

## 발전소 가열기 급수용 배관계 이상 진동 고찰

### Investigation on Transient Vibration of Piping System to Heater in a Power Plant

양경현\* · 조철환\* · 배춘희\*

K. H. Yang, C. H. Cho and C. H. Bae

**Key Words** : Feedwater(급수), Deaerator(탈기기), Piping System(배관계), Control Valve(조절밸브), Support(배관지지), Resonance(공진)

#### ABSTRACT

There was transient vibration on the piping system from #4 heater to the deaerator in a power plant. We found it was resulted from resonance between the natural vibration of the piping system and vibration induced by flow of feedwater. We verified it would reduce vibration by increasing stiffness of the piping system.

Therefore we concluded that it would be generally better to increase stiffness of the piping system to reduce vibration amplitude of 10Hz low for big sized piping systems.

#### 1. 서 론

일반적으로 표준 석탄 화력발전소의 급수(터빈-발전기를 회전시킬 수 있는 동력원인 증기발생을 위해 공급되어지는 물) 계통은 급수펌프에서 이송을 위한 본격적인 공급을 시작하여 저압 급수가열기 및 탈기기(급수에 용해되어 있는 O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Ar과 같은 Non-Condensable 가스를 감압과 가열해 줌으로써 급격하게 Solubility를 감소시켜 급수로부터 가스를 분리시키는 기기)를 지나 고압 급수가열기로 이송되는 구조를 가진다. 이러한 급수계통은 발전량을 결정하는 중요요소이기 때문에 안정적이고, 지속적으로 유지되어야 한다. 그러나 특정 화력발전소에서는 저압 급수가열기를 통과하여 탈기기로의 급수 수위를 조절하는 배관계에서 높은 진동이 발생하고 있었고, 유량제어 상태에 따라 진동의 양상이 변하는 특성을 보이고 있어 발전시스템에 상당한 불안요소로 작용되고 있었다. 동일 발전소 주변 호기의 수위조절 밸브 배관계는 동일한 구조를 가지고 있으면서도 안정적인 진동상태를 보이고 있었는데, 그 원인은 밸브의 제조사가 달라 내부 구조가 다른 상태였기 때문이었다. 향후 신뢰성이 입증된 제품으로 교체될 계획이 있어 현재 상태에서 배관의

진동상태를 안정적인 범위로 저감시켜 운전을 지속시키는 것이 본 논문의 목표였다. 따라서 진동현상의 특성과 발생 메카니즘을 규명하고, 현장 여건에 맞추어 수행될 수 있는 시험적 과정을 통해 배관계의 진동을 저감하고 배관계의 안정성을 유지하기 위하여 수행된 내용을 기술하고자 한다.

#### 2. 문제점 고찰

##### 2.1 시스템의 개요



Fig. 1 Piping system for control of the deaerator

저압 가열기를 통과한 급수는 탈기기(Deaerator)의 수위 조절 밸브를 통과하여 탈기기로 이송된다(Fig. 1) 발전량에 따라서 정상적인 경우 주 조절밸브 및 저부하 조절용 밸브

† 한전 전력연구원  
E-mail : yangkh@kepri.re.kr  
Tel : (042)865-5324, Fax : (042)865-5314

\* 한전 전력연구원

를 적절하게 조화시켜 동작시키고, 만약의 문제발생시 수동 조절밸브를 사용하도록 구성되어 있다.

### 2.2 수위 조절밸브와 진동의 문제점

일반적으로 단위 발전소내에 터빈-발전기를 기준으로 동일한 형태로 건설되기 때문에 주요 배관계라든지 구조물 등의 위치 및 구조가 거의 흡사하게 구성된다. 그러나 같은 외형이라도 내부의 구성품을 달리 사용하는 경우가 있어 성능 혹은 특성이 달라지는 경우를 자주 접하게 된다.

여기서 언급되고 있는 탈기기 수위 조절용 밸브는 주변 호기와 다른 제품이 사용되었고, 이 제품의 제어용량이 기존의 제품에 비해 적은 것으로 밝혀졌다. 최초 설치되었던 밸브 시스템 주변의 유동 특성을 살펴보면 대략 20~150Hz 정도의 넓은 주파수 범위에서 불규칙적으로 진동이 발생하는 난류유동의 특성을 보이고 있었다.

진동 저감을 위해 현장차원에서 급수펌프의 개선을 통해 효율을 약간 낮추어 주고, 밸브 seat내 cage 구멍의 직경을 확대 변경하였다. 그 후 진동의 특성이 변하여 주로 발생되는 주파수는 10Hz 이하의 저주파 특성을 보이는 상태로 변경되었다.

## 3. 문제점 분석

### 3.1 진동 특성의 분석

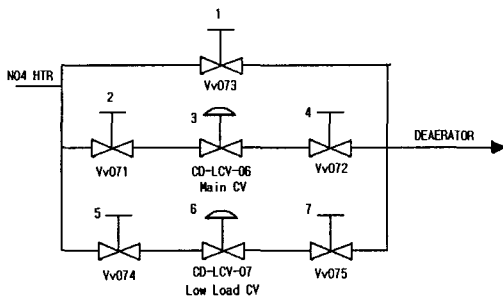


Fig. 2 Schematic of the piping system

측정위치는 Fig. 2에서 표시된 위치를 기준으로 하여 측정방향은 대부분의 진동특성을 보이고 있는 상하방향에 대하여 수행되었으며, 측정 결과는 Table 1과 같다.

측정된 진동현상의 특성을 살펴보면 주로 3Hz정도에서 가장 높은 진동이 발생하고 있고, 전체적으로 10Hz 이하에서 진동이 발생하는 특성을 보이고 있었다. 특히 3~5Hz 정도의 주파수는 배관을 지지하고 있는 건물 구조의 고유진동수와도 관계가 있어 배관계가 위치한 근처에서도 배관의 진동이 느껴지는 공진현상을 경험할 수 있었다.

결국 현장의 진동특성에 의해 나타난 점을 정리하면 수위 조절용 밸브가 전·후 사이에 부조화를 일으키면서 10Hz이

하의 주파수 특성을 지닌 진동이 배관계에서 발생하고 있었고, 배관계를 지지하고 있는 구조물 바닥도 공진의 영향으로 진동이 발생하는 현상을 보이고 있었다.

Table 1. Measurement result for the piping system

point	direction	3.25Hz	3.75Hz	5.25Hz	6.1Hz	8.4Hz
1	perpendicular to the ground	85.4		106		97.6
2		197	190	90	114	
3		82.2			57	78.9
4				142		
5			35.5	44	48.9	43.4
6		161		128		93.8
7		23				44

< unit :  $\mu\text{m-rms}$  >

### 3.2 배관계의 진동원인 규명

계속적인 현장의 가동 조건 때문에 배관계에 대한 직접적인 고유진동수 측정은 불가하여 배관계에 대한 유한요소 모델을 수립하여 그 고유특성을 분석하고, 현장 진동측정결과와의 비교·검토를 통하여 진동의 원인을 규명하고자 하였다.

#### (1) 배관계의 유한요소 모델수립

배관계의 고유특성을 살펴보기 위해 Fig. 3과 같이 배관계 상용 해석프로그램을 이용하여 유한 요소모델을 생성하였다. 저압 급수가열기로부터 급수가 이송되어 탈기기 수위 조절밸브를 거쳐 탈기기 입구까지 배관의 경로를 보여주고 있다. 특히 Fig. 3에서 적색 점선부분이 본 연구에서 다루고 있는 문제의 영역이다.

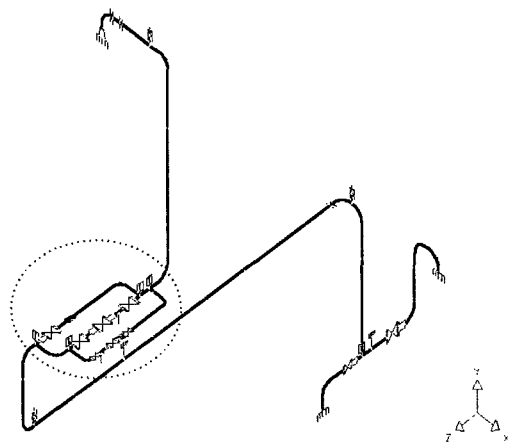


Fig. 3 FE model for the piping system

## (2) 배관계의 고유진동수 특성 분석

배관계의 유한요소 모델을 대상으로 고유진동수 해석을 실시한 결과는 Table 2와 같다.

대용량 이송을 위한 배관계이기 때문에 해석결과에서와 같이 주로 10Hz 이하에서 고유진동수가 상당히 밀집되어 분포하고 있음을 알 수 있다. 또한, Table 1로부터 배관계에서 측정된 진동의 특성과 비교해 보면 높은 진동이 발생한 주파수와 거의 유사한 고유진동수가 존재하고 있음을 알 수 있다. 특히 3.5Hz에서의 고유 진동 모드는 현장측정 결과에서 3.25, 3.75Hz에서 공진에 의한 과도진동이 발생되었던 직접적인 원인이었다(Fig. 4).

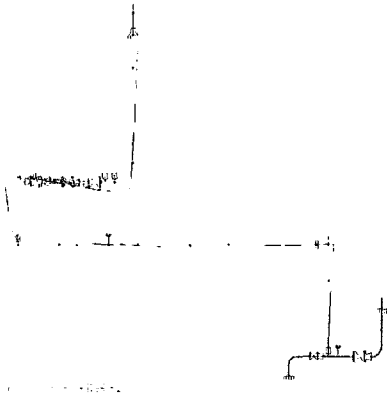


Fig. 4 Vibration mode at 3.5Hz

결국 배관 진동의 원인은 대형 배관계가 지니는 저주파 영역의 고유 특성과 유체유동에 의해 발생하는 가진 주파수가 근접하여 발생하는 진동이 원인임을 알 수 있었다. 또한, 배관이 위치한 건물바닥의 진동 또한 일반적인 건물의 저주파 특성과 가진 특성과의 근접에 의해 발생하는 현상임을 재확인할 수 있었다.

Table 2. Vibration modes of the FE model

Mode No.	2	3	4	5
Natural Frequency	1.4Hz	1.8Hz	2.4Hz	2.6Hz
Mode No.	6	8	11	12
Natural Frequency	3.5Hz	4.6Hz	8.1Hz	8.8Hz

## 4. 배관 진동의 저감

### 4.1 배관계 모드변경에 대한 고찰

배관계의 고유특성이 10Hz 이하에 상당히 밀집되어 존재하고 있으므로, 이 특성을 변경시켜줌으로써 유체유동에 의해 발생하고 있는 가진 특성과의 근접을 피하고자 하였다.

따라서 유한요소 모델을 통해 관심대상 부분의 지지점을 추가하여 배관계의 강성을 높이고자 하였다.

여러곳의 지지점 추가 시도를 유한요소모델을 통해 실시하였다. 최소의 추가설치와 배관의 열적변형 및 응력의 변화등을 고려하여 아래 Fig. 5에서와 같이 적색점에 rigid 지지를 실시하였다.

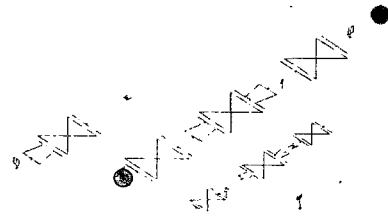
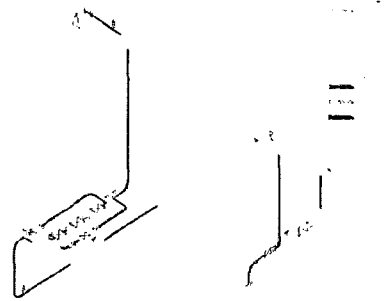


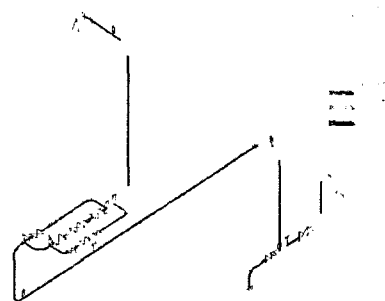
Fig. 5 Addition of supports to change modes

Table 3. Vibration modes of the FE model

Mode No.	7	10	11
Natural Frequency	4.8Hz	8.8Hz	10.1Hz



<a> Before addition of supports



< b > After addition of supports

Fig. 6 safety ratio for thermal stress before and after addition of supports

위의 적용결과에 대해 고유진동수 해석을 실시한 결과를 정리한 내용은 Table 3과 같다. 배관의 상하방향에 대한 모드만을 볼 때 지지점 보강 이전보다 고유진동의 모드수가 상당히 줄었다는 것을 알 수 있다. 즉, 유체 유동에 의해 배관에 가진되는 진동특성과 근접하고 있던 배관의 고유진동수가 변화하였음을 알 수 있다. 이 결과를 현장의 배관계에 적용하기 전에 배관계의 열응력에 대한 변화 또한 검토한 결과 Fig. 6와 같이 전·후의 변화가 거의 없었으며, 허용응력에 대하여 안정적인 범위내에 존재하고 있음을 확인할 수 있었다.

#### 4.2 배관 지지부의 추가

모드 변경 내용을 고려하여 최종적으로 선정된 위치에 배관지지 장치를 추가하기에 앞서 유압잭을 이용하여 임시적으로 현장 설치작업을 실시하였다(Fig. 6).

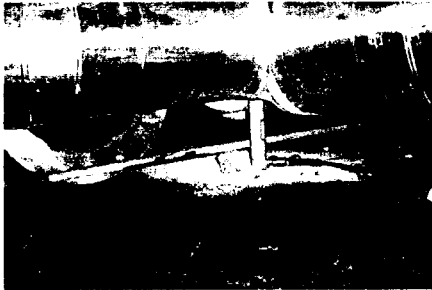


Fig. 7 A support by the hydraulic jack

지지 보강 후 진동상태를 측정한 결과 상하방향 진동수치는  $13.6\mu\text{m}$ (3.25Hz),  $11.4\mu\text{m}$ (8.375Hz)인 것으로 나타났으며, 터빈 축과 같은 방향의 진동수치는  $37.3\mu\text{m}$ (3.5Hz),  $18.2\mu\text{m}$ (8.63Hz)로 안정적인 범위 내에서 유지되고 있음을 확인하였다.

결과적으로 유한 요소모델을 이용하여 적용한 결과는 배관지지물의 추가로 강성을 높여줌으로써 10Hz 이하에서의 유체유발 진동에 대하여 매우 안정적인 범위로 진동상태를 낮출 수 있었다.

#### 4. 결론

본 논문에서 수행된 내용을 정리하면 다음과 같이 마무리할 수 있다.

첫째, 탈기기의 수위조절 배관계에서 발생된 과도진동의 원인은 밸브를 통과하면서 발생된 유체유동 특성에 의한 가진력이 배관과 공진을 초래하여 발생된 것이었다.

둘째, 유체유발 진동의 특성을 변경하기 위해서는 동일 발전소내 타호기의 밸브와 같이 안정적인 유체유동을 유지시키는 제품으로 교체하는 것이 원칙이나, 현장 특성상 완전 교체는 발전소 가동 정지후 정비공사 기간동안 수행될 수 있기 때문에 배관의 과도진동을 저감시키는 방향에 초점을 맞추었다.

셋째, 대형배관계의 고유 진동특성을 고려할 때 유체유발에 의한 저주파의 특성을 보일 수 있는 맥동이나 부조화 현상 등이 발생하지 않도록 유의해야 하고, 만약 본 경우와 같은 현상이 발생하게 되면 배관계의 강성을 더욱 높여주는 방향으로 개선하는 것이 좋은 결과를 가져온다.

#### 참 고 문 헌

- (1) EPRI, 1988, Piping System Damping Evaluation, EPRI, California.
- (2) Morgann, K. S, 1986, Calculator Programs for Pipe Stress Engineering, John Wiley & Sons, New York
- (3) Stijgeren, E. V., 1985, Recent Advances in Pipe Support Design, ASME
- (4) Algor Inc., 1999, DOCUTECH, Algor Inc., Pittsburgh
- (5) Algor Inc., 1993, PipePlus Reference Manual, Algor Inc., Pittsburgh