

전달 행렬을 이용한 보강 원통형 몰수체의 진동전달특성 연구

Study on vibration propagation characteristics of submerged stiffened cylinder using transfer matrix

강명환* · 서영수* · 신구균* · 전재진†

Myungwhan Kang, Youngsoo Seo, Ku-kyun Shin and Jaejin Jeon

1. 서론

동일한 형상을 가지고 있는 단위요소구조가 계속적으로 연결되어 있는 주기성을 가진 구조물은 항공기의 날개 및 연료탱크, 유류 이동 배관과 기차 선로 등 여러 분야에 응용되고 있다. 특히 수중에 설치되는 구조물의 경우에 수압으로 부터의 구조 강성을 증가시키기 위해 축방향으로 일정한 간격으로 보강재가 설치된다. 이러한 구조물은 보강재에 의해 진동 전파특성이 달라지며, 특정한 주파수에서는 진동전달이 잘되는 ‘Pass bands’이 형성되는 반면, 다른 특정한 주파수에서는 진동전달이 잘 되지 않는 ‘Stop bands’가 형성된다.

본 연구에서는 연속 쉘 이론과 유체의 영향을 유한 차분법으로 전달함수를 만들어 보강 원통형 몰수체의 진동전달특성을 알아보았다.

2. 본론

2.1 이론

본 연구에서는 보강 원통형 몰수체의 진동전달 특성을 알아보기 위해, 그림 1과 같이 보강 원통형 몰수체 구조물은 보강재를 포함한 임의 길이의 원통형 쉘 요소가 길이 방향으로 연속적으로 이루어진 축대칭 구조물로 모델링하였다. 보강 원통형 몰수체의 단위요소 구조에 대해 전달행렬(Transfer Matrix)을 구하였다.

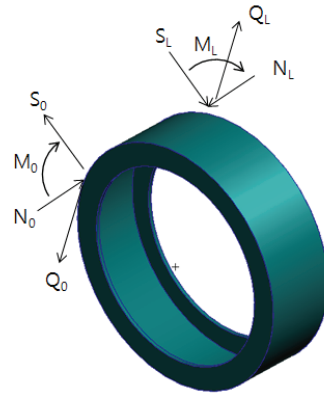


그림 1 보강 원통셴에 작용하는 힘-모멘트

보강 원통형 몰수체는 무한한 길이로 가정하였고 거동은 조화운동이라고 가정하고 원주의 거동을 푸리에 급수 전개를 이용하여 변수 분리를 하면 한 단면에서의 상태 벡터인 변위와 하중을 다음의 식과 같이 쓸 수 있다.

$$Z_n(x, r, \theta, t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} Z_n(x, r) \exp(jn\theta + j\omega t) \tag{1}$$

여기서 원통형 쉘의 거동을 표현하기 위한 상태 벡터인 Z_n 는 변위 4개와 하중 4개로 구성되며, n 은 원주 방향으로의 n 차 모드를 나타낸다.

원통 쉘은 Donnell-Mushitari의 쉘 이론을 이용하였고 쉘 외부에 점수효과를 고려하기 위해, Helmholtz 파동 방정식을 이용하여 반경 방향으로 유체를 N 개의 요소로 나누어 유한 차분법(Finite Difference Method)을 적용하였다. 원통형 쉘과 유체의 운동방정식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

† 교신저자; 정회원, 국방과학연구소
E-mail : jjj@add.re.kr
Tel : 055-540-6300, Fax : 055-540-3737
* 국방과학연구소

$$\frac{dZ_n(x)}{dx} = AZ_n(x) \quad (2)$$

이 때의 상태 벡터인 Z_n 는 $2N+8$ 개의 요소로 구성되며, 8개의 원통형 셀의 상태 벡터에 N 개의 유체의 요소의 압력과 변위가 포함된다. 이식은 고유치(Eigenvalue)와 고유벡터(Eigenvector)를 이용하면 다음과 같이 표현된다.

$$Z_n(x+L)=[M_s(L)]Z_n(x) \quad (3)$$

보강재의 영향을 고려하기 위해 Love 관 이론을 이용하였다. 이를 전달 행렬로 나타내고 접수된 원통셀의 전달 행렬과 결합하면 최종적으로 몰수된 보강 원통형 셀에 대한 전달 행렬을 구할 수 있다.

전파특성은 다음 식과 같이 단위요소의 몰수된 보강 원통셀의 전달행렬의 고유치로 구해질 수 있다.

$$\lambda = e^{\mu} = e^{\alpha + \beta i} \quad (4)$$

여기서, μ 는 전파상수이고 α 는 감쇠상수(attenuation factor)이고 β 는 위상상수(phase constant)이다. 그리고 전달함수의 행렬식(Determinant)이 1일 때 해의 안정성을 가진다.

2.2 해석

몰수된 보강 원통셀의 해석을 위해 $20\text{mm} \times 60\text{mm}$ 의 직사각 보강재를 가진 반경 675mm 와 두께 8mm 의 실린더 셀 모델을 이용하였다. 보강재와 실린더 셀과 보강재는 일반적인 철로 구성되며 밀도, 탄성계수 및 푸아송비는 각각 7850 kg/m^3 , 207GPa 과 0.28 이다. 보강재간의 거리는 400mm 이고 반경방향의 5차 모드에 대해 해석하였다.

그림 2와 3은 몰수된 보강 원통셀의 전파상수의 감쇠상수와 행렬식을 나타낸다. 원통형 셀은 총 $2N+8$ 개의 상태벡터 요소를 가지고 있으며, 보강 원통셀의 구조 응답에 해당하는 8개의 상태 벡터를 가진다. 여기서 고유치 해석시 해는 2개씩 짝을 이루므로 감쇠상수는 총 4개의 커브를 가진다. 감쇠상수가 0이 되면 진동에너지가 잘 전파되는 Pass

bands가 되고 감쇠 상수가 0이 아닐 때에는 모든 파의 운동이 감쇠가 되는 Stop bands가 형성된다.

그림 2를 보면 $3.2\sim 4\text{kHz}$ 부근의 감쇠상수가 0이 되는 Pass band가 형성된다. 여기에 해당하는 주파수의 진동 에너지는 에너지가 분산되어 진동전파가 감쇠된다. 그림 3에서는 4kHz 이상일 때에는 행렬식이 1이상이 되어 해가 불안정해져 전체적인 해석값을 신용할 수가 없어진다.

3. 결 론

본 연구에서는 접수된 보강 원통셀 전달함수의 진동전달특성을 알아보기 위해, 단위요소에 대한 전달행렬의 고유치의 감쇠상수를 이용하였다. 본 연구를 이용하면 특정 주파수의 길이에 응답을 구할 필요없이 진동전달특성을 보다 쉽게 알 수 있다.

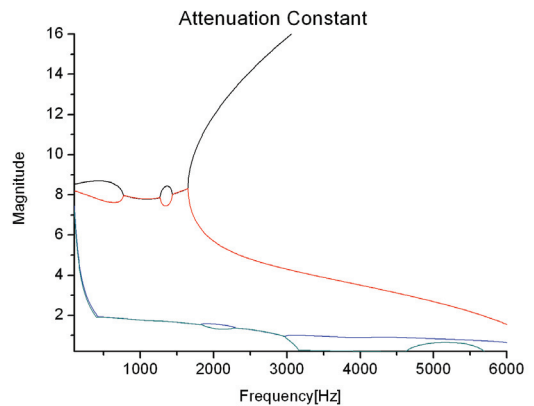


그림 2 보강 원통셀의 감쇠상수

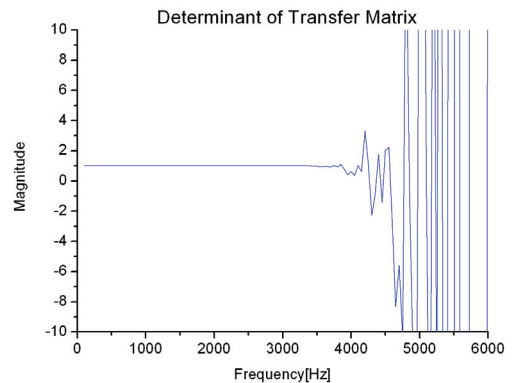


그림 3 보강 원통셀의 전달함수의 determinant