

공조배관의 설계

박종일/오리엔트엔지니어링

3. 펌프의 선정

3.1 배관계의 전 저항

배관계의 전저항은 다음과 같은 종류가 있다.

- ① 직관부의 마찰 저항
- ② 방향전환, 분지, 확대, 축소, 밸브 등의 국부저항
- ③ 공기코일, 각종열교환기 등의 기기저항
- ④ 자동제어 밸브의 저항

이들의 각종저항중 ①, ②, ④의 각항은 앞에서 기술한 배관계의 설계계산 순서에서 구할수 있다. 그러나 직관부의 마찰저항과 각종 국부저항을 상세하게 구할 여유가 없을 때에는 전 배관계의 경로중 가장 먼곳의 길이 L을 구하여 이를 유량선도에서 관경 결정하기 위하여 임시로 결정한 단위마찰저항 ΔP_f 을 곱하여 구한값 $[L \times \Delta P_f]$ 에 국부저항은 대규모설비는 20% 중규모 50% 소규모 100% 정도를 경험적으로 정한 값을 더하여 구한다.

이렇게 구한 배관계의 마찰저항과 국부저항에 대하여 자동제어밸브의 저항과 각종기기류의 저항을 더하여 배관계 전체의 저항을 구하여도 크게 차이가 발생하지 않는다. 표 11은 각종기기류의 저항치를 나타낸다.

이값은 기기의 용량, 형식, 구조등에 따라 상세한 계산에 의해 구하거나 제조회사의 기술사양을 참고하기도 한다. 위의 설명한 배관계의

표. 11 기기저항의 개략치

기기명칭	저항 (mAq)	비 고
터보냉동기		제조회사에 따라 다르므로
증 발 기	3~8	확인할 것
응 축 기	5~8	〃
흡수식냉동기		
증 발 기	4~10	〃
응 축 기	5~14	〃
냉 각 탭	2~8	분무수입에 주의할 것
냉온수코일	2~5	유속 0.8~1.5m/s 정도
열교환기	2~5	
F. C. U	1~2	대용량일수록 저항이 커지므로 주의할 것
자동제어밸브	3~5	최소 3mAq 정도로 할 것

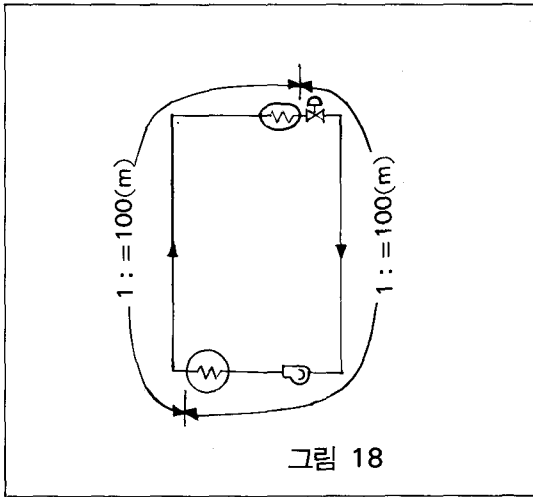


그림 18

전저항 산출법은 간략법으로서 에너지절약을 위하여 펌프의 동력을 정확히 산출하기 위하여는 배관 각부에 대하여 앞절에서와 같은 방법으로 정확한 저항 값을 구하여 설계를 진행하여야 한다.

[예제 17]

중규모 사무소 건물에 냉동기와 가장 먼곳의 공기조화기를 연결한 냉수배관의 직관부 길이 L이 100m이다.

이경우 배관계의 전 저항을 구하시오.

[해답]

배관 관경 설계를 위한 단위마찰 손실을 40 mmAq/m도 한다. 배관 전체 길이에서 마찰저항에 의한 압력손실은

$$ZL \times \Delta P_f = 2 \times 100 \times 40 = 8000 [\text{mmAq}] = 8 [\text{mAq}]$$

중규모 건물이므로 국부저항은 직관부 마찰 저항의 50%로 한다.

$$\text{국부저항} = 0.5 \times 8 = 4 [\text{mAq}]$$

공기조화기의 공기코일 통수저항을 3mAq, 여기에 설치하는 자동제어 밸브저항은 3mAq 냉동기 증발기저항을 4mAq로 하면 배관계의 전 저항 = 8 + 4 + 3 + 3 + 4 = 22 [mAq]

3.2 펌프의 소요양정

배관계에 펌프가 설치되어진 경우 기초식 3을 다시 정리하여 보면

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 + H_m$$

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + \frac{\Delta P}{\gamma} \quad (3)$$

이를 정리하면 펌프양정 H_m 은 다음과 같다.

$$H_m = \gamma (P_2 - P_1) + 2g (v_2^2 - v_1^2) + (Z_2 - Z_1) + \frac{\Delta P}{\gamma} \quad (24)$$

제1항은 점1과 점2의 압력이 다를 경우 이의 압력차를 수두로 표시한 것이며 2항은 유속의 차이, 3항은 높이의 차이, 4항은 흐름에 의한 압력손실을 말한다.

그러나 현재의 공조설비는 대기압하에서 운전되고 있어 1항의 압력차이는 발생하지 않는다. 다만 고온수배관시스템의 압력을 고온수의 포화증기압 이상 유지하기 위하여 시스템밖에서 소량의 물을 펌프로 압송하는 경우와 보일러 응축수탱크에서 급수하는 것과 같은 특수한 경우에만 고려한다.

이경우 $P_1 = 0$ 로 하며 P_2 는 게이지 압으로 한다.

제2항의 관내유속 변화에 대한 내용은 앞에서 기술한바와 같이 수배관계내의 유속은 1m/s에서 3.5m/s정도이므로 속도변화에 필요한 압력은 예를들면 $g_1 = 3.5\text{m/s}$ $g_2 = 1\text{m/s}$ 로 하여

$$\frac{(U_2^2 - U_1^2)}{2g} = \frac{3.5^2 - 1^2}{2 \times 9.8} = 0.574\text{m} \text{로서}$$

배관계의 전저항과 정수두차에 비하여 작은 값이므로 크게 문제시 되지 않는다.

따라서 일반적으로는 식 24의 3항과 4항 만으로 펌프의 양정을 정하면 된다.

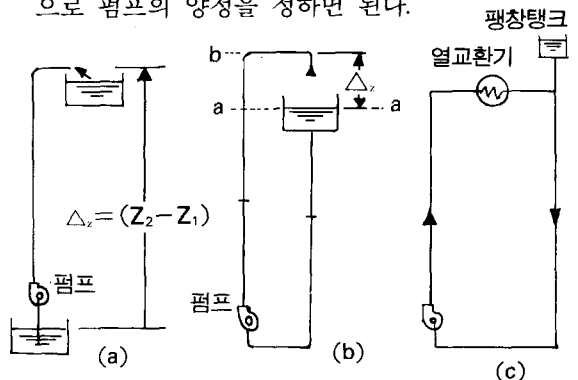


그림 19 펌프의 소요 정수두

그림 19 (a)와 같이 하부의 물탱크에서 상부의 탱크로 양수하는 경우 식 24의 제3항 ($Z_2 - Z_1$)에서 구한다. 그외에 배관계에서의 각종 압력손실이 있으므로 펌프 필요양정 H_m 은

$$H_m = (Z_2 - Z_1) + \frac{\Delta P}{\gamma}$$

$$= \Delta Z + \frac{\Delta P}{\gamma} (\text{mAq}) \text{이 된다.}$$

그림 19 (b)는 펌프보다 높은 위치에 있는 탱크에서 탱크상부에 물을 살수 하는 것으로 배관계의 높이 a 와 탱크내 수면의 위치가 같으므로 수면에서 a 까지는 펌프운전을 하지 않아도 물이 충전되어져 있으며 따라서 펌프는 a 점에서 b 점까지 물을 올리는 힘과 배관계내의 전 압력손실 $\Delta P/\gamma$ 이 필요하며 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$H_m = \Delta Z + \frac{\Delta P}{\gamma}$$

ΔZ : 탱크수면과 배관최고부위 b 의 높이 차.

그림 19 (c)는 배관계의 최고부위에 설치한 팽창탱크에서 배관계에 급수하면 펌프운전하지 않아도 시스템은 만수상태가 된다. 따라서 식 24의 제3항의 높이차는 필요없게 되고 펌프양정 H_m 은

$$H_m = \frac{\Delta P}{\gamma} (\text{mAq}) \text{이 된다.}$$

$\frac{\Delta P}{\gamma}$ 는 배관계 전체의 직관부 마찰에 의한 압력손실 h_f ,

부속류, 밸브류 등의 국부저항에 의한 압력손실 h_a 와 각종기기류 압력손실 h_m 의 합이다.

$$H_m = \frac{\Delta P}{\gamma} = h_f + h_a + h_m$$

[예제 18]

예제 17의 배관계의 펌프 소요양정을 구하시오.

그림 19에서 이 배관계는 밀폐배관계 그림 19 (c)의 경우에 상당하므로 펌프의 소요양정 H_m 은 예제 17의 배관계 전저항 22mAq로 한다.

[예제 19]

그림 20과 같이 냉동기의 냉각수 배관계가 있다. 이 배관계의 각종 저항이 다음과 같을 때 냉각수 펌프의 소요양정을 구하시오.

[해답]

$$H_m = 5 + 3 + 6 + 5 + 3 = 22 [\text{mAq}]$$

- 배관계의 마찰저항 5mAq
- 배관계의 국부저항 3mAq
- 냉동기 응축기저항 6mAq
- 냉각탑 분무압 0.5kgf/cm²

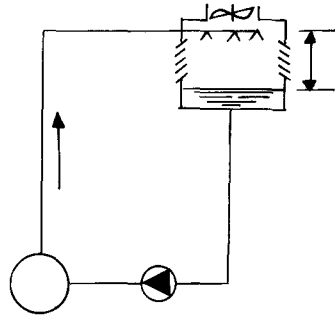


그림 20 냉각수 순환운전

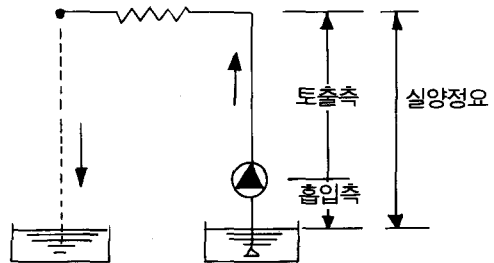


그림 21 개방운전

그림 21에서와 같이 건물의 지하층에 설치되어진 축열조에서 냉수를 상층에 설치된 공기조화기의 냉수코일에 공급하는 경우 배관계의 높이차에 대한 양정으로 h_s 가 필요하나 A점을 기준으로 양측에 사이폰 작용이 발생하여 최상부까지 만수되어져 있는 경우 이 사이폰 작용분만큼 양정은 경감된다.

사이폰 작용은 이론적으로 10mAq이나 실용

상으로는 7~8[mAq]정도이므로 펌프운전중 실양정 h_s 는

$$h_s = h_s - (7 \sim 8) \text{ [mAq]} \text{가 된다.}$$

그러나 현실적으로는 펌프의 운전개시시 A점까지 펌프에 의해 만수가 필요하므로 펌프양정은 배관계 전저항과 양정 h_s 를 더한 값으로 하여야 한다. 그러나 일단 운전을 개시하면 사이폰 작용에 의한 A점으로부터 탱크까지 낙하수력의 에너지를 이용하여 수차를 운전하면 펌프 동력의 일부분으로 사용가능하며 이를 동력회수 펌프라 한다.

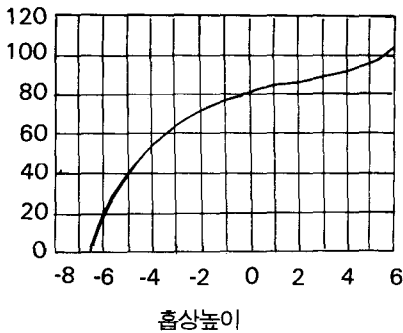


그림 22 편흡입 외권펌프의 수온과 흡상 높이

그림 19 (a)와 21과 같이 펌프보다 낮은 탱크에서 물을 흡입하여 송수하고자 할때 탱크수면에 대기압이 작용하여 이론적으로는 대기압 (10.33mAq)만큼 높은 위치까지 펌프로 흡상 가능하나 실제로는 펌프흡입측의 후드밸브, 배관 등의 저항과 대기압보다 낮은 압력의 물을 송출하는 펌프의 임펠러에서 수중의 용존공기, 저압으로 증발하는 수증기의 기포등에 의해 캐비테이션이 발생하여 실제흡입양정은 10.33m보다 크게 적게된다.

이론적으로는 흡입수의 온도를 고려하여 흡입양정 h_s 는 다음식으로 구한다.

$$h_s = H_a - h_v - h_e \text{ [m]}$$

H_a : 대기압 10.33 [m]

h_v : 수온에 상당하는 포화증기압 [m]

h_e : 흡입관중의 압력손실 수두 [m]

그러나 실용상 식 27에 의한 값보다 안전율을 고려한 그림 22에 나타난 값을 이용한다.

[예제 20]

지하층 바다에 설치된 축열수조에 50°C의 온수를 저장하고 있다. 흡입관의 압력손실이 0.5 mAq 일때 펌프의 설치 높이를 구하시오.

[해답]

지하층 바다에 설치된 축열수조에 50°C의 온수를 저장하고 있다. 흡입관의 50°C물의 포화수증기압 h_v 는 증기표에서 1.26mAq 로 구한다. 따라서 식 8-27에 의해

$$h_s = 10.33 - 1.26 - 0.5 = 8.57 \text{ mAq}$$

펌프의 설치위치는 이론상으로 축열수조 수면에서 펌프 흡입구 중심까지높이 8.57m 이면 가능하나 실재는 그림 8.22에 의해 약 4.5m의 위치에 설치하여야 한다.

3.3 펌프의 선정

펌프는 액체를 낮은위치에서 높은 위치로 배관에 의해 운반하거나 액체에 압력을 주어 배관계의 저항을 이기고 흐르도록 하는 기계이다. 공기조화설비에서 이용하고 있는 액체는 물 이외에 연료유, 브라인 흡수액, 냉매액 등이 있으며 액체의 종류, 필요압력에 따라 형식 구조가 다르며 원심식, 왕복동식, 기어식 등의 각종기기가 사용되고 있다.

공기조화 설비에서는 냉온수 운반용으로 원심식의 외권 펌프가 가장 많이 사용되고 있다.

외권 펌프는 그림 23과 같은 구조로서 임펠러를 고속회전하여 중심부에서 흡입된 물을 임펠러 내부에서 외부로 향하여 원심력에 의해 압력과 속도를 부여한다.

속도의 일부는 물이 케이상내의 가이드베인을 통과하는 도중에 압력으로 전환되어 필요한 양정을 내고있다.

가이드베인은 임펠러에서 나온 물의 속도를 효과적으로 압력으로 전환시켜 고양정에 주로 사용된다.

이와같이 가이드베인이 있는 외권펌프를 터빈 펌프, 가이드베인이 없는 형식을 볼류트 펌프라 한다.

소요양정을 1단의 임펠러로 낼 수 없는 경우 임펠러를 다단으로 동일축상에 설치하여 필요한

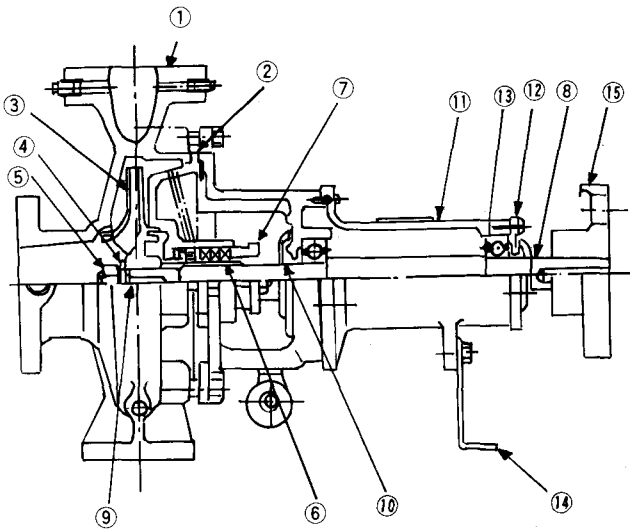


그림 23 와권 펌프의 구조에

번호	부품명	소재
①	케이싱	FC20
②	케이싱 카바	FC20
③	임펠러	FC20
④	부싱	SUS304
⑤	임펠러 너트	SUS304
⑥	각 패킹	아스베스트
⑦	패킹누르개	SUS304
⑧	주축	SUS402J2+S45C
⑨	키	SUS403
⑩	물끊기고무	고무
⑪	베어링 상자	FC20
⑫	베어링 카바	FC20
⑬	베어링	SUJ2
⑭	보조 다리	SS41
⑮	축 이음	FC20

양정을 얻을 수 있도록 하며 이러한 펌프를 다단 펌프라 한다.

펌프구동은 전동기가 일반적이며 카프링을 이용하여 펌프임펠러와 직결하여 사용하며 펌프와 전동기를 일체로 조합하여 배관중에 설치한 구조로 된 펌프를 라인 펌프라 한다.

3.3.2 펌프의 소요동력

펌프의 토출량 $Q[m^3/min]$ 을 소요양정 H_m 까지 압력을 높이기 위하여 필요한 동력 B 는 다음식에 의한다.

$$B = \frac{0.163\gamma H}{\eta_p} \quad [kw] \quad 28$$

γ : 물의 비중(kgf/ℓ)

Q : 토출수량(m^3/min)

H : 소요양정 [mAq]

η_p : 펌프 효율

일반적으로 $\gamma=1$ 로 하며 펌프효율 η_p 는 펌프의 형식과 용량등에 따라 다르나 일반적으로 0.6~0.8 정도로 한다.

그러나 소요량의 경우에는 0.5이하의 경우도 있다.

[예제 8.21]

토출량 $2.5m^3/min$, 양정 $22mAq$ 의 펌프 축 동

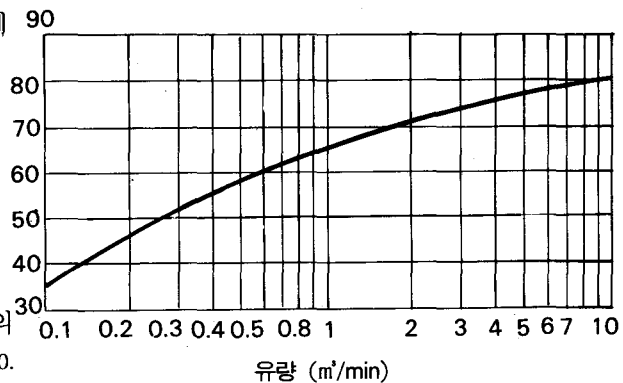
력을 구하시오.

물의 비중 $\eta=1[kgf/\ell]$, 펌프효율 $\eta_p=0.8$ 로 한다.

[해답]

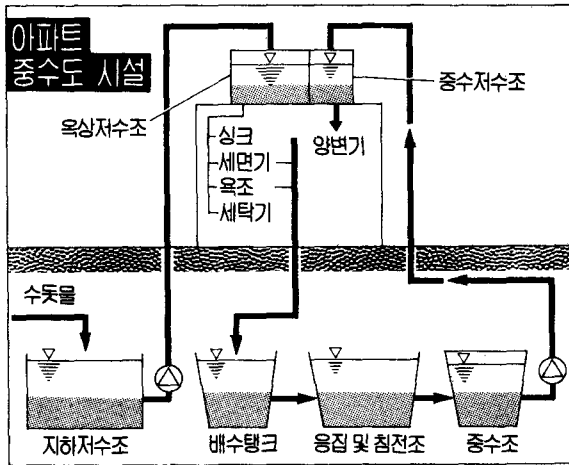
$$B = \frac{0.163 \times 1 \times 2.5 \times 22}{0.8} = 11.2[kw]$$

전동기는 15kw사용



실제사용하는 펌프의 형식과 동력용량을 선정하는데는 일반적으로 제조회사의 카다로그를 이용한다.

국내 최초로 중수도 시설 신도시에 건설중



국내 최초로 경기도 군포시 산본 신도시에 아파트단지에서 발생하는 생활하수를 자체 시설로 정화, 다시 각 가정으로 공급하는 중수도(中水道) 시설이 건설중이다.

산본 신도시 주공아파트 5단지내 어린이놀이터 지하에는 10m×6m×8m 짜리의 중수도 시설 마무리 공사가 한창이다.

이 시설은 9월부터 입주할 장기임대 및 영구임대 아파트 6개동에서 발생하는 세숫물과 목욕물을 따로 모아서 정화, 수세식 양변기 세척수로 재활용하는 장치이다.

하루 1백17t의 하수를 정수처리할 이 시설에 완공되면 이 지역 수돗물 사용량과 생활하수 배출량을 각각 20% 씩 절감하는 효과를 보게 된다.

그림 25은 단단와권펌프 선정도의 예이다. 수평축은 펌프에 요구되는 유량, 수직축은 양정으로 한다. 펌프에 요구되는 토출량과 양정에 의해 선정되는 펌프의 형식은 다음과 같으며 그림 27에 펌프 형식 선정선도를 나타냈다.

펌프형식	유량(l/min)	양정(m)
편출입와권펌프	3000	35
양출입와권펌프	3000~10000	10~50
다단 펌프	10~3000	25~100

냉동기용 냉각수 펌프를 지하에 설치하고 옥상에 냉각탑을 설치한 경우 냉각탑에서 냉각수 펌프까지의 높이차이에 의해 냉각수배관을 통하여 펌프에 대단히 큰 정수두가 작용한다. 이와 같은 경우 펌프케이싱은 충분한 내압을 보유한 기종으로 하여야 하며 이에 대하여는 펌프제조

회사된 충분히 협의 하여야 한다.

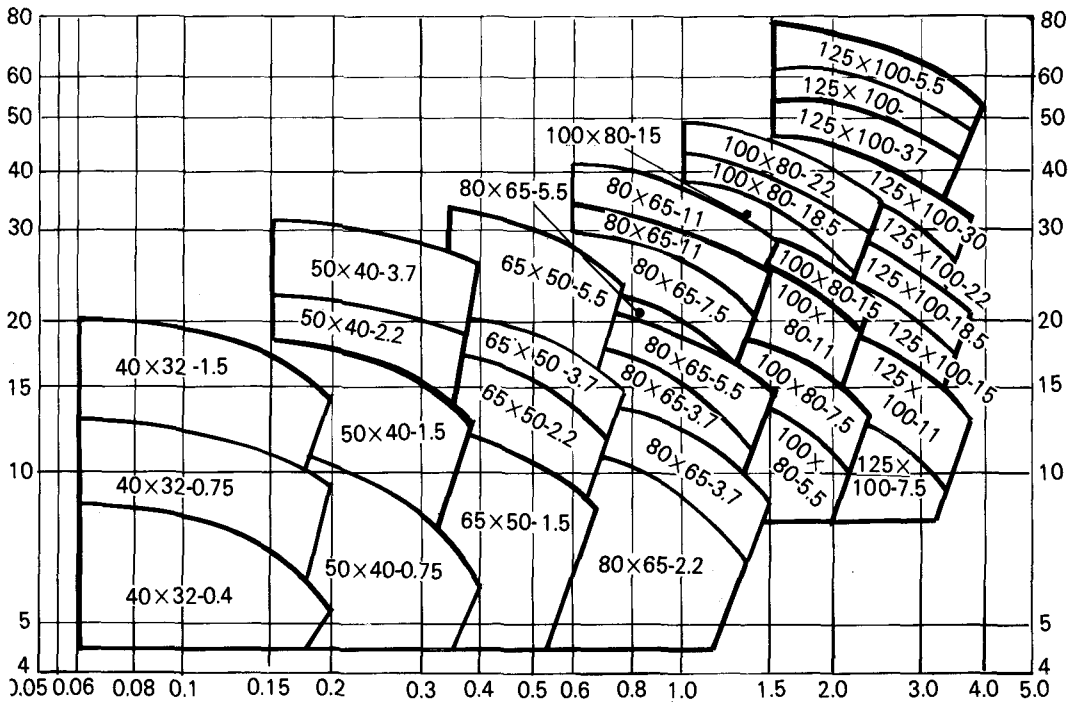
일정회전수로 회전하고 있는 펌프에 대하여 밸브의 개폐에 의해 배관계의 저항이 변하며 펌프의 전양정, 토출수량, 전동기축동력, 펌프효율이 변화한다.

이와같이 일정회전수의 펌프성능을 수평축에 토출수량, 수직축에 양정, 효율, 축동력으로 표시한 선도를 펌프의 능성곡선이라 한다.

그림 28은 펌프의 특성 곡선의 예이다.

그림 29는 펌프의 특성곡선에서 배관계의 유량-저항곡선(부하곡선)을 나타낸것으로 양정곡선과 부하곡선의 교점 A에서 펌프가 운전되며 이점을 설계사양점으로 할 때 이때의 축동력은 B_s , 효율은 η_A 가 된다.

부하가 감소하여 유량이 Q_A 에서 Q_B 로 줄었을때 배관계의 부하곡선은 점선과 같이 되어 양정곡



40 × 32-0.4
 흡입구경 (mm) 토출구경 (mm) 전동기출력 (kW)

그림 25 단단외권펌
 선정도 (60Hz, 1800rpm)⁽⁵⁾

그림 26 펌프형식선정도

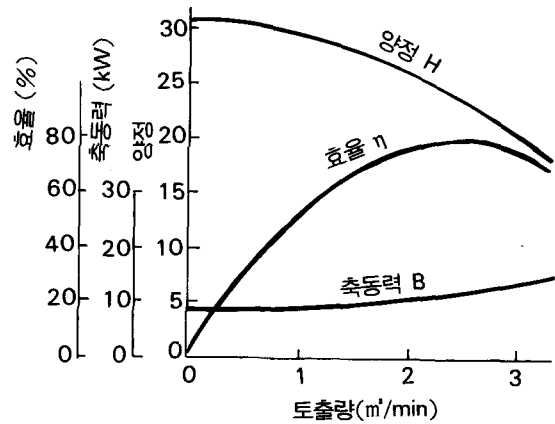
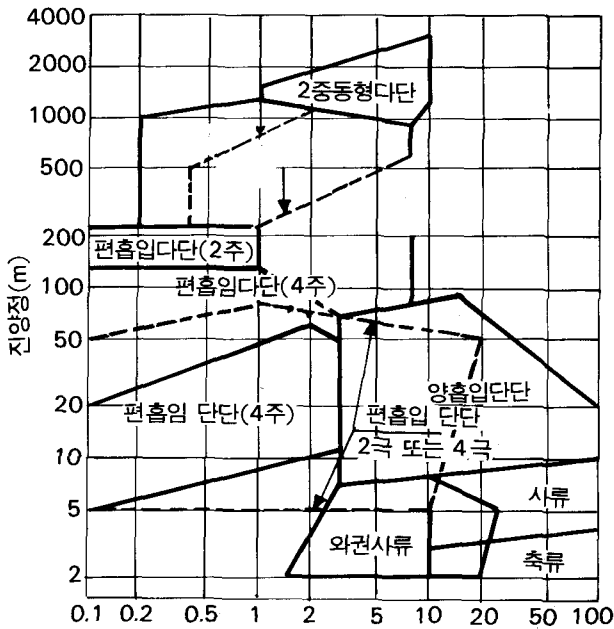


그림 27 펌프의 특성곡선

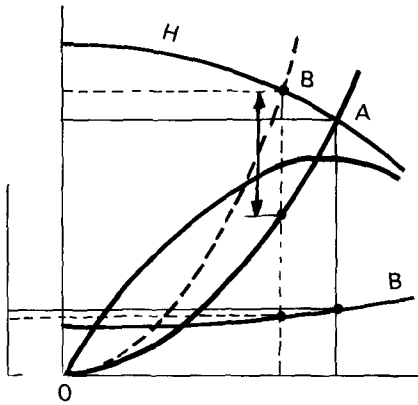


그림 28 펌프의 특성곡선과 배관계의 부하곡선

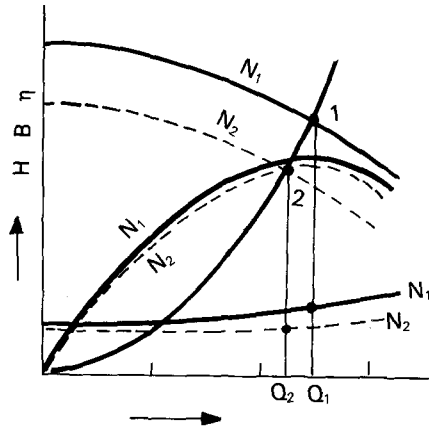


그림 29 회전수 제어에 의한 펌프특성곡선의 변화

선과 부하곡선의 교점 B로 운전되어야 한다. 이와같이 배관계의 설비내용이 변경없으면 실선의 부하곡선상의점 B'가 본래의 유량-저항관계를 나타내고 있는 것으로 B-B'의 양정을 처리하기위하여는 밸브를 교축시켜야 한다. 이때 그림과 같이 펌프의 토출수량은 감소하고 펌프양정은 높게되며 축동력은 적어지나 효율은 저하된다.

펌프의 회전수를 N_1 rpm에서 N_2 rpm으로 변경하면 토출수량, 축동력, 양정이 다음식과 같이 변한다.

$$\text{토출수량} : Q_2 = \left(\frac{N_2}{N_1} \right) Q_1 \quad (29)$$

$$\text{양정} : H_2 = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 H_1 \quad (30)$$

$$\text{축동력} : B_2 = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3 B_1 \quad (31)$$

배관계의 저항은 정수두분을 제외하면 유량의 2승에 비례한다.

따라서 위에서 알 수 있듯이 유량을 Q에서 Q_2 로 감소하는 경우에 회전수 N_1 에서 N_2 로 줄이면 유량과 양정이 계획되었던대로 줄어들며 축동력은 회전수 변화의 3승에 비례하여 감소한다. 이를 이용하여 부하감소시 펌프의 회전수를 줄여서 에너지절약을 하는 변유량방식(Variable water volume VWW)이 채용되어지고 있다. 그림 30은 펌프의 회전수를 변경할때의 특성곡선을 나타낸것으로 실선 N_1 에서 점선 N_2 로 회전수를 줄인 경우이다.

[예제 23]

예제 22에서 선정된 펌프의 회전수는 1500 rpm이다.

유량을 $2.5 \text{ m}^3/\text{min}$ 에서 $2.0 \text{ m}^3/\text{min}$ 으로 줄일때 회전수 제어방식을 이용하고자 한다. 이때 회전수와 펌프의 양정과 소요축동력을 구하시오.

[해답]

$$N_2 = N_1 \frac{Q_2}{Q_1} = 1500 \times \frac{2.0}{2.5} = 1200 [\text{rpm}]$$

$$H_1 = 22 [\text{m}] \quad N_1 = 1500 [\text{rpm}] \quad N_2 = 1200 [\text{rpm}]$$

$$H_2 = \left(\frac{1200}{1500} \right)^2 \times 22 \approx 14.1 [\text{mAq}]$$

$$B_1 = 15 \text{ kW}, \quad N_1 = 1500 \text{ rpm} \quad N_2 = 1200 \text{ rpm에서}$$

$$B_2 = \left(\frac{1200}{1500} \right)^3 \times 15 = 7.68 [\text{kW}]$$

[다음호에 계속]