

발전소 주증기 배관 차단밸브의 이상 음향 진동의 규명 및 대책

Identification and Measures on Acoustic Vibration of Main Steam Piping Isolation Valve

김연환†, 배용채*, 조철환*, 김형석*

Yeon-Whan Kim, Yong-Chae Bae, Cheol-Hwan Jo and Kim Hyeong-Seok

1. 서 론

주증기 배관은 보일러에서 고압 증기터빈으로 고온고압의 증기를 전송하는 역할을 하고 차단밸브는 발전소 정지시 주증기를 차단하며 발전소 정상운전에서 밸브 시트 링은 불연속 지점으로써 증기 유동이 통과할 때 와류 압력과의 강화가 나타나 음향소음이 발생하며 밸브 구조의 진동원으로 작용한다. 차단밸브 시트 링부는 공동 전단에서 전단흐름에 따라 발생된 와류가 주기적으로 이탈되면서 공동 후단의 모서리에 부딪치고 이 부위에서 발생된 강한 압력 변동이 다시 공동 전단에 작용하여 와류의 세기를 강화시키는 것으로 알려져 있다. 차단밸브 시트 링은 배관사이에 삽입되어 있는 형태으로써 유동 단면이 급격하게 변화하는 구조로써 발전소 출력에 따라 예상치 않은 강한 와류 맥동이 발생된다. 얇은 공동에서는 음향파장이 공동 길이와 같은 위수를 갖거나 그보다 작은 값을 갖는 경우 유체 흐름 방향으로의 되먹임 현상에 의한 와류의 세기가 증가하는 이상 증폭 현상이 발생한다. 얇은 공동의 맥동파의 주파수는 유속 마하수와 공동 입구폭의 함수이며 공동 길이와 공동 깊이의 비가 충분히 크면 흐름 방향의 정재파가 공명하는 현상이 발생한다.

대상 발전소는 Fig 1과 같은 주증기 배관 차단밸브(Isolation Valve)에서 부하운전 중 와류 맥동의 증폭현상이 발생하였다. 대상 발전소는 보일러 열출력을 2,775 MWt에서 2,900 MWt로 4.5%의 출력증강하였다. Fig 1은 발전소 출력조건에서 32" 주증기

배관에 설치된 차단밸브 시트 링의 모습으로써 발전소 출력에서 흐름방향의 와류 맥동 증폭현상을 규명하고 전향계단에 대한 모따기 대책을 검토하였다. 주증기 차단밸브에서 발생하는 과도진동은 스템을 포함한 각 부품의 마모 및 과손에 영향을 줄 수 있으며, 심한 경우 밸브 시스템 전체에 영향을 미쳐 과손의 원인이 될 수 있고 발전소 불시정지의 요인이 된다. 얇은 공동에서 유동 박리를 최소화 시키도록 설계를 변경하고 밸브 건전성을 확보하기 위하여 유한요소기법으로 밸브 스템 디스크의 밀봉효과를 진단하였다.



Fig. 1 View on seat ring of isolation valve

2. 차단밸브 시트 링 공동의 특성규명

2.1 차단밸브의 공동 구조

차단밸브 공동의 형상으로써 폭은 평균 273mm 아래쪽의 최대 깊이는 80mm이다. “View I”과 “View II”는 Fig 2와 같이 시트 링이 설치된 지점이며 시트 링은 깊이 29.5mm, 폭 65mm (돌출된 지점의 폭: 13~15mm)이며 내경은 551mm 이다. 유입류가 배관의 중심축 방향이 아닌 일정 받음각을 가지고 유입되다가 “View I”과 “View II”지점에서 흐름이 꺾이면서 박리와 와류가 생성되는 구조이다.

† 교신저자; 한국전력공사 전력연구원
E-mail : ywkim@kepri.re.kr
Tel : 042-865-7556, Fax : 042-865-5627
* 한국전력공사 전력연구원

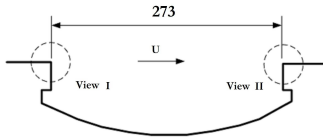


Fig.2 Cavity's shape of isolation valve

2.2 출력증강 후 차단밸브의 음향 맥동현상

Fig 3은 보일러 열출력 4.5% 증강 후 밸브에 대하여 시험한 80~100% 발전소 출력의 음향 소음 스펙트럼이다. 출력증강 전에는 100%대까지 250Hz의 특성이 대표적인 음향성분이었으나 출력증강 후 250Hz의 음향성분은 80% 대 보일러 열출력에서 만 나타나며 90% 대 열출력에서는 370Hz ~ 380Hz의 음향 진동 성분이 주도하고 90% 이상 열출력에서는 370Hz ~ 380Hz와 390Hz ~ 400Hz의 공명 맥동이 발생하였다.

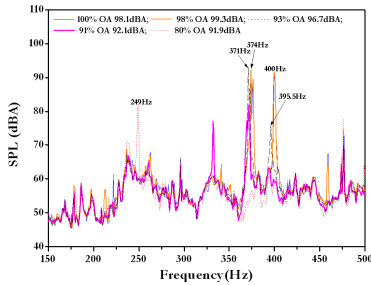


Fig.3 Noise spectrums near isolation valve from 80 to 100% output of power plant

3. 차단밸브 공명맥동 회피대책

3.1 차단밸브의 작동조건 분석

차단밸브는 “stem rod”, “retainer”, “valve body”, “seat ring”, “disc”, “pipe”로 이루어져 “stem”과 “valve body”는 접촉 조건으로 조립된다. “stem”의 “retainer” 양쪽에 2개의 “disc”요소를 스프링과 함께 조립되며 증기 차단조건에서 6.45MPa의 증기력으로 터빈측 “seat ring”에 터빈측 “disc”가 밀착된다.

3.2 모따기 대책 및 효과

시트 링은 깊이 29.5mm, 폭 65mm이며 내경은 551mm이다. 모따기 대책은 경사각을 유로측으로 18° 보다 작게 한다. 모따기 깊이는 시트 링 깊이의 1/3수준으로 결정하고 시트링 폭이 최대가 되는 모따기(<10°) 결과 Fig 4와 같이 압력맥동의 응답범위가 400Hz대에서 200Hz 대로 변경되는 효과를 구하였다.

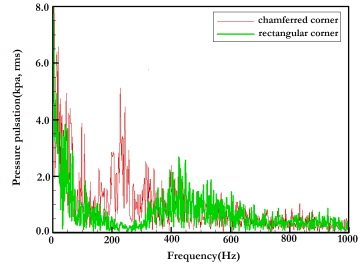


Fig.4 Pressure fluctuations near cavity

3.3 모따기의 밀봉성능 해석

Fig 5와 같이 우측 시트링과 접촉하는 스템 “disc” 접촉면의 최대 변형율은 0.984e-3으로 모따기 없는 조건과 비슷하고 시트링과의 접촉지역의 최소변형도 우측 “disc” 하부에서 0.197e-3로 같아 실제 접촉력에 의한 우측 “disc”의 변형도가 거의 같아 모따기 조건에서 “disc”와 시트링은 균일하게 접촉하여 증기를 밀봉하는 것으로 해석된다.

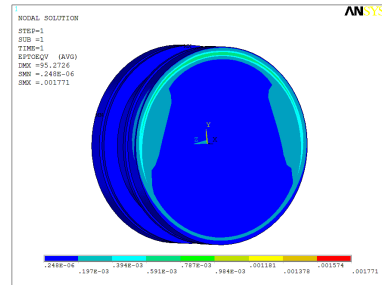


Fig.5 Strain distribution of contact surface by chamfered conditions on disc seat ring of isolation valve

4. 결론

발전소 차단밸브 시트 링에 대한 모따기 대책은 전체 깊이의 1/3로, 시트 링 폭방향의 모따기 길이는 60mm 모따기 (9.5°)하는 것으로 설계하여 공명 발생 영역을 변경하고 모따기후 차단밸브의 밀봉 건전성을 유한요소기법으로 평가한 결과 유효한 결과를 얻었다.

참고문헌

- (1) Heller, H. H., Holmes, D. G., and Covert, E. E., "Flow-Induced Pressure oscillations in Shallow cavities," J. Sound and Vibration, Vol. 18, No. 4, pp. 545-553, 1971.