

지지점 간극을 갖는 다점지지 관의 지지점 간극 크기에 따른 감쇠특성 비교

Loosely supported multi-span tube damping according to the support clearance

이강희† · 강홍석* · 신창환* · 김재용* · 이치영* · 박태정**

Kanghee Lee, Heungseok Kang, Changhwan Shin, Jaeyong Kim, Chiyong Lee and Taejung Park

Key Words : loosely supports (이완된 지지점), multi-span tube(다점지지 관), critical damping ratio(임계감쇠비), support clearance(지지점 간극), 비선형진동(nonlinear vibration)

ABSTRACT

Damping of multi-span tube with loose supports according to the finite support clearances is investigated through the experimental modal analysis. Loose intermediate support leads to strong nonlinearity in tube dynamics, provides statistical nature, and increases tube damping through impacting and friction at the supports. Fraction of critical damping was estimated by the modal curve fitting to parameter estimation from the measured frequency response functions. Magnitude of random excitation force, which can reproduce the in-situ excitation in operating environment, was maintained as constant value with a fine tolerance during vibration testing. Range of input force was carefully selected to cover from the low magnitude excitation for linearly behaved tube motion to high magnitude of force for nonlinearly-behaved tube motion. Estimated critical damping ratio shows scatters in data and tends to increase as the magnitude of rising force and decrease with upward frequency variation. Larger size of support gap increases multi-span tube damping for high magnitude of excitation.

1. 서 론

동적하중을 받는 구조계의 동특성에 큰 변화가 없다고 가정하면, 구조물의 동적거동은 외부 가진력과 감쇠특성에 의해서 대부분 결정된다. 감쇠(Damping)는 진동하는 구조물의 에너지 소산(Dissipation) 메카니즘이며, 이론이나 수치해석적인 방법으로 감쇠특성을 예측할 수 없다. 하지만, 정확한 감쇠특성의 확인은 과도 및 사고 조건에서 해당 구조물의 안전성과

구조 건전성을 평가하는데 있어 필수적이다. 이 때문에, 정확한 감쇠특성을 실험적으로 평가하는 것은 설계될 구조물의 안전응답에 대한 설계 여유도(Design Margin)를 확보하고, 경쟁이 가속화되고 있는 세계시장에서 설계 기술을 고유화시키는 기본이 된다.

한편, 증기발생기의 내부는 다수의 전열관이 다수의 정방향 셀 지지격자로 지지된 복잡한 구조로, 원자로 노심에서 온 1차 계통의 고온 냉각수가 전열관 내부로 흐르고, 증기발생기의 용기 내부 및 전열관 외부로 흐르는 2차 계통의 냉각수가 상변화 후 안정적으로 증기가 될 수 있도록 최적화되어 있는 시스템체계이므로 고속으로 흐르는 이상(two phase)의 유체와의 상호작용과 불규칙한 가진 메카니즘으로 인하여 내부 전열관이 동적 불안정을 경험할 가능성이 존재하며, 근래에 주요한 증기발생기 손상 및 사고 사례가 이러

† 교신저자, 발표자; 정회원, 한국원자력연구원
E-mail : leekh@kaeri.re.kr

Tel :042-868-2298, Fax :042-863-0565

* 한국원자력연구원 경수로핵연료기술개발

** 두산중공업 증기발생기설계팀

한 전열관의 동적불안정, 특별히 역위상(out of phase) 모드에 의한 동적 불안정 현상으로 보고되고 있다^(1, 2)

본 논문은 이러한 증기발생기 전열관의 감쇠특성을 공기중 분위기에서 확인하기 위한 목적으로, 전열관 직관부의 지지점 간극에 따른 예비 동특성 시험을 수행하였다. 증기발생기 전열관은 운전조건에서 가진되는 메카니즘과 실험수행의 편의를 위하여 전체 U자형 전열관을 하부 직관부와 상부 곡관부로 나누어 시험모형을 구성하였는데, 우선 4개의 스패를 갖는 직관부 시험모형을 이용하였고, 중간 지지부는 예비시험의 성격을 감안하여 단순화시킨 EC격자구조 시험을 기계가공하여 제작하였다.



Fig. 1 Test Setup(4span, 2meter, 3ECs)

2. 감쇠측정 시험 및 결과

Fig. 1은 시험 setup을 보여준다. 하부가 고정되고 다점 지지된 직관부의 경우, 최 하부 스패의 아래쪽을 가진하는 것이 효과적이다. 이것은 구조물이 하부에서 지지되므로, 지지강성이 상대적으로 큰 위치를 가진하는 것이 시험결과의 보수적인 예측 관점에서 유리할 것으로 판단되기 때문이다. 다만, 실제 증기발생기 내부에서 전열관 직관부가 받게 되는 정상조건 수력하중은 분포된 압력섭동으로 사고조건 하중의 크기에 비해 극히 작은 값으로 추정되고 있다. 가진력 크기와 파형은 정상 운전조건에서의 수력하중을 감안하여, 대략 0.2~6 N 범위의 랜덤하중을 사용하였다. 힘은 전자기 방식 가진기를 이용하여 구조물에 전달하고, 일정한 크기로 되먹임 제어되었다. 응답은 가속도 센서를 이용하여 측정하였고, 측정된 두 입력과 응답을 이용하여 각 스패 위치에서의 주파수 응답함수를 얻었다. 임계 감쇠비는 측정된 주파수 응답함수로부터 모드 곡선 맞춤을 통한 모드 파라미터 추정방법으로 얻었다. Fig. 2는 두

가지 지지점 간극에 대한 임계 감쇠비 측정결과를 랜덤 가진력의 크기에 따라 도시한 것이다. 측정결과에서 보듯이, 데이터의 기본적인 산란특성으로 인하여 뚜렷한 경향을 보여주고 있지 않지만, EC 지지점 간극과 가진력의 크기가 증가됨에 따라 다점지지 관의 임계감쇠비가 전반적으로 증가되고, 주파수의 증가에 따라서는 일정하게 감소되는 경향을 보여주고 있는데, 이러한 경향은 참고문헌⁽³⁾에서의 결과와도 일치하고 있다.

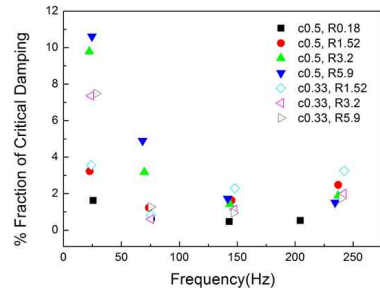


Fig. 2 Fraction of critical damping according to the support clearance of multi-span tube

3. 결론

이상과 같이, 전열관 직관부의 지지점 간극에 따른 임계감쇠비 측정 예비시험을 Lab-scale 단위로 수행하였고, 기존의 시험 데이터와 유사한 경향을 갖는 결과를 얻을 수 있었다. 실제의 증기발생기 전열관 운전환경은 증기와 유체가 섞여 있는 이상유동 조건임을 감안하면, 향후 유체 점성감쇠, 유동에 의한 감쇠, 이상유동 감쇠 등을 측정할 수 있도록 준비해야 할 것으로 생각된다.

후기

본 연구는 두산중공업의 연구비 지원으로 수행되었으며, 저자 일동은 관계 기관과 담당자께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) SONGS Steam Generator Tube Degradation, <http://www.nrc.gov/info-finder/reactor/songs/tube-degradation.html>
- (2) T. Nakamura, et al, 2004, Development of Guideline for Fluidelastic Vibration in Steam Generator, NUTHOS-6, Paper ID N6P115.
- (3) Karl H. Haslinger, Modal Vibration response behavior of multi-span tube array with two different support designs, SMIRT 16, US, 2001.