

전자기장과 열하중을 받는 복합재료 박판보의 동적특성 연구

Study on dynamic characteristics of Thin-walled Composite Beam Subjected to Electromagnetic and Thermal Fields

송오섭† · 강성환* · 박상윤** · 서정석** · 좌 비**

Ohseop Song, Sunghwan Kang, Sangyun Park, Jeongsuk Seo and Fei Zuo

의 경향을 고찰하고자 한다.

1. 서 론

복합재료는 높은 비강도 및 비강성, 내부식성, 우수한 피로수명, 낮은 열팽창률 등의 특성으로 인하여 산업분야에 널리 사용되고 있다. 그중에서 구조적 효율성이 높은 박판보(Thin-walled Beam)의 사용 예를 많이 찾아 볼 수 있다. 핵융합로와 같은 경우 고온의 플라즈마와 이 플라즈마를 안정적으로 유지하기 위한 방법으로 초전도 자석으로 주위에 자기장을 형성한다. 이러한 구조물의 경우 탄성(Elasticity) 외에 탄성-열-자기-전기 등의 물리적 연성이 내재하는 형태인 다기능성구조물(Multifunctional Structures)이 되는데 최근 이러한 물리적 연성효과에 대한 연구에 관심이 많아지고 있다.

본 연구에서는 복합재료 박판보의 자유진동특성과 전자기장 및 열하중을 받는 상태의 박판보의 고유진동수 변화와 특성을 확인 하고, 특히 전자기장의 세기에 따른 고유진동수 변화를 파악하는데 목적이 있다.

단면 형상과 크기에 따른 지배방정식을 유도하기 위해 전단변형 회전관성 복합재료의 이방성 등의 비고전적 요소를 고려하였고, 이에 대한 해석을 통하여 진동특성의 경향을 고찰하고자 한다.

본 연구에서 고려된 적층 박판보는 Fig. 1의 두 번째 그림과 같이 위 아래가 교차하는 형태의 섬유각을 갖는 단순 사각단면 보와 세 번째 그림과 같이 가운데가 비어있는 형태의 사각단면 보의 동적특성

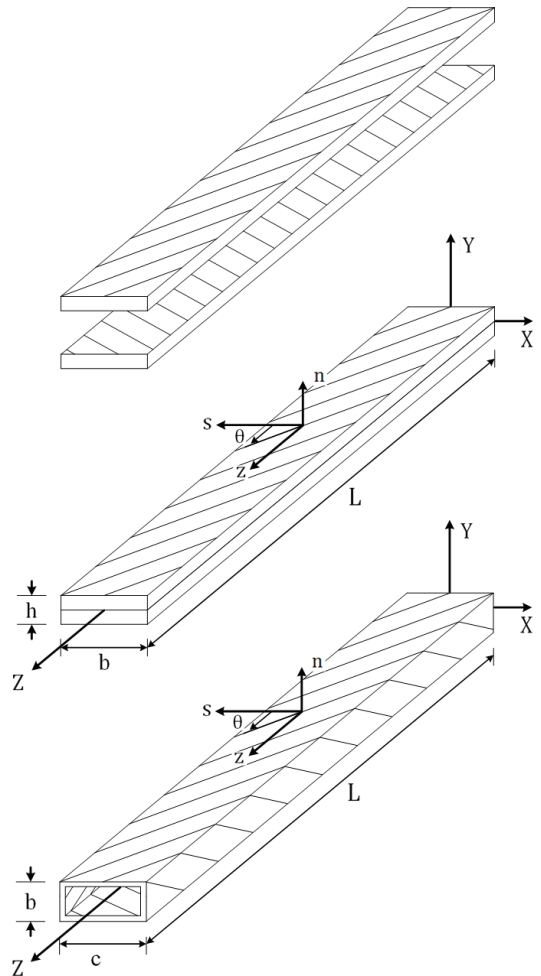


Fig. 1 Configuration and Geometry of composite thin-walled beam of square cross-section

† 교신저자; 정회원, 충남대학교

E-mail : songos@cnu.ac.kr

Tel : (042)821-5650 , Fax : (042)822-5642

* 충남대학교 기계공학과 대학원

** 충남대학교 기계공학과 대학원

2. 지배방정식

2.1 변위장

박판보 내부의 한점의 변위장은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} u(x,y,z;t) &= u_0(z;t) - y\phi(z;t), \\ v(x,y,z;t) &= v_0(z;t) + x\phi(z;t), \\ w(x,y,z;t) &= w_0(z;t) + \theta_x(z;t)[y(s) - n\frac{dx}{ds}] \\ &+ \theta_y(z;t)[x(s) + n\frac{dy}{ds}] - \phi'(z;t)[F_w(s) + na(s)] \end{aligned} \quad (1)$$

2.1 운동방정식과 경계조건

(1)해밀턴 변분원리

$$\begin{aligned} \delta J &= \int_{t_0}^{t_1} \left[\int_{\tau} \sigma_{ij} \delta \epsilon_{ij} d\tau - \delta K - \int_{\Omega} s_i \delta v_i d\Omega \right. \\ &\quad \left. - \int_{\tau} \rho H_i \delta v_i d\tau \right] dt = 0 \\ \text{where } K &= \frac{1}{2} \int_{\tau} \rho (\dot{\mathbf{R}} \cdot \dot{\mathbf{R}}) d\tau \end{aligned} \quad (2)$$

(2)운동방정식과 경계조건

$$\begin{aligned} \delta u_0 : [a_{43}(z)\theta_x' + a_{44}(z)(u_0' + \theta_y)]' \\ - b_1(z)\ddot{u}_0 + \int f_1 dz = 0 \\ \delta v_0 : [a_{52}(z)\theta_y' + a_{55}(z)(v_0' + \theta_x)]' \\ - b_1(z)\ddot{v}_0 + \int f_2 dz = 0 \end{aligned} \quad (3a)$$

$$\begin{aligned} \delta \theta_y : [a_{22}(z)\theta_y' + a_{25}(z)(v_0' + \theta_x)]' - a_{43}(z)\theta_x' \\ - a_{44}(z)(u_0' + \theta_y) - (b_5(z) + b_{15}(z))\theta_y = 0 \\ \delta \theta_x : [a_{33}(z)\theta_x' + a_{34}(z)(u_0' + \theta_y)]' - a_{52}(z)\theta_y' \\ - a_{55}(z)(v_0' + \theta_x) - (b_4(z) + b_{14}(z))\theta_x = 0 \end{aligned} \quad (3b)$$

위의 식은 강성 a_{ij} 와 질량 b_i 가 z 의 함수로 나타나는 Thin-walled Beam의 운동방정식이고 전자기장에 의한 요소인 f_i 가 적용된다. Calmped-Free조건에 맞는 경계조건은 다음과 같고, 원점을 고정으로 하고 L지점을 자유로 본다.

고정조건

$$u_0 = v_0 = \theta_x = \theta_y = 0 \quad (4a)$$

경계조건

$$\begin{aligned} a_{43}\theta_x' + a_{44}(u_0' + \theta_y) &= 0 \\ a_{52}\theta_y' + a_{55}(v_0' + \theta_x) &= 0 \\ a_{22}\theta_y' + a_{25}(v_0' + \theta_x) &= 0 \\ a_{33}\theta_x' + a_{34}(u_0' + \theta_y) &= 0 \end{aligned} \quad (4b)$$

(3)자기장에 의한 로렌츠 힘 f_i

자기장은 사각단면 박판보의 축방향인 z 방향으로만 B_{03}^0 가 존재하고, 전기장은 축방향과 수직인 x 방향으로 E_{02}^0 가 있다고 가정하도록 하겠다. 로렌츠 힘을 이용해 정리하면 $f_3 = 0$ 이 되고 나머지 f_1 과 f_2 는 다음과 같이 나타난다.

$$\begin{aligned} f_1 &= g_{12}^{(i)}(\dot{v}_0 B_{03}^{0^2} + x\dot{\phi} B_{03}^{0^2}) \\ &+ g_{22}^{(i)}(E_{02}^0 B_{03}^0 - \dot{u}_0 B_{03}^{0^2} + y\dot{\phi} B_{03}^{0^2}) \\ f_2 &= -g_{11}^{(i)}(\dot{v}_0 B_{03}^{0^2} + x\dot{\phi} B_{03}^{0^2}) \\ &+ g_{12}^{(i)}(E_{02}^0 B_{03}^0 - \dot{u}_0 B_{03}^{0^2} + y\dot{\phi} B_{03}^{0^2}) \end{aligned} \quad (5)$$

3. 수치해석

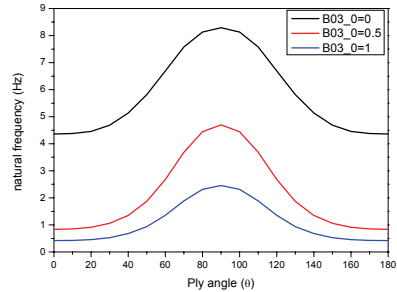


Fig.2 Natural frequency due to magnetic field and ply-angle (B.C. :C-F)

4. 결론

전자기장의 효과는 변위의 속도의 함수로 나타내짐에 따라 감쇠영향을 미치고 ply-angle은 축방향과 fiber방향이 일치하는 90도의 경우 강성이 높아져 고유진동수가 높아짐을 확인 할 수 있었다.

후 기

본 연구는 2013 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임