

압전 동흡진기를 이용한 구조물의 진동제어

Structural Vibration Control using a Piezoelectrical Dynamic Vibration Absorber

김상명 † · 왕세명 *

Sang-Myeong Kim and Semyung Wang

1. 서론

90년대 초 Hagood 과 von Flotow[1]가 선트회로를 이용한 수동형 압전 동흡진기(piezo-electrical dynamic absorber:EDA)를 소개한 이래 압전소자는 유연 구조물의 진동제어에 폭넓게 이용되고 있다[2]. 최근에는 능동형 동흡진기도 소개되었다 [3]. 본 논문은 이러한 수동형 및 능동형 압전 동흡진기의 동력학적 해석과 최적설계에 관한 것이다. 여기서 수동형 선트회로는 저항//코일 병렬연결계에 국한하고 능동형은 가속도를 2 차 저대역통과필터를 통과시켜 구현한다. 동력학적 해석은 임피던스-모빌리티법을 이용하고 최적설계는 강건최적제어이론을 이용한다.

새로운 동력학적 해석을 통해 수동형과 능동형 동흡진기가 비록 방식은 다르지만 정확히 동가 시스템임을 밝힌다. 또한 이 두 시스템을 질량-스프링-댐퍼로 구성된 기계적 동가 시스템으로 나타낸다. 최적의 동흡진기 변수(질량, 스프링, 댐퍼)는 구조물 속도의 주파수 응답을 가장 평탄하게 만드는 것을 목적 값으로 놓고 수행한다 [2]. 간단한 수식 형태의 최적 해를 제시하고 끝으로 강건최적제어이론을 이용해 위의 최적설계는 2 dB의 진동증가(control spillover)를 용인하는 강건제어임을 밝힌다.

2. 본론

2.1 동흡진기 해석

그림 1은 수동형 및 능동형 압전 동흡진기를 보인다. 임피던스-모빌리티법을 이용한 수동형의 해는 식(1)이다 [4].

$$v = \frac{Y_s}{1 + Y_s Z_{CA}} F, \quad (1)$$

where Y_s : structural mobility, Z_{CA} : coupled impedance of the absorber, v : structural velocity, F : external force.

이 해는 제어관점에서 식(2)로 표현된다.

$$v = \frac{G(j\omega)}{1 + G(j\omega)H(j\omega)} F \quad (2)$$

where $G(j\omega) = Y_s$: the plant, $H(j\omega) = Z_{CA}$: controller.

식 (1,2)는 같은 시스템을 두가지 관점에서 본 것이다.

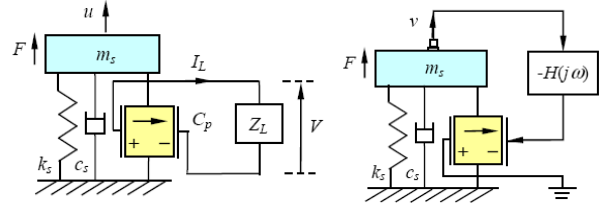


Fig. 1 Passive and active EDAs

그림 2는 저항-코일 선트회로와 동가 기계계를 보인다. 그림 3은 구조물을 포함한 전체계의 동가계이다.

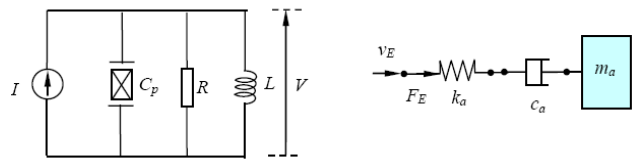


Fig. 2 R//L parallel shunt circuit

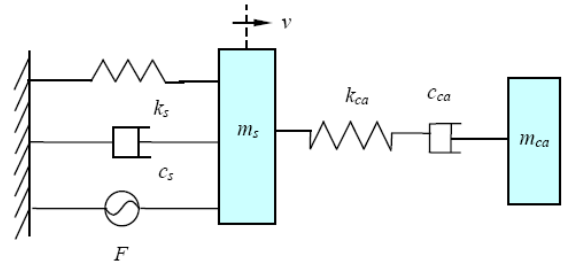


Fig. 3 Analogous mechanical model

† 교신저자; 광주과학기술원 기전공학과

E-mail : smkim123@hanmail.net

Tel : (062) 715-2416, Fax : (000) 000-0000

* 소속 상동

그림 1의 능동형 동흡진기는 그림 3의 수동형 동흡진기와 등가이기 위해선 식 (3)의 형태를 가져야 한다.

$$H(j\omega) = h\omega_a^2 \frac{j\omega}{\omega_a^2 - \omega^2 + j2\zeta_a\omega_a\omega} \quad (3)$$

where h : gain, ω_a and ζ_a : natural frequency and damping ratio.

2.2 동흡진기 설계

수동형 동흡진기는 그림 3의 v 의 주파수 응답을 가장 평탄하게 만드는 방식으로 수행한다. 스프링은 부착 압전소자에 따라 이미 결정되는 값이며 동흡진기 고유주파수는 구조물 고유주파수에 맞출 때 감쇠계수는 식(4)의 최적해를 갖는다.

$$\zeta_{a,passive} = \sqrt{\sigma/2} \quad (4)$$

where σ : mass ratio of the absorber to the structure. 한편 강건최적제어 이론을 이용하면 최적해는 식(5)이다.

$$\zeta_{a,active} = \sqrt{\frac{1-m}{2m^2}\sigma} \quad (5)$$

where $m^2 = 1-l^2$; l : degree of robustness. 식 (4, 5)가 같기 위해선 $l = \sqrt{(\sqrt{5}-1)/2}$ 이어야 하고 이는 약 2 dB의 제어넘침(control spillover)을 허용하는 제어임을 알 수 있다.

3. 실험

위 식 (4)로 대표되는 이론의 합당함을 보이기 위해 간단한 실험을 실시했다. 그림 4는 이상적인 1 자유도 운동특성을 갖는 PCB 관성가진기를 대상 구조물로 하고 여기에 수동형(스위치 3)과 능동형(스위치 4) 동흡진기를 위 이론에 따라 설계해 구성한 것이다. 각각에 대해 충격시험을 실시하여 제어 전후를 비교하였다.

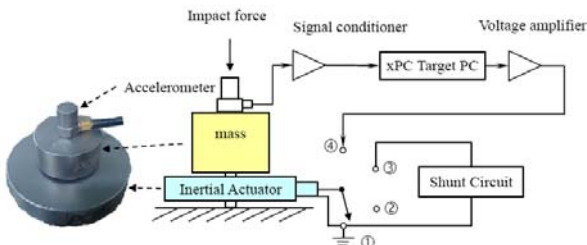


Fig. 4 Experimental setup

그림 5는 최종결과를 보여준다. 설계한대로 수동형 및 능동형 공히 제어 후 평탄한 응답을 갖고

제어영역 바깥에서의 제어 넘침량은 약 2dB 임을 확인할 수 있었다. 여기서 수동형의 진동 저감량 및 폭은 주어진 압전기계계에 따라 결정되는 최대 값이나 능동형은 식(3)의 h 값을 높이면 더 큰 진동 저감을 얻을 수 있다는데 능동형의 장점이 있다.

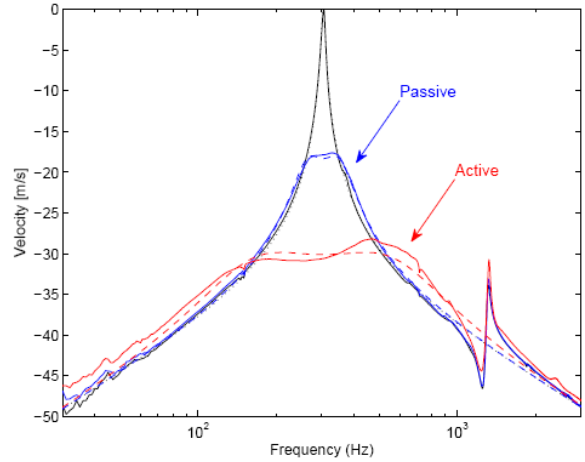


Fig. 5 Without control and with the passive and active control

4. 결론

수동형 및 능동형을 하나의 해석 틀과 하나의 설계 틀에 놓고 분석하였다. 두 시스템은 동력학적 측면에서 정확히 등가로 만들어 줄 수 있음을 보였고 최적설계 역시 같은 틀에서 수행할 수 있음을 보였다. 평탄 주파수응답을 만들어 주는 설계법은 2dB의 제어넘침을 허용하는 강건최적제어와 등가임을 끝으로 보였다.

참고문헌

- [1] N.W. Hagood, A. von Flotow, Damping of structural vibrations with piezoelectric materials and passive electrical networks, *Journal of Sound and Vibration* 146 (2) (1991) 243-268.
- [2] C.H. Park, Dynamics of beams with shunted piezoelectric elements, *Journal of Sound and Vibration* 268 (2003) 115-129.
- [3] S.M. Kim, S. Pietrzko, M.J. Brennan, Active vibration isolation using an electrical damper or an electrical dynamic absorber, *IEEE Transactions on Control Systems Technology* 16(2) (2008) 245-254.
- [4] S.M. Kim and M.J. Brennan, A compact matrix formulation using the impedance and mobility approach for the analysis of structural acoustic systems, *Journal of Sound and Vibration* 223 (1999) 97-113.