

전자기 션트 감쇠기를 이용한 유연구조물의 다중모드 진동 제어

Multi-Mode Vibration Control of Flexible Structures Using Electromagnetic Shunt Damper

성태홍* · 오재원** · 오일권†

Tai-Hong Cheng, Jae-Won Oh and Il-Kwon Oh

1. 서론

전자석은 아주 중요한 에너지 전환 장치로서 스피커의 보이스코일, 진동 테스트 장비, 전자석 베어링, 자동차의 서스펜션 제어, 그리고 자기 부상 열차 등 영역에서 사용되고 있을 뿐만 아니라 최근에 아주 작은 마이크로 구동기로서도 많은 연구가 진행되고 있다. 그 이유는 전자석은 아주 강인하고 비교적 큰 힘을 발생시키며 매우 작은 마이크로 단위의 세계에서 뿐만 아니라 더 큰 매크로 스케일에서도 사용 가능하기 때문이다. 이는 진동제어에 많이 사용되고 있는 압전재료에 비교해서 큰 장점으로 간주된다.

소음과 진동저감에 대한 연구는 많이 진행되어 왔으며 주로 수동진동감쇠와 능동진동감쇠로 나눌 수 있다. 수동진동감쇠방법으로는 주로 점탄성재료처리(viscoelastic materials treatment)나 와전류감쇠기(eddy current damper) 등을 사용한 방법들이 있고, 능동진동감쇠방법으로는 압전재료(piezoceramic) 작동기를 사용하거나, 전자석 작동기(electromagnetic actuator) 등을 사용한 방법들이 있다. 전자석 작동기에 관한 연구에 간단히 알아 보면 전자석을 통한 구조물 제어에 관한 연구가 있는가 하면 전자석을 이용한 자기 부상 시스템에 대한 제어, 끝 단 질량을 고려한 빔 구조물의 진동 제어 등이 있다.

새로운 감쇠기로서 2005년에 Sam 연구팀이 처음으로 전자기 션트 감쇠기라는 개념을 제안하였고 이에 이어서 Tsuyoshi 와 그 연구팀은 전자기 션트 감쇠기를 보이스코일에 적용하였다. 하지만 이들의 논문에서는 1 자유도 시스템만 다루어 왔다. 전자기 션트 감쇠기는 압전 션트 감쇠기와 비슷한 개념으로서 전자석과 외부 회로를 통하여 구조물의 진동을 흡수하고 분산시키는 감쇠기이다.

† 교신저자; 전남대학교 기계시스템공학부
E-mail : ikoh@chonnam.ac.kr
Tel : (062) 530-1685, Fax : (062) 530-1689

* 전남대학교 기계공학과
** 전남대학교 기계시스템공학부

본 연구에서는 Current Flowing Electromagnetic 션트회로를 이용하여 유연체 구조물의 진동을 다중모드로 제어하였다. 전자기션트 감쇠기를 적용한 캔틸레버빔의 주파수 응답을 이론적으로 예측하였으며 실험적으로 이를 검증하였다.

2. 본론

2.1 다중모드 전자기 션트 감쇠기

Fig. 1 은 다중모드 전자기 션트 감쇠기의 개념을 보여주고 있다. 그림에서 보여주는 전자석 코일이 자기장에서 진동할 때 교류 전압이 생기고, 외부 다중모드 션트회로와 함께 공진회로를 구성하게 된다. 이때 알루미늄 보의 고유진동수가 회로의 전기적 공진주파수와 같게 되면 구조적 진동과 전기적 회로의 연성(coupling)이 생겨 전자기장으로 많은 에너지가 유입되면서 구조적인 진동이 줄게 된다.

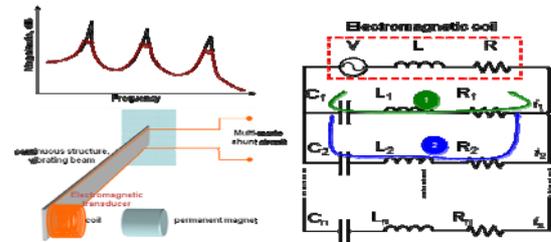


Fig. 1 Multi-mode electromagnetic shunt damper Systems

2.2 이론적 모델링

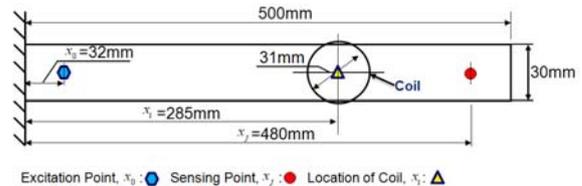


Fig. 2 Geometry of cantilever

Fig. 2 은 본 논문에서 사용한 캔틸레버빔의 크기를 보여주고 있다. 코일에서 발생하는 전자기력, 외부 가진기의 포인트 하중을 고려하여 전기-기계적으로 커플링된 캔틸레버빔의 근사적 다자유도 지배방

정식은 식 (1)에서와 같이 표현할 수 있다. 식 (1)을 외부 선트회로와 함께 행렬 형태로 표현하면 식(2)에서 보여주는 것과 같다. 따라서 변위 값은 식(3)에서 처럼 표현 할 수 있고 최종 $x=x_j$ 에서의 변위 값은 식(4)에서와 같이 표현 된다.

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{W}}(t)+\mathbf{C}\dot{\mathbf{W}}(t)+\mathbf{K}\mathbf{W}(t)=-\Phi\mathbf{i}(t)+\mathbf{F}^0 f^{shaker}(t) \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M} & \mathbf{0} \\ -\Phi^T & \mathbf{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\mathbf{W}} \\ \ddot{\mathbf{i}} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{C} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{R}^* \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\mathbf{W}} \\ \dot{\mathbf{i}} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K} & \Phi \\ \mathbf{0} & \mathbf{C}^* \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{W} \\ \mathbf{i} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{F}^0 \\ \mathbf{0} \end{Bmatrix} f^{shaker}(t) \quad (2)$$

$$\begin{Bmatrix} \mathbf{W} \\ \mathbf{i} \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} -\omega^2 \begin{bmatrix} \mathbf{M} & \mathbf{0} \\ -\Phi^T & \mathbf{L} \end{bmatrix} + i\omega \begin{bmatrix} \mathbf{C} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{R}^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K} & \Phi \\ \mathbf{0} & \mathbf{C}^* \end{bmatrix} \end{pmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} \mathbf{F}^0 \\ \mathbf{0} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

$$w_j(t) = w(x_j, t) = \sum_{i=1}^n \psi_i(x_j) W_i(t) = \Psi(x_j)^T \mathbf{W} \quad (4)$$

2.3 결과 및 토의

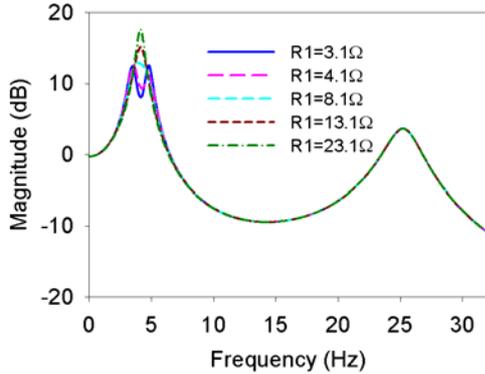


Fig. 3 First-mode tuning of electromagnetic shunt damping according to changes of resistance, R_1 , under constant resistance of $R_2=4.1\Omega$

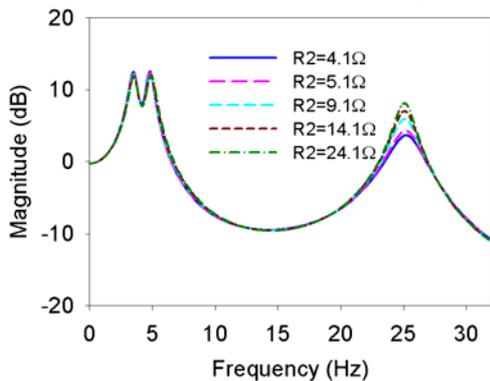


Fig. 4 Second-mode tuning of electromagnetic shunt damping according to changes of resistance, R_2 , under tuned state of the first mode with $R_1=3.1\Omega$.

Fig. 3 은 2 차모드를 제어 가능한 R_2 값을 고정 시키고 1 차모드를 제어 가능한 R_1 의 값이 변화할 때의 캔틸레버 빔의 주파수 응답을 보여 주고 있다.

그림에서 고정 저항값을 갖는 2 차모드는 그의 변화가 없지만 1 차모드는 저항 값이 커질수록 진폭이 커짐을 확인 할 수있었다. Fig. 4 는 1 차모드를 제어 가능한 R_1 값을 고정 시키고 2 차모드를 제어 가능한 R_2 의 값이 변화할 때의 캔틸레버 빔의 주파수 응답을 보여 주고 있는데 이는 Fig. 3 에서와 반대로 1 차모드는 그의 변화가 없고 2 차모드는 저항값에 따라서 변화 하는 것을 알 수 있었다. Fig. 4 는 다중모드 전자기 선트 감쇠기를 사용하였을 때와 하지 않았을 때의 주파수 응답함수를 이론 및 실험적으로 보여 주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 20Hz 부근에서 약간의 노이즈가 보이긴 하지만 1 차 2 차 공진점 부근에서는 이론 및 실험적으로 잘 일치함을 나타내고 있다. 또한 1 차 및 2 차 고유진동수에서의 진폭이 각각 25dB와 10dB 정도의 감쇠가 있음을 알 수 있다.

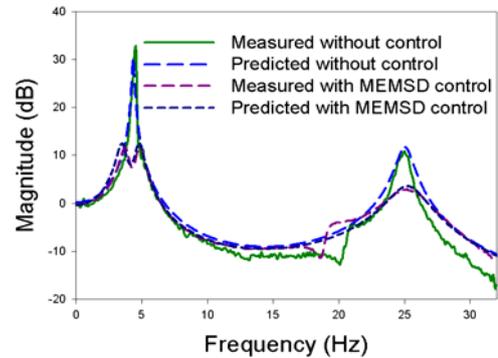


Fig. 4 Experimental and analytical frequency response functions of the cantilever beam without/with multimode shunt damper ($R_1=3.1\Omega$, $R_2=4.1\Omega$)

3. 결론

본 논문에서는 새로운 수동진동 감쇠 방법인 다중 모드전자기 선트 감쇠기를 이용한 빔의 진동감쇠 특성에 대하여 이론 및 실험적으로 접근하였다. 이론적으로 계산된 주파수 응답함수는 실험적으로 얻은 결과와 잘 일치함을 보였고 1 차 및 2 차 고유진동수에서 각각 25dB와 10dB의 큰 감쇠를 보였다. 2 차 모드 같은 경우는 노드점이 존재하므로 코일의 부착 위치에 따라서 감쇠 효과가 틀려 질 수 있다. 따라서 향후 연구로는 2 차 모드의 최적화 위치를 고려한 다중 모드 전자기 선트 감쇠기에 대하여 연구하고자 한다.

후 기

이 논문은 2008 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 국가지정연구실사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R0A-2008-000-20012-0)