

동위치 바이모프 압전 액추에이터-센서쌍에 의한 능동진동제어 Active Vibration Control using Non-Overlapped Bimorph Piezosensor and Piezoactuator Pair

이영섭†
Young-Sup Lee

1. 서 론

동위치화된 가속도계-웨이커 쌍과 같은 점 센서-점 액추에이터 조합은 직접속도피드백 (direct velocity feedback, DVFB) 제어를 적용할 때 매우 우수한 성능과 안정도를 가져 능동진동제어에 효과적이다. 이데 따라 지능재료로 많이 사용되는 압전 센서 및 압전 액추에이터의 DVFB 에 대한 적용연구는 꾸준히 진행되어 왔다. 그런데 동위치화된 압전 센서-압전 액추에이터 쌍의 조합은 상호작용에 의해 면내운동 연성 (in-plane coupling) 현상으로 인해 안정도와 성능에서 진동제어에 매우 제한적이게 된다. 이러한 문제점에 대해 새로운 개념의 동위치화된 바이모프 (bimorph) 압전 센서-압전 액추에이터 쌍의 조합을 제시하여 그 적용성을 평가하고자 한다.

2. 센서-액추에이터 응답 모델링

Fig. 1 에서 보는 것과 같이 양단고정보의 임의의 위치에 바이모프 압전 액추에이터 (길이 \times 폭 \times 두께 = $L_a \times b_a \times t_a$) 2 쌍이 보의 폭방향 양쪽끝 상하면에 길이방향으로는 같은 위치에 부착이 되었고, 바이모프 압전 센서 (길이 \times 폭 \times 두께 = $L_s \times b_s \times t_s$) 1 쌍이 보의 폭방향 중앙의 상하면에 길이방향으로는 액추에이터의 중간위치에 부착되었다. 즉, 압전 액추에이터는 보의 한쪽 끝단으로부터 x_{a1} 에서 x_{a2} 까지 겹쳐 위치하고 있으며, 바이모프 액추에이터의 상부와 하부가 반대위상 (out-of-phase)으로 동작하면 이론적으로 보의 중립축은 순수한 굽힘진동 (flexural vibration) 만을 발생시키게 되며 보의 길이방향 진동은 서로 상쇄되어 유발되지 않는다.

압전 센서는 보의 한쪽 끝단으로부터 x_{s1} 에서 x_{s2} 까지 겹쳐 위치하고 있으며, 이론적으로 바이모프 센서는 그 굽힘진동에 대한 신호만을 출력하게 된다. (out-of-phase)으로 동작하면 보의 중립축은 순수한 굽힘운동 (flexural motion) 만을 하게 된다.

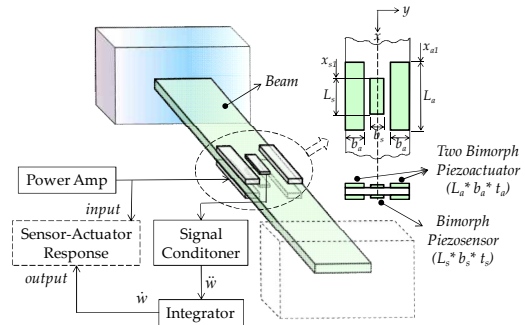


Fig. 1 A non-overlapped collocated pair of a bimorph piezo-sensor and two bimorph piezoactuators to remove the in-plane coupling of a beam.

이러한 센서-액추에이터 쌍의 배치에서는 압전 센서와 압전 액추에이터의 길이위치의 중앙점은 서로 일치한다. 즉, $x_m = (x_{s1} + x_{s2}) / 2 = (x_{a1} + x_{a2}) / 2$ 이므로 센서-액추에이터 간의 전체응답에서 면내운동연성 현상이 사라지게 되어 순수한 굽힘진동만 모델링 된다. 그러므로 압전센서에 의한 전하출력은 다음과 같게 된다.

$$q(t) = 2e_{31} h_{sen} \int_{-b_s/2}^{b_s/2} \int_{x_{s1}}^{x_{s2}} S(x) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} dx dy \quad (1)$$

또한 이 배치에서 센서-액추에이터의 응답은 아래와 같이 구해지게 된다.

† 이영섭; 정회원, 인천대학교
E-mail : YSL@incheon.ac.kr
Tel : 032-835-8656 , Fax : 032-836-8760

$$G(j\omega) = j\omega \frac{C(j\omega)}{V_3(j\omega)} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{[\phi_n'(x_{s2}) - \phi_n'(x_{s1})][\phi_n'(x_{a2}) - \phi_n'(x_{a1})]}{M_n[(\omega_n^2 - \omega^2) + 2j\zeta\omega_n\omega]} \quad (2)$$

3. 컴퓨터 시뮬레이션 결과

이러한 동위치 바이모프 센서-액추에이터 쌍 배치를 가진 양단고정보 (steel, $L \times B \times T = 300 \times 30 \times 2$ mm) 에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 Fig. 2 에 나타내었다. 여기서 압전 센서는 PZT 로서 $L_s \times b_s \times t_s = 10 \times 5 \times 1$ mm 또는 $40 \times 5 \times 1$ mm, 압전 액추에이터는 같은 PZT 로서 $L_a \times b_a \times t_a = 40 \times 10 \times 1$ mm 를 고려하였다.

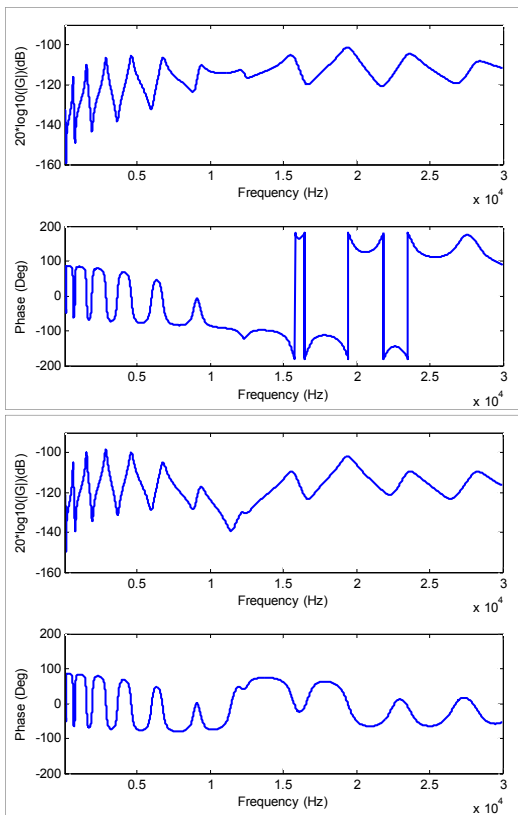


Fig. 2 Calculated sensor - actuator responses of a non-overlapped collocated system with a bimorph piezosensor and two bimorph piezoactuators. *Top*: Response when the collocated length is a quarter of the piezoactuator length. *Bottom*: Response when the collocated length is identical to the piezoactuator length.

이 시뮬레이션에서는 DVFB 제어에 있어 지극히

중요한 센서-액추에이 응답의 SPR 특성이 우선적으로 검토되었다. 그리고 더 우수한 진동제어 성능과 안정도의 확보를 위하여 센서의 길이 변화가 센서-액추에이터 응답에 주는 영향을 조사하였다.

Fig. 2 (Top)에서 보는 것 처럼, 압전 센서의 길이가 $L_s = 10$ mm (압전 액추에이터 길이 L_a 의 1/4) 일 때, SPR 응답 특성은 약 10,000 Hz 근방에서 붕괴되었다. 왜냐하면 이것은 압전 센서와 압전 액추에이터 간에 길이방향으로 상호 겹쳐진 부분이 다소 부족하기 때문이다.

반면에 압전 센서의 길이가 $L_s = 40$ mm (압전 액추에이터 길이 L_a 와 동일) 일 경우, Fig. 2 (Bottom) 와 같이 SPR 응답 특성은 30,000 Hz 까지는 붕괴되지 않았다.

이러한 결과가 보여 주는 것은 이러한 배치를 통해 비록 동위치화된 압전센서와 압전 액추에이터를 사용하면서도 면내진동연성 현상을 효과적으로 제거하고 실용적인 높은 주파수까지 DVFB 제어에 필수적인 센서-액추에이터 간의 SPR 응답특성을 확보할 수 있었다는 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 동위치 바이모프 압전 센서-압전 액추에이터 배치를 통해 비록 동위치화된 압전센서와 압전 액추에이터를 사용하면서도 면내진동연성 현상을 효과적으로 제거하고 실용적인 높은 주파수까지 DVFB 제어에 필수적인 센서-액추에이터 간의 SPR 응답특성을 확보할 수 있었다.

후 기

이 논문은 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0084728).