

## 공기구동형 글로브밸브의 동적거동해석

양상민\*(한빛파워서비스), 박종학(한국가스공사), 김동진(한국기계연구원),  
허태영, 김봉호, 신성기, 김찬용(한빛파워서비스)

### Dynamic Analysis of Air Operated Globe Valve

S. M. Yang(HANVIT Power Service, Inc.), J. H. Park(KOGAS), D. J. Kim(KIMM)  
T. Y. Huh, B. H. Kim, S. K. Sin, C. Y. Kim(HANVIT Power Service, Inc.)

#### ABSTRACT

Although the globe is the most typical valve to control high pressure drop in piping system, it is very hard to figure out the characteristics of flow field in the globe valve caused by its complex geometry. So there is very few studies to find out flow characteristics of globe valve. In this study, numerical analysis for flow field in the globe valve is carried out using the Fluent code which is commercial CFD program. Pressure drop through the globe valve is also measured to verify the results come from numerical analysis. Comparing experiment with numerical analysis, two results are very close to each other. Also finite element method is employed to evaluate the safety of globe valve using the results coming from the flow analysis to make the boundary conditions for FEM analysis. Maximum stress appears on the inlet channel of valve where inlet flow runs against. Because the maximum stress between 11.7 MPa to 3.6 MPa is within 3.4% of yield stress, the structural safety of valve is considered to be very sound

**Key Words** : Air Operated Globe Valve(공기구동형글로브밸브), Finite Element Analysis(유한요소해석), FLUENT, ANSYS

#### 1. 서론

배관 시스템의 중요한 요소인 밸브는 유체의 유량, 압력, 방향등을 제어하는 역할을 하며, 개폐(on-off), 교축(throttling), 역지(non-return), 과압방지(overpressure protection)등의 주요 기능을 수행한다. 원자력 발전설비에 사용되는 밸브의 유형은 구동부와 유체부의 형태에 따라 분류된다. 구동부의 유형은 모터구동형과 공기구동형이 있으며 유체부의 유형은 Globe type, Gate type, Butterfly type 그리고 Ball type이 널리 사용되고 있다. Globe type의 밸브는 고차압 제어용 밸브로서 활용도가 증가하고 있으나 유체가 흐르는 내부 유로의 형상이 매우 복잡하여 유체가 밸브를 통과하는 과정에서 밸브 개도에 따라 발생하는 압력강하와 유동 특성을 예측하기가 매우 어렵다. 최근 전산해석 코드를 이용하여 버터플라이 밸브와 게이

트 밸브에 대한 유체의 압력 및 유속을 예측하는 연구가 수행되고 있으나 글로브 밸브의 유동특성을 예측하는 연구는 미미한 실정이다.

본 연구에서는 상용 전산 열유체 해석용 프로그램인 Fluent를 이용하여 글로브 밸브 내부에서의 유동장 해석을 수행하여 압력강하 및 유동특성을 알아보고, 이로부터 얻어진 해석결과의 타당성을 검증하기 위해 동일 조건하에서 밸브 개도에 따른 유체유동 실험을 수행하여 전산해석 계산결과와 비교 검토하였다. 또한 Fluent를 이용하여 계산된 결과인 밸브내부의 압력데이터는 밸브 구조물의 해석을 위한 ANSYS의 입력데이터로 적용하였다. 밸브의 개폐량은 완전히 닫혀진 상태(0%)와 완전히 열려진 상태(100%)를 기준으로 25 %, 50 %, 75 %, 100%의 개폐량에 따른 밸브몸체의 응력분포를 해석하였다.

## 2. 글로브밸브의 유동해석

본 연구에서는 밸브에서의 유동을 정상상태, 비압축성 난류유동으로 가정하여 유동해석을 수행하였으며, 밸브에서 일어나는 3차원적인 유동현상을 해석하기 위해 실제 밸브내부와 동일한 유로형상으로 계산모델을 구현하였다. 밸브에서의 압력강하 및 유동특성은 밸브의 개도에 따라 매우 다른 양상을 보이기 때문에, 밸브의 개도(스트로크 기준)에 따라 100%, 75%, 50%, 25% 4가지 경우에 대해 해석을 수행하였다.

FLUENT는 유동, 열전달, 상변화, 연소 등과 관련된 현상의 수치해석을 위해 개발된 프로그램으로 전처리 장치인 GAMBIT 그리고 Solver와 후처리장치인 FLUENT로 구성되어 있다. FLUENT는 유한체적법을 기반으로 한 코드로서 속도등의 벡터량과 압력, 온도등의 스칼라 양을 동일 위치에 저장하는 비교차격자계(non-staggered grid)를 사용하며, 대류항을 계산하기 위한 차분방법들은 1차 상류차분법(First up-wind scheme), 2차 상류차분법(Second up-wind scheme), power-law scheme, 고차 상류차분법인 QUICK scheme을 선택하여 사용할 수 있다. 본 연구에서는 수렴성이 가장 우수한 1차 상류차분법을 사용하였다.

대부분의 해결해야 할 공학적인 문제가 난류현상을 포함하고 있어 실제에 가까운 유동현상을 모사하고 정확한 결과를 얻기 위해서는 난류모델들이 반드시 도입되어야 한다. FLUENT에서는 2-equation 모델로서

$k-\epsilon$  모델을 기본으로 사용하고 RSM(Reynolds Stress Model)과 RNG(Renormalization Group) 모델을 선택적으로 사용할 수 있다. 수치해법은 기본적으로 SIMPLE algorithm을 사용하며 SIMPLEC와 PISO를 선택하여 사용할 수 있다. 밸브의 개도(100%, 75%, 50%, 25%)에 따라 다양한 요소들이 이루어진 비정렬 계산격자가 생성되었고 플러그가 하강함에 따라 목주위의 유로형상 및 유로단면적이 급격히 변화하기 때문에 유동변화 및 밸브에서 발생하는 압력강하 대부분이 이 부근에서 일어난다고 판단되어 많은 격자를 집중하였다.

또한 밸브 하류 쪽에서 발생하는 순환유동이나 backflow가 outlet에서 재유입 되어 계산결과에 영향을 미치지 것을 방지하기 위해 밸브 하류 쪽 관의 길이를 충분히 길게(8D) 모델링 하였다. 밸브 상류 역시 어느 정도 발달된 유동이 밸브로 유입되도록 하기 위해 길게 모델링 하였다.

실험결과와의 비교를 위해 실험에서 측정된 밸브의 개도에 따른 질량유량을 Inlet 조건으로 주었으며 실험조건과 동일하게 작동유체인 물의 상태량( $\rho=998.2 \text{ kg/m}^3$ ,  $\mu=0.00 \text{ kg/m}\cdot\text{s}$ )을 상온에서의 값으로 설정하였다.

Fig. 1은 밸브의 개도에 따른 유체부에서의 압력분포를 보여주고 있다. 밸브개도가 큰 경우에는 밸브를 중심으로 서서히 압력강하가 일어나는 것을 볼 수 있지만, 밸브개도가 작은 경우에는 밸브에서 발생하는 압력강하의 대부분이 유동의 blockage가

발생하는 플러그와 목에 의해 좁아진 유로에서 발생하는 것을 볼 수 있다. 특히, 밸브개도 50%와 25%에 대한 압력분포(Fig. 1(c),(d))를 보면 좁아진 유로로 인하여 밸브의 상단과 하단이 마치 서로 격리된 부분인 것처럼 큰 압력차를 보이면서 급격한 압력강하를 나타내고 있다. 이러한 급격한 압력강하는 국부적인 포화증기압 이하로의 감소로 인한 캐비테이션 같은 밸브에 부정적인 영향을 줄 수 있는 유동현상을 일으킬 수 있는 요인이 된다.

밸브개도 50%와 25%에서 급격한 압력강하가 나타나는 목 부근에서의 압력분포를 보면 유로가 가장 좁아진 부분에서 유속이 증가하면서 압력이 감소했다가 목 부분을 통과한 후에는 속도가 감소하면서 다시 압력이 증가하는 것을 볼 수 있다. 플러그 하부에 작용하는 압력은 개도가 큰 경우에는 높지 않지만 개도가 작은 경우에는 유동의 blockage가 커지면서 하부의 배부분과 동일한 압력이 작용한다.

## 3. 글로브밸브의 구조해석

글로브밸브의 유체부(body)는 내부에 유체의 유량을 제어하기 위한 플러그(plug)와 시트(seat)가 삽입되어 있으며, 밸브 내부의 곡면형상에 의해 유체가 “S”자형으로 유동된다. 플러그의 높이변화는 유량의 크기를 조정하는 역할을 한다. 흐르는 유체에 의해 밸브내부의 표면은 압력이 작용한다. 또한 밸브의 상단부분에 플러그의 작동을 위한 본넷, 요크, 실린더가 조립되어 있다. 밸브의 유체부는 내부의 수압과 외부의 하중을 받는 구조물이다. 밸브의 측면은 플랜지가 장착되어 있으며, 4개의 볼트에 의해 파이프가 장착되어 있다. 본 연구에서는 플러그의 다양한 높이변화에 따른 밸브 유체부의 응력상태를 분석하였다. 플러그의 높이는 완전히 차단된 0%와 완전히 개방된 100%를 기준으로 5단계(0%, 25%, 50%, 75%, 100%)나누어 계산하였다. 상용 유한요소해석 프로그램인 Ansys를 사용하였으며 대칭조건으로 해석하였다. 밸브 유체부의 유한요소 모델 형성에 사용된 요소의 수는 22163개이며 절점 수는 5557개이다. 밸브 개도에 따른 유동해석으로부터 얻은 압력 값을 밸브 유체부 내부의 표면압력으로 적용하였고 플랜지 부분은 배관 시스템의 파이프와 완전고정된 것으로 가정하여 6자유도를 완전 구속하였으며 밸브 유체부의 상단부분은 실린더의 무게(25 kg), 요크의 무게(5.7 kg) 그리고 본넷의 무게(4.4 kg)에 작용되는 압력으로 밸브 유체부의 상단부분에 부여하였다. Fig. 2는 개도를 변화에 따른 내부압력의 변화를 고려하여 해석한 밸브 유체부의 Von-mises 응력선도를 나타낸다. 밸브 유체부는 주물구조물이며, 탄성계수 205GPa과 항복강도 385MPa 밀도 7850kg/mm<sup>3</sup>의 물성을 갖고 있다. 내부의 압력과 상단부분의 하중작용에 의한 밸브 유체부의 응력은 항복강도의 0.93%부터 3.24% 이내에 발생되므로 매우 안정적임을 알 수 있다. 밸브 유체부의 유체 유동면에서 상대적으로 높은

응력이 발생되었으며 특히 전단부의 유체흐름이 변화되는 부분에서 최대응력이 발생하였다.

#### 4. 밸브실험장치

밸브의 시험설비는 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 제어 밸브로 구성되어 있다. 제어부는 유체의 압력 및 유량을 획득하기 위한 압력센서와 유량센서, 구동밸브의 공기 압력을 측정하기 위한 공압센서 및 밸브의 개도를 측정하기 위한 LVDT 센서와 신호 획득을 위한 DAQ 장비를 구성하여 밸브 개도에 따른 유체압력과 유량, 구동부의 공기압력과 스템의 이동거리를 측정하였다. 밸브의 개도율 제어는 사용자의 의도에 따라 개발된 밸브 시험 프로그램에 의해서 밸브 I/P의 입력전류(4-20mA)를 입력하였다.



Fig. 3 Valve Test System

#### 5. 결론

배관 시스템에 사용되는 글로브 밸브에 대하여 상용 전산열유체해석 코드를 이용한 유동해석과 구조해석용 코드를 이용하여 밸브 유체부의 구조해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 글로브 밸브의 밸브 개도에 따른 유체부에서의 유동장에 대한 압력분포를 유체해석 코드를 이용하여 수행하였고 그 결과를 실험에서 측정된 밸브 전,후단 압력 값과 유사함을 알 수 있었다.

(2) 밸브의 개도율이 낮은 영역에서 캐비테이션 및 후래싱 현상과 같은 매우 복잡한 유동특성에 의한 밸브의 진동과 소음이 발생하고 이에 대한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

(3) 밸브의 개도율이 증가할수록 밸브 유체부의 내부에 작용하는 최대응력은 11.7 MPa부터 3.6 MPa 까지 감소되었고 밸브 재료의 항복강도(385 MPa)보다 극히 작은 범위에서 분포하므로 안전함을 알 수 있다.

#### 참고문헌

1. 윤준용, 변성준, 양재모, 이도형, "고차압 제어용 글로브 밸브 트림 내부의 3차원 유동장 해석", 유체기계저널 제 4권, 제 3호, pp. 14-20, 2001.
2. Chendong Huang, Rhyn H. Kim, "Three-dimensional analysis of partially open butterfly valve flows", J. of Fluids Engineering, ASME, Vol. 118, pp.562-568, 1996.
3. 박상원, 이상우, "공기조화용 버터플라이 밸브 하류에서의 3차원 유동특성", 대한기계학회논문집 B권, 제 24권 제 2호, pp. 260-269, 2000.
4. Fluent User's Guide Ver. 5
5. Driskell, 1983, Control-valve selection and sizing, Instrument Society of America.
6. D. Peckner and I. M. Bernstein, "Handbook of stainless steels", McGraw Hill, 1997

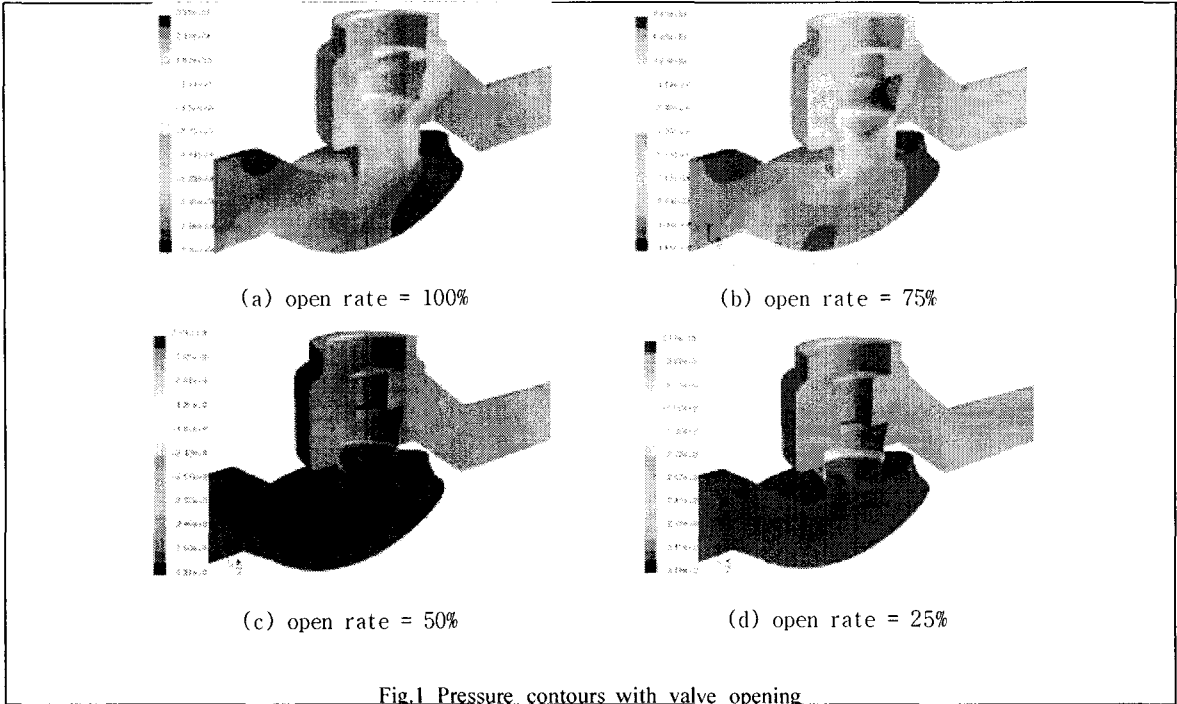


Fig.1 Pressure contours with valve opening

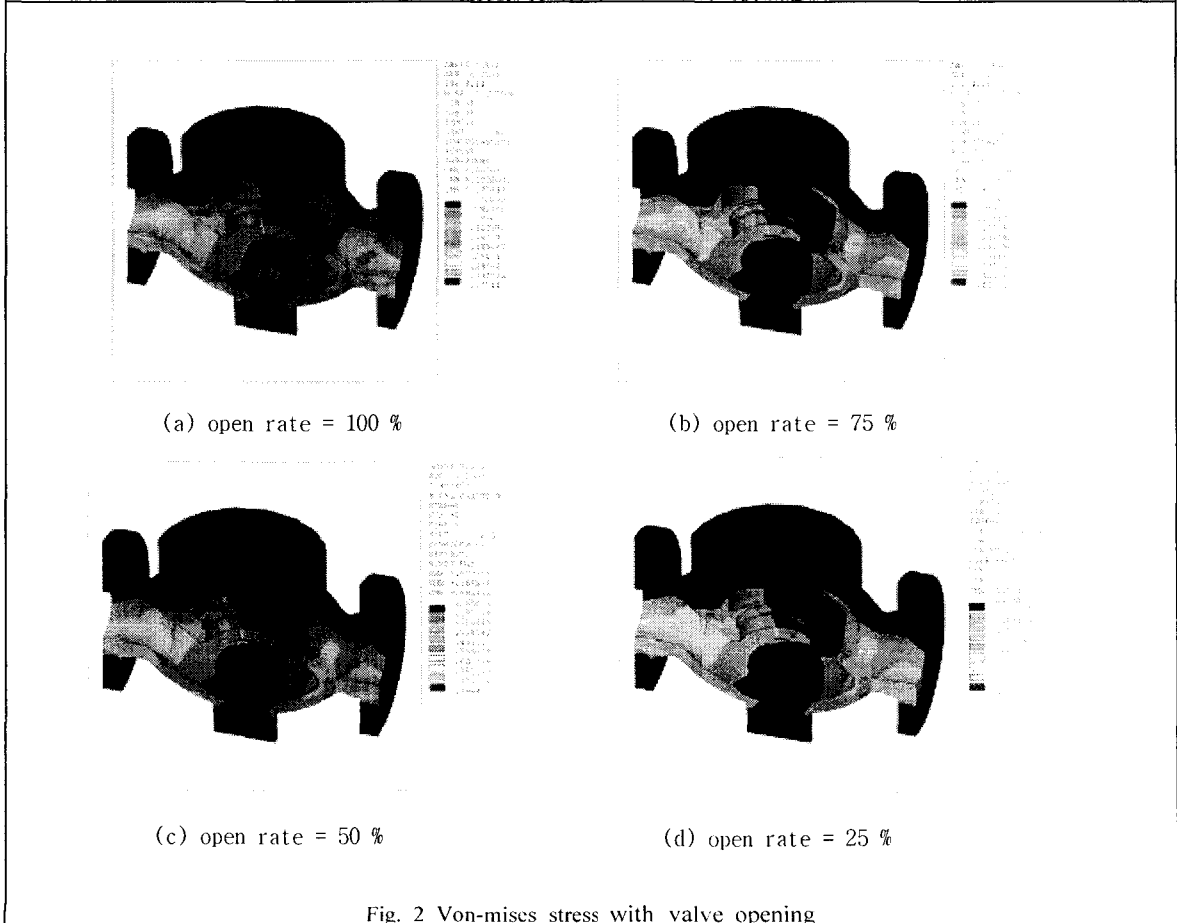


Fig. 2 Von-mises stress with valve opening