

## 진동원으로부터 전달되는 2차원 구조물의 진동파워흐름에 관한 연구

노영희\*, 김동영, 홍도관, 권용수(동아대 대학원 기계공학과),  
안찬우, 한근조(동아대 기계산업시스템공학부)

### A Study on Vibration Power Flow of 2-Dimension Structure Travelling from the Source

Y. H. Noh, D. Y. Kim, D. K. Hong, Y. S. Kwon(Mech. Eng. Dept., Dong-A Univ.),  
C. W. Ahn, G. J. Han(Mech. & Ind. Syst. Eng. Div., Dong-A Univ.)

#### ABSTRACT

To control the vibration and sound of structure, it is important to analyze the dynamic action of structure. And through those analysis, the vibration source and the flow path is understood. To grasp that, when the two-dimension plate structure is shaken by a harmonic point excitation with the natural frequency using the finite element method, this paper presents the relation between vibration power flow and mode shape. As those results present to vector flow, the vibration power flow is visualized.

**Key Words** : Vibration Power Flow(진동 파워흐름), APDL(Ansys Parametric Design Language), Finite Element Method(유한요소법)

#### 1. 서론

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

이러한 문제에 대한 연구로 Young과 Leissa는 Ritz법을 이용하여 구조물 전달음에 의한 사각판 진동의 해석적 결과를 도출하였으며<sup>(1)(2)</sup>, 구조물의 에너지 흐름을 실험적으로 규명하는 진동 인텐시티에 관한 측정은 1970년 Noiseux에 의해 처음 소개되었다.<sup>(3)</sup> Pavi 은 보 및 평판의 굽힘 진동 파워 흐름에 대하여 근접장을 포함한 일반적인 진동장에 적용할 수 있는 진동 인텐시티 측정법을 이론화하였으며<sup>(4)</sup>, Nefske는 동적 시스템의 파워흐름 유한요소 해석에 관한 연구를 수행하였다.<sup>(5)</sup>

본 연구에서는 유한요소법을 이용한 고유치 해석에 의해 평판구조물의 고유진동수와 모드형상을 구하였다. 또한, 강제진동해석을 통해서 평판 구조물을 고유진동수로 조화점가진하였을 때 각 요소에 작용하는 힘과 속도를 이용하여 진동파워흐름을 계산하였으며, 이러한 결과를 벡터흐름도로 나타냄으로써 진동파워의 흐름을 가시화하였다. 이러한 방법은 진동파워흐름 파악하는 유용한 기법으로 활용할 수 있다.

#### 2. 유한요소해석

##### 2.1 모델링

본 연구에서 사용된 모델은 종횡비(a/b)가 2인 2차원 등방성 외팔평판 구조물로 재료는 SS400을 사용하였으며, 구조물의 재료감쇠를 1%로 하였고, 모델의 물성치와 치수는 Table 1~2에 나타내었다.

##### 2.2 유한요소해석

해석은 상용 유한요소해석 프로그램인 Ansys 6.1에서 이루어졌다. 해석에 사용된 요소의 수는

200개이고 절점의 수는 231개이며, 각각의 자유도는 6자유도(Ux, Uy, Uz, Rotx, Roty, Rotz)를 가진다.

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

모델의 경계조건은 한쪽 변을 완전고정으로 하였고, 조화하중조건으로는 자유단의 한 점을 모델의 고유진동수로 조화점가진 하였다. Fig. 1은 모델의 경계조건과 조화하중조건을 나타내었다.

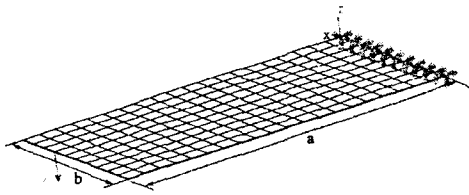


Fig. 1 Boundary and load condition of plate

### 3. 진동파워흐름이론

#### 3.1 진동파워흐름

진동파워흐름이란 가해지는 힘과 그 방향으로 속도의 동 위상 성분을 곱한 시간 평균값으로 정의된다.<sup>(6)~(7)</sup> 즉, 어떤 복소수에 다른 공액복소수를 곱하여 실수부를 취하면 동 위상의 성분을 얻게 되므로, 강제진동해석을 통해 얻은 어떤 방향의 힘과 같은 방향의 속도에 의한 파워흐름은 식(1)과 같다.

$$\text{Power} = R_{\text{eal}}[F \cdot v^*] \quad (1)$$

2차원 셀요소의 각 방향의 파워흐름을 구하면 다음과 같다.

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

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  $i$

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

Fig. 2에는 Plate의 요소력을 나타내었다.

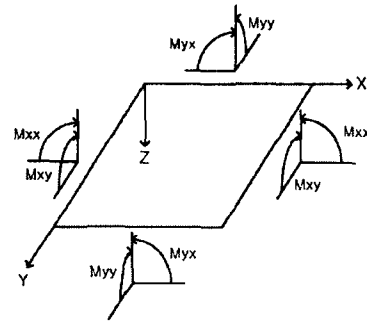


Fig. 2(a) Moments of plate element

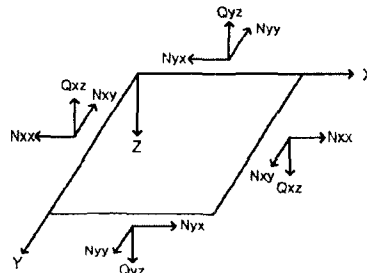


Fig. 2(b) Membrane and shear forces of plate element

#### 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 요

소의 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.

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

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 2차원 등방성 외팔평판 구조물에 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 1, 2차 굽힘과 비틀림모드의 형상을 각각 나타내었다.

Table 3 Natural frequency of plate

Mode	Natural frequency(Hz)
1st bending mode	3.37
1st twisting mode	14.32
2nd bending mode	21.12
2nd twisting mode	46.91

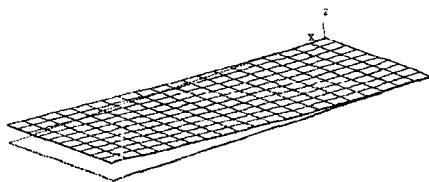


Fig. 3 1st bending mode shape of plate

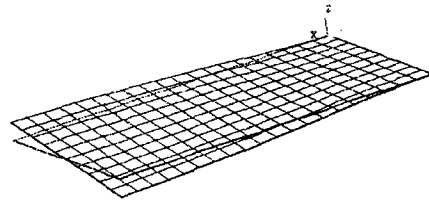


Fig. 4 1st twisting mode shape of plate

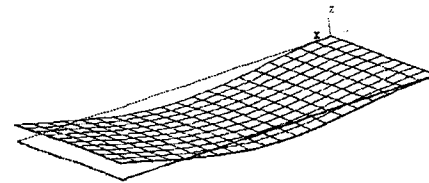


Fig. 5 2nd bending mode shape of plate

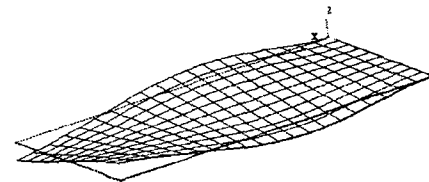


Fig. 6 2nd twisting mode shape of plate

##### 4.2 진동파워흐름

Fig. 7~10은 1~4차 고유진동수로 조화점가진 하였을 때 진동파워를 벡터흐름도로 나타내었다.

Fig. 7은 1차 고유진동수로 조화가진한 경우로 굽힘이 발생하는 평판의 중앙부에 진동파워의 벡터흐름이 집중되는 것을 알 수 있다. 또한, 가진점에 해당되는 요소에서 높은 에너지가 분포되어 있으며, 전체적으로 길이방향으로 진동파워의 벡터흐름이 형성되었다.

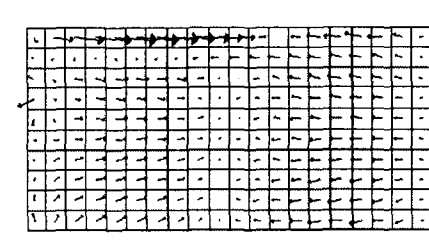


Fig. 7 Vector flow of vibration power flow in 1st bending mode shape

Fig. 8은 2차 고유진동수로 조화가진한 경우로 비틀림이 발생하는 좌우측의 블록해지거나 오목해지는 부분에 진동파위의 벡터흐름이 집중되는 것을 볼 수 있다. 또한, 가진점에 해당되는 요소에서 높은 에너지가 분포되어 있으며, 1차 굽힘모드에 비해서 벡터의 크기가 감소되는 것을 볼 수 있다.

Fig. 9~10은 3~4차 고유진동수로 조화가진한 경우로 굽힘과 비틀림의 굴곡이 생기는 부분에서 진동파위의 벡터 흐름이 집중되는 것을 볼 수 있으며, 전체적으로 평판의 너비방향보다는 길이방향으로 흐름이 형성되는 것을 볼 수 있다.

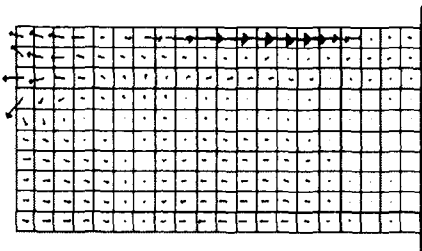


Fig. 8 Vector flow of vibration power flow in 1st twisting mode shape

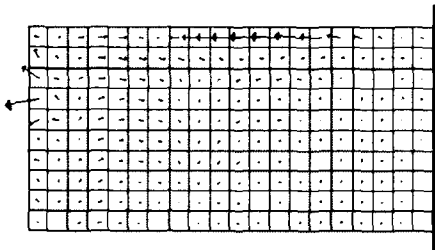


Fig. 9 Vector flow of vibration power flow in 2nd bending mode shape

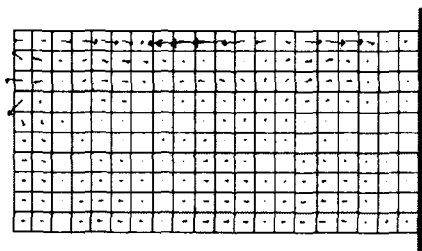


Fig. 10 Vector flow of vibration power flow in 2nd twisting mode shape

## 5. 결론

본 연구에서는 2차원 등방성 외팔평판 구조물의

진동파위흐름에 대한 해석을 수행하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 유한요소법을 이용하여 2차원 평판구조물의 고유진동수로 조화점가진을 하였을 때 진동파위흐름의 특성을 파악할 수 있었다.
2. 2차원 평판구조물의 진동파위흐름이 고유진동수로 조화점가진을 하였을 때 각각의 모드형상과 연관되게 나타나는 것을 알 수 있었다.
3. 진동파위흐름을 이용하여 진동 발생원의 위치와 전파경로를 규명하게 되면 방진뿐만 아니라 진동의 전달에 의해 발생하는 소음을 저감시키기 위한 능동적인 대책을 수립하기 용이할 것으로 기대된다.

## 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. 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.
4. 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.
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.
7. Bouthier, O.M. & Bernhard, R.J., "Simple Models of the Energy Flow in Vibrating Membranes," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 182, No. 1, pp. 129-147, 1995.