

# 압전세라믹이 부착된 판의 진동 제어

<sup>0</sup>허 석\*, 꺾문규\*\*

## Active Vibration Control of Plate with Piezoceramic Sensors and Actuators

Seok Heo, Moon K. Kwak

### Abstract

This paper is concerned with the experiments on the dynamic characteristics and active vibration control of plate with piezoceramic sensors and actuators. The experimental frequency response plots can be used to verify the theoretical modeling. The active vibration control was achieved by using a single-input single-output positive position feedback controller. Theoretical analysis will follow.

### 1. 서론

항공기나 우주구조물은 시스템의 중량이 성능에 미치는 영향이 크기 때문에 끊임없이 경량구조의 개발이 추구하고 있다. 구조물의 경량화는 구조강성의 저하를 수반하게 되고 강성이 작은 유연구조물은 작은 외란에 대해서도 큰 동적반응을 보인다. 외란에 대하여 능동적으로 반응하는 지능형 구조의 활용은 구조의 고성능화에 큰 기여를 하게 된다. 외란을 감지하여 제어신호를 생성, 작동시킬 수 있는 지능형 구조중 하나가 압전작동기와 감지기가 포함된 구조물이다.

압전재료가 구조물과 결합된 제어 시스템을 일반적으로 지능구조물이라고 부른다. 지능구조물에 대한 이론적인 해석은 간단한 보의 해석으로부터 출

발해 여러 가지 복잡한 구조물에 대한 해석이 사용되고 있다. 압전재료를 포함한 지능구조물의 진동제어에 성공적으로 사용된 제어기로서 Fanson과 Caughy[1]가 제안한 PPF제어기와 꺾[2-5]등이 제안한 MIMO PPF와 수정LQG 제어기 등이 있다. Crawley와 Lazarus[6]는 등방성/비등방성 판 구조물에 대하여 작동 스트레인(actuation strain)에 관한 관계식을 Rayleigh-Ritz방법을 이용하여 개발하고 보형태의 판에 대한 실험을 통하여 이론모델의 정확성을 입증하였다. Lazarus[7]등은 판 구조물에 대한 Rayleigh-Ritz 가정모드 방법을 이용하여 시스템 모델링을 하고 MIMO LQG제어를 수행하였다. 이외에도 수치해석을 통한 작동기 위치의 최적화문제[8-9]나 실험을 통한 판 구조물의 제어[10-11]에 관한 논문들이 발표되고 있다.

본 연구에서는 그동안 이론적인 해석이 시도되었으나 이론모델의 타당성이 입증되지 않았던 압전세라믹 작동기와 감지기가 부착된 판 구조물에 대

\*\* 동국대학교 기계공학과 대학원

\*\* 동국대학교 기계공학과 교수

하여 먼저 실험을 수행하고 이를 이론모델과 비교 하려는 시도를 하였다. 본 논문에서 제시하는 결과는 유한요소법이나 Rayleigh-Ritz 방법을 사용하여 압전세라믹 작동기와 감지기가 부착된 판 구조물을 해석할 경우 유용하게 이용될 수 있을 것으로 보인다.

## 2. 주파수 응답특성

실험을 위하여 Fig. 1과 같이 실험장치를 구성하였다. 구조물은 400×300×1mm의 알루미늄 판이며 “C”자형으로 된 패널에 덮개를 통하여 고정된 외팔보 형태이다. 작동기는 Piezo Systems, INC. 의 PSI-5H-S3 이며 54.6×54.6×0.191mm,  $d_{31} = -260 \times 10^{-12} \text{m/V}$ ,  $\rho = 7700 \text{kg/m}^3$ ,  $E = 61 \text{GPa}$ ,  $C_p = 470 \text{nF}$  이다. 그림에서와 같이 작동기는 판의 고정단 앞과 뒤에 4개가 부착되어 두 개의 작동기를 구성한다.

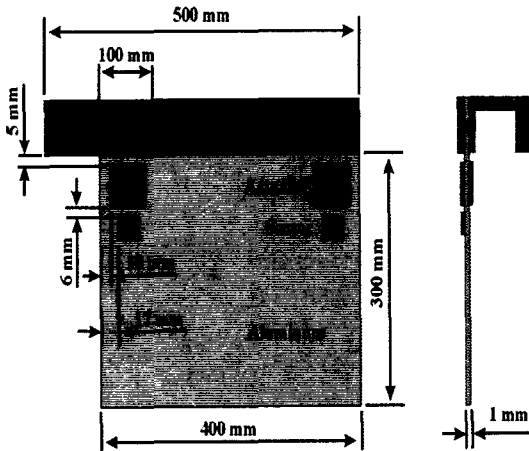
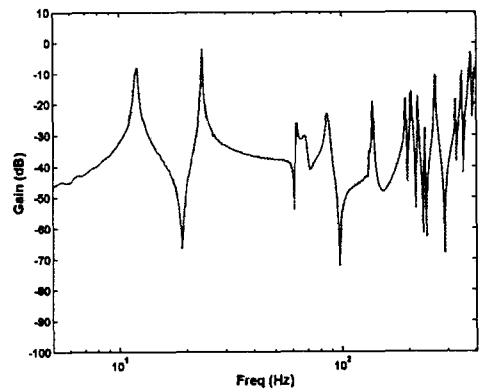


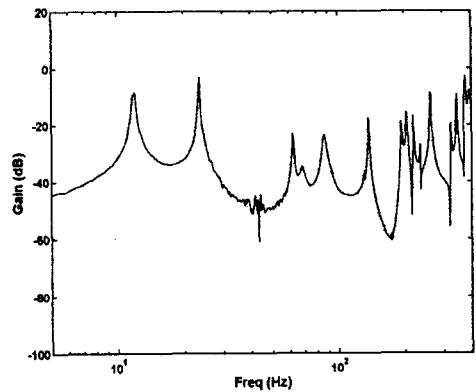
Fig. 1 Plate Model with Piezoelectric Actuators/Sensors.

2개의 감지기는 Morgan Electro Ceramics의 NAVY Type II PZT-5A 이며 38×32×0.25mm,  $d_{31} = -171 \times 10^{-12} \text{m/V}$ ,  $\rho = 7700 \text{kg/m}^3$ ,  $E = 61 \text{GPa}$ ,  $C_p = 90 \text{nF}$  이다. 압전세라믹과 구리테이프(3M)사이의 실버전극을 연결하기 위하여 Piezo Systems, INC.의 Solder & Flux kit을 사용하였다.

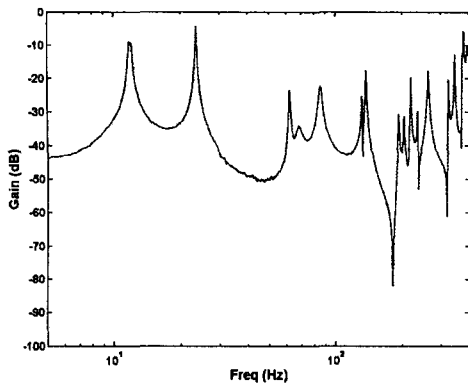
Fig 2.(a)~(d)는 HP35670A를 사용하여 얻은 4가지 경우의 주파수응답곡선이다. 주파수 범위는 5~405Hz, 반응측정평균회수는 150회, 주파수 분해능은 1600으로 Fig. 2(a)는 작동기 A1에 Periodic Chirp를 가하고 감지기 S1을 이용하여 얻은 선도이며 Fig. 2(b)~(d)는 마찬가지로 각각 A1에 대한 S2, A2에 대한 S1, A2에 대한 S2의 주파수응답곡선을 보여준다



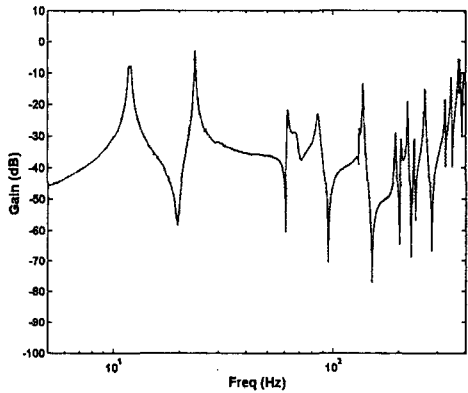
(a)A1S1



(b)A1S2



(c)A2S1



(d)A2S2

Fig. 2 Frequency Response Plots.

작동기, 감지기의 위치와 구조물의 대칭성으로 인해 Fig. 2(a)와 Fig. 2(d)는 이론적으로 동일하여야 하며 마찬가지로 Fig. 2(b)와 Fig. 2(c)도 동일해야 한다. 그림에서 알 수 있듯이 저주파수 대역에서는 거의 동일하나 주파수가 높아질수록 틀려짐을 볼 수 있다. 이점은 제어기를 설계할 때 고차모드를 효과적으로 제어하기 어려운 원인이 된다. Fig. 2의 주파수 응답곡선으로부터 구한 첫 번째 4차까지의 주파수는 Table 1과 같다.

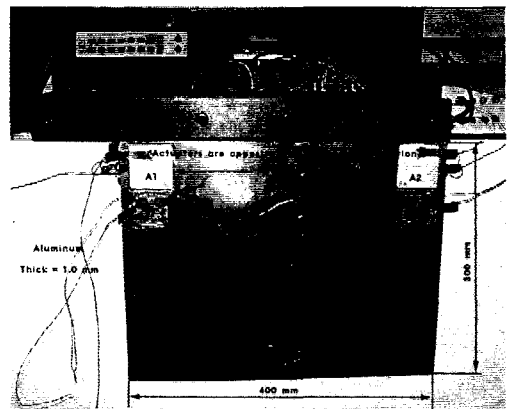
Table 1 Natural Frequency (Hz)

Type \ Freq.	1	2	3	4
A1S1	12	23.5	62.25	85.5
A1S2	12	23.5	62	85.75
A2S1	11.75	23.5	62	85.25
A2S2	12	23.5	62	85

Table 1에서 관찰 할 수 있듯이 첫 번째 4차까지의 고유진동수는 거의 일치함을 알 수 있다. 즉, 4차 모드를 포함한 제어기 설계가 유효함을 말해준다.

### 3. 진동제어 실험

동적 특성 실험결과를 바탕으로 첫 번째 주파수에 대한 제어실험을 하였다. 실험장치의 구성은 Fig. 3에서 보는 바와 같다. 판 구조물, 전하증폭기, 파워증폭기, A/D와 D/A 변환기, DSP보드를 내장한 컴퓨터로 구성된다. SISO-PPF 제어기는 첫 번째 주파수인  $\omega_f$ 는 12 Hz로 조정(tuning)되었으며 디지털화하여 DSP chip에 저장하였다. 파워증폭기의 이득은 10, 샘플링타임은 10 KHz, PPF 제어기의 감쇠비  $\zeta_f$ 는 0.3 이다.



#### 4. 토의 및 결론

본 논문에서는 판 구조물의 진동제어를 위한 기초실험결과를 제시하였다. 이 결과는 압전세라믹 작동기와 감지기를 부착한 판 구조물의 이론적인 해석과 이론 모델의 타당성을 입증하기 위해 유용하게 사용될 것으로 보인다. 제작된 판 구조물에 대해 SISO-PPF 제어기를 적용해 본 결과 진동제어를 성취할 수 있음이 입증되었다. 향후 이론적인 해석을 수행하여 이론결과를 검증할 예정이다.

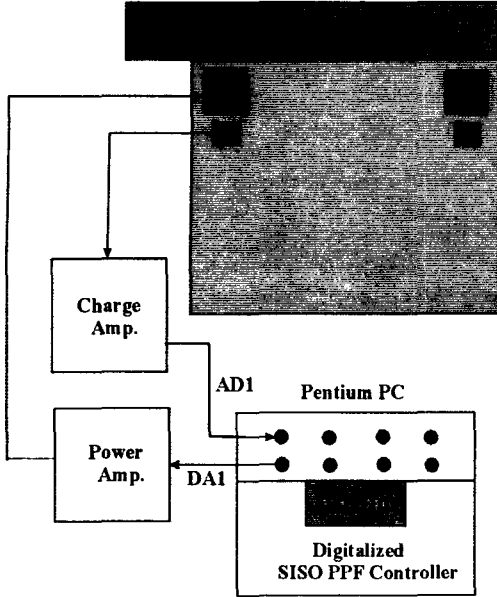


Fig. 3 Experimental Set-up.

실험을 통하여 얻은 주파수응답곡선은 Fig. 4에서 보이는 바와 같다. PPF 제어기를 적용한 결과 약 15dB의 감소효과를 얻을 수 있었다. 진동제어 실험은 이러한 판 구조물에 대해 압전세라믹 작동기의 제어성능을 검증하기 위해 수행되었으며 향후 제어기 설계의 바탕자료로 사용될 수 있을 것이다.

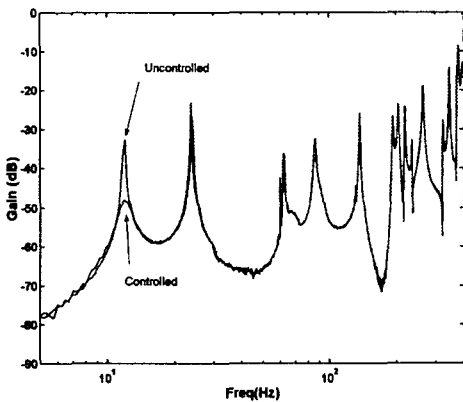


Fig. 4 Frequency Response Plot.

#### 후 기

본 연구는 국방과학연구소 위탁과제(ADD-01-5-1) 지원에 의하여 이루어졌다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Fanson, J. L. and Caughey, T. K., 1987, "Positive Position Feedback Control for Large Space Structures," AIAA Journal, Vol. 28, No. 4, April 1990, pp. 717-724
- [2] 박문규, "압전재료를 이용한 지능구조물의 능동진동제어", 한국소음진동공학회지, 제 5권 제 3호, 1995년 9월, pp. 292-302.
- [3] 라완규, 박문규, 윤광준, "압전감지기와 작동기를 이용한 복합재료 격자구조물의 능동진동제어", 한국항공우주학회지, 제25권, 제5호, 1997, pp. 76-85.
- [4] 박문규, 라완규, 윤광준, "PPF와 SRF 조합제어 기법을 사용한 지능구조물의 능동진동제어", 한국소음진동공학회지, 제7권 제5호, 1997, pp. 811-817.
- [5] 박문규, "지능구조물의 능동진동제어를 위한 다중 PPF 제어기와 수정 LQG 제어기의 비교 연구", 한국소음진동공학회지, 제 8권 제 6호, 1998, pp. 1121-1129.

- [6] Crawley, E. F., and Lazarus, K. B., " Induced Strain Actuation of Isotropic and Anisotropic Plates," AIAA Journal, Vol. 29, No. 6, 1991, pp. 944-951.
- [7] Lazarus, K. B., Crawley, E. F., and Lin, C. Y., "Multivariable High-Authority Control of Plate-Like Active Structures," Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 19, No. 6, 1996,
- [8] Dimitriadis, E. F., Fuller, C. R., and Rogers, C. A., "Piezoelectric Actuators for Distributed Vibration Excitation of Thin Plates," Journal of Vibration and Acoustics, Vol. 113, 1991 pp.100-107
- [9] Kim, Y. D., Kum, D. J., and Nam, C. H., "Simultaneous Structural/Control Optimum Design of Composite Plate with Piezoelectric Actuators," Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 20, No. 6, 1997 pp. 1111-1117
- [10] Aditi Chattopadhyay, Haozhong Gu, and Dan, D. D., "Dynamics of Delaminated Composite Plates with Piezoelectric Actuators," AIAA Journal, Vol. 37, No. 2, 1999, pp. 248-254
- [11] Falangas, E. T., Dworak, J. A., and Koshigoe, S., "Controlling Plate Vibrations Using Piezoelectric Actuators," IEEE Control Systems, 1994, pp. 34-41