

공기실이 설치된 건축물 급수관로의 과도압력 특성

황희성, 임기원*, 이광복*, 조병선, 차동진†

대전산업대학교 제어계측·건축설비공학부, *한국표준과학연구원 유체유동그룹

Characteristics of the Transient Pressure in a Building Water Supply System with an Air Chamber

Hee Sung Hwang, Ki Won Lim*, Kwang Bok Lee*, Byung-Sun Cho, Dong-Jin Cha†

Division of Control and Instrumentation and Building Services Engineering,
Taejon National University of Technology, Taejon 305-320, Korea

†Fluid Flow Research Group, Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon 305-600, Korea

(Received May 15, 2000; revision received June 20, 2000)

ABSTRACT: A numerical study has been conducted to characterize the transient pressure in a building water supply system with an air chamber by utilizing a commercial code that employs the method of characteristics. Some results produced for the purpose of verification in the study agree quite well with the previously reported. Several parameters are then varied. Among them are the valve closure time, the wave speed, the static pressure, the polytropic exponent, the air chamber volume, the inner diameter and the shape of orifice in the air chamber, etc, while the water temperature and velocity are kept constant at 20°C and 0.8 m/s, respectively. Results reported in this parametric study may be useful to understand the unsteady behavior of the system.

Key words: Water hammer(수격), Air chamber(공기실), Building services(건축설비), Computer simulation(컴퓨터 모사)

기 호 설 명

a : 압력파 전파속도 [m/s]
 d_o : 오리피스 직경 [mm]
 H_w : 공기실 초기 수위 [mm]
 L : 공기실 길이 [mm]
 L_o : Long-edged 오리피스 길이 [mm]
 n : 폴리트로프 지수
 T_v : 폐쇄밸브 폐쇄시간 [s]

p : 수격압 [bar]
 p_s : 정수압 [bar]
 V : 공기실 체적 [cm³]

1. 서 론

건축물 급수·급탕 배관계통에 설치되어 있는 밸브류(특히, 윈터치 밸브)의 급격한 개폐 또는 펌프류의 기동 및 정지는 계통내 유체 유동의 과도 압력현상을 발생시킨다. 이 때 발생하는 높은 진폭의 압력파는 구조물의 진동 및 소음문제를 초래하여 쾌적하고 편리하며 안락한 건축환경을 추구하는 최근의 추세에 심각한 문제를 야기하고

† Corresponding author

Tel.: +82-42-821-1182; fax: +82-42-821-1175

E-mail address: djcha@tnut.ac.kr

있다. 특히 건축물이 대형·고층화되면서 발생하는 높은 급수압은 수격현상⁽¹⁾의 심각성을 가중시키고 있다. 이러한 건축설비에서의 수격현상을 저감시키기 위해 고안된 대표적인 장치가 공기실(air chamber) 및 수격흡수기(water hammer arrester)이다. 국외에서는 공기실의 설계 및 성능 예측방법이 잘 확립되어 설계를 위한 상용 컴퓨터 코드⁽²⁾가 이미 개발되었다. 수격흡수기에 관하여도 1960년대에 관련규격^(3,5)들이 제정되어 표준화된 제품들이 사용되고 있다. 국내 건축설비업계에도 상대적으로 간단한 구조의 공기실의 사용이 보편화되었으며 그 후 소개된 흡수기도 최근 국내의 대규모 집단거주시설에 보급되고^(6,7) 있다.

단순배관계에서의 수격현상 및 수격압 저감 장치들의 효과에 대한 국내의 대표적인 실험연구로 Lee et al⁽⁸⁾ 및 Han and Kim⁽⁹⁾의 보고가 있다. 설계 및 성능 개선을 위한 국내의 수치해석 연구는 Kang et al⁽¹⁰⁾의 공기실 설계 및 성능예측 연구 등이 있다. 그러나 이러한 공기실에 관한 수치연구는 상수도 등의 대용량 급수배관을 대상으로 하여 공기실의 체적이 수 m³을 상회하는 등 건축설비용 공기실(체적 : 수백 cm³)의 특성을 이해하는데 적절치 않을 수 있다. 또한 향후 건축설비용 수격저감 장치로 흡수기가 보다 광범위하게 사용되리라고 예상되나 제작과 시공의 편리성 때문에 공기실의 사용은 당분간 지속될 것으로 사료된다.

본 연구에서는 최근 발표한 예비 결과⁽¹¹⁾를 보완하여, 건축설비 배관계에서 밸브 폐쇄시간, 압력과 전파속도, 정수압 등 입력변수에 따른 과도압력 특성을 수치 해석하고, 소용량 공기실의 수격 저감 특성을 고찰하기 위해 폴리트로프 지수, 공기실 체적, 오리피스 내경 및 형상 등 제 인자에 따른 효과를 수치적으로 살펴보고자 한다.

2. 수치 실험

일차원 유체 배관시스템을 특성곡선법(method of characteristics)을 활용하여 해석하는 상용코드인 Flowmaster2 Version 5.2⁽¹²⁾를 사용하였다. 이 코드는 다양한 공학분야에서 활용되며, 특히 배관 내의 비정상 압력 수치 해석에 우수한 성능이 있는 것으로 알려져 있다. 코드의 활용 능력을 검증하기 위해 기 발표된 실험결과⁽⁸⁾를 이용

하였다. Fig. 1은 실제 건축물 배관에서 많이 사용되는 압력탱크식 배관계로, 항온수조(1), 서지탱크(3), 압축기(9), 공기탱크(10), 헤더(4), 실험배관부, 폐쇄밸브(6) 및 하류저수조(7)로 구성되어 있다. 실험배관부는 헤더 출구로부터 폐쇄밸브 중심까지(길이 : 18 m)로 정의하였고 동관(KS D 5301 L type, 내경 19.94 mm, 두께 1.14 mm)으로 제작되었다. 수격현상을 발생시키는 폐쇄밸브는 통전 개방형 솔레노이드 밸브를 사용하였고 압력 센서(5)는 폐쇄밸브의 0.5 m 상류 측에 설치하였다. 배관 내의 압력 유지는 압축기와 공기탱크를 이용하였다. 기타 실험에 관한 사항은 참고문헌 8에 상세히 기술되어 있다.

Fig. 2는 상기 실험을 모사하기 위해 본 연구에서 사용한 Flowmaster2 관로망이다. 실험에서 사용한 항온수조, 압축기, 공기탱크, 헤더 등의 설비는 해석에서 제외하여 구성하였다. 검증 수치 실험 후 관로망에 오리피스가 장착된 수격 흡수 공기실을 추가하였다. Fig. 1에 나타난 요소 중 본 연구와 직접 관련된 요소만을 정리하여 Fig. 2의 요소와 비교한 결과가 Table 1이다. 압력탱크(서지탱크)의 효과를 모사하기 위해 저장조 내의 압력을 조절하여 관로 내 정수압을 유지하였다. 상용코드에 포함되어 있는 표준 요소를 사용하기 위해 솔레노이드 밸브는 게이트 밸브와 컨트롤러를 사용하여 모사하였다. 실험에서는 솔레노이드 밸브 0.5 m 상류에 압력센서를 설치하여 압력을 측정하였지만, 수치실험에서는 이 위치에 수충격 흡수 공기실을 부착할 수 있도록 노드(노드 4)를 두었고 그 0.5 m 상류측에 압력 측정용 노드(노드 3)를 별도로 두었다. 따라서 실험 배관부는 3개 구간으로 분리되었다. 전체적으로 계산 요소와 노드는 각각 10 및 7 개로 구성되어 있다. 공기실이 설치되지 않은 실험결과와 비교를 위해서는 공기실을 제거하고 수치실험을 하여 노드 4에서의 압력을 관찰하여 실험과 동등한 위치에서의 과도압력을 비교하였다. 공기실이 부착된 수치실험은 특별한 언급이 없는 한 노드 3의 압력을 나타낸다.

해석 시 시간스텝은 압력과 전파속도 및 관 길이 등을 고려하여 코드에서 요구하는 조건을 만족하도록 결정하였고, 그 값은 0.415 ms이었다. 상용코드를 300 MHz 펜티엄 II PC에 설치하여 사용하였으며 한 케이스를 해석하는 데 소요되는

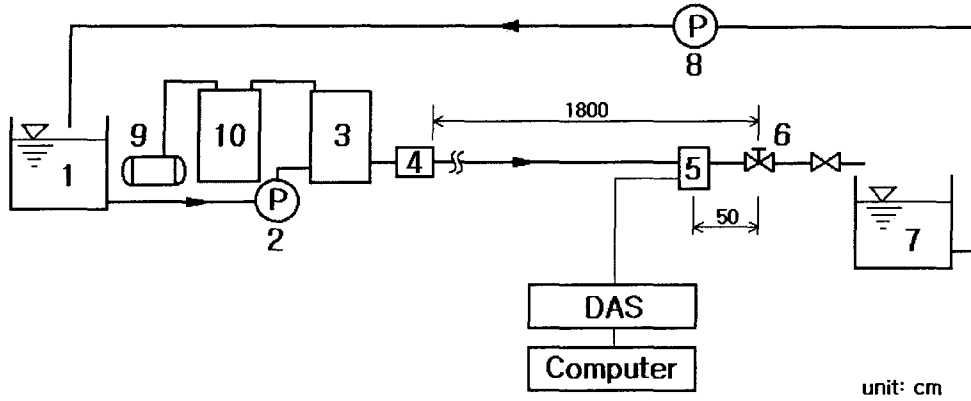


Fig. 1 Schematic diagram for water hammer experimental apparatus (ref. 8).

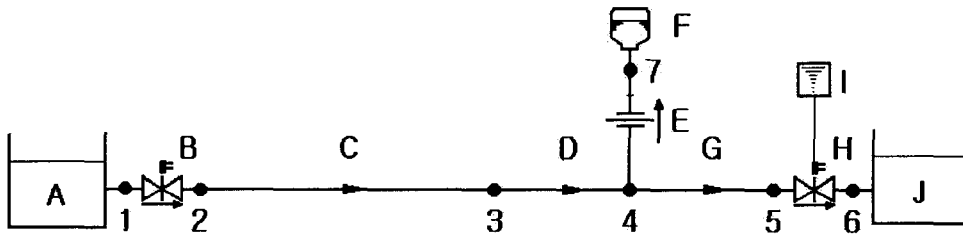


Fig. 2 Flowmaster2 network for simulating the water hammer of Fig. 1.

시간은 대개 10 s 미만이었고 매 시간스텝 마다 10회 미만의 반복계산을 하였다.

Table 1 Components of two water supply systems

Symbol	Component	
	Present Study	Ref. 8
A	Pressurized Reservoir	Pressurized Tank
B	Gate Valve	Valve
C	Horizontal Pipe I	Test Section
D	Horizontal Pipe II	Test Section (cont'd)
E	Orifice	-
F	Air Chamber	-
G	Horizontal Pipe III	Test Section (cont'd)
H	Gate Valve	Solenoid Valve
I	Controller	Computer System
J	Reservoir	Reservoir

3. 결과 및 논의

Fig. 3(a)는 유속 약 0.8 m/s, 압력 4 bar로 흐르는 20°C의 시수를 폐쇄하였을 때 과도 압력이 다. 여기서 $t = 0$ s는 압력 측정을 시작한 시간이며, 약 0.35 s 경과 후 폐쇄한 것이다. 밸브 폐쇄 시간을 압력이 급상승하는 시간으로부터 최대가 되는 순간까지로 정의⁽⁸⁾하였을 때 그 값은 약 26 ms이었다. 또한, 압력과 전파속도는 약 1204 m/s⁽⁸⁾로 계산되었다.

이 실험 결과를 모사하기 위해 Fig. 2의 오리피스(E) 및 공기실(F) 모듈을 제거한 후 상류 측 수조(A)와 하류 측 수조(J)의 절대압력을 각각 4.997 및 4.910 bar로 유지하고 두 게이트 밸브(B 및 H)는 100% 개방하였다. 이와 같은 유동균형(flow balancing)으로 상기 실험과 동일한 유동

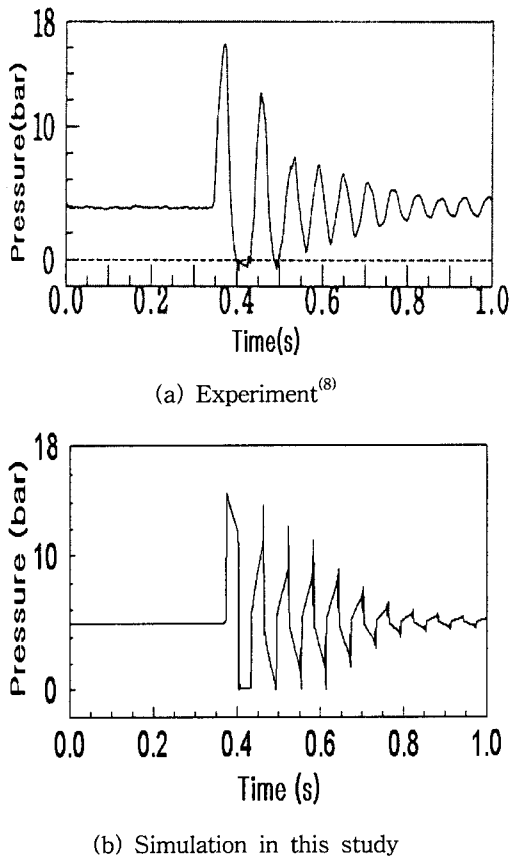


Fig. 3 Water hammer pressure caused by quick valve closure.

조건을 유지하였고, 0.35 s 후 컨트롤러(I)를 이용하여 게이트 밸브(H)를 25 ms 동안에 전폐(개도 0%)하였다. 이 때 조사된 과도 절대압력이 Fig. 3(b)에 나타나 있다. 두 결과는 압력파의 주기 면에서는 매우 잘 일치하고 있고 수치실험 결과가 절대압인 것을 감안하면 압력파의 진폭도 상당히 유사한 것을 알 수 있다. 이상의 검증을 통하여 상용코드의 적용 및 활용이 적절하게 이루어졌음을 확인할 수 있다.

우선, 단순배관계의 수격 특성을 알아보기 위해 폐쇄밸브의 폐쇄시간, 압력파 전파속도 및 정수압을 변화시키면서 수치 실험을 수행하였다.

3.1 밸브 폐쇄시간 효과

수격 흡수기의 시험 시 폐쇄밸브의 폐쇄시간은

30 ms를 초과하지 않도록 규정⁽³⁾되어 있고, 또한 건축설비용 윈터치 밸브의 개폐시간도 수십 ms 이상으로 알려져 있어 폐쇄시간을 25, 50, 100, 200 및 400 ms로 변화시키며 수격 압력파의 변화를 조사하였다. 편의상 밸브 폐쇄 종료 시간을 0.525 s로 정하였다. 따라서 폐쇄시간이 25 ms인 경우, 폐쇄밸브는 0.500 s 이전까지는 전개 상태로 유지되다가 0.500 s에 닫히기 시작하여 0.525 s에 전폐 상태가 되도록 하였다. 이후 밸브가 급격히 폐쇄됨에 따라 반동에 의해 미소하게 개방될 수 있을 것으로 판단되어 이 현상을 반영하였으며, 이 특성은 모든 케이스에 동일하게 적용하였다. 이 때 압력과 전파속도는 1204 m/s, 정수압은 5 bar로 고정하였다.

Fig. 4는 폐쇄밸브의 폐쇄시간의 효과를 나타내고 있다. 식별이 용이하도록 다섯 경우 중 25, 100 및 400 ms 경우만 표시하였다. 밸브 폐쇄시간이 가장 긴 400 ms의 경우를 예로 들어 밸브 폐쇄시간 동안의 압력 변화를 살펴보면, 폐쇄시간동안(0.125 - 0.525 s) 밸브는 100%에서 0%로 선형적으로 닫혀지지만 압력은 밸브가 거의 닫혀진 개도 약 7%인 0.5 s부근부터 상승하기 시작하는 것을 알 수 있다. 폐쇄시간이 증가할수록 압력파의 진폭은 감소하며 파형도 보다 유연해지고 압력파의 주기는 폐쇄시간에 큰 영향을 받지 않는 것으로 조사되었다. 밸브 폐쇄시간에 따른 압력파 진폭의 변화를 보다 효과적으로 비교하기 위해 첫 세 압력파형의 최대값을 폐쇄시간별로 정리한 결과가 Table 2이다. 표에서 보는 바와 같이 조사한 모든 파형에 대하여 폐쇄시간이 늘어날수록 최대 압력은 감소함을 알 수 있다.

3.2 압력파 전파속도 효과

배관 내 압력파 전파속도는 유체의 체적탄성계수, 유체의 밀도, 관 재료의 종탄성계수, 관 내경, 관벽의 두께, 및 관로의 구속계수에 관한 식으로 결정된다.⁽¹²⁾ 본 수치 실험조건에서 이론식에 의한 값은 약 1291 m/s 정도이나 배관의 지지상태에 따라 결정되는 구속계수에 의해 영향을 받으므로, 1000, 1100, 1204, 1300 및 1400 m/s로 변화시키며 압력파 전파속도 효과를 살펴보았다. 여기서 1204 m/s는 검증에 사용한 실험에서 계산된 값⁽⁸⁾이다. Fig. 5는 1000, 1204 및 1400 m/s

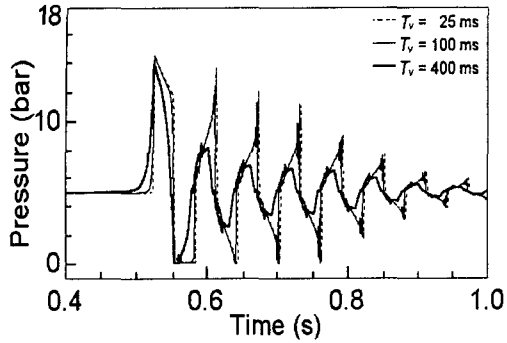


Fig. 4 Effect of valve closure time on the water hammer pressure for $a = 1204$ m/s and $p_s = 5$ bar.

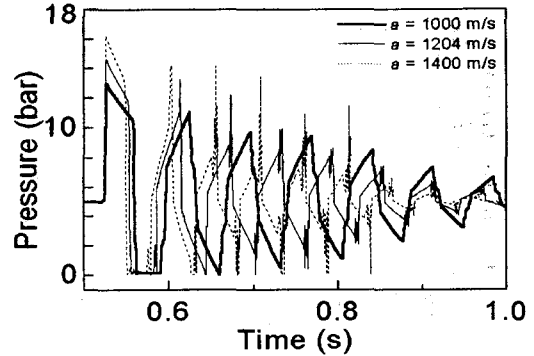


Fig. 5 Effect of wave speed on the water hammer pressure for $T_v = 25$ ms and $p_s = 5$ bar.

Table 2 Variation of maximum water hammer pressures as a function of valve closure time

T_v (ms)	p_{max} (bar)		
	1st Pres. Wave	2nd Pres. Wave	3rd Pres. Wave
25	14.68	13.76	12.17
50	14.67	13.10	11.94
100	14.64	12.48	11.33
200	14.50	11.75	9.08
400	14.05	8.51	7.30

의 결과만을 나타내고 있으며 압력과 전파속도가 커질수록 수격 압력과의 초기 진폭은 증가하나 주기는 감소함을 알 수 있다. 이 수치실험에서 밸브 폐쇄시간은 25 ms, 정수압은 5 bar이었다.

3.3 정수압 효과

건축물이 대형·고층화하면서 건축물 내의 수직 배관의 길이가 길어지고 이로 인하여 배관 내 정수압이 증대된다. 따라서 조닝(zoning)을 통해 압력을 조정하고 있으나 배관계를 정밀하게 조정하기는 쉽지 않으므로 각 층별 정수압은 차이가 있다. 배관 내 정수압을 2, 3, 4, 5 및 6 bar로 변화시키며 수격 압력과 특성을 수치 실험하였고, Fig. 6은 그 중 2, 4 및 6 bar의 결과만을 나타내고 있다. 정수압이 커질수록 밸브 폐쇄 후 발생하는 첫 압력과의 진폭은 대략 초기 정수압의 증가분만큼 변화하며 정수압이 증가할수록 주기는 다소 짧아지는 경향을 보이고 있다.

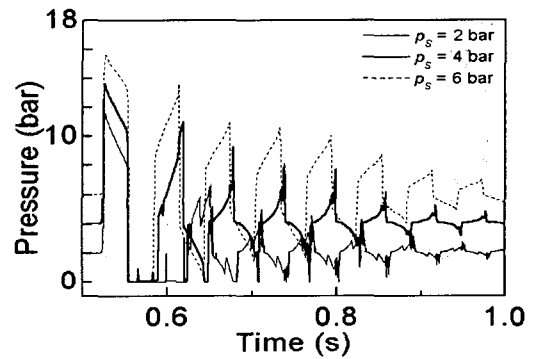


Fig. 6 Effect of static pressure on the water hammer pressure for $T_v = 25$ ms and $a = 1204$ m/s.

이상과 같이 단순배관계의 밸브 폐쇄시간, 압력과 전파속도 및 정수압에 의한 수격압 특성을 고찰하였다. 다음으로 수격압 완화 장치인 공기실의 수격압 저감 특성을 조사한다. 공기실의 특성을 결정하는 주요 인자인 폴리트로프 지수, 공기실 체적, 및 부착된 오리피스 내경 크기 및 형상의 효과를 조사하였다. 이상의 제 인자의 효과를 조사하기 위해 Table 3과 같이 제원이 각기 다른 공기실 21개를 활용하였다. 공기실의 내경은 실험배관부에서 사용한 동관의 내경과 같도록 하였다. 우선 공기실의 체적을 결정하는 공기실의 길이는 300 mm부터 1440 mm사이의 다섯 단계로 구분하였다. 300 mm는 대부분의 국내건설 현장에서 시공되고 있는 길이이며, 1440 mm는 PDI 규격⁽³⁾에서 권장하고 있는 길이이다. 표에서 초기 수위(initial water level)는 대기압 상태의

Table 3 Dimensions of air chambers tested

Case	L (mm)	V (cm ³)	H _w (mm)	Orifice		
				Type	d _o (mm)	L _o (mm)
1	300	93.7	60.6	Sharp-edged	5.98	-
2				ditto	8.97	-
3				ditto	11.96	-
4				ditto	16.62	-
5				Long-edged	5.98	5.00
6				ditto	8.97	5.00
7				ditto	11.96	5.00
8				ditto	16.62	5.00
9	500	156.1	101.0	Sharp-edged	11.96	-
10	800	249.8	161.7	ditto	11.96	-
11	1200	374.7	242.5	ditto	11.96	-
12	1440	449.7	291.0	ditto	5.98	-
13				ditto	8.97	-
14				ditto	11.96	-
15				ditto	16.62	-
16				Long-edged	5.98	5.00
17				ditto	8.97	5.00
18				ditto	11.96	5.00
19				ditto	11.96	10.00
20				ditto	11.96	19.94
21	ditto	16.62	5.00			

공기실을 관로에 설치하였을 때 관로 내 초기압력에 의해 공기실로 유입되는 물의 높이를 의미하며, 보일-샤알의 법칙을 이용하여 계산하였다. 공기실 입구에 설치되는 오리피스는 sharp-edged 및 long-edged 형상에 대하여 내경을 5.98, 8.97, 11.96 및 16.62 mm로 변화시켰으며 long-edged 형상은 그 길이도 5.00, 10.00 및 19.94 mm로 구분하였다. 이 수치실험에서 단순 배관계의 제 인자는 급수온도 20°C, 유속 0.8 m/s, 밸브 개폐시간 25 ms, 압력과 전파속도 1204 m/s, 및 정수압 5 bar로 고정하였다.

3.4 폴리트로프 지수 효과

공기실 내 압축공기는 폴리트로프 과정으로 팽창·수축하게 된다.⁽¹⁰⁾ 공기의 폴리트로프 지수는 등온과정인 경우 1이며 단열과정에서는 1.4이다. Fig. 7은 폴리트로프 지수에 따른 수격 압력의 변화를 알아보기 위해 수격압과 정수압의 차압을 나타내고 있다. 공기실은 그 길이가 1440 mm이며, 내경 11.96 mm의 오리피스를 장착한 Case 14를 사용하였다. 지수가 작아질수록 수격 압력 파의 주기는 증가하고 압력 진폭은 감소한다. 이는 공기실로부터 관로로 물이 유출될 때, 등온과

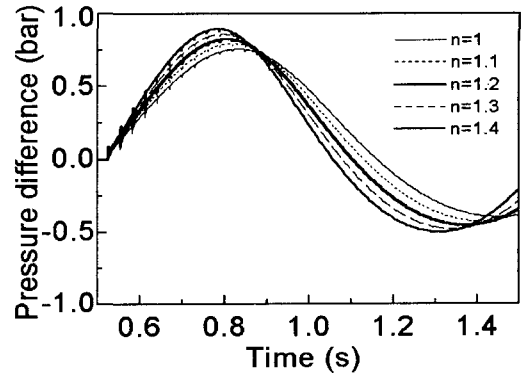


Fig. 7 Effect of polytropic exponent on the water hammer pressure with Case 14.

정의 압축공기는 단열과정의 압축공기에 비해 과다 팽창되어 물을 더 많이 관로로 유출시키고 압력 강하율은 더 낮아지기 때문이다.⁽¹⁰⁾ 본 연구에서는 일반적으로 많이 사용하는 폴리트로프 지수인 1.2⁽¹⁰⁾를 사용하였다.

3.5 공기실 체적 효과

공기실의 체적 효과를 조사하기 위해 공기실의 길이를 300 mm부터 1440 mm까지 다섯 단계로 구분하여 실험하였다. 우선 공기실의 수격 저감 효과를 알아보기 위해 공기실 체적이 가장 큰 Case 14 공기실을 부착한 경우와 공기실이 없는 경우의 과도 압력특성을 비교한 것이 Fig. 8이다. 그림에서 보는 바와 같이 공기실을 부착한 경우 수격압 진폭이 현저히 줄어드는 반면, 주기는 상당히 길어진 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 공기실의 체적에 따른 수격압의 변화를 보여주고 있다. 이 때 오리피스의 내경은 모든 공기실 공히 11.96 mm이다. 그림에서 보는 바와 같이 공기실 체적이 증가할수록 수격압 저감 효과는 크며 수격현상의 주기는 길어지는 것을 관찰할 수 있다. 이는 공기실의 체적이 증가할수록 공기실 내 압축공기의 압력변화율이 감소하고 공기실과 관로 사이에 물의 유출입량이 증가하기 때문이다.

3.6 오리피스 내경 크기와 형상 효과

공기실 전단에 설치되는 오리피스는 수격압 저

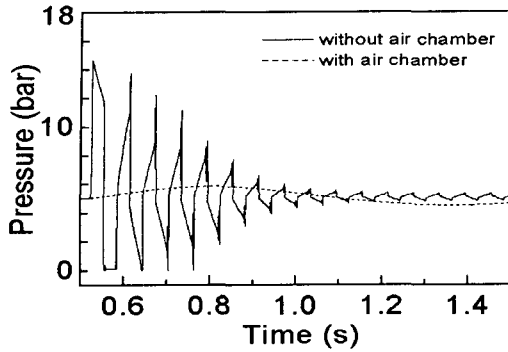


Fig. 8 Comparison of the water hammer pressures with and without an air chamber of Case 14.

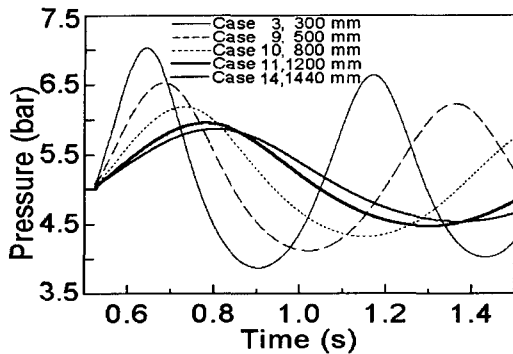
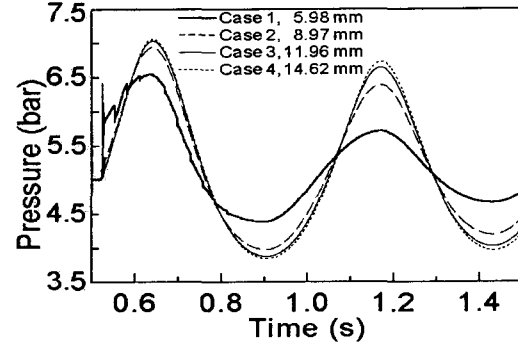
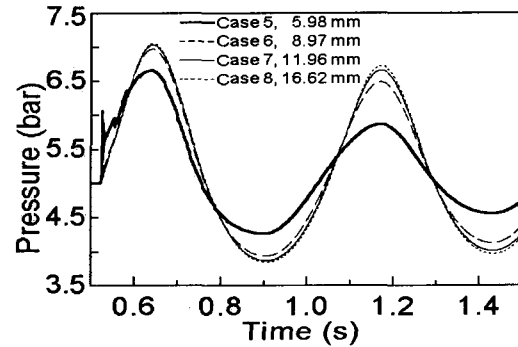


Fig. 9 Effect of air chamber volume on the water hammer pressure with an 11.96 mm in diameter sharp-edged orifice.

감시 공기실의 최대 및 최소압력을 결정하는 기능을 하여 대용량 공기실의 최적 설계에서 주요한 설계 요소이다.⁽¹⁰⁾ 그러나 건축설비에 설치되는 소용량 공기실은 대개 그 구조가 단순하고 오리피스 가 설치되지 않은 채 시공되는 경우도 있으나, 단면적 변화가 초래되는 접속부의 존재가 오리피스와 동등한 영향을 줄 수 있다. 따라서, 공기실 전단에 설치되는 오리피스의 내경 크기와 형상의 효과를 조사하였다. 이들 조건을 변화시킨 케이스가 Table 3에 정리되어 있다. 각 케이스별 유량계수의 결정은 오리피스 내경 크기 및 형상에 따라 상용 코드에 구축되어진 데이터 베이스에 의해 결정하도록 하였다. Fig. 10(a)는 길이 300 mm의 공기실에 sharp-edged 오리피스를 부착하여 오리피스 내경을 변화시키면서 수격압



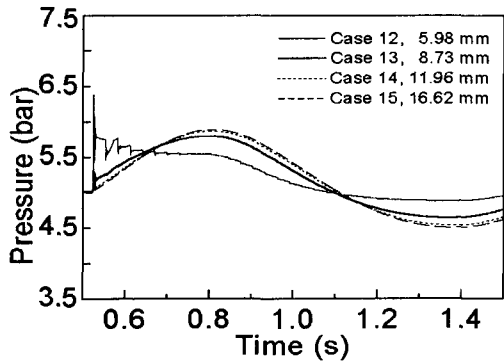
(a) Sharp-edged



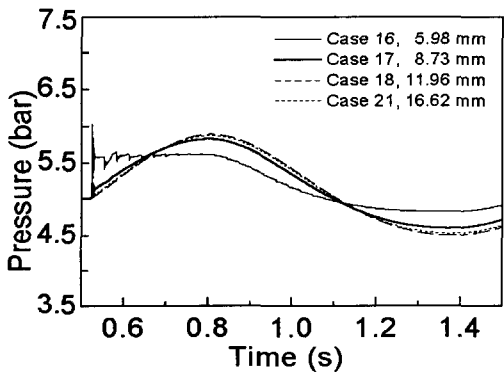
(b) 5 mm long-edged

Fig. 10 Effect of inner diameter of orifice on the water hammer pressure with 300 mm long air chamber.

변화를 관찰한 결과이다. 오리피스 내경이 감소할수록 압력 진폭이 감소하여 수격 작용이 보다 빨리 감쇄됨을 보이고 있다. 이는 타 연구자⁽¹⁰⁾의 보고와 일치되는 경향이다. 오리피스 내경이 가장 작은 Case 1의 결과에서 밸브 폐쇄 직후 공기실이 없는 경우(Fig. 8 참조)보다는 미약하지만 급격한 압력 증가가 관찰되는 데, 이는 관로에서 공기실로 물이 유입될 때 상대적으로 큰 유동저항에 의한 압력상승으로 이해된다. Fig. 10(b)는 동일 조건에서 sharp-edged 오리피스 대신 오리피스 길이 5 mm의 long-edged 오리피스를 부착하였을 때의 결과이며 sharp-edged 오리피스 결과와 매우 유사함을 나타내고 있다. 같은 방법으로 길이 1440 mm의 공기실에 sharp-edged 오리피스와 long-edged 오리피스를 부착하여 오리피스 내경의 효과를 고찰한 결과가 각각 Fig. 11(a) 및 11(b)이다. 공기실 체적의 증가에 따른 압력



(a) Sharp-edged



b) 5 mm long-edged

Fig. 11 Effect of inner diameter of orifice on the water hammer pressure with 1440 mm long air chamber.

진폭의 감소 및 압력과 주기의 증가 현상만이 관찰되었을 뿐, 길이 300 mm 공기실 결과와 매우 유사한 경향을 보이고 있다.

오리피스 형상에 따른 효과를 알아보기 위해 sharp-edged 오리피스와 오리피스 길이를 5.00, 10.00 및 19.94 mm로 가변시킨 long-edged 오리피스를 길이 1440 mm 공기실에 부착하였을 때 수격압 변화를 비교한 결과가 Fig. 12 및 Table 4이다. 그림에서 보는 바와 같이 압력과 진폭은 미소한 차이를 보이며 주기는 변화가 없는 것으로 판단된다. 표는 각 경우별 첫 압력파의 최대 압력 및 최소압력을 정리한 것으로, sharp-edged 오리피스의 압력진폭이 가장 작은 값을 보이고 있고 long-edged 오리피스의 길이가 길어질수록 압력진폭이 미소하게 증가하는 것을 알 수 있다.

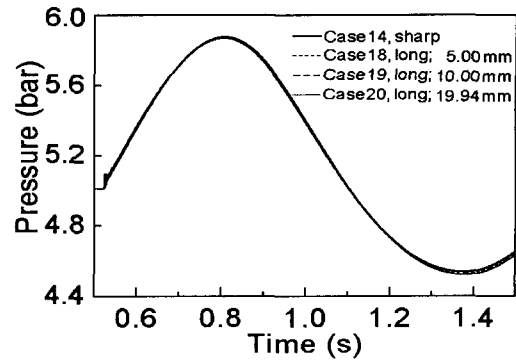


Fig. 12 Effect of the shape of orifices on the water hammer pressure.

Table 4 Variation of the first water hammer pressure wave with different shape of orifice

Orifice Shape	P_{max} (bar)	P_{min} (bar)
Sharp-edged	5.870	4.539
Long-edged, $L_o=5.00$ mm	5.875	4.531
Long-edged, $L_o=10.00$ mm	5.878	4.526
Long-edged, $L_o=19.94$ mm	5.880	4.523

4. 결론

건축물 급수·급탕 배관계의 관로 말단에 설치된 밸브의 폐쇄에 의해 발생하는 수격현상과 수격압 저감용 소용량 공기실의 특성을 수치적으로 조사하였다. 단순배관계에서는 밸브 폐쇄시간, 압력과 전파속도, 및 정수압의 효과를, 공기실을 부착한 후에는 공기실 내의 압축·팽창을 지배하는 폴리트로프 지수, 공기실 체적, 및 오리피스 내경 크기와 형상의 효과를 고찰하였다. 이상의 인자 외에 수격 현상에 영향을 줄 수 있는 급수온도 및 유속은 각각 20℃ 및 0.8 m/s로 일정하게 유지하였다.

(1) 밸브 폐쇄시간이 길어질수록 압력파의 진폭은 감소하고 파형도 유연해지나 주기는 크게 영향을 받지 않았고, (2) 압력과 전파속도가 빨라질수록 압력파의 초기 진폭은 증가하나 주기는 감소하였고, (3) 정수압이 높아질수록 첫 압력파의 진폭은 대략 정수압 증가분만큼 커지며 압력파의 주기는 다소 짧아짐을 알 수 있었다. 공기실 설치 후 수격 저감 특성을 살펴보면, (4) 폴리트로프 지수가 작아질수록 압력파의 진폭은 감소

하고 주기는 증가하였으며, (5) 공기실 체적이 증가할수록 수격압 저감 효과는 커지며 압력파의 주기는 길어졌다. 조사한 범위 내에서, (6) 오리피스 내경이 작아질수록 압력파의 진폭은 감소하고 주기는 영향을 거의 받지 않아 수격압이 보다 빨리 감소하는 것을 알 수 있었다. (7) Sharp-edged 및 long-edged 등의 오리피스 형상에 관한 효과는 sharp-edged 오리피스의 수격압 저감 효과가 상대적으로 우수하며 long-edged 오리피스는 오리피스 길이가 길어질수록 압력파 진폭이 미소하게 증가하는 것을 알 수 있었다.

이상과 같이 공기실이 설치된 건축물 급수배관계의 수격현상에 영향을 미치는 인자들의 효과를 살펴보았다. 특히, 건축물 층별 정수압 차에 따라 수격압이 다르고 이를 허용치 이내로 저감하기 위해서는 공기실의 체적이 달라져야함을 밝혀, 현재 국내 대부분의 건설 현장에서 길이 300 mm로 일정하게 시공되고 있는 공기실의 제작 및 시공에 개선이 필요함을 제시할 수 있었다.

참고문헌

1. Wylie, E. B., and Streeter, V. L., 1993, Fluid Transients in Systems, Prentice Hall, Englewood Cliffs, pp. 2-9.
2. Zielke, W., 1980, Simulation of fluid transients in piping and channel system, SIMDRU Program Manual.
3. Plumbing and Drainage Institute, Water Hammer Arrester-Certification, Sizing, Placement and Reference Data, PDI WH 201.
4. American Society of Sanitary Engineering, Water Hammer Arresters, ASSE Standard No. 1010.
5. American National Standards Institute, Water Hammer Arresters, ANSI A112.26.1.
6. Kim, Y. H., 1992, Prevention of water hammer in cold and domestic hot water piping, Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 21, No. 6, pp. 451-465.
7. Kim, Y. H., 1997, A discussion on market, testing standards and practical application of water hammer arresters, Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 26, No. 5, pp. 345-353.
8. Lee, Y. H., Yoo, J. O., Park, H. S. and Kim, Y. H., 1999, The experimental study of waterhammer by valve closure in water supply piping system, Proceedings of the SAREK '97 Winter Annual Conference, pp. 370-374.
9. Han, H. and Kim, J. M., 1996, An experimental study on the effect of water hammer arresters and air chambers in a simple water piping system, Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 8, No. 1, pp. 37-44.
10. Kang, S. H., Ryu, H. S. and Park, M. S., 1992, Design and performance prediction of an air chamber for reduction of water hammering, Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 4, No. 1, pp. 57-64.
11. Hwang, H. S., Lim, K. W., Lee, K. B. and Cha, D.-J., 1999, Numerical study on the characteristics of the transient pressure of air chambers in building service applications, Proceedings of the SAREK '97 Winter Annual Conference, pp. 375-379.
12. Flowmaster International Limited, 1995, Flowmaster2 Version 5.2, England.