

펌프의 종류 및 특성

일반 펌프

터보펌프	임펠러를 케이싱내에서 회전시켜 액체에 에너지를 공급하는 펌프
원심펌프	임펠러에서 토출되는 물의 흐름이 주로 축에 직각인 면에 있는 펌프
볼류우트 펌프	원심펌프에서 임펠러의 토출측에 직접 볼류우트 케이싱을 가지고 있는 펌프
디퓨저 펌프	원심펌프에서 임펠러의 토출측에 가이드 베인(Guide Vane)형의 Diffuser를 가지고 있는 펌프
사류 펌프	임펠러에서 토출되는 물의 흐름이 Shaft의 중심선을 축으로 하는 원추면에 , 즉 주축 에 대하여 비스듬한 방향으로 흐르는 펌프
볼류트사류펌프	서류펌프에서 임펠러의 토출측에 직접 볼류트 케이싱을 가지고 있는 것
축류 펌프	임펠러에서 토출되는 물의 흐름이 축과 동심의 원통면내에, 즉 축 방향으로 흐르는 펌프

특수 펌프

용적형 펌프	기계내의 용적을 변화시킴으로써 액체에 에너지를 주는 펌프
피스톤 펌프	원통형의 케이싱내에서 피스톤을 왕복시키는 펌프
플런저 펌프	원통형의 케이싱내에 플런저를 왕복시키는 펌프
다이하프램 펌프	케이싱내의 Diaphragm을 전.후로 운동시키는 펌프
치차 펌프	두 개의 치차를 맞물리게 회전시켜 그 치차로 액을 송출하는 펌프
나사 펌프	스크류를 회전시킴으로써 그 나사작용을 이용하여 액체를 축 방향으로 송출하는 펌프
베인 펌프	축에 대하여 직각 방향으로 자유로이 움직일 수 있는 Vane이, 편심이 된 Boss가 회전함에 따라 나왔다 들어갔다 하여 액체를 송출하는 펌프
캠 펌프	Cam의 작용에 의하여 액에 에너지를 주는 펌프
웨스코 펌프	임펠러의 외주부분에서 Volute(소용돌이)를 일으켜 터보식과 용적식의 특징을 겸비한 펌프
낫슈식진공펌프	임펠러 수봉식(Ring)의 피스톤작용을 이용하여 진공을 만드는 펌프

펌프란 ?

전동기나 내연기관 등의 원동기로부터 기계적 에너지를 받아서, 액체에 운동 및 압력에너지를 주어 액체의 위치를 바꾸어 주는 기계이다. 펌프의 작용은 흡입과 토출에 의해 이루어진다. 흡입작용은 펌프내를 진공상태로 만들어 흡상시키는 것으로, 표준기압 상태에서 이론적으로 10.33[m]까지 흡입시킬 수 있다. 그러나 흡입관내의 마찰손실이나 물속에 함유된 공기 등에 의해 7[m] 이상은 흡상하지 않는다. 고도에 따른 펌프의 이론상 흡입높이를 나타냈다.

펌프의 종류는 구조 및 작동원리에 따라 터보형, 용적형, 특수형으로 나누이고, 용도에 따라 급수용, 배수용, 순환용, 소화용, 기름용 등이 있다.

고도에 따른 펌프의 흡입높이

고 도(해 발 m)	0	100	200	300	400	500	1,000	5,000
기 압(수은주 mm)	760	751	742	733	724	716	674	634
이론상 흡입높이(수주 m)	10.33	10.20	10.08	9.97	9.83	9.7	9.0	8.6

펌프의 종류

형식	작동방식	종 류
터보형	원심력식	원심펌프 - 볼류트 펌프(volute pump), 터빈 펌프(디퓨저 펌프)
		축류 펌프, 사류 펌프
		마찰펌프
용적형	왕복동식	피스톤 펌프, 플런저 펌프, 다이어프램 펌프
	회전식	기어 펌프, 나사 펌프, 루츠 펌프, 베인 펌프, 캠 펌프
특 수 형		기포 펌프, 제트 펌프, 수격 펌프, 와류 펌프, 진공 펌프
		점성 펌프, 전자 펌프

1. 터보형 펌프

깃(vane)을 가진 임펠러(impeller)의 회전에 의해 유입된 액체에 운동에너지를 부여하고, 다시 와류실(spiral casing)등의 구조에 의해 압력에너지로 변환시키는 형식의 펌프로서, 원심펌프, 사류펌프, 축류펌프가 있다.

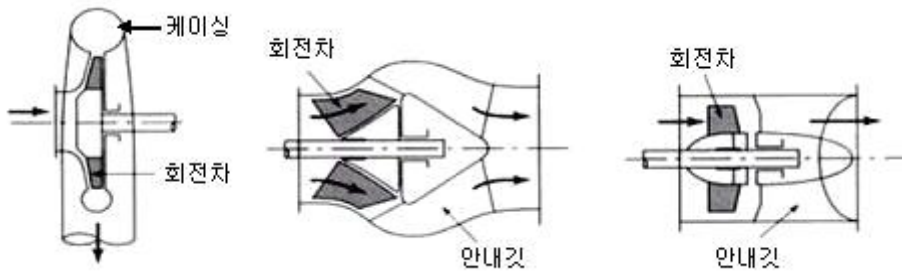
터보형 펌프는 용적형 펌프에 비해 진동이 적고 연속송수가 가능하다. 또한 구조가 간단하고, 취급이 용

이하며, 운동성능도 양호하다. 토출량은 압력에 따라 변한다.

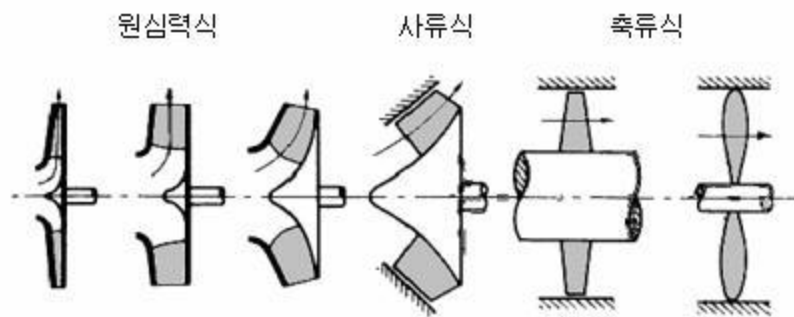
(a) 원심펌프

(b)사류펌프

(c) 축류펌프



터보형 펌프의 비교



임펠러형상의 계통적 변화

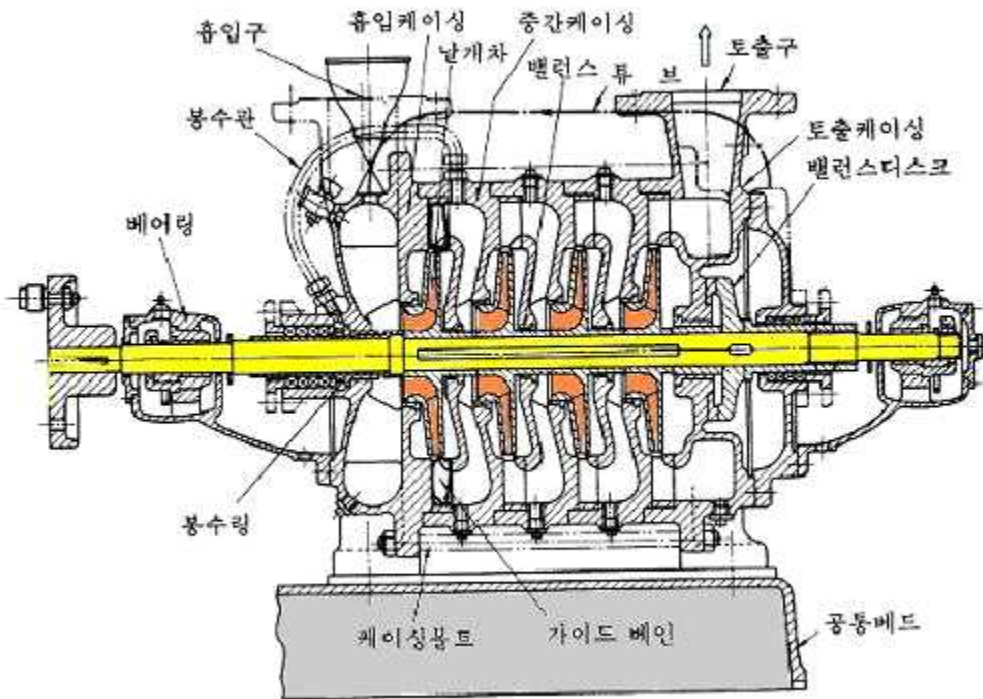
(1) 원심펌프(centrifugal pump) 물이 축과 직각방향으로 된 임펠러로부터 흘러나와 스파이럴 케이싱에 모아져서 토출구로 이끌리는 펌프로써, **와권펌프**라고도 한다. 급수용은 물론 설비의 각종 용도로 가장 많이 사용되고 있는 펌프이다.

원심펌프는 임펠러(회전차;impeller)를 회전시켜 물에 회전력을 주어서 원심력 작용으로 양수하는 펌프로써, 깃(날개;vane)이 달린 임펠러, 안내깃(guide vane) 및 스파이럴 케이싱(spiral casing)으로 구성되었다.

물은 먼저 흡입관을 통하여 임펠러 중심부에 들어가 깃 사이를 통과하는 사이에 회전력을 받아 압력이 증가하고, 안내깃을 지나는 동안 속도에너지는 압력에너지로 변화하면서 스파이럴 케이싱에 들어간다.

안내깃은 임펠러의 바깥둘레에 배치한 고정 깃으로서, 임펠러에서 나오는 빠른 속도의 물을 안내하면서 속도энер지를 압력에너지로 바꾸어 주는 역할을 한다. 스파이럴 케이싱은 임펠러 또는 안내깃에서 나오는 물을 모아서 토출구에 유도하는 것으로, 점차로 통로를 넓게 하여 속도수두를 압력수두로 변화시킨다.

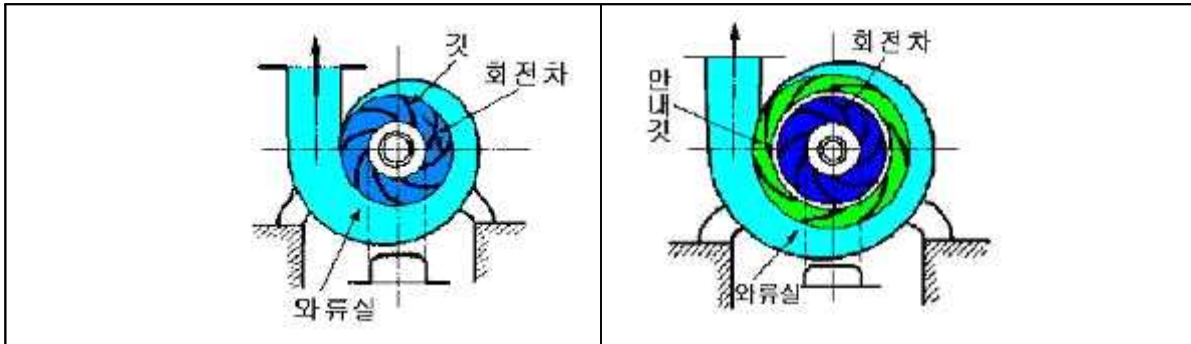
원심펌프는 다음과 같이 분류할 수 있다.



원심펌프의 구조

① 안내깃의 유무에 따라

- **볼류트 펌프(volute pump)** : 임펠러 둘레에 안내깃이 없이 스파이럴 케이싱이 있다. 양정 15[m] 이하의 저양정 펌프이다.
- **터빈 펌프(turbine pump)** : 임펠러와 스파이럴 케이싱 사이에 안내깃이 있는 펌프로서, **디퓨저 펌프(diffuser pump)**라고도 한다. 양정 20[m] 이상의 고양정 펌프이다.



(a) 볼류트 펌프

(b) 터빈펌프

② 단(stage)수에 따라

- **단단펌프**(single stage pump) : 임펠러가 1개만 있는 펌프로서 저양정에 사용한다.
- **다단펌프**(multi stage pump) : 1개의 축에 임펠러를 여러 개 장치하여 순차적으로 압력 을 증가시켜 가는 펌프로서 고양정에 사용한다. 10단 이상의 펌프도 있다.

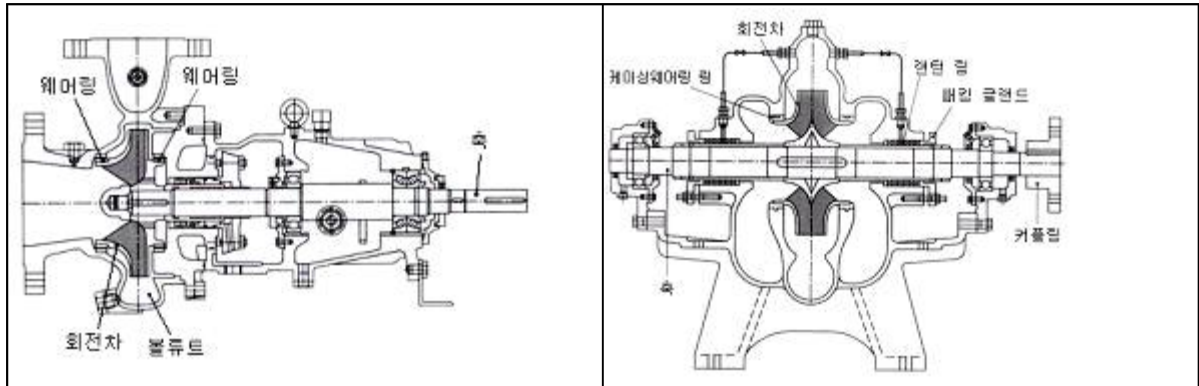


(a) 단단펌프

(b) 다단펌프

③ 흡입구의 수에 따라

- **편흡입펌프**(single suction pump) : 흡입구가 한쪽에만 있는 펌프이다.
- **양흡입펌프**(double suction pump) : 흡입구가 양쪽에 있는 펌프이며, 대유량 펌프이다.



(a) 편흡입 펌프

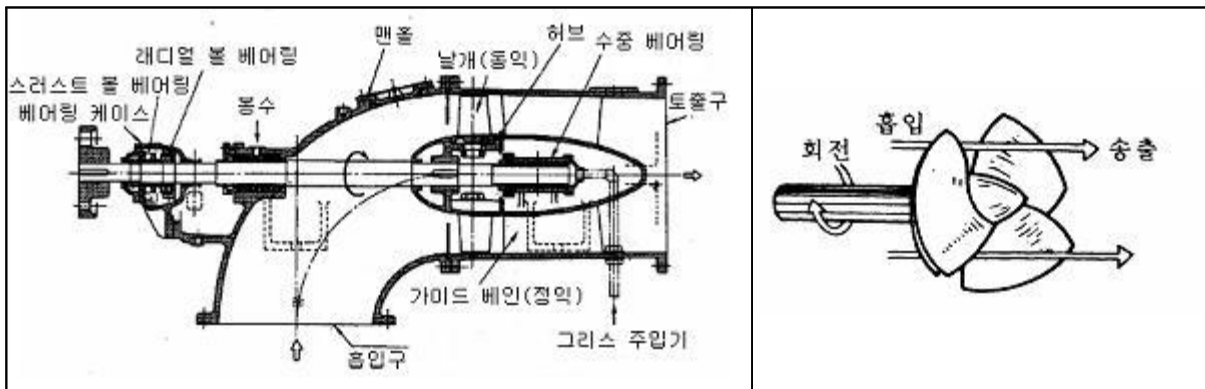
(b) 양흡입 펌프



양흡입 펌프의 외형도

(2) 축류펌프(axial flow pump) 그림 1,23에서와 같이 임펠러가 프로펠러형이고 물의 흐름이 축방향인 펌프로서, 저양정(보통 10m이하) 대유량에 사용한다. 농업용의 양수펌프, 배수펌프, 상·하수도용 펌프에 이용되고 있다.

운전중에 임펠러 깃의 각도를 조정할 수 있는 장치가 설치된 가동익 축류펌프와 조정할 수 없는 고정익 축류펌프가 있다. 고정익 축류펌프를 단순히 축류펌프라 부른다.

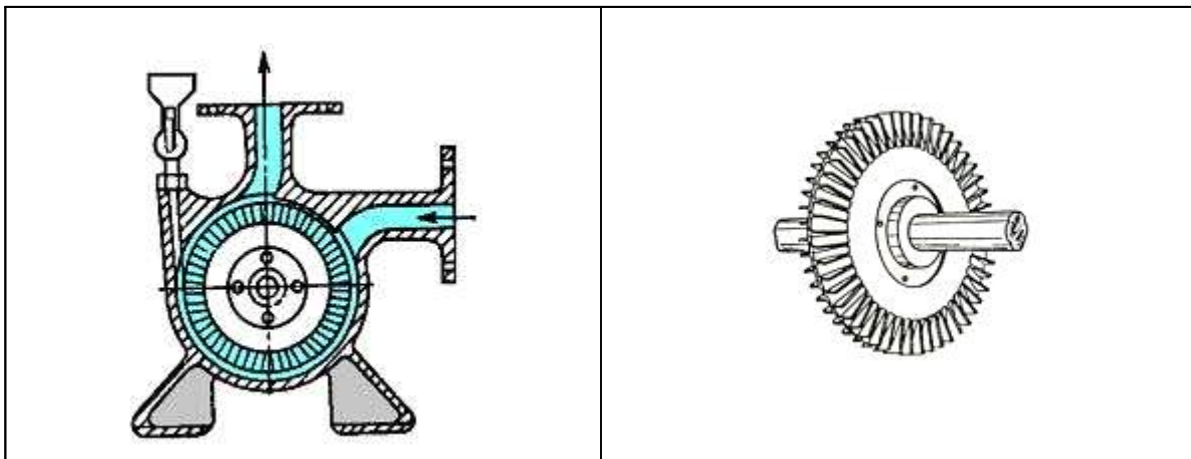


(a) 구조도

(b) 임펠러의 모양

(3) **사류펌프(mixed flow pump)** 축류펌프와 구조가 거의 같으나 임펠러의 모양은 그림 1.16(b)와 같이 물이 축과 경사방향으로 흐르도록 되어 있으며, 저양정 대유량에 사용되고 있다.

(4) **마찰펌프(friction pump)** 그림 1.24와 같이 둘레에 많은 홈을 가진 임펠러를 고속 회전시켜 케이싱 벽과의 마찰에너지에 의해 압력이 생겨 송수하는 펌프로써, 대표적인 것으로는 **와류펌프(vortex pump)** 일명 **웨스코펌프(Westco rotary pump)**가 있다. 구조가 간단하고 구경에 비해 고양정이나, 토출량이 적고 효율이 낮다. 운전 및 보수가 쉬어 주택의 소형 우물용 펌프에 적합하다.



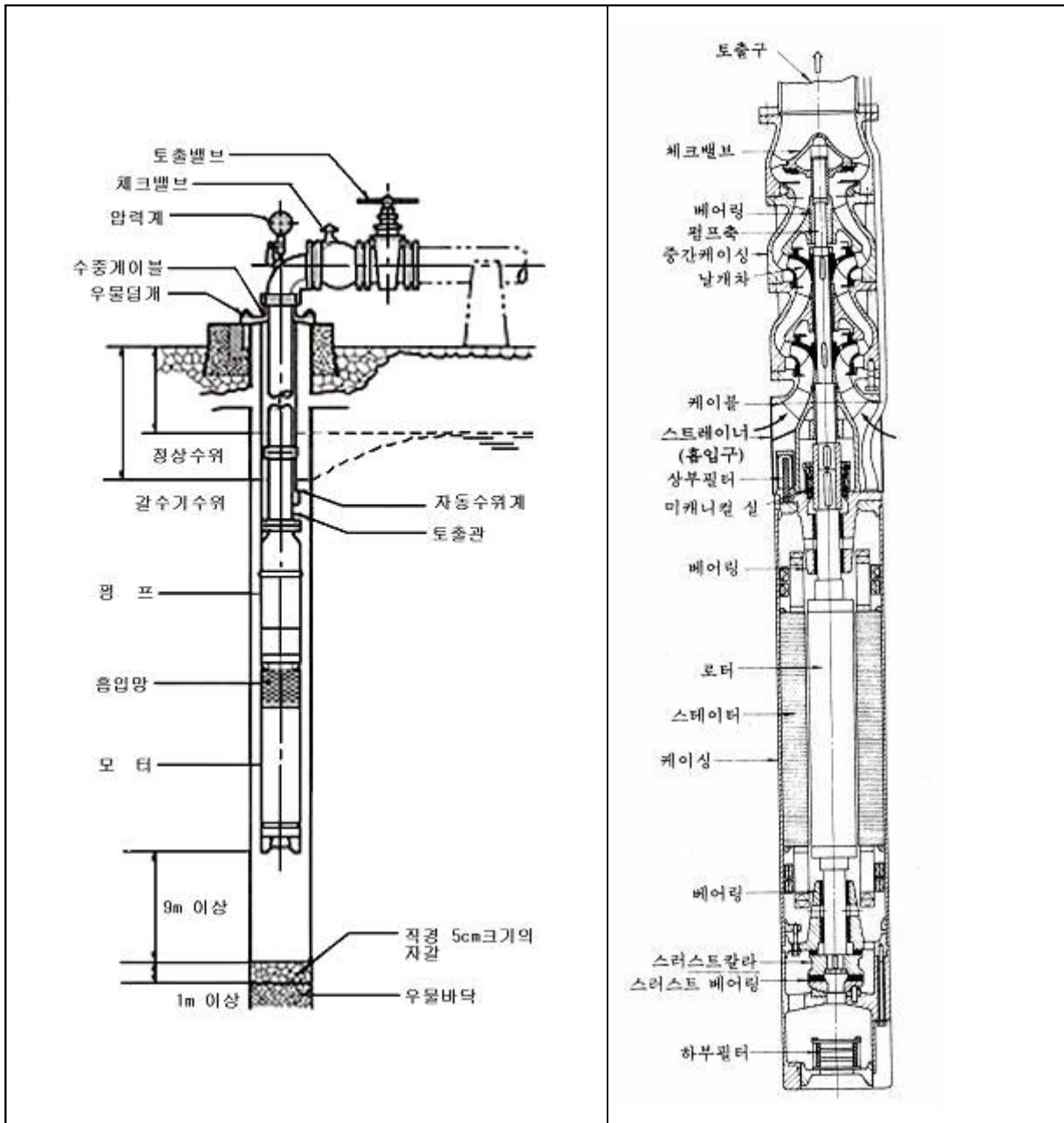
(a) 구조도

(b) 임펠러의 모양

<마찰펌프>

(5) **보어홀 펌프(bore-hole pump)** 깊은 우물물을 양수하는 펌프이나, 수중모터펌프의 보급에 따라 최근에는 별로 사용되지 않는다. 모터를 지상에 설치하고 펌프의 임펠러 부분과 스트레이너는 우물 속에 넣어 긴 축으로 원동기와 임펠러를 연결하였다. 펌프의 구성은 우물 속에 있는 펌프부분과 이를 구동시키는 지상에 설치된 원동기 부분, 그리고 펌프와 원동기를 연결하는 긴 축부분과 축 외부의 양수관으로 구성되어 있다.

(6) **수중모터펌프(submerged motor pump)** 깊은 우물물을 양수하기 위한 펌프이다. 전동기와 펌프를 직결하여 일체로 만들고 여기에 양수관을 접속해서 우물 속에 넣어 전동기도 펌프와 같이 수중에서 작동하는 다단터빈펌프의 일종이다.



<깊은 우물용 펌프(수중 모터펌프)>

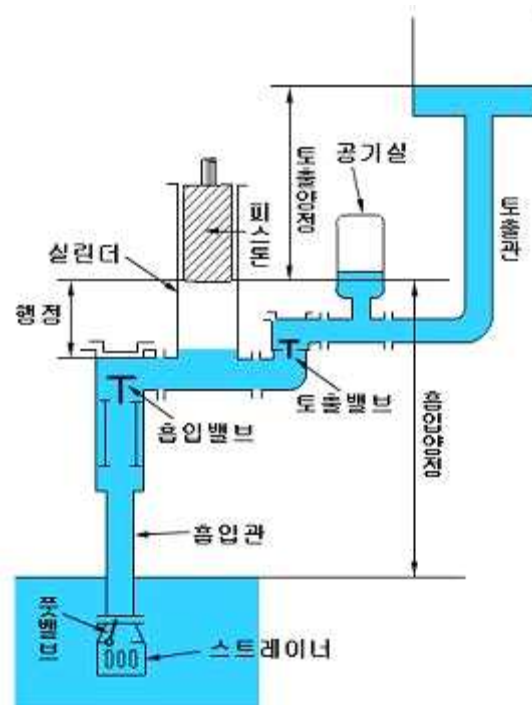
2. 용적형 펌프

왕복부 또는 회전부에 공간을 두어 이 공간 내에 유체를 넣으면서 차례로 내 보내는 형식의 펌프로서, 왕복펌프와 회전펌프로 나누인다.

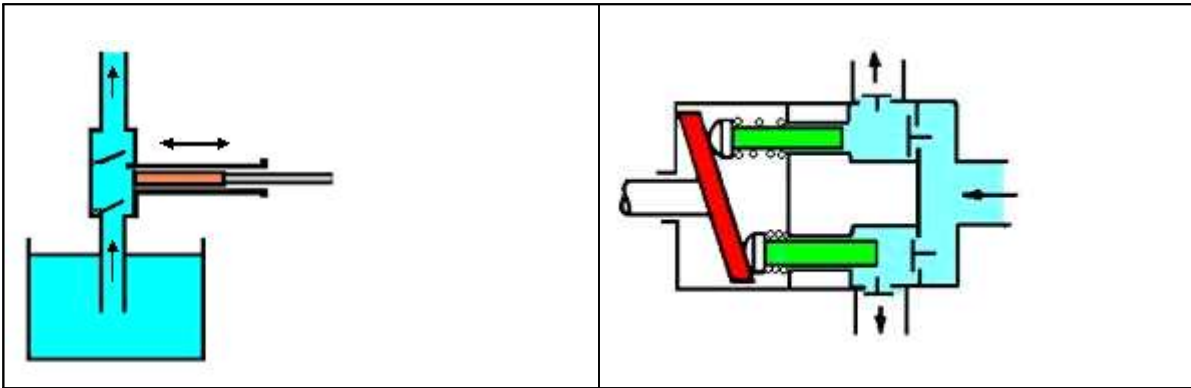
용적형 펌프의 특징은 운전 중 토출량의 변동이 있으나, 고압이 발생되며 효율이 양호하다. 압력이 달라져도 토출량은 변하지 않는다.

(1) 왕복펌프(reciprocating pump) 피스톤(piston) 또는 플런저(plunger)가 실린더 내를 왕복운동 함으로써 액체를 흡입하여 소요의 압력으로 압축하여 토출하는 펌프이다. 펌프의 형식에는 여러 가지가 있다. 토출밸브를 피스톤에 장치한 수동형 펌프, 그림 1.27(a)와 같이 봉모양의 플런저가 왕복할 때마다 흡입과 토출을 하는 단동 플런저펌프, 그림 (b)와 같이 플런저의 1왕복마다 2회의 흡입과 토출이 이루어지는 복동 플런저 펌프가 있으며, 이 외에 유량을 많게 하고 토출량의 변화를 적게 하기 위해 단동을 2개 이상 병렬로 연결한 펌프도 있다.

왕복펌프는 양수량이 적으나 구조가 간단하며, 고양정(고압용)에 적당하다. 그러나 왕복동에서 생기는 송수압의 변동이 심하므로 토출량의 변화가 있으며 수량조절이 어렵다.



<왕복펌프의 구조>

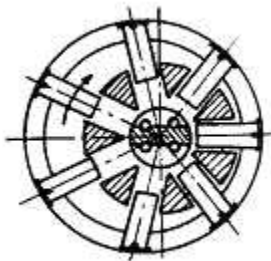


(a) 단동 플런저 펌프

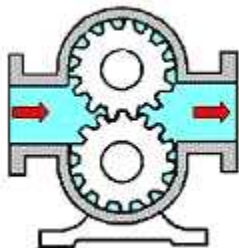
(c) 복동 플런저 펌프

<플런저 펌프>

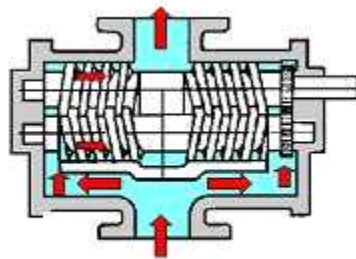
(2) 회전펌프(rotary pump) 1~3개의 회전자(rotor)의 회전에 의해 액체를 압송하는 펌프로써, 구조가 간단하고 취급이 용이하다. 펌프의 특징은 양수량의 변동이 적고, 고압을 얻기가 비교적 쉬우며, 기름 등의 점도가 높은 액체 수송에 적합하다. 회전자의 형상이나 구조에 따라 많은 종류가 있으나 대표적인 것으로는 베인펌프(vane pump), 톱니펌프(gear pump), 나사펌프(screw pump)등이 있다. 그림 1-9는 대표적인 회전펌프의 예를 나타낸 것이다.



(a) 베인펌프



(b) 톱니펌프

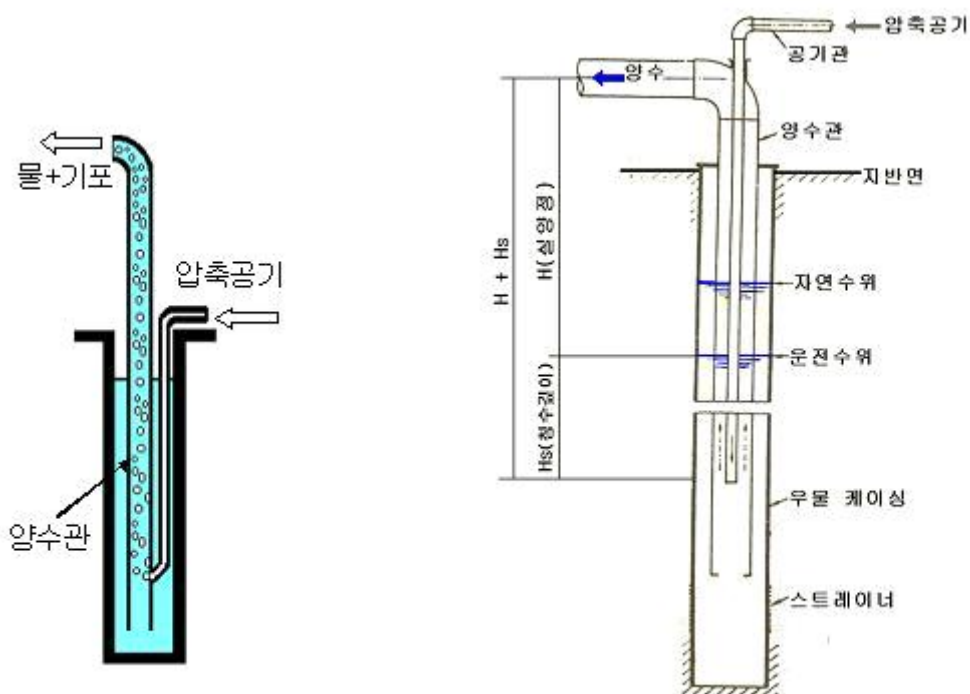


(c) 나사펌프

3. 특수펌프

(1) 기포펌프(air lift pump) 양수관 하단의 물속으로 압축공기를 송입하여 물의 비중을 가볍게 하고, 발생하는 기포의 부력을 이용해서 양수하는 펌프로써 **공기양수펌프**라고도 한다.

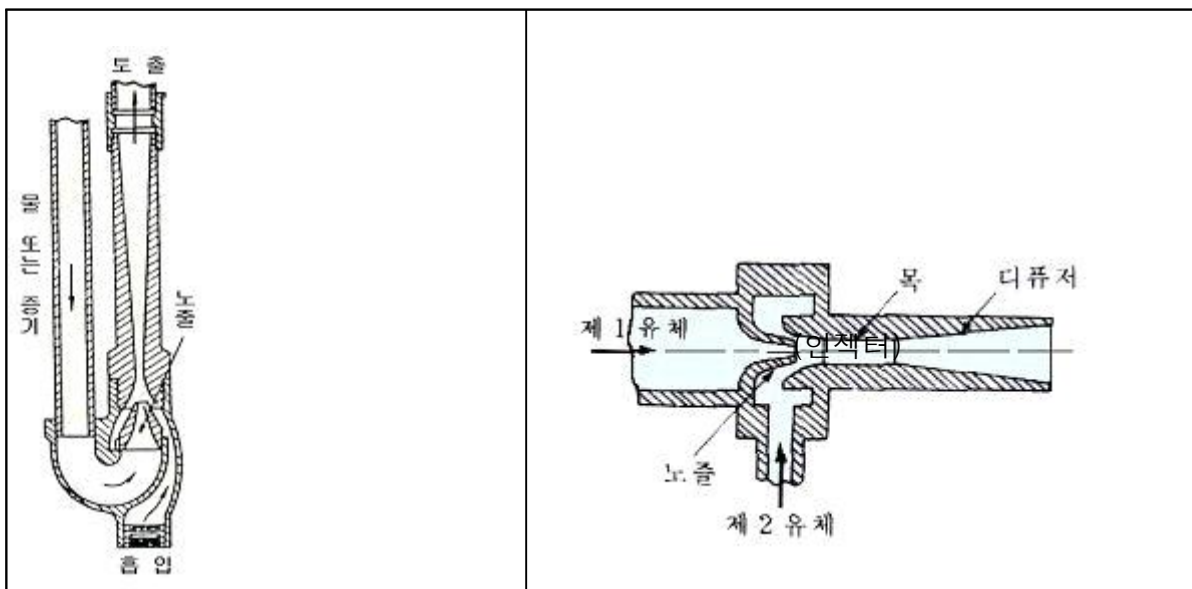
펌프자체에 가동부분이 없어 구조가 간단하고 고장이 적다. 모래나 고형물 등 이물질을 포함한 물의 양수에 적합하다.(그림 1.29)



<공기양수펌프>

(2) 분사펌프(jet pump) 수중에 제트(jet)부를 설치하고 벤투리관의 원리를 이용하여 증기 또는 물을 고속으로 노즐에서 분사시켜 압력저하에 의한 흡인작용으로 양수하는 펌프이다. 가동부가 없어 고장이 적고 취급이 간단하나 효율이 낮다.

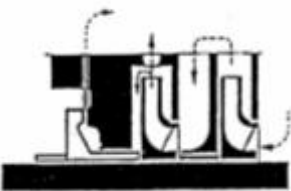
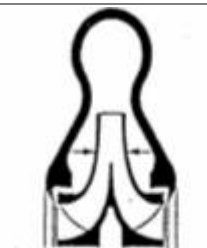
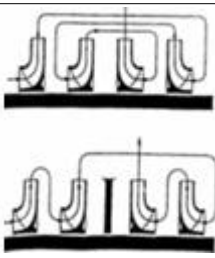
증기를 사용하여 보일러의 급수에 사용하는 인젝터(injector), 물 또는 공기를 사용해서 오수를 배출시키는 배수펌프, 깊은 우물의 양수에 사용되는 가정용 제트펌프(흡상높이 12m까지 가능) 등에 사용된다.(그림 1.30)



<분사펌프>

4. 펌프에 생기는 문제점 및 해결방안

1) 축추력

축추력 평형 방법	특 징	적 용
 바런스 홀 (평형공)	액체가 회전차 양측에 설치된 웨어링(라이너링)을 통과하면서 감압되고, 감압된 액체가 평형공(Balance hole)을 통해서 흡입측으로 되돌아가는 방식임. 웨어링의 좁은 틈새로 인해서 입자가 함유된 액체에 적용하는 것은 부적합함. 누수손실이 증가하는 단점이 있음.	소형, 중형의 원심펌프(볼류트, Turbine형 다단펌프)에 적용됨.
 Back vane(배면깃)	회전차의 후면 슈라우드에 방사상의 깃(Back vane)을 설치하여 깃과 케이싱의 좁은 틈새에 의해 감압되는 방식임. 배면깃의 수, 외경 및 케이싱과의 틈새가 축추력 증감을 좌우하며, 틈새를 조정할 수 있는 장치가 필요함. Slurry 및 입자가 함유된 액체에 주로 적용 마찰 손실이 증가하는 단점이 있음.	주로 Open 회전차에 적용
 Balance Disk	최종단 회전차 뒤쪽에 바런스 디스크(Balance disk)를 설치하여, 디스크와 케이싱의 좁은 틈새에 의해 감압되며, 흡입케이싱과 Balance 배관을 연결하는 방식. Thrust Bearing은 불필요. 액체에 이물질이 함유되어 있으면 적용 불가.	고압 다단펌프에 주로 적용됨.
 Self balance(양흡입)	흡입이 양쪽에 있는 회전차를 채용하면 별도의 축추력 평형장치가 불필요함. (Self balance) 배관 시스템에 의한 축추력이 있을 수 있으므로 Thrust bearing은 필요함. 케이싱이 상하로 분리되므로 분해점검이 간편함.	고압 다단펌프에 주로 적용됨.
 Self balance (회전차 대칭배열)	회전차를 대칭으로 배열하여 축추력을 자동으로 상쇄시키는 방식.(Self balance) 케이싱의 구조가 복잡하고 회전차의 단수만큼 케이싱의 모형을 보유해야 하는 단점이 있음. Slurry 및 입자가 함유된 액체에 주로 적용 마찰 손실이 증가하는 단점이 있음.	상하분할형 다단펌프에 주로 적용됨.

2) 캐비테이션

1.	펌프의 설치위치를 가능한 한 낮게 하고, 흡입손실수두를 최소로 하기 위하여 흡입관을 가능한 한 짧게 하고, 관내 유속을 작게하여 NPSHav를 충분히 크게 한다.
2.	$NPSH_{av} \geq 1.3 \times NPSH_{re}$ 가 되도록 한다.
3.	횡축 또는 사축인 펌프에서 회전차 입구의 직경이 큰 경우에는 캐비테이션의 발생 위치와 NPSH 계산상의 기준면과의 차이를 보정하여야 하므로 NPSHav에서 흡입배관 직경의 1/2을 공제한 값으로 계산한다.
4.	흡입수조의 형상과 치수는 흐름에 과도한 편류 또는 와류가 생기지 않도록 계획하여야 한다.
5.	편흡입 펌프로 NPSHre가 만족되지 않는 경우에는 양흡입 펌프로 하는 경우도 있다.
6.	대용량펌프 또는 흡상이 불가능한 펌프는 흡수면보다 펌프를 낮게 설치하거나 입축펌프로 선택하여 회전차의 위치를 낮게하고, Booster펌프를 이용하여 흡입조건을 개선한다.
7.	펌프의 흡입측 밸브에서는 절대로 유량조절을 해서는 안된다.
8.	펌프의 전양정에 과대한 여유를 주면 사용 상태에서는 시방양정보다 낮은 과대 토출량의 범위에서 운전되게 되어 캐비테이션 성능이 나쁜점에서 운전되게 되므로, 전양정의 결정에 있어서는 실제에 적합하도록 계획한다.
9.	계획 토출량 보다 현저하게 벗어나는 범위에서의 운전은 피해야 한다. 양정변화가 큰 경우에는 저양정 영역에서의 NPSHre가 크게 되므로 캐비테이션에 주의하여야 한다.
10.	외적 조건으로 보아 도저히 캐비테이션을 피할 수 없을 때에는 임펠러의 재질을 캐비테이션 과식에 대하여 강한 재질을 택한다.
11.	이미 캐비테이션이 생긴 펌프에 대해서는 소량의 공기를 흡입측에 넣어서 소음과 진동을 적게 할 수도 있다.

<캐비테이션의 원인 및 현상>

기포의 발생	액체의 압력이 그 온도의 포화증기압 이하로 내려가면 액체의 내부에서 증발하여 기포가 생김
캐비테이션	펌프 내부에서도 흡입양정이 높거나, 유속의 급변 또는 와류의 발생, 유로에서의 장애 등에 의해 압력이 국부적으로 포화증기압 이하로 내려가 기포가 생성되는 현상이 일어날 수 있는데 이 현상을 캐비테이션이라고 함
이 상 현 상	펌프에서는 회전차 입구부에서 발생하는 경향이 크며, 생성된 기포가 액체의 흐름에 따라 이동하여 고압부에 이르러 갑자기 붕괴하는 현상이 되풀이 됨에 따라 펌프의 성능은 저하되고, 진동 및 소음을 수반하며, 나중에는 양수 감소 또는 양수불능이 된다. 또한, 캐비테이션이 오랜 시간동안 계속되면 기포가 터질때 생기는 충격의 되풀이에 의한 재료의 손상이 발생한다. 이와 같이 캐비테이션의 발생은 펌프의 성능저하, 재료의 손상 등 해로운 영향이 있기 때문에 캐비테이션 발생이 방지되도록 흡입조건에 결정에 각별한 주의가 필요하다.

기포의 생성→

파괴

기포의 붕괴압
력 !!!

“300kg/cm²”

(Haller의 측정
치)

3) 서어징 현상

이 상 현 상	펌프 운전중에 압력계기의 눈금이 어떤 주기를 가지고 큰 진폭으로 흔들린다. 토출량도 어떤 범위에서 주기적인 변동이 발생한다. 흡입 및 토출 배관의 주기적인 진동과 소음을 수반한다.
발 생 조 건	펌프의 H-Q곡선이 오른쪽 위로 향하는 산(山)형 구배특성을 가지고 있다. 펌프의 토출 관로가 길고, 배관 중간에 수조 또는 기체상태의 부분 (공기가 모여 있는 부분) 이 존재한다. (그림 2.32 참조) 기체상태가 존재하는 부분의 하류측 밸브 B 에서 토출량을 조절한다. 토출량 Q_1 이하의 범위에서 운전한다.
방 지 법	펌프의 H-Q 곡선이 오른쪽 하향 구배특성을 가진 펌프를 채용한다. 유량 조절밸브의 위치를 펌프 토출측 직후에 위치시킨다 (밸브 A로 조정한다). 바이패스관을 사용하여 운전점이 펌프의 H-Q 곡선이 오른쪽 하향 구배 특성 범위에 있도록 한다. 배관중에 수조 또는 기체 상태인 부분이 존재하지 않도록 배관한다.

캐비테이션은 액체의 압력이 포화증기압 이하로 되면 생기는 것이므로 캐비테이션의 발생을 막는 데는 펌프 내에서 포화증기압 이하의 부분이 생기지 않도록 하면 된다. 이를 위해서는 펌프의 흡입조건에 따라 정해지는 유효 흡입수두(NPSHav) 및 흡입능력을 나타내는 필요 흡입수두(NPSHre)에 대하여 생각해 볼 필요가 있다. 여기서 NPSH는 Net Positive Suction Head의 약어이다.

펌프의 선정방법

1. 필요 흡입수두 (NPSH_{re})

회전차 입구 부근까지 유입되어지는 액체는 회전차에서 가압되기 전에 일시적인 압력 강하가 발생하는데 이에 해당하는 수두를 필요 흡입수두라 한다. 이 값은 실험에 의해서만 구할 수 있고 설계 단계에서 Thoma 의 캐비테이션 계수와 흡입 비속도로 대략적인 값을 추정 할 수 있다.

1) 흡입비속도에 의한 방법

$$NPSH_{sv} = \left(\frac{N_s \sqrt{Q}}{N_s} \right)^{4/3}$$

여기서,
 N_s : 비속도
 N : 회전수
 Q : 유량

2) Thoma 의 캐비테이션계수에 의한 방법

: 비속도와 실험적으로 얻어지는 캐비테이션 계수와 만나는 점 사이에서 판단함

$$Thoma \text{ 계수 } (\sigma) = \frac{NPSH_{re}}{H(\text{전양정})}$$

2. 유효 흡입수두 (NPSH_{av})

펌프가 설치되어 사용될 때, 펌프 그 자체와는 무관하게 흡입측의 배관 또는 System에 따라서 정하여지는 값으로 펌프 흡입구 중심까지 유입되어 들어오는 액체에 외부로 부터 주어지는 압력을 절대압력으로 나타낸 값에서 그 온도에서의 액체의 포화 증기압을 뺀 것을 유효 NPSH라 한다.

$$NPSH_{av}(h_{sv}) = \frac{P_s}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} + h_s - h_l$$

여기서,

h_{sv} : 유효흡입 헤드(m)

P_s : 흡수면에 작용하는 압력(kgf/m² abs)

P_v : 사용온도에서의 액체의 포화 증기압 (kgf/m² abs)

γ : 사용온도에서의 단위체적당의 중량 (kgf/m³)

h_s : 흡수면에서 펌프기준면까지 높이(m)

h_l : 흡입측 배관에서의 총 손실 수두(m)

펌프선정시 $NPSH_{av} \leq (1 + \alpha) \cdot NPSH_{re}$ 이 되게 설계한다

여기서, $NPSH_{re}$ 는 펌프의 업체에서 요구하는 흡입수두이다.

지역난방공사와 한전은 $1 + \alpha = 1.3$ 이다.

3. Minimum Flow

: 원심펌프는 일반적으로 최소유량에서 설계 정격유량을 넘어서 Pump 의 Runout 범위까지 운전되어지는 것이 요구된다.

펌프 Impeller 는 보편적으로 정격조건 근처 혹은 최대성능으로 설계되어진다.

펌프의 효율은 그 정격속도를 벗어났을 때 감소하게 된다.

펌프에 전달된 전기에너지와 펌프가 액체를 이송하기 위한 일 사이에 에너지 차는 대부분 펌프의 온도를 상승시키는 열에너지로 변환된다.

저유량 상태의 펌프의 운전은 펌프내 유체의 온도를 상승시키고 그것은 펌프내 유체의 Flashing 의 결과가 된다. 이 상태로 운전을 계속하면 펌프에 손상이 생긴다.

고로 허용최소유량은 펌프내 유체의 포화온도 아래의 한계 온도에서 유지되어야 한다.

1) 펌프의 온도상승 : 펌프 내부에서 발생하는 손실은 대부분의 열이 되어 유체와 함께 배출된다. 그러나 체질부근 즉, 유량이 '0' 인 부근의 저유량 운전 시에는 펌프 내에서 발생하는 손실은 급격히 증가하는 반면 유체와 함께 배출되는 열량은 반대로 감소하므로 펌프의 온도는 급격히 증가하게 된다.

펌프의 온도상승에 대한 식은 아래와 같다.

$$\Delta t = \frac{(1 - \varepsilon_p) \cdot h}{778 \cdot C_p \cdot \varepsilon_p} \text{ --- } ^\circ F \quad (\text{출처 : "Power Plant Engineering"})$$
$$\Delta t = \frac{(1 - \varepsilon_p) \cdot h}{1400 \cdot C_p \cdot \varepsilon_p} \text{ --- } ^\circ C$$

여기서,

ε_p : 펌프의 전체효율
 C_p : Pump내의 유체의 정압비열
 h : 펌프의 전양정(ft)

** 더 나아가서 허용온도 상승치를 세운 다음, 적당하고 안전한 정격유량 상태의 최소 효율을 구하는 식은 아래와 같다.

$$\varepsilon_p = \frac{h_{so}}{778 \cdot C_p \cdot \Delta t}$$
$$\varepsilon_p = \frac{h_{so}}{1400 \cdot C_p \cdot \Delta t}$$

h_{so} : Shot off상태에서의 Head(ft)

주) 유체가 물일 경우 보편적으로 온도상승 허용치는 10도 정도

2) 저부하 운전시 야기되는 문제점

- 소음발생
- 수격현상 및 맥동 발생
- Impeller 의 수명 저하
- 펌프의 과열에 의한 캐비테이션 발생 및 케이싱 폭발
- 반경방향 추력의 증가 (축 절단 및 베어링 수명 단축)

3) Minimum Flow 의 유량

**** 온도상승만이 펌프의 Min. Flow 량을 결정하는 요소는 아니며 소음, 케이싱내 맥동 등 여러 가지 요소들을 복합적으로 판단하여 펌프 제조업체에서 결정한다.**

: 일반 원심펌프의 경우는 최고 효율점 유량의 20% 혹은 25% ~ 40% 정도이나 이것은 전적으로 펌프제조업체의 설계에 따른다.

4. 펌프의 양정 및 유량 선정방법

- 첨부된 설계계산서 참조