

원자력 발전소 수명연장 개선 후 주증기 배관계의 건전성 고찰

Investigation on vibration effect of main steam pipe after life extension of a nuclear power plant

양경현† · 김연환* · 조철환*

K. H. Yang, Y. W. Kim and C. W. Cho

1. 서 론

발전소와 같은 산업현장에서 사용되는 배관시스템은 다양한 운전조건에서도 경제적인 설계수명을 유지할 수 있어야한다. 발전소의 대형 배관계는 발전소의 펌프, 보일러, 터빈 등 주요기기를 연결하고 고온 고압의 증기, 물 등 유체를 이송하면서 다양한 형태의 유체유발 가진 현상이 발생하고 있다. 이러한 유체유발에 의한 압력 및 속도 변동은 배관계의 진동을 유발하고 이러한 진동은 배관계 자체뿐 아니라 지지물, 나아가서 주변기기 및 건물에 영향을 끼치게 될 경우 원자력 발전 자체의 안전성과 설비의 운영에 막대한 손실을 입힐 수 있게 된다. 배관시스템은 발전소의 각종 설비와 연계됨으로 설계 단계에서 진동을 충분히 고려하고 예측할 수 없어 프로토타입 발전소를 통하여 검증하고 설계를 보완하는 것이 필수적인 배관계 건전성 확보의 절차이다. ASME section III, NB 및 ASME B31.1 코드는 여전히 “진동을 최소화 할 수 있는 적절한 배관과 지지물의 설치” 정도에서 진동을 고려하고 있다. 또한 원전의 시운전 단계의 진동시험의 기준인 ASME OM part-III 코드도 보수적인 진동변위 또는 진동속도를 제시할 수는 있으나 설계단계에서는 대상배관계의 진동의 정도를 예측할 수 없는 현실적인 문제로 실제 운용을 위해서는 많은 기술적 지식과 경험적인 know-how가 필수적이다.

본 연구의 주목적은 실험적 방법을 통하여 기존 원자력발전소의 압력관 교체를 통한 수명연장 후 해

더에서 체크트 밸브에 이르는 주증기배관계에 대한 진동특성 및 요인을 분석하여 주증기 배관계에 대한 건전성을 분석하고자 하였다.

2. 배관계의 진동분석

2.1 개요

국내 원자력 발전소 1개 호기의 압력관 교체를 통한 수명연장작업 후 주증기 배관계에 대하여 최적의 운전 신뢰도 확인을 위하여 50%, 60%, 75%, 85%, 100%의 원자력 출력별로 배관계에 대한 18개 지점 54개방향의 진동을 각각 시험하고 주증기배관계의 진동 건전성을 분석하였다.

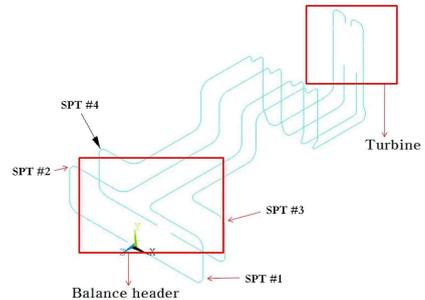


Fig. 1 Structure of Main Steam Pipe



Fig. 2 26" Pipe Lines before chest valves

† 교신저자; 정회원, 한국전력공사 전력연구원
E-mail : yohanll@kepco.co.kr
Tel : 042-865-7552 , Fax : 042-865-7539
* 한국전력공사 전력연구원

2.2 ASME 규격과의 비교

ASME OM part 3 코드에 의거하여 주증기배관계의 진동속도 허용기준치(zero-to-peak)는 주증기헤더부터 체스트 밸브사이 26“ 주증기배관계의 진동속도 허용치는 80 mm/s, peak이고 체스트밸브와 고압터빈 노즐사이의 24“배관계의 진동 허용 기준은 85 mm/s, peak로 산정된다.

원자력 출력 50%, 60%, 75% 및 85%에서 26“배관의 주요지점 진동은 26“ 주증기배관계의 진동속도 허용치는 80 mm/s, peak를 만족하였다.

단, 일부 24“배관계에 대해 부하 증발조건에서 저주파수의 난류 특성들이 강화되어 수치적으로 허용치를 초과하였으나 대부분 노이즈 성분으로 분석되며 원자력 75%출력이후에서 5Hz이후 진동성분들이 가진되는 것으로 분석되었다.

2.3 배관계 모드시험 결과

Impact 가진을 이용하며 배관계에 대하여 모드 시험을 수행한 결과 대부분의 배관계 고유진동수는 9Hz 이상으로 측정되었다. 주증기 배관계의 음향학적 인 맥동 가진원이 0~5Hz사이에서 에너지를 가장 크게 작용하고 있는 점을 고려할 때 공진의 가능성은 매우 낮은 것으로 나타났다. 단, X방향에서의 모드가 강한 난류맥동 및 음향맥동에 의하여 영향을 받을 수 있는 것으로 나타났다.

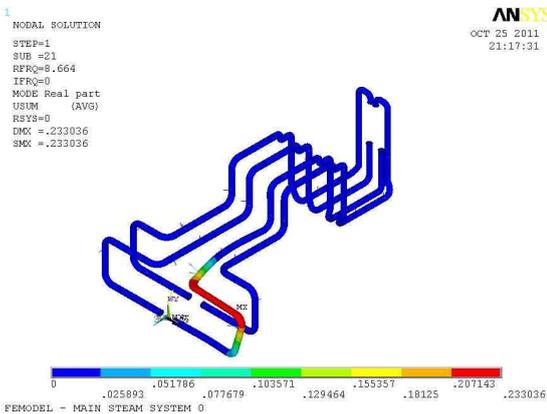


Fig. 3 X-direction behavior of natural modes

2.4 수치해석을 통한 응력해석

수치해석적 기법으로 배관의 정적 및 동적 응력을 해석하고 유량이 3% 증가된 원자력 100% 출력의

진동은 26“ 배관계 및 24“배관계는 40년기준 원자력 발전소 설계수명을 만족하는 것으로 진단된다. 단, 체스트 밸브의 연결부의 경우는 체스트밸브의 경계조건이 복잡하여 일부 배관계의 체스트밸브 연결지점은 해석적으로 배관진동 허용치를 다소 초과하는 것으로 나타났으나 전체적인 해석결과에서는 큰 문제가 없는 것으로 나타났다.

2.5 수격에 의한 영향평가

진동에 대한 피로수명 평가와 더불어 수격에 의하여 주증기 배관계에 미치는 영향을 검토하였다. 배관계의 절정응력을 100% 증기 유속조건에 대하여 평가한 결과 모든 지점에서 48,673.1psi를 만족하였다.

3. 결 론

본 연구의 대상인 원자력 발전소 1개 호기의 주증기 배관계에 대하여 압력관 교체를 통한 수명연장 후 원자로 출력별 배관계의 진동분석을 통해 다음과 같은 결과를 알 수 있었다.

- (1) ASME OM part 3 코드에 의거한 주증기배관계의 진동속도는 허용기준치를 만족하고 있었으며, 26“배관계의 특정 부위에서 체스트 밸브 진동은 저감된 결과를 나타낸 부위별로 진동이 증가된 곳도 발견되었다.
- (2) 배관계에 대한 모드시험 결과 배관계의 고유진동수는 주증기 배관계의 가진원 성분인 0~5Hz 범위를 벗어나 7Hz 이상에 존재하고 있음을 확인하였다. 단, X방향으로 강한 난류맥동 및 음향맥동에 의한 성분들이 발생할 수 있는 것으로 나타났다.
- (3) 수치해석적 기법으로 배관의 정적 및 동적 응력을 해석한 결과 26“ 배관계 및 24“배관계는 40년기준 원자력 발전소 설계수명을 만족하는 것으로 진단되었다.
- (4) 수격에 의한 주증기 배관계의 절정응력을 100% 증기 유속조건에 대하여 평가한 결과 대부분의 지점에서 기준치를 만족하였다.