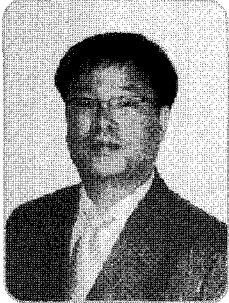


# 원심펌프의 저유량 운전과 영향



한전KPS(주) 기술연구원  
회전설비팀 펌프전문원  
과장/지영훈  
Tel : (031)710-4526

## 1. 저 유량 운전 개요

모든 원심펌프는 연속운전 또는 연장 운전시에 최소 및 최대 유량에 대한 제한을 자지고 있다. 펌프 시동 후에는 송출 밸브를 닫은 채로 운전해서는 안된다. 펌프의 저유량 운전은 고유량에서의 운전 보다 심각한 고장을 초래할 수 있으며 그 원인은 아래와 같다.

### 가) 온도의 상승

양액에 가해진 펌프의 입력동력은 양액의 온도를 증가시킨다. 일반적으로 펌프의 온도 증가는 제작사의 권고사항에 따라 제한하는 것이 바람직하다.

### 나) 과도한 반경 방향의 추력

단일 볼류트 펌프는 이러한 점을 고려해야 한다. 이중 볼류트 및 디퓨저 펌프는 일반적으로 반경방향 추력 때문에 제한을 받지 않는다.

### 다) 흡입 재순환

임펠러는 눈 주위의 순환류는 부분적인 피팅(Pitting) 및 기계적 손상을 일으킬 수 있다. 이러한 흐름은 임펠러 입구 설계에 달려있다. 고 에너지 펌프에서 흡입 재순환 상태로 계속 운전하는 것은 피하는 것이 바람직하다.

### 라) 송출 재순환

임펠러의 송출부에서 발생하는 순환류는 임펠러 축판에 큰 힘을 가하게 되며, 이로 인하여 불규칙한 축방향 불평형력과 높은 추력을 발생하게 한다.

### 마) 캐비테이션의 발생

불충분한 유효흡입헤드(NPSHav)는, 몇몇 설계에서 볼 때 임펠러에 의해서 요구되는 필요 흡입헤드(NPSHr)는 저유량 및 소음시에 증가할 수 있으며, 임펠러 피팅(Pitting)과 그 밖의 증상이 발생할 수 있다.

## 2. 최소 유량 운전에 대한 제한 요소

원심펌프의 최소 유량 제한에는 다음과 같은 요소가 있다.

- ▶ 반경방향 추력 과다에 의한 고 진동
- ▶ 온도의 상승
- ▶ 내부의 재순환에 의한 소음 및 진동
- ▶ 유체 유동에 따른 소음 과다  
충돌  
캐비테이션
- ▶ 제동마력 곡선의 형태에 따른 소요 동력

## 3. 사고 원인

위의 제한 요소를 벗어난 운전은 다음과 같은 사고의 원인이 될 수 있다.

### 가) 온도의 상승

양액에 전해진 에너지가 일의 변화 없이 온도의 상승으로 변하게 된다.

즉 펌프의 효율은 펌프에 의해서 양액에 가해진 에너지( $P_w$ )와 펌프 축에 전달된 에너지( $P_p$ )의 비율로 표현된 백분율이다. 수동력( $P_w$ )과 축동력의 차이는 내부의 순환, 마찰, 베어링, 기계식 시일 등에 기인한 펌프의 동력 손실을 나타낸다. 베어링 등에서 나타나는 미소한 손실을 제외하고는, 모든 동력 손실을 열에너지로 변환되어 통과하는 양액에 전달된다.

온도의 증가와 전양정 및 펌프의 효율에 관련된 식은 아래와 같다.

$$\Delta T = \frac{AH}{C_p} (1/\eta - 1)$$

$\Delta T$  : 펌프를 통과한 양액의 온도, °C (°F)

H : 해당 유량에서의 전압정

A : 일의 열당량, 1/102kJ/kg, m(1/778Btu.ft-lb)

$C_p$  : 펌핑 온도에서의 양액의 비열.

kJ/kg°C (Btu/lb-°F)

$\eta$  : 해당 유량에서의 펌프 효율(십진수로 표현)

이와 같이 펌프를 통과한 양액의 온도증가는, 유량의 감소에 따라 증가 된다. 펌프가 체질점 또는 그 근처에서 운전 될 경우, 대부분의 펌프 입력 동력은 열에너지로 전환되며 이에 따라 급속한 양액의 온도 증가를 일으킬 수 있다. 만일 온도의 증가가 계속된다면 관련 부속은 팽창된다. 양액의 증발은 부속의 열팽창을 막지 못한다.

온도가 계속 증가되면 회전부를 구속(Rub)하게 되는 결과를 초래하여 펌프 및 관련 기기를 파괴하거나 완전한 고장을 일으키는 원인이 된다.

양액의 증발은 펌프의 압력을 급속히 그리고 과도하게 증가시키며, 이로 인해 펌프 케이싱이 폭발할 가능성도 있다.

### 나) 수력학적 손상

저유량의 지속적인 운전시 임펠러의 입구와 출구의 재순환이 발생하며 그로 인한 압력의 변화로 증발, 캐비테이션, 쇼크에 의한 잦은 진동과 손상을 유발한다.

#### ▶ 입구에서의 재순환은

교축, 계통 양정의 증가로, 임펠러 날개 입구, 출구 끝의 역 유동으로 증가된 열과 함께 캐비테이션에 의한 진동과 소음, 임펠러의 손상을 초래한다.

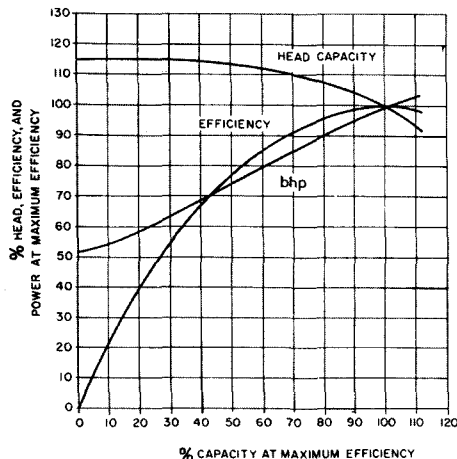


그림 1. 원심 펌프 성능 곡선

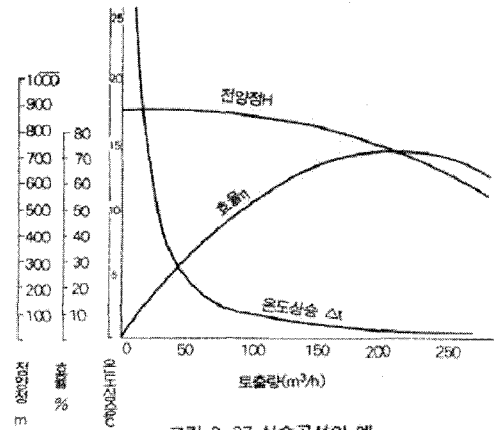


그림 2. 온도의 상승 곡선 예

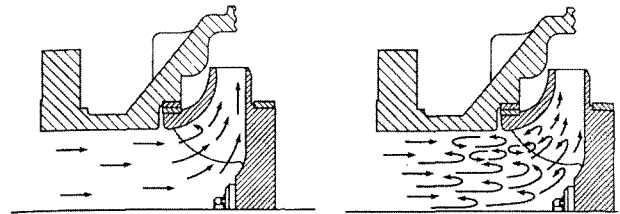


그림 3. 임펠러 입구에서의 정상 유동 입구에서의 재 순환

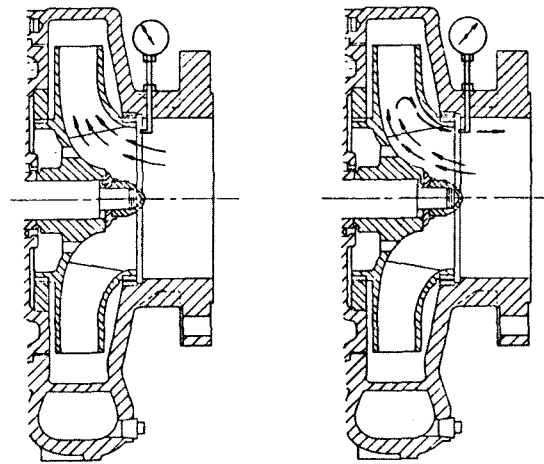


그림 4. 정상 유동

그림 5. 재순환

#### ▶ 출구의 재순환

임펠러 출구 끝에서의 역유동은 내측과 외측의 상대 속도 차이의 높은 전단율로 소용돌이를 발생시키며 날개의 압력부에 저압부에서 발생한 기포의 파괴현상으로 침식이 발생시킨다.

또한 높은 원주 방향의 주력과 축방향의 주력이 동반된다.

#### ▶ 내부 재순환 특성

펌프의 재순환은 흡입측과 토출 압력의 심한 요동을 보이며 유량의 증가에 따라 감소하는 특성을 갖는다. 토출측 압력의 요동보다 흡입측 압력의 요동이 늦게 멈춘다.

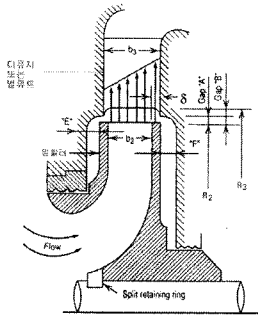


그림 6. 각부의 간극

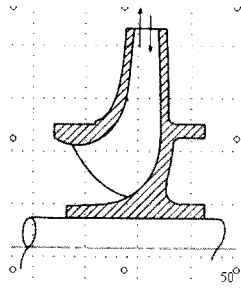


그림 7. 출구 재순환

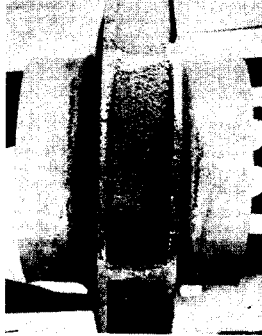


그림 8. 출구 재순환에 의한 손상



그림 9. 압력에 의한 변형

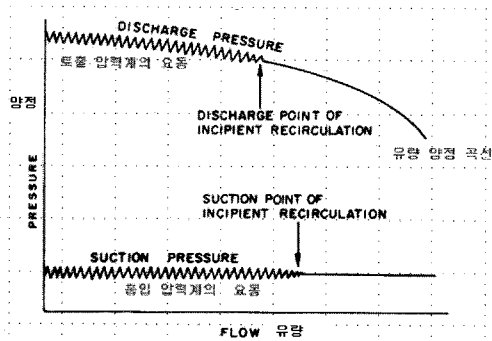


그림 10. 내부 순환에 의한 유량 양정 특성상의 압력 요동

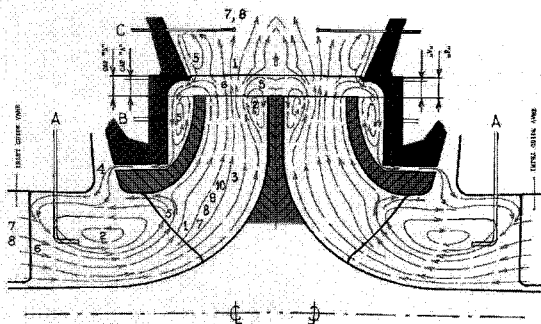
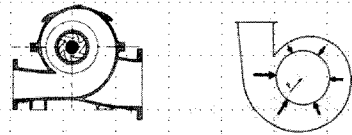


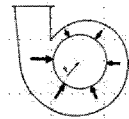
그림 11. 펌프 내부순환의 종류

다) 펌프의 기계적 손상

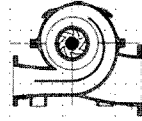
흡입부의 재순환과 출구 재순환에 의해 발생한 압력의 변화는 반경방향과 축방향의 하중을 증가 시켜 베어링의 손상, 임펠러의 파손과 케이싱, 임펠러, 웨어링의



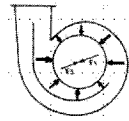
(a) 단일원소프롭트



(b) 반경추력



(a) 이중원소프롭트



(b) 반경추력

그림 12. 케이싱 내부의 압력 불평형에 의한 반경방향 추력

러빙에 의한 마모, 높은 수두의 발생에 따른 누설 변형 파손 및 동력 손실의 증가를 가져온다.

반경 방향의 추력은 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$Fr = KrSpHDz b_2$$

Fr = 반경방향 추력(Kg)

Kr = 경험치(계수)

Sp = 액체의 비중

H = 펌프 양정(m)

Dz = 임펠러 외경(m)

b2 = 임펠러 출구 폭(슈라우드 포함)(m)

여기서 Kr은 다음에서 구한다.

Kr 계산

▶ 비속도(Ns) 환산 :  $Ns (SI) \times 0.6123$

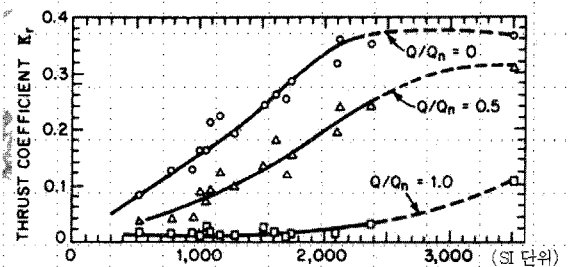


그림 13. 비속도와 경험치(Kr) 관계

▶ 용량과 비속도에 따른 반경 방향 힘

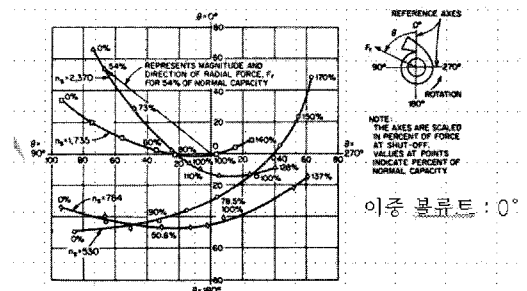


그림 14. 용량과 비속도에 따른 반경 방향 힘의 관계

## 라) 마모

마모성 입자(모래, 먼지, 슬러지 등)가 계속적으로 흘러가야 하나 유량 감소시 펌프 내부에서 순환하므로 임펠러, 케이싱, 웨어링, 축의 마모를 가져와 펌프의 효율 저하는 물론 수명을 단축하는 결과가 된다.

## 마) 고진동

유체의 재 순환에 따른 캐비테이션 발생과 펌프 내부의 고 양정으로 인하여 볼류트 선단부(Water Cut)에서 유체 전단력이 크게 발생하여 큰 Vane Pass 주파수의 진동이 발생한다.

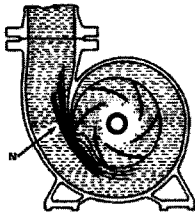


그림 15. Vane Pass 주파수 발생

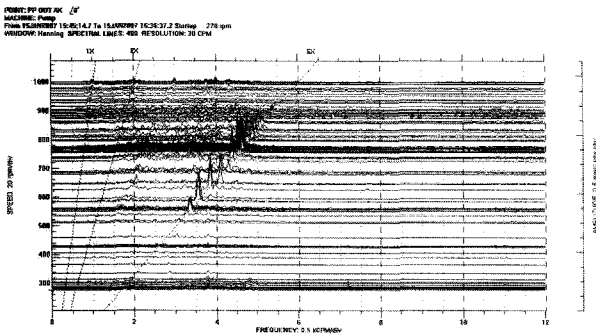


그림 16. Vane Pass 주파수가 나타난 펌프 저유량 운전

## 4. 저 유량 운전의 보호

저유량의 운전은 가능한 한 피하는 것이 펌프에서 유리하나 운전 특성상 피할 수 없을 경우 다음과 같이 설비를 운전한다.

- ▶ 전원 차단(Shut Off Sys.)  
예정된 출구 수두에서 펌프 모터의 전원 차단  
예정된 온도, 온도차에서 펌프 모터 전원 차단  
예정된 용량에서 펌프 모터 전원 차단
- ▶ 바이패스(Bypass Sys.)  
최소유량의 지속적인 바이패스  
글로브 밸브 개방, 단일 / 직렬 오리피스

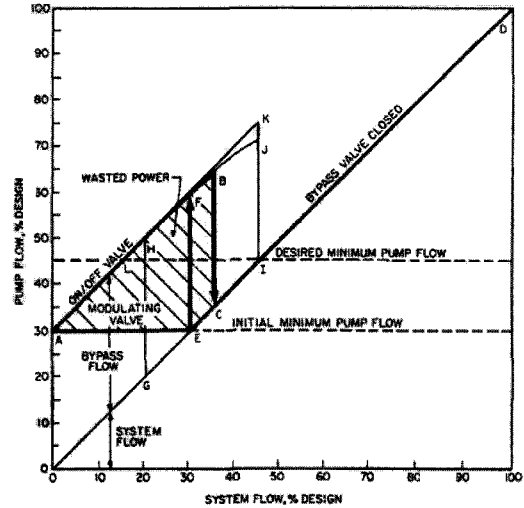


그림 17. On/Off / By-Pass System

- ▶ ON-OFF 바이패스 최소유량 제어 (ON-OFF BYPASS SYS.)  
출구의 유량 센서에 의한 밸브 개방 신호로 조절
- ▶ 조절 바이패스(MODULATED BAPASS SYS)  
바이패스 배관의 조절밸브가 최소유량의 유지를 위해 개도 조절

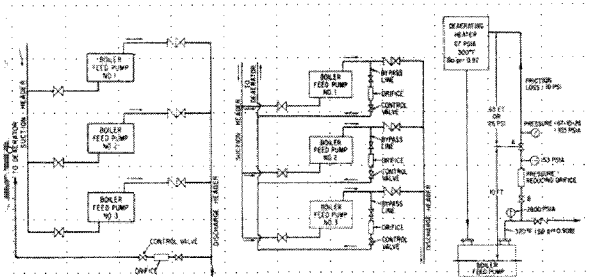


그림 18. 최소 유량 제어를 위한 배관 구성 예

- ▶ 케이싱의 이중 볼류트  
케이싱의 볼류트를 이중화 하므로 내부에 발생하는 입력의 불평형을 최소화 한다.

### 원심펌프의 Radial Thrust

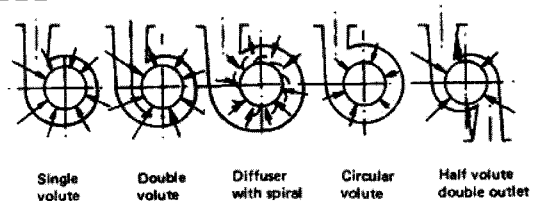


그림 19. 펌프의 형태에 따른 반경 방향 추력 분포