

수격소음의 방지대책

Preventive Measure for Water Hammering

白 春 基*
Choon Kee Peak

要 約

建築物의 設備을 管理하는 과정에서 向後 심각히 검토될 관심사로는 騒音과 振動을 들 수 있다.

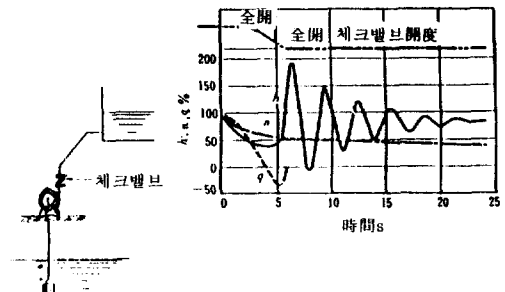
配管系統에서 發生하는 워터햄머는 騒音과 振動의 主된 原因이 되고 있으므로 本 稿에 서는 특히 住宅部門에서의 워터햄머에 대한 發生原因과 對策을 提示하였다.

1. 水擊作用과 發生原因

급수전, 밸브 등으로 관내 유체의 흐름을 순간적으로 차단시키면, 폐쇄된 지점 상류측 壓力이 上昇하게 되고, 上昇壓力은 壓力波가 되는데, 이것이 폐지점과 관 내부를 왕복하면서 衝擊에 의한 騒音 및 振動을 發生시킨다. 이러한 현상을 워터햄머(water hammer)라 하고 正常壓보다 높아진 異常壓力을 水擊壓이라 한다. 그림 1은 시간에 따라 변화하면서 減衰해 가는 水擊壓의 개념을 보여준다.

이러한 현상은 급수 배관내의 흐름을 막거나 凝縮水가 남아있어, 냉각된 蒸氣管에 다시 증기를 보내는 경우 등에 發生한다. 과도한 워터햄머는 배관 및 기기류, 이음쇠 및 밸브류 등 시스템을 振動시키거나 衝擊音을 發生시킬

뿐만아니라, 손상을 일으키고 누수의 原因이 된다.



주) 그림에서 h, n, g는 펌프 정전시 나타나는 壓力, 회전수 및 유량을 표시하며, 이들 값의 변화와 체크밸브 開度변화를 나타낸 것이다.

그림 1 워터햄머에 의한 壓力변동

2. 워터해머 解析方法

워터해머에 의해 발생하는 水擊壓은 밸브의 폐쇄시간 T 가 水擊壓이 傳波되는 배관재의 길이 L 을 왕복하는 시간 및 폐쇄되는 시간의 정도에 따라 크기가 결정된다. 그림 2는 각종 배관의 유속을 1m/s로 고정하였을 경우 발생하는 水擊壓의 정도를 나타내는 도표이며, 水擊壓 추정을 위한 내용은 다음과 같다.

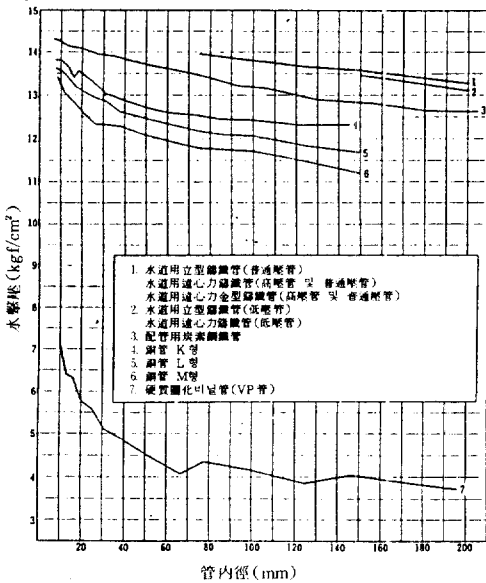


그림 2 각종 배관의 유속을 1m/s로 고정하였을 때 발생하는 수격압의 크기

2.1 배관내 壓力波의 傳播速度

배관내 압력파의 전파속도 α 는 식(1)로 계산된다.

$$\alpha = \frac{\sqrt{\frac{K \cdot g}{\gamma}}}{\sqrt{1 + \frac{K}{E} \cdot \frac{d}{t}}} \dots (1)$$

식에서 H = 急速閉鎖의 경우에서 수격압에 상당하는 수두(mAq)

K = 물의 체적 탄성계수 (= $2.1 \cdot 10^8$ Kg/m²)

E = 배관재의 종탄성계수

강철 : $2 \cdot 10^{10}$ Kg/m²

주철 : $1 \cdot 10^{10}$ Kg/m²

동 : $1.3 \cdot 10^{10}$ Kg/m²

D = 관 내경(m)

t = 관 두께(mm)

γ = 물의 비중량 (= 1000 Kg/m³)

g = 중력 가속도 (= 9.8m/s²)이다.

2.2 水擊壓의 決定

길이 L 인 관로 말단에 있는 밸브로 폐쇄하였을 때 발생하는 上昇 壓力波는 속도 α 로 전파되어 L/α 시간 후에 관로 말단에 도달하고, 다시 負의 壓力波가 반사되어 $2L/\alpha$ 시간후에 밸브端到에 도착한다. 밸브 폐쇄에 걸린 시간을 T 라고 할 때 $T \leq 2L/\alpha$ 일 경우를 밸브 急速閉鎖라 하고 그 반대의 조건을 완속폐쇄라 한다. 그러나 緩速閉鎖時에 발생하는 水擊壓의 크기를 결정하는 방법은 急速閉鎖時의 경우에 비하여 다소 복잡하기 때문에 일반적으로 약산식 등을 이용하여 해석하고 있다.

1) 배관계통을 急速閉鎖시킬 경우의 水擊壓

$$H = \frac{\alpha \cdot v}{g} \dots (2)$$

2) 배관계통을 緩速閉鎖시킬 경우의 水擊壓 - L. Alliévi의 약산식

$$H = n \cdot [1/2 \cdot n \pm \sqrt{1/4 \cdot n^2 + 1}] \cdot H_0 \dots (3)$$

3) M. M. Warren의 약산식

$$H = \frac{L \cdot v}{g \cdot (T - L/\alpha)} \dots (4)$$

식에서 α = 壓力波의 傳播速度 (m/sec)

H = 완속폐쇄의 경우에서 수격압에 상당하는 수두(mAq)

L = 수격압을 전달하는 배관의 길이 (m)

v = 유속 (m/sec)

g = 중력 가속도 (= 9.8m/s²)

T = 밸브 등을 폐쇄하는데 소요되는 시간을 표시한다.

3. 워터해머의 發生 防止對策

3.1 밸브조작에 따른 워터해머

1) 발생원인

유체가 送水되는 도중 밸브를 조작할 경우, 이에따른 배관 내에서 異常壓力 발생 및 시스템의 진동을 초래할 수 있다. 플러시 밸브나 기타 수전류를 급격히 열고 닫을때 발생하는 水擊作用은 水流를 m/sec로 표시할 때, 유속의 약 14배 정도가 된다. 따라서 밸브의 조작에 따라 발생하는 워터해머의 발생원인을 요약하면 다음과 같다.

① 給水栓, 밸브 등이 설치되어 있는 지점에서 관내 유체의 흐름을 순간적으로 차단시킬 경우, 폐쇄된 지점의 상류측 부분에서 壓力이 異常的으로 上昇하게 되어 폐지점과 관내부를 왕복하면서 격심한 충격을 발생시킨다. 그림 3은 밸브를 일정 속도로 전폐시켰을때의 最大 壓力上昇을 나타내는 도표이다.

② 액체배관의 경우에는 기체가, 기체배관에는 액체의 混入 등으로 인하여 관내의 유속이 급변하는 경우에 워터해머가 발생하게 된다.

2) 발생방지대책

① 유속에 따른 水擊作用의 발생을 가급적 억제시키기 위한 방안으로는 관경을 확대시키고, 배관 내의 유속을 1/2 B의 경우 1.8m/s로, 6 B타입은 2m/s를 限界速度로 설정한다.

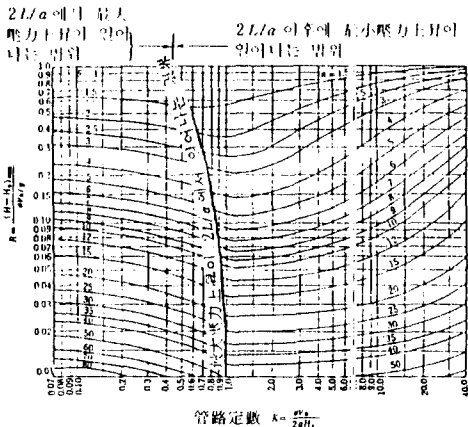


그림 3 밸브를 일정속도로 전폐시켰을 때의 最大 壓力上昇圖

② 수격 작용을 방지하기 위해서는 기구류 가까이에 공기실(air chamber)을 설치함으로써 완화할 수 있다. 공기실을 설치하면 그림 4와 같이 공기가 壓縮되더라도, 공기 자체의 壓縮性으로 異常壓力을 흡수하고 탄성에 宏音이나 충격을 방지할 수 있다. 이때 공기실의 공기는 물에 흡수되거나 밖으로 새어나가 감소되므로 보충할 필요가 있다. 또한 에어챔버는 水擊作用이 발생하는 배관재 總體積에 최소 1% 이상의 體積을 가지고 있어야 한다.

그림 5는 플러시밸브와 水栓類가 많이 설치되는 配管系에서 器具 인접부에 에어챔버를 두어 내부 공기의 압축성을 이용, 異常壓을 흡수함과 아울러 소음이나 충격을 방지하는 방법을 보여주는 것이다.

그림 5에서 공기의 補給이 필요할 때에는 (a)의 給水栓을 잠그고 退水栓을 열어 管内 流體를 排出시킨후 退水栓을 닫고, 給水栓을 열어주면 간단히 에어챔버에 공기가 채워진다.

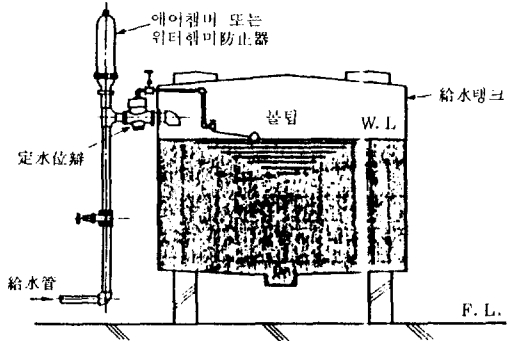


그림 4 에어챔버의 설치방법의 예

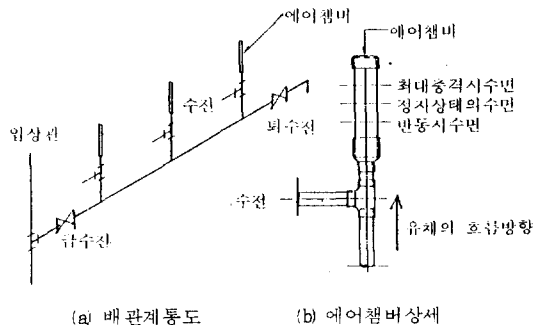


그림 5 에어챔버 設置 및 水擊防止 原理圖

에어챔버는 대개 공사현장에서 파이프를 가공하여 사용하였으나, 사실상 工學에서 요구하는 규격에 합당하지 못한 경우가 많으므로 管内流速을 고려하여 필요로 하는 空氣室體積을 기준으로 規格化되어 있는 정상 제품을 사용하여야 할 것이다.

그림 6은 配管系統에 사용되는 에어챔버의 제작 형태이며 표 1은 각 형태에 대한 특성을 비교 정리한 것이다.

에어챔버의 체적 즉 외형 치수는 管徑, 配

管길이, 管内壓力 및 流速의 조건에 따라 다르나 屋內配管의 일반적인 조건에 대한 권장 규격은 表 2와 같다.

③ 負壓 發生個所에 吸氣弁을 설치하여 공기를 자동적으로 흡입시켜 異常負壓을 경감시킨다. 공기 흡입지점에서 하류측의 자연유하가 발생되고 있는 경우에는 문제가 없지만 그 이외에는 흡입공기에 따라서 오히려 水擊作用이 촉발되는 경우도 있으므로 이에 주의를 요한다.

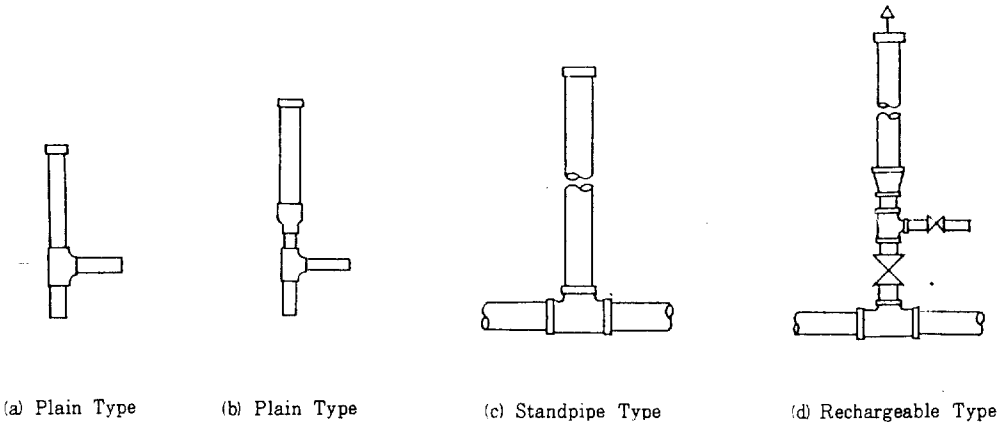


그림 6 에어챔버의 製作 形態

表 1 製作 形態別 用途 및 特性

區 分	(a) Plain Type	(b) Plain Type	(c) Standpipe Type	(d) Rechargeable Type
適 用	器具 및 裝備까지의 給水管	左 同	主 管	支管의 末端 또는 主管
製作內容	給水管과 同一 口徑을 延長하고 靫을 씌움	給水管보다 큰 口徑을 사용하고 靫을 씌움	主管과 同一口徑을 使用하고 靫을 씌움	Air Vent 給水栓, 水栓을 두어 空氣의 補給이 가능토록 製作
特 性	필요공기 體積을 고려하여 길이가 길어야 함	(a) 방법보다는 配管 길이가 적음	管徑이 크므로 配管 길이는 짧음	空氣 補給이 가능하므로 길이가 짧음

表 2 에어챔버의 외형치수

管 徑		配 管 長 (m)	管 內 壓 力 (kg/cm ²)	速 度 (m/sec)	Air 體 積 (cm ³)	Chamber 規 格
A	B					
15	1/2	7.62	2.04	3.05	131.10	20A× 38.10 cm
15	1/2	30.48	4.08	3.05	983.22	25A× 176.53 cm
20	3/4	15.24	4.08	1.52	213.03	25A× 38.10 cm
20	3/4	60.96	2.04	3.05	1,769.80	32A× 184.15 cm
25	1	30.48	4.08	1.52	311.35	32A× 32.26 cm
25	1	15.24	2.04	3.05	655.48	32A× 68.58 cm
32	1 1/4	15.24	4.08	3.05	1,802.58	40A× 137.16 cm
40	1 1/2	60.96	2.04	1.52	1,474.84	50A× 68.58 cm
40	1 1/2	15.24	4.08	3.05	2,785.80	50A× 128.27 cm
50	2	30.48	2.04	3.05	5,391.34	80A× 113.03 cm
50	2	7.62	4.08	3.05	2,458.06	65A× 78.74 cm
50	2	60.96	4.08	1.52	4,916.12	80A× 102.87 cm

3. 2 배관계통의 워터해머

1) 발생원인

배 관계통에서의 워터해머는 펌프가 급정지할 경우에 발생하는데, 그 발생과정은 밸브 조작 계통에 비하여 상당히 복잡하다. 따라서 배 관계통에서의 워터해머 발생원인을 요약하면 다음과 같다.

① 운전중에 펌프가 갑자기 동력을 상실할 때 펌프는 자체의 慣性力만으로 운전하기 때문에 회전수의 저하와 더불어 양정과 유량이 감소하게 되지만 관내의 유체는 慣性力으로 揚水를 계속 유지하려 하기 때문에 펌프의 吐出部分에서 발생하는 壓力波가 定常壓力보다 저하하게 된다. 따라서 펌프의 회전속도가 일정한도 이하로 내려가게 될 경우, 양수 불능 상태가 되어 管內의 水柱가 분리되면서 관성력의 平衡가 무너져 순간적으로 逆流가 된다.

② 일반적으로 吐出側에는 펌프본체 및 임펠러의 보호를 위해서 체크 밸브가 설치되어 있기 때문에 체크 밸브의 급격한 조작에 따라 워터해머가 발생하게 된다.

③ 기타의 발생원인으로는 吐出管의 壓力이 飽和蒸氣壓 이하로 될때 물은 증발되기 시작하는데, 이때 유체내의 공기가 방출되면서 水

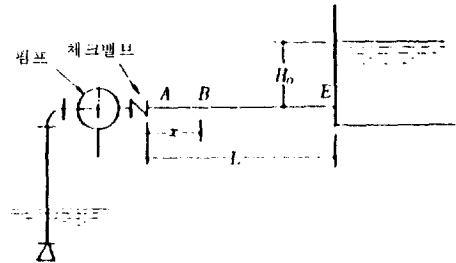


그림 7 펌프의 수격현상

柱分離 현상이 발생하며, 분리된 수주가 다시 재결합할 때 격심한 수격압이 발생된다.

2) 발생방지대책

① 慣性力의 平衡가 무너지기 이전에 吐出側의 체크 밸브에서 처음에는 빠르게, 나중에는 완만하게 폐쇄시킬 수 있는 二段動力 구조의 체크 밸브를 사용하는 것이 유리하다. 스윙형의 체크 밸브는 사용할 때 내부 마찰력 등에 따라 逆流가 시작되어 급격하게 폐쇄될 수 있기 때문에 부적당하다.

② 수격방지 기구는 橫支管 端末部에서 2개의 워생기구 공간에 설치하는 것이 原則이나, 지관의 길이가 6m를 초과할 경우에는 추가로 1개의 防止器具를 설치해야 하고, 防止器具 용량은 급수기구 단위에 따라 설정한다.

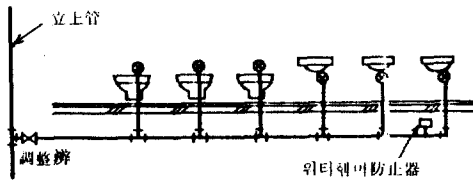


그림 8 워터해머 방지기구의 설치방법

③ 負壓 發生 個所에는 서어지 탱크를 설치하고, 물을 탱크에 充水시켜 負壓을 경감시키면서 壓力上昇을 유도한다. 대규모 상수도, 공장용수 등을 사용하는 시스템의 수격방지에 흔히 서어지 탱크가 사용된다. 서어지 탱크는 펌프 정전직후에 負壓이 생긴 경우 이를 보충하고, 壓力上昇時에는 오버플로우시켜 수격을 방지한다. 서어지 탱크와 관로 사이에 체크 밸브를 설치하여 관내로 유입시키는 작용만이 가능한 것을 1방 서어지 탱크(1 way surge tank)라고 한다. 이것은 壓力上昇경감에는 효과가 없으나, 탱크 용량이 작아도 되므로 경제적이다. 서어지 탱크 대신 펌프 吐出側에 베레레이터를 설치하여도 水擊作用을 경감시킬 수 있다.

④ 펌프에서는 플라이휠을 설치하여 慣性回轉을 크게하여 급정지를 피하고, 펌프 吐出側에 공기실을 설치하여 壓力波 에너지의 흡수 및 방출을 유도한다. 이것은 펌프에 플라이휠을 달아 회전부의 慣性重量을 크게 함으로써, 정전시에 펌프를 가급적 천천히 멈추게 하고 펌프 吐出側의 급격한 壓力 降下를 방지하여 이의 반작용으로 일어나는 큰 수격압을 막고자 하는 것이다. 펌프의 慣性重量이 커지면 壓力上昇이 작아지는 것은 Parmakian이 도표화하여 실무적으로 사용되고 있다.

⑤ 異常 壓力 上昇 個所에 체크 밸브를 설치한다. 체크 밸브가 열리면 급격한 壓力변화가 발생하여 시스템 전체가 진동할 우려가 있다.

(a) 自閉式 체크 밸브

펌프 토출구에 설치하는 체크밸브는 밸브스핀들 등 가동부의 기계적 마찰때문에 펌프 정지시 逆流이 시작되더라도 한참동안 폐쇄되지 않고 逆流速度가 어떤 크기가 되었을때 폐쇄

된다. 이 때문에 밸브의 폐쇄 순간에 불필요하게 큰 수격이 생겨서 송수관에 무리한 충격을 주게된다. 自閉式 체크밸브는 이것을 방지할 목적으로 밸브자체를 스프링 또는 重錘 등에 의해 강제적으로 자폐토록 한 것이며, 逆流開始의 순간에 밸브는 이미 닫힌 상태에 있도록 하여 수격현상을 경감시킨다. 자폐식 체크밸브는 일반적으로 구조가 간단하고 값이 싸므로 建築用, 水道用 등 소규모의 送水設備에 사용된다.

(b) 緩閉式 체크밸브

緩閉式 체크밸브는 체크밸브에 대쉬포트를 연동시켜 관내의 물이 逆流할 때 밸브에 저항을 주어 폐쇄시간을 길게하여 수격의 발생을 방지하는 것이다. 보통은 밸브를 주밸브와 바이패스 밸브로 나누어, 주밸브는 보통의 체크밸브로 하고 바이패스 밸브쪽에 유입 대쉬포트를 장치한 것이 많다. 대쉬포트의 피스톤 상하를 연결하는 관 중에 조정용 첩밸브를 달아 바이패스 밸브 閉鎖時間을 조정할 수 있게 하고 있다. 완폐식 체크밸브는 구조가 간단하여 중규모의 送水設備에 널리 사용하고 있다. 그러나 閉鎖時間을 길게하는 것이 어려워 긴 송수관에 사용하는 것은 무리이며, 송수관의 길이는 500~600 m를 한도로 한다.

(c) 自動 壓力調整 밸브

自動 壓力調整 밸브는 송수관 도중의 펌프에 가까운 위치에 설치되며, 정전과 동시에 자동적으로 열려서 송수관의 물을 송수한 다음 서서히 닫혀서 수격을 발생을 방지하는 것이다. 정전과 동시에 슬레노이드 밸브에 의해 파일럿 밸브를 작동시켜 油壓을 밸브 상부의 실린더로 보내서 피스톤을 하행시켜서 밸브를 연다. 밸브가 전개되면 자동적으로 파일럿밸브가 교체되고 油壓의 작용으로 밸브를 완폐한다. 自動 壓力調整밸브는 정전후 급속히 바이패스를 열고 자유로운 완폐시간 조정이 가능하여 확실하게 수격을 방지할 수 있어 대규모, 高揚程의 송수관에 이용된다. 또 水柱分離를 일으킬 염려가 있는 경우에는 바이패스관을 흡수면에 沒入시켜 수압이 내려간 경우 여기에 흡수시켜 負壓을 경감시킨다. 일반

적으로 밸브의 내경은 송수관의 1/3~1/4로 잡는 것이 보통이다.

4. 結 論

4.1 배관계통의 워터햄머를 방지하기 위한 對策

水擊壓은 유속에 비례하기 때문에, 給水管에서 워터햄머를 방지하기 위해서 기본적으로 管内流速을 낮출 필요가 있다. 따라서 유속은 일반적으로 1.5~2m/s의 범위로 설정한다. 그러나 유속은 끊임없이 변화하기 때문에 실제로 급수설비에서 壓力을 안정하게 유지시키는 것은 용이하지 않다. 따라서 다음과 같은 장소에는 워터햄머의 방지를 위한 고려가 반드시 필요하다.

- 관내 常用壓力이 현저하게 높은 곳
- 수온이 높은 곳
- 굴곡이 심하거나 복잡하게 구성되어 있는 배관부
- 전자조절변 및 急閉鎖形 水栓 등을 사용하는 곳
- 볼랩처럼 수면의 위치에 따라 개폐를 반복하는 장소에 대해서는 수격압을 흡수하는 에어챔버나 워터햄머 방지기 등을 설치해야 한다

다. 냉온수 배관계통에는 充壓탱크를 설치한다. 급수, 급탕계통에는 벨로즈와 다이어 프레임을 사용한 소형의 緩衝式 水擊防止器具를 설치하는 것이 효과적이다. 워터햄머 방지에 사용하는 충격흡수장치에는 크게 벨로즈 타입이나 에어백 타입으로 대별된다(그림 9 참조).

4.2 管路에 있어서 水柱分離 防止對策

펌프의 慣性效率를 변화시키거나, 縮壓槽(워터햄머 방지기 등)를 설치하여 관로의 조건을 변경시키는 것이 필요하며 펌프와 揚水탱크와의 거리가 떨어져 있을 때, 揚水用的 橫走管은 가급적 낮은 위치에 설치하여 관내 負壓의 발생을 억제할 수 있는 배관법을 고려할 필요가 있다(그림 10 참조).

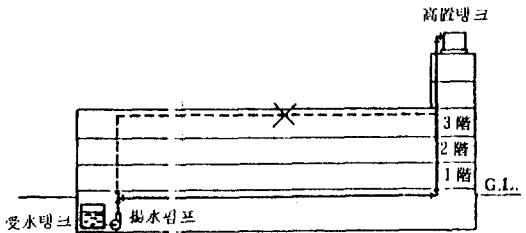


그림 10 양수펌프와 고층탱크 등이 평면적으로 떨어져 있는 경우, 水擊作用의 발생을 억제하기 위한 횡관설계 개념도

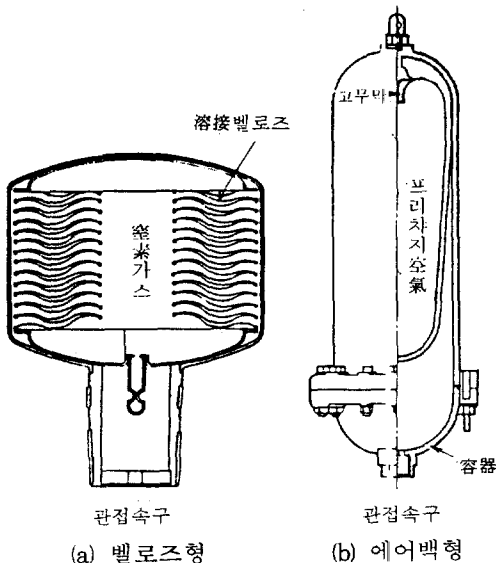


그림 9 충격흡수장치

參 考 文 獻

1. 공기조화·냉동공학회, “공기조화·냉동·위생공학 편람”, Vol. 1, 1989.
2. 空氣調和·衛生工學會編, “給排水·衛生設備의實務의知識”, 오ーム社, 1989.
3. F. M. Dawson and A. A. Kalinske, Iowa Institute of Hydraulic Research. “Water supply piping for the Plumbing system”