

유체-구조연성 해석의 상사성을 이용한 동축 원통형 구조물의 동특성 해석

Dynamic Characteristics Analysis of Co-axial Cylindrical structure Using Similarity of Fluid-structure Interaction

백두현* · 최영인* · 박경수† · 박영필* · 박노철*

Doohyun Baek, Youngin Choi, Kyoung-Su Park, Young-Pil Park and No-Cheol Park

1. 서 론

국내에는 원자력 발전소와 같은 특수구조물이 아닌 일반적인 구조물에 대한 내진설계는 1988년 건축 구조물을 시작으로 1991년 고속철도 사업에서 교량의 내진설계기준을 도입하게 되었다. 원통형 구조물(Cylindrical Structure)은 항공기와 미사일 동체, 해양구조물 및 원자로구조의 대부분을 이루고 있다. 따라서 원통구조 해석방법은 공학의 관심있는 연구대상으로써 이론적인 정밀해가 많이 발달 되었으나 해석의 어려움과 실제구조의 실험을 통한 검증에 많은 어려움이 있다.⁽¹⁾

구조물의 진동 특성은 고유진동수(Natural frequency), 감쇠비(Damping ratio), 모드형상(Mode shape) 등과 같은 시스템 파라미터(System Parameter)로 표현되며, 이러한 특성들은 구조물의 재질이나 형상 및 환경조건에 의해 결정된다. 특히, 구조물이 접수상태가 되면 이러한 진동특성이 달라지게 되고 구조와 유체의 연성으로 구조물의 진동 특성을 정확히 추정하는 것 또한 어려우므로 실험을 통해 결과의 정확성을 추정하여야 한다.

대부분 원통형구조물로 이루어진 한국원자력연구원에서 개발 중인 SMART(System-integrated Modular Advanced Reactor)는 전력생산과 해수담수화를 동시에 수행하는 친환경적인 일체형원자로이다. 지진과 같이 강력한 진동에 노출될 수 있으므로 확실한 안정성을 확보하기 위해서 구조물의 동

특성을 파악해야 한다.

본 연구에서는 동축 원통형 구조물의 유한요소해석을 수행하였고 상사성을 이용하여 형상을 같지만 크기와 재질이 다른 원통형 구조물의 고유진동수를 계산하였다. 그리고 같은 방법으로 원자로 축소모델에 적용하고 그 결과를 확인하였다.

2. 상사성 해석

2.1 보정계수 및 NAVMI계수

1) 영률보정계수(ε) 및 밀도보정계수(ζ_p)

$$\varepsilon = \frac{E_r}{E_s}, \quad \zeta_p = \frac{\rho_r}{\rho_s} \quad (1)$$

E_s, ρ_s : 축소모델의 탄성계수, 밀도

E_r, ρ_r : 실제모델의 탄성계수, 밀도

2) NAVMI계수

$$\Gamma = \frac{1}{\zeta_r} \left[\left(\frac{f_{o,s}}{f_{L,s}} \right)^2 - 1 \right] \quad \text{where } \zeta_r = \frac{\rho_L}{\rho_r} \quad (2)$$

$f_{o,s}$: 공기 중 고유진동수

$f_{L,s}$: 수중 고유진동수

ρ_L : 유체 밀도

상사성을 가지는 구조물은 모드형상이 같으므로 각 모드에 대한 NAVMI계수는 같다. 이러한 성질과 식(2)을 통해 실제모델의 수중 고유진동수를 예측할 수 있다.

$$f_{L,r} = \frac{f_{o,s}}{\kappa} \sqrt{\frac{\varepsilon}{\zeta_p(1 + \zeta_r \Gamma_s)}} \quad (3)$$

† 박경수; 연세대학교 기계공학과

E-mail : pks6348@yonsei.ac.kr

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

* 연세대학교 기계공학과

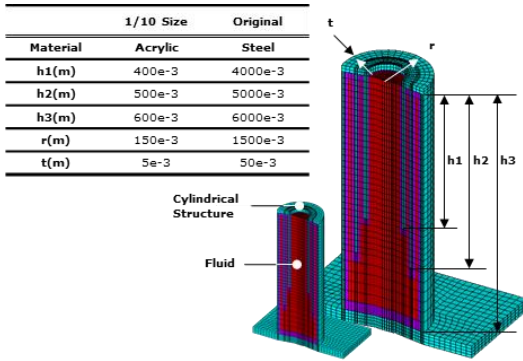


Fig.1 Finite Element model of Cylindrical structure

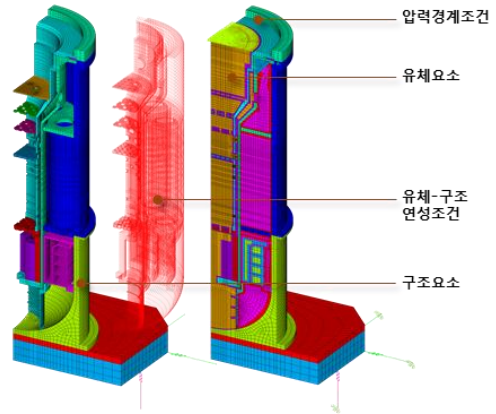


Fig.2 Finite Element model of SMART

Table 1 Similarity analysis of Cylindrical structure with NAVMI factor

Mode	NAVMI Factor	Real size Cylindrical structure		
		Calculation(Hz)	FEM(Hz)	Error(%)
1	11.2	4.98	4.71	5.43
2	48.6	11.59	11.70	-1.01
3	23.8	17.42	17.29	0.76

Table 2 Similarity analysis of SMART with NAVMI factor

Mode	NAVMI Factor	Real size Cylindrical structure		
		Calculation(Hz)	FEM(Hz)	Error(%)
1	18.61	4.41	4.43	0.46
2	15.25	7.57	7.63	0.78
3	54.91	18.89	19.19	1.58

2.2 상사성 해석 순서

- 1) 유한요소해석을 통해 축소 모델의 공기 중 및 수중 고유진동수를 추출한다.
- 2) 추출된 고유진동수를 통해 각 모드에 대한 NAVMI계수를 계산한다.
- 3) 축소 모델과 실제 모델의 물성치 및 척도를 통해 보정계수를 추출한다.
- 4) 위의 과정으로부터 계산한 NAVMI계수 및 보정계수를 통해 실제 모델의 공기 중 및 수중 고유진동수를 계산한다.
- 5) 계산된 실제 모델의 고유진동수와 유한요소해석을 통해 추출된 실제 모델의 고유진동수를 비교한다.

2.3 상사성 해석의 적용

실제 원자로 구조물의 상사성 해석에 앞서 지진과 같은 저주파에 영향을 받는 세장비가 긴 구조물에 대하여 단순화시켜 내부가 유체로 가득찬 원통형 구조물에 대하여 해석을 수행하였다. 상사성을 확인하기 위해 실제 구조물과 형태만 동일한 1/10 크기의 축소 모델에 대한 해석을 수행하였다.

Table 1은 계산결과와 유한요소해석 결과를 정리 하였다. 두 결과를 비교하였을 때 결과가 잘 일치 하는 것을 확인 할 수 있었고, NAVMI계수를 이용한 상사성 해석이 유효하다는 것을 확인 하였다. 이어 축소된 일체형원자로에 대한 상사성 해석

을 수행하였다. 일체형원자로에 대한 유한요소모델은 Fig. 2에 나타나 있다. 상사성 해석은 동일한 방법으로 수행하였고 Table 2에 결과가 정리되어 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 유체와 구조물의 연성을 고려했을 때 상사성을 이용하여 실제 구조물의 동특성을 예측하는 방법에 대하여 소개하였다. 동축 원통형 구조물의 상사성 검증을 통해 실제 일체형 원자로의 고유진동수를 계산하였으며 유한요소해석 결과와 잘 일치하는 것을 확인 하였다. 그러므로 유체와 구조 연성해석에서 상사성이 유효함을 확인하였다.

후 기

본 연구는 한국원자력연구원의 지원을 받아 이루어졌으며 이에 관계자 여러분들께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 국승규, 1998, “ 원통형 액체저장탱크 내진설계기준의 비교연구 ”, 한국지진공학회 논문집 제2권 제2호(통권 제6호), pp.69-75