

정방향 격자구조로 지지된 직관의 지지점 간극에 따른 모드별 감쇠특성; 예비시험계획 토의

Modal Damping of A Straight Tube Supported by Square Grids with Gap; Discussion on the Pretest Plan

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

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

1. 서 론

감쇠(Damping)는 진동하는 구조물의 에너지 소산 메카니즘으로, 특별히 유동과 접수되어 기능하는 구조물의 감쇠특성은 복잡한 지지조건, 유체특성 및 유동의 분포와 상변화 등의 영향으로 이론이나 수치해석적인 방법으로 감쇠특성을 예측할 수 없고 실물크기의 대규모 시험장치를 이용해야하기 때문에 대형 시스템의 감쇠특성은 통상 경험적인 혹은 보수적인 값으로 가정한다. 그러나 정확한 감쇠특성의 확인은 과도 및 사고 조건에서 해당 구조물의 구조 건전성을 평가하는데 있어 필수적이며, 동적물성이 갖는 보수성(혹은 불확도)은 과도 및 사고조건에서 시스템의 안전응답에 대한 허용치를 감소시키는 방향으로 작용하기 때문에, 정확한 감쇠특성을 실험적으로 평가하는 것은 안전응답의 설계 여유도(Design Margin)를 확보하고, 경쟁이 가속화되고 있는 원전기기 세계시장에서 설계기술을 고유화시키는 초석이 된다.

한편, 증기발생기의 내부는 다수의 전열관(U자관)이 다수의 정방향 셀 지지격자로 지지된 복잡한 구조로, 원자로 노심에서 온 1차 계통의 고온 냉각수가 전열관 내부로 흐르고, 증기발생기의 용기내부 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 전열관 다발이 동적으로 불안정해질 수 있는 가능성이

존재하게 되며, 근래에 주요한 증기발생기 손상 및 사고 사례가 이러한 전열관의 동적불안정에 따른 것으로 보고되고 있다^(1, 2)

본 논문은 이러한 증기발생기 전열관의 감쇠특성을 공기중/수중 분위기에서 확인하기 위한 목적으로, 실물 크기의 전열관 직관부와 곡관부의 지지점 간극에 따른 동특성 시험을 위한 전반적인 시험조건에 관하여 토의하고자 한다. 증기발생기 전열관은 운전조건에서 가진되는 메카니즘과 실험수행의 편의를 위하여 전열관을 하부 직관부와 상부 곡관부로 나누어 시험모형을 구성하고, 지지격자는 예비시험의 성격을 감안하여 단순화시킨 EC격자구조를 만들었다.

2. 예비시험계획

· 동특성 시험 가진위치

하부가 고정되고 다점 지지된 직관부의 경우, 최하부 스펀의 아래쪽을 가진하는 것이 효과적이다. 이것은 구조물이 하부에서 지지되므로, 지지강성이 상대적으로 큰 위치를 가진하는 것이 시험결과의 보수적인 예측 관점에서 유리할 것으로 판단되기 때문이다. 다만, 최적의 가진위치를 파악하기 위한 추가 수치해석과 시행착오가 필요하고, 실제 증기발생기 내부에서 전열관 직관부가 받게 되는 수력하중은 분포된 압력섭동으로 사고조건 하중의 크기에 비해 극히 작은 값으로 추정되고 있다. 전열관 곡관부의 경우는 면내모드 혹은 면외모드 방향으로 해석결과와 실제 부하조건을 바탕으로 적절히 결정되어야 하나, 증기발생기 내부에서 전열관 곡관부가 받게 되는 주된 수력하중의 위치를 감안해야 한다. 다만, 직관 실험과의 일관성 측면에서, 곡관이 지지되는 부분을 가진 하는 것도 바람직하다고 생각된다. 필요에 따라 다점가진 시험조건으로 실험하여 가진 에너지가 전체 스펀에 균일하게 전

† 교신저자; 정회원, 한국원자력연구원
E-mail : leekh@kaeri.re.kr
Tel :042-868-2298, Fax :042-863-0565

* 한국원자력연구원 경수로핵연료기술개발

** 두산중공업 증기발생기설계팀

달릴 수 있도록 하는 방안도 고려되고 있다. 이전의 실험연구에서와 같이, 전열관 하부 고정위치를 가진하여 봉다발 전체를 가진하는 것은 1) 개별 봉의 관군 단면모드의 방향이 동일하지 않고, 2) 전열관이 실제조건에서 가진되는 메카니즘과는 상이하므로, 합리적이지 못한 것으로 판단하고 있다. 단, 기존 실험결과와의 비교를 위하여, 예비시험단계에서 시도해 보는 것도 바람직하다고 생각된다.

· 가진력의 크기

전열관 감쇠특성을 확인하기 위한 동특성 시험에서의 가진력 크기는 1) 주변 물의 움직임에 따른 영향과 잡음효과를 최소화시키고, 2) 실험결과와 보수성을 확보하기 위하여 최소한의 적정값을 설정하는 것이 좋을 것이다. 다만, 가진력의 크기와 초기 pluck 진폭에 따른 감쇠특성의 변화도 확인할 수 있도록 다수의 후보 크기와 초기 pluck변위에 대한 실험도 필요하다. 후보 가진력 크기와 초기 pluck변위의 범위는 시행착오를 통해서 결정된다. 또한, 1)의 이유에 따라 수중실험에서 사용하게 될 수조의 크기도 적절히 최적화 시켜 설계하는 것이 좋을 것으로 생각된다. 다만, 해석적으로 평가된 수력하중의 크기를 고려해서, 적절한 범위로 최대 하중의 크기를 결정하되 일반적인 핵연료 집합체의 구조특성시험에서 사용되는 가진력 크기의 판단기준(구조물의 질량비)도 고려해야 한다.

· 가진파형

일반적인 구조 동특성 시험에서는 정현파나 임의파형을 가진파형으로 통상 이용한다. 정현파를 정방향 혹은 역방향 소인(sweeping)하면, 주파수의 침점이 주파수 증감의 방향성에 따라 기울어지거나 점프하는 현상이 발생될 수 있는데, 이러한 문제는 전열관의 감쇠비 추정에 기술적인 문제점을 만들어 낼 수 있다. 직관의 경우, 유동에 의해 전열관이 가진되는 주요 메카니즘으로, 입구측에서 전열관 다발이 와류여기되거나 직관부의 대부분에서 축방향 유동에 의한 난류기인 진동하게 되는데, 이러한 가진 메카니즘을 감안하면, 정현파 소인과 랜덤하중을 각각 독립적인 시험으로 모두 사용하는 것이 바람직하다. 다만, 실제의 운전조건을 감안하면, 랜덤하중을 선택하는 것이 합리적인 방안으로 생각된다.

· 감쇠측정 시험방법

주파수 공간 감쇠 측정시험 방법은 일반적이기는 하나, 응답스펙트럼에 나타나는 가진조건에 따른 큰 비선형성으로 인하여 감쇠비의 추정결과에 큰 산란이 있을

수 있다. 참고문헌²⁾의 경우, pluck 시험을 위주로 시험하고, 시간공간 감쇠측정 방법에서 나타나는 초기 과도 상태에 따른 오차를 최소화할 수 있도록 시간영역 신호처리 기법²⁾을 적용하고 충분한 크기의 평균화를 취하였다. 따라서, 시간영역 감쇠측정 시험방법도 대안적인 방법으로 고려하는 것이 바람직하다.

· 주파수의 범위

간극있는 지지점으로 다수 지지된 전열관 직관부의 가진시험의 경우, 측정된 응답함수로부터 1차 및 2차 모드 정도의 주파수 특성을 확인할 수 있으며, 3차 모드부터는 구분이 어렵고 데이터 산란이 심해지는 것으로 알려져 있다. 3차 이상 고차모드의 확인이 불가능할 수 있는 가능성으로 인하여, 관심 주파수의 범위를 모드를 기준으로 일정한 값으로 한정하는 것은 바람직하지 못하며, 대략의 구조시험에 대한 주파수 범위를 감안하여 최대 주파수를 300Hz로 결정하였다.

3. 결론

이상과 같이, 전열관 직관부의 지지점 간극에 따른 감쇠특성을 확인하기 위한 예비시험계획에 관하여 토의하였다. 실제의 전열관 주변환경은 증기와 유체가 섞여 있는 이상유동임을 감안해야 하고, 전열관의 실제 감쇠비는 구조감쇠(재료 및 지지점 마찰 등), 유체점성감쇠, 유동에 기인된 감쇠, 이상유동 감쇠로 나누어 볼 수 있는데³⁾, 본 실험에서는 앞의 두 구성요소에 대해 시험하는 것임을 상기해야 한다.

후기

본 연구는 두산중공업(주)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 저자 일동은 관계 기관과 담당자에게 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) Q. Iqbal, et al, 2007, Damping in heat exchanger tube bundle: A Review, 15th ICONE(Japan), Paper ID 15-10146.