

급수배관시스템의 수충격 진동제어를 위한 실험적 연구

이 장 현, 이 효 행, 권 병 하, 오 진 우
(주) 엔. 에스. 브이 기술연구소

An Experimental Study on Vibration Control of Water Hammering in Water Pipe System

Jang-Hyun Lee, Hyo-Haeng Lee, Byoung-Ha Kwon, Jin-Woo Oh
Institute 715-7, Gojan-Dong, Namdong-Gu, Incheon, Korea, 425-807

ABSTRACT: Pump of high lift use to development of a technological level according as a building grow big. Water-Hammer to increase by valve of fast to closing agreeably to pipe laying to accept electronic valve, because by a damage of piping-system and the devil knows injury of vibration.

Water-Hammer take a low effect to various method for solve. A New type manufacture develop and testing of pipe line to same to axis use to accumulator for water-Hammer to low effect and liner control of pressure.

Impact-pressure of absorption ability and confirmation to decrease of vibration level through to preexistence manufactures and comparative test. Water-hammer and pipe vibration make low of piping system

Key words: Piping(배관), Piping of Statuette(입상관), Water supply(급수), Water Hammering(수충격), Linear Control(선형제어))

1. 서 론

산업화에 따른 건축기술수준의 발달로 인해 각종 건물이 대형화, 고층화됨에 따라서 급수설비 들 또한 대형화되면서 높은 양정의 펌프를 사용 하게 되었고 배관계통의 설비들이 대부분 전자개 폐식 밸브를 채택하면서 밸브 폐쇄시 압력변화에 따른 충격압력으로 작용하고 충격성진동을 발생 시켜 급수배관의 진동, 변형, 이음부의 집중적 피 로응력발생, 체크밸브 및 펌프임펠러 파손에 의한 배관계통 설계수명 감소등 배관 부속품과 배관자 체의 손상을 유발시켜 시스템의 안정성을 저해하 는 주요 요인으로 작용한다.

이러한 수충격을 방지하기 위하여 건설교통부 에서 공시된 시방서 기준에 의하면 수직배관에

25m 구간마다 "체크밸브 와 수충격 흡수장치"를 장착하여 수격 현상을 방지하도록 규정하고 있다.

그러나 기존 방식은 입상관의 경우 Fig. 1.와 같이 입상관의 끝단에 수충격 방지기가 설치되더라도 밸브 급폐쇄시 수충격 현상이 수격방지기와 밸브사이를 내부마찰에 의한 소멸시까지 왕복하 므로 충격압력이 일정시간동안 지속적으로 작용 하여 밸브의 내구성이 감소하게 되고 배관연결부 및 배관자체에 심각한 영향을 초래할 수 있는 문 제점이 있다.

따라서 본 연구에서는 배관의 수충격 발생원으 로부터 근접하게 설치가 가능하며, 수충격 발생압 력을 효과적으로 저감시킴과 동시에 발생압력의 선형제어가 가능한 수격 방지기를 개발하여 급수 배관시스템의 안정성을 확보하고자 한다.

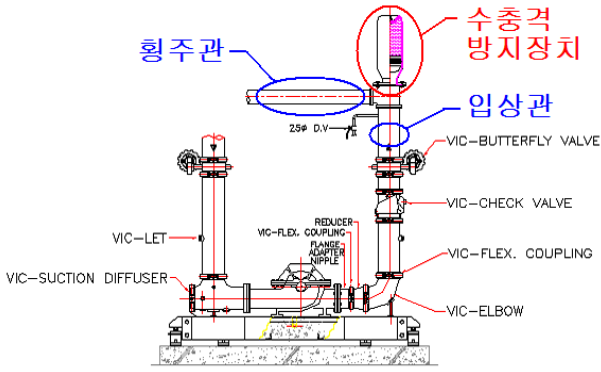


Fig. 1 급수배관 수충격 방지 장치

2. 수격방지(In-Line Type) 개발 필요성

2.1 기존설치방식에 따른 문제점

수충격방지기 제품의 설치위치가 수충격 발생원(ckeck valve)으로부터 이격거리를 두고 있으며 수충격압력의 소멸시까지 왕복운동에 의한 잔류충격력으로 인해 발생 수충격압력 제어에 효과적이지 못하다. 또한 수격방지기 설치를 위해 T-이음관을 별도로 설치하기 때문에 현장설치여건상 공간적인 제약이 따르는 경우가 발생한다.

2.2 기존 수격방지 자체가 가지고 있는 문제점

Diagram Type 과 Bellows Type의 경우 물과의 접촉에 따른 고무재질의 노화와 반복적 수축/팽창 작용에 의한 미세한 크랙에 피로응력이 발생하여 재질자체의 파손발생 우려가 높다. 또한 Body 구조상 공기 주입구 또는 기타 이음매 부위로 공기가 유출되어 수충격 흡수기능이 현저히 떨어지는 등 내구성에 취약점을 갖고 있다.

따라서 이상의 문제점을 보완하고 배관에서 발생하는 수충격을 방지하기 위해서는 밸브와 수충격 흡수장치간의 거리를 최소화 시켜야 된다는 것이 여러 연구 자료를 통해서 입증된바 이를 근거로 입상관과 동일한 중심축상에 수충격흡수장치를 설치하여 수충격발생을 발생원으로부터 원천적으로 흡수/제거하여, 대형 및 고층급수관에 적합한 신제품을 개발하고자 한다.

3. IN-LINE TYPE 수충격방지기 개발

3.1 시제품 제작 및 구성요소

성능 평가를 위한 시제품은 아래 Fig. 2와 같이 구성하여 제작하였다.

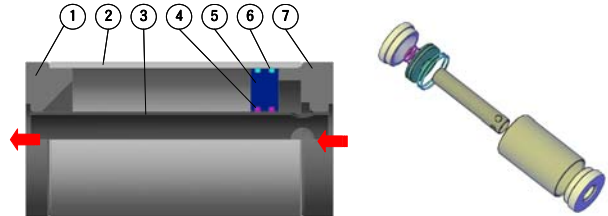


Fig. 2 In-Line 수격방지기 구성도

3.2 수충격 흡수기구 필요용량 산출

수충격흡수기구의 충격압력흡수능력은 내부 공기실 체적(Volume)과 관련되어 있다.

따라서, 배관시스템 조건에 맞는 수격방지기 체적을 산출하기위해 다음의 식을 이용하여 계산하였다.

$$V = \frac{4.0 \times 10^{-3} \times QP_1(0.016L - t_c)}{(P_1 - P_2)} \quad (\text{식 3})$$

여기서,

Q : 밸브차단전 유량 (Liter/min)

P1 : 허용충격압력 (kgf/cm²)

P2 : 밸브차단전의 압력 (kgf/cm²)

t_c : 밸브차단후 압력과의 왕복시간 = 2L/C

L : 배관길이 (m)

상기식에 따른 계산결과 시스템 운전조건인 3 m/s, 4 kgf/cm²에서 In-Line Type 수격방지기의 필요체적은 약 3.3 Liter가 필요한 것으로 계산되었다. 따라서 설계용량을 3.3 Liter가 되도록 외부 Housing규격을 선정하여 시제품을 제작하였다.

4. 성능평가

개발제품의 성능을 평가하기 위해 먼저 평가항목 및 평가방법에 대해 규정하기로 한다.

성능평가는 1)발생된 최대수충격압력의 흡수능력, 2)충격압력시 발생하는 진동의 저감효과로 구분하여 실시하였다.

수충격압력 흡수능력의 평가를 위한 시험장치 구성 및 평가방법은 “KS B 2375 워터햄머흡수기” 규격의 시험방법을 적용하여 실험하였다.

4.1 시험장치 및 측정시스템

수충격 흡수능력시험을 위한 시험장치 구성은 Fig. 3와 같으며 배관내 유체유동시 Surge Valve 를 급폐쇄시켜 수충격압력을 발생시키는 구조로 이루어져 있다.

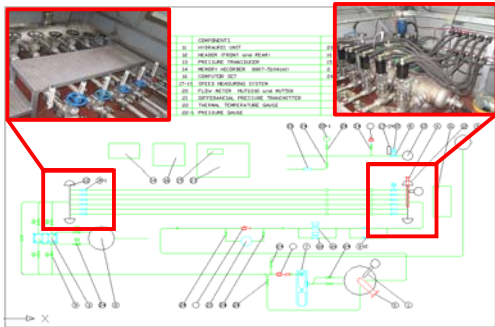


Fig. 3 수충격 Test System (KS B 2375)

측정에 사용된 동압센서 및 가속도계는 Fig. 4에 나타낸바와 같으며 수충격압력 측정위치는 수격방지기 후단에서 측정하였다.

진동레벨의 측정은 수격방지기 몸체와 배관지대, 구조물 기둥 3가지 측정지점에서 측정을 실시하였다.

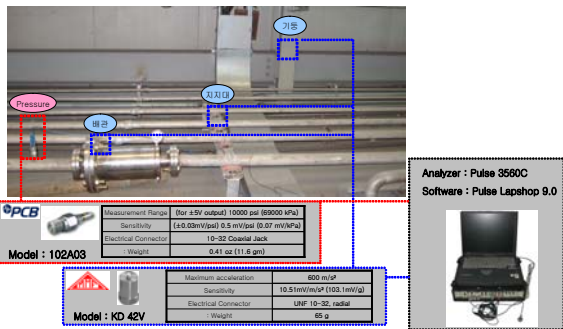



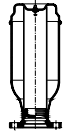
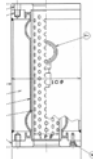
Fig. 4 수충격압력 및 진동레벨 측정시스템

4.2 측정대상

시험대상은 개발품인 In-Line 수격방지기와 기존에 적용되고 있는 수직형 강관수격방지기와 In-Line의 일본제품을 비교대상으로 선정하여 측정하였다.

각 제품별 구조 및 특징은 Table 1과 같다.

Table 1 시료의 방식 및 구조

시료	구조	특징
	In-Line Type의 Piston 방식	배관과 동일축선상에 설치되는 In-Line 제품으로 Piston 적용
	수직형의 Piston 방식	기존에 적용되고있는 방식으로 배관말단에 수직형으로 설치됨.
	In-Line Type의 고무 Blade 형식	일본제품으로 In-Line Type이나 Piston 대신 고무 Blade를 적용

4.3 수격방지기 Type별 최대수충격압력

비교시험은 Table 2와 같이 3가지 모델에 대해 동일한 조건에서 시험을 실시하였고 그 결과는 다음과 같다.

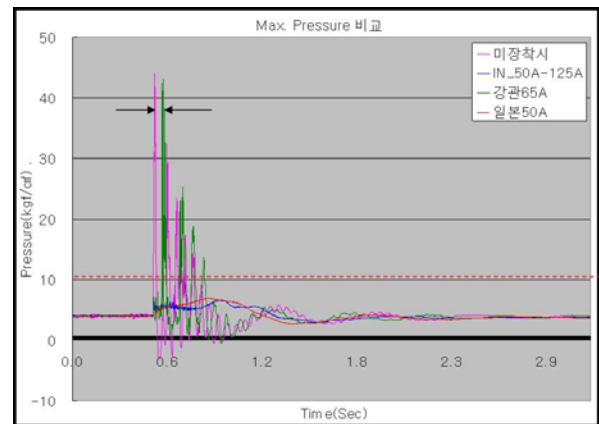


Fig. 5 Type별 최대수충격압력

Table 2 수격방지기 Type별 최대수충격압력

Type	미장착시	Max Pressure (kgf/cm ²)
		44.2
In-Line	44.2	6.8
수직형		27.3
일본제품		6.9

1) 수충격압력 흡수능력은 In-Line > 일본제품 > 수직형의 순으로 측정되었다.

2) In-Line Type 과 일본제품은 같은 적용방식으로 수충격압력 흡수능력이 동등한 수준으로 나타났다.

3) 수직형 제품의 경우 Piston 방식이 적용되었으나 내부 구조상 충격압력이 작용하는 Piston 단면적이 수격방지기 전체 단면적에 비해 상대적으로 작아 Fig. 5 에서와 같이 Piston 상승으로 인한 충격압력 Peak 발생시간을 다소 지연시킬 뿐 수충격압력흡수능력이 현저히 떨어지는 것으로 판단된다.

4.4 진동측정

급수배관시스템에서의 수충격압력에 따른 발생 진동의 전달경로별 진동레벨을 측정하여 진동저감량을 비교평가하였다.

측정지점은 수격방지기 몸체와 배관지지대, 구조물의 기둥으로 선정하였고 측정결과는 다음과 같다.

4.4.1 In-Line Type

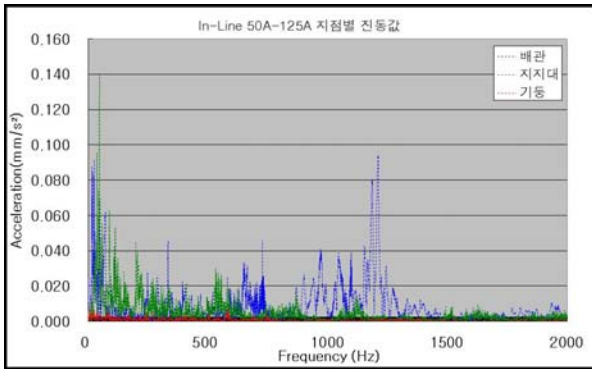


Fig. 6 In-Line Type 진동측정결과

Table 3 In-Line Type 진동측정결과

Type	규격	진동 [dB(mm/s ²)] (~2kHz Overall)		
		배관	지지대	기둥
In-Line	50A-125A	99.4 (938.0)	99.5 (95.5)	76.8 (69.1)

1) 측정위치에 따른 진동레벨측정결과 수충격압력 발생시 배관의 진동레벨은 99.4dB로 나타났고 이를 지지하고 있는 구조물의 기둥에서는 76.8

dB로 22.6 dB가 감소하였다.

2) 배관지지대의 경우 일부 주파수대역에서 배관보다 더 큰 진동레벨을 나타내는데 이는 배관 지지개소와 배관과의 고유진동수에 따른 요인으로 판단된다.

3) 구조물 기둥에서 측정결과 전 주파수대역에서 진동저감량이 큰 것으로 측정되었다.

4) 주파수대역별 저감량은 주로 1000 Hz이상의 고주파성분의 저감량이 크게 나타났으며 현재 강 구조물로 이루어진 시스템 특성상 구조물의 감쇠가 낮은 점을 고려할 때 상대적으로 콘크리트 구조물에 적용할 경우 진동저감효과가 크게 나타날 것으로 판단된다.

4.4.2 수직형 강관 Type

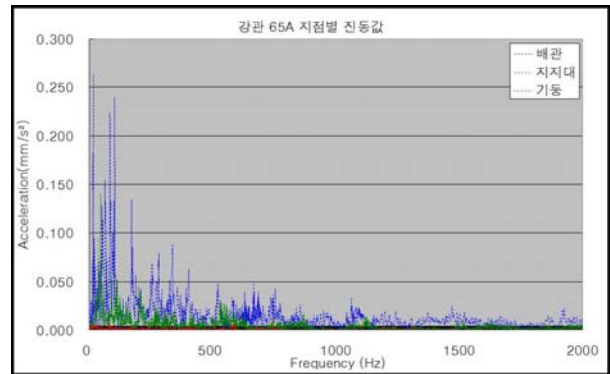


Fig. 7 수직형 강관 Type 진동측정결과

Table 4 수직형 강관 Type 진동측정결과

Type	규격	진동 [dB(mm/s ²)] (~2kHz Overall)		
		배관	지지대	기둥
수직형 강관	65A	104.0 (1550.)	98.9 (884.0)	82.0 (126.0)

1) 수직형 강관제품의 진동레벨 측정결과 배관에서는 104.0 dB, 기둥에서는 80.0 dB로 24 dB가 저감되는 것으로 측정되었다.

2) 수직형제품의 경우도 진동 전달경로상에서는 저감효과가 나타나지만 In-Line Type의 경우와 비교할 경우 배관자체의 진동은 약 5 dB 가량 증가한 것으로 나타났다.

3) 이는 앞서 수충격흡수능력시험 결과에서 수직형 강관제품의 흡수능력이 In-Line Type에 비해 떨어지는 것에 따른 원인으로 판단된다.

4.6.3 일본제품

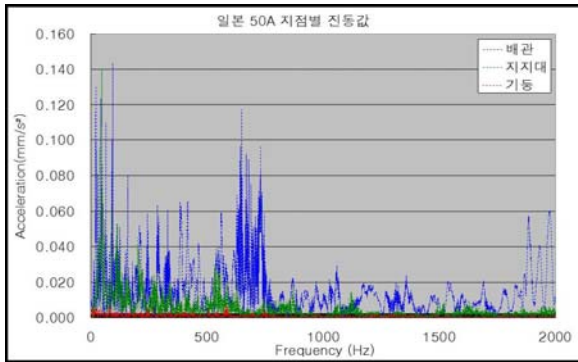


Fig. 8 일본제품 진동측정결과

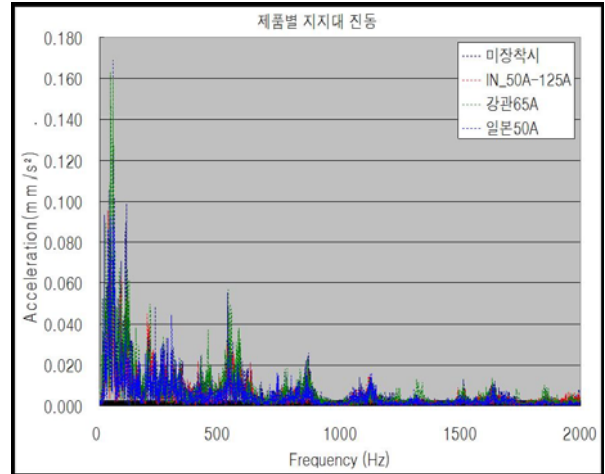


Fig. 10 제품별 배관지지대 진동

Table 5 일본제품 진동측정결과

Type	규격	진동 [dB(mm/s ²) (~2kHz Overall)]		
		배관	지지대	기둥
일본 제품	50A	103.0 (1040.0)	95.4 (589.0)	77.8 (78.0)

1) 일본제품의 진동측정결과 배관진동은 103 dB로 수직형 강관과 유사한 수준으로 측정되었으나 구조물 기둥에서의 측정결과 77.8 dB로 저감 효과가 크게 나타났다.

4.6.4 제품별 진동레벨 저감량

1) 배관

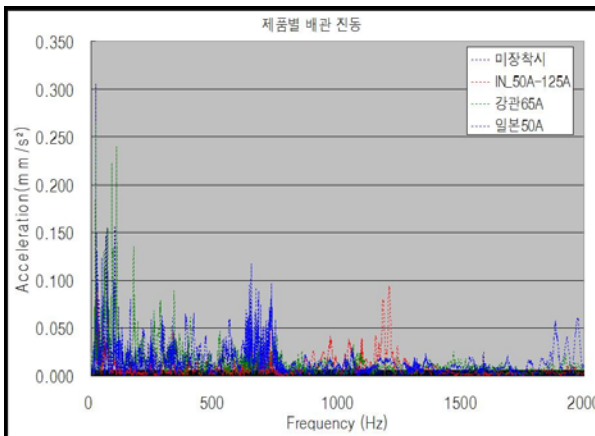


Fig. 9 제품별 배관 진동

2) 지지대

3) 구조물 기둥

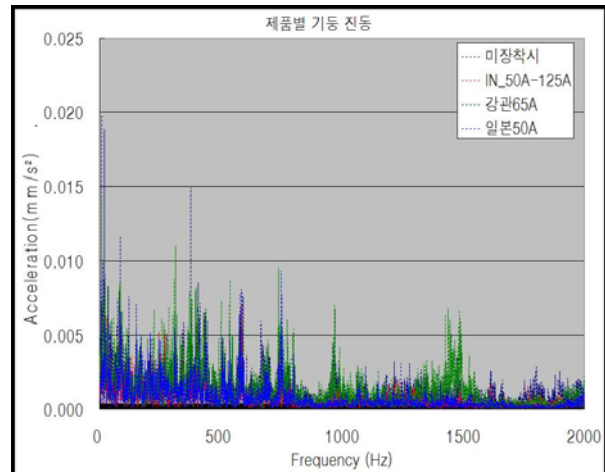


Fig. 11 제품별 지지구조물 진동

Table 6 제품별 진동레벨

Type	진동레벨 [dB]			진동가속도 [mm/s ²]		
	배관	지지대	기둥	배관	지지대	기둥
미장착시	101.0	98.3	81.4	1016.0	824.0	117.0
In-Line	99.4	95.5	76.8	938.0	596.0	69.1
수직형	104.0	98.9	82.0	1550.0	884.0	126.0
일본제품	103.0	95.4	77.8	1040.0	589.0	78.0

측정결과 배관의 진동레벨 저감량은 미장착시에 비해 In-Line Type의 경우 1.6 dB(78 mm/s²) 저감되었으나 수직형과 일본제품의 경우 배관진

동은 오히려 증가하는 경향을 나타내었다.

반복시험결과 진동레벨의 차이가 다소 있었으나 주파수영역을 분석해보면 미장착시에 비해 다른 주파수대역의 성분들이 탁월주파수로 나타났다. 그 원인으로는 수충격현상에 따른 배관 진동은 저감효과가 있으나 시험장치의 Surge Valve가 급격히 폐쇄됨에 따라 Valve Disk의 충격력에 의한 2차 진동이 발생한 것으로 판단된다.

그 외 전달경로상의 지지대 및 기둥에서의 측정결과와 3가지 Type 모두 진동레벨이 현격히 저감되었음을 알 수 있었다.

따라서 배관계통의 수충격현상에 따른 발생진동의 제어시 수격방지기 적용이 효과적인 방법임은 판단할 수 있다.

5. 결론

급수배관계통의 수충격현상으로 인한 문제점은 점차 증가되는 추세에 있으며 이를 해결하기 위한 많은 노력들이 진행되고 있다. 그러나 현장 여건상 적용하기 어려운 부분과 함께 시공비 향상 등에 따른 부담으로 그 해결책을 쉽게 제시하지 못하고 기존 방식에 의존하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 수충격현상으로 인한 급수배관계통의 충격압력 및 진동 현황을 파악하여 이를 저감시키기 위한 방안으로 급수배관과 동일축선에 In-Line Type으로 적용되는 수충격방지기구를 개발하여 시험,평가를 실시하였다.

1) 성능평가 결과 수충격압력 흡수능력은 In-Line > 일본제품 > 수직형 강관제품 순으로 수직형강관제품을 제외한 두가지 모델의 경우 KS에서 규정한 최대 허용 수충격압력 10.54 kgf/cm²을 만족하는 것으로 나타났다.

2) 수격방지기 체적에 따른 수충격압력 흡수능력은 체적이 클 수록 우수한 것으로 나타났으며 1차 Peak 가 크게 개선되는 것으로 나타났다. 그러나 일정이상의 체적에서는 흡수능력의 차이가 미미한 것으로 볼때 수격방지기의 용량보다는 Piston 정지마찰에 따른 동특성의 변화가 관계가 있는 것으로 판단되며 제품설계시 정지마찰에 대한 고려가 반영되어야 할 것으로 사료된다.

3) 배관 진동의 전달경로에 따른 진동레벨 측정

결과 수격방지기 장착 전후의 배관 진동레벨의 차이가 크지 않으나 그 원인은 시험장치의 Surge Valve 차단시 Disk 충격력에 의한 것으로 판단된다. 측정지점별 진동레벨은 수직형강관 > 일본제품 > In-Line Type 순으로 측정되었다. 이는 수충격압력 흡수능력에 따른 결과와 비례적인 경향성을 나타내는 것으로 개발제품인 In-Line Type 수격방지기가 수충격에 따른 급수배관계통의 진동저감에 효과가 있는 것으로 판단된다. 따라서 건교부 시방에 따른 급수배관설비의 수충격 및 진동제어를 위한 제품으로 상용화할 시 적용효과 및 관련기술의 과급효과가 클 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 한국수자원공사, 2005, "전산기로 푸는 수충격 해석 입문"
2. 한국수자원공사, 2004, "그림으로 푸는 수충격 해석"
3. 수자원연구원, 2004, "펌프장 수충격완화 신기술 개발"
4. 기동우, 2002, "공동주택 부스터펌프 급수방식 적용시 문제점과 고려사항에 관한 연구"
5. 양재구, 2007, "중온수용 순환관로의 유동해석과 수충격 방지 장치" 공조·냉동·위생. 제24권 제5호 통권272호 (2007년 5월), pp.78-88
6. 펌프핸드북, 2003, "펌프핸드북"
7. Sharp B B, 1996, Water hammer : practical solutions, London New York
8. 이성춘, 이장현, 1999, "수격현상에 의한 배관의 진동 및 소음발생과 수격방지기의 효과에 관한 연구", 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문
9. 이장현, 이효행, 권병하, 오진우, 이규형, 2007, "입상급수라인의 수충격 현상 제어에 대한 연구", 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문
10. 이용화, 1999, "워터햄머 현상의 이해와 제어 대책", 한국설비기술협회 논문