

원자로 내부 노심 지지물의 진동 시험

Modal Testing for a Core Support Barrel of Power Reactor

류봉조† · 송선호* · 이영신** · 오부진*** · 김종호**** · 윤영식*****

B. J. Ryu, S. H. Song, Y. S. Lee, B. J. Oh, J. H. Kim and Y. S. Yoon

1. 서 론

원자력발전소 가동 시 원자로 내부 노심의 지지물 (core support barrel, CSB)은 난류현상을 보이는 원자로 냉각재의 열·수력학적 하중에 의해 아주 작은 진폭으로 진동하게 된다. 이러한 원자로 내부의 유체유발 진동에 대한 CSB의 진동 진폭을 예측하여 구조적인 건전성을 확보하고 향상된 설계 정보를 얻기 위한 연구가 계속해서 진행되어 왔다.

새롭게 설계되는 원자로에 대해서는 원자로 가동 전에 운전수명동안의 CSB 진동유발 하중을 해석으로 예측할 뿐 정확하게 측정할 수는 없기 때문에 축소모형을 이용한 진동시험으로부터 원자로 내부의 다양한 역학적 정보를 얻을 수 있다. 즉, 축소모형의 진동시험에서 여기(勵起) 매커니즘, 진동 응답, 기계적 임피던스 및 시스템 감쇠의 특성 등을 파악하게 된다.

이 논문의 목적은 축소모형을 이용하여 새로운 원자로 CSB의 진동특성을 파악하고 이들 결과와 진동해석 결과와의 상관관계를 파악함으로써 구조적인 건전성과 설계의 안전성을 확인하기 위한 것이다.

2. 본 론

2.1 축소 모형

Fig. 1은 일반적 가압경수로 원자로와 CSB의 단면도이며 Fig. 2는 실험모형의 개념도이다.

Table 1은 실제모형과 1/13.7로 축소한 모형에서의 주요한 치수를 비교한 표이다. 실제 운전되는 CSB는 고온 고압의 유체환경에 놓이게 되나 본 실험은 공기 중에서의 진동실험으로 예비 진동시험에 해당된다.

† 류봉조; 한밭대학교 기계공학부
E-mail : bjryu701@hanbat.ac.kr
Tel : (042) 821-1159, Fax : (042) 821-1587

* 한국원자력안전기술원
** 충남대학교 기계설계공학과
*** 충남대학교 대학원 기계설계공학과
**** 한밭대학교 대학원 기계설계공학과
***** 건양대학교

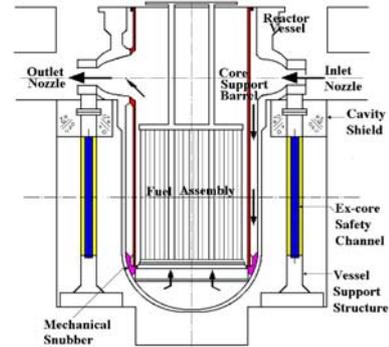


Fig. 1 Cross sectional view of reactor arrangement.

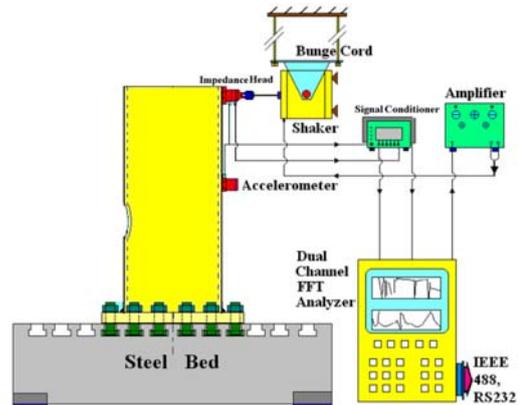


Fig. 2 Schematic views of the test model.

Table 1 Principal dimensions of 1/13.7th scale CSB model.

Items	CSB [mm]	1/13.7 Scale Model [mm]
Out Dia.	3657.6	267
Thickness	76.2	5.5
Length of CSB	9620.25	700
Inlet Nozzle ID	1184.275	86
Nozzle Distance from CSB flange	3564	260

2.2 진동 시험과 데이터 획득 방법

CSB 축소모형의 고유진동수와 모드현상들은 Fig. 2에 나타난 기기와 함께 공기 중에서 측정하였다. 가진기를 이용한 진동 시험은 CSB 축소모형의 고유진동수와 모드현상들 그리고

COMOSWorks로부터 얻게 될 유한요소해석 결과들이 얼마나 잘 일치하는지 보여주기 위하여 수행하였다. Fig. 2에 나타난 것처럼 CSB 축소모형을 철제 작업대 위에 놓고 공기 중에서 실험하였다. 실제에서의 CSB 완충기(Snubber)는 자유-고정 경계조건을 적용하기 위하여 이 실험에서 생략하였다. 가속도계는 일정한 간격으로 세로 4칸, 가로 4칸의 접점에 해당하는 16곳에 부착하여 진동수응답함수(Frequency Response Function)를 측정하였다.

2.3 유한요소해석

본 논문에서는 고유진동수 해석을 수행하기 위하여 상용 유한요소해석 코드인 COMOSWorks 프로그램을 사용하였다. Fig. 3은 축소 CSB 모형의 3차원 모델과 유한요소법을 시행한 모델을 나타내고 있다. Table 2는 유한요소모델에 적용한 물성치이다.

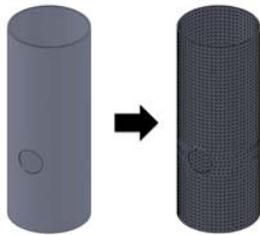


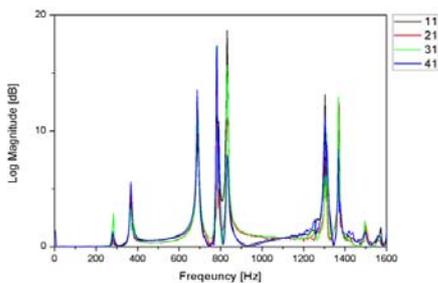
Fig. 3 3D model& FEM model for analysis.

Table 2 Material properties of a stainless steel.

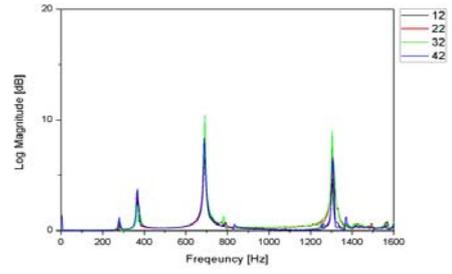
Materials	Stainless steel
Density [kg/m ³]	7860
Young's Modulus [N/m ²]	2.07×10 ¹¹
Poisson's Ratio	0.32
Yield Strength [N/m ²]	2.92×10 ⁸

3. 결과 및 고찰

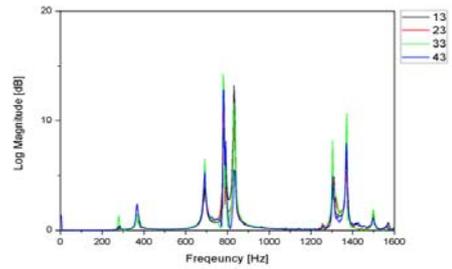
CSB 축소모형의 실험 및 해석결과의 상관관계를 보기 위해서 서로 비교하였다. Fig. 4는 동일 진폭에서의 진동수응답함수이며 Table 3은 실험과 해석에서의 고유진동수를 비교한 표이다.



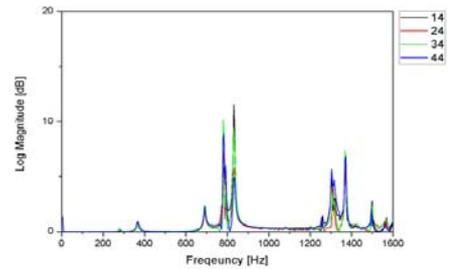
(a) 11-41



(b) 12-42



(c) 13-43



(d) 14-44

Fig. 4 FRF graphs of the experiment.

Table 3 Natural frequencies of experiment and analysis.

Mode	Natural Frequency [Hz]	
	Experiment	Analysis
1	281.75	264.15
2	368.00	418.03
3	691.25	607.83
4	781.67	778.95
5	833.00	823.36
6	1306.00	1308.10

4. 결론

CSB 축소모형에 관한 진동시험의 결론은 다음과 같다.

- 1) 1/13.7 축소모형의 고유진동수는 유한요소해석과 실험에서 오차율 6% 미만의 유사한 결과를 보였다.
- 2) 축소모형 진동시험으로부터 얻게 되는 동적거동은 실제 모델의 설계 및 건전성 확인에 좋은 데이터를 제공할 것으로 사료된다.