

발전소용 다중 스프레이형 과열저감기의 열성능 및 안정성에 관한 연구

조남철*, 이덕구**, 이채문***

*안산공과대학 기계과(chonc@act.ac.kr), **에이취아이엠테크(weirhops@chol.com),
***유한대학 기계과(cmlee@yuhan.ac.kr)

Studies on the heat performance and stability for multi spray type desuperheater of the power plant

Cho, Nam-Cheol*, Lee, Deok-Gu**, Lee, Chae-Moon***

*Dept. of Mechanical Eng., Ansan College of Technology(chonc@act.ac.kr),
H.I.M. Tech(weirhops@chol.com),*Dept. of Mechanical Eng., Yuhan University(cmlee@yuhan.ac.kr)

Abstract

The important use of the desuperheater(multi spray type) changes the superheated steam into the saturated steam. It is more efficient and suitable for using the process. Also, it is more convenient and stable regarding the process temperature control. In this study, transient and quasi-static analysis were done for the evaluation of structural integrity of the multi spray type desuperheater of the power plant.

Computational analysis was used to calculate the thermal stress, and the vibration test was done to evaluate the structural stability. This paper is verified by analysis that water spray nozzle($\phi=28mm$) shows the best ability. The results show that structural stability of the desuperheater under the real operating condition was proven.

Keywords : 다중 스프레이형(multi spray type), 과열저감기(desuperheater), 열응력 해석(thermal stress analysis), 진동시험(vibration test)

1. 서 론

발전 및 플랜트 터빈의 바이패스라인(*bypass line*)에 사용되는 과열저감기(*desuperheater*)의 경우 전력생산의 효율을 높이기 위해서는 증기(*steam*)의 온도와 압력을 최대한 높게 유지해야 하며, 터빈을 통해 전력생

산을 하고 나온 증기를 프로세스에 사용하기 위해서는 적절한 온도와 압력으로 리포밍(*reforming*) 해야 한다. 경우에 따라서는 보일러에서 나온 고온고압의 증기를 바로 프로세스에서 사용할 수도 있으므로 리포밍 과정은 상당히 중요한 공정으로서 장비선정에 세심한 주의가 필요하다.

고온고압의 증기를 이용하여 터빈을 회전시켜 전력을 생산하게 되면, 증기는 일을 하는 과정에서 에너지를 소모하여 온도와 압력이 낮아지게 된다. 터빈 또는 제너레이터의 고장으로 전력생산을 할 수 없을 경우 고온고압의 증기를 바이패스(bypass) 시켜야 하는데, 대기 중에 방출할 경우 소음 및 진동의 환경문제를 일으키고, 또한 막대한 에너지 손실이 발생하게 된다.

과열저감기(desuperheater)는 과열증기의 온도를 낮추기 위하여 과열증기의 흐름 속으로 물을 분사하는 장치이다. 물 분사를 통하여 완전 가스 상태를 유지하는 과열증기의 온도를 낮추어 원하는 과열도(포화온도)까지 낮추게 된다. 이는 공정 가열용으로 포화증기를 사용하는 것이 과열증기를 직접 사용하는 경우보다 안정적이며 경제적이고 열전달 효율이 증가되는 등 효율적이기 때문이다.

이에 본 연구에서는 화력, 복합화력, 원자력발전소등에 사용 가능한 다중 스프레이형 과열저감기(desuperheater)의 열성능과 열용량 해석 및 진동 특성을 고찰하여, 그 안정

성을 비교분석하였다.

2. 다중 스프레이형 과열저감기

다중 스프레이형 과열저감기는 실제 화력 및 복합화력 발전소 터빈 바이패스(bypass)에 많이 사용되어지는 12inch와 발전소 정상 운전 조건인 압력 20bar(a), 온도 733.2K(460°C)를 고려하였다. 또한, Fig. 1은 과열저감기의 입출입 증기의 온도, 유량, 압력 및 각종 밸브의 특성 등의 터빈 바이패스 시스템 계통도를 나타낸 것이다.

Fig. 2는 본 연구에서 개발 사용된 다중 스프레이형 과열저감기의 실제 형상이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 열성능 및 열용량해석

다중 스프레이 노즐의 크기 변화가 과열저감기의 성능에 주요한 인자로 작용한다. 일반적인 발전소용 형상 및 운전조건하에서는 앞선 연구 결과에서와 같이 노즐 크기가 28

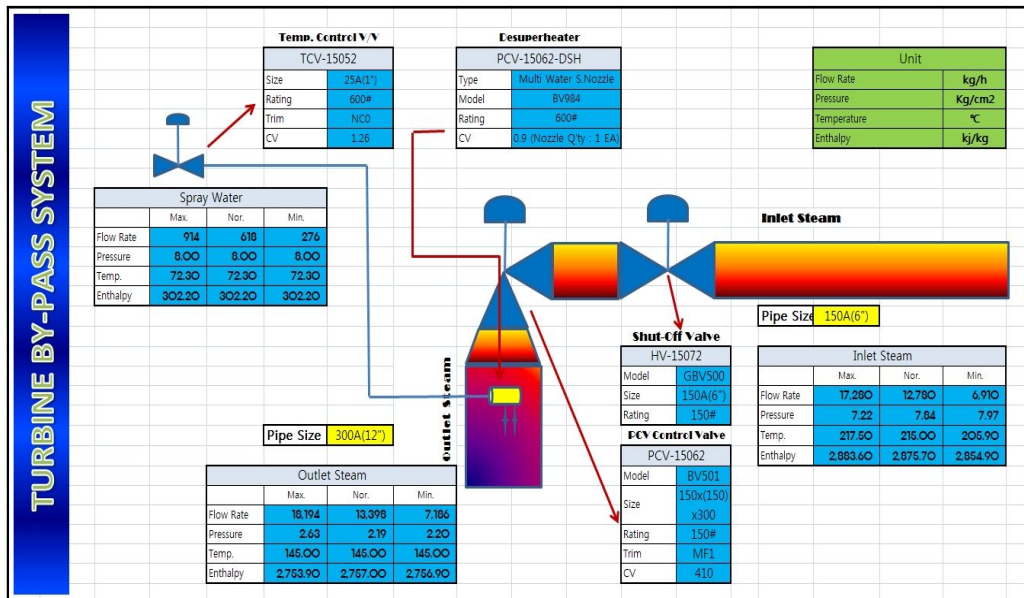


Fig 1. Turbine by-pass 시스템 및 계통도



Fig 2. 다중 스프레이형 과열저감기

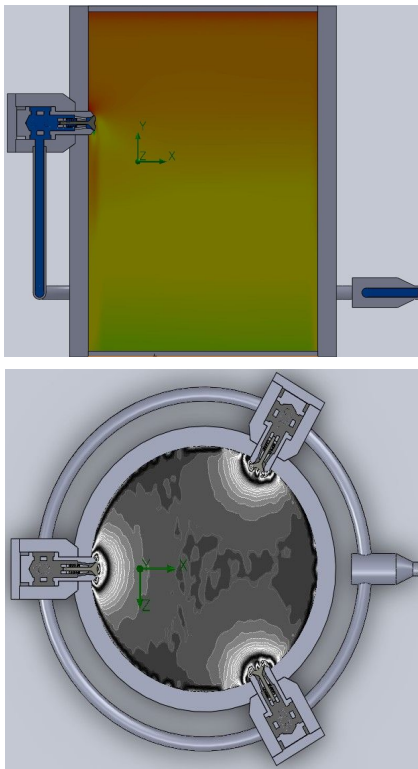


Fig 3. 과열저감기의 온도 및 분사성능

mm 일 때 감온 온도가 482K(209℃)로 포화 증기 온도가 486K (212℃)이기 때문에 포화 증기로 현재 발전소 운전조건으로 사용 가능

함을 알 수 있다.

이에 발전소에 직접 적용이 가능한 노즐의 사이즈가 28mm인 감온밸브의 기구적 안정성을 검토하기 위하여 열응력 해석을 수행하였다.

열응력 해석은 ANSYS workbench를 이용하여 과도 열전달 해석을 수행한 후 응력적 구조 변화 해석을 수행하였다. 해석에 적용한 조건은 실제 발전소에서 적용하고 있는 온도로서 노즐 내부에는 50℃, 외부에는 530℃를 적용하였고 노즐의 계폐수가 일정하지 않기 때문에 10초간 동일한 온도를 적용하였다. 그 밖의 해석 조건은 Table 1 과 같이 사용하였다.

Table 1. 열응력 해석조건

Material	Nozzle & Nozzle body	
	Density	8000Kg/m ³
	Tensile strength, Ultimate	550MPa
	Tensile strength, Yield	240MPa
	Elasticity modulus	193GPa
	Poissons ratio	0.31
	Specific heat	500J/Kg-°C
	Thermal conductivity	16.3W/m-°C
Total nodes	5870	
Total elements	3155	
Heat source	50°C (In) / 530°C (Out)	
Boundary condition	22°C	

감온밸브의 열응력 해석 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 감온밸브의 외부에는 열응력의 발생 현상이 나타나지 않았지만 nozzle body 부분의 안쪽에 열응력이 발생된 결과를 나타내었다. 이는 외부의 높은 온도의 열이 체적이 가장 작은 부분으로 이동하여 발생된 결과로 볼 수 있다. 그러나 nozzle 부분에는 열적 영향이 없는 경향을 나타내었고 nozzle body의 최대 열응력은 0.017Pa로 상당히 작은 수치를 나타내고 있어 안정성이 있는 결과를 보여주고 있다.

Fig. 5는 열에 의한 변형 상태를 보여주는 그림으로 재료의 특성상 고온의 열에 의하여

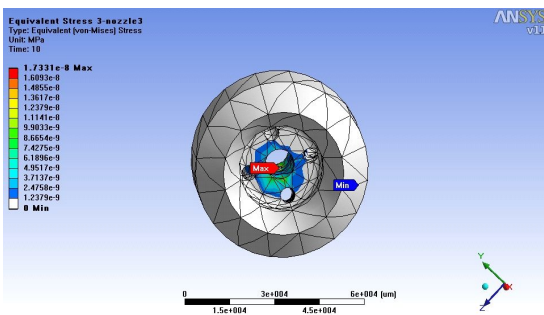
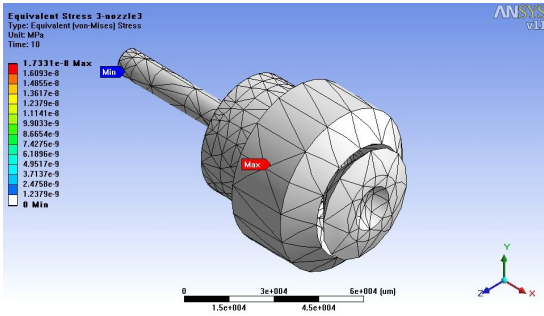


Fig. 4 감온밸브의 과도 열전달에 의한 열응력 해석

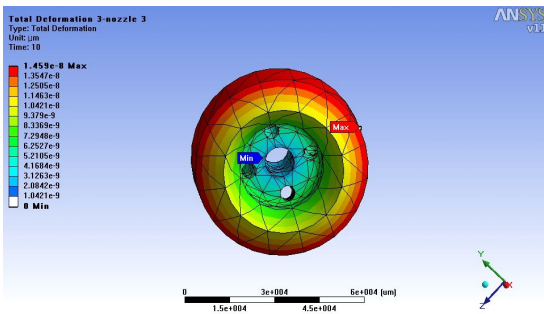


Fig. 5 감온밸브의 열변형 해석 결과

nozzle body 부분이 팽창하는 경향을 나타내고 있다. 그러나 열에 의한 변형 정도가 구조적 결함 문제를 발생시킬 정도의 크기가 아닌 매우 작은 변형이 발생된다는 결과가 나타났다.

Fig. 6은 열응력과 변형의 정도를 그래프로 나타내었다. 열응력의 변화 현상은 3초까지 급격히 증가하는 경향을 나타내었지만 이후에서는 일정하게 유지되는 경향을 나타내고

있다.

변형의 경향은 급격히 증가하는 경향을 나타내었지만 열응력이 일정하게 유지가 되고 있는 것으로 보아 일정 시간 이후에서는 변형의 증가도 일정하게 유지가 될 것으로 판단된다. 또한 수치적으로 판단하였을 때 본 감온밸브는 구조적으로 안정성이 유지될 수 있는 결과로 볼 수 있다.

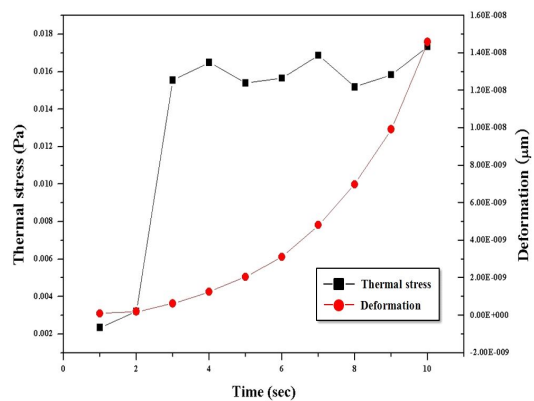


Fig. 6 시간에 따른 감온밸브의 열응력 과 열변형 특성 곡선

3.2 진동 안정성

등가 정적해석은 대상 기기의 1차 고유진동수가 입력파의 주파수 성분보다 큰 강성기기에 적용할 수 있다. 정적 해석에 사용되는 각 부품에 작용하는 지진하중은 각 부품의 질량에 입력파의 최대 가속도를 곱해서 구해지며, 이를 이용하여 해석을 수행한다.

단순 동적해석은 복수 주파수 가진과 여러 모드가 응답에 기여하는 영향을 고려하기 위한 정적 계수(static coefficient)를 도입하며, 각 부품에 작용하는 하중은 부품 질량에 요구응답스펙트럼(required response spectrum, RRS)의 최대값과 정적계수를 곱해서 구하고, 이를 이용하여 정적해석을 수행한다. 일반적으로 정적계수는 1.5로 한다.

시간이력해석에서는 3방향, 즉 2개의 수평

방향과 1개의 수직방향에 대해 서로 통계학적으로 독립인 시간이력 지진하중을 동시에 입력하여 계산한 경우, 최종 응답크기를 각 시간증분별 대수합으로 구할 수 있다.

Fig. 7은 진동시험장치의 사진으로 과열저감기는 강구조물로 이루어진 치구를 제작하여 그림과 같이 진동대 위에 설치하였다. 과열저감기 내부는 순수로 채웠다.

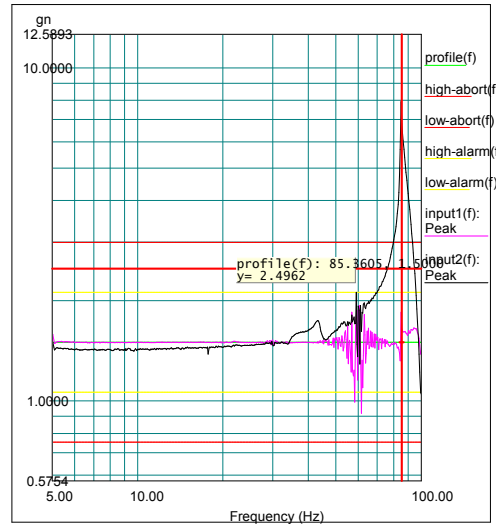
가속도계는 진폭방향에 따라 2개 이상을 설치하였으며, 하나는 주과수 입력정도를 관찰하기 위해 진동대에 설치하고, 다른 하나는 공진점 탐색과 피 시험품의 진동정도를 관찰하기 위하여 최대 진폭이 예상되는 곳(과열저감기 상단)에 설치하였다.



Fig 7. Desuperheater on Vibration Test System

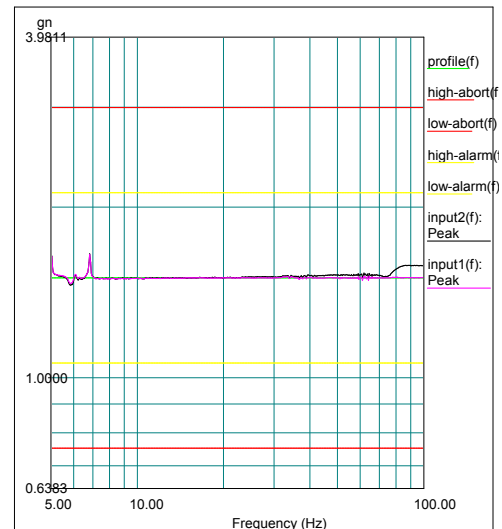
Fig. 8 과 9는 과열저감기의 진동시험 결과를 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 전 방향 5G의 진동조건을 주었다. A에서 3.22308×10^9 N/m의 최대응력이 발생하였지만 실제의 5배의 변형배율에서 해석되었으며, IEEE 184에 근거하여 33Hz 이상인 99.997 Hz부터 공진이 시작되었기 때문에 진동에 안정적인 구조라고 말할 수 있다.



Level: 100 % , Control Peak: 1.416908 gn
 Full Level Time: 00:04:20
 Sweep Type:Logarithmic, Frequency: 99.997Hz
 Demand Peak: 1.500000 gn

Fig 8. y축 진동시험 결과



Level: 100 % , Control Peak: 1.500885 gn
 Full Level Time: 00:04:20
 Sweep Type:Logarithmic, Frequency: 99.997Hz
 Demand Peak: 1.500000 gn

Fig 9. z축 진동시험 결과

4. 결 론

본 연구에서는 발전소용 다중 스프레이형 과열저감기의 열성능과 열응력, 진동 등의 안정성을 실험과 해석적인 방법으로 고찰한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 노즐 사이즈가 28mm일 때 감온 온도가 482K(209℃)로 포화증기 온도가 486K(212℃)이기 때문에 포화증기가 형성되고 열응력과 열변형이 매우 작은 수치를 나타냈다. 이는 과열저감기가 구조적 안정성이 있기 때문에 현재 발전소 운전조건으로 사용 가능함을 알 수 있다.
- (2) 과열저감기는 IEEE 184 에 근거하여 33Hz 이하 영역에서는 진동값의 변함이 없었으며, 99.997 Hz부터 공진이 시작되어 안정성이 확보되었다.

참 고 문 헌

1. Control Valves, Recommended & Technical-ISA Std,s. ISA-S75
2. J. Paul Tullies, Hydraulics of Pipelines Pumps, Valve, Cavitation, Transients, 1st, John Willey & Sons, 1989
3. 한국전력기술 Technical Specification of Control Valves for Safety Related and Severe Service at Ulchin 5 & 6, 1999
4. ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section III Div. 1, Subsection NC - Class 2 Components, 1986
5. IEEE Recommended Practices for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations, IEEE Standard 344-87, 1987
6. 이덕구, 조행훈, 조남철, 이채문, 다중 물 분사 노즐이 장착된 감온밸브의 해석연

구, 한국태양에너지학회 추계학술대회 논문집, 2009

7. Sun, D.W, and Eames, I.E., "Recent developments in the design the orifice and applications of Ejectors a review", Journal of the Institute of Energy, Vol. 68, June, pp. 665~676, 1995