한국소음진동공학회 2013년 추계학술대회논문집, pp. 402~403

OPR1000 노심지지배럴 상세 구조해석

Detailed Structural Analysis on OPR1000 Core Support Barrel

김규형† · 고도영*· 김태순*
Kyu-Hyung Kim Do-Young Ko and Tae-Soon Kim

1. 서 론

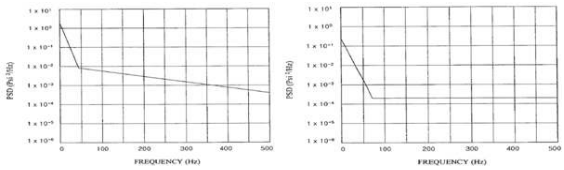
국내에서 건설된 OPR1000 (Optimized Power Reactor 1000)의 원자로내부구조물에 대한 건전성 평가는 집중 질량 모델과 1차원 요소를 사용하는 단순 모델을 사용하였다. 특히, 노심지지배럴(core support barrel, CSB)에 대한 구조해석은 고유진동해석과 구조응답해석을 분리하여 ASHSD, STARDYNE, ANSYS, HYDRO 등의 코드로 수행하였고, 고유진동해석에서 모드형상을 보기 위하여 보모드와 쉘모드를 각각 예측하였다[1~3]. 이는 보수적이고 경제적인 해석이라 할 수 있으나, 현실과는 차이가 발생될 수 있다. 본 논문에서는 OPR1000 노심지지배럴에 대해 ANSYS 3차원 상세모델을 생성하여 고유진동해석 및 난류에 의해 발생하는 불규칙적 수력하중에 대한 구조응답해석을 수행하고, 전통적인 OPR1000 해석 및 측정 결과와 비교하여 상세해석방법의 유용성을 확인하고자 한다.

2. 구조해석

2.1 구조모델 생성

노심지지배럴은 4개의 cold leg 노즐로부터 유입된 원자로냉각재가 원자로 하부로 흐를 수 있도록 원자로와 함께 유로를 제공하고 노심을 보호하는 역할을 한다. 노심지지배럴의 형상은 원자로에 고정시키기 위한 상부플랜지, 하부지지구조물과 연결되는 하부플랜지, 하부에 6개의 스너버러그 및 2개의 노즐이 있는 실린더이다. 이전의 해석에서는 고유진동해석 및 구조응답해석을 각각 수행했기 때문에 각각의 모델을 생성하였으나, 본 논문에서는 이를 ANSYS 3차원 솔리드요소(SOLID185)의 모델을 약 15,600개 노드로 생성하였다.

전통적인 해석에서의 구속조건은 빔모드, 쉘모드 및 구조응답을 각각 계산하기 때문에 각 해석에 따라 다르게 설정하였다. 본 논문에서는 고유진동해석 및 구조응답해석을 같은 모델로 동시에 수행하기 때문에 동일한 구속조건을 설정하였다. 따라서 CSB 상부플랜지의 원자로 헤드에 의한 구속과 스너버러그의 원자로 stabilizing 러그에 의한 구속을 설정하였다. 또한 원자로내부구조물은 냉각재 속에 있기 때문에 유체에 의한 영향을 고려하기 위해 동수력질량을 3차원 요소의 표면에 ANSYS 면요소(SURF154)를 이용하여 추가하였고, 구조적 감쇠비(damping factor)는 1%로 가정하였다.



(a) Impingement region (b) Remainder region

Figure 1 Random hydraulic loads on CSB

2.2 수력하중

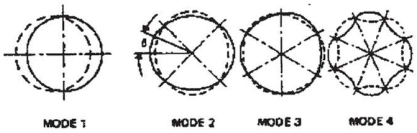
본 연구에서 구조응답해석에 입력한 수력하중은 난류에 의해 발생하는 불규칙적 수력하중으로 이전에 건설된 OPR1000 원자력발전소의 원자로내부구조물 종합진동평가프로그램(reactor vessel internals comprehensive vibration assessment program) 해석에 적용한 하중들이다. Cold leg으로부터 유입된 냉각재는 CSB에 충돌로 그 주위는 높은 하중이 발생되기 때문에 수력하중 큰 영역과 그 외 영역으로 분리하여 고려하였다. Figure 1의 (a)는 냉각재가 충돌하는 영역의 하중이고 (b)는 그 외 영역의 하중으로

† 교신저자; 정회원, 한국수력원자력(주) 중앙연구원
E-mail : khkim123@khnp.co.kr
Tel : 042-870-5775, Fax : 042-870-5779
* 한국수력원자력(주) 중앙연구원

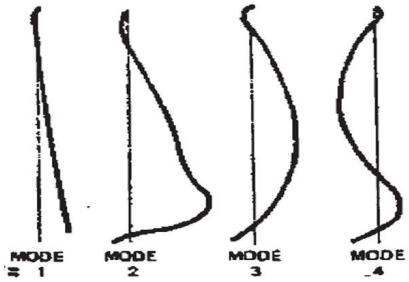
(a) 하중이 (b) 하중보다 큰 것을 확인할 수 있고, 기울기도 같은 경향을 보여준다[1~3].

2.3 고유진동해석 결과

Figure 2와 3은 각각 전통적인 해석과 본 논문의 상세해석 모드형상을 보여주는 그림으로 앞 4개 차수까지 모드형상을 보여준다. 상세해석의 첫 번째 쉘 모드형상은 전통적인 해석의 모드 2와 같고, 두 번째 및 세 번째는 모드 3과 같게 나타났고, 네 번째는 동일한 차수에서 보여주었다. 상세해석의 첫 번째와 두 번째 빔 모드형상은 전통적인 해석의 모드 3과 같으며 세 번째는 모드 4, 네 번째는 모드 2와 유사하다. 이는 전통적인 방법인 빔 모드와 쉘 모드형상을 분리하여 계산하고, 빔모드 계산 시 CSB 하부의 구속조건이 다르기 때문에 나타났다.



(a) Shell mode shapes



(b) Beam mode shapes

Figure 2 Mode shapes of CSB in traditional analysis[1~3]

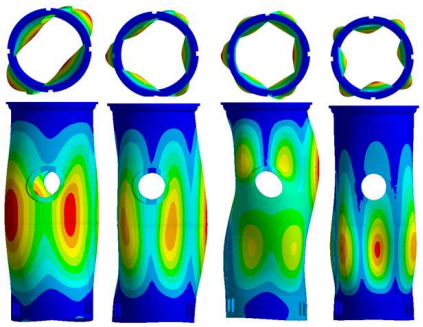


Figure 3 Mode shapes of CSB in detailed analysis

2.4 구조응답해석 결과

Figure 4는 OPR1000의 원자로내부구조물 종합진동평가프로그램에서 측정한 값과 같은 위치에서 상세해석의 결과를 비교한 것으로 측정은 낮은 주파수에서 높은 값을 보이다가 약 60Hz이상에서는 일정한 범위 내에서 변동하는 것으로 나타났고, 해석은 낮은 주파수에서 높은 주파수로 갈수록 낮아지는 경향을 보였다. 이러한 차이는 입력한 수력하중의 경향에 의해 발생한 것으로 판단된다.

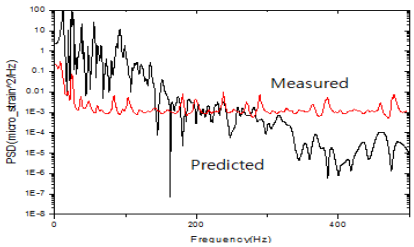


Figure 4 Predicted results in detailed analysis and measured data in OPR1000[1]

3. 결론

OPR1000 노심지지배럴에 대해 ANSYS 상세 3차원 모델을 생성하고, 고유진동해석 및 난류에 의해 발생하는 불규칙적 수력하중에 대한 구조응답해석을 수행하여 전통적인 OPR1000 해석 및 측정결과와 비교하였다. 구조응답해석은 입력한 수력하중의 경향에 따라 구조응답의 경향이 결정되는 것으로 나타났으나, 측정결과와 유사하게 예측되어 상세해석 방법의 유용성을 확인하였다.

참 고 문 헌

(1) KEPCO, 1995, A Comprehensive Vibration Assessment Program for Yonggwang Nuclear Generating Station Unit 4, 10487-ME-TE-240-03.

(2) KOPEC, 2004, A Vibration Analysis for Ulchin Nuclear Power Plant Unit 6 Reactor Vessel Internals, KOPEC/NED/TR/04-021.

(3) KOPEC, 2010, A Vibration Analysis for Shin-kori Nuclear Power Plant Unit 1 Reactor Vessel Internals, KOPEC/NED/TR/10-005.