

# 벨로우즈 실 밸브의 개폐정도에 따른 유량계수의 예측

송학관\*, 강정호\*\*, 김승규\*\*, 박영철#

## Prediction of Flow coefficient according to accuracy of opening Bellows Seal Valve

Xueguan Song\*, Jung-Ho Kang\*\*, Seung-Gyu Kim\*\*, Young-Chul Park#

### ABSTRACT

The valve is used on control of flow in a ship. Flow coefficient of valve is very importance in the design of valve. In this paper, three-dimensional computer simulations by commercial code CFX were conducted to observe the valve type and to measure flow coefficient when valves with various angles and uniform incoming velocity were used in a piping system. By contrast, a group of experimental data is used to compare with the data obtained by CFX simulation to investigate the validity of numerical method.

**Key Words** : Bellows seal valve(벨로우즈 실 밸브), Flow coefficient(유량계수), Computer simulation, JWVA

### 1. 서 론

밸브는 대부분의 산업공정에서 유체의 흐름과 유량을 제어하는 장치로 사용되고 있으며 사용 목적과 용도 및 제어형태에 따라 종류와 크기가 매우 다양하며, 밸브에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다. 그 중 Ogawa[1] 등은 유량 계수(Cv), 토크(torque) 계수, 압력손실 계수 등 밸브의 성능과 크기를 결정하는 변수들에 대해 연구했고, Kerl[2] 등은 실험결과를 기초로 하여 밸브해석을 수행하여 밸브의 특징을 연구하였다. Sarpkara[3]는 버터플라이 밸브(Butterfly valve)를 통해 밸브의 특징을 이론적으로 다루었다.

많은 밸브의 요소 중 밸브를 열 때 발생하는 압력 손실과 관련이 있는 유량 계수는 밸브의 크기와 배관 조직을 결정하는데 중요한 요소이다. 그러므로 밸브를 설계할 때, 유량 계수를 정확히 파악하는 것은 매우 중요한 일이다.

하지만 현재 밸브 제조업체에서는 유량 계수의 계산을 JAWW 규격에 나와 있는 계산식을 밸브의 형상이나 크기에 상관없이 동일하게 적용하고 있는데 이는 밸브의 설계 시 안전에 대한 정확한 기준을 제시할 수 없어 과잉설계나 불안을 야기한다.

본 연구에서는 벨로우즈 실 밸브의 형상, 밸브의 열림 정도, 사용 환경, 크기 등 유동 특성을 고려하여 밸브 설계 시 정확한 기준을 제시하고자 하였다.

벨로우즈 실 밸브(Bellows seal valve)는 Fig. 1과 같이 바디(body), 디스크(disc), 스템(stem), 벨로우즈(bellows)로 이루어져 있고 스템(stem)의 상하 운동에 의해 디스크가 바디 내 공동부와와의 접근 정도에 따라 유체의 흐름이 제어된다.

\* 동아대학교 대학원 기계공학과

# 교신저자 : 동아대학교 기계공학과

E-mail : parkyc67@dau.ac.kr

\*\* 동아대학교 대학원 기계공학과

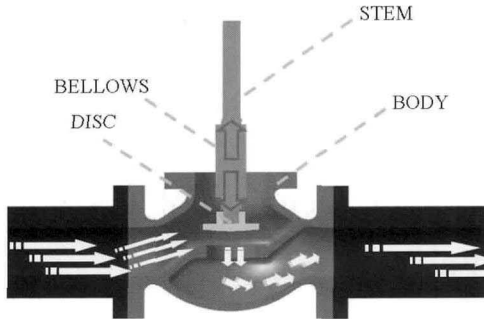


Fig. 1 Construction Bellows seal valve

벨로우즈 실 밸브는 디스크의 상하 위치 변화에 따라 유량 및 압력이 달라지고 이에 대한 유량 계수 값도 당연히 달라질 것으로 판단하여 디스크가 완전히 닫힌 상태를 0mm로 정하고 디스크의 높이를 5mm, 10mm, 15mm, 20mm로 변화시켜 유동해석 프로그램 CFX 11.0을 이용하여 유량 계수 계산에 필요한 압력차 및 유량을 계산하였다. 이 때 밸브는 모두 디스크 직경이 50mm인 동일한 밸브를 사용하였고, 사용 환경 역시 동일하게 적용하였다.

그리고 그 결과를 현장에서 사용하고 있는 JWVA 규격과 비교해 보았다. 밸브를 설계하기에 앞서 사용하고자 하는 밸브의 형과 밸브의 열림 각도의 변화에 대한 유량 계수를 보다 정확히 예측함으로써 실제 밸브의 설계에 유용하게 적용될 것으로 기대한다.

## 2. 유량계수 계산식의 제안

### 2.1 JWVA 규격의 유량계수

JWVA는 일본 수도협회의 규격으로 JWVA에 나와 있는 유량 계수 계산식은 식 (1)로 제시되며 실제 밸브 산업에서 공동적으로 사용된다.

$$C_v = 46200 \times \Phi d^2 \div \sqrt{\epsilon V} \quad (1)$$

Table 1 Loss coefficient of valve

Open value	0mm	5mm	10mm	15mm	20mm
$\epsilon V$	0	19984	21684	22164	23658

여기서  $\Phi d$ 는 밸브의 직경으로 m단위이고,  $\epsilon V$ 는 밸브손실계수로 Table 1에 나타낸 것과 같이 밸브의 개폐정도에 따라 그 값이 다르게 적용된다.

이와 같이 JWVA 규격에서의 유량계수는 밸브의 형태, 사용 환경, 크기 등의 유동 특성을 전혀 고려하고 있지 않다. 그러므로 실제의 여러 조건을 고려한 유량계수 값이 정의 되어야 한다.

### 2.2 새로운 유량 계수의 선정

유량 계수는 밸브를 열 때 밸브에 작용하는 압력 손실과 관련이 있고 밸브 크기와 배관 조직에 대한 예측에 이용된다.

유량 계수를 이용하여 적당한 밸브의 크기를 결정할 수 있는데, 계산식은 사용 유체에 따라 증기, 기체, 액체의 세 가지로 분류하고 증기와 기체 경우에는 또 밸브의 1차측 압력(P1), 2차측 압력(P2)의 관계에 따라 각각 2가지로 분류한다.

본 연구의 목적은 이러한 유량계수의 정확한 예측을 통해 실제 벨로우즈 실 밸브(bellows seal valve) 설계에 적용함에 있다. 이에 해당 밸브에 적합한 식(2)를 제안하였으며, 계산의 정확성과 편의성을 위해 사용유체를 액체일 경우로 가정하였다.

$$C_v = \frac{1.67 \times V \times \sqrt{G}}{\sqrt{\Delta P}} \quad (2)$$

여기서  $V$ 는 사용유체의 최대 유량으로 단위는  $m^3/s$  이고,  $G$ 는 액체의 비중,  $\Delta P$ 는 1차측 압력과 2차측 압력차이로 단위는 MPa이다.

## 3. 유량 계수 계산을 위한 유동해석

### 3.1 유동 해석 모델 및 경계 조건

벨로우즈 실 밸브(bellows seal valve)에 작용하는 압력차를 구하기 위하여 유동해석 프로그램인 CFX 11.0을 이용하여 밸브의 열림 편차 5mm, 10mm, 15mm, 20mm의 4단계에 대하여 유동 해석을 수행하였다.

내부 작용유체는 비점성 · 비압축성인 상온의 물을

사용하였으며, 밸브의 입구경계 조건은 밸브의 실제 사용 압력인  $10\text{kg/cm}^2$  ( $0.98\text{MPa}$ ),  $15\text{kg/cm}^2$  ( $1.47\text{MPa}$ )의 2가지 경우로 정의했으며, 출구경계 조건은  $0\text{Pa}$ 로 정의하였다.

디스크, 바디, 스템 그리고 관 벽에서는 마찰을 고려한 경계조건을 적용하여 모든 속도 성분을 0으로 두었다. 또 배관 내에서의 유동은 Reynolds number가 4000을 넘는 난류 유동을 하므로 난류 유동에 대한  $k-\epsilon$  모델의 적용과 난류 옵션을 설정하여 유동 해석을 수행하였다. 난류 유동에 대한 마찰계수는 레이놀즈 수와 상대 조도에 의존하나 해석에서는 실제로 설치될 밸브와 연결되는 모든 관에 대하여 고려할 수 없기 때문에 매끈한 관이라고 설정하고 해석을 수행하였고 실제 밸브와 비슷한 3차원의 모델을 수행하여 더욱 정확한 값을 얻을 수 있었다.

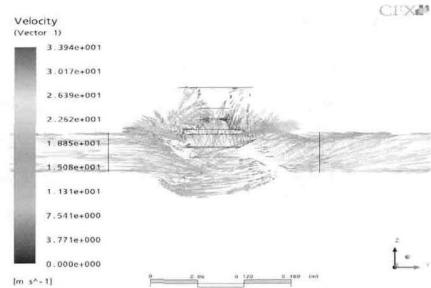
### 3.2 유동 해석 결과

Fig. 2와 같이 유동 해석을 통해 얻은 압력분포에서 입구 측 압력은 밸브에서 밸브 직경의 2배만큼 떨어진 위치에서 측정하였고, 출구 측 압력은 밸브에서 밸브 직경의 6배만큼 떨어진 위치에서 측정하여 그차( $\Delta P$ )를 얻었고 Table 2에 정리하였다. 그리고 유량( $V$ )은 배관의 단면적과 유속으로부터 구했으며 결과는 Table 3과 같이 나타났다. 작동 유체인 물의 비중( $G$ )은 1이므로 위에서 얻은 값을 식 (2)에 적용하여 50A 벨로우즈 실 밸브의 Working Pressure에 대하여 유량계수를 구하였고, 추가로 Test Report Pressure에 대하여 각각 유량계수를 구했으며 그 결과는 그 값은 Table 4에 나타내었다.

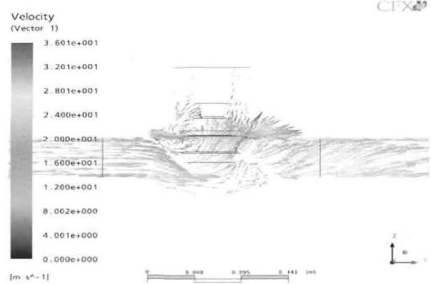
### 3.3 유량 계수의 평가

상용 유동해석 프로그램인 ANSYS CFX 11.0을 이용하여 밸브와 배관 내에서 이루어지는 복잡한 유동 현상을 나타내었으며, 유동 특성들에 대한 예측의 정확성을 확인하였다.

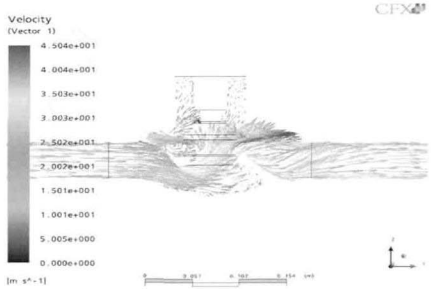
최종 결과를 살펴보면 Table. 4와 Fig. 3에 나타난 것과 같이 50A 벨로우즈 실 밸브의 유량계수 값은 밸브의 열림량이 커질수록 유량계수가 증가하는 경향을 확인할 수 있다.



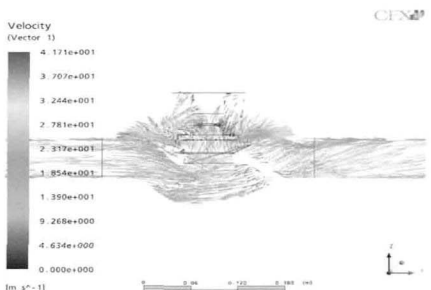
(a) height of disc: 5mm



(b) height of disc: 10mm



(c) height of disc: 15mm



(d) height of disc: 20mm

Fig. 2 Pressure contours of Bellows seal valve to opening height

**Table 2 Pressure drops according to height of disc**

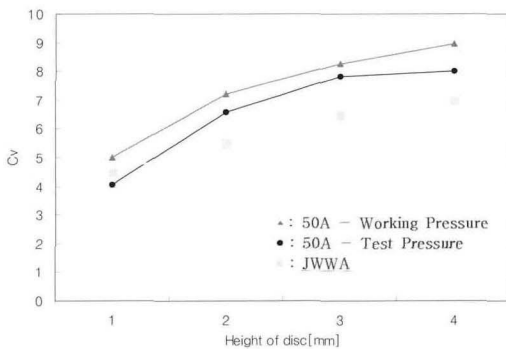
	Inlet [Pa]	Outlet [Pa]	$\Delta P$ [Pa]
5mm	<b>0.9819</b>	<b>0.2227</b>	<b>0.7592</b>
10mm	<b>1.1121</b>	<b>0.3375</b>	<b>0.7746</b>
15mm	<b>1.4765</b>	<b>0.4562</b>	<b>1.0203</b>
20mm	<b>1.5266</b>	<b>0.5214</b>	<b>1.0052</b>

**Table 3 Maximum massflow according to height disc**

	Maximum massflow, $V$ [m <sup>3</sup> /s]
5mm	<b>0.3927</b>
10mm	<b>0.4816</b>
15mm	<b>0.6125</b>
20mm	<b>0.7163</b>

**Table 4 Flow coefficient of valve**

	Working Pressure [m <sup>2/5</sup> /s]	Test report pressure [m <sup>2/5</sup> /s]
5mm	<b>4.052×10<sup>-3</sup></b>	<b>5.012×10<sup>-3</sup></b>
10mm	<b>6.576×10<sup>-3</sup></b>	<b>7.211×10<sup>-3</sup></b>
15mm	<b>7.814×10<sup>-3</sup></b>	<b>8.254×10<sup>-3</sup></b>
20mm	<b>8.000×10<sup>-3</sup></b>	<b>8.950×10<sup>-3</sup></b>



**Fig. 3 Comparison of flow coefficient**

## 4. 결 론

1. 밸브의 설계 시 고려되는 많은 요인 중 유량계수

는 밸브의 크기와 배관 조직을 결정하는 데 중요한 요소이며 이를 정확히 파악하는 것이 밸브 설계의 관건이다. 하지만 현재 많은 밸브 제조현장에서는 유량 계수의 계산을 JAWW 규격에 나와 있는 계산식을 밸브의 형상이나 크기에 상관없이 동일하게 적용하고 있는데 이는 밸브의 설계 시 안전에 대한 정확한 기준을 제시 할 수 없다고 판단된다.

- 본 연구는 벨로우즈 실 밸브(Bellows seal valve) 설계 시 중요한 요인인 유량계수 값을 정확히 산정하는 데 있고 이를 위해 벨로우즈 실 밸브의 열림량이 밸브의 크기와 배관 조직을 예측하는데 사용되는 유량 계수에 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구를 수행하였다.
- 연구 내용은 50A 벨로우즈 실 밸브(Bellows seal valve)에 대하여 디스크의 높이를 4단계로 나누어 유동해석을 실시하여 유량계수 값을 계산하고 그 결과를 현재 밸브 제조업체에서 사용 중인 JWJA 규격에 의한 계산결과와 비교하여 계산된 값의 신뢰성을 검증하였다.
- 신뢰성은 Fig. 3에 나타난 것과 같이 50A 벨로우즈 실 밸브(Bellows seal valve)의 열림량이 증가할수록 유량 계수도 같이 증가하는 경향이 나타남을 확인 하고, JWJA 규격에 명기된 식과 근사한 경향을 나타남을 확인함으로써 검증하였다.
- 현장에서 모든 밸브에 동일하게 사용하고 있는 JWJA 규격의 유량 계수 계산식을 이용하여 계산한 결과와 50A 벨로우즈 실 밸브를 유동 해석한 결과 값을 통하여 유량계수를 구한 경우를 비교해 본 결과 밸브의 형에 따라 유량 계수의 값이 달라 지므로 모든 밸브에 하나의 일정한 유량 계수의 식을 적용하는 것은 무리가 있고, 밸브의 형에 따라 달리 적용해야 한다고 판단된다.

## 후 기

본 연구는 산업 자원부 지정 지역혁신센터사업 신소형제 가공 청정 공정개발 연구센터 지원으로 수행 되었습니다

## 참고문헌

1. K. Ogawa, T. Kimura, "Hydrodynamic of butterfly valve - prediction of torque characteristics", ISA Transactions 34, pp. 327-333, 1995
2. Kerl, T. J, J, Lee L. C. Wellford, "Transient fluid-structure interaction in a control valve", Journal of Fluid Engineering, 119, pp.354-359, 1996
3. T. Sarpkara, "Torque and cavitation characteristics of butterfly valve", ASME Journal of Applied Mechanics, pp. 511-518, 1961
4. T. Kimura and T. Tanaka, "Hydro - dynamic characteristics of a butterfly valve -Prediction of pressure loss characteristic", ISA Transactions 34, pp. 319-326, 1995
5. C. D. Huang and R. H. Kim, "Three-dimensional analysis of partially open butterfly valve flows", Transactions of the ASME, 118, pp. 562-568, 1996
6. Chern, M. J. and Wang, C. C. "Control of volumetric flow-Rate of ball valve using V-port", Journal of Fluid Engineering 126, pp. 471-481, 2004
7. ANSYS CFX 11.0 User's Manual, ANSYS, Inc