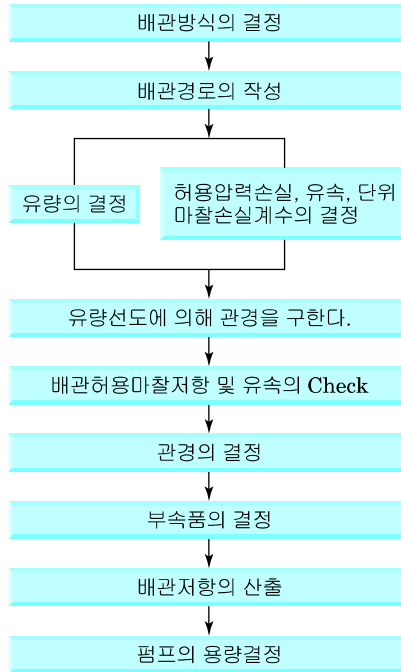


# 1. 배관설계

## 1) 배관설비의 설계순서



## 2) 관경의 결정방법

### ① 유량의 결정

냉난방 부하에 대한 방열기, FCU, 공기조화기 등의 기기에 필요한 순환수량은 다음 식으로 구한다.

$$Q = \frac{q_s \times 3600}{c_p \times \rho \times 60 \times \Delta t} = \frac{q_s 60}{c_p \rho \Delta t}$$

여기서,  $Q$  : 유량[LPM]

$q_s$  : 기기의 부하[kW]

$c_p$  : 순환수의 평균비열 : 4.2[kJ/kg·K]

$\Delta t$  : 기기출입구의 온도차[°C]

$\rho$  : 순환수 밀도 : 1[kg/l]

### ② 관경의 결정

관경은 경제성을 고려하여 결정한다. 단위마찰저항을 크게 하면, 유속이 빠르게 되어 관경을 작게 할 수 있으나 펌프의 설비비, 운전비가 높게 된다. 반대로 적게 하면 배관설비비는 높게 되고 펌프설비비와 운전비는 적게 된다. 이와 같이 배관관경과 펌프설비비,

운전비는 서로 관계가 있다.

관경은 일반적으로 유량과 단위길이당 마찰손실로부터 배관마찰손실신도를 이용하여 구하는데 최종적으로 관내의 유속이 과대하게 되지 않도록 한다.

일반적으로 배관경이 적은 범위(80A)에서는 단위마찰손실을 0.3~1.0kPa/m (30~100mmAq/m) 사이의 적당한 기준 단위마찰손실을 가정하여 그 전후의 허용유량에 대한 관경을 선정한다.

### 3) 펌프의 선정

#### ① 밀폐회로방식의 경우

펌프의 전양정 =  $\kappa_1$  (배관저항 + 기기저항) [mAq]

$\kappa_1$  : 여유계수(1.1정도)

#### ② 개방회로방식의 경우

펌프의 전양정 =  $\kappa_2$  (실양정 + 배관저항 + 기기저항) [mAq]

$\kappa_2$  : 여유계수(1.1~1.3정도)

#### ③ 펌프의 축동력

$$L_s = \rho g H Q / \eta$$

## 2. 덕트설계

### 핵심 1 덕트의 저항

#### (1) 정압과 동압

유체가 관내를 흐를 때는 다음의 베르누이법칙이 성립한다.

$$p_1 + \frac{v_1^2}{2}\rho + \rho gh_1 = p_2 + \frac{v_2^2}{2}\rho + \rho gh_2 + \Delta p_e$$

여기서,  $p$  : 정압(static pressure)(Pa)

$v$  : 유속(m/s)

$h$  : 기준선에서의 높이(m)

$\rho$  : 유체의 밀도(kg/m<sup>3</sup>)

$\Delta p_e$  : 마찰 등에 의한 압력손실(Pa)

$g$  : 중력가속도(m/s<sup>2</sup>)

$\frac{v^2}{2}\rho$ 를 동압(velocity pressure)

$p + \frac{v^2}{2}\rho$ 를 전압(total pressure)라 한다.

공기가 흐르는 덕트에 있어서는 위치에너지를 무시한 다음식이 사용한다.

$$p_1 + \frac{v_1^2}{2}\rho = p_2 + \frac{v_2^2}{2}\rho + \Delta p_e$$

즉, 전압=정압+동압

#### (2) 직선 덕트의 마찰저항

$$\Delta p_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2}\rho$$

여기서,  $\lambda$  : 마찰계수

$v$  : 평균풍속(m/s)

$l$  : 덕트의 길이(m)

$\rho$  : 공기의 밀도(kg/m<sup>3</sup>)

$d$  : 덕트의 지름(m)

### (3) 국부저항

덕트의 도중에는 굽은 곳(elbow, vend 등), 분기, 확대, 축소 등이 있고 이들 부분을 공기가 흐를 때 생기는 저항을 국부저항  $\Delta p_r$ 은 다음 식과 같다.

$$\Delta p_r = \zeta \frac{v^2}{2} \rho$$

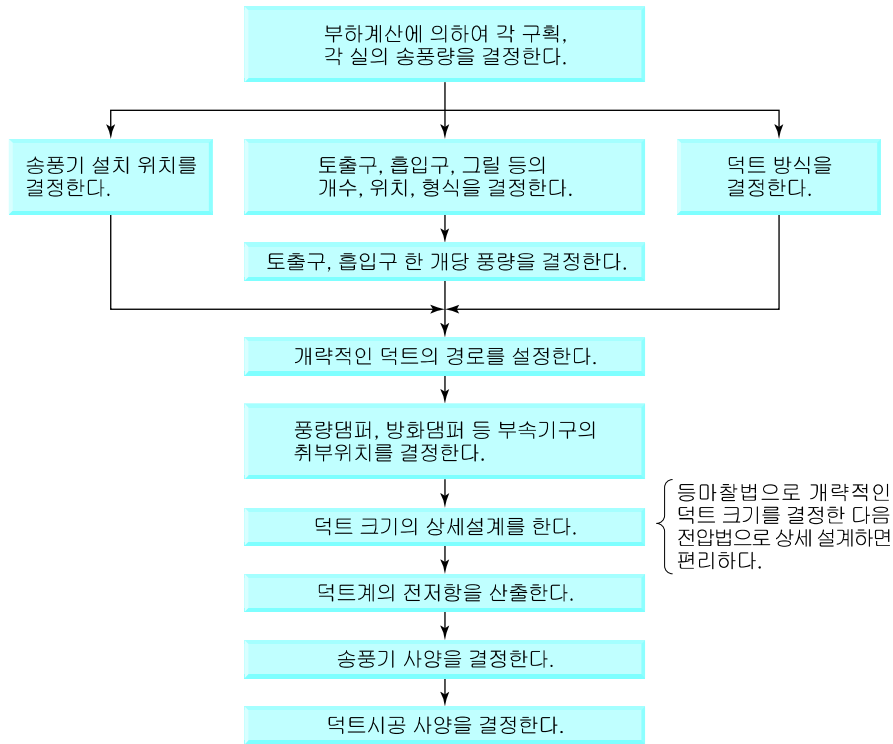
여기서,  $\zeta$  : 국부저항계수

## 핵심2 덕트 설계 시 유의사항

- (1) 덕트 내의 풍속은 허용풍속 이하로 하고 소음 및 반송동력 등으로 문제가 일어나지 않도록 한다.
- (2) 공조기는 될 수 있는 한 부하 가까이에 배치하고 합리적인 덕트 루트를 계획한다.
- (3) 덕트의 곡률 반경 R은 가능한 크게 한다.  $R/a=1.5\sim 2.0$ 가 가장 일반적으로 이용된다.(a는 덕트의 장변 길이)  $R/a=1.5$ 이내의 경우에는 가이드베인을 설치하여 저항을 적게 한다.
- (4) 급격하게 단면이 변화하는 경우에는 확대부의 각도는 15도 이하, 축소부의 각도는 30도 이하로 한다.
- (5) 사각형 덕트의 종횡비(aspect ratio)는 4(6):1 이하가 바람직하고 최대 8(10):1이상이 되지 않도록 한다.
- (6) 송풍기와 덕트의 접속은 송풍기의 진동을 덕트에 전하지 않도록 길이 150~ 300mm 정도의 이중 석면포와 같은 플렉시블 덕트(flexible duct)를 삽입하는데 이것을 캔버스이음(canvas connection)라 한다.

### 핵심 3 덕트의 설계

#### (1) 덕트의 설계순서



#### (2) 덕트의 치수 결정법

덕트는 덕트 내의 풍속이 15m/s 이하 혹은 500Pa 이하를 저속덕트, 이것을 초과하는 것을 고속덕트라 하고 덕트의 두께 및 보강 방법이 다르다. 덕트의 사이즈는 다음 순서로 결정한다.

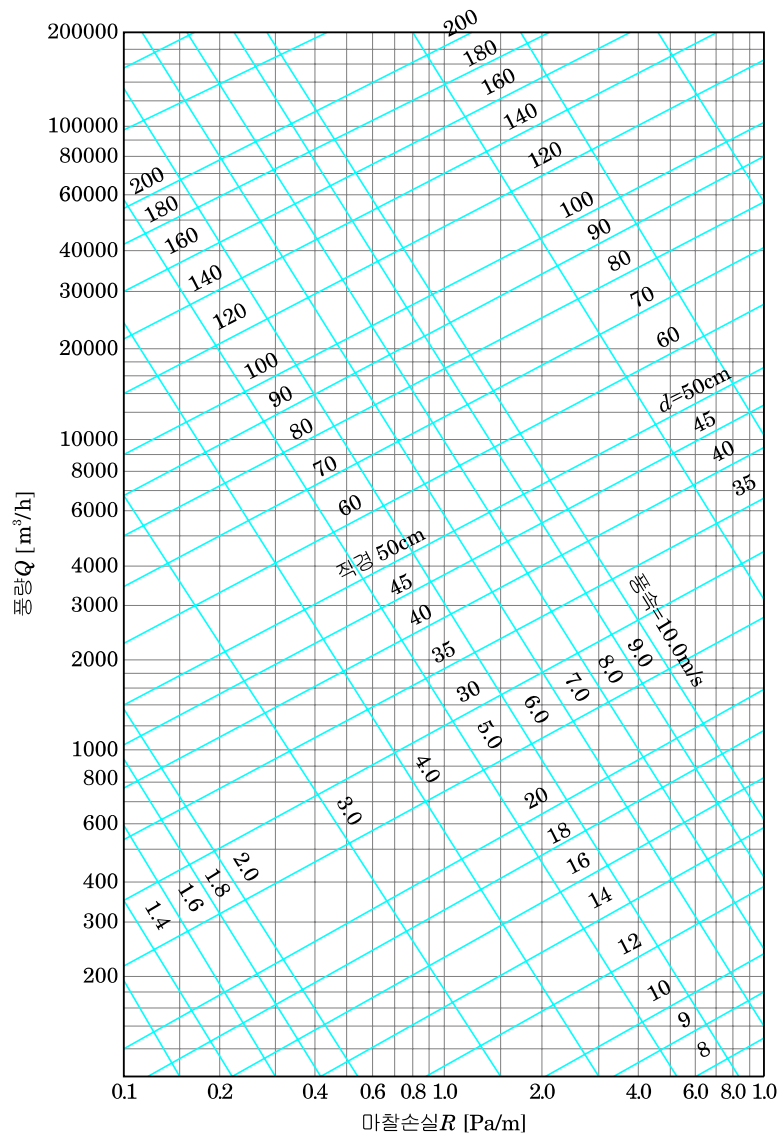
- ① 송풍기 출구에 접속하는 주덕트의 풍속을 정한다.  
일반적으로 덕트내 최대풍속은 건물의 종류에 다르고 사무소 건물의 경우에는 주덕트의 풍속은 약 10m/s 이하, 분기덕트의 풍속은 약 8m/s 이하로 하여 치수를 정한다.
- ② 덕트 각 구간의 풍량  $Q$  [ $m^3/s$ ]을 구한다.
- ③ 주덕트의 풍량과 풍속에 의해 아래의 유량선도에서 덕트 직관길이 1m당 마찰손실  $R$ [Pa/m]을 결정, 이 값을 덕트 전 구간에 걸쳐서 일정하게 한다. 이 방법을 등마찰법(등압법)이라 하고 일반적으로  $R=1Pa/m$ 정도로 한다.
- ④  $Q$ 와  $R$ 을 이용하여 아래의 유량선도를 사용하여 원형덕트의 지름[cm]을 구한다.
- ④ 사각형 덕트의 경우에는 덕트의 설치공간을 체크하고 원형 덕트의 지름으로부터 환산표나 아래의 공식에 의해 덕트의 장변과 단변을 구한다.

$$d_e = 1.3 \times \left\{ \frac{(ab)^5}{(a+b)^2} \right\}^{1/8}$$

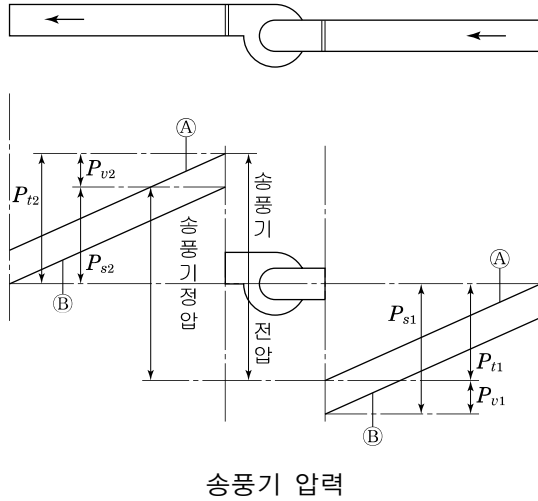
여기서,  $a, b$  : 덕트의 장변과 단변의 길이(cm)

$d_e$  : 상당지름(cm)

- ⑤ 가장 저항이 큰 경로의 최종 취출구까지의 직관의 압력손실을 구한다.
- ⑥ 그 계통의 국부저항을 계산하여 그 합계를 구한다.
- ⑦ 송풍기의 필요압력을 직관부의 저항에 국부저항과 기기저항을 더하여 산출한다.



## 핵심 4 송풍기의 압력



- $P_{v1}$  : 흡입구동압
- $P_{v2}$  : 토출구동압
- $P_{s1}$  : 흡입구정압
- $P_{s2}$  : 토출구정압
- $P_{t1}$  : 흡입구전압
- $P_{t2}$  : 토출구전압
- $P_T$  : 송풍기전압
- $P_S$  : 송풍기정압
- Ⓐ : 전압선
- Ⓑ : 정압선

### (1) 흡입관과 토출관이 있는 송풍기

- ① 송풍기 전압 :  $P_T = P_{t2} - P_{t1} = P_{s2} - P_{s1}$
- ② 송풍기 정압 :  $P_S = P_T - P_{v2}$ ,  $P_S = P_{s2} - P_{s1} - P_{v1}$

### (2) 토출관만 있는 송풍기

- ① 송풍기 전압 :  $P_T = P_{t2} = P_{s2} + P_{v2}$
- ② 송풍기 정압 :  $P_S = P_{t2} - P_{v2} = P_{s2}$

### (3) 흡입관만 있는 송풍기

- ① 송풍기 전압 :  $P_T = P_{s1}$  (송풍기전압은 송풍기 흡입구 정압(부압)이 된다.)
- ② 송풍기 정압 :  $P_S = P_{s1} + P_{v1} = P_{t1}$  (송풍기 정압은 흡입구 전압이 된다.)

## 핵심 5 송풍기 동력

송풍기는 토출압력이 98[kPa] 미만의 것을 송풍기, 98[kPa] 이상의 것을 압축기라 한다.

명칭	송풍기		압축기
	Fan	Blower	
토출압력	9.8[kPa] 미만	9.8~98[kPa] 미만	98[kPa] 이상
터보형	원심식	○	○
	축류식	○	○
용적형	회전식	-	○
	왕복식	-	○

송풍기 소요동력  $L_s$

$$L_s = QP/\eta$$

여기서,  $L_s$  : 축동력[kW]

$Q$  : 풍량[m<sup>3</sup>/s]

$P$  : 송풍기 전압, 정압[kPa]

$\eta$  : 송풍기 전압효율, 정압효율

문제1

그림과 같은 냉각탑을 연결하는 냉각수배관에 대하여 물음에 답하십시오.

[설계조건1]

- ① 터보냉동기 냉동능력 : 352kW(100usRT)
- ② 냉각수량 : 13ℓ/minusRT
- ③ 직선배관의 전길이 : 150m
- ④ 배관의 마찰손실 : 300Pa/m
- ⑤ 펌프효율  $\eta$  : = 45%
- ⑥ 응축기 수저항 : 100kPa
- ⑦ 냉각탑 노즐의 분무압 : 50kPa
- ⑧ 중력가속도 : 9.8m/s<sup>2</sup>, 물의 밀도 : 1000kg/m<sup>3</sup>

[설계조건2]

관경산출표

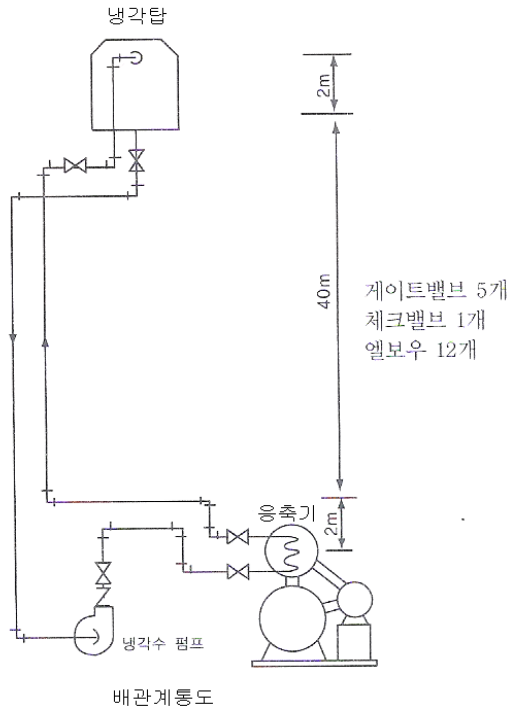
300Pa/m기준

관경[mm]	40	50	65	80	100	125	150
유량[ℓ/min]	90	170	330	520	1100	1540	2950

[설계조건3]

밸브·이음쇠 류의 상당길이[m]

관경[A]	게이트밸브	체크밸브	엘보우	티이	레듀샤(1/2)
100	1.4	12	3.1	6.4	3.1
125	1.8	15	4.0	7.6	4.0
150	2.1	18	4.9	9.1	4.9



- (1) 냉각수량[ℓ/min]을 구하시오.
- (2) 배관의 지름[mm]을 구하시오.
- (3) 전양정[m]을 구하시오.
- (4) 냉각수 펌프의 축동력[kW]을 구하시오.
- (5) 이 시스템에서 동일유량, 동일양정일 때 펌프효율 75%의 고효율펌프로 교체 시 연간절감 전력량(MWh)은 얼마인가? (단 전동기는 그대로 사용하고 연간 가동시간은 7200시간이다.)

해답

- (1) 냉각수량  $w$ [ℓ/min]

$$w = 100 \times 13 = 1300[\ell/\text{min}]$$

답 1300[ℓ/min]

- (2) 배관의 지름[mm]

냉각수량1300[ℓ/min]에 의해 관경산출표에 서 배관의 지름 125A

답 125mm

- (3) 전양정H[m]

- ① 직선덕트의 길이 : 150m
- ② 상당길이 · 게이트밸브 5개  $\times$  1.8 = 9m

·체크밸브 1개×15 = 15m  
 ·엘보우 12개×4.0 = 48m

합계 72m

전상당길이 = 150 + 72 = 222m

따라서 펌프의 전양정 = 실양정 + 배관의 마찰손실 + 기기 및 기타저항

$$= 2 + \frac{222 \times 300}{1000 \times 9.8} + \frac{(100+50) \times 10^3}{10^3 \times 9.8}$$

$$= 24.10\text{m}$$

답 24.10m

(4) 냉각수 펌프의 축동력  $L_s$ [kW]

$L_s = \rho g H Q / \eta [W] = g H Q / \eta [kW]$ 에서

$$= \frac{9.8 \times 24.1 \times 1300 \times 10^{-3}}{60 \times 0.45} = 11.37 [kW]$$

답 11.37[kW]

(5) 연간절감 전력량(MWh)

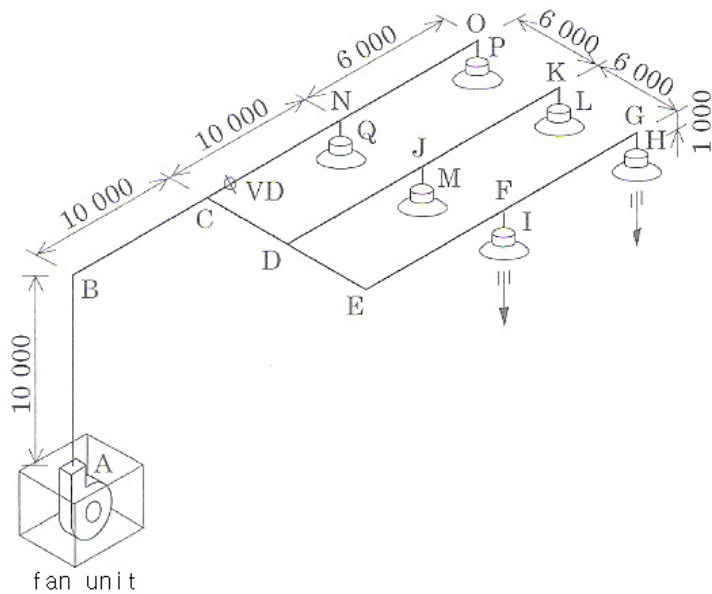
75%의 펌프로 교체할 경우 소비전력  $L_s = \frac{9.8 \times 24.1 \times 1300 \times 10^{-3}}{60 \times 0.75} = 6.82 [kW]$

따라서 연간절감 전력량 =  $(11.37 - 6.82) \times 7200 = 32760 [kWh] = 32.76 [MWh]$

답 32.76[MWh]

문제2

그림과 같은 덕트 계통도에 있어서 아래 조건을 이용하여 물음에 답하시오.



[조건]

- ① 취출구 풍량: 300m<sup>3</sup>/h·개
- ② 직관 덕트저항 R = 1Pa/m로 하고, 유량선도 및 환산표를 이용할 것.

- ③ 팬 유닛의 저항(전압기준) : 200Pa
- ④ 취출구 저항(전압기준) : 10Pa
- ⑤ 송풍기 취출풍속 : 7m/s
- ⑥ 국부저항은 직관저항은 직관저항의 50%로 한다.
- ⑦ 송풍기 전압효율 $\eta_t$  : 45%

1) 다음 빈칸을 채우시오.

구간	풍량(CMH)	길이 $\ell$ (m)	덕트지름 (cm)	사각덕트 $a \times b$ (cm)	실제풍속 (m/s)	압력손실 $R \times \ell$ [Pa]
A-C				( ) $\times$ 20	—	
C-D				( ) $\times$ 20	—	
D-F				( ) $\times$ 20	—	
F-H				( ) $\times$ 20	—	
A-H	직관합계	—	—	—	—	

2) 압력손실[Pa]을 구하시오.

3) 송풍기 축동력[kW]을 구하시오.

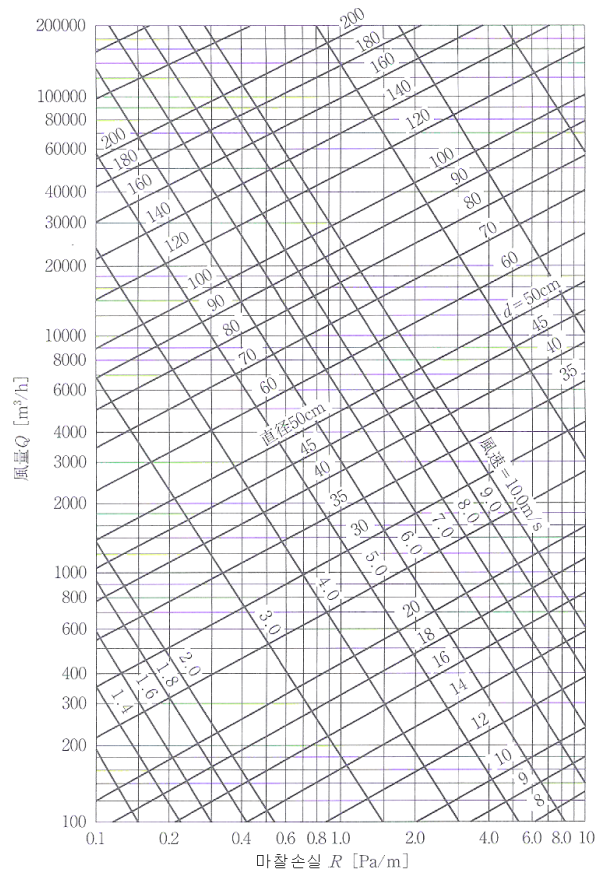


그림 유량선도

단면 장면	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
10	10.9																			
15	13.3	16.4																		
20	15.2	18.9	21.9																	
25	16.9	21.0	24.4	27.3																
30	18.3	22.9	26.6	29.9	32.8															
35	19.5	24.5	28.6	32.2	35.4	38.3														
40	20.7	26.0	30.5	34.3	37.8	40.9	43.7													
45	21.7	27.4	32.1	36.3	40.0	43.3	46.4	49.2												
50	22.7	28.7	33.7	38.1	42.0	45.6	48.8	51.8	54.7											
55	23.6	29.9	35.1	39.8	43.9	47.7	51.1	54.3	57.3	60.1										
60	24.5	31.0	36.5	41.4	45.7	49.6	53.3	56.7	59.8	62.8	65.6									
65	25.3	32.1	37.8	42.9	47.4	51.5	55.3	58.9	62.2	65.3	68.3	71.1								
70	26.1	33.1	39.1	44.3	49.0	53.3	57.3	61.0	64.4	67.7	70.8	73.7	76.5							
75	26.8	34.1	40.2	45.7	50.6	55.0	59.2	63.0	66.6	69.7	73.2	76.3	79.2	82.0						
80	27.5	35.0	41.4	47.0	52.0	56.7	60.9	64.9	68.7	72.2	75.5	78.7	81.8	84.7	87.5					
85	28.2	35.9	42.4	48.2	53.4	58.2	62.6	66.8	70.6	74.3	77.8	81.1	84.2	87.2	90.1	92.9				
90	28.9	36.7	43.5	49.4	54.8	59.7	64.2	68.6	72.6	76.3	79.9	83.3	86.6	89.7	92.7	95.6	98.4			
95	29.5	37.5	44.5	50.6	56.1	61.1	65.9	70.3	74.4	78.3	82.0	85.5	88.9	92.1	95.2	98.2	101.1	103.9		
100	30.1	38.4	45.4	51.7	57.4	62.6	67.4	71.9	76.2	80.2	84.0	87.6	91.1	94.4	97.6	100.7	103.7	106.5	109.3	
105	30.7	39.1	46.4	52.8	58.6	64.0	68.9	73.5	77.8	82.0	85.9	89.7	93.2	96.7	100.0	103.1	106.2	109.1	112.0	
110	31.3	39.9	47.3	53.8	59.8	65.2	70.3	75.1	79.6	83.8	87.8	91.6	95.3	98.8	102.2	105.5	108.6	111.7	114.6	
115	31.8	40.6	48.1	54.8	60.9	66.5	71.7	76.6	81.2	85.5	89.6	93.6	97.3	100.9	104.4	107.8	111.0	114.1	117.2	
120	32.4	41.3	49.0	55.8	62.0	67.7	73.1	78.0	82.7	87.2	91.4	95.4	99.3	103.0	106.6	110.0	113.3	116.5	119.6	
125	32.9	42.0	49.9	56.8	63.1	68.9	74.4	78.5	84.3	88.8	93.1	97.3	101.2	105.0	108.6	112.2	115.6	118.8	122.0	
130	33.4	42.6	50.6	57.7	64.2	70.1	75.7	80.8	85.7	90.4	94.8	99.0	103.1	106.9	110.7	114.3	117.7	121.1	124.4	
135	33.9	43.3	51.4	58.6	65.2	71.3	76.9	82.2	87.3	91.9	96.4	100.7	104.9	108.8	112.6	116.3	119.9	123.3	126.7	
140	34.4	43.9	52.2	59.5	66.2	72.4	78.1	83.5	88.6	93.4	98.0	102.4	106.6	110.7	114.6	118.3	122.0	125.5	128.9	
145	34.9	44.5	52.9	60.4	67.2	73.5	79.3	84.8	90.0	94.9	99.6	104.1	108.4	112.5	116.5	120.3	124.0	127.6	131.1	
150	35.3	45.2	53.6	61.2	68.1	74.5	80.5	86.1	91.3	96.3	101.1	105.7	110.0	114.3	118.3	122.2	126.0	129.7	133.2	
155	35.8	45.7	54.4	62.1	69.1	75.6	81.6	87.3	92.6	97.4	102.6	107.2	111.7	116.0	120.1	124.4	127.9	131.7	135.3	
160	36.2	46.3	55.1	62.9	70.6	76.6	82.7	88.5	93.9	99.1	104.1	108.8	113.3	117.7	121.9	125.9	129.8	133.6	137.3	
165	36.7	46.9	55.7	63.7	70.9	77.6	83.8	89.7	95.2	100.5	105.5	110.3	114.9	119.3	123.6	127.7	131.7	135.6	139.3	
170	37.1	47.5	56.4	64.4	71.8	78.5	84.9	90.8	96.4	101.8	106.9	111.8	116.5	120.9	125.3	129.5	133.5	137.5	141.3	

해답

1)

구간	풍량(CMH)	길이 $\ell$ (m)	덕트지름 (cm)	사각덕트 $a \times b$ (cm)	실제풍속 (m/s)	압력손실 $R \times \ell$ [Pa]
A-C	1800	20	35	( 55 ) $\times$ 20	—	20
C-D	1200	6	30	( 40 ) $\times$ 20	—	6
D-F	600	16	23	( 25 ) $\times$ 20	3.33	16
F-H	300	7	17.5	( 20 ) $\times$ 20	—	7
A-H	직관합계	—	—	—	—	49

여기서, D—F구간의 실풍속  $v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{a \times b} = \frac{600}{0.25 \times 0.2 \times 3600} = 3.33 \text{ m/s}$

2) 압력손실  $P_{AH}$  = 덕트저항 + 팬 유닛저항 + 취출구저항

$$P_{AH} = 49 \times 1.5 + 200 + 10 = 283.5 \text{ [Pa]}$$

3) 송풍기 축동력  $L_s$ [kW]

$$L_s = QP_{T/\eta_T} = \frac{1800 \times 283.5}{0.45 \times 3600} = 315 \text{ [W]} = 0.315 \text{ [kW]}$$

※난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기 조닝에 대해 이해하고 적용할 수 있어야 한다.