

원통셀 진동의 파동 스펙트럼 해석

Wave-Spectrum Analysis of Vibration of a Cylindrical Shell

김진태*·길현권†·이영현*·정재덕*·홍석윤**·송지훈***
 J.-T. Kim, H.-G. Kil, Y.-H. Lee, J.-D. Jeong, S.-Y. Hong, J.-H. Song

1. 서론

원통셀의 진동은 진동 에너지를 갖고 전파되어 나가는 파동들의 영향에 의하여 발생된다. 원통셀에서 전파하는 탄성파에는 외면 진동을 야기하는 외면파(굽힘파)와 주로 내면 진동을 야기하는 내면파(종파, 전단파)가 있다[1]. 소음 방사는 주로 외면파에 의해 소음 방사가 일어나지만 원통셀의 끝단, 구조 연결 지점 등에서 서로 다른 탄성파들간의 파동변환이 발생하기 때문에, 내면파라 할지라도 소음 방사 측면에서는 무시 할 수 없다[2]. 본 논문에서는 이러한 원통셀의 진동에 대한 파동들의 기여도를 분리하기 위하여 진동 현상을 파동 스펙트럼면에서 분석하였다.

2. 파동스펙트럼 해석

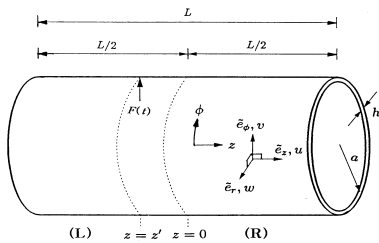


그림 1. 원통셀

반지름 a , 두께 h , 길이 L 인 원통셀의 경우, 축 방향 (z), 원주 방향 (ϕ), 반경 방향 (r)의 좌표를 고려하고, 각 방향 변위 성분들을 u, v, w 로 표시하기로 한다. 그리고 각주파수 ω 의 단순 조화 진동을 고려한다. 주어진 주파수로 진동하는 원통셀의 경우, 서로 다른 위상 속도를 갖고 다양한 방향으로 전파되는 파동들이 발생한다. 진동은

이러한 파동들에 의한 영향의 선형적인 합으로 볼 수 있으므로, 각 파동의 영향을 공간에 대한 2차원 Fourier 변환으로 다음 식과 같이 표현할 수 있다. 예로써 시간에 대한 항을 $e^{-i\omega t}$ 로 고려하는 경우, 축방향 변위 성분 u 에 대한 2차원 Fourier 변환[3]은

$$U_n(k_z, \omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{2\pi} u(\phi, z) e^{ik_z z} e^{in\phi} d\phi dz \quad (1)$$

와 같다. 여기서 $n(=k_\phi a)$, k_z 는 원주 방향 파동 모드와 축 방향 파수 성분을 나타내고, k_ϕ 는 원주 방향 파수 성분을 나타낸다. U_n 은 파수 벡터

$$\vec{k} = k_z \vec{e}_z + (n/a)\vec{e}_\phi \quad (2)$$

의 방향으로 전파되는 파동의 크기를 나타낸다. 또한 해당 파동은 전파 속도 $c=\omega/k$ 를 갖는다.

원통셀의 진동 분포에 대한 데이터를 측정 또는 수치 해석을 통하여 구하는 경우, 식(1)에서 변위 성분 u, v, w 을 각각 고려함으로써, Fourier 변환인 U_n, V_n, W_n 을 구할 수 있다. 이 경우 해당하는 Fourier 변환 값의 크기를 파수 영역에 대하여 3차원 그림으로 나타낼 수 있는데, 이러한 결과를 파동 스펙트럼[3]이라 부른다. 이러한 파동 스펙트럼으로부터 해당 주파수에서 발생하는 파동들의 크기와 종류들을 알아낼 수 있고, 또한 파동들의 분산 관계 (dispersion relation)[4]을 추정할 수가 있다.

3 파동 스펙트럼 결과

원통셀 진동 데이터는 수치 계산에 의하여 예측할 수도 있으며, 또한 실험적으로 측정에 의하여 얻을 수도 있다. 본 논문에서는 문헌[5]에서 제안된 수치 해석 방법으로 예측한 원통셀의 면내 진동 데이터를 이용한다. 수치 모델인 원통셀은 스테인리스강의 재질로 크기는 반지름 $a=7.55\text{ cm}$, 두께 $h=0.15\text{ cm}$, 길이 $L=93.39\text{ cm}$ 이다. 원통셀은 자유단의 경계 조건을 갖고, 진동은 내부 지점에 놓인 점 가진력에 의하여 발생한다고 가정하였다. 그리고 수치 해석 결과로부터 원통셀의 가진 지점 위 부분 영역의 원통셀 표면 32×32 지

† 교신저자; 수원대학교
 E-mail : hgkil@suwon.ac.kr
 Tel : (031) 220-2298, Fax : (031) 220-2494
 * 수원대학교 기계공학과 대학원
 ** 서울대학교 조선해양공학과
 *** 전남대학교 해양기술학부

점에서 발생하는 축방향 변위 u 를 고려하였다.

원통 셀의 링주파수는 $f_r = 11059 \text{ Hz}$ 이며, 일반적으로 링 주파수보다 큰 주파수에서는 고주파수 특성 즉 평판에서 전파하는 파동 특성을 나타내고, 링주파수 보다 작은 주파수에서는 저주파수 특성을 나타내게 된다. 그림 2는 주파수 $18275 \text{ Hz} (= 1.65 f_r)$ 에서 측정된 축 방향 면내 진동에 대하여 파동의 영향을 분리하기 위해서 2차원 FFT 기법을 이용하여 처리한 파수 스펙트럼 U_n 의 결과이다. 여기서 f_r 은 원통셀의 링주파수를 나타낸다. 그림 1(a)에서 확인되는 각 피크는 해당 파수 성분들로 구성되는 식(2)의 파수 벡터 방향으로 전파하는 파동의 크기를 나타낸다. 외곽으로 원을 구성하는 작은 피크들은 굽힘파를 나타내며, 가운데 지점의 큰 피크들은 전단파와 종파를 나타낸다.

그림 3은 주파수 $9238 \text{ Hz} (= 0.84 f_r)$ 에서 측정된 축 방향 면내 진동에 대하여 파동의 영향을 분리하기 위해서 2차원 FFT 기법을 이용하여 처리한 파수 스펙트럼 U_n 의 결과이다. 그림 3에서 확인되는 각 피크는 해당 파수 성분들로 구성되는 식(2)의 파수 벡터 방향으로 전파하는 파동의 크기를 나타낸다. 이 경우 저주파수 특성인 “8” 형태의 피크들이 [3,4] 나타남을 확인 할 수 있다. “8” 형태에서 윗 부분과 아랫 부분을 이루는 피크들은 작은 피크들은 굽힘파를 나타내며, 가운데 지점의 큰 피크들은 전단파와 종파를 나타낸다.

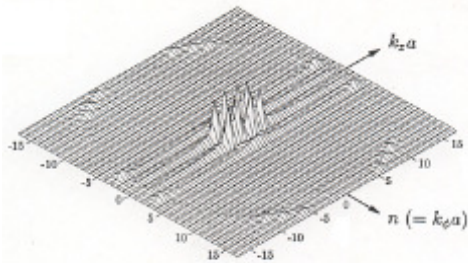


그림 2. 주파수 $18275 \text{ Hz} (= 1.65 f_r)$ 에서의 축 방향 면내 진동에 대한 파동스펙트럼 U_n

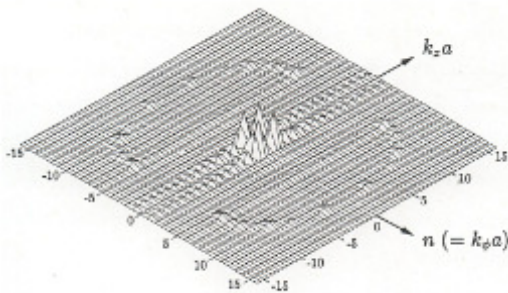


그림 3. 주파수 $9238 \text{ Hz} (= 0.84 f_r)$ 에서 예측된 축 방향 면내 진동에 대한 파동스펙트럼 U_n

4. 결 론

본 논문에서는 원통셀의 진동에 대한 파동들의 기여도를 분리하기 위하여 진동 현상을 파동 스펙트럼면에서 분석하였다. 이러한 파동 스펙트럼으로부터 해당 주파수에서 진동을 발생하는 면외파인 굽힘파, 면내파인 종파와 전단파들의 크기와 종류들을 알아내고, 또한 파동들의 분산 관계를 추정하였다.

참 고 문 헌

- [1] 1. M.C. Junger and D. Feit, *Sound, Structures, and Their Interactions*, Acoustical Society of America, 216-218, 1993.
- [2] M.C Junger, "Sipboard Noise : Sources, Transmission and Control," *Noise Control Eng. J.*, 34(1), pp. 3-8, 1990.
- [3] E.G. Williams, B.H. Houston, J.A.Bucar, "Experimental Investigation of the wave propagation on a point-driven, submerged capped cylinder using k-space analysis," *J. Acoust. Am.* 87(2), 513-522, 1990.
- [4] A.D. Pierce and H.-G. Kil, "Wave Propagation on Thin Walled Elastic Cylindrical Shells," *J. Vib. Acoustics (Trans. ASME)*, 112, 399-406, 1990.
- [5]. 길현권, "탄성파를 이용한 유한 원통셀의 강제진동 해석," *한국음향학회지*, 18권 2호, 83-89, 1999.