

폴리부틸렌 이중관에서 수격 현상에 관한 연구

이 용 화[†]
유한대학 건축설비과

The Study of Water Hammer in Polybutylene Double Piping System

Yong-Hwa Lee[†]

Department of Building Services, Yuhan University, Bucheon, Gyeonggi, 422-749, Korea

(Received May 11, 2009; revision received June 11, 2009)

ABSTRACT: This study is to investigate the pressure wave characteristics and the maximum pressure rise generated by instantaneous valve closure at the end of the straightening polybutylene double piping system with header. Experiments were conducted under the following conditions : initial pressure 0.1~0.5 MPa, flow velocity 0.5~3.0 m/s and water temperature 25 °C.

Key words: Water hammer(수격현상), Valve closure(밸브폐쇄), Pressure wave propagation speed(압력파 전파속도), Pressure rise(압력상승), Polybutylene pipe(폴리부틸렌관), Header(헤더), Polybutylene pipe in CD pipe(폴리부틸렌 이중관)

기 호 설 명

- a : 압력파의 전파속도 [m/s]
- CD : 도관
- L : 헤더로부터 전자밸브 중심까지의 거리 [m]
- P : 밸브중심으로부터 0.2 m 떨어진 위치에서의 게이지 압력 [MPa]
- PB : 폴리부틸렌관
- P_0 : 시스템의 초기 게이지 압력 [MPa]
- T : 시간 [s]
- T_c : 밸브폐쇄에 걸리는 시간 [s]
- T_f : 1파장의 시간 [s]
- T_n : n개 파장의 시간 [s]
- V : 배관내 유속 [m/s]

1. 서 론

급수 급탕관의 배관재로는 내식성 배관재로 동

관과 같은 금속관과 폴리부틸렌관과 같은 석유화학계열의 제품이 사용되고 있다. 그중에서도 폴리부틸렌관⁽¹⁾은 시공의 편이성 및 무독성 등으로 인해 최근 아파트와 같은 세대내 배관재로 널리 사용되고 있다. 또한 폴리부틸렌관은 합성 수지관의 특징 중의 하나인 높은 신축성으로 인하여 수격작용에 의해 발생하는 높은 압력을 배관재 자체의 신축으로 흡수하므로써 수격압력을 잘 흡수하지 못하는 금속관과 큰 차이점을 나타내고 있다. 특히 폴리부틸렌관은 2중관 헤더 방식의 시공기술로 최근 그 사용범위가 확대되고 있는 실정이다. 그러나 폴리부틸렌관의 사용이 증대되고, 또한 수격압력을 어느 정도 흡수한다고는 하지만 배관 이음부에서의 압력은 낮더라도 지속적인 충격압력이 가해지면 누수의 원인이 될 수도 있다고 생각된다. 따라서 이중관 헤더방식을 실험적으로 재현하여 배관 길이에 따른 이상압력을 측정하고, 또한 기존의 선분기방식과 같은 매설배관에서도 압력을 측정하여 워터 햄머 현상이 폴리부틸렌관에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

고층 건물에서는 급수 배관계내의 정수두가 증

[†] Corresponding author
Tel.: +82-2-2610-0780; fax: +82-2-2686-9537
E-mail address: lyh@yuhan.ac.kr

가하게 되고, 이로 인해 물 소비량의 증대, 소음 및 진동, 그리고 누수와 같은 각종 폐해가 발생하기 때문에 이를 방지하기 위한 노력이 설계에 반영되고 있다. 또한 이와 같은 폐해의 원인중의 하나인 워터 햄머 현상^(2,6)에 대해서도 관심이 증대하고 있다. 또한 가정용 물사용기기의 개폐 속도가 빨라져서 배관 말단부에서 물의 차단속도가 증가하고 있는 실정이다. 그런데 배관계 말단의 물의 차단속도가 빠르게 되면, 배관내 유체가 갖고 있던 운동에너지가 순간적으로 압력에너지로 변환되고 수전 또는 밸브의 상류에서 압력이 급격히 상승하여 배관내의 전수압이 일정하게 될 때까지 압력파가 왕복하게 된다.

그런데, 동관과 같은 급속관의 경우, 수격작용에 의해 발생하는 충격파는 발생점과 완충 또는 반사점간을 약 1,000~1,400 m/s로 배관 내를 왕복하게 되며, 이 현상이 발생하는 동안, 압력에너지가 관 벽이나 배관상의 밸브나 수전 등에 작용하여 관을 순간적으로 신축시켜 진동을 발생시키고 소음을 일으키며 여기에 접촉된 기기류에 손상을 주게 되며, 심한 경우에는 배관설비의 파손 및 누수 등의 사고 원인이 된다.

따라서 수격작용에 의해 발생하는 압력을 제어하기 위한 방법으로는 조닝에 의한 정수두의 조정, 배관경의 설계시의 유속 제한 등과 같은 방법들을 들 수 있지만, 이와 같은 방법만으로는 수격작용에 의해 발생하는 충격파를 완전히 방지할 수는 없기 때문에 워터 햄머 흡수기^(7,10)를 설치하여 수격작용에 의해 발생하는 충격압력을 완화하고, 또한 발생된 이상 압력을 배관내의 압력 발생부위로 한정하는 방법을 사용하고 있다.

그런데 상기에서도 언급한 바와 같이 급수 및 급탕 배관재로 플라스틱 배관재인 폴리부틸렌관이 많이 사용되고 있는데, 이 관은 수격현상의 발생양상이나 최대발생압력이 급속관과는 다를 것이기 때문에 급속관에서와 같은 동일한 용량의 흡수기⁽¹⁰⁾를 사용하여서는 안 될 것이다.

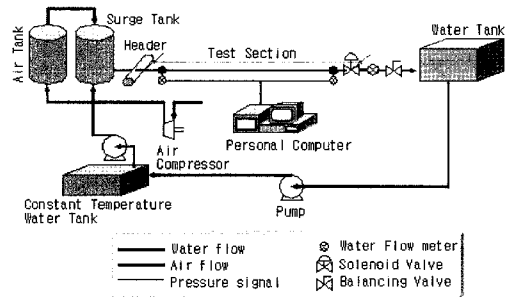
이에 본 연구에서는 워터햄머 현상에 의해 발생하는 이상압력을 배관 자체가 흡수하는 효과가 있는 폴리부틸렌 관을 사용하여, 이중관 헤더 방식을 실험적으로 구현하여 밸브 폐쇄 시에 발생하는 압력특성에 대해 실험적으로 구명하고자 한다. 또한 기존의 콘크리트 매설배관에 대한 실험도 병행하여 수격 현상에 의해 발생하는 압력특성에 대한 실험도 병행하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

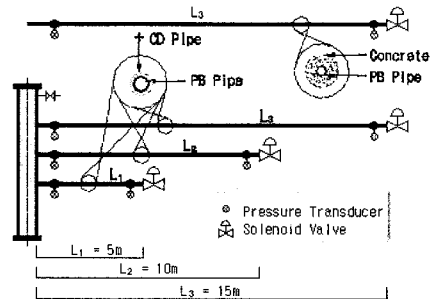
실험장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 실험장치는 시험 배관부, 상류측에 서지 탱크 및 헤더, 항온수조, 공기탱크, 압축기, 배관시험부의 하류측 말단에 설치한 전자 밸브로 구성되어 있다.

배관내의 초기압력을 변화시키거나 일정하게 유지하기 위하여 공기압축기와 공기탱크를 이용하였으며, 배관내의 사용유체는 급수설비용으로서 일반 수도물을 사용하였다. 또한 배관내의 수온을 25℃로 일정하게 유지시키기 위하여 항온수조를 이용하였다. 그리고 펌프에 의해 서지탱크에 물을 보낸 후, 배관 말단에 설치된 밸런싱 밸브와 유량계에 의해 유량을 측정하고, 하류측 수조로 방류시킨 후, 순환펌프에 의해 항온수조로 순환시켰다.

시험부는 폴리부틸렌관(KS M 3363, 내경 12.5 mm, 두께 1.6 mm)으로 하였으며, 시험 배관부의 상세를 Fig. 1의 (b)에 나타내었다. 시험부는 크게 2중관 헤더 배관과 콘크리트 매설배관으로 구성되어 있다. 2중관은 CD관(Conduit Pipe) 내부



(a) Schematic Diagram



(b) test Section

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus.

에 폴리부틸렌 관을 삽입하고 헤더 방식으로 급수하였다. 매설배관은 직경 100 mm의 원형콘크리트 내에 폴리부틸렌관을 매설한 형태이다. 배관 길이는 실제 배관 시스템이 약 5~15m가 되게 시공하는 것을 고려하여 2중관 헤더 방식에서는 5, 10 및 15m로, 매설배관은 15m가 되게 구성하였다. 그리고 압력 측정 위치는 전자밸브 중심으로부터 0.2m인 위치와 헤더로부터 0.3m인 위치에 pressure transducer를 설치하여 시간에 따른 압력변동치를 측정하였다.

탱크내의 압력은 급수배관의 조닝 시, 압력을 약 0.2~0.4 MPa로 조정하는 것을 고려하여, 0.1~0.5 MPa로 변화시켰으며, 배관내 수온은 25 °C, 유속은 0.5~3.0 m/s 범위 내에서 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 2중관 즉, CD 관내에 삽입된 폴리부틸렌관 및 콘크리트내에 매설된 폴리부틸렌관에서의 시간에 따른 압력변동을 나타낸 것이다. 압력 측정치는 배관 시험부의 전자 밸브를 폐쇄하였을 때, 밸브 중심으로부터 0.2m 떨어진 위치에서 측

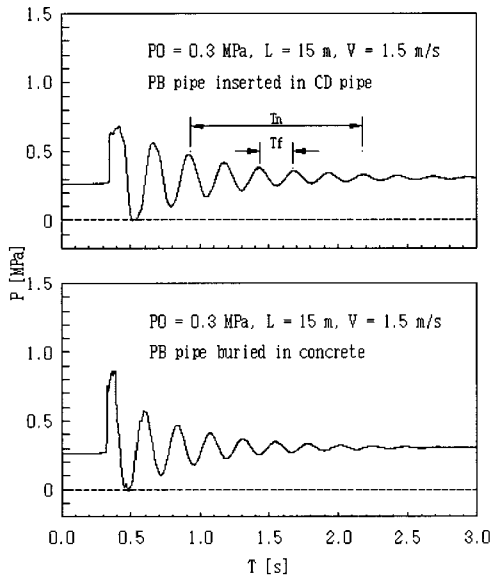


Fig. 2 Effect of polybutylene pipe inserted in CD pipe and buried in concrete on pressure histories($L = 15$ m, $P_o = 0.3$ MPa).

정한 압력을 시간 변화에 대해 나타낸 것으로서, 탱크내 초기압력은 0.3 MPa, 유속이 1.5 m/s일 때이다. 시간 $T = 0$ s는 압력측정치를 기록하기 시작한 임의의 시간을 나타낸다.

밸브의 급폐쇄에 의해 밸브직전의 상류측 배관내의 압력은 2중관 및 콘크리트 매설 폴리부틸렌관 모두에서 급상승하게 되며, 압력의 최대 상승치는 2중관에서는 약 0.681 MPa, 매설 폴리부틸렌관에서는 0.866 MPa로 나타난다. 이것은 2중관에서는 양 끝단만 지지하였고, 매설 배관은 이상압력에 대한 신축을 흡수할 수 없는 즉, 배관 벽면으로의 팽창을 할 수 없는 완전 지지 효과 때문으로 사료된다. 또한 압력파의 전파속도는 다음 식(1)을 이용하여 계산한 결과, 2중관에서는 약 229.8 m/s, 매설관에서는 254.2 m/s로 나타났다.

$$a = 4L/T_f \quad (1)$$

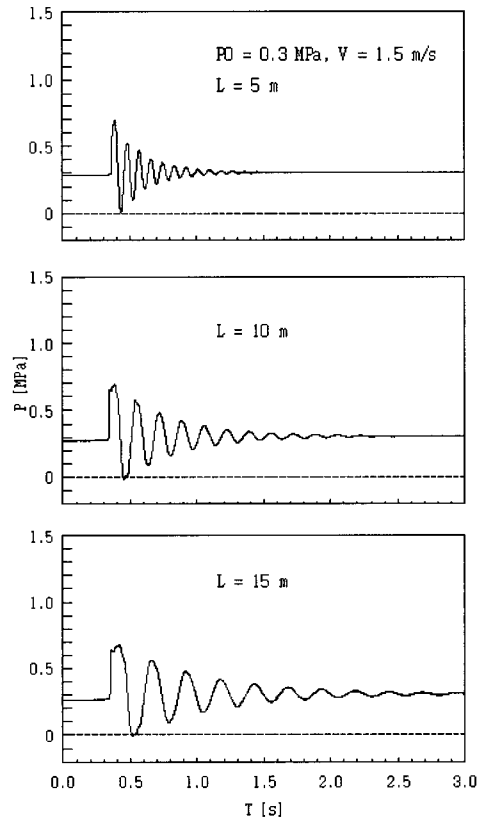


Fig. 3 Effect of pipe length on pressure histories($P_o = 0.3$ MPa, $V = 1.5$ m/s).

식(1)에서의 압력파의 전파속도는 그림에 나타난 바와 같이 압력파가 맥동상태가 되었을 때, 수개 파장의 시간(T_n)을 측정하고, 평균하여 1파장의 시간(T)를 구하여 계산하였다.

Fig. 3은 이중관 헤더 방식에서 배관 길이에 따른 압력변동을 나타낸 것이다. 초기압력 0.3MPa, 유속 1.5m/s일 때, 배관길이에 따른 최대 발생압력은 각각 0.695, 0.69 및 0.682 MPa로 나타났으나, 초기 정수두로부터 배관내 유체가 유동시, 밸브직전에서의 유동압력이 0.285, 0.275 및 0.265 MPa를 고려하면 순 압력증가치는 거의 동일함을 나타내고 있다. 또한 발생된 압력파는 배관길이가 짧을수록 빨리 소멸됨을 나타낸다.

Fig. 4는 2중관에서 시험부의 배관길이가 15 m, 탱크내 초기압력이 0.3 MPa일 때, 시간에 따른 폴리부틸렌관의 압력변동을 배관내의 일반적인 설계 유속인 1, 1.5 및 2 m/s에 대해 나타낸 것이다. 배관내의 초기 정수두는 모두 0.3 MPa이었지만,

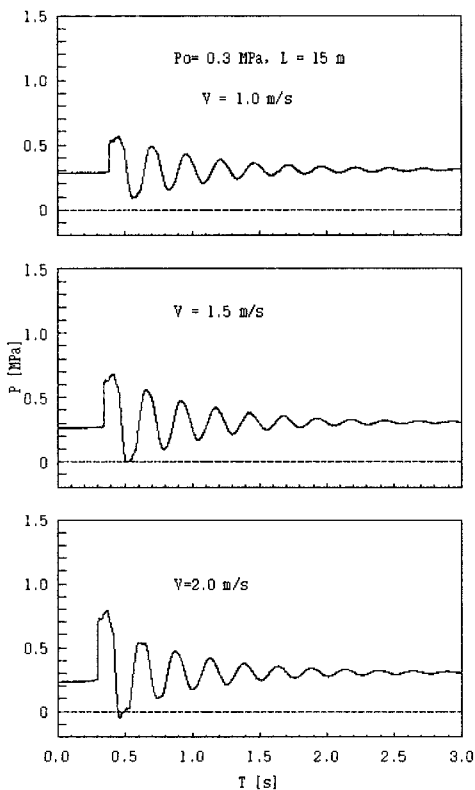


Fig. 4 Effect of flow velocity on pressure histories(L = 15 m, Po = 0.3 MPa).

마찰손실로 인해 전자 밸브 직전의 유동압력은 각각 0.285, 0.264 및 0.233 MPa로 낮아지지만, 배관내의 최대압력은 0.561, 0.678 및 0.79 MPa로 높아진다. 즉, 유속이 증가하면 수격에 의해 발생하는 최대압력도 증가함을 나타낸다. 또한 유동압력으로부터의 순수 압력 증가치도 각각 0.276, 0.414, 및 0.557 MPa로 높아짐을 나타낸다. 그리고 유속이 1.5 및 2 m/s일 때는 부압(負壓)도 발생하게 된다. 그 값은 각각 -0.002 및 -0.05 MPa로서, 유속이 증가할수록 부압으로 되는 비율이 커짐을 나타내고 있다.

Fig. 5는 배관내의 유속이 1.5 m/s, 배관길이 15 m일 때, 탱크내 초기압력을 변화시킨 경우, 시간에 따른 압력변동을 나타낸 것이다. 초기압력이 각각 0.1, 0.3 및 0.5 MPa일 때, 밸브폐쇄 직후에 발생된 최대 압력은 0.473, 0.681 및 0.883 MPa로서 초기압력 증가분 정도만 증가하게 됨을 알 수 있다. 유동압력으로부터의 최대발생압력, 즉 순압력

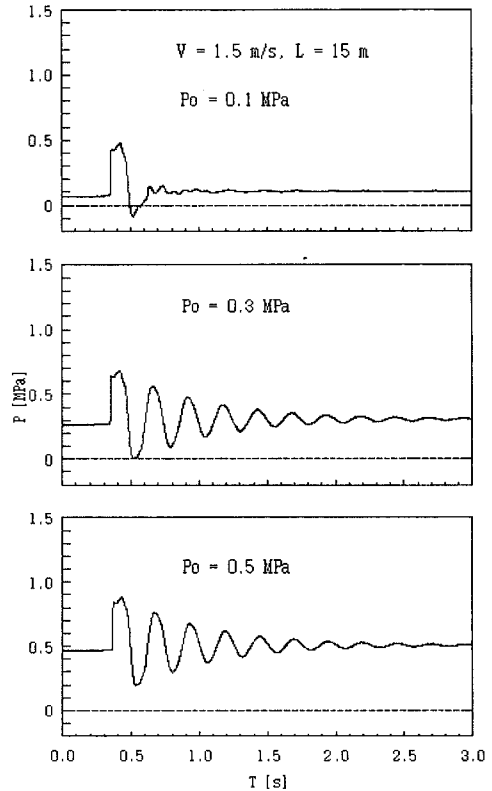


Fig. 5 Effect of initial pressure on pressure histories(L = 15 m, V = 1.5 m/s).

증가치는 0.396, 0.417 및 0.42 MPa로 초기압력이 증가할수록 압력이 약간 상승함을 나타내고 있다. 초기압력 0.3 MPa 이하에서는 부압도 발생하고 있다. 0.5 MPa인 경우와 같이 초기 정상 압력이 큰 경우에는 첫 번째 압력과 이후에도 압력변동이 크게 나타나고 있으며, 이와 같은 경향은 최초의 정상압력이 작을수록 두 번째 파 이후의 압력변동이 작게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 6은 탱크내 초기압력 0.3 MPa, 유속 2.03 m/s일 때, 배관 말단에 싱글레버 수도꼭지⁽¹¹⁾를 설치하여 개폐한 경우와 솔레노이드 밸브를 설치하여 개폐한 경우이다. 배관내 유량은 수전을 완전 개방하였을 때 흐르는 유량을 기준으로 하였다. 수전을 전폐하였을 때 걸리는 시간은 수전이 0.01 s, 그리고 전자밸브는 0.039 s였다. 그리고 압력파의 전파속도는 수전이 235.85 m/s, 전자밸브가 235.9 m/s로 나타났다. 따라서 식(2)로부터 수전과 전자밸브 모두 수격현상의 급폐쇄 영역하에 있는 것을 알 수 있다.

$$T_c < 2L/a = 2 \times 15 / 235.9 \approx 0.127 [s] \quad (2)$$

또한 Fig. 6에서 최대발생압력은 수전이 0.8

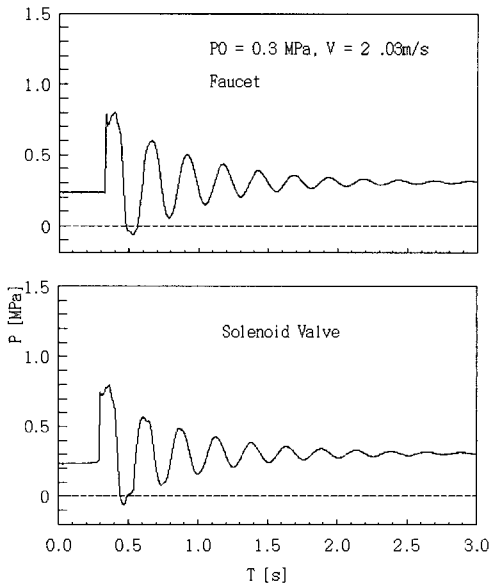


Fig. 6 Effect of faucet and solenoid valve on pressure histories(L = 15 m, Po = 0.3 MPa, V = 2.03 m/s).

MPa, 전자밸브의 경우가 0.798 MPa로 거의 동일한 값을 나타내며, 압력파도 상사의 형태로 나타난다. 또한 첫 번째 압력과 이후에 발생하는 최저 부압의 크기도 -0.06024 MPa로 같은 값을 나타낸다.

4. 결 론

본 연구는 현재 현장에서 시공되고 있는 폴리부틸렌 이중관 헤더 방식과 콘크리트 매설 폴리부틸렌관에서 밸브 급폐쇄에 의해 발생하는 이상 압력을 측정된 연구로서, 배관내 수온 25 °C, 초기압력 0.1~0.5 MPa, 유속 0.5~3 m/s의 범위하에서 밸브의 급폐쇄시 발생하는 시간에 따른 압력변동에 대해 실험한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 배관내 유속 1.5 m/s, 초기압력 0.3 MPa인 경우, 최대 발생압력은 폴리부틸렌 이중관 헤더 방식과 콘크리트 매설 배관에서 각각 0.681 MPa 및 0.866 MPa로서, 콘크리트 매설 배관에서 0.185 MPa 높게 나타났다. 그러나 발생한 압력파는 매설배관에서 더 일찍 소멸되었다. 또한 이 조건에서의 압력파의 전파속도는 2중관에서 229.8 m/s, 매설배관에서 254.2 m/s로 매설배관에서 더 높게 나타났다.

(2) 폴리부틸렌 이중관 헤더 방식에서 배관길이에 따른 효과를 보면, 초기압력 0.3 MPa, 유속 1.5 m/s일 때, 배관길이가 각각 5, 10 및 15 m인 경우, 유동압력과 최대발생압력과의 차이 최대 압력 상승치는 각각 0.41, 0.415 및 0.417 MPa로 거의 동일함을 나타내었다. 그리고 배관길이가 짧을수록 압력파의 소멸시간은 짧게 나타났다.

(3) 2중관에서 시험부의 배관길이가 15 m, 탱크내 초기압력이 0.3 MPa일 때, 배관내 유속이 각각 1, 1.5 및 2 m/s로 증가하면, 유동압력으로부터의 순수 압력 증가치도 각각 0.276, 0.414, 및 0.557 MPa로 높아짐을 나타낸다.

(4) 유속이 1.5 m/s, 배관길이 15 m일 때, 배관내 초기 정수두가 각각 0.1, 0.3 및 0.5 MPa로 증가하면, 유동압력으로부터의 순수 압력 증가치는 0.396, 0.417 및 0.42 MPa로 약간 증가함을 나타내었다.

(5) 탱크내 초기압력 0.3 MPa, 유속 2.03 m/s일 때, 싱글레버 수전의 급폐쇄시 발생압력은 0.8 MPa, 전자밸브의 경우가 0.798 MPa로 거의 동일한 크기의 이상압력이 발생하였다.

참고 문헌

1. KS M 3363, 2003, Plastics piping systems for hot and cold water installations-Polybutylene pipes., Korean Standards Association.
2. Josef Zaruba, 1993, Water hammer in pipe-line system, Elsevier.
3. Ballanco, 1995, Water hammer control, ASSE 1995 E. J. Zimmer Technical Seminar, pp.53-55.
4. Han, H. T. and Kim, J. M., 1997, Effects of water hammer arresters and air chambers in a simple water piping system of buildings, Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, SAREK, Vol. 5, pp.13-20.
5. Lee, Y. H. and Yoo, J. O., 2000, A study of arrester in water supply piping system, surge pressure absorption by water hammer Refri-
geration Engineering, SAREK, Vol. 12, No. 12, pp. 1066-1072.
6. Kim, J. P., 1992, Development of optimum facility system for high-rise apartments(II), Report of KICT, 91 ME121-2(in Korean).
7. ASME, 1975, Water hammer arresters(ANSI A112.26.1-1969(R1975), The American Society of Mechanical Engineers.
8. SHASE, 1996, HASS 212, The society of heating, air-conditioning the sanitary engineers of Japan(in Japanese).
9. KS B 2375, 2006, Water hammer arrester, Korean Standards Association.
10. SAREK, 2001, Handbook of Air-conditioning, Refrigeration and Sanitary Engineering, SAREK, Vol. 4, pp. 24-28.
11. KS B 2331, 1992, Faucets, Korean Standards Association.