

내부응력과 인가전계에 대한 압전 비선형 특성 평가

Evaluation of Piezoelectric Nonlinear Properties

According to Internal Stresses and Applied Electric Fields

강래형* · 한재흥†

Lae-Hyong Kang and Jae-Hung Han

1. 서론

최근 본 연구 그룹에서는 Fig. 1에 나타낸 압전 유니모ρφ 작동기 PUMPS(Piezoelectric Unimorph with Mechanically Pre-stressed Substrate)를 개발하여 다양한 분야에 적용을 시도하고 있다⁽¹⁾. 하지만, PUMPS의 거동 예측에 있어서 압전재료의 비선형 특성으로 인하여 고전압 인가 및 압전층 내부응력에 따라 해석 수행에 어려움이 있었다. 실제로 압전재료는 변형 이력, 크리핑(creeping), 탈분극에 의한 노화, 인가전압, 응력, 온도에 의한 영향 등 여러 비선형 특성을 가지고 있다⁽²⁾. 이러한 비선형 거동 예측을 위하여 여러 연구 그룹에서 많은 연구를 수행하였으나 재료 측면의 미시적 관점에서 접근하여 여전히 압전작동기의 거동 예측에는 한계가 있었고⁽³⁾, 인가전압 및 응력 등에 대해 변화하는 기계적인 거동을 예측한 연구도 있으나 상호간의 연계성을 고려하지 못하거나 시험 범위 등이 좁은 한계를 가지고 있었다⁽⁴⁾.

따라서, 본 연구에서는 압전작동기의 성능에 큰 영향을 미치는 탄성계수와 압전계수가 외부요인, 특히 내부응력 및 인가전계에 의해 얼마나 변화하는지 정량적으로 살펴보고자 하였다.

2. 전계에 대한 압전 물성 변화

2.1 전계에 대한 압전계수 변화

일반적으로 압전재료의 물성은 공진-반공진법을 사용하여 측정한다⁽⁵⁾. 공진-반공진법은 압전 재료의 특정 진동 모드를 이용하여 물성치를 산출하게 되는데, 매우 낮은 인가전계에 대해 측정된 물성치이므로 높은 전압을 인가한 경우에는 그 물성치가 두 배 이상 차이가 나는 문제점이 있다. 실제로 PUMPS에



Fig. 1 Outward appearance of PUMPS.

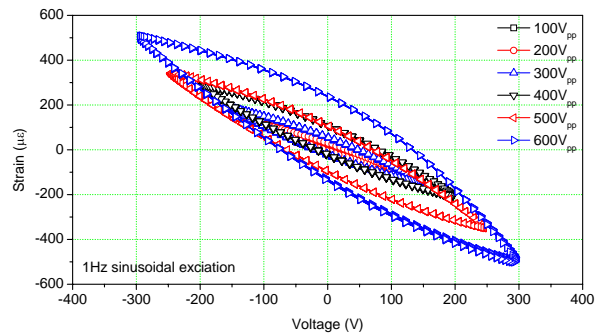


Fig. 2 Strains of PZT5A according to the voltages.

사용된 PZT5A 시편에 다양한 전압을 인가한 경우 Fig. 2와 같이 변형률 곡선의 기울기가 크게 변화함을 확인하였다. 여기서, 변형률 곡선의 기울기는 압전계수 d_{31} 을 의미하고, 이 값이 클수록 같은 전압에서 더 큰 변형을 유발함을 나타낸다. 측정된 압전계수는 2.2 절의 탄성계수 결과와 함께 Table 1에 나타내었으며, 인가전압이 클수록 압전계수도 함께 커짐을 확인하였다.

2.2 전계에 대한 탄성계수 변화

압전재료는 취성이 강하여 인장 시험을 통한 탄성계수 측정에 어려움이 있어 식 (1)과 같이 정현파 스위프(sine sweep)을 통해 1차 고유진동수 f_1 를 측정하여 압전재료의 탄성계수를 유추하는 방법을 사용하였다. 식 (1)에서 E_p 는 탄성계수, I_p 는 관성모멘트, ρ_L 는 단위 길이당 질량, L 은 길이를 뜻한다. 압전재료 시편의 크기는 $38.1 \times 12.7 \times 0.254 \text{ mm}^3$ 이고 인가전압에 따라 1차 고유진동수가 Fig. 3과 같이 변화함을 확인하였다. 100V_{pp} 인가 전압을 가한 경우의 탄성계수를

† 교신저자; KAIST 항공우주공학과

E-mail : jaehunghan@kaist.ac.kr

Tel : (042) 350-3723, Fax : (042) 350-3710

* KAIST 항공우주공학과

공진-반공진법으로 측정된 물성치인 61GPa 로 설정 하였으며, Table 1 과 같이 인가전압이 증가함에 따라 탄성계수가 줄어들음을 확인하였다.

$$f_1 = \frac{4.73^2}{2\pi} \sqrt{\frac{E_p I_p}{\rho_L L^4}} \quad (1)$$

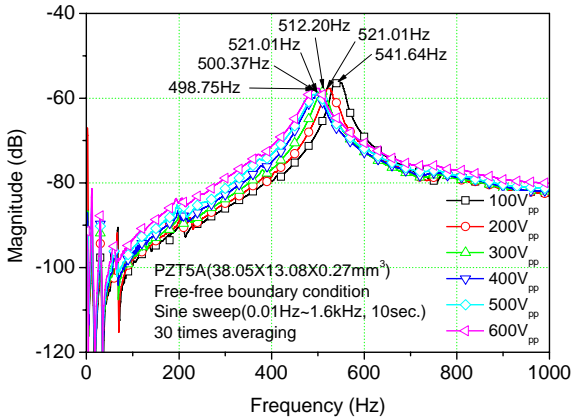


Fig. 3 Frequency response functions of PZT5A according to applied voltages.

Table 1. Piezoelectric strain coefficients and elastic moduli of PZT5A specimens.

Applied voltage	$d_{31} (\times 10^{-12} \text{m/V})$	Elastic modulus
100V _{pp}	-209.44	61.00GPa
200V _{pp}	-247.65	56.44GPa
300V _{pp}	-281.15	54.55GPa
400V _{pp}	-314.94	52.24GPa
500V _{pp}	-352.48	52.06GPa
600V _{pp}	-420.63	51.72GPa

3. 응력에 대한 압전 물성 변화

본 연구에서는 압전재료에 응력을 인가할 때 압축 응력과 인장응력으로 실험하였다. 인장응력 인가를 위해서 압전재료 양 끝단에 알루미늄 탭을 부착하고 알루미늄 탭에 추를 매달아 인장력을 주었다. 압축 응력 인가를 위해서는 얇은 스테인리스 스틸판 두 장을 인장시켜둔 상태에서 샌드위치 구조로 스테인리스 스틸판 사이에 압전재료를 부착하여 스테인리스 스틸판의 초기 인장력을 제거하여 압전재료가 압축응력을 받도록 하였다. 응력이 있는 상태의 시편에 전압을 인가하면서 Fig. 2 와 같이 압전계수를 측정하였으며, 응력이 가해진 시편의 d_{31} 값을 \bar{d}_{31} 으로

정의하고 응력이 가해지지 않은 시편의 d_{31} 값을 $\bar{d}_{31@free}$ 로 설정하였다. Fig. 4 에는 응력에 따른 \bar{d}_{31} 비율을 나타내었으며, PZT5A 에 압축응력이 가해진 경우 압전 계수 d_{31} 이 감소하고, 반대로 인장응력이 가해진 경우에는 증가함을 알 수 있었다.

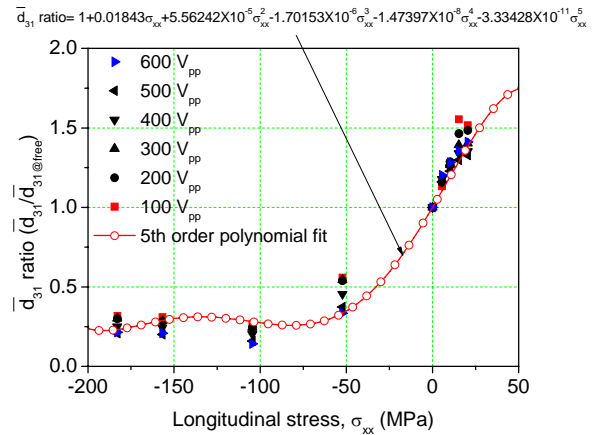


Fig. 4 \bar{d}_{31} ratio according to internal stresses.

4. 결론

본 연구에서는 압전 작동기의 탄성계수와 압전계수가 인가전계 및 내부응력에 따라 변화하는 정도를 정량적으로 분석하였다. 압전재료에 높은 인가전압을 가한 경우 압전계수가 커지고, 탄성계수는 줄어드는 것을 확인하였다. 또한, 압전재료에 인장응력이 분포하는 경우 압전계수가 커짐을 확인하였다.

후 기

본 연구는 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 우주기초원천기술개발 사업(NSL, National Space Lab) 으로부터 지원받아 수행되었습니다 (과제번호 2009-0091934).

참 고 문 헌

- (1) 강래형, 이종원, 한재홍, 정상준, 고한영, "초기응력을 가진 기저구조물을 이용한 곡면형 압전 유니모프 개발," 한국소음진동공학회지, 제 19 권, 제 1 호, pp.94-100, 2009.
- (2) K. Uchino, "Ferroelectric Devices," Marcel Dekker, Inc., 2000.
- (3) R.W. Schwartz, and Y.W. Moon, "Domain Configuration and Switching Contributions to the Enhanced Performance of Rainbow Actuators," Proceedings of SPIE, Vol. 4333, pp.408-417, 2001.
- (4) S.-H. Jang, Y.-S. Kim, S.-K. Lee, H.-C. Park, and K.-J. Yoon, "Dependency of Electric Field and Mechanical Stress on Piezoelectric Strain of PZT 3203HD," Proceedings of SPIE, Vol. 5053, pp.498-504, 2003.
- (5) <http://www.murata.com/catalog/p19e9.pdf>