한국소음진동공학회 2009년 춘계학술대회논문집, pp.131~132

모드 중첩을 이용한 얇은 판의 진동 국부화

Vibration Localization of Thin Plate Using Mode-Superposition

현재엽* · 가인한* · 이종서* · 왕세명†
Jaeyub Hyun, Inhan Ga, Jongsuh Lee, and Semyung Wang

1. 서 론

일반적으로 시스템에서 진동의 국부화 현상은 시스템전체에 이득인 영향을 미치거나 해로운 영향을 미칠 수 있다. 이는 진동의 국부화 현상에 의한 불균형한 시스템의 동특성이 이상적인 시스템의 그것보다 매우 높은 진동의 크기와 응력분포를 가지기 때문이다. 바로 이러한 시스템의 진동국부화 현상을 정확히 이해하고 제어할 수 있다면, 이상적인 시스템으로의 접근을 가능케 할 수 있다.

일반적으로 모드중첩은 시스템의 과도응답을 표현할 때 매우 효율적인 방법으로 많이 알려져 있다. 모드중첩은 동특성들이 모드의 직교성과 이로부터 모드의 선형결합으로 표현됨을 이용한 것이다.

본 논문에서는 이러한 모드중첩을 시스템의 과도응답과 동특성에 적용하지 않고, 진동의 국부화를 위해서 적용하였다. 이는 산업현장에서 가장 많이 사용되는 얇은 평판에 적용하도록 한다. 모드중첩의 효용성을 입증하기 위해서, 수치적인 방법과 실험에 의한 방법이 함께 고려되었다. 수치적인 방법은, 상용 프로그램인 MATLAB 을 사용하였으며, 실험에 의한 방법은 2 개의 액추에이터와 얇은 평판을 고정하기 위한 지그를 이용하였다.

2. 본 론

2.1 모드중첩의 접근

Fig.1 이 나타내는 바와 같이 얇은 평판을 12 개의 구역으로 나누고, 모드중첩을 이용하여서 진동의 국부화를 구현하도록 한다.

† 교신저자; 광주과학기술원
E-mail : smwang@gist.ac.kr
Tel : (062) 970-2390, Fax : (062) 970-2384
* 광주과학기술원 정보기전공학부

(1) 모드중첩 (Mode Superposition)

일반적으로 모드중첩은 다음과 같은 간단한 수식에 의해 표현 될 수 있다[1].

$$M\ddot{\underline{z}} + C\dot{\underline{z}} + K\underline{z} = \underline{f}(t) \tag{1}$$

$$Let \quad \underline{z} = \Phi \underline{V} = \sum_{i}^{q} V_i(t)\underline{\phi}^i$$
$$= V_1(t)\underline{\phi}^1 + V_2(t)\underline{\phi}^2 + \cdots + V_{q-1}(t)\underline{\phi}^{q-1} + V_q(t)\underline{\phi}^q \tag{2}$$

여기에서 M , C , K 는 질량, 감쇠, 강성 행렬이고 $\underline{z}$ 는 시스템의 응답이며, Φ 는 모드행렬, 그리고 $\underline{V}$ 는 정규화된 시스템의 응답이다. (2)의 식을 보면 알 수 있듯이, 실제 시스템의 응답은 독립된 모드의 선형결합으로 표현됨을 확인 할 수 있다. 이후에 모드의 직교성을 이용하면, 시스템의 연성된 (1)을 비연성된 식으로 표현할 수 있다.

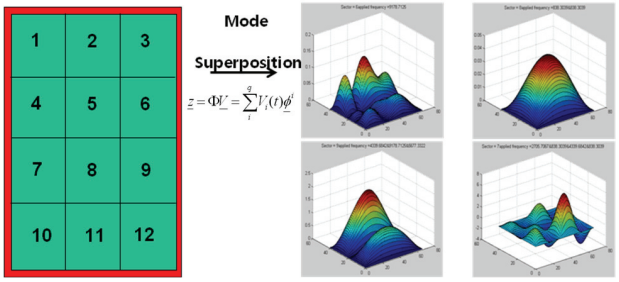

Fig.1 The concept of mode-superposition

(2) 얇은 평판의 응답

위에서 언급한 모드중첩을 얇은 평판에 적용하기 위해서, 평판의 응답을 알아야만 한다. 이로부터 구해진 해를 통하여서 수치적 방법으로의 접근에 이용할 수 있다. 단순 지지된 얇은 평판의 임의의 지점에서의 조화 가진력에 대한 응답은 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다[4~5].

$$y_{mn}(x,z,t)=\sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=1}^{\infty}W_{mn}\sin k_m x\sin k_n z e^{j\omega t} \quad (3)$$

$$W_{mn}=\frac{4}{M(\omega^2-\omega_{mn}{}^2)}\int_0^{L_x}\int_0^{L_z} f(x,z)\sin k_m x\sin k_n z dxdz \quad (4)$$

$$where\ \ f(x,z)=F\delta(x-x_i)\delta(z-z_i) \quad (5)$$

$$=\frac{4F\sin k_m x_i\sin k_n z_i}{M(\omega^2-\omega_{mn}{}^2)} \quad (6)$$

$$where\ \omega_{mn}=(\frac{EI}{\rho h})^{1/2}\left[\left(\frac{m\pi}{L_x}\right)^2+\left(\frac{n\pi}{L_z}\right)^2\right] \quad (7)$$

여기에서, m 과 n 은 각각 x 와 z 방향의 모드번호이고, W_{mn} 은 각 모드에서의 진동크기(Amplitude)를 의미한다.

2.2 모드중첩을 이용한 진동의 국부화

앞서 구한 평판의 응답식을 바탕으로 상용프로그램인 MATLAB 을 이용하여서 본 논문에서의 문제인 진동의 국부화에 접근토록 하였다.

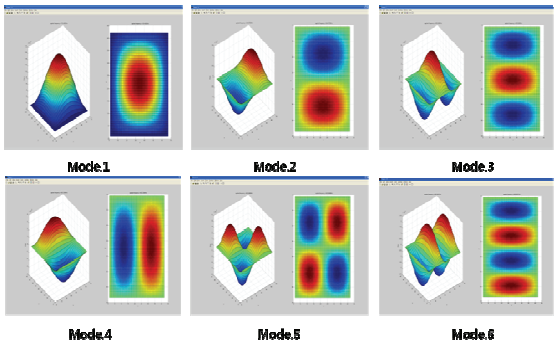

Fig.2 The mode shapes of thin plate

Fig.2 는 일반적인 평판의 응답 식(3)으로부터 평판의 모드를 각각 1 번째부터 6 번째까지 나타낸 것으로, 각각의 중첩을 통하여서 원하는 위치에서의 진동을 국부화 할 수 있다. Fig.3 과 Fig.4 는 각각 이러한 진동의 국부화를 구현한 것으로, 액츄에이터 2 개와 액츄에이터 4 개를 이용하여서 5 번 구역과 1 번 구역을 국부화 시킨 것이다. 이러한 모드중첩을 이용한다면, 다양한 시스템의 진동의 국부화 현상을 효율적으로 구현할 수 있을 것이다.

Number of Actuator	Exciting Frequency(Hz)	Position of Actuator
2	133 / 1200	(1.1) / (1.40)

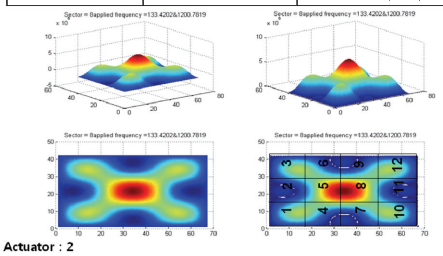

Fig.3 Vibration localization at sector5 (using 2 actuator)

Number of Actuator	Exciting Frequency(Hz)	Position of Actuator
4	133 / 244 / 1200 / 430	(1.1) / (1.40) / (65.1) / (65.40)

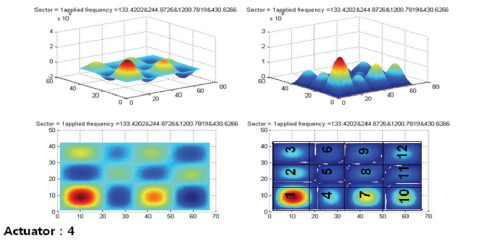

Fig.4 Vibration localization at sector1 (using 4 actuator)

3. 결 론

실제 시스템의 응답이 독립된 모드의 선형결합으로써 표현됨을 이용하여, 산업현장에서 가장 많이 사용되는 구조물인 얇은 평판에 대하여 진동을 국부화하였다.

4. 참 고 문 헌

[1] Z.Chen, W.-C. Xie, 2005, “Vibration localization in plates rib-stiffened in two orthogonal directions”, Journal of Sound and Vibration, Vol. 280, pp.235~262

[2] W.-C. Xie, 2002, “Special issue Dedicated to Localization Phenomenon in Physical and Engineering Sciences, Chaos, Solitons and Fractals, Vol.14 No.2

[3] Pierre.C and Dowell.E.H, 1987, “Localization of Vibrations by Structural Irregularity”, Journal of Sound and Vibration. Vol.114, pp.549~564

[4] S. Timoshenko, S. Woinowsky-Krieger, 1959, “Theory of Shells and Plates, 2nd Edition”, McGraw-Hill, New York

[5] Arthur W.Leissa, 1993, “Vibration of Plates”, Acoustical Society of America