

자기장 및 열하중을 받는 복합재료 박판보의 진동 및 안정성 해석

Analysis of Vibration and Stability of Thin-Walled Composite Beams Subjected to Electromagnetic and Thermal Fields

송오섭† · 강성환* · 박상윤** · 서정석** · 좌 비**

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

1. 서 론

항공우주분야에서는 구조물의 질량이 그 성능에 미치는 영향과 부가 질량에 따른 불안정 특성 때문에, 경량구조의 개발과 부가 질량에 따른 시스템의 안정화 방법에 대한 요구가 있어왔다. 이러한 요구를 기반으로 기존의 재료보다 가볍고 기계적 성질이 우수한 섬유강화 복합재료의 사용이 증가 하고 있으며 또한, 구조적 효율성이 높은 박판보(Thin-walled Beam)의 사용 예를 많이 찾아 볼 수 있다. 최근에는 탄성(Elasticity)외에 탄성-열-자기-전기 등의 물리적 연성이 내재하는 다기능성구조물(Multifunctional Structures)에 대한 연구에 관심이 많아지고 있다.

본 연구에서는 종방향 및 횡방향 연성운동을 나타내도록 적층한 CUS(Circumferentially Uniform Stiffness System) 형태의 적층 복합재료 박판보의 자유진동특성과 자기장 및 열하중을 받는 상태의 박판보의 고유진동수 변화와 특성을 확인 하고, 특히 자기장의 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. 1 과 같이 종방향 굽힘운동과 횡방향 굽힘운동이 서로 연성되어 나타나고, 이와는 별도로 보의 축방향 운동과

비틀림 운동이 서로 연성되어 나타나는 위아래 층이 서로 반대의 섬유각을 가지고 있는 CUS구조물 이다.

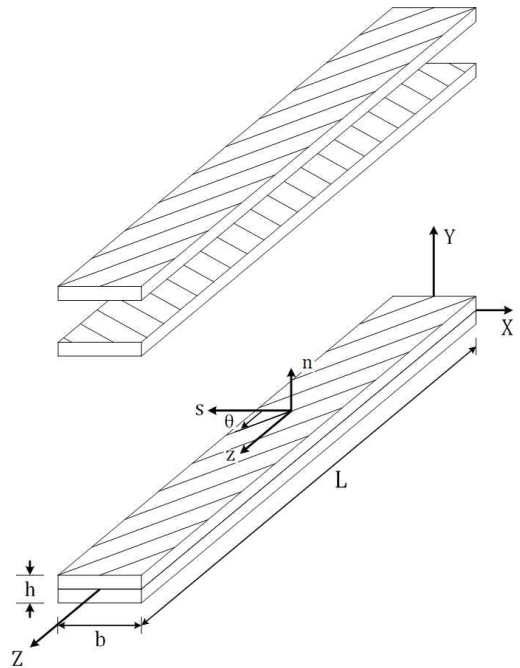


Fig. 1 Configuration and Geometry of composite thin-walled beam of square cross-section

2. 지배방정식

2.1 변위장

박판보 내부의 한점의 변위장은 다음과 같다.

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

† 교신저자; 정회원, 충남대학교

E-mail : songos@cnu.ac.kr

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

* 충남대학교 기계공학과 대학원

** 충남대학교 기계공학과 대학원

2.1 운동방정식과 경계조건

(1) 해밀턴 변분원리

$$\delta J = \int_{t_0}^{t_1} \left[\int_{\tau} \sigma_{ij} \delta \epsilon_{ij} d\tau - \delta K - \int_{\Omega_s} s_i \delta v_i d\Omega - \int_{\tau} \rho H_i \delta v_i d\tau \right] dt = 0$$

where $K = \frac{1}{2} \int_{\tau} \rho (\dot{R} \cdot \dot{R}) d\tau$ (2)

(2) 운동방정식과 경계조건

$$\begin{aligned} \delta u_0 : [a_{43}(z) \theta_x' + a_{44}(z) (u_0' + \theta_y)]' \\ - b_1(z) \ddot{u}_0 - h_4' + \int_z f_1 dz = 0 \\ \delta v_0 : [a_{52}(z) \theta_y' + a_{55}(z) (v_0' + \theta_x)]' \\ - b_1(z) \ddot{v}_0 - h_5' + \int_z f_2 dz = 0 \end{aligned} \quad (3a)$$

$$\begin{aligned} \delta \theta_y : [a_{22}(z) \theta_y' + a_{25}(z) (v_0' + \theta_x)]' - a_{43}(z) \theta_x' \\ - a_{44}(z) (u_0' + \theta_y) - (b_5(z) + b_{15}(z)) \ddot{\theta}_y \\ - h_3' + h_5 + \int_z f_1 z dz = 0 \\ \delta \theta_x : [a_{33}(z) \theta_x' + a_{34}(z) (u_0' + \theta_y)]' - a_{52}(z) \theta_y' \\ - a_{55}(z) (v_0' + \theta_x) - (b_4(z) + b_{14}(z)) \ddot{\theta}_x \\ - h_2' + h_4 + \int_z f_2 z dz = 0 \end{aligned} \quad (3b)$$

위의 식은 강성 a_{ij} 와 질량 b_i 가 z 의 함수로 나타나는 Thin-walled Beam의 운동방정식이고 열하중에 따른 요소인 h_i 와 자기장에 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

$$\begin{aligned} a_{43} \theta_x' + a_{44} (u_0' + \theta_y) - h_4|_0^L = 0 \\ a_{52} \theta_y' + a_{55} (v_0' + \theta_x) - h_5|_0^L = 0 \\ a_{22} \theta_y' + a_{25} (v_0' + \theta_x) - h_2|_0^L = 0 \\ a_{33} \theta_x' + a_{34} (u_0' + \theta_y) - h_3|_0^L = 0 \end{aligned} \quad (4b)$$

(3) 자기장에 의한 로렌츠 힘 f_i

자기장은 사각단면 박판보의 축방향인 z 방향으로만 흐른다고 가정한다면 B_{03}^0 만 존재하게 된다. 그것을 이용해 정리하면 $f_3 = 0$ 이 되고 나머지 f_1 과 f_2 는 다음과 같이 나타난다.

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

3. 수치해석

본 수치해석에서 사용된 Graphite/Epoxy의 물성치와 박판보의 치수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E_1 &= 30 \times 10^6 \text{ psi} \quad (20.68 \times 10^{10} \text{ N/m}^2) \\ E_2 &= E_3 = 0.75 \times 10^6 \text{ psi} \quad (5.17 \times 10^9 \text{ N/m}^2) \\ G_{12} &= 0.45 \times 10^6 \text{ psi} \quad (3.10 \times 10^9 \text{ N/m}^2) \\ G_{23} &= G_{13} = 0.37 \times 10^6 \text{ psi} \quad (2.55 \times 10^9 \text{ N/m}^2) \\ \nu_{21} &= \nu_{31} = 0.00625, \quad \nu_{32} = 0.25 \\ \rho &= 0.000143 \text{ lbs}^2/\text{in}^4 \quad (1528.15 \text{ kg/m}^3) \\ b &= 0.1 \text{ m}, \quad L = 1 \text{ m}, \quad h = 0.01 \text{ m} \end{aligned}$$

4. 결론

본 연구에서는 CUS구조인 사각단면 박판보의 자기장 및 열하중에 따른 진동특성 및 안정성에 대한 운동방정식과 경계조건을 고찰하였으며, 열하중과 자기장은 운동방정식에서 힘의 요소로 작용하여 나타난다는 것을 확인 하였다.

차후 경계조건에 따른 해의 가정을 통하여 이산화된 운동방정식을 유도하여 M, C, K matrix를 확인하고 고유치 문제를 이용한 수치해석을 진행해갈 예정이다. 수치해석시 이용할 물성치와 치수는 앞에서 나타낸 바와 같고 자기장의 세기에 따른 진동특성과 안정성문제를 확인하고 사각단면 박판보의 크기의 변화에 따른 안정성과 진동특성의 변화 또한 연구해 나갈 예정이다.

후 기

본 연구는 2012 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임