

탄성 지지된 원통 셸의 수중 동특성 해석

Dynamic Characteristics Analysis of an Elastically Restrained Cylindrical Shell Underwater

하경록* · 최영인* · 임승호* · 박경수† · 박노철* · 박영필*

Kyungrok Ha, Young-In Choi, Seungho Lim, Kyoung-Su Park, No-Cheol Park and Young-Pil Park

1. 서 론

최근 화석연료가 고갈되어 감에 따라 안정적인 에너지원을 확보하는 것이 중요하게 되면서, 원자력에너지의 중요성이 점점 부각되고 있다. 이 때문에 원자로의 개발과 이용에 대한 관심은 꾸준히 증가하여 왔는데, 원자력 기술개발의 일환으로 한국원자력연구소에서는 일체형 원자로 SMART를 개발하고 있다. 하지만 SMART와 같이 접수된 구조물은 외부하중에 지속적으로 노출되기 때문에, 동특성 해석을 통해 구조의 건전성을 확보하는 것이 매우 중요하다.

본 연구에서는 SMART원자로 내부 원통형 셸 구조물의 건전성 확보를 위하여 동특성 해석을 수행한다. 이를 위하여 Fig. 1과 같은 탄성 지지된 원자로 용기 축소모델을 제작하여 모드시험과 유한요소 해석에 이용하였다. 시험을 통하여 고무방진구의 집중매개변수를 추출하여 유한요소해석과 모드시험에 사용하였고, 유한요소해석으로 모드형상과 고유진동수를 추출하기 위하여 상용유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 사용하였다. 이와 더불어 원자로 용기의 모드시험을 수행하여 해석의 타당성을 검증하였다.

2. 고무방진구의 집중매개변수 추출

원자로용기를 지지하고 있는 정반의 무게가 상대적으로 크고 고무방진구 위에 올려져 있으므로 고무방진구를 해석에 포함시켜야 할 필요성이 있다.

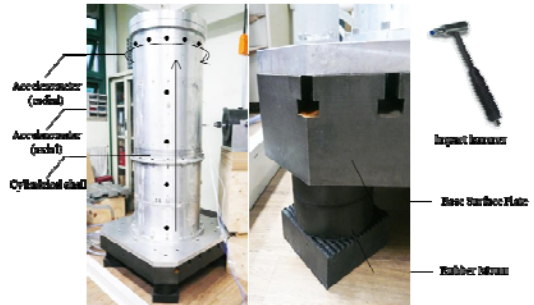


Fig. 1 Elastically restrained cylindrical shell

고무방진구의 동적거동을 나타내는 집중매개변수로 선형 스프링상수와 감쇠계수를 추출하였으며, 평면 내 방향의 강성을 나타내는 횡강성과 평면 외 방향의 강성을 나타내는 종강성을 모두 시험으로 추출하였다.

고무방진구의 주파수응답은 Fig. 2와 같이 측정되었다. 고무방진구의 횡강성이 종강성보다 낮아 횡방향의 공진이 상대적으로 저주파수 대역에서 나타났다. 고무의 강성 및 감쇠비는 반치폭법에 따라 식 (1)-(3)을 통해 구할 수 있다. 여기서 m , c , k 는 질량, 감쇠계수, 등가 스프링상수를 나타내고, ω_n , ζ , $\Delta\omega_2$, $\Delta\omega_1$ 는 고유진동수, 감쇠비, 반치 주파수폭, 기준 주파수폭을 나타낸다. 4개의 고무방진구에 대한 집중매개변수를 1개의 고무방진구에 대한 집중매개변수로 나타내면 Table 1과 같이 정리할 수 있다.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{1}$$

$$\zeta = \frac{\sqrt{\Delta\omega_2^2 - \Delta\omega_1^2}}{2\omega_n} \tag{2}$$

$$c = 2m\zeta\omega_n \tag{3}$$

† 박경수; 연세대학교 기계공학과

E-mail : pks6348@yonsei.ac.kr

Tel : (02) 2123-4677, Fax : (02) 365-8460

* 연세대학교 기계공학과

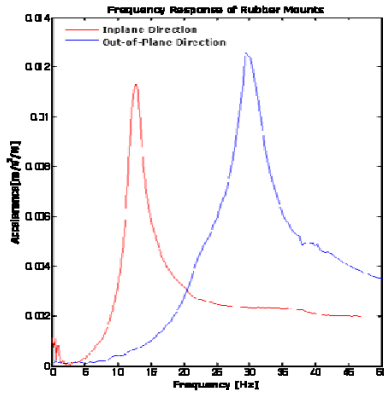


Fig. 2 frequency response of rubber mounts

Table 1 Extracted lumped parameter of rubber mount

Direction	Natural freq (Hz)	Stiffness (N/m)	Damping ratio
In plane	12.7	9.52E+05	0.0900
Out of plane	29.7	5.20E+05	0.0799

3. 동특성 시험 및 해석

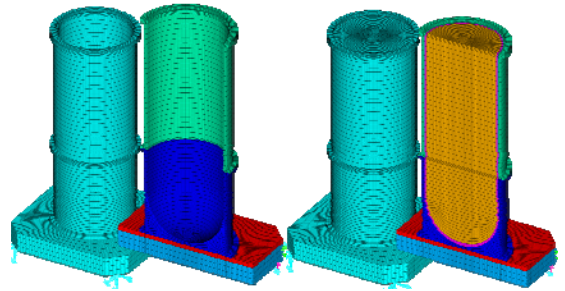
3.1 유한요소 모델

상용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 유한요소해석 모델을 구축하였다. Fig. 3(a)와 Fig. 3(b)는 공기 중 및 접수 원자로용기에 대한 유한요소 해석 모델을 나타낸다. SOLID45 요소와 FLUID 30요소를 이용하여 각각 구조영역과 유체영역을 모사하였고, COMBIN14 요소를 사용하여 고무방진구를 나타내었다.

3.2 시험 및 해석 결과

해석의 타당성을 검증하기 위하여 Fig. 1과 같이 실험장치를 구축하고 모드시험을 수행하였다. 원자로 용기에 가속도계를 부착하고 임팩트 해머로 가진을 주어, 원주방향 16개, 길이방향 7개의 응답을 측정하였다.

Fig. 4는 접수 원자로용기의 모드형상을 나타내고, Table 2는 공기 중 및 수중에서의 고유진동수를 나타낸다. 실험결과와 해석결과와 대체로 일치하지만, 공기 중에서의 1차 모드를 관찰할 수 없었다. 이는 고무방진계의 피치/롤 운동과 연성되어 상쇄되었을 것으로 추측된다. 또한 유체의 부가질량에 의하여 원자로 용기의 고유진동수가 상당히 많이 낮아지는 것을 확인하였다. 이 결과를 통하여 유한요소해석의 타당성을 검증할 수 있었고, 본 해석모델을 통해 실제 SMART원자로 내부 원통 셀 구조물의 동특성을 추출할 수 있을 것으로 기대된다.



(a) in Air (b) in Water
Fig. 3 Finite element model of cylindrical shell

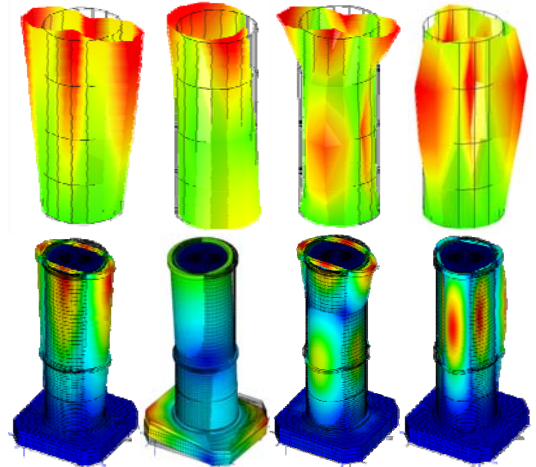


Fig. 4 Mode shape : experiment (top) and FEM (bottom)

Table 2 Natural frequency (unit: Hz)

Mode	in Air		in Water	
	FEM	Test	FEM	Test
w(2,1)	259.1	-	190.7	190.7
w(1,1)	286.8	286.6	239.1	243.5
w(2,2)	539.5	541.6	373.6	359.6

후 기

본 논문은 SMART 기술검증 및 표준설계 인가 획득사업의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) 임승호, 최영인, 박영필, 박노철, 박경수, 정경훈, 이장원, 2010, “일체형 원자로 내부 유동분배통의 동특성 해석,” 한국소음진동공학회 창립 20주년 기념 2010년 춘계학술대회논문집, pp.213~214