韓國精密工學會 2002年度 秋季學術大會論文集 pp.892~895 KSPE 02F216

복합적층판의 진동인텐시티에 관한 연구

서진*, 김동영, 홍도관(동아대 대학원 기계공학과), 최석창(창원전문대학 기계설계과),
안찬우, 한근조(동아대 기계산업시스템공학부)

A Study on Vibration Intensity of Laminated Composite Plate

J. Seo, D. Y. Kim, D. K. Hong(Mech. Eng. Dept., Dong-A Univ.), S. C. Choi(Mechanical Design Div., Changwon Collage), C. W. Ahn, G. J. Han(Mech. & Ind. Syst. Eng. Div., Dong-A Univ.)

ABSTRACT

In this study, to grasp the effect of vibration intensity for the laminated composite plate, the two-dimension plate was shaken by a harmonic point excitation with the natural frequency using the finite element method. As the result, it shows that the vibration intensity according to the change of angle-ply is various and it flows to the direction of length rather than width in the plate. Also this paper represents those results to the vector flow.

Key Words : Vibration Intensity(진동인텐시티), APDL(Ansys Parametric Design Language), Finite Element Method(유한요소법), Angle-ply(적층각), CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic : 탄소섬유강화 플라스틱)

1. 서론

건축물, 항공기, 선박, 특히 군용장비에 있어서 선체 외부로의 소음 전파나 진동의 전달이 중요한 사항으로 인식되고 있으며, 이러한 문제들을 해결하기 위해서 구조물의 동적 거동을 해석할 필요가 있다. 발생원의 위치와 전파경로를 규명하게 되면 방진대책의 수립이 매우 용이하게 될 뿐만아니라 발생원의 위치도 규명할 수 있게 된다. 기계구조물의 진동과 그로 인해 발생하는 구조물 전달음에 의한 소음을 저감시키기 위한 능동적인 대책으로 진동원의 규명과 진동의 전달 경로를 찾아 주위로 전달되는 진동 에너지를 흡수하여 제어하는 방법이 있다.

Ritz법을 이용한 Young과 Leissa는 사각판 진동의 해석적 결과를 도출하였으며[1]-[2], Pavi [3]은 보 및 평판의 굽힘 진동 파워 흐름에 대하여 근접장을 포함한 일반적인 진동장에 적용할 수 있는 진동 인텐시티 측정법을 이론화하였다. 구조물의 에너지 흐름을 실험적으로 규명하는 진동 인텐시티에 관한 측정은 1970년 Noiseux[4]에 의해 처음 소개되었으며, Nefske[5]는 동적 시스템의 파워흐름 유한요소 해석에 관한 연구를 하였다.

본 연구에서는 CFRP 복합적층판을 조화점가진 하였을 때 각 요소에 작용하는 힘과 속도를 이용하여 진동인텐시티를 계산하였으며, 이러한 결과를 벡터흐름도로 나타냄으로써 진동인텐시티를 가시화 하였다. 또한, 고유진동수로 조화점가진 하였을 때 CFRP 복합적층판의 적층각 변화에 따른 진동인텐시티의 특성을 파악하고자 하였다.

2. 유한요소해석

2.1 모델링

본 연구에서 사용된 모델은 종횡비(a/b)가 2인 외팔평판 구조물로 재료는 T300 탄소섬유 프리프레그(T300 carbon fiber prepreg)를 사용하였으며, 구조물의 재료감쇠를 1%로 하였고, 모델의 물성치와 치수는 Table 1~2에 나타내었다.

Table 1 Mechanical properties of plate

Mechanical property	Description
	T300 carbon fiber prepreg
ρ [kg/mm^3]	1.480e-9
E_1 [MPa]	106,200
E_2 [MPa]	6,860
G_{12} [MPa]	3,570
ν_{12}	0.33

Table 2 Dimensions of structure

Item list	Description(mm)
Length of structure	500
Width of structure	250
Thickness of structure	1

2.2 유한요소해석

해석에 사용된 요소의 수는 200개이고 절점의 수는 661개를 사용하였으며, 각각의 자유도는 6자유도(Ux, Uy, Uz, Rotx, Roty, Rotz)를 가진다. 모델의 경계조건은 한쪽 변을 완전고정 하였고, 조화하중조건으로는 자유단의 한 점을 모델의 고유진동수로 조화점가진 하였다. Fig. 1은 모델의 경계조건과 조화하중조건을 나타내었고 Fig. 2는 복합적층판의 적층구조를 나타낸다.

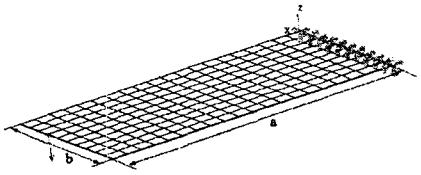

Fig. 1 Boundary and load condition of plate

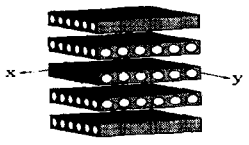

Fig. 2 Laminated composite construction

3. 진동인텐시티이론

3.1 진동인텐시티

진동인텐시티란 가해지는 힘과 그 방향으로 속도의 동 위상 성분을 곱한 시간 평균값으로 정의된다.[6] 즉, 어떤 복소수에 다른 공액복소수를 곱하여 실수부를 택하면 동 위상의 성분을 얻게 되므로, 주파수 응답해석을 통해 얻은 어떤 방향의 힘과 같은 방향의 속도에 의한 파워 흐름은 식(1)과 같다.

$$\text{Power} = \mathrm{R}_{eal}[\, F v^{*}] \tag{1}$$

2차원 셸요소의 각 방향의 파워흐름을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_x &= \mathrm{R}_{eal}\left[-\left(Q_{xz}v_z^{*} - M_{xx}\theta_y^{*} + M_{xy}\theta_y^{*} + N_{xx}v_x^{*} + N_{xy}v_y^{*}\right)\right] \\ P_y &= \mathrm{R}_{eal}\left[-\left(Q_{yy}v_z^{*} + M_{yy}\theta_x^{*} - M_{yx}\theta_y^{*} + N_{yy}v_y^{*} + N_{yx}v_x^{*}\right)\right] \end{aligned} \tag{2}$$

여기서,

Q_{xz}, Q_{yz} : transverse shear forces

M_{xx}, M_{yy} : bending moments

M_{xy}, M_{yx} : twisting moment about x and y

N_{xx}, N_{yy} : membrane forces

N_{xy}, N_{yx} : membrane shear forces

v_i : local translational velocities in direction i

θ_i : local rotational velocities about axis i

Fig. 3에는 Plate의 요소력을 나타내었다.

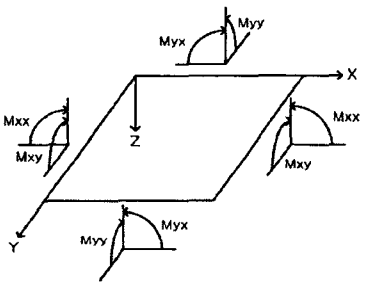

Fig. 3(a) Moments of plate element

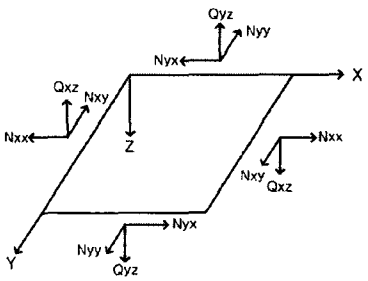

Fig. 3(b) Membrane and shear forces of plate element

3.2 APDL를 이용한 진동인텐시티 계산

본 논문에서는 Ansys의 APDL(Ansys Parametric Design Language)를 이용하여 데이터베이스에 포함된 해석결과인 절점속도와 요소력을 참조하여 파워흐름을 계산하는 자동화 프로그램을 개발하였다. 요소력은 해당 요소의 중앙점 값이고 속도는 그 요소의 연관 절점에서의 값이다. 따라서 좌표변환과 관련된 문제를 해결하기 위하여 파워흐름은 요소에 분포되는 평균값을 계산한다. 각 연관절점의 속도를 요소의 속도로 간주하여 요소의 중앙점에 대한 결과로 전환하면서 요소좌표계로 변환한 후 식(3)에서와 같이 각각의 연관절점에 해당되는 속도와 요소력에 의한 파워를 식(2)를 식(3)에 적용하여 구하고 이들 합의 평균값을 요소의 중앙점에서의 요소좌표계에 대한 파워흐름으로 하였다.

$$P_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N} P^{(j)}{}_i \qquad (3)$$

여기서 p_i는 요소의 전체 파워흐름을 나타내고, N은 연결된 절점의 수이며, 하첨자 i는 요소좌표계에서 각 방향을 나타내고, (j)는 연결절점, $p^{(j)}{}_i$는 i방향의 j절점 속도성분에 의한 파워흐름을 나타낸다.

4. 결과 및 고찰

4.1 고유치해석 및 강제진동해석

고유치해석을 통해서 2차원 이방성 CFRP 복합적층판 구조물에 대한 고유진동수와 진동모드 구하였다. 그리고, 모델의 고유진동수로 강제진동해석을 통해서 절점의 속도와 요소력을 구하였다. Table 3은 고유치 해석에 의한 CFRP 복합적층판의 적층각에 따른 모델의 고유진동수와 모드형태를 나타내었으며, Fig. 4 ~ 7은 1, 2차 굽힘과 비틀림모드의 형상을 각각 나타내었다.

Table 3 Natural frequency of plate according to angle-ply

Angle-ply	Natrual frequency(Hz)			
	1st bending	2nd twisting	3rd bending	4th twisting
$[0^\circ]_{20S}$	5.48	9.61	34.24	39.00
$[0^\circ/90^\circ]_{10T}$	4.26	8.83	26.68	34.54
$[45^\circ]_{20S}$	1.96	10.52	13.19	29.16
$[45^\circ/-45^\circ]_{10T}$	2.57	15.36	18.37	45.18

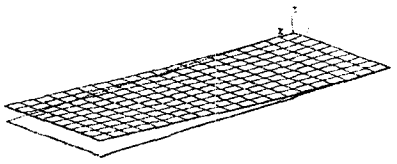

Fig. 4 1st bending mode shape of plate

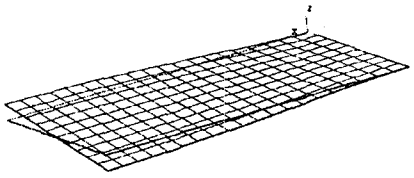

Fig. 5 1st twisting mode shape of plate

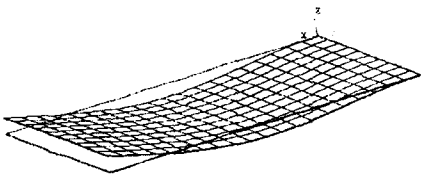

Fig. 6 2nd bending mode shape of plate

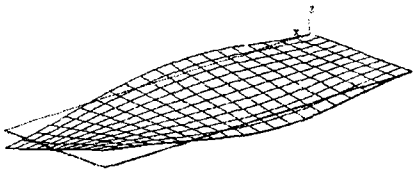

Fig. 7 2nd twisting mode shape of plate

4.2 진동인텐시티

Fig. 8 ~ 11은 1차 고유진동수로 조화점가진 하였을 때 CFRP 복합적층판의 적층각 변화에 따른 진동인텐시티를 벡터흐름도로 나타내었다.

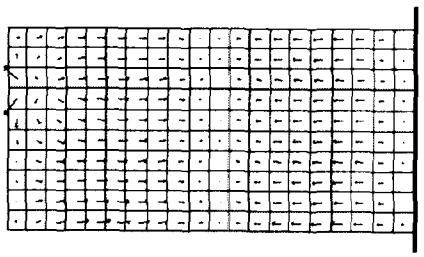

Fig. 8 Vector flow of vibration intensity in 1st bending mode shape$[0^\circ]_{20S}$

CFRP 복합적층판의 적층각이 $[0°]_{20S}$인 경우, 등방성 2차원 평판의 진동인텐시티의 형태와 유사한 벡터의 흐름을 가지는 것을 알 수 있으며, 적층각이 $[45°/-45°]_{10T}$, $[45°]_{20S}$, $[0°/90°]_{10T}$인 경우는 진동인텐시티의 흐름이 적층각이 $[0°]_{20S}$인 경우와 달리 다양하게 형성되는 것을 알 수 있었으며, 특히 적층각이 $[45°/-45°]_{10T}$인 경우는 인텐시티의 흐름이 평판 중앙부의 상하부분에 집중되는 것을 볼 수 있다.

CFRP 복합적층판의 적층각이 변화함에 따라 진동인텐시티의 흐름이 다양하게 나타났지만, 전체적으로 벡터흐름은 평판의 너비방향보다는 길이방향으로 형성되며, 1차 굽힘모드에서 굴곡이 발생하는 부분인 평판의 중앙부에서 벡터흐름이 집중되는 것을 볼 수 있고, 가진점에 해당되는 요소에서 높은 에너지가 분포되어 있음을 알 수 있다.

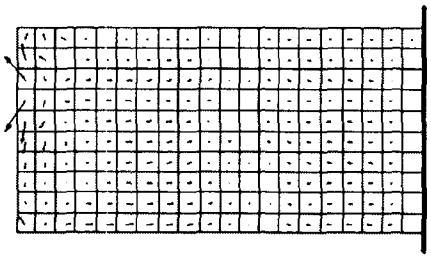

Fig. 9 Vector flow of vibration intensity in 1st bending mode shape$[0°/90°]_{10T}$

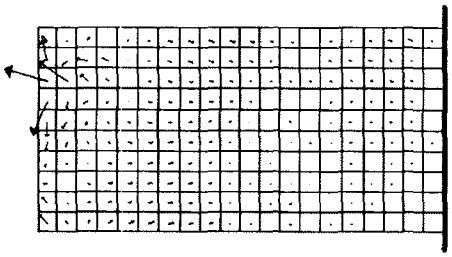

Fig. 10 Vector flow of vibration intensity in 1st bending mode shape$[45°]_{20S}$

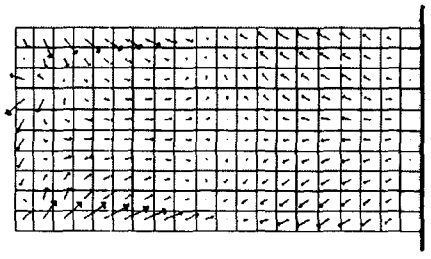

Fig. 11 Vector flow of vibration intensity in 1st bending mode shape$[45°/-45°]_{10T}$

5. 결론

본 연구에서는 CFRP 복합적층판의 적층각을 변화에 따른 진동인텐시티에 대한 해석을 수행하였으며 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 유한요소법을 이용하여 2차원 이방성 CFRP 복합적층판 구조물의 고유진동수로 조화점가진을 하였을 때 진동파워흐름의 특성을 파악할 수 있었다.
2. CFRP 복합적층판의 진동인텐시티를 해석한 결과 적층각의 변화에 따라 진동인텐시티의 흐름이 다양하게 나타나는 것을 알 수 있었다.
3. CFRP 복합적층판의 적층각이 $[0°]_{20S}$인 경우, 등방성 2차원 평판의 진동인텐시티의 형태와 유사한 벡터의 흐름을 가지는 것을 알 수 있었다.
4. CFRP 복합적층판에서의 진동파워의 흐름은 평판의 너비 방향보다는 길이방향으로 벡터흐름이 형성되었다.

참고문헌

1. Leissa, A. W., "The Free Vibration of Rectangular Plates," Journal of Sound and Vibration, Vol. 31, pp. 257-293, 1973
2. Young, D., "Vibration of Rectangular Plates by the Ritz Method," Transactions of the ASME, Journal of Applied Mechanics, Vol. 17, pp. 48-453, 1950
3. Pavi , G., "Measurement of Structure Borne Wave Intensity, Part I : Formulation of the Method," Journal of Sound and Vibration, Vol. 49, No. 2, pp. 221-230, 1976.
4. Noiseux, D. U., "Measurement of Power Flow in Uniform Beams and Plates," Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 47, No. 1, pp. 238-247, 1970.
5. D. J. Nefske and S. H. Sung., "Power Flow Finite Element Analysis of Dynamic Systems : Basic Theory and Application to Beams," ASME, Vol. 111, pp. 94-100, 1989.
6. S. A. Hambric., "Power Flow and Mechanical Intensity Calculations in Structural Finite Element Analysis," ASME, Vol. 112, pp. 542-549, 1990.