

7. 수격

7.1 수격이란

7.1.1 수격현상

관로에서, 유속이 급격하게 변화하고, 이것에 의해 관내의 압력이 과도적으로 변동하는 현상을 수격현상(워터해머)라하고, 주로 다음과 같은 경우에 생긴다.

- ①펌프 기동시
- ②펌프 정지시(동력 소실시)
- ③밸브 개폐시

또한, 유속변화는 펌프의 기동·정지와 속도제어와 밸브제어에 의해서도 생기기 때문에, 운전제어와 관련지워 생각하면, 표7·1와 같이 된다.

수격현상에 의한 압력상승과 압력저하의 크기는 주로 유속의 변화(펌프의 기동·정지의 방법, 회전수변화의 정도, 밸브 개폐시간)와 관로길이에 의해 결정되고, 관로의 상태, 펌프특성, 구동기의 종류등에 의해 다르지만, 일반적으로는 정전에 의해 펌프가 급정지하는 경우 수격현상이, 가장 문제시 되는 경우가 많다.

7.1.2 수격작용에 의한 허용압력

수격현상에 의한 압력변동의 허용범위는, 통상 다음과 같다.

- ①압력상승 : 기기·관로의 최고허용압력
- ②압력저하 : 수분리현상을 허용하지 않는 경우는 계산상 부압을 -6m정도로 한다. (수주분리현상이 발생하는 -10m에 대해서 계산오차를 고려해서 -6m로 하고 있다.)

단, 부압에 대해서는, 대규모 강관의 경우에는 찌그러짐에 대한 문제를 고려할 필요가 있다.

표7·1 운전제어와 수격현상의 관련

수격현상의 내용(원인, 대책등을 포함)		운 전				제 어	
		시동	운전중	보통정지	트립	속도제어	밸브제어
속도제어관련의 수격현상	셀비우스 장치등의 순간정전대책	○ (재시동)			○	○	
	가변속 펌프의 속도 변화율		○			○	
밸브개폐에 따른 수격현상	밸브개폐에 대한 통상시동·정지	○		○			○
	가변속펌프를저속으로 유지하고, 밸브개	○		○		○	○
	펌프의 트립시 밸브의 폐쇄				○		○
역지밸브관련 수격현상	역지밸브 없는경우(전동 유압 로터리밸브)			○	○		○
	역지밸브의 슬래밍(급폐역지밸브)				○		
	바이패스완폐역지밸브				○		○
관로중의 공기가 영향을 주는 수격현상	관로중의 미소공기 정체	○		○	○	○	
	입축펌프의 공기빼기불량	○					○
	공기밸브	○		○	○		
수주분리현상이 따르는 수격현상		○		○	○		
그외	플라이 휠				○		
	서지 탱크	○		○	○		
	에어챔버	○		○	○		

7.1.3 수격작용에 의한 피해

- ①압력상승에 의해 관로 혹은 펌프, 밸브등의 기기가 파손한다.
- ②압력저하에 의해, 관로가 파손된다.
- ③펌프토출측에 역류방지밸브등 역류대책이 없는 경우, 역류·역전에 의해 펌프·구동기에 기계적사고가 발생한다.
- ④수주분리현상 혹은 공기밸브가 동작해서 생긴 압력변동은, 압력의 상승·하강의 움직임이 심하고, 압력이 허용되어도 배관·기기가 진동하는 소음이 되어 나타나는 경우가 있다.

7.1.4 펌프송수계에 생기는 수격현상

1)역지밸브가 없는 경우(그림7·1참조)

①제 1단계(정전·정류-펌프 작용 범위)

펌프동력이 급히 소실하면, 펌프는, 그 중의 물을 포함한 펌프 자신 및 구동기의 회전부의 관성에 의해 회전을 계속하지만, 그 에너지는, 양수에 소비되기 때문에, 펌프의 회전수는 급속하게 저하한다. 이것에 의해 펌프의 토출량이 급변하고, 관로내의 유속을 유지하려 하는 수류의 관성작용과 함께 펌프 직후의 압력이 저하한다. 이때의 압력저하의 크기는, 회전부의 관성효과(GD^2)와, 관로내의 수류의 관성작용에 의해 결정된다. 펌프가 더욱 감속하고, 펌프 직후의 압력이 다시 계속내려가면, 펌프는 정회전하고 있으면서 양수불능으로 되고, 수류는 정지한다. 펌프 직후의 급격한 유량변화의 결과로서 토출관로내에는, 정상압이하의 수격파(압력파)가 생긴다.

②제 2단계(정전·역류-펌프제동범위)

수류의 정지후, 역류가 시작되고, 정회전하는 펌프가 수류의 저항이 되어, 펌프 직후의 압력은 상승하기 시작한다.

제1단계에서 발생한 압력 저하파가, 토출조에서 반사하고, 압력상승파가 되어 펌프직후의 압력에 가해져, 상승을 계속한다. 펌프의 회전수는, 역류에 의한 제동작용에 의해 한층 급속하게 저하하고, 결국 펌프는 정지한다.

③제 3단계(역전·역류-수차작용범위)

정지한 펌프는, 역류에 의해, 수차상태로 되어 역전을 시작한다. 역류량의 증가와 함께 펌프의 역전도 가속되어, 결국은 무부하의 수차로서 일정한 무구속 속도의 안정상태에 도달한다. 이 안정상태에서의 역전속도와 역류량은, 펌프의 N_s , 관로의 손실수두(H_f)에 따라 변하지만, 일반 볼류트펌프는, 역전속도가 규정속도의 110~130%, 역

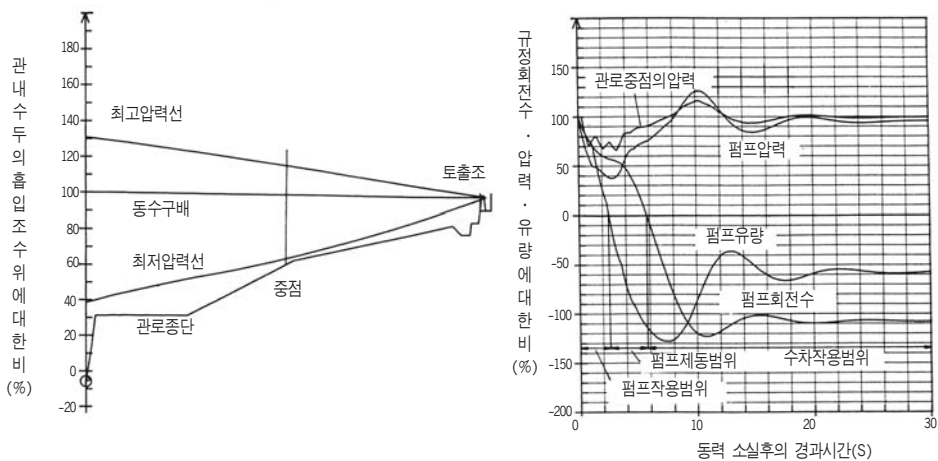


그림7·1 동력 차단후의 과도현상(토출측에 역지밸브가 없는 경우)

2)역지밸브가 있는경우(그림7·2참조)

역지밸브가 있으면, 제 2단계의 역류개시와 거의 동시에 역지밸브가 닫히기 때문에, 역류는 거의 생기지 않는다. 펌프는 토출관로와 차단된 물의 가운데에서 회전을 계속하지만, 관성력을 잃어 얼마안있어 정지한다.

제1단계에서의 압력저하에 의해 생긴 압력저하파가 토출조에서 반사해 압력상승파로서 역지밸브의 2차측에 도달할 때에는, 통상역지밸브가 폐쇄해있기 때문에, 역지밸브의 2차 측에서 급격한 압력상승이 생긴다. 이때의 압력상승치는, 관로계의 손실수두(H_f)에도 의하지만, 정상상태로부터 저하한 정도만큼 압력이 상승한다.

실제로는, 역지밸브의 밸브몸체가 폐쇄하기에 시간이 걸리기 때문에 역류개시후에 폐쇄하는 것이 많고, 역류를 급격하게 차단하기 위해서 생긴 압력상승분이 더하여진다. 역지밸브의 폐쇄가 늦어지면, 상당히 큰 역류량으로 되며 역지밸브가 닫히면, 압력상승은 현저하게 증대한다.

역지밸브의 폐쇄후는, 압력은 관로의 길이, 지름, 관재질에 의해 결정되는 일정주기로 상승과 저하를 반복하면서 감쇄하고, 결국, 정상상태로 된다. 역류방지밸브를 설치한 경우의 수격에 의한 압력상승을 허용치내에 잡아두기 위해 역지밸브를 완폐식 역지밸브로 하고, 다른 유압구동의 제어밸브를 설치, 인위적으로 역류량을 제어해서 압력상승을 완화시키는 경우가 있다. 제 1단계에서의 압력저하는, 관로와 펌프의 특성에 의해 결정되기때문에, 제어밸브의 목적은, 주로 제2단계이후의 역류의 현저한 증대를 방지하고, 또한 압력 상승을 억제하면서 완만하게 역류를 그치게하는 것이다.

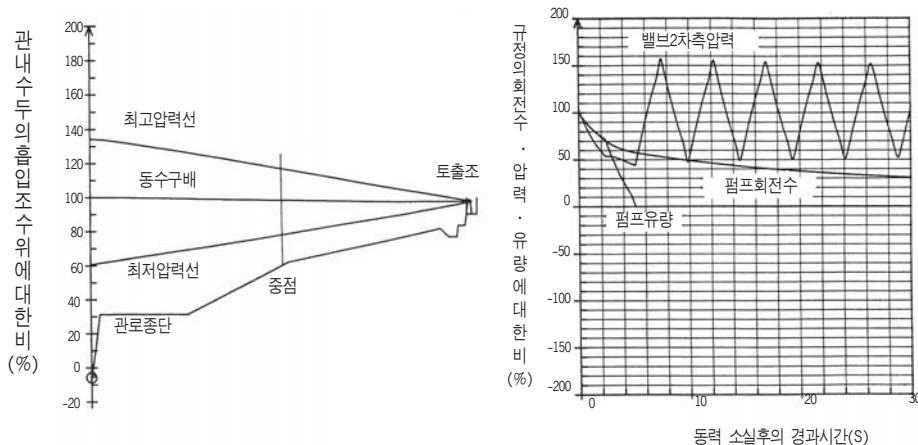


그림7·2 동력 차단후의 과도현상(토출측에 역지밸브가 있는 경우)

3)토출밸브 폐쇄후에 펌프를 정지하는 경우(보통정지)(그림7·3참조)

토출측에 제어밸브를 설치하고, 펌프정지전에 이 토출밸브를 폐쇄하면, 수류가 차단되어 유량이 변화하고, 수류의 관성작용으로 압력이 저하해 압력파를 생기게 한다. 이 압력 저하파는 토출조에서 반사하고, 압력상승파로 되어 돌아온다. 펌프의 송수관이 짧은 경우는, 압력상승파가 토출 밸브까지 돌아오기까지의 시간이 짧기 때문에, 이 사이의 토출밸브의 개도변화량이 작고, 압력상승치도 작다.

송수관이 대단히 긴 경우와, 토출밸브의 폐쇄속도가 대단히 빠른 경우에는, 토출밸브 폐쇄후에 압력상승파가 돌아오기 때문에 큰 압력상승이 발생하고 때로는 배관계에 문제가 될 정도의 압력상승을 초래하는 것도 있다.

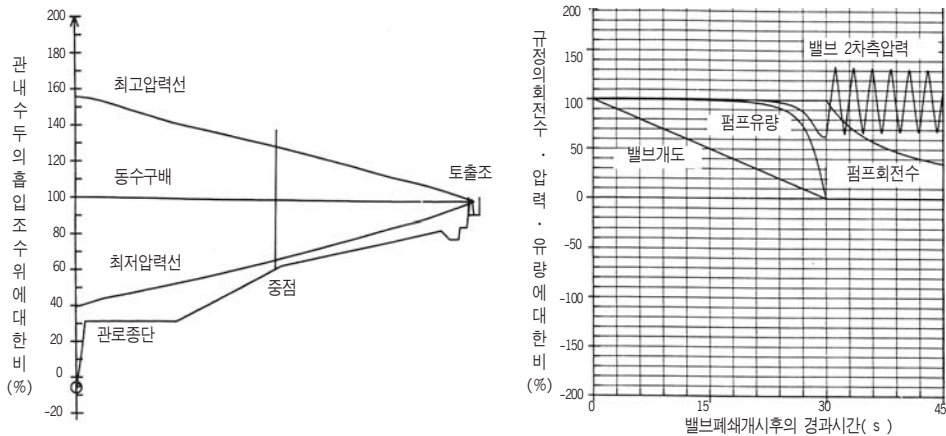


그림7·3 동력 차단후의 과도현상(토출측에 밸브가 폐쇄된 경우)

7.1.5 수격현상의 해석

이전에는 도식해법에 의존한 수격해석은, 현재 아래와 같은 장점을 가진 특성곡선법에 의한 컴퓨터 해석이 주류를 이루고 있다.

- ①파동에 대해서 성립하는 편미분 방정식의 일반적인 수치해석에 의해, 기초방정식의 미소항을 생략하지 않은, 컴퓨터 해석에 적합한 차분 방정식이 유도되어 있다.
- ②파동의 전반의 불연속성을 충실하게 취급하고 있기때문에 계산결과와 정도가 높다.
- ③수두손실, 관로의 구배의 영향등을 용이하게 프로그램에 넣어 둘 수 있다.
- ④복잡한 관로계, 혹은 수주분리와 같은 특수한 문제의 적용이 용이하다.

1)기초식과 특성곡선법

관로내의 비정상상의 운동방정식 및 연속방정식이, 수격현상의 기초식으로서 유도되어 있다.

$$g \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{fV|V|}{2D} = 0$$

$$\frac{\alpha^2}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial H}{\partial x} + V \sin \alpha + \frac{\partial H}{\partial t} = 0$$

H: 기준선으로부터의 정수압

V: 유속(m/s)

x: 거리 (m)

t: 시간 (s)

a: 압력파의 전달속도 (m/s)

g: 중력 가속도 (m/s²)

D: 관내경(m)

f: 마찰계수

α: 관로의 기준선에 대한 경사각도

이런 기초방정식으로부터, 이하와 같은 C⁺(하류로 향하는 파)와 C⁻(상류로 향하는 파)의 2조의 상미분 방정식이 유도된다.

$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{aligned} \frac{g}{\alpha} \cdot \frac{dH}{dt} + \frac{dV}{dt} + \frac{g}{\alpha} V \sin \alpha + \frac{fV|V|}{2D} &= 0 \quad (1) \\ \frac{dx}{dt} &= V + a \quad (2) \end{aligned} \right\} C^+ \\
 & \left. \begin{aligned} -\frac{g}{\alpha} \cdot \frac{dH}{dt} + \frac{dV}{dt} - \frac{g}{\alpha} V \sin \alpha + \frac{fV|V|}{2D} &= 0 \quad (3) \\ \frac{dx}{dt} &= V - a \quad (4) \end{aligned} \right\} C^-
 \end{aligned}$$

여기서의 C^+ 와 C^- 의 최초 식 (1)과(3)은, 각조의 2번째의 식(2)와(4)가 만족되어 있는 경우만 성립한다. 이 방정식을 차분방정식에 변환해서 컴퓨터를 이용해서 푼다. 그림5·56의 x - t 격자에서, A점과 B점의 압력, 유량 예의해 시간 Δt 후의 P점의 압력, 유량은, C^+ 특성선과 C^- 특성선을 연립시키는 것에 의해 구해진다.

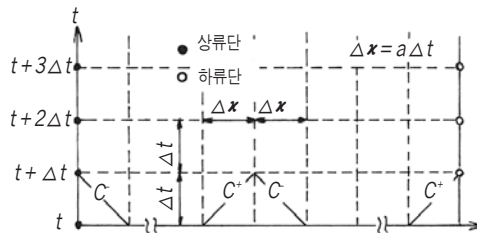


그림7·4 x - t 격자와 특성선

관로를 분할한 각계산점 전체에 대해서 이 계산을 반복해가는 것에 의해, 관로전체의 상태가 계산된다.

2)경계조건

수격현상을 해석하는 것에는, 관로내의 조건식외에 펌프, 밸브등의 기기의 동작상태를 나타내는 조건식(경계조건)이 필요하다.

펌프 및 전동기의 회전부분의 관성의 방정식은 다음과 같다.

$$M = I \frac{d\omega}{dt} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dN}{dt}$$

여기서,

M: 펌프의 토크(kgf·m)

I: 펌프·전동기의 회전부의 관성2차 모멘트

ω : 회전부의 각속도

GD^2 : 관성효과계수(kg·m²)

N: 회전수(min⁻¹)

회전수가 시시각각 변화해 갈때 각 회전수에 대한 펌프특성(압력, 유량, 토크의 함수)이 필요하다. 이것은 정회전정류, 정회전역류, 역회전역류의 영역에 걸친 전반특성을 나타내는 것이고, 다음의 관계가 있다.

H : $f_1(Q, N)$

M : $f_2(Q, N)$

이런 펌프특성은 근사식 또는 테이블로 처리된다.

3)간이계산도표

실제의 복잡한 관로계를 정확하게 또는 신속하게 해석하는 경우는 컴퓨터를 이용한 특성곡선법에 의한 해석이 최적이지만, 비교적 단순한 관로에 대해서 최저압력·최고압력이 어떤가를 검토하는 경우에는 간이계산 도표를 이용하면 편리하다.

동력소실에 의한 펌프 급정지시의 수격현상의 계산도표를 그림7·5~7·17에 나타낸다. 이 계산도표는 송수관로 계의 펌프 급정지시에서의 수격현상을 해석하는 경우에 사용가능하고

- ① 펌프 직후의 압력저하
- ② 송수관로의 중간점의 압력저하 ($\frac{1}{2}L$ 지점)
- ③ 송수관로의 $\frac{3}{4}L$ 지점의 압력저하
- ④ 역류 개시 시각에 대해서 나타내고 있다. 또한 송수관로의 저항($h_{rL} = H_l / H_0$), 0%, 30%, 60%에 대해서 나타내고 있다.

4)간이계산 도표에 의한 수격계산

① 펌프의 요항

Q_0 : 펌프의 수량 (m^3 / min)

H_0 : 펌프의 양정 (m)

H_a : 실 양정 (m)

H_l : 관로손실 (m)

N_0 : 펌프의 회전수 (min^{-1})

η_p : 펌프의 효율

P_0 : 펌프의 축동력 (kW)

γ : 유체의 비중량[밀도] (kg / l)

② 펌프의 축동력과 축토크의 계산

펌프의 축동력

$$P_0 = \frac{0.163 \cdot \gamma \cdot Q_0 \cdot H_0}{\eta_p} \quad (kW)$$

펌프의 축 토크

$$M_0 = 974 \cdot \frac{P_0}{N_0} (kgf \cdot m)$$

③ 펌프계의 관성계수의 계산

$$K = \frac{375 \cdot M_0}{GD^2 \cdot N_0}$$

GD^2 : 관성 효과 계수

주 : 도식 계산의 편의상, K값의 계수를 187.5로 하고, 상기 값의 1/2의 값으로서 취급하고 있는 서적이 있기 때문에 주의 할 필요가 있다.

7. 수격

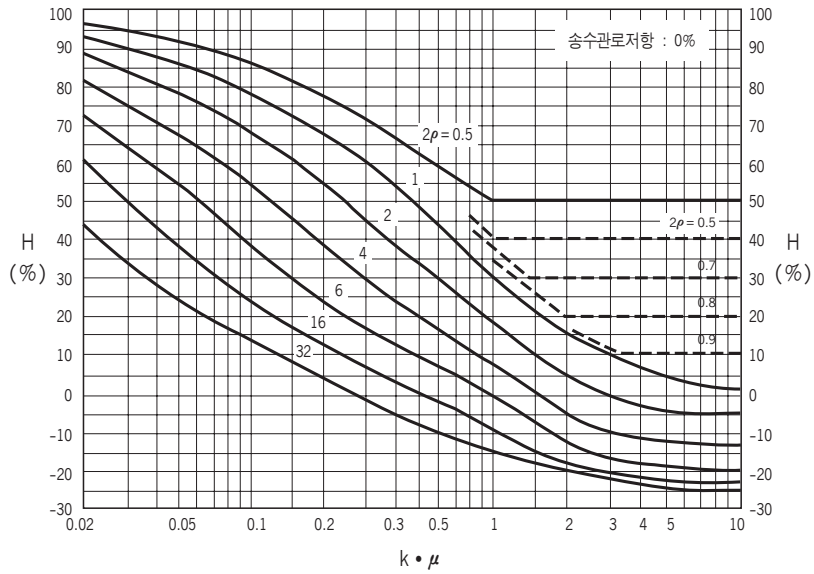


그림7·5 펌프 직후의 최저압력

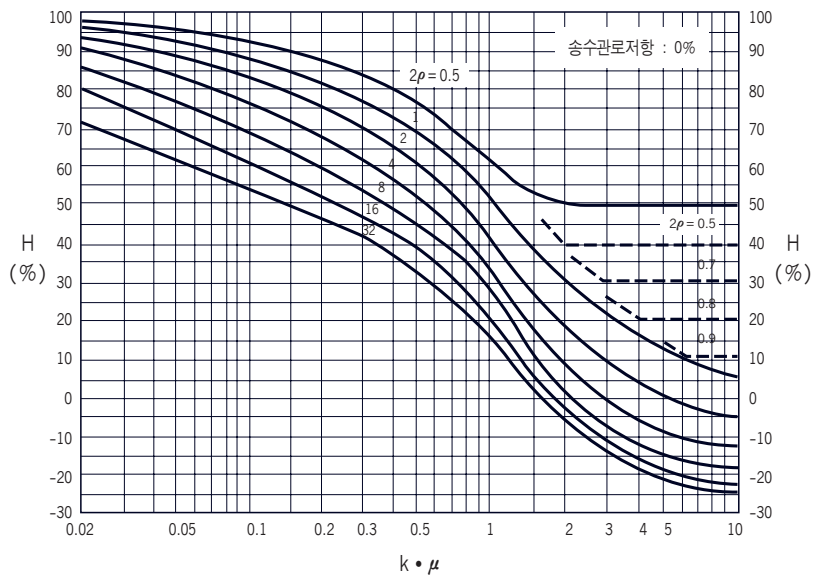


그림7·6 1/2 L 지점의 최저압력

7. 수격

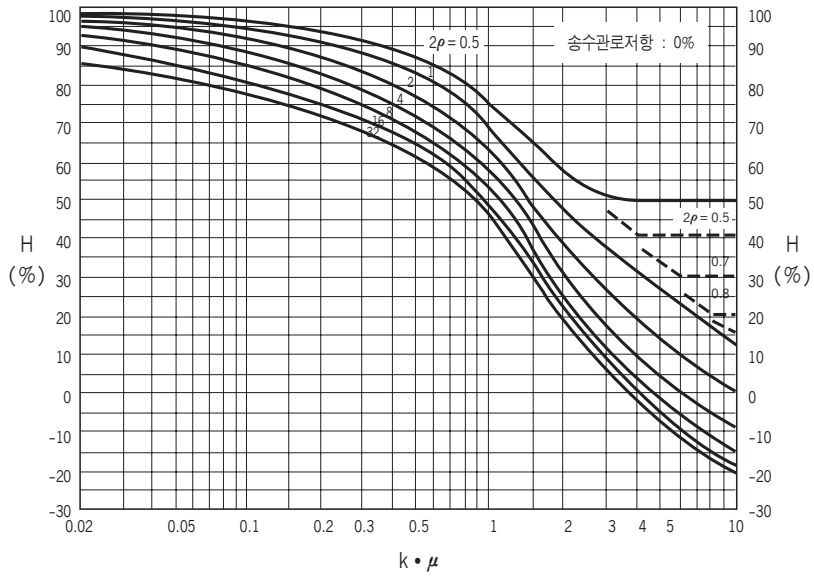


그림7·7 3/4 L 지점의 최저압력

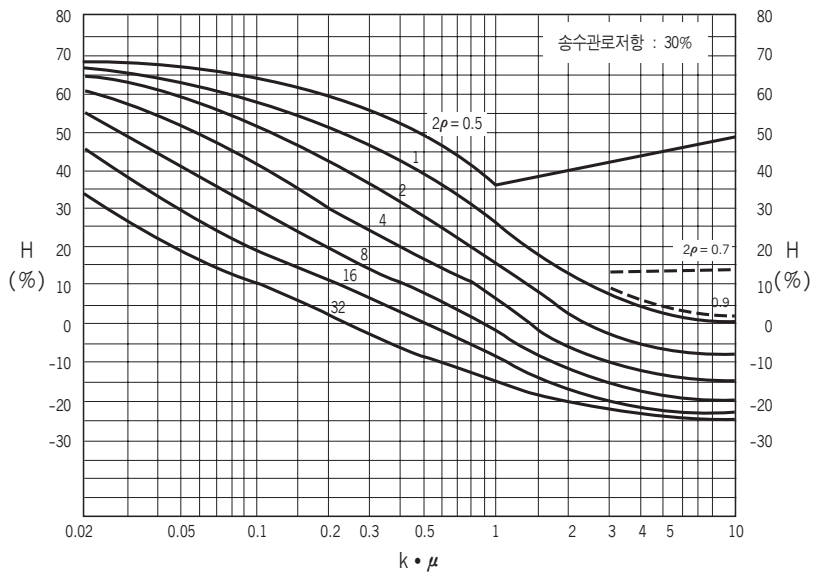


그림7·8 펌프 직후의 최저압력

7. 수격

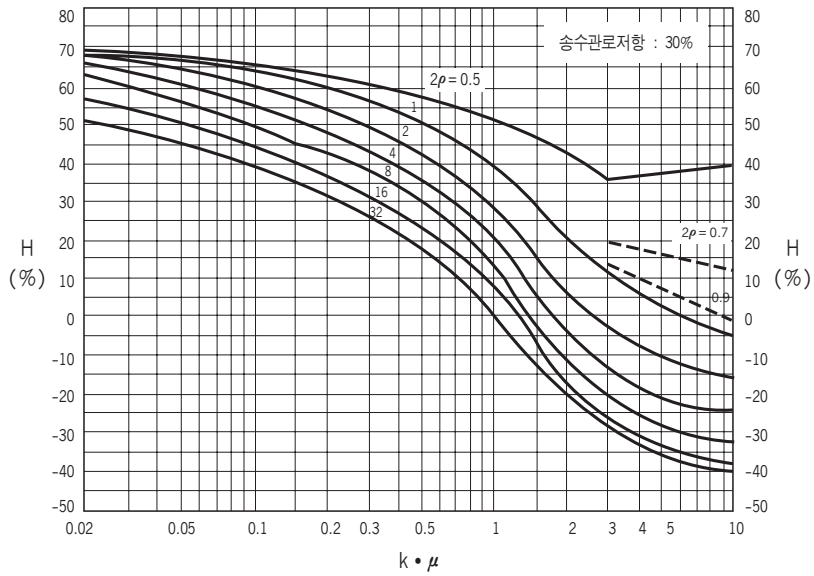


그림7·9 1/2 지점의 최저압력

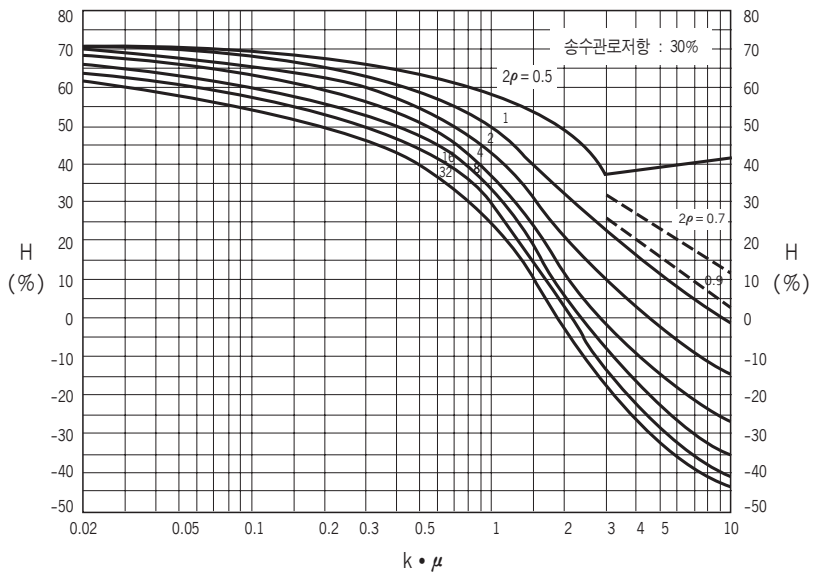
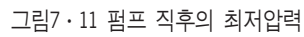


그림7·10 3/4 지점의 최저압력



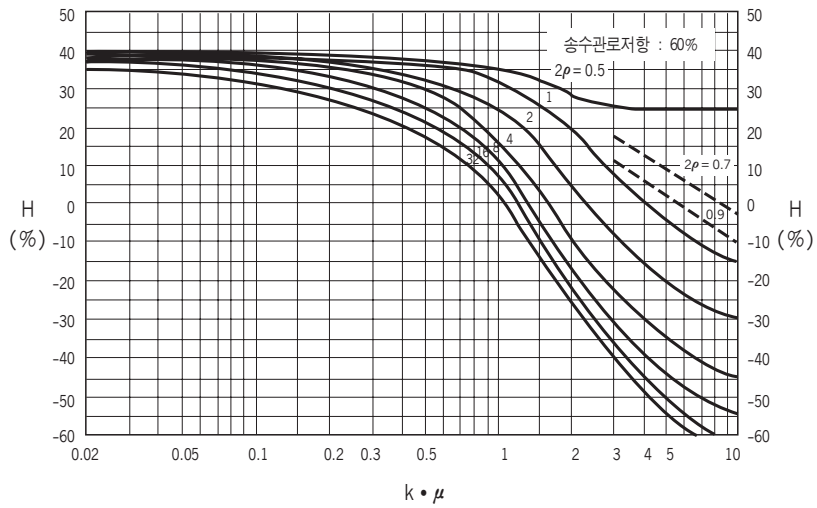


그림7 · 13 3/4 지점의 최저압력

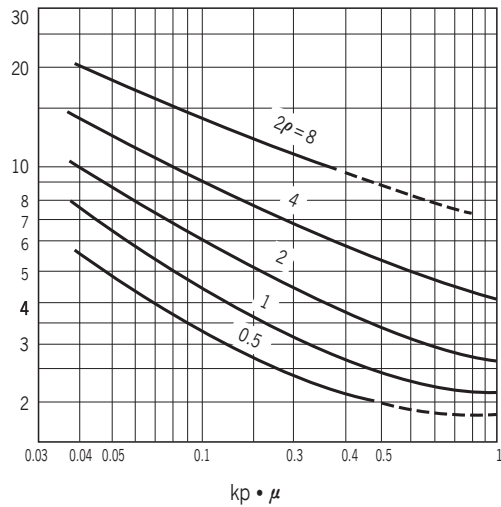


그림7 · 14 펌프의 역류개시시기

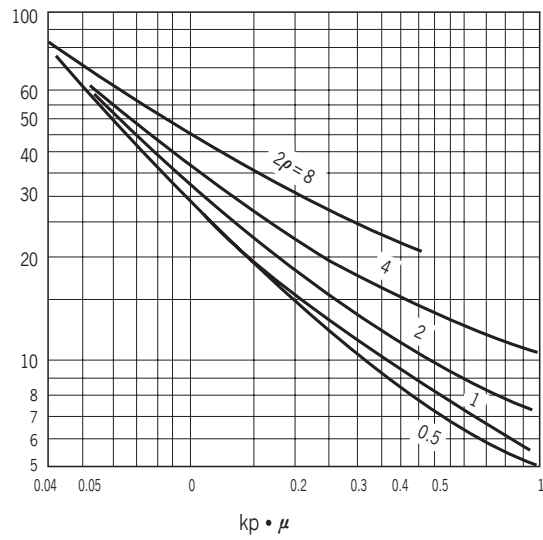


그림7·15 펌프의 최대 역전시기

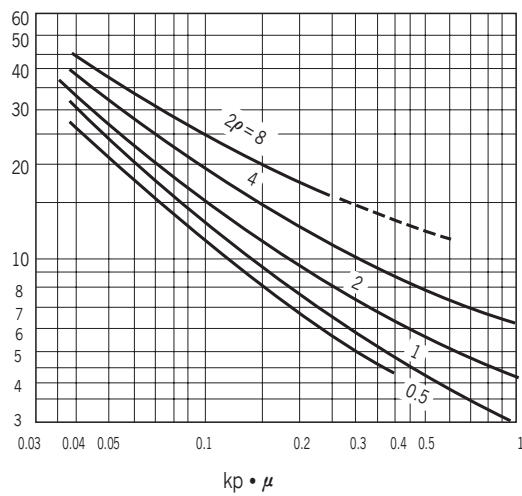


그림7·16 펌프의 최대 역전시기

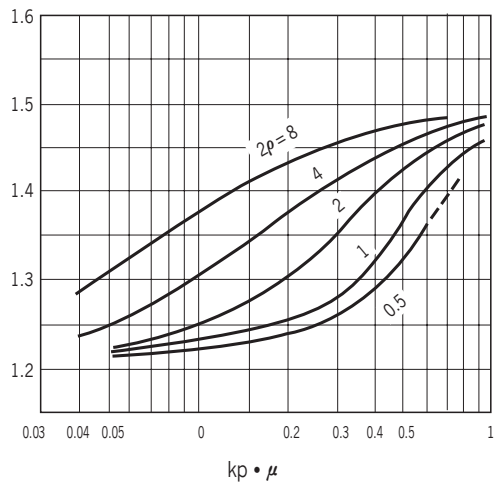


그림7·17 펌프 최대 역전시기

개략검토의 경우의 GD^2 은 그림7·18, 그림7·19(펌프)및 그림7·20~그림7·21(전동기)에 의해 구해진다
 ④송수관로내의 정상시의 유속계산

$$v_n = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D^2} \text{ (m/s)}$$

D : 송수관로의 구경 (m)

Q : 송수관로의 유량 (m^3/s)

송수관로의 구경이 배관 내에서 다른 경우에는 등기구경에 의해 구한다.

$$D^2 = \frac{L}{L_1/D_1^2 + L_2/D_2^2 + L_3/D_3^2 + \dots}$$

$L = L_1 + L_2 + L_3 + \dots$ 관로전장

$L_1, L_2, L_3 \dots$ 각관로의 관장

$D_1, D_2, D_3 \dots$ 각관로의 구경

⑤압력파의 전파 속도의 계산

$$\alpha = \frac{1,425}{\left(1 + \frac{D}{t} \cdot \frac{k_y}{E_s}\right)^{1/2}}$$

k_y : 액체의 체적 탄성계수(kgf/m^2)

E_s : 송수관로의 종 탄성계수 (kgf/m^2)

t : 송수관로의 두께 (m)

대표적인 관종의 K_v/E_s 는 다음과 같다.

강관 $\frac{K_v}{E_s} \approx 0.01$

덕타일주철관 $\frac{K_v}{E_s} \approx 0.0138$

주철관 $\frac{K_v}{E_s} \approx 0.0207$

흙관 $\frac{K_v}{E_s} \approx 0.103$

더구나 송수관로의 재질등이 도중에 변경되는 경우에는 등가 전파속도를 구하지 않으면 안된다.

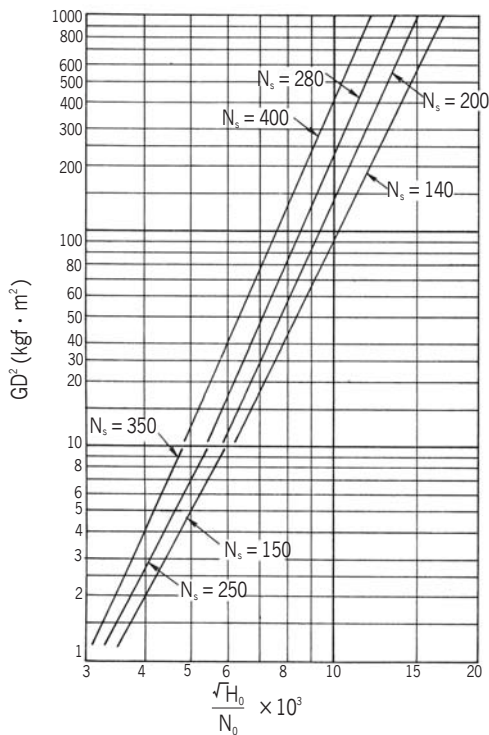


그림7·18 양 흡입 볼류트 펌프의 GD^2

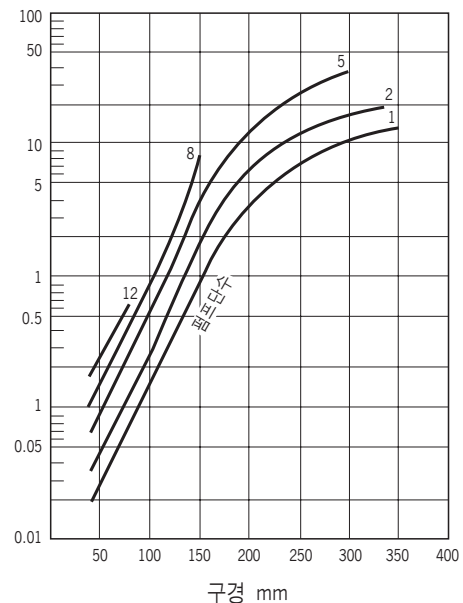


그림7·19 다단펌프의 GD^2 (개략)

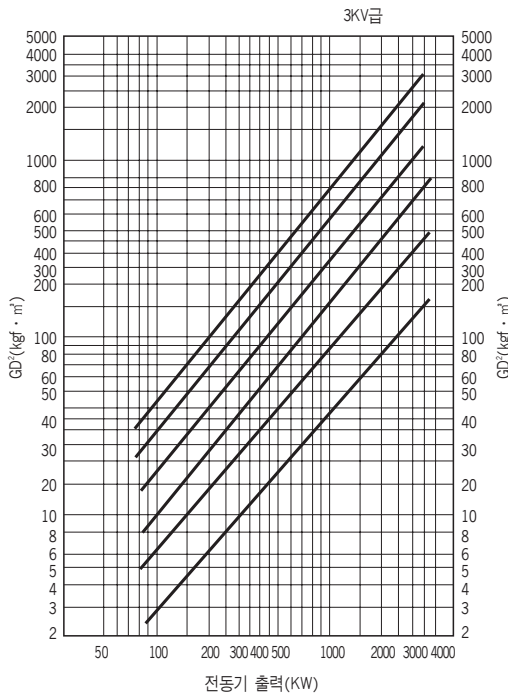


그림7·20 농형 전동기출력 GD² 선도

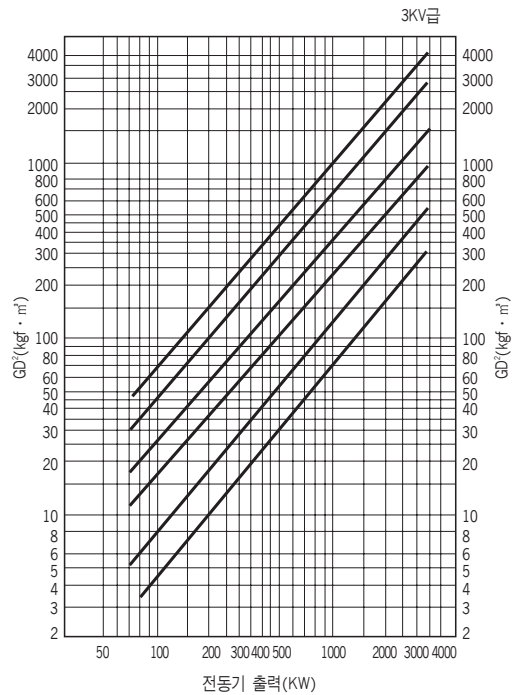


그림7·21 권선형 전동기 출력-GD²선도

등가전파속도

$$\alpha = \frac{L}{L_1/\alpha_1 + L_2/\alpha_2 + L_3/\alpha_3 + \dots}$$

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$ 각관로의 전파속도

⑥ 송수로관로 정수의 계산

$$2\rho = \frac{av_0}{gH_0}$$

⑦ 압력파의 일회왕복시간의 계산

$$\mu = \frac{2L}{\alpha}$$

송수관로가 도중 재질이 다른 경우 등가시간은 다음식으로부터 구한다.

$$\mu = 2 \sum \frac{L_i}{\alpha_i} \text{ (s)}$$

⑧ $K \cdot \mu$ 값의 계산

③ 과 ⑦ 로부터 구한 $K \cdot \mu$ 를 구한다.

⑨ 송수관로의 저항비의 계산

$$hp_L = \frac{H_i}{H_0} \times 100\%$$

이 저항비로부터 적용선도를 선택 이 때에 가장 가까운 저항비의 그래프를 선정한다.

만일 송수관로의 저항이 2개의 저항비의 그래프의 중간에 상당하는 경우에는 전후의 그래프로부터 수치를 읽어 보간법에 의해, 중간의 저항비의 압력저하를 구한다.

⑩ 상기까지의 계산을 기초로하여 다음 3개의 파라미터로부터 압력저하를 구한다.

㉑ 송수관로의 저항비 h_p

㉒ $K \cdot \mu \frac{L}{D^5}$ $K \cdot \mu$

㉓ 송수관로의 정수 2ρ

⑪ 압력변화는 펌프직후와 중간점 $1/2L$ 및 $3/4L$ 지점에 각각 나누어져 선도에 주어져 있기때문에 각 그림으로부터 저하압력비 h 를 구한다.

⑫ 저하압력의 절대치

전항에서 구한 저하압력비 h 로부터 실제로 발생한 압력 H 는 다음과 같이 구해진다.

$$H = h \cdot H^0$$

동일한 수순으로 송수관로의 각점, 즉 펌프직후, 중간점, 및 $3/4 L$ 지점의 압력을 구한다.

⑬ 송수관로에 압력변화의 기입

㉔ 송수관로의 종단면의 작성

다음에 전항에서 구한 압력변화를 송수관로의 종단도에 기입해서 송수관로전장에 걸친 압력변화와 송수관로의 관계를 조사한다.

㉕ 최저압력선의 작성

송수관로의 종단도에 저하압력을 펌프직후, 중간점 $1/2L$, $3/4L$ 지점마다에 기입하여, 이런저하압력을 스무스한 곡선으로 결합하면 최저압력선이 구해진다.

㉖ 최고압력선의 작업

압력상승은 수격의 방지방법에 따라 다르지만, 근사적으로는 ㉔ 에서 구한 최저압력선을 토출수조의 수위의 기준에 동일지점에서 저하하고 있는 압력분(-H)만큼 플러스측으로 상방에 가산하는 것에 의해 구해진다. 그림7·22은 송수관로의 종단도에 최저압력선과 최고압력선을 기입한 것이다.

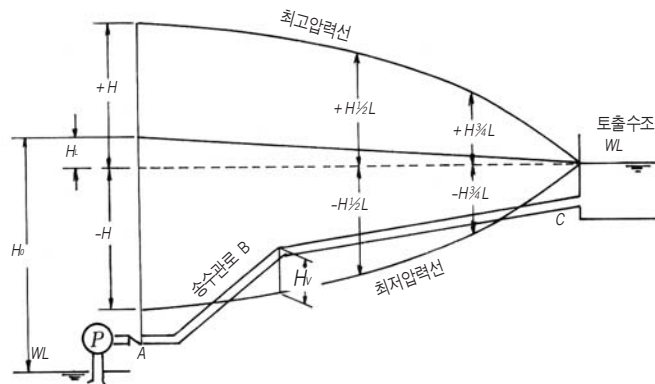


그림7·22 송수 관로도에의 압력변화 기입

7.1.6 수격작용의 방지책

수격현상의 발생에 의해, 압력변동이 허용치를 넘을 것이 예상되는 경우에, 대책을 취할 필요가 있다. 대책으로서는 표7·2에 나타내었으며, 각 송수설비 및 수격현상에 대해서 적합한 방법을 선택한다.

표 7·2 수격작용의 방지책(1/3)

방 지 책	효 과 와 특 징	주 의 점
플라이 휠(펌프회전부의 관성 효과를 증가한다). 별치식 플라이휠 장치와 커플링 겸용형이 있다.	(1) 펌프 회전수의 저하율을 작게해서 유속의 감소정도를 내리는 것에 의해 압력저하를 완화한다. (2) 압력상승의 방지에도 효과가 있다. (3)설비가 간단하고, 보수관리도 용이하다. (4) 신뢰성이 높다.	(1) 입축펌프, 수중펌프에 큰 플라이 휠은 장착이 어렵다. 수중펌프의 경우는, 형식에 따라 취부불가. (2) 별치식 플라이휠 장치의 경우에는, 펌프설치면적이 크게된다. (3) 관로가 대단히 긴 경우에는 효과가 없다. (4) 큰 플라이휠을 붙인 송수계에서는, 통상의 펌프정지시에서도 토출 밸브를 전개하여 펌프를 정지하는 편 이 좋은 경우가 있다.
유니버설 서지탱크	(1) 송수관내 압력이 저하하면, 연락관을 통해서 물을 보급하고, 송수관내 압력의 저하를 경감한다. (2) 압력상승에 대해서도 유효하다. (3) 구조가 간단하고, 밸브의 동작등이 따르지 않기때문에, 신뢰성이 높다. (4) 일반적으로 토목구조물인 것이 많다.	(1) 설치지점(지반고에 관계)에 제약이 있다. (2) 높이는, 동수구배이상을 필요로하고, 압력상승시 및 펌프 시동시의 업서지가 생겨도 위험하지 않은 것이 필요하다. (3) 하수의 경우, 취기발생의 문제 있다. (4) 한냉지에서는 동결대책의 검토가 필요하다.
원웨이 서지탱크	(1) 송수관내 압력이 서지 탱크 수위보다 저하하면, 연락관의 역지밸브를 열어 물이 보급되며, 송수관내의 압력저하를 경감한다. (2) 압력상승의 경감에도 효과가 있다. (3) 수위를 동수구배보다 낮게하기 때문에, 유니버설 서지탱크보다 탱크 높이를 낮게 할 수 있다. (4) 일반적으로 토목구조물인 것이 많다.	(1) 설치지점(지반고에 관계)에 제약이 있다. (2) 관로형상에 따라서, 관로도중의 복수개소에 설치할 필요가 있다.(그림5.90참조) (3) 부대설비로서, 역지밸브, 급수장치, 오버플로우관이 필요하게 된다. (4) 역지밸브가 있기때문에, 하수에는 적합하지 않다. (5) 한냉지에서는, 동결대책의 검토가 필요하다.

표 7·2 수격작용의 방지책 (2/3)

방 지 책	효 과 와 특 징	주 의 점
에어챔버(압력공기조, 서지베셀) 액면제어장치를 가진것(대용량에 적용)과, 고무대를 내장하고 있는 것(소용량에 적용)이 있다.	(1) 송수관내 압력이 저하하면, 연락관을 통해서 압력수를 보급하는 것에 의해, 펌프가 서서히 정지하는것과 동일한 효과로 되기때문에, 송수관내의 압력저하를 경감한다. (2) 압력저하가 시작하면 동시에 동작하기 때문에, 관로전체에 걸친 압력저하의 경감에 효과가 있다. 통상 펌프장의 직후에 1기설치하는 것만으로 충분하다. (3) 연락관의 돌아오는측의 손실을 적당하게 줄이는 것에 의해, 압력상승을 억제한다. (4) 서지탱크에 비해, 부지면적도 작고, 탱크높이도 낮게하는것이 가능하다. (5) 강판제탱크이고, 제작이 용이하다.	(1) 고무대를 내장하고 있지 않은 자유 표면형의 에어챔버는, 동수구배변동에 의한 에어챔버내의 수위변화 및 장기간에서의 압축공기의 물로의 응해에 의한 수위상승에 대해, 공기를 보급하거나 빼기를 하기 위한 액면제어장치가 필요하게 된다. 이 때문에, 전원이 필요하다. (2) 소용량의 에어챔버는, 고무부를 내장하고, 압축공기와 물을 분리하여 응해를 방지하는 것도 있다. (3) 필요에 따라 사수대책을 취한다.
공기밸브	(1) 관내압력이 저하하여 부압으로되면 공기밸브에 의해 공기가 관내에 들어와 큰 부압발생을 방지한다. (2) 수도용의 규격품이 있고, 저가이고 간편하다.	(1) 관내에 들어온 공기가, 토출수조로부터의 실양정에 의해 송수관내에 역류가 생겨, 공기가 관외로 배출된다. 따라서 공기밸브가 폐쇄할 때에 역류가 급격하게 닫혀지는 것에 의해 큰 압력상승이 생긴다. 압력상승치는, 수주분리의 재결합시보다 크게되는 것도 있다. (2) 상수에서는, 찌꺼기의 혼입방지등 관리방법을 검토 할 필요가 있다. (3) 하수등, 막힘이 염려되는 경우에는 적용할 수 없다.
송수관의 구경증대	정상송수시의 유속을 내리는 것에 의해, 수격발생시의 유량변화율이 작게되고, 압력저하가 경감된다.	
송수관의 부설 레벨의 변경	관로의 불록부등에서 부압이 큰 부분에 대해서, 관로부설레벨을 내리는 것에 의해, 관로에 대한 압력저하가 경감할 수 있다.	매설깊이가 깊게되는등, 현실적으로는 곤란한 경우가 많다.
자폐식 역지밸브(급폐식 역지밸브) 역지밸브의 밸브몸체를 급폐시키는 방법으로서, 스프링식, 밸브좌경사식이 있다.	(1) 펌프 토출측의 역지밸브가 폐쇄지연되면 충격음을 수반하고, 큰 압력상승을 생기게 하기 때문에, 스프링 등의 힘으로 폐쇄지연을 작게한다. (2) 압력상승은, 실양정의 약2배로된다.	(1) 효과는 단지 폐쇄지연에 의해 생기는 이상압력을 방지하는 것에 국한되며, 수주분리에 대한 효과는 없다. (2) 대구경의 밸브에서는 밸브판을 복수매로 해서 1매당의 밸브관성력을 작게하여 폐쇄지연을 적게 할 필요가 있다.

7. 수격

표 7·2 수격작용의 방지책 (3/3)

방 지 책	효 과 와 특 징	주 의 점
바이패스 완폐식 역지밸브 자밸브 완폐식 역지밸브	(1) 주밸브는 급폐하지만, 바이패스밸브를 천천히 폐쇄하는 것에 의해, 물을 흡입측으로 역류시켜 토출 관로측의 압력상승을 경감시킨다. (2) 바이패스 밸브의 폐쇄시간의 목표는, 압력파의 왕복시간의 5~6배로 한다.	(1) 역류시에, 펌프, 전동기가 역전하는 것이 있다. (2) 완폐식역지밸브에는 주밸브 완폐식도 있지만, 수격대책으로는 적당하지 않다.
유압구동밸브	(1) 동력소실후, 유압등의 구동장치에 의해 로타리밸브, 버터플라이 밸브를 폐쇄해서, 역지밸브의 역할을 겸한다. (2) 역류를 생기지 않도록 급폐시킨 경우와, 역류를 생기게 하여 천천히 폐쇄해서 압력상승을 경감시키는 경우가 있다. (3) 대용량·고양정펌프의 토출밸브에 적합하다.	구 동력으로서 유압원등의 장치가 필요하다.
토출밸브의 폐쇄방식을 두가지 다른 스피드로 한다.	(1) 밸브를 중간개도까지는 빨리 폐쇄하고, 유량이 크게 변화하는 소개도 부분을 천천히 폐쇄하는 것에 의해, 유량변화율을 작게하고, 압력저하를 경감시킨다. (2) 전동밸브의 경우는 통상 소개도 부분을 폐쇄와 정지를 반복하는 것에 의해, 천천히 폐쇄시킨다.	(1) 밸브 구동부 내부에 중간개도 리미트스위치를 요한다. (2) 중간개도의 설정치 및 폐쇄·정지의 타이밍은 계산에 의해 구한다.
안전밸브	(1) 설정압력 이상으로되면 밸브를 열고, 물을 빼서 압력상승을 방지한다.	동작지연에 의해, 충분한 효과가 얻어지지 않는 경우가 있다.
릴리프(surge suppressors)	(1) 동력소실 검지시 직류구동에 의해 밸브를 열고, 물을 빼서 압력상승을 방지한다.	동작지연에 의해, 충분한 효과가 얻어지지 않는 경우가 있다.
바이패스 역지밸브 (흡입측 집합관과 토출측 집합관 사이에 역지밸브를 붙인 바이패스관을 설치한다.)	(1) 증압펌프장의 흡입측 관로의 압력상승을 바이패스 역지밸브에 의해 토출측에 물을 빼는 것에 의해, 경감한다.	흡입측 관로의 압력상승과 토출측 관로의 압력저하의 타이밍에 의해 충분한 효과가 나타나지 않기 때문에 충분한 검토를 요한다.

7.1.7 수주분리현상

수격현상발생시에 최저압력이 포화증기압까지 저하하면 공동이 생긴다. 이 현상을, 수주분리현상이라부르고, 토출조속으로부터의 실양정에 의한 역류에서 공동이 소멸할 때 (수주의 재결합)에 대단히 높은 압력이 발생하는 것이 있다. 통상은 수주분리현상을 피하도록, 필요에 따라서 대책을 취하고 있지만, 예를들면 화력발전소의 순환수 펌프 계통등과 같이, 수주분리를 피할 수 없는 경우도 있다.

수주분리를 허용할 때에는, 사전의 해석을 행해 다음에 유의하는 것이 필요하다.

- ① 압력상승치가, 기기·관로의 허용압력을 상회하지 않을것.
- ② 포화증기압에 의해 관로가 파손될 염려가 없을 것.
- ③ 기기·배관의 서포트(지지)가 견고할 것. 압력이 허용되더라도, 수주분리가 따르는 수격현상에서는 압력변동이 상하로 심하기 때문에 기기·배관의 진동에 의해 소음이 발생하는 경우가 있다.

7.1.8 그외 수격현상

1)펌프체절 시동시의 공기정체에 의한 수격현상

펌프체절시동의 경우에 토출밸브 전의 배관중의 공기정체에 의한 이상압력 상승이 발생할 위험성이 있다. 공기 정체의 용량에 의해 압력 상승치가 변하며 최악의 경우 펌프 체절 압력의 약8배 이상의 압력이 발생한다. 이러한 압력상승을 피하기 위해서는 설계시공에 대한 충분한 검토가 필요하다.

2)역지밸브의 슬래밍시

압력상승 스위치 역지밸브가, 펌프 정지시에 크게 충격을 내며 닫히는 현상을 역지밸브의 슬래밍이라 한다. 역지밸브 폐쇄시에 대소의 슬래밍을 일으킨다.

특히, 병렬운전시의 펌프 1대가 트립하는 경우와 토출측에 에어 챔버를 설치한 펌프가 트립한 경우에 격한 슬래밍이 생겨 큰 압력상승이 발생하고 따라서 그 크기를 예측하는 것이 안전대책상 중요하다.

슬래밍 발생시의 압력상승의 크기는, 밸브의 형태 동력 손실후 역지밸브에서의 유속변화율(dv/dt)에 의해 결정된다.

7.1.9 수격현상의 검토에 필요한 자료

수격해석을 정확히 행하기 위해서는, 정확한 기본조건, 경계조건, 운전조건 등의 데이터가 필요하다.

①송수 시스템의 사양

송수계통도, 관로종단도, 액질, 온도, 계획(최대)송수량, 표고

②송수관로 사양

관의 재질, 내경, 살두께, 길이, 저항계수, 허용압력

③펌프의 사양

형식, 토출량, 전양정, 회전수, 축동력, GD^2 (펌프 및 원동기), 병렬운전대수, 운전조작조건

④밸브의 사양

종류, 구경, 폐쇄속도, 조작조건, 저항특성

⑤수조의 사양, 설치위치

흡입수조 (수위 ~ HWL, LWL)

토출수조 (수위 ~ HWL, LWL, 수중방류 or 대기방류)

서지탱크 (수위, 치수, 연결관의 형태)

에어챔버 (수위, 용량, 치수, 연결관의 형태)

공기밸브 (규격, 사이즈)