

정밀 제어 글로브 밸브의 유동해석 및 실험적 연구

최지원, 박순형, 이권희*
동아대학교 기계공학과

Flow Analysis and Experimental Study of Globe Valve for Precision Control

Ji-Won Choi, Sun-Hyung Park, Kwon-Hee Lee*

Department of Mechanical Engineering, Dong-A University

요약 선형으로 움직이는 글로브 밸브의 목적은 주로 유량을 제어할 수 있도록 설계 되어 있으며, 디스크의 움직임으로 인해서 유량을 제어가 가능하게 된다. 본 논문은 유량계수를 예측하기 위해서 전산유동해석 프로그램인 ANSYS-CFX로 유동 해석을 진행 하였고 본 해석에서 사용되는 글로브 밸브 모델을 시제품과 동일한 형상의 크기로 설계하였다. 유량계수는 밸브 전개 시 16.5°C의 맑은 물이 전후의 압력차 1psi로 흐를 때 그때의 유량을 말한다. 다시 말해서 밸브의 크기를 결정할 수 있는 중요한 요인이 된다. 밸브의 유량계수와 유량을 해석을 통해서 얻어낼 수 있었고, 그 해석으로 인해서 분당 0~0.1gal 유량을 제어할 수 있는 정밀제어 글로브 밸브를 개발 할 수 있었다. 유동해석과 실험의 결과로 유량계수를 서로 비교하였으며 그 결과로 인해서 유량계수의 오차율이 매우 작음을 확인하였고, 해석의 신뢰성을 확보하였다. 따라서 실험 없이 해석만으로 충분히 유량계수의 경향성을 파악하는데 크게 어려움이 없음을 보여주었다.

Abstract The globe valve is a linear motion valve that is designed primarily to stop, start, and regulate flow. The disk of a globe valve can be removed totally from the flow path or it can completely close the flow path. In this study, numerical analysis using ANSYS-CFX was initially performed to predict the flow coefficient and build a prototype model of a globe valve. The flow coefficient is the volume of water at 15.6°C that will flow per minute through a valve with a pressure drop of 1 psi across the valve. In other words, it is an important factor for determining the size of the valve. From the analysis results, the fluid flux of water and flow coefficient of the valve were extracted. From the numerical results, a prototype of ultra-fine precision control valve, which can regulate the fluid flow of range 0 ~ 0.1 gal per min, was developed. The experimental results were compared with the numerical results using the flow coefficient (C_v) graph. From the comparative results, the flow coefficient (C_v) error percentage between the numerical and experimental results was very low, which is acceptable, proving that the proposed prototype model is convincing. In addition, it is possible to predict the flow coefficient using only numerical analysis.

Keywords : ANSYS-CFX, Flow coefficient (C_v), Globe valve, Precision control, Numerical and experimental results

1. 서론

현재 산업에서는 압력을 조절하는 밸브, 유량을 조절하는 밸브 등 여러 종류의 밸브들이 많이 사용되고 있다. 그 중 제어 밸브는 볼밸브, 버터플라이 밸브, 글로브 밸브,

플러그 밸브, 이외에도 많은 밸브가 있지만 그 중 글로브 밸브는 유량 조절용으로 산업에서 가장 널리 사용이 되고 있다.

글로브 밸브는 유체가 흐르는 내부 형상이 매우 복잡하기 때문에 밸브를 통과하면서 발생하는 압력 강하를

본 논문은 산업통상자원부 지정 지역혁신센터사업(RIC) 고기능성밸브기술지원센터 지원으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Kwon-Hee Lee(Dong-A Univ.)

Tel: +82-51-200-7638 email: leekh@dau.ac.kr

Received May 4, 2016

Revised (1st June 13, 2016, 2nd June 20, 2016)

Accepted July 7, 2016

Published June 31, 2016

미리 예측하는 것이 매우 어렵고, 밸브 내부의 형태와 밸브의 개도율에 따른 밸브 내부에서의 유체 유동이 매우 복잡하고 다양한 현상을 보임으로써 유동에 관한 유동해석에 많은 어려움이 있다[1]. 글로브 밸브의 작동원리는 밸브의 플러그의 움직임으로 인해서 디스크가 개폐되어 유량을 조절할 수 있도록 한 밸브이다[2]. 그리고 유량은 유체의 속도에 대한 함수이므로 유체의 속도를 알아야 유량제어가 가능하다. 하지만 현실적으로 앞서 말한 바와 같이 밸브내의 유체의 속도를 측정하기 위해 위와 같은 어려움이 많기 때문에 비교적 측정이 용이한 방법인 밸브를 지날 때의 유체의 압력의 변화로 유량 측정이 가능하게 된다. 따라서 유량과 압력과의 관계식에서 유량계수가 필요하게 된다.

유량계수(C_v)는 15.6°C의 정수를 이용하여 밸브 전후의 압력 차이 1psi일 때 1분간 흐르는 유량gallon/min으로 정의 된다[3]. 다시 말하면 유량계수는 동일 차압에서 유량계수가 클수록 유량이 많다고 생각하면 쉽게 이해가 될 것이다.

Davis & Stewart는 글로브 밸브의 플러그 유형 및 시트의 직경의 변화에 따른 유량계수의 변화를 CFD (Computational Fluid Dynamics; 전산유체역학)와 실험을 통해 고찰하였다[4]. 본 연구에서 사용된 글로브 밸브는 유량 조절하기 위해 플러그와 연결된 정밀모터에 의해서 디스크가 움직이게 된다. 디스크의 행정에 따라 유량도 계속 변하며 또한 유량계수도 유량에 따라서 변하게 된다. 즉 디스크 개폐에 따라서 유량계수 값을 알게 되면 밸브의 유량계수 특성이 파악이 가능해진다. 따라서 본 연구는 분당 0.1gal 이하의 소량 유량제어가 가능한 글로브 밸브 모델을 범용 프로그램인 ANSYS-CFX16.2를 이용하여 유동해석을 진행하였고, 본 연구에서 사용한 글로브 밸브 모델을 해석으로 예측한 유량계수, 실험을 통해 측정된 유량계수와 유량특성곡선을 서로 비교 분석하였다.

2. 수치해석

2.1 밸브 구조 및 유량계수 측정 방법

본 연구에서 사용한 정밀 글로브 밸브를 내부 단면도와 각각 부품의 명칭을 이해하기 쉽도록 Fig. 1과 Fig. 2에서 나타내었다. 상기 그림으로부터 시트부와 디스크의

좁은 구간으로 유체가 통과하게 되면서 극소량의 유량(분당 0.1gal이하)을 제어 가능하도록 구현하였다.

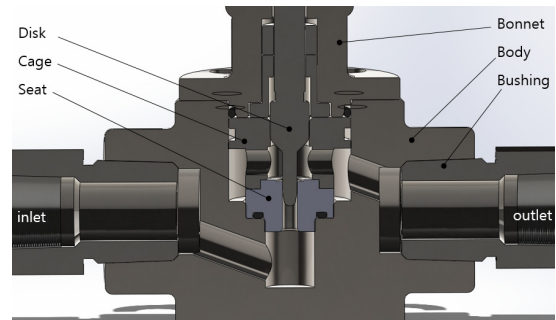


Fig. 1. Section view of globe valve

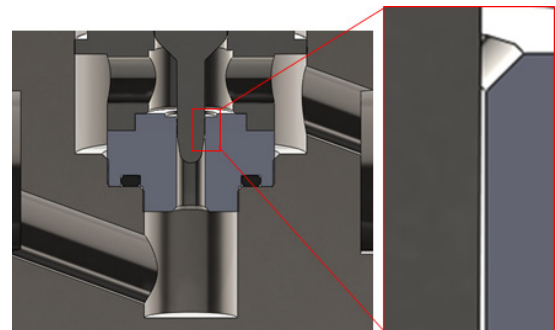


Fig. 2. Detailed view of disk and seat

본 연구는 유동해석을 수치 전산해석프로그램인 ANSYS-CFX16.2를 사용하였으며, 미국 규격 협회(ANSI)의 기준으로 글로브 밸브의 차압 측정 방법과 유량계수 측정 방법을 근거하여 적용하였다[5]. 작동유체는 물을 이용하였으며, 본 글로브 밸브 모델의 유동장을 Fig. 3에서 나타낸바와 같이 해석모델의 입·출구 직경을 기준해서 각각 2배와 6배를 늘린 부분에서 차압을 측정하였으며, 출구 부분의 유량을 측정하여 아래의 유량계수 식(1)으로부터 유량계수 값을 도출할 수 있다.

본문에서는 앞서 유량계수 정의를 US 단위계로 표현하였는데, 수식(1)은 SI 단위계로 나타내어 보정 상수 1.167을 곱했음을 밝힌다[6].

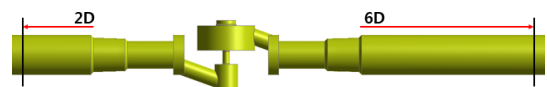


Fig. 3. CFD model for C_v calculation

$$C_v = 1.167 \cdot Q \cdot \sqrt{\frac{G}{\Delta P}} \quad (1)$$

여기서,

Q : 유량(m^3/hr)

G : 비중 (물:1, 무차원)

ΔP : 차압(kgf/cm^2)

2.2 경계조건 및 격자 생성

본 글로브 밸브에서 밸브 입·출구 차압을 5bar로 설정하였고, Fig. 4에서 밸브 모델의 절반을 대칭 조건 기법인 Symmetry Method으로 해석 시간을 단축하였으며, Fig. 5에서 유로가 좁은 디스크 근처 부분의 격자수를 증가하여 해석 신뢰성을 확보하였다. Fig. 6에서 격자는 4면체를 사용하였으며, 격자 품질은 Skewness Method으로 최댓값이 0.84를 넘기지 않게 생성하여 격자 품질을 확보하였다.

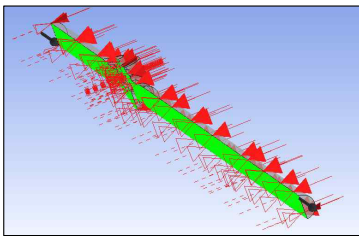


Fig. 4. Symmetric condition in valve CFD model

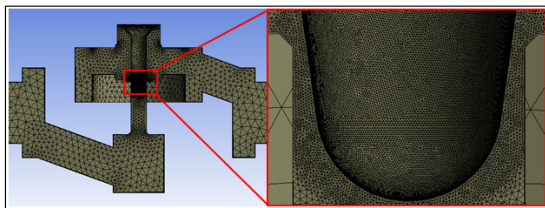


Fig. 5. Meshing of valve model

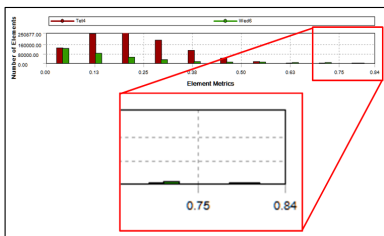


Fig. 6. Mesh quality of valve model

2.3 유동해석 및 유량계수 도출

Fig. 7는 유동해석의 결과로써 디스크가 최대로 열렸을 때의 속도를 보여준다. 작동유체의 최대 속도는 11.09m/s이며 이때의 유체 속도는 유동 단면이 급 축소되는 관로이기 때문에 유동 방향에 따른 충돌 손실이 크게 일어나게 된다[7]. 따라서 디스크 최대로 열렸을 경우, 즉 디스크와 시트 간의 거리 6.2mm에서의 유량은 0.1586gal/min($=0.036m^3/hr$)으로 측정이 되었으며, 이때의 입·출구의 절대압력은 각각 6bar, 1bar로 차압을 5bar($5.09kgf/cm^2$)로 설정하였다. 따라서 유량계수는 식(1)을 이용해서 0.0186로 계산되었음을 확인할 수 있었다. 본 연구는 분당 0.1gal 이하의 유량을 제어할 목표를 하고 있는데 0.1586gal로 계산된 이유는 차압이 본 실험에서 측정된 차압보다 크므로 발생한 결과이다. 하지만 식(1)은 차압과 유량에 대한 식이므로 차압이 크게 발생했다면 유량이 상대적으로 크게 계산 되고, 반대로 차압이 작다면 유량이 상대적으로 작게 계산이 되어, 본 유량계수를 구하는 데에는 어려움이 없음을 밝힌다.

$$C_v = 1.167 \cdot 0.036m^3/hr \cdot \sqrt{\frac{1}{5.09kgf/cm^2}} = 0.0186$$

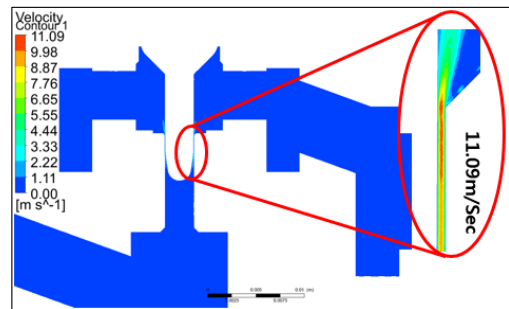
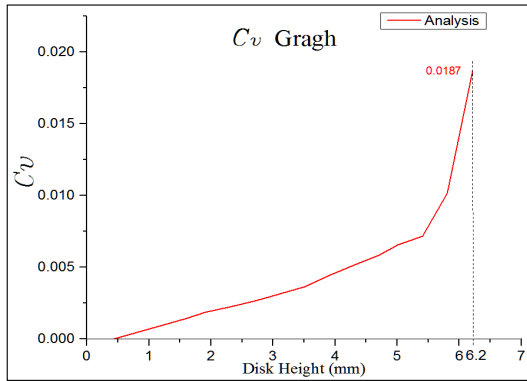


Fig. 7. Flow velocity in globe valve

Fig. 8는 글로브 밸브의 출구 유량과 밸브 입·출구를 기준으로 2배 지점과 6배 지점에서의 차압을 측정하여 식(1)에 의해 디스크의 개방 높이에 따라 계산한 유량계수 값을 나타내었다. 이때의 유량계수 곡선으로서 얻을 수 있는 정보는 밸브의 디스크가 밸브의 시트에 가까이 있을 때는 유량의 변화가 적고 비교적 멀리 있을 때는 유량 변화가 크다는 것을 알 수 있다.

Fig. 8. C_v data : CFD analysis

3. 실험

3.1 유량계수 측정실험 및 방법

Fig. 9는 유량계수를 구하기 위한 정밀제어 글로브 밸브 시험 장비이다.

본 실험에서는 글로브 밸브 유량계수 측정을 미국 규격 협회(ANSI)의 기준[5]으로 글로브 밸브 입구에서 2배, 출구에서 6배 지점에서의 압력을 측정하여 차압을 구할 수 있게 된다. 또한 실험에서 사용한 관로의 지름, 관로의 길이, 작동유체는 물로서 모든 조건을 앞서 설명한 유동해석의 경계조건과 동일하게 실험을 하였다. 마찬가지로 디스크의 행정 높이 또한 동일하게 최대 개방 6.2mm까지의 유량을 측정하여 유량계수를 계산하였음을 밝힌다.

Fig. 9에서 보는 바와 같이 정밀 제어 글로브 밸브의 상단에 장착된 전자 모터는 정격 압력 조건에서 제어신호(4~20mA)에 따라 유량 범위(0~0.1gal/min)의 초미세·정밀유량을 단계별로 정밀하게 제어가 가능하다.

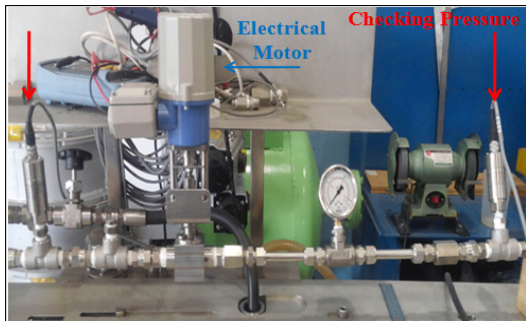


Fig. 9. Experiment equipment

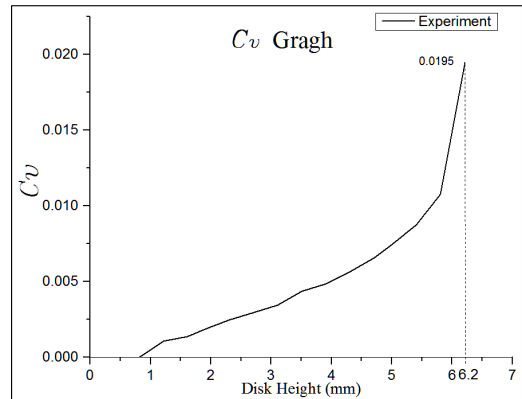
따라서 본 실험에서는 전자 모터에 의해 플러그가 정밀하게 상하로 조절되어, 플러그와 연결된 디스크가 상하로 움직이게 된다. 결국 디스크의 행정 높이에 따라 유량과 유량계수 값이 계속 변하게 된다.

3.2 디스크 개폐에 따른 유량계수 결과

본 실험은 disk 최대 높이 6.2mm 일 때의 밸브 입·출구를 기준으로 2배, 6배 지점에서 압력계로부터 차압 측정이 가능하며 출구 지점에서의 유량을 측정하여, 식(1)로부터 유량계수 값을 도출할 수 있다. 차압은 2.7bar (2.75kgf/cm^2)으며, 출구에서의 유량은 0.121gal/min ($0.0275\text{m}^3/\text{hr}$)로 측정이 되었다. 따라서 식(1)에 의해서 C_v 는

$$C_v = 1.167 \cdot 0.028\text{m}^3/\text{hr} \cdot \sqrt{\frac{1}{2.75\text{kgf/cm}^2}} = 0.0195$$

0.0195로 계산이 되었다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 실험에서 디스크 높이별 유량계수와 유량계수 곡선을 나타낼 수 있었으며, 디스크의 개방이 이루어지면 질수록 유량계수 값도 상대적으로 급변하게 증가하는 모습이 유동해석의 결과와 경향이 비슷함을 보였다.

Fig. 10. C_v data : Experiment

3.3 유량계수 비교 분석 및 고찰

본 실험에서 Fig. 11는 정밀제어 글로브 밸브의 유동해석과 실험에서 각각 얻어진 유량계수 곡선을 비교하였다.

Fig. 11에서 보는 바와 같이 디스크의 최대 개폐 높이 6.2mm에서 유동해석으로부터 얻은 유량계수 값은 0.0186이었으며, 마찬가지로 동일 조건(디스크 최대 개

폐 높이=6.2mm)에서 실험으로부터 얻어진 유량계수 값은 0.0195임 알 수 있었다. 유동해석과 실험의 유량계수의 오차는 $\pm 5\%$ 미만임을 알 수 있었다.

유동해석과 실험으로부터 얻어진 유량계수 곡선으로부터 밸브의 디스크가 시트에 근접해 있을 때에는 유량 변화가 적음을 확인할 수 있었고, 디스크가 시트로부터 멀리 있을 경우에는 유량 변화가 크다는 것을 확인할 수 있었다. 이 사실로부터 디스크와 시트 사이가 좁아지면 좁아질수록 유량 조절에는 어려움이 있을 것임을 알 수 있었다.

본 연구는 앞서 유량 제어범위(0~0.1gal)임을 밝혔지만 Disk 최대 개방 높이(6.2mm)설정을 높게 해서 제어 범위를 초과했음을 밝힌다. 하지만 Disk 행정높이를 6.2mm보다 낮게 설정을 한다면 충분히 목표 유량이하로 제어가 가능할 것이다. 또한 디스크와 시트 사이의 간격이 매우 좁기 때문에 초 미세·정밀 유량제어의 가능성을 제시하였음을 밝힌다.

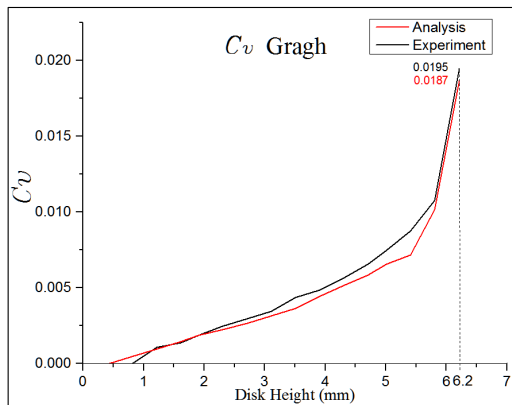


Fig. 11. Comparison of two C_v curves

4. 결론

본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 본 연구에서는 정밀 제어 글로브 밸브의 유동해석을 통해 유량계수를 수치적으로 예측하였으며, 또한 유동해석 방안을 제시하였음을 보였다.
2. 본 연구에서는 유동해석에서 동일한 설정 조건을 실험에 적용하여 유량계수와 유량계수 곡선 특성을 확인하였으며, 본 연구에서 측정된 유량계수와

유량계수 특성 곡선의 유사성 측면에서 오차가 작았음을 보였다.

3. 본 논문에서 제시한 유동해석 방법으로 실험 없이 해석만으로도 유량계수와 유량계수 곡선을 충분히 예측이 가능할 것임을 보였다.
4. 본 논문에서 제시한 유량계수의 측정 방법으로 밸브 크기 선정 시 도움이 될 것으로 예상이 된다.
5. 본 논문에서 밸브 구조와 디스크와 시트의 형상으로 분당 0.1gallon 이하의 소량의 유량을 제어할 수 있는 디스크 형상을 제시하였음을 보였다.
6. 본 연구는 향후, 유량계수 곡선을 선형적인 형태로 구현하고자, 디스크와 밸브 내부 형상 최적 설계를 시행하고자 한다.

References

- [1] K. H. Bae, J. H. Park, S. M. Kang "A Study on the Flow Characteristics inside a Glove Valve for Ships," *J. of the Korean Society of Marine Engineering*, vol.32, no. 1, pp. 110-118, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2008.32.1.110>
- [2] K. C. Goh, *Control Valve Handbook*, p.14, Hongneung Science Publishers, 2007.
- [3] K. M. Kwak, J. S. Cho, J. D. Kim, J. H. Lee, "A Study on Flow Coefficient and Flow Characteristics for Butterfly Valve by Numerical Analysis," *J. of The Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, vol. 11, no. 4, pp. 62-66 2012.
- [4] K. H. Bae, J. H. Park, S. M. Kang, "A Study on the Flow Characteristics inside a Glove Valve for Ships," *J. of The Korean Society of Marine Engineering*, vol. 32, no. 1, pp. 110-118 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2008.32.1.110>
- [5] ANSI/ISA-75.01.01
- [6] Flow Coefficient value and Formula Calculating Flow of Valve, (accessed Jun, 10, 2016)
http://cavalue.com/bbs/board.php?bo_table=3&wr_id=3&page=2
- [7] B. J. Noh et al., *Modern Fluid Dynamics*, p.417, DongMyungSa Publishers, 2009.

최 지 원(Ji-Won Choi)

[준회원]



- 2015년 2월 : 동아대학교 기계공학과 (공학학사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 동아대학교 기계공학과 석사과정

<관심분야>

기계설계, 최적설계

박 순 형(Soon-Hyeong Park)

[준회원]



- 2013년 8월 : 동아대학교 기계공학과 (공학학사)
- 2015년 2월 ~ 현재 : 동아대학교 기계공학과 석사과정

<관심분야>

기계설계, 최적설계

이 권 희(Kwon-Hee Lee)

[정회원]



- 1991년 2월 : 한양대학교 공과대학 기계설계학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 한양대학교 공과대학 기계설계학과 (공학박사)
- 1994년 6월 ~ 1999년 6월 : 대우 자동차 선임연구원
- 2002년 3월 ~ 현재 : 동아대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

기계설계, 최적설계