

제진 평판 진동에 대한 파워흐름해석

Power Flow Analysis of Vibration of a Plate Covered with a Damping Sheet

이진영*·길 현권**·홍 석윤***

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

1. 서론

복합구조물의 진동을 줄이고 또한 방사되는 소음을 줄이기 위하여서는 저주파수 영역 뿐 아니라 중고주파수 영역에서의 진동에너지의 공간적 분포와 에너지 흐름의 경로를 알기 위한 해석이 필요하다. 고주파수 영역에서의 진동에너지 해석을 위하여 일반적으로 통계적 에너지해석법[1]이 널리 사용되고 있다. 통계적 에너지해석법의 경우에는 복합구조물 각 요소의 진동에너지에 대한 공간적인 평균값만을 제공하게 된다는 단점이 있다. 이러한 한계점을 보완하기 위한 여러 근사법들 중에서 최근에 국외에서 연구가 활발히 진행되고 있는 파워흐름해석법 (Power Flow Analysis, PFA)[2,3,4]을 들 수가 있다. 이 방법은 진동에너지 흐름 형태에 따른 고유의 에너지지배방정식을 정립하고 해석함으로써 진동에너지의 공간적인 분포와 전달 경로 등을 제시할 수 있는 방법이다. 이러한 파워흐름해석법은 주로 고주파수 대역에서 적용되어지나, 중주파수 영역에까지 확대 적용될 수 있는 방법으로 인식되어 왔다. 파워흐름해석법의 적용은 다양한 구조 모델에 대하여서 적용되어 있으며, 본 논문에서는 이 방법의 적용을 제진재를 부착한 평판 진동에 대한 적용으로 확장하고자 한다. 본 논문의 실험에서는 자유 지지되어 진동하는 제진평판의 손실계수를 측정하여, 파워흐름해석법의 입력 데이터로 활용하였다. 그리고 제진 평판의 여러 지점에 대한 주파수응답함수(FRF, Frequency Response Function)를 측정하고 파워흐름해석법에 의한 예측 결과와 비교를 하였다. 이러한 비교를 통하여, 파워흐름해석법이 중고주파수 대역의 구조 진동을 해석하기 위하여 효과적으로 활용될 수 있음을 보였다.

2. 파워흐름해석 (PFA)

면의 방향의 가진력에 의하여 발생하는 구조 진동의 경우 면외파동인 굽힘파동의 전파에 의하여 발생된다. 파워흐름해석법에서 굽힘파동에 대한 진동에너지 방정식은 진동수 ω 에서 공간-시간 평균 진동 에너지 밀도 $\langle e \rangle_m$ 에 대하여 다음과 같이 표시된다[4].

$$-\frac{c_g^2}{\eta\omega} \nabla^2 \langle e \rangle + \eta\omega \langle e \rangle = \langle \Pi \rangle \quad (1)$$

여기서 η 는 구조감쇠에 의한 내부에너지 손실계수, c_g 는 굽힘파동의 에너지 전파 속도, 그리고 $\langle \Pi \rangle$ 는 가진력에 의한 입력 파워를 나타낸다. 또한 굽힘 파동에 대한 진동 인텐시티 벡터 $\langle I \rangle$ 는 다음과 같이 진동에너지밀도로 표시된다.

$$\langle I \rangle = -\frac{c_g^2}{\eta\omega} \nabla \langle e \rangle \quad (2)$$

식(1)과 (2)에 해당 구조물의 경계에서의 경계조건을 적용함으로써 진동에너지 밀도와 진동 인텐시티 벡터를 구할 수 있게 된다. 자유지지된 제진평판의 경우 경계 지점으로부터 입력 파워가 없다는 경계조건을 고려하게 된다. 그리고 파워흐름해석법 적용시 입력 파워는 무한 평판에 대한 모델러티 값을 적용하여 근사 값으로 고려한다. 또한 식(1)과(2)의 해를 구하기 위하여 유한요소법을 이용하는 파워흐름유한요소법(PFFEM, Power Flow Finite Element Method)[5]을 적용할 수 있다. 본 논문에서는 진동 에너지 밀도를 series 형태로 나타내어 해를 구하는 해석적 방법을 적용하기로 하며, 자세한 적용 방법은 참고문헌 [6]를 참고할 수 있다.

수원대학교 기계공학과

* E-mail : freehsk1116@hotmail.com
Tel : (031)225-8556, Fax : (031) 220-2527

** 수원대학교 기계공학과

*** 서울대학교 조선해양공학과

3. 실험 해석

제진 평판 진동에 대한 파워평형조건인 한 주기에 대한 입력파워는 내부손실계수에 의한 손실에너지와 같다는 파워평형조건을 적용하면, 내부손실계수는 다음과 같이 표현될 수 있다[1]

$$\eta = \frac{1}{\omega} E^{-1} \Pi \quad (3)$$

여기서 η 와 Π 는 제진 평판의 내부손실계수와 가진력에 의한 입력 파워를 나타낸다. 그리고 E 는 제진 평판에 발생하는 진동에너지를 공간 및 시간 평균값을 나타낸다. 그러므로 내부손실계수는 제진평판을 가진하면서 진동에너지를 측정함으로써 내부감쇠계수가 결정될 수 있음을 의미한다.

실험 모델은 평판에 제진재를 부착한 제진 평판이다. 평판의 재질은 강이며 평판 요소의 두께는 $0.0032m$ 이며, 크기는 $1m \times 1m$ 다. 제진재로서는 두께 $2mm$ 제진성 차음시트를 평판의 한쪽 면에 부착하였다. 내부손실계수를 구하기 위한 실험으로서는 가진 지점으로 3 지점을 선정하고 각 가진 지점에 대하여 입력 파워를 측정하였다. 가진 조건으로는 충격해머를 이용하였고, 가역성의 원리를 이용하여 가진 지점에 가속도계를 부착 시키고, 충격해머를 이용하여 40 지점을 차례로 가진 시키면서 주파수응답함수 값을 측정하였다. 그러므로 단위 가진력에 대한 입력 파워 및 가속도 값으로 고려한 경우에 해당한다.

4. 결과 및 고찰

그림 1은 주파수에 따른 손실계수 측정값을 보여 준다. 손실계수의 일반적인 경향은 주파수 증가에 따라 감소하고 있음을 알 수 있다. 또한, 그림 2는 임의 한 지점에서의 제진평판에 주파수응답함수의 실험 결과와 파워흐름해석법에 의한 예측 결과와의 비교를 보여준다. 파워흐름해석 결과를 비교하여 보면, 약 300 Hz 이상부터는 파워흐름해석 결과가 실험 결과를 잘 예측하고 있음을 알 수가 있다. 또한 약 100 Hz까지도 주파수 의존도를 비교적 잘 예측하고 있음을 알 수 있다.

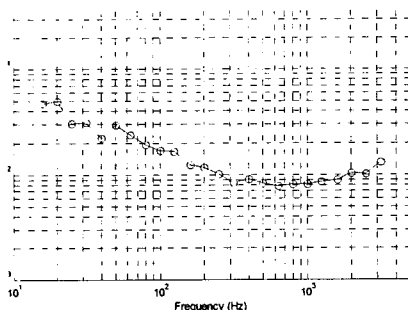


Fig. 1 내부손실계수

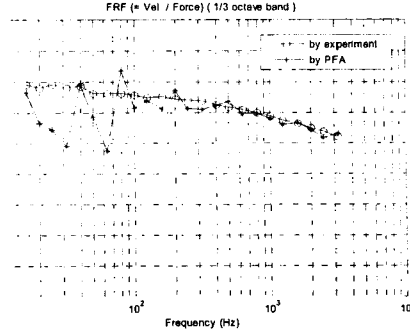


Fig. 2 주파수응답함수의 실험과 PFA 결과와의 비교

5. 결론

본 논문에서는 제진평판의 진동을 파워흐름해석법에 의하여 해석하였다. 그리고 제진평판의 주파수응답함수를 측정하고 파워흐름해석법에 의한 예측 결과와 비교를 하였다. 이러한 비교를 통하여, 파워흐름해석법이 중고주파수 대역의 구조 진동을 해석하기 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) P.E. Cho and R.J. Bernhard, "A Simple Method for predicting Energy Flow Distributions in Frame Structures," 4th International Congress on Intensity Techniques, pp.347-354,1993.
- (4) O.M. Bouthier, R.J. Bernhard, "Models of Space-Averaged Energetics of Plates," AIAA J., 30((3), pp.616-623, 1992.
- (5) 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
- (6) 최재성, 길현권, 홍석윤 "임의의 방향 점가진력에 의한 연성 평판 진동의 파워흐름해석" 한국소음진동공학회논문집, v.11, no.6, pp.181-192, 2001년 9월