

급수밸브 내부의 유동경로 수치해석

곽승현* · 원용휘*

*한라대학교 컴퓨터응용설계학과

Numerical Analysis of Flow Path inside the Feedwater Valve

SEUNG-HYUN KWAG*, YONG-HEE WON*

*Department of Computer-aided Design, Halla University, Wonju, Korea

KEY WORDS: Feedwater valve 급수밸브, Flow path 유동경로, Numerical Analysis 수치해석, Local velocity 국부속도, Wall thinning effect 감육효과

BSIRAC1: Numerical analysis is carried out to identify the wall thinning effect inside the feed water valve. The finite volume method is applied to make analysis for the viscous flows. The commercial code FLUENT is used for the simulation and the GAMBIT for the grid generation. The RNG k-ε model is used for the turbulence and the tet-hybrid grid is applied for the modeling. The velocity vector, the pressure contour, the change of residual along the iteration number, and the dynamic head are predicted for the hydrodynamic investigation.

1. 서 론

배관계통 감육(wall thinning) 현상은 원자력 연구소에서 많은 연구가 진행 되어 왔는데 그중에서도 밸브몸체, 펌프 케이싱, 급수가열기 동체 등에서 감육이 발생되어 원전 규제기관에서는 원전 연장운행을 위한 조건으로 이들 기기에 대해서 감육관리 방안을 제시하도록 규정하고 있다 (Stirzel 등,1997). 이에 본 연구에서는 상용코드인 FLUENT를 사용하여 주급수 격리밸브를 대상으로 유동해석을 수행하였다.

2. 수치 시뮬레이션

2.1 기본방정식과 수치조건

기본방정식은 Navier-Stokes 방정식이며 FVM 수치기법으로 이산화하여 구조격자를 만들어 계산을 수행하였다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho e) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho e u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial e}{\partial x_j} \right] + C_{1e} \frac{e}{k} (G_k + C_{3e} G_b) - C_{2e} \rho \frac{e^2}{k} + S_e \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (2)$$

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (3)$$

주급수밸브 내부를 흐르는 급수의 레이놀드 수는 1.4×10^7 이고 밸브시트 하부의 공간에는 복잡한 유동현상이 예상되었다. 따라서 해석 대상 모델 내부의 구조와 유동 조건을 고려하여 물리적으로 적절한 수치해를 얻고자 주급수격리 밸브 내의 유동을 정상상태, 비압축성 및 난류로 간주하였다. 본 연구에서는 밸브 내부를 흐르는 유체의 거동보다는 밸브몸체와 인접한 부위의 유체거동에 관심이 있기 때문에 와류특성을 집중적으로 조사하기 위하여 RNG k-ε 난류모형과 표준벽함수를 도입하였다.

2.2 경계조건

밸브 내부로는 비압축성, 단상의 물이 흐르기 때문에 내부압력은 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 로 가정하였다. 해석에 적용한 경계조건으로, 유입속도는 4.98 m/sec , 점성계수는 1.17×10^{-4} , 밀도는 831.58 Kg/m^3 , 난류운동에너지는 $1.0 \text{ m}^2/\text{sec}^2$, 난류 소산율은 $1.0 \text{ m}^2/\text{sec}^2$ 으로 하였다.

3. 유동 해석 결과

급수밸브 내부에서 발생하는 난류가 밸브 몸체의 감육에 어

면 영향을 미치는지를 확인하기 위하여 FLUENT 코드를 사용하여 수치해석을 수행하였다. 밸브시트 하부공동과 디스크 주위의 공동부에서 감속에 영향을 미칠수 있는 와류가 나타났으나 디스크 주위에는 와류 강도가 크지 않고 감속도 발생한 사례가 없기 때문에 본 연구에서는 밸브 시트 하부의 유동 현상을 분석하였다.

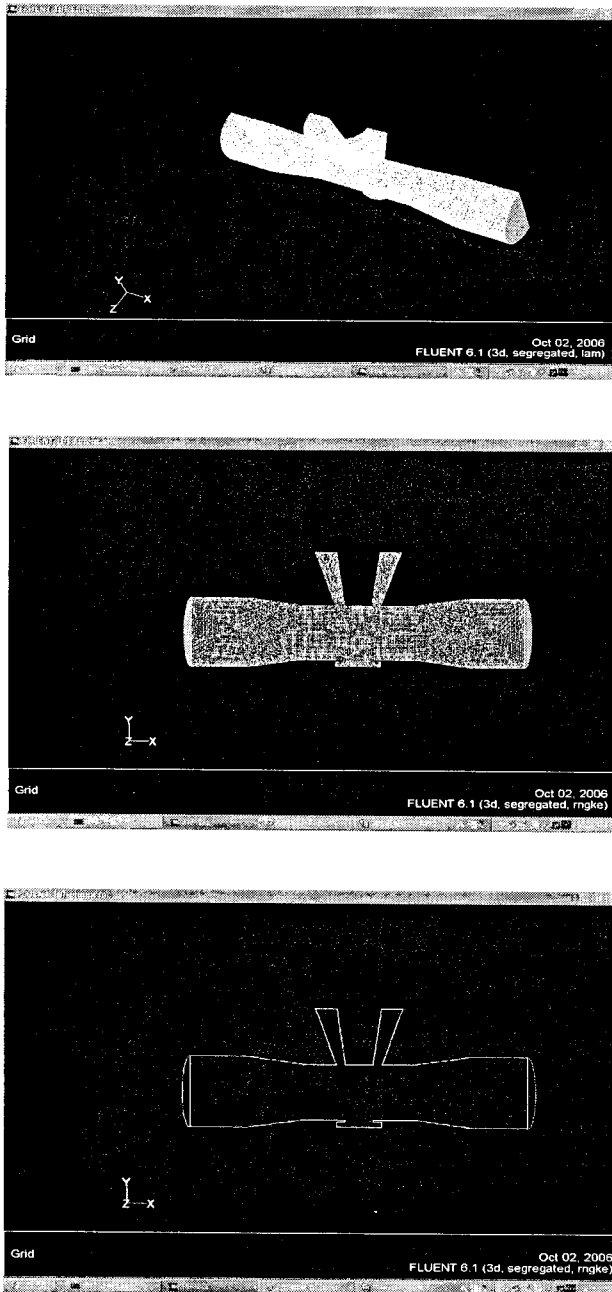


Fig. 1 Grid Generation and Computation Domain

Fig. 1은 격자구성과 계산영역을 보여준다. nodes수는 97,066, cells수는 510,800 이고, 입력속도 연계는 SIMPLE, 모우멘텀 난류 운동 에너지는 first order를 사용하였다. under relaxation은 압력

은 0.3, 밀도는 1.0, 모우멘텀은 0.7을 적용하였다. 격자생성은 브리언 운영(boolean operation)으로 교차(intersect)와 공제(subtract) 과정을 통해서 만들었고 물체 윗부분의 모서리(edge)는 혼합체적(blend volume)을 이용하여 굴곡을 주었다. 모든 원천(source)에는 쿠퍼격자법(cooper meshing scheme)을 이용하여 평행을 유지했고 그 밖의 면에는 부도해 격자법(submap meshing scheme)을 사용하였다. 혼합(blend)을 해서 만든 면은 쓸기(sweep) 기능을 이용하여 경사면(tilted face)을 생성하였다. 내부의 격자는 그래픽 창 조정(graphics/windows control)에서 정제모형(render model)을 사용하였다.

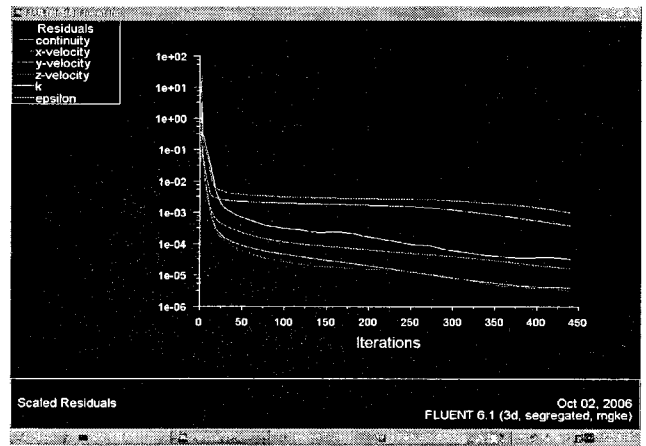


Fig. 2 Confirmation of convergence for residuals, x-velocity, etc.

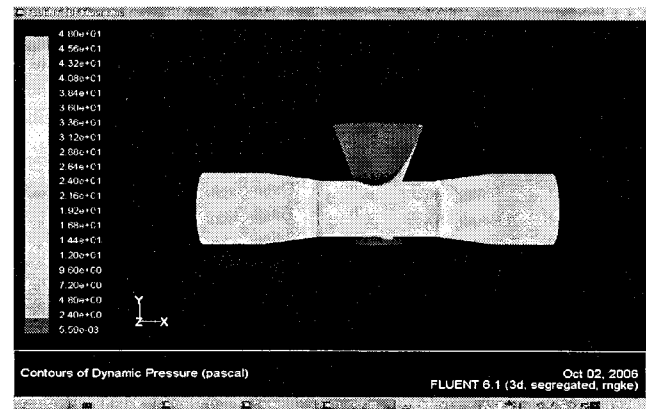


Fig. 3 Contour of dynamic pressure on the wall

Fig. 2는 잔류값, 각 방향의 속도, 에너지 등의 수렴여부를 보여주며, 가로축은 반복계산의 횟수를 보여준다. 본 계산에서는 반복횟수 450 까지 계산하였다.

Fig. 3과 Fig. 4는 각각 벽과 대칭면의 동압력 분포를 보여주고 있다. 밸브시트 하부공동에는 낮은 압력을 보이고 있으나 대칭면에서는 압력 회복이 부분적으로 발생하였다. 디스크 주위에는 와류 강도가 크지 않으므로 감육에 대한 우려가 심하지 않은 것으로 사료된다.

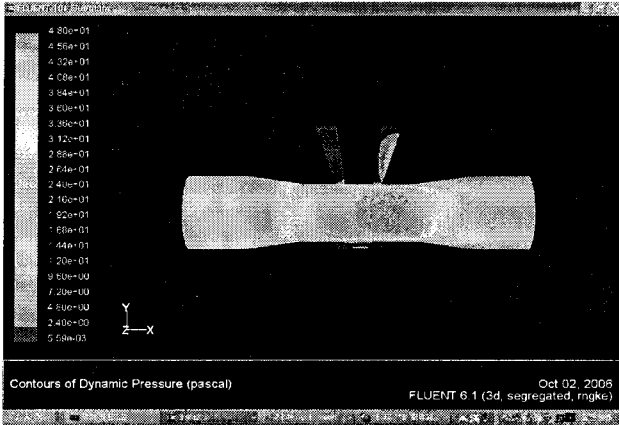


Fig. 4 Contour of dynamic pressure on the symmetric plane

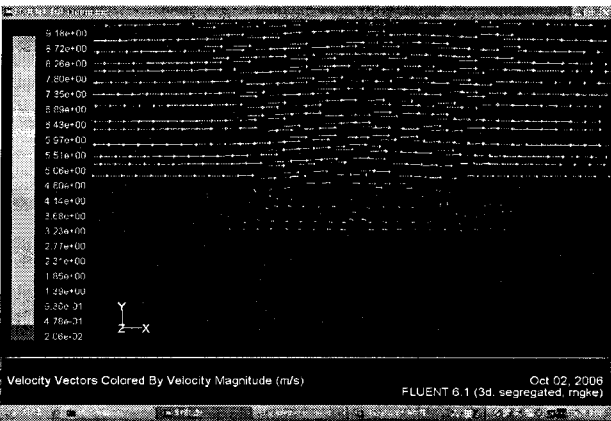


Fig. 5 Velocity vectors around the lower part of valve seat

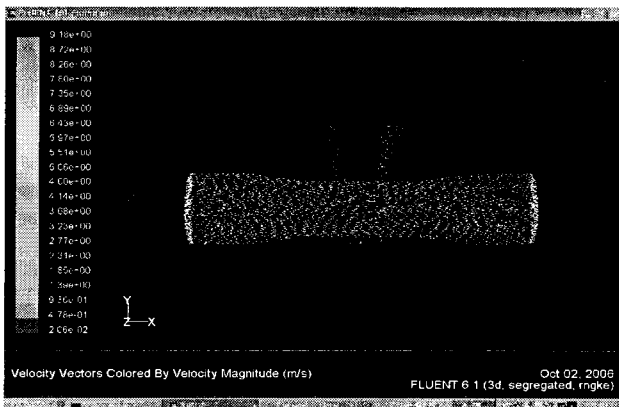


Fig. 6 Velocity vectors on the symmetric plane

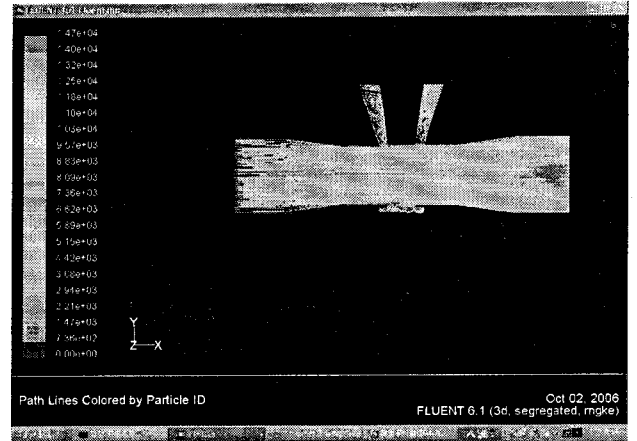


Fig. 7 Path line of flows on the symmetric plane

Fig. 5는 밸브시트 밑부분의 속도벡터를 보여준다. 와류현상을 벡터형상으로 볼 수 있는데 후단의 밸브시트에 부딪친 유체가 두 개의 와류형상을 만들어 내고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6은 대칭면에서의 벡터형상을 보여준다. 디스크 주위에서 와류형상은 발견되지 않고 있다. Fig. 7은 대칭면에서의 유동경로를 보여주고 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 배관계통 감육(wall thinning) 현상중에서 밸브시트 주위의 흐름을 수치적으로 검토하여 다음의 결론을 얻었다.

(1) 밸브시트 밑부분의 속도벡터를 보여준다. 와류현상을 벡터형상으로 볼 수 있는데 후단의 밸브시트에 부딪친 유체가 두 개의 와류형상을 만들어 내고 있음을 알 수 있다.

(2) 밸브시트 하부공동에는 낮은 압력을 보이고 있으나 대칭면에서는 압력 회복이 부분적으로 발생하였다. 디스크 주위에는 와류 강도가 크지 않으므로 감육에 대한 우려가 심하지 않은 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- Lauder, B.E., Spalding, D.B.(1972), "Lectures in Mathematical Models of Turbulence", Academic Press, London, England
- Schlichting H.(1979), "Boundary Layer Theory", McGraw-Hill, New York
- Stirzel, C.W., Lapay, W.S., Kim, C.C.(1997), "Aging Management Evaluation for Class 2, 3 and Nonsafety Class Valve Bodies, Pump casings, Piping and Aupperts and Duckwork," Westinghouse, WCAP-14612, Rev.0, pp. 3.9-11

Spalart, P. Allmaras S.(1992), "A One Equation turbulence Model for Aerodynamics Flows", Technical Report IAA-92-0439, American Institute of Aeronautics and Aeronautics
Tannehill, D.A. and Pletcher R.H.(1984), "Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer", Hemisphere, New York
Wilcox, D.C.(1998), "Turbulence Modelling for CFD", DCW Industries Inc., La Canada, California
Jordan, P.A.

2006년 0월 0일 원고 접수

2006년 0월 0일 최종 수정본 채택