

PZT층을 갖는 복합재 보의 파동 특성

Wave Characteristics in the PZT-bonded Composite Beams

김대환* 이우식†
Dae-Hwan Kim Usik Lee

ABSTRACT

In the Structural Health Monitoring field, the piezoelectric elements are bonded the surface of the structures for generating the guided wave. For this reason, the structures become two-layer beam. It is very important to know precisely the dynamic characteristic of structures and also predict precisely the wave propagation in structures. Because wave propagation is very useful to analysis the dynamic characteristic of structures. In this paper, the governing equations of motion are derived from Hamilton's principle by applying the Timoshenko beam theory and Mindlin-Herrmann rod theory at the first. and then the wave propagations in a composite beams with a surface-bonded piezoelectric are examined.

1. 서론

평판과 같이 경계면을 갖는 구조물에서 발생하는 유도초음파(guided wave)는 구조물의 넓은 영역까지 전파되어 가기 때문에 구조물에 발생한 균열과 같은 미세한 손상을 탐지하는데 매우 유리하다. 이러한 유도초음파를 구조물에 발생시키기 위하여 PZT를 구조물의 표면에 부착하게 되는데 이때 구조물은 구조물 자체와 PZT층으로 구성된 2층의 복합보(two-layer beam)의 형태가 된다. 따라서 이러한 PZT층을 갖는 복합재 보에 대한 정확한 동적 해석이 필요하며 파동 전파는 이러한 동적 해석에 유용하기 때문에 정확하게 예측하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 PZT층이 부착된 복합재 보에 대하여 기본 Lamb 파의 모드인 대칭모드와 역대칭모드를 잘 나타낼 수 있는 Timoshenko 보 이론과 Mindlin-Herrmann 이론을 이용하여 운동방정식을 유도하였다. 그리고 이로부터 복합재의 적층 각도에 따른 파수와 모드를 구별하고 비교하였다.

2. 본론

PZT층을 갖는 복합재 보의 변형에너지, 운동에너지 및 분산외력과 힘, 모멘트에 의한 가상일을 구하여 Hamilton 정리에 대입하면 아래와 같은 운동방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 EA_u u''_{b0} - K_1 \theta''_b - K_2 \theta''_p + K_3 \psi' - m_{11} \ddot{u}_{b0} + m_{13} \ddot{\theta}_b + m_{15} \ddot{\theta}_p + f_u(x, t) &= 0 \\
 \kappa GA_w w''_{b0} + K_8 \psi''_b - K_5 \theta'_b - K_9 \theta'_p - m_{22} \ddot{w}_{b0} - m_{24} \ddot{\psi}_b + f_w(x, t) &= 0 \\
 EI_{\theta_b} \theta''_b - K_1 u''_{b0} + K_4 \theta''_p + K_5 w''_{b0} + (K_6 - K_7) \psi'_b - \kappa GA_b \theta_b - m_{33} \ddot{\theta}_b + m_{13} \ddot{u}_{b0} - m_{35} \ddot{\theta}_p + f_{\theta}(x, t) &= 0 \\
 \kappa GI \psi''_b + K_8 w''_{b0} - K_3 u'_{b0} - (K_6 - K_7) \theta'_b - K_{10} \theta'_p - EA_{\psi} \psi_b - m_{44} \ddot{\psi}_b - m_{24} \ddot{w}_{b0} + f_{\psi}(x, t) &= 0 \\
 EI_{\theta_p} \theta''_p - K_2 u''_{b0} + K_4 \theta''_b + K_9 w''_{b0} + K_{10} \psi' - \kappa GA_p \theta_p - m_{55} \ddot{\theta}_p + m_{15} \ddot{u}_{b0} - m_{35} \ddot{\theta}_b &= 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

† 교신저자, 인하대학교 기계공학과 교수
E-mail : ulee@inha.ac.kr
* 인하대학교, 기계공학과

식(1)의 해를 스펙트럴 형태로 가정하고 외력을 제거하여 대입하면 다음과 같은 파동방정식을 얻는다.

$$k^{10} + c_1k^8 + c_2k^6 + c_3k^4 + c_4k^2 + c_5 = 0 \quad (2)$$

3. 수치예제 및 결론



그림1. $[\theta^\circ / \theta^\circ / \theta^\circ / \theta^\circ]$ 로 적층된 복합재보

PZT층을 갖는 대칭, 역대칭 적층 복합재보에 대한 그림이 그림1.에 도시되어 있다. PZT의 경우 PZT-5A의 물성치를 사용하였다.

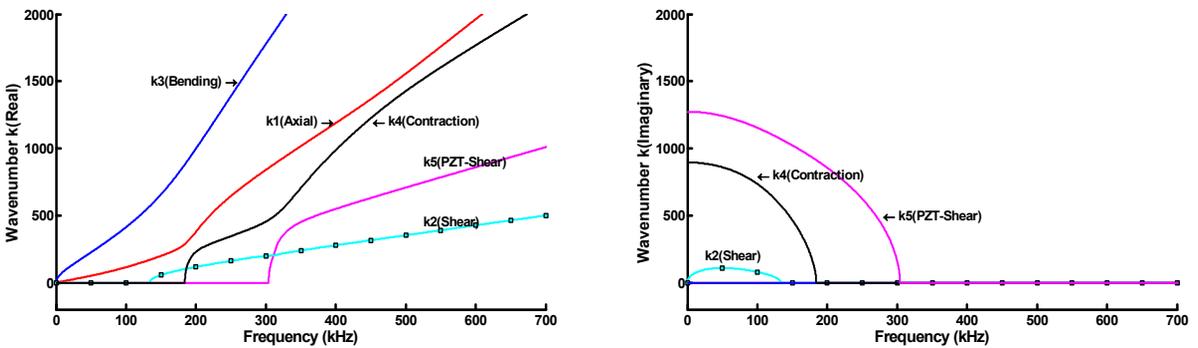


그림2. $[0^\circ / 90^\circ / 0^\circ / 90^\circ]$ 로 적층된 역대칭 복합재보의 파수

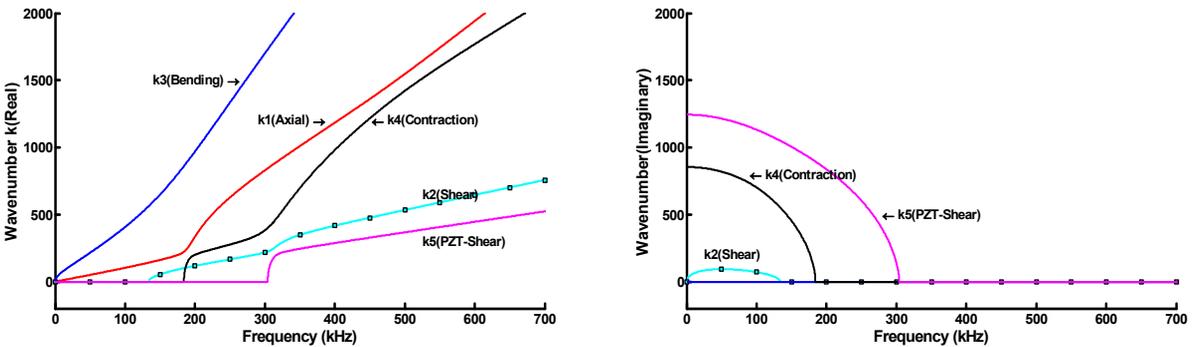


그림3. $[0^\circ / 90^\circ / 90^\circ / 0^\circ]$ 로 적층된 대칭 복합재보의 파수

식(2)로부터 총 10개의 파수를 구할 수 있고 독립적인 5개의 모드를 이용하여 도시하였다. Shear, Contraction 모드는 일정 Cut-off 주파수 이상에서 소멸파에서 진행파로 전환됨을 알 수 있고, 특히 Shear 모드는 적층보의 적층형태에 따라 변화함을 알 수 있다.

후기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (과제번호 2010-0007741).

참고문헌

1. U. Lee, J. Kim, "Dynamics of elastic-piezoelectric two-layer beams using spectral element method," International Journal of Solids and Structures., Vol.37, pp.4403-4417, 2000.
2. U. Lee, "SPECTRAL ELEMENT METHOD IN STRUCTURAL DYNAMICS," John Wiley & Sons., 2009
3. Jaffe, H. and Berlincourt, D. A., "Piezoelectric Transducer Materials," Proceedings of IEEE, Vol. 53, No.10, pp. 1372-1386, 1965.