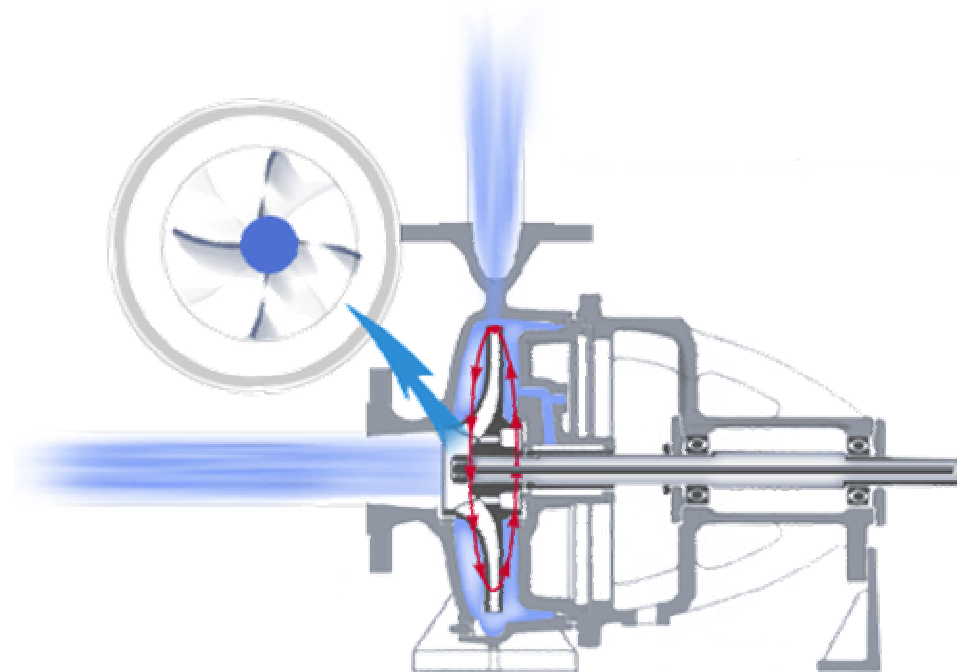


펌프 일반



한국 발전 교육원

차 례

- I. 유체의개요
- II. 펌프의 종류 및 특징
- III. 펌프의 성능
- IV. 캐비테이션
- V. 서어징(Surging) 현상
- VI. 펌프의 과열현상



유체의 개요



유체(Fluid) 개요

- **유체(Fluid) 란?**

정지시 그 내부의 한면에 수직인 압력만이 작용
전단력이 미치면 연속적인 변형

- **압축성유체(compressible fluid)**

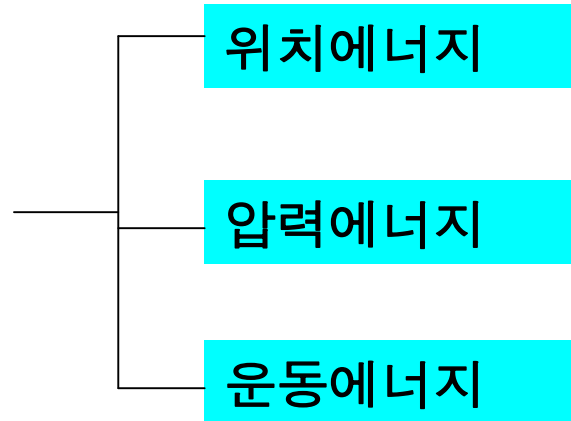
압력 증가시 체적이 감소 (기체)

- **비압축성유체(incompressible fluid)**

압력에 따라 밀도가 변하지 않음 (액체)



유체가 가진 에너지



유체의 위치에너지

베르누이 정리

$$h + \frac{p}{g} + \frac{v^2}{2g} = E = \text{Const} .$$

연속방정식

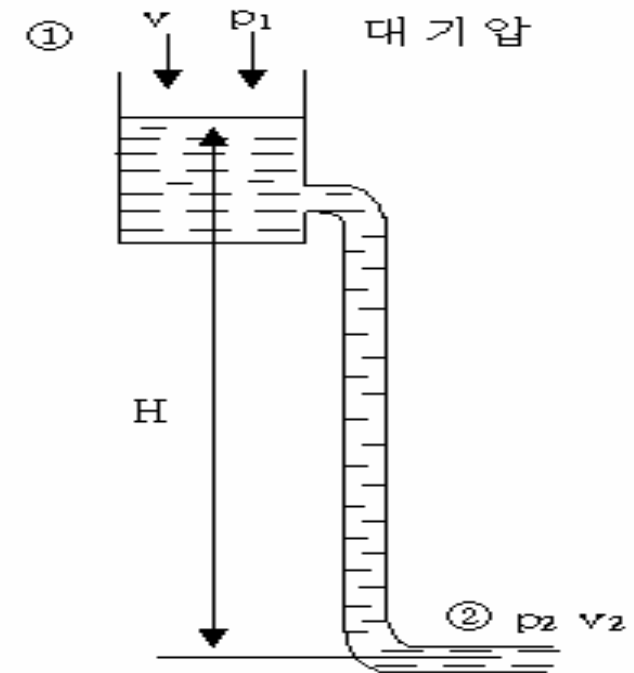
$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 = Av$$

큰 수조 벽면 구멍에서 유출되는 물 유속

p_1 과 p_2 는 대기압이므로 게이지압력으로 0 이고,
 v_1 은 수면이 내려가는 속도로서 수조 수 면이
충분히 넓을 경우 0이 된다. 또 z_2 는 유출 구멍의
중심을 지나는 수평면을 기준으로 하 면 $z_2 = 0$,
 $z_1 = H$ 가 된다.

$$H + 0 + 0 = 0 + V_2^2/2g + 0$$

$$V_2 = \sqrt{2gH}$$

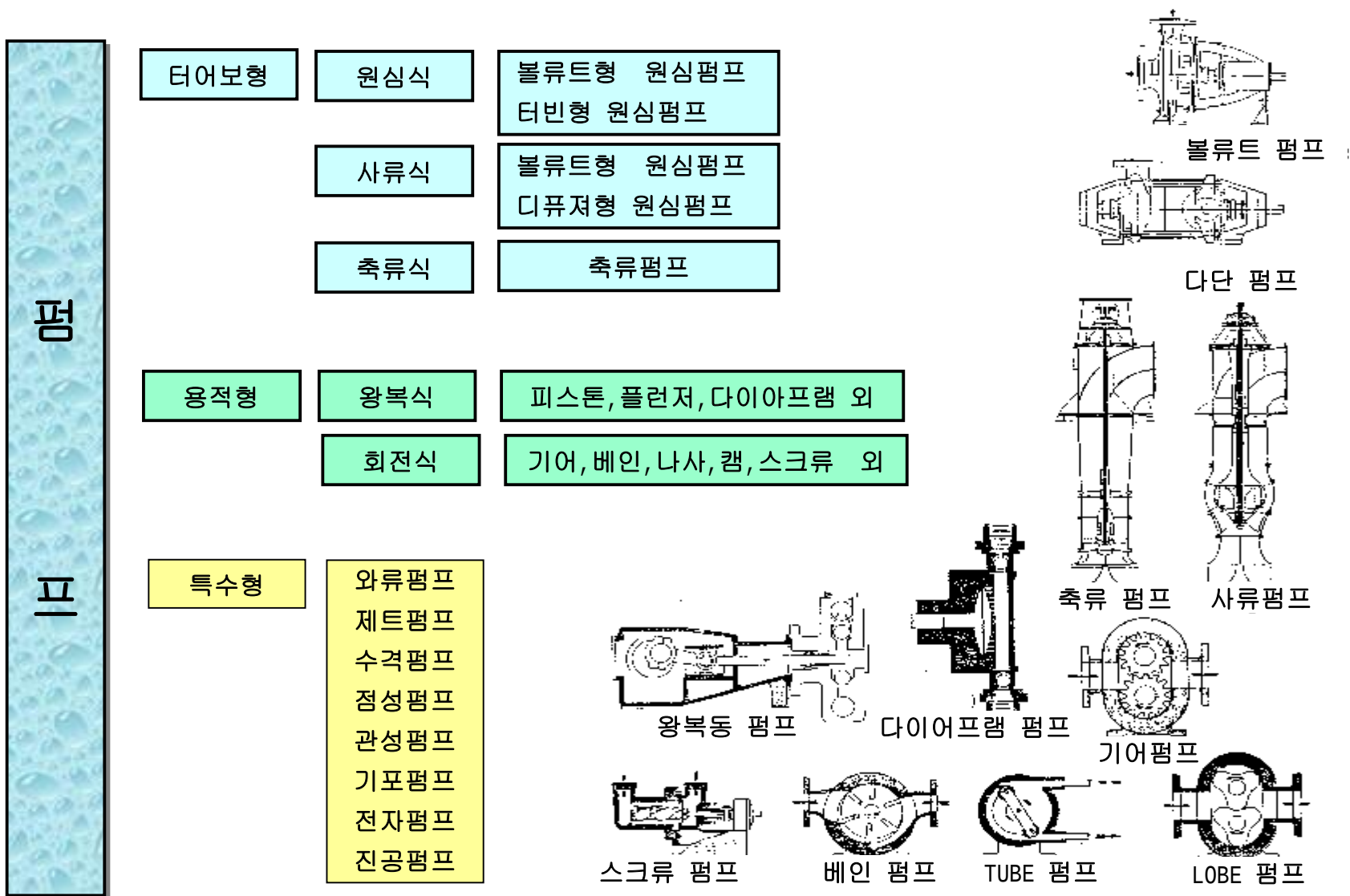


<그림 1-7> 토리첼리의 정리



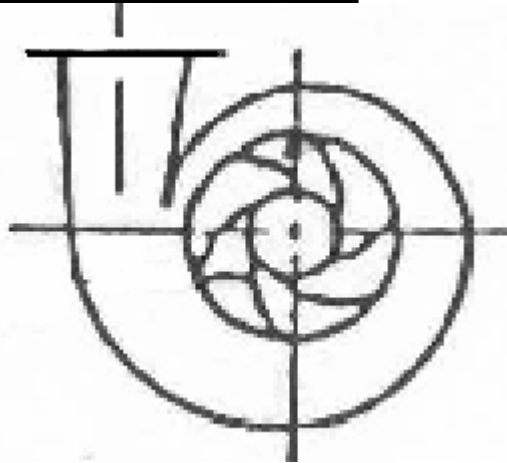
펌프의 종류 및 특징

펌프의 종류 및 특징

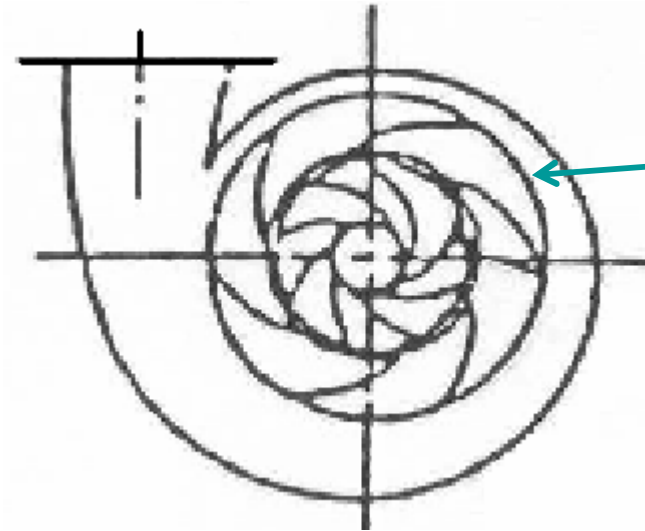


펌프의 종류 및 특징

케이싱의 종류

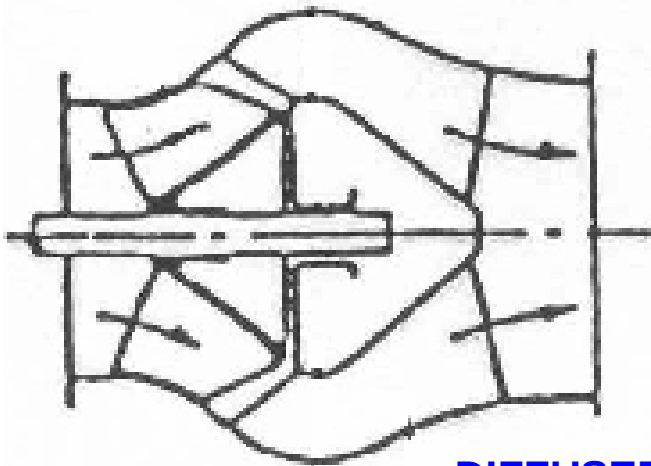


VOLUTE TYPE
CASING

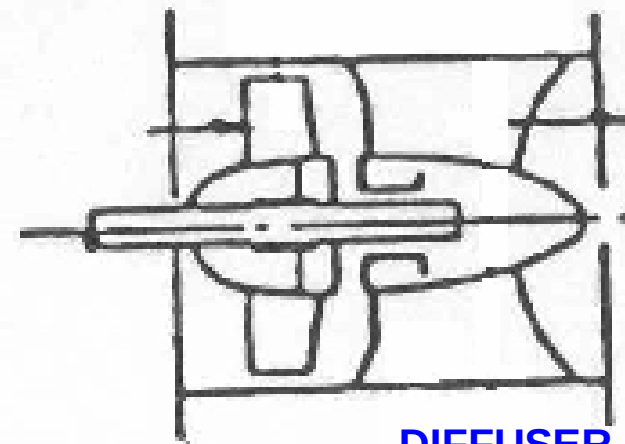


GUIDE VANE

TURBINE TYPE
CASING

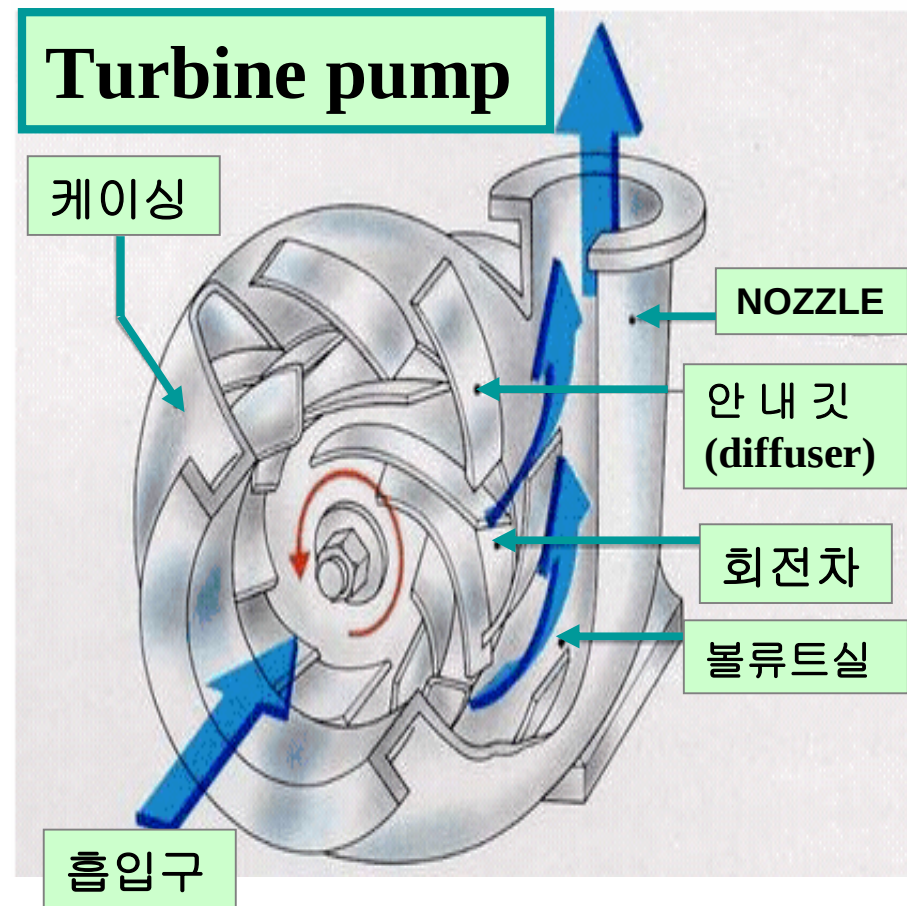
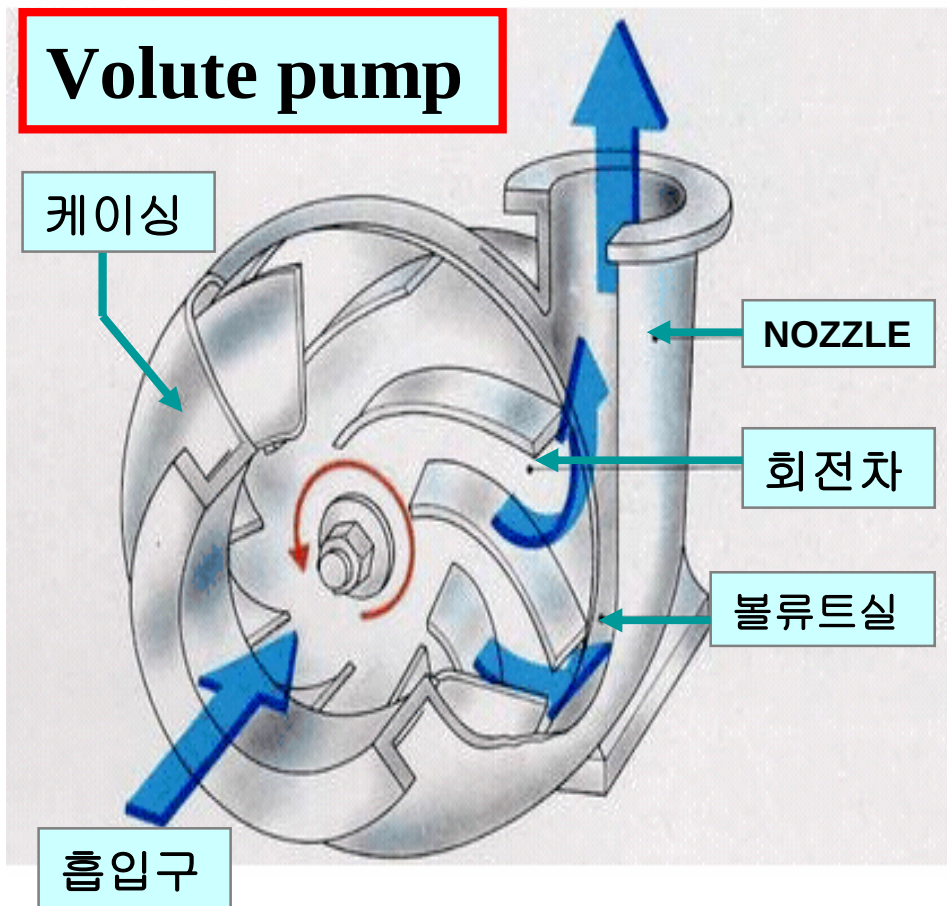


DIFFUSER TYPE
CASING(사류)



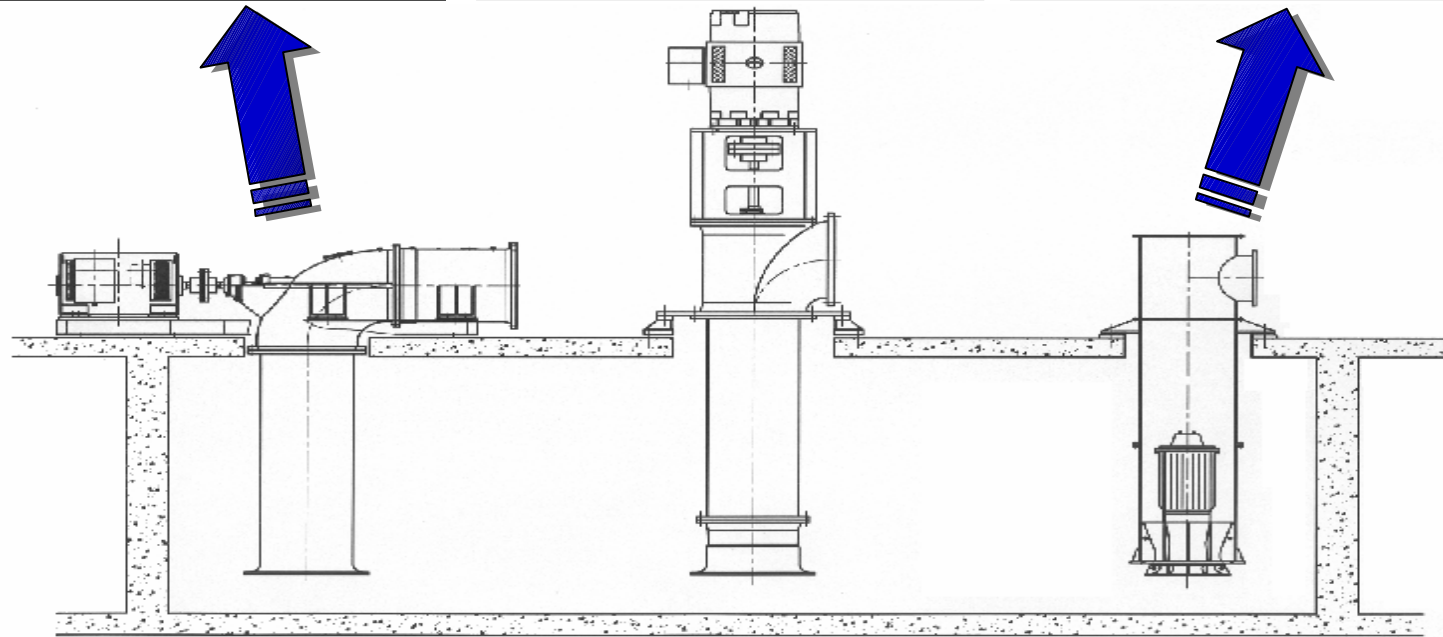
DIFFUSER TYPE
CASING(축류)

Volute pump / Turbine pump의 구조비교



펌프의 종류 및 특징 - 설치비교

	횡축 펌프	입축 펌프	수중 펌프
흡상능력	캐비테이션 우려로 사용 제한	펌프 길이를 늘려서 캐비테이션 문제를 해결함	제한없이 사용
설치면적	입축펌프에 비해 설치면적이 넓고, 단위면적당 하중이 작음	단위면적당 하중이 크므로 지반이 약할 경우 불리함	설치면적과 단위하중이 최소
축심일치	비교적 용이	2상식일 경우 작업이 곤란함	구동기와 펌프의 축이 일체임
홍수시 운전	구동기가 침수되면 운전 불가	2상식으로 하는 등 구동기를 높이 설치하여 침수방지	홍수에 관계 없이 사용
전기 안전사고	전동기가 육상에 있으므로 전기 안전사고 위험이 적다	전동기가 육상에 있으므로 전기 안전사고 위험이 적다	절연이 파괴되어 고전압이 누전 되면 인명사고 발생 우려가 높다



펌프 일반

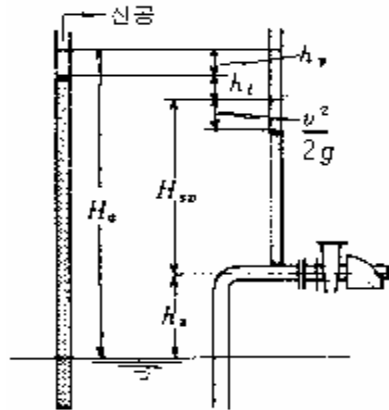
유효 흡입 수두 (NPSH)

NPSH available

- ◆ 임펠러 입구 직전의 유체의 압력이 유체의포화 증기압보다 어느 정도 높은가를 나타내는 수치

$$\text{NPSH}_a = H_a - h_s - h_v - h_l$$

(Hsv)



H_a : 대기압 (10.3m)
 h_s : 흡입 실양정 (m)
 h_v : 포화 증기압 (m)
 h_l : 흡입관 손실 (m)

NPSH required

- ◆ 캐비테이션이 발생하지 않기 위해 펌프에서 필요한 최소 압력

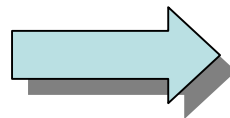
$$(h_{sv}) = \left(N \frac{\sqrt{Q}}{S} \right)^{\frac{4}{3}}$$

N : 회전수(rpm)
 Q : 유량 (m^3/min)
 S : 흡입 비속도
 $ns < 500$, $S=1500$
 $ns > 600$, $S=1200$

캐비테이션 방지 조건 : $H_{sv} > h_{sv}$

캐비테이션

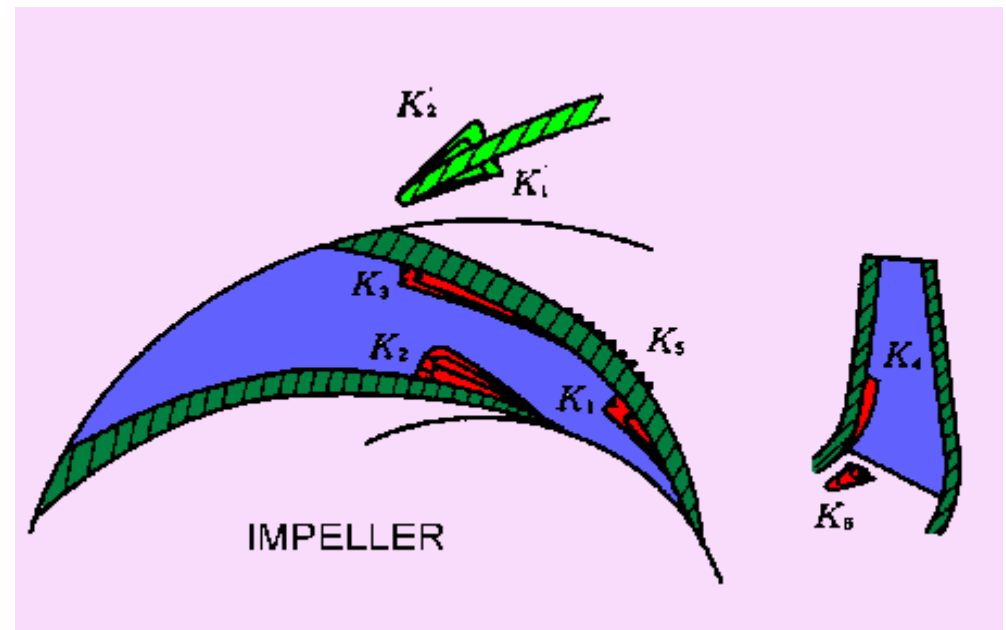
◆ 캐비테이션 (Cavitation) : 임펠러 입구부에서 유체의 압력이 포화 증기압 보다 낮아지면 기포가 발생하고 고압부로 이동되어 소멸되는 현상.



고주파 진동, 소음, 침식, 성능 저하

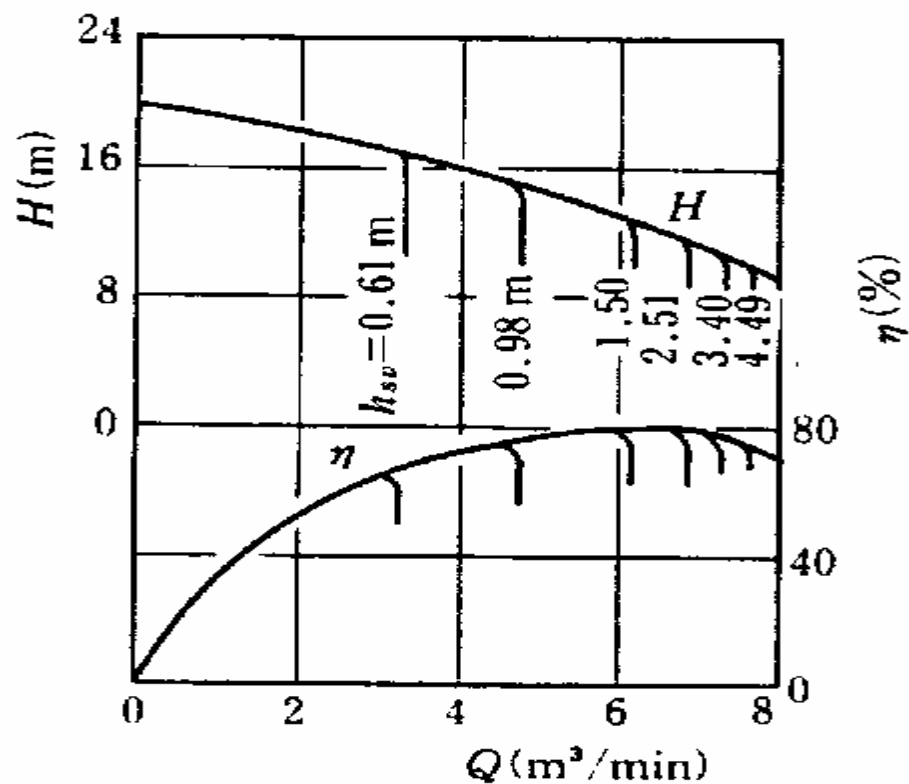
◆ 캐비테이션의 종류

- ◆ 과대 유량 : K2, K4, K5
- ◆ 60~100% 유량 : K1
- ◆ 50~60% 유량 : K2, K6, K5, K1

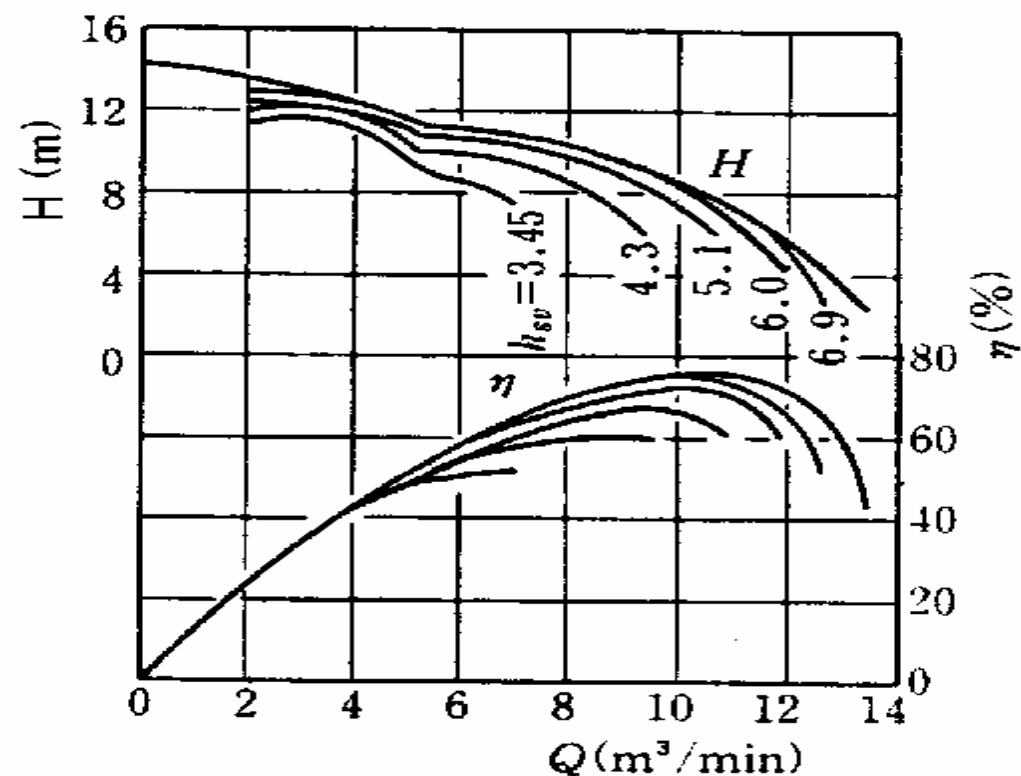




캐비테이션 발생에 의한 성능 저하

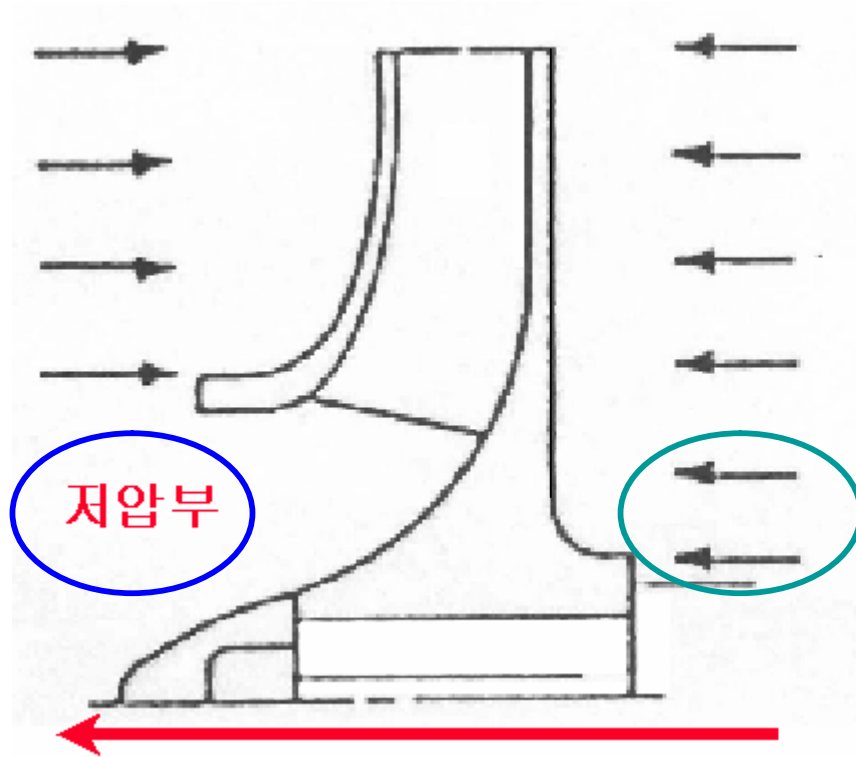


원심 펌프

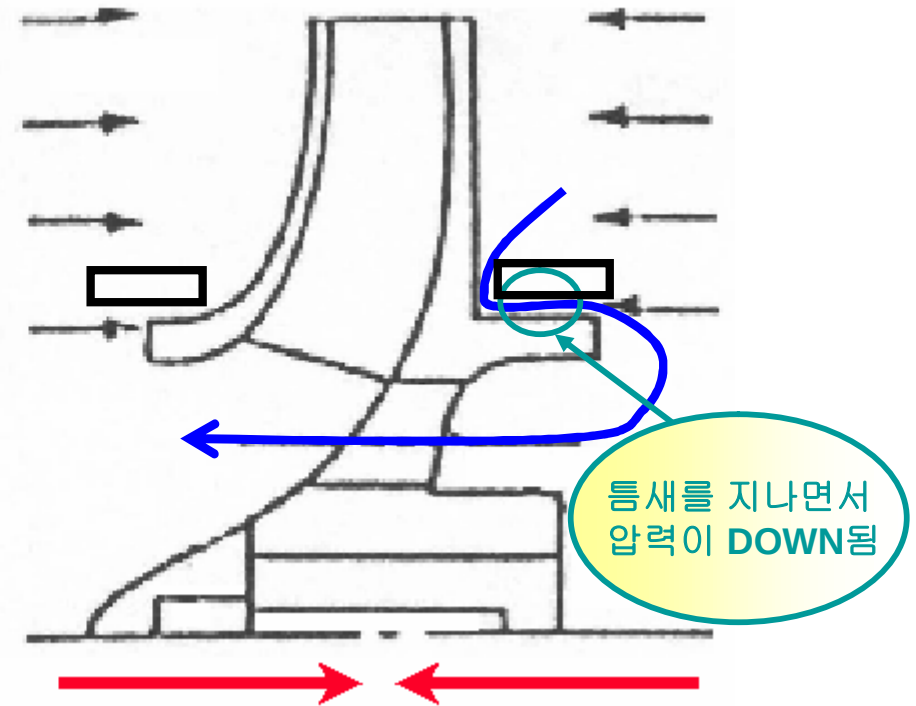


사류 펌프

펌프의 종류 및 특징 - 축추력 평형방법



회전차 **BALANCE**장치가 없으면 회전차 흡입구 쪽으로, **AXIAL THRUST**가 작용하여, 베어링의 수명을 단축시키고, 축 강도상에 문제가 발생함.

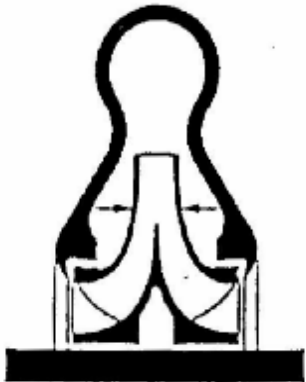
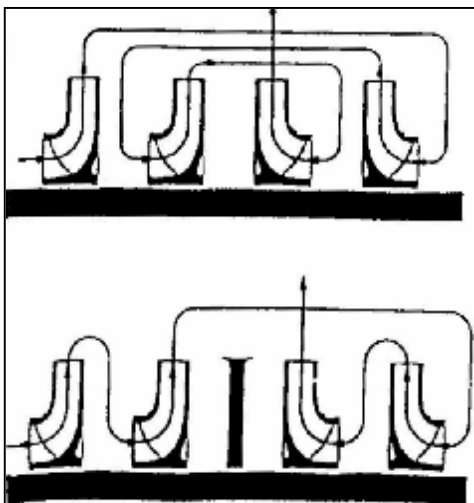


BALANCE HOLE은 유체의 흐름을 형성시켜 주는 역할을 하며, 웨어링의 틈새를 지나면서 손실이 발생하여 압력을 **DOWN**시키게 됨.

펌프의 종류 및 특징 - 축추력 평형방법

축추력 평형 방법	특 징	적용
바란스 홀 (평형공)	- 액체가 회전차 양측에 설치된 웨어링을 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 바란스 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.

펌프의 종류 및 특징 - 축추력 평형방법

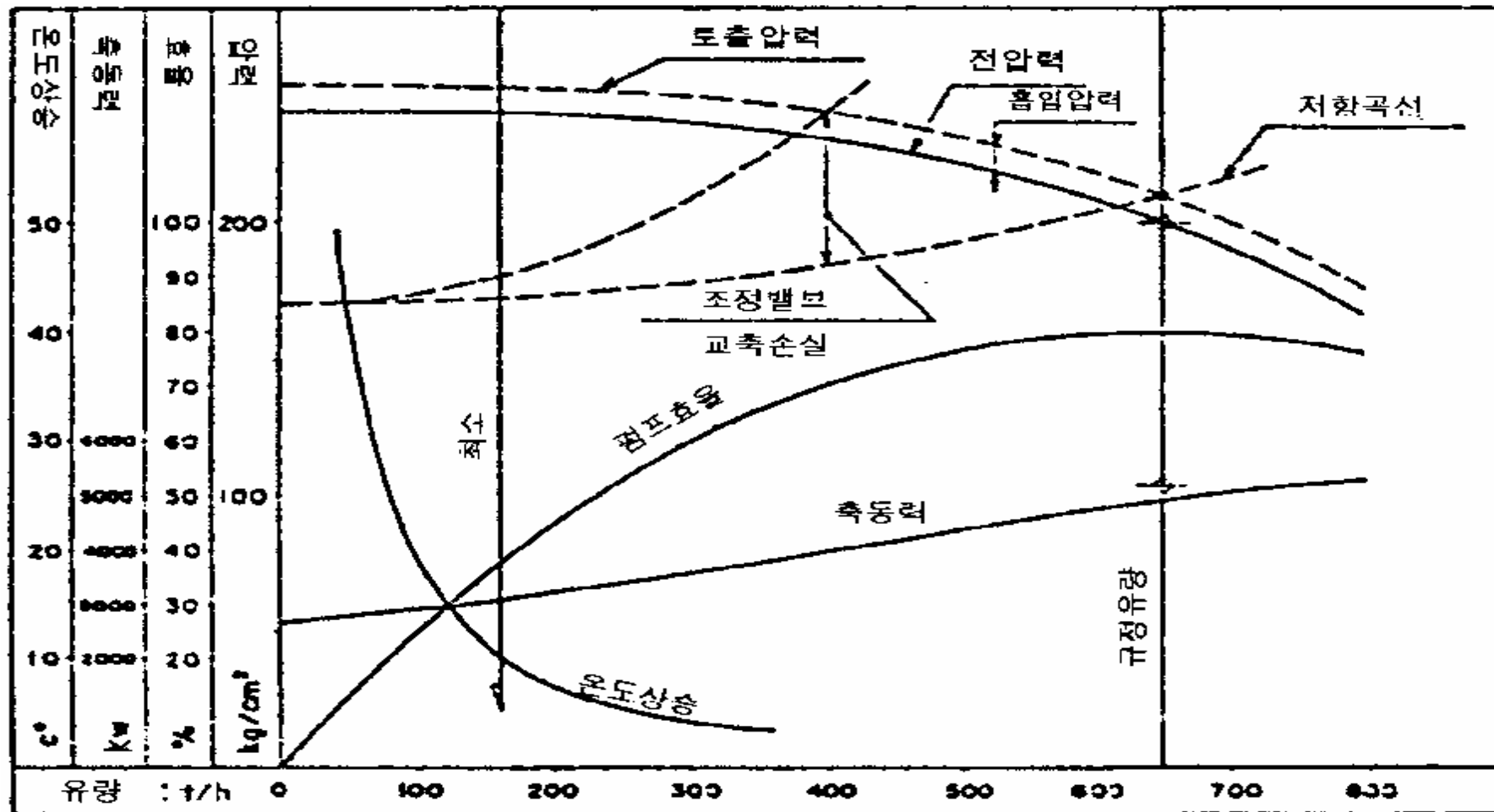
축추력 평형 방법		특	징	적용
Self balance(양흡입)		• 흡입이 양쪽에 있는 회전차를 채용하면 별도의 축추력 평형장치가 불필요함. (Self balance) • 배관 시스템에 의한 축추력이 있을 수 있으므로 Thrust bearing은 필요함. • 케이싱이 상하로 분리되므로 분해점검이 간편함.		• 양흡입 볼류트 펌프에 주로 적용됨.
		• 회전차를 대칭으로 배열하여 축추력을 자동으로 상쇄시키는 방식.(Self balance) • 케이싱의 구조가 복잡하고 회전차의 단수만큼 케이싱의 모형을 보유해야 하는 단점이 있음. • Slurry 및 입자가 함유된 액체에 주로 적용 • 마찰 손실이 증가하는 단점이 있음.		• 상하분할형 다단펌프에 주로 적용됨.



펌프의 성능



펌프 성능곡선



펌프의 성능

- 펌프의 성능

펌프의 성능을 표시하는 수단으로서 성능곡선도가 있다. 펌프성능 측정방법은 **KS B 6301**에 규정되어 있다. 펌프의 성능곡선은 펌프의 규정회전수 (부하 변동에 따라서 다소는 변동이 생기지만 거의 일정하다)에서의 토출량과 전양정, 펌프효율, 소요동력 등의 관계를 나타내는 것으로 그림 2.1에 그 예를 나타내었다.

*. 운전범위

토출량 大 à 전양정 감소

토출량 小 à 전양정 증가

토출량 0(ZERO) à 유효일 0

à 열로 낭비, 과열현상 발생

최고효율점(설계점) 운전이 합리적임.

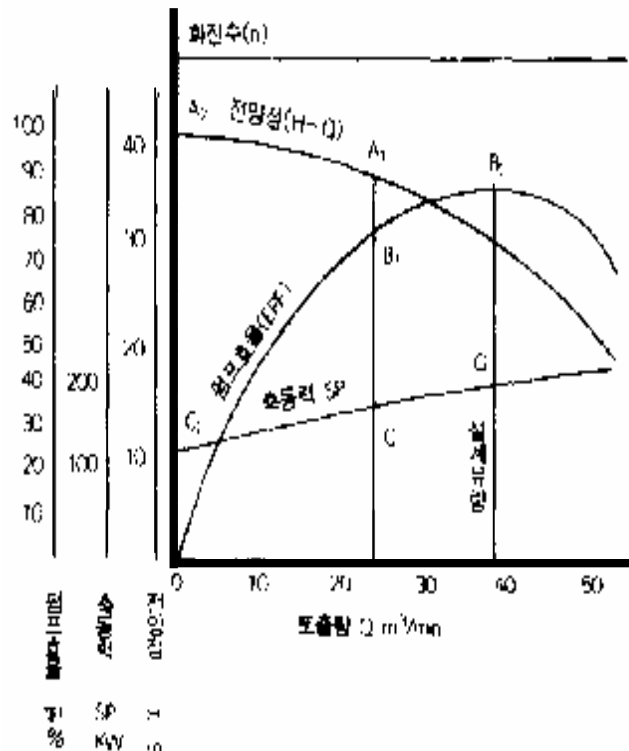


그림 2.1

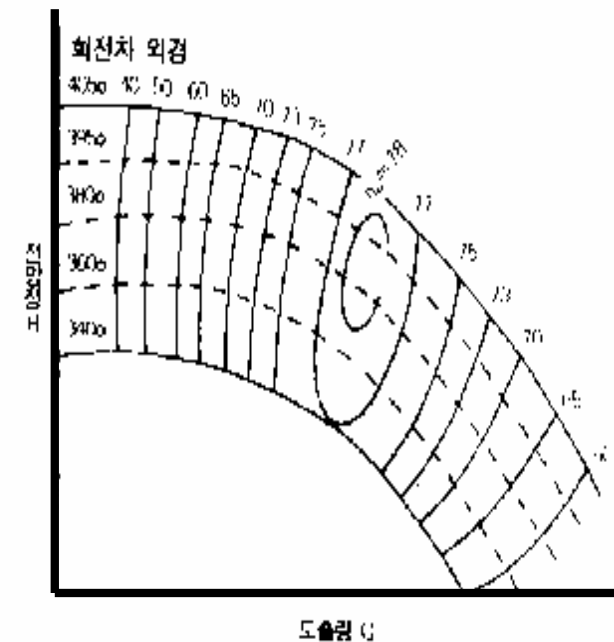


그림 2.2

비속도 (Ns) 란 ?

비속도는 회전차의 상사성 또는 펌프특성 및 형식결정 등을 논하는 경우에 이용되는 값이다. 회전차의 형상치수 등을 결정하는 기본요소는 펌프 전양정, 토출량, 회전수 3가지가 있고, 비속도는 다음식에서 구해진다.

$$Ns = N \times \frac{\sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}} \dots\dots\dots (2.1)$$

여기에서, N = 펌프회전수(rpm)

Q = 토출량(m³/min)

H = 전양정(m)

비속도는 어떤 펌프의 최고 효율점에서의 수치에 의해 계산하는 값으로 정의되며, 그 점에서 벗어난 상태의 전양정 또는 토출량을 대입하여 구하여도 된다는 의미는 아니다. 단, 토출량에 대해서는 양흡입 펌프인 경우 토출량의 ½이 되는 한쪽의 유량으로 계산하고, 전양정에 대하여는 다단펌프인 경우 회전차 1단당의 양정을 대입하여 계산하여야 한다.

펌프의 성능

회전수 변화와 펌프 성능의 변화

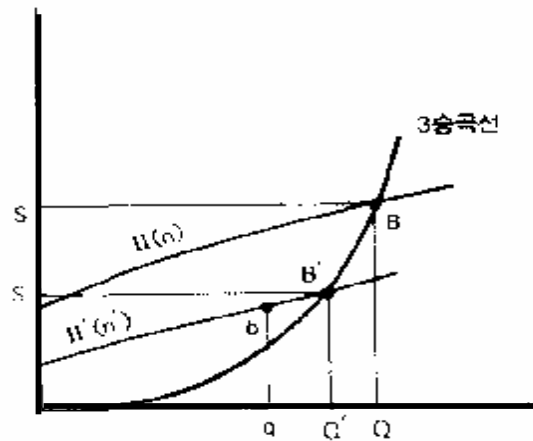
회전수를 변화시키면 펌프성능은 일정한 법칙에 따라서 변화한다. 펌프효율도 어느 정도 변화하지만 일반적으로 기준회전수의 20%정도의 변동 범위에서는 그 효율변화는 미소한 것으로 무시 하여도 좋다. 회전수가 n 에서 n' 로 변화하면 전양정 및 동력곡선은 그림2.7, 2.8과 같이(I), (II)에서 (I'), (II')로 변화하고, 회전수 n 의 경우의 특성곡선도 상의 상태점을 전양정 H , 토출량 Q , 소요동력 L 및 필요흡입 수두를 $NPSH_{re}$ 라고 하면 이것에 대응하는 n' 의 경우의 상태점 H' , Q' , L' 및 $NPSH_{re}'$ 는 펌프의 상사법칙에 의하여 다음과 같이 주어진다.

● 토 출 량 $Q' = Q \times (n' / n)$ (2. 5)

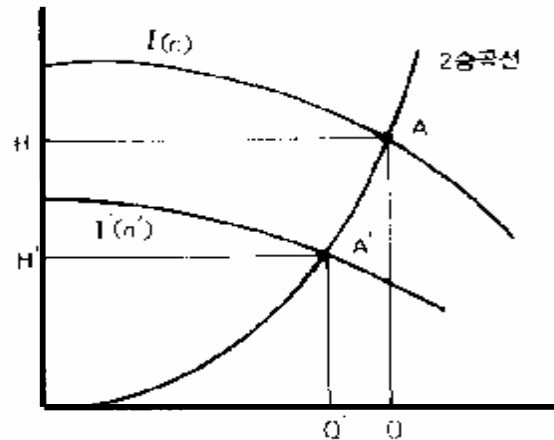
● 전 양 정 $H' = H \times (n' / n)^2$ (2. 6)

● 동 력 $L' = L \times (n' / n)^3$ (2. 7)

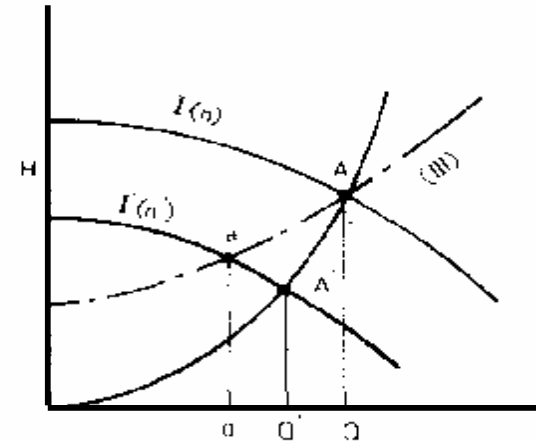
● 필요흡입수두 $NPSH_{re}' = NPSH_{re} \times (n' / n)^2$ (2. 8)



동력특성



전양정특성



운전점 특성



캐비테이션

캐비테이션 (CAVITATION)

기포의 발생



액체의 압력이 그 온도의 포화증기압 이하로 내려가면 액체의 내부에서 증발하여 기포가 생긴

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

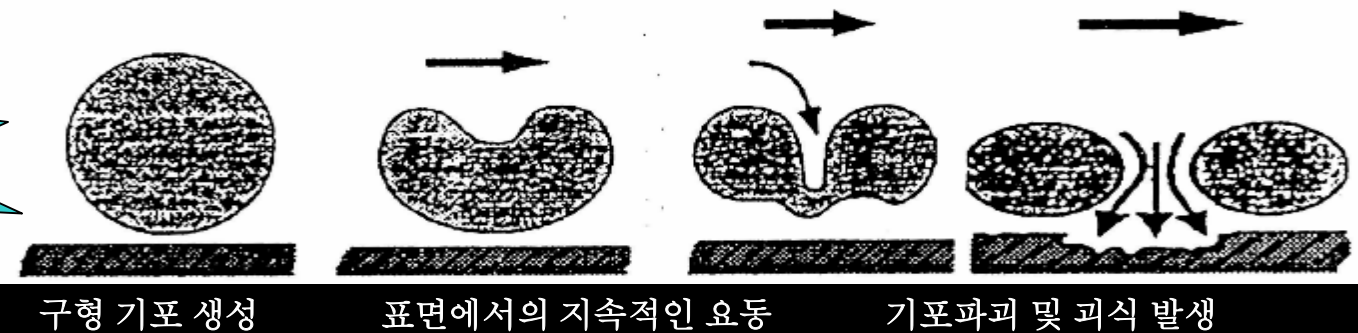
이상 현상



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 흡입조건의 결정에 각별한 주의가 필요하다.

기포의 생성 & 파괴

기포의 붕괴압력 !!!
"300kg/cm"
(Haller의 측정치)



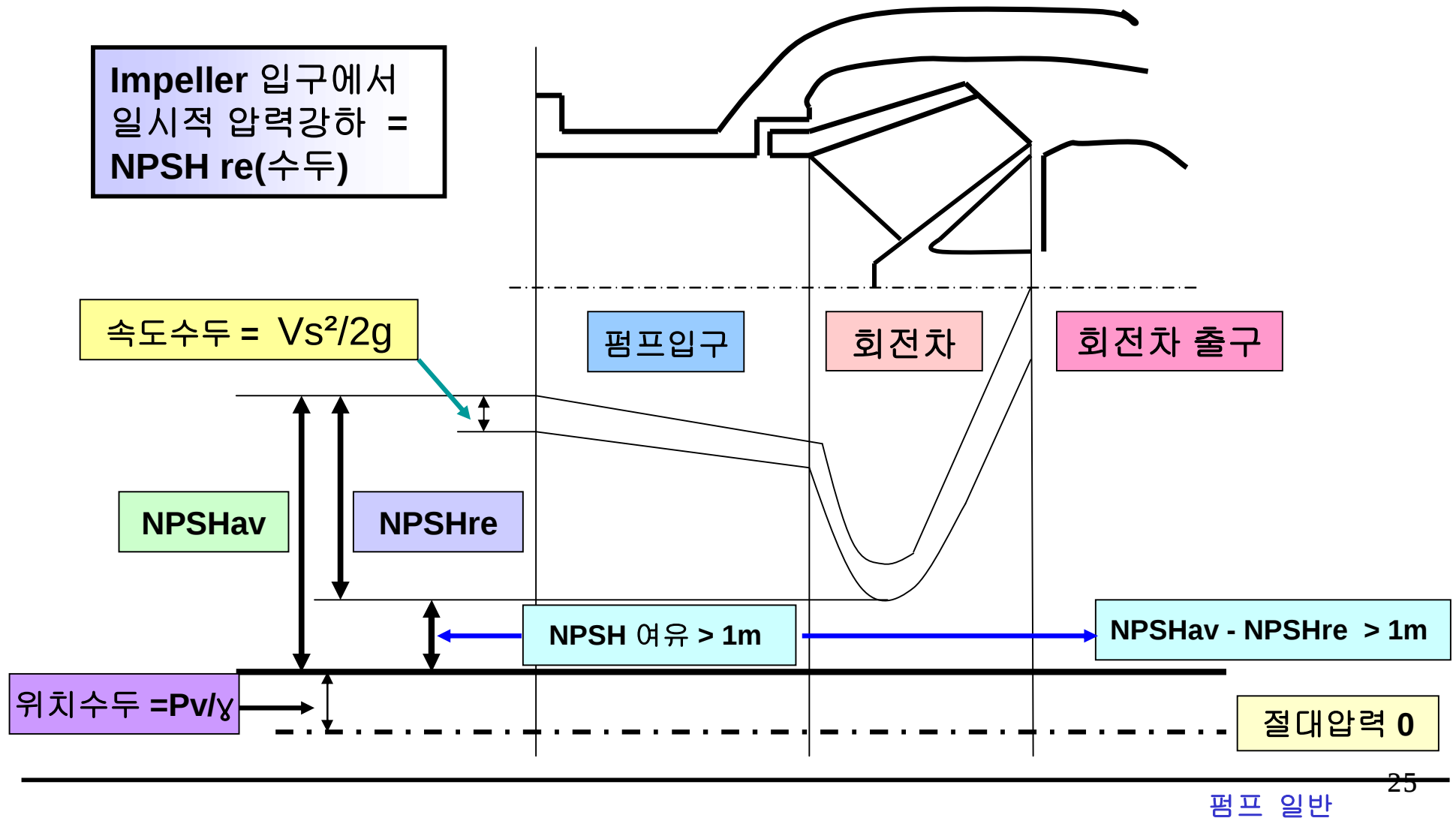
구형 기포 생성

표면에서의 지속적인 요동

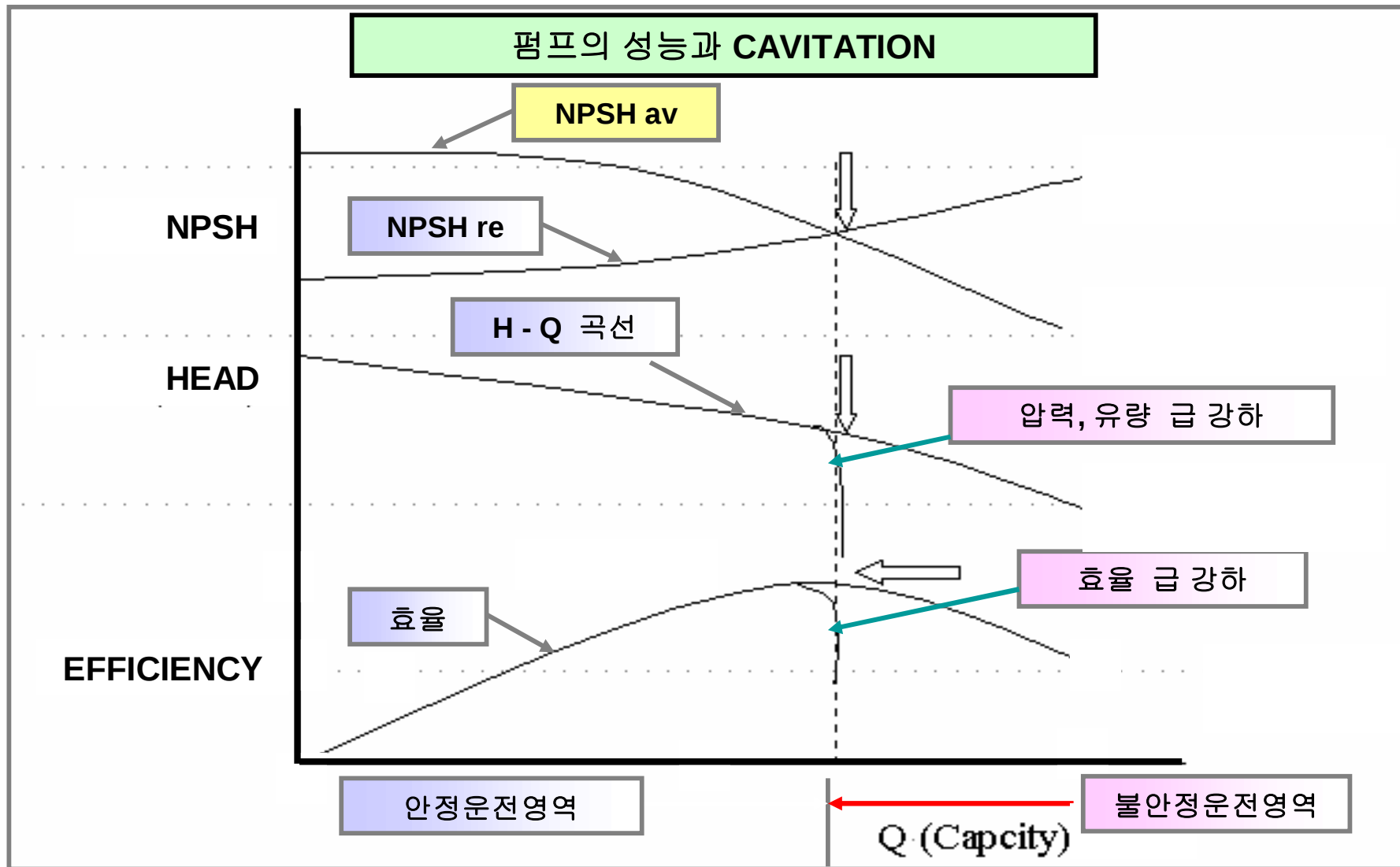
기포파괴 및 파식 발생

캐비테이션 (CAVITATION)

Pump 흡입측 압력분포(NPSH re vs NPSHav)



캐비테이션 (CAVITATION)



캐비테이션 (CAVITATION)

캐비테이션은 액체의 압력이 포화증기압 이하로 되면 생기는 것이므로 캐비테이션의 발생을 막는 데는 펌프내에서 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 **NPSH**는 **Net Positive Suction Head**의 약어이다.

유효 흡입수두(NPSHav)

펌프가 설치되어 사용될 때, 펌프 그 자체와는 무관하게 흡입측의 배관 또는 **System**에 따라서 정하여지는 값으로 펌프 흡입구 중심까지 유입되어 들어오는 액체에 외부로부터 주어지는 압력을 절대압력으로 나타낸 값에서 그 온도에서의 액체의 포화 증기압을 뺀 것을 유효 **NPSH**라 한다.

● NPSHav 의 계산식

$$\text{NPSHav} = h_{sv} = P_s / \gamma - P_v / \gamma \pm h_s - fV_s^2 / 2g \quad (2.15)$$

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 펌프기준면(그림 2.15 참조)까지 높이(m), [흡상되면 음(-), 가압되면(+)]

$fV_s^2 / 2g$: 흡입측 배관에서의 총손실 수두(m)

식(2.15)에 의하면 **NPSHav**은 h_s 가 일정하다고 가정하면 토출량이 증가하거나, 흡입측의 배관 길이가 길어지는 만큼 작아져서 캐비테이션에 대한 위험도가 높아진다.

캐비테이션 (CAVITATION)

- 유효흡입양정(NPSHav) 계산방법

- 흡상배관의 경우(액면에 대기압이 작용하고 있을 때)

$$NPSH_{av} = \frac{10}{g} \times (P_a - P_v) - h_s - h_l$$

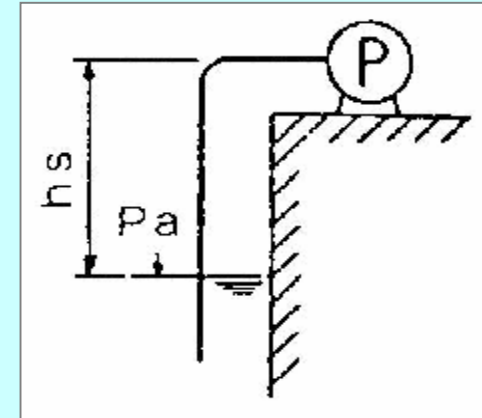
여기서, P_a : 대기압 (1.03 Kg/cm²•abs)

P_v : 액체의 포화 증기압 (Kg/cm²•abs)

γ : 액체의 비중량 (Kg/l)

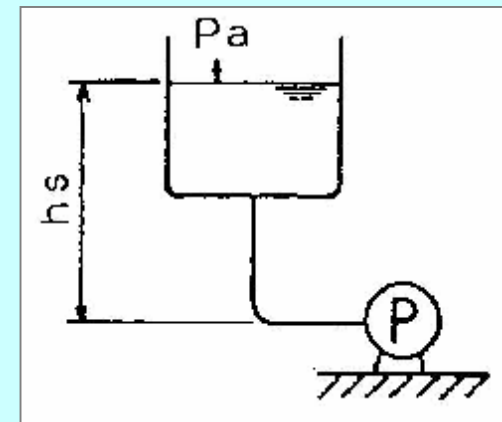
h_s : 흡입 실양정(m)

h_l : 흡입 배관 손실(m)



- 가압되는 배관의 경우(액면에 대기압이 작용하고 있을 때)

$$NPSH_{av} = \frac{10}{g} \times (P_a - P_v) + h_s - h_l$$



캐비테이션 (CAVITATION)

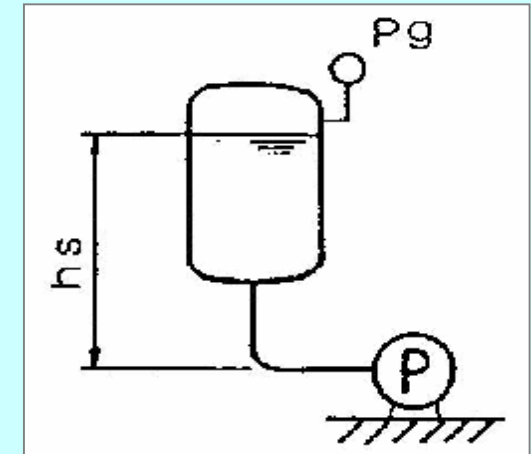
● 흡입수조가 밀폐되어 있는 경우

$$NPSH_{av} = \frac{10}{g} \times (P_g - P_a - P_v) + h_s - h_l$$

여기서, **P_g** : 흡입수조내의 압력 (Kg/cm²•gauge)

*. 흡입 Tank 압력이 포화증기압과 같은 경우는

$NPSH_{av} = h_s - h_l$ 로 계산된다.



- . 절대압력과 GAUGE 압력의 관계

압력의 표시에는 진공을 “0”으로 하는 절대압력과, 대기압을 “0”으로 하는 GAUGE 압력이 있다.

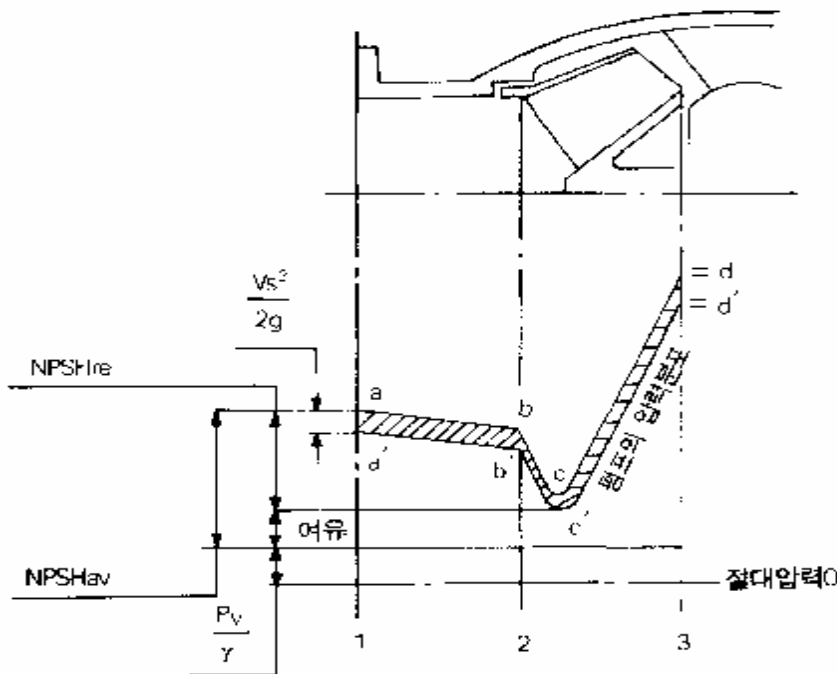
통상적으로는 GAUGE 압으로 표시하지만, 포화증기압력 등은 절대압력으로 표시하고 있다.

	절 대 압 력 (Kg/cm ² •a) (mAq)		GAUGE 압 력 (Kg/cm ² •G) (mAq) (mmHg)		
정압(+)	2.03	20.3	1.0	10.0	738
대 기 압	1.03	10.3	0		
부압(-)	0.4	4.0	-0.63	-6.3	-465
절대진공		0	-1.03	-10.3	-760

캐비테이션(CAVITATION)

-. 필요흡입양정(NPSHre)

회전차 입구 부근까지 유입 되어지는 액체는 회전차에서 가압 되기 전에 일시적인 압력 강하가 발생 하는데 이에 해당하는 수두를 필요흡입양정(NPSHre)라 한다. 이때의 펌프 흡입측의 압력분포를 알아보면 그림 2.19와 같 으며, NPSHre는 그림에서의 a-c'의 높이에 해당되며, **이 값은 시험에 의해서만 구할 수 있고**, 다만 설비 계획단 계에서 **Thoma**의 캐비테이션 계수 또는 흡입 비속도로 대략 추정해 볼 수 있다. 실험에 의한 방법은 그림2.20에 나타난 바와 같이 펌프 운전시의 흡입 압력을 점차 내려가면서 각각의 토출량에 대한 펌프 전양정의 저하가 3% ($\Delta H/H=0.03$)가 되는 경우의 흡입조건에서 계산한다.



여기서
1: 펌프입구
2: 회전차입구
3: 회전차출구

그림2.19 펌프 흡입측의 압력분포

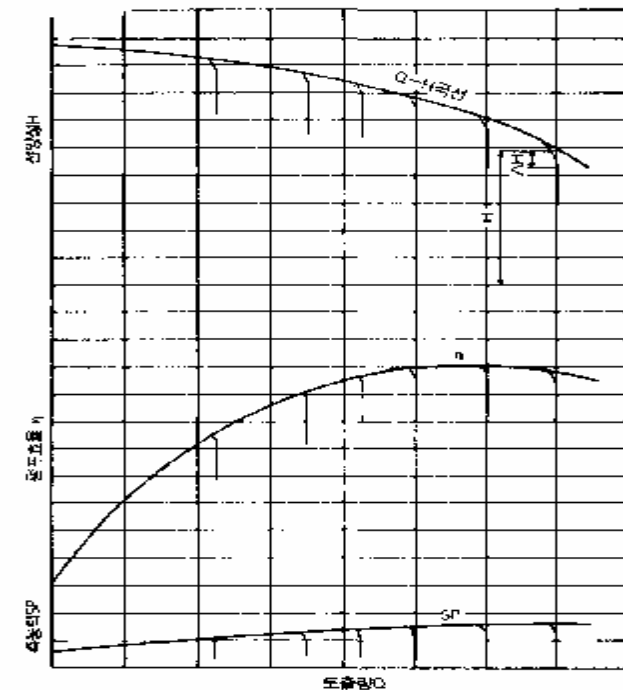


그림2.20 캐비테이션에 의한 펌프 성능 변화

캐비테이션 (CAVITATION)

안전운전 조건



캐비테이션의 발생없이 펌프를 안전하게 운전하기 위해서는 펌프 입구 직전에서의 전압력을 액체의 포화증기압 보다도 [필요NPSH x (1 + α)] 에 상당하는 압력 이상으로 높일 필요가 있으므로, 운전범위 내에서 항상 [$NPSH_{av} > NPSH_{re} \times (1 + \alpha)$] 의 관계를 유지하여야만 한다.
일반적으로 α 의 값으로 $\alpha \geq 0.3$ (단, $NPSH_{re} \times 0.3 \geq 0.5$) 을 채용하는 것이 바람직하다.

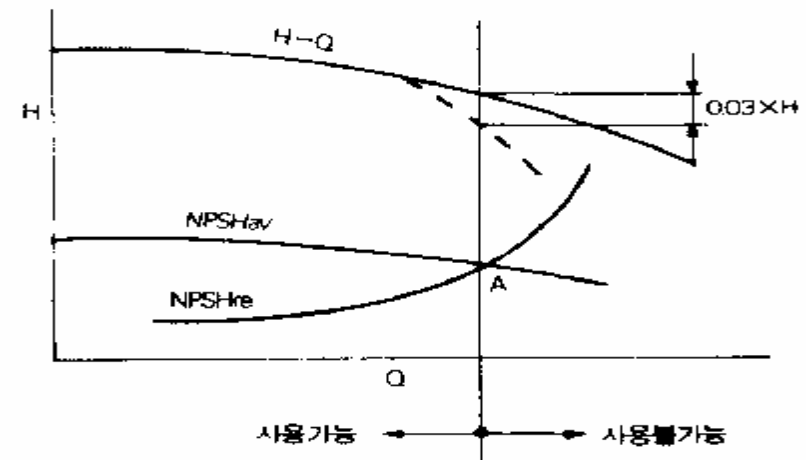
안 전 운 전



- 사용 가능범위 à A 점에서 좌측
- 사용 불가능 범위 à A 점에서 우측

주 의 !!!

경우에 따라서는 부분유량 범위에서 NPSH_{re} 가 증가하는 경우도 있다.



NPSH_{av} 과 NPSH_{re} 의 관계

펌프 일반

31

캐비테이션 (CAVITATION)

흡입조건 개선을 위한대책

1. 펌프의 설치위치를 가능한 한 낮게 하고, 흡입손실수두를 최소로 하기 위하여 흡입관을 가능한 한 짧게 하고, 관내 유속을 작게하여 **NPSH_{av}**를 충분히 크게 한다.
2. **NPSH_{av} ≥ 1.3 × NPSH_{re}**가 되도록 한다.
3. 흡입수조의 형상과 치수는 흐름에 과도한 편류 또는 와류가 생기지 않도록 계획하여야 한다.
4. 편흡입 펌프로 **NPSH_{re}**가 만족되지 않는 경우에는 양흡입 펌프로 하는 경우도 있다.
5. 대용량펌프 또는 흡상이 불가능한 펌프는 흡수면보다 펌프를 낮게 설치하거나 입축펌프로 선택하여 회전차의 위치를 낮게하고, **Booster**펌프를 이용하여 흡입조건을 개선한다.
6. 펌프의 흡입측 밸브에서는 절대로 유량조절을 해서는 안된다.
7. 계획 토출량 보다 현저하게 벗어나는 범위에서의 운전은 피해야 한다. 양정변화가 큰 경우에는 저양정 영역에서의 **NPSH_{re}**가 크게 되므로 캐비테이션에 주의하여야 한다.
8. 외적 조건으로 보아 도저히 캐비테이션을 피할 수 없을 때에는 임펠러의 재질을 캐비테이션 피식에 대하여 강한 재질을 택한다.



서어징(Surging) 현상

서어징 (Surging) 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.

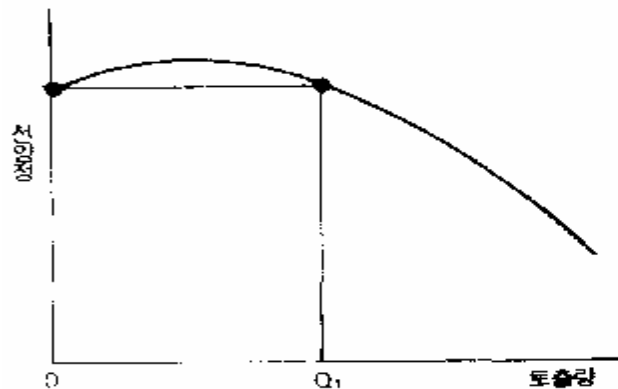


그림 2.31

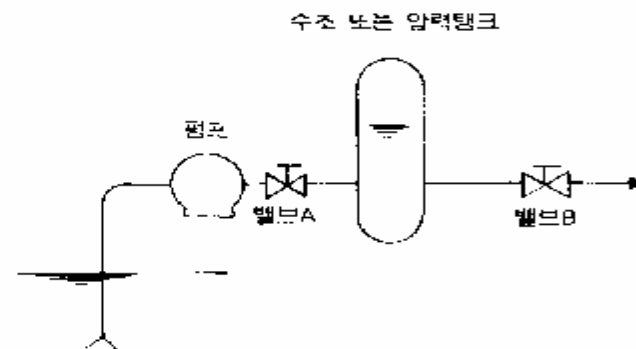


그림 2.32



펌프의 과열현상

펌프의 과열현상

소 비 열



- 펌프 토출량이 0 또는 극소의 상태에서 운전하면 펌프의 효율이 현저하게 저하되고, 원동기에서 나오는 동력의 대부분은 열로 되어 수온이 상승한다.

[펌프의 구동동력 $\propto$ 유효일 + 기계손실 + 유체를 가열시키는 소비열]

온 도 상 승



- 일정량의 토출량까지는 온도상승 비율이 급격히 감소.
- 압력에 비례하여 커진다.
- 동일 압력에서는 회전수가 증가하면 펌프가 작아지므로 온도상승은 커짐.

온도상승의
영향



- 심한 열변형을 발생시킨다.
- 증기를 발생시켜 캐비테이션의 원인.
- 내부 섭동 부분의 고착 원인.
- 극한적인 경우 증기 폭발의 원인. (1987년 부산, 덕천가압장)

*. 방지대책

- 상시 Relief 밸브 설치
- 자동밸브 부착 Check 밸브를 사용
- 유량을 검출하여 Relief 밸브를 작동

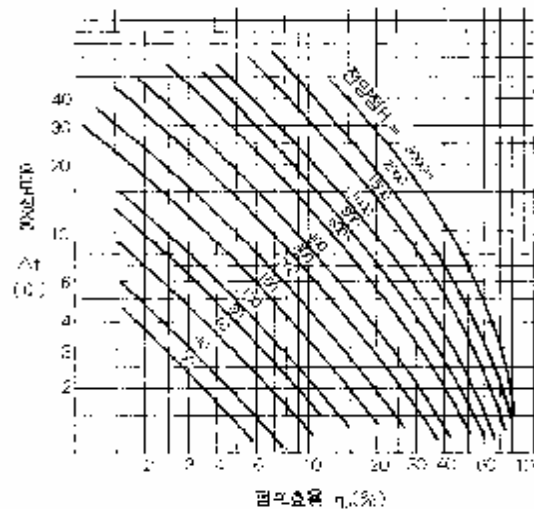


그림 2.36 수온상승선도

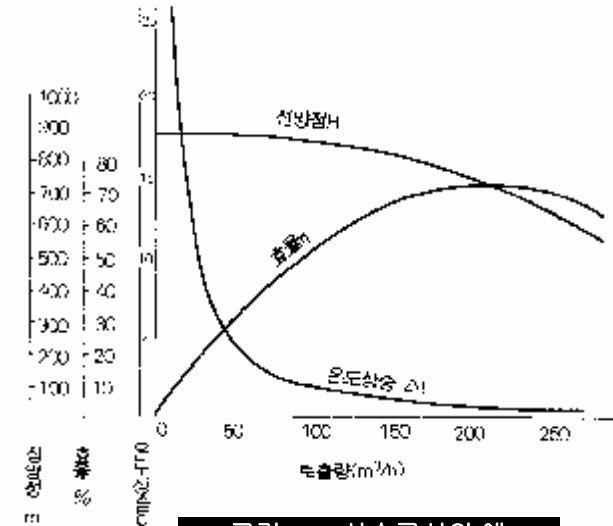


그림 2.37 상승곡선의 예

펌프내부에서 발생하는 손실의 대부분은 열이 되어 유체와 함께 배출

소유량 운전시 펌프에서 발생하는 손실은 급격히 증가하는 반면 유체와 함께 배출되는 열량은 감소하므로 펌프의 온도는 급격히 증가

따라서, 양정이 높은 펌프를 소유량에서 운전하게 되면 수온이 상승하여 캐비테이션을 발생시키거나 작은 틈새에서 고온수가 기화하는 등의 문제가 발생

특히, 고온수를 취급하는 펌프에서는 영향이 크므로, 온도상승이 허용치 이상으로 되지 않도록 **BY-PASS** 장치를 설치

◎ 소유량 점에서 운전시의 문제점

- 펌프의 과열현상 (캐비테이션 발생, 케이싱 폭발)
- 반경방향의 추력의 증가 (축 절단 및 베어링 수명단축)
- 진동 소음의 증가

펌프의 과열현상-Warming Up

펌프의 워밍업(WARMING UP)

120℃를 넘는 온도의 액체를 취급 할 때에는 운전 전에 펌프를 충분히 워밍.

차가운 펌프 케이싱에 고온유체가 급격하게 유입하면, 펌프내부의 온도는 국부적으로 큰 차가 생겨서 열팽창이 불균일하게 되고, 케이싱 및 회전체에 변형이 발생.

그래서 좁은 간격의 섭동부분이 붙어 버리고, 그 상태로 기동하면 눌러 붙을 위험.

펌프가 예비용으로 있는 동안은 연속 워밍시키기 때문에 케이싱은 대부분 일정한 온도 유지.

보수 또는 점검을 위해 한번 액체를 빼내어, 차갑게 된 케이싱에 고온액을 넣을 경우는 충분한 시간에 걸쳐서 워밍하고, 케이싱 온도가 일정하게 되고나서 기동해야 함.

