

증기터빈 Bypass Valve 의 유동장 해석

최지용* · 김광용**

Analysis of flow Field in a steam turbine LP/HP Bypass control Valve

Ji-Yong Choi*, Kwang-Yong Kim**

Key Words : Bypass valve(감압밸브), Pressure drop rate(압력 강하율), Numerical analysis(수치해석), Periodic condition(주기조건)

ABSTRACT

In the present work, characteristics of the flow in CAGE of a steam turbine LP/HP Bypass control valve for thermal power plant are investigated. The flow field is analyzed numerically by solving steady three-dimensional Reynolds-averaged Navier-Stokes equations. Shear stress transport (SST) model is used as turbulence closure.

1. 서론

보일러가 잦은 부하 변동으로 운전 될 때 보일러와 터빈 사이의 압력 조건을 맞추기 위해 보일러에서 증기를 축출하는데, 이 때 증기를 밖으로 보내지 않고 보일러와 주변 기기 주위를 흐르도록 역할을 해주는 장치를 Bypass Valve라고 한다. Bypass Valve는 발전소 기동시간 단축 및 부하특성 개선, 보일러 터빈의 독립운전 및 계통 과도 형상에 대한 안정성 향상을 가져온다. 현재 국내에서는 화력발전소용 증기터빈 LP/HP Bypass Control Valve의 중요성이 부각되어 이 장치의 설계기술을 국내 개발하기 위한 연구가 진행되고 있다.

Maur⁽¹⁾ 등은 증기터빈 내 메인 밸브에서 발생하는 침식에 관한 시뮬레이션을 수행하였다. CFD 해석을 통해 메인 밸브의 유동패턴을 연구하여 주 침식부의 발생원인과 고체입자의 주입량에 따른 침식률을 예측하였다.

Amano 와 Draxler⁽²⁾는 발전소용 High Pressure Bypass Valve의 수치해석을 통해 밸브의 유동특성과 밸브의 열림에 따른 유량 계수의 변화에 대하여 연구를 하였다. 밸브소음의 원인이 되는 최대 속도 점을 찾아내어 형상개선을 통해 소음을 줄일 수 있음을 주장하였다.

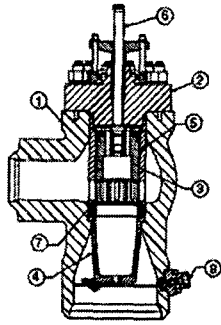
Fig. 1 과 같이 현재 LP/HP Bypass Valve는 그 구조가 상당히 복잡하고 유동 패턴이 특이하게 형성되기 때문에 유동해석과 관련된 연구가 상당히 어렵다. 특히 밸브 내부의 구성품 중 감압의 주 역할을 하는 CAGE 부분의 경우 매우 복잡한 형상을 가지고 있고 압력이 매우 급격하고 빠르게 감소하기 때문에 해석에 곤란함이 있다. 또한 큰 감압으로 밸브 소음의 주원인이 되는 부분이기도 하다.

본 연구에서는 국내 관련 제조회사에서 시험 제작한 시작품의 800MW 화력 발전소용 증기터빈 LP/HP Bypass Control Valve의 주 감압부분인 CAGE의 CFD 해석을 통해 이 장치의 유동 특성에 대하여 연구를 수행하였다.

* 인하대학교 대학원 기계공학과

** 인하대학교 기계공학부

E-mail : jondow@lycos.co.kr



| | | | |
|---|-------------|---|-------------|
| 1 | Body | 5 | Plug |
| 2 | Bonnet | 6 | Stem |
| 3 | Inlet cage | 7 | Seat |
| 4 | Outlet Cage | 8 | Nozzle body |

Fig. 1 Valve components

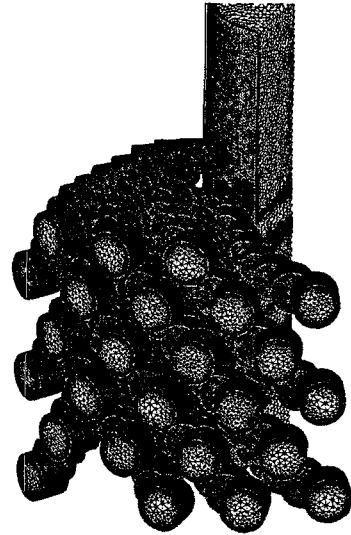


Fig. 2 Computational grids

2. 유동해석방법

본 연구에서는 상용코드인 Ansys사의 CFX-5.7⁽³⁾을 사용하여 비압축성 삼차원 정상유동에 대한 연속방정식과 Reynolds-average Navier-Stokes 방정식을 계산하였다. 난류모델은 SST 모델⁽⁴⁾을 사용하였고, 벽함수로는 Scalable wall function을 적용하였다. Fig. 2와 같이 비정렬 격자계를 사용하여 격자를 구성하였으며, 격자 의존성을 없애기 위한 격자테스트를 거친 후 총 190만개의 격자가 사용되었다. CAGE의 형상이 Fig. 3과 같이 총 125개의 CAGE가 중심축에서 좌우방향으로 72도를 주기로 형성되어 있다. 때문에 본 연구에서는 계산의 효율성과 계산시간의 감소를 위해 주기조건을 사용하여 그림과 같은 총 25개의 CAGE 형상에 대해서만 해석을 하였고, 중심축에서 좌우면에 주기조건을 주어 실제와 동일한 효과를 얻을 수 있게 하였다. 입구조건은 일정한 유량조건을 주었고 출구에서는 대기압조건을 주었다. 작동유체는 실제 실험에서 사용되는 상온의 물을 사용하였다. 계산시간은 3.2GHz의 Pentium-64bit 프로세서에서 약 80시간이 소요되었다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 각 CAGE들의 유로의 유동패턴과 현상들을 중점적으로 비교하여 최종적으로 밸브의 형상 최적화를 목적으로 결과를 해석하였다. Fig. 4는 각

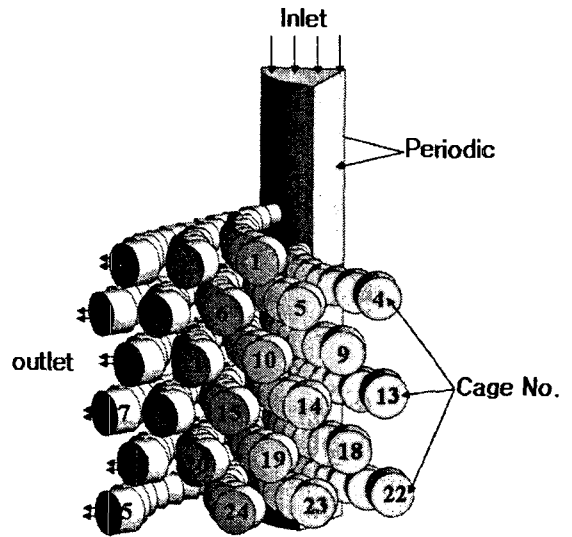


Fig. 3 Calculation domain

CAGE 입구에서의 압력과 유량의 차이를 나타내고 있다. 위쪽에 위치한 CAGE에서 아래쪽에 위치한 CAGE로 내려갈수록 유로 입구에서의 유량과 압력 모두 증가하고 있으며 입구 초기압력이 유량보다 더 크게 변화하고 있으나 전체적인 변화량은 압력이나 유량 모두 위치에 따라서는 크게 변하지 않음을 알 수 있다. Fig. 5는 각 CAGE의 압력 강하율을 나타내고 있다. 각 CAGE에서의 첫 번째 stage와 마지막 stage

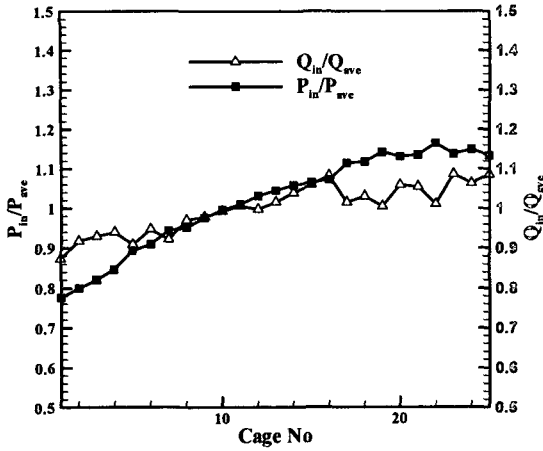


Fig. 4 Distribution of pressure and flow rate at CAGE inlet

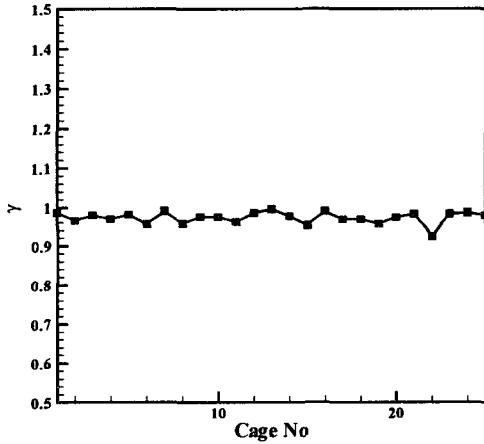


Fig. 5 Distribution of pressure drop rate at each CAGE

에서의 압력을 측정하여 두 압력사이의 비로 압력 강하율을 나타내었다. 계산식은 다음과 같다.

$$\gamma = \frac{(P_{in} - P_{out})}{P_{in}}$$

각 CAGE의 입구 압력이 Fig. 4에서처럼 다소 차이를 보이더라도 각 CAGE의 압력 강하율은 대부분 비슷한 값을 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

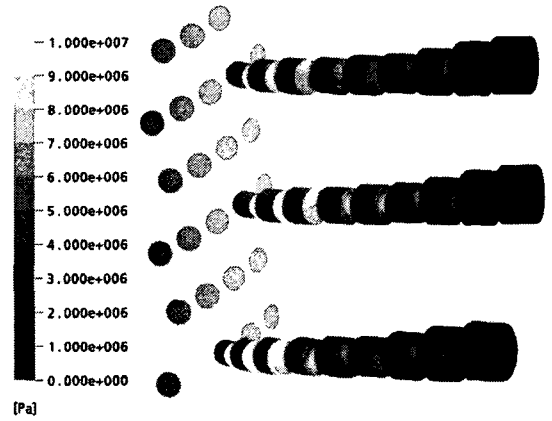


Fig. 6 Contours of local pressure on cage surfaces

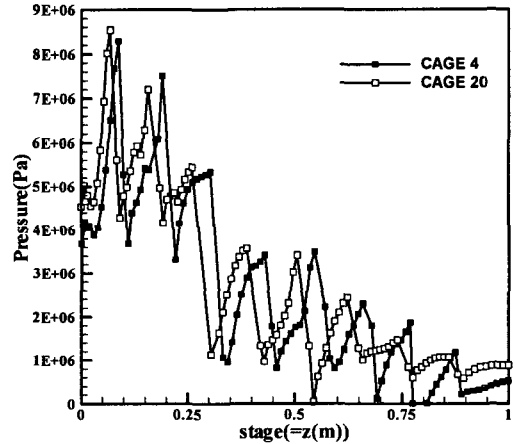


Fig. 7 Distributions of local pressure

Fig. 6 은 입구의 3개의 CAGE 표면에서의 국부적인 압력 값을 나타내고 있다. CAGE 입구 압력조건이 다르기 때문에 그 값에서는 다소 차이를 나타내고 있으나, 전체적인 압력강하는 유사한 형태로 이루어지고 있음을 알 수 있다. 즉 CAGE 내부의 유동패턴도 위치에 상관없이 비슷하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

Fig. 7 은 입구의 두 CAGE 에서 각 Stage별(z 방향) 압력강하를 나타내고 있다. CAGE 20의 입구 압력이 조금 더 크기 때문에 국부적인 압력 값은 차이가 나타나지만, Stage별 압력 강하율이 비슷하게 형성됨을 알 수 있다. 또한 마지막 Stage로 갈수록 압력 강하율이

떨어지며 3번째 Stage에서 압력 강하가 크게 발생하는 것도 동일하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 800MW 화력 발전소용 증기터빈 HP/LP Bypass control Valve 개발을 위해 시험 제작한 시제품의 CAGE해석을 수행하였다. 원주방향으로 72도의 주기로 배열되어 있는 총 25개의 CAGE들들에 대해 주기조건을 사용하여 유동해석을 수행하였다. 유동해석 결과 위치에 따라 입구 유량과 입구 압력은 차이를 보이고 있으나, 그 변화량이 크지 않음을 확인하였다. CAGE별 압력 강하율은 위치에 관계없이 일정한 값을 갖고 있고, CAGE 내 국부적 압력분포의 정성적 형태도 CAGE의 위치에 상관없이 유사한 형태를 보여주고 있다. 이를 통해 위치에 상관없이 각 CAGE들이 유사한 유동 패턴을 가짐을 알 수 있다.

본 연구를 통해 향후 CAGE 형상의 최적설계를 위해 한 개의 CAGE만을 대상으로 최적설계를 수행해도 가능함을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 한국전력 전력산업연구개발사업 (주관기관: 서흥금속(주))의 지원으로 수행되었음을 밝히고 이에 감사드린다.

참고문헌

- (1) Z. Mazur , R. Campos-Amezcuca, G. Urquiza-Beltran, A. Garcia-Gutierrez, 2004, Numerical 3D simulation of the erosion due to solid particle impact in the main stop valve of a steam turbine, Applied Thermal Engineering 24(2204), 1877-1891
- (2) R. S. Amano and G. R. Draxler, 2002, High-Pressure Steam Flow in Turbine Bypass Valve System Part 1: Valve Flow, Journal of Propulsion and Power, Vol. 18, No. 3, pp. 555-563
- (3) CFX-5.7 Solver Theory, Ansys inc., 2004
- (4) Menter, F. and Esch, T., 2001, "Elements of Industrial Heat Transfer Predictions," 16th Brazilian Congress of Mechanical Engineering (COBEM), Uberlandia, Brazil.
- (5) T. S. Lee and L. C. Leow, 1999, Numerical study on the effects of air valve characteristics on pressure surges during pump trip in pumping systems with air entrainment, Int. J. Numer. Meth. Fluids vol. 29, pp. 645 - 655
- (6) Yoshitaka Hayashi, Koji Kagisaki, Takahiro Yamaguchi, Taichi Sakaguchi, Yoshihisa Naka, Yoshiki Sawa, Shigeaki Ohtake, Hikaru Matsuda, 2001, Clinical application of vacuum-assisted cardiopulmonary bypass with a pressure relief valve, European Journal of Cardio-thoracic Surgery, Vol. 20, pp. 621-626