

자석과 코일을 이용한 빔의 진동 억제

Vibration Suppression of Beam Using Magnet and Coil

성태홍† · 정정환* · 오일권**
 Cheng Tai-Hong, Jung Jung Hwan, Oh Il Kwon

Key Words : Vibration suppression, magnet actuator, eddy current, PPF controller

ABSTRACT

Coil inductor has been used widely as an electromagnet, because of the high magnetic field resulting from the voltage applied to the coil. In this study the coils were used in vibration suppression as an actuator. The control system consists of a coil attached in aluminum beam and a permanent magnet set at its bottom. This actuation method is easy to be incorporated into the system and allows significant forces to be applied without contacting with the structure. Three types of coils (cylindrical type, square type, Circular sheet type) were employed in vibration suppression of cantilever beam. The positive position feedback (PPF) controller was applied to the magnet-coil actuator to suppress the first mode of vibration. Experimental results showed that the cylindrical type and square type coil made good vibration suppression efficiency under PPF controller than their eddy current damper. However, there was minimal difference for the circular sheet type coil if compared with its eddy current damper.

1. 서론

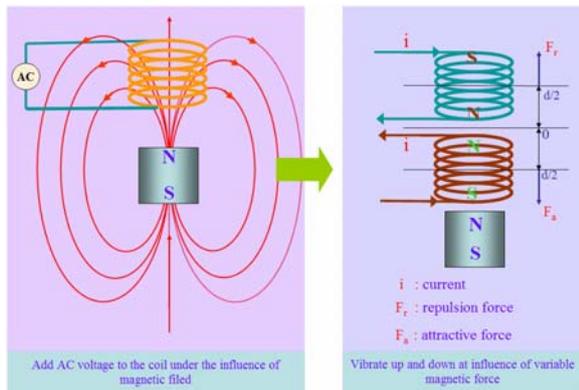


Fig. 1 The principle of electromagnet

전자석은 양단에 전압을 인가하게 되면 자기장을 형성하게 되고 이런 원리를 이용하여 항공우주 영역에서 뿐만 아니라 이런 전자석은 제어가 용의하고 큰 자기장을 형성할 수 있기 때문에 발전기, 선풍기, 스피커, 자기부상열차 등 여러 영역에서 널리 사용하고 있다. 코일도 하나의 전자석으로서 Fig. 1 에서와 같이 자기장에 놓인 코일의 양단에 교류전압을 인가하게 되면 코일은 자기력의 영향을 받아 위아래로 진동하게 된다. 코일 양단에 인가하는 전압의 크기는 코일이 받는 자기력의 크기 또는 진폭의 크기에 영향을 미치고 전압의 주파수는 코일의 진동 주파수와 같게 된다. 따라서 본 연구에서는 코일을 전자석 작동기로서 알루미늄 빔의 진동 억제에 사용하게 된다. 기존의 연구를 살펴보면 압전재료(PZT) 및 점탄성재료는 구조물의 진동제어에 널리 사용되어

왔다. 압전재료는 구조물의 진동 제어 하는데 높은 성능을 갖고 있다. 하지만 인가전압이 높아야 하며 항상 증폭기가 필요하고 또한 가격이 높은 단점을 갖고 있다. 점탄성 재료는 수동감쇠에 많이 사용되고 있지만 온도의 영향을 많이 받으며 높은 온도에서는 진동감쇠 효과가 좋지 않다. 하지만 본 연구에서 사용한 전자석 작동기는 낮은 전압에서도 작동이 가능하고 온도 등 요소에 큰 영향을 받지 않는다. Bae⁽¹⁻²⁾ 등은 와전류 감쇠기를 이용하여 구조물의 진동제어에 대하여 연구하였다(Fig. 2. a). 능동제어 기법의 하나로써 PPF (positive position feedback) 제어 기법은 우수한 제어 성능으로 진동제어에 많이 사용되고 있다⁽³⁻⁵⁾.

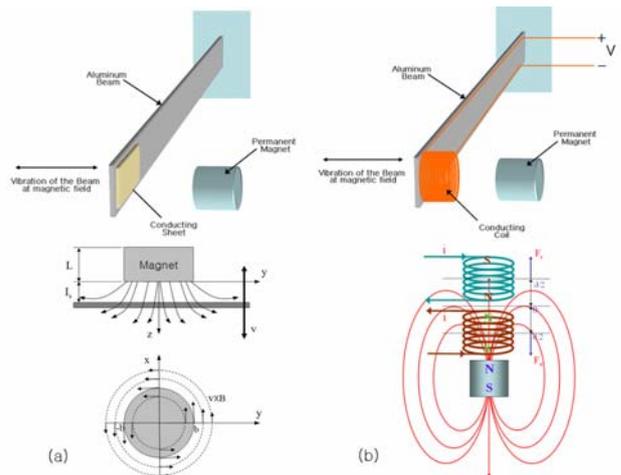


Fig.2 (a) The eddy currents induced in the cantilever beam with conducting sheet.
 (b) Magnetic force induced in cantilever beam with conducting coil

본 연구에서는 전자석 작동기를 이용하여 알루미늄 빔의 진동제어 특성을 파악해보자고 한다. 전자석 작동기는 쉽게 구조물에 부착할 수 있으며 영구자석과 코일이 접촉하지 않은 상태에서 진동 제어가 가

** 오일권: 전남대학교 기계시스템공학부
 E-mail : ikoh@chonnam.ac.kr
 Tel : (062) 530-1685, Fax : (062) 530-1689
 † 성태홍: 전남대학교 기계공학과
 * 정정환: 전남대학교 기계공학과

능하다(Fig. 2. b). 세가지 타입의 코일 (원통형, 4 각 통형, 원판형)이 빔의 진동제어에 사용 되었다. PPF 제어기법이 빔의 진동제어에 사용되었으며 1 차모드 만 제어 하였다. 실험결과를 놓고 볼 때 원통형과 4 각통형 코일은 능동제어를 상용했을 때와 와전류에 의한 수동감쇠효과에 비교하여 뚜렷이 우수함을 보였으나 원판형 코일은 그 자체의 와전류에 의한 진동감쇠 효과에 비하여 큰 차이가 없음을 확인 하였다

2. PPF 제어기법

구조물의 진동제어기법에 대한 연구는 지난 30 년 간 활발히 진행되어 왔으며 신속한 발전을 가져 왔다. 특히 항공 우주 영역에서는 많은 새로운 능동제어 기법이 발전되었다. 그 중에서 비교적 효과적인 기법이 바로 PPF제어 기법이다⁽⁶⁾. 따라서 본 연구에서는 PPF제어기법과 DSP (Digital-Signal-Processor)보드를 사용하여 구조물의 진동제어를 하였다. PPF제어기법은 구조물의 변위를 계측하여 진동 억제를 하는 기법으로서 감쇠를 증가시키고자 하는 주파수 영역을 확실하게 제어할 수 있다⁽⁷⁾. PPF 제어기를 사용한 1 자유도 진동시스템의은 다음과 같은 두개의 2 차 상미분 방정식으로 표현 할 수 있다. 그중 식 (1)은 구조물을 나타내고 식 (2)는 제어기를 나타낸다.

$$\ddot{\xi}(t) + 2\zeta_s \omega_s \dot{\xi}(t) + \omega_s^2 \xi(t) = g \omega_s^2 \eta \quad (1)$$

$$\ddot{\eta}(t) + 2\zeta_c \omega_c \dot{\eta}(t) + \omega_c^2 \eta(t) = \omega_c^2 \xi \quad (2)$$

ξ : Modal coordinate of structure

ζ_s : Damping ratio of structure

ω_s : Natural frequency of structure

g : Feed back gain

η : Control output

ζ_c : Damping ratio of compensator

ω_c : Natural frequency of compensator

위의 방정식들을 라플라스 변환을 하게 되면 제어대상 구조물과 제어기의 전달 함수를 식 (3), (4)에서와 같이 표현 할 수 있다

$$G(s) = \frac{\eta(s)}{\xi(s)} = \frac{\omega_s^2}{s^2 + 2\zeta_s \omega_s s + \omega_s^2} \quad (3)$$

$$H(s) = \frac{\xi(s)}{\eta(s)} = \frac{\omega_c^2}{s^2 + 2\zeta_c \omega_c s + \omega_c^2} \quad (4)$$

3. 실험 방법 및 결과

3.1 실험 방법

전자석 작동기를 사용하였을 때의 빔의 특성을 파악하기 위하여 Fig. 3 에서 보여주는 것과 같은 세가지 타입의 코일을 사용하였다. 알루미늄 빔의 크기는 Fig. 4 에서 보여주는 것과 같고 두께는 2mm 이다. 본 실험에서 사용한 코일은 직경이 0.7mm 총 길이가 3500mm 인 구리선을 사용하였다

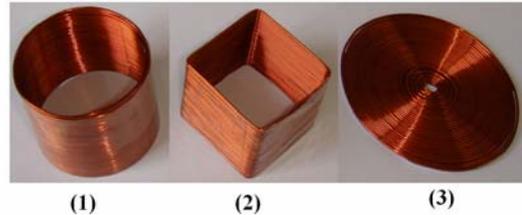


Fig. 3 Three type of copper coil.

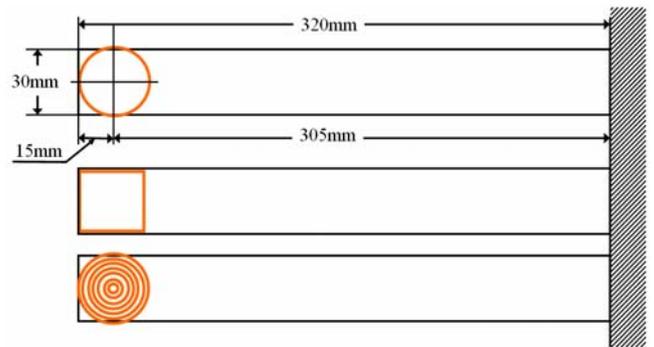


Fig. 4 Schematic showing the dimensions of the aluminum beam.

Fig. 5 는 실험방법에 대하여 설명하고 있다. 그림으로부터 알 수 있듯이 빔에는 두 개의 코일이 붙여져 있다. 하나는 빔의 중심에 붙여져 있는데 이는 원통형 전자석 작동기로서 외부에서 가해지는 힘으로 간주한다. 그리고 끝 단에 또 하나의 코일이 붙여져 있는데 이는 진동 제어하는데 사용된다. 레이저 센서를 이용하여 계측한 신호를 하나는 NI-PXI 장비와 Labview 프로그램을 통하여 FRF 를 관찰하였고 다른 하나는 DSP Board 와 dsPACE

ControlDesk 프로그램을 통하여 진동 제어 하는데 보내 준다. Fig. 6 은 MATLAB Simulink 에서의 제어기 로직과 빔의 가진 신호를 나타 내고 있다.

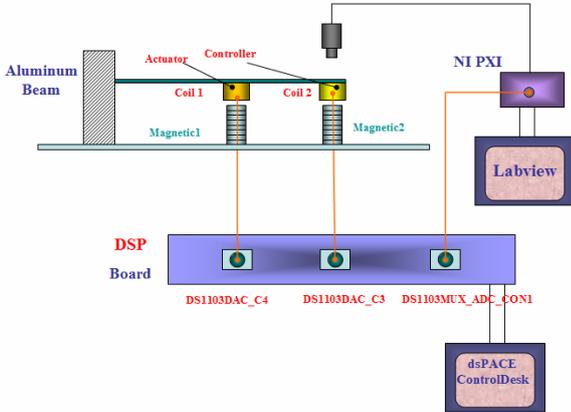


Fig. 5 Experimental set-up

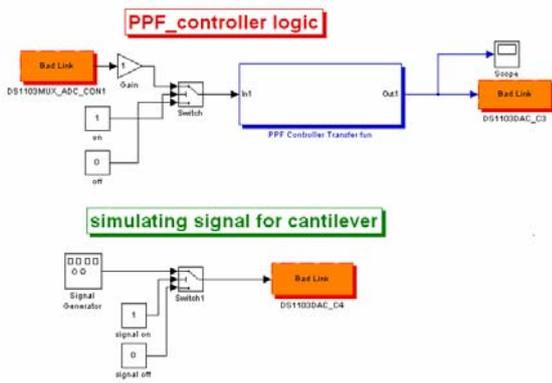


Fig. 6 PPF_controller logic and simulating signal for cantilever in Matlab Simulink

3.2 실험 결과

Fig. 6 은 원통형 타입의 작동기를 사용하였을 때 4 가지 경우(코일아래 자석이 없을 때, 코일이 단락 되었을 때, 코일이 단로 되었을 때, PPF 제어기법을 사용하였을 때)의 빔의 끝 단의 변위 값을 나타 내고 있다. 그림으로부터 원통형 코일을 사용하여 진동 제어기법을 적용하였을 때 진동억제 효과가 아주 뚜렷함을 알 수 있다. 코일의 진동 감쇠 특성을 더 정확히 파악하기 위하여 FRF를 통하여 주파수 도메인에서 살펴 보았다. Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10 는 원통형, 4 각통형, 원판형 타입의 코일을 사용하였을 때의 주파수도메인에서의 진동특성을 보여 주고 있다. 실험결과를 놓고 볼 때 원통형과 4 각통형 코일은 능동제어를 상용했을 때와 와전류에 의한 수동감쇠효과에 비교하여 뚜렷이 우수함을 보였으나 원판형 코일은 그 자체의 와전류에 의한 진동감쇠 효과에 비하여 큰 차

이가 없음을 확인 하였다. 그 이유는 아래와 같다. 코일과 영구자석 사이의 자기력을 이용하여 진동 제어를 하기 위해서는 적절한 힘을 얻기 위한 제어가 필요하다. 코일에서 발생하는 자장의 세기는 자기력의 크기에 비례하며 또한 자장의 세기는 코일을 통과하는 전류의 세기가 비례하게 된다. 그러므로 코일내부를 통과하는 전류의 세기를 적절히 조절한다면 아주 좋은 진동감쇠 효과를 얻을 수 있다. 와전류의 세기를 이용한 진동 제어의 원리도 그의 유사하지만 코일에서 발생하는 와전류의 세기는 코일을 통과하는 자속의 변화율과 관계된다. 이는 본 연구에서 사용한 직접 코일에 전압을 인가하는 방법에 비해서는 효율이 떨어지며 결과 그림에서 보여주는 것과 같다. 따라서 서로 다른 타입의 코일을 살펴 볼 때 원통형과 사각통형 같은 경우는 단면형상이 일정하여 전류를 통과하였을 때 발생하는 자장의 세기가 아주 크며 반대로 원판형 코일은 단면 내에 있는 코일의 직경의 크기가 일정하지 않으며 자장의 세기도 크지도 않다.

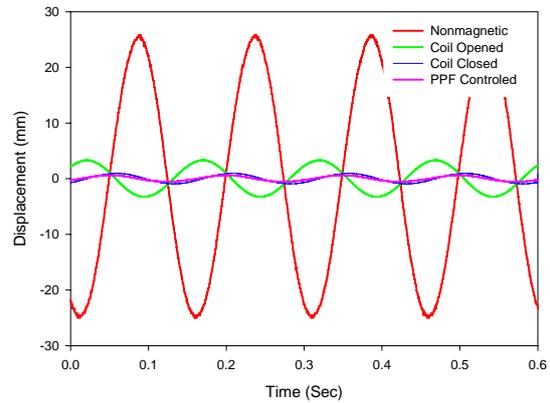


Fig. 7 Tip displacement of cantilever beam by using the cylindrical coil

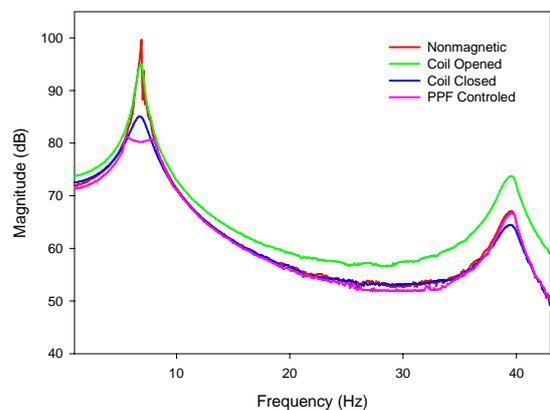


Fig. 8 Frequency response of beam by using the cylindrical type of coil.

후 기

본 연구는 국방과학연구소의 2006 년도 기초연구 사업에 의하여 지원되었음.

참 고 문 헌

(1) Sodano, H. A., Bae, J.S., Inman, D. J., and Belvin, W. K., "Concept and Model of Eddy Current Damper for Vibration Suppression of a Beam," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 284, No. 4-5, 2005, pp. 805-824.

(2) Bae, J.S., Kwak, M.K., and Inman, D. J., "Vibration Suppression of Cantilever Beam Using Eddy Current Damper," *Journal of Sound and Vibration*, 2005, Vol. 284, No. 3-5, pp. 805-824.

(3) Moon K. Kwak., Seok Heo., "Active vibration control of smart grid structure by multiinput and multioutput positive position feedback controller," *Journal of Sound and Vibration*, 304 (2007) 230- 245.

(4) Jinjun Shan, Hong-Tao Liu, Dong Sun, "Slewing and vibration control of a single-link flexible manipulator by positive position feedback (PPF)," *Mechatronics* 15 (2005) 487- 503.

(5) K. K. Denoyer., M. K. Kwak., "Dynamic Modeling and Vibration Suppression of a Slewing Structure Utilizing Piezoelectric Sensors and Actuators," *Journal of Sound and Vibration* (1996)189(1), 13-31.

(6) Thomas Hegewald., "Vibration Suppression Using Smart Materials in the Presence of Temperature Changes," Copyright 2000, Thomas Hegewald

(7) Moon K. Kwak, et. "Vibration Suppression of smart structure Using a combined PPF-SRF Control Technique. *한국소음진동공학회지*, 제 7 권, 제 5 호, pp.811-817, 1997.

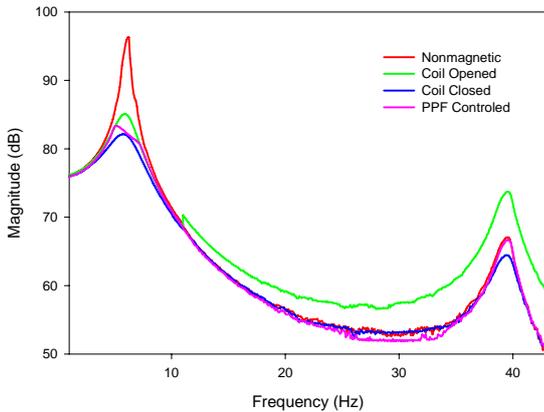


Fig. 9 Frequency response of beam by using the square type of coil.

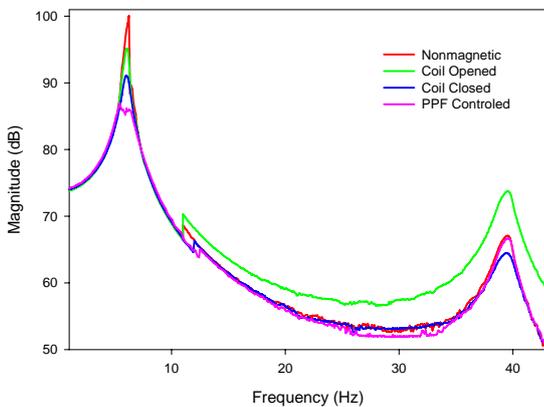


Fig. 10 Frequency response of beam by using the Circular sheet type of coil.

4. 결론

본 연구에서는 전자식 작동기를 사용하여 알루미늄 빔의 진동억제에 사용하였으며 와전류 감쇠기 사용하였을 때의 진동 억제 효과와 비교하였다. 세가지 타입의 구리코일을 사용하였으며 빔의 1 차 공진 주파수만 제어 하였다. 원통형 코일을 사용하였을 때 타임 도메인에서 아주 좋은 진동 감쇠 특성을 보여 주었다. FRF 실험 결과로부터 본 연구에서 사용한 작동기는 와전류감쇠기를 사용하였을 때보다 훨씬 좋은 감쇠 특성을 보여주고 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 원통형과 4 각통형 코일은 능동제어를 상용했을 때와 와전류에 의한 수동감쇠효과에 비교하여 뚜렷이 우수함을 입증하였으나 원판형 코일은 그 자체의 와전류에 의한 진동감쇠 효과에 비하여 큰 차이가 없음을 확인 하였다. 향후 연구로 코일 작동기를 센서-액추에이터에 적용하여 그 특성을 파악해볼 필요가 있다.