

수격현상 방지를 위한 교축밸브의 새로운 제어 방식에 대한 연구

지연화, 최승요, 손영득*
한국기술교육대학교 기계설비제어공학과

A Study on a new control method of throttle valve to prevent water hammer phenomenon

Yeon-Hwa Ji, Seung Yo Choi, Yung-Deug Son*

Department of Mechanical Facility Control Engineering, Korea University of Technology and Education

요 약 관로의 유체가 비압축성일 경우 유체의 흐름이 갑작스럽게 변경될 때 수격현상이 발생하게 된다. 관로가 대구경이거나 중요한 배관일 경우 이를 제어하거나 차단하기 위한 에어챔버(Air chamber) 및 서지탱크(Surge Tank) 등의 수격 완화 장치들을 부가적으로 적용하여 배관의 안정성을 확보하나, 이러한 수격 완화 장치는 고가로, 설치에 제약이 따라 이용되지 않는 관로가 많다. 수충격 발생 원인 중에 관로 상에 유체를 제어하는 용도로 설치된 밸브를 조작할 때 필연적으로 저개도에서 유속이 급격하게 변하는 구간이 발생하며 이로 인해 수격현상이 발생하기도 한다.

본 연구는 관로에 설치된 밸브 조작시 발생하는 수격을 제어하여 관로 내 수격 최소화를 목적으로 연구하였다. 급격한 밸브 제어 시 발생하는 상승서지와 하강서지의 수격주기를 계산하고 중첩시키며 밸브 개도 및 압력변화를 연동시키는 방법으로 다단 제어방식을 구현하여 압력 상승폭을 억제하였으며 발생하는 수충격 완화 효과를 시뮬레이션과 현장 실험을 통해 검증하고 유효성을 확인하였다.

Abstract Water hammer occurs when the fluid flow is suddenly changed in a pipeline carrying an incompressible fluid. Under such conditions, the stability of a large or important pipe is secured by attaching air chamber and surge tank devices to control or block the pipe. But, these water hammer relief devices are expensive, and several pipelines cannot use these devices due to restrictions on their installation. Usually, water hammer occurs when the valve installed to control the fluid on the pipeline is operated in a way that the flow velocity changes rapidly at a section even with a low opening degree. Hence, this study aimed to minimize the water hammer in the pipeline by controlling the water hammer generated when the valve installed in the pipeline is operated. In this study, the pressure rise range was suppressed by implementing a multi-stage control method. This method calculates and overlaps the water hammer cycles of the rising and falling surges that occur during sudden valve control and links the valve opening and pressure changes. In the end, this paper verified the effectiveness of the proposed method through simulations and experiments.

Keywords : Multi-Stage Control, Pipeline Pressure, Pressure Sensor, Surge, Throttle Valve, Water Hammer

*Corresponding Author : Yung-Deug Son(Korea University of Technology and Education)
email: ydson@koreatech.ac.kr

Received August 17, 2021

Accepted December 6, 2021

Revised September 30, 2021

Published December 31, 2021

1. 서론

밸브는 관로 내의 유체를 차단하거나 제어하기 위한 기계장치로, 상수도용 밸브는 물의 차수(유체 차단, On-Off용)나 교축(유량 Throttle)용으로 사용한다. 1광역수도 및 지방상수도는 물론 많은 플랜트의 자동화 및 원격 제어를 위해 통상적으로 유체 수송관로에는 전동식 밸브가 설치되고 있으며 수처리 배관의 구경은 상대적으로 대형으로 약 2000 mm버터플라이 밸브 구조를 가진다[1,2]. 관로의 길이가 길수록 밸브의 유효유량특성에 의해 제어용 전동밸브의 최종 개도 20 %이내에서 모든 유량(유속)변화가 이루어지며 이에 따른 수격현상이 발생하여 관로가 파손되거나 접합부가 이탈하는 사고가 발생하기도 한다[1,2]. 이 문제를 해결하기 위해 에어챔버(Air Chamber) 나 서지탱크(Surge Tank)가 주로 사용되고 있는데, 이 설비들은 유지관리가 거의 필요 없고 부정류 발생 시 가장 안전하게 동작하는 장점이 있으나, 수리조건이 다를 경우 완화 효과가 다르게 나타나기도 한다. 특히 설치조건에 따라 제약과 가격이 매우 고가인 단점이 있다[3,4]. 이러한 수격 현상을 동적모델을 통해 밸브의 성능 평가하는 실험적인 방법이 제안되었다[5]. 또한 밸브의 개폐와 같은 단순한 동작은 On-Off 제어기만으로도 유속, 유량 등의 제어가 가능하며, 밸브의 가변 위치 제어를 통한 수격현상을 최소화 시키는 제어 방식이 있다[6,7].

본 논문에서 이러한 수격 완화 현상을 실질적으로 현장에 적용하기 위해 밸브 개도를 압력센서와 연동 제어하여 사용자가 원하는 압력 범위 이내로 관로 압력을 차단 제어하는 방법을 제안하여, 이 때 발생하는 서지를 이용하여 수격현상을 최소화 하는 것에 유효성을 확인한다.

2. 본론

2.1 밸브 교축 시의 수격 현상

Fig. 1과 같이 상수도 송수 배관은 직경이 크고 길이가 길며 물을 원거리로 수송하기 위해 송수펌프를 사용하여 가압하는데 송수되는 양을 조절, 차단하기 위해 펌프 토출측이나 분기관에 전동식 버터플라이 밸브를 설치하여 자동화 및 원격으로 밸브 개도를 조정한다. 밸브는 유체가 통과하는 개도율을 조절하여 유량을 제어하는데 유체 통과부의 구조에 따라 압력 강하 현상이 발생한다. 특히 개도율 20%미만의 저개도에서 밸브 교축 시 압력

강하로 인한 유속 변화가 크게 나타난다. 이러한 유속 변화는 압력파와 함께 발생하며 Eq. (1)의 Joukowsky 식과 같이 압력파에 의한 수두(압력)변화 및 유속 변화를 표현할 수 있다[8].

$$\Delta H = \pm a \frac{\Delta V}{g} \quad (1)$$

$$\Delta V = \sqrt{\frac{2g \Delta H}{K + K_1 + K_2 + \dots K_n + f \frac{L}{D}}} \\ = \sqrt{\frac{2g \Delta H}{K + K_{friction}}} \quad (2)$$

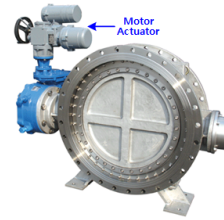


Fig. 1. Electric control valve for water treatment

여기서 ΔH 는 압력변화 [m], a 는 압력파속 [m/s], ΔV 는 유체의 속도변화 [m/s], g 는 중력가속도 [m/s²], K 는 밸브 손실계수, $K_{friction}$ 는 배관 및 관 부속품 등의 손실계수이다.

압력변화 ΔH 는 압력수두로 나타나며, 압력파속 a 는 관로의 재질, 직경, 두께 및 지지방법에 따라 그 값이 결정된다. 밸브 교축 시 유체의 속도가 변화하면 압력파가 발생하며 유동방향과 압력파의 진행방향이 대항(Cross Counter)되면 수두변화가 $+\Delta H$ 상승하는 상승서지(Up Surge)가 발생하여 상류측으로 전파된다.

발생된 상승서지가 관로를 1회 왕복한 후 밸브에 반사되어 동일한 크기로 수두변화 $-\Delta H$ 의 하강서지(Down Surge)가 발생하고 상류측으로 다시 전파된다.

압력수두가 급격하게 변화하는 현상을 수격현상이라고 하며, 수격현상이 발생하면 관로가 파손되거나 이탈되는 사고가 발생하기도 한다. 압력파 a 가 관로를 왕복하는데 소요되는 시간 t_c 를 Eq. (3)과 같이 계산할 수 있으며, 이를 통해 상승서지와 하강서지가 반복하여 나타나는 수격주기시간 t_{wc} 을 Eq. (4)와 같이 계산할 수 있다.

$$t_c = \frac{2L}{a} \quad (3)$$

$$t_{wc} = \frac{4L}{a} \quad (4)$$

여기서 L 는 관로길이 [m]이다.

Fig. 2는 시간의 변화에 따른 수격의 크기, 압력파의 관로 왕복시간 t_c 및 수격주기시간 t_{wc} 을 나타낸다. t_{wc} 는 시간이 경과하면서 관마찰에 의해 유속변화가 감소되면서 수두변화가 감소하여 정상적인 관로상태로 복귀된다. 대부분의 관로에서 밸브 조작 또는 펌프의 비상정지 시 발생하는 수격현상을 완화시키기 위해 에어챔버 및 서지 탱크가 주로 사용되고 있다.

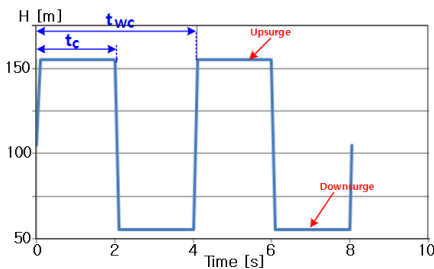


Fig. 2. Water hammer phenomenon in time domain

2.2 밸브 교축 시의 수격 제어 알고리즘

밸브는 개도율과 유량값이 일정한 상관관계를 가지고 있는데 이를 고유유량특성이라 한다. 그러나 설치되는 배관의 재질, 형상, 설치 환경, 운전 조건 등에 따라 고유 유량특성은 유효유량특성으로 변화하게 되며 유속변화가 발생하는 개도의 포인트도 변화하게 된다. 정확한 유량 제어를 위해서는 변화된 유효유량특성을 파악하고 이를 고려하여 밸브 교축 조건을 재설정해야 하지만, 이를 수행하는 것은 현실적으로 매우 어렵다. 밸브 교축 시 밸브의 유효유량특성에 따른 유속변화, 설치된 관의 재질, 규격, 연결 배관 형상에 따라 변화하는 압력과 a 를 알 수는 없지만 밸브 상류측의 압력을 측정하여 압력변화 ΔH 를 제어할 수 있다. 즉, Eq. (1)에 따라 Fig. 3에서 밸브 폐쇄 시 유속이 변화하면 압력파에 의해 최초 상승서지가 발생하고 이에 수두가 변화한다. 압력센서를 통해 설정한 $+\Delta H$ 에 도달하면 밸브 폐쇄를 중지하고 압력과 a 가 관로를 1회 왕복하는 시간동안 밸브의 개도를 유지한다. 압력파가 밸브에 도달하여 반사되면 하강서지로 인해 $-\Delta H$ 가 발생한다. 이 때 밸브의 개도를 재차 폐쇄하면 2차 상승서지가 발생하여 1차로 발생한 하강서지와 조합되어 서로 상쇄되어 ΔH 로 제어가 가능해진다.

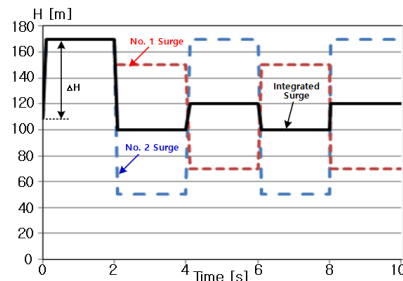


Fig. 3. Water hammer in throttle valve control using pressure sensor

즉 기존의 밸브 개도에 대한 연속적 제어방식이 아닌 압력센서에 의한 다단 개폐제어방식을 적용하였다.

2.3 수격 제어용 전동밸브의 구성

수격 제어밸브는 차단용 및 조절용으로 많이 사용하는 버터플라이 밸브구조를 선정하였다. 버터플라이 밸브는 구조가 간단하고 조작이 용이하며, 전개(Full Open)시 유체 저항이 작으며 가장 짧은 먼간거리 특징을 갖는다. 그리고, 시팅(Seating) 구조에 따라 크게 동심형과 편심형으로 나눌 수 있는데, 시트부가 축 중심과 일치하면 동심형, 치우쳐져 있으면 편심형으로 구분하며, 편심형은 다시 1중편심, 2중편심, 3중편심으로 나눌 수 있다. 본 수격제어 검증에 사용된 밸브는 호칭경 300A의 원기어와 전동 액추에이터(Actuator)로 구동되는 3중편심 구조를 사용하였다. 액추에이터는 압력센서에서 관로 압력 측정값을 수신하고 밸브 개도율을 외부로 송신할 수 있도록 구성하였다.

2.4 고유유동특성 해석 및 시뮬레이션

관로에 발생하는 상승서지는 밸브의 개도를 이용하여 제어하므로 개도별 밸브의 유동특성 및 유량계수 등이 먼저 고려되어야 하며 이를 바탕으로 수격제어에 있어 효과적인 조절 개도 범위 및 시간 등에 이용된다. 유동특성은 유량과 밸브 개도의 상관관계에 따른 특성으로 선형(Linear), 등비(Linear Equal Percentage), 급개방(Quick Open)중 하나의 형태로 나타나며, 이중 선형특성의 밸브가 유량을 조절하기 가장 용이하다. 이론적인 상태의 유동특성은 밸브의 각 개도에 있어서 전후의 압력 차이를 일정하게 유지하면서 얻은 유량값으로 나타내는데, 실제 관로에서는 형상에 따른 손실이 존재하기 때문에 고유유동특성이 유효유동특성으로 변하는 현상이 발생한다. 버터플라이밸브의 경우 고유유동특성은 등비

특성일지라도 실제 배관에 설치되어 운영될 때는 선형이나 급개방 유동특성에 가깝게 나타나기도 한다. 따라서 관로 조건에 따른 유동특성의 변화를 고려하여 수격 제어밸브의 형상을 선정한다.

해석에 적용할 수격 제어밸브의 밸브 고유 유동특성을 파악하고, 관로 내 설치되었을 때 어떻게 유동특성에 변화가 일어나는지 Solid Works Flow Simulation을 사용하여 해석하였다. 밸브의 유동 특성은 밸브의 유량계수 K_v (밸브 전후의 차압이 1bar 일 때 흐르는 유량의 값)에 의한 값으로 유동해석을 실시하여 파악하였다. Fig. 4 및 Fig. 5와 같이 유동해석을 통해 개도별 K_v 의 변화량을 살펴보면, 버터플라이 밸브의 고유유동특성은 선형의 경향을 가지고 있는 등비특성임을 알 수 있었다. 수격제어의 타당성을 검증하기 위해 실제 현장에서 발생된 관로를 대상으로 시뮬레이션을 수행하였다. 관로는 배수지 유입관로로 메인 유입배관에서 2개의 배수지로 분기하여 유입되는 300 A배관 중 한쪽 유입관로의 펌프와 밸브사이를 100 m를 적용하였다. 밸브는 배수지의 수위센서 신호와 연동되어 PLC로 자동 제어되는데, 배수지 수위가 적정 수위에 이르면 유입 배관을 차단하는 용도로 사용하고 있었으나 시트손상으로 완전히 폐쇄되지 않아 누수가 발생하고 이로 인한 소음이 있어 밸브 교체를 고려한 현상이었다.

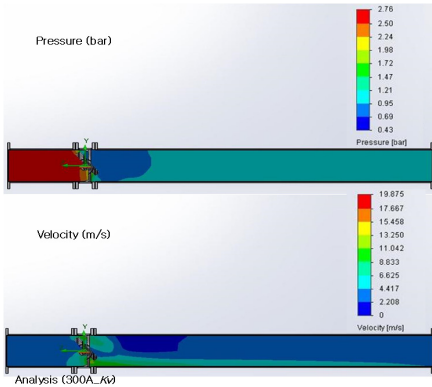


Fig. 4. Flow analysis to identify flow characteristics

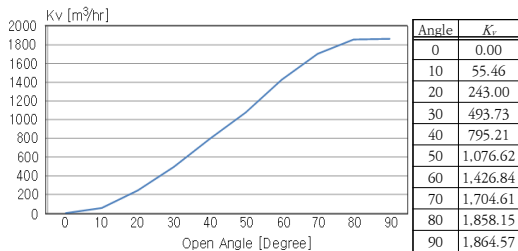


Fig. 5. Flow characteristics of throttle valve control

관로의 압력 상승 경향을 파악하기 위해 Fig. 6과 같이 KYPIPE 프로그램을 통해 관로 해석을 하였다. 펌프 정지 시 관로의 압력 변화를 Fig. 7과 같이 확인하였으며, Fig. 8과 Fig. 9는 관로의 압력변화를 유입 밸브 일정 속도로 연속 제어 폐쇄 시 압력 상승과 다단 개폐 방식으로 폐쇄 시 압력 상승을 나타내었다. 그림에서와 같이 다단으로 동작하였을 때 압력상승이 억제되는 것을 확인하였다.

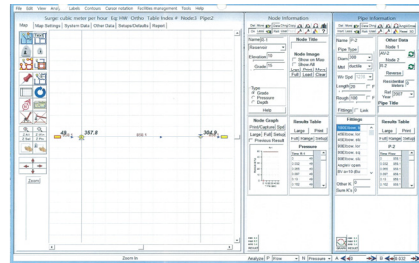


Fig. 6. KYPIPE water hammer analysis

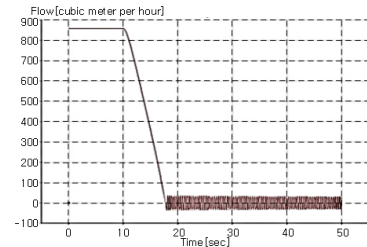


Fig. 7. Pipeline water hammer analysis at pump stop

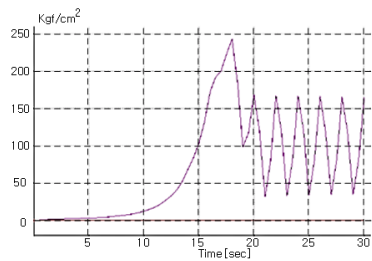


Fig. 8. Pipeline pressure at continuous control closing

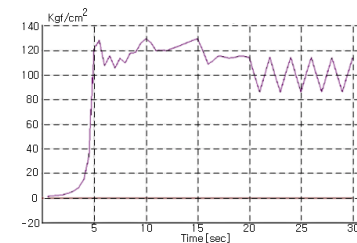


Fig. 9. Pipeline pressure at multi-stage control closing

2.5 수격제어 실험

수격제어의 유효성을 검증하기 위해 관로의 개폐를 연속 제어하는 방식과 압력센서에 의한 단단 개폐제어 방식을 비교·실험 하였다. 연속 제어는 수격 제어기능을 구현하지 않고 통상적인 밸브 작동방법으로 On-Off 운전만을 하였을 때 밸브의 개도에 따른 관로 내 압력변화를 측정하였다. 단단 개폐 제어 방식은 수격제어를 위해 밸브의 개도에 따른 관로 내 압력 변화를 측정하였으며 실험을 통해 수격 제어 기능 설정 전과 후의 압력 변화값을 비교하였다. 실험장치의 구성은 Fig. 10과 같으며 압력과 밸브 개도를 데이터를 수집하기 위한 데이터 로거를 세팅하여 평가지표를 확인하였으며, 실험에 사용된 압력센서의 측정 범위는 0~20 kgf/cm²이며, 밸브의 개도율은 0~100 %범위로 하였다. Fig. 11은 수격제어 실험 모습으로 관로길이 즉 밸브 후단 20 m에서 실시하였다. 우선 수격제어 기능을 구현하지 않은 밸브의 On-Off 방식을 적용한 연속제어를 실시하였다. 개폐에 따른 압력변화를 확인하기 위해 On-Off 운전으로 수격 제어 기능을 적용하지 않은 것으로 전동 버터플라이밸브를 동작 시켜 약 5회~10회 압력과 배수지 수위에 의해 자동으로 운전될 때 2~3일 간의 압력 및 개도율 데이터를 수집하였다.

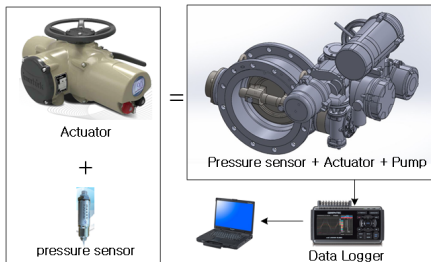


Fig. 10. Configuration of Experimental equipment for water hammer control



Fig. 11. Experimental testing for water hammer control

압력은 약 1.5~2 kgf/cm²로 정도로 압력상승폭과 발생 시간을 확인했을 때 관로길이가 길지 않아 압력상승이 매우 짧은 시간에 이루어지는 것을 확인하였다.

Fig. 12와 같이 밸브 개방 및 폐쇄가 모두 스텝 동작으로 2초간 개도 10 %변화, 4초간 개도유지 형태로 밸브가 폐쇄되고 있음을 확인하였다. 밸브 닫힘 시 40 %까지는 압력변화가 없었고 30 %에서 20 %로 폐쇄되는 동안 0.65 kgf/cm²에서 2.7~3.1 kgf/cm²로 상승한 것을 확인하였다. 이후 4초간 개도 유지 시 1.5 kgf/cm²정도로 낮아졌다가, 20 %에서 10 %로 폐쇄되는 2초 동안 1.5 kgf/cm²에서 3.7~4 kgf/cm²로 상승하였으며 다시 1.7 kgf/cm²정도로 낮아지는 것으로 알 수 있다. 이후 밸브가 폐쇄될 때 까지 압력 변화값이 3~0.8 kgf/cm²사이를 넘나들다 1.5 kgf/cm²를 유지하는 것을 확인할 수 있었다. 특히 저개도에서 구간 제어를 통해 압력 상승 값이 높아지지 않음을 확인하였다.

Fig. 13은 수격제어 기능을 적용한 것으로 현장 여건을 고려하여 저압에서는 효율적인 닫힘 운전을 위해 100~30 %개도는 연속적으로 닫힘 운전 즉 연속제어를 하고 개도율 30 %이하 부터는 단단 개폐제어를 적용하여 5 %간격으로 압력 센서의 신호를 받아 스텝 동작이 되도록 설정하여 수행하였다. 실험은 자동운전 모드로 총 95시간의 테스트 데이터 중 8번의 밸브 개방과 폐쇄 동작이 있었으며 이 때 밸브 닫힘 시 압력 변화 값을 확인하였다. 밸브 닫힘 시 30 % 개도까지 압력변화가 없으며 25 %개도 근처에서 압력이 서서히 상승하기 시작하여 5~10 %개도에서 최대 1 kgf/cm²정도로 압력이 상승한 것으로 나타났다. 이후 밸브가 폐쇄될 때 압력 변화값이 3~1.5 kgf/cm² 사이로 상승하였다.

폐쇄 후 약 10초간 3~1.5 kgf/cm²사이를 넘나들다 1.5 kgf/cm²를 유지하는 것을 확인하였다.

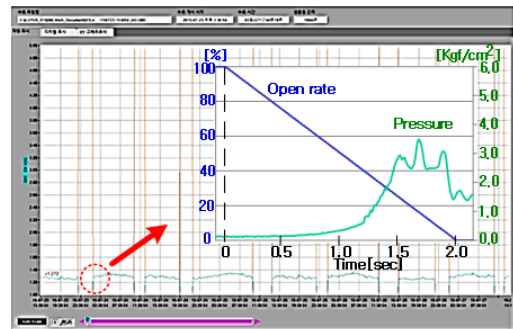


Fig. 12. Pipeline pressure at continuous control closing

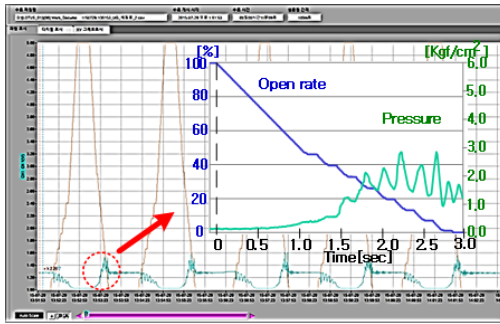


Fig. 13. Pipeline pressure at multi-stage control closing

2.6 수격제어 실험 결과

상기 실험 결과를 통해 적정 압력 제어 범위는 상승 3kgf/cm^2 , 하강 1kgf/cm^2 이며, 설정된 압력 범위 이내로 압력을 제어하는 성능을 분석한 결과 최대 압력 상승 억제값은 1kgf/cm^2 , 최대 압력 하강 억제값은 0.2kgf/cm^2 이다. 총 10회 개폐실험 반복 후 측정된 관로 유입압력, 최대 상승 및 하강 압력의 평균값은 Table 1과 같다.

3. 결론

본 논문은 송수관로에 설치된 밸브의 교축 시 발생하는 압력변화 현상을 제어하는 방법을 검증하였다. 배수지 유입관로에 제어 시스템을 구성하고 시뮬레이션과 실험을 통해 밸브 개도 제어를 구현하고 성능을 검증하여 유효성을 확인하였다.

Table 1. Experimental result of water hammer control

Pressure	Water hammer control not applied	Water hammer control applied	improvement rate
Pipeline inlet pressure (A)	1.4 kgf/cm^2	1.5 kgf/cm^2	- (input data)
Maximum rising pressure (B)	4.1 kgf/cm^2	3.1 kgf/cm^2	
Max. Upsurge (B-A)	2.7 kgf/cm^2	1.6 kgf/cm^2	40%
Maximum down pressure (C)	0.7 kgf/cm^2	0.9 kgf/cm^2	
Max. Downsurge (A-C)	0.7 kgf/cm^2	0.6 kgf/cm^2	14%
Max. Δ surge (B-C)	3.4 kgf/cm^2	2.2 kgf/cm^2	35%

1. 밸브를 폐쇄할 때 발생하는 급격한 유속변화에 의해 발생하는 압력파를 증첩시켜 수충격을 완화하는 효과를 확인하였다.
2. 압력센서와 전동 액추에이터간 신호 제어를 통해 설정한 압력 수두변화 구간에 도달하면 밸브 동작을 중지하여 1차 상승서지와 2차 하강서지가 증첩되도록 하고 다시 밸브를 동작시키는 과정으로 수격에 의한 압력 상승폭을 억제하였다.

본 연구를 바탕으로 대형 구경의 밸브 구조를 가지는 시스템에 대한 상품화 개발에 기여하고자 한다.

References

- [1] Holstrom, R. John, Quarter-Turn Valves: Head Loss, Torque, and Cavitation Analysis, American Water Works Association, p.207, 2017, pp.20-26
- [2] Philip L. Skousen, Valve handbook, HongReung Publishing Company, p.455, 2005, pp.17-26
- [3] P. Asiaban, M. Fathi-Moghadam, "Flow throttling in surge tanks using porous structures", *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol.168, pp. 301~309, Dec. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iipvp.2018.11.009>
- [4] A. Al-khomairi, S. Ead, "Sizing Of A Plastic Chamber With Air-filled Balls For Water Hammer Control", *WIT Transactions on Engineering Sciences*, Vol. 69, pp.311~318, Aug. 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2495/AFM10027>
- [5] T. K. Park, Y. B. Lee, J. H. Kim, K. C. Lee, D. C. Baek, "An Experimental Study to Predict Dynamic Performance of Check Valve by Water Hammer", *Journal of Applied Reliability*, Vol.19, No.1, pp.1-12, Mar. 2019.
DOI: <http://dx.doi.org/10.33162/JAR.2019.03.19.1.1>
- [6] Y. D. Son, G. B. So, S. S. Shin, G. G. Jin, "Position Control of a Motor-Operated Valve", *Actuator, Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol.24, No.7, pp.624-631, Jul. 2018.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5302/J.ICROS.2018.18.0024>
- [7] J. J. Cho, "Flow Rate Control System Design for the Industrial Valve", *Korea Academy Industrial Cooperation Society*, Vol.21, No.1, pp.387-392, Jan. 2020.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.1.387>
- [8] J. H. Park, H. Y. Park, "Study of water hammer suppression technique due to valve closing on water supply pipeline", *Journal of Korean Society for Fluid Machinery*, Vol.14, No.6, pp.11-17, Dec. 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5293/kfma..2011.14.6.011>

지 연 화(Yeon-Hwa Ji)

[준회원]



- 2002년 2월 : 충남대학교 항공우주공학 학사
- 2021년 8월 : 한국기술교육대학교 기계설비제어공학과 석사
- 2007년 5월 ~ 현재 : (주) 삼진정밀 기술연구소 재직

〈관심분야〉

공작기계, 자동제어, 지능제어, 시스템제어

최 승 요(Seung-Yo Choi)

[준회원]



- 2010년 2월 : 한남대학교 학사
- 2011년 2월 ~ 현재 : (주) 삼진정밀 기술연구소 재직
- 2020년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 기계설비제어공학과 석사과정

〈관심분야〉

공작기계, 모터제어, 지능제어, 기계설비, 시스템제어

손 영 득(Yung-Deug Son)

[정회원]



- 2015년 2월 : 부산대학교 전자전기공학부 (공학박사)
- 2001년 2월 ~ 2009년 8월 : 현대중공업 선임연구원
- 2016년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 기계설비제어공학과 조교수, 건축전기설비기술사, 전기응용기술사

〈관심분야〉

모터제어, 지능제어, 신재생에너지, 전기설비, 기계설비