

대용량 버터플라이 밸브 후단 유동 특성

최석호* · 백민수** · 문길호**

Downstream flow characteristics of butterfly valves

Seok-Ho Choi*, Min-Su Paek**, Kil-Ho Moon**

Key Words : Butterfly valves(버터플라이 밸브), Orifice(오리피스), Vibration(진동)

ABSTRACT

In butterfly control valve, a multi-hole orifice is attached downstream of valve to stabilize flow fluctuation. The computational simulation is conducted to analyze valve flow characteristics. The results show that the velocity distribution of downstream of valve with the orifice is improved compared to non-orifice case. Test result in site is 60% reduction in vibration.

1. 서론

버터플라이 밸브는 배관 직경 250mm이상의 대용량 유체 제어에 적당한 회전 운동식 밸브의 대표적인 형식으로 구조가 간단하여 사용이 편리하다. 또한, 버터플라이 밸브는 완전히 열면 유체저항이 작고 작동속도가 빠르고, 무게가 가볍고 크기가 작아 대용량의 경제적인 장치이다. 그러나, 미세한 유량제어가 어렵고 구조상 고온, 고압에는 적당치 않은 단점이 있다.

밸브의 작동은 90°만 회전하면 완전개폐가 가능하다. 열림각이 30°~60°범위에서 선형적으로 제어되며 밸브의 열림 각도가 60°이상이 되면 유량이 기하급수적으로 증가하여 구동하는데 많은 동력이 소요된다. 열림 각도가 작은 경우에는 유체가 밸브의 좁은 부위를 통과할 때 유속이 증가하며 압력은 그만큼 감소한다. 가장 좁은 부위를 통과하는 유체는 흐르는 힘에 의하여 좁더 수축되는데 이 부위를 수축부(Vena Contracta)라 한다. 이 위치에서 유체의 단면적과 압력은 최소가 되고 유속은 최대가 되며, 이 수축부를 통과하면 압력은 다시 회복된다. 회복되는 압력은 밸브

종류에 따라 다르며, 볼밸브나 버터플라이 밸브는 압력회복이 글로브 밸브에 비하여 커서 저압부에서 플래싱(Flashing)이나 캐비테이션(Cavitation)이 발생하여 진동이나 소음을 유발하기 쉽다.

수축부의 압력이 증기압보다 낮고 회복된 압력도 유체의 증기압보다 낮으면 밸브 출구측에서 증기가 발생한다. 이와 같은 현상을 Flashing이라 하며 발생하는 증기가 액체와 혼합되어 흘러 실제유량은 상대적으로 작게되므로 이 값을 보정해야 한다.

또한, 수축부의 압력이 그 액체의 증기압보다 낮아지면 cavity라고 불리는 기포가 발생한다. 이 기포는 다시 압력이 상승함에 따라 밸브 디스크나 몸체 내벽에 부딪혀 붕괴하며, 이러한 기포의 급격한 붕괴로 인하여 발생하는 충격파등으로 주위 밸브 본체 및 배관에 기계적인 손상을 일으키는데 이를 Cavitation Erosion이라 한다. Cavitation 현상이 일어나면 소음이 심할 뿐 아니라 마모현상이 심하므로 밸브전후의 차압을 줄이거나, 차압을 줄일 수 없는 경우는 밸브 Seat주변에 다공판을 여러단계로 설치하여 각 단계별로 차압을 분산한다. 또한, 배관상에 Orifice를 설치하기도 하며, 경험적으로, Cavitation이 발생하는 배관 위치에 구멍을 뚫어 압축공기를 주입시키는 방법이 강구되기도 한다.

* 두산중공업 기술연구원

** 두산중공업 기술연구원

E-mail : mcsh@doosanheavy.com

본 연구에서는 상용 해석 프로그램인 Fluent를 이용하여 500A이상의 대형 배관에 설치된 액체용 버터플라이 밸브 전후의 유속 및 압력 분포를 simulation함으로써, 밸브 전후에서 발생할 수 있는 소음 및 진동을 줄이고자 하였다.

2. 유동해석

2.1. 해석방법

유동해석은 CFD상용 프로그램인 Fluent를 이용하였으며, 밸브 전후의 유체 유동을 해석하기 위해 다음과 같은 가정을 하였다.

- 1) 작동유체는 물(water)로 가정하였다.
- 2) 유체와 벽면간의 마찰에 의해 생기는 점성소산으로 인한 온도변화는 없다.
- 3) 정상상태의 비압축성 3차원 유동

난류유동 계산을 위하여 가장 일반적인 Standard k-ε 모델을 사용하였고, Mesh는 3각 mesh를 생성하였으며, 밸브 디스크 부근에는 조밀하게 생성하였다.

2.2. Geometry

Fig. 1은 해석을 위한 3D 형상을 나타낸 것이다. 유체는 원통형 파이프의 inlet으로 인입되고, 밸브를 통과하여 outlet으로 빠져 나간다. 밸브 디스크는 지면과 수직 방향인 회전축을 중심으로 회전되며, 유속방향과 평행하면, fully open되고, 유속방향과 직각을 이루면 close된다. 다공판 형상의 오리피스는 후단에 설치된다.

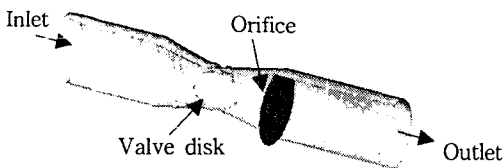


Fig. 1 Geometry of computational 3D model

Table 1 Static pressure drop of control valve

Valve size	Condition			Results
	Pressure	Open	Flowrate	압력강하(ΔP)
단위	Barg	%	kg/hr	kPa
800A	1.28	75	9,895	26.8
500A	1.28	75	4,372	38.7
500A	1.05	84	4,550	20.8

Table. 1은 조건에 따른 밸브 전후의 압력손실에 대한 전산해석 결과를 나타낸 것으로서, 밸브의 open 개도가 증가함에 따라 압력손실은 감소하는데, 75% opening주변에서는 압력강하가 약20~38kPa범위였다. 위와 같은 운전조건에서 밸브의 진동은 7.5mm/sec내외, 소음은 100dB이 계측되었다.

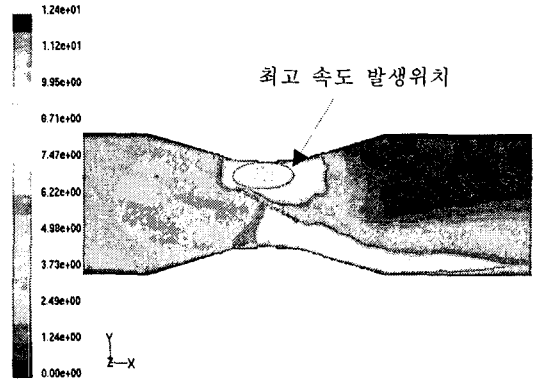


Fig. 2 Velocity contour (without orifice)

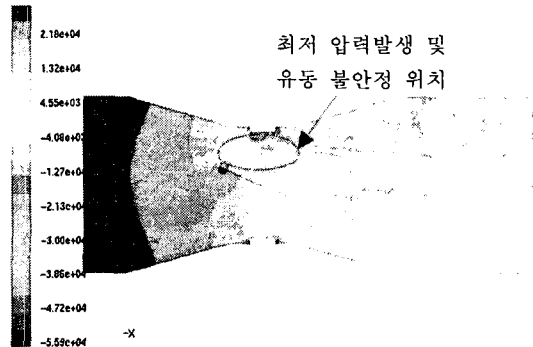


Fig. 3 Static pressure distribution (without orifice)

2.3. 해석결과

2.3.1 오리피스가 없는 경우의 전산해석

밸브 후단의 유동 특성을 알아보기 위해서 500A의 밸브가 75% open되었을 때의 유속 및 압력 분포를 Fig. 2와 Fig. 3에 나타냈다. Fig. 2에서, 밸브 디스크 끝단과 배관 내벽 사이의 좁은 영역에서 유속이 빠른 것을 알 수 있으며, 최고 10m/s(평균속도: 6.2m/s)의 속도를 보이고 있다. 특히, 앞으로 회전하는 밸브 디스크와 밸브 몸체사이에서 유속이 빠르고 압력이 낮고 압력 및 유동 분포가 균일하지 못한 것을 알 수 있다. 이러한 위치에서 유동이 불안정한 현상은 일반적으로 알려져 있는 바와 같이 밸브의 진동이나 소음의 주된

원인으로 판단된다. 이 밖에 opening이 84%로 증가한 경우에는 밸브후단의 유동이 좀더 균일해졌고, 800A, 75% opening의 경우는 Fig. 2, 3과 거의 유사한 유동 특성을 보였다. 따라서, 500A, 75% opening인 경우를 대표적인 밸브 조건으로하여 오리피스를 설치하였을 때의 유동특성을 파악하고자 하였다.

2.3.2. 오리피스가 있는 경우의 전산해석

밸브후단에서 유동이 불균일한 문제는 Fig. 4에 나타낸 오리피스(또는 다공판)를 설치함으로써 어느 정도 감소시키고자 하였다. 오리피스 Type A는 plate에 여러 개의 hole을 균일하게 뚫은 일반적인 형상이고, 오리피스 Type B는 hole을 부분적으로 배치한 것이다. 각각의 공극률은 40%이고, Type B의 높이 h는 파이프 배관 반경의 0.625배로 설정하였다.

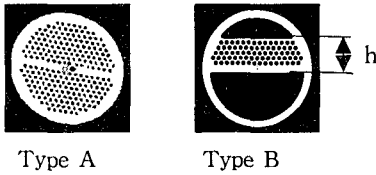


Fig. 4 Multi-hole orifice

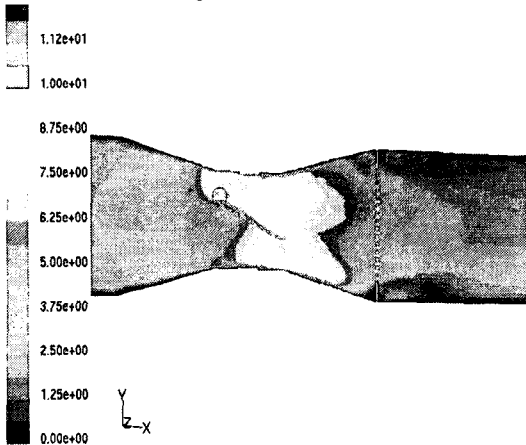


Fig. 5 Velocity contour with orifice type A

Fig. 5는 오리피스 A를 밸브 후단에 설치했을 때의 유동분포를 나타낸 것이다. 밸브 디스크의 양끝단과 내부 벽면사이에서 집중된 유동분포는 오리피스를 설치함으로써 밸브 후단의 유동분포가 일부 균일하게 개선되었음을 알 수 있다. 특히, 하부의 밸브 디스크와 벽면사이의 유동이 회복되었음을 알 수 있다.

그러나, 밸브 디스크 상부의 유동은 오리피스가 없는 경우에 비해 변화가 없는 것으로 판단되었다.

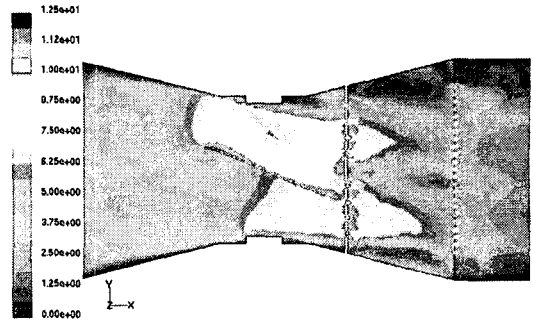


Fig. 6 Velocity contour with 2 orifices of type A

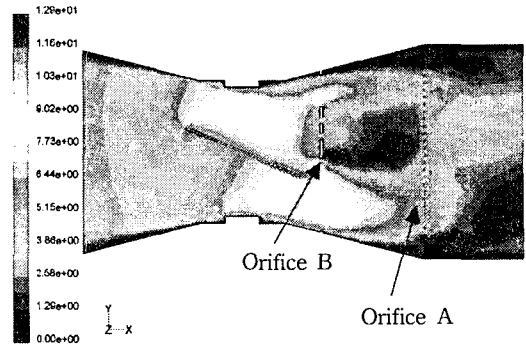


Fig. 7 Velocity contour with 2 orifices of type A



(a) 2 orifices of type A (b) 2 orifices of type A and B
Fig. 8 Comparison of high velocity(8.9m/s) contour as orifice type.

Fig. 6은 오리피스 A를 2개 설치했을 때의 속도분포를 나타낸 것이다. 오리피스 A 1개를 설치했을 때에 비해 유속분포가 크게 개선되지 않았다. 밸브 디스크 하부의 유량이 감소하고, 상부쪽은 유량이 증가하였으므로 유동이 좀더 불균일해진 것으로 판단된다.

Fig. 7은 오리피스 A와 B를 설치했을 때의 유동 분포를 나타낸 것이다. 오리피스 B 형상은 밸브 디스크 상부의 유동에 대해 유동 저항을 발생시키도록 설계하였다. 해석결과, 유동이 하부로 많이 배분되었음을 알 수 있고, 오리피스 형상 B의 유동 저항이 있는 부분 후단에서는 유속이 작고, 와류가 발생하였다. 따라서, 오리피스 형상 B에 대한 설계는 밸브 디스크 상부의

유동 안정화와 오리피스 후단의 유동 특성을 고려해야 함을 알 수 있다.

Fig. 8은 오리피스 형상에 따른 8~9m/s 범위의 속도 분포를 표시한 것이다. B type 오리피스를 설치함으로써 밸브 디스크 상부, 하부로 각각 유량배분이 가능하고 밸브 디스크 상부의 유동이 영향을 크게 받을 수 있다. 실제 운전되고 있는 plant에는 밸브 flange 크기에 알맞게 B type 오리피스를 재설계하여 밸브의 후단 flange에 끼워 넣는 방법으로 설치한 결과, 진동이 3mm/sec로서 60% 감소하였다.

3. 결론

버터플라이 밸브는 구조가 간단하지만 통과유량이 클 경우는 유동의 앞쪽으로 회전하는 밸브 디스크의 후면에서의 유동이 불균일하여 밸브의 진동과 소음의 원인으로 파악되었다. 여기서는 밸브 후단의 유동을 안정화시키기 위해서 오리피스(또는 다공판)를 사용하였는데, 유동이 가장 불균일한 위치에 유동저항이 크면서, 유동을 균일화시키도록 형상을 만들었다. 전산해석 결과, 밸브 후단의 유동이 안정화될 수 있음을 알 수 있었으며, 실제 site에 설치한 결과, 진동이 60% 감소하였다.

복잡한 플랜트 배관 설계시 소요되는 버터 플라이 밸브는 수량이 많아서 size 선정이 전체 시스템에 주는 영향이 크다. 따라서, 여기서 제안된 형상의 오리피스(또는 다공판)를 설치함으로써 효과적으로 밸브 크기 선택할 수 있고, 밸브 수명에 대한 안전성도 높아질 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) Hirt, F. ; Iten, R. ; Ziada, S., 1997, "Flow-Induced Oscillations of a Butterfly-Valve: Prediction of the Frequency Behaviour", ASME -PUBLICATIONS- AD, v.53 no.2, pp.499-506
- (2) Moussou, P. ; Cambier, S. ; Lachene, D. ; Longarini, S. ; Paulhiac, L. ; Villouvier, V., 2001, "Vibration Investigation of a French PWR Power Plant Piping System Caused by Cavitating Butterfly Valves." ASME -PUBLICATIONS- PVP, v.420 no.2, pp.99-106
- (3) Ogawa, K. 2002, "Cavitation Phenomena (Phenomena around a Butterfly Valve and Recent Research", JAPANESE JOURNAL OF MULTIPHASE FLOW, v.16 no.2, pp.110-119