 최종기기간의 배관 길이가 30m정도 이내의 경우에는 적용되지 않으며 기기가 수개의 그룹으로 나누어 설치되어져 있는 경우 그룹내의 직접환수법 그룹간에는 역환수법을 채용하는 방법으로 한다.

단위마찰손실은 30~100mmAq/m 정도의 값이 이용되어지나 최종적으로는 비관비용과 펌프동력비를 고려하여 가장 경제적으로 되도록 결정하여야 한다.

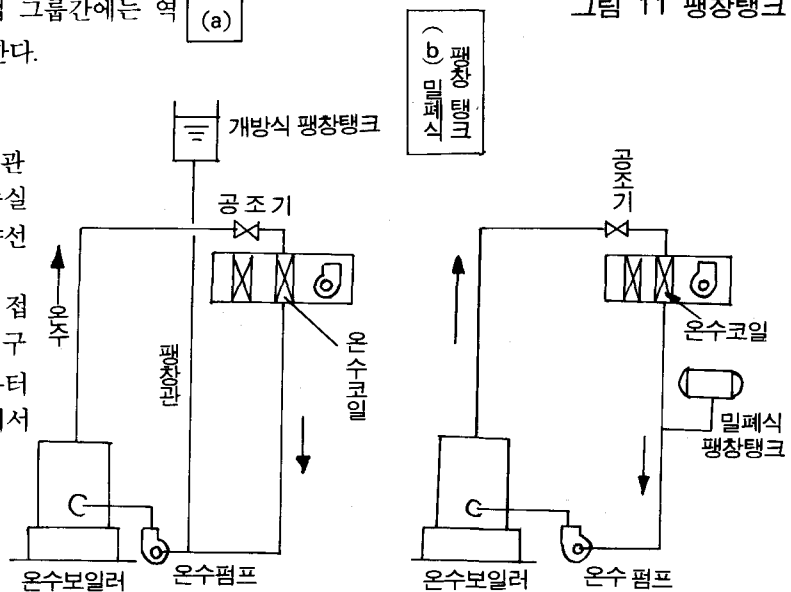
일반적으로 배관계의 전길이가 길수록 단위마

2.3 단위마찰 손실과 권장 유속

수배관 설계시 일반적으로 배관 1m당 마찰 저항에 의한 압력손실(단위마찰손실)을 정하여 유량선도에서 관경을 결정한다.

이 경우 표5와 같이 배관계에 접속하는 각 기기의 소요유량을 구하는 경우 배관의 말단에서 부터 상류로 유량을 더하여 각부분에서의 유량을 구하며 이 유량에 대하여 유량선도에 의해 각부분의 관경을 구한다.

그림 11 팽창탱크



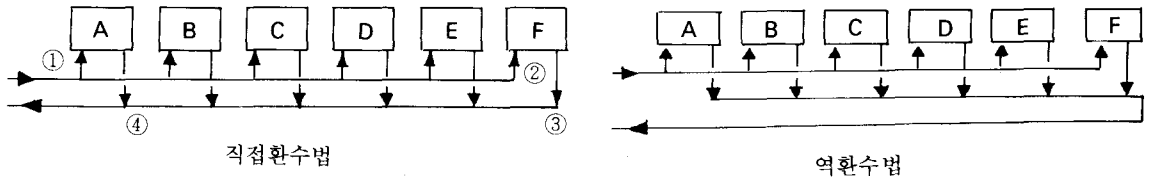


그림 12 배관방식

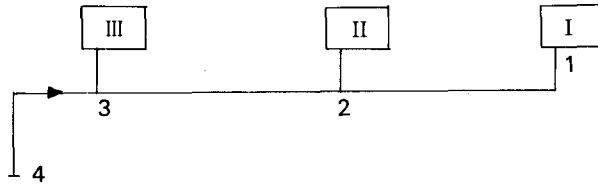


표 5 배관계 설계서

기기명	구간	유량 (kgf/h)	관경 (A)	유속 (m/s)	단위저항 (mmAq/m)	직관,밸브, 부속류등의 분류	직관길이 또는 상단길이(m)	전저항값 (mmAq)
팬코일유닛 I	1~2	w_1	A_1	v_1	P_2	직관 엘보 티	l_1	$l_1 p_1$
	~	w_1						$l_1 p_1$
	~	w_1						$l_1 p_1$
	~							
팬코일유닛 II	2~3	w_2	A_2	v_2	P_3	직관 티	l_2	$l_2 p_2$
	~	$w_1 + w_2$						$l_2 p_2$
	~	$w_1 + w_2$						
팬코일유닛 IV	3~4	w_3	A_3	v_3	P_3	직관 엘보	l_3	$l_3 p_3$
	~	$w_1 + w_2 + w_3$						$l_3 p_3$
	~							
	~							

표6. 관내유속

(a) 침식작용을 고려한 허용최대유속

운전시간(h/년)	유속(m/s)	관경(A)	유속(m/s)
1500	3.6	25	0.5~1
2000	3.45	50~100	1~2
3000	3.3	125	2~3.6
4000	3.0		
6000	2.7		
8000	2.4		

찰손실이 적은편이 경제적이다.

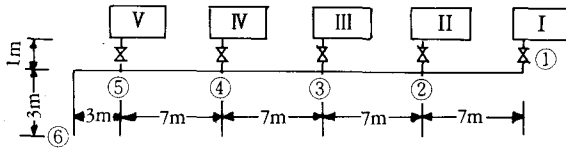
배관계의 유속이 어느정도 이상이 되는 경우

물에 포함되어져 있는 기포, 모래 등의 불순물에 의한 관내벽침식, 소음의 발생 워터 해머 등의 피해가 발생하므로 표6과 같이 경험적으로 얻어진 허용최대유속 이하의 유속이 되도록 하여야 한다.

[예제 13]

그림 13과 같은 배관계에서 각 팬코일유닛의 냉방용 설계열량이 다음과 같은 경우 각 구간의 관경을 구하시오.

- 팬코일 유닛 I 2400(kcal/h)
- II 3000(kcal/h)
- III 3000(kcal/h)
- IV 3000(kcal/h)
- VI 2400(kcal/h)



[해답]

냉수배관의 각 팬코일 유니트조의 입구냉수 온도 7℃ 출구온도 12℃로 한다.
각 유니트별 소요수량은 다음식에 의한다.

$$W = \frac{Q}{C(t_1 - t_2)}$$

W : 소요수량(kgf/h)

Q : 유니트의 열부하(kcal/h)

C : 물의 비열

t₁, t₂ : 유니트 입구 출구 수온

윗 식에 의해

$$\text{유니트 I, V } w = \frac{2400}{1 \times (12 - 7)} = 480 [\text{kgf/h}]$$

유니트 II, III, IV

$$w = \frac{3000}{1 \times (12 - 7)} = 600 [\text{kgf/h}]$$

이결과를 이용하여 표7을 작성하며 배관 각 부분의 단위와 마찰 손실과 유속은 그림 7에 의해 구한다.

위의 예에서 각구간의 관내유속은 1m/s 이하이며 표6의 허용 최대유속과 비교하면 낮은편이나 관경을 작게하면 마찰손실이 크게되므로 이와같이 선정하였다.

이보다 관경이 가늘면 관내유속이 느려도 단위 마찰손실이 비교적 커지게된다.

[예제 14]

그림 14의 5층 사무실 건물에 각층 유니트 방식을 채용한 경우의 각층공조기의 소요수량을 표시하였다.

각부분의 관경을 구하시오.

[해답]

그림 7을 이용하여 각부분의 관경을 구한 결과는 표8에 나타냈다.

사무실건물은 오전 9시부터 오후 5시또는 6시까지 운전되는 경우가 대부분이어서 연간 운전일수 300일로 하면 연간 운전시간은 3000시간정도 된다.

따라서 허용최대유속은 3.3m/s한다.

그림7에서 마찰손실을 100mmAq/m 정도로 할때 관경 125A 유량 150000kgf/h 이하에서는 제한값을 넘지 않는다.

표7 배관계산서 (예제 13)

기기명	구간	유량 (kgf/h)	관경 (A)	유속 (m/s)	단위저항 (mmAq/m)	직관, 밸브, 부속류등의 분류	직관길이 또는 상단길이(m)	전저항값 (mmAq)
FCU-I	1~2	480	20	0.35	14	직관 게이트밸브전개 단엘보 티	1+7	
	1~2						0.15	
	1~2						0.15	
	1~2						0.4	
FCU-II	2~2	600	20	0.8	68	직관 티	7	
		1080					0.4	
FCU-III	3~4	600	25	0.75	42	직관 티	7	
		1680					0.5	
FCU-IV	4~5	600	25	1.1	90	직관 티	7	
		2280					0.4	
FCU-V	5~6	480	32	0.8	35	직관 단엘보	6	
		2760					0.3	

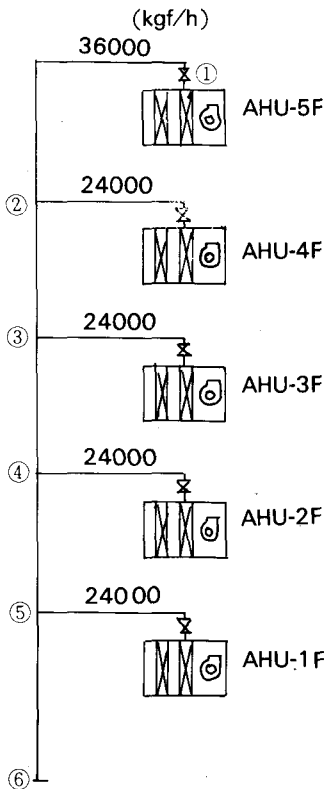


그림 14

2.4 팽창수조

2.2에서 서술한 바와 같이 밀폐배관계에서 물의 팽창시, 휴지시와 운전시의 수온이 다르므로 이때 배관계 내의 물이 팽창, 수축한다. 팽창수조는 이 물의 팽창수축을 흡수하기 위한 탱크이다.

표8 배관계 계산서 (예제 14)

기기명	구간	유량 (kgf/h)	관경 (A)	유속 (m/s)	단위저항 (mmAq/m)	직관, 밸브, 부속류등의 분류	직관길이 또는 상단길이(m)	전저항값 (mmAq)
AHU-5F		36000						
AHU-4F	1~2	36000	80	1.95	70			
AHU-3F	2~3	60000	100	1.95	70			
AHU-4F	3~4	84000	125	1.75	30			
AHU-5F	4~5	108000	125	2.3	50			
	5~6	132000	125	2.7	67			

표8의 구간 3~4는 관경 100A로 하여도 단위 마찰저항 100mm Aq/m 관내유속 2.7m/s 정도이나 소음 발생 펌프소요수두를 고려하여 관경을 1단계키운다.

본 예제와 앞의 예제에서 수온은 7°C 부터 12°C이므로 그림7에서 구한 압력 손실 값을 보정할 필요가 있으나 오차는 0.15% 정도이므로 무시한다.

배관계에는 배관이외에 공기냉각코일, 냉동기의 증발기, 팬코일 유니트, 온수보일러, 열교환기 등의 밀폐배관계를 순환하는 물을 내부에 수용하고 있는 기기류가 많이 있다.

동절기 물의 팽창시 10°C의 물을 배관계 내에 충전하고 난방을 위하여 보일러로 서서히 가열하여 50°C의 온수를 만들면 실내의 방열기부터 온수보일러까지 수온이 50°C가 되며 팬코일 유니트 출구에서 온수펌프로 돌아오는 배관계의 수온은 45°C 정도가 된다.

이와같은 시스템내의 전수량을 V, 온도가 t₁에서 t₂까지 상승시의 각기의 비중량을 γ₁[kgf/m³], γ₂[kgf/m³]라 할때 시스템 내에서 물의 체적 팽창량 v는 다음식에 의해 구한다.

$$v(\ell) = 1000V \left(\frac{1}{\gamma_2} - \frac{1}{\gamma_1} \right)$$

물의 비중량 γ의 값은 표 4에 표시하였다.

[예제 15]

배관계전체의 내용적 20000ℓ이다. 여기서 10°C 물을 채운후 50°C까지 가열할때 물의 팽창량을 구하시오.

[해답]

표 4에 의해 10°C와 50°C의 물의 비중량은 γ₁₀ = 999.7[kgf/m³] γ₅₀ = 988.04[kgf/m³]이 된다. 식 19에 의한 팽창량 v는

$$\begin{aligned}
 v &= 1000V \left(\frac{1}{\gamma_{50}} - \frac{1}{\gamma_{10}} \right) \\
 &= 1000 \times 20,000 \times \left(\frac{1}{988.04} - \frac{1}{999.7} \right) \\
 &= 33.3\ell
 \end{aligned}$$

개방식 팽창수조의 구조는 그림 15에서와 같다. 그림중 b의 부분은 배관시스템내의 팽창 수축량을 흡수하며 이의 상하 a와 c는 팽창탱크내의 물이 없어지거나 급수량과다인 경우의 안전을 위한 여유이다. 일반적으로 b의 크기는 계산에 의해 구한 팽창수축시 수조내 수위 변동의 2~2.5 배 정도로 한다.

개방식 팽창수조는 일반적으로 그림 16과 같이 순환펌프 흡입측에 팽창관으로 연결하며 설치 높이는 장치의 최고위치보다 1m 이상으로 한다.

팽창관은 밸브를 설치하지 않으며 팽창수조의 용량에 따른 팽창관과 기타배관의 관경은 표 9와 같다.

표. 9 팽창수조의 정속배관경

(a) 팽창관 관경

보일러전열면적 (m ²)	관경 (A)
5	25
6~10	32
11~16	40
17~33	50
34~68	65
69~111	80
112~170	100

(b) 기타 접속관

관의종류	탱크용량(t)		
	~1000	1000~4000	4000~
보급수관	20(A)	25(A)	32(A)
배수관	15	20	25
오버플로관	32	40	50
경수관	20		
통기관	25	25	25

그림 15 개방식 팽창탱크

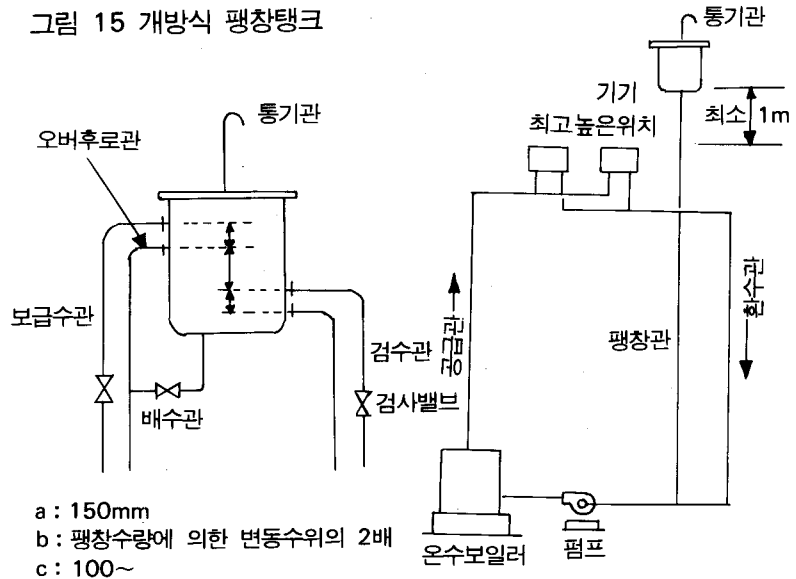


그림 16 개방식 팽창탱크의 설치 위치

밀폐식 팽창탱크는 배관계에서 설치장소에 대한 제한을 받지 않으며 온도 100°C이상의 고온수 배관에서의 사용시 다음식에서와 같은 기압압력이 필요하다.

$$h_s \times (P_s + h_s) \pm (H_p - \Delta P_f) + \Delta h$$

h_s : 기압 압력 [mAq]

P_s : 장치의 최고수온에 상당하는 포화압력 mAq (게이지압)

h_s : 장치의 최고 높이 [m]

H_p : 펌프의 전양정 [m]

ΔP_f : 팽창수조에서 장치의 최고위치까지의 배관저항 [mAq]

Δh : 여유압력 [mAq]

식 20에서 ±의 부호는 팽창수조가 펌프의 흡입측에 있는 경우에는 (-) 토출측에 접속되는 경우에는 (+)로 하며 Δh 는 $(P_s + p_x)$ 의 20% 정도로 한다.

밀폐식 팽창탱크의 기압방식과 탱크 형식에는 여러가지가 있으나 본장에서는 생략한다.

2.5 냉온수용 자동제어밸브의 구경 결정

공기조화기내의 냉온수 코일과 팬코일 유니트 등은 열부하의 변동에 따라 자동제어 밸브에 의해 공급 냉온수량을 제어한다. 자동제어 방식

은 ON-OFF 제어와 비례제어 등이 있으며 여기에서는 자동제어 밸브의 구경 선정법에 대하여 기술하였다.

ON-OFF 제어를 하는 밸브류는 접속배관 환경과 동일하게 한다. 밸브구경을 작게 하고자 할때는 제어대상기기 저항의 25% 정도가 되도록 관경을 선정한다.

2방면 3방면을 사용하여 비례제어를 할 경우 그림 17과 같이 제어밸브의 저항이 제어밸브와 제어대상기기 저항값 합계의 적어도 50~70% 범위에서 압력손실을 선정한다.

제어밸브의 압력손실이 결정되면 다음식에 의해 제어밸브의 유량계수 C_v 값을 구한다.

$$C_v = \frac{0.07w\sqrt{F}}{\sqrt{P}}$$

W : 최대유량 [l/mm]

γ : 비중량 [kgf/l]

P : 밸브의 압력강하 [kgf/cm^2]

유량계수로서 C_v 대신 K_v 를 사용하는 경우도 있으며 이들의 관계는 다음과 같다.

$$K_v = 14.3C_v$$

각종제어밸브의 구경과 C_v 값의 관계는 표 10과 같다.

그림 17 수 자동제어밸브의 저항

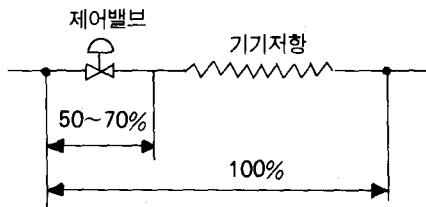


표. 10 C_v 값의 표

밸브종류	크기	A	15	20	25	32	40	50	65	80	100
		B	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	4
2방면	안좌변	1.2.5.4	6.3	10	16	25	40	63	90	160	
	복좌변			10	16	25	40	63	90		
3방면	단좌변	4	6.3	10	16	25	40	63	100	100	

[예제 16]

공기조화기 내에 설치된 공기냉각코일의 자동 2방면의 구경을 선정하시오. 다만 설계 냉수량은 300 l/mm 공기냉각코일의 수저항 2.5mAq로 한다.

[해답]

자동제어 밸브와 공기냉각 코일의 저항값의 합계의 60%를 자동제어밸브의 압력손실 P 로 한다.

$$P = (2.5 + P) \times 0.6$$

$$P = \frac{2.5 \times 0.6}{1 - 0.6} = 3.75 \text{ mAq} = a375 [kgf/cm^2]$$

이 값을 식 21에 대입하여 자동제어밸브의 유량계수 C_v 값을 구한다.

$$C_v = \frac{0.07 \times 300 \times \sqrt{1}}{\sqrt{0.375}} = 34.3$$

단좌 2방면 사용시 표. 10에 의해 $C_v = 34.3$ 일때 구경은 40A로 한다. 자동제어밸브의 선정시 배관계 전체에 점하고 있는 제어밸브의 저항이 클수록 제어성이 좋아지므로 계산한 C_v 값에 의해 밸브 선정시 계산값에 근사치에서 작은쪽의 C_v 값의 밸브를 선정하는 것이 바람직하다.

다만 이경우 밸브의 저항을 식 21에 의해 계산을 다시하여 정확한 값을 구할 필요가 있다.

$$P = \frac{0.0049 \omega^2 \gamma}{C_v^2} [kgf/cm^2] \quad 23$$

위의 예제에 대하여 P 의 값을 구해서 수정하면

$$P = \frac{0.0049 \times 300^2 \times 1}{25^2} = 0.706 [kgf/cm^2] = 7.1 \text{ mAq}$$

[다음호에 계속]