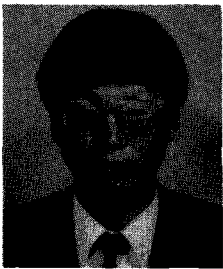


# 수격작용에 의한 사고 및 처리 방안



글/박종섭

(주)대우엔지니어링 화공사업본부 기계부 차장

## 1. 머리말

관속을 충만해서 흐르고 있는 액체의 속도를 급격히 변화시키면 액체에 심한 압력의 변화가 생기는데 이러한 현상을 수격작용(Water Hammering)이라고 한다. 이러한 수격작용이 발생되지 않도록 적절한 방법을 채용하는 것은 Pump 설비의 계획상 매우 중요한 일이다. 하지만 이미 설치된 Pump에서 Water Hammering이 발생하고 있다면 이를 해소하는 방안을 강구하는 것 또한 불가피한 일이다.

수격작용에 대한 원론에 대해서는 이미 많은 참고서적이 있으므로 본 글에서는 이에 대한 소개는 생략하고 수격작용에 의한 사고 및 처리 방안을 소개한다.

## 2. 수격작용

수격작용은 관속을 충만하여 흐르는 유체의 속도를 급격히 변화시키는데서 발생하게 된다. 즉, 관속을 흐르는 유체의 운동 에너지가 압력 에너지로 변하는데서 기인하는 동적 압력 변화를 수격작용이라고 하는 것이다. 흔히 경험할 수 있는 바와 같이, 수도꼭지를 매우 급격히 잠글때 소리가 나고 배관이 흔들리는 것이 수격작용이다.

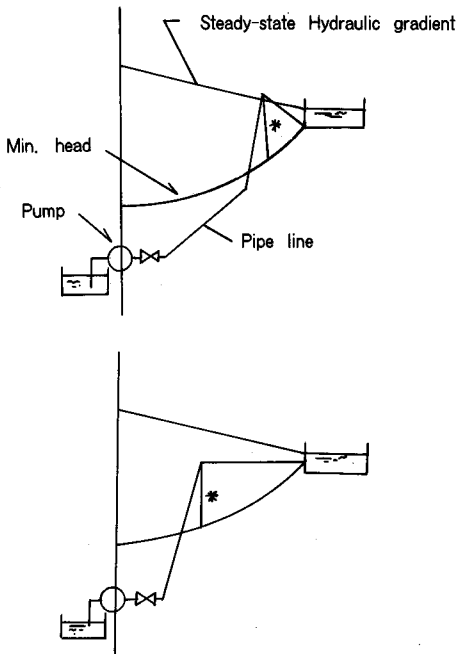
이러한 현상은 수도꼭지를 잠글때 관로 중의 물이 급격히 감소함으로써 압력이 상승하는 것에 의한 것이다. 이와 유사한 경우로 Pumping System에서 Pump의 정지, 밸브의 조작 또는 다른 원인에 의하여 유속이 변할때 수격작용이 발생하고 결국은 Pump, 배관 또는 Fitting 류를 파손시킬 수도 있다. 또한 유체의 Vapour Pressure 이하로 압력이 강하되는 경우에는 증기 공동이 형성되어 배관내에서 수주분리가 생긴다. 분리된 수주의 재 결합시 수두의 증가는 System을 파손시킬 수도 있다. 따라서 배관 설계시에는 이러한 압력상승이나 수주분리에 충분히 견딜수 있는 강도를 고려해야 한다.

Pumping System에서 수격작용은 대개 다음과 같은 경우에 발생한다.

- ① 펌프 기동시
- ② 펌프 정지시
- ③ 펌프 회전수 조절시
- ④ 제어 Valve 조절시

압력 상승 또는 저하의 크기는 유속변화속도와 배관의 길이에 의하여 달라진다. 대개의 경우 수격작용은 Pump 전동기 전원 공급이 정전등에 의하여 갑자기 차단되거나 그와 비슷한 상황에서 발생할 때가 가장 많다. Pumping System에서 발생하는 수격작용에 의한 피해는,

- ① 압력 강하에 의한 배관의 파손
- ② 수주분리후 재결합에 의한 압력 상승으로 배관의 파손
- ③ 압력 상승에 의한 펌프, Valve, 관로 등의 파괴
- ④ Pump 및 원동기의 역회전에 의한 사고 발생
- ⑤ 굉음 및 진동의 발생
- ⑥ 자동제어계(특히 압력제어계)의 오동작



※ 수주 분리에 의한 부압의 크기

〈그림 1〉 수격작용이 발생할 수 있는 배관계

Pumping System에서 다음과 같은 조건이 성립한다면 필히 수격작용에 대한 대책을 강구하여야 한다.

- ① Total Head : 20m 이상
- ② Actual Head : 15m 이상
- ③ 배관 길이 : 200m 이상
- ④ Valve 개폐 시간 : 30초 이내
- ⑤ Pump의 Suction 배관이 매우 길때
- ⑥ 배관계가 위의 그림과 같을 때

### 3. 수격작용의 방지 장치

수격작용에 대한 만능적인 대처방안은 없다. Pumping System과 대응, 장비, 가격 등을 고려하여 대처방안을 찾아야 한다.

#### 가. 압력 강하의 방지

##### (1) Flywheel

Pump의 회전수가 감소하여 관로내의 유속이 급속히 변하는 것을 방지하려면 Pump에 Flywheel을 장착하여야 한다.

설치하려고 하는 Flywheel이 클 때에는 지분 Bearing이 수반되어야 하고 설치 공간도 넓어진다.

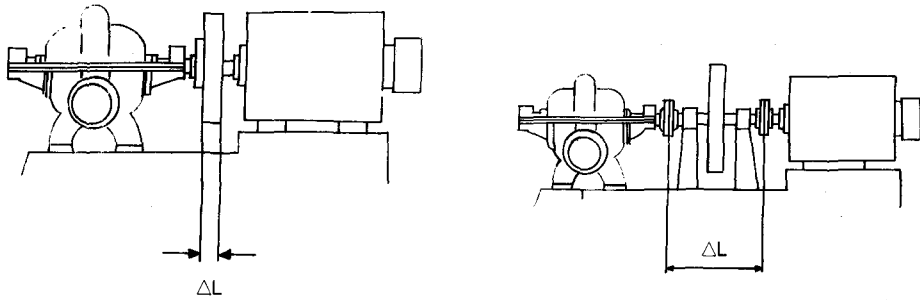
Flywheel을 설치한 Pump 기동시에는 많은 Torque를 필요로 하기 때문에 전동기의 기동 Torque와 전원 용량을 필히 점검하여야 한다. Flywheel을 사용하는 것은 설치가 간단하고, 비용이 적게들며, 신뢰도가 높고, 유지 보수가 간편하므로 가능하다면 가장 우선적으로 고려할만하다. 하지만 Submersible Pump 또는 Vertical Pump에는 적용할 수 없다.

##### (2) Conventional Surge Tank

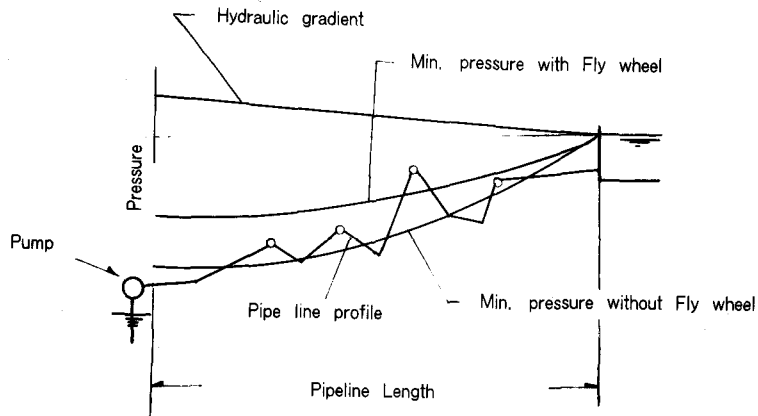
관로 도중에 Surge Tank를 설치하여 관내 압력의 강하 및 상승에 대하여 즉각적으로 대처하는 방법이다. 신뢰도가 가장 높고, 가장 안전한 방법이지만 관내 압력이 높을 경우 높은 Surge Tank를 설치하여야 하므로 건설비가 많이 든다.

##### (3) One-way Surge Tank

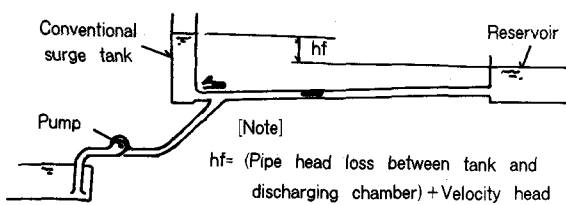
관내의 정압을 Check Valve로 분리하므로 Water Level이 낮아져도 된다. 추운 지역에서 사용시 방동조치가 필요하고, 특히 식수 공급시에는 Tank 내의 물을 주기적으로 교체하여야 하므로 자동 교체용



〈그림 2〉 Flywheel이 설치된 Pump



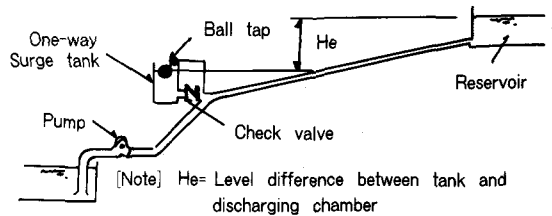
〈그림 3〉 Flywheel의 효과



〈그림 4〉 Surge Tank의 설치

Pump를 추가 설치하여야 한다. Pump 실 제어실에서 Tank 내의 Water Level을 점검할 수 있도록 한다.

(4) Air Chamber



〈그림 5〉 One-way Surge Tank의 설치

정상적인 Air Chamber에는 다음과 같은 부속 장비를 설치하여야 한다.

- ① 공기 압축기
- ② 공기 배출용 Magnetic Valve

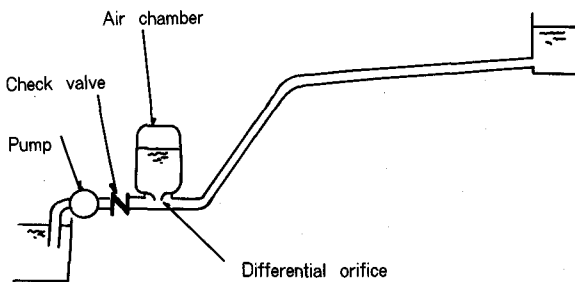
- ③ Water level detector
- ④ Safety Valve
- ⑤ Differential Orifice 또는 by Pass check Valve Air Chamber의 효율을 좋게하기 위하여 Chamber로 역류하는 유체의 양을 줄여주는 용도.

Air chamber는 Conventional 또는 One-way Surge tank에 비하여 다음과 같은 장점이 있다.

- ① Pumping station에 설치하는 1개의 Air Chamber로, One-way Surge Tank를 여러개 사용해야 될 매우 긴 관로의 수격작용을 해소시킬 수 있다.
- ② Conventional surge tank에 비하여 설치 면적이 작다.
- ③ Conventional surge tank 설치시에는 필요한 토목공사가 필요 없다.
- ④ Air chamber는 Horizontal 또는 Vertical type 모두에 사용 가능하고 지상 설치 및 지하 매설 모두 가능하다.
- ⑤ 폐소형이므로 유체의 종류에 거의 구애 받지 않는다. 예를 들어 악취가 발생하는 하수 송수 및 가연성 유체에도 적용할 수 있다.

(5) 기타의 방법

- ① 관경을 크게하여 유속을 저하시킨다.
- ② 관로를 변경한다.
- ③ 관로의 정점에 Air Valve를 사용한다.



〈그림 6〉 Air chamber의 설치

나. 압력 상승의 방지

- (1) 폐소 지연 Check-valve

저양정의 경우에 적합한 방법으로 소형에서는 Check Valve를 서서히 닫히는 형식으로 하고 중·대형에서는 Check Valve에 by-pass를 두어 by-pass line이 서서히 폐소되도록 설계한다.

(2) 급폐식 Check-Valve

관로에 역류가 생기기 직전 유체의 흐름이 느려지면 바로 폐소되는 형식의 Check Valve를 사용하여 부가적인 압력 상승을 방지하는 방식이다. 소형에는 적합하지만 중·대형에는 적용이 어렵다.

(3) Relief Valve

관로의 압력이 이상적으로 상승하면 Relief Valve가 열려 이상 압력 상승을 방지한다.

4. 수격작용에 의한 피해 및 방지 장치의 적용

가. Pressure Surge에 의한 Concrete Pipe의 파괴



〈그림 7〉 Pressure Surge에 의한 Concrete 배관의 파괴

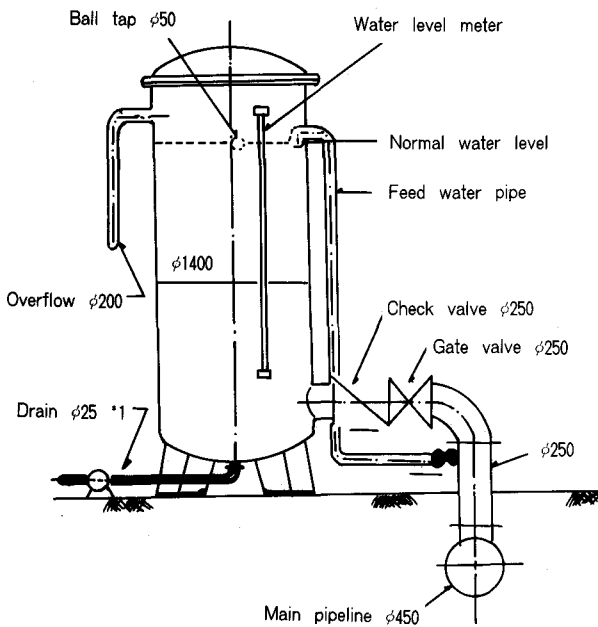
나. 수문의 피해



〈그림 8〉 수문의 전경

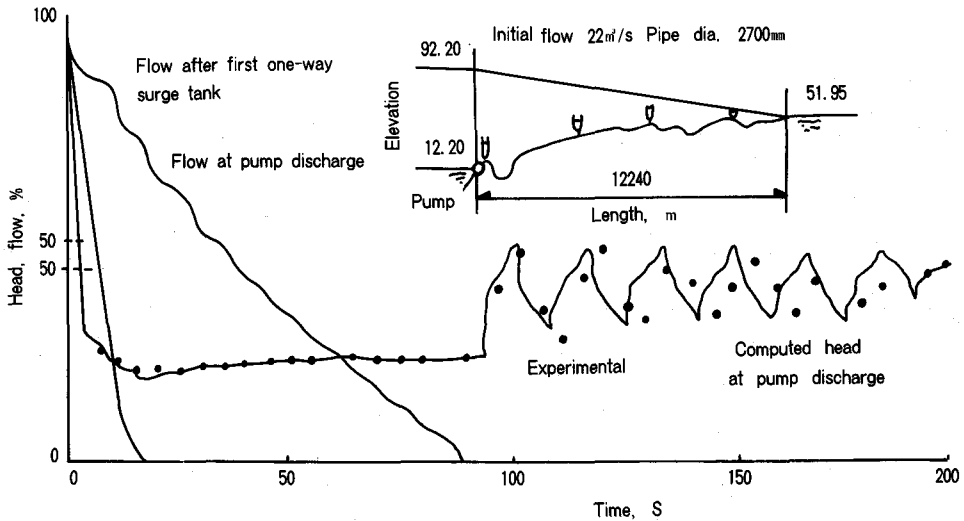


〈그림 9〉 Vacuum Upstream에 의하여 균열된 수문의 양상



—Tank 내 water 자동 교체용 Pump—

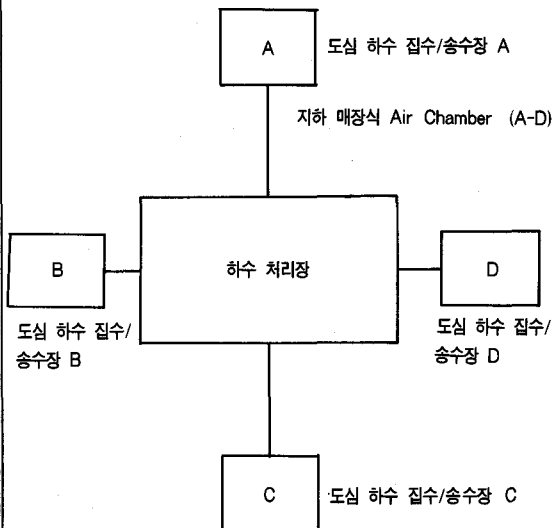
〈그림 10〉 One-Way Surge Tank Detail



〈그림 11〉 One-Way Surge Tank 4개를 사용한 배관 계에서 압력, 유량의 시간별 변화

다. One-way Surge Tank

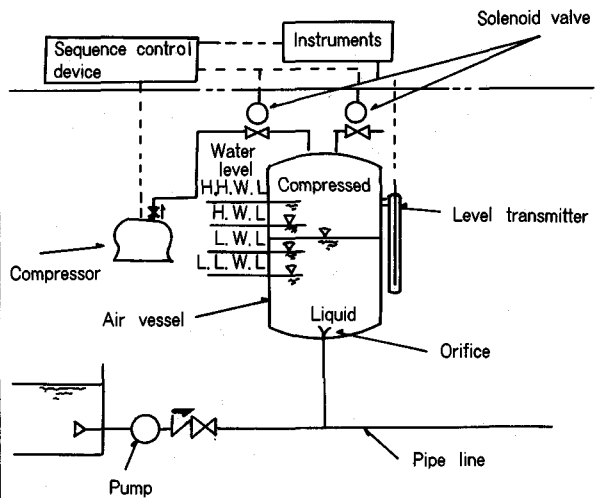
식수 송수용 관로에 적용된 실예는 〈그림 10〉 및 〈그림 11〉과 같다.



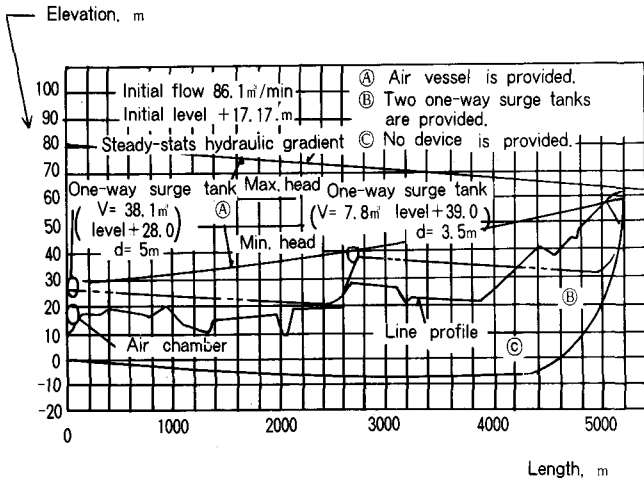
〈그림 12〉 도시 하수 처리장에 Air Chamber 사용 예

라. Air Chamber

도시 하수 처리를 위한 집수장 송수 펌프계에 적용한 사례는 〈그림 12〉-〈그림 16〉과 같다.

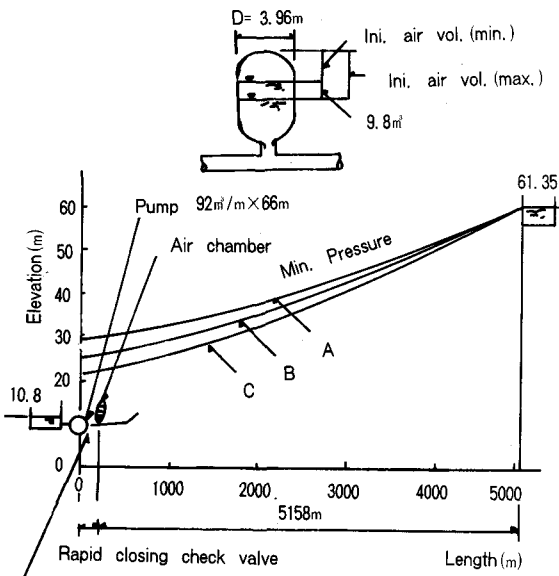


〈그림 13〉 Air Chamber System

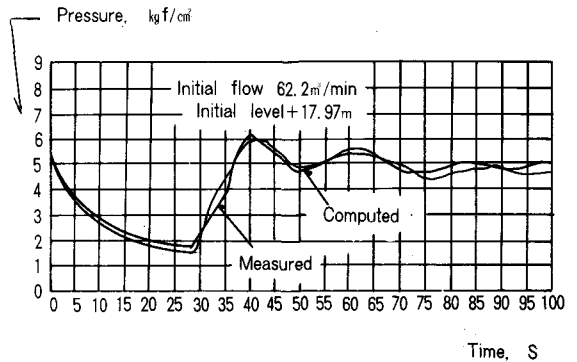


〈그림 14〉 2개의 One-way Surge Tank를 설치한 경우와 1개의 Air-Chamber를 설치한 경우의 Max. / Min.

	Ini. air Volume Min.	Min. press. @ Air Chamber	Max. press. @ Air Chamber	Estimated Total Air Chamber Vol
A	18m <sup>3</sup>	27.7m <sup>3</sup>	85.6m <sup>3</sup>	62m <sup>3</sup>
B	13m <sup>3</sup>	24.6m <sup>3</sup>	85.3m <sup>3</sup>	54m <sup>3</sup>
C	8m <sup>3</sup>	20.3m <sup>3</sup>	85.1m <sup>3</sup>	46m <sup>3</sup>



〈그림 16〉 Air Chamber 용량 변화에 대한 Max. / Min. Head의 변화



〈그림 15〉 Air Chamber 주위에서의 시간별 압력 변화

## 5. 맺음말

Water Hammering 해석을 위한 연구, 개발은 최근에 매우 활발히 진행되어 많은 Software가 개발되어 있다. 본 글에서는 Water Hammering 방지 및 적용예를 주로 설명하였는데, 이는 기 사용된 사례를 들어 적절한 방지법이 적용되기를 기대한 것이다. 향후 사례 중심의 분석 및 처리 결과가 더욱 활발히 검토되어야 한다.

## 참고문헌

1. 효성 펌프 편람, 1989, 효성 중공업(주), pp187-224.
2. 펌프의 이론과 실제, 1988, 한전 발전부, pp142-170.
3. Pump Selection and Application, 1957, McGRAW-Hill Book Co, Tyler G, Hicks, BME, pp204-205.
4. 수력 기계, 1978, 이태식/김만식 공저, 동명사, pp95-107.
5. 유체 기계, 1989, 강신영 역, 최중당, pp180-182.
6. Water Hammer Countermeasures in Pumping System, EBARA Corp. Doc. No. 509-G 26071.