

상시진동을 이용한 격납건물의 동적특성에 관한 연구

Study on the Dynamic Characteristics of a Containment using Ambient Vibration Data

박수용* · 최상현** · 현창현*** · 김문수****

Park, Soo-Yong · Choi, Sang-Hyun · Hyun, Chang-Hun · Kim, Moon-Soo

요약

원자력 발전소의 격납건물은 인위적 또는 자연적 재해로부터 방사능의 외부누출을 방지함으로써 공중을 보호하는 역할을 하기 때문에 지속적인 건전성 확인을 통해 안전을 확보하는 것이 필수적이다. 격납건물의 구조적 건전성 확인은 통상 주기적으로 콘크리트에 대한 비파괴강도, 균열 및 중성화, 프리스트레스 텐던의 유효 긴장력 등의 측정을 통해 수행되고 있으나, 이러한 검사는 국부적인 건전도 정보만을 제공할 뿐 격납건물과 같은 대형 구조물 전체의 건전성에 대한 신뢰성 있는 평가 결과를 얻는데 많은 시간과 경비가 소요된다는 단점이 있다. 이러한 단점은 최근 구조물 전체의 상태를 평가하는 방법으로 주목받고 있는 구조건전성모니터링(Structural Health Monitoring, SHM)기법을 이용하여 극복할 수 있다. 본 논문에서는 실제 운전 중인 격납건물을 대상으로 상시진동 측정을 수행하였으며, SHM 기법의 기초자료로 활용될 수 있는 동적특성, 즉 격납건물의 고유진동수와 모드형상을 제시하였다.

keywords : 격납건물, 구조건전성, 상시진동, 고유진동수, 모드형상

1. 서론

구조물의 진동 특성을 이용한 구조적 건전성 감시기법은 1970년 대 수행된 해양구조물에 대한 선구적 연구(Vandiver, 1977)를 시작으로 지난 30년간 활발히 진행되어 왔으며, 교량, 건물 등 주요 기반구조물의 지속적인 구조적 건전성 감시에 적용되어 왔다(Magalhães et al., 2009; Sohn et al., 2003). 구조물의 물리적 특성 변화는 동적 응답의 변화를 초래한다는 기본 개념에 기반한 이러한 방법들은 구조건전성 모니터링(SHM, Structural Health Monitoring)의 근간을 이루어 왔으며, 최근 응답추정기법 및 측정 장비의 발전에 힘입어 구조물 전체의 건전성을 동적특성 변화(고유진동수, 모드형상, 감쇠비 등)를 이용해 추정하는 SHM방법이 가장 유력한 방법으로 대두되어 왔다. 동적특성 변화에 기반한 SHM방법으로는 현재까지 다수의 방법들이 다양한 이론적 배경을 바탕으로 제안되어 왔으나, 모든 방법들이 동적응답 변화를 기반으로 하고 있어 가속도, 속도, 변

* 정희원 · 한국해양대학교 해양공간건축학과 교수 sypark@hhu.ac.kr

** 정희원 · 한국철도대학 철도시설토목과 교수 schoi@krc.ac.kr

*** 한국원자력안전기술원 구조부지실 책임연구원 k203hch@kins.re.kr

**** 한국원자력안전기술원 구조부지실 책임연구원 k181kms@kins.re.kr

위 등 구조물의 동적응답 측정 자료 및 이의 후처리의 적절성에 따라 그 정확도가 좌우되므로 응답측정에 대한 전문성이 필수적이다.

본 논문에서는 월성 2호기 격납건물을 대상으로 상시진동 가속도 응답을 측정하여 계측한 데이터로부터 격납건물의 동적특성인 고유진동수와 모드형상을 추출하였다. 시간영역의 가속도 응답을 주파수 영역으로 치환하여 주파수 응답함수를 구한 후 Peak Picking(PP)기법 이용하여 고유진동수와 모드형상을 산정하였다.

2. 상시진동 측정방법

상시진동 실험은 Kistler사의 일축 압전형 가속도계 5개, 데이터 로거 및 휴대용 컴퓨터를 이용하여 수행하였다. 실험에 사용한 장비는 그림 1 및 2에 수록하였다. 가속도계는 격납건물 표면의 법선수평방향의 응답을 측정할 수 있도록 격납건물의 외벽에 부착하였다. 가속도계는 지상 19.5m에 부착하였으며, 그림 3에 부착 위치를 나타내었다. 가속도 응답은 총 9개소에서 측정되었으며, 측정은 세 개의 Set로 나누어 진행되었다. 각 Set의 고정응답을 계측하기 위한 가속도계는 센서 1번과 2번 사이(그림 3에서 Reference)에 부착하였다. 모든 응답은 100Hz로 샘플링하여 60분간 계측하였으며 그림 4는 2번 위치의 가속도 응답을 보여준다.



그림 1 가속도계 부착



그림 2 데이터로거 및 컴퓨터

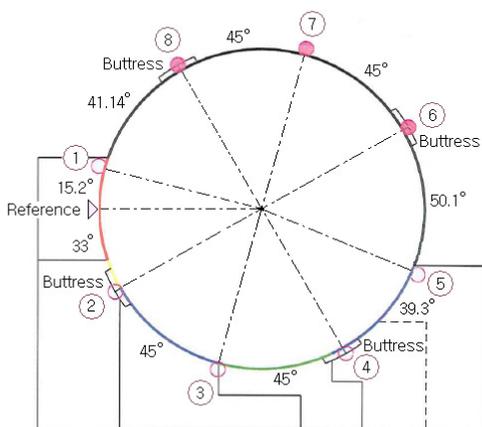


그림 3 가속도계 부착 위치

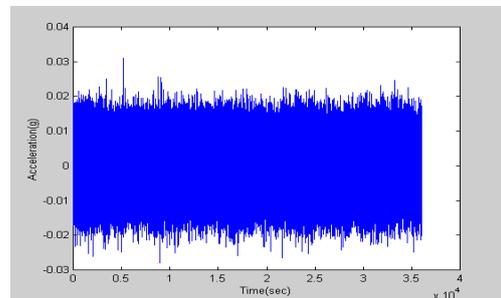


그림 4 2번 센서 가속도 응답

3. 모달해석 및 수치해석

상시진동과 같이 가진과 응답 모두 반복되지 않는 임의진동(random vibration)인 경우, 식(1)과 같이 가진과 응답의 스펙트럼 비를 이용한 스펙트럼 분석을 이용하여 주파수 응답함수를 구할 수 있다(Ewins, 1984).

$$H_j(\omega) = \frac{G_{xx_j}(\omega)}{G_{x_f}(\omega)} \quad (1)$$

여기서 $H_j(\omega)$ 는 자유도 j 의 주파수 응답함수, $G_{x_f}(\omega)$ 는 가진과 자유도 j 에서 구조물 응답의 크로스 스펙트럼(cross spectrum), $G_{xx_j}(\omega)$ 는 자유도 j 에서 구조물 응답의 오토 스펙트럼(auto spectrum)이다. 본 연구에서는 식(1)에서 가진함수 대신 고정점에서의 응답을 사용하여 주파수 응답함수를 구하고 이로부터 모드형상을 추출하였다. 즉, 고정점의 응답을 기준으로 구조물의 각각의 절점의 응답을 상대적으로 비교하여 고정점의 움직임에 대한 상대적 모드변위의 크기와 위상각을 결정하는 것이다. 그림 5는 8개의 센서위치에서의 주파수 응답함수를 겹쳐 놓은 것이다.

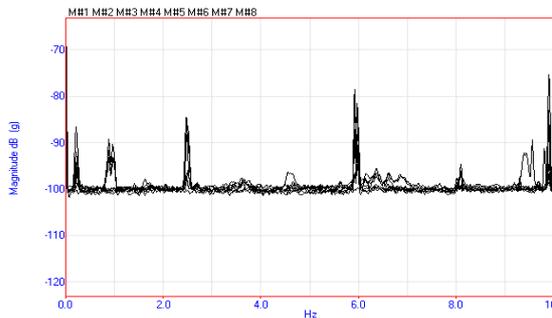


그림 5 주파수 응답함수

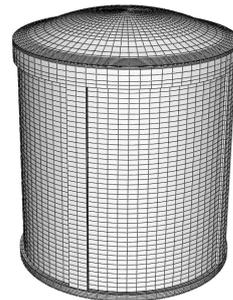


그림 6 수치해석 모델

주파수 응답함수로부터 Peak Picking 기법을 이용하여 2개의 모드를 추출하였으며, 고유진동수와 이에 상응하는 모드를 그림 7에 수록하였다. 실험모드와 해석모드를 비교하기 위하여 그림 6과 같이 격납건물의 수치해석 모델을 생성한 후 자유진동해석을 통하여 고유진동수 및 모드형상을 계산하였다. 수치해석에서 구한 고유진동수와 모드형상은 그림 7에 실험모드와 함께 나타내었다.

4. 결론

본 논문에서는 월성 2호기 격납건물의 상시진동 가속도응답 측정 자료를 이용하여 격납건물의 동적특성인 고유진동수와 모드형상을 추출하였다. Peak Picking 기법을 이용하여 8.086 Hz 및 9.277 Hz에서 2개의 모드를 구하였으며, 유한요소 모델의 자유진동 해석에서 계산한 값과 비교한 결과 상시진동실험에서 얻은 고유진동수가 크게 나타났다. 또한, 첫 번째 모드는 해석모드와 높은 상관관계를 가지고 있으나 두 번째 모드는 해석모드와의 상관관계가 높지 않았다. 이는 센서 부착시 위치오차, 실제 구조물에 대한 수치해석 모델링 시의 오류, 기기 정밀도 부족, 격납건물의 대칭성으로 인한 모드간의 인접성 등에 의한 것으로 판단된다.

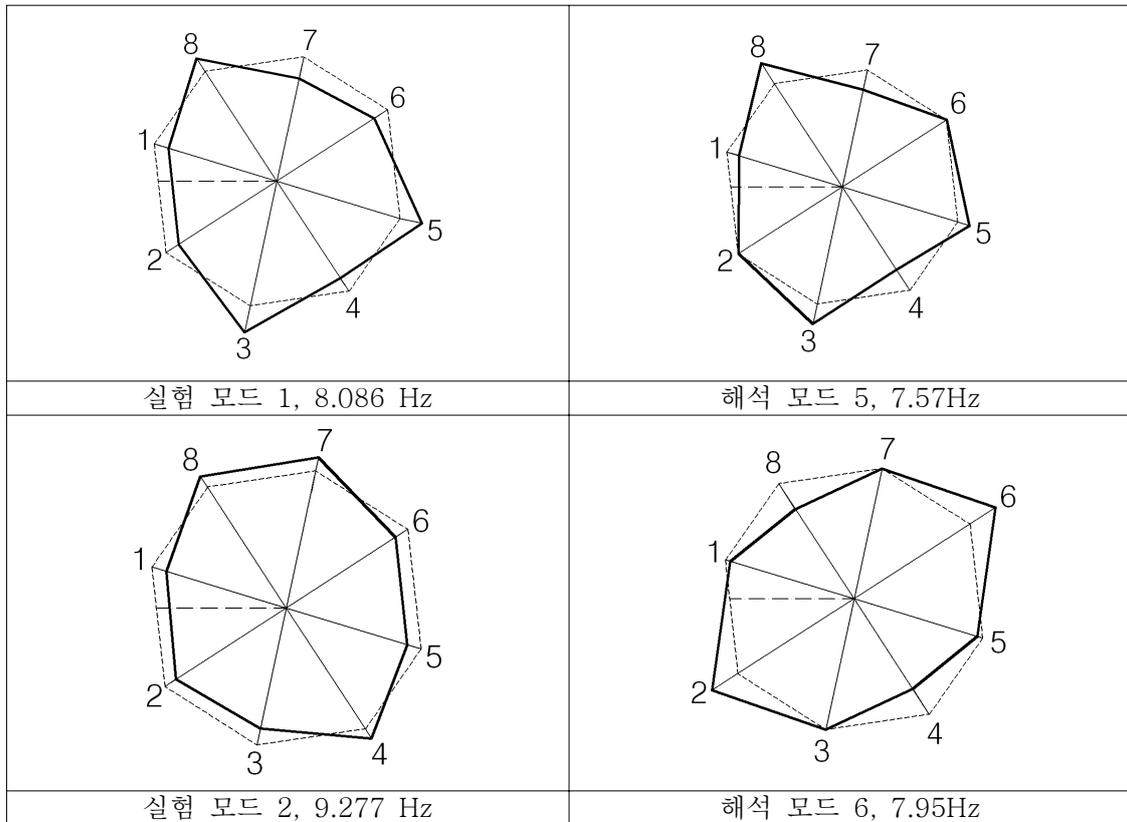


그림 7 실험 모드와 해석 모드의 비교

감사의 글

본 연구는 2009년 한국원자력안전기술원의 연구비 지원(계약번호 RS09-21-GB)으로 이루어진 것으로 본 연구가 가능하도록 도와주신 한국원자력안전기술원과 한국수력원자력(주)에 감사드립니다.

참고문헌

- Ewins, D.J.** (1984) Modal testing: theory and practice, *ResearchStudiesPress*, London, England.
- Magalhães, F., Cunha, Á. and Cartano, E.** (2009) Online automatic identification of the modal parameters of a long span arch bridge, **Mechanical Systems and Signal Processing**, Vol. 23, pp. 316-329.
- Sohn, H., Farrar, C.R., Hemez, F.M., Shunk, D.D., Stinemates, D.W., and Nadler, B.R.** (2003) A Review of Structural Health Monitoring Literature: 1996-2001. *Los Alamos National Laboratory Report*, LA-13976-MS.
- Vandiver, J.K.** (1977) Detection of Structural Failure on Fixed Platforms by Measurement of Dynamic Response, *Journal of Petroleum Technology*, pp. 305-310.