

## 콘 디스크 형 컨트롤 밸브의 유동특성 연구

고 성 호,<sup>\*1</sup> 곽 영 균,<sup>2</sup> 이 상 현,<sup>2</sup> 강 민 구<sup>2</sup>

### ANALYSIS OF FLOW CHARACTERISTIC FOR CONE DISC TYPE CONTROL VALVE

S.H. Ko,<sup>\*1</sup> Y.K. Kwack,<sup>2</sup> S.H. Lee<sup>2</sup> and M.K. Kang<sup>2</sup>

*A three dimensional numerical analysis has been made for the cone disk control valve and the flat disk control valve. The simulation of the incompressible flow in the each control vane are performed by using the commercial code. Six flow cases of each control valve are investigated.*

**Key Words :** 전산유체역학(CFD), 컨트롤 밸브(Control Valve), 콘 디스크(Cone Disk), 유량계수(Flow Coefficient)

#### 1. 서 론

밸브(valve)는 배관 내부를 흐르는 유체의 유량, 압력, 방향, 온도를 제어하기 위한 유체 기계로 개폐, 교축, 역지, 과압방지의 기능을 수행한다[1].

글로벌 밸브 성능 및 유동특성은 밸브 몸체(body) 형상과 디스크(disc) 형상에 영향을 받는다. Y형 밸브 몸체는 유체의 유로 변화를 줄여 유동저항 감소, 디스크 전·후단 차압 감소 및 유량계수를 증가시키는 것으로 알려져 있다. 글로벌 밸브의 디스크 형태는 성능곡선의 형태에 따라 등비형(equal %), 급개형(quick open), 선형(linear)으로 구분된다. 고성호[2]의 연구 결과에 따르면 밸브의 입구 유속이 동일 할 경우 밸브를 통과하면서 발생하는 압력강하는 개도 75% 이상에서는 큰 차이를 나타내지 않았지만, 개도 75% 이하에서는 각 디스크의 형태에 따른 유체 통과 면적의 차이 때문에 개도 25%에서 등비형이 가장 큰 약 360kPa의 압력 강하를 보였으며, 선형은 140kPa, 급개형이 가장 작은 10kPa의 압력 강하를 나타냈다.

기존 디스크 형 컨트롤 밸브는 밸브의 개·폐가 동작이 진행 될 때 디스크에 유체여기진동(fluid induced vibration)이 발생하는 것으로 업계에 보고되고 있다. 유동유체에 의해 발생하는 유체의 동적 특성이 구조물을 변형시키고 구조물 변형에 의해 유동의 흐름이 변화되어 유체력의 변화가 발생된다.

이와 같이 구조물의 동적 거동과 관련된 현상을 유동여기진동이라 하며 이로 인하여 컨트롤 밸브 작동부의 주요 요소인 스프링의 오작동 및 파손의 가능성이 있으며 특히 밸브의 운전 신뢰성에 큰 영향을 미치게 된다.

최근 Davis, Stewart[3]은 상용프로그램인 FLUENT를 이용하여 poppet 형태의 글로벌 컨트롤 밸브에 대하여 2차원 축대칭(axisymmetric)으로 단순화 하여 유동장 해석을 수행 하였다.

윤준용[4]등은 유동을 제어하기 위해 트림을 장착한 글로벌 밸브에 대하여 개도에 따른 3차원 유동장 및 캐비테이션(cavitation) 발생을 상용 프로그램 CFD-ACEA코드를 이용하여 전산해석을 수행하였다.

고성호[2]등은 플러그 형상에 따른 글로벌 컨트롤 밸브의 동특성을 평가하기 위해 3차원 유동장을 전산해석을 수행하여 밸브 전·후단의 압력 강하를 예측하였다.

이에 본 연구에서는 글로벌 밸브(glove valve)의 일종인 콘 디스크 형 컨트롤 밸브(control valve)와 평판 디스크 형 컨트롤 밸브에 대해 유동장을 해석 하여 밸브 성능 및 디스크 전·후단의 압력강하, 밸브 구동력을 결정하는 디스크 표면에 작용하는 힘을 비교 계산하였다. 유동장 해석을 위해 상용 프로그램인 FLUENT를 이용하였으며 정상상태, 삼차원 비압축성 난류 유동으로 가정하고 수치해석을 수행하였다. 밸브의 개도에 따라 100%, 80%, 60%, 40%, 30% 20% 6가지에 대하여 계산을 수행하였다. 격자 생성은 비정렬 격자를 이용하여 격자를 생성하였다. 난류 모델은 표준  $k-\epsilon$  모델을 사용하였으며, 압력과 속도의 보정을 위해 SIMPLE 알고리즘을 사용하였다. 또한 유동 해석을 통해 얻은 결과의 타당성을 검증하기

1 정회원, 충남대학교 기계설계공학과

2 학생회원, 충남대학교 기계설계공학과 대학원

\* Corresponding author E-mail: sunghoko@enu.ac.kr

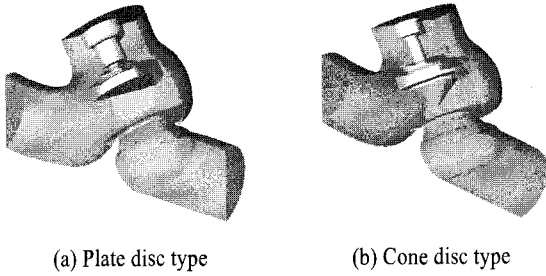


Fig. 1 Schematic diagram of the control valve

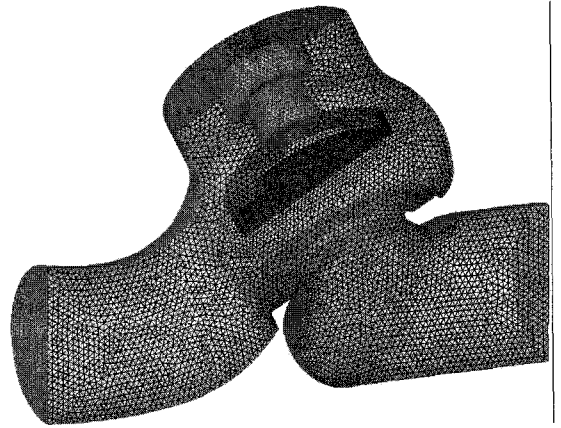


Fig. 3 Unstructured grid at the surface of the plate disc type

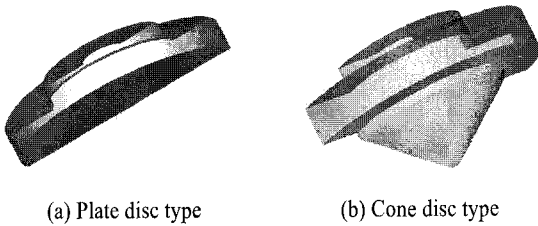


Fig. 2 Schematic diagram of the disc

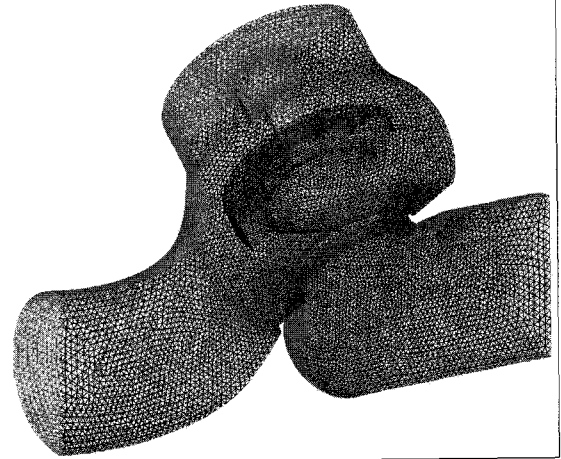


Fig. 4 Unstructured grid at the surface of the cone disc type

위해 밸브의 수송능력을 정량적으로 표시할 수 있는 밸브 유량 계수(valve flow coefficient,  $C_v$ )를 구하여 삼진정밀[4]사의 유량계수에 대한 실험 결과와 비교하였다.

## 2. 수치해석

본 연구에서 해석에 사용된 밸브 개략도는 Fig. 1과 같다. Fig. 1(a)는 평판 디스크 형 컨트롤 밸브이며, Fig. 1(b)는 콘 디스크 형 컨트롤 밸브이다. Fig. 2는 스템 부분을 제외한 평판 형 디스크와 콘 형 디스크의 확대 모습이다. 밸브의 크기는 시트의 지름은 100mm이며, 스템의 이동 상·하 이동 길이는 50mm이다.

### 2.1 지배 방정식

본 연구를 위하여 표준  $k-\epsilon$  난류 해석 모델을 선택 하였다. 이 모델은 RANS(Reynolds-Averaged Navier-Stokes) 방정식과 난류 에너지  $k$ 와 난류 소산율  $\epsilon$ 에 관한 두 개의 난류 수송 미분방정식을 도입한다.

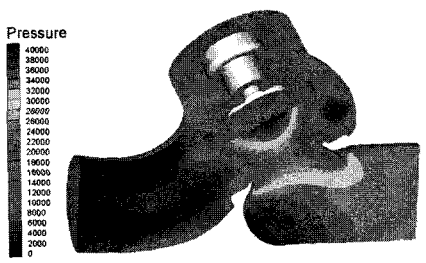
RANS 방정식은 식 (1)에 나타내었다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho u_j) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = & -\frac{\partial P}{\partial x_j} \\ & + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_j}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu \left( \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \delta_{ij} \right] \\ & + \rho f_i \end{aligned} \quad (1)$$

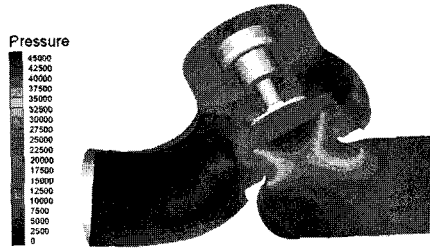
난류 에너지 수송방정식은 식 (2)에 나타내었으며, 소산율 수송 방정식은 식 (3)에 나타내었다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial k}{\partial t} + u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} \\ = \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \epsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

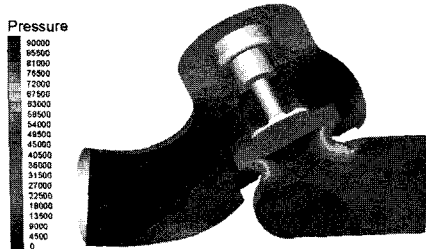
$$\begin{aligned} \frac{\partial \epsilon}{\partial t} + u_j \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} = C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \\ - C_{\epsilon 2} \frac{\epsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] \end{aligned} \quad (3)$$



(a) 100% open

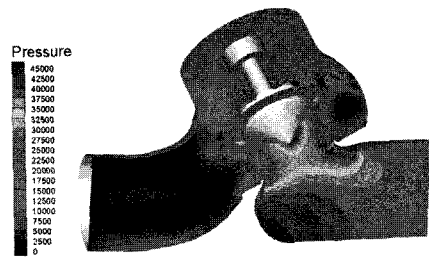


(b) 60% open

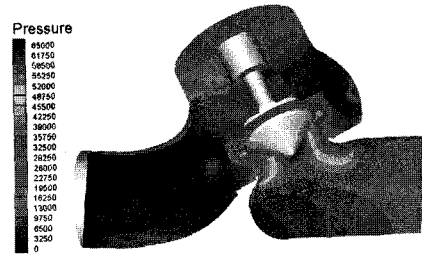


(c) 30% open

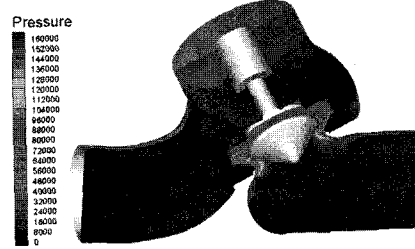
Fig. 5 Pressure(Pa) contours of plate disk type control valve



(a) 100% open



(b) 60% open



(c) 30% open

Fig. 6 Pressure(Pa) contours of cone disk type control valve

## 2.2 격자 생성 및 경계조건

격자는 FLUENT의 전처리 모듈인 GAMBIT을 이용하여 비정렬 격자를 이용하여 생성하였다. Fig. 3과 Fig. 4는 해석에 사용된 평판 디스크형 컨트롤 밸브와, 콘 디스크형 컨트롤 밸브의 격자 형태를 보여 주고 있다. 가장 유동의 변화가 심하다고 판단되어지는 디스크 주위 부분에 격자를 집중 하였다.

각 밸브의 개도에 따라 100% 80%, 60% 40% 30% 20% 열린 경우 6가지에 대해 각각 격자를 생성 하였으며 각 경우의 대한 전체 셀 수는 각각 평판 디스크형 컨트롤 밸브의 경우 45만개, 47만개, 49만개, 57만개, 63만개, 77만개 이며, 콘 디스크형 컨트롤 밸브는 43만개, 46만개, 53만개, 60만개, 64만개, 75만개 이다.

밸브의 중심단면에서 밸브의 디스크와 관이 서로 대칭이므

로 이 대칭면을 기준으로 형상의 반을 해석 하였다. 입구 조건은 유량 조건을 사용하여 평균 속도 4m/s가 되도록 완전 발달(fully-developed)된 속도 조건을 주었으며 출구 조건은 대기압으로 설정 하였다.

## 2.3 해석기법

본 연구에서는 밸브 내부의 복잡한 3차원 유동장을 해석하기 위해 사용유동해석 프로그램인 FLUENT를 사용하였다. FLUENT는 지배방정식을 유한체적법(FVM)으로 이산화 하여 수치계산을 수행하며, 압력과 속도 보정을 위해 SIMPLE 알고리즘을 적용한다. 대류항을 처리하는데 있어서는 2차 풍상차분법(Second order upwind scheme)을 사용하여 모든 오차(residual)가 10e-4이하를 만족 할 때까지 계산하여 평균 500번 반복 계산하였다.

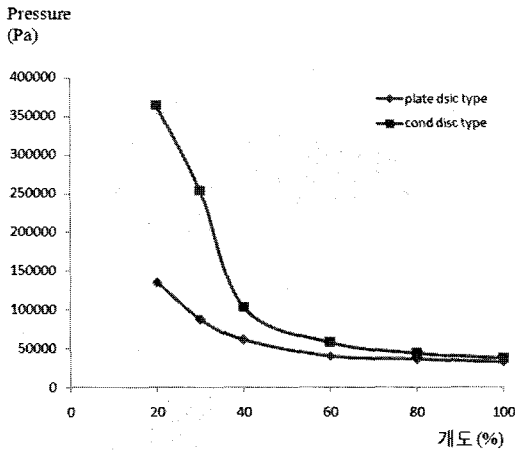


Fig. 7 Pressure drop across the valve

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 전체 유동장

Fig. 5는 평판 디스크 형 컨트롤 밸브의 대칭면에서 압력장을 나타내고 있다. 밸브의 디스크와 시트를 통과하는 영역에서 유로의 변화로 인하여 압력의 변화가 다른 영역에 비해 큰 것이 잘 나타나고 있다. 디스크의 중앙 부분에서 유동의 급격한 변화로 인하여 디스크 중앙 부분에서 가장 큰 압력을 보이며 모서리 부분으로 갈수록 압력이 회복되는 것을 알 수 있으며, 디스크의 좌측 우측 하단 부에 압력이 낮은 지점이 관찰 되는데 이는 강한 와류의 생성으로 인한 것이다. Fig. 5(b)와 Fig. 5(c)는 각 개도 60%와 30% 열린 경우에 대한 각각의 압력장을 나타내고 있다. 밸브의 개도가 감소할수록 디스크 하단에 작용하는 압력이 증가 하며 그 면적이 커지는 것을 알 수 있다. 밸브의 개도가 100% 열린 경우 와류가 디스크 하단 부분에 생겼지만, 개도가 감소함에 따라 와류 발생 부분이 디스크 상단부분으로 이동하는 것을 알 수 있다. 유체 여진동은 유체의 와류변화에 의해 발생하는 것이므로, 디스크 상단에 와류가 생성되면 유체여진동 발생의 원인이 된다.

Fig. 6는 콘 디스크 형 컨트롤 밸브의 대칭면에서 압력장을 나타내고 있다. 평판 디스크 형 컨트롤 밸브의 경우 급격한 유로의 변화로 디스크 표면에서 심한 압력 변화를 보이고 있지만, 콘 디스크 형 컨트롤 밸브는 콘 형의 디스크가 유체의 유동을 유도하여 점진적 압력 변화를 나타내며, 최대 압력 작용 부분이 평판 디스크 형 컨트롤 밸브보다 적은 면적에 작용하는 것을 알 수 있다. 또한 디스크 주변에서의 와류 발생이 평판 디스크 형보다 적은 것으로 미루어 유체여진동의 발생 가능성이 평판 디스크 형보다 작을 것이라 판단된다.

#### 3.2 압력 강하

Fig. 7은 밸브의 개도에 따른 압력 강하 값을 비교한 것이다. 그림에서 세로 축은 밸브 전·후단 압력 차를 나타낸 것이며, 가로 축은 밸브 개도를 나타낸다. 개도 60%이상에서는 비슷한 압력 강하를 보여 주고 있으나 개도 60% 미만에서는 콘 디스크 형 컨트롤 밸브가 평판 디스크 형 컨트롤 밸브에 비해 약 3배 이상의 압력 강하를 나타내고 있다. 이것은 저개도에서 콘 형 디스크에 의해 유로 면적이 급격히 감소함에 따라 일어나는 것으로 판단된다.

### 5. 결론

본 연구는 평판 디스크 형 컨트롤 밸브와 콘 디스크 형 컨트롤 밸브의 내부 유동을 상용 프로그램 FLUNET를 이용하여 해석 하였으며 3차원 유동해석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 콘 형 디스크 주변의 와류 발생 감소로 유체여진동이 감소할 것으로 판단된다.
- 2) 콘 디스크형 컨트롤 밸브가 평판 디스크 형 컨트롤 밸브보다 압력강하가 큰 것으로 미루어 유체의 유량제어 보다 는 압력제어에 적합 할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

- [1] 1993, 배운영, “유체 계통의 성능 최적화를 위한 펌프와 밸브의 선정,” 한국원자력연구소 기술 현황 분석 보고서, KAERI/AR-371/93.
- [2] 2004, 고성호, 박세일, 양상민, “플러그 형상에 따른 글로브 밸브의 동특성 평가,” 한국전산유체공학회 학술대회논문집, pp.29-32.
- [3] 2002, James A. Davis, Mike Stewart, "Predicting Globe Control Valve performance," *Journal of Fluids Engineering*, Vol.3, Issue3, pp.772-777.
- [4] 2001, 윤준용, 변성준 외, “고차압 제어용 글로브 밸브의 유동장해석,” *유체기계저널*, Vol.4, Issue3, pp.14-20.