

## 트러스코어형 샌드위치 판구조물의 진동파워흐름에 관한 연구

구경민\*, 김동영, 홍도관(동아대 대학원 기계공학과), 박일수(동명대학 건축설비과),  
안찬우, 한근조(동아대 기계산업시스템공학부)

### A Study on Vibration Power Flow of Truss Core Type Sandwich Plate Structure

K. M. Gu, D. Y. Kim, D. K. Hong(Mech. Eng. Dept., Dong-A Univ.), I. S. Park(Building Service Eng. Div.,  
Tongmyong Collage), C. W. Ahn, G. J. Han(Mech. & Ind. Syst. Eng. Div., Dong-A Univ.)

#### ABSTRACT

In this study, we tried to grasp the characteristic of vibration power flow for the truss core type sandwich plate structure. As the result of the finite element analysis, this paper shows that the vibration power flow characteristic of truss core type sandwich plate structure is understood and the vibration power flow of upper plate according to the mode shape of structure is various. Also it presents the vibration power flow is affected by reinforced structure.

**Key Words** : Vibration Power Flow(진동 파워흐름), Finite Element Method(유한요소법), Truss Core Type Sandwich Plate(트러스코어형 샌드위치 판), APDL(Ansys Parametric Design Language)

#### 1. 서론

진동의 전달과 소음의 전파는 건축물, 항공기, 선박과 같은 기계 구조물, 특히 군용장비에 있어서 중요한 문제로 인식되고 있으며 이러한 문제를 해결하기 위해서 구조물의 동적거동을 해석할 필요가 있다. 진동발생원의 위치와 전파경로를 규명하게 되면 방진대책 뿐만 아니라 진동의 전달에 의해 발생하는 소음을 저감시키기 위한 능동적인 대책을 수립하기 용이하다.

이러한 진동의 전달문제에 대한 연구로 Noiseux는 보와 판구조물의 에너지 흐름의 측정에 관해 처음으로 소개하였고<sup>(1)</sup>, Pavi 은 보 및 평판의 굽힘 진동 파워 흐름에 대하여 근접장을 포함한 일반적인 진동장에 적용할 수 있는 진동 인텐시티 측정법을 이론화하였다.<sup>(2)</sup> 또한, Nefske는 유한요소해석을 이용하여 동적 시스템의 파워흐름에 관한 연구를 하였다.<sup>(3)</sup>

본 연구에서는 현대의 상용 구조물이나 기계구조물 뿐만 아니라 우주선, 잠수함 및 우주 정거장 등의 특수한 분야에서는 많이 사용되는 샌드위치판

구조물의 진동파워흐름의 특성을 고찰하고자 하였다. 샌드위치판 구조물은 우수한 방음성과 단열성 그리고, 무게에 대비해 월등한 강도의 특성을 가지며 경량화를 만족시킬 수 있어 사용분야가 증가하는 추세이다. 이와 관련된 연구로 Meraghni 등은 샌드위치판에 대한 코어 물질의 기계적 특성의 해석에 관해 연구하였으며<sup>(4)</sup>, Kim 등은 보강구조에서 다양한 형태의 방정식에 대한 연구를 하였다.<sup>(5)</sup>

본 연구에서는 유한요소법을 이용한 파워흐름 해석기법을 기반으로 일반적인 등방성 재질의 평판의 경우와는 달리 두 개의 등방성 평판 사이에 트러스코어가 보강된 샌드위치 구조물의 진동파워흐름의 특성에 관해 고찰하였다.

#### 2. 유한요소해석

##### 2.1 모델링

본 연구에서 사용한 모델은 일반적인 트러스 코어형 샌드위치 판구조물로 상판, 하판, 그리고 그 사이에는 등방성 재질인 사각형 코어가 접합되어 있다. 해석에 사용된 모델의 물성치와 치수는 Table 1~2에 나타내었다.

Table 1 Mechanical properties of plate

Mechanical property	Description
$\rho$ [kg/mm <sup>3</sup> ]	7.959e-9
E [MPa]	204,080
$\nu$	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 336개이고 절점의 수는 416개이며, 각각의 자유도는 6자유도(Ux, Uy, Uz, Rotx, Roty, Rotz)를 가진다. 모델의 경계조건은 4변을 완전고정으로 하였으며, 하중조건으로는 모델 윗판의 1/4부의 중앙부에 조화점가진 하였다. Fig. 1은 모델의 경계조건과 조화하중조건을 나타내었다.

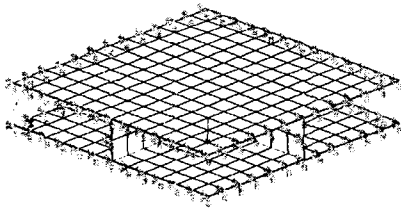


Fig. 1 Boundary and load condition of plate

## 3. 진동파워흐름 이론

### 3.1 진동파워흐름

진동파워흐름이란 가해지는 힘과 그 방향으로 속도의 동 위상 성분을 곱한 시간 평균값으로 정의된다.<sup>(6)</sup> 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.

$$\text{Power} = \text{Real}[Fv^*] \quad (1)$$

셀요소에서 각 방향의 파워흐름은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_x &= \text{Real} \left[ - \left( Q_{xz}v_z^* - M_{xx}\theta_y^* + M_{xy}\theta_x^* + N_{xx}v_x^* + N_{xy}v_y^* \right) \right] \\ P_y &= \text{Real} \left[ - \left( Q_{yz}v_z^* + M_{yy}\theta_x^* - M_{yx}\theta_y^* + N_{yy}v_y^* + N_{yx}v_x^* \right) \right] \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,

$Q_x, Q_y$  : transverse shear forces

$M_x, M_y$  : bending moments

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

$N_x, N_y$  : membrane forces

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

$v_i$  : local translational velocities in direction  $i$

$\theta_i$  : local rotational velocities about axis  $i$

Fig. 2에는 Plate의 요소력을 나타내었다.

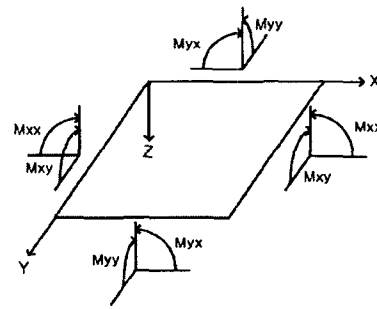


Fig. 2(a) Moments of plate element

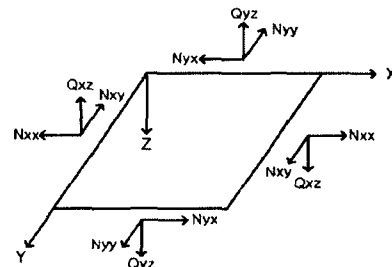


Fig. 2(b) Membrane and shearing forces of plate element

### 3.2 APDL를 이용한 진동파워흐름 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 합을 평균값을 요소의 중앙점에서의 요소좌표계에 대한 파워흐름으로 하였다.

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

여기서  $p_i$ 는 요소의 전체 파워흐름을 나타내고,  $N$ 은 연결된 절점의 수이며, 하첨자  $i$ 는 요소좌표계에서 각 방향을 나타내고,  $(j)$ 는 연결절점,  $p^{(j)}_i$ 는  $i$  방향의  $j$  절점 속도성분에 의한 파워흐름을 나타낸다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 고유치해석 및 강제진동해석

고유치해석을 통해서 트러스 코어형 샌드위치 판구조물에 대한 고유진동수와 진동모드 구하였다. 그리고, 모델의 고유진동수로 강제진동해석을 통해서 절점의 속도와 요소력을 구하였다. Table 3은 고유치 해석에 의한 모델의 고유진동수와 모드형태를 나타내었으며, Fig. 3~6은 모드형상을 나타낸다.

Table 3 Natural frequency of plate

Mode	Natrual frequency(Hz)
1st	133.28
2nd	146.17
3rd	149.39
4th	155.36

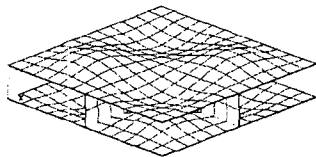


Fig. 3 1st mode shape of truss core type sandwich plate structure

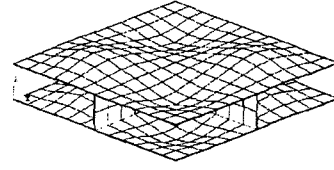


Fig. 4 2nd mode shape of truss core type sandwich plate structure

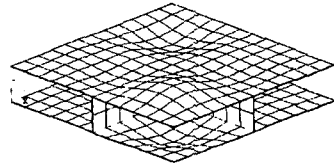


Fig. 5 3rd mode shape of truss core type sandwich plate structure

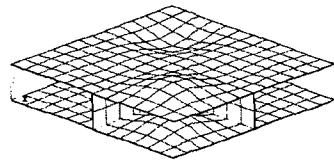


Fig. 6 4th mode shape of truss core type sandwich plate structure

##### 4.2 진동파워흐름

Fig. 7~10은 트러스코어형 샌드위치 판구조물의 고유진동수로 조화점가진 하였을 때 윗판의 진동파워를 Contour로 나타내었으며, 동시에 진동파워흐름을 벡터흐름도로 나타내었다.

Fig. 7은 그림 우측 하단의 가진점을 중심으로 진동파워가 크게 나타났으며, 보강판이 교차되는 중앙부분에 진동파워흐름이 집중하고 있는 것을 볼 수 있다.

Fig. 8은 Fig. 7에 비해서 진동파워가 전체적으로 나타나는 것을 볼 수 있으며, 이와 달리 Fig. 9는 진동파워흐름이 보강판의 중앙부 이외의 부분에서 집중되는 것을 알 수 있다.

Fig. 10은 Fig. 9와는 달리 가진점 주위에서 진동파워흐름이 보강판의 중앙부 이외의 부분에서 집중되는 것을 알 수 있으며, 가진점 이외의 영역에서는 보강판이 교차되는 중앙부분에 진동파워흐름이 집중되는 것을 볼 수 있다.

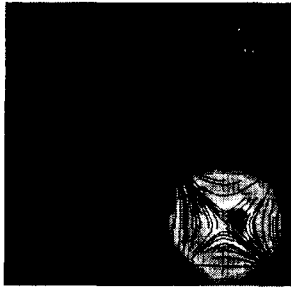


Fig. 7 Vector flow of vibration intensity in 1st mode shape

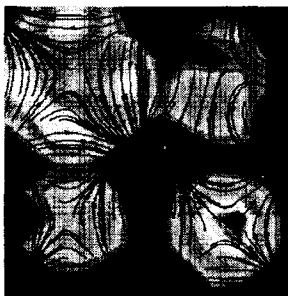


Fig. 8 Vector flow of vibration intensity in 2nd mode shape

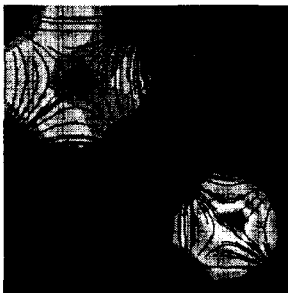


Fig. 9 Vector flow of vibration intensity in 3rd mode shape

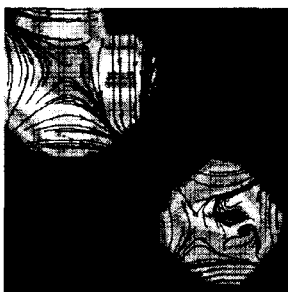


Fig. 10 Vector flow of vibration intensity in 4th mode shape

## 5. 결론

본 연구에서는 트러스코어형 샌드위치 판구조물의 진동파워흐름에 대한 해석을 수행하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 유한요소법을 이용하여 트러스코어형 샌드위치 판구조물의 고유진동수로 조화점가진을 하였을 때 진동파워흐름의 특성을 파악할 수 있었다.
2. 트러스코어형 샌드위치 판구조물을 고유진동수로 조화점가진하여 상판에 대한 진동파워와 진동파워흐름을 Contour와 벡터흐름도로 나타내었다.
3. 트러스코어형 샌드위치 판구조물의 진동파워흐름이 상판과 하판의 사이의 보강구조물에 의해 영향을 받는 것을 알 수 있다.

## 참고문헌

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. F. Meraghni, F. Desrumaux, M. L. Benzeggagh, "Mechanical behaviour of cellular core for structural sandwich panels", *Journal of Composite, Part A* 30, pp. 767~779, 1990
5. Beom-keun Kim, Richard M. Christensen, "Basic two-dimension core types for sandwich structure", *International Journal of Mechanical Science*, Vol 42, pp. 655~676, 2000
6. S. A. Hambric., "Power Flow and Mechanical Intensity Calculations in Structural Finite Element Analysis," *ASME*, Vol. 112, pp. 542-549. 1990.