

입상 급수 라인의 수충격 현상 제어에 대한 연구

A Study of Water-Hammer Control with Statuette-Piping

이장현* · 이효행** · 권병하*** · 오진우*** · 이규형***
 J.H.Lee, H.H.Lee, B.H.Kyoun, J.W.Woo, K.H.Lee

Key Words : 배관(Piping), 입상관(Piping of Statuette), 급수(Water supply), 수충격(Water Hammering), 선형제어(Liner Control)

ABSTRACT

기술수준의 발달로 인해 건물이 대형화 고층화됨에 따라 높은 양정의 펌프를 사용하고 있으며, 배관계통을 대부분 전자식 밸브를 채택하여 입상급수라인의 수충격 현상이 대두되어 수충격 현상제어를 위한 여러 방법들이 시행되고 있다. 본 연구는 수충격 현상을 제어하는 방법 중 수충격 방지기를 이용하여 입상급수라인의 수충격 현상의 제어를 효과적으로 제어할 수 있었다. 향후 본 연구를 계속 진행 시켜나감에 따라 수충격 현상의 제어에 큰 성과를 거둘 수 있을 것으로 판단된다.

1. 서 론

기술수준의 발달로 인해 각종 건물이 대형화, 고층화됨에 따라서 높은 양정의 펌프를 사용하고 있으며, 배관계통의 설비들이 대부분 전자개폐식 밸브를 채택하면서 밸브 폐쇄시 압력변화에 따른 수충격현상이 발생하여 진동 및 소음을 유발하게 된다.

이러한 수충격을 방지하기 위하여 배관에 수충격 방지 기구를 설치하여 사용하고 있으며, 입상배관의 경우 건설교통부에서 공시된 시방서 기준에 의하면 수직배관에 25M 구간마다 "체크밸브 와 수충격 흡수장치"를 장착하여 수격 현상을 방지하도록 규정하고 있다.

그러나 기존 방식은 입상관의 경우 Fig 1.와 같이 입상관의 끝단에 수충격 방지기가 설치되더라도 밸브 급폐쇄시 수충격 현상이 수격방지기와 밸브 사이에 발생하게 되어 밸브의 내구성이 감소하게 되고 발생된 수충격이 배관을 왕복운동하면서 배관연결부 및 배관자체에 심각한 영향을 초래할 수 있는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 배관의 수충격 발생원으로부터 근접하게 설치가 가능하며, 기존제품에

비하여 수충격 발생압력을 효과적으로 줄임과 동시에 수충격 발생압력의 선형제어가 가능한 수격 방지기를 개발하여 쾌적한 생활환경을 조성하는데 그 목적이 있다.

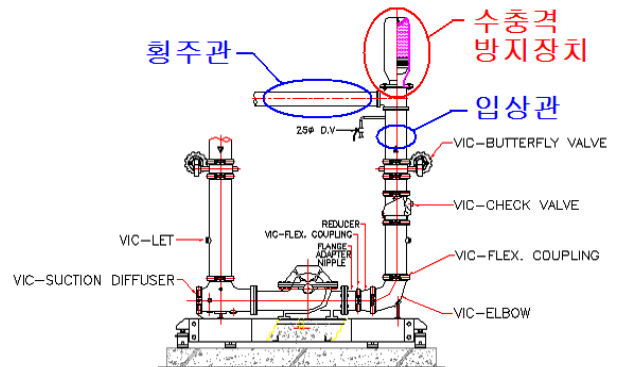


Fig 1. 입상관 수충격 방지 장치

2. 배관계통의 수충격 현상

배관계통에서 흔히 발생하는 수충격현상은 주로 급수펌프의 조작정지 및 임의정지시 급수밸브의 수동 및 자동급폐쇄에 따라 배관내 유동하는 물의 운동에너지가 순간적으로 압력에너지로 변화하여 압력이 상승하게 되고 상승된 최대충격압력은 밸브와 급수원 사이에서 배관의 마찰과 탄성변형으로 소멸 시가지 왕복운동을 하면 지속된다. 충격파는 배관 중에 설치된 각종 밸브들이 전기, 공압, 스프링 등으로 자동화되고 수동이라도 원터치 방식으로 작동되는 경우가 많아 급개폐가 빈번하게 발생하게 된다. 따라서

* (주)엔.에스.브이 기술연구소 책임연구원
 E-mail : nsvmf1@kornet.net
 Tel : 032) 816-7992, FAX : 032) 816-7993
 ** (주)엔.에스.브이 기술연구소 주임연구원
 *** (주)엔.에스.브이 기술연구소

이로 인한 수충격현상은 발생빈도가 증가하고 그 강도 또한 높아지고 있다.

2.1 수충격 현상 발생 과정

수충격 현상은 배관내부에 유체가 이동하다가 끝단의 밸브가 급폐쇄되면 충격파가 발생하여 유동 반대방향으로 전파된다. 이 충격파의 전파속도는 음속으로 유체가 물인 경우 1200~1500m/s가 된다.

또한 충격파가 1회 반복되는 동안 이 배관구간은 팽창 → 회복 → 수축 → 회복의 변화를 반복하게 되고 이때 발생된 폭발적인 에너지가 배관내부에 작용하여 마치로 배관을 치는 듯한 충격음과 진동이 발생하며 충격파의 압력에 의하여 밸브, 피팅류 등의 구성품과 배관 그 자체가 파손되기도 하고 연결부가 이완되어 누수가 발생하기도 한다.

수충격 발생 3대 요소는 간략하게 아래와 같으며, 수충격이 발생하는 과정은 Fig 2.와 같다.

- ① 배관길이
- ② 유량(유속)
- ③ 급 폐쇄 시간

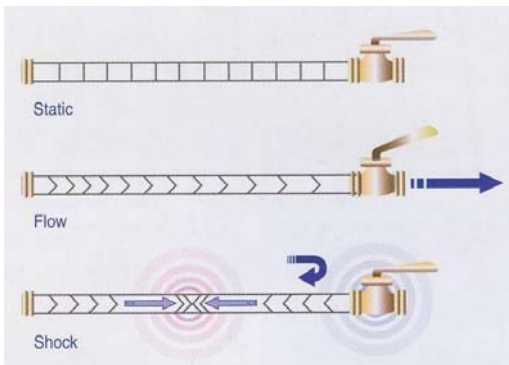


Fig 2. 수충격 발생 과정

- 수충격 발생
배관내 유동하는 물의 운동에너지가 순간적 압력에너지로 변환하여 압력상승(수압변동)
- 수충격 소멸
최대압력파는 밸브와 급수원을 왕복 배관의 마찰과 탄성변형으로 압력파 소멸

2.2 수충격 강도

수충격압력의 충격파 최대강도는 다음의 JOUKOWSKY 식에 따라 계산된다.

수충격은 충격파의 밸브가 급폐쇄될 때만 발생하며 급폐쇄는 밸브의 폐쇄 또는 개방속도가 2L/A 이하인

경우를 말한다. 밸브 개폐 속도가 2L/A 초 이상으로 충분히 길면 충격파는 발생하지 않고 유체의 동압이 단순히 정압으로 변환되어 동압만큼만 압력이 상승한다. 이를 서징(SURGING)이라고 한다.

$$P_s = \rho a v \quad [\text{PA}] \quad (\text{식 1})$$

여기서 ρ : 유체밀도
 a : 압력파의 전파속도
 v : 유속변화량

2.3 배관내 압력파의 전달속도

배관내의 압력파의 전파속도는 다음 식2.1 과 같이 계산된다.

$$a_w = \sqrt{\frac{k}{\rho(1 + KD/Et)}} \quad [\text{m/s}] \quad (\text{식 2})$$

여기서 K : 물의 체적탄성계수
 E : 관재의 탄성계수
 D : 관내경
 T : 관두께

위의 식으로부터 압력파의 전파속도는 유체의 유동상태와 무관하게 관로의 형상 및 관경과 재질에만 관계됨을 알 수 있다. 일반적으로 배관자재의 탄성계수가 Table 1.에 나타나 있다.

Table 1. 일반배관자재의 탄성계수

재질	E(Kg/m ²)	재질	E(Kg/m ²)
강	2.01X10 ¹⁰	나무	0.10X10 ¹⁰
주철	1.00X10 ¹⁰	구리	0.02X10 ¹⁰
콘크리트	0.20X10 ¹⁰	납	1.17X10 ¹⁰

이와 같은 압력파의 전달속도는 전체관로가 축 방향으로 완전 고정되었을 때의 계산 값이며 관의 지지형태가 바뀌면 압력파의 전달속도는 다소 바뀌게 된다.

2.4 수충격 현상 방지 대책

(1) 부압발생을 방지하는 방법

- 관내 유속을 낮게 한다. 즉, 관성력을 적게 한다.
- 펌프에 Fly wheel부착 → 급격한 펌프속도 변화감소.
- Surge Tank를 설치 : 압력이 저하되는 곳에 물을 보급한다.
- Air Tank설치 : 부압이 되기 전에 압축공기로 방지
- 공기 밸브설치 : 부압이 났을 때 공기를 흡인한다.
- 자동수압 조절밸브 설치

(2) 상승압력 방지법

- 안전밸브나 스모렌스키 Check Valve 설치 사용

(3) 수충격압력 흡수장치

- 급수관과 동일관경 또는 상위 단계 구경에 길이 300 - 600mm 정도의 Air Chamber를 설치하거나, Water Hammer 방지기(Bellows형, Air Bag형)사용

이상의 수충격을 방지 방법들이 있지만 가장 이상적인 방법은 액추에이터를 설치하여 밸브의 개폐속도를 조절하여 수충격 발생을 선형 제어하는 방법이 있다. 그러나 액추에이터를 설치하고 조절하는데 있어 비용과 관리면에서 효과적이지 못하다.

3. 수격방지(In-Line Type) 개발 필요성

3.1 국내외 기술 현황 및 문제점

수격방지기는 국내외적으로 대부분 동일한 방식이 채택되고 있으며 그 형식에 따라 분류하면 DIAGRAM - TYPE, BELLOWS - TYPE, PISTON - TYPE등으로 건물 최상층에 설치되고, 역류를 방지하기 위한 역류억지변 (CHECK - VALVE)은 승압펌프 가까이 설치됨으로서 밸브와 수격방지기간의 거리 차에 의한 수충격 흡수효율이 저하되어 Valve 및 배관의 수명 단축은 물론 소음, 진동의 주요 원인으로 작용하고 있다.

1) 기존설치방식에 따른 문제점

Diagram Type, Bellows Type, Piston Type 등 기존의 3가지 Type 모두 수충격방지기능이 있지만 설치위치가 수충격 발생원으로부터 이격이 있으며, 발생압력 제어에 효과적이지 못하다.

2) 기존 수격방지 자체가 가지고 있는 문제점

Diagram Type 과 Bellows Type의 경우 "공 또는 자바라" 형식을 이용한 체적의 변화로 수충격을 흡수하는 방식으로, 고무재질의 노화와 반복적 수축/팽창 작용에 의한 파손발생 우려가 높고, Body 구조상 공기 주입구 또는 기타 이음매 부위로 공기가 유출되어 수충격 흡수기능이 현저히 떨어지는 등 내구성에 취약점을 갖고 있다.

따라서 이상의 문제점을 보완하고 대형/고층건물의 급수라인에서 발생하는 수충격을 방지하기 위해서는 밸브와 수충격 흡수장치간의 거리를 최소화 시켜야 된다는 것이 여러 연구 자료를 통해서 입증된바 이를 근거로 입상관과 동일한 중심축상에 수충격흡수장치를 설치하여 수충격발생을 발생원으로부터 원천적으로 흡수

/제거하여, 대형 및 고층급수관에 적합한 신제품을 개발하고자 한다.

4. 개발 제품 성능 평가

4.1 시제품 제작 및 Test System

성능 평가를 위하여 시제품을 아래 Fig 3.과 같이 제작하였다.

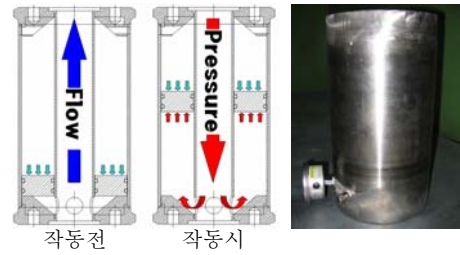


Fig 3. 제품 도면 & 제품 사진

성능 평가를 하기 위하여 Fig 4.와 같은 Test System을 이용하여 Table 2.와 같은 조건하에서 Test를 실시 하였다.

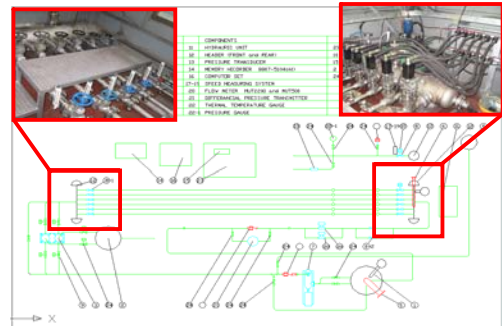


Fig 4. 수충격 Test System (KS B 2357)

Table 2. Test System 운전 조건

관경	50A (KS A 0503:1988)
유속	4m/s
운전압력	4kgf/cm ²

4.2 측정 대상 및 측정 지점

압력 센서의 측정 위치는 Fig 5. ~ Fig 7.와 같다.

Table 3. 비교 Test 제품

Test 제품명	측정 위치	내부 체적
수직형 (WHA-65)	P1 (배관압력)	4.7 Liter
개발품 (In-Line Type 50A)		4.3 Liter
		3.3 Liter
		2.7 Liter
		2.0 Liter

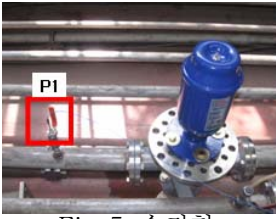


Fig 5. 수직형

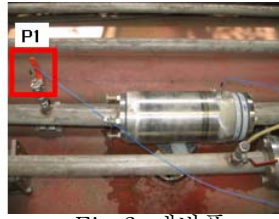


Fig 6. 개발품

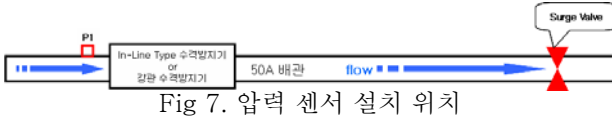


Fig 7. 압력 센서 설치 위치

4.3 실험 결과 및 고찰

제품별 측정 위치의 발생 압력값은 아래 Table 4.와 같다.

Table 4. 측정 결과

Test 제품	실험조건 (내부압력 kgf/cm ²)	P_2 (배관 중간)	
		최대 발생압 (kgf/cm ²)	
수직형 (WHA-65)	3	24	
	4	23.8	
	5	12.2	
	6	22.2	
개발품 (In-Line Type 50A)	4.3 Liter	3	5.88
		4	5.66
		5	7.45
		6	10.60
	3.3 Liter	3	6.00
		4	5.61
		5	8.04
		6	11.41
	2.7 Liter	3	7.37
		4	7.04
		5	8.48
		6	10.40
2.0 Liter	3	8.32	
	4	8.45	
	5	8.38	
6	10.30		
미 설치시	-	46.8	

(1) 수충격 흡수 능력 비교 Test 결과

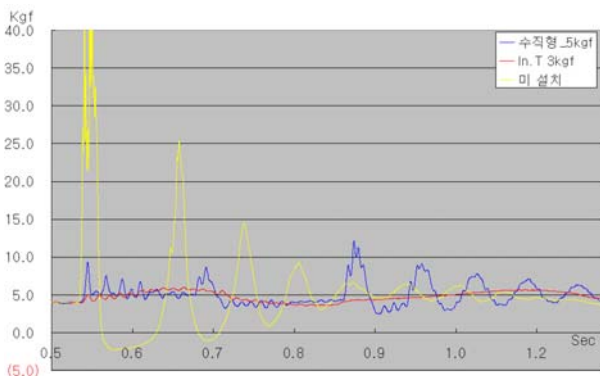


Fig 8. 수직형/개발품 Test 결과 비교

①② 제품 Test 결과 각 제품(수직형, In.T 3.3 Liter) 설치시 배관에 발생된 최대 압력 중 가장 낮은 결과를 비교한 그래프는 Fig 8.와 같으며, 수직형이 개발품보다 발생된 Peak수가 많고 최대 발생압력이 높은 것으로 확인되었다. 또한 개발품은 수충격 흡수후의 파형이 선형제어되어 발생하고 있다.

② 기존제품인 수직형 제품과 개발품은 배관에서 발생하는 최대수충격압력(40kgf/cm²이상)을 약15kgf/cm²이하로 낮춰 주는 것으로 측정 되었다.

(2) 개발품 Test 결과

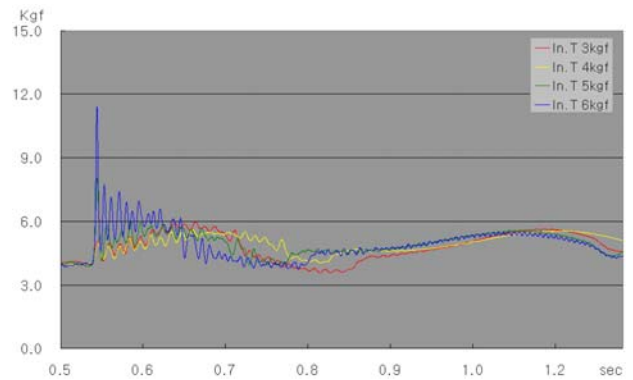


Fig 9. 개발품 수충격 흡수 능력 Test 결과
(내부체적 3.3 Liter)

① Test결과 최적의 성능은 3.3Liter 체적의 제품에서 내부압력4kgf/cm²일 때 나타났으며, 개발품의 내부압력이 배관압력보다 낮을 경우 수충격 흡수에 유리한 것으로 측정되었다.

② 그러나 5kgf/cm² 이상의 압력이 충전 되어있을 경우 1차 Peak치가 최대 값으로 측정되었다. 이는 배관내에 흐르는 정상 압력인 4kgf/cm²의 압력보다 개발품의 내부 충전 압력이 높아 수충격 압력을 원활히 흡수하지 못하여 발생된 것으로 판단된다.

(3) 내부 체적 비교 Test 결과

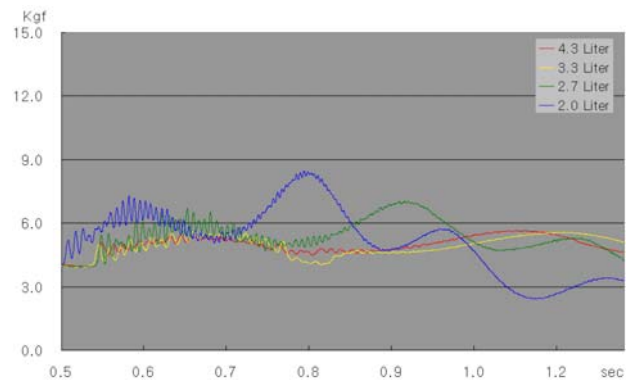


Fig 10. 개발품 수충격 흡수 능력 Test 결과
(내부압력 4kgf/cm²)

① 내부체적이 클수록 수충격 흡수에 유리한 것으로 측정 되었으나, 4.3 Liter와 3.3Liter의 체적에 따른 수충격 흡수능력의 차이는 매우 작았다. 이는 일정이상의 체적일 경우 수충격 흡수능력에 영향을 거의 주지 않는 것을 알 수 있었다.

② 그러나 일정체적 이하일 경우 수충격 흡수에 효과가 없는 것을 알 수 있었다.

4.4 측정 결과 종합

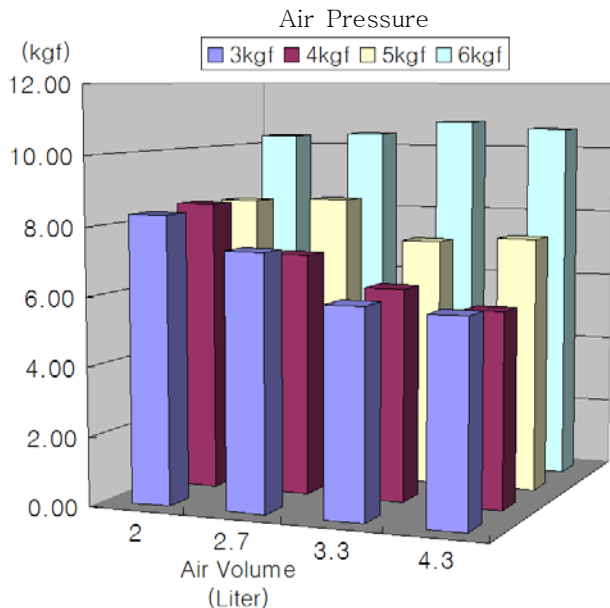


Fig 11. 개발품 측정 값 그래프

① 현재 배관내 정상 유동시(배관압력:4kgf/cm²) 수충격 발생량을 보게 되면 3.3Liter의 체적을 가진 개발품이 내부 압력이4kgf/cm²일 경우 배관내에 가장 낮은 수충격으로 측정되어 최적의 조건으로 확인 되었다.

② Fig 11.에서 쉽게 알 수 있듯이 전체적으로 공기실 체적이 높을수록 배관내에 발생하는 수충격이 줄어들었음을 알 수 있다.

③ 배관내 정상유동시 배관 압력과 수충격 흡수기 내부의 압력과 유사할 경우, 체적일 클수록 배관내 수충격 발생량은 낮아짐과 동시에 선형제어된 수충격 파형을 보였다.

5. 결론

앞서 실험한 바와 같이 유사 제품을 비교 테스트 하여 보았으며, 개발품의 내부 공기실 체적을 변화시켜 테스트 하였다. 실험을 통하여 액추에이터 설치시 복잡한 구조와 고비용의 수충격 흡수장치에서 볼수 있는 선형제어 파형을 간단한 구조의 피스톤 Type의

수충격 흡수기로 선형제어 파형으로 제어 할 수 있음을 보였다.

향후 제품의 신뢰성 확보를 위한 내구성 실험과 더불어 배관내의 수충격 발생 압력 예측과 수충격 흡수기의 성능을 예측하고 검증하는데 중점을 두어 연구를 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

- (1) 수자원연구원, 2005, “전산기로 푸는 수충격 해석 입문”
- (2) 수자원연구원, 2004, “그림으로 푸는 수충격 해석”
- (3) 수자원연구원, 2004, “펌프장 수충격완화 신기술 개발”
- (4) 기동우, 2002, “공동주택 부스터펌프 급수방식 적용시 문제점과 고려사항에 관한 연구”
- (5) 양재구, 2007, 중온수용 순환관로의 유동해석과 수충격 방지 장치“ 공조·냉동·위생. 제24권 제5호 통권272호 (2007년 5월), pp.78-88
- (6) Sharp B B, 1996, Water hammer : practical solutions, London New York