

Fluid Transients **이해**
(Water Hammering, **수격현상**)

DEC.07. 2002

목 차

- 1.Fluid Transients(수격현상,Water Hammer) 이란?
- 2.Fluid Transients 의 종류
3. Fluid Transients 의 이해
- 4.Fluid Transients 의 배관계 영향
5. Fluid Transients 을 유발하는 주요 요인
6. Fluid Transients 방지 대책
- 7.Fluid Transients 해석

그림 출처: 참고도서 1. "Fluid Transients in Pipeline System", A.R.D. Thorley -1991.

1. Fluid Transients(수격현상, Water Hammer) 이란?

Fluid Transients(과도류)는 수격현상(Water Hammer)으로 잘 알려져 있는 배관계의 비정상 흐름(Unsteady Flow)을 지칭하는 용어이다. 배관계(Piping System)에서 수격현상은 물리적인 손상을 입히는 심각한 문제(Surge pressure)를 유발하기도 한다. 그러므로 일부 배관 설계 시 워터해머 또는 Fluid Transients 의 고려는 필수적이라고 할 수 있다. 이후 혼선을 피하기 위해 워터해머를 Fluid Transient 로 통일하도록 하겠다. 통상 Fluid Transients 현상은 정상적인(Steady State) 유체흐름에 외부적인 교란 환경 즉 밸브의 닫힘(Valve Closing), 펌프의 기동 또는 기동 정지(Pump Start or Stop), 스팀(Steam)과 물(Water or Cooled Condensate)의 혼합 등에 의하여 발생한 Fluid Transient 현상이 배관계의 압력을 상승시키면서 배관의 기계적 허용범위를 초과하는 경우, 때때로 배관의 파괴(Rupture), 변형(Over stress, strain), 배관 진동(Piping Vibration), 계측기기(Instrument Gauge)의 측정 범위 초과, 계측기기 내부구성품의 함몰(Collapse)등의 심각한 기계적 문제를 유발한다.

Fluid transients 는 발생 원인에 따라 몇 가지로 분류되기도 하는데 본 내용에서는 장거리 배관계에서 주로 문제되는 Hydraulic Transients 에 대하여 설명하고 나머지 부분은 소개만 하기로 한다.

2. Fluid Transients 의 종류

2.1. Hydraulic Transients (Hydraulic shock)

장거리 배관계에서 자주 관찰되는 현상으로 밸브의 급격한 개폐, 정전에 의한 펌프의 기동 정지등에 의해서 유발되는 경우가 가장 위험하며, 급격하고 과도한 압력상승으로 배관 파괴 등의 심각한 문제가 유발될 수 있다. 예를 들어 길이 750M 유속 2.5m/sec 의 물(Water) 수송관의 경우 배관계 종단의 개폐(On-Off Valve)를 1.5sec 내에 닫는 경우로, 압력전달속도(Wave Speed)를 1500m/sec 로 가정하면 이는 약 38kg/cm² 압력상승을 유발한다. 단순한 배관계의 급격한 조작(Rapid Event)으로 유발되는 압력상승은 간단한 계산식으로 개략적으로 계산될 수 있다. 그러나 복잡한 배관계와 보다 정확한 Transients 현상을 예측하기 위해서 그래프를 이용하거나 컴퓨터를 이용한 수치해석 방법을 이용해야 한다. 현재는 컴퓨터를 이용한 수치해석 방법이 주로 사용된다. 수처리(Water Treatment) 시설의 장거리의 송수 배관계와 석유화학(Petrochemical) 또는 정유(Refinery) 공장의 생산 출하 및 원유(Crude Oil)의 장거리 출하시설>Loading System Design)의 배관 설계 시 Hydraulic Transients 고려는 필수적이라 할 수 있다.

2.2 Thermal Shock (Steam Hammer)

워터해머(Water Hammer)의 일종으로 스팀과 응축수가 동시에 흐르는 배관에 발생하는 현상으로 스팀이 응축 수 사이에 갇혀 Slug Flow 를 형성하고, Slug Flow 사이에 갇힌 Steam Bubbles 들이 주변의 낮은 온도를 가진 응축 수에 의해서 급격히 함몰(Collapse) 됨으로써 발생한다. Thermal Shock 은 스팀과 물이 수평 배관계에서 Counter Flow 을 형성할 경우 발생할 수 있고, 또한 스팀 사용 기기의 스팀 공급 배관에 유량 조절 밸브(Control Valve) 상부에 적절한 응축 수 배출 System 을 설치하지 않았을 경우 Thermal Shock 이 유발될 수 있다. Thermal Shock 은 기기의 Internal Tube 표면의 부동태 피막을 파괴하여 부식 증가를 유발하기도 하고, 일부 배관에서는 심각한 압력상승의 문제를 발생하기도 한다.

2.3 Differential Shock

Thermal Shock 과 같이 Water Hammering 의 일종으로 스팀과 응축수가 동시에 동일한 배관에 흐르는 경우 (응축수 회수 배관)에 발생하며 Thermal Shock 과 다른 점은 Thermal Shock 은 Steam Bubbles 들의 주변 온도에 의한 급격한 Bubbles Collapse 에 의하여 발생하나, Differential Shock 은 스팀과 응축수의 유속(Velocity) 차이에 의하여 발생한 전단력(Shear Force)에 의하여 Slug Flow 을 형성하여 발생한다는 것이다. Slug Flow 의 발생시 액체상태 구역(Liquid Zone)이 상당히 클 경우 유체 흐름 방향 변경 시 즉 엘 보우(Elbow), 분기(Tee), 밸브(Valve)등을 통과 시 심각한 문제점을 유발 할 수 있다. 특이한 점은 응축 수와 스팀이 동일 배관 내에 존재하여도 적절한 배관 구경 선택으로 Slug Flow 의 발생을 방지하여 Differential Shock 현상을 피할 수 있다는 점이다. 일부 도서는 Thermal Shock 과 Differential Shock 을 Steam-Condensation-Induced Water Hammer 라는 용어를 사용 하기도 한다.

3. Fluid Transients 의 이해

단순 배관 계를 통한 Fluid Transients 의 형성과정 이해는 배관설계 시 Fluid Transients 영향을 고려하는데 많은 도움이 되리라 생각된다. 이후 부분은 단순 배관계의 Fluid Transients 발생과정을 설명하는 것이다.

그림 2-1(a)에서 배관 중단(그림 2-1(a)의 오른쪽 부분)에 개폐밸브(On-Off Valve)가 설치 되어있어 이 밸브가 순간적으로 닫히는 경우를 가정하면, 밸브에 가장 근접하여 있는 흐름(Flow)은 밸브 닫힘으로 흐르지 못하고 정지하게 된다.

이때 배관 내 유체는 유속(V_0)이 "0 M/sec"가 되고, 이 순간 압축되어 H 만큼의 압력

수두(Pressure Head) 상승이 발생 된다. 정지한 유체의 인접 유체가 또한 정지하여 유속(V)이 "0 M/sec"가 되고, 연속적으로 압축되어 H 만큼의 압력 수두가 상승하게 된다. 이와 같은 유체흐름이 정지하여 압력수두(Pressure Head)가 상승되는 현상은 그림 2-1(a)과 같이 압력파(Pressure Wave)를 형성하여 밸브에서 저수조 쪽으로 점차적으로 전달된다. 이때 압력 파 전달 속도를 유체의 압력파 전달 속도 (Wave Propagation Speed, Wave Speed)라고 한다.

밸브 닫힘에 의해 형성된 압력파는 L/a 초(L : 배관 길이, a : Wave Speed) 후에 저수조에 도달하게 된다. 저수조에 도달하는 순간 배관 내의 압력은 저수조 보다 유체흐름 정지로 발생한 수두 H (Pressure Head)만큼 높게 된다. 이순간 유체는 그림 2-1(b)와 같이 H 만큼의 저수조와 배관의 압력수두 차이로 역으로 배관에서 저수조 쪽으로 V_0 속도로 흐르게 된다. 유체가 역으로 흐르면서 배관쪽의 압력은 다시 밸브 닫힘 전의 압력(H_0)으로 되돌아가게 되고 이 현상은 다시 압력파를 형성하여 압력상승과 같이 압력파 전달 속도로 밸브쪽으로 L/a 초에서 $2L/a$ 초 동안에 전달되게 된다. 이 압력파가 종단의 밸브에 도달하는 순간 배관의 전구역의 압력은 밸브 닫힘 전의 압력(H_0)으로 돌아가게 된다.

그런데 압력파가 밸브에 도달하는 순간, 배관은 밸브가 닫혀 있으므로 밸브 쪽에서 유체를 공급 받을 수 없고, 배관 내에 있는 유체는 아직 저수조 쪽으로 V_0 의 속도로 흐르고 있으므로 이것은 폐쇄된 주사기에서 피스톤을 잡아 당길 때 주사기 안에서 진공압이 발생하는 것과 같이 밸브쪽에서 그림 2-1(c)와 같이 $-H$ 만큼의 압력수두(Pressure Head) 강하가 발생한다. 압력 수두 강하 발생으로 밸브에서 저수조 쪽으로 흐르는 유체흐름은 유지될 수 없으므로 그림 2-1(c)와 같이 유체는 흐름이 정지하고, 유속은 다시 0m/Sec 된다. 이 현상도 압력상승과 같이 압력파를 형성하여 $2L/A$ 초에서 $3L/A$ 초 동안에 밸브쪽에서 저수조 쪽으로 압력전달(a : Wave Speed) 속도로 전달된다.

$-H$ 의 압력파가 저수조에 도달하는 순간 다시 배관과 저수조사이에 $-H$ 만큼의 압력 차이가 생기게 된다. 이 압력차는 유체를 다시 그림 2-1(d)와 같이 저수조에서 밸브쪽으로 V_0 속도로 흐르게 된다. 압력은 다시 저수조 쪽에서부터 H_0 로 돌아가게 되고 이 흐름은 $3L/a$ 초 에서 $4L/a$ 초 동안에 압력파를 형성하여 저수조에서 밸브쪽으로 전달된다. 이 압력파가 밸브에 도달하는 순간 유체는 밸브가 닫힌 직후와 같은 조건이 된다. 위에서 설명한 과정을 $4L/a$ 주기로 반복하게 된다. 그리고 압력 변동 범위(H 에서 $-H$)는 배관의 마찰(Friction)에 의해서 점차 감소 하게 된다.

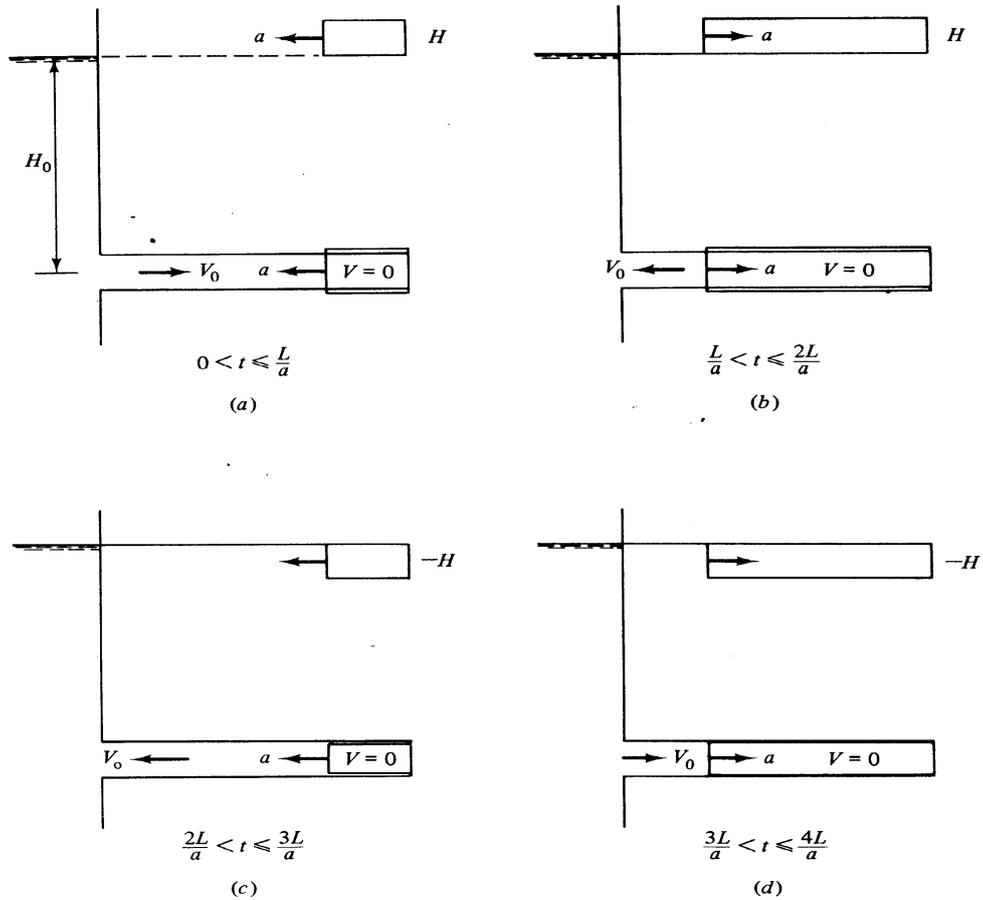


그림 2-1

(출처: Fluid Transients in System, E. Benjamin Wylie, Victor L. Streeter -1993)

위에서 언급한 압력수두 변동 H 는 아래의 Joukowsky Equation (2-2)에 의하여 계산될 수 있다. 이공식은 Fluid Transients 예상 배관계의 초기 Fluid Transients 영향을 검토 해 보는 간단한 공식이 된다.

$$\Delta H = -\frac{a}{g} \Delta V \quad (2-2)$$

Joukowsky Equation 은 운동량 방정식(Momentum Equation)에서 유도되는데 과정은 다음과 같다.

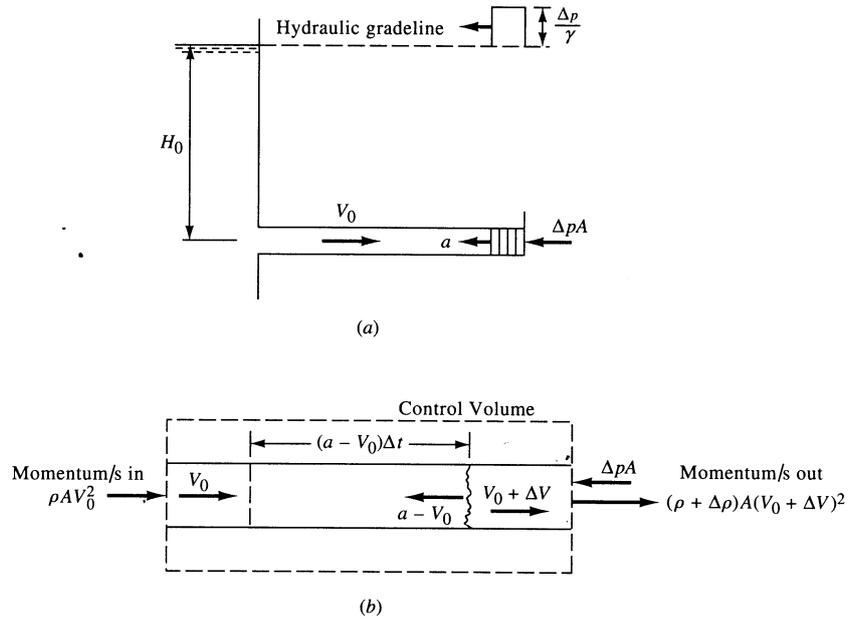


그림 2-3

(출처: Fluid Transients in System, E. Benjamin Wylie, Victor L. Streeter -1993)

그림 2-3(b)에서 검사 체적(Control Volume) 내부의 운동량 변화(Momentum Change)를 유도하면

$$\frac{A(a - V_0)\Delta t}{\Delta t} [(\rho + \Delta \rho)(V_0 + \Delta V) - \rho V_0]$$

검사체적 내부의 운동량 변화를 고려한 배관계 전체의 운동량 식을 유도하면

$$-\Delta p A = A(a - V_0)[(\rho + \Delta \rho)(V_0 + \Delta V) - \rho V_0] + (\rho + \Delta \rho)A(V_0 + \Delta V)^2 - \rho A V_0^2$$

질량보존의 법칙을 적용하여 검사체적 내의 질량 보존식을 유도하면

$$\rho A V_0 - (\rho + \Delta \rho)A(V_0 + \Delta V) = \frac{A(a - V_0)\Delta t [(\rho + \Delta \rho) - \rho]}{\Delta t}$$

ρ = Mass Density of Fluid

$\Delta \rho$ = Incremental Density Change

g = Acceleration of Gravity

γ = Specific Weight of Fluid

A = Cross-Sectional Area of Pipe

V_0 = Initial Flow Velocity

ΔV = Increment of Flow Velocity

a = Wave speed

상기의 운동량 방정식과 질량보존 방정식을 합성하여 정리하면 다음과 같다.

$$\Delta p = -\rho a \Delta V$$

이때 $\Delta p = \rho g \Delta H$ 이므로 위식은 (2-2) 식과 같이 정리 할 수 있다.

$$\Delta H = -\frac{a \Delta V}{g}$$

위에서 유도된 공식을 Joukowsky Equation 또는 Basic Equation of Water Hammer 라고 한다.

배관에서의 압력 전달 속도(a : Wave Speed)는 다음과 같이 계산될 수 있다. 이공식은 배관의 탄성계수(Modulus of Elasticity)가 고려되고 있음에 유의 바랍니다.

$$a = \sqrt{\frac{K/\rho}{1 + (K/E)(D/e)}} \quad (2-4)$$

ρ = Mass Density of Fluid

K = Bulk Modulus of Elasticity

E = Modulus of Elasticity

D = Pipe Diameter(inside)

e = Pipe Wall Thickness

a = Wave speed

4. Fluid Transients 의 배관계 영향

4.1 High Pressure

Fluid Transients 는 급격히 과도한 압력상승을 유발 할 수 있다. 과도한 압력상승은 배

관에 심각한 손상을 유발하고, 또한 배관의 접합부를 느슨하게 만들어 누출(Leakage)을 발생시킨다. Fluid Transients 는 압력파를 형성하여 압력 전달 속도(a : Wave Speed) 배관내에서 이동하게 된다. 이때 발생하는 압력파면을 기준으로 전후의 압력이 다르므로 차압에 의한 배관 동 하중(Dynamic Force)은 배관 및 배관 지지 물(Anchor Support)에 작용하고 과도하면 물리적 손상을 유발 할 수 있다.

4.2 Low Pressure

Fluid Transients 에 의한 배관계의 과도한 압력강하는 종종 진공을 유발하여 배관의 함몰을 유발하지만, 배관 내 공기유입이 치명적일 수 있는 배관에서는 때로 공기유입이 심각한 문제를 발생시킨다. Fluid Transients 에 의하여 배관계의 압력이 유체의 증기압(Vapor Pressure) 이하로 강하하면, 비록 진공압(Vacuum Pressure)에 의한 손상은 아니지만 기공(Cavity)형성으로 배관 내의 액주가 양단으로 분리되는 Column Separation 이 유발되어 분리된 액주가 다시 결합 시 2 차적인 Fluid Transients 형성으로 급격한 압력 상승을 유발 할 수 있다.

4.3 Pipeline Movement and Vibration

Fluid Transients 에 의한 배관 내 압력 상승과 감소는 배관계에 과도한 응력(Stress, Strain)과 진동을 유발 할 수 있다. 또한 과도한 배관 동 하중 작용은 한계이상으로 배관이동을 발생시켜, 배관 지지 물(Piping Support) 파괴, 연결 주변기기에 손상 등으로 결국 배관계의 손상을 발생시킨다.

4.5 Low Flow Velocity

이것은 Slurry Line 에 주로 발생하는 현상으로 배관 내 고체(Solid) 부분이 침착하여 배관의 막힘(Blocking)을 유발할 수 있다.

4.6 Reverse Flow

Transients Flow 에 의한 역류(Reverse Flows)은 펌프의 기밀(Pump Sealing, Brush Gear) 에 손상을 입힐 수 있으며 탱크 또는 저수조에 역류를 유발할 수 있다.

5. Fluid Transients 을 유발하는 주요 요인

5.1 급격한 Valve 조작

탱크 또는 저수조에서 먼 거리에 위치한 밸브를 급격히 조작하였을 경우 심각한 Fluid Transients 를 유발 할 수 있다. 3 항에서 전술한 유체흐름(U) 정지로 H 만큼의 압력 수두(Pressure Head)를 상승시키고 배관계의 기계적 허용 압력을 초과하여 손상을 유발 할 수 있다.

여기서 급격한 밸브조작이란, 배관 주기(Pipeline Period 또는 Periodic Time) 안에 밸브가 닫히는 경우로, 주로 배관 종단의 개폐 밸브가 모터 등의 구동장치에 의해서 닫히는 경우이다. 이 밸브 닫힘이 너무 빠르면 심각한 Fluid Transients 에 의한 압력상승 문제를 유발할 수 있다. 배관주기(Pipeline Period)는 배관계의 전체길이를 압력 전달 속도(Wave Speed)로 나눈 값의 두 배로서 밸브의 급격한 조작에 기준이 된다. 계산식은 다음(5-1)과 같다. 반대로 밸브 닫힘 시간을 충분히 길게 하면 과도한 압력 상승을 방지할 수 있으므로 장거리 배관 설계 시 밸브 닫힘 시간의 선정은 중요한 설계 요소이다.

$$T = 2 \frac{L}{a} \quad (5-1)$$

T: Pipeline Period

L: Pipeline Length

a: Wave Speed

5.2 Pump Stop by Power Failure

정전에 의한 급작스러운 펌프의 기동 정지는 Fluid Transients 발생의 주요 원인 중 하나이다. 갑작스러운 펌프 정지는 펌프 토출(Discharge) 배관에 압력 수두(Pressure Head)강하를 발생시키고 이 압력강하는 압력파를 형성하여 압력파 전달속도(a : Wave Speed)로 펌프 토출 배관을 따라 전달 된다. 반대로 펌프 흡입(Suction) 배관은 압력상승이 발생한다.

이 압력강하는 폐쇄된 종단에서 반사되어 펌프쪽으로 역 방향으로 전달되고 통상적으로 설치되는 펌프 토출 배관의 역류방지 밸브(Check Valve)에서 반사되면서 압력상승으로 바뀌어 상승된 압력이 펌프의 토출 배관쪽으로 다시 압력파를 형성하여 전달된다. 이와 같은 현상이 3 항에서 기술한 Fluid Transients 의 원리와 같이 반복되게 된다.

초기 압력상승 및 강하는 Joukowsky Equation 의하여 계산될 수 있다. 그러나 실제의 배관계(Piping System)는 많은 분기관(Branch Line)을 가지는 복잡한 배관 망(Piping

Network)으로 구성되고 압력파의 형성과정도 복잡하므로 단순한 공식으로 배관계의 Fluid Transients 에 의한 압력 변화를 정확히 예측하는 것은 매우 어렵다. 따라서 일부 단순한 배관계를 제외하고 Computer 를 이용한 계산은 필수적이라 할 수 있다.

펌프 기동/정지 시 필히 고려할 사항은 Fluid Transients 에 의한 압력강하가 배관계의 높은 상부 구역에서 유체의 증기압(Vapor Pressure) 이하로 떨어지는 여부의 확인이 필요하다. 만약 배관계의 압력이 증기압 이하로 떨어지면 이것은 기포 구역(Vapor Cavity)를 형성시킨다. 기포 구역이 작을 경우는 큰 문제가 발생하지 않으나 기포구역이 상당할 경우 이것은 배관계의 높은 지점 근처에서 기포구역을 형성하여 배관계 내의 액주(Liquid Column)를 분할하게 된다. 이 현상을 액주분리(Column Separation)라고 한다. 위에서 잠깐 언급한대로 액주분리 발생하며 분리된 두개의 액주가 다시 결합할 때, 즉, 분리된 후행 액주가 가속되어 전방 분리 액주와 충돌 결합 시 유체 흐름이 정지하는 효과와 같이 급작스러운 배관 압력 또는 수두 상승이 발생한다.

5.3 Pump Start

아래의 그림 5-3 과 같이 지상에 역류 방지 밸브(Check Valve)가 설치된 잠수 펌프(Submerged Deep-Well Pump)가 기동(Start-Up) 할 경우 자주 관찰되는 현상으로 펌프가 기동하면 토출 배관은 비어있으므로 급격히 유체로 채어진다. 이때의 양정된 유체의 속도는 통상 운전 시 보다 현격히 큰 값을 갖게 되다. 토출 배관을 채우던 양정된 유체가 토출 배관의 닫혀있는 역류 방지 밸브를 만나게 되면 급격한 유체속도가 감소를 되어 이것이 Fluid Transients 를 일으켜 압력의 급격한 상승을 유발한다.

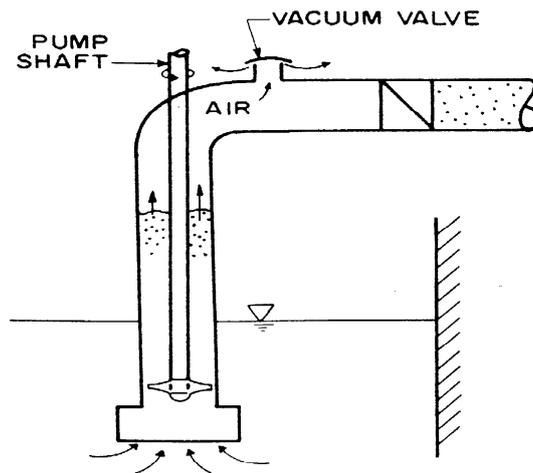


Figure 8-2. Filling a pump discharge column behind a closed check valve.

그림 5-3

6. Fluid Transients 방지 대책

6.1 공기 Chamber

공기 챔버(Air Chamber)은 펌프 기동 정지 의해서 발생한 압력의 급상승 및 급강하를 방지할 목적으로 펌프의 토출 배관에 통상적으로 설치한다. 구조는 아래 그림 6-1 과 같이 액체 부분과 상부의 공기 부분으로 이루어져 있다. 공기는 압축기 의하여 일정 압력으로 압축 되어 있는 경우도 있다. 경우에 따라서는 공기 대신에 질소 가스를 사용하기도 한다. 공기 챔버는 펌프의 기동정지에 의해서 토출 배관의 압력이 강하하면 저장된 유체를 공급하여 과도한 압력 강하를 방지하고 반대로 압력이 상승 하면 공기의 압축을 통하여 압력상승을 흡수 하도록 되어 있어 배관계의 과도한 압력 변동을 예방하는데 있다.

공기 챔버 사용 시 주의할 점은 챔버 내의 공기양이 최대 상승압력을 제어 할 수 있는 양이어야 하고, 액체부분은 압력 강하 시 공기 챔버가 비는 현상을 방지할 수 있도록 충분한 부피를 가지고 있어야 한다.

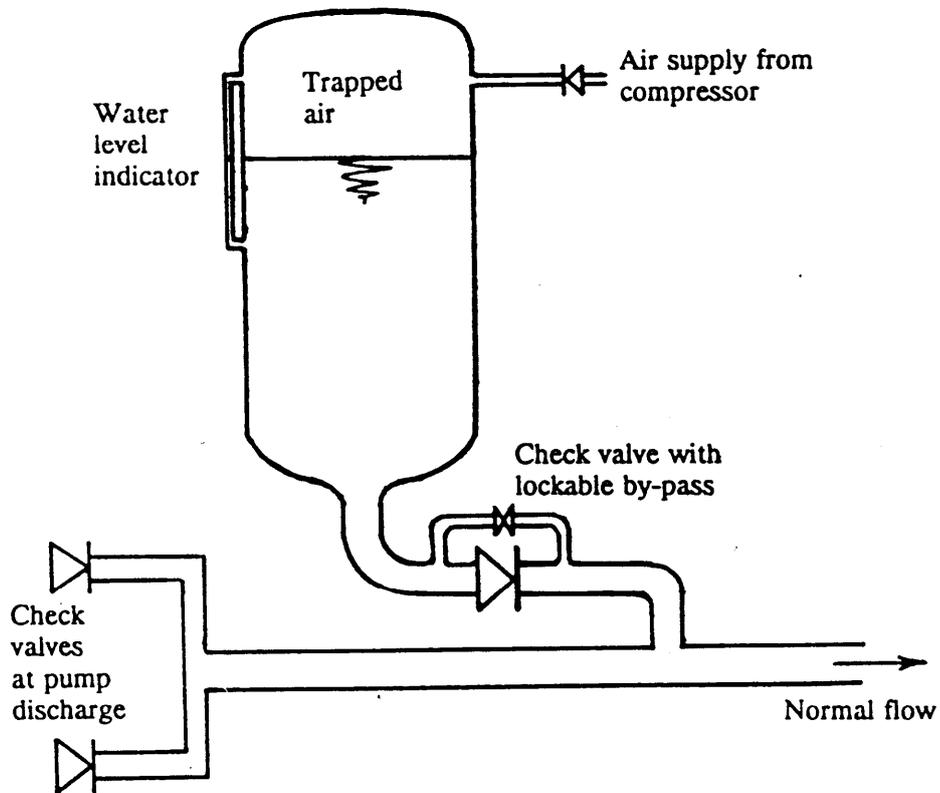


그림 6-1

6.2 Accumulator

석유화학 플랜트에서 많이 사용하는 장치이다. 구조는 공기 챔버와 매우 흡사하다. 다만 충전 가스 와 액체를 구분하기 위하여 유연한 멤브레인(Flexible Membrane), 피스톤 (Piston), 다이아 프램(Diaphragm) 등을 설치한다.

Accumulator 는 Transients Flow 에 의해서 압력이 상승 시는 가스 부분이 압축되어 일종의 쿠션(Cushion) 역할을 하고 반대로 압력이 강하 되면 액체를 Line 에 공급하여 과도한 압력 강하를 예방한다. Accumulator 의 특징은 다른 장치에 비하여 크기가 비교적 작다. 그리고 설치위치는 Transients Flow 을 유발하는 위치에 설치한다. 즉 급격한 밸브 닫힘에 의하여 발생된 근처에 설치하는 것이 가장 좋다. 만약 용적식 펌프(Positive Displacement Pump)의 맥동 챔버로 사용 시는 토출구 가장 근처에 설치하는 것이 좋으며, 흡입 배관인 경우 흡입구 가장 근접하여 설치 해야 한다.

6.3 Pressure Relief Valve

Pressure Relief Valve 는 Transient Flow 에 의하여 발생한 압력상승을 압력 밸브를 자동적으로 개방함으로써 배관계 압력이 제한된 압력이상으로 상승하는 것을 방지하여 배관계 손상을 방지한다.

Pressure Relief Valve 설치 시 방출 유체를 하수구(Drainage)을 이용한 처리가 가능하지 않으면, 임시 저장탱크(Blowdown Tank)를 그림 6-2 과 같이 설치해야 한다. Pressure Relief Valve 는 압력상승을 배관계의 허용범위 내로 제한할 수 있도록 충분한 용량을 가지고 있어야 한다. Pressure Relief Valve 의 사용 시 주의할 점은 펌프 기동정지 에 의하여 발생하는 Fluid Transients 에는 효과적이지 못할 수 있으므로 사용에 주의해야 한다

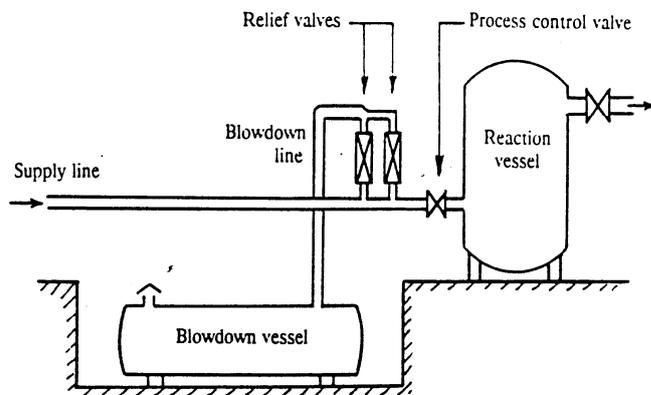


Figure 1.24 A pressure relief system protecting a reaction vessel.

그림 6-2

6.4 By-pass Lines

By-pass Line 은 펌프 기동정지에 의하여 발생한 토출 배관의 압력 강하를 방지할 목적으로 사용 한다. By-Pass Line 의 특징은 다른 장치보다 비용이 저렴하다는 것이다. 그러나 By-Pass Line 은 펌프 기동정지에 의해서 발생한 압력강하가 토출 배관의 수두(Head)가 흡입 배관의 수두(Static Head) 보다 낮을 경우만 사용이 가능하다. 펌프 기동 정지 시 흡입배관의 수두로 토출 배관에 유체를 공급하기 때문이다. 그리고 통상적으로 배관의 관경은 펌프의 메인 배관과 같은 관경이 그림 6-4 와 같이 역류 방지 밸브가 설치 되어야 한다.

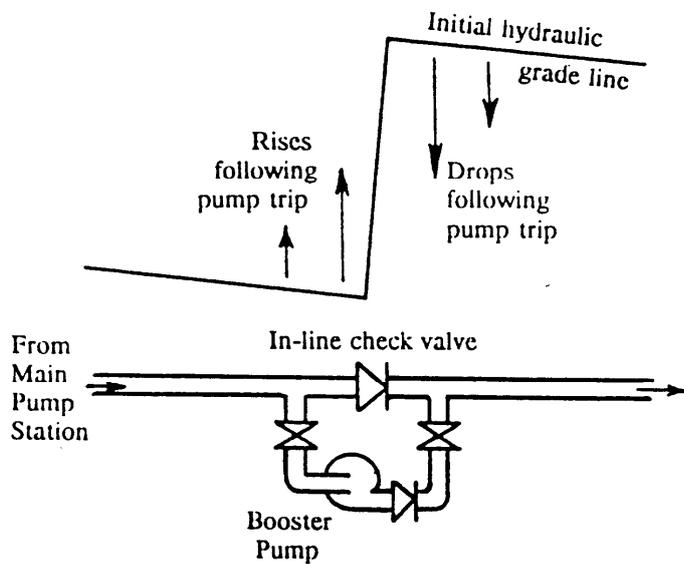


그림 6-3

6.5 Adjusting Valve Closing Period

Transients Flow 를 유발하는 밸브의 닫힘 시간을 길게 하여 밸브 닫힘에 의해서 발생한 급박한 압력상승정도를 줄임으로서 배관계의 압력 변동이 배관의 허용 범위를 넘지 않도록 하는 방법이다. 이 방법은 별도의 방지 장치 없이 압력상승 문제를 해결할 수 있으므로 경제적인 측면에서 효과적인 방법이다. 그러나 많은 배관 계 제조 공정(Process) 문제로 적용이 제한적일 수 있다.

6.6 강한 배관자재 사용

가장 손쉽고 가장 확실한 Surge Pressure 방지책이다. 간단히 언급하면 Fluid Transients 에 의해서 발생한 배관압력 변동에 견딜 수 있도록 보다 두꺼운 파이프 와 보다 높은

압력용 자재(High Pressure Rating Piping Components)를 사용하는 것이다. 그리고 보다 튼튼한 배관 지지 물(Anchor)을 설치하는 것이다. 그러나 배관이 장거리 배관(Pipeline)이며 초기 투자 비용 유발 하므로, 경제성 검토가 함께 필요하다.

Fluid Transients 방지 대책으로 상기에서 기술한 것 외에 물(Water) 이송 배관에서 사용되는 Surge Shafts(그림 6-6), One-Way Surge Tank(그림 6-7), Air Release / Vacuum Breaking Valves(그림 6-8)등이 있으며 이들 장치는 공기의 유입을 허용 하거나 대기에 노출 부분이 있으므로 석유 화학 분야와 같이 인화성이 강한 유체를 이송 하는 배관계에는 부적절하다. 이외에도 펌프의 회전 관성력을 증가시키거나 밸브에 댐핑장치(Damping Device)를 하여 밸브의 특성을 변화시켜 조절하는 다양한 방법이 있다.

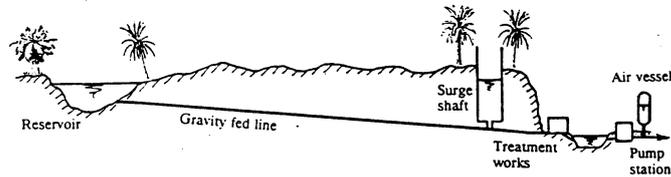


Figure 1.20 A surge shaft on a gravity fed line to a treatment works. A pump station draws its supply from an intermediate reservoir and discharges it to a line protected by an air vessel.

그림 6-6

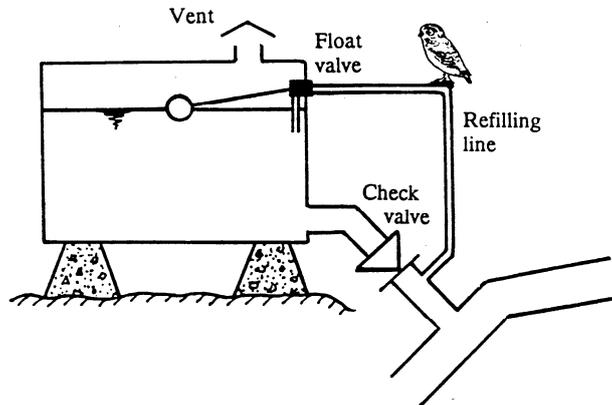


그림 6-7

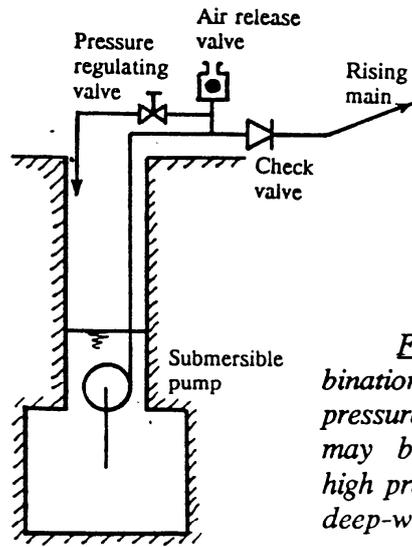


Figure 1.23 The combination of air release and pressure regulating valves may be used to suppress high pressures on start-up of deep-well pumps

그림 6-8

7. Fluid Transients 해석

Fluid Transients 의 해석에 있어서 과거에는 산술적인 방법이나 그래프를 이용하여 해석하였으나 현재는 Computer 를 이용한 수치해석 방법이 보편화 되어있다. 복잡한 배관계의 Fluid Transient 효과를 정확하고 용이하게 계산 및 분석 할 수 있다. 수치해석 방법은 The Method Of Characteristic, Impulse Response Method, FEM(Finite Element Method) 등을 이용하여 Programming 된 것으로 각각 수치해석 방법에 따라 장단점을 가지고 있으며 현재는 상업용으로 개발된 다양한 Software Package 들이 선보이고 있다.

참고도서

1. Fluid Transients in Pipeline System, A.R.D. Thorley -1991
2. Fluid Transients in System, E. Benjamin Wylie, Victor L. Streeter -1993
3. Piping Design Handbook (Page 158 – 162), John J. Mcketta -1992
4. Piping Handbook –6th(Page B384 – B390), Mohinder L. Nayyar -1992

5. Modern Analysis Control of Unsteady Flow in Pipelines, Gary Z. Watters
6. 대학 유체기계 (Page 121 - 129) -1986, 박이동
7. 효성 펌프 편람 제 5 장 수충격 현상, 효성 EBARA 주식회사.