

Dynamic Substructuring 기법을 이용한 원통형 구조물의 동특성 확인

Dynamic Characteristics Identification of Cylindrical Structure Using Dynamic Substructuring Method

최영인[‡] · 박노철[‡] · 이상정* · 박영필* · 김진성** · 박찬일** · 노우진**
Youngin Choi, No-Cheol Park, Sang-Jeong Lee, Young-Pil Park, Jinsung Kim, Chanil Park and Woo-Jin Roh

Key Words : Model Reduction Method, Dynamic Substructuring, Finite Element Method, Dynamic Characteristics, Reactor Internals

ABSTRACT

In order to obtain dynamic behaviors of complex structures, it demands large amounts computational cost and time to perform the numerical analysis. The model reduction method helps these problems by dividing the full model into primary and unnecessary parts. In this research, we perform the modal analysis using the dynamic substructuring method, which is one of the model reduction methods, in order to obtain the dynamic characteristics of the cylindrical structures efficiently. To select the master degrees of freedom (dofs), we consider the mode shapes of the cylindrical structures. And then, we identify the validity of the dynamic substructuring method by applying the method to the simple cylinder and core support barrel (CSB) which is one of the reactor internals with the cylindrical shape. The results demonstrate that the dynamic characteristics from the dynamic substructuring method are well matched with the original method.

에서는 이를 이용한 해석 방법을 지원하고 있다.

1. 서 론

일반적으로 복잡한 구조물의 진동해석을 위해서는 컴퓨터를 이용한 Finite Element Method (FEM)가 널리 이용되며 정확한 해석 결과를 얻기 위해서는 구체적인 해석 모델을 작성하는 것이 중요하다. 하지만 해석 모델이 정확할수록 많은 절점과 요소가 필요하며 이는 오랜 해석시간과 해석용량을 요구한다. 이런 문제를 해결하기 위해서는 다양한 모델 축소법 (Model reduction method)이 제시되고 있으며^{(1), (2)}, ANSYS 와 같은 상용 유한요소해석 프로그램

본 연구에서는 ANSYS 에서 제공하는 dynamic substructuring 기법을 사용하여 구조물의 동특성을 확인하는 방법을 소개하고 해당 방법을 단순한 원통형 구조물의 해석에 적용해 보았다. 또한 해석의 정확성을 높이기 위한 방법 및 기준을 확인하였으며 유체-구조 연성효과가 포함될 경우 그 차이점을 확인하였다. 최종적으로는 실제 원자로 내부구조물에 해당 방법을 적용하여 추후 복잡한 진동해석에 있어 그 적합성을 확인하였다.

2. Dynamic Substructuring

2.1 해석 방법 및 순서

ANSYS 에서의 dynamic substructuring 은 Guyan⁽¹⁾이 제시한 방법을 사용하며 다음과 같이 generation pass, use pass, expansion pass 순서로

† 교신저자; 정회원, 연세대학교 기계공학과

E-mail : pnch@yonsei.ac.kr

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

‡ 발표자; 연세대학교 기계공학과

* 연세대학교 기계공학과

** 한국원자력안전기술원

진행된다. 우선 generation pass 에서는 해석모델의 단순화를 위해 전체 degrees of freedom (dofs)를 해석에 사용될 master dofs 와 제거될 slave dofs 로 나눈다. Master dofs 는 구조물의 주요 동적 특성을 포함하며 정확한 해석 결과를 얻기 위해서는 이를 정확히 선택하여 해석에 포함할 필요가 있다. Use pass 에서는 선택된 master dofs 를 이용하여 superelement 를 생성하며 이를 이용하여 다양한 진동해석을 수행하게 된다. 최종적으로 expansion pass 에서는 use pass 에서 얻은 reduced solution 을 단순화되기 전의 기준모델에 backsubstitution 방법을 통해 적용하여 완성된 결과를 얻게 된다.

2.2 원통형 구조물의 동특성

일반적으로 밑단이 고정된 fixed-free 상태의 원통형 구조물의 진동 모드는 Fig. 1 과 같이 축 방향 진동 모드와 원주 방향 진동 모드로 나눌 수 있으며 고차 모드로 갈수록 그 절점 수가 증가하며 복잡한 모드 형상을 보인다. 원통형 구조물이 접수될 경우에는 전체 진동 모드의 고유진동수가 부가 질량 효과로 인해 감소하게 된다. 하지만 모드 형상의 경우에는 다른 인접한 구조물과 연성효과가 발생하지 않는 이상 공기 중에서의와 유사한 형태를 보인다.

2.3 Dynamic Substructuring 기법 적용

본 연구에서는 단순화 되지 않은 유한요소모델을 이용한 동특성해석 결과와 dynamic substructuring 기법을 적용하여 얻은 결과를 비교하여 해석방법의

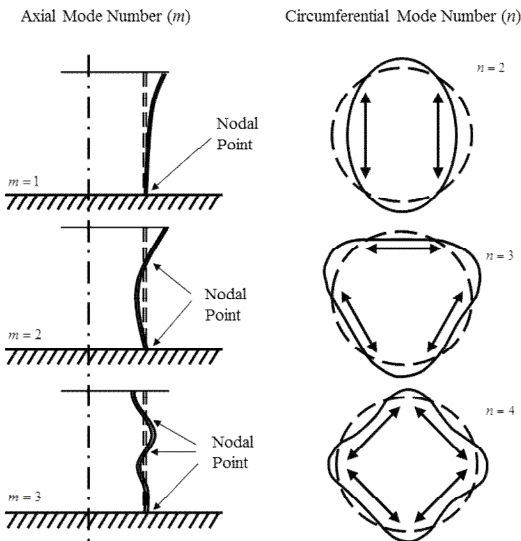


Figure 1 Vibration Modes of Cylindrical structure

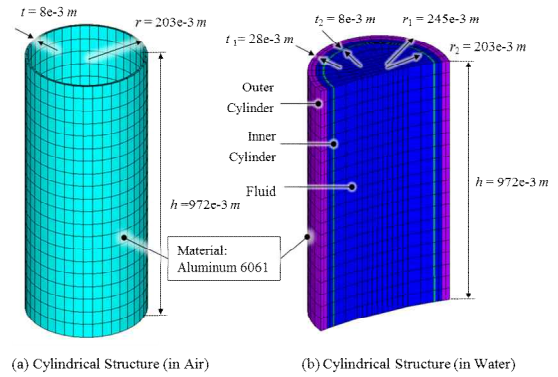


Figure 2 Finite Element Model of Cylinder

타당성을 확인하였다. 이를 위해 사용된 유한요소모델 (공기 중, 수중 단순한 형태의 원통)은 Fig. 2와 같다. Dynamic substructuring 을 포함한 모델 축소법을 이용한 해석은 master dofs의 선택이 중요하며 그 위치 및 개수에 따라 해석의 정확도가 달라진다. 또한 master dofs 수에 따라 해석 속도가 결정되기 때문에 효율적인 해석을 위해서는 적절한 수의 master dofs를 선택할 필요가 있다. 본 연구에서는 모드 형상에 따라 master dofs를 선택하였으며 원통형 구조물의 축 방향 진동 모드와 원주 방향 진동 모드를 고려하여 변형이 크게 일어나는 부분을 기준으로 선택하였다. 구조물이 접수될 경우에도 동일하게 모드 형상을 기준으로 구조물의 master dofs를 선택하였다. 하지만 이 경우 유체-구조 연성 효과를 고려하여 구조물과 접촉한 유체 부분에 추가로 master dofs를 선택하였다. Figure 3

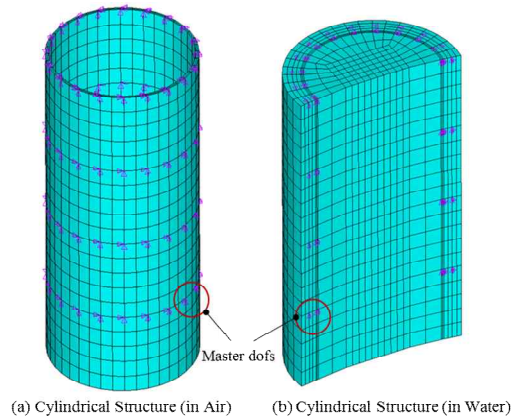


Figure 3 Master Dofs Selection in Cylindrical Structure

은 이를 고려하여 master dofs를 선택한 유한요소 모델을 나타내고 있다.

원자로내부구조물 중 하나인 노심지지배럴의 경우 원통형 형상을 지니며, 이에 따라 위의 단순한 형태의 원통과 유사한 기준에 따라 dynamic substructuring 기법을 적용할 수 있다. Figure 4는 노심지지배럴의 3D 유한요소모델과 dynamic substructuring을 위한 master dofs 선택을 보여준다.

2.4 해석 결과 및 고찰

Figure 5은 단순한 형태의 원통의 기준 전체 모델을 사용하여 얻은 모드 형상과 dynamic substructuring을 사용하여 얻은 모드 형상을 비교하였으며 Table 1에는 모드 형상에 따른 고유진동수를 비교하여 정리하였다. 적절한 위치 및 개수의 master dofs를 선택함에 따라 두 방법을 사용한 해석 결과가 잘 일치함을 확인하였다. Figure 6은 노심지지배럴의 기준 전체 모델을 사용하여 얻은 모드 형상과 dynamic substructuring을 사용하여 얻은 모드 형상을 비교하였으며 Table 2에는 모드 형상에 따른 고유진동수를 비교하여 정리하였다⁽³⁾. 이 또한 두 결과가 잘 일치하였으며 복잡한 형상을 가진 구조물에서도 타당한 해석 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다. 본 연구에서는 효율적인 해석을 위해 적은 수의 master dofs를 선택하였지만 더 많은 master dofs를 선택할 경우 더 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

3. 결 론

본 연구에서는 구조물의 효율적인 진동해석을 위한 dynamic substructuring 기법을 소개하였으며 이를 원통형 구조물 (단순한 형태의 원통, 노심지지배럴)에 적용하여 그 타당성을 확인하였다. 결과를 통해 위의 기법을 통해 적절한 동특성을 얻을 수 있음을 확인하였으며 이에 따라 추후 연구에서는 위의 기법을 적용하여 원자로의 다양한 진동해석을 수행하고자 한다.

참 고 문 헌

- (1) Guyan, R. J., 1965, Reduction of Stiffness and Mass Matrices, AIAA Journal. Vol. 3, No. 2, pp.380.
- (2) Craig, R.R., Bampton, M. C. C., Coupling of Substructures for Dynamic Analyses, AIAA Journal.

Vol. 6., No. 7, pp.1313~1319.

- (3) Choi, Y., Park, J. B., Park, Y. P., Park, N. C., Park, K.S., Kim, J., Park, C., 2013, Modal Test of Scale-down Model of APR1400 Internals for Dynamic Characteristics Identification, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 682~683

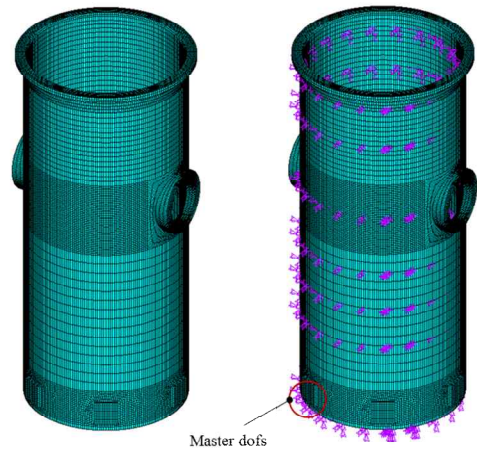


Figure 4 Finite Element Model and Master Dofs Selection of Core Support Barrel

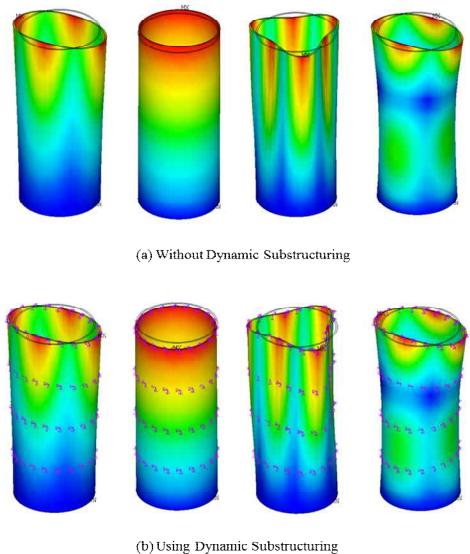
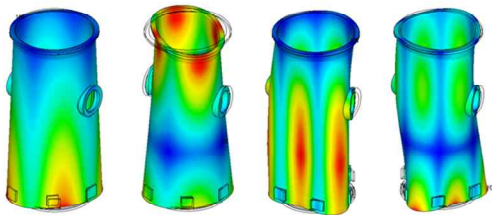


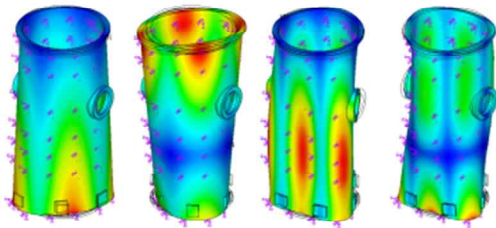
Figure 5 Mode Shapes of Cylinder from Two Methods

Table 1 Dynamic Characteristics of Cylinder

	Mode Shape (n, m)	Frequency [Hz]		Error [%]
		Full	Sub	
Air	2, 1	184.7	185.0	-0.2
	1, 1	339.7	340.9	-0.4
	3, 1	380.2	384.7	-1.2
	2, 2	543.6	555.5	-2.2
Water (Inner Cylinder)	2, 1	45.28	44.93	0.8
	1, 1	61.94	62.23	-0.5
	3, 1	113.8	114.3	-0.4
	2, 2	156.6	161.8	-3.3



(a) Without Dynamic Substructuring



(b) Using Dynamic Substructuring

Figure 6 Mode Shapes of Core Support Barrel from Two Methods

Table 2 Dynamic Characteristics of Core Support Barrel

	Frequency [Hz]		Error [%]
	Full	Sub	
2, 1	148.2	148.4	-0.1
2, 1	217.4	218.0	-0.3
3, 1	397.0	402.1	-1.3
3, 2	511.3	525.6	-2.8