

중소형 일체형원자로의 전기관통부 집합체에 대한 동적해석 Dynamic Analysis for Electrical Penetration Assembly of Small and Medium Integral Reactor

*이준성¹, #백승현², 이양창³, 이호정⁴, 배병규⁴

*J. S. Lee D¹, #S. H. Baek(tbgman@naver.com)², Y. C. Lee³, H. J. Lee⁴, B. K. Bae⁴

¹ 경기대학교 기계시스템공학과, ²(주)새한검증, ³대림대학 기계과, ⁴경기대학교 대학원 기계공학과

Key words : Electrical Penetration Assembly, Integral Reactor, Dynamic Analysis

1. 서론

우리나라에는 가압경수로와 가압중수로가 건설, 운영되고 있다. 가압경수로는 냉각재의 순환경로와 주요기기의 배치 개념을 기준으로 분리형원자로와 일체형원자로로 세분화할 수 있다. 일반적인 가압경수로는 원자로 압력용기, 가압기, 증기발생기 및 원자로 냉각재펌프 등을 분리하여 배치한 후 주요기기를 배관으로 연결하는 배치 개념을 사용한다. 일체형원자로는 핵연료, 증기발생기, 가압기 및 냉각재펌프 등의 주요기기를 하나의 압력용기에 내장한 원자로이다[1].

SMART는 원자력 중장기 사업의 일환으로 한국원자력연구소에서 주도적으로 연구개발하고 있는 원자로의 이름이다. SMART는 향후 미래 원자력 수요 환경에 대비하고 증가 일로의 해수담수화 수요 등 원자력에너지의 비전력분야 활용을 위해 대용량 원자로에 비해 활용성이 다양한 다목적 중소형원자로로 개발되고 있다. 또한 SMART는 대형 냉각재상실사고 방지 등으로 획기적인 안전성이 보장되는 일체형원자로(Integral Reactor)로 개발하고 있으며, 선진외국의 경우도 유사한 목적으로 활용 예정인 원자로는 대부분 일체형원자로이다.

전기관통부 집합체(EPA: Electrical Penetration Assembly)는 원자력 발전소의 콘크리트 격납벽을 통과하여 원자로 내부의 원자로 냉각재 펌프모터를 운전하는 데 소요되는 중간전압의 전력을 공급하기 위한 주요기기이다. 이는 냉각재 펌프모터를 기동하고 정상적인 운전이 될 수 있도록 전기적, 기계적 안전성 구비에 의한 반영구적인 신뢰성을 갖추어야 한다[2]. 또한 냉각재 펌프모터의 기동시에 발생하는 과전류에 의한 도선의 열적영향으로부터 발생하는 중/횡방향의 힘을 견딜 필요가 있다.

본 연구에서는 SMART 원자로에 설치하기 위하여 평일에서 설계된 전기관통부 집합체(EPA)의 설계기준 사건, 즉 지진에 의한 진동해석을 수행하였다. 이 EPA해석은 한국전력기술원 기술요건서에서 제시된 요구응답스펙트럼을 기반으로 수행되었다.

2. 기기 설명 및 조건

EPA의 구성품 및 재질을 Table 1에 제시하였으며 전체적인 외형도는 Fig. 1에 도시하였다.

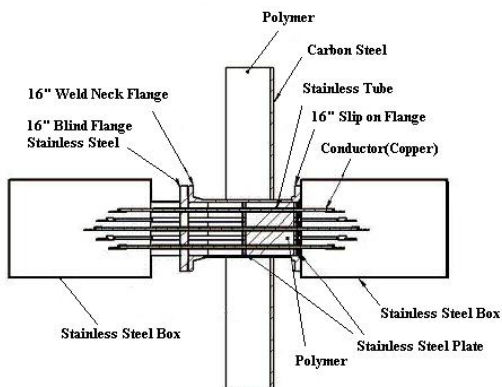


Fig. 1 Shape of EPA

Table 1 Component and material of EPA

구성품	재질
도선	Copper, PEEK, Stainless Steel, Polymer
철판	Stainless Steel STS 304
배관	Carbon Steel SA 333

2.1 설계기준사고 조건

설계기준 사건으로서 설정된 지지조건은 운전지진(OBE) 및 안전정지 지진(SSE) 요구응답 스펙트럼으로서 표시되며 한국전력기술원 기술요건서에 따른다[2].

2.2 허용기준

기계적 건전성(Mechanical Integrity)을 고려하여 전기관통부 집합체를 구성하는 기계 지지물 계통, 도체, 단말장치 및 도체 지지물 계통, 압력방벽, 도체 및 개구밀봉은 외력에 의한 기능상의 고장이나 기능 살실이 발생되지 않도록 설계 및 제작되어야 한다.

3. 해석 및 결과

3.1 진동해석

지진 및 배관파단사고에 의한 EPA의 구조적 건전성을 검증하기 위하여 ANSYS 해석코드[3]를 이용하여 유한요소해석을 수행하였다. 운전상태에서의 지진 및 사고 시 동적특성과 최대응력을 알아보기 위한 해석을 수행하였다. EPA의 주요 부위에서의 응력과 고유진동수, 참여인자, 가속도 수준 등을 계산하였다.

3.2 해석조건

EPA의 경계조건으로서 벽면에 고정되는 부분의 면을 모든방향의 자유도를 구속하였고 플랜지가 볼트로 고정되는 부분을 볼트의 단면넓이를 coupling으로 구속하였다. 또한 도선의 맨양단 shade부분은 Mass(21)요소를 이용하여 실제 무게를 입력하였고 차폐체가 들어가는 중앙부분은 도선의 노드를 서로 coupling으로 구속하여 실제 진동이 왔을 때, 같은 변위로 움직일 수 있게끔 하였다.

Fig. 2는 차폐체와 볼트 연결부분을 coupling으로 구속시킨 모습을 나타낸 것이다.

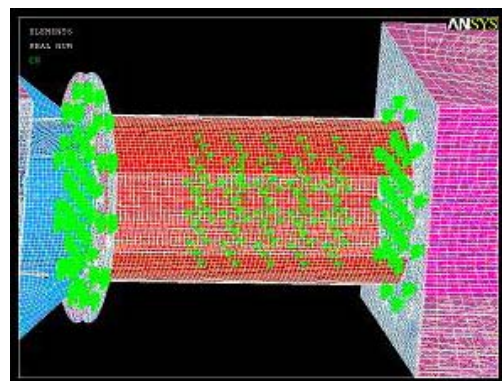


Fig. 2 Coupling of shielding and bolt part

3.3 해석결과 및 검토

1) 모드해석

장비의 동적특성을 평가하기 위하여 모드해석을 수행하였다. 기기의 고유진동수와 고유진동 형상을 결정하였는데, Fig. 3은 고유진동 형상을 나타낸 것이며 내진 범주안의 주요 고유진동수는 Table 2와 같다. 내진범주 33Hz미만에 고유진동수가 존재하고 있음을 알 수 있다. 따라서 EPA는 비강체(flexible)로 간주되어야 하며 동적하중이 고려된 동적해석이 필요하였다.

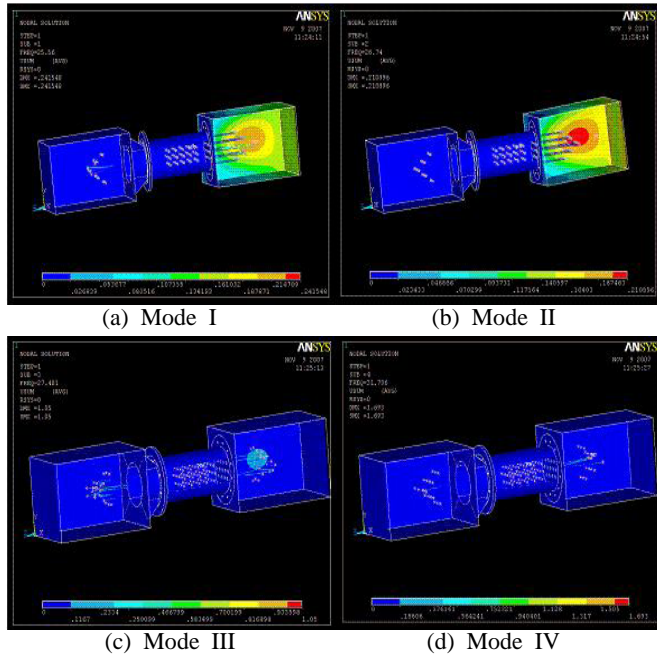


Fig. 3 Shape of natural mode

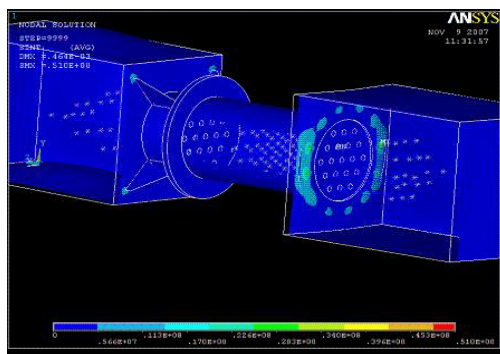
Table 1 Component and material of EPA

순위	Frequency(Hz)
1	25.56
2	26.74
3	27.40

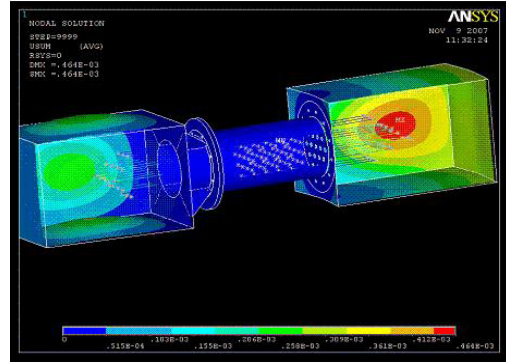
2) 동적해석

Fig. 4는 운전지진(OBE: Operating Basis Earthquake)에 대한 해석결과를 나타낸 것이다. 운전지진의 응력값은 51MPa이었으며 벽체 볼팅부분에서 가장 크게 나타났다. Fig. 5는 운전지진으로 인한 처짐도를 나타낸 것으로 최대처짐량은 0.46mm이었다.

Fig. 5는 안전정지지진(SSE:Safe Shutdown Earthquake)해석에 대한 결과를 나타낸 것으로 82MPa의 값을 보였으며 마찬가지로 벽체 볼팅부분에서 가장 크게 나타내었다. 또한 최대처짐량은 0.74mm로 계산되었다.

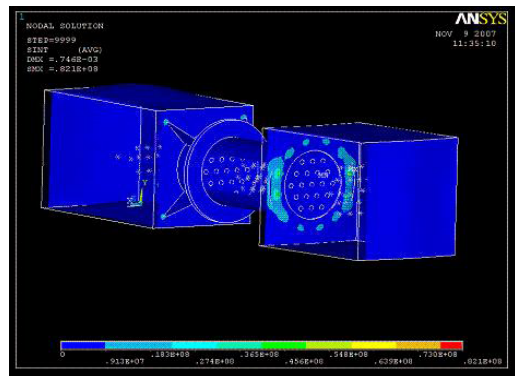


(a) stress

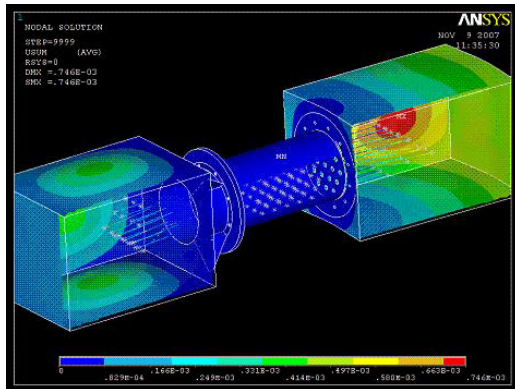


(b) deformation

Fig. 4 OBE analysis result



(a) stress



(b) deformation

Fig. 5 SSE analysis result

4. 결론

모드해석 결과 고유진동(공진) 점이 지진 주파수 상한치인 33Hz보다 낮은 값을 보였다. 따라서 전기관통부 집합체인 EPA는 비 강체로 간주되어 진다. 정상운전조건, 운전지진(OBE) Upset 조건 및 안전정지지진(SSE) Faulted 조건에서 계산된 최대응력값이 재료의 허용응력 한계치보다 적다는 것을 알 수 있었다. 따라서 EPA는 정상운전 및 지진에 대한 구조적 건전성이 입증되었다고 할 수 있다.

참고문헌

1. 김태완, 최순, 박근배, “중소형 일체형원자로 SMART 내진해석,” 전산구조공학 제21권 제2호, pp. 30-34, 2008.
2. 과학기술부고시 제 2005-04, 전력산업기술기준의 원자로서 설 기술기준 적용에 관한 지침, 2005.
3. ANSYS User's Manual Ver. 9.0, 2006.