

버터플라이 밸브 설계를 위한 밸브 형과 유량 계수와의 관계

오승환* · 이영훈* · 공형걸* · 송학관* · 강정호** · † 박영철**

*동아대학교 기계공학과 대학원, **동아대학교 기계공학부 교수

A Study on Relationship of Flow coefficient and Valve Type for Design of Butterfly Valve

Seung-Hwan Oh* · Young-Hun Lee* · Hyeung-Geol Kang* · Hak-Guan Song*
· Jung-Ho Kang** · † Young-Chul Park**

*Graduate school of Mechanical engineering, Dong-A University, 840 Hadan 2-dong, Saha-gu, Busan 604-714, Korea

**Professor. Department of Mechanical engineering, of Civil and Environment, Dong-A University, 840 Hadan 2-dong, Saha-gu, Busan 604-714, Korea

요 약 : 밸브는 선박에서 유체의 흐름과 유량을 제어하기 위해 사용된다. 유량 계수는 밸브의 설계에서 매우 중요한 요소이다. 본 연구에서는 상용프로그램인 CFX의 3차원 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 동일한 유속이 적용될 경우 밸브의 형과 밸브 열림 각도에 따른 유량 계수를 계산하였다. 그리고 실험 결과와 비교하여 CFX 시뮬레이션 해석을 통해 얻은 결과의 신뢰성을 검증하였다.

핵심용어 : 버터플라이 밸브, 유량 계수, 일본수도협회규격, 밸브의 형태, 컴퓨터 시뮬레이션

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 : Butterfly valve, Flow coefficient, JWWA, Valve type, Computer simulation

1. 서 론

밸브는 대부분의 산업공정에서 유체의 흐름과 유량을 제어하는 장치로 사용되고 있으며 사용 목적과 용도 및 제어형태에 따라 종류와 크기가 매우 다양하다. 그 중 버터플라이 밸브(butterfly valve)는 크게 바디(body), 디스크(disc) 및 스템(stem)으로 이루어져 있고, 스템의 회전에 의한 디스크와 바디내에 삽입되어 있는 시트(seat)와의 접근 정도에 따라 유체의 흐름이 제어된다.

밸브에 관한 많은 연구들 중에는 유량 계수(Cv), 토크(torque) 계수, 압력손실 계수 등 밸브의 성능과 크기를 결정하는 변수들에 대해서 많이 이루어지고 있다.(Ogawa, 1995; Kimura, 1995)

Sarpkaka(1961)는 버터플라이 밸브의 토크 특성 예측에 대한 연구를 수행 하였다. 특히 밸브를 열 때 발생하는 압력 손실과 관련이 있는 유량 계수는 밸브의 크기와 배관 조직을 결

정하는데 중요한 요소이다. 그러므로 밸브를 설계할 때, 유량 계수를 정확히 파악하는 것은 매우 중요한 일이다.

하지만 현재 밸브 제조업체에서 유량 계수의 계산을 JAWW 규격에 나와 있는 계산식을 밸브의 형상이나 크기에 상관없이 동일하게 적용하고 있다. 본 연구에서는 밸브의 형상, 밸브의 열림 각도, 사용 환경, 크기 등 유동 특성을 고려하여 유량 계수에 영향을 미칠 것으로 판단되는 요소들 중 밸브의 형 및 밸브의 열림 각도에 따른 유량 계수 변화를 버터플라이 밸브를 이용하여 살펴보았다.

밸브의 형태에 따른 변화를 알아보기 위해 디스크와 스템의 중심축이 회전축의 중심과 일치하는 중심형(concentric type)과 디스크와 스템의 중심축이 회전축과 편심이 되어 있는 편심형(double eccentric type)에 대하여 평가하였다. 중심형 밸브는 디스크 회전시 좌,우가 같은 각도로 열리고 닫히며 구조가 간단하고 중량이 적으며 디스크의 형상이 유선형이라 열림

* 대표저자 : 오승환, niceguy0203@nate.com 011-9238-9731

* kkarahun@nate.com, 011-9553-8355

* ehdrnrqk@nate.com 011-869-8449

* niceguy0203@nate.com 011-9238-9731

** kangjh@dau.ac.kr 011-9996-9960

† 교신저자 : 박영철, parkyc67@dau.ac.kr 051)200-6991

각도 90°에서 유체의 흐름에 영향이 작지만 개폐시 토크가 큰 단점이 있다. 편심형 밸브는 개폐시 토크를 줄이기 위해 고안된 형상으로 디스크 회전시 좌,우의 열림 각도가 틀림으로 인해 유체에 의한 압력이 적게 발생하고 회전 토크가 작다. 하지만 디스크의 중량이 크며 형상이 복잡하고 두께가 두꺼워 열림각도 50°이후부터 유체의 흐름에 영향이 크다.

따라서 열림 각도에 대한 유량 계수 값도 당연히 달라질 것이라고 판단하여 밸브가 완전히 닫힌 0°에서 90°까지를 15°, 30°, 45°, 60°, 70°, 80°, 90°의 7단계로 나누어 유량 계수를 살펴보았다. 유량 계수 계산을 위해 사용한 두 가지 형의 밸브는 모두 직경이 200mm인 동일한 밸브를 사용하였고, 사용 환경 역시 동일하게 적용하여 유량 계수 값의 변화를 살펴보았다.

그리고 그 결과를 현장에서 사용하고 있는 JWWA 규격과 비교해 보았다. 밸브를 설계하기에 앞서 사용하고자 하는 밸브의 형과 밸브의 열림 각도의 변화에 대한 유량 계수를 보다 정확히 예측하여 실제 밸브의 설계에 적용하고자 한다.

2. 유량 계수의 계산의 제안

2.1 JWWA 규격

JWWA는 일본 수도협회의 규격으로 JWWA에 나와 있는 유량 계수 계산식은 식 (1)과 같다.

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

여기서 Φd 는 밸브의 직경으로 m단위이고, ϵV 는 밸브손실 계수로 Table 1에 나타난 것과 같이 밸브의 열림 각도에 따라 그 값이 다르게 적용된다. 이와 같이 JWWA 규격은 밸브의 형, 사용 환경, 크기 등 유동 특성을 전혀 고려하고 있지 않다.

Table 1 Loss coefficient of valve

Open degree	5°	10°	20°	30°	40°	40°	60°	70°	80°	85°
ϵV	1599	399	99	43.4	17.9	6.72	2.56	0.984	0.417	0.321

2.2 유량 계수

유량 계수는 밸브를 열 때 밸브에 작용하는 압력 손실과 관련이 있고 밸브 크기와 배관 조적에 대한 예측에 이용된다. 유량 계수를 이용하여 적당한 밸브의 크기를 결정할 수 있는데, 계산식은 식 (2)과 같다.

$$Cv_{ISA} = \frac{Q_{gpm}}{\sqrt{\Delta P_{ISA}/S_g}} \quad (2)$$

여기서 압력차 ΔP_{ISA} 는 밸브 배관의 입구쪽으로 디스크 직경의 2배인 곳과 밸브 배관 출구쪽으로 디스크 직경의 6배인 곳에서 각각 측정된 압력차를 나타낸다. 그리고 ΔP 는

psi 단위로, Q_{gpm} 은 gpm 단위로 나타낸 것이며, 그리고 S_g 는 유체의 비중이다.

위 식에서는 마찰력의 영향이 무시되어 있다. ISA 실험의 세부 사항에 따르면, 마찰을 무시할 경우 Cv/d^2 에 20을 더해야 한다고 나타나있다. 그러므로 마찰력을 무시하는 문제는 신중히 고려해야한다. 따라서 마찰계수를 고려할 경우의 압력차에 대한 식은 식 (3)과 같이 유도된다.

$$\Delta P_{net} = \Delta P_{ISA} - 0.008986 \cdot S_g \cdot f \cdot \frac{Q^2}{d^4} \quad (3)$$

여기서 f 는 마찰계수이고, d 는 inch 단위계에서 밸브의 직경이다. Q 는 유량이며 단위는 $m^2 \times m/s$ 이다. 그리고 수정한 유량계수의 식은 다음과 같다.

$$Cv_{net} = \frac{Q}{\sqrt{\Delta P_{ISA}/S_g - 0.008986 \cdot f \cdot \left(\frac{Q}{d^2}\right)^2}} \quad (4)$$

3. 유동 해석

3.1 유동 해석 모델 및 경계 조건

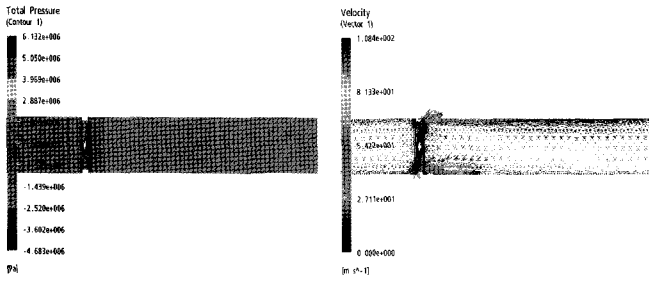
버터플라이 밸브에 작용하는 압력차를 구하기 위하여 유동 해석 프로그램인 CFX를 이용하여 중심형과 편심형에 대하여 각각 밸브의 열림 각도 15°, 30°, 45°, 60°, 70°, 80°, 90°의 7단계에 대하여 유동 해석을 수행하였다.

내부 작용유체는 비점성 · 비압축성인 상온의 물을 사용하였으며, 밸브의 일반적인 사용 유속인 3m/s를 입구조건으로 하였고 출구는 대기압으로 설정하였다. 디스크, 바다, 스템 그리고 관벽에서는 마찰을 고려한 경계조건을 적용하여 모든 속도 성분을 0로 두었다. 또 배관 내에서의 유동은 레이놀즈 수 (Reynolds number) 4000을 넘는 난류 유동을 하므로 난류 유동에 대한 k- ϵ 모델의 적용과 난류 옵션을 설정하여 유동 해석을 수행하였다. 난류 유동에 대한 마찰계수는 레이놀즈 수와 상대조도에 의존하나 해석에서는 실제로 설치될 밸브와 연결되는 모든 관에 대하여 고려할 수 없기 때문에 매끈한 관이라고 설정하고 해석을 수행하였다. 그리고 실제 밸브와 비슷한 3차원의 모델을 수행하여 더욱 정확한 값을 얻을 수 있었다.

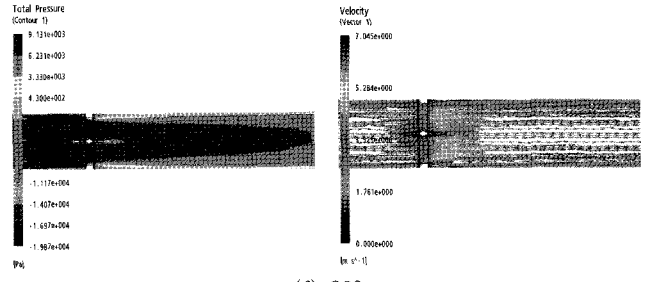
3.2 유동 해석 결과

작용 유체는 상온의 물을 사용하고, 입구조건은 3m/s의 일정한 유속으로, 출구조건은 대기압으로 하여 해석을 수행하였다.

200A 버터플라이 밸브의 중심형과 편심형에 대하여 각각 밸브의 열림 각도 15°, 30°, 45°, 60°, 70°, 80°, 90°의 7단계에 대하여 유동 해석을 수행하여 밸브의 열림 각도에 대한 압력 분포와 속도 분포를 구하였다.(ANSYS CFX,2004)

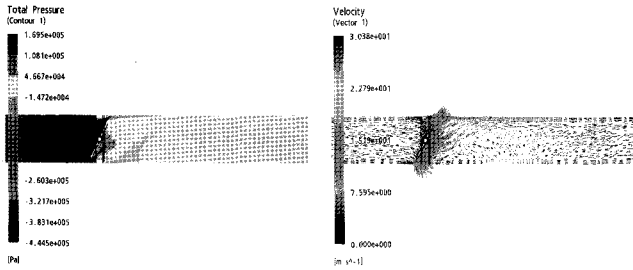


(a) 15°

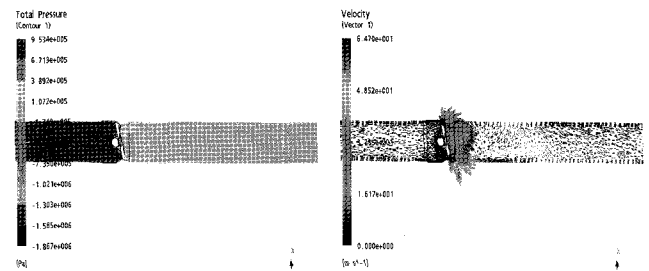


(f) 90°

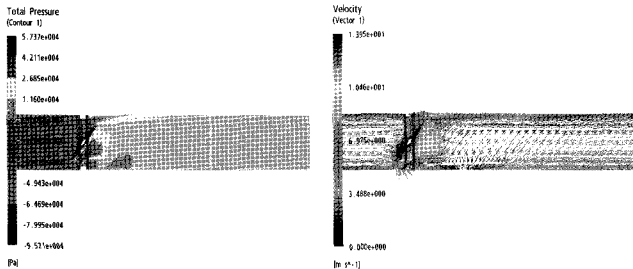
Fig. 1 Pressure contours of concentric type according to valve opening degree



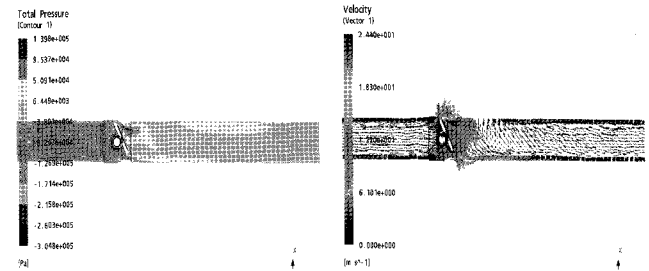
(b) 30°



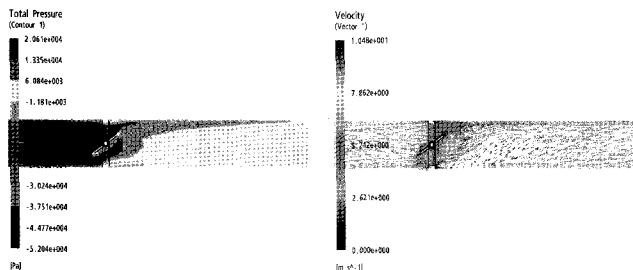
(a) 15°



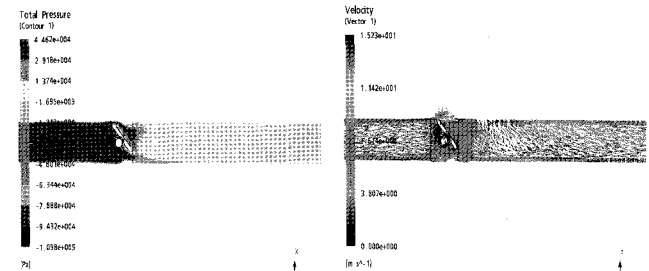
(c) 45°



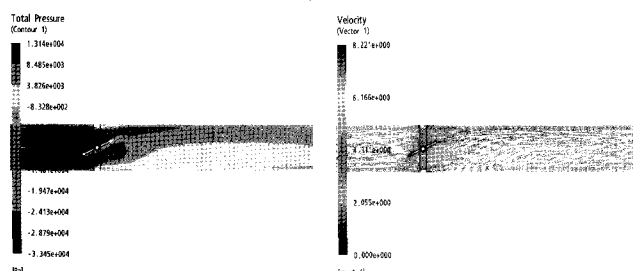
(b) 30°



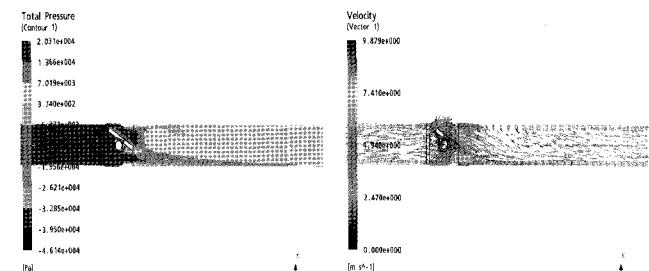
(d) 60°



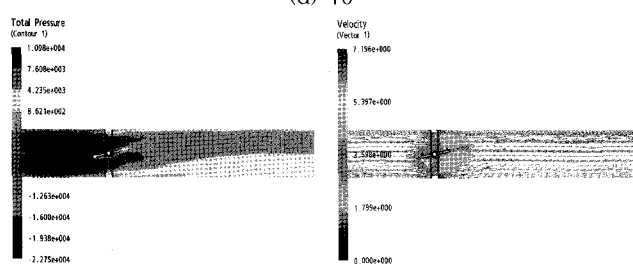
(c) 45°



(d) 70°



(d) 60°



(e) 80°

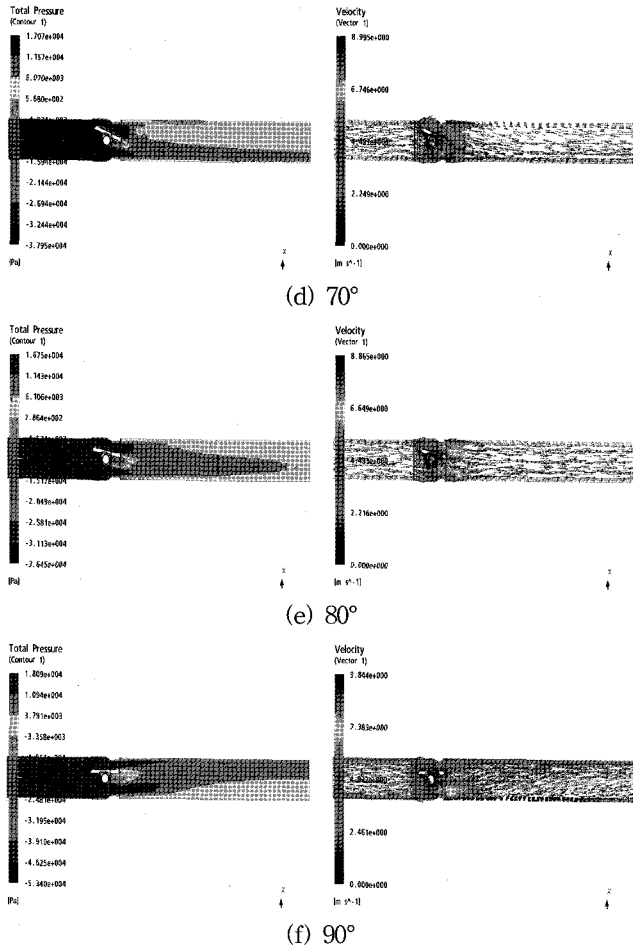


Fig. 2 Pressure contours of double eccentric type according to valve opening degree

그리고 200A 버터플라이 밸브의 중심형과 편심형에 대하여 압력 분포와 속도 분포를 Fig. 1, Fig. 2에 나타내었고, 7단계의 밸브 열림 각도에 대한 입구쪽과 출구쪽의 압력차를 정리하여 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Pressure drops according to valve opening degree

(a) Concentric type

	Inlet [Pa]	Outlet [Pa]	ΔP [psi]
15°	4.64E ⁶	443.31	673.41
30°	1.12E ⁵	4719.6	16.252
45°	3.86E ⁴	4783.3	5.598
60°	1.36E ⁴	4678.1	1.971
70°	9.38E ³	4641.2	1.3596
80°	7.54E ³	4632.1	0.4219
90°	7.41E ³	4643.0	0.4018

(b) Double eccentric type

	Inlet [Pa]	Outlet [Pa]	ΔP [psi]
15°	6.785E ⁵	5103.1	97.6
30°	9.188E ⁴	4785.8	12.6
45°	2.997E ⁴	4758.6	3.66
60°	1.613E ⁴	4783.2	1.64
70°	1.382E ⁴	4692.3	1.32
80°	1.381E ⁴	4685.5	1.32
90°	1.448E ⁴	4707.3	1.42

4. 유량계수의 평가

상용프로그램인 ANSYS CFX 10.0을 이용하여 밸브와 배관 내에서 이루어지는 복잡한 유동 현상을 나타내었고, 유동 특성에 대한 예측의 정확성을 확인하였다. 유동 해석을 통해 얻은 압력분포에서 입구쪽 압력은 밸브에서 밸브 직경의 2배만큼 떨어진 위치에서 측정하였고, 출구쪽 압력은 밸브에서 밸브 직경의 6배만큼 떨어진 위치에서 측정하여 그 차(ΔP)를 얻었다(Huang,1996). 그리고 유량(Q)는 배관의 단면적과 유속으로부터 구했다. 작동 유체인 물의 비중(S_g)은 1이므로 위에서 얻은 값을 식 (2)에 적용하여 200A 버터플라이 밸브의 중심형과 편심형의 유량계수를 구했다. 그리고 식 (1)을 이용한 JWVA 규격의 유량계수 값과 비교해 보았다.

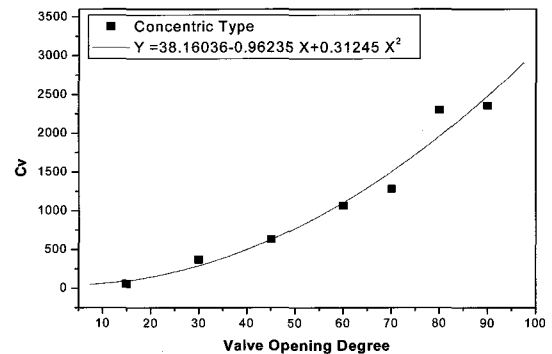


Fig. 3 Valvec of flow coefficient of concentric type butterfly valve 200A

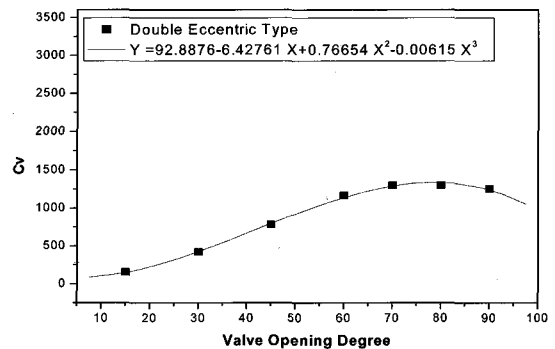


Fig. 4 Valvec of flow coefficient of double eccentric type butterfly valve 200A

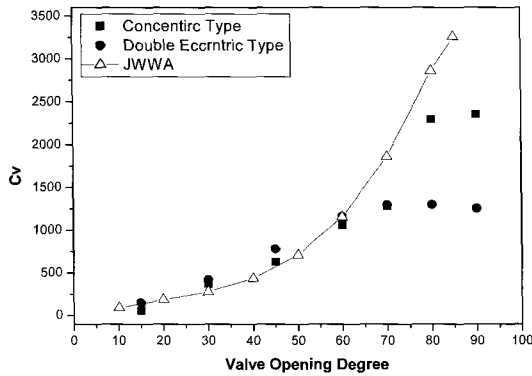


Fig. 5 Comparison of flow coefficient

Fig. 3에 나타난 것과 같이 200A 버터플라이 밸브의 중심형에 대한 유량계수 값은 밸브의 열림 각도가 커질수록 유량계수가 증가하였다. 이때 유량계수의 최대값은 밸브의 열림 각도 90°에서 발생하였다.

Fig. 4에 나타낸 200A 버터플라이 밸브의 편심형에 대한 유량계수 값은 밸브의 열림 각도 60°부터는 증가폭이 감소하고, 유량계수가 일정해지는 경향이 나타났다. 이는 앞의 서론에서도 언급하였는데 중심형과 편심형 밸브의 가장 큰 차이는 컷제가 회전축이 일치하지 않다는 것이고 둘째는 디스크의 형상이다. 중심형은 디스크가 매우 얇은 유선형인데 반해 편심형은 디스크의 형상은 매우 두껍다.

따라서 열림각도가 작을 때는 유량손실이 비슷하나 60° 이후 부터는 유체의 흐름에 미치는 영향이 커져서 유량 계수가 감소한다. 이때 유량계수의 최대값은 밸브의 열림 각도 80°에서 발생하였다. Fig. 5은 위의 두 가지 경우를 JWVA 규격과 비교하여 나타내었다.

그 결과 JWVA 규격의 계산식을 이용하여 유량계수를 계산한 경우와 유동 해석을 통하여 계산해 본 200A 버터플라이 밸브의 중심형과 편심형의 유량계수에는 차이가 있었다.

그러므로 밸브를 설계할 때 밸브의 형을 고려하지 않고, JWVA 규격의 계산식에 의해 모든 밸브의 유량계수 값을 예측한다는 것은 무리가 있다.

5. 결 론

밸브의 형과 밸브의 열림 각도가 밸브의 크기와 배관 조직을 예측하는데 사용되는 유량 계수에 어떤 영향을 미치는지 확인하기 위하여 200A 버터플라이 밸브의 중심형과 편심형에 대하여 밸브의 열림 각도를 7단계로 나누어 유동해석을 실시하여 유량계수 값을 계산하였다.

그리고 그 결과를 현재 밸브 제조업체에서 사용 중인 JWVA 규격에 의한 계산결과와 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 밸브의 크기와 배관 조직을 예측할 수 있는 유량 계수는 밸브의 크기가 같고, 사용 환경이 동일하더라도 밸브의 형에 따라 영향을 받는다.

- 200A 중심형 버터플라이 밸브의 경우 밸브의 열림 각도가 증가할수록 유량 계수도 같이 증가하는 경향이 나타났고, 밸브 열림 각도 90°에서 최대값이 나타났다.
- 200A 편심형 버터플라이 밸브의 경우 밸브 열림 각도 80°까지는 유량 계수가 증가하였으나 그 이후에는 감소하는 경향이 나타났고, 최대값은 밸브 열림 각도 80°에서 나타났다.
- 현장에서 모든 밸브에 동일하게 사용하고 있는 JWVA 규격의 유량 계수 계산식을 이용하여 계산한 결과와 200A 버터플라이 밸브의 중심형과 편심형을 유동 해석을 통하여 유량계수를 구한 경우를 비교해 본 결과 밸브의 형에 따라 유량 계수의 값이 달라지므로 모든 밸브에 하나의 일정한 유량 계수의 식을 적용하는 것은 무리가 있고, 밸브의 형에 따라 달리 적용해야 한다고 생각 한다.

후 기

본 연구는 산업 자원부 지방 기술혁신 사업지원(RTI04-01-03)으로 수행 되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] ANSYS CFX 10.0 User's Manual, ANSYS, Inc.
- [2] Huang, C. D. and Kim, R. H.(1996) "Three-dimensional analysis of partially open butterfly valve flows", Transactions of the ASME, 118 , pp. 562-568
- [3] Ogawa, K., Kimura, T.(1995), " Hydrodynamic of butterfly valve - prediction of torque characteristics", ISA Transactions 34, pp. 327-333
- [4] Kimura, T. and Tanaka, T.(1995), "Hydrodynamic characteristics of a butterfly valve-Prediction of pressure loss characteristic", ISA Transactions 34, pp. 319-326
- [5] Sarpkara, T. (1961), "Torque and cavitation characteristics of butterfly valve", ASME Journal of Applied Mechanics, pp. 511-518

원고접수일 : 2006년 12월 28일

원고채택일 : 2007년 2월 27일