

계장용 볼 밸브 유량계수 Cv 측정에 관한 연구

강창원*, 이종섭**, 장세민***, 이치우****,#

*경남과학기술대학교 대학원, **한국승강기대학교 승강기공학부, ***디케이락 주식회사,
****경남과학기술대학교 자동차공학과

A Study of the Measurement of the Flow Coefficient Cv of a Ball Valve for Instrumentation

Chang-Won Kang*, Chung-Seob Yi**, Se-Min Jang***, Chi-Woo Lee****,#

*Gyeongnam National University of Science and Technology, Graduate School

Korea Lift Collage, School of Lift Engineering, *DK-LOK LTD., CO, R&D Center

****Gyeongnam National University of Science and Technology, Automotive Engineering

(Received 6 September 2018; received in revised form 8 September 2018; accepted 18 September 2018)

ABSTRACT

The results of the measurement of the flow-rate coefficient (Cv-value) and the analysis of a small ball valve are summarized follows. The Cv-values of 1/2-, 3/4- and 1-inch ball valves were measured using a flow-rate measurement test. The manufacturer obtained the Cv-value using a theoretical calculation method. The new experimental measurement and analysis method yielded more reliable results. In addition, the Cv value obtained through numerical analysis was almost identical the value provided by the manufacturer, which was based on experimental results. A Study on Flow Analysis results are all similar appearances as the reliability of the results.

Key Words : Ball Valve(볼밸브), Flow Coefficient(유량계수), CFD(전산유체역학), Numerical Analysis(수치해석)

1. 서 론

현재 국내 밸브에 대한 연구는 지속적으로 이루어지고 있으며, 밸브에 대한 구조해석 및 유동해석이 전반적으로 설계단계에서 이루어지고 있다. 수동밸브 및 제어밸브에 대한 유량계수(Cv)에 대한 측정을 통해 현재 제조되는 계장용 밸브에 대한 성능을 확보함으로써 계통 설계시 필요한 자료를 제공하고, 확인함으로써 효과적인 설계와

시스템 신뢰성을 높이일 수 있다.

현재 국내 밸브업체의 경우 대부분 국제규격(ANSI, API등) 측면에서 설계하여 생산하고 있으며, 기본적인 내압강도나 기밀시험에 주안점을 두고 있을 만큼 구조적인 문제에 많은 비중을 차지하고 있는 반면 유동특성과 같이 시스템 내부에서 발생하는 여러 설계인자에서 중요한 유량계수와 같은 밸브 성능에 대해 비교적 소극적이거나 선진제품의 Copy 제품일 경우 대부분 별도의 실험을 통해 검증하지 않는 것이 현실이다.

밸브의 조작량을 변화시키는 것으로는 전자밸

Corresponding Author : leecw@gntech.ac.kr

Tel : 82-55-751-3643, Fax : 82-55-751-3649

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

브, 전동밸브, 공기식 제어밸브 등이 있고, 최근 자동화가 급속히 이루어짐에 따라 밸브의 중요성이 점점 증대되고 있다. 현재 발전소 등 육상플랜트에서 밸브에 대한 역할은 매우 중요하고, 설비가동에 있어 밸브특성에 따른 성능은 다양하다.

제어밸브의 경우 운전특성에 따른 개도 변화로 유량과 압력 등이 제어량에 따라 달라지는 특성으로 운전변수가 발생함에 따라 이에 대한 밸브 자체에 대한 특성을 파악할 필요가 있다^[1-4].

본 연구는 계장용으로 많이 사용되고 있는 볼 밸브에 대한 유량계수 C_v 를 측정하고, 유동해석 결과를 비교하고자 한다.

2. 유량계수 측정

2.1 시험장치 구성

밸브 유량계수 측정장치의 메인 프레임 사이즈는 $W45,000 \times D2,500 \times H1,600\text{mm}$ 로 제작하였으며, Pipe Size가 1/4", 1/2", 1" 등 다양한 사이즈 측정이 가능하도록 실험장치를 Fig. 1과 같이 구성하였다. 배관의 경우 부식방지를 위해 SUS계열의 소재를 채택하여 제작하였고, 밸브 어댑터를 사용하여 다양한 사이즈에 대응할 수 있도록 설계 반영하였다.

밸브를 시험하기 위해 작동유체인 Water에 대한 공급을 원활하게하기 위하여 폐회로로 순환되는 구조로 제작되었고, 저수조의 사이즈는 $W35,000 \times D1,500 \times H900\text{mm}$ 로 구성하였다.

저수조에서 배관으로 작동유체가 이송될 때 이 물질을 제거하기 위하여 필터를 설치하였으며, 저



Fig. 1 Experimental setup for C_v measurement

수조는 부식방지를 위해 SUS계열의 소재를 채택하였다. 밸브로 작동유체를 공급하기 위하여 동력 18kW, 유량 341LPM, 양정 65m의 성능을 갖는 입형 다단펌프를 적용하였다.

각종 제어밸브 및 수동밸브에 대한 성능을 시험하기 위해 밸브를 통과하는 유량 및 입구측과 출구측의 차압을 측정하여 밸브의 유체압력에 대한 C_v 계수를 측정할 수 있도록 하였다.

2.2 시험대상

밸브 유량계수 시험장치에 대한 검증을 수행하기 위하여 Fig. 2와 같이 국내 “D”사 수동 볼 밸브 3종에 대하여 유량계수 C_v 를 측정하여 제조사에서 제공하는 C_v 값과 비교하는 것으로 시험결과에 대한 검증을 수행하였다. 수동 밸브의 경우 100% Open 상태에서 유량계수 C_v 를 확인하기 때문에 밸브 3종류에 유량계수를 측정하였다.

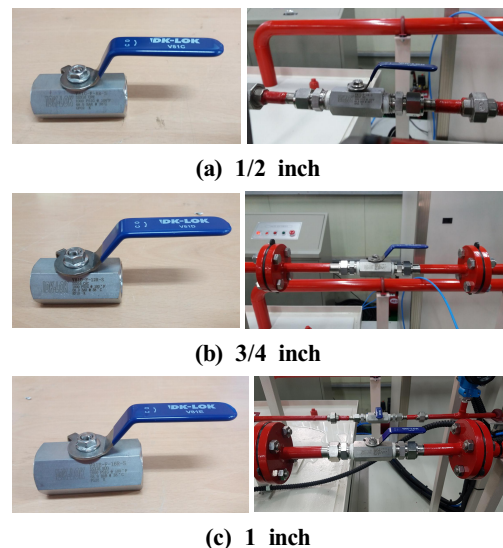


Fig. 2 Manual ball valve test parameters for testing equipment verification

Table 1 Comparison of C_v value with experimental results

Size(inch)	1/2	3/4	1
C_v	9.07	12.77	18.28

2.3 시험결과

유량계수(Flow coefficient : Cv)는 밸브의 사이즈를 결정하기 위해 사용되는 수치이며, 모든 밸브에는 유량계수에 대한 정격사양이 있다. 본 연구에서는 아래의 식 (1)와 같이 일반적으로 가장 많이 사용하는 Cv 계산식을 사용하였다⁷⁻⁹⁾.

$$C_v = Q \sqrt{\frac{S_g}{\Delta P}} \quad (1)$$

여기서, Q는 유량(gpm), S_g는 비중량 그리고 ΔP는 압력차(psi)를 나타낸다.

밸브에 대한 유량계수 Cv를 측정한 결과 Table 1과 같이 나타낼 수 있으며, 제조사 데이터와 비교하였다.

3. 유동해석

3.1 유동해석 방법

유동해석 결과의 신뢰성 확보를 위해서는 해석모델의 적절한 모델링과 해석에 적절한 난류모델의 선정, 계산 격자의 신뢰성 확보가 필요하다. 이와 더불어 Solver의 선택 또한 계산 정확도에 미치는 영향이 크기 때문에 상용 S/W는 CD-adapco사의 STAR-CCM+를 사용하여 해석을 수행하였다.

3.2 지배방정식

본 연구에서는 볼 밸브 내부를 흐르는 유동을 3차원 정상상태의 난류유동으로 가정하여 유동해석을 수행하였다. 볼 밸브에서 속도분포 및 압력을 산출하기 위해서 사용된 지배방정식은 아래의 식 (2)에서 (5)와 같이 연속 방정식과 운동량 방정식이며, 난류모델은 이미 산업계에서 타당성을 검증받은 $k-\epsilon$ 모델을 사용하였다.

본 연구에 사용된 연속 방정식은 식(2)와 같이 나타낼 수 있으며, 운동량 방정식은 식(3)과 같이 나타낼 수 있다. 난류에너지 방정식은 식(4)와 같이 나타낼 수 있으며, 난류에너지 소산방정식은 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j u_i) = \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_i} + S_u \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} + u_i G - \sigma \epsilon \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} + \frac{\epsilon}{k} (C_1 \mu_t G - C_2 \rho \epsilon) \quad (5)$$

3.3 수치알고리즘

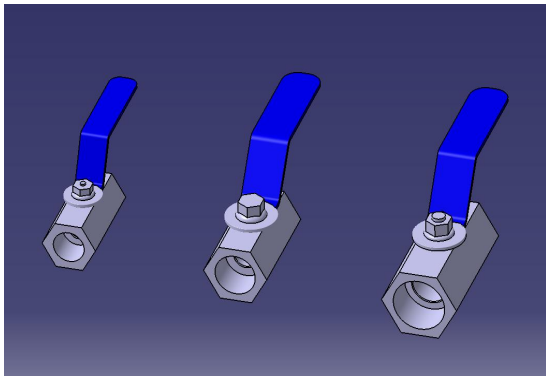
수치해석 기법으로는 지배방정식에서 압력과 속도의 연결은 SIMPLE(semi-implicit method for pressure-linked equations)에 따른 Segregate Flow 알고리즘을 사용하였으며, 본 연구를 위해 적용되는 수치해석 코드인 STAR-CCM은 Cooling Fan을 해석하기 위해 다음과 같은 수치알고리즘으로 계산을 수행하게 된다. 해석결과를 취득하기 위한 수치해석의 환경은 정상상태에서 반복 계산 시 종속변수들의 수렴 판정은 출구 유량이 변하지 않고 안정적인 값으로 고정된 계산결과가 나타날 때와 정상상태에서 반복 계산 시 종속변수들의 수렴 판정은 잔차 값이 10^{-3} 이하에 도달하면 수렴 판정의 기준으로 삼았다.

3.4 유동해석 대상

유동해석을 수행하기 위하여 해석변수는 앞서 유량계수 Cv를 측정한 3가지 계장용 볼 밸브에 대하여 100% Open일 경우에 대하여 유동해석을 수행하여 유량계수 Cv 값을 예측하였다.

Fig. 3은 해석대상 3가지 종류의 수동 볼 밸브에 대한 모델링은 유동의 안전성을 확보하기 위해 입구는 수력반경의 7배, 출구는 10배로 확보하였다.

계장용 소형 볼 밸브에 대한 유동해석을 수행하기 위하여 Fig. 4와 같이 100% Open시에 대하여 유동해석을 수행하였고, 입구와 출구에서 경계 조건은 압력조건을 ΔP가 1psi가 되도록 부여하였다.



(a) 1/2 (b) 3/4 (c) 1

Fig. 3 CFD analysis models

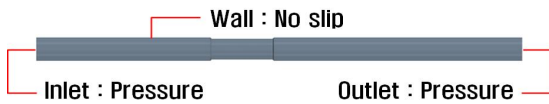


Fig. 4 Boundary conditions

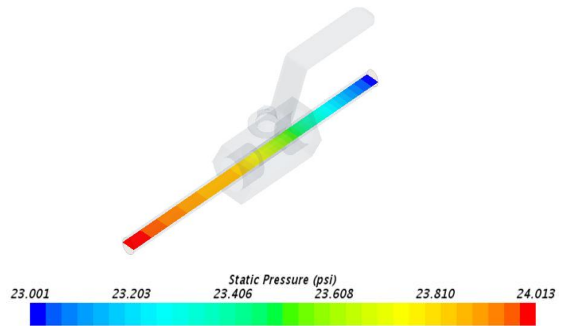
최종 유동해석을 위해 필요한 격자형태인 Volume mesh를 생성하기 위해 최초 IGS파일을 불러들여 조각한 표면의 격자를 재 생성하는 Re meshing 과정을 거친 후 최종 Volume mesh를 생성하였다. 1/4인치의 경우 Base mesh 사이즈는 0.5mm이며, 1/2인치의 경우 0.6mm, 1인치의 경우 1mm로 생성시켰다.

4. 유동해석 결과 및 분석

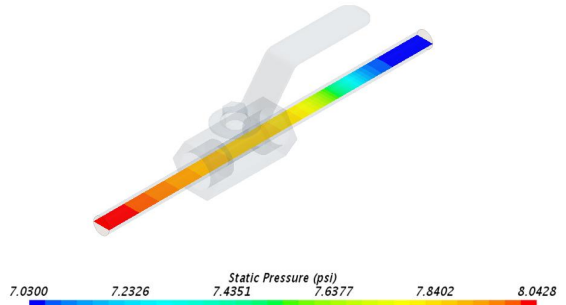
Fig. 5와 Fig. 6은 1/2인치, 3/4인치, 1인치 수동 볼 밸브에 대한 유동해석을 수행한 결과이다.

우선 Fig. 5와 같이 압력분포의 경우 출구로 빠져나가면서 서서히 압력이 점진적으로 낮아지고 있는 것을 확인할 수 있었다. 이는 볼 밸브가 100% 열림 상태이기 때문이다.

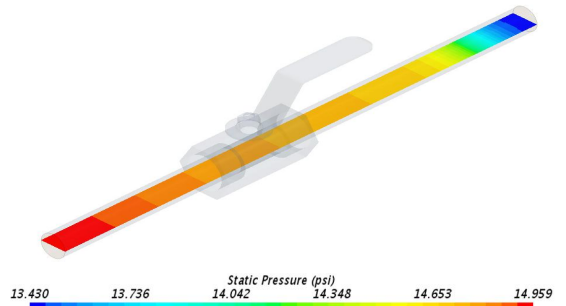
Fig. 6의 속도분포의 경우 입구에 비해 압력이 낮기 때문에 속도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 유동해석 결과를 통해 Table 2와 같이 제조사의 데이터에서 제공하는 밸브의 유량계수 C_v 를 서로 비교하였다.



(a) 1/2



(b) 3/4



(c) 1

Fig. 5 Results of static pressure contour

유량계수의 경우 제조사에서 제공하는 데이터와 유동해석 결과가 거의 유사한 것을 확인할 수 있었고, 1/2인치와 3/4인치의 경우 오차율이 1% 정도 발생함을 확인할 수 있었다. 또한 1인치의 경우 약 3%의 오차가 발생함을 확인할 수 있었다.

결과적으로 제조사 데이터에서 제공하는 밸브 유량계수 C_v 값을 검증할 수 있었다.

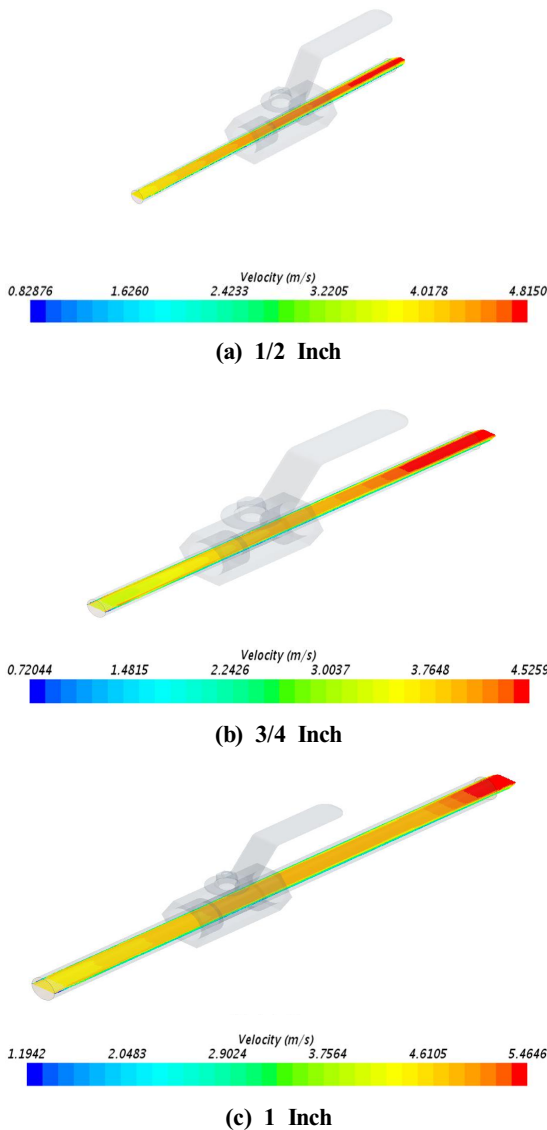


Fig. 6 Results of velocity magnitude contour

Table 2 Comparison of C_v value with experimental results and manufacturer catalog data

Size(inch)		1/2	3/4	1
Cv	Manufacturer Data	9.25	12.65	17.35
	Experiment	9.07	12.77	18.28
	CFD	9.13	12.52	17.93

5. 결론

계장용 소형 볼 밸브에 대한 유량계수 C_v 값 측정과 유동해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

제조사는 이론적 계산법에 의한 C_v 값을 제시하였지만 본 연구에서는 새로운 실험 측정방법과 해석방법을 통하여 보다 신뢰성 있는 데이터를 제시하였음에 의의가 있다. 또한, 유동해석을 통해 C_v 값을 예측한 결과 제조사 데이터에서 제시한 값과 거의 일치함을 확인할 수 있었으므로 제조사 데이터, 실험결과와 유동해석 결과가 모두 유사하게 나타남에 따라 연구결과의 신뢰성을 확보하였다.

REFERENCES

- Kim, K. C. and Lee, C. W., "Performance Evaluation of High Pressure and High Pressure Drop Control Valve for Offshore Plants" Journal of Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 22, No. 5, pp. 767-773, 2013.
- Yi, C. S. and Lee, C. W., "Development and Performance Test on The 1-Inch Glove Valve for the LNG Piping System", Journal of Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 1, pp. 9-16, 2016.
- Jeong, H. S. and Nam, J. W., "Experimental Analysis of the Static and Dynamic Characteristics for a Pilot Proportional Pressure Control Valve", Proceedings of KSPE Autumn Conference, Vol. 8, No. 4, pp. 9-16, 2011.
- Kim, J. W., "Safety Estimation of High Pressure Drop Control Valve for Offshore Structures", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 20, No. 5, pp. 553-558, 2011.
- Ahn, Y. J., Kim, B. J. and Shin, B. R., "Numerical Analysis on Flow Characteristics of High Pressure Drop Control Valve with Anti-Cavitation Trim", Journal of Fluid Machinery,

Vol. 10, No. 4, pp. 61-70, 2007.

6. Kwak, K. M., Cho, J. S., Kim, J. D. and Lee, J. H., "A Study on Flow Coefficient and Flow Characteristics for Butterfly Valve by Numerical Analysis", Journal of Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 4, pp. 62-65, 2012.
7. Park, S. W., Choi, I. S., Noh, K. C., Ryu, S. P. and Yoon, K. S., "An Experimental Study on Measurement of Flow Coefficient Using the Steady-Flow Test Rig", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 36, No. 4, pp. 423-429, 2012.
8. Ahn, H. H. and Yi, C. S., "Numerical Analysis of the Internal Flow of Small Quick Coupler at 3,000psi", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 2, pp. 16-21, 2016.
9. Ahn, H. H. and Yi, C. S., "A Study on the Breakaway Coupling of Flip-Flap valve type Through Reverse Engineering", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 4, pp. 16-22, 2016.