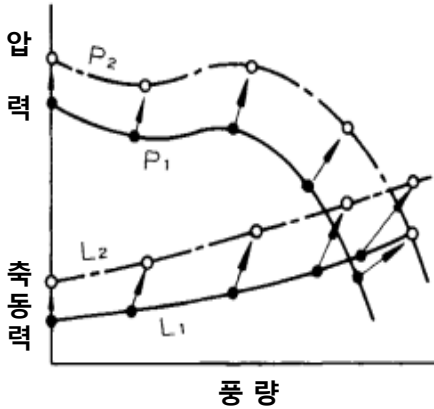


1. 성능환산

■ 회전수에 따른 성능변화

송풍기의 회전수가 N_1 에서 N_2 로 변화했을 때 성능 환산식과 성능곡선은 그림 1과 같이 표현됩니다.



<그림 1>

풍 량

$$Q_2 = \frac{N_2}{N_1} \times Q_1 \dots\dots\dots \text{m}^3/\text{min}$$

압 력

$$P_2 = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 \times P_1 \dots\dots\dots \text{Pa}$$

축동력

$$L_2 = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3 \times L_1 \dots\dots\dots \text{kW}$$

실선 : $N_2 \text{min}^{-1}$ 에서의 성능곡선

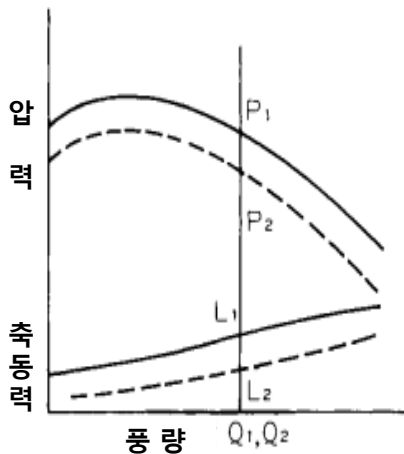
점선 : $N_2 \text{min}^{-1}$ 으로 변화했을 시 성능곡선

화살표 : 변화한 대표점의 이동을 나타냄

단, 압력은 4900Pa정도로 회전수의 변화가 $\pm 20\%$ 이내입니다. 압력이 더 높을 시 별도의 고려가 필요합니다.

■ 온도에 따른 성능변화(흡기가 20°C 이외의 경우)

기체의 온도가 t_1 에서 t_2 에 변화했을 경우의 성능 환산식과 성능 곡선을 그림 2에서 나타내고 있습니다.



<그림 2>

풍 량

$$Q_2 = Q_1 \dots\dots\dots \text{m}^3/\text{min}$$

압 력

$$P_2 = \frac{273+t_1}{273+t_2} \times P_1 \dots\dots\dots \text{Pa}$$

축동력

$$L_2 = \frac{273+t_1}{273+t_2} \times L_1 \dots\dots\dots \text{kW}$$

실선 : t_1 °C에서의 성능곡선

점선 : t_2 °C으로 변화했을 시 성능곡선

성능 곡선은 모두 표준 상태(온도 20°C, 절대 압력 $1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$, 상대 습도 65%의 공기 상태)로 표시하고 있으므로, 20°C 이외의 가스를 취급하는 경우 아래의 계산에서 도출한 압력에 따라 고려하여 선정해주세요.

예) $P_2 = 2000 \text{ Pa}$, $t_2 = 100^\circ \text{C}$ 의 가스를 취급하는 경우, 성능곡선 ($t_1 = 20^\circ \text{C}$)의 압력은 얼마나 필요한가?
또 축 동력은 어떻게 될까?

$$2000 = \frac{273+20}{273+100} \times P_1 \quad P_1 = 2000 \times \frac{273+100}{273+20} \approx 2550 \text{ (Pa)}$$

또한 성능 곡선에서 압력 2550Pa를 만족하는 운전점에서 축동력 L_1 은 위의 식에 의해 L_2 로 감소합니다.

■ 중량에 따른 성능변화(중량이 다른 가스일 경우)

표준 공기(온도 20°C, 절대 압력 1.01325×10⁵ Pa, 상대 습도 65%의 공기)이외의 기체를 다룰 경우에는 다음 식의 압력·축 동력을 환산할 필요가 있습니다.

$$P = \frac{1.2}{\gamma_1} \times P_1$$

$$L = \frac{1.2}{\gamma_1} \times L_1$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P : \text{표준 공기 상태로 환산한 압력(Pa)} \\ P_1 : \text{취급 기체의 사양 압력(Kw)} \\ L : \text{표준 공기 상태로 환산한 축 동력(Kw)} \\ L_1 : \text{취급 기체의 축 동력(Kw)} \\ 1.2 : \text{표준 공기 밀도(1.2kg/m}^3\text{)} \\ \gamma_1 : \text{취급 기체의 밀도(kg/m}^3\text{)} \end{array} \right.$$

■ 풍량의 온도환산

흡입기체온도나 압력이 낮더라도 송풍기의 흡입풍량은 변하지 않습니다. 다만, 송풍기의 사양 풍량이 0°C 표준 상태(Normal)로 주어졌을 때는 그 풍량을 사양 온도의 흡입 풍량에 환산해서 용량 표에 적용합니다.

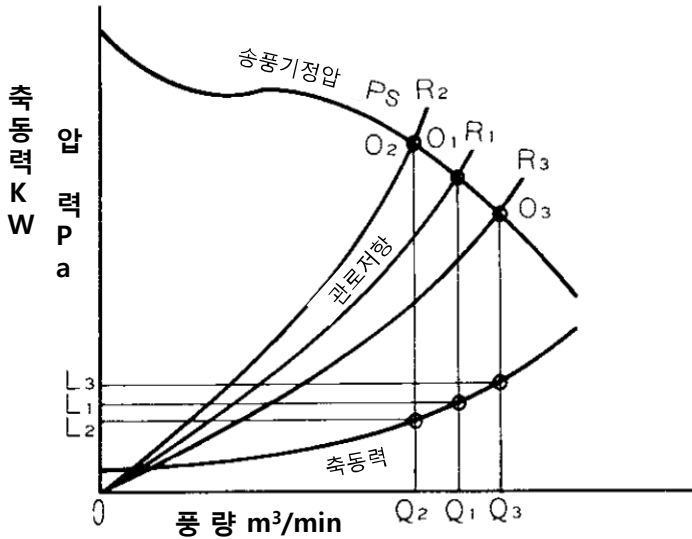
$$Q = Q(\text{Normal}) \times \frac{273+t}{273} \times \frac{P_0}{P_F}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Q : \text{흡입풍량(m}^3\text{/min)} \\ Q(\text{Normal}) : \text{0°C 표준 대기압(1.01325} \times 10^5 \text{ Pa)의 풍량} \\ t : \text{사양 온도(°C)} \\ P_0 : \text{표준 대기압(1.01325} \times 10^5 \text{ Pa)} \\ P_F : \text{송풍기의 흡입 절대 압력(Pa)} \end{array} \right.$$

(또한, 통상의 환기 용도에서는 P₀=P_F로 적용해도 됩니다.)

2. 운전특성

■ 계획 시의 관로 저항이 실제와 다른 경우 운전상태



<그림 3>

계획 시의 관로 저항이 그림 3에 제시된 R_1 으로 그 관로에 흐르는 풍량이 Q_1 , 이 사양에 근거하여 설계 제작된 송풍기의 정압 곡선이 PS입니다. 하지만 실제 운전 시 관로 저항곡선이 R_2 에 있었을 경우에는 이 송풍기의 작동점은 송풍기 정압곡선과 관로 저항곡선의 교점 O_2 로 풍량은 Q_2 까지 감소하여 풍량이 부족하게 됩니다. 이와 반대로 실제 관로 저항 곡선이 R_3 인 경우에는 작동점은 O_3 으로 이동해 풍량은 Q_3 축 동력은 L_3 이됩니다. 이 경우 풍량 부족의 차질은 없지만 축 동력 L_3 이 계획 시의 L_1 보다 더 커지는 만큼 과부하가 되고 전동기를 동시에 파괴시킬 위험이 있습니다.

■ 계획 시의 사양과 실제 작동점이 다른 경우의 대책

계획 시의 사양과 실제 운전 상태가 다르게 풍량의 부족이나 과부하 운전이 될 경우에는 일반적으로는 다음의 방법으로 해결이 가능합니다.

① 송풍기의 정압곡선을 바꾸는 방법

송풍기의 회전수를 바꿈으로써 정지 압력 곡선, 축 동력 곡선을 변경할 수 있습니다. 송풍기 성능 곡선과 회전 수의 관계는 회전수에 의한 성능 변화(앞 페이지)의 항을 참조하십시오.

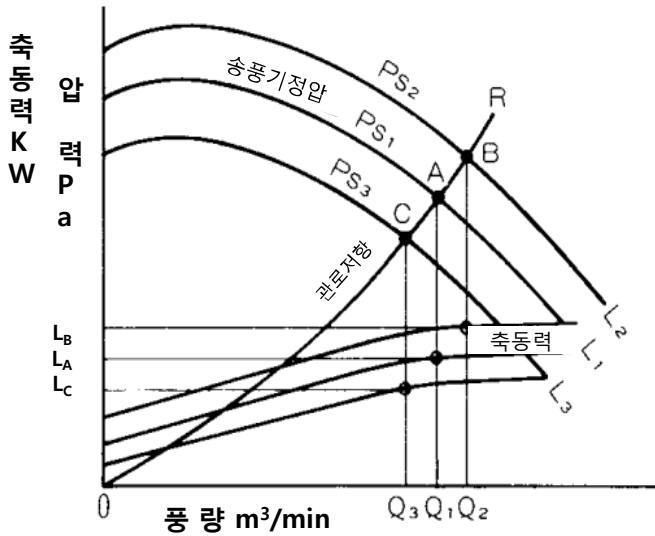
$$\text{풍 량} \quad Q_2 = \frac{N}{N_1} \times Q_1 \quad \dots\dots\dots \text{m}^3/\text{min}$$

$$\text{축동력} \quad L_2 = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3 \times L_1 \quad \dots\dots\dots \text{kW}$$

$$\text{압 력} \quad P_2 = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 \times P_1 \quad \dots\dots\dots \text{Pa}$$

* N_1 : 최초의 회전수 * N_2 : 변화 후의 회전수

위의 법칙에 따라 회전수를 변화시켰을 경우의 특성을 그림 4에서 나타냅니다.



<그림 4>

관로 저항곡선 R에 PS₁ 및 L₁의 특성을 갖고 있는 송풍기의 회전수를 올리면 PS₂ 및 L₂의 특성으로 작동점은 A부터 B로 이동합니다. 또한 풍량은 Q₁에서 Q₂로 축동력은 L_A에서 L_B로 이동합니다. 반대로 회전수를 낮추면 PS₃ 및 L₃로 작동점은 A부터 C로 이동해 풍량은 Q₁에서 Q₃으로 바뀌고 축동력은 L_A에서 L_C로 감소합니다. 이렇게 풍량이 부족한 경우에는 전동기 출력이 여유있는 범위내에서 회전수를 높이고 과부하가 생기는 경우는 풍량의 감소가 허용된 범위 내에서 회전수를 낮춤으로써 지장이 없도록 송풍기를 운전시킬 수 있습니다. V벨트걸이에서 구동하는 경우는 V벨트 바퀴를 교환함으로써 회전 수를 쉽게 변경할 수 있습니다.

② 관로 저항곡선을 바꾸는 방법

같은 송풍기의 성능 곡선에 관로 저항곡선을 바꾸면 그 작동점은 변화합니다.

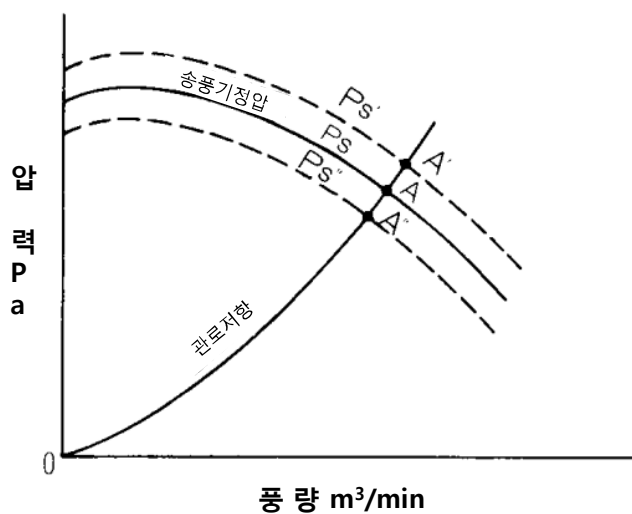
관로에 풍량 조정 댐퍼를 설치하고 저항을 크게 하면 그림 3과 같이 하나의 송풍기 특성에 대한 관로 저항 곡선은 R₁부터 R₂에 변화하고 송풍량은 Q₂ 축 동력은 L₂이 됩니다.

또한 반대로 장치에 지장 없는 범위내에서 관로의 저항을 적게 하면 저항곡선은 R₃, 송풍량 Q₃, 축 동력 L₃로 변화합니다.

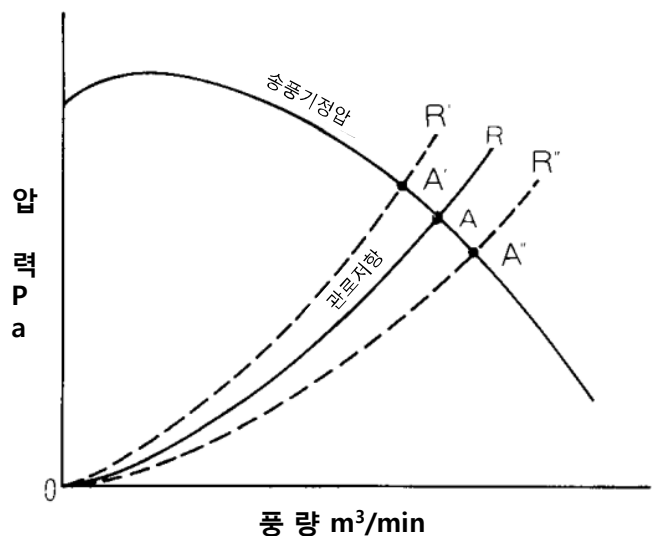
■ 작동 상태의 변화와 안정성

송풍기 작동 시 압력과 유량에서 운전되고 있을 때 어떤 원인으로 인하여 일시적으로 압력 또는 유량에 변화가 있어도 곧 본래의 상태로 돌아간다면 그 작동점은 안정적이라고 말할 수 있습니다. 물론 장시간에 걸친 변화를 주면 그 동안 특성은 변화된 상태에서 운전을 계속합니다. 여러가지 다른 상태에서 운전되는 작동점은 다음과 같은 변화와 안정성을 나타냅니다.

① 오른쪽 하행 특성부의 작동점의 변화(안정 상태)



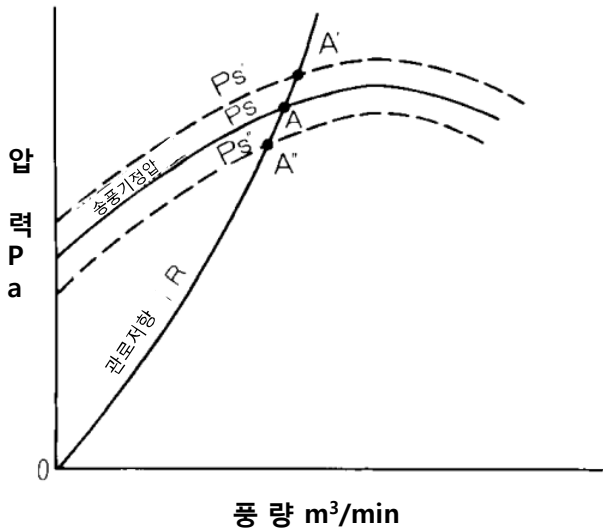
<그림 5>



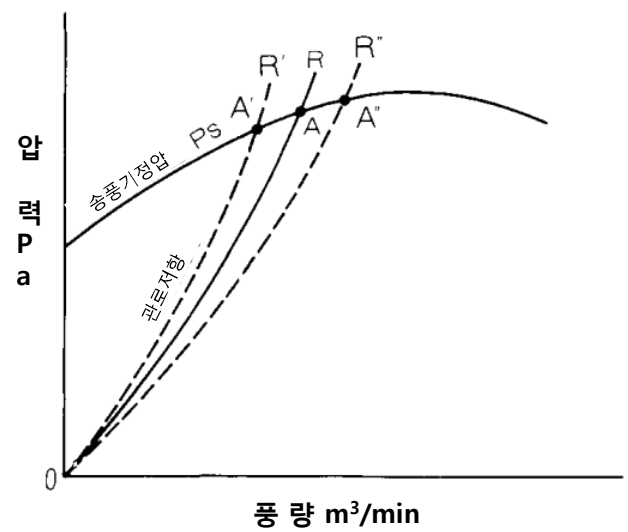
<그림 6>

그림 5와 같이 송풍기가 오른쪽 하행 특성부 A점에서 작동하고 있을 때 어떤 원인에 의해 송풍기 정압 곡선이 P_s 에서 $P_{s'}$ 로 변하면 송풍기의 작동점은 반드시 관로 저항 곡선상을 이동하기 때문에 작동점 A는 A' 또는 A'' 로 변화합니다. A' 는 송풍기 압력이 증가한 경우, A'' 는 압력이 저하했을 경우를 나타냅니다. 또한 그림 6은 관로에 어떤 변화가 일어나 관로의 저항이 바뀐 경우를 나타내는 것으로 송풍기는 변화한 관로 저항 곡선 R' 또는 R'' 송풍기 정압 곡선의 교점 A' 또는 A'' 에서 작동합니다. R' 는 관로 저항이 증대할 경우, R'' 는 저항이 감소할 경우를 나타냅니다. 이와 같이 송풍기의 오른쪽 하행 특성부에 작동점이 있을 경우는 일단 안정적인 작업 상태가 지속될 수 있습니다.

② 오른쪽 상단 특성부의 작동점의 변화(불안정 상태)



<그림 7>

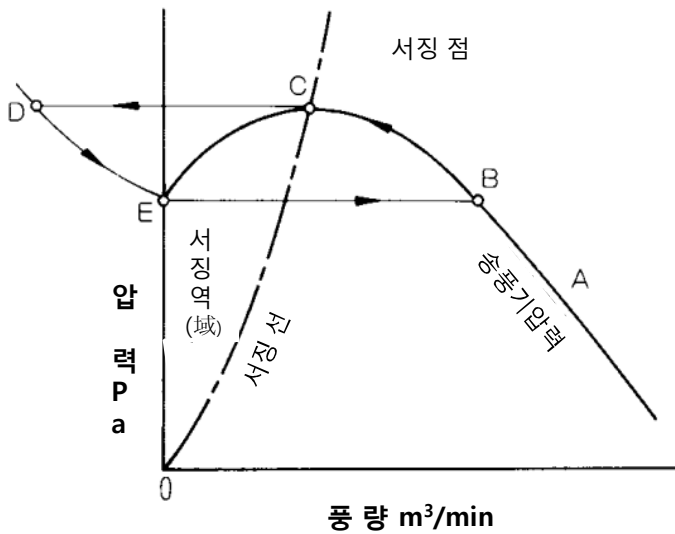


<그림 8>

그림 7과 같이 오른쪽 상행 특성부에서 작동하고 있는 경우, 송풍기의 압력이 변화하면 그 작동점은 A는 A' 또는 A''으로 이동합니다. 또한 그림 8 역시 어떤 이유로 인해 관로 저항이 변화한 경우를 나타냅니다. 더 이상 변화가 일어나지 않는다면 새로운 작동 점에서 일단 안정된 운전을 할 수 있지만 오른쪽 상행 특성부에서는 송풍량의 증가에 대한 송풍기 압력도 증가 경향이 있으며 다음 페이지의 확인해 볼 서지를 유발할 위험도 있고 일반적으로는 안정된 작동 상태는 아닙니다.

■ 서징

유량 증가와 함께 압력이 증가해 오른쪽 상단 특성부의 한 점에서 조용히 운전했던 송풍기가 갑자기 관로의 압력과 흐름에 심한 진동과 변동을 일으키며 운전이 위험하게 되는 일이 있습니다. 이를 서징이라고 하며 이 현상은 압력이 높고 동력이 클수록 발생하기 쉬우며 심한 경우는 베어링 사고로도 연결됩니다.

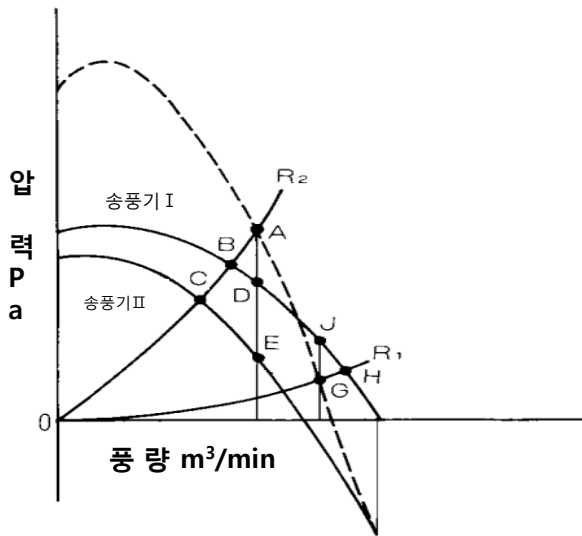


<그림 9>

그림 9는 서징이 왜 일어나는지를 나타냅니다. 송풍기 압력 곡선 상의 C점이 서징이 일어나기 시작하는 점(서징 점), EC사이가 서징을 일으키는 범위가 됩니다. ED는 송풍기의 바퀴가 정회전하여 공기가 토출입에서 흡입구의 방향으로 역류할 경우의 성능 곡선을 나타내고 있습니다. 지금 C점이 작동 점으로 운전 중에 무슨 원인으로 저항이 감소하면 유량이 줄어들지만 C점에서 갑자기 D점까지 떨어져 이동합니다. 이는 송풍기의 토출 압력이 낮아지기 때문에 유량의 감소율보다 저항의 감소에 의한 유량의 감소율이 작아지기 때문입니다. D점으로 떨어지면 압력이 감소되어 버리기 때문에 D→E→B→C로 이동하고 원래의 C점으로 돌아오지만 다시 D→E→B→C와 작동점이 변동하고 불안정한 상태가 반복됩니다.

EC사이에는 유량 증가와 함께 압력도 증가하므로, 용수철 진자에 비유하면 용수철 진자의 저항과 운동이 같은 방향으로 작용하는 것으로 생각되며, 불안정 영역이 됩니다. CA사이에는 유량 증가와 함께 압력은 감소하므로 EC사이와는 반대로 안정 영역입니다.

■ 직렬운전



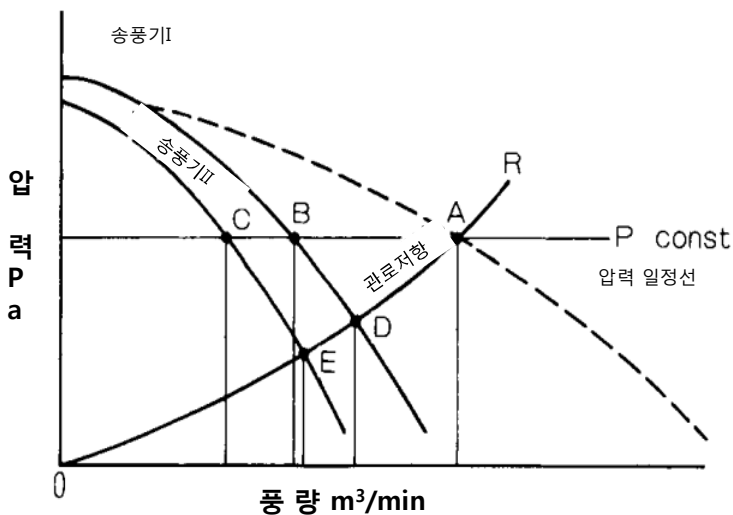
<그림 10>

1대의 송풍기에서는 풍압이 부족할 때, 송풍기를 직렬 운전하여 풍압을 증대시킬 수 있는데 이 때의 종합적인 특성은 유량의 일정선으로 잘랐을 때 풍압의 합으로 얻을 수 있습니다. 그림 10과 같이 송풍기 II의 용량이 다른 송풍기 I 보다 작을 경우에는 풍량이 큰 곳에서 풍량이 작은 송풍기로의 역류가 일어납니다. 그림 10에서 관로 저항이 R_2 인 경우 종합 작동점은 A로, 송풍기 I은 D, II은 E에서 작동하는 동일 관로 저항에 대한 단독 운전했을 때의 풍압 B나 C보다 작아집니다.

또한 관로 저항이 R_1 일때에는 종합 작동점은 G이며 송풍기 I은 J에서 작동되고 송풍기 II은 오히려 저항이 되는 역류를 일으키게 됩니다. 그래서 단독 운전했을 때의 송풍기 I의 작동점 H보다 오히려 풍압은 감소합니다. 직렬 운전의 경우는 2대의 송풍기의 유량이 동일하지 않으면 안 됩니다. 실제로 직렬 운전을 할 경우 2대의 송풍기가 접근하고 배치되면 처음의 송풍기 배출구의 난입이 제2의 송풍기 입구의 유입 상태에 악영향을 미칠 수 있으므로 주의하시기 바랍니다.

■ 병렬운전

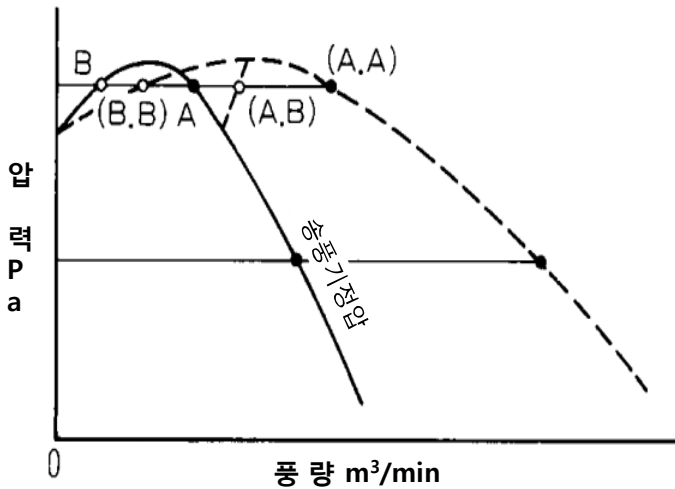
① 오른쪽 하행 특성부만을 갖는 2대의 송풍기의 병렬 운전



<그림 11>

압력, 유량 특성곡선에 정점이 없어 오른쪽 하행적 특성을 가진 2대의 송풍기를 병렬 운전했을 때 종합 특성은 그림 11 처럼 압력 일정 선으로 잘랐을 때, 각각의 송풍기의 풍량을 가함으로써 얻을 수 있습니다. 특성이 같은 2대의 송풍기의 경우도 마찬가지입니다. 관로 저항이 R일때 종합 작동점이 A점으로 각 송풍기는 동일한 압력의 점에서 도착하므로 송풍기 I는 B점, II의 송풍기는 C점에서 작동합니다. 그러므로 동일관계에서 단독 운전했을 때 D, E점의 풍량보다 적게 됩니다. 이런 추세는 관로 저항곡선의 경사가 급한 것일수록 큰 저항이 거의 마찰 저항으로, 긴 관로의 경우에는 병렬 운전에 따른 풍량의 증가는 줄어듭니다.

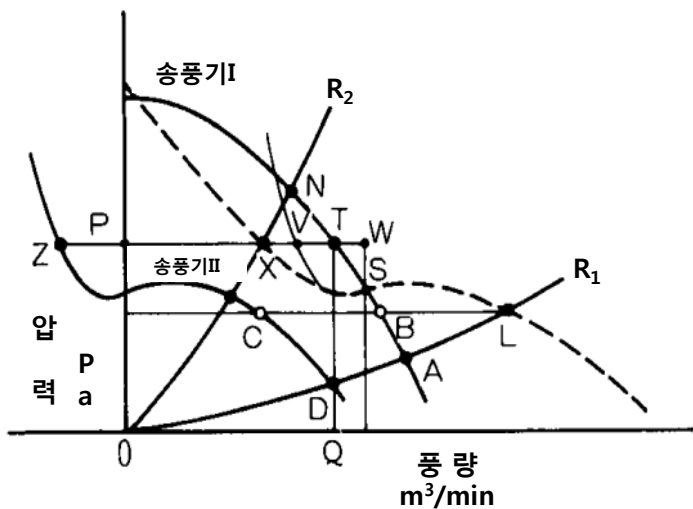
② 압력 유량 특성에 극대 점을 지닌 같은 특성의 2대의 송풍기의 병렬 운전



<그림 12>

특성 곡선 정점이 있고, 그림 12처럼 왼쪽 하행 특성부를 갖는 특성이 동일한 2대의 송풍기를 병렬 운전하는 경우는 꼭대기 부근에서 작동하는 것이 문제가 됩니다. 2대 모두 A점에서 작동할 때 종합 특성은(A.A), 마찬가지로 B의 점에서 작동할 때는(B.B)점이 됩니다. 그런데 1대의 송풍기가 A점에서 다른 또 1대가 B점에서 작동할 때 종합 특성은 정상에서 가지가 나온 형태의 특성 곡선으로 병렬 운전의 효과는 적어집니다.

③ 특성이 매우 다른 크고 작은 2대의 송풍기의 병렬 운전

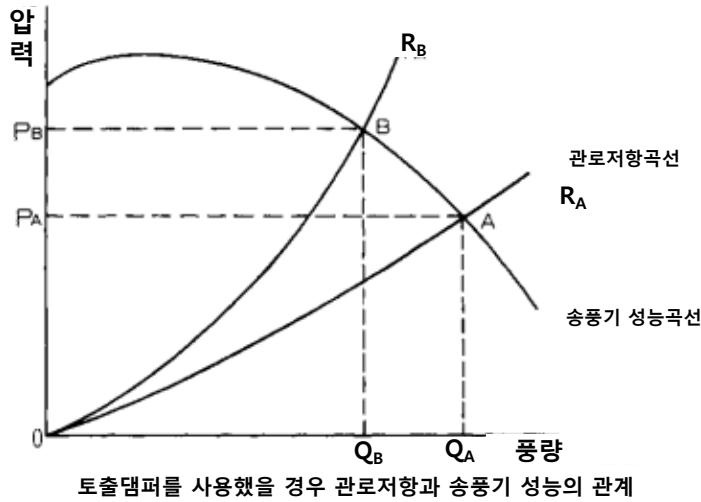


<그림 13>

크기가 다른 2대의 송풍기 I, II의 특성이 그림 13처럼 매우 다른 경우에는 종합 특성 곡선의 S보다 유량이 큰 곳에서는 동일한 압력에 대한 각 송풍기의 풍량의 합으로 나타낼 수 있지만 S보다 유량이 작은 곳에서는 대용량의 송풍기의 풍압이 높아지기 때문에 용량의 작은 송풍기 II는 역류를 일으키게 됩니다. 이렇게 해서 종합 특성은 점선처럼 됩니다. 그러므로 관로 저항이 R_1 때의 종합 작동점은 L, 각각의 송풍기는 B 및 C점에서 작동하고 동일관계에서 단독 운행시킨 경우에 송풍기 I는 A, 송풍기 II는 D점에서 작동합니다. 또 관로 저항이 R_2 같은 경우에는 종합 작동은 X로, 송풍기 I의 단독 운전시의 풍량 N보다 작아집니다. 그때, 송풍기 I은 T에서 II은 Z에서 작동하는 ZY가 송풍기 II에 역류합니다.

* 이와 같이, 병렬 또는 직렬 운전하는 경우는 2대의 특성이 비슷한 것은 비교적 편하지만 각각 단독 운전의 경우의 성능 곡선과 관로 저항 곡선의 상태를 잘 검토하고 병렬 또는 직렬로 운전하는 의미가 있는지 생각해야 합니다. 게다가 작동점이 안정되고 있어 효율이 좋을까 등도 잘 조사되는 것도 중요합니다.

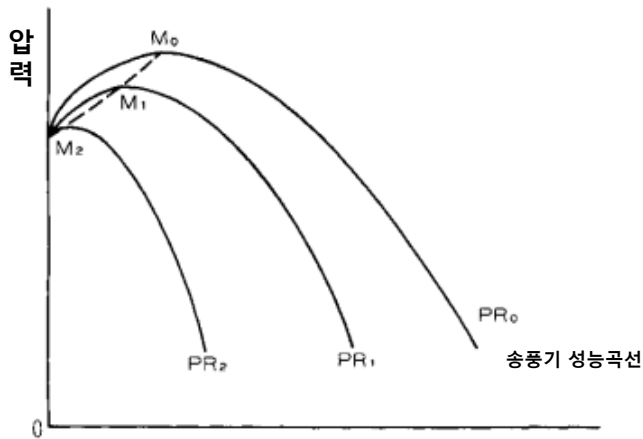
3. 풍량제어



<그림 14>

■ 토출댐퍼 제어

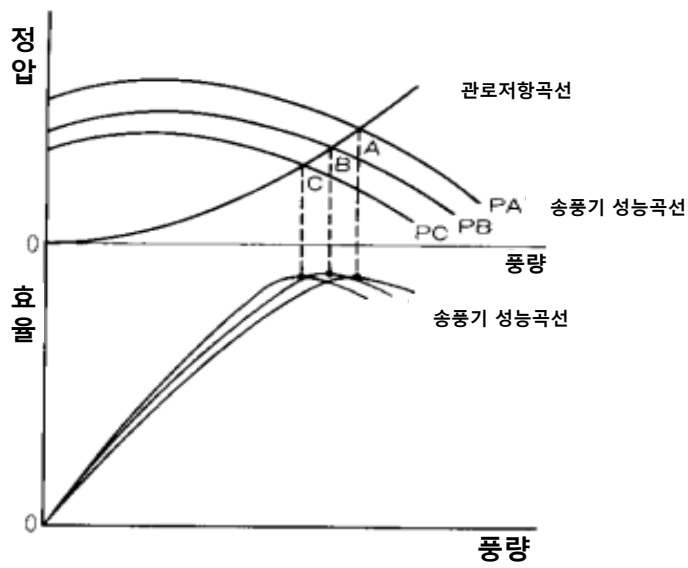
풍량 제어 방법으로는 가장 간단하고 보급화되어 있는 방법입니다. 송풍기의 성능 곡선과 관로 저항곡선 R_A 의 교점을 A라 할 때 송풍기는 압력 P_A 그리고 유량 Q_A 로 작동합니다. 토출 측 댐퍼를 좁히는 것은 관로 저항을 R_A 에서 R_B 로 증가시키는 것이며 이에 따른 송풍기는 B점에서 작동하기 위해 풍압은 R_B , 풍량은 Q_B 이 됩니다. 축 동력은 풍량의 증대에 따라 증대하거나 감소될 수 있으므로 유량 감소에 따른 축 동력의 증감의 상태는 송풍기에 따라 다르지만 동력 곡선상에서 이동하는 변화이다. 효율은 정규 유출량 Q_A 일때 최대가 되도록 설계하므로 풍량을 적게할수록 효율은 떨어집니다.



<그림 15>

■ 흡입댐퍼 제어

흡입 측에서 풍량 제어하는 방법은 서징 영역이 좁아지고 유리한 것이 가장 큰 특징입니다. 상태 그림으로는 복잡하게 해석되므로 결론적인 설명을 그림 15에서 확인해 보겠습니다. 송풍기 성능 자체가 PR_0 에서 PR_1 으로 변화함으로써 서징점이 M_0 에서 M_1 으로 이동함하여 서징 영역이 좁아집니다. 이런 변화가 나타나는 원인은 흡입 댐퍼를 짜내면 저항을 주게 되지만 풍량의 2제곱에 비례하고 저항이 증감하는 것에서 기인하고 있습니다. 축 동력은 호흡 가스가 적어진 만큼 감소합니다.



<그림 16>

■ 회전 수 제어

그림 16은 회전 수 제어방법에 대하여 나타내고 있습니다. 성능 곡선이 상시적으로 변화하며 효율이 이동점에서 같아집니다.