한국동력기계공학회지 제23권 제3호 pp. 57-64 2019년 6월 ISSN 1226-7813(Print) ISSN 2384-1354(Online)
Journal of the Korean Society for Power System Engineering http://dx.doi.org/10.9726/kspse.2019.23.3.057
Vol. 23, No. 3, pp. 57-64, June 2019

수치해석을 통한 배플이 추가된 버터플라이 밸브의 성능 예측
Numerical Analysis for Performance Prediction of Butterfly Valves with Baffles

오승준* · 윤정환* · 이재훈** · 김시범**†
Seung-Jun Oh*, Jeong-Hwan Yoon*, Jae-Hoon Lee** and Si-Pom Kim**†

(Received 09 April 2019, Revision received 10 June 2019, Accepted 10 June 2019)

Abstract: In the industries, pipelines are used and various kinds of valves are applied for the purpose of use and for controlling flow rates according to pressure and velocity, which are the physical properties of internal fluids. Glove valves, which are commonly used in the industries for opening and closing of piping and precision flow control, are subject to technical and economic limitations due to complex internal flow path geometry and consequent structural instability. On the other hand, butterfly valves have advantages such as low weight and low manufacturing costs, but it is difficult to control flow at 60° or higher. Therefore, in this study, the performance of the valve was assessed by analyzing the flow coefficient of the glove valve and the butterfly valve of the same diameter, and the performance with the glove valve of the same diameter was compared by adding one-half baffle to the rear end of the butterfly valve. For butterfly valves with baffles added, flow control similar to glove valves has been verified.

Key Words : Baffles, Butterfly Valve, Numerical Analysis, Flow Coefficient, Pressure Distribution

— 기 호 설 명 —

C_v : 유량계수
P : 압력 [Pa]

그리스 문자

ρ : 밀도 [kg/m^3]

1. 서 론

산업 분야에는 파이프라인이 사용되어지며 사용 목적 및 내부 유체의 물리적 특성인 압력, 속도에 따른 유량 제어를 위해 다양한 종류의 밸브가 적용되고 있다. 밸브는 파이프계의 유체흐름을 각각의 프로세스에서 요구하는 유체의 물리적 조

**† 김시범(https://orcid.org/0000-0002-8077-6882) : 교수, 동아대학교 기계공학과
E-mail : spkim@dau.ac.kr, Tel : 051-200-7646
*오승준(https://orcid.org/0000-0001-9629-5656) : 대학원생, 동아대학교 기계공학과
*윤정환(https://orcid.org/0000-0001-9539-4169) : 대학원생, 동아대학교 기계공학과
**이재훈(https://orcid.org/0000-0003-3094-4953) : 조교수, 동아대학교 기계공학과

**† Si-Pom Kim(https://orcid.org/0000-0002-8077-6882) : Professor, Department of Mechanical Engineering, Dong-A University.
E-mail : spkim@dau.ac.kr, Tel : 051-200-7646
**Jae-Hoon Lee(https://orcid.org/0000-0001-9629-5656) : Assistant professor, Department of Mechanical Engineering, Dong-a University.
*Seung-Jun Oh(https://orcid.org/0000-0001-9539-4169) : Graduate student, Department of Mechanical Engineering, Dong-A University.
*Jeong-Hwan Yoon(https://orcid.org/0000-0003-3094-4953) : Graduate student, Department of Mechanical Engineering, Dong-A University.

건과 양에 적합하도록 각 제어단계의 마지막 단계에서 유체의 흐름을 제어하는 가장 일반적이고 중요한 제어요소이다[1]. 밸브의 종류에는 글로브 밸브(Globe vavle), 볼 밸브(Ball valve) 및 버터플라이 밸브(Butterfly valve) 등이 있으며 송유관 및 LNG 선박 등의 유체제어에 사용되어지고 있다.

볼 밸브는 볼의 회전으로 배관 내 유동흐름을 제어하며 단순한 형상으로 유지보수 및 제작이 용이한 장점으로 가스배관 등의 유량조절 밸브 등으로 사용되어지고 있다[2]. 하지만 볼과 바디 사이의 정체 유체에 따른 문제점, 시트의 부식 등의 단점이 있다. 산업분야에서 배관의 개폐와 정밀 유량제어에 보편적으로 사용되어지고 있는 밸브는 글로브 밸브이다[3]. Seat나 Disc의 손상을 최소화하고 유량을 미세하게 조절 할수 있는 등의 장점이 있지만 글로브 밸브는 내부 유로 형상이 복잡하고 이에 따른 압력손실이 크고 와류현상 및 구조적 불안정으로 인하여 밸브 크기는 기술적 및 경제적으로 제한을 받는다[4].

버터플라이 밸브는 디스크의 90° 회전(1/4 회전, Quarter turn)으로 밸브개폐가 이루어지는 회전밸브(Rotary valve)로써 배관에 결합될 때 타 종류의 밸브에 비해 면간거리(Face to face dimensions)[5]가 짧고 중량이 적은 장점[6]과 낮은 제조비용, 높은 구조적 안전성, 설치 및 작동 용이성으로 인해 산업분야에서 널리 사용되어지고 있다. 따라서 버터플라이 밸브에 대한 케비테이션 연구[7]와 얇은 디스크 두께에 따라 유로 단면적의 변화량이 급격하게 증가하는 문제에 대한 연구[8]가 보고되고 있다. 하지만 버터플라이 밸브의 경우 개도 60° 이상에서 유량제어가 어려운 등의 문제점이 있다.

따라서 본 연구의 목적은 경제적 측면에서 유리한 버터플라이 밸브에 배플을 추가하여 물리적 단점을 보완하고 이를 글로브 밸브가 적용되고 있는 산업 현장에 대체하고자 하는 경우 기초 자료를 제공하자고 한다. 수치해석에는 ANSYS v.18.1 CFX를 사용하여 동일 직경 크기의 글로브 밸브, 버터플라이 밸브의 유량계수 분석을 통해 밸브의 성능을 평가하고 버터플라이 밸브 후단측에 1/2 배플을 추가하여 유동 안정화 및 동일 직경의 글로브 밸브와의 성능을 비교하였다.

2. 수치해석 방법

본 연구에서 글로브 및 버터플라이 밸브의 수치해석을 위하여 유한체적법(Finite volume method) 기반 상용 CFD(Computational fluid dynamics) 프로그램인 ANSYS CFX 18.1을 사용하여 해석을 진행하였다.

2.1 지배 방정식

유한체적법 기반 상용 CFD 프로그램 ANSYS 18.1 CFX에서 수치해석의 지배 방정식은 다음과 같다[9].

- 연속 방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) = 0 \tag{1}$$

- Reynolds Averaged Navier-Stokes(RANS) equations

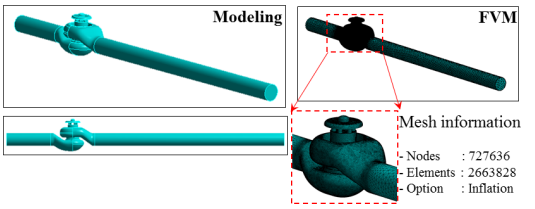
$$\frac{\partial \rho U}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \times U) = -\nabla p + (\tau - \rho \overline{u \times u}) + S$$

$$\tau - \rho \overline{u \times u} \tag{2}$$

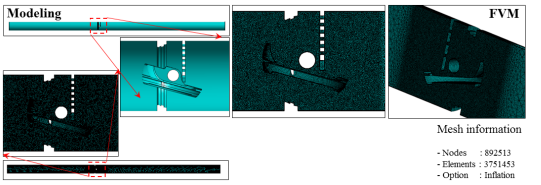
여기서 r는 밀도, t는 분자 응력 텐서(molecular stress tensor), t는 시간, U는 속도, u는 시간에 따르는 속도 그리고 S는 상수이다. 식의 $\tau - \rho \overline{u \times u}$는 레이놀즈 흐름률을 의미한다.

2.2 형상 및 격자

밸브의 유동해석을 위해 3D 모델링을 실시하였고 글로브 밸브, 버터플라이 밸브 및 배플이 추가된 버터플라이 밸브에 대해 유한체적모델을 생성하였다. 해석의 정밀도를 높이기 위해 개폐 장치가 있는 영역의 부분을 slice로 분할하여 상대적으로 그 외의 영역보다 조밀한 격자를 생성하였다. 또한 벽면 근처의 유동 모사를 위해 Prism 격자를 추가적으로 생성하였다. 본 해석에 사용된 유한체적 모델은 Fig. 1과 같으며, (a)는 글로브 밸브, (b)는 버터플라이 밸브이다. 자세한 유한체적모델 정보는 Table 1과 같다.



(a) Globe valve



(b) Butterfly valve

Fig. 1 Modeling and FVM model in this study

Table 1 Mesh information

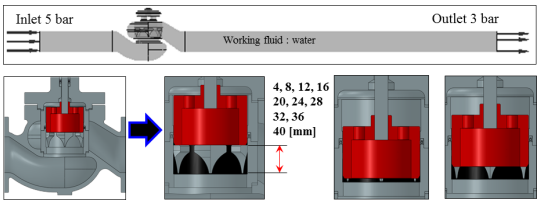
Mesh information		
Model	Globe valve	Butterfly valve
Mesh nodes	727,636	2,663,828
Mesh elements	2,551,126	3,751,453
Mesh option	Inflation, Sphere of influence	

Table 2 Material properties of working fluid

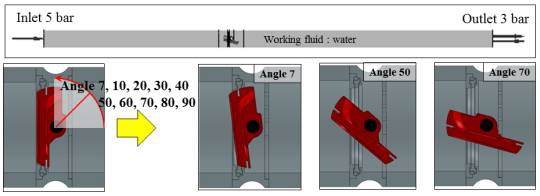
Water	
Density kg/m^3	998.2
Specific heat J/kgK	4.182
Thermal Conductivity W/mK	0.6
Viscosity kg/ms	0.001003

2.3 경계조건 및 변수

밸브의 수치해석을 위해 입·출구 압력의 차압이 작용하여 작동유체의 유동이 가능하게 하였으며 입구측 압력은 5bar, 출구측은 3bar로 글로브 밸브와 버터플라이 밸브의 입·출구 경계조건을 동일하게 설정하였다. 밸브의 개폐크기는 글로브 밸브의 경우 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36 및 40 mm이며, 글로브 밸브의 경우 최초 개폐가 이루어지는 7, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 및 90°로 Fig. 2와 같이 설정하였다. 또한 작동유체는 물이며 난류 모델은 벽면에서 수렴성이 높은 Shear Stress Transport 설정하였다. 자세한 물성치 및 경계 조건은 Table 2, 3과 같다.



(a) Globe valve



(b) Butterfly valve

Fig. 2 Opening sizes of globe and butterfly valve

Table 3 boundary conditions of simulation

Type of fluid	Water at 20°C
Inlet pressure	5 bar
Outlet pressure	3 bar
Turbulent model	Shear Stress Transport
Initial condition	Velocity
	Ux=Uy+Uz= 0 m/s

2.4 유량계수

유량계수 Cv는 밸브 특정 개도에서 온도 60 °F인 물이 압력손실 1l b_f/inch^{2}이 발생 시에 통과하는 유량 gallon(U.S)/min을 나타내며, 모델의 설계 검증을 위하여 비율특성(Equal Percentage) 곡선의 형태가 나타나는지 확인하기 위하여 다음 식 (3)과 같이 유량계수를 산출하였다.

$$C_v = Q\left(\frac{\triangle P_0}{\triangle P} \times \frac{\rho}{\rho_0}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

여기서,

Q : 유량(U.S) (gal/min)

$\triangle P_0$: 기준 차압(1 $lb_f/inch^2$)

$\triangle P$: 밸브에서 차압(1 $lb_f/inch^2$)

ρ_0 : 기준액체밀도(62.4 $lb_f/inch^3$)

ρ : 액체밀도 (lb_f/ft^3)

C_v : 유량계수

유량계수(Cv)값을 계산하기 위해 ANSI/ISA 규정에 따라 밸브전단 부의 배관 직경 2배인 2D, 후단 6D의 위치에서 압력을 Fig. 3과 같이 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 압력 및 속도분포

글로브, 버터플라이 및 배플이 추가된 버터플라이 밸브에 대해 개폐 크기 및 각도에 대한 수치해석을 실시하였다. Fig. 4는 개폐경사각도가 10° 및 50°일 경우에 대한 각각의 압력 분포 및 속도 분포를 나타낸다. 여기서 글로브 밸브의 경우는 개폐비를 각도로 환산하여 4 mm 및 24 mm로 선정하였다. 밸브 각각에서 밸브 내부의 압력분포는 밸브의 개폐 크기에 관계없이 관 입구를 통하여 들어오는 유체와 디스크가 접촉는 지점과 배플 전면에서 최대압력이 발생하고 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 속도의 경우 개폐 크기에 디스크 사이의 유로가 줄어들어 평균 유속이 증가하는 것을 확인하였다.

3.2 유량계수

본 연구에서 기존 글로브 밸브의 유량 특성을 모사하는 버터플라이 밸브의 성능 파악을 위해 유량계수를 계산하였다. Fig. 5 (a)는 배플이 없는 버터플라이 밸브의 유량계수 데이터로써 일반적인 버터플라이 유량특성인 밸브 개도의 자승에 비례하는 Parabolic 특성[10]을 확인할 수 있다.

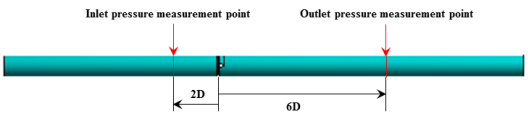
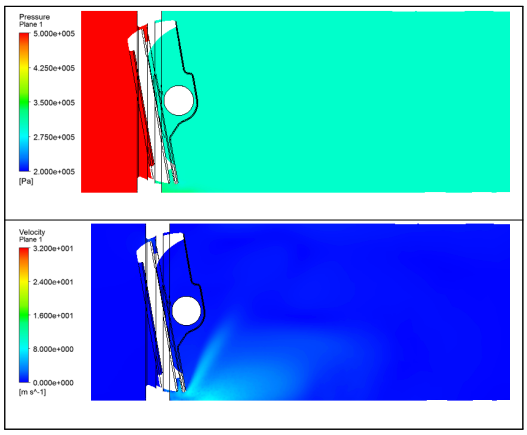
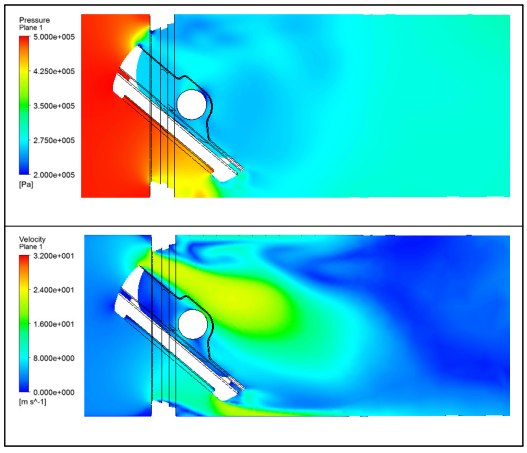


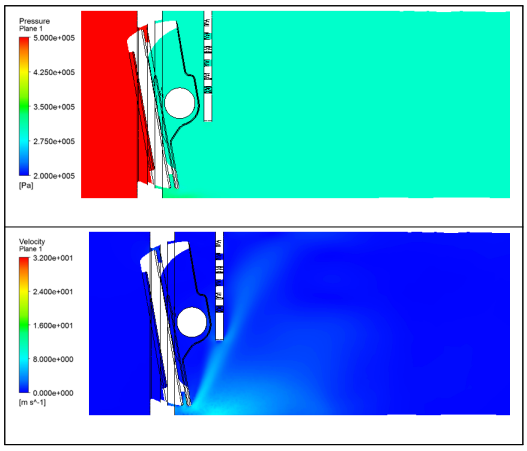
Fig. 3 Pressure measurement point



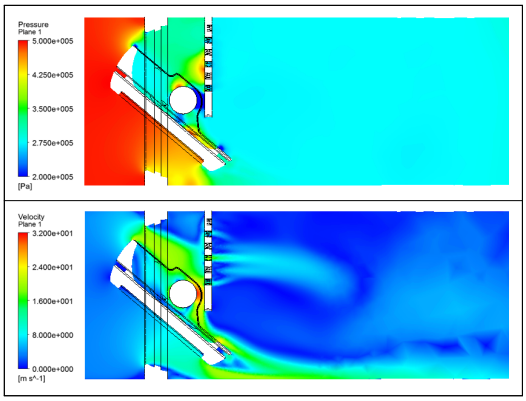
(a) Butterfly valve without baffles(10o)



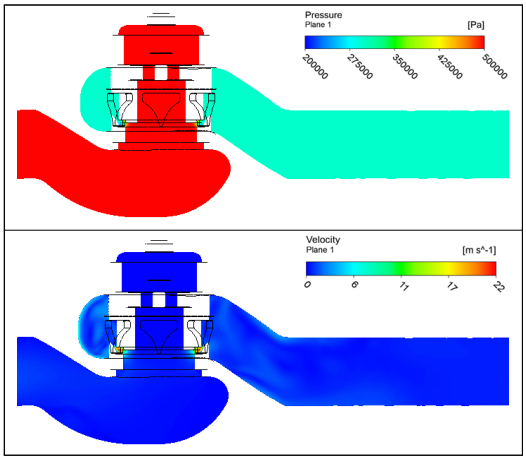
(b) Butterfly valve without baffles(50°)



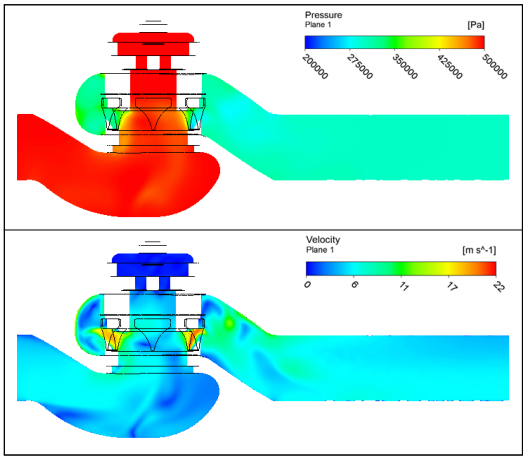
(c) Butterfly valve with baffles(10°)



(d) Butterfly valve with baffles(50°)

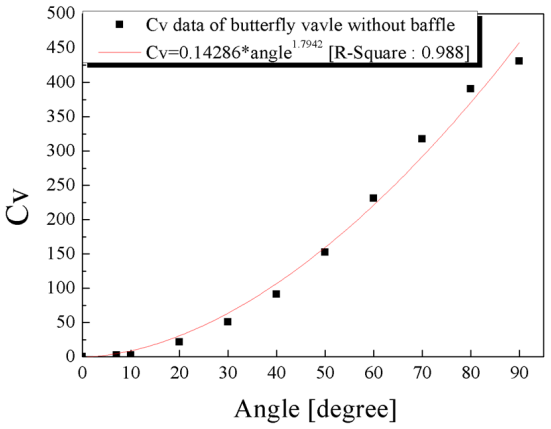


(e) Globe valve (4mm)

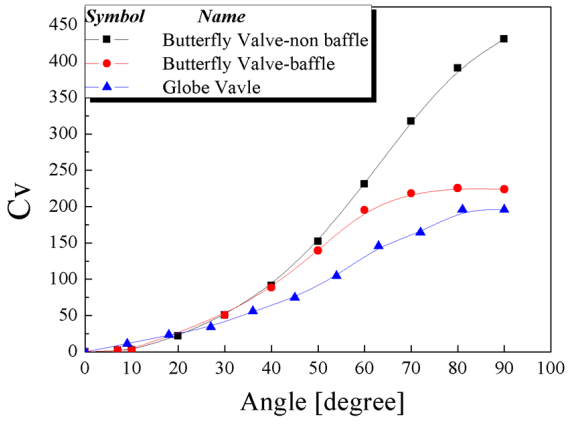


(f) Globe valve (24mm)

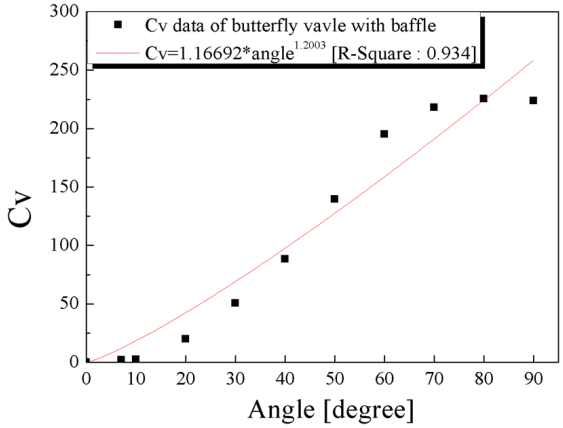
Fig. 4 Results of numerical analysis



(a) Flow coefficient of butterfly without baffles



(b) Flow coefficient of butterfly and globe valve



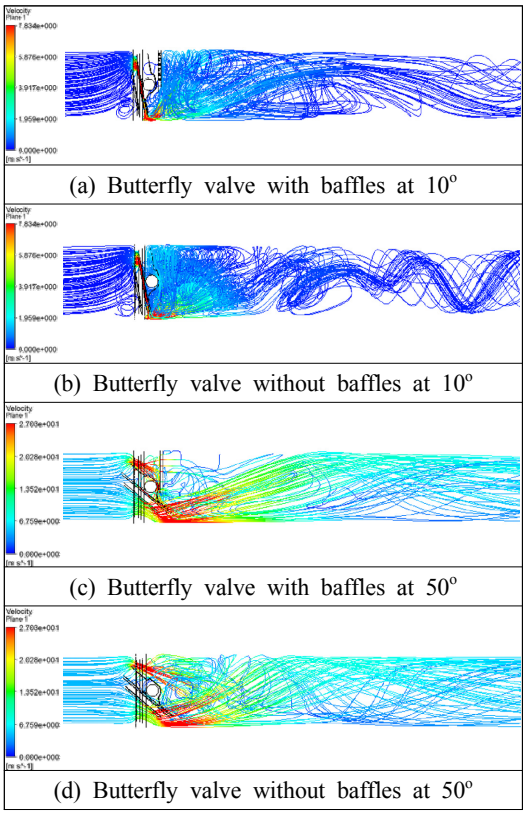
(c) Flow coefficient of butterfly with baffles

Fig. 5 Flow coefficients of valve

이는 버터플라이 밸브의 단점인 60° 이상의 개폐 각도에서 유량이 기하급수적으로 증가하는 현상과 동일하다. 글로브 밸브의 유량계수 결과는 (b)와 같으며 버터플라이 밸브와 비교하여 상대적으로 우수한 유량제어가 가능한 것을 확인할 수 있다. 배플이 추가된 버터플라이의 유량계수는 (c)와 같으며 그래프와 같이 유량계수의 근사 곡선의 계수가 글로브 밸브와 유사한 것을 확인할 수 있었다. 이러한 해석 결과를 바탕으로 배플을 추가하여 기존의 버터플라이 밸브를 글로브 밸브와 성능이 유사하게 설계할 수 있었다.

3.3 유동 안정화

버터플라이 밸브는 저 개도 작동 중에 유체 와류현상에 의한 밸브의 비정상 유동이 문제가 된다. 따라서 배플 유·무에 따른 유동 안정화를 해석 결과를 통해 분석하였다.



(a) Butterfly valve with baffles at 10°

(b) Butterfly valve without baffles at 10°

(c) Butterfly valve with baffles at 50°

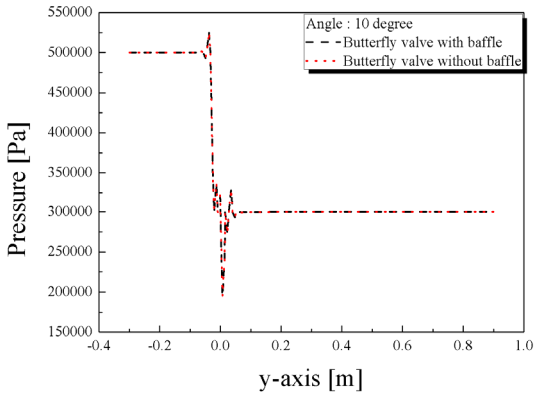
(d) Butterfly valve without baffles at 50°

Fig. 6 Path line distribution of butterfly valve

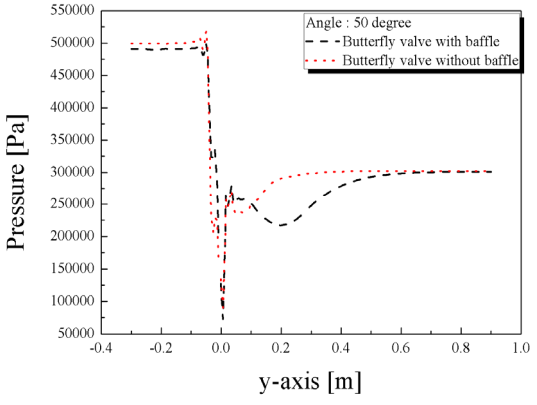
Fig. 6은 각각의 버터플라이 밸브에서 10 및 50°에서의 유선을 나타난다. 그림과 같이 배플이 추가됨에 따라 밸브 후류부의 유동 안정화를 확인할 수 있다. 이러한 결과는 배플을 통과하는 유체의 일정한 흐름에 따른 것이라 판단된다.

3.4 압력 강하

Fig. 7은 2D≤Y≤6D 사이의 압력 분포를 나타낸다. (a)는 개폐각 10°에서의 데이터이며, 개폐각이 적은 경우는 압력강하의 차이의 상대적인 값은 작은 것을 확인할 수 있다. 개폐각이 상대적으로 작은 경우 배플이 위치하고 있는 상부쪽으로의 유동이 적어 차이가 미미한 것으로 판단된다.



(a) Opening angle 10°



(b) Opening angle 50°

Fig. 7 Pressure distributions at section 2D≤Y≤6D

하지만 (b) 개폐각이 50°인 경우 상·하부의 유로가 확대됨에 따라 유동의 차이를 보이며 압력 강하로 인한 압력 회복 구간이 배플이 없는 버터플라이 밸브보다 배플이 있는 밸브에서 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 배플의 유동 방해에 따른 결과라 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 배플이 추가된 버터플라이 밸브의 유량 성능 평가를 위해 동일 직경 배관에 사용되어지는 배플이 없는 버터플라이 밸브와 글로브 밸브와의 수치해석 결과를 비교 분석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1) 배플이 없는 버터플라이 밸브의 유량계수 수치해석 결과는 버터플라이 밸브 디스크의 개폐 각에 따라 약 1.8승에 비례하여 증가하는 결과를 확인하였다. 이는 버터플라이 밸브 특성인 밸브 개도의 자승에 비례하는 Parabolic 특성과 유사하다.

2) 버터플라이 밸브의 저 개도 작동에서 유체 와류현상에 의한 밸브의 비정상 유동문제를 배플 추가에 따라 유동 안정화가 가능하였다.

3) 압력강하 등의 추가적인 보완을 위해 배플 홀의 개수 및 홀 크기의 영향에 따른 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

이상의 결과를 통하여 볼 때, 버터플라이 밸브에 배플을 추가하면 글로브 밸브와 유사한 경향의 유량제어가 가능하고 기존 버터플라이 밸브의 단점인 유동 불안정 현상을 억제할 수 있을 거라 판단된다.

후 기

이 논문은 2019년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (P0002092, 2019년 산업전문인력역량강화사업).

Author contributions

S. J. Oh; Data curation., Investigation, Writingoriginal draft, Numerical analysis. J. H. Yoon; Supervision, Validation, Visualization, Numerical analysis. J. H. Lee; Project administration. S. P. Kim; Supervision, Conceptualization, Project administration, Writing-review & editing.

References

1. G. C. Lee, H. E. Kim, D. S. Jung and J. H. Kim, 2012, "A Study of Development and Improvement for Butterfly Valve Performance & Life Test Equipment", The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 15, No. 2, pp. 51-56. (DOI:10.5293/kfma..2012.15.2.051)
2. S. M. Lee and C. M. Jang, 2015, "Flow Analysis inside the Ball Valve using Numerical Analysis and Performance Test Device", The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea, pp. 940-943.
3. S. H. Lee, G. A. Kang, J. S. Kwak, J. E. An, D. H. Jin and B. T. Kim, 2016, "New Seat Design and Finite Element Analysis for Anti-Leakage of Globe Valve", Trans. Korean Soc. Mech. Eng.B, Vol. 40, No. 1, pp. 81-86. (DOI:10.3795/KSME-A.2016.40.1.08)
4. J. W. Choi, S. H. Park and K. H. Lee, 2016, "Flow Analysis and Experimental Study of Globe Valve for Precision Control", Korea Academy Industrial Cooperation Society, Vol. 17, No. 7, pp. 734-739. (DOI:10.5762/KAIS.2016.17.7.734)
5. ISO 5752, "Metal Valve for Use in Flanged Pipe Systems-Face-to-Face and Centre-to-Face Dimensions".
6. K. M. Kwak, J. S. Cho, J, D. Kim and J. H. Lee, 2012, "A Study on Flow Coefficient and Flow Characteristics for Butterfly Valve by

Numerical Analysis", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 4, pp. 62-66. (DOI:10.6112/kscfe.2014.19.1.021)

7. S. H. Jo, H. J. Kim and K. W. Song, 2014, "A Numerical Study for Reducing Cavitation in a Butterfly Valve with a Perforated Plate", The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 17, No. 3, pp. 65-70. (DOI:10.5293/kfma.2014.17.3.065)
8. S. M. Park, H. K. Choi and G. J. Yoo, 2014, "Study on Flow Characteristics for Precision Control Butterfly Valve", Journal of Computational Fluids Engineering, Vol. 19, No. 1, pp. 21-26. (DOI:10.6112/kscfe.2014.19.1.021)
9. ANSYS, 2018, ANSYS CFX-18.1 Solver Theory, Ansys.
10. S. W. Kim, Y. D. Choi, J. H. Kim and Y. H. Lee, 2008, "Flow Characteristics of Cryogenics Butterfly Valve for LNG Carrier(Part 1 : CFD Analysis and its Comparison with Experimentation)", Journal of Fluid Machinery, Vol. 11, No. 2, pp. 13-19. (DOI:10.5293/KFMA.2008.11.2.013)