

# 건축설비용 워터햄머흡수기의 동특성에 관한 수치 연구

노 승 환, 차 동 진\*

한밭대학교 산업대학원 건축설비공학과, \*한밭대학교 건축설비공학과

## A Numerical Study on the Dynamic Characteristics of Water Hammer Arresters for Building Service Applications

Seung-Hwan Noh, Dong-Jin Cha\*

Department of Building Services Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea

(Received October 15, 2001; revision revised January 12, 2002)

**ABSTRACT:** Dynamic characteristics of water hammer arresters installed in a building water supply system have been investigated numerically by utilizing a commercial code that employs the method of characteristics. Some preliminary results with those arresters produced in this study agree well with the previously reported. Then, the arresters have been incorporated into a water supply pipe system of a 59 m<sup>2</sup> apartment unit constructed by a leading construction company, and their dynamic characteristics, especially on the reduction in the water hammer pressure, are investigated. It is found that the setting of the arresters in the pipe system, which is recommended by the company, may not be proper for reducing the pressure to less than 1082.0 kPa when quick-closure valves in the pipe system are closed within 30 ms at the static pressure of 542.6 kPa. More arresters in the system may be required to meet a pressure criteria.

**Key words:** Water hammer(워터햄머), Water supply system(급수계통), Water hammer arrester(워터햄머흡수기), Building services(건축설비)

### 1. 서 론

건축설비 배관계에서 발생하는 워터햄머(water hammer)현상<sup>(1)</sup>은 밸브류(특히, 워터치 수전)의 급격한 개폐와 펌프류의 기동 및 정지시에 발생한다. 이때 수반되는 과도한 압력파로 인하여 쾌적한 건축환경을 추구하는 최근의 추세에 심각한 문제를 야기하고 있다. 특히 공동주택 등 건축물이 대형·고층화되면서 발생하는 높은 급수압은 워터햄머현상의 심각성을 가중시키고 있다.

이러한 워터햄머현상을 저감시키기 위해 고안된 것이 에어챔버(air chamber) 및 워터햄머흡수기(water hammer arrester)이다. 이들은 각 장치 내에 유지되는 기체의 압축성을 이용하여 급수의 과도한 수격압을 흡수하는 동일한 원리로 작동된다. 그러나, 전자는 구조상 압축성 유체인 공기와 물이 직접 접촉하여 공기층이 소멸될 가능성이 매우 높은 반면 후자는 피스톤, 막(membrane) 또는 벨로우즈 등으로 압축성 유체(공기 또는 불활성 기체)와 분리시켜(2,2절 참조) 장치의 내구성을 대폭 향상시킨 차이점이 있다. 국외에서는 공기실의 설계 및 성능예측방법이 잘 확립되어 있으며, 워터햄머흡수기에 관하여도 1960년대 관련 규격<sup>(2-4)</sup>들이 제정되어 표준화된 제품들이 사용되

\* Corresponding author

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

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

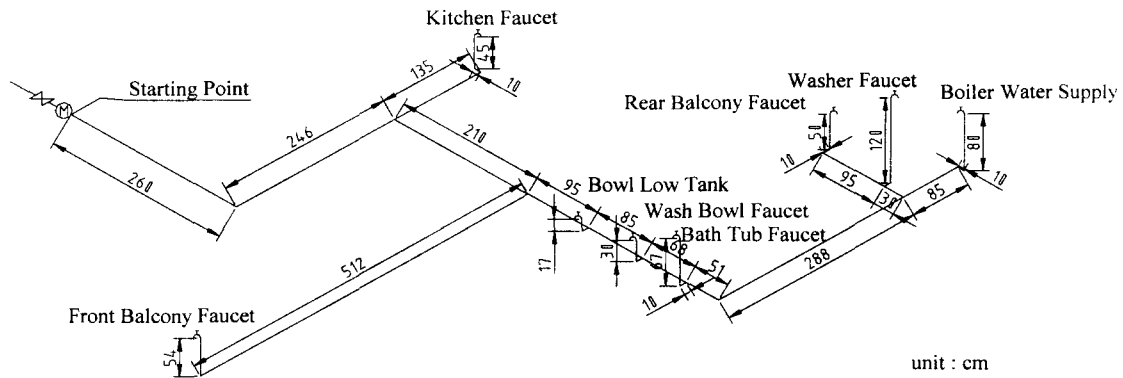


Fig. 1 Schematic diagram of water supply pipe system of a model apartment unit of 59 m<sup>2</sup>.

고 있다. 국내 건축설비업계의 경우 상대적으로 간단한 구조의 공기질의 사용이 보편화되었으며 그 후 소개된 워터햄머흡수기도 최근 대규모 집단 거주시설에 보급되고 있다.<sup>(5)</sup>

단순배관계에서의 워터햄머현상에 관한 실험 연구가 Lee et al.<sup>(6)</sup>에 의해 수행되었고, 워터햄머 저감장치의 효과에 관한 실험 연구는 Han and Kim<sup>(7)</sup> 및 Lee et al.<sup>(8)</sup>의 보고가 있다. 수치해석 연구로는 주로 에어챔버의 워터햄머 저감효과에 관한 내용이며, 대표적으로 Kang et al.<sup>(9)</sup>과 Hwang et al.<sup>(10)</sup>의 보고가 있다. 본 저자의 한정된 지식에 의하면, 워터햄머흡수기의 효과에 관한 국내의 체계적인 수치해석 연구는 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 건축설비 배관계통에 사용되고 있는 워터햄머흡수기의 저감특성을 조사하기 위해 59 m<sup>2</sup>형 아파트에 실제 설치되고 있는 급수배관계통을 시방서<sup>(11)</sup> 규정에 따라 워터햄머흡수기를 설치하고 그 특성을 수치적으로 조사하였다.

## 2. 수치실험

### 2.1 모델 아파트 및 급수배관계통

국내의 D<sup>(11)</sup>사에서 건설한 공동주택에 설치되는 배관계통에서 워터햄머 특성과 흡수기의 압력 저감효과를 조사하기 위해 20층 아파트의 6층에 위치한 전용면적 59 m<sup>2</sup> 세대를 설정하였다. 이 모델 아파트의 급수계통을 나타낸 그림이 Fig. 1이다. 급수는 직경 20 mm 동관으로 유입되어, 15 mm 관경의 8개 지관으로 분지되며 각 지관의

Table 1 Design criteria of the water supply system of the model apartment unit of 59 m<sup>2</sup> at the 6th floor<sup>(11)</sup>

Item	Value/Description
Flow velocity	Less than 1.5 m/s
Flow resistance for pipes	Less than 20 mmAq/m
Fixture unit (FU)	3 FU
Inlet pipe nominal diameter	20 mm
Outlet pipe nominal diameter	15 mm
Pipe material	Copper

말단에 설치된 수전은 편의상 다음과 같이 표기한다. 주방수전(kitchen faucet, KF), 전면 발코니수전(front balcony faucet, FBF), 변기탱크(bowl low tank, BLT), 세면기수전(wash bowl faucet, WBF), 욕조수전(bath tub faucet, BTF), 보일러급수전(boiler water supply, BWS), 세탁기수전(washer faucet, WF) 및 후면 발코니수전(rear balcony faucet, RBF).

그림에는 표시되어 있지 않지만, 워터햄머흡수기는 세면기수전 지관에 ASSE Size A형 1개와 보일러급수전 지관에 ASSE Size AA형 1개가 설치된다.<sup>(11)</sup> 본 연구와 관련된 모델 아파트의 급수설비설계 기준을 정리한 결과가 Table 1이다.

### 2.2 워터햄머흡수기

건축설비용 워터햄머흡수기는 다양한 상품이 시판되고 있으나, 본 연구에서는 관련 규격<sup>(3)</sup>을 만족하는 Sioux Chief사<sup>(12)</sup> 제품을 대상으로 수치실험을 하였다. 해당 흡수기의 개략도는 Fig. 2와

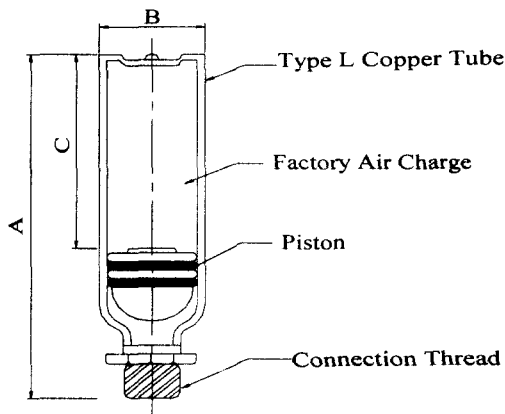


Fig. 2 Schematic diagram of a water hammer arrester.<sup>(12)</sup>

같다. 기본적으로 L-Type 동관으로 제작되었으며 배관설치용 슛나사가 하단에 있고, 내부에는 봉입된 압축가스실(493.6 kPa)과 피스톤으로 구성되어 있다. 기구급수 부하단위(fixture unit, FU)에 따라 수종이 공급되고 있으나 본 연구에 관련된 흡수기만의 제원을 정리한 결과가 Table 2이다. 가스실 높이(Fig. 2에서 "C")는 가스실 체적을 단면적으로 나뉘 산정하였고, 충전가스압과 정수압의 차에 의한 피스톤의 초기 이동거리는 보일법칙을 이용하여 계산하였다. 표에 정리된 대부분의 자료들은 수치실험시 입력자료로 사용되었다. 참고로 본 흡수기의 최고 사용온도, 내구실험시 반복횟수, 파괴압력(실험시 조건), 저감된 최대 과도압력(설계조건) 및 안전 사용압력은 각각 121.1℃(250°F), 500,000회, 20,106.9 kPa(2,900 psig), 1,140.8 kPa(150 psig) 및 2,513.7 kPa(350 psig)이다.<sup>(12)</sup>

2.3 수치해석

급수배관 내 1차원 과도 유동방정식<sup>(13)</sup> 및 정압 경계조건을 특성곡선법(method of characteristics) 상용코드<sup>(14)</sup>를 이용하여 해석하였다. 본 연

구와 유사한 급수관로에서의 워터햄머현상에 관한 연구<sup>(10)</sup> 수행시 상용코드 활용을 검증한 바 있으므로 별도의 체계적인 검증작업을 수행하지 않았다. 그러나, 워터햄머흡수기의 효과에 관한 보고<sup>(8)</sup>와 본 연구팀의 지난 결과<sup>(10)</sup>를 참고하며 본 수치해석의 일반적인 타당성을 각 단계별로 확인하였다.

Fig. 3은 Fig. 1의 급수배관계통을 수치실험하기 위해 사용한 상용코드 관로망이다. 총 85 컴포넌트와 74 노드로 구성되어 있다. 우선 압력경계조건을 유지하는 압력원 컴포넌트를 살펴보면, 인입 압력원이 컴포넌트 A이며, 주방수전, 전면 발코니수전, 변기탱크, 세면기수전, 욕조수전, 보일러급수전, 세탁기수전 및 후면 발코니수전의 출구 압력원이 각각 컴포넌트 O, X, AH, AR, BA, BO, BX 및 CG이다. 각 폐쇄수전(M, V, AF, AP, AY, BM, BV 및 CE)에는 폐쇄효과를 모사하기 위한 콘트롤러(N, W, AG, AQ, AZ, BN, BW 및 CF)를 부착하였다. 급수배관계통을 구성하는 기타 컴포넌트(파이프, 티, 엘보우, 레듀서 등)는 Fig. 1의 실제 급수배관계통의 자료를 입력하였다. 실제 배관자료를 입력하였음에도 불구하고 고려치 않은 유동저항 등으로 예상하는 유동조건을 얻기 어려우므로 추가 유동저항을 발생시키는 DL(discrete loss) 컴포넌트 8개(L, U, AE, AO, AX, BL, BU 및 CD)를 이용하여 유동 밸런싱을 하였다. 이 유동 밸런싱에 사용 입력 파라미터는 급수온도, 인입압력, 각 지관의 출구압력 및 각 지관에서의 유속이며 각각 20℃, 542.6 kPa, 0 kPa 및 1.5 m/s 등이다. 이때 각 밸브의 개도는 100%를 유지하였다. 유동 밸런싱에서는 DL 컴포넌트의 주요 파라미터인 등가면적값<sup>(14)</sup>을 조정하게 되며 조정 후 각 지관에 부착된 등가면적값은 0.0133~0.0135 cm<sup>2</sup>의 범위에 있었다. 컴포넌트 AN 및 BK는 워터햄머흡수기를 나타낸다. 컴포넌트 AN은 ASSE Size A형을, 컴포넌트 BK는 ASSE Size AA형을 모사한다(상세규격은 Table 2 참조).

Table 2 Specifications<sup>(12)</sup> of the water hammer arresters used for numerical experiments

ASSE size	Dimensions (mm)			Air chamber vol. (cm <sup>3</sup> )	Initial piston level (mm)	FU
	A	B	C			
AA	120.7	22.2	73.7	23	1.7	1~4
A	165.1	34.9	101.2	82	2.8~7.1	4~11

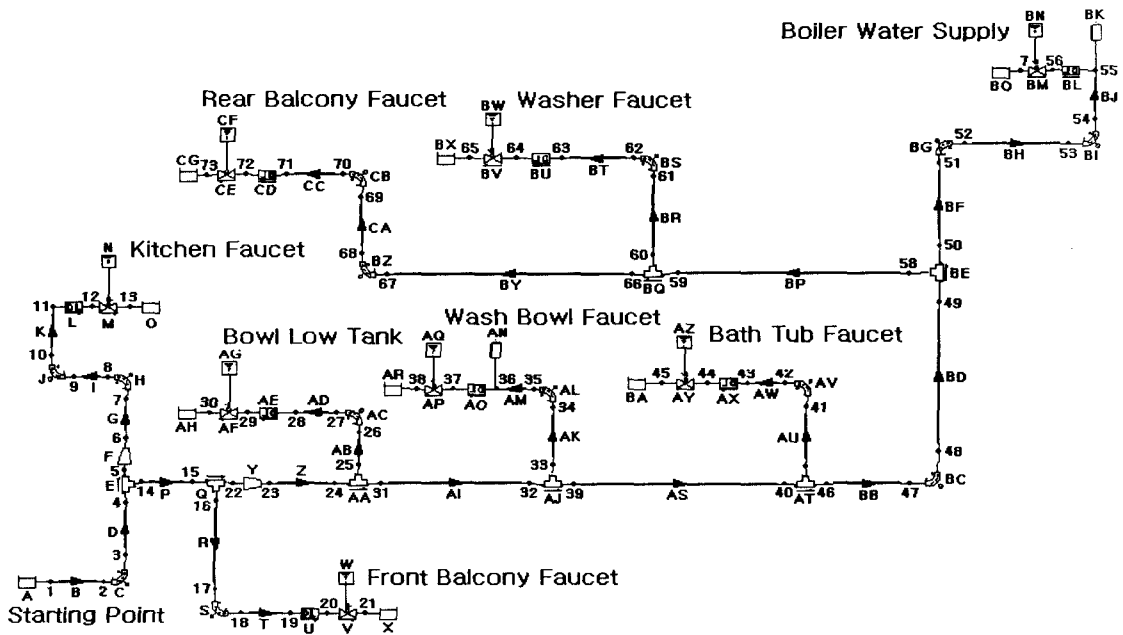


Fig. 3 Network for simulating the water hammer of Fig. 1.

본 연구에서의 중요한 가정 중의 하나는 워터햄머흡수기의 작동특성에 관한 것이다. 상용코드의 표준 컴포넌트는 워터햄머흡수기를 포함하지 않기 때문에 가장 유사한 bladder type air accumulator를 사용하였다. 이 컴포넌트는 얇은 막이 물과 압축가스의 직접접촉을 차단하고 있어 피스톤형 워터햄머흡수기의 기·액체 분리기능을 정확히 모사하나 피스톤과 실린더 벽의 마찰 등을 모사할 수 없어 다소의 작동특성차가 있을 것으로 예상된다. 워터햄머흡수기가 설치되지 않은 경우의 모사시에는 두 컴포넌트를 배관계통으로부터 분리하였다. 본 연구에서는 다루고 있지 않지만, 급탕배관계통에는 또 다른 ASSE Size A형 워터햄머흡수기 1개가 설치되어 있다.

Fig. 3의 각 노드에서 압력 및 유속 등 프로세스 변수의 값을 알 수 있으나 과도압을 가장 잘 파악할 수 있는 각 수전의 직전 노드(11, 19, 28, 36, 44, 56, 64 및 72)에서 프로세스 변수의 크기를 모니터링하였다.

해석시 시간스텝은 파이프를 강체가 아닌 탄성체로 간주하기 위한 상용코드에서 요구하는 조건이 대부분 만족되도록 0.001초로 설정하였다. 이 과정에서 압력파의 전파속도, 관경, 관 길이 및 관 재료 등이 고려된다. 코드를 600 MHz Pentium

III PC에 설치하여 사용하였으며, 한 케이스를 해석하는 데 소요된 시간은 대개 1분 이내였다.

### 3. 결과 및 논의

각 아파트 세대에서 Fig. 1의 8개 수전을 동시에 작동하는 경우는 매우 드물기 때문에 본 연구에서는 각 지관별 과도압력 특성을 조사하였다. 특히 8개의 지관 중 말단 수전의 급폐쇄 동작이 예상되는 곳은 주방수전, 세면기수전, 욕조수전 및 세탁기수전 지관으로 설정하였다. 이들 폐쇄수전의 급폐쇄시간을 0.03초로 설정하였다. 이는 관련규격<sup>(2)</sup>에 0.03초를 초과하지 않도록 규정하고 있고 또한 건축설비용 원터치 수전류도 유사한 폐쇄시간을 갖는 것으로 알려져 있기 때문이다. 편의상 수전 폐쇄시작 시간을 0.5초로 정하였다. 따라서 급폐쇄수전은 0.5초 이전까지는 전계상태를 유지하다가 0.5초에 닫히기 시작하여 0.53초에 전계상태가 되도록 하였고 개도폭선은 직선을 유지하였다.

배관 내 압력과 전파속도는 유체의 체적탄성계수, 유체의 밀도, 관 재료의 종탄성계수, 관 내경, 관벽의 두께 및 관로의 구속계수의 함수로 표현된다.<sup>(14)</sup> 그러나, 구속계수를 정확히 결정하기 어

럽고 본 모델 급수배관계통의 관경이 20 mm 또는 15 mm이므로 정확한 값을 입력하기 부적절하여 개략치인 1,283 m/s를 입력하였다. 급수온도는 20℃를 설정하였고 워터해머흡수기 내 봉입된 압축공기의 폴리트로피 지수는 1.2<sup>(9)</sup>를 입력하였다. 기타 워터해머흡수기 입력자료는 실린더 단면적, 실린더 높이 및 초기 피스톤 위치 등이 있으며 이들 값은 Table 2의 자료를 사용하였다.

### 3.1 모델 급수배관계통 특성

모델 급수배관계통의 워터해머 및 저감특성을 우선 조사하였다. 폐쇄수전 중 세면기수전을 급폐쇄하였을 때 각 지관의 모니터링 노드에서의 과도압력을 관찰하였다. 대표적으로 주방수전(KF), 세면기수전(WBF), 욕조수전(BTF) 및 세탁기수

전(WF) 지관에서의 과도압력을 묘사한 그림이 Fig. 4의 점선곡선이다. 수전이 완폐된 0.53초 근처에서 압력이 급격히 상승하고, 이후 점차적으로 감소되어 약 2초경에는 정수압으로 회복되는 것을 볼 수 있다. 모든 지관을 비교하였을 때 수전의 급폐쇄 현상이 발생한 세면기수전 지관에서 과도압이 약 2,608.6 kPa로 가장 높았고 주방수전 지관이 약 1,196.4 kPa로 가장 낮았다(Table 3 참조). 이는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 주방수전이 세면기수전으로부터 비교적 멀리 떨어져 있고, 또한 유동의 상류측에 위치하여 압력파의 전파시 유동 방향과 역으로 이동하게 되어 에너지 손실이 발생하기 때문으로 사료된다. Table 3에서 보는 바와 같이, 그 외의 지관에서는 세탁기수전(WF), 욕조수전(BTF), 후면 발코니수전(RBF), 보일러급수전(BWS), 전면 발코니수전(FBF) 및 변

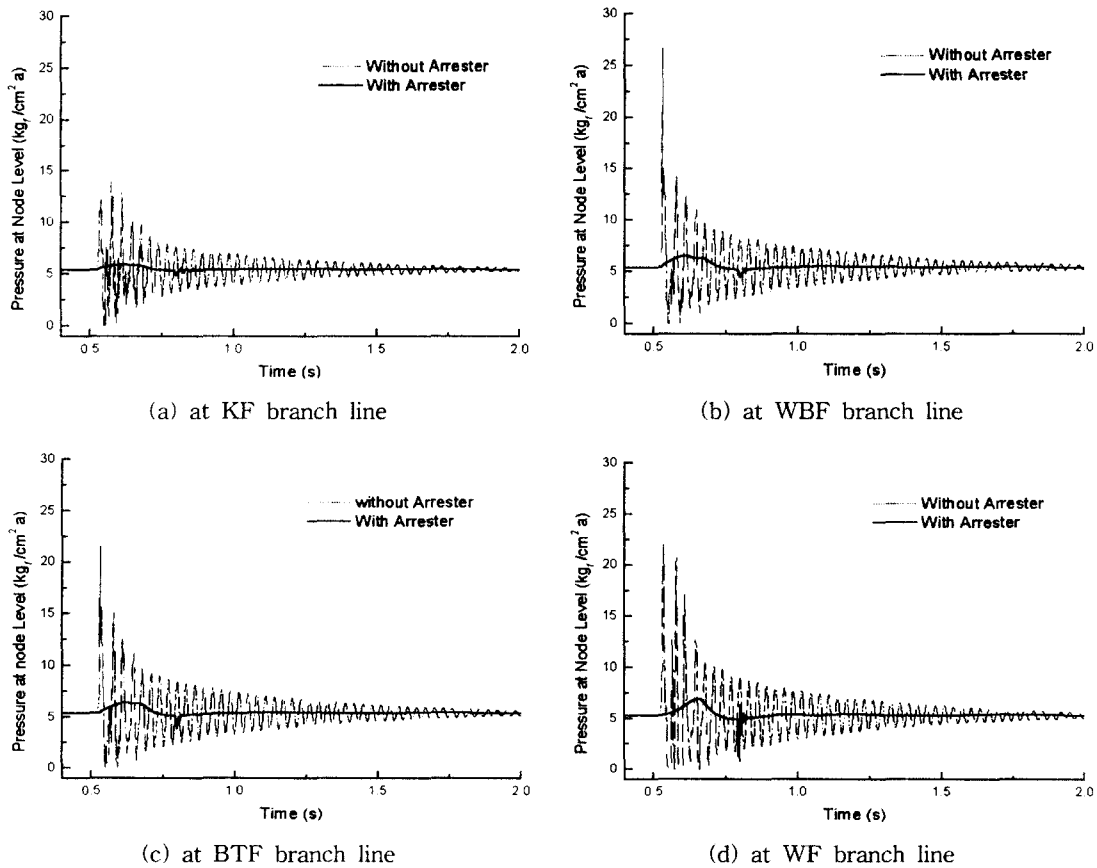


Fig. 4 Comparison of the water hammer pressures with and without the arresters when WBF is quickly closed.

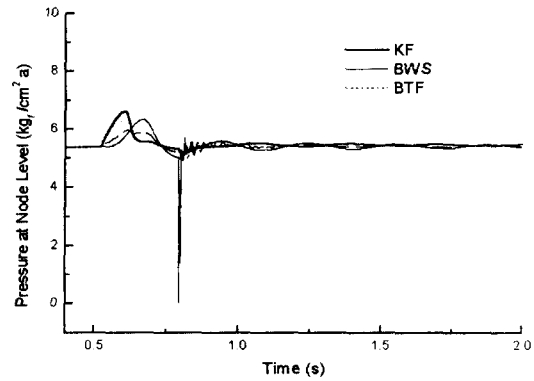
가 Fig. 4(실선 곡선) 및 Table 3에 나타나 있다. 모든 지관에서 최대 과도압이 578.6~715.6 kPa로 저감되었고 압력파의 주기는 증가되었다. 따라서, 흡수기가 설치된 세면기수전 지관의 수전을 급폐쇄하였을 때 모든 지관에서 과도압을 1,082.0 kPa로 저감시킬 수 있음을 확인하였다.

다음은 흡수기가 설치되지 않은 지관의 — 주방수전(KF), 욕조수전(BTF) 및 세탁기수전(WF) — 말단 수전을 급폐쇄하였을 때 각 지관에서의 과도압력을 살펴보았다. 급폐쇄수전별 각 지관에서의 최대 과도압을 Table 3에 정리하였다. 워터햄머흡수기가 설치된 세면기수전(WBF) 지관의 경우와는 달리, 급폐쇄한 지관에서 최대 과도압이 발생하고 있으며 인접지관에서 두번째로 큰 최대 과도압이 발생하고 가장 작은 크기의 최대 과도압은 가장 멀리 떨어진 지관에서 발생함을 알 수 있었다. 특히, 계통 내에 흡수기가 2개 설치되어 있음에도 불구하고 이들의 경우에는 최대 과도압력이 1,082.0 kPa를 상회하여 급수배관계통을 개선할 필요가 있음을 알 수 있다.

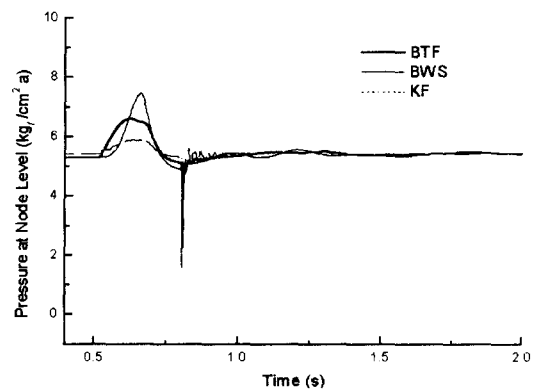
폐쇄수전과 지관의 조합으로 구성되는 모든 경우에 과도압력 파형을 조사하였으나, 대표적으로 수전의 급폐쇄가 발생한 지관과 — KF, BTF 및 WF — 워터햄머흡수기가 설치된 지관에서의 — WBF 및 BWS — 과도압력을 나타낸 결과가 Fig. 5이다. 마찬가지로 급폐쇄가 발생한 지관에서 현격한 크기의 과도압이 발생함을 알 수 있고 흡수기가 설치된 지관의 과도압은 양호하게 저감된 것을 알 수 있다. 또한, 세대 내 전체 급수배관 중에서 폐쇄수전의 위치에 따른 효과를 관찰할 수 있다. BTF는 두 흡수기가 설치된 지점의 중간에 위치하여 Fig. 5(b)에서 보는 바와 같이 다른 두 경우에 비하여 최대 과도압이 상대적으로 작을 것을 알 수 있다.

### 3.2 워터햄머흡수기의 설치위치 효과

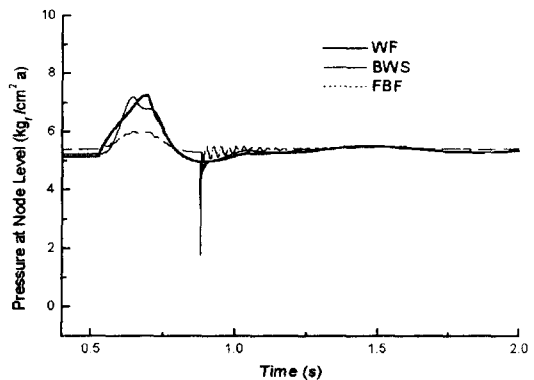
모델 급수배관계통에 설치된 워터햄머흡수기 2개의 설치위치 효과를 알아보기 위해 세면기수전 지관에 설치된 ASSE Size A형 흡수기의 위치를 이동시켜 실험해 보았다. 여기서 급폐쇄 동작이 예상되지 않는 보일러급수전 지관에 설치한 ASSE Size AA형 흡수기는 그대로 유지하였다. Fig. 6(a), (b) 및 (c)는 각각 주방수전, 욕조수전 및 세탁기수전에 ASSE Size A형 흡수기를 이동·설



(a) with KF quickly closed



(b) with BTF quickly closed



(c) with WF quickly closed

Fig. 6 Comparison of the water hammer pressures of a branch line at which one arrester is installed and the quick valve closure occurs, of BWS branch line at which the other arrester is installed, and of an arbitrary branch line.

Table 4 Comparison of the water hammer pressures when an ASSE Size A water hammer arrester is relocated

Valve quickly closed	Branch line	Reduced water hammer pressure (kPa)
KF	KF	647.2
	FBF	588.4
	BLT	588.4
	WBF	588.4
	BTF	578.6
	BWS	617.8
	WF	598.2
BTF	RBF	608.2
	KF	578.6
	FBF	598.2
	BLT	617.8
	WBF	627.6
	BTF	647.2
	BWS	725.7
WF	WF	696.3
	RBF	696.3
	KF	568.8
	FBF	588.4
	BLT	608.0
	WBF	617.8
	BTF	627.6
BWS	706.1	
WF	706.1	
RBF	686.5	

치하고 각각의 말단 수전을 급폐쇄하였을 때의 과도압력 파형이다. 대표적으로 Fig. 6(a)는 워터햄머흡수기가 설치된 KF 및 BWS 지관과 비교적 멀리 떨어진 BTF 지관에서의 과도압을 나타내며, 워터햄머흡수기의 역할로 세 지관에서 동일하게 과도압력이 모두 1,082.0 kPa 이하로 유지됨을 알 수 있다. 그러나, 워터햄머흡수기가 설치되지 않은 BTF 지관에서의 압력파형은 나머지 두 지관의 것에 비해 다소 복잡한 파형을 나타내고 있다. Fig. 6(b)와 (c)에서도 유사한 경향을 관찰할 수 있다. Table 4에서 보는 바와 같이 여타 지관에서도 동일하게 과도압이 모두 1,082.0 kPa 이하로 유지됨을 알 수 있다.

Table 4는 Fig. 6의 수치실험에서 모든 지관에서의 저감된 과도압의 최대치를 나타내고 있으며, 모든 경우에서 568.8~725.7 kPa의 값을 보이고 있다. 이는 ASSE Size A형 흡수기를 WBF 지관에 설치하고 WBF를 급폐쇄한 결과(Table 3 참조)와 매우 유사하다. 이상과 같이 ASSE Size A형 워터햄머흡수기의 설치위치를 변경시켜 보았을 때 최대 과도압의 저감폭은 크게 변화하지 않는 것을 알 수 있다.

워터햄머흡수기를 이동·설치한 후 흡수기가 설치되지 않은 지관의 말단 수전을 급폐쇄했을 때의 결과는 포함하지 않았다. 그러나, 전절과 마찬가지로 급폐쇄가 발생한 지관에서의 최대 과도압력은 1,082.0 kPa를 상회할 것으로 예상된다. 따라서, 급수배관계통에 설치된 여하한 수전을 급폐쇄할 경우에도 계통 내 모든 지점에서 과도압이 1,082.0 kPa 이내로 저감시키기 위해서는 급폐쇄수전이 설치된 지관마다 흡수기를 설치하는 것이 타당하다고 사료된다.

#### 4. 결 론

건축물 급수·급탕 배관계의 관로 말단에 설치된 수전의 급폐쇄에 의해 발생하는 워터햄머현상과 워터햄머흡수기의 특성을 수치적으로 조사하였다. 보다 실질적인 특성조사를 위해 국내 D사에서 건설한 59m<sup>2</sup> 세대의 급수배관계통에 설치되는 ASSE Size A형 및 ASSE Size AA형 워터햄머흡수기의 저감특성을 조사하였다. 20층 아파트 6층에 위치한 세대를 대상으로 이에 해당하는 인입 정수압을 설정하였으며, 급수배관계통은 주방수전, 전면 발코니수전, 변기탱크, 세면기수전, 욕조수전, 보일러급수전, 세탁기수전 및 후면 발코니수전 등 8개 지관으로 구성하였다. 수치실험시 입력되었던 주요 변수는 급수온도 20℃, 압력과 전파속도 1,283 m/s, 폴리트로피 지수 1.2, 폐쇄밸브의 급폐쇄시간 0.03초, 정수압 542.6 kPa 등이다.

본 수치실험 연구의 결과는 다음과 같다.

(1) 모델 급수배관계통의 4개 폐쇄수전(즉, 주방수전, 욕조수전, 세면기수전 및 세탁기수전)을 0.03초로 급폐쇄하였을 때 최대 과도압은 해당 폐쇄수전이 설치된 지관에서 발생하였으며, 그 값은 2,569.4~4,530.8 kPa 범위였다. ASSE Size

A형 워터햄머흡수기 1개를 세면기수전 직전에, ASSE Size AA형 워터햄머흡수기 1개를 보일러 급수전 직전에 각각 설치하고 세면기수전을 급폐쇄하였을 때 각 지관에서의 최대 과도압은 공히 1,082.0 kPa 이내로 저감되었다. 그러나 여타 폐쇄수전을 급폐쇄하였을 때 워터햄머흡수기가 설치되지 않은 지관에서의 수직압은 1,082.0 kPa 이상으로 유지되는 것을 확인하였다.

(2) 보일러급수전 지관에 설치된 워터햄머흡수기를 고정하고 세면기수전 지관에 설치된 워터햄머흡수기를 주방수전, 욕조수전 및 세탁기수전 지관으로 이동·설치하고 각 지관의 말단 수전을 급폐쇄하였을 때, 최대 과도압의 크기는 동등함을 알 수 있었다.

(3) 본 연구에서 설정한 모델 급수배관계통은 워터햄머현상에 의한 과도압력을 1,082.0 kPa 이내로 저감시키기 위해 급폐쇄수전 지관마다 흡수기를 설치하는 등 개선이 필요함을 확인하였다.

본 연구에서는 일정한 정수압을 가정하여 고가수조식 급수방식에 적합한 결과이나, 정수압의 변동이 있는 펌프직송 급수방식이 일반화되고 있음을 감안한다면 쾌적한 건축환경을 추구하기 위해서 보다 많은 투자가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

본 연구와 관련하여 관련산업에 도움이 되기 위해서는 보다 체계적인 연구가 필요하다고 판단된다. 예를 들면, 단순관로에 대한 해석뿐만 아니라 실제 건축물 내에 적용되는 복합관로에 대한 해석이 필요하고, 이 복합관로의 해석을 토대로 하여 신소재 배관재료로 구성된 급수·급탕배관의 해석이 필요하다고 사료된다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 : 1999-2-304-001-3)의 일부 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Wylie, E. B. and Streeter, V. L., 1993, Fluid Transients in Systems, Prentice Hall, Englewood Cliffs, pp. 2-9.
2. Plumbing and Drainage Institute, 1996, Water Hammer Arrester-Certification, Sizing, Placement and Reference Data, PDI WH 201.
3. American Society of Sanitary Engineering, 1996, Water Hammer Arresters, ASSE Standard No. 1010.
4. American National Standards Institute, Water Hammer Arresters, ANSI A112.26.1, 1996.
5. 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.
6. Lee, Y.-H., Yoo, J.-O., Park, H.-S. and Kim, Y.-H., 2000, The experimental study of water hammer by valve closure in water supply piping system, Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 7, pp. 697-702.
7. Han, H. and Kim, J. M., 1996, An experimental study on the effect of water hammer arresters and air chamber in a simple water piping system, Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 8, No. 1, pp. 37-44.
8. Lee, Y.-H. and Yoo, J.-O., 2000, A study on surge pressure absorption by water hammer arrester in water supply piping system, Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 12, pp. 1066-1072.
9. Kang, S. Y., 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.
10. Hwang, H. S., Lim, K. W., Lee, K. B., Cho, B. and Cha, D., 2000, Characteristics of the transient pressure in a building water supply system with an air chamber, Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 8, pp. 782-790.
11. Korea National Housing Corporation, 1998, Specifications for Housing Projects - Vol. 5:



- Mechanical Equipments, Kimundang Publishing Co., Seoul.
12. Sioux Chief Engineering, 2001, [www.sioux-chief.com](http://www.sioux-chief.com).
  13. Thorley, A. R. D. and Tiley, C. H., 1987, Unsteady and transient flow of compressible fluids in pipelines—a review of theoretical and some experimental studies, *Int. J. Heat & Fluid Flow*, Vol. 8, No. 1, pp. 3-14.
  14. Flowmaster International Limited, 1995, Flowmaster2, Version 5.2, England.