

## 급수관로계에 설치된 수격흡수기의 수격흡수효과에 관한 실험적 연구

최중근† · 이석중\* · 이명호\*\* · 성재용\*\*\*

(원고접수일 : 2006년 3월 13일, 심사완료일 : 2006년 5월 3일)

### Experimental Study on the Water Hammer Absorption Effects of Water Hammer Arrester in the Water Supply Piping System

Jung-Geun Choi† · Suk-Jong Lee\* · Myoeng-Ho Lee\*\* · Jae-Yong Sung\*\*\*

**Abstract** : In this study, dynamic characteristics of water hammer pressure in water supply piping system with water hammer arrester has been investigated experimentally to characterize the transient pressure of water hammer in high rise building. Experiments were conducted to verify the absorption effects by water hammer arresters with 3 different gas volumes of water hammer pressure generated by sudden valve closure. As the results, it has been found that zoning and sizing of pipe diameter for suitable flow velocity and water hammer arresters with effective pressure absorption capacity have to be installed to protect water hammer problems in building water supply piping system.

**Key words** : Water hammer(수격 현상), Water hammer arrester(수격 흡수기), Water supply piping system(급수파이프 시스템), Water hammer absorption effect(수격흡수효과)

#### 1. 서 론

펌프 관로계통에서 수격현상이 발생하면 펌프, 밸브 및 플랜지 등의 기기가 파손될 수 있으며, 압력강하에 의하여 캐비티(Cavity)가 발생하고 캐비티의 재결합 시에 발생하는 극심한 충격파에 의해 관로가 파손될 수도 있다. 또한 진동, 소음의 원인이 되며 주기적인 압력변동 때문에 자동제어가 어

려워진다.

특히 고층건물 내에서 발생하는 수격현상은 쾌적한 주거환경을 저해할 뿐만 아니라 장기간 이를 방치하면 접속된 기기류에 손상을 주게 되며, 심한 경우에는 배관설비의 파손 및 누수, 건물의 안전성에도 영향을 줄 수 있다<sup>[1]</sup>.

수격압력의 흡수를 위하여 사용되고 있는 대표적인 것으로서 에어챔버(Air chamber)와 수격 흡

† 책임저자(서울산업대학교 에너지환경대학원), E-mail : aegisham@hanmail.net, Tel : 02)971-6322

\* 서울산업대학교 에너지환경대학원

\*\* 서울산업대학교 기계공학과, E-mail : myeong@snut.ac.kr, Tel : 02)970-6322

\*\*\* 서울산업대학교 에너지환경대학원 에너지시스템공학과

수기(Water hammer arrester)를 들 수 있다. 대용량의 긴 관로에는 공기실(Air chamber)이 많이 사용되는데 관로 내에 수격현상이 발생되면 에어챔버 내의 물이 관로로 유출된다. 관로내의 압력이 높을 때, 역류되는 물이 공기실로 유입되어 주기적인 압력파의 변동에 의한 유량과 압력의 변화를 제어할 수 있다<sup>[2]</sup>. 건축설비 분야에서는 이와 같은 수격압력의 흡수가 가능한 장치로서 수격흡수기를 들 수 있다. 수격흡수기가 갖추어야 될 요건 중 가장 중요한 것은 가스실내 압력유지가 매우 중요하고 물과 가스실의 가스가 접촉되지 않는 구조로 만들어져야 하며, 발생하는 충격압력을 충분히 흡수할 수 있는 작동기구 및 내부 체적을 가져야 한다<sup>[3]</sup>.

수격현상에 관한 국내의 연구로서는 국책사업으로 초고층 APT의 건설과 민간기업의 초고층건물의 수요가 증가함에 따라 과학기술처 주관으로 건설기술 연구원에서 3차에 걸쳐, 초고층 아파트 설비 시스템의 최신 설계기법 목적으로 수행한 연구 프로젝트에서 부분적으로 급수설비의 수격현상 분석 및 검토가 행하여 졌다<sup>[4]</sup>. 그러나 건축설비현장에서 사용이 증가되고 있는 수격흡수기의 용량이 수격흡수 능력에 미치는 영향에 대한 정확한 연구는 거의 없는 가운데 수격흡수기를 사용하고 있는 실정이다.

본 논문에서는 최근 고층건물의 급수설비시스템 개발을 위한 체계적인 연구가 요구되는 실정에서 수격현상으로부터 안정성이 요구되는 급수관로의 수격현상을 실험을 통하여 해석하고자 한다. 고층건물에서 발생하는 수격현상의 과도압력특성을 해석하기 위하여 단순 급수관로내의 비정상 유동을 이론적으로 해석하여 수격압력의 동특성을 고찰한 후, 폐쇄밸브 상류 측에 체적이 각기 다른 3종의 수격흡수기를 설치하여 수격압력 흡수효과에 대한 실험 및 수격흡수기의 체적변화가 배관 내 압력완화에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

## 2. 수격현상의 지배방정식

유선  $s$ 를 따라서 1차원 비정상유동에서 압력파의

전파속도  $a$ 를 고려한 연속방정식과 운동량방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다<sup>[5]</sup>.

$$v \frac{\partial h}{\partial s} + \frac{\partial h}{\partial t} - v \sin \alpha + \frac{a^2}{g} \frac{\partial v}{\partial s} = 0 \quad (1)$$

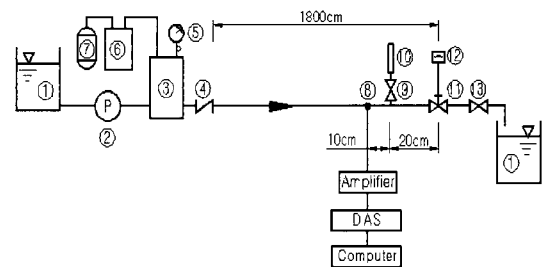
$$g \frac{\partial h}{\partial s} + v \frac{\partial v}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{f v |v|}{2d} = 0 \quad (2)$$

여기서  $\rho, h, v$  는 각각 유체의 밀도, 압력 수두, 속도이며,  $t$ 는 시간,  $f$ 는 관 마찰계수,  $a$ 는 관의 경사각이다.

## 3. 실험장치 및 방법

### 3.1 실험장치

본 연구의 실험에서 사용된 실험 장치와 데이터 처리 시스템의 계통도를 Fig. 1에 나타내었다. 실험 장치는 수조 ①의 물이 원심펌프 ②에 의하여 급수되고, 배관 상류 측의 압축기(7.46 kW) ⑦, 공기탱크(체적 0.5 m<sup>3</sup>) ⑥에 연결된 서지탱크(surge tank, 체적 0.5 m<sup>3</sup>) ③으로 보내지면 일정한 압력 하에서 물이 관을 통하여 흐르고 하류에 설치된 글로브밸브 ⑬를 사용하여 유량을 변화시켜서 유속을 조정하도록 하였다. 배관시험부의 하류 측 말단에 설치한 솔레노이드 밸브(Solenoid valve) ⑪을 이용하여 밸브의



- ① Water tank    ② Pump    ③ Surge tank
- ④ Check valve    ⑤ Pressure gauge    ⑥ Air tank
- ⑦ Air compressor    ⑧ Pressure transducer
- ⑨ Two way valve    ⑩ Water hammer arrester
- ⑪ Solenoid valve    ⑫ Timer    ⑬ Glove valve

Fig. 1 Schematic diagram of water hammer experimental apparatus

폐쇄시간이 일정한 상태에서 수격현상이 발생하도록 하였다. 또한 솔레노이드밸브 20 cm 전방에 2방향밸브 ⑨와 수격흡수기 ⑩을 설치하였으며, 솔레노이드밸브 30 cm 전방에 압력센서(Pressure transducer)⑧을 설치하여 수격현상에 의한 수격압력의 변화를 측정하였다.

시험부는 동관(KS D 5301 L type,  $\phi 15.88$ , 내경 15 mm)으로 하였으며, 시험부의 길이는 체크밸브 ④의 출구로부터 솔레노이드 밸브의 중심까지의 거리가 18 m가 되게 구성하였다. 밸브 폐쇄 후 수격압력의 맥동특성은 압력센서(112A21) ⑧에서 출력된 신호를 증폭기(Amplifier)와 디지털 오실로스코프(Digital oscilloscope)를 이용하여 저장하였다.

### 3.2 수격흡수기

건축물에서 사용되고 있는 수격흡수기에는 피스톤형(Piston type), 벨로우즈 형(Bellows type), 다이어프램 형(Diaphragm type) 등 다양한 형태가 있다. 이 중에서 벨로우즈 형과 다이어프램 형은 높은 제작단가와 피스톤 형에 비하여 상대적으로 큰 설치공간이 필요하기 때문에 많이 사용되지 못하고 있으며, 주로 피스톤형의 수격흡수기가 많이 사용되고 있다. 현재 보급되고 있는 피스톤형 수격흡수기는 내부 충격흡수부의 구성에 따라 스프링 형과 가스충전 형으로 분류할 수 있다. 가스충전 형에서는 충격흡수부에 주로 질소가스를 충전하여 제작되는데, 구조부나 실링(Sealing)재의 파손으로 가스가 누설되거나 이물질의 침입으로 가스의 특성이 변화되지 않는 한 반영구적으로 충격흡수능을 유지할 수 있다. 이에 반하여 스프링 형은 내장된 스프링의 피로나 부식으로 인하여 충격흡수능이 저하될 수 있다. 수격흡수기는 몇 년 전만해도 전량수입에 의존하였으나 1997년 국산화된 이후, 현재는 현장에서 사용되고 있는 수격흡수기의 80% 이상이 국산제품이다. 그러나 국산제품의 수격흡수기에 대한 수격흡수효과를 실험적으로 확인한 자료는 거의 없는 실정이다. 그러므로 본 연구의 실험에서는 국내의 (주)T사에서 제작하여 시판하고 있는 수격흡수기를 이용하였으며, 수격흡수기

의 개략도를 Fig. 2에 나타내었다. 수격흡수기의

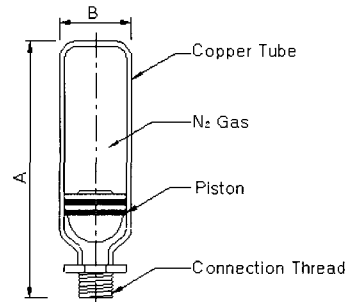


Fig. 2 Schematic diagram of water hammer arrester

Table 1 Specifications of water hammer arrester

Type	Dimension		Gas chamber volume (cm <sup>3</sup> )	Air chamber pressure (kPa)
	A(mm)	B(mm)		
A	165	28.58	80	400
B	220	34.92	110	400
C	305	34.92	180	400

KS규격은 KS B 2375에 7종류의 type으로 규정되어 있으나, 본 연구에서는 현장에서 주로 사용되고 있는 A, B, C형 3종류의 수격흡수기를 이용하였다. 수격흡수기의 가스실은 L-type의 동관으로 제작되어 있으며 내부에는 질소가스가 400 kPa로 충전되어 있고 고무링을 끼운 피스톤이 내장되어 있다. 외부에서의 압력변화에 따라서 피스톤은 가스실을 왕복운동하면서 충격을 흡수할 수 있도록 되어 있으며 배관설치용 수나사가 하단부에 있다. A, B, C형에 대한 수격흡수기의 사양은 Table 1에 나타내었다.

### 3.3 실험방법

Fig. 1과 같은 실험 장치에서 수격현상에 의한 수격압력은 밸브의 폐쇄시간이 매우 중요하므로 솔레노이드 밸브의 폐쇄는 타이머 ⑫에 의하여 밸브 폐쇄시간을 지정한 후 일정한 시간 내에 밸브가 폐쇄되도록 작동하였다. 밸브의 급 폐쇄 시 발생하는 수격현상에 의한 압력파는 압력 변동이 심하므로, 응답특성이 빠른 미국 PCB사의 압력센서(112A21)를

**Table 2 Specifications of instruments and equipments**

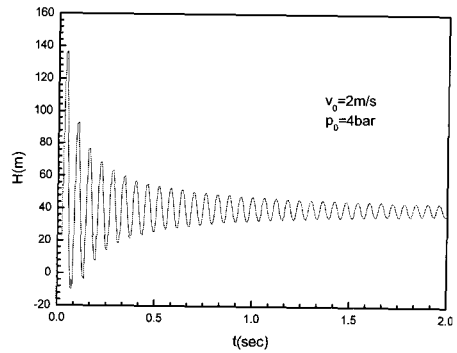
Description	Model	Specifications	Remark
Pump	LG pw-1600M	2kW, 45l/min, 60m	LG (Korea)
Data acquisition unit	LeCroy 9374M	1GHz, 16SE/8DI	LeCroy (U.SA)
Pressure transducer	112A21	49.37mV/psi, 325kHz, 10.6V	PCB Piezometric (USA)
Amplifier	44B104	×100, 1.6A, 250V	PCB Piezometric (USA)
Flow meter	Portaflow 300	0.2-12m <sup>3</sup> /s	Micronics (USA)
Solenoid valve	LGT020126	24V, 2.5W	LG Honewell (Korea)

이용하여 측정하고 출력된 압력신호를 전압신호로 변환하여 증폭기(Amplifier)와 디지털 오실로스코프(Digital oscilloscope)를 이용하여 측정된 압력 값은 PC에 저장할 수 있도록 하였다. 이때 압력 데이터의 1초당 샘플링 수는 1,000개로 하였다.

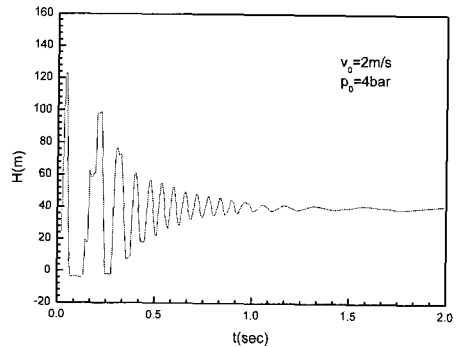
폐쇄밸브는 통전 시 폐쇄되는 형태의 솔레노이드 밸브(LG Honewell)로서 본 실험에서 밸브의 폐쇄 시간은 0.002~0.05 sec로 하였다. 배관내의 압력을 서지탱크의 압력을 조정하여 200~600 kPa로 변화시켰으며, 배관하류에 설치된 글로브밸브를 사용하여 유량을 변화시켜서 유속이 1.0, 2.0, 3.0 m/s로 되도록 조정하였으며, 유속의 측정에는 비접촉식 초음파유속계(Portaflow 300)를 이용하였다. 그리고 수격흡수기의 효과 및 최적 흡수기의 사양을 결정하기 위해 흡수기 설치 시 배관 내 압력은 400 kPa 인 조건하에서 실험을 수행하였는데, 그 이유는 수격흡수기내 공기실의 충전 압력을 400 kPa로 하였기 때문이다.

#### 4. 결과 및 고찰

본 연구에서는 건물내부의 단순 급수관로계통에서 밸브를 급 폐쇄하였을 경우에 발생하는 수격압력을 수두  $H(m)$ 로 하여 2 sec 동안의 수격압력을 계산하여 수격현상에 의한 과도 수격압력의 특성을 해석하였다<sup>(6)</sup>.



(a) Calculation



(b) Experiment

**Fig. 3 Comparison of calculation result with experiment result on water hammer pressure histories**

Fig. 3은 계산결과를 검증하기 위하여 동일한 조건에서의 계산결과(a)를 실험결과(b)와 비교하여 나타낸 그림이다. 계산과 실험에서 관내의 정상압력  $p_0=400$  kPa, 유속  $v_0=2$  m/s, 밸브폐쇄시간  $T_v=0.025$  s이며, 수격현상발생후의 압력파의 전파속도  $a=1200$  m/s 로 하였다. 그리고 계산과정에서 관마찰계수  $f=1.2$ 로 하였을 때 실험결과와 가장 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 계산결과에서는 시간의 경과에 따른 압력변화는 일정한 주기를 나타내지만, 실험결과에서는 압력변화의 주기가 불규칙하고 수격현상 발생 후 약 1 sec 경과한 후에 압력맥동현상은 거의 존재하지 않는 것을 나타내고 있다. 계산과 실험에서 최대압력수두는 수격현상 발생 직후에 나타나며 계산에 의한 최대압력수두는 136.6m이고, 실험에 의한 최대압력수두는 132.4m 이므로 오차는 비교적 작았다. 수격압력이 최대로

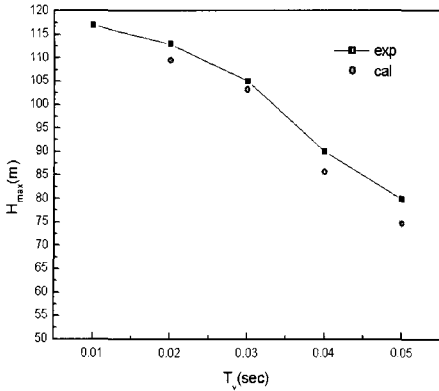


Fig. 4 Maximum pressure head with different valve closing time ( $v_0 = 1\text{m/s}$ ,  $p_0 = 3\text{bar}$ )

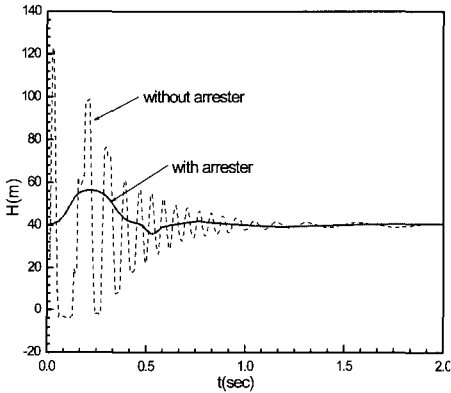


Fig. 5 Comparison of water hammer pressure with and without arrester ( $T_v = 0.025\text{s}$ ,  $v_0 = 2\text{m/s}$ ,  $p_0 = 400\text{kPa}$ )

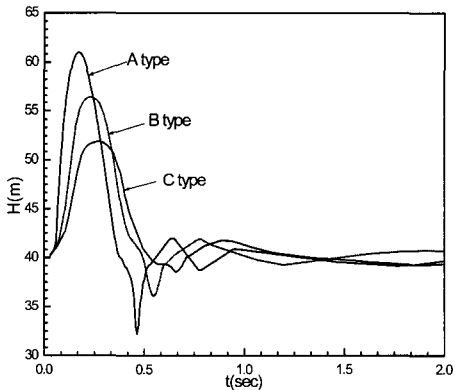


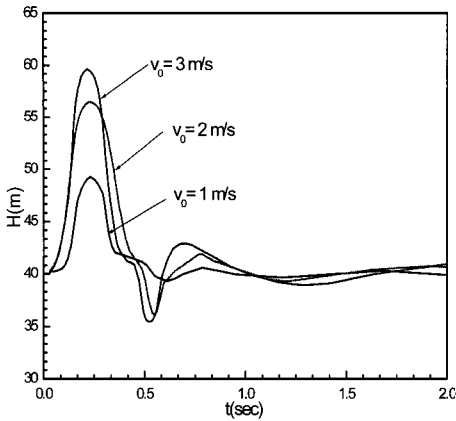
Fig. 6 Effect of arrester gas volume on water hammer pressure ( $T_v = 0.025\text{s}$ ,  $v_0 = 2\text{m/s}$ ,  $p_0 = 400\text{kPa}$ )

된 직후에는 부압(負壓)의 최저압력상태로 되며, 특히 실험에서는 최초의 부압상태에서 주기가 길어지고 불규칙한 맥동상태를 보이고 있는데, 이것은 부압이 물의 포화증기압이하로 까지 낮아져서 캐비테이션(Cavitation)이 발생하므로 압력과의 상승이 지연되기 때문이다.

Fig. 4는 관내의 유속이  $v_0 = 1\text{ m/s}$ , 초기압력  $p_0 = 300\text{ kPa}$ 인 경우에 밸브폐쇄시간  $T_v = 0.02, 0.03, 0.04, 0.05\text{ sec}$ 로 변화시켰을 경우의 최대 압력수두  $H_{max}$ 를 계산결과와 실험결과를 비교하여 나타낸 그림이다. 각각의 밸브폐쇄시간에서 수격현상 발생 직후 실험에 의한 최대수격압력은 각각 109 m, 102 m, 86 m, 73 m이다. 밸브폐쇄시간  $T_v$ 가 압력파가 관내를 왕복하는 시간  $2L/a (= 0.03\text{sec})$ 을 경계로 하여 밸브폐쇄시간  $T_v = 0.03\text{sec}$ 이내인 경우에 수격압력의 차는 크지 않지만,  $T_v = 0.03\text{sec}$ 이상인 경우 차이는 상대적으로 작다는 것을 확인하였다. Fig. 5는 관내의 초기유속  $v_0 = 2\text{ m/s}$ 이고 초기압력  $p_0 = 400\text{ kPa}$ 인 경우에 수격흡수기를 설치하지 않은 경우와 B형의 수격흡수기를 설치한 경우에 수격현상발생후의 수격압력수두의 변화를 비교하여 나타낸 그림이다. 수격흡수기를 설치하지 않은 경우에는 관로에서 수격압력의 변화가 심하며 압력변동의 폭도 상당히 크다. 또한 급수관내의 일부 구역에서 압력이 물의 포화증기압 이하로 낮아져 캐비테이션이 발생한다. 관로 내 압력이 대기압보다 낮아지면 배관이 압괴될 수 있으며 캐비테이션이 소멸될 때 높은 압력이 유발되어 심한 수격현상이 일어나 관로에 파손을 입힐 우려가 있다.

이러한 수격현상을 완화시켜주기 위하여 수격흡수기를 설치한 경우에는 수격압력의 증가는 200 kPa 정도로 매우 작아지고 부압도 높아져서 캐비테이션도 발생하지 않으며, 압력변동은 거의 없어지는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 수격흡수기에서 가스실의 체적이 수격압력의 흡수효과에 미치는 영향을 확인하기 위하여 관내의 초기유속  $v_0 = 2\text{m/s}$ 이고 초기압력  $p_0 = 400\text{ kPa}$ 인 경우에 A형( $80\text{cm}^3$ ), B형( $110\text{cm}^3$ ), C형



**Fig. 7 Effect of initial velocity on water hammer pressure with arrester**  
( $T_v = 0.025s, p_0 = 400kPa$ )

(180cm<sup>3</sup>)인 3종류의 서로 다른 체적의 가스실을 갖는 수격흡수기를 설치하여 수격현상 발생 직후의 압력변화를 비교하여 나타낸 그림이다. Fig. 6에서 A, B, C형의 흡수기를 설치하였을 때 최대압력수두는 각각 60.99 m, 56.84 m, 51.95 m로서 가스실의 체적에 관계없이 A, B 및 C 형 모두에서 최대발생 압력이 1 MPa 이하로 낮게 유지 된다. 또한 흡수기를 설치하지 않았을 때 나타나는 주기가 짧고, 맥동이 큰 압력파의 형상과는 다르게 극심한 압력변동은 나타나지 않으므로 수격현상이 발생하더라도 배관에 미치는 영향이 매우 작으며, 가스실의 체적이 증가할수록 압력변동도 완화된 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 B형 흡수기를 설치 한 경우, 배관 내 유속변화에 따른 압력변동 특성을 나타낸 것이다. 유속변화에 관계없이 배관내의 최대압력은 1 MPa 이하로 제한되고 있음을 나타내고 있다. 그러나 유속이 증가할수록 최대압력은 높게 나타나며 수격현상에 의하여 발생하는 최대 및 최저 압력은 유속에 따라서 변화되는 것을 알 수 있다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 건축물 급수관로에서 발생하는 수격현상을 계산결과와 실험결과를 비교하였다. 또한 밸브 급 폐쇄에 의해 발생하는 압력을 효과적으로 제어하기 위해 사용되는 수격흡수기의 수격흡수효과

를 확인하기 위하여, 실제 건축물 급수배관으로 사용되고 있는 동관에서 배관 내 초기압력 200~600 kPa, 유속 1~3 m/s의 범위 하에서 흡수기내 공기실의 체적이 다른 3종의 흡수기에 대한 압력 흡수효과를 실험하였으며 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 이론적 계산에 의하여 구한 해를 실험결과와 비교하여 해석결과의 신뢰성을 확인하였고, 밸브폐쇄시간, 초기유속과 압력이 수격현상발생후의 수격압력 특성에 미치는 영향을 분석하였다.

(2) 수격흡수기를 설치하지 않은 경우 관로 내 초기압력이 200 kPa로 낮고 유속이 일반적 제한치인 1 m/s인 경우에도 최대 수격압력은 1 MPa이상일 수 있으며, 또한 최저 압력도 대기압 이하의 부압이 되기 때문에 수격현상을 고려한 수격압력 완화장치가 필요하다.

(3) 수격흡수기를 설치한 경우에는 수격압력의 증가는 200 kPa 정도로 매우 작아지고 부압도 높아져서 캐비테이션도 발생하지 않으며, 압력변동은 거의 없어지는 것을 알 수 있다.

(4) 수격흡수기의 가스실체적이 동일한 경우, 유속이 증가할수록 최대압력은 높게 나타나며, 최저압력은 낮아진다. 또한 동일한 유속에서는 가스실체적이 클수록 최대압력은 낮아지고, 최저압력은 높아져서 압력 흡수효과는 좋아진다.

(5) 급수배관에서 수격현상에 의한 피해를 방지하기 위해서는 배관설계 시에 조닝 및 적절한 유속이 되도록 배관 경을 결정하는 설계뿐만 아니라, 적절한 흡수 능력을 갖는 수격흡수기를 선정하여 설치하여야 한다.

### 참고문헌

[1] Sweeney, E. J. and Griffith, Peter, "Water Hammer due to the Sudden Stopping of a Flashing Flow", Trans. ASME, J. of Thermal Hydraulics, pp.121-126, 1992.  
[2] 한화택, 김종만, "단순급수관로계내의 에 어챔버 및 어레스터의 수격방지 효과에 관한 실험적 연구", 공기조화냉동공학회논문집, 제8권

제1호, pp.37-44, 1996.

- [3] 황희성, 임기원, 이광복, “공기실이 설치된 건축물 급수관로의 과도압력특성”, 설비공학회 논문집, 제12권 제8호, pp.782-790, 2000.
- [4] 과학기술처, 신 주택기술개발, 1992.
- [5] Watters, Gary Z., Analysis and Control of Unsteady Flow in Pipe-lines, Ann Arbor Science, 1984
- [6] 이명호, “펌프관로계의 수격현상해석”, 한국박용기관학회지, 제22권 제1호, pp.92-99, 1998.

## 저 자 소 개



### 최중근 (崔重根)

1979년생, 2005년 서울산업대학교 기계공학과 졸업, 현재 서울산업대학교 에너지 환경대학원 에너지시스템 공학과 석사과정.



### 이석중 (李錫鍾)

1975년생, 2001년 서울산업대학교 기계공학과 졸업, 현재 서울산업대학교 에너지환경대학원 에너지시스템공학과 석박사 통합과정.



### 이명호 (李明昊)

1955년생, 1984년 경희대학교 기계공학과 졸업, 1993년 경희대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학박사), 1993년 현재 서울산업대학교 기계공학과 교수 .



### 성재용 (成在庸)

1970년생, 1994년 서울대학교 기계공학과 졸업, 1996년 서울대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학석사), 2001년 서울대학교 대학원 기계항공공학부 졸업(공학박사), 2006년 현재 서울산업대학교 교수.