

발전소 주급수펌프터빈의 증기공급배관에 대한 진동저감 방안

Reduction Method for the Piping Vibration of Main Feed-water Pump Turbine

원윤호† · 전창빈* · 오동범**

Younho Won, Changbeen Jeon, and Dongbum Oh

1. 서론

주급수펌프터빈계통은 주급수펌프터빈을 구동시키는 기능을 수행하며, 주급수펌프터빈은 그림 1 과 같이 주급수펌프터빈 계통으로부터 증기를 공급받아 구동된다.

- 터빈출력 40% 이상 시: 습분분리재열기 후단의 재열증기 공급
- 발전소 기동 또는 터빈출력 40% 이하의 저출력 운전 시: 주증기 공급
- 주급수펌프터빈 시험 시: 보조증기 공급

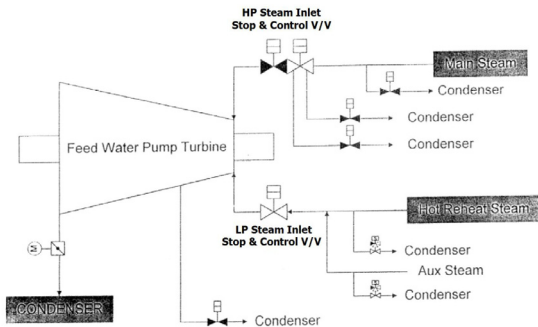


그림 1. 주급수펌프터빈 배관 계통도

주급수펌프터빈은 변속운전이 가능하도록 설계되어 있으며, 급수제어계통에서 요구하는 펌프속도 설정치에 따라 터빈 속도조절밸브가 터빈에 공급되는 증기량을 조절한다.

증기공급배관은 속도조절밸브의 헌팅에 의해서 진동이 발생하고 있으며, 고진동이 터빈 노즐부에 피로손상을 발생시킬 위험이 있기 때문에 배관계의 건전성을 확인하고 진동감쇠 방안을 수립하였다.

2. 본론

그림 2 는 진동측정 위치 및 측정 방향으로 고진동이 발생하는 방향으로 진동을 측정하여 평가하였다.

† 한국전력기술㈜

E-mail : wyh@kepco-enc.com

Tel : (051) 726-6227

* 한국전력기술㈜

** 한국전력기술㈜

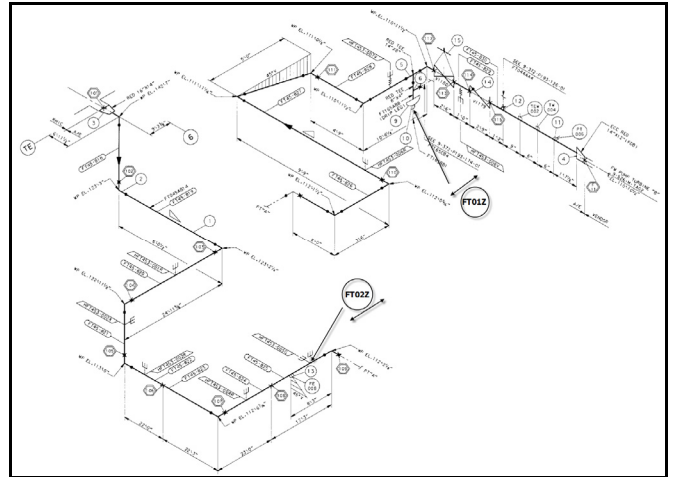


그림 2. 진동측정 위치 및 측정 방향

표 1. 단순보 방법에 의한 측정 데이터 평가

| | Drain Valve (FT01Z) | 005G Clamp (FT02Z) |
|---------------------|---------------------|--------------------|
| 측정 변위 (mils, Pk-Pk) | 87.4 | 164.5 |
| 허용 변위 (mils, Pk-Pk) | 50.2 | 226.9 |
| 주요 가진 주파수 (Hz) | 1.77 | 1.78 |
| 평가결과 | 불만족 | 만족 |

* ASME OM S/G Part 3, 단순보 방법(Simplified Method for Qualifying Piping System) 적용

표 1 은 측정 데이터를 평가한 결과를 요약한 표로 터빈 노즐 근처(FT01Z)에서 측정된 데이터가 단순보 방법에 의한 허용변위를 초과하였음을 보여준다.

현장점검 결과, 속도조절밸브의 조절량이 다른 발전소보다 많았으며, 조절량과 조절횟수에 연동되어 증기공급배관에 고진동이 발생함을 확인하였다.

급수제어계통의 제어신호에 따라 속도조절밸브가 미세하게 증기량을 조절하면 배관 내에 압력맥동이 발생하고, 증기공급배관을 따라 압력맥동이 전달되면 엘보와 같은 압력-진동 연계요소에서 불평형력이 발생한다.

그림 3 은 증기공급배관의 측정 데이터와 주파수 분석 결과로 불규칙적인 진동특성을 보여주는 일반적인

배관진동과 달리 Sine 파형의 진동특성을 보이며, 진동주기는 약 2 Hz 로 속도조절밸브의 헌팅 주기와 일치함을 확인하였다.

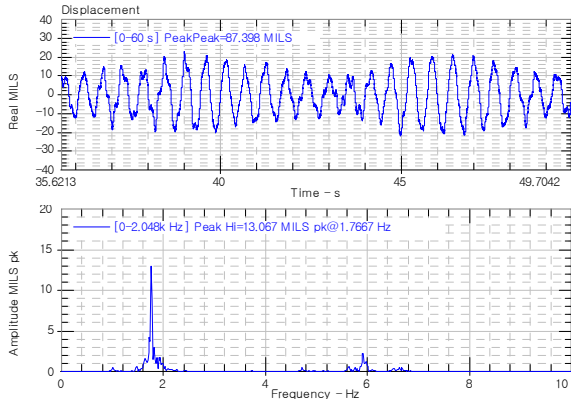


그림 3. 진동 특성

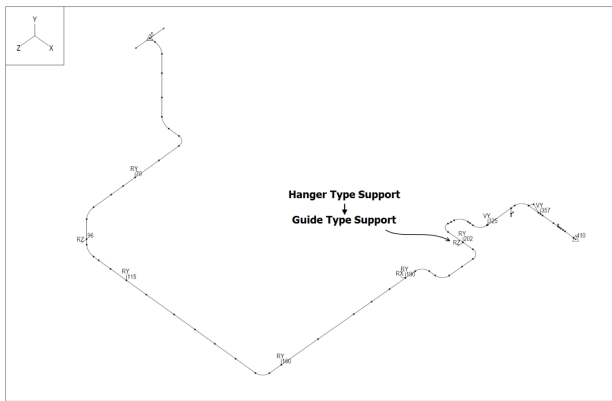


그림 4. Rigid 지지대 보강 시 해석모델(경계조건 입력)

표 2. 코드 허용응력 검토

| 코드 식 | 결점 | 배관응력(psi) | 허용응력(psi) | % (배관응력/허용응력) |
|------|-----|-----------|-----------|---------------|
| 11 식 | 115 | 4400 | 15000 | 29.3 |
| 12 식 | 115 | 4400 | 18000 | 24.4 |
| 13 식 | 10 | 11300 | 35242 | 32.1 |

표 3. 주급수펌프 터빈 노즐 허용하중 검토

| 코드 식 | 작용하중 | 허용하중 | % (작용하중/허용하중) | 만족여부 |
|---------------------|------|------|---------------|------|
| FR + $\frac{MR}{3}$ | 6549 | 3340 | 196 | 불만족 |

* NEMA SM-23

증기공급배관은 해당 배관계의 열팽창과 기기노즐의 열팽창 변위를 수용할 수 있도록 유연성을 고려하여 설계되어 있다. 그림 4 는 Rigid 지지대를 적용한 해석모델이며, 표 2 와 표 3 은 해석결과이다. Rigid 지지대를 이용하여 진동변위를 구속할 경우 코드

허용응력은 만족하지만, 노즐 허용하중은 만족시키지 못하므로 강성이 없는 진동감쇠기를 이용하여 진동을 감쇠시켜야 함을 알 수 있다.

그림 5 는 진동감쇠기(Viscous Damper)를 적용한 해석모델이며, 표 4 와 표 5 는 해석결과이다. 허용응력과 비교한 결과, 진동감쇠용 지지대 보강 후 각 Code Equation 별 최대응력 값은 모두 코드의 허용응력을 만족하였고, 주급수펌프터빈의 노즐 하중을 허용하중과 비교한 결과, 허용하중을 만족하는 것을 확인하였다.

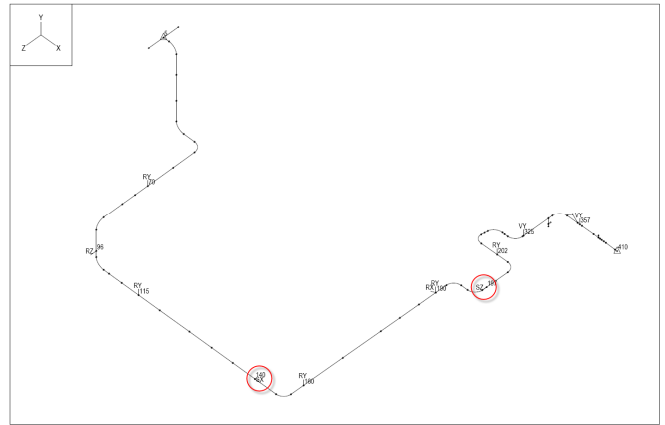


그림 5. 진동감쇠기 적용 시 응력해석모델

표 4. 코드 허용응력 검토

| Code Equation | Node Point | 최대응력 (psi) | 코드 허용응력 (psi) | 최대응력/허용응력 비율 (%) |
|---------------|------------|------------|---------------|------------------|
| 11 | 115 | 4400 | 15000 | 29.3 |
| 12 | 115 | 4400 | 18000 | 24.4 |
| 13 | 10 | 10500 | 33660 | 31.2 |

표 5. 주급수펌프터빈 노즐 허용하중 검토

| 코드 식 | 작용하중 | 허용하중 | % (작용하중/허용하중) | 만족여부 |
|---------------------|------|------|---------------|------|
| FR + $\frac{MR}{3}$ | 1918 | 3340 | 57.4 | 만족 |

3. 결 론

증기조절량이 커져 증기공급배관의 진동이 증가하면 펌프 노즐부에 피로손상이 발생할 위험이 있기 때문에 진동 원인 및 배관계의 건전성을 확인하고 진동감쇠 방안을 수립하였다.

Rigid 지지대를 이용하여 진동변위를 구속할 경우 진동을 쉽게 구속할 수 있으나, 큰 유연성을 필요로 하는 배관계에서는 열응력이나 노즐 허용하중을 만족시키지 못할 수 있으므로 강성이 없는 진동감쇠기를 이용하여 진동을 감쇠시켜야 함을 알 수 있다.