

Butterfly Valve 설계를 위한 Valve Type과 유량 계수의 관계에 대한 연구

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*, Xueguan Song*,
Jung-Ho Kang** and 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 선체에서 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 타입과 각각의 Valve Disc 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 and hydraulic 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 valve flow coefficient when valve 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 제어 장치로 사용되고 있다. 밸브는 사용 목적과 용도 그리고 제어형태에 따라 종류와 크기가 매우 다양하다. 그 중 가장 폭넓게 사용되는 밸브는 Butterfly Valve이다. Butterfly Valve는 크게 Body, Disc, 그리고 Stem으로 이루어지고, Stem이 회전하여 Disc와 Body 내에 삽입되어 있는 Seat가 접촉하면서 유체의 흐름을 밀폐시킨다.

밸브에 관한 많은 연구들 중에는 유량 계수, Torque 계수, 압력 손실 계수 등 밸브의 성능과 크기를 결정하는 변수들에 대해서 많이 이루어지고 있다.(2-3) Kazuhiko Ogawa, Takeyoshi Kimurap(1)는 Butterfly Valve의 Torque 특성 예측에 대한 연구를 수행 하였다. 특히 밸브를 열 때 발생하는 압력 손실과 관련이 있는 유량 계수(Cv)는 밸브의 크기와 배관 조직을 결정하는데 중요한 요소이다. 그러므로 밸브를 설계할 때, Cv치를 정확히 파악하는 것은 매우 중요한 일이다. 하지만 현재 밸브 제조업체

**대표저자 : 박영철(회원), parkyc67@dau.ac.kr 051)200-6991

**회원, parkyc67@dau.ac.kr 051)200-6991

에서 Cv치 계산을 JAWW 규격에 나와 있는 Cv치 계산식을 밸브의 Type이나 크기에 상관없이 동일하게 적용하고 있다.

본 연구에서는 밸브의 Type, 밸브의 열림 각도, 사용 환경, 크기 등 유동 특성을 고려하여 Cv치에 영향을 미칠 것으로 판단되는 요소들 중 밸브의 Type 및 밸브의 열림 각도에 따른 Cv치 변화를 Butterfly Valve를 이용하여 살펴보았다. 밸브의 형태에 따른 변화를 알아보기 위해 Disc, Stem의 중심축이 Body의 중심과 일치하는 Concentric Type과 Disc, Stem의 중심축이 편심이 되어 있는 Double Eccentric Type에 대하여 평가하였다. 밸브의 열림 각도에 대한 Cv치 변화를 알아보기 위하여 밸브가 완전히 닫힌 0°에서 90°까지를 15°, 30°, 45°, 60°, 70°, 80°, 90°의 7단계로 나누어 Cv치를 살펴보았다. Cv치 계산을 위해 사용한 두 가지 Type의 밸브는 직경이 200mm로 동일한 밸브를 사용하였고, 사용 환경 역시 동일하게 적용하여 Cv치 변화를 살펴보았다. 그리고 그 결과를 현장에서 사용하고 있는 JWVA 규격과 비교해 보았다. 밸브를 설계하기에 앞서 사용하고자하는 밸브의 Type과 밸브의 열림 각도의 변화에 대한 Cv치를 보다 정확히 예측하여 실제 밸브를 설계에 적용하고자 한다.

2. 유량 계수의 계산

2.1 JWVA 규격

JWVA 규격은 일본 수도협회의 규격으로 JWVA 규격에 나와 있는 Cv치 계산식은 식 (1)과 같다.

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

여기서 Φd 는 밸브의 직경으로 m단위이고, ϵV 는 밸브손실계수로 Table 1에 나타낸 것과 같이 밸브의 열림 각도에 따라 일정한 값이 적용된다. 이와 같이 JWVA 규격은 밸브의 형태, 사용 환경, 크기 등 유동 특성을 전혀 고려하고 있지 않다.

Table 1 Loss coefficient of valve

Open degree	5°	10°	20°	30°	40°
ϵV	1599	399	99	43.4	17.9
Open degree	50°	60°	70°	80°	85°
ϵV	6.72	2.56	0.984	0.417	0.321

2.2 유량 계수

유량 계수(Cv)는 밸브를 열 때 밸브에 작용하는 압력 손실과 관련이 있다. Cv치는 밸브 크기와 배관 조직에 대한 예측에 이용된다. Cv치를 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 밸브의 Disc에서 배관의 입구쪽으로 Disc 직경의 2배인 곳과 밸브의 Disc에서 출구쪽으로 Disc 직경의 6배인 곳에서 각각 측정된 차이값을 나타낸다. 그리고 ΔP 는 psi 단위계, Q_{gpm} 은 gpm 단위계, 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 경우 압력차에 대한 식은 식 (3)과 같이 유도가 가능하다.

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

여기서 f 는 마찰계수이고, d 는 inch 단위계에서 밸브의 직경이다. 그리고 수정한 식이 식 (4)이다.

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

3. 유동 해석

3.1 유동 해석 모델 및 경계 조건

Butterfly Valve에 작용하는 압력차를 구하기 위하여 유동해석 프로그램인 CFX를 이용하여 Concentric Type과 Double Eccentric Type에 대하여 각각 밸브의 열림 각도 15°, 30°, 45°, 60°, 70°, 80°, 90°의 7단계에 대하여 유동 해석을 수행하였다.

내부 유체는 비점성 · 비압축성 유체인 상온의 물을 사용하였으며, 밸브의 일반적인 사용 유속인 3m/s를 입구조건으로 하였고 출구는 대기압으로 설정하였다. Disc, Body, Stem 그리고 배관에 서는 마찰을 고려한 배관 벽 경계조건을 적용하여 모든 속도 성

분을 Zero로 두었다. 또 배관 내에서의 Reynolds수가 4000을 넘는 난류 유동을 하므로 난류 유동에 대한 $k-\epsilon$ 모델의 적용과 난류 옵션을 설정하여 유동 해석을 수행하였다. 난류 유동에 대한 마찰계수는 Reynolds수와 상대조건에 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 동일한 유속을 주고, 출구조건은 대기압이 주어 해석을 수행하였다.

Butterfly Valve 200A의 Concentric Type과 Double Eccentric Type에 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.⁽⁴⁾

그리고 Butterfly Valve 200A의 Concentric Type과 Double Eccentric Type에 대하여 압력 분포와 속도 분포를 Fig. 3, Fig. 4에 나타내었고, 7단계의 밸브 열림 각도에 대한 입구쪽과 출구쪽의 압력차를 정리하여 Table 2에 나타내었다.

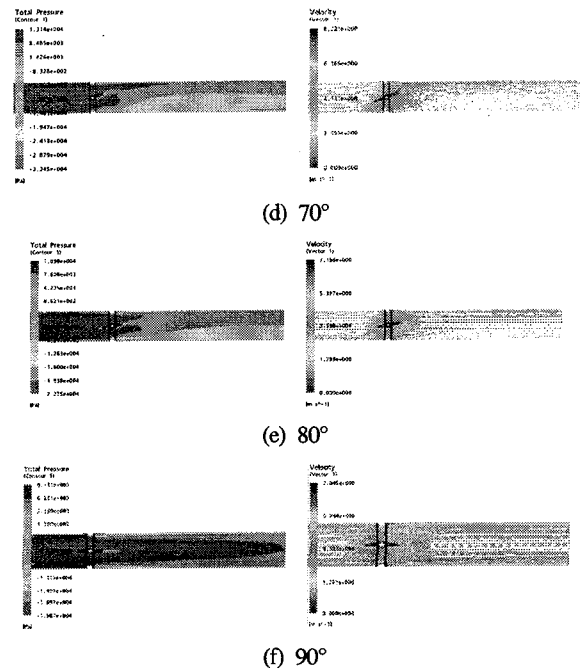
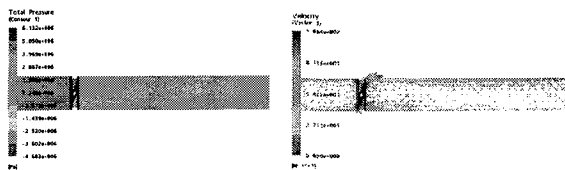
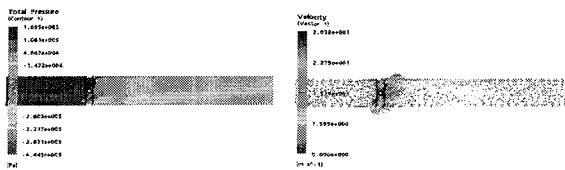


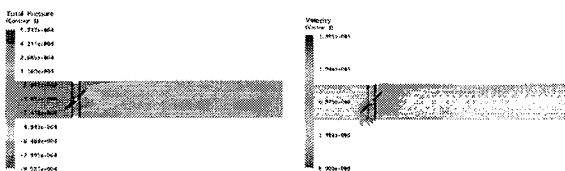
Fig. 3 Pressure contours at seven different valve opening degree of Concentric Type



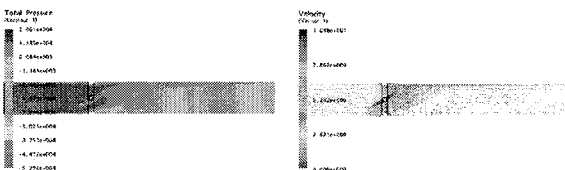
(a) 15°



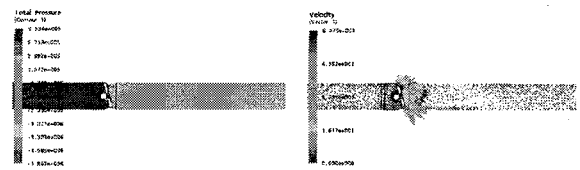
(b) 30°



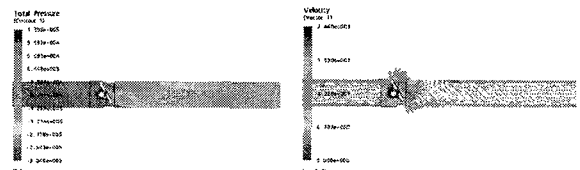
(c) 45°



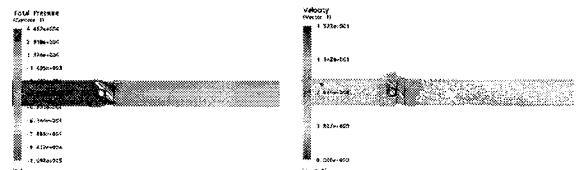
(d) 60°



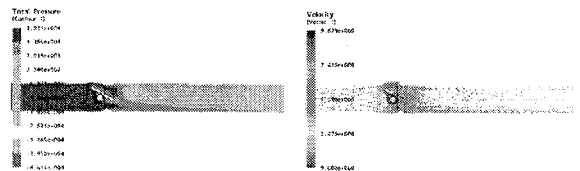
(a) 15°



(b) 30°



(c) 45°



(d) 60°

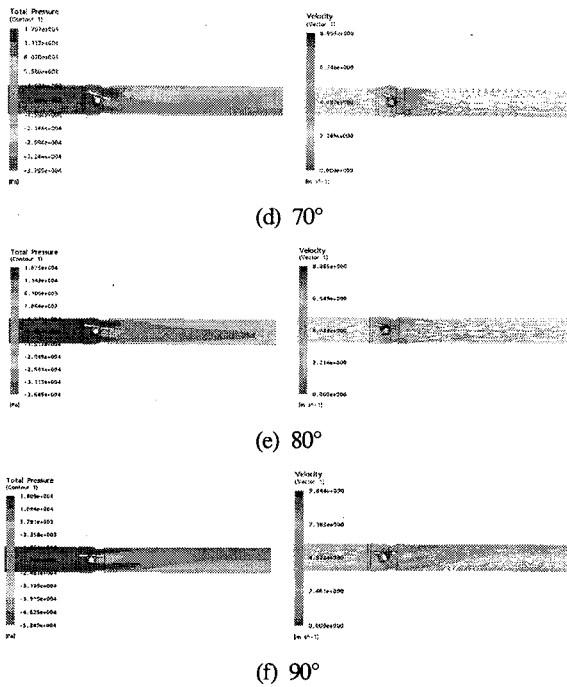


Fig. 4 Pressure contours at seven different valve opening degree of Double Eccentric Type

Table 2 Pressure drops at seven different 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. 결과 및 고찰

상용프로그램인 ANSYS CFX 10.0을 이용하여 밸브와 배관 내에서 이루어지는 복잡한 유동 현상을 나타내었고, 유동 특성들에 대한 예측의 정확성을 확인하였다. 유동 해석을 통해 얻은 압력 분포에서 입구쪽 압력은 밸브에서 밸브 직경의 2배만큼 떨어진 위치에서 측정하였고, 출구쪽 압력은 밸브에서 밸브 직경의 6배만큼 떨어진 위치에서 측정하여 그 차(ΔP)를 얻었다.(5) 그리고 유량(Q)는 배관의 단면적과 유속으로부터 계산할 수 있다. 작동 유체인 물의 비중(S_g)을 1이므로 위에서 얻은 값을 식 (2)에 적용하면 Cv치를 계산할 수 있다.

Butterfly Valve 200A의 Concentric Type과 Double Eccentric Type의 Cv치를 구했다. 그리고 식 (1)을 이용하여 Butterfly Valve 200A의 JWWA 규격에 의한 Cv치를 계산하여 비교해 보았다.

Fig. 5에 나타난 것과 같이 Butterfly Valve 200A의 Concentric Type에 대한 Cv치 계산결과는 밸브의 열림 각도가 커질수록 Cv치가 증가하였다. 이때 Cv치의 최대값은 밸브의 열림 각도 90°에서 발생하였다. Fig. 6에 나타난 Butterfly Valve 200A의 Double Eccentric Type에 대한 Cv치 계산결과는 밸브의 열림 각도 60°부터는 증가폭이 감소하고, Cv치가 일정해지는 경향이 나타났다. 이때 Cv치의 최대값은 밸브의 열림 각도 80°에서 발생하였다. 마지막으로 Fig. 7은 위의 두 가지 경우를 JWWA 규격과 비교하여 나타내었다. 그 결과 JWWA 규격의 계산식을 이용하여 Cv치를 계산 경우와 유동 해석을 통하여 계산해 본 Butterfly Valve 200A의 Concentric Type과 Double Eccentric Type의 Cv치에는 차이가 있었다. 그러므로 밸브를 설계할 때 밸브의 Type을 고려하지 않고, JWWA 규격의 Cv치를 계산식을 적용하여 모든 밸브의 Cv치 결과를 예측한다는 것은 무리가 있다.

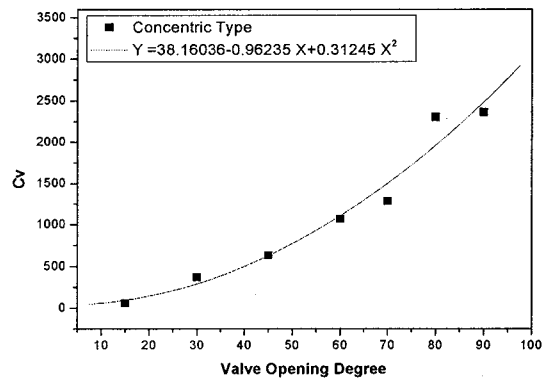


Fig. 5 Cv of Concentric Type Butterfly Valve 200A

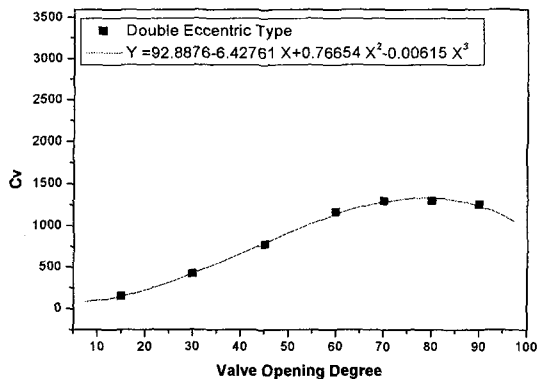


Fig. 6 Cv of Double Eccentric Type Butterfly Valve 200A

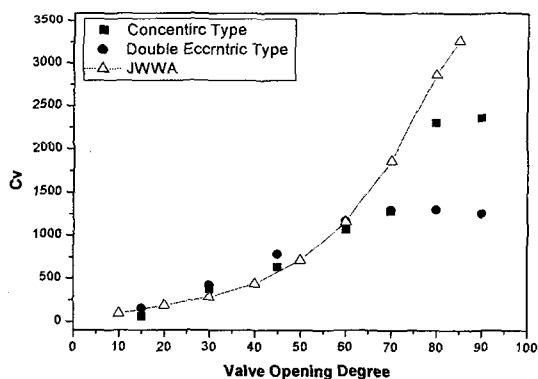


Fig. 7 Comparison to Cv of Three Type

5. 결 론

밸브의 Type과 밸브의 열림 각도가 밸브의 크기와 배관 조직을 예측하는데 사용되는 유량 계수(Cv)에 어떤 영향을 미치는지 확인하기 위하여 Butterfly Valve 200A의 Concentric Type과 Double Eccentric Type에 대하여 밸브의 열림 각도를 7단계로 나누어 유동해석을 실시하여 Cv치를 계산하였다. 그리고 그 결과를 현재 밸브 제조업체에서 사용 중인 JWWA 규격의 Cv치 계산 결과와 비교해 본 결과는 다음과 같다.

1. 밸브의 크기와 배관 조직을 예측할 수 있는 유량 계수(Cv)는 밸브의 크기가 같고, 사용 환경이 동일하더라도 밸브의 Type에 따라 영향을 받는다.

2. Concentric Type Butterfly Valve 200A 의 경우 밸브의 열림 각도가 증가할수록 유량 계수(Cv)도 같이 증가하는 경향이 나타났고, 밸브 열림 각도 90°에서 최대값이 나타났다.

3. Double Eccentric Type Butterfly Valve 200A의 경우 밸브 열림 각도 80°까지는 유량 계수(Cv)가 증가하였으나 그 이후에는 감소하는 경향이 나타났고, 최대값은 밸브 열림 각도 80°에서 나타났다.

4. 현장에서 모든 밸브에 동일하게 사용하고 있는 JWWA 규격의 유량 계수(Cv) 계산식을 이용하여 유량 계수(Cv)를 계산한 결과와 Butterfly Valve 200A의 Concentric Type과 Double Eccentric Type을 유동 해석을 통하여 유량계수(Cv)를 구한 경우를 비교해보았다. 그 결과 밸브의 Type에 따라 유량 계수의 값이 달라지므로 모든 밸브에 동일하게 유량 계수(Cv)의 식을 적용하는 것은 무리가 있고, 밸브의 Type에 따라 달리 적용해야 한다.

후 기

후기는 필요시 작성하실 수 있습니다(외부 지원으로 간주)

참 고 문 헌

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