

# 전자기 션트 감쇠기를 이용한 빔의 진동억제에 관한 연구

## Vibration Suppression of Beam by Using Electromagnetic Shunt Damper

성태홍\*·임승현\*\*·오일권†  
Cheng Tai-Hong, Lim Seung Hyun, Oh Il Kwon

**Key Words** : electromagnetic shunt damper(전자기 션트 감쇠기), resonance circuit(공진회로)

### ABSTRACT

In this paper the electromagnetic shunt damper was newly employed for vibration suppression of the flexible structures. The electromagnetic shunt damper consists of a coil and a permanent magnet. The ends of the coil were connected to the RLC shunt circuit. The numerical solutions of resonant frequency of the shunt circuits were calculated by using Pspice. The vibration and damping characteristics of the flexible beams with the electromagnetic shunt damper were investigated by tuning the circuit parameters. Also, the effect of the magnetic intensity on the shunt damping was studied with the variation of the gap between the aluminum beam and the permanent magnet. Present results show that the magnet shunt damper can be successfully applied to reduce the vibration of the flexible structures.

### 기호설명

- d: 알루미늄 보와 영구자석 사이의 거리
- C, C1: 캐패시턴스
- L: 인덕턴스
- R: 코일의 저항
- R1, R2, R3, R4: 등가 인덕터의 저항
- Z: 션트 회로의 임피던스
- X: 리액턴스
- E: 회로에 걸리는 총 전압

## 1. 서론

현재 사회가 발전하고 생활수준이 높아짐에 따라서 사람들은 자신이 생활하고 있는 주위 환경에 대한 요구가 높아지고 있다. 특히 가정에서 사용하고 있는 가전제품, 공장에서 운전중인 기계, 그리고 도로에서 달리고 있는 자동차 등에서 발생하는 소음과 진동문제는 사람들의 많은 관심을 끌고 있다. 이런 소음과 진동은 불가피 하지만 최대한 줄여주는 것이 매우 중요하다. 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. 점탄성재료는 넓은 주파수 범위 내에서 감쇠능력을 갖고 있다. 하지만 온도에 대해 민감하고 낮은 강성을 가지고 있으므로 담당할 수 있는 변형에

너지 분율이 작다는 단점이 있다[1]. 능동적 진동제어 방법은 그 효과 면에서는 수동진동감쇠방법보다 우수한 성능으로 보이지만 구현을 위해서는 감지기, 제어기, 구동장치 등 복잡한 제어 장비들을 요구하고 복잡한 제어 알고리즘을 요구하게 된다. 전자석 작동기는 구조물과 비 접촉 상태에서 진동제어를 할 수 있는 장점을 가지고 있으며 많은 연구가 진행되어 왔다. Fung 등[2]은 전자석 작동기를 이용하여 끝단에 매스(tip mass)가 달린 보의 진동감쇠에 대하여 이론적으로 모델링을 하고 실험을 수행 하였다.

RLC 전기회로에서 전기적 공진이 발생하게 되면 공진점에서 회로의 전류는 최대가 된다. 이 원리를 이용하여 Flotow 등[3]은 압전재료와 외부회로를 이용하여 보의 수동감쇠에 적용하였으며 좋은 감쇠효과를 얻었다. 여기서 압전재료는 RLC 공진회로의 캐패시터 역할을 하였다. 뿐만 아니라 압전재료를 이용한 션트감쇠기에 대한 연구는 많은 연구자들에 의하여 연구 되었다. 본 논문에서는 압전재료가 아닌 전자석 코일과 외부회로를 이용하여 알루미늄 보의 진동감쇠에 적용하고자 한다. 여기서 코일은 인덕터 역할을 한다. 전자기 션트 감쇠기의 모형은 Fig. 1에서 보여주는 것과 같다.

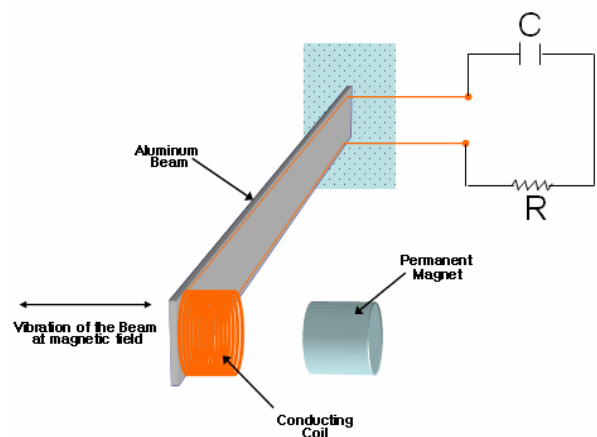


Fig. 1 Schematic drawings of electromagnetic shunt damper

† 교신저자; 오일권

E-mail : ikoh@chonnam.ac.kr

Tel : (062) 530-0076, Fax : (062) 530-1689

\* 전남대학교 기계공학과

\*\* 전남대학교 기계공학과

Fig. 1 에서 보여주는 전자석 코일이 자기장에서 진동할 때 교류 전압이 생기고, 외부회로와 함께 RLC 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.

본 논문에서는 새로운 수동진동 감쇠 방법인 전자기 션트 감쇠기를 제안하였으며 이를 이용하여 빔의 진동감쇠를 실험적으로 접근하였다. 먼저 이론적으로 및 Pspice 를 이용하여 전기적 션트회로의 공진주파수를 알루미늄 보의 공진주파수와 일치 시켰고 이를 토대로 RLC 회로의 초기 설정값을 얻었다. 실제 코일의 인덕턴스 값이 너무 작기 때문에 등가 인덕터(synthetic inductor)를 추가하였고 저항 값을 바꿔가면서 공진점을 튜닝하였다. 전기적 공진주파수와 기계적 공진주파수가 일치 하는 영역에서 진동이 효과적으로 줄어드는 것을 확인하였다. 또한 자장의 변화에 대한 영향을 고찰하기 위하여 영구자석과 알루미늄 보 사이의 거리 d 값을 조절하면서 진동감쇠 특성을 고찰 해 보았다. 이중코일과 삼층 코일을 사용하였을 때의 주파수 응답함수를 살펴 보았으며, d 값이 10mm 일 때 20dB 정도의 감쇠를 보였다.

## 2. 수동감쇠 원리

### 2.1 션트 회로의 공진주파수 튜닝

전자기 션트 감쇠기가 감쇠효과를 가지기 위해서는 션트 회로의 전기적 공진주파수와 구조물의 공진주파수가 근접하여야 한다. 본 연구에서 사용된 코일이 부착된 알루미늄 보의 공진주파수는 각각 14.45Hz(이중코일)와 15.85Hz(삼층코일)이다. 션트 회로의 전기적 공진 주파수는 이론적, 및 Pspice 를 통한 시뮬레이션을 통하여 확인 하였다. Fig. 2 는 본 연구에서 사용한 등가인덕터를 포함한 RLC 션트 회로의 회로도를 보여주고 있다.

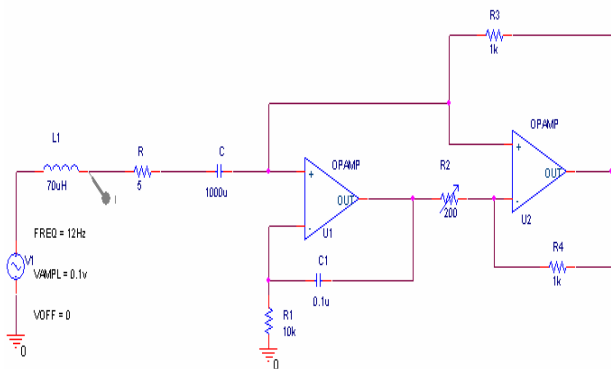


Fig. 2 Resonant shunt circuit

Fig. 2 에서 보여주는 션트 회로의 전류 크기는 식 (1)과 같이 표현 할 수 있다. 여기서 E 는 코일에서 발생하는 전압이라고 생각하면 된다. Z 는 전체 회로의 임피던스이고 식 (2)에서 보여주는 것과 같다. 회로의 전류 값이 최대가 되기 위해서는 리액턴스 X 값이 0 이 되어야 한다. 이때 X 값은 식 (3)에서 보여주는 것과 같다.

$$I_r = \frac{E}{Z} \quad (1)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L_1 + \omega L - \frac{1}{\omega C})^2} \quad (2)$$

$$= \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$X = \omega L_1 + \omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \quad (3)$$

따라서

$$\omega L_1 + \omega L = \frac{1}{\omega C} \quad (4)$$

회로의 공진 주파수를 계산하는 식은 다음과 같이 표현 된다. 여기서 L 은 등가 인덕터의 인덕턴스 값이며 식 (6)에 의하여 계산된다. 등가 인덕터의 회로도는 Fig. 3 에서 보여 주는 것과 같다.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_1 + L)C}} \quad (5)$$

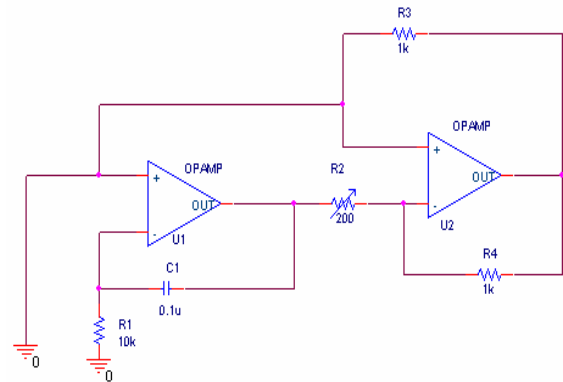


Fig. 3 Synthetic inductor

$$L = \frac{R_1 R_2 R_3 C_1}{R_4} \quad (6)$$

Fig. 7 은 Pspice 프로그램을 이용한 주파수 응답 선도를 보여 주고 있다

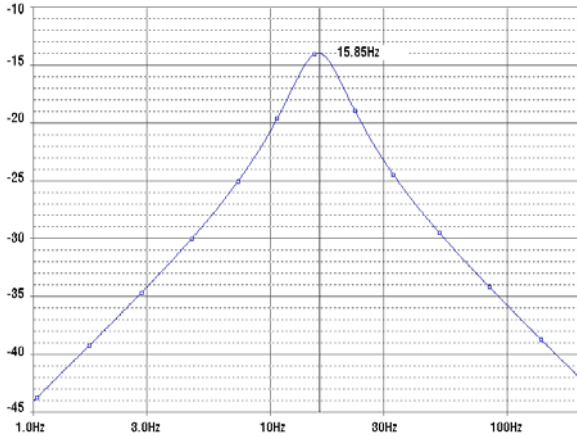


Fig. 7 Frequency response curve of shunt circuit by using Pspice

Table. 1 은 선트 회로의 이론해 및 Pspice 를 이용한 수치해석 결과값을 보여 주고 있다. 이론적 및 Pspice 시뮬레이션을 통한 수치해석 결과 값이 매우 근접함을 확인 할 수 있었다. 이로서 회로 구성의 정확성을 확인하였고 이를 토대로 실제 실험에서 공진점을 튜닝 하였다.

Table 1 Theoretical and numerical solution of resonant frequency of shunt circuit

Coil type	Resonant Frequency of Circuit (Hz)	
	Theory	Simulation
Double layer	15.9	15.8
Triple layer	14.46	14.4

### 3. 실험 및 장치

#### 3.1 선트 감쇠기 실험장치

본 논문에서 사용한 알루미늄 보의 형상은 Fig. 8 에서 보여 주는 것과 같다. 전자기 선트 감쇠기에 사용되는 코일은 각각 이중코일(위)과 삼층코일(위)을 사용하였다. 그림에서 보여주는 두 알루미늄 보의 두께는 모두 3mm 이다. 코일은 직경이 0.7mm 인 구리선을 사용 하였다.

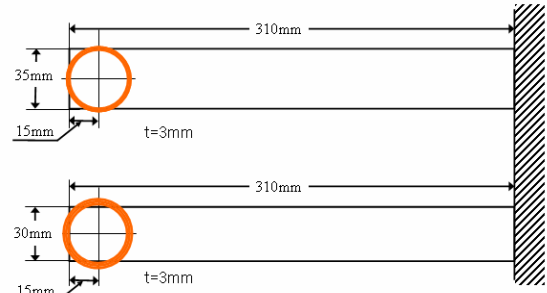


Fig. 8 Geometry and dimension of cantilever beams with conductive coil

Fig. 9 는 전자기 선트 감쇠기의 실험원리를 도시적으로 보여주고 있다. LabVIEW 프로그램을 이용하여 FRF(frequency response function)을 살펴보고 그림과 같이 가진기로 가진하였고 레이저센서로 센싱하였다.

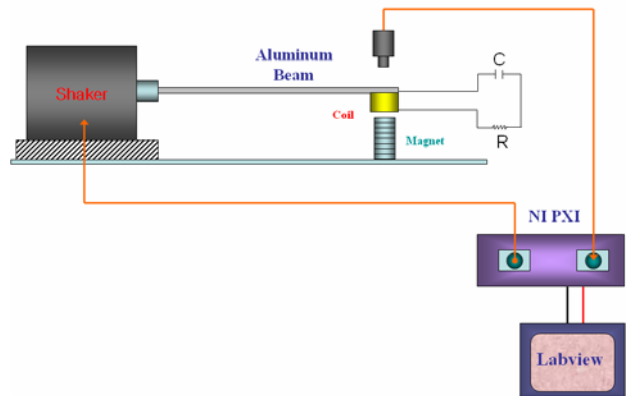


Fig. 9 Experimental set-up

#### 3.2 실험결과

Fig. 10 은 선트 감쇠 효과를 검증하기 위하여 30mm×2mm×310mm 알루미늄과 이중코일을 사용하였을 때의 튜닝 결과를 보여 주고 있다. 공진주파수 부근에서 나타 붐이 생기면서 뚜렷한 진동 감쇠 효과를 보여주고 있다. 근접한 두 개의 공진주파수가 생기면서 낙타봉 형태의 주파수 응답선도를 보여주며, 뚜렷한 진동감쇠효과를 보여주고 있다. Fig. 11 과 Fig.12 은 각각 이중코일을 사용하였을 때와 Tree layer 코일을 사용하였을 때의 주파수 응답함수를 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 선트 감쇠기를 사용하였을 때 공진점에서 진동이 뚜렷이 감쇠되는 것을 확인 할 수 있다. 특히 자석과 알루미늄 보 사이의 거리가 가까울수록, 즉 d 값이 작을수록 진동 감쇠 효과가 더욱 뚜렷하다. 또한 코일의 Layer 수가 증가할수록, 즉 코일의 인덕턴스 값이 증가 할수록 진동 감쇠효과가 더욱 커진 다는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 d 값이 10mm 일 때 각각

20dB 정도의 진동 감쇠효과가 있는 것을 확인 하였다.

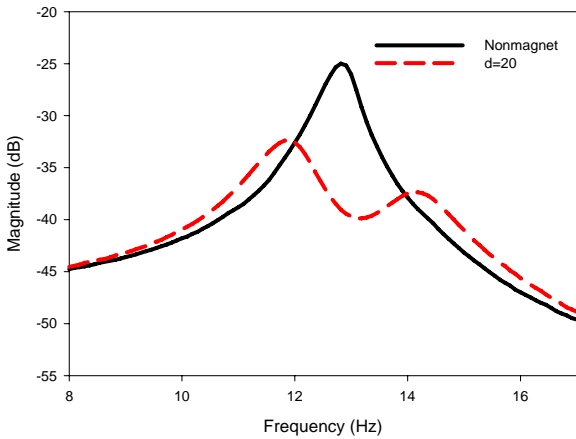


Fig. 10 Frequency response function of shunt damper (double layer)

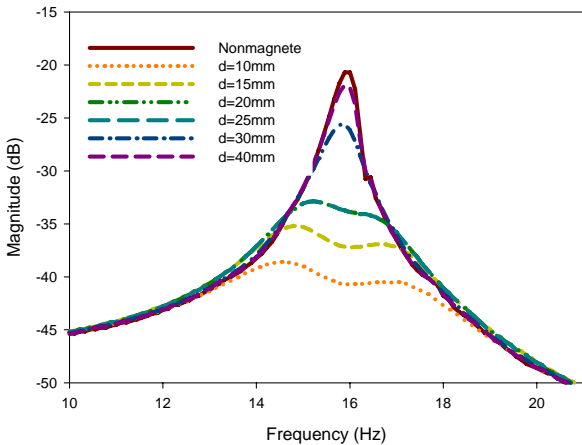


Fig. 11 Frequency response function of shunt damper (double layer)

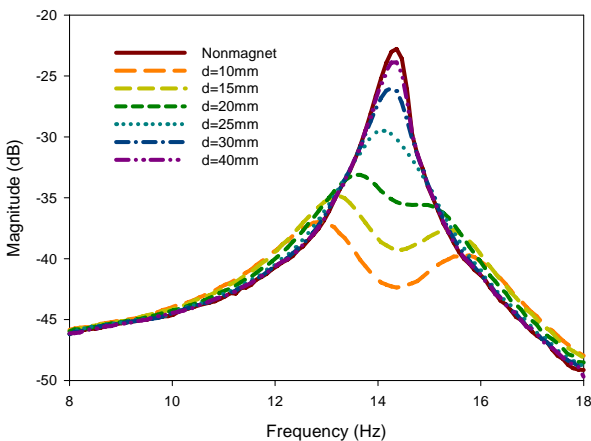


Fig. 12 Frequency response function of shunt damper (triple layer)

## 4. 결론

본 논문에서는 새로운 수동진동 감쇠 방법인 전자기 션트 감쇠기를 이용한 빔의 진동감쇠 특성에 대하여 실험적으로 접근하였다. 션트 회로의 전기적 공진주파수는 이론해 및 Pspice 를 통한 시뮬레이션을 통하여 계산되었다. 전기적 공진점과 기계적 공진점이 튜닝 되었을 때 진동이 뚜렷이 줄어드는 것을 확인하였다. 또한 자장의 변화에 대한 영향을 고찰하기 위하여 영구자석과 알루미늄 보 사이의 거리 d 값을 조절하면서 진동감쇠 특성을 고찰해 보았다. d 값이 작을수록 즉 코일을 통과하는 자장이 클수록 감쇠효과가 더 크다는 것을 확인하였다. d=10mm 일 때 최대 20dB 정도의 진동 감쇠효과를 보였다.

## 후 기

본 논문은 전남대학교 BK 사업단 지능형기계시스템사업단에 의하여 지원 되었음.

## 참 고 문 헌

- (1) 윤명석, 1999, " Piezoelectric material 을 이용한 수동진동감쇠에 관한 연구" , 서울대학교 석사학위논문.
- (2) Fung, R. F., Liu, Y. T., Wang, C. C., 2005, " Dynamic model of an electromagnetic actuator for vibration control of a cantilever beam with a tip mass," Journal of Sound and Vibration, Vol. 288, pp. 957~980.
- (3) Hagood, N. W., Flotow, A. V., 1990, " Damping of structural vibrations with piezoelectric materials and passive electrical networks," Journal of Sound and Vibration, Vol. 146, No. 2, pp. 243~268.