

접수된 동축 원통형 구조물의 간극유체를 고려한 유한요소모델링

Finite element modeling of coaxial cylindrical structure considering gap fluid

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

Youngin Choi, Seungho Lim, Byung-Han Ko, Young-Pil Park, No-Cheol Park,
Kyoung-Su Park

1. 서 론

원통형 구조물은 원자로, 해양 구조물, 대형 수조와 같은 다양한 산업 분야에서 활용된다. 특히 원자로 내부에는 균일한 하중과 유동을 위해 노심지지 배럴, 상부안내구조물 등과 같이 다양한 구조물들이 동축 원통형 구조를 가지고 있다. 원통형 구조물들이 접수되어 있을 경우 유체의 부가질량 효과는 구조물의 동특성을 크게 변화시킨다. 특히 원통형 구조물들이 여러 개 좁은 간격을 가지고 배치되어 있을 경우 구조물 사이에 존재하는 간극유체는 거동을 연성시키는 역할을 하게 된다. 이로 인해 기존에 독립적으로 나타나던 각 구조물들의 거동이 유체로 인해 동위상, 역위상으로 서로 연성되어 나타난다. 또한 간극유체는 부가질량효과가 매우 크며 특히 역위상 모드의 경우 간극유체의 거동이 위축되기 때문에 고유진동수가 크게 감소하는 결과를 보여준다. 따라서 구조물의 진동 해석에 있어서 간극유체는 신중히 고려되어야 한다.

대형 구조물의 경우 직접 시험을 통해 동특성을 확인하기 어렵기 때문에 컴퓨터를 이용한 유한요소 해석이 널리 사용된다. 본 논문에서는 단순한 동축 원통형 구조물을 다양한 방법으로 모델링하고 그 결과를 비교함으로써 효율적이고 정확한 방법을 제시하고자 한다.

2. 유한요소해석

2.1 유한요소모델링

본 논문에서는 구조물의 모달 해석을 위해 상용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS Version 13 을 사용하여 수치해석을 수행하였다. 이를 위해 단순한 형태의 동축을 가진 원통형 구조물 2개를 설계하였다. Table 1과 Table 2는 해석을 수행한 구조물의 물성치 및 기하정보를 나타낸다. 구조물의 유한요소 모델을 구축하는데 있어서 요소의 종류, 격자 생성 방법 등에 따라 여러 가지 방법이 있을 수 있다. 해석 대상 모델이 단순하다면 모델링 방법에 따라 결과가 크게 다르지 않지만 구조물의 형상이 복잡해질수록 해석의 정확도 및 해석시간이 크게 차이가 나게 된다. 해석에 있어서 가장 정확한 방법은 SOLID요소를 사용하는 것으로 구조물과 그 사이의 유체를 실제 형상과 가장 유사하게 나타낼 수 있다. 하지만 SOLID요소를 사용할 경우 얇은 두께의 원통형 구조물을 구축하기 위해서는 수 많은 요소가 필요하다. 게다가 구조물의 전단변형을 고려하기 위해서는 최소 두께 방향으로 최소 4개의 요소가 필요하며 구조물간 간격이 좁아질수록 그 개수는 증가하게 된다.

Table 1 Material properties of finite element model

Parameters	Value
Material	Aluminum 6061
Elastic Modulus	70Gpa
Density	2700kg/m ³

† 박경수; 연세대학교 기계공학과

E-mail : pks6348@yonsei.ac.kr

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

* 연세대학교 기계공학과

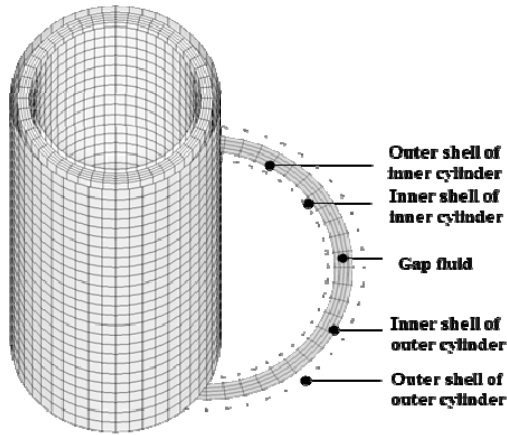


Fig. 1. Finite element model of cylindrical structures using two coupled SHELL element

Table 2 Geometric parameters of cylindrical structures

Structure	Inner radius	Thickness	Height
Inner structure	85mm	5mm	500mm
Outer structure	102mm	8mm	500mm

Shell요소는 Solid 요소와 달리 두께 방향의 요소가 필요하지 않기 때문에 이러한 문제점을 해결할 수 있다. 하지만 이를 사용하여 유한요소모델을 구축할 경우 그 형상은 두께를 0이라 가정하기 때문에 이를 둘러싼 유체의 체적이 변화하게 된다. 이는 유체의 부가질량 효과를 바꾸게 되며 특히 간극유체의 경우 그 영향이 매우 커지게 된다. 따라서 이를 고려한 유한요소모델 구축이 필요하다. Figure 1은 이러한 문제를 고려하여 구축한 유한요소모델의 형상을 나타낸다. 구조물간 간극유체의 체적을 실제와 같게 만들어 주기 위해 두 개의 쉘을 생성하였고 이 둘의 자유도를 연성해줌으로써 구조물의 두께를 구현해 주었다.

2.2 유한요소모델 구축 및 해석 결과

유한요소모델 구축방법에 따른 결과를 비교하기 위해 Fig. 2와 같이 4가지 방법을 사용하여 모델을 생성하였다. Case 1,2는 SOLID45요소를 사용한 유한요소모델을 보여준다. Case 1의 경우 두께방향으로 한 개의 요소를 배치함으로써 Case2의 두께 방향으로 4 개의 요소를 사용했을 때의 결과와 비교하였다. Case 3,4는 SHELL63요소를 사용한 유한요소모델을 보여준다. Case3은 쉘을 한 개를 사용했을 경우로 구조물 간 유체의 체적을 고려하지 않았

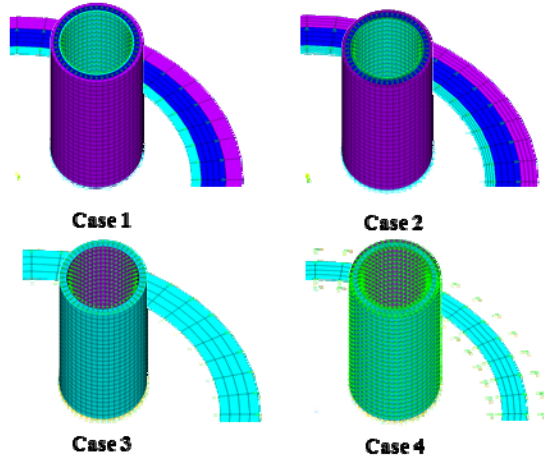


Fig. 2. Finite element model of cylindrical structures

고 Case4의 경우에는 두 장의 쉘을 사용한 경우를 보여준다. Table 2는 각 경우에 대한 결과를 나타낸다. 가장 정확한 방법인 SOLID45요소를 사용했을 때의 결과를 기준으로 각 방법에 대한 결과를 비교하였다. SOLID45요소를 사용하고 두께방향으로 한 개의 요소를 배치했을 경우 저차 모드에서는 결과가 잘 일치하였으나 고차 모드로 갈수록 오차가 크게 발생하는 것을 확인할 수 있었다. SHELL63요소를 사용했을 경우 간극유체의 체적에 따른 부가질량효과가 매우 큼을 확인할 수 있었으며 이 경우 두 장의 쉘을 사용하여 유체의 체적을 고려해야 정확한 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

Table 3 Results of finite element analysis

Mode	Natural Frequency (Hz)			
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
1	124.61	125.85	153.59	125.59
2	135.43	137.65	165.58	137.48
3	347.37	353.79	421.88	352.88
4	424.55	434.24	512.16	431.64
5	465.77	466.73	440.39	465.63
6	450.90	544.79	639.88	542.20

3. 결 론

본 논문에서는 동축을 가지고 배치되어 있는 접수 원통형 구조물들의 유한요소모델을 다양한 방법으로 모델링하고 그 결과를 비교하였다. 정확한 결과를 얻기 위해서는 SOLID45 요소를 사용할 경우 두께 방향으로 여러 개의 요소로 나눠 줘야하며 SHELL 요소를 사용할 시에 두 개의 쉘을 사용함으로써 간극유체를 정확히 고려해야 함을 알 수 있었다.