

# 부분 제진 평판 진동 해석을 위한 파워흐름유한요소법의 실험적 연구

## Experimental Study On Power Flow Finite Element Method of Vibration of a Plate Partially Covered with a Damping Sheets

이영현\*, 이진영\*, 길현권<sup>+</sup> · 홍석윤\*\*

Y.-H. Lee, J.-Y. Lee, H.-G. Kil, S.-Y. Hong

**Key Words :** Power Flow Finite Element Method(파워흐름유한요소법), Medium-to-high Frequency (중고주파수), Loss Factor(손실계수), Plate partially covered with a Damping Sheet (부분제진평판)

### ABSTRACT

In this paper the power flow finite element method (PPFEM) has been used to analyze the vibration of a plate partially covered with a damping sheet. Experiments have been performed to measure the loss factor and frequency response functions of the plate partially covered with the damping sheet. The data for the loss factor has been used as the input data to predict the vibration of the coupled plates with PPFEM. The comparison between the experimental results and the predicted PPFEM results for the frequency response functions has been performed. It showed that PPFEM can be effectively used to predict structural vibration in medium-to-high frequency ranges.

### 1. 서론

복합구조물에서 진동에너지는 진동원으로부터 구조요소를 따라 전파되어 고체음을 발생시킨다. 이를 제어하기 위해서는 고체음을 줄이기 위하여서는 저주파수 영역 뿐 아니라 중고주파수 영역에서의 진동에너지의 공간적 분포와 에너지 흐름의 경로를 알기 위한 해석이 필요하다. 중고주파수 영역에서의 진동을 해석하기 위하여 기존의 통계적 에너지해석법[1]의 경우 고주파수 영역에서 활용되고 있으나, 모델링에 따라 해석 결과의 차이가 있을 수 있으며, 각 요소의 진동에너지에 대한 공간적인 평균값만을 제공하게 된다는 단점이 있다. 이러한 한계점을 보완하기 위하여 제안된 방법으로서 파워흐름해석법 (Power Flow Analysis, PFA)[2]을 들 수가 있다. 이 방법은 진동에너지 흐름 형태에 따른 에너지 지배방정식을 활용함으로써 진동에너지의 공간적인 분포와 전달 경로인 파워 분포 등을 예측 할 수 있는 방법이다. 또한 에너지지배방정식의 해를 구하기 위하여 유한요소법을

적용 시킨 파워흐름유한요소법(power flow finite element method, PPFEM)[3]은 복잡한 복합구조물의 진동 해석을 위하여 효과적으로 사용될 수 있다. 파워흐름유한요소법은 유한요소모델을 사용하기 때문에, 중주파수 대역에서 유한요소 모델을 그대로 사용 할 수 있고, 일관성 있는 해석결과를 주는 장점이 있다. 파워흐름유한요소법의 적용은 다양한 구조 모델에 대하여 적용되어 있으며, 본 논문에서는 이 방법을 부분적으로 제진재를 부착한 평판 진동에 대하여 적용 확장하고자한다. 또한 실험 결과와 비교를 통하여, 파워흐름 유한요소법이 중고주파수 대역의 구조 진동을 해석하기 위하여 효과적으로 활용될 수 있음을 보이고자 한다.

### 2. 파워흐름유한요소법 (PPFEM)

파워흐름해석법에서 면의 진동의 경우, 굽힘파동에 대한 진동에너지 방정식은 진동수  $\omega$  에서 공간-시간 평균 진동 에너지밀도  $\langle e \rangle$  에 대하여 다음과 같이 표시된다 [2].

$$-\frac{c_y^2}{\eta\omega} \nabla^2 \langle e \rangle + \eta\omega \langle e \rangle = \langle \Pi \rangle$$

(1)

여기서  $\eta$  는 구조감쇠에 의한 내부에너지 손실계수,  $c_y$  는

수원대학교 기계공학과

+ E-mail : hgkil@suwon.ac.kr

Tel: (031) 220-2298, Fax: (031) 220-2494

\* 수원대학교 기계공학과 대학원

\*\* 서울대학교 조선해양공학과

굽힘파동의 에너지 전파 속도, 그리고  $\langle \Pi \rangle$ 는 가진력에 의한 입력 파워를 나타낸다. 에너지지배방정식을 수치적으로 해석하기 위하여 가중잔여법을 사용하면 다음 식과 같은 요소행렬식을 얻을 수 있다 [3].

$$[K^{(e)}]\{e^{(e)}\} = \{F^{(e)}\} + \{Q^{(e)}\} \quad (2)$$

여기서  $[K^{(e)}]$ ,  $\{F^{(e)}\}$ ,  $\{Q^{(e)}\}$ 는 각각 강성행렬, 입력 파워 행렬, 전달파워 행렬을 의미한다. 각 행렬의 자세한 사항은 참고문헌 [3]을 참고할 수 있다.

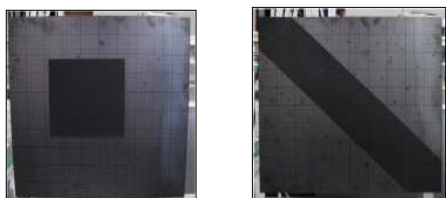
### 3. 실험 해석

부분 제진 평판의 내부감쇠를 측정하기 위하여 2개의 하부시스템의 조합으로 나누게 되면, 파워평형조건은 중심 주파수  $\omega$  를 갖는 주파수 대역 폭에 대해서 다음과 같은 식으로 표현된다[1].

$$\begin{Bmatrix} \Pi_1 \\ \Pi_2 \end{Bmatrix} = \omega \begin{bmatrix} E_{11} & E_{21} \\ E_{12} & E_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{Bmatrix} \quad (3)$$

$\eta_i$  와  $\Pi_i$  는  $i$  하부시스템의 내부손실계수와 해당 하부시스템에 가해지는 입력 파워를 나타낸다. 그리고  $E_{ij}$  는  $j$  하부시스템에 입력 파워가 가해지는 경우  $i$  하부시스템에 발생하는 진동에너지의 공간 및 시간 평균값을 나타낸다. 식 (3)은 각 하부시스템을 가진 하면서 입력파워와 하부시스템의 진동에너지를 측정함으로써 내부감쇠계수가 결정될 수 있음을 의미한다.

실험 모델은 두 가지로 단일평판에 서로 다른 크기의 제진성 차음시트를 부분적으로 부착한 부분제진평판이다. 부분제진강판으로서의 재질이 강인 평판으로 두께 0.0032m, 크기 1m×1m을 사용하며, 제진재로서는 그림 1, 2와 같이 부착된 두께 0.002m인 제진성 차음시트를 사용하였다.



(a) 부분제진평판 I      (b) 부분제진평판 II  
그림 1 각 부분제진평판의 제진재 부착모습

실험방법을 위하여 부분제진평판 I 과 II를 각각 2 (A,B) 와 3 (A,B,C) 세부시스템으로 나누었다. 내부손실계수를 구하기 위하여서는, 세부시스템 당 3지점에 가속도계를 부착하고 부분제진평판 I의 경우 세부시스템 A, B에

대하여 30, 10 지점 그리고 부분제진평판 II의 경우 세부시스템 A, B, C에 대하여 14, 13, 14 지점씩 40지점에 대하여 FRF를 측정하였다.

### 4. 결과 및 고찰

그림 2는 부분제진평판 I의 세부시스템 A를 가진하는 경우, 세부시스템 B의 측정 지점에서 실험으로 구한 FRF (= v/F)결과와 파워흐름유한요소법을 이용하여 구한 예측값을 비교하고 있다. 파워흐름유한요소해석 결과를 비교하여 보면, 약 200 Hz 이상부터는 파워흐름유한요소해석법 결과가 실험 결과를 잘 예측하고 있음을 알 수가 있다. 또한 약 100 Hz까지도 주파수 의존도를 비교적 잘 예측하고 있음을 알 수 있다.

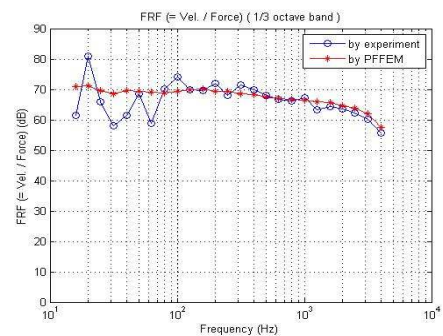


그림 2. 부분제진평판 I에서 세부시스템 B에서의 FRF (세부시스템 A 가진 경우)

### 5. 결론

본 논문에서는 부분제진평판 진동을 해석하기 위하여 파워흐름유한요소법을 적용하였다. 또한 예측 결과의 타당성을 검증하기 위하여 실험 연구를 수행하였다. 실험 모델로서는 두 종류의 부분제진평판을 고려하였으며, 파워흐름유한요소법에 의한 FRF 예측 결과를 실험 측정 결과와 비교하였으며, 이러한 비교로부터 파워흐름유한요소법이 중고주파수 영역에서 복합구조물의 진동응답을 예측하기 위하여 효과적으로 활용될 수 있음을 보였다.

### 참고 문헌

- (1) R.H. Lyon, Statistical Analysis of Dynamic Systems: Theory and Applications, MIT Press, 1975.
- (2) D.J. Nefske, S.H. Sung, "Power Flow Finite Element Analysis of Dynamic Systems : Basic Theory and Application to Beams," J. Vib. Acoustics, Stress and Reliability in Design, 111, pp.94-100, 1989.
- (3) S.S. Seo, S.Y. Hong, Y.H. park, H.G. Kil, "Vibration Analysis of Vehicle Systems in Medium to High Frequency Ranges Using a Newly Developed PPFEM Software," Inter-Noise 2002.