

# 플러그 형상에 따른 글로브 밸브의 동특성 평가

고 성 호<sup>\*1</sup>, 박 세 일<sup>\*2</sup>, 양 상 민<sup>\*3</sup>

## Evaluation of Dynamic Characteristic of a Globe Valve with Various Plug Types

S. H. Ko, S. Park and S. M. Yang

A three dimensional numerical analysis and experimental measurements were made for incompressible flows in a globe valve with three different types of plug. Characteristics of pressure drop across the valve were investigated for each type of plug at various opening positions. Numerical simulation results show a good agreement with experimental data.

**Key Words:** 전산유체역학(CFD), 글로브 밸브(Globe Valve), 플러그(Plug),

### 1. 서 론

원자력 발전소 등 산업체에서는 유량을 효율적으로 제어하기 위해서 여러 종류의 유량제어 밸브들이 사용되고 있다. 밸브는 배관 내를 흐르는 유체의 유량이나 방향, 압력, 온도 등을 제어하는 유체 기계로서 기본적으로는 개폐, 교축, 역지, 과압방지 등의 기능을 수행한다.[1] 특히 고차압 제어용 밸브는 교축점에서의 교축 기능을 이용하는 밸브로서 높은 차압 상태 하에서 운전해야 하는 밸브로 주로 글로브 밸브가 이용된다.

버터플라이 밸브에 관한 3차원 유동장 해석[2], [3]은 많이 이루어진 반면 글로브 밸브는 흔히 사용되면서도 유체가 흐르는 내부 유로의 형상이 매우 복잡하기 때문에 밸브를 통과하면서 발생하는 압력 강하를 미리 예측하는 것이 매우 어렵다. 밸브 내부

에서 형성되는 유동도 밸브 내부의 형상과 개도율에 따라 상당히 복잡하고 다양한 양상을 보임으로써 밸브 내부의 유동에 관한 해석에 어려움이 있다. 이러한 이유로 글로브 밸브에 대한 해석은 찾아보기 힘들다. 윤용준[4]등이 유동을 제어하기 위해 트림을 장착한 글로브 밸브에 대하여 개도에 따른 3차원 유동장 및 캐비테이션 발생을 해석하였다.

본 연구에서는 범용 열유체 해석 프로그램인 SC/Tetra를 이용하여 플러그 형상에 따른 글로브 밸브의 유동장 해석을 수행하여 압력강하 및 유동특성을 알아보고, 이로부터 얻어진 해석결과의 타당성을 검증하기 위해 유체유동 실험을 수행하고 이를 해석결과와 비교 검토하였다.

### 2. 연구방법

본 연구의 해석에 사용된 밸브 개략도는 Fig. 1과 같다. 2인치 글로브 밸브로 스템의 이동거리는 상하 25mm, 시트 지름은 50.5mm이다. 스템 이동길이 25mm를 100%로 놓고 25%, 50%, 75%, 100%의 개도율을 등비(equal %), 급개(quick open), 선형(linear)플러그에 적용하여 밸브의 개도에 따른 압력강하 및 유동특성을 알아보고자 한다.

\*1 정회원, 충남대학교 기계설계공학과

\*2 학생회원, 충남대학교 기계설계공학과 대학원

\*3 정회원, (주)한빛과워서비스

\*E-mail : \*1 [sunghoko@cnu.ac.kr](mailto:sunghoko@cnu.ac.kr), \*2 [tpdl98@hanmail.net](mailto:tpdl98@hanmail.net)

\*3 [s\\_smyang@cnu.ac.kr](mailto:s_smyang@cnu.ac.kr)

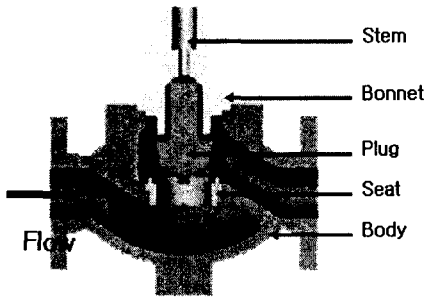


Fig. 1 Schematic diagram of a globe valve

2.1 수치해석 방법

밸브에서의 유동의 지배방정식으로는 RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) 방정식, 난류모델로는  $k-\epsilon$  모델을 사용하였다.

유한체적법(FVM : Finite Volume Method)을 사용하여 차분한 검사체적에 대한 지배방정식의 차분방정식을 범용 열유체해석 프로그램인 SC/Tetra를 사용하여 해를 구하였다.

밸브의 중심단면에서 밸브의 플러그와 관이 서로 대칭이므로 이 대칭면을 기준으로 형상의 반을 해석하였다. SC/Tetra 전처리 모듈을 이용하여 비정렬 격자를 생성하고 유동과 압력의 변화가 큰 플러그 부분에 격자를 집중하였다. Fig. 2는 개도가 25%일 때 계산 영역에 대한 격자의 형태를 나타낸다. 개도가 50%, 70%, 그리고 100%일 때도 이와 동일한 방법으로 격자를 생성한다. 각각의 격자수는 약 100만 개 이다.

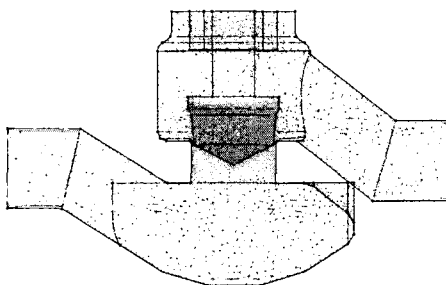


Fig. 2 Unstructured grid at the center plane of the globe valve

입구 경계조건은 실험에 사용된 2인치 글로브 밸브의 개도에 따른 질량유량 조건을 유속으로 바꾸어 사용하였다. 출구에서는 균일한 대기압을 경계조건으로 하였으며 벽면에는 점착조건을 부여하였다. 실험 조건과 동일하게 작동유체인 물의 상태량은 상온에서의 값으로 설정하였다.

2.2 실험측정 방법

밸브의 실험설비는 유체 유동부, 밸브 구동부, 제어부로 구성되어 있으며 유체 유동부는 펌프, 배관, 유체 탱크로 구성되어 있으며 밸브 구동부는 제어용 공기 공급을 위한 압축기와 솔레노이드 밸브 그리고 제어밸브로 구성되어 있다. 제어부는 유체의 압력 및 유량을 획득하기 위한 압력센서와 유량센서, 구동밸브의 공기압력을 측정하기 위한 공압센서 및 밸브의 개도를 측정하기 위한 LVDT 센서와 신호 획득을 위한 DAQ 장비를 구성하여 밸브 개도에 따른 유체 압력과 유량, 구동부의 공기압력과 스템의 이동거리를 측정하였다.

밸브의 개도를 제어는 사용자의 의도에 따라 개발된 밸브시험 프로그램에 의해서 제어된다. 밸브 I/P의 입력전류(4-20mA)를 입력하면 밸브 포지셔너에서 입력전류에 상응하는 공기압력이 밸브 구동부에 공급되어 밸브의 개도를 0mm - 25mm로 제어 한다.

본 실험에 사용된 밸브는 실린더 구동형 2인치 글로브 밸브이고 펌프의 토출양정은 30m로 밸브의 전후단 차압이 최대 4kgf/cm<sup>2</sup> 이내로 설계되었다.

Fig. 3은 본 실험에 사용된 장치를 보여주고 있다.

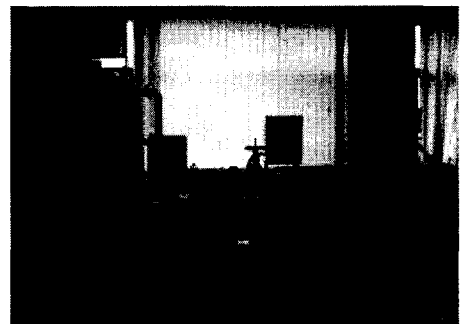


Fig. 3 Valve test system

실험을 통하여 각 개도에 따른 차압과 유량데이터를 확보하고 이를 수치해석의 결과와 비교 검토하여 수치해석의 타당성을 검증한다.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 4는 3가지 등비형, 급개형, 선형플러그 형상을 나타내고 있다. Fig. 4(a)는 등비형 플러그, Fig. 4(b)는 선형 플러그이고 Fig. 4(c)는 급개형 플러그의 형상이다. 등비형의 경우 유로 면적이 상당히 좁게 설계되어 있음을 볼 수 있다.

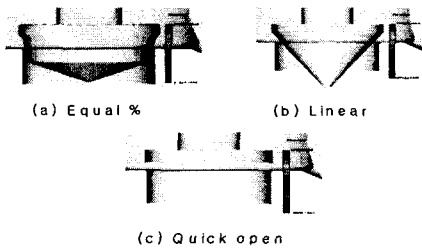


Fig. 4 Three different types of plug

Fig. 5는 등비형 글로브밸브의 개도에 따른 4가지의 경우에 대한 각각의 압력분포를 나타낸다. 유로가 급격히 좁아지는 플러그와 시트가 만나는 영역에서 압력변화가 다른 영역에 비해 극심함을 잘 나타내고 있다. Fig. 5(a)는 밸브의 개도가 25%일 때의 압력분포이다. 이 경우 유로가 상당히 좁기 때문에 밸브 전후단의 압력강하가 크고 또 밸브의 시트영역에서 유속이 급격히 빨라진다. Fig. 5(b)와 Fig. 5(c)는 밸브의 개도가 50%, 75% 열린 경우에 대한 압력분포를 나타내고 있다. 밸브의 개도가 낮아질수록 유로가 좁아지기 때문에 압력강하가 커지는 것을 볼 수 있다. Fig. 5(d)는 밸브가 완전히 열려있는 상태에서의 압력분포를 나타낸다. 유로가 넓기 때문에 압력강하가 적게 나타난다.

Fig. 6은 등비형 글로브밸브의 개도에 따른 압력강하를 실험결과와 비교한 것이다. 압력강하가 정확히 일치하지 않지만 모델링에서의 스템의 위치와 실험에서의 스템위치가 정확히 일치하기 힘든 점을 감안할 때 SC/Tetra가 예상대로 해석을 수행한다는 사실을 확인시켜준다.

밸브 개도율 75%의 경우 이상적인 스템의 위치는 18.75mm이나 실제 시험에서 스템의 위치는 19.508mm이다. 밸브 실험은 4mA에서 20mA의 입력 전류를 I/P에 가하면 설정된 밸브 포지셔너의 설정 조건에 따라 압력으로 변화되며 이러한 압력에 따라 밸브의 구동부를 동작시키므로 밸브 스템의 위치는 전반부와 후반부가 이상적인 경로를 따라 이동하지

않을 수 있다. 실험 결과로부터 밸브는 전후반 5%의 개도율에서 거의 동작하지 않음을 알 수 있고 이상적인 경로에서 미세한 오차가 발생하는 것을 알 수 있다. Fig. 7은 실험에서 밸브의 열림동작 시 스템의 위치를 나타낸다.

Fig. 8의 (a)와 (b)는 각각 급개형과 선형 글로브 밸브의 개도가 25%일 때의 압력분포이다. 입구조건은 실험조건과 동일하다. 급개형 밸브의 경우 40%미만의 낮은 개도에서 기준유량의 90%까지 조절된다. 따라서 25%개도에서도 유로 면적이 넓기 때문에 압력강하가 상당히 적게 나왔다. 선형 밸브의 경우는 등비형 밸브와 유사한 경향을 보이지만 보다 낮은 압력강하를 보인다.

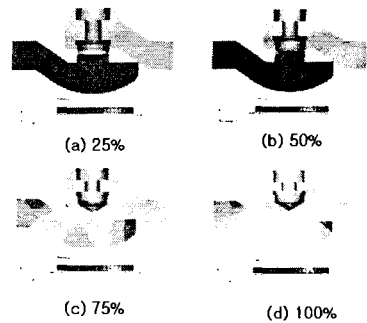


Fig. 5 Pressure contours at various opening positions

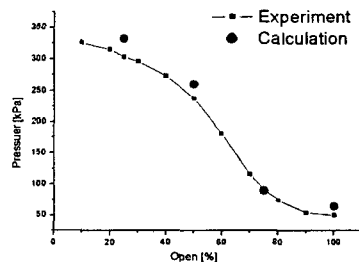


Fig. 6 Pressure drop across the valve with equal percent type plug

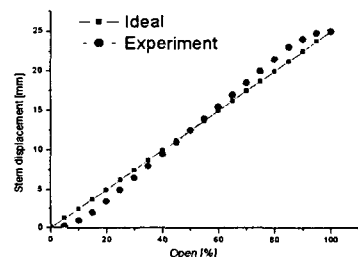


Fig. 7 Measured displacement of valve stem

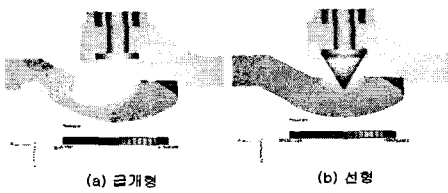


Fig. 8 Pressure contours inside the valve with quick open type and linear type plugs at 25% opening

Fig. 9는 등비형, 급개형 그리고 선형 밸브의 개도 25%, 50%, 75%, 100%에서의 압력강하를 비교한 것이다. 입구조건은 일정한 유속을 주고 3가지 플러그 형상 밸브의 압력강하를 관찰한 것인데 등비형, 선형, 급개형의 순서로 압력강하가 이루어졌다.

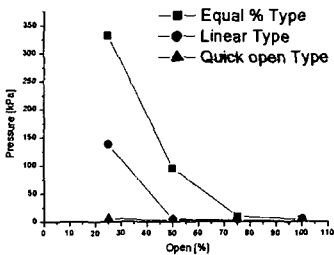


Fig. 9 Pressure drops of various types of plug

Fig. 10은 개도 25%일 때 등비형 글로브밸브의 유동계적을 나타내고 있다. 유로면적이 좁아지면서 유속이 빨라지고 2차유동이 발생하는 것을 볼 수 있다.

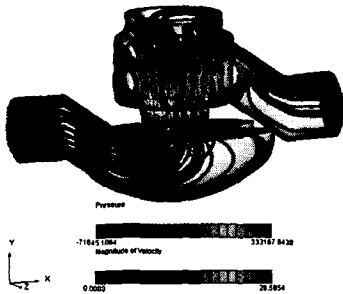


Fig. 10 Streamlines of the flow inside the globe valve at 25% opening

#### 4. 결 론

배관 시스템에서 가장 흔히 사용되는 글로브 밸브에 대하여 범용 열유체 해석 프로그램인 SC/Tetra를 이용한 유동해석을 수행하였으며, 이 해석결과에 타당성을 알아보기 위해 실험결과와 비교 검토하였다.

실험으로 측정된 밸브 전 후단에서의 압력차와 해석에서 얻어진 결과는 약간의 차이를 갖고 있지만 모델링에서의 스템 위치와 실험에서의 스템 위치가 정확히 일치하기 힘든 점을 감안할 때 본 해석결과가 타당성을 갖고 있음을 알 수 있다.

급개형 밸브의 경우 40%미만의 저 개도에서 기준 유량의 90%까지 전형적으로 유량이 변하게 되므로 등비유형밸브의 개도25%일 때의 유량을 같은 25%에 대입하여 압력강하가 상당히 적게 나온 것을 알 수 있다. 저 개도에서의 압력강하를 보면 등비형 밸브의 압력강하가 가장 컸으며 다음으로 선형, 급개형 밸브의 순서이다. 이러한 특징을 살려 각각의 밸브가 효율적으로 사용될 수 있는 분야에 채택되어야 할 것이다.

본 해석 결과로부터 얻어진 글로브 밸브내부에서의 유동장에 대한 압력분포, 유동계적등과 같은 해석 결과들은 밸브내부에서의 유동특성을 이해하는데 많은 기여를 할 것으로 판단된다. 또한 기존의 밸브회사에서 개발한 밸브의 손실계수나 유량계수등과 같은 성능평가를 위한 인자들을 구할 때 실험이 유일한 방법이었지만, 본 연구 결과를 고려할 때 전산해석을 통해서도 얻을 수 있다는 것을 보여준다.

#### 후기

본 연구는 한전전력연구원의 전력산업 연구개발사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- [1] 배운영, 유체 계통의 성능 최적화를 위한 펌프와 밸브의 선정, 한국원자력연구소 기술 현황 분석 보고서, KAERI/AR-371/93, 1993
- [2] Chendong Huang, Rhyn H. Kim, "Three-dimensional analysis of partially open butterfly valve flows", J. of Fluids Engineering, ASME, Vol.118, (1996), pp.562-568.
- [3] 박상원, 이상우, "공기조화용 버터플라이 밸브 하류에서의 3차원 유동특성", 대한기계학회논문집 B권, 제 24권 제 2호, (2000), pp.260-269.
- [4] 윤준용, 변성준, 양재모, 이도형, "고차압 제어용 글로브 밸브 트림 내부의 3차원 유동장 해석", 유체기계저널 제 4권, 제 3호, (2001), pp.14-20.