

워터 햄머 흡수기의 압력흡수 효과에 관한 연구

이 용 화[†], 유 지 오^{*}

유한대학 건축설비과, *신흥대학 건축설비과

A Study of Surge Pressure Absorption by Water Hammer Arrester in Water Supply Piping System

Yong-Hwa Lee[†], Ji-Oh Yoo^{*}

Department of Building Services, Yuhan College, Pucheon, Kyunggi 422-749, Korea

*Department of Building Equipment Engineering, Shinheung College, Kyunggi 117, Korea

(Received August 16, 2000; revision received October 13, 2000)

ABSTRACT: This study is to investigate the pressure wave characteristics and the absorption of maximum and minimum pressure generated by instantaneous valve closure at the end of the straightening copper piping system with and without a water hammer arrester. Experiments were conducted under the following conditions : initial pressure 1~5 bar, flow velocity 0.6~3.0 m/s, water temperature 20°C and air volume of water hammer arrester 80~180 cm³. Experimental results show that the optimum air volume of water hammer arrester is 110 cm³.

Key words: Water hammer arrester(워터 햄머 흡수기), Solenoid valve(솔레노이드 밸브), Valve closure(밸브폐쇄), Pressure history(압력변동), Maximum and minimum pressure (최대 및 최저압력)

기 호 설 명

- D : 동관의 내경 [mm]
- d : 워터햄머 흡수기의 내경 [mm]
- P : 밸브중심으로부터 1m 떨어진 위치에서의 게이지 압력 [bar]
- P_0 : 시스템의 초기 게이지 압력 [bar]
- P_{max} : 밸브중심으로부터 1m 떨어진 위치에서의 최대 게이지 압력 [bar]
- P_{min} : 밸브중심으로부터 1m 떨어진 위치에서의 최저 게이지 압력 [bar]
- t : 시간 [sec]

V : 배관내 유속 [m/s]

V_0 : 워터 햄머 흡수기의 공기실 체적 [cm³]

1. 서 론

배관계에서의 워터 햄머 현상에 대한 관심은 19세기초부터 시작하여 현재까지도 많은 연구가 이루어지고 있다. 그러나 건축설비 분야에서는 그 동안 큰 문제로 인식하지 않았지만, 최근 우리나라에서 주거용 건축물이 고층화되면서 급수 배관계내의 정수두 증가로 인한 물 소비량의 증대, 소음 및 진동, 그리고 누수와 같은 각종 피해가 발생하면서 관심이 증대되고 있다. 정수두 증가에 대한 피해를 방지하기 위해 급수 배관계의 조닝(zonning)을 통해 저층부의 압력을 약 3~5 bar 정도로 조정하거나, 관경 설계시 유속의 제한 등과 같은 방법을 반영하고 있다. 그러나 이

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-2610-0780; fax: +82-2-686-9537

E-mail address: lyh@yuhan.ac.kr

폭은 감소하였다.

(3) 연료종류에 따른 현열 및 잠열 회수 에너지를 비교한 결과 현열회수량은 두 경우에 거의 동일하게 나타났지만 잠열회수량은 LNG를 사용하는 경우가 디젤유를 사용하는 경우보다 큰 것으로 나타났다.

(4) 총공급에너지에 대한 회수에너지의 비는 열교환기 패스수에 따라 증가하지만 패스수의 증가에 따라 설비비도 증가하므로 적절한 패스수를 선정하여야 한다.

(5) 온수유속은 일정 이상이 되면 보일러의 공급열량이 최소가 되며 이 영역에서 최소의 유속을 선택하여야 한다.

후 기

본 연구는 과학기술부 지원으로 수행하는 특정연구개발사업 중 중점국가연구개발사업(온실가스저감기술개발)의 일환으로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분들께 감사드립니다.

참고문헌

1. Klein, S. A. and Beckman, W. A., 1996, TRNSYS Reference Manual, Solar Energy Lab., University of Wisconsin, Madison, U.S.A.
2. ASHRAE Handbook, 1997, Fundamentals, Chapter 15, Airflow around Building, pp. 15.1-15.15.
3. V. Ganapathy, 1982, Applied Heat Transfer, Penn-Well Books.
4. ASHRAE Handbook, 1996, Heating Ventilating and Air-Conditioning Systems and Equipment, Chapter 30, Chimney, Gas Vent, and Fireplace System, pp. 30.1-30.27.
5. ASHRAE Handbook, 1997, Fundamentals, Chapter 17, Combustion and Fuels, pp. 17.1-17.15.
6. Takuma, M., Yamada, A. and Matsuo, T., 1993, Condensation Heat Transfer Characteristics of Ammonia-Water Vapor Mixture on Tube Bundles, Condensation and Condenser Design, ASME, pp. 207-217.
7. Kakac, S., 1991, Boilers, Evaporators and Condensers, John Wiley and Sons, Inc.
8. Schumerth, D. J. and McCue, D. M., 1998, Titanium Surface Condensers and Heat Exchangers, A Practical Guide in Theory and Application, International Joint Power Generation Conference, ASME, Vol. 2, pp. 349-359.
9. Yeom, H. K., Park, B. K. and Koh, D. Y., 1999, Study on Operation Characteristics of the Cold Air Distribution Systems with on Ice Storage Tank, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, SAREK, Vol. 11, No. 3, pp. 301-312.
10. Kim B. S. and Lee, S. H. 1999, Evaluation of Energy Efficiency Ratio in the Mixed Air Conditioning System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, SAREK, Vol. 11, No. 4, pp. 542-548.
11. Han, D. Y. and Lee, J. H., 1999, Dynamic Simulation of the Ice Storage Cooling System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, SAREK, Vol. 11, No. 6, pp. 815-823.

와 같은 조닝을 통한 존(zone) 하층부의 정수두 및 배관경 산정에 의한 유속의 조정에도 불구하고, 1개 레버식 수전의 사용으로 인한 급수전의 개폐 속도가 빨라지고, 동시에 전기세탁기 및 식기세척기의 사용증대로 인해 배관 말단부에서 물의 차단속도가 증가하고 있는 실정이다. 그런데 배관계 말단의 물의 차단속도가 빠르게 되면, 워터 햄머가 발생한다는 사실은 이미 많은 연구 결과에 의해 밝혀지고 있다.⁽¹⁻⁷⁾

워터 햄머 현상에 의해 발생하는 충격파는 발생점과 완충 또는 반사점간을 약 1,000~1,400 m/sec로 배관내를 왕복하게 되며, 이 현상이 발생하는 동안, 압력에너지가 관벽이나 배관상의 밸브나 수전 등에 작용하여 관을 순간적으로 신속시켜 진동 및 소음을 발생시키고 여기에 접촉된 기기류에 손상을 주게 되며, 심한 경우에는 배관설비의 파손 및 누수 등의 사고 원인이 된다.⁽²⁻⁴⁾

따라서 워터 햄머에 의해 발생하는 압력을 제어할 필요성이 있으며, 제어방법으로는 앞서도 언급한 바와 같이 조닝에 의한 정수두의 조정, 배관경 산정시 유속의 제한 등과 같은 방법을 들 수 있다. 그러나 이와 같은 방법만으로는 워터 햄머 현상에 의해 발생하는 충격파를 완전히 방지할 수는 없다. 그 이유는 워터 햄머 현상은 정수두가 낮아도, 그리고 유속이 낮은 상태에서도 발생하기 때문이다. 따라서 급수 관로계에서 워터 햄머에 의해 발생하는 충격파를 완화하기 위한 대책도 필요하다고 할 수 있다. 즉, 워터 햄머에 의한 충격압력을 줄이고, 또한 충격압력을 배관 시스템중 워터 햄머가 발생하는 배관부위로 한정하기 위해서는, 수충격의 원인이 되는 에너지를 흡수하거나 소산시키기 위한 적절한 제어수단이 필요하다.

이와 같은 목적에 사용 가능한 가장 효과적인 매질로서 공기와 가스를 들 수 있다. 이들 가스는 압축성이 커서 충격흡수에 큰 변위를 제공할 수 있으며, 이들을 이용한 대표적인 것으로서 에어 챔버(air chamber)와 워터 햄머 흡수기(water hammer arrester)를 들 수 있다.^(1,4)

과거에는 충격파를 제어하기 위한 방법으로서 에어 챔버가 많이 사용되어 왔고, 국내의 건축설비분야에서도 아직까지 사용하고 있는 곳이 많지만, 이것이 적절한 크기 및 공기를 충전하고 있지 못하다면, 일시적인 충격흡수라는 기능 자체

도 수행하지 못할 것이며, 또한 에어 챔버의 용량을 적절히 설계하였다고 할지라도 설치 초기에만 제 기능을 발휘할 수 있을 뿐이다. 그 이유는 장시간이 지나면 공기가 소멸되기 때문이다. 따라서 장기간 제 기능을 발휘하기 위해서는 공기 보급 장치에 대한 고려가 필요한데, 상수도 분야 등에서는 규모가 크기 때문에 가능하지만, 건축설비 분야에서는 경제성 측면에서 불가능하다고 할 수 있다.

따라서, 건축설비 분야에서는 이와 같은 이상 압력의 흡수가 가능한 기기로서 워터 햄머 흡수기를 들 수 있다. 워터 햄머 흡수기가 갖추어야 될 요건 중 가장 중요한 것은 공기실의 영구적인 유지에 있으므로 물과 공기실의 공기가 접촉되지 않고 기밀을 유지할 수 있는 구조로 만들어져야 하며, 또한 발생하는 충격을 원활히 흡수할 수 있는 작동기구(作動機構) 및 내부 체적을 가져야 한다.

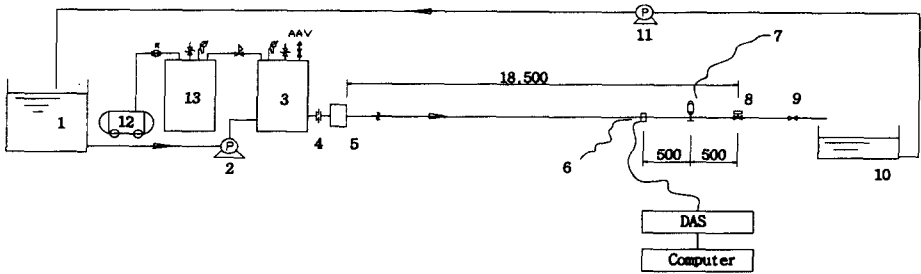
그런데 이와 같은 워터 햄머 흡수기에 의한 이상 압력 흡수 효과에 대한 국내에서의 연구로는 Han and Kim⁽¹⁾에 의해 수행된 연구가 있을 뿐이다. 그의 연구는 워터 햄머 흡수기의 설치 위치 및 설치 개수에 따른 충격 흡수 능력에 대한 내용을 다루었으며, 흡수기의 체적, 즉 흡수기의 용량이 흡수능력에 미치는 영향에 대한 연구는 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 정수압의 변화에 따른 워터 햄머 발생압력의 특성을 고찰한 후, 폐쇄밸브 상류측에 체적이 각기 다른 5종의 워터 햄머 흡수기를 설치하여 압력 흡수 효과에 대한 실험 및 워터 햄머 흡수기의 체적변화가 배관내 압력 완화에 미치는 영향을 고찰하고, 또한 최적 체적에 대해 구명하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

실험장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 실험장치는 시험배관부, 상류측에 서지 탱크(전체적 0.5 m³) ③ 및 헤더 ⑤, 항온수조 ①, 공기탱크(전체적 0.5 m³) ⑬, 압축기 ⑫, 배관시험부의 하류측 말단에 설치한 폐쇄 밸브 ⑧, 그리고 워터 햄머 흡수기 ⑦로 구성되어 있다.

시험부는 동관(KS D 5301 L type, 내경 19.96 mm, 두께 1.14 mm)으로 하였으며, 시험부의 길



1. Constant temperature bath	8. Solenoid valve
2. Pump	9. Ball valve
3. Surge tank	10. Water tank
4. Orifice	11. Circulating water pump
5. Header	12. Air compressor
6. Pressure transducer	13. Air tank
7. Water hammer arrester	

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus.

이는 헤더의 출구 ⑤로부터 솔레노이드 밸브 ⑧의 중심까지의 거리가 18.5m가 되게 구성하였다. 압력측정을 위해 설치한 압력계의 위치는 전자밸브 중심으로부터 1m 되는 위치에 설치하여 압력을 측정하였으며, 워터 햄머 흡수기는 0.5m 되는 위치에 설치하였다.

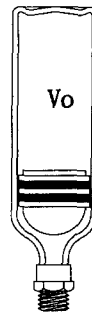
측정시 유량의 제어는 말단 볼 밸브 ⑨와 오리피스 ④를 이용하여 유량을 제어하였으며, 이때 시스템내의 정수두는 공기압축기 ⑫ 및 공기탱크 ⑬을 사용하여 항상 일정한 압력이 배관계에 가해지도록 하였다.

워터 햄머 현상을 발생시키기 위한 솔레노이드 밸브 ⑧의 급폐쇄는 A/D콘버터에 의해 작동하였으며, 밸브의 급폐쇄시 발생하는 워터 햄머에 의한 압력과의 측정은 압력 변동이 심하므로, 응답특성이 빠른 pressure transducer(PMP 4070) ⑥으로 측정하여 A/D콘버터를 통해 변환하고 측정된 압력값은 PC에 저장할 수 있도록 하였다. 이때 압력 데이터의 1초당 샘플링 수는 1,500개로 하였다.

폐쇄밸브는 통전시 개방되는 형태의 솔레노이드 밸브(CKD사, ADK11)로서 급수압 및 유량에 따라 폐쇄시간이 변하며, 본 실험에 사용한 밸브의 폐쇄시간은 약 0.021~0.038 sec였다.

탱크내의 압력은 급수배관의 조닝시 압력을 약 3~5 bar까지 조정하는 것을 고려하여, 1~5 bar로 변화시켰으며, 배관내 유속은 0.6~3.0 m/s 범위 하에서 수행하였다. 그리고 워터 햄머 흡수기의 효과 및 최적 흡수기의 사양을 결정하기 위해 흡수기 설치시 배관내 정수두는 4 bar인 조건하에

← d →



Type	d[mm]	Vo[cm ³]
A	32.12	80
B	32.12	95
C	32.12	110
D	32.12	145
E	32.12	180

Fig. 2 Dimensions of water hammer arrester.

서 실험을 수행하였는데, 그 이유는 워터 햄머 흡수기내 공기실의 충전압력을 4 bar로 하였기 때문이다.

본 실험에 사용된 워터 햄머 흡수기는 제작한 것으로 흡수기의 모든 사양은 동일하며, 단지 공기실의 체적만 5가지로 변화시키므로서 공기실의 변화가 흡수압력에 미치는 영향을 조사하려고 하였다. Fig. 2에는 본 연구에 사용된 워터 햄머 흡수기의 사양을 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 워터 햄머 흡수기가 설치되지 않은 배관계에서의 압력과의 특성

Fig. 3은 급수배관경 산정시 동관의 일반적인

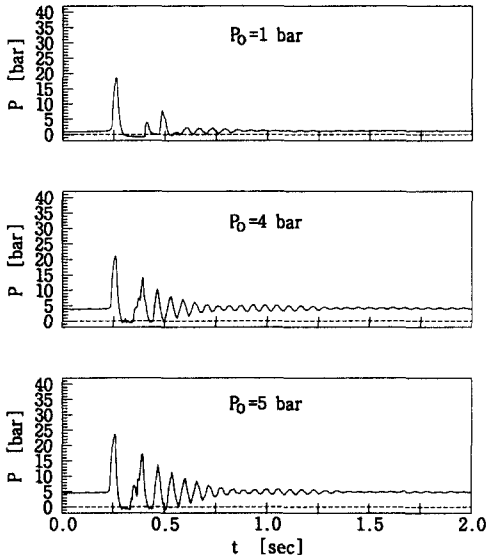


Fig. 3 Effect of initial steady pressure velocity on pressure histories in the pipe without arrester ($V=1.5$ m/s).

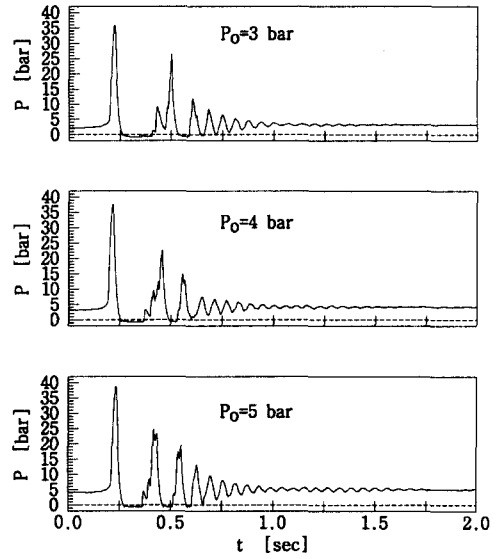


Fig. 4 Effect of initial steady pressure velocity on pressure histories in the pipe without arrester ($V=3$ m/s).

유속 제한치인 배관내 유속이 1.5 m/s인 경우, 폐쇄밸브를 작동시켰을 때의 시간에 따른 압력변동을 배관내 정수두가 각각 1, 4 및 5 bar인 경우에 대해 나타낸 것이다.

배관내에 발생되는 최대 압력은 밸브 폐쇄 직후에 발생되며, 그 값은 정수두 변화에 따라 약 18.6, 22.8 및 23.7 bar로 나타난다. 즉, 유속이 동일한 경우에는 초기압력에 대한 순압력 증가분의 최대치 $P_{max}-P_0$ 은 거의 동일하게 나타난다. 그러나 정수두가 증가하면 첫번째 압력과 이후의 압력변동이 증가됨을 알 수 있다. 그러나 정수두가 작으면 두번째 압력과 이후의 압력변동이 작아지는, 즉, 압력과 소멸이 빨라짐을 나타낸다. 그리고 첫번째 압력과 이후에 나타나는 부압의 발생 빈도는 정수두가 증가할수록 증가함을 나타내지만, 부압이 지속되는 시간은 정수두가 낮을수록 길게 나타난다.

일반적으로 급수배관경 산정시 동관인 경우에 침식을 고려하여 유속 제한치를 일반적으로 1.5 m/s로 하여 설계를 하고 있지만, 배관내의 정수두 압력이 증가하면, 워터 햄머에 의해 발생되는 압력파의 소멸도 늦어지고, 부압의 발생빈도도 증가하여 배관계에 미치는 영향이 큼을 알 수 있다. 또한, 초기 정상 압력이 1 bar로 낮아도 워터 햄머

에 의해 발생되는 배관내의 최대압력은 18.6 bar 정도로 나타나기 때문에 워터 햄머에 의한 폐해를 방지하기 위한 대책이 필요함을 알 수 있다.

Fig. 4는 ANSI/ASME 규격(4)에서 규정된 워터 햄머 흡수기의 검사유속인 3 m/s하에서 정수두 변화에 따른 워터 햄머에 의해 발생되는 압력변화를 나타낸 것이다. 압력변동 특성은 Fig. 3에 서와 동일하게 나타나지만, 최대발생압력은 35 bar 이상으로 나타난다. 또한 발생압력의 변동성도 1.5 m/s보다는 크게 나타남을 알 수 있다. 따라서 워터 햄머 흡수기는 배관내 유속 3 m/s하에서 발생되는 최대압력을 약 10 bar 정도까지 저감시킬 수 있는 성능이 요구된다.

3.2 워터 햄머 흡수기를 설치한 배관계에서의 압력파의 특성 및 압력 흡수 성능

Fig. 5에는 초기압력이 4 bar, 배관내 유속이 1.5 m/s인 경우, 폐쇄 밸브 직전에 워터 햄머 흡수기를 설치한 경우의 발생압력을 시간에 따라 나타낸 것이다. 흡수기내 공기실의 체적, 즉 A, C 및 E 타입, 모두에서 최대발생압력이 10 bar 이하로 낮게 유지된다. 또한 Fig. 3 및 Fig. 4에서 흡수기를 설치하지 않았을 때 나타나는 주기

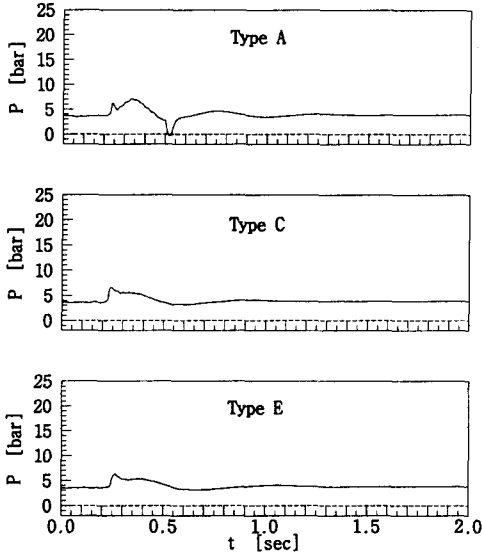


Fig. 5 Effect of arrester air volume on pressure histories in the pipe with arrester ($P_0=4$ bar, $V=1.5$ m/s).

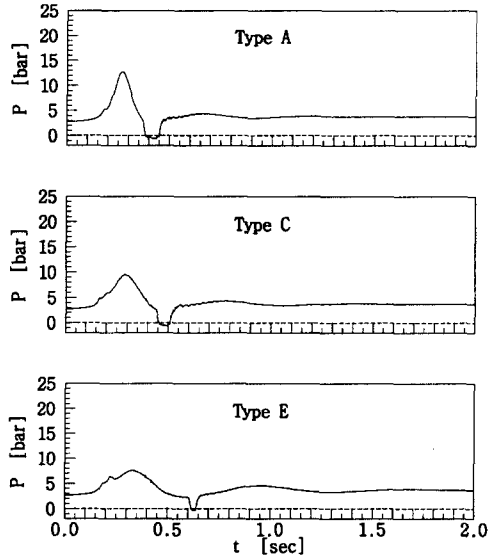


Fig. 6 Effect of arrester air volume on pressure histories in the pipe with arrester ($P_0=4$ bar, $V=3$ m/s).

가 짧고, 진폭이 큰 압력파의 형상과는 다르게 급격한 압력변동은 나타나지 않기 때문에 배관내에 미치는 영향이 상당히 저감되며, 압력변동성도 완화된 것을 알 수 있다. 워터 햄머 흡수기의 체적이 90 cm^3 인 A 타입과 같이 가장 작은 경우에도 워터 햄머에 의해 발생하는 최대압력은 10 bar 이하로까지 완화된을 나타내고 있다. 그러나 워터 햄머 흡수기의 체적이 작아지면, 최저 압력이 대기압 이상으로 유지되지 못하고 부압이 발생함을 나타낸다. 그렇지만 부압은 물의 포화증기압(20°C 일 때 -0.77959 bar) 이하로까지는 강하하지 않음을 알 수 있다.

워터 햄머 흡수기의 검사유속인 3 m/s하에서, 배관내에 워터 햄머 흡수기를 설치하고 압력변동 특성을 흡수기의 체적변화에 따라 나타낸 것이 Fig. 6이다. 흡수기의 성능은 이 조건하에서 최대 발생압력이 약 10 bar 이하로 유지되어야 함을 ANSI/ASME 규격에서는 규정하고 있다.⁽⁴⁾ 본 연구에 사용된 흡수기에서 공기실의 체적을 변화시킨 경우, 최대압력은 A, C 및 E 타입의 경우 각각 약 12.8, 9.5, 및 7.6 bar로 나타났다. 따라서 배관내 최대압력을 약 10 bar 이하로 유지시키기 위해서는 C 타입 이상의 공기실 체적을 갖는 흡수기가 필요함을 알 수 있다. 그러나 배관내에

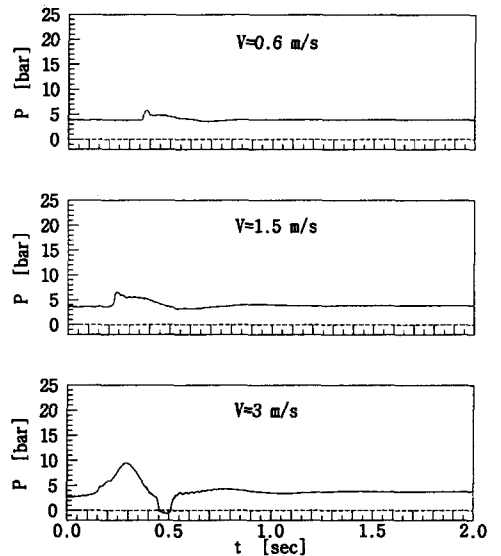


Fig. 7 Effect of flow velocity on pressure histories in the pipe with C type arrester ($P_0=4$ bar).

발생하는 부압은 E 타입의 경우에도 발생되지만, 최대압력과 최저압력간의 압력변동은 흡수기내의 공기실 체적이 증가할수록 완만하게 변화됨을 나

타내고 있다.

Fig. 7에는 C 타입 흡수기를 설치한 경우, 배관내 유속변화에 따른 압력변동 특성을 나타낸 것이다. 유속변화에 관계없이 배관내의 최대압력은 10 bar 이하로 유지됨을 나타내고 있다. 그러나 배관내의 압력이 대기압 이하로 되는 조건은 3 m/s에서 발생되고 있으나, 1.5 m/s에서는 부압이 발생되지는 않는다. 따라서, 배관경 산정시 유속을 1.5 m/s 이하로 유지시킴을 고려하면, 본 실험에 사용된 20[A]동관에는 C 타입의 공기실을 갖는 흡수기를 설치하더라도 최대압력이 10 bar 이하로 유지되면서 또한 부압도 발생되지 않음을 알 수 있다.

Fig. 8은 각기 다른 공기실 체적을 갖는 워터 햄머 흡수기를 설치한 배관내에서, 밸브 급폐쇄시에 발생하는 최대 및 최저 압력을 유속에 대해 나타낸 것이다. 배관내 유속이 동일할 경우, 공기실 체적이 증가할수록 최대압력은 작아지며, 최저압력은 증가함을 알 수 있다. 또한 공기실 체적이 동일하더라도 유속이 증가할수록 최대압력은 높게 나타나며, 최저 압력은 낮게 나타난다. ANSI/ASME 규격을 고려하였을 때, 즉, 유속 3 m/s인 조건하에서 배관내 최대압력을 10 bar 이하로 유지하는 조건을 고려하면, 공기실 체적 110 cm³ 이상을 갖는 흡수기가 적절하다고 생각된다. 그러나 공기실 체적이 110 cm³ 이상을 갖는 흡수기일지라도 배관내의 대기압 이하인 부압이 발생된다.

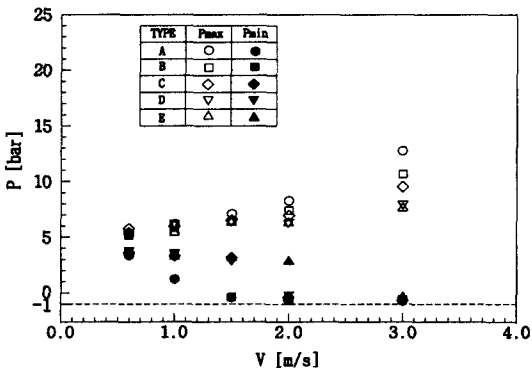


Fig. 8 Effects of air chamber volumes on maximum and minimum pressures in the pipe with water hammer arrester (P₀=4 bar).

또한 일반적인 설계 유속인 1.5 m/s인 조건하에서의 압력을 살펴보면 최저 압력을 대기압 이상으로 유지시키는 흡수기내의 체적은 110 cm³ 이상임을 알 수 있다. 따라서 10 bar 이하의 최대압력과 대기압 이상의 최저압력을 고려하면 본 연구에 사용된 최적의 흡수기는 C 타입, 즉, 110 cm³의 체적을 갖는 흡수기라고 생각되며, 흡수기내의 공기실 체적이 워터 햄머에 의해 발생하는 압력완화에 크게 영향을 미침을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 밸브 급폐쇄에 의해 발생하는 압력을 효과적으로 제어하기 위해 설치되는 워터 햄머 흡수기의 성능에 관한 연구로서, 실제 급수배관으로 사용되고 있는 동관내에서 수온 20°C, 배관내 정수두 1~5 bar, 유속 0.6~3 m/s의 범위하에서 흡수기내 공기실의 체적이 각각 80, 95, 110, 145 및 180 cm³를 갖는 5종의 흡수기에 대한 압력 흡수능력을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 워터 햄머 흡수기를 설치하지 않은 경우, 동일한 초기배관내 압력 및 유속하에서 발생하는 최대 순압력 증가치 P_{max}-P₀은 거의 동일하지만, 배관내 정수두가 1 bar로 낮고, 또한 유속이 1.5 m/s인 경우에도 최대발생압력은 18.5 bar, 또한 최저 압력도 대기압 이하의 부압이 발생하기 때문에 워터 햄머 흡수기에 의한 압력완화가 필요함을 알았다.

(2) 워터 햄머 흡수기를 설치하였을 때의 압력 특성은 워터 햄머에 의해 발생된 진폭이 크고 주기가 짧은 맥동 압력 현상과는 다른 진폭이 상당히 줄어든 압력완화 효과를 나타낸다.

(3) 워터 햄머 흡수기의 공기실 체적이 동일한 경우, 유속이 증가할수록 최대압력은 크게 나타나며, 최저압력은 낮게 나타난다. 또한 동일한 유속에서는 공기실 체적이 클수록 최대압력치는 작으며, 최저압력치는 크게 나타난다.

(4) 배관내 유속이 3 m/s인 경우, 워터 햄머 흡수기의 공기실 체적이 110 cm³이면, 최대압력은 10 bar 이하로 유지된다. 그러나 최저압력은 본 실험에 사용한 5종의 흡수기 모두 대기압 이하의 부압이 나타나지만, 20°C 수온에 대한 포화증기압 이하로까지는 떨어지지 않는다.

(5) 배관내 유속이 1.5 m/s인 경우, 배관내 최대압력이 10 bar 이하 및 최저압력이 대기압 이상으로 되는 워터 햄머 흡수기의 공기실 체적은 110 cm³ 이상일 때로 나타났다.

이상의 고찰로부터 건축물의 급수배관에서 워터 햄머에 의한 피해를 방지하기 위해서는 배관 설계시에 조닝 및 적절한 유속이 되게 배관경을 결정하는 설계뿐만 아니라, 적절한 흡수능력을 갖는 워터 햄머 흡수기를 선정하여 설치하여야 한다는 것을 알 수 있다.

후 기

본 연구를 수행하는 데 있어 워터 햄머 흡수기를 제작하는 데 도움을 주신 씨앤티 코퍼레이션의 김영호 사장님께 감사드립니다.

참고문헌

1. Han, H. T. and Kim, J. M., 1997, Effects of waterhammer arresters and air chambers in a simple water piping system of buildings, *Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, SAREK, Vol. 5, pp. 13-20.
2. Ballanco, 1995, Water hammer control, ASSE, 1995, E. J. Zimmer Technical Seminar, pp. 53-55.
3. Gary Z., Watters, 1980, *Modern Analysis and Control of Unsteady Flow in Pipelines*, ANN ARBOR SCIENCE, Michigan.
4. The American Society of Mechanical Engineers, 1984, *Water Hammer Arresters*, ANSI/ASME A112.26.1M.
5. Lee, Y. H., Yoo, J. O., Park, H. S. and Kim, Y. H., 1999, The experimental study of water hammer by valve closure in water supply piping system, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, SAREK, Vol. 12, No. 7, pp. 697-702.
6. Noriyuki Takahashi and Fumitoshi Kiya, 1977, A study on water hammer and prevention in water supply piping system of building, *Transactions of the society of heating, air-conditioning the sanitary engineers of Japan*, No. 4, pp. 51-59.
7. Kuwahara Takumi et al., 1992, A fundamental study of the water hammering in hot water supply pipes, *Proceedings of the society of heating, air-conditioning the sanitary engineers of Japan*, pp. 865-868.