

비대칭 압전 박판 작동기를 이용한 보의 능동 진동 제어

Active vibration control for beams using one-dimensional asymmetric wafer actuators

이한울* · 홍진숙† · 정의봉**

Han-wool Lee, Chin-suk Hong and Weui-bong Jeong

1. 서 론

대형 구조물은 저주파 진동에 지속적인 노출로 인해 피로파괴가 발생할 수 있다. 이러한 저주파 진동은 능동진동제어를 통해 효과적으로 제어할 수 있다. 본 연구에서는 보 구조물 상단 면에 압전 작동기를 비대칭으로 부착시키고 DVFB(Direct Velocity Feedback) 제어를 수행하였다.

2. 비대칭 압전 작동기가 부착된 보 구조물의 운동방정식 및 응답

Fig.1은 x_p 위치에서 외란으로 작용하는 힘 f_p , x_s 에서의 속도 응답을 이용하여 DVFB 제어기 H가 생성하는 모멘트 m_x 을 x_{s1} 과 x_{s2} 위치에서 동시에 받는 길이가 L인 양단지지 보이다. 보 구조물의 운동방정식은 식(1)과 같다.

$$E(1 + j\eta)I \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \rho A \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = f_p + \frac{\partial x_x}{\partial x} \quad (1)$$

여기서 E는 Young's modulus, η 는 구조감쇠, I는 보 구조물의 단면관성모멘트, ρ 는 밀도, A는 보 구조물의 단면적, f_p 는 외력 그리고 m_x 는 능동진동 제어를 위해 제어기가 생성하는 모멘트이다. 이러한

정의는 압전 작동기의 양 끝단 x_{s1} 와 x_{s2} 에서만 모멘트가 발생한다고 가정한 것이다. 본 연구에서는 모멘트가 압전 작동기의 위치에 따라 비례하다고 가정하고, 압전 작동기가 비대칭으로 부착되면, 압전 작동기에 의해 발생하는 모멘트 또한 비대칭으로 발생하게 된다고 가정한다.

Fig.2는 두께가 $2h_b$ 인 보 구조물에 두께가 h_a 이고 길이가 s인 압전 작동기를 보 구조물 상단에 비대칭으로 부착하였을 때, 변형률에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 비대칭 압전 박판 작동기가 부착된 보 구조물의 모멘트 및 힘 평형에 의해 식 (2)와 같이 상수 K^f 가 구해진다.

$$\frac{1}{K^f} = \frac{16E_b^2 h_b^4 + E_{pe}^2 h_a^4}{12E_b E_{pe} h_b h_a (2h_b + h_a)} + \frac{E_b E_{pe} (32h_b^3 h_a + 24h_b^2 h_a^2 + 8h_b h_a^3)}{12E_b E_{pe} h_b h_a (2h_b + h_a)} \quad (2)$$

여기서 E_b 는 보 구조물의 Young's modulus, E_{pe} 는 압전 작동기의 Young's modulus, h_b 는 보 구조물의 두께의 반 그리고 h_a 는 압전 작동기의 두께이

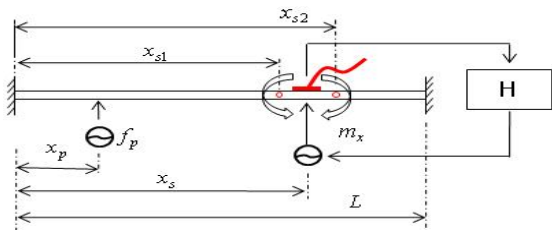


Fig. 1. 외란과 제어력이 동시에 작용하는 보의 도식도

† 교신저자; 정회원, 울산과학기술대학교 디지털기계학부
E-mail : cshong@uc.ac.kr

Tel : (055)279-3134 , Fax : (052)279-3137

* 정회원, 부산대학교 대학원 기계공학부

** 정회원, 부산대학교 기계공학부

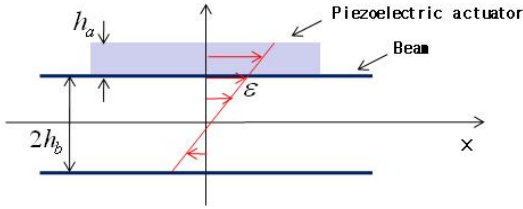


Fig. 2. 비대칭 압전 박판 작동기가 보 구조물에 미치는 영향

다. 제어기에서 생성되는 전압 ϵ_{pe} 는 압전 작동기를 거쳐 식 (2)에서 정의된 K^f 에 비례한 모멘트를 생성하게 된다.

$$m_x(x) = E_b I K^f \epsilon_{pe} \quad (3)$$

Fig.1에서 보인 보 구조물의 응답, 제어기 설계 성능에 대한 시뮬레이션을 위한 보 구조물 및 압전 작동기의 물성치는 Table 1과 같다.

Table 1 구조물 및 압전 작동기 물성치

Parameter	Value	Unit
ρ	2800	kg/m^3
A	0.0006	m^2
L	0.5	m
ζ_n	0.001	
f	1	N
x_p	0.1	m
x_{s1}	0.39	m
x_{s2}	0.41	m
h_b	0.002	m
h_a	0.002	m
E_b	60e9	N/m^2

3. Direct Velocity Feedback Control

DVFB 제어기가 적용된 능동진동제어 시스템의 블록 선도는 Fig.3과 같다. 여기서 G 는 플랜트의 전달함수이고, H_{DVFB} 는 제어기의 전달함수, V_p 는 외란에 의한 구조물의 속도, V_s 는 제어신호에 의한 G 의 속도출력신호, V_r 은 구조물의 최종 속도 거동 신호이다. 외력과 제어력이 동시에 작용할 때, 센서로부터 획득되는 신호는 식 (4)와 같다.

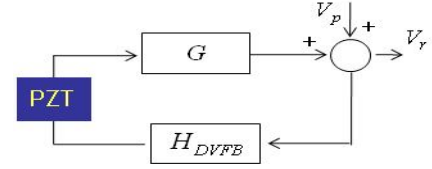


Fig. 3. DVFB 제어 시스템의 블록 선도

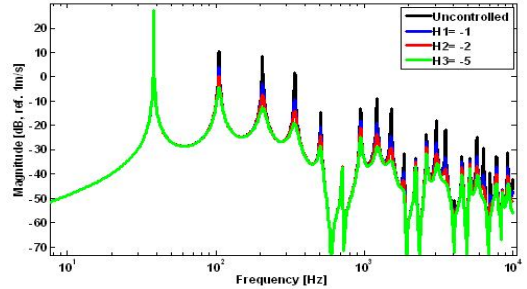


Fig. 4. DVFB 제어 전·후 속도 응답

$$V_r = V_p + V_s \quad (4)$$

Fig.4는 비대칭 압전 박판 작동기가 부착된 보 구조물의 제어 전·후 속도 응답이다. 1차 모드에 경우 Nyquist diagram에서 좌반면에 존재하는 $(-1, j0)$ 을 중심으로 하는 단위원 내부에 존재하므로 제어 게인 값이 증가함에 따라 응답이 다소 증가하였다. 하지만 2차 이상 모드에서는 진동 응답이 현저하게 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. 3차 모드에 경우는 20dB의 진동 저감 성능을 보일 것으로 예측된다.

4. 결 론

본 연구는 DVFB 제어기를 이용하여 비대칭 압전 박판 작동기가 부착된 보 구조물 설계하고, 제어기 설계 성능에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 제어 게인 값과 작동기 물성치에 따른 압전 작동기의 제어 모멘트 변화를 주어 구조물을 능동 진동 제어 할 수 있었다. 향후 실험을 통한 검증을 수행하여 설계된 제어기의 정확성을 평가할 예정이다.