

제 4 장 유체기계

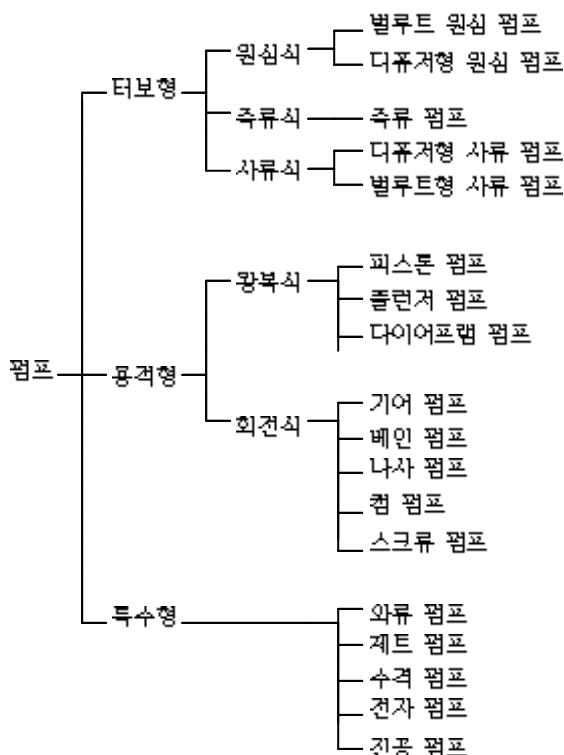
4.1 펌프

4.1.1 펌프의 분류와 구조

1. 펌프의 분류

펌프는 유체 흐름에 전동기나 원동기로부터 기계적 에너지를 전달하여 유체를 이송하는 기계이다. 작동 원리에 따른 펌프의 분류는 표 4.1과 같다. 펌프는 크게 터보형과 용적형으로 분류할 수 있다. 임펠러로 유동을 직접 조절하는 방식을 터보형이라고 하고, 유체가 챔버 또는 유로 안에 완전히 갇혀 있는 동안에 체적 변화에 의해 에너지가 전달되는 방식을 용적형이라고 한다. 펌프의 작동원리가 터보형이나 용적형에 속하지 않는 펌프를 특수형이라 한다. 표 4.1에 나타난 바와 같이 펌프의 종류는 많으나 실제로 사용되고 있는 것은 많지 않다.

표 4.1 작동원리에 따른 펌프의 분류



터보형 펌프는 유로의 기하학적 형상에 따라 원심식, 사류식, 그리고 축류식으로 나누어진. 원심식 펌프의 유로는 입구에서 출구까지 반지름의 큰 변화를 갖는 반지름방향으로 되어 있고, 축류식 펌프의 유로는 펌프의 중심선과 거의 평행하면서 유로의 반지름은 크게 변하지 않는 구조로 되어 있으며, 사류식 펌프는 유로의 반지름이 원심식과 축류식의 중간 정도의 크기로 변한다. 펌프의 대부분은 터보형이며, 보통 펌프라고 하면 이 형식의 것을 가리킨다. 원심식과 사류식 펌프는 안내깃이 있는 별루트 펌프와 없는 디퓨저 펌프로 구분된다. 이들은 또한 단수에 따라 단단 펌프와 다단 펌프로 구분되며, 단단 펌프나 다단 펌프는 흡입방식에 따라 한쪽 흡입형과 양쪽 흡입형으로 구분된다.

용적형 펌프는 왕복식, 회전식으로 나누어진다. 왕복식은 원통형 실린더 안에서 피스톤 또는 플런저를 왕복 운동시키고 이에 따라 개폐되는 흡입밸브와 토출밸브의 작용에 의해 피스톤의 이동 체적 만큼의 액체를 토출하는 형식이다. 표 4.1에 서와 같이 이 형식에는 피스톤 펌프, 플런저 펌프, 다이어프램 펌프 등이 있다. 왕복식 펌프는 유량과 압력이 맥동하며, 운동방식이 왕복식이므로 고속운전에 부적당하고, 펌프의 부피 및 중량이 커지는 등의 단점이 있어 최근에는 차츰 원심 펌프로 대체되어 가고 있다. 회전식 펌프는 회전하는 로터 등에 의해 액체를 저압부에서 고압부로 송출하는 방식이며, 점도가 높은 기름이나 특수 액체의 이송에 사용되며 소형이 많다.

2. 펌프의 구조

대표적 형식의 펌프 구조가 다음에 개략적으로 설명되어 있다.

2.1 원심 펌프

그림 4.1에서와 같이 원심 펌프는 변곡된 다수의 깃이 달린 임펠러가 밀폐된 케이싱 내에서 회

전함으로써 발생하는 원심력의 작용에 의하여 액체는 임펠러의 중심에서 흡입되어 반지름 방향으로 흐르는 사이에 압력 및 속도에너지를 얻고, 이 가운데 과잉 속도에너지는 안내깃을 지나 와류실을 통과하는 사이에 압력에너지로 회수된다.

그림 4.2는 원심 펌프의 계통도를 나타낸다. 펌프계는 흡입관, 토출관, 풋밸브, 게이트밸브로 구성된다. 펌프를 구성하는 기본 요소는 그림 4.3과 같이 임펠러, 펌프 몸체, 주축, 축이음, 베어링하우징, 패킹상자, 베어링의 7가지로 되어 있다.

임펠러의 깃 수는 보통 4~8매로서 원판 사이에 끼어 있다. 재료는 주조하기 쉽고 기계가공이 쉬우며, 주물의 표면이 매끄러울 뿐만 아니라 녹이 슬지 않는다는 점에서 일반적으로 청동을 사용한다. 고온의 액체를 수송하고, 고속회전을 필요로 하는 펌프의 임펠러일 경우에는 Cr합금강 또는 스테인리스강과 같은 합금강을 사용하고, 바닷물과 같이 전해질인 액체일 때에는 전해작용에 유리한 재료를 종합하여 쓰며, 내식성을 필요로 할 때에는 플라스틱재를 사용하기도 한다.

원심 펌프는 구조, 작용 및 운전성능, 그 외에 다른 여러 가지 점에서 다른 펌프와 비교할 때 우수한 이점이 많고, 똑같은 원리라도 그 설계상의 고려만으로도 압력, 토출량을 바꾸어서 제작할 수 있기 때문에 매우 넓은 범위의 용도로 쓰인다. 일반 펌프의 70~80%는 이 종류에 속한다.

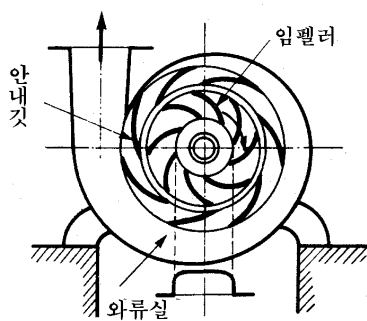


그림 4.1 원심펌프의 구조

뿐만 아니라 종래에는 왕복형 펌프의 범위에 속했던 고압의 범위, 또는 축류 펌프가 아니면 얻을 수 없었던 높은 유량의 범위까지도 원심 펌프로 해결할 수 있게 되었다.

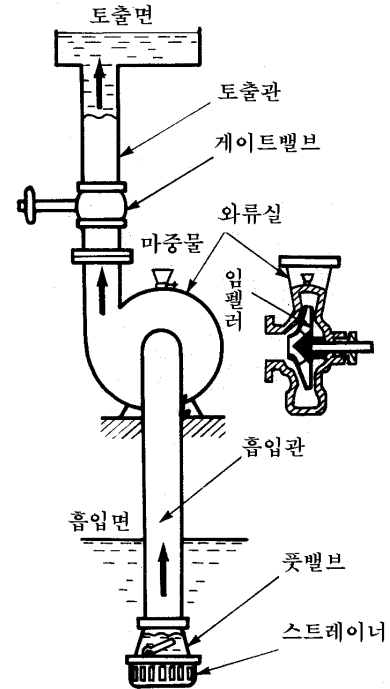


그림 4.2 펌프의 계통도

2.2 축류 펌프

축류 펌프는 그림 4.3에 표시한 바와 같이 임펠러, 축, 안내깃, 몸체 및 베어링(보통 한 쪽은 수중 베어링)으로 구성된다. 운전 중에도 임펠러의 깃의 각도를 조절할 수 있는 장치가 부착되어 있는 가동식 축류 펌프도 있다. 또한 축의 방향에 따라 수평축, 수직축 축류 펌프로 분류된다. 축류 펌프의 임펠러는 그 단면이 익형모양이고, 전면 슈라우드가 없으며, 깃 수는 2~6매로서 보스에 방사상으로 붙어 있다. 고정익형축류 펌프에 있어서는 깃을 보스와 일체로 주조하거나 볼트 등으로 결합한다.

축류 펌프에 있어서 안내깃은 필요불가결한 것이다. 안내깃은 주축의 베어링을 내장하는 보스와 케이싱을 결합하고 지지하는 중요한 역할을 한다. 안내깃의 매수는 3~8매로서, 임펠러의 깃수보다 홀수매가 더 많은 것이 보통이다.

케이싱은 수직축형에서 벨마우스, 안내깃, 몸체, 토출구 등으로 구성되고, 수평축형에서는 토출구 대신에 흡입구가 벨마우스 부분에 붙게 된다. 수직축형 펌프는 임펠러가 항상 수중에 있고 시동이 쉬우며, 흡입조건이 좋기 때문에 캐비테이션 특성이 좋고, 임펠러 원주상의 위치에서 압력차가 없으며, 대구경에 적합하고 설치, 전동기

의 배치 등에 뛰어난 이점을 가지고 있다. 이 펌프에 비하여 수평축형은 분해, 수리, 점검이 용이하고 펌프실의 높이가 낮아도 되며, 전동기가 표준형으로도 사용할 수 있는 점 등의 특징이 있다.

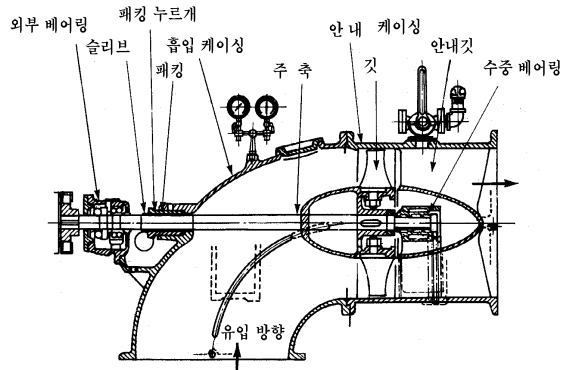


그림 4.3 수평축 고정익 축류 펌프의 구조

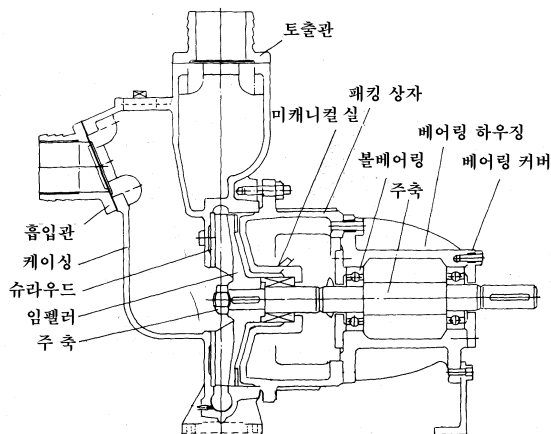


그림 4.4 단단 자흡식 펌프의 구조

2.3 자흡식 펌프

일반 원심펌프는 기동하기 전에 펌프를 물로 채워야하며, 흡상의 경우에는 프라이밍 물이 빠지지 않도록 물속에 잠겨있는 흡입관 끝 쪽에 풋 밸브가 부착되어 있어야 한다.

그림 4.4는 특수 구조의 케이싱과 임펠러를 갖고 있는 단단 자흡식 펌프의 예로서 펌핑 초기에 케이싱 내에 소량의 물을 주입해 주는 것만으로 항상 자흡(self-priming)운전이 가능하다. 흡입구

의 중심은 반드시 회전 중심보다 위에 있어야 하며 입구에는 체크밸브가 부착되어 있고 펌프 정지시에 펌프안의 물이 흡입구에서 빠져나가지 못하도록 하고 있다. 임펠러가 회전하고 물이 원심력에 의해 밖으로 밀려나가면 임펠러 중심부에 공동이 생기므로 와류실 안의 물은 노즐을 통해서 임펠러 입구로 분사된다. 이때 케이싱 안의 공기는 분류와 함께 임펠러 밖으로 배출되어 공기는 와류실에서 액체로부터 분리된다. 이와 같은 유동작용에 의해 흡입관 내의 공기가 계속 배출되면 흡입면의 물은 점차 올라와서 마침내 펌핑작용이 시작되게 된다. 펌프가 정상적으로 작동하게 되면 노즐 전후의 압력차가 커져서 이 힘에 의해 밸브가 작동하여 노즐통로는 차단된다. 이때에는 송출된 물의 노즐을 통한 순환은 없어진다.

2.4 왕복식 펌프

왕복식 펌프는 흡입밸브와 토출밸브를 장치한 실린더 속을 피스톤 또는 플런저를 왕복운동시켜 펌핑하는 펌프로서, 물에 대하여 정역학적으로 에너지를 전달한다. 왕복식 펌프에는 피스톤형과 플런저형이 있다. 전자는 저압의 경우, 후자는 고압의 경우에 사용되며, 이 두 종류가 공업용으로 많이 쓰인다.

왕복식 펌프는 피스톤, 실린더, 흡입밸브 및 토출밸브로 구성되고 여기에 흡입관, 토출관, 공기 실(흡입부와 토출부에 위치), 풋밸브, 스트레이너 등이 부착된다.

2.5 회전식 펌프

회전식 펌프는 1개, 2개 또는 3개의 토터, 즉 회전하는 피스톤류 또는 기어, 나사 등을 써서 흡입·토출밸브 없이 액체를 밀어 내는 형식의 펌프를 총칭하는 것이다. 그림 4.5는 2개의 기어를 사용한 경우이고, 그림 4.6은 여러 개의 차단판을 붙여서 피스톤 작용을 하는 경우를 나타낸다. 전자를 기어 펌프라 하고, 후자를 베인 펌프라 하며, 기어 대신에 1개 또는 여러 개의 나사를 조합한 것이 있는데 이것을 나사펌프라 한다. 어느 것이나 일정량의 유체를 저압의 흡입측으로부터 고압의 토출측으로 이송하는 것으로서, 원심 펌프나 축류 펌프에 있어서 임펠러가 액체에 에너지를 공급하면서 액체를 이송하는 것과는 근

본적으로 다르다. 이것이 회전식 펌프가 왕복 식 펌프와 함께 용적형 펌프로 불리는 이유이다. 왕복식 펌프와 같이 소유허, 고양정을 요구하는 경우에 적합하다. 더구나 회전식 펌프는 연속적으로 유체를 이송하므로 일반적인 왕복 펌프와 같이 토출량이 맥동하는 일은 거의 없다. 특징으로서는 구조가 간단하고 취급도 용이하며, 밸브가

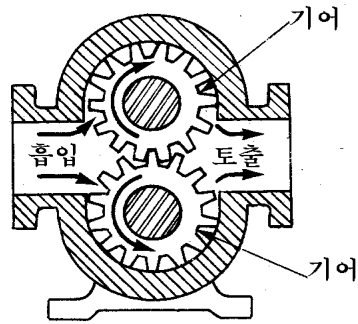


그림 4.5 기어 펌프의 구조

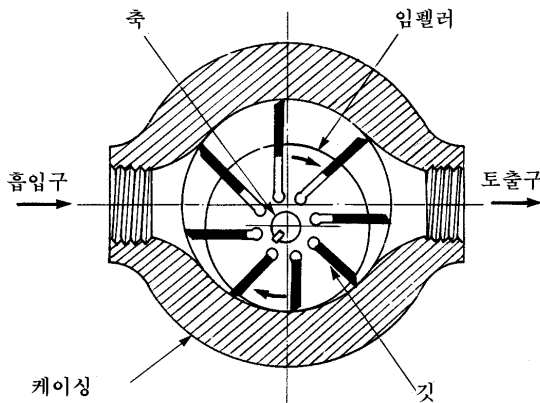


그림 4.6 베인 펌프의 구조

가 없어도 되며, 액체에 공급되는 에너지가 주로 정압력이기 때문에 비교적 점도가 높은 액체에 대해서도 상당히 좋은 성능을 발휘하는 것이 많다.

2.6 특수 용도용 펌프

(1) 깊은 우물용 수중모터 펌프

이 펌프는 깊은 우물에서 양수하기 위한 펌프이며, 우물 속에 넣을 수 있도록 펌프와 전동기가 일체로 되어 물 속에 잠겨 있고, 지상에는 토출관과 케이블만이 노출되어 있다. 이 펌프는 설치와 취급이 대단히 쉬우므로 빌딩급수, 간이수도 및 농업용수의 이송에 널리 사용되고 있다. 수중모터 펌프는 펌프를 위한 건축물의 설비가

필요없고 설치가 용이하며, 중간축이나 중간 베어링이 필요없고 구조가 간단하며 소모되는 부분이 적으며 회전부분이 모두 물속에 잠겨 있으므로 소음이 적어 고속회전에 적합하고 2극전동기를 직렬할 수 있으므로 단수가 적고 경량이며 가격이 저렴한 장점이 있다. 수중모터에는 권선으로서 내수절연선을 사용한 것과 보통선을 사용한 것과 보통선을 권선으로 사용하고 이를 완전하게 밀폐한 것이 있다. 이들의 사용에 관해서는 주로 생산성과 가격에 의해 결정되며, 수량이 많은 소출력 모터에는 밀폐 모터가, 그리고 대용량에는 내수절연선이 많이 사용되고 있다. 수중 모터 안의 물은 육상에서 채우고 우물 안의 이물질이나 기타 모래같은 것이 포함된 물이 모터 안으로 들어오지 못하도록 기계식 실과 같은 밀봉장치를 부착한다. 또한, 모터 안의 물은 온도상승과 함께 팽창하고 정지한 후는 식어서 수축하기 때문에 내부 체적변화를 흡수할 수 있는 벨로우즈와 같은 신축장치를 갖추고 있어야 한다. 또한 수중모터의 이상을 감시할 수 있도록 보호 릴레이를 육상에 설치하고 절연저하, 결상운전, 온도상승 등이 검지되면 전원이 차단될 수 있도록 되어 있는 것이 보통이다.

(2) 전기 우물 펌프

작은 규모의 우물에 사용되는 펌프로서 전기 우물 펌프가 있다. 지상에서 저수위까지의 깊이가 7m 이내의 것을 얕은 우물용, 그 이상의 것을 깊은 우물용이라고 부르며 그 기능과 구조가 다르다.

펌프로는 와류 펌프가 주로 사용되며, 압력탱크내의 압력검지와 압력스위치에 의해 자동운전이 가능하다. 압력탱크 내의 압력공기는 물과 함께 조금씩 빠져나가기 때문에 자동 공기 보급장치에 의해 보충되도록 되어 있다. 깊은 우물용으로는 피스톤 펌프를 사용하는 것과 제트 펌프를 사용하는 것이 있는데 최근에는 제트 펌프쪽이 많이 사용되고 있다.

(3) 난방용 펌프

진공난방장치에서 응축수를 순환시키고 공기를 배출시키는 공기난방 펌프가 있다. 이 펌프 장치는 응축수가 되돌아오는 리시버 탱크와 탱크안을 진공으로 하는 진공펌프 및 응축수를 다시 보일

러에 공급하는 급수펌프, 그리고 이들을 자동제어하는 장치들로 구성되어 있다. 공기난방 펌프에는 진공 펌프와 급수 펌프가 모터축 하나에 함께 부착된 복식(리시버 하나에 두 쌍의 펌프와 제어기기가 부착되어 있는)펌프와 진공 펌프와 급수 펌프가 분리된 것이 있다.

진공을 필요로 하지 않는 중력환수식 난방장치에 사용되는 펌프는 응축수 펌프라고 불리우며, 응축수를 강제적으로 보일러로 급수하는데 사용된다. 구조는 진공난방 펌프에서 진공장치를 없앤 것이며, 리시버 탱크, 급수 펌프 및 자동운전 장치로 구성되어 있다.

최근의 난방급수 펌프는 전자동형이라고 하여 리시버 탱크의 수위와 진공을 검출할 뿐만 아니라 보일러 수위도 검출하여 완전히 자동운전할 수 있도록 제작되고 있다.

온수순환용 펌프는 비교적 소구경, 소출력이기 때문에 모터축 끝 부분에 임펠러를 부착하고 펌프 케이싱은 배관의 일부로서 삽입될 수 있도록 그 흡입구와 토출구가 일직선으로 되어 있다. 이 형식의 펌프는 파이프라인형이라고 불리우며, 설치와 중심 맞추기의 번거로움이 없고, 작은 공간에도 설치할 수 있다.

(4) 냉매용 펌프

냉동기용 펌프에는 저온 원심 냉동기의 증발기에서 사용되는 냉매산포용 펌프, 흡수냉동기에서의 냉매산포용 펌프 및 흡수액용 펌프 등이 있다. 냉매산포용 펌프는 냉매 R-11, R-12 및 R-22 등을 사용하는 저온용 냉동기에서 사용된다. 냉동기용 냉매는 저온 저압의 포화상태에 있으므로 흡입측의 유속을 낮추고, 임펠러 흡입구를 넓힘으로써 펌프의 필요흡입수두를 되도록 작게 하고 캐비테이션 발생을 방지한다. 아울러 펌프의 설치위치, 배관 및 외열흡수에 따른 온도상승에 주의하고, 유효흡입수두가 저하하는 것을 감시하여야 한다. 사용온도가 -20℃ 이상이면 동판, 그 이하에서는 청동 또는 오스테나이트동을 사용하여야 한다.

흡수냉동기용 펌프는 내압이 절대진공도 7 mmHg 정도의 고진공이기 때문에 펌프로의 외기출입을 완전히 막기 위해 밀폐 모터펌프를 사용한다.

(5) 소방용 펌프

소방설비 중에서도 화재의 진압에 필요한 설비가 바로 소화설비이며, 특히 물을 소화약제로 사용하는 모든 소화설비는 일정한 토출량과 토출압력을 필요로 하기 때문에 전용의 소방펌프를 설치하여야 한다. 소방법에서는 일정 규모 이상의 소방대상물에는 적용 소화설비를 설치하도록 의무화되어 있다. 여러 종류의 수계소화설비 중에서 가장 기본이 되는 설비가 옥내소화전설비와 스프링클러소화설비이다. 이러한 설비에는 가압송수장치가 필요하고 가압송수장치 중에서 가장

표 4.2 옥내소화전설비 펌프 토출량

설치개수가 가장 많은 종에서의 설치개수	1	2	3	4	5개 이상
펌프 토출량 [L/min]이상	130	260	390	520	650

표 4.3 스프링클러설비 펌프 토출량

스프링클러헤드 개수	10 이하	11 ~ 20	21 이상
펌프 토출량 [L/min]이상	800	1,600	2,400

많이 사용되는 방식이 전동기를 이용한 펌프방식이라 할 수 있다. 옥내소화전설비는 방호공간에 설치되어 있는 소화전수에 따라서 펌프의 토출량이 결정되며 스프링클러소화설비의 펌프 토출량에 대한 것은 표 4.3에 제시된 바와 같다.

이들 소화설비에 사용하는 펌프의 기동방식은 화재발생시 자동 및 수동으로 기동이 가능하도록 설치하여야 한다. 펌프방식은 가압송수장치와 수원의 위치에 따라 주변장치의 구성이 다르며 일반적으로 물올림 탱크나 과열방지 보조장치를 설치하여 전용의 소방펌프가 정상적으로 작동할 수 있도록 하여야 한다.

3. 펌프의 부속품

1) 물맞이 장치

구경이 300 mm이하의 펌프는 물맞이용 깔대기와 쪼뿔밸브를 갖추어 시동할 때 깔대기에서 물맞이를 한다. 이보다 큰 대형펌프에 대하여는 물맞이용 진공펌프를 부착하여 시동할 때는 토출밸브를 닫고 진공펌프에 의해 펌프 안의 공기를 배출

함으로서 물맛이를 한다. 진공펌프로는 일반적으로 수봉식 진공펌프가 사용되고 있다. 진공펌프에는 반드시 200~500 ℓ 정도의 수조를 설치하고 진공펌프용 봉수를 보급한다. 펌프가 수직형이고 그 몸체가 수면 밑에 잠몰되어 있거나 펌프에 압입압이 작용하는 경우이면 물맛이 정치는 없어도 된다.

2) 운할수 및 축밀봉수 설비

물 운할배어링을 갖는 수직형 펌프의 경우에는 수도 또는 별도 펌프에 의해 급수하여야 한다.

또한 흡상용으로 사용되는 펌프에서 밀봉수를 필요로 하는 경우라든가 오수펌프 등에서 패킹을 선정해야 하는 경우에는 패킹상자에 청수를 주입해야 한다. 주입압력은 내부압력보다 1~2기압 높은 압력이 필요하다.

3) 토출밸브

펌프 토출측에는 토출밸브가 부착된다. 이 밸브는 펌프와 배관 사이를 차단하는 기능 이외에 펌프 유량을 조절하는데 사용된다. 토출 밸브에는 보통 슬루스밸브가 사용된다. 소형의 펌프에는 수동식, 중형 펌프에는 수동 치차구동식의 것이 많다. 최근에는 전동식이 많이 사용되고 있다. 전동식의 경우는 토크 한계장치가 부착된 것을 사용한다. 이 장치는 밸브에 이물질이 끼었거나 **밸브가 마지막으로 닫힐 때** 조작저항이 증가하는 것을 이용하여 밸브시동을 자동적으로 정지시킨다.

4) 체크밸브

펌프 토출측에는 체크밸브를 부착한다. 이 밸브는 펌프가 급정지했을 때 배관안의 물이 역류하는 것을 막는다. 체크밸브는 스윙식이 많고, 소형인 경우에는 가끔 리프트식도 사용되나 이 형식은 저항이 크고 시동도 불확실하다.

펌프 급정지 시에 체크밸브가 닫히면 수격현상이 일어나는데 이를 방지하기 위한 체크밸브도 제작되고 있다.

5) 풋밸브

풋밸브는 펌프 시동시에 물맛이할 때 또는 펌프가 정지했을 때 흡입관에서 물이 빠지지 않도록 하는 것이며, 흡입관의 입구 끝에 부착된다.

흡입구에는 흡입탱크 안의 이물질이 빨려 들어가는 것을 막기 위해 여과기가 부착된다. 또 밸브판이 쓰레기 파위로 막힐 경우를 대비하여 지상에서 밸브판을 움직이게 할 수 있도록 레버가 장치되어 있는 것이 보통이다. 풋밸브의 저항은 상당히 크며, 그 손실수두는 흡입관내의 속도수두의 0.75~1.5배 정도에 달한다.

4.1.2 펌프의 선정

1. 펌프 사양의 결정

펌프 사양의 결정에 있어서 설비, 장치의 목적 등 사용 조건에 기본을 두고 토출량, 전양정(경우에 따라 실양정), 흡입양정, 수질 등의 사양, 유량 또는 양정의 변동 범위, 운전조건 등 여러 가지의 조건이 주어질 수 있다. 따라서 그런 조건에 가장 적합한 펌프를 카탈로그로부터 선정하든지, 그 펌프 사양의 상세 결정을 하든지, 어떤 방법으로 하여도 사용조건 등을 신중히 검토하여서, 그 장치의 가동상태에 가장 적합하게 함과 동시에 설비비와 운전, 보수관리를 포함한 총 경비가 최저가 되는 펌프를 결정하여야 한다.

2. 토출량과 구경

펌프에 대한 토출량을 정하면 펌프흡입구의 개략적인 구경이 정해진다. 토출량에 대한 개략적인 토출구경의 관계를 표 4.4에 표시하였다. 표 4.4는 개략적인 값으로 상세 사양의 결정에는 사용할 수 없다. 최근 제품의 소형, 경량화와 성에너지화의 추세 및 엔지니어링 능력의 향상으로 대체로 유량범위가 커지는 추세이며 제조회사마다 구경에 대한 유량값이 현저하게 다르기 때문에 상세 사양의 결정시에는 제조회사에 문의하여 결정하는 것이 바람직하며 송수관 지름과 꼭 맞출 필요는 없으며 일반적으로 확대관이나 축소관을 사용하여 펌프와 연결하면 된다.

표 4.4 토출구경에 따른 최대유량

한쪽흡입, 양쪽흡입원심펌프						축류, 사류펌프			
토출 구경	최대 유량	토출 구경	최대 유량	토출 구경	최대 유량	토출 구경	최대 유량	토출 구경	최대 유량
(mm)	(m³/h)	(mm)	(m³/h)	(mm)	(m³/h)	(mm)	(m³/h)	(mm)	(m³/h)
25	13	125	590	500	6,000	300	1,500	900	16,500
32	30	150	720	600	8,000	350	2,300	1,000	18,500
40	50	200	1,050	700	11,500	400	2,800	1,100	22,000
50	110	250	1,700	800	14,000	500	4,000	1,200	29,000
65	190	300	2,300	900	15,000	600	7,000	1,300	32,500
80	290	350	3,200	1,000	17,000	700	9,000	1,400	36,000
100	440	400	4,200	1,100	18,000	800	11,500	1,500	45,000

특히, 토출구경은 임펠러를 나운 물의 운동에너지를 압력에너지로 바꾸는데 필요한 유로의 형상, 치수에 따라 정해지는 것이며 표 4.4와 다를 경우가 상당히 많다.

3. 펌프 전양정의 결정

1) 펌프의 전양정

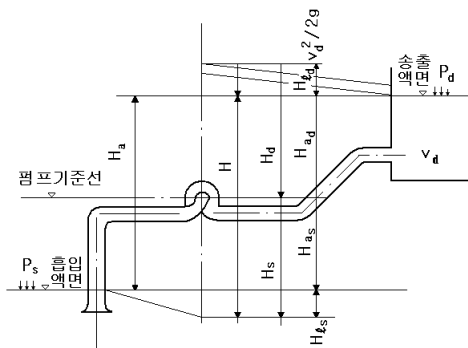


그림 4.7 펌프의 양정

펌프의 전양정은 다음 식과 같다.

$$H = H_s + \Delta H_p + H_t + V_d^2 / 2g \quad (4.1)$$

식 (4.1)의 H는 전양정, H_s 는 실양정이고, ΔH_p 는 수면에 작용하는 압력헤드차이며, H_t 는 관로, 밸브 등의 부차적 손실헤드이다. $V_d^2 / 2g$ 와 g 는 토출속도헤드와 중력가속도이다.

단, 가압 펌프와 같이 펌프의 흡입관에 V_s 로 유입하는 경우에는

$$H = H_s + \Delta H_p + H_t + (V_d^2 - V_s^2) / 2g \quad (4.2)$$

수직형 펌프의 경우에는 식 (4.1)에서 $H_t = H_{td}$ 가 된다. 실양정으로서 수위 변화가 클 경우에는 펌프의 특성, 수위차의 변화폭, 계획 양수량의 결정 근거를 감안해서 정한다.

2) 관의 마찰손실 헤드

관의 마찰손실을 나타내는 데는 일반적으로 다음 식이 사용된다.

$$H_f = f V^2 L / (2gD) \quad (4.3)$$

f 는 관내평균유속이고, C와 P 그리고 Q는 경험적인 계수이며, R은 수력반지름이다. 또한 S는 H_f / L 이다.

마찰손실계수 f 를 구하는 방법은 기초편의 유체역학 부분에 언급되어 있다.

4. 펌프 형식의 선정

펌프의 소요유량과 전양정이 주어지면 이것으로부터 펌프형식과 구동동력을 결정한다. 펌프형식과 회전수의 결정에는 비속도를 이용한다. 주어진 유량과 전양정에 대해 회전수를 예상함으로써 비속도를 계산할 수 있고 펌프형식을 결정할 수 있다. 그러나 이와 같은 계산에 의한 형식 선정은 단 한번의 시도만으로 이뤄질 수는 없고 상당한 경험과 몇 번의 반복계산이 필요하게 된다. 실용적으로는 그림 4.8과 같은 펌프형식선정도가 사용되고 있다. 이 그림은 60 Hz 삼상교류 모터 중에서 가장 입수하기 쉬운 4극과 2극의 것을 택하여, 이것으로부터 얻어지는 회전수로써 상온의 청수를 취급하는 펌프를 대상으로 하여 작성된 것이다. 이 그림은 가로축으로 유량, 세로축으로 전양정을 취하여, 단단, 다단, 한쪽 흡입, 양쪽 흡입, 사류, 축류의 형식별로 구역이 나뉘어져 있고, 회전수에 대한 펌프형식을 결정할 수 있도록 되어 있다.

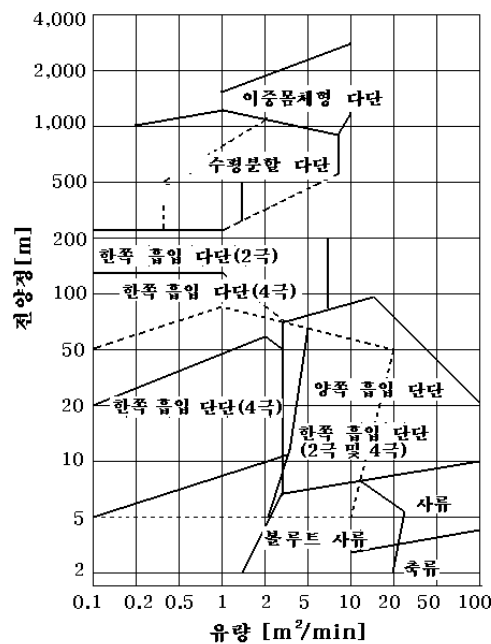


그림 4.8 펌프의 형식 선정도

그리고 일반적으로는 그들 형식마다 상세한 선정표가 마련되어 있어서 단수 및 동력 등을 알 수 있도록 준비되어 있다. 선정도 중의 한 기종이 선택되면 그 기종의 그 회전수에 대한 특성곡선이 얻어질 수 있도록 되어 있다.

소형 원심 펌프, 소형 다단 원심 펌프 및 양쪽 흡입 원심 펌프에 대하여는 각각 KS B 7505 및 KS B 6318에 그들의 유량과 양정 범위가 주어져 있다. 이 범위에 드는 것이면 용이하게 펌프를 선정할 수 있고 표준품으로 입수할 수 있을 것이다.

세계적으로 유명한 회사들은 표준형식과 치수에 맞게 펌프를 제작한다. 각 제작사들은 자사 펌프를 각종 장치에 응용할 수 있도록 하기 위하여 성능자료를 제공한다.

제작사의 선택은 인지도, 장소, 혹은 가격 등에 따라 결정될 것이지만, 일단 제작사가 선택되면 대체로 다음과 같은 3단계의 과정을 거쳐 펌프를 선정한다.

1) 제작사가 제공한 카탈로그로부터 이용에 적합한 펌프의 형식을 선정한다. 카탈로그에는 각각의 펌프에 대한 양정의 범위 및 유량의 범위 등이 상세히 수록되어 있다.

2) 추천정선도(master selector chart)를 이용하

여 펌프의 적절한 모델과 구동속도를 선정한다. 이 추천정선도는 동종의 펌프들에 대한 양정과 유량의 범위를 중첩시켜서 한 장의 그래프에 나타낸 것이다.

3) 후보로 선정된 펌프가 사용목적에 적합한가의 여부를 특정 펌프에 대한 상세한 성능곡선을 이용하여 판정한다.

펌프성능선도는 전양정 대 유량의 곡선으로 되어 있으며 동일한 펌프 케이싱 내에서 시험된 여러 치수의 임펠러 지름에 대한 곡선들이 같은 그래프에 그려져 있다. 또한 성능선도상에는 펌프의 효율과 구동동력을 나타내는 곡선도 나타나 있으며, 유량에 따른 NPSH의 변화곡선도 각 선도의 아랫부분에 그려져 있다. 각 임펠러에 대한 최고 효율점은 효율곡선을 이용하여 쉽게 찾을 수 있다.

5. 설치조건에 따른 펌프의 선정

펌프의 선정에 있어서 특수한 설치조건이 있을 때가 많다. 표 4.5는 설치조건에 따라 우선 고려할 펌프가 나타나 있다.

표 4.5 특수한 설치조건에 적합한 펌프

설치조건	적용 펌프
설치면적을 작게 하고 싶을 때	수직축 펌프
깊은 우물용으로 설치할 때	수직축 수중모터 펌프
흡수 위치의 변동이 클 경우	수직축 펌프
펌프실에 침수의 염려가 있을 때	수직축 펌프
오수, 오물을 이송할 때	수직축 드라이브형 원심 펌프
증압용으로 사용할 때	소형의 경우 인라인 펌프
액체에 유지의 혼합을 피하여야 할 때	수평축 원심펌프 또는 물 윤활 수직축 펌프
소음을 줄이고 싶을 때	수중모터 펌프, 피트바렐 형 수직축 펌프 (증압용)
외부가 젖지 않아야 할 때	캔드모터 펌프

4.1.3 펌프의 운전과 특성

1. 비속도와 상사법칙

1) 비속도

비속도는 임펠러의 상사성 또는 펌프특성 및 형식결정 등을 결정하는 경우에 이용되는 값이다. 임펠러의 형상과 치수 등을 결정하는 기본 요소는 펌프의 전양정, 토출량, 회전수가 있고, 비속도는 다음 식으로 구한다.

$$N_s = \frac{N \times Q^{1/2}}{H^{3/4}} \quad (4.4)$$

여기서, N은 펌프의 회전수이고, Q는 토출량이며, H는 전양정이다.

비속도는 "어떤 펌프의 최고 효율점에서의 수치에 의해 계산하는 값"으로 정의되며 그 점에서 벗어난 상태의 전양정 또는 토출량을 대입하여 구하여도 된다는 의미는 아니다. 단, 토출량에 대해서는 양쪽 흡입 펌프인 경우 토출량의 1/2이 되는 한 쪽의 유량으로 계산하고, 전양정에 대하여는 다단 펌프인 경우 임펠러 1단당의 양정을 대입하여 계산하여야 한다.

비속도 n_s 는 무차원수가 아니므로 동일한 임펠러에서도 전양정, 토출량, 회전수 등의 단위에 따라 n_s 의 값이 다르다. 보통은 (m, m³/min, rpm) 단위로 계산되지만, 그 외의 각 단위의 n_s 환산값은 표 4.6에 나타낸 바와 같다.

표 4.6 비속도의 환산표

Q	m^3/min	l/s	m^3/s	ft^3/min	Bpm
H	m	m	m	ft	ft
n	rpm	rpm	rpm	rpm	rpm
n_s	1	4.083	0.129	2.438	6.668
	0.245	1	0.036	0.597	1.635
	7.746	31.623	1	18.82	51.50
	0.410	1.673	0.053	1	2.74
	0.1495	0.611	0.09135	0.365	1

2) 상사법칙

펌프제조회사는 한정된 케이싱의 규격과 설계를 시장에 내놓는다. 보통 크기가 다른 케이싱은 일반적인 기본설계를 동일한 축척비에 따라 해당되는 모든 치수를 크게 하거나 작게 하여 설계된다. 특성곡선의 부가적인 변화는 운전속도의 변화, 또는 주어진 펌프 하우징 내의 임펠러 크기를 변화시킴으로써 구할 수 있다.

동역학적 상사를 만족하기 위해서는 기하학적

상사와 운동학적 상사가 필요하다. 펌프와 유동장이 상사이고, 점성영향을 무시할 수 있다고 가정하면 무차원 유량계수가 일정하게 될 때 동역학적 상사는 구해진다. 동역학적 상사는 두 유동조건이 다음과 같은 조건을 만족할 때 이루어진다.

$$\frac{Q_1}{N_1 D_1^3} = \frac{Q_2}{N_2 D_2^3} \quad (4.5)$$

무차원양정과 동력계수는 유량계수만의 함수이다.

$$\frac{H}{N^2 D^2} = f_1\left(\frac{Q}{N D^3}\right) \quad (4.6)$$

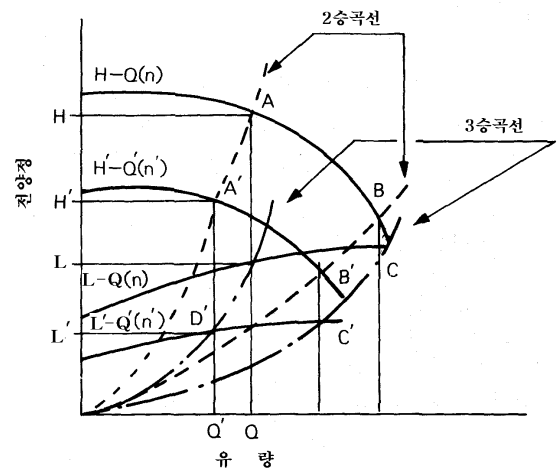


그림 4.9 회전수와 펌프의 특성변화

그리고

$$\frac{H}{N^2 D^2} = f_1\left(\frac{Q}{N D^3}\right) \quad (4.7)$$

이것이 사실로 성립할 때, 새로운 조건에서 펌프성능은 이전 조건에서의 펌프성능과 연관시킬 수 있다.

$$\frac{H_1}{N_1^2 D_1^2} = \frac{H_2}{N_2^2 D_2^2} \quad (4.8)$$

그리고

$$\frac{L_1}{\rho_1 N_1^3 D_1^5} = \frac{L_2}{\rho_2 N_2^3 D_2^5} \quad (4.9)$$

이들 축척관계는 주어진 하우징 내에서 펌프의 운전속도, 펌프의 크기 또는 임펠러 지름의 변화 영향을 예측하는 데 사용될 수 있다.

즉, Q, H, L 의 대응점 Q', H', L' 은 속도비의 1승, 2승, 3승에 정비례하여 변화하고, 그림으로 표시하면 그림 4.9와 같이 변화한다.

2. 펌프의 특성

원심 펌프와 축류 펌프의 특성은 그림 4.10에 표시한 바와 같이 회전수 N 과 흡입양정 H_s 를 일정하게 하여 가로축에 유량 Q , 세로축에 양정 H , 동력 L , 효율 η 를 잡아 $H-Q$, $L-Q$ 및 $\eta-Q$ 의 3곡선을 그리는데 이것을 펌프의 특성곡선이라고 한다.

여기서 H_n 은 규정양정(normal head), Q_n 은 규정유량의 점이다. $H-Q$ 곡선이 세로축과 만나는 점, 즉 $Q=0$ 일 때의 양정 H_0 를 차단양정이라고 한다. 차단양정이 최고양정 H_{max} 이고, Q 가 증가함에 따라 양정이 감소하는 특성곡선을 하강특성곡선이라 하고, H_{max} 이 H_0 보다 높은 것을 산고곡선이라고 한다. 보통 하강곡선으로 표시될 때가 많고 특히, 가로축과 거의 평행한 부분이 긴 것은 평탄한 특성곡선이라고 한다.

$H-Q$ 곡선을 그릴 때 좌표의 척도는 일정한 규약이 없으며 일반적으로 개개의 펌프의 특성선을 그릴 때 적당한 척도를 사용할 때가 많다.

수격현상의 계산 등에 쓰이는 펌프의 특성곡선은 전반특성곡선 또는 완전특성곡선이라고 한다. 이 특성 곡선은 전양정, 유량, 토크, 회전수를 각각 그 기준값에 대한 %로 표시한다.

3. 펌프의 운전 특성

1) 배관계의 저항곡선

어떤 운전상태에 있어서의 운전점은 그림 4.11에 표시한 바와 같이 펌프의 특성곡선 $H-Q$ 와 $(H_s+H_f)-Q$ 곡선 [이것을 배관계의 저항곡선이라

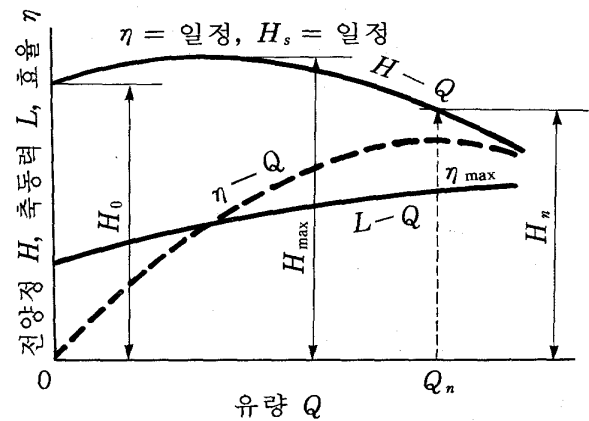


그림 4.10 원심 펌프의 특성곡선

한대과의 교점 D가 된다. 이 때 밸브를 완전히 열면 송출량은 Q_c 가 된다. 또 Q_c 의 유량이 요구될 때에는 밸브에 의하여 저항을 주고(밸브를 필요한 만큼 잠그는 것을 말한다), $H-Q$ 곡선과 C점에서 만나는 곳에서 운전하면 된다. 이 때 H_n 은 Q_c 의 유량에 대한 관로의 손실수두이고, H_0 는 밸브에 의한 손실수두이다. B점에 대해서도 마찬가지이다. 다시 밸브를 다 잠그면 A점에서의 운전, 즉 차단운전의 경우가 된다. 보통 원심 펌프를 가동시킬 때에는 이 방법과 반대로 한다. 즉 먼저 밸브를 열어 놓고 시동한 후 차차 밸브를 여는 방법을 이용한다. 그림 4.14에 표시한 바와 같이 터빈 펌프나 벌루트 펌프는 차단운전시 동력이 최소가 되므로, 구동용의 원동기에 대하여 최소의 동력으로 시동이 되기 때문이다. 한편, 축류 펌프에서는 차단운전 때의 동력이 매우 크고 원심 펌프와 같은 시동은 되지 않는다.

어떤 종류의 펌프라도 시동할 때에는 펌프 케이싱 속에 액체가 꼭 차 있어서 임펠러가 액체 속에 잠겨 있지 않으면 펌핑 작용을 할 수 없다. 따라서 펌프를 시동할 때에는 액체가 차 있는가를 검사하고, 만일 차 있지 않을 때에는 물맞이를 통해서 액체를 채운 후 시동을 해야 펌핑된다. 그 이유는 케이싱 속에 공기가 차 있으면 임펠러에서 에너지를 공급하더라도 액체를 흡상할 만한 압력을 발생시키지 못하기 때문이다.

2) 펌프의 운전효율

그림 4.12에서 빗금친 부분은 밸브를 잠금으로

써 펌프가 낸 양정의 일부를 소비한 것을 표시한다. 장치에 흐름을 생기게 하는 데 사용한 유효양정은 빗금친 아래의 부분, 즉 h 곡선으로 표시된 것이다. 유효하게 사용된 양정을 이용하여 구한 효율을 운전효율이라 하고, 이것을 나타내는 운전효율곡선(η')은 정격유량이 아닌 운전이므로 역시 정격운전보다 떨어진다.

일반적으로 펌프의 운전은 정격유량 이하에서도 이루어지므로, 정격유량 이외의 운전효율도 고려할 필요가 있다.

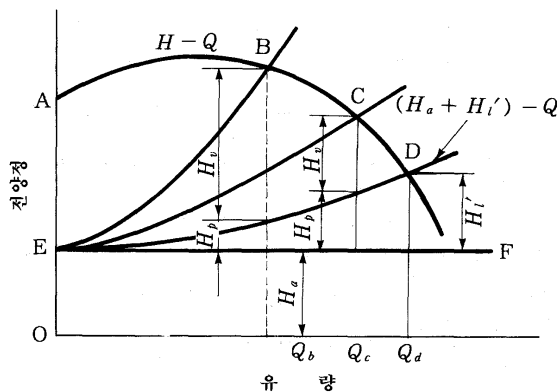


그림 4.11 펌프 배관계의 운전점

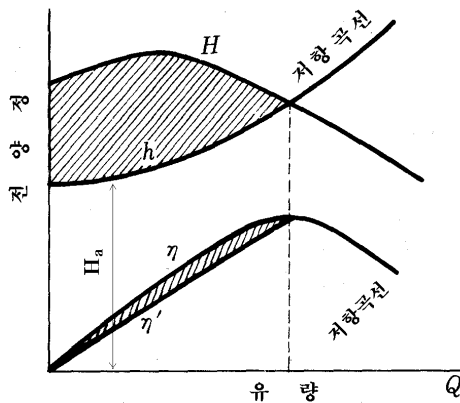


그림 4.12 원심펌프의 운전효율

3) 펌프의 연합 운전

(1) 직렬운전

소요되는 유량이나 양정이 일정하지 않고 크게 변동할 때는 2대 이상의 펌프로써 연합운전을 하게 된다. 양정의 변화가 커서 1대의 펌프로써 양정이 부족할 경우에는 2대 이상의 펌프를 직렬로

연결하여 운전한다.

가) 특성이 동일한 펌프의 직렬운전

그림 4.13에 있어서 I을 단독운전일 때의 특성곡선이라고 하면, 동일 특성이 다른 1대의 펌프를 직렬운전한 경우의 특성곡선은 II와 같이 된다

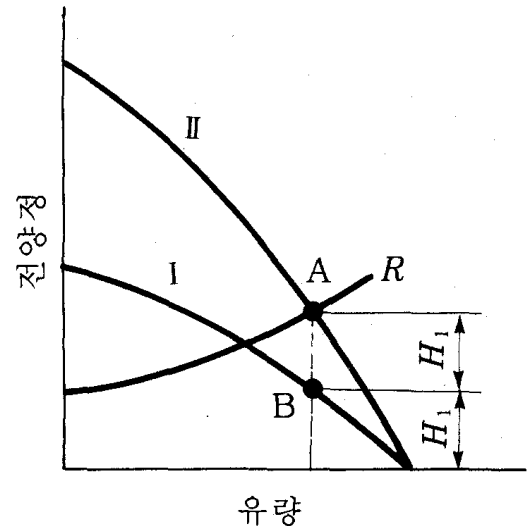


그림 4.13 직렬운전일 때의 특성곡선
(특성이 동일한 두 펌프의 직렬연결)

II는 I을 세로축 방향으로 2배하면 구해진다. 저항곡선이 R일 때의 운전점은 A이고, 단독 펌프의 운전점은 B이다.

나) 특성이 다른 펌프의 직렬운전

그림 4.14와 같이 I인 펌프와 II인 펌프를 직렬운전할 때의 특성곡선은 III과 같이 된다. III은 I, II를 세로축 방향으로 합치면 된다. 저항 곡선이 R일 때의 운전점은 A이고, 각 펌프의 운전점은 B, C이다.

(2) 병렬운전

유량의 변화가 크고, 1대의 펌프로써는 유량이 부족할 때에는 2대 이상의 펌프를 병렬로 연결하여 운전한다.

가) 특성이 동일한 펌프의 병렬운전

그림 4.15에 있어서 I을 단독인 경우의 특성곡선으로 하면, 동일 특성이 다른 1대의 펌프를 병렬로 운전할 때의 합성특성곡선은 II와 같이 된다. II는 I을 가로축 방향으로 2배 하면 구해진다. 저항곡선이 R일 때의 운전점은 A이다.

나) 특성이 다른 펌프의 병렬운전

그림 4.16에서와 같이 특성이 다른 2대의 펌프 I, II를 병렬로 운전할 때의 특성곡선은 III과 같이 된다. III은 I, II를 가로축 방향으로 합침으로써 구해진다. 저항곡선이 R_0 일 때의 운전점

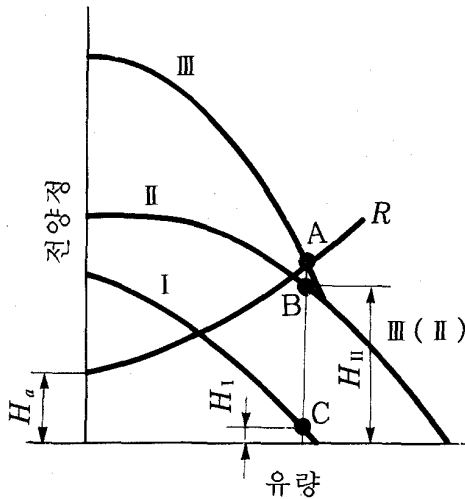


그림 4.14 직렬운전일 때 특성곡선
(특성이 다른 두 펌프의 직렬연결)

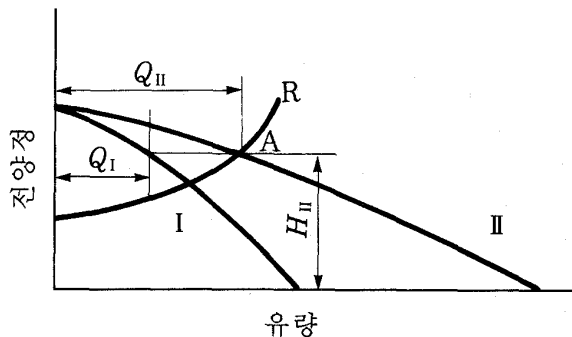


그림 4.15 병렬운전일 때 특성곡선
(특성이 다른 두 펌프의 병렬운전)

은 A로서 펌프 I, II의 유량은 Q_1 , Q_2 와 같이 된다. 저항이 R_2 보다 크게 되면 I의 펌프는 펌핑되지 않고, 이 펌프가 체크밸브 또는 풋밸브를 가지고 있다면 차단운전상태가 된다. 이 밸브가 없으면 I의 펌프는 역류상태가 된다.

4) 펌프의 성능변화

(1) 회전수 변화에 따른 성능변화

회전수를 변화시키면 펌프 성능은 일정한 법칙에 따라서 변화한다. 펌프 효율도 어느 정도 변

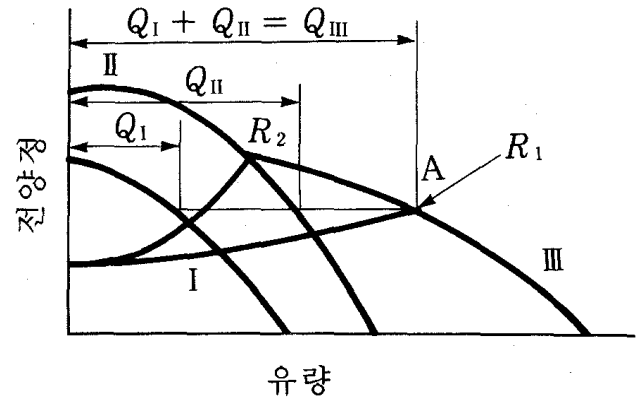


그림 4.16 병렬운전일 때 특성곡선
(특성이 동일한 두 펌프의 병렬운전)

화하지만 일반적으로 기준 회전수의 $\pm 20\%$ 정도의 변동 범위에서는 그 효율변화는 미소한 것으로 무시하여도 좋다.

펌프의 회전수 변화에 따른 성능변화는 KS B 6301에도 규정되어 있으며, 최고 효율점 뿐만 아니라 성능곡선도 상의 어느 점에서도 적용할 수가 있다. 단, 회전수의 변동이 큰 경우에는 환산식이 다소 오차가 있으므로 주의하지 않으면 안 된다.

(2) 임펠러 외경 가공에 따른 성능변화

현재 가지고 있는 펌프의 성능이 현장의 사정에 맞지 않아서 펌프 성능을 줄일 필요가 있는 경우에는 앞에서 언급한 바와 같이 펌프의 회전수를 변화시켜 펌프 성능을 변경하는 것이 가능하지만, 그 외의 방법으로서 회전수를 변화시키지 않고 임펠러의 외경 가공에 의해서도 목적하는 바를 얻을 수 있다.

그러나 임펠러 외경 가공시에는 원주속도의 변화는 물론 깃의 간섭길이, 임펠러 출구쪽 뿐만 아니라 출구각까지도 변화하므로 토출유량과 양정 감소의 결과는 임펠러의 형상에 따라 다르다.

비속도가 작은 임펠러는 펌프 효율이 거의 저하되지 않는 범위에서도 외경을 작게 가공할 수 있고, 비교적 비속도가 큰 임펠러의 외경 가공은 효율 저하에 민감하게 영향을 준다. 이 경우 안내깃을 가지고 있는 펌프의 경우에만 유효하므로 보통 슈라우드를 원래의 치수대로 두고 임펠러의 깃만을 가공하고, 안내깃이 없는 경우는 슈라우

드와 깃을 같이 가공한다. 그러나 실제로는 가공 전후 임펠러의 출구폭 및 출구각도, 중량 등에 변화가 있기 때문에 점차 형상의 상사성이 약해져서 효율도 외경가공과 함께 저하하는 것이 보통이다.

반면에 축류 펌프인 경우에는 임펠러 외경을 가공하여 사양의 감소효과를 얻을 수 없다. 만약 회전되도록 설계되었으면

위에서 설명한 바와 같이 임펠러 외경의 가공 결과는 임펠러의 형상에 따라서 다양하게 변화하므로 모든 경우에 대하여 임펠러 외경을 가공하기 전에 펌프 제작자의 조언을 받는 것이 필요하다.

(3) 특수 액체에 의한 성능 변화

특수한 액체를 양수하는 경우의 펌프 성능은 상온의 청수를 양수하는 경우에 비하여 성능이 현저하게 변화하는 것으로 알려져 있으며 KS B 6301 또는 KS B 6306에 이들에 대해 설명하고 있다. 펌프에 사용하는 액체의 점도가 크거나 고형물을 함유하는 경우의 성능시험을 미리 그 펌프의 상온 청수에서의 성능 제원을 정하여 청수로 시험하여도 된다. 펌프 성능에 영향을 미치는 요소는 액체의 비중, 점도, 함유 고형물 등이 있으며 실제 액체의 사양에 청수의 사양으로의 환산을 실시하기 위하여 이것들에 의한 저감율을 알 필요가 있다.

4.1.4 펌프 운전상의 특이현상

1. 캐비테이션 현상

1) 캐비테이션

액체가 유동하고 있을 때에 어느 장소에서의 정압이 그 때의 액체온도에 상당하는 증기압보다 낮아지면 거기서 액체는 국부적 증발을 일으키고 기포가 발생한다. 이 현상을 캐비테이션이라고 한다. 캐비테이션은 관로 중에서 좁아진 부분이나 곡관부 그리고 유속이 빨라져서 정압이 떨어지는 곳 등에서 발생하기 쉽다.

펌프내부의 유동상태는 대단히 복잡하여 저압 부분이 발생하기 쉽기 때문에 캐비테이션이 종종 일어난다. 펌프에서 캐비테이션이 일어나면 펌프

성능은 현저히 저하하며, 유동음과는 확실히 구별되는 금속적인 타격음을 발생하고 때로는 진동을 수반한다. 이와 같은 상태에서 펌프를 오랫동안 운전하면 캐비테이션의 발생부위에 심한 침식이 나타나고 펌프 수명이 크게 짧아진다.

2) 흡입헤드(NPSH)

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 유효흡입헤드(NPSH_{av}) 및 흡입능력을 나타내는 필요유효흡입헤드(NPSH_{re})에 대하여 생각해 볼 필요가 있다.

(1) 유효흡입수두(NPSH_{av})

펌프가 설치되어 사용될 때 펌프 그 자체와는 무관하게 흡입측의 배관 또는 시스템에 따라서 정하여지는 값으로 펌프 흡입구 중심까지 유입되어 들어오는 액체에 외부로부터 주어지는 압력을 절대압력으로 나타낸 값에서 그 온도에서의 액체의 포화증기압을 뺀 것을 유효흡입헤드라고 한다.

(2) 유효흡입헤드의 계산식

$$NPSH_{av} = H_s = \frac{p_s}{\gamma} - \frac{p_v}{\gamma} \pm H_s - f \frac{V_s^2}{2g} \quad (4.10)$$

여기서, H_s 는 유효흡입헤드이고, p_s 와 p_v 는 흡수면에 작용하는 압력과 액체의 포화증기압이며, γ 는 비중량, H_s 는 흡입면에서 펌프기준면까지 높이이고, $H_s - f \frac{V_s^2}{2g}$ 는 흡입측 배관에서의 총손실헤드이다.

식 (4.10)에 의하면 $NPSH_{av}$ 는 H_s 가 일정하다고 가정하면 토출량이 증가하거나 흡입측의 배관 길이가 길어지는 만큼 작아져서 캐비테이션에 대한 위험도가 높아진다. 펌프의 기준면은 그림 4.17에 표시되어 있다.

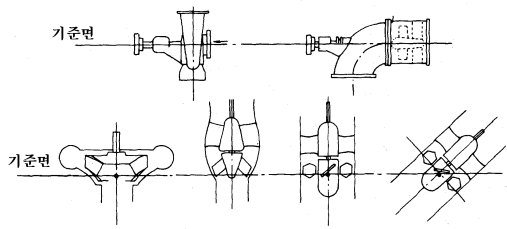


그림 4.17 펌프의 형식 및 설치방법에 따른 기준면

(2) 필요흡입헤드

임펠러 입구 부근까지 유입되는 액체는 임펠러에서 가압되기 전에 일시적인 압력 강하가 발생하는데 이에 해당하는 수두를 필요유효흡입헤드 ($NPSH_{re}$)라고 한다. 이때의 펌프 흡입측의 압력분포를 나타내보면 그림 4.18과 같으며, 필요유효흡입헤드는 그림에서의 a-c'의 높이에 해당되며, 이 값은 시험에 의해서만 구할 수 있고, 다만 설비계획단계에서 그림 4.19와 같이 Thoma의 캐비테이션 계수(σ) 또는 흡입비속도로 대략 추정해 볼 수 있다.

그림 4.20에는 유효흡입헤드와 필요유효흡입헤드의 곡선이 함께 나타나 있다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 유효흡입헤드와 필요유효흡입헤드가 교차하는 점을 한계로 하여 토출량이 많은 쪽에서는 깃에서 가장 낮은 압력이 증기압 이하고 되는 것에 의하여 정해지는 필요유효흡입헤드에 대하여 요구되는 토출량의 범위에 대하여 충분한 여유가 있도록 계획을 세우지 않으면 안된다.

이상의 사실을 조합하면 캐비테이션의 발생 한계조건은

$$NPSH_{av} = NPSH_{re} \quad (4.11)$$

이 되고

$$PSH_{av} > NPSH_{re} \quad (4.12)$$

일 때에는 캐비테이션이 발생하지 않는다. 펌

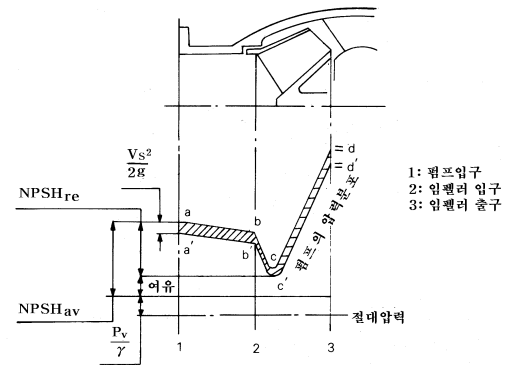


그림 4.18 펌프 흡입측의 압력분포

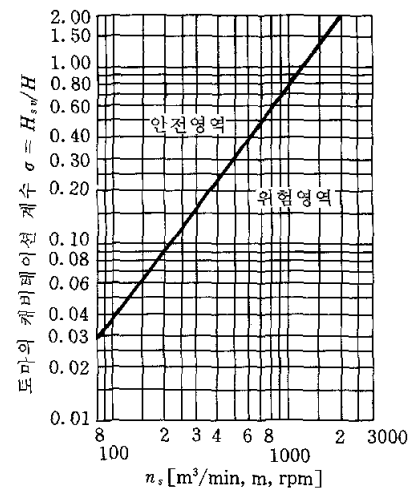


그림 4.19 n_s 와 σ 와의 관계

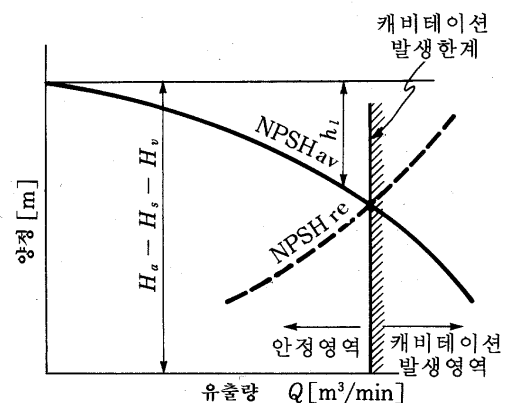


그림 4.20 Av NPSH와 Re NPSH의 곡선

프의 설치 높이는 보통 다음 식과 같이 한다.

$$NPSH_{av} \geq 1.3 \times NPSH_{re} \quad (4.13)$$

2. 수격 현상

그림 4.23과 같은 송수장치에 있어서 송수 도중에 펌프가 정전과 같은 사고로 인해 갑자기 멈추게 되면 송수관 내에 수격현상이 발생하여 그로 인한 이상 충격압으로 인하여 배관 등에 큰 피해를 주는 수가 있다. 펌프 송수관에서 수격현상이 발생하는 과정은 다음과 같이 설명될 수 있다. 즉, 펌프가 급정지하면 송수관 속의 물은 관성 때문에 잠시 동안은 토출 쪽으로 계속 유동하지만 펌프는 송수하지 않게 되므로 펌프 토출측에 저압이 발생한다. 관로 속의 물은 곧 역류를 시작하며 그 유속이 어느 한도에 도달하면 펌프 토출측에 설치된 체크밸브가 급폐쇄하므로 유동은 갑자기 멈추게 된다. 이 때문에 체크밸브 부분에는 압력상승이 나타나 이것이 충격파로서 관내를 왕복한다.

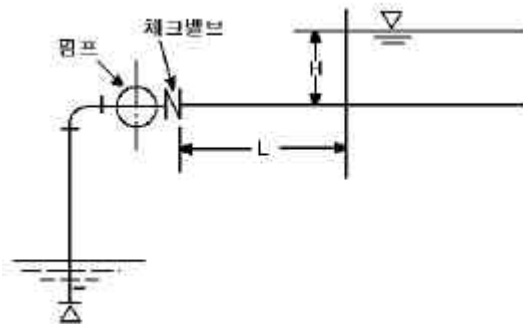


그림 4.21 펌프의 수격현상

수격현상의 충격파는 점성을 무시한 이론으로는 영구히 관내를 왕복 운동하는 것으로 되지만 실제로는 물의 마찰저항 등의 원인으로 인하여 차츰 감쇠하면서 소멸한다.

1) 수격현상에 의한 압력상승

밸브가 급폐쇄하는 경우 밸브를 폐쇄하는 데 소요되는 시간을 t 라고 하면 $t \leq 2L/a_0$ 의 경우를 급폐쇄라고 부르며 이때 수격에 의한 압력상승 Δh [m]는 다음 식으로 주어진다.

$$\Delta h = a_0 v / g \quad (4.14)$$

여기서, v 는 밸브 폐쇄 직전의 관내 유속이고, a_0 는 입력파의 전파속도이다.

a_0 는 관의 탄성을 고려한 식으로서 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$a_0 = \frac{1.425}{\sqrt{1 + \frac{\kappa}{E} \cdot \frac{D}{\delta}}} \quad (4.15)$$

여기서, D 는 관의 내경, δ 는 관의 두께, κ 는 물의 체적탄성계수이고, E 는 관재료의 종탄성계수이다.

밸브가 완전 폐쇄되는 경우 밸브의 완전 폐쇄 ($t > 2L/a_0$)시간이 길수록 밸브에 대한 유동의 충격이 완화되므로 압력상승은 작아진다. 이 경우의 압력상승은 다음과 같다.

$$\Delta h = \frac{1}{2} n(n + \sqrt{n^2 + 4})H \quad (4.16)$$

여기서, $n = Lv/gtH$ 이고, H 는 밸브에서 수조까지의 실양정이다.

2) 수격현상의 방지책

(1) 펌프에 플라이휠을 부착함으로써 회전부분의 관성중량을 증대시키고 정전시의 펌프정지시간을 되도록 길게 하면 급격한 압력강하를 방지할 수 있고, 이 압력강하의 반작용에 의해 일어나는 큰 수격현상을 피할 수 있다.

(2) 펌프토출구에 설치되는 체크밸브가 스프링이나 추 등에 의해 역류가 시작하기 전에 닫히도록 함으로써 수격현상을 완화시킬 수 있다. 이와 같은 밸브를 자폐식 체크밸브라고 부른다.

(3) 체크밸브와 대시포트의 연동에 의해 관속의 물이 역류할 때에 밸브에 저항을 주어 폐쇄시간을 길게 함으로써 수격발생을 방지할 수 있다. 이와 같이 폐쇄시간을 연장시킬 수 있는 밸브를 완폐 체크밸브라고 부르고 있다.

(4) 그 밖에 대규모의 상수도 및 공업용수 등에 있어서는 관로내의 압력상승을 방지하기 위한 안전밸브로서 자동압력조정밸브라든가 서지탱크

등이 사용되고 있다.

3. 서징 현상

펌프 및 관로계에 외부로부터 강제력이 작용되지 않아도 관로의 유량과 압력에 주기적인 변동이 특수적으로 나타나는 경우가 있다. 이를 서징이라고 부르며 일종의 수력학적 자력진동이다. 진동주파수는 관로의 고유진동수에 따라 다르지만 대략 $1/10 \text{ Hz}$ 에서 10 Hz 정도이다.

1) 서징의 발생 원인

서징현상을 간단하게 설명하기 위해 그림 4.22과 같이 송수관 도중에 수조가 있는 관로를 생각하고, 관로계에는 손실이 없다고 하자. 그리고, 펌프는 점 1에서 작동되고 수요 유량 Q_L 과 펌프 토출량 Q_1 은 평형되어 있다고 보자.

지금 수요유량 Q_L 의 감소에 대응하여 수조출구 밸브를 약간 닫으면 과잉유량($Q_1 - Q_L$)이 수조내에 축적되어 수위는 상승한다.

수위상승에 따라 펌프에 요구되는 수두가 높아지므로 펌프작동점은 점 B로 향한다. 이때 $Q_L > Q_B$ 의 조건이 존재하면 도중에서 다시 평형운전이 가능해진다. 즉, 펌프작동점이 특성곡선의 우향하강부분에 위치하는 경우에는 외부에서 작용하는 수두와 균형을 이루는 운전점에서 안정된 운전을 할 수 있다.

수요유량이 $Q_L > Q_B$ 이면 수조의 수위는 계속 상승한다. 그러나 수조의 수위가 H_B 이상으로 높아지려면 펌프는 $Q > 0$ 의 영역에서 H_B 이상의 수두를 낼 수 없으므로 작동점은 점 B 보다 높은 수두를 낼 수 있는 역류영역의 점 E로 이동한다. 작동점이 점 E로 이동한 순간부터는 역류유량과 수요유량이 수조내의 감소유량으로서 합쳐지기 때문에 수위는 급격히 강하하며 작동점은 점 D에 도달한다. 수위는 점 D에서도 계속 강하하는 과정에 있으므로 펌프 특성곡선에 따라 $D \rightarrow A$ 로는 이동하지 못하고 점 D와 같은 크기의 수두를 낼 수 있는 우향하강곡선상의 점 F로 뛰어 넘는다. 이 순간부터 펌프는 다시 송수를 시작하는 데, 점 F에서의 유량 Q_F 는 수요유량 Q_L

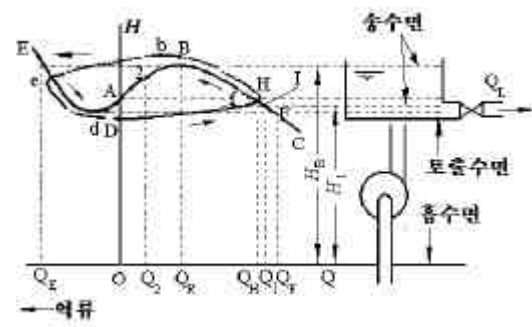


그림 4.22 펌프의 서징 현상

보다 많으므로 작동점은 다시 좌측으로 이동하여 처음의 운전경로와 같은 $FBEDF$ 의 경로를 반복하게 된다. 이와 같은 운전상태를 서징이라고 한다. 다만 물에는 관성이 있으므로 실제 서징 경로는 사선 $fbedf$ 와 같이 나타난다. 펌프의 작동점이 만일 처음부터 우향 상승곡선부분의 점 2에 있어서 $Q_L = Q_2$ 로 되어 있다고 하면, 이 영역에서는 수요유량의 약간의 증감에 의해서도 그 증감이 계속 증가하는 방향으로 펌프작동점이 이동한다. 따라서 점 A, B 사이는 그 점에서의 운전을 계속할 수 없는 불안정 운전영역이며, 운전점은 결국 점 B 또는 점 A(점 A를 지나서 점 D까지)로 이동하여 그 이후는 $FBEDF(fb edf)$ 의 경로를 따라 반복 운전하게 된다.

2) 서징현상의 방지책

서징 현상은 펌프에서 토출된 과잉유량의 에너지가 관로계(그림 4.20의 경우는 수조)에 축적되고 그것이 유동의 진동현상을 일으키는 데 이용되고 있다. 따라서 서징 현상을 막기 위해서는 과잉 유량의 에너지가 축적되지 않도록 하거나 또는 축적되어도 그것이 진동현상에 이용되지 않도록 하면 된다. 그러한 대책으로서 다음과 같은 방법들이 있다.

- (1) 전 유량영역에 걸쳐 우향 하강특성을 갖는 펌프를 사용한다.
- (2) 배관중에 수조 또는 진공실과 같은 에너지 저장부분이 없도록 한다.
- (3) 유량을 조절하는 밸브의 위치를 펌프 토출구 직후로 한다.
- (4) 바이패스관을 사용하여 펌프 작동점이 항상 펌프특성곡선의 우향하강부분에 있도록 한다.

4.1.5 펌프의 설치 및 운전

1. 펌프의 설치

펌프의 설치위치는 가능한 한 급수원에 가깝게 하고 급수원으로부터의 흡입관의 길이도 짧게 한다. 펌프 설치높이는 소형 펌프의 경우라도 급수면에서 6m 이내로 하고, 중, 대형 펌프에 있어서는 흡입 실양정과 흡입 관로손실로부터 계산되는 유효흡입수두가 펌프의 필요흡입수두보다 작게 되지 않도록 정한다.

펌프의 지지 구조는 베이스와 기초로 구분한다. 베이스는 모터와 펌프의 축정렬을 유지시키기 위해 펌프와 기초 사이에 설치하는 것으로 강성과 편평도가 요구되며, 일반적으로 강성이 높은 H-beam을 사용하는 것이 좋다. 기초는 베이스가 편평도를 유지하며 잘 고정될 수 있도록 설치하는 것으로 펌프에서 발생한 진동을 땅으로 전달하는 역할을 수행한다. 일반적으로 별도의 콘크리트 구조로 하는 것이 좋고 여러 대의 펌프를 일렬 배치하는 경우 서로간의 진동 전달에 의한 피해를 막기 위해 콘크리트 기초를 연결하지 않고 끊어 놓는 것이 좋다. 펌프의 설치를 세분하여 설명하면 다음과 같다.

1) 기초

펌프의 기초는 펌프가 진동을 일으키지 않을 정도로 견고하여야 한다. 펌프와 전동기의 기초를 분리하면 약간의 지반침하에도 펌프와 전동기의 축이 어긋나기 때문에 반드시 일체의 기초로 하여야 한다.

2) 공통 베이스

펌프와 모터의 공통공통베이스가 프레임으로 제작되어 공급될 경우에는 제작회사에서 조립해 준다. 이 공통공통베이스를 기초 위에 올려놓은 후에 커플링을 주의깊게 재조정할 필요가 있다. 이를 확인한 후 기초 볼트를 끼우고 수준기를 가지고 베이스를 평행하게 조정해 준다. 베이스에는 전체에 무수축 시멘트몰탈을 채워 공극이나 프레임에 부분적인 공간이 생기지 않도록 확인하고 시멘트몰탈을 완전히 주입한다.

3) 흡입관

흡입관의 길이는 될 수 있으면 짧게 하고, 곡관의 수는 줄이며 곡관을 설치시에는 곡률반경을 크게 하고 가능한 한 수원에 가깝게 설치하여야 한다. 흡입관은 각 펌프마다 설치하여야 한다. 펌프를 가동할 때 공기를 쉽게 배제하기 위하여 수평으로 설치하는 것을 피하여야 하고 수평길이를 짧게 하며 펌프를 향하여 1/200 ~ 1/50 정도의 올림구배가 되도록 한다. 연결부나 기타 부분에서 공기흡입이 없게 하고, 흡입관중에 공기가 차지 않도록 한다.

4) 토출배관

펌프 토출 플랜지부의 유속은 펌프 본체 설계시에 결정된다. 토출관의 유속은 3m/s 이하로 하고 관의 구경과 플랜지 구경이 다른 때에는 이형관을 사용하여 결합한다. 배관에는 유체에서 받는 힘이나 자중(유체도 포함)을 지탱하기 위한 지지대를 둘 필요가 있다. 관로가 길 때에는 온도변화에 따른 배관의 신축을 고려해서 적당한 장소에 신축관을 사용하고, 긴 수직관이 진동이나 휨 응력을 받지 않도록 중간의 적당한 위치에 진동막이가 필요하다. 토출배관도 갑자기 단면을 변화시키는 것은 피하는 것이 좋고, 수충격이 예상되면 펌프제작사와 협의하여 수충격 방지장치를 설치해야 한다.

5) 축정렬

축정렬의 정도는 축이음 결합면의 평행도와 축이음 외주면의 수평도로 결정된다. 취급설명서에 지정이 되어 있는 데로 조정하는 것이 가장 바람직하다. 만약 펌프와 모터의 공통베이스가 공급될 경우에는 이 공통베이스를 기초 위에 올려놓은 후에 축이음을 주의깊게 재조정할 필요가 있다.

6) 글랜드 패킹

글랜드 패킹의 길이는 축 바깥둘레의 길이와 일치시키기 위해서 축과 동경의 환봉에 감아서 절단한다. 패킹 끝을 각 패킹에 대해 90° 되게 설치하고 이음부가 충분히 밀착되도록 한다. 글랜드는 적당히 조여야 하며, 너무 과도하게 조이면 패킹이 과열되어 스테핑 박스, 패킹과 축 보호슬리브가 손상된다. 패킹부의 냉각을 위해서는

내압이 0.5kg/cm^2 이상의 압력을 가진 청수가 필요하다. 자압수의 압력이 부족할 때에나 오염된 액의 양수시에는 외부에서 청수를 주입하여야 한다.

2. 펌프의 운전

1) 펌프의 운전방식

펌프의 운전방식은 다음과 같이 3가지, 즉 단독운전, 연동운전 및 자동운전으로 나눌 수 있다. 최근에는 조작실의 감시 및 시퀀스(sequence) 제어를 1인 조작 연동방식으로 채용하여 널리 사용하고 있으며, 여기에 피드백 제어를 첨가한 방식도 점차로 적용되고 있다.

(1) 단독운전

각각의 조작 스위치에 의해 펌프 및 보조 기기를 단독으로 기동·정지시키고 밸브를 개폐조작하는 방식이다.

(2) 연동운전

조작 스위치의 1회 조작만으로 펌프와 보조 기기의 기동 및 정지 조작을 정해진 시퀀스대로 자동적으로 수행하는 방식이다. 보통 운전자가 있기 때문에 1인 제어라고도 한다.

(3) 자동운전

흡수정이나 배수지의 수위, 송수관의 압력, 송수량 등 제어 대상에서의 신호에 의해 운전과 조절을 자동적으로 하는 방식이다. 연동운전과의 차이는 기동·정지를 운전원의 판단에 따라 수행하는가, 자동제어장치로부터의 지령에 의해 자동적으로 수행하는가 만으로 구분되며, 시퀀스는 동일하다. 두 방식은 현장조작과 중앙조작과의 전환이 서로 가능하며 현장조작을 우선으로 한다.

2) 펌프의 운전

(1) 시동준비

가) 펌프시동에 앞서 베어링의 기름량과 기름의 오염정도를 꼭 점검한다.

나) 흡입측에 밸브가 있으면 꼭 완전 풀림으로 해 둔다. 밸브를 닫은 채 시동하면 펌프가 심하

게 녹아 붙는 사고를 일으킨다.

다) 토출측 밸브는 완전 닫힘으로 한다. 다만, 축류펌프는 토출측 밸브를 완전 풀림으로 하여 시동한다.

라) 펌프 축을 손으로 돌리고 회전이 무리하지 않음을 확인한다.

마) 프라이밍을 완료한 후에 시동하여 토출밸브를 서서히 열고 송수를 시작한다.

(2) 운전중의 주위사항

가) 베어링 온도(60°C 이하)에 주의한다.

나) 패킹 조임에 주의한다. 패킹을 과도하게 죄면 과열한다. 누수가 전혀 없는 것은 공기를 빨아들이고 있는 증거이다. 기계식 실의 경우는 시운전 후 약 30분 동안 소량의 누수가 있을 수 있으나 그대로 운전을 계속하고 있으면 멈추게 된다. 만일 멈추지 않을 때는 분해하고 다시 부착해야 한다.

다) 진동에 주의한다. 허용진폭은 회전수에 따라 다르며, KS규격의 원심 펌프, 사류 펌프 및 축류 펌프의 시험 및 검사방법에서 언급되어 있다. 모든 진동은 반드시 베어링 하우징에서 측정하여 판단해야 하고, 수직축형 펌프의 경우 베어링하우징에서 측정하는 것 이외에 공진 발생을 분석하기 위해 구동용 전동기의 꼭대기 위치에서 수평방향으로의 진동을 검토해 보는 것이 좋다.

라) 소음에 주의한다. 펌프 흡입양정이 너무 높은 경우라든가, 흡입 관로 특히 여과기에 이물이 끼었을 경우 혹은 펌프를 과대유량에서 운전하는 경우에는 캐비테이션에 의한 유동음이 나타난다.

마) 펌프 시동후 차츰 유동이 약해지고 마침내 물이 안나오게 되는 경우 그 원인은 흡입관이나 축밀봉 부분 등에서 공기가 흡입됐기 때문이다.

바) 압력계 및 전류계에 항상 주의하고 펌프를 시방조건하에서 사용하도록 한다. 특히 과대전류는 유량의 과대 또는 내부접촉의 원인이 된다.

(3) 정지시의 주의

가) 원심펌프의 경우 반드시 밸브를 차단한 후에 펌프를 정지시킨다.

나) 정전과 같은 원인으로 인해 펌프가 멈추었을 때는 신속하게 토출밸브를 닫아 둔다.

다) 겨울철에는 물의 동결피해를 피하기 위해 드레인 콕을 열어 물을 빼둔다.

3) 펌프의 보호장치

펌프를 운전하기 위해서는 펌프가 기동 중 또는 운전 중에 발생하는 이상을 검출해 내어 감시할 등 필요한 장소로 경보 또는 고장표시를 하기 위한 적당한 보호장치를 설치한다.

4) 펌프의 자동제어

펌프의 자동제어에는 수위와 연관하여 자동적으로 기동 또는 정지하는 간단한 방법에서부터 대수를 선택하고 토출량을 제어하는 등 복잡하고 다양한 것들이 있으며, 이들을 목적에 따라 크게 나누면 수위제어, 유량제어 및 압력제어로 구분된다.

3. 펌프의 유지 관리

적절한 유지관리는 원활한 운전을 지속시키기 위하여 필요불가결한 것이며, 그 상태가 기기의 성능 및 수명에 미치는 영향도 대단히 크다. 펌프의 보수에 있어서는 각자가 펌프의 기능 및 성능을 잘 알고 항상 양호한 상태에서 운전될 수 있도록 하여야 한다. 이를 위하여 일반적으로 갖 추어야 할 사항들은 다음과 같다.

(1) 관리대장을 작성하고 주요 점검기록, 수리 기록 등을 기입함과 동시에 점검기준을 명확하게 하고, 고장을 사전에 방지하도록 노력하여야 한다.

(2) 운전일지를 작성하고, 필요한 운전기록은 연속 기록해 두어야 한다.

(3) 도면, 시험기록 등은 항상 정리해 두어야 한다.

(4) 분해 수리에 필요한 공구, 예비품 등은 항상 점검, 정돈해 두어야 한다.

1) 펌프의 일상 점검

일상점검은 1일 1회 이상 실시하는 것이 바람직하다. 일상점검에 있어서는 각 항목이 판정 기준치 이내에 있는지를 확인하는 것 이외에도, 항상 추이에 주목하여 변화가 큰 경우에는 그 원인을 규명하여 대책을 강구할 필요가 있다. 따라서, 중요도가 높은 펌프에 대해서는 일상점검 결과를 운전일지에 기록하도록 한다. 일상점검의 항목과

판정기준은 대체로 다음과 같다.

(1) 압력계 및 진공계의 지시치

압력계 및 진공계의 지시치와 측정 높이차 등으로부터 얻어진 펌프의 운전양정이 정격점 부근에 있어야 한다.

(2) 전류치(구동기가 전동기인 경우)

전동기 명판의 전류치 이하이어야 한다. 다만, 전원 전압이 낮아짐에 따라 전류가 커질 경우에는 +5%까지 운전 가능하다.

(3) 글랜드 패킹의 누수 및 온도

글랜드 패킹(축봉부)에서 약간의 누수는 윤활 및 냉각을 위하여 필요하다.

(4) 진동

손을 대어 보아 이상진동이 느껴지지 않아야 한다. 정확하게는 펌프 및 전동기 베어링부의 진동 진폭을 진동계로 측정한 값이 기준치 이하이어야 한다. 진동 진폭은 보통 수평축 펌프에서는 바깥 베어링, 수직축 펌프에서는 전동기의 상부 베어링에서 가장 크게 나타나며,

(5) 음향

가) 베어링부에서 이상음이 발생하지 않아야 한다.

나) 케이싱부에 캐비테이션, 서징 등에 의한 이상음의 발생이 없어야 한다.

(6) 베어링 온도 및 윤활유 량

가) 베어링의 허용 최고온도 및 허용 온도상승에 대해서는 KS B 6301에 제시되어 있다.

나) 윤활유나 그리스의 양이 과다하면 과열의 원인이 되므로 주의하여야 한다. 윤활유는 유면이 오일 게이지의 상·하한선 내에 들어가도록 하고, 그리스는 베어링 하우징의 1/3 ~ 1/2 정도로 충분하다.

다) 오일 윤활의 경우 오일링이 원활하게 회전하도록 한다.

7) 절연 저항

가) 수중 펌프의 모터절연저항은 1개월에 1회 측정하며, 그 측정값은 1 MΩ 이상이어야 한다.

나) 고정 설비가 아닌 것에 대해서는 이동시킬 때마다 측정해야 하며, 사용하기 전에 전원용 누전차단기의 동작시험을 실시한다.

2) 펌프의 보수·점검

하루 24시간 운전되고 있는 펌프는 1년에 1회 정도 펌프를 분해하여 정비, 점검을 실시하는 것이 바람직하다.

(1) 작업 전 준비사항

펌프를 분해하는 경우에는 다음 각 사항에 주의하여 실시하여야 한다.

가) 전원 스위치를 확실히 내리고 착오로 펌프가 돌지 않도록 하여야 한다.

나) 미리 분해 부분의 구조를 이해하여 순서가 틀리지 않도록 하여야 한다.

라) 패킹류는 새 것을 준비하여 두어야 한다.

마) 분해한 부품이 없어지지 않도록 정리함과 동시에 바닥 면에 직접 두지 말고 종이나 천 또는 목재 위에 놓아 두어야 한다.

바) 베어링을 떼어 낼 필요가 있을 때에는 나무망치를 사용하거나 목편을 사이에 두고 두드리도록 하고, 직접 쇠파치로 타격을 해서는 안된다.

사) 와이어 로프로 끌어올릴 때는 직접 와이어 로프가 닿지 않도록 하여야 한다.

(2) 분해 점검

펌프를 분해하였을 때는 특히 다음 각 항에 주의하여 점검하고, 필요에 따라서 신품과 교환하던가 조정작업을 하여야 한다.

가) 임펠러와 라이너 링과의 간극

펌프를 장시간 운전하면 임펠러와 라이너 링(liner ring)이 마모에 의해 간극(clearance)이 커지면 성능의 저하, 진동의 발생 등의 지장을 초래하게 되므로, 이 간극이 적정치의 약 2~3배 이상이 되면 부분품을 교환하여 조정하여야 한다.

나) 슬리브의 마모

슬리브의 마모 및 손상은 축봉부로부터 공기의 유입과 봉수의 누수 및 발열의 원인이 되므로 흠집이 있거나 마모가 3~4mm가 되면 슬리브를 교환하여야 한다.

다) 구름 베어링의 교환

구름 베어링은 벤젠, 가솔린 등으로 충분히 청

소한 다음 베어링의 회전이 원활한가 또는 녹의 발생 유무 등에 관하여 조사하고, 이상이 발견되면 신품과 즉시 교환하여야 한다.

라) 임펠러의 부식, 마모

부식이나 마모의 상태를 조사한다. 이것이 화학적인 부식이나 캐비테이션에 의한 것임이 판명되면, 펌프의 운전방법과 임펠러의 재질에 관하여 재검토할 필요가 있다.

마) 기타

녹이나 기타 부착물의 상황을 조사하여 청소하여야 한다. 필요에 따라서는 도장을 적당하게 다시 하여야 한다.

(3) 조립

펌프의 조립에 있어서는 다음과 같은 사항에 유의하여야 한다.

가) 접착부 및 끼워 맞추는 부분은 잘 청소하고 경우에 따라서는 기름을 바른 다음에 확실하게 조립한다.

나) 베어링의 조립에 특히 주의하고 이물질이 혼입되지 않도록 한다.

다) 조립에 있어서도 될수록 쇠파치로 직접 두드리지 말고 나무망치를 사용하거나 목편을 댄 다음에 쇠파치를 사용한다.

라) 조립 후 주축을 손으로 회전시켜 가볍게 돌아가는 것을 확인한다.

(4) 축정렬

가) 분해, 점검 후 재조립할 때는 반드시 축 중심을 바로 맞추기 위한 축정렬을 실시한다. 분해 점검의 주기가 1년을 넘은 경우에는 1회/년 정도는 직결정도를 점검하여 허용치를 초과하면 교정한다.

나) 펌프 및 전동기 축의 잘못된 정렬을 보상하기 위하여 플렉시블 축이음(flexible coupling)을 사용하여서는 안된다. 플렉시블 축이음의 목적은 전동기로부터 펌프에 동력을 전달하는 동안 온도 변화에 대한 보상 및 서로간에 간섭 없이 축의 끝단 이동을 허용하기 위한 것이다.

다) 플렉시블 축이음의 정렬상태를 검사하는데 필요한 공구는 직선 자(straight edge) 및 테이퍼 게이지(taper gauge) 또는 틸새 게이지(feeler gauge) 등이다.

(5) 베어링 윤활유(그리스)의 교환

가) 윤활유 량, 기름 누출, 이물질의 혼입, 기름의 열화 등에 항상 주의하여야 한다.

나) 윤활유가 흑색을 띠고 오염되었을 경우나, 그리스가 백탁(白濁) 또는 흑색으로 변색되었을 경우에는 신품과 전부 교환하는 것이 바람직하다. 그리고, 보통 윤활유는 운전 시간에 따라서 1~6 개월에 1회, 그리스는 운전시간 약 3,000~5,000 시간마다 전량 교환하는 것이 바람직하다.

다) 윤활유는 취급액의 온도나 펌프 회전속도에 따라 적합한 것을 사용하여야 한다. 일반적으로 윤활유는 여름철에는 점도가 높은 것을, 겨울철에는 점도가 낮은 것을 선택하는게 좋다. 그리스 윤활에서는 액체의 온도가 65℃ 이하인 경우는 컵 그리스를, 65℃ 이상은 파이버 그리스나 리튬 그리스 등을 사용한다.

(6) 글랜드패킹의 교환

가) 글랜드패킹은 운전중 물이 약간씩 떨어질 정도로 조이고, 패킹누르개의 조임을 조정하여도 누수가 많을 경우에는 패킹을 교환하여야 한다.

나) 패킹누르개를 너무 조이거나 편측 조임이 없도록 충분히 주의하고, 패킹은 반드시 1~3mm정도 이상 패킹상자내에 삽입하여 패킹상자로부터 빠져 나오지 않도록 하여야 한다.

다) 패킹은 옆의 패킹과 중복되지 않도록 90~180° 이동시켜 삽입한다.

라) 글랜드 봉수의 수압을 스테핑 박스의 입구에서 1~2 kg/cm²이 되도록 조정해야 하며, 너무 높으면 과열이나 슬리브 마모의 원인이 되므로 주의하여야 한다.

(7) 기타

수중모터펌프는 운전상황을 외부에서 직접 관찰할 수 없으므로 일반적인 펌프와는 달리 완전한 보수가 곤란하나, 일상의 운전상태를 확실히 파악함으로써 이상의 조기발견도 가능하므로 항상 관찰을 게을리 하지 않도록 하여야 한다.

3) 장기간 가동 중단시 펌프의 취급

펌프를 장기간에 걸쳐 가동 중단할 경우 및 가동 중단 후 펌프를 재사용할 경우에는 다음 사항에 대하여 주의하여야 한다.

(1) 예비펌프가 있는 곳에서는 교대로 펌프를 운전하고, 특정한 펌프만을 불필요하게 장기간

가동 중단시키지 않도록 하여야 한다.

(2) 추후 사용에 대비하여 항상 각 부위를 청결한 상태가 유지되도록 하여야 한다.

(3) 장기간에 걸쳐 펌프를 가동 중단하는 경우는 반드시 펌프 내부 베어링 냉각재킷내의 물을 빼 두어야 한다. 특히 한냉지의 물이 동결할 염려가 있는 곳에서는 펌프 부속배관, 수조 등의 물도 배수해 두어야 한다.

(4) 주축, 축이음, 베어링 등의 표면은 녹슬지 않도록 기름을 바르는 등 충분한 손질이 필요하다.

(5) 장기간 가동 중단한 후에 펌프를 재사용하는 경우에는 각 부위를 충분히 청소한 다음에 먼저 베어링의 급유 상태를 조사하고, 여러 번에 걸쳐서 베어링이나 펌프 내부에 이상이 없는 것을 확인한 후 기동하여야 한다.

(6) 기동의 경우 전동기의 회전방향을 확인할 필요가 있을 때에는 반드시 펌프의 연결을 끊은 후에 하여야 한다.

(7) 정수(淨水)용 펌프는 기동에 앞서서 미리 펌프 내부를 물로 채우고 필요할 때는 적절히 청소한 다음에 수질에 이상이 없는 것을 확인한 후에 운전하도록 한다.

4) 고장의 원인과 그 대책

펌프도 다른 기계와 마찬가지로 설계, 제작의 불량, 취급의 부주의 등에 의해 고장을 일으키는 수가 있다. 여기서는 몇 가지 주요한 것에 대해서 외부에 나타나는 현상과 원인에 관하여 설명하기로 한다.

(1) 과부하

전동기가 과부하되는 원인은 수력학적인 원인과 기계적인 원인으로 나눌 수 있다. 첫째, 수력학적인 원인으로서는 펌프의 운전점이 어떤 이유로 인하여 시방점(정격점)에서 멀어졌을 경우이다. 이는 펌프의 종류 및 비속도에 따라 그 원인이 다른데, 비속도가 작은 원심펌프에서는 양정과소에 따른 과대유량에서, 비속도가 큰 축류펌프에서는 양정과대에 따른 과소유량에 의해 과부하가 발생한다. 원심펌프의 유량과대에 따른 과부하 대책으로는 토출밸브를 닫아 운전점을 사양점에 맞추거나, 펌프의 양정이 실제보다 크게 선정된 경우에는 임펠러의 외경을 필요한 정도로 가

공 · 축소시켜 펌프의 유량 및 축동력을 감소시키는 방법이 있다. 둘째, 기계적인 원인으로는 임펠러가 케이싱에 닿거나, 임펠러에 각목 등이 걸려 있는 경우이다. 또한, 소형 펌프에서는 직결 불량에 의해 베어링이나 패킹상자에 무리한 힘이 가해져 과부하가 될 때도 있다. 이외에도 전원의 주파수 변동에 따른 과대속도와 전압 이상 강하에 따른 과대전류 등이 원인으로 될 수 있다.

(2) 양수 불능

펌프가 양수를 못하게 되는 원인으로는 다음과 같은 여러 가지 요인이 있다.

가) 실양정 과대

펌프를 잘못 선정함에 따라 관로의 실양정이 펌프의 차단양정 이상인 곳에 사용하면 양수 불능 상태가 된다. 이러한 경우 임펠러를 외경이 큰 것으로 교체하거나, 다른 펌프를 추가해서 직렬로 운전하는 방안으로 해결할 수도 있으나, 때에 따라서는 시스템에 적합한 다른 펌프로 교체하여야만 한다.

나) 특성이 다른 펌프의 병렬운전

한 대의 펌프가 펌핑이 되지 않는 경우는 대용량 펌프의 유량 이하로 수요량을 줄였을 때이므로, 이러한 경우 소용량 펌프를 정지시킨다. 또한 특성이 다른 펌프를 병렬로 사용할 경우에는 대용량 펌프와 소용량 펌프의 정격유량을 너무 차이나게 결정하지 말고, 두 펌프의 차단양정을 가급적 가깝게 되도록 선정한다.

다) 역회전

전원을 잘못 결선하여 전동기의 회전방향이 바뀌면 펌프의 성능을 제대로 얻을 수 없으므로 수중모터펌프와 같이 회전부분이 바깥에서 보이지 않는 것에서는 특히 주의하여야 한다. 한편, 펌프의 회전방향은 구동기축에서 보아 시계방향을 표준으로 하고 있다.

라) 흡입배관의 부적합

흡입배관으로 공기가 유입되는 경우에는 흡입배관이 길거나 흡상 높이가 클 때에는 특히 주의하여야 한다. 공기 주머니는 리듀서 및 배관의 상부에 형성되기 때문에 수평 흡입관에 편심 리듀서를 사용하도록 하고 수평 흡입관은 펌프 쪽으로 점차적으로 상승하여야 한다. 또한, 밸브대가 수직으로 흡입관에 설치되면 패킹부를 통한

공기의 유입이 염려되므로 흡입관에서의 게이트 밸브는 밸브대가 수평이 되도록 설치하는 것이 바람직하다.

마) 캐비테이션

유효흡입헤드가 필요유효흡입헤드보다 작아지면 캐비테이션이 발생하여 펌프의 성능이 급격히 떨어진다. 캐비테이션이 발생하는 경우에는 반드시 이에 대한 방지대책을 세워야 한다. 한편, 흡입관에 스트레이너가 설치된 경우에는 이물질에 의한 유로의 막힘에 특히 주의한다.

(3) 펌프의 유량 감소

이 원인은 앞에서 설명한 양수 불능의 경우와 거의 같으나 이외에도 라이너 링이나 임펠러의 마모에 따른 누수량 증가와 흡입, 토출관로의 경과년수 변화에 따른 관로손실 증가 등이 원인이 될 수 있으므로 적절한 대책을 세운다.

(4) 기동시의 만수 불능

흡입상태로 사용하는 펌프에서 기동을 위해 진공펌프로 물을 채우려고 해도 채워지지 않을 때가 있다. 이것은 공기가 외부로부터 스며들기 때문이며 흡입관의 접속장소나 차단밸브의 밸브대 등을 조사해서 새는 것을 막아야 한다. 펌프 축과 슬리브의 미세 간극을 통하여 임펠러 흡입부로 공기가 유입되는 경우에는 슬리브 끝부분을 코킹함으로써 해결할 수도 있다.

(5) 소음 · 진동

소음 · 진동의 원인으로는 수력학적인 것과 기계적인 것이 있으며, 각자는 또한 여러 가지 원인으로 나누어지나 발생한 소음 · 진동은 경우에 따라 두 개 이상의 원인이 복합되어 일어나고 있다. 따라서, 그 원인의 규명과 대책에는 어느 정도의 조사와 노력을 필요로 하는 경우가 많다. 진동이 발생하여 문제가 되는 수력학적인 원인으로는 임펠러 출구에서의 압력 맥동, 토출량의 변동, 흡입관 주위에서의 와류, 공기의 흡입, 캐비테이션, 수격작용, 관로계에서의 서징 등이 있다. 기계적인 원인으로는 직결 상태의 불완전, 기초의 불량, 회전체의 불평형, 공진, 베어링의 손상 등이 있다.

(6) 베어링 및 패킹상자의 과열

베어링이 과열되는 원인으로는 축정렬의 불량, 윤활유(그리스) 량의 부적당, 베어링 하우스의 정도 불량, 베어링의 파손 등이 있다. 또한, 추력평형장치의 고장에 따른 과다한 추력의 발생, 베어링내의 이물질 침입, 수냉식 베어링의 냉각수 단절 등이 원인이 될 수 있다. 패킹상자도 축정렬이 불량하거나 봉수량이 부족할 경우에는 과열될 수 있으므로 조심한다.

(7) 고장과 그 원인의 일람표

펌프의 고장과 그 원인은 이외에도 매우 다양하므로 상황에 적절하게 대응할 수 있는 경험과 지식이 필요하다. 여기서 원심펌프에 대한 대표적인 고장과 그 원인의 일람표를 표 4.5에 정리하여 나타내었다.

5) 유지관리의 방향

펌프의 유지관리는 펌프의 용도 및 구조, 취급 액체의 종류, 운전시간, 예비펌프의 유무 등에 따라 다르므로 각각의 상황에 맞게 실시하여야 한다. 이를 위해서는 취급설명서 혹은 제조자의 의견에 의한 펌프의 수리상 주의할 점을 이해함과 동시에 사용조건을 고려해서 유지관리 방식을 만드는 것이 바람직하다.

(1) 예비품

펌프의 운전현장에 준비할 예비품(소모품)의 최소 수량은 용도, 운전조건, 현장에서의 수리 능력, 펌프의 설치 대수에 따라 결정된다. 그러나 일반적으로 슬리브, 케이싱 링, 베어링, 패킹, 가스킷은 적정한 수준을 보유해 두는 것이 좋다. 예비품의 구입은 본체 구입시에 함께 하는 것이 바람직하다.

(2) 유지관리에 필요한 기록카드

유지관리 기록카드를 만들어 두고 기계번호, 검사계획일, 개개의 점검소요항목 전부의 완전한 기록, 주요 기록사항 및 검사원의 관찰결과를 기입하나, 기록카드는 중요한 펌프마다 작성하고 정기검사의 실행계획도 기입해 두어야 한다. 주요 수리 또는 주요 교환부품의 상태, 마모의 정도 및 형상, 수리작업의 방법 등과 이들 기록은 수리작업 그 자체와 마찬가지로 중요하다. 또 기록은 보수작업의 빈도와 비용을 경감시키기 위한 수단을 강구하는데 큰 도움이 된다. 따라서 펌프

의 유지관리를 위해서는 아래와 같은 기록을 작성하는 것이 바람직하다.

가) 펌프 시방서

펌프의 사양뿐만 아니라 부품 발주시에 필요한 제작사, 제조번호 등을 기록한다. 또 사용하고 있는 패킹, 구름베어링 등의 시판품에 대해서도 그 모양이나 번호를 기입해 두는 것이 좋다.

나) 펌프 경력표

펌프 사용 개시부터의 주요한 고장, 정기 점검시의 특기사항, 운전시간을 기록한 것이다. 이것으로 점검의 요점을 알 수 있다.

다) 치수 측정 기록

주로 미끄럼부의 틈새에 관한 치수를 기록해 두고 이것으로 부품의 교환시기를 정하기 위한 자료로 활용한다.

참고문헌

1. 하재현, 손병진, 유체기계, 보문당, 1999
2. 효성펌프편람, 효성 중공업 주식회사, 1994
3. 유상신, 배신철, 서상호 공역, 유체역학, 희중당, 1994
4. 공조편람, 공기조화·냉동공학회, 1990

표 4.7 원심펌프의 고장과 그 원인 일람표

고장 또는 현상 원 인	기 동 시 부 하 과 다	부 하 과 소	양 수 량 감 소	양 수 불 능	베 어 링 과 열	글 랜 드 패 킹 과 열	이 상 진 동	만 수 불 능	과 부 하	압 력 계 수 치	진 공 계 수 치	비 고
양정 과다		○	○	○			○			고		
양정 과소							○		○	저	고	
임펠러 역회전		○	○	○						저	저	
회전수 과소		○	○	○						저	저	주파수 저하
회전수 과다									○		약간저	
전압 강하 또는 전기품 고장									○			
게이트밸브 약간 개방	○	○	○							고	약간저	
패킹누르개 한쪽 조임 또는 과다 조임	○					○						
조립 설치 불량 또는 축 중심 불일치	○			○	○	○						
회전부 마모 또는 눌러 붙음	○				○							손으로 돌리기가 어 렵고, 정지시 급격히 정지됨
윤활유 부족 및 베어링 장치 상태 나쁨					○							
실링 폐쇄 또는 축봉수 불량			○	○		○				저		패킹 상자에서 물이 나오지 않음
흡입관에서 공기 침입		○	○	○		○	○	○		불 안정	불안정	수면에 거품이 남
흡입관에 공기주머니 발생			○	○								단속적인 펌핑
흡입관에 이물질이 걸렸 을 때		○	○	○	○		○			저	고	임펠러 입구, 파이프 속
토출관에 이물질이 있을 때		○	○	○								파이프 속
케이싱 또는 임펠러 마모			○							저		