

급수배관계에서 에어 챔버의 설치효과에 관한 연구

이 용 화[†], 최 국 광^{*}

유한대학 건축설비과, *인천대학교 기계공학과

The Effect of Air Chamber Placed in Water Supply Piping System

Yong-Hwa Lee[†], Guk-Gwang Choi^{*}

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

*Department of Mechanical Engineering, University of Incheon, Incheon 402-749, Korea

(Received August 22, 2002; revision received October 17, 2002)

ABSTRACT: The present study is to investigate the pressure wave characteristics and the absorption of the maximum and minimum pressure generated by instantaneous valve closure and opening at the end of the straightening copper piping system with and without an air chamber. Also, life of air chamber is investigated. Experiments were conducted under the following conditions: initial pressure of 1~5 bar, flow velocity of 0.5~3.0 m/s, water temperature of 20°C and air chamber volume of 45.1~449.5 cm³. The results of the study can be used in sizing air chamber and selecting the water hammer absorption apparatus.

Key words: Water hammer(수격작용), Air chamber(에어 챔버), Valve closure and opening(밸브개폐), Pressure history(압력변동), Maximum and minimum pressure(최대 및 최저 압력)

기 호 설 명

d_o : 에어 챔버의 내경 [mm]
 l : 에어 챔버의 길이 [mm]
 L_p : 밸브중심으로부터의 거리 [m]
 P : 게이지 압력 [bar]
 P_o : 시스템의 초기 게이지 압력 [bar]
 P_{maxA} : 에어 챔버가 설치된 배관에서의 최대 게이지 압력 [bar]
 P_{maxN} : 에어 챔버가 설치되지 않은 배관에서의 최대 게이지 압력 [bar]
 P_{min} : 최저 게이지 압력 [bar]

T : 수온 [°C]
 t : 시간 [sec]
 V : 배관 내 유속 [m/s]
 V_o : 에어 챔버의 체적 [cm³]

1. 서 론

주거용 건축물의 고층화로 인해 말단 수전에서 정수압 증가, 그리고 1개 레버식 수전의 사용, 전기세탁기 및 식기세척기의 사용 증대로 인한 배관 말단부에서 물의 개폐속도가 빨라짐으로써 수격작용에 의한 소음 및 진동, 그리고 누수와 같은 각종 폐해가 발생하여, 최근 수격현상에 대한 관심이 증대되고 있다.⁽¹⁻¹⁰⁾

수격현상에 의해 발생하는 압력을 제어하기 위한 방법으로 급수배관의 설계시, 조닝에 의한 정수압의 조정 및 배관경 산정시 유속의 제한 등과

[†] Corresponding author

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

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

같은 방법을 적용하고 있다. 그러나 이와 같은 방법만으로는 수격현상에 의해 발생하는 충격파를 완전히 방지할 수는 없다. 그 이유는 수격현상은 정수압이 낮아도, 그리고 유속이 낮은 상태에서도 발생하기 때문이다.⁽⁵⁻⁸⁾ 따라서 급수 관로계에서 수격현상에 의해 발생하는 충격압력을 완화하고, 또한 발생된 충격압력을 발생부위로 한정하기 위해서는, 수충격의 원인이 되는 에너지를 흡수하거나 소산시키기 위한 적절한 제어수단이 필요하며, 이를 위해 에어 챔버나 수격흡수기가 일반적으로 설치된다.^(1-3,5,9,10)

국내의 건축설비 분야에서는 현재 에어 챔버와 수격흡수기가 병용되고 있는 상태로서, 수격흡수기의 사용이 증대하고는 있지만, 아직까지도 에어 챔버를 사용하고 있는 곳이 많다. 그러나 에어 챔버와 수격흡수기가 적절한 크기 및 공기를 충전하고 있지 못하다면, 일시적인 충격흡수라는 기능 자체도 완벽하게 수행하지 못할 것이다. 따라서, 에어 챔버 및 수격흡수기의 용량에 관한 연구가 그동안 많이 수행되어 왔다.^(1,2,9,10) 그러나 공기보충이 불가능한 에어 챔버의 경우에는, 용량을 적절히 설계하였다고 할지라도 설치 초기에만 제 기능을 발휘할 수 있을 뿐이며, 설치 후 공기가 유실되면, 그 성능이 떨어지게 된다.

특히 국내 시공현장에서는 에어 챔버의 설치시, 공기의 보충이 가능하고 적절하게 설계된 용량의 에어 챔버를 사용하는 경우는 거의 없으며, 단지 급수배관 자체를 그대로 연장하여 에어 챔버로 사용하고 있으며, 용량 자체도 배관 길이

300~600 mm 정도의 크기로 설치함으로써 설치 초기에도 제 기능을 하지 못하는 실정이다.

또한 에어 챔버 내의 공기의 수명도 밸브의 급개폐시에 발생하는 압력변동에 의해 공기의 유실이 발생하여 에어 챔버의 수명에 영향을 미칠 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 급수관로(L형 동관)에서 수온 20℃, 정수압 1~5 bar, 유속 0.5~3 m/s의 범위 하에서, 폐쇄밸브 상류측에 체적이 각기 다른 5종의 에어 챔버를 설치하여 압력흡수 효과에 대한 실험 및 에어 챔버의 체적변화가 배관 내 압력완화에 미치는 영향을 고찰함과 동시에 수명 실험을 통해 공기의 보급이 불가능한 에어 챔버의 유용성에 대해 고찰하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

실험장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 실험장치는 시험배관부, 상류측에 서지탱크(전체적 0.5 m³) 및 헤더, 항온수조, 공기탱크(전체적 0.5 m³), 압축기, 배관시험부의 하류측 말단에 급개폐밸브로 설치한 전자밸브 등으로 구성되어 있다.

배관시험부는 KS D 5301 L형 동관(외경 15.88 mm, 두께 1.02 mm)으로 하였으며, 배관시험부의 길이는 전자밸브의 중심으로부터 헤더의 출구까지의 거리가 20m가 되게 구성하였다. 압력측정을 위해 설치한 압력계의 위치는 전자밸브 중심에서 상류측으로 각각 0.3m, 10.3m 및 19.6m 되는 위치에 설치하여 압력을 측정하였으며, 20

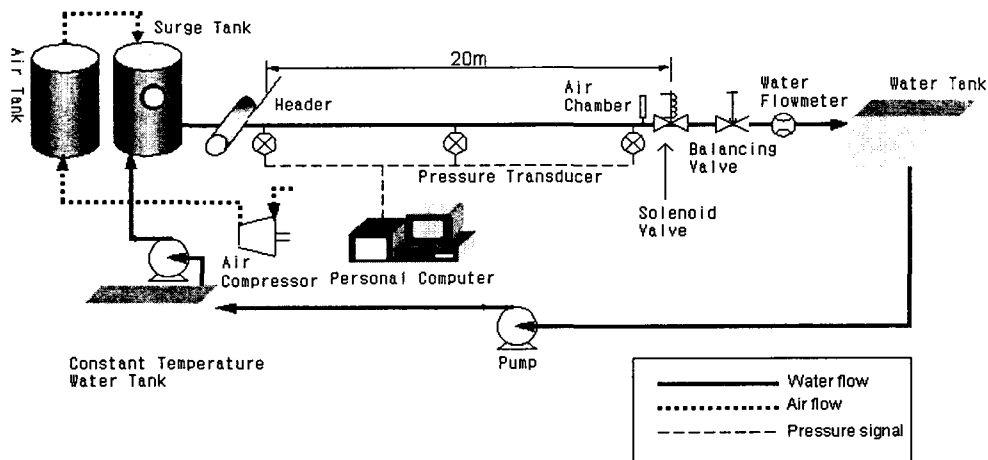


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus.

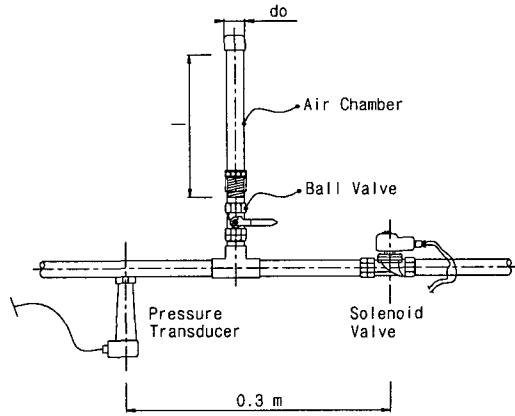


Fig. 2 Specification of air chamber.

℃의 수온을 유지하였다. 시험배관부로의 물은 서지탱크에서 공급하며, 필요로 하는 초기 정수압의 발생 및 유지를 위해 공기압축기와 공기탱크를 이용하였다. 수격현상 발생 시험방법 및 압력 측정방법은 Lee et al.⁽⁸⁾을 따랐다. Fig. 2는 배관 시험부의 에어 챔버 설치상세도를, Table 1은 에어 챔버의 제원을 나타낸 것이다. 본 실험에 사용된 에어 챔버는 L형 동관에 캡을 씌워 제작하였으며, 일반적으로 300~600 mm 정도의 길이로 실제 시공현장에서 제작 사용하는 것을 고려하여, 호칭경 15 A인 동관 300, 600, 1,000 및 1,440 mm와 20 A인 동관 1,440 mm의 5종을 제작 설치하였다.

에어 챔버의 수명시험을 위해 전자밸브의 연속적인 개폐가 가능하도록 하였으며, 에어 챔버 내의 공기의 용해성을 배제하기 위하여, 수명시험 시 배관계 내에 새로운 물을 보급하지 않았다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 에어 챔버가 설치되지 않은 배관계에서의 압력파의 특성

Fig. 3은 탱크 내 초기 정수압이 3 bar, 유속 1.5 m/s일 때, 배관 내 압력센서의 설치위치 변화에 따른 압력변동을 나타낸 것이다. 그림에서 시간 $t=0$ s는 압력측정치를 기록하기 시작한 임의의 시간을 나타낸다. 전자밸브를 급폐쇄하였을 때, 압력계의 위치가 전자밸브에 가장 가까운 $L_p=0.3$ m일 때는, 유동압력이 2.7 bar(정수압 3 bar)에

Table 1 Dimension of air chamber

Type	d_o [mm]	l [mm]	V_o [cm ³]
A	13.84	300	45.1
B	13.84	600	90.2
C	13.84	1,000	150.4
D	13.84	1,440	216.5
E	19.94	1,440	449.5

서 20.4 bar로 급격히 상승하며, 상승된 압력은 상류측으로 전파되어 상류측 압력이 상승함을 나타내고 있다. 즉, 수격에 의한 최대 압력은 각각 20.4, 16, 3.7 bar로 상류측으로 갈수록 작게 나타난다. 상류측에 도달한 압력파는 탱크에서 반사되어 부압의 파가 되어 하류측 전자밸브에 도달하고, 다시 반사되어 $L_p=0.3$ m에서는 대기압 이하로까지 떨어지게 되며, 이후 상류로 전파되어 간다. 또한 전자밸브 근방에서의 맥동압력은 배관의 상류측보다는 오랫동안 지속됨을 나타낸다. 이와 같이 전자밸브 근방에서 압력변동이 크기 때문에, 수격현상을 제어하기 위한 기기를 설치할 때는 폐쇄밸브 근방에 설치하여야 함을 알 수 있다. 이것에 대해서는 Han et al.⁽⁵⁾의 연구결과에서도 밝히고 있다.

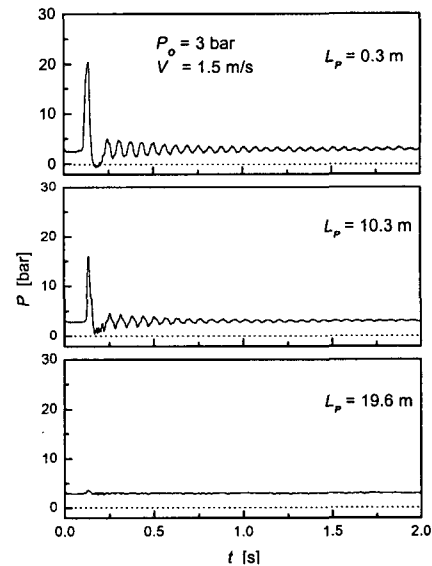


Fig. 3 Effect of the pressure transducer location along the pipe on pressure histories after valve closure.

Fig. 4는 초기 정수압이 5 bar일 때, 전자밸브 폐쇄시 전자밸브 근방 ($L_p=0.3$ m)에서의 압력변동을 유속변화에 따라 나타낸 것이다. 전자밸브 폐쇄시 발생하는 최대 압력은 유속이 빠를수록 크게 나타나며, 그 크기는 유속 3, 1.5, 0.5 m/s인

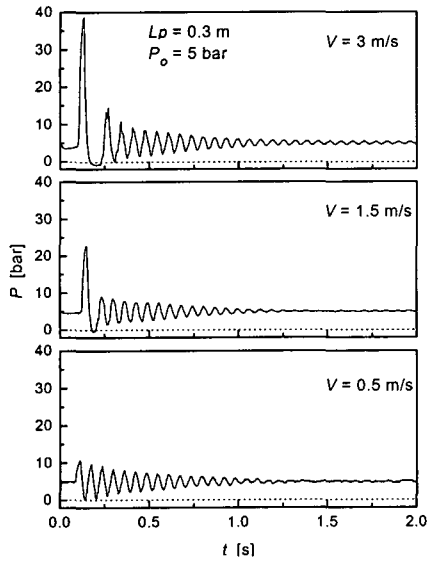


Fig. 4 Effect of the flow velocity on pressure histories after valve closure.

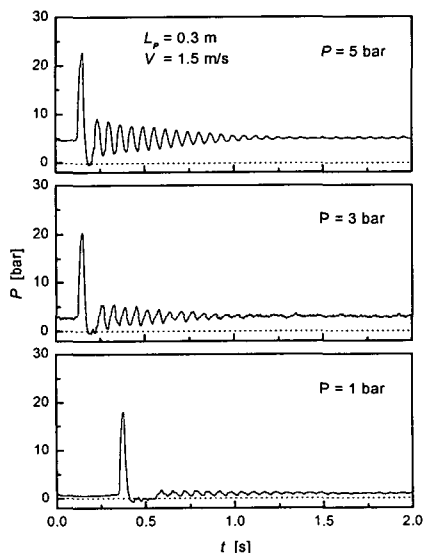


Fig. 5 Effect of the initial steady pressure on pressure histories after valve closure.

경우, 각각 38.7, 22.8, 10.8 bar로 작아진다. 배관 설계시의 제한유속인 1.5 m/s의 경우,⁽¹¹⁾ 배관 내 설계압력인 15 bar 이상으로 증가한다. 그리고 유속이 0.5 m/s로 낮은 경우, 최대 압력은 15 bar 이하로 유지되지만, 수격현상에 의한 압력파가 발생함을 알 수 있다. 따라서 유속이 낮더라도 수격현상을 제어하기 위한 대책이 필요하다고 할 수 있다.

Fig. 5는 배관 내의 유속이 1.5 m/s 일 때, 탱크 내 초기 정수압을 변화시킨 경우, $L_p=0.3$ m인 위치에서의 시간에 따른 압력변동을 나타낸 것이다.

밸브폐쇄 직후에 발생된 최대 압력을 초기 정수압 변동에 따라 살펴보면, 초기 정수압이 각각 5, 3, 1 bar인 경우, 최대 발생압력은 각각 22.8, 20.4, 18 bar를 나타내어 초기 정수압 증가분 정도만 증가하게 됨을 알 수 있다. 5 bar인 경우와 같이 초기 정상압력이 큰 경우에는 첫번째 압력파 이후에도 압력변동이 크게 나타나고 있으며, 이와 같은 경향은 초기 압력이 작을수록 두번째 파 이후의 압력변동이 작게 나타남을 알 수 있다. 또한 초기 정수압이 증가하면, 수격에 의해 발생된 압력파가 오랜 동안 지속되어 내관계에 악 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 6은 전자밸브가 개방되는 경우, 배관 내

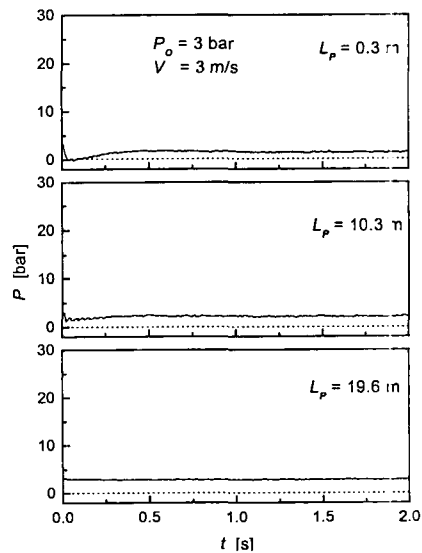


Fig. 6 Effect of the pressure transducer location along the pipe on pressure histories after valve opening.

정수압이 3 bar, 유속 3 m/s일 때, 배관 내의 압력 센서의 설치위치 변화에 따른 압력변동을 나타낸 것이다. 전자밸브를 급개방하였을 때, 압력계의 위치가 전자밸브에 가장 가까운 $L_p=0.3$ m일 때는, 압력이 3 bar에서 -0.176 bar로 대기압 이하로까지 급격히 강하한 후, 서서히 회복됨을 나

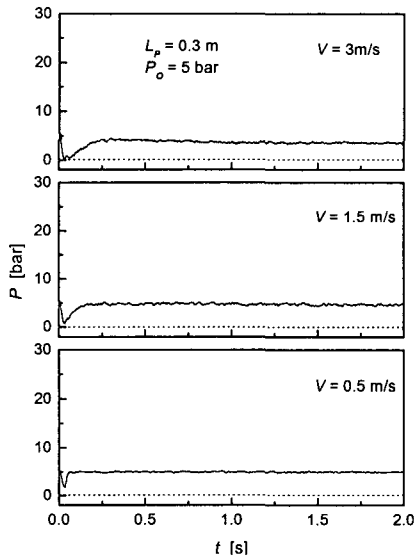


Fig. 7 Effect of the flow velocity on pressure histories after valve opening.

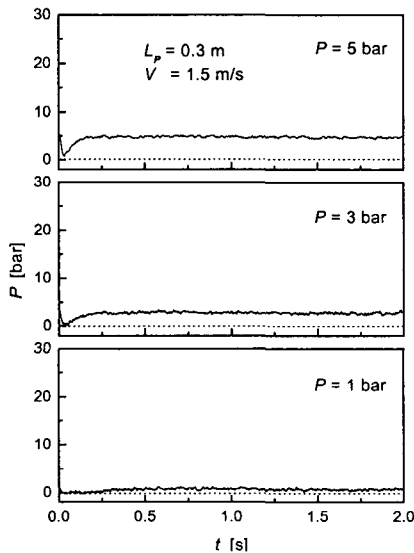


Fig. 8 Effect of the initial steady pressure on pressure histories after valve opening.

타낸다.

그리고 압력강하시에 발생된 압력과는 상류측으로 전파되어 배관 중간부분에서는 압력강하가 발생하지만, 상류측 탱크 근방에서의 압력강하 효과는 거의 나타나지 않고 있다. 또한, 밸브폐쇄시에 나타나는 압력과의 왕복현상도 나타나지 않음을 알 수 있다.

Fig. 7은 정수압 5 bar인 경우, 전자밸브를 급개방하였을 때, 밸브 근방의 압력변동을 나타낸 것이다. 유속이 3 m/s인 경우, -0.02 bar의 대기압 이하로까지 압력이 급강하하며, 이후 압력이 서서히 회복됨을 나타낸다. 유속이 1.5, 0.5 m/s로 느려지면, 0.68, 1.67 bar로 압력강하치는 줄어들며, 압력회복시간은 빨라짐을 알 수 있다.

Fig. 8은 유속 1.5 m/s인 경우, 배관 내 정수압 변화에 따른 압력변동을 나타낸 것이다. 전자밸브 개방과 함께 압력이 대기압 가까이 떨어지는 것은 모든 조건에서 동일하지만, 압력 회복시간은 정수압이 클수록 빨라짐을 알 수 있다.

3.2 에어 챔버를 설치한 배관계에서의 압력파의 특성 및 압력흡수성능

Fig. 9는 초기 정수압이 5 bar, 배관 내 유속이 3 m/s인 경우, 전자밸브 직전에 체적이 다른 5종의 에어 챔버를 설치한 경우 및 설치하지 않은

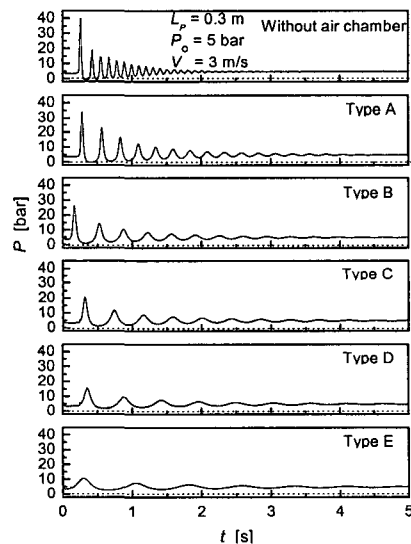


Fig. 9 Effect of the air chamber volume on pressure histories after valve closure.

경우에 대한 발생압력을 시간에 따라 나타낸 것이다. 에어 챔버가 설치되지 않은 경우의 압력파의 특성은 최대 압력이 약 40 bar 정도까지 급격히 상승하며, -0.71 bar 정도의 부압도 발생되고 있다. 또한 에어 챔버를 설치한 경우와 비교하였을 때, 압력변동도 상당히 빈번하게 발생됨을 나타내고 있다.

에어 챔버를 설치하면, 최대 발생압력은 에어 챔버의 체적증가에 따라 감소하며, 체적이 가장 큰 E 타입의 경우에는 약 10 bar 정도로 낮게 유지되며, 최저 압력도 약 2.7 bar 정도로 높게 나타나고 있다. 즉, 에어 챔버를 설치하지 않았을 때 나타나는 주기가 짧고 진폭이 큰 압력파의 형상과는 다르게, 급격한 압력변동성은 나타나지 않기 때문에 배관 내에 미치는 영향은 상당히 저감됨을 알 수 있다. 또한 최대 압력 이후에 나타나는 최저 압력은 B 타입 이상의 체적을 갖는 에어 챔버에서는 대기압 이상을 나타낸다.

Fig. 10은 초기 정수압이 5 bar, 유속이 3 m/s인 조건에서 전자밸브를 급개방한 경우, 5종의 에어 챔버를 설치한 경우 및 설치하지 않은 경우에 대한 발생압력을 시간에 따라 나타낸 것이다. 에어 챔버가 설치되지 않은 경우, 압력 변동특성은 밸브개방과 함께 최저 압력이 대기압 정도까지 강하하며, 이후 빠른 시간 내에 유동압력으로 회복됨을 나타낸다. 그러나 에어 챔버를 설치하면, 에어

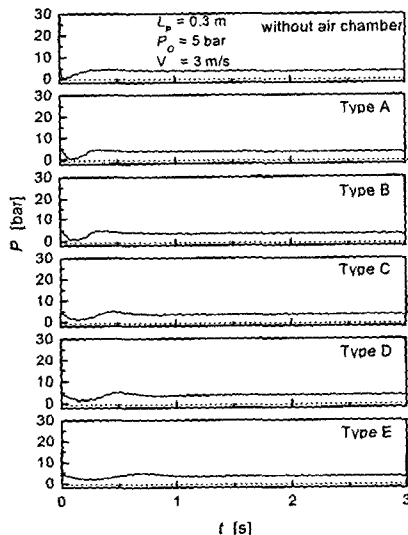


Fig. 10 Effect of the air chamber volume on pressure histories after valve opening.

챔버를 설치하지 않은 경우보다는 압력변동성이 완화되며, 또한 에어 챔버의 체적이 증가함에 따라 전자밸브 개방에 따른 압력변동성은 감소된다.

Fig. 11은 5종의 에어 챔버를 설치한 배관 내에서, 정수압 5 bar인 경우, 전자밸브 급개방시에 발생하는 최대 및 최저 압력을 유속에 대해 나타낸 것이다. 배관 내 유속이 동일한 경우, 공기실 체적이 증가할수록 최대 압력은 작아지며, 최저 압력은 증가함을 알 수 있다. 또한 공기실 체적이 동일하더라도 유속이 증가할수록 최대 압력은 높게 나타나며, 최저 압력은 낮게 나타난다.

수격흡수기의 성능규격을 고려하였을 때, 즉 유속 3 m/s인 조건 하에서 배관 내 최대 압력을 10 bar 이하로 유지하는 조건⁽²⁾을 고려하면, 공기실 체적이 449.5 cm³ 이상을 갖는 에어 챔버의 설치가 적절하다고 생각된다. 또한 이 조건 하에서 E

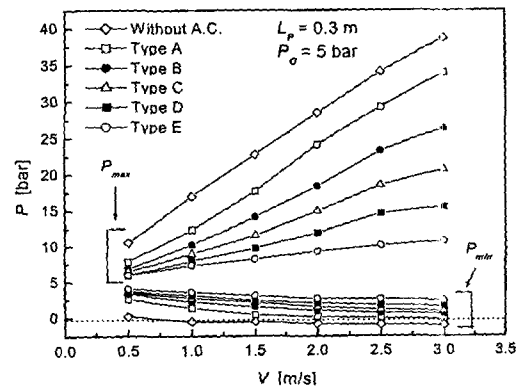


Fig. 11 Effect of the air chamber volume on maximum and minimum pressures.

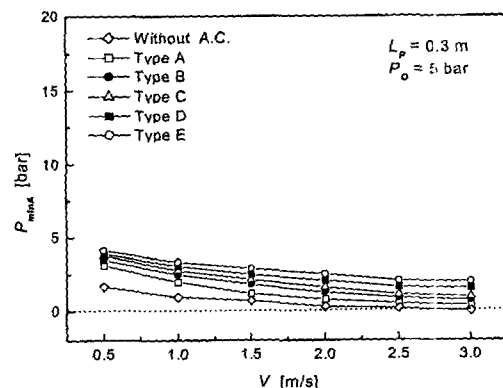


Fig. 12 Effect of the air chamber volume on minimum pressures after valve opening.

타입의 에어 챔버의 경우, 에어 챔버를 설치하지 않은 경우보다 최대 압력은 약 75% 정도 감소함을 나타낸다. 유속 3m/s인 경우, A 타입의 에어 챔버는 부압이 발생한다.

배관경 산정시 유속을 1.5m/s 이하로 유지시키는 것을 고려하였을 때, 본 실험에 사용된 15 A 동관 내의 압력을 10 bar 이하로 유지시키기 위해서는 D 타입 이상, 즉 150.4 cm³ 이상의 공기 실 체적을 갖는 에어 챔버의 설치가 필요함을 알 수 있다.

Fig. 12는 정수압 5 bar인 경우, 5종의 체적이 다른 에어 챔버를 설치한 배관 내에서, 밸브 급 개방시에 발생하는 최저 압력을 유속에 대해 나타낸 것이다.

유속이 증가하면, 최저압력도 작아지며, 동일 유속에서는 에어 챔버의 체적이 작을수록 최저 압력도 작게 나타난다. 특히 3m/s인 조건에서 에어 챔버를 설치하지 않았을 때, 대기압 이하의 부압이 발생하지만, 에어 챔버를 설치하면 대기압 이상으로 유지시킬 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 13에는 E 타입 에어 챔버를 설치한 경우, 유속변화에 따른 압력 변동특성을 나타낸 것이다. 유속이 감소함에 따라 배관 내의 최대 압력은 11.4, 8.23 및 6.12 bar로 감소한다. 그리고 유속이 감소함에 따라 압력파의 진폭은 작아지며, 주기는 길어짐을 알 수 있다.

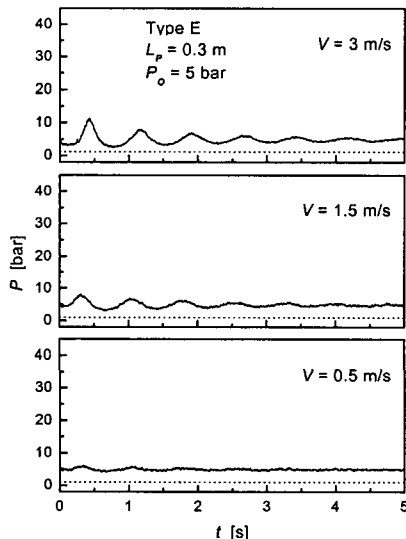


Fig. 13 Effect of the flow velocity on pressure histories in the pipe with air chamber.

3.3. 에어 챔버의 수명

Fig. 14는 A 및 D 타입 에어 챔버의 수명실험 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 반복횟수는 전자밸브가 1회 개방 및 1회 폐쇄되었을 때를 반복 횟수 1회로 취했다. 실험결과에서 알 수 있듯이 밸브가 지속적으로 개폐됨에 따라 수격발생시의 최대 압력이 서서히 증가함을 나타내고 있다. 따라서, 밸브개폐에 의해 발생하는 높은 압력변동에 의해 에어 챔버 내의 공기는 배관 내의 물에 유실되는 것으로 생각되며, 이로 인해 에어 챔버의 수명이 존재함을 알 수 있다. 에어 챔버를 설

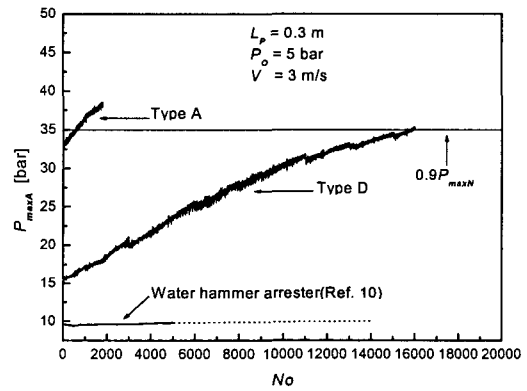


Fig. 14 Maximum pressure in the pipe with air chamber.

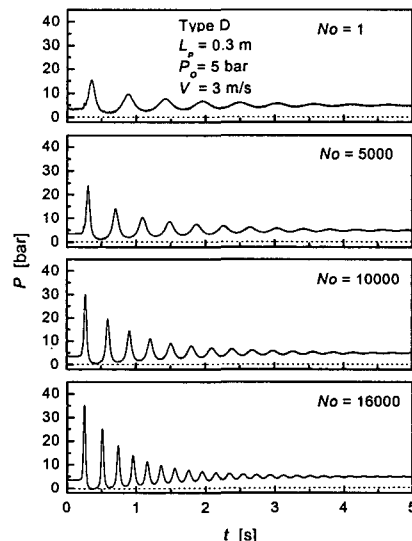


Fig. 15 Effect of the number of test on pressure histories.

치하지 않은 경우의 최대 압력의 90%에 도달하였을 때, 수명이 다 하는 것으로 보면, A 타입의 경우 약 600회, D 타입의 경우는 16,000회 정도에 발생된다. 따라서, 급수배관계에 공기보급이 불가능한 에어 챔버를 설치하여 수격작용에 의해 발생하는 압력을 흡수하는 것은 일시적일 수밖에 없다는 것을 알 수 있다. Fig. 14에 표시된 수격흡수기(피스톤형)의 실험결과는 설치 초기의 성능이 그대로 유지됨을 나타내고 있다.

Fig. 15는 D 타입의 에어 챔버를 설치한 경우, 1회, 6,000회, 10,000회 및 16,000회까지 밸브를 폐쇄시켰을 때의 압력변동을 나타낸 것이다. 에어 챔버의 개폐횟수가 증가할수록 최대 압력의 증가뿐만 아니라 진폭이 증가하고 주기가 빨라지며, Fig. 9에 나타낸 바와 같은 에어 챔버의 체적 변화와 동일한 압력파형 변화를 보이기 때문에, 급격한 압력변동에 의해 에어 챔버 내의 공기가 빠져나간 것으로 생각할 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 밸브 급폐쇄에 의해 발생하는 압력을 제어하기 위해 설치되는 에어 챔버의 성능과 수명에 관한 연구로서, 실제 급수배관으로 사용되고 있는 동관 내에서 수온 20°C, 배관 내 정수압 1~5 bar, 유속 0.5~3 m/s의 범위 하에서, 에어 챔버 내 체적이 각각 45.1, 90.2, 150.4, 216.5 및 449.5 cm³를 갖는 5종의 에어 챔버를 설치하여 압력 흡수능력과 수명실험을 한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 밸브 급폐쇄시 수격현상에 의해 발생하는 진폭이 크고 주기가 짧은 압력맥동 현상은, 에어 챔버를 설치함으로써 진폭이 작고 주기가 긴 압력파형을 갖는 압력변동 완화효과를 나타낸다.

(2) 에어 챔버의 공기실 체적이 동일한 경우, 유속이 증가할수록 최대 압력은 크게 나타나며, 최저 압력은 낮게 나타난다. 또한 동일한 유속에서는 공기실 체적이 클수록 최대 압력치는 작으며, 최저 압력치는 크게 나타난다.

(3) 배관 내 최대 압력이 10 bar 이하 및 최저 압력이 대기압 이상으로 되는 에어 챔버의 공기실 체적은 유속이 3 m/s일 때, 449.5 cm³ 이상, 1.5 m/s일 때 216.5 cm³ 이상일 때로 나타났다.

(4) 에어 챔버의 수명실험 결과, 반복적인 수격

작용에 의해 에어 챔버 내의 공기가 소멸됨을 확인되었다. 체적이 216.5 cm³인 경우, 최대 압력이 0.9 P_{maxN} 로 나타나는 시험횟수는 약 16,000회로 나타났다.

이상의 고찰로부터 에어 챔버는 크기를 적절히 선정·설치하여 수격압력을 흡수하였다고 하더라도, 설치 초기에 갖고 있던 공기실이 유지되어야만 오랫동안 제 기능을 발휘할 수 있다. 그러나 본 연구에 의하면 밸브의 급개폐에 의해 공기가 유실되어 흡수능력이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 국내 건설현장에서 아직까지도 사용되고 있는 에어 챔버를 설치하여 수격압력을 흡수해서는 안 된다고 생각하며, 반영구적인 성능을 가질 수 있는 수격흡수기나 공기의 보급이 가능한 에어 챔버의 설치가 필요함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 2002년도 인천대학교 연구비지원에 의해 수행되었으며, 실험장치 제작에 도움을 주신 C&T코퍼레이션에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. The American Society of Mechanical Engineers, 1984, Water Hammer Arresters, ANSI/ASME A112.26.1M.
2. The American Society of Sanitary Engineering, 1996, Water Hammer Arresters, ASSE Standard #1010.
3. Ballanco, 1995, Water hammer contro., ASSE 1995 E. J. Zimmer Technical Seminar, pp. 53-55.
4. Watters, G. Z., 1980, Modern Analysis and Control of Unsteady Flow in Pipelines, Ann Arbor Science, Michigan.
5. 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.
6. Takahashi, N. and Kiya, F., 1977, A study on water hammer and prevention in water supply piping system of building, Transac-

- tions of the society of heating, air-conditioning and sanitary engineers of Japan, No. 4, pp.51-59.
7. Fujii, T. and Kuwahara, T., 1992, A fundamental study of the water hammering in hot water supply pipes, Proceedings of the society of heating, air-conditioning and sanitary engineers of Japan, pp.865-868.
 8. 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, SAREK, Vol.12, No.7, pp.697-702.
 9. Hwang, H.S., Lim, K.W., Lee, K.B., Cho., B.S. and Cha, D.J., 2000, Characteristics of the transient pressure in building water supply system with an air chamber, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, SAREK, Vol.12, No.8, pp.782-790.
 10. Lee, Y.H. and Yoo, J.O., 2000, Performance test of water hammer arrester, Proceedings of the SAREK 2000 Winter Annual Conference (II), SAREK, pp.423-427.
 11. The society of heating, air-conditioning and sanitary engineers of Japan, 2000, Plumbing code, HASS 206-2000, SHASE, p.56.