

# 응력상태와 인가전압이 압전작동기의 변형률계수와 탄성계수에 미치는 영향 평가

## Evaluation of Effects of Internal Stresses and Applied Electric Fields on the Piezoelectric Strain Coefficient and the Elastic Modulus of the Piezoelectric Actuator

강래형\* · 한재홍†

Lae-Hyong Kang and Jae-Hung Han

### 1. 서론

본 연구 그룹에서는 곡면 형상을 가지도록 초기 응력(pre-stress)이 가해진 유니모프 작동기에 대한 연구를 진행하던 중 실제 제작된 작동기의 작동 변위 및 작동력이 해석으로부터 구해진 값과 상당한 차이를 보임을 확인하였다<sup>(1)</sup>. 기존 선행 연구결과에서도 압전재료는 일반적으로 인가되는 전압에 따라 비선형 특성이 강하게 나타나는 것으로 알려져 있었으며<sup>(2)</sup>, 응력 분포에 따라서도 그 특성이 달라진다는 보고가 있었다<sup>(3,4)</sup>. 하지만, 유니모프 작동기에 사용되는 얇은 판 형태의 압전재료에 대한 특성 평가가 미흡하여 본 연구에서는 응력상태와 인가전압이 얇은 압전재료 평판구조의 물성에 어떤 영향을 미치는지 살펴보았다.

압전작동기 구동시 발생하는 변위 및 힘의 경우 형상 정보 외에는 기본적으로 압전변형률계수와 탄성계수에 지배를 받게 된다. 따라서, 본 연구에서는 압전재료의 응력상태와 인가전압에 따른 압전변형률계수와 탄성계수 변화를 측정, 분석하고자 하였다.

### 2. 인가전압에 대한 압전 물성<sup>(5)</sup>

인가전압에 따른 압전변형률계수 및 탄성계수의 변화는 저자의 이전 연구<sup>(5)</sup>에서 이미 수행한 바 있다. 여기서는 실험 방법과 결과에 대해 간략히 소개를 한다. 인가전압(교류신호)에 따른 압전변형률계수  $d_{31}$  을 측정하기 위해 압전재료에 스트레인게이지를 부착하고 전압에 따른 변형률을 측정하여 그 기울기로서 압전변형률계수를 측정하였다. 한편, 인가전압에 따른 탄성계수 변화를 측정하기 위해서는 압전재료 시편을 전극과 연결된 전선으로 공중에 띄운 상태로

(free-free boundary) 1 차 고유진동수를 측정한 후 간접적으로 계산하였다. 그 결과, 압전변형률계수  $d_{31}$  은 인가전압이 클수록 증가하고, 탄성계수는 인가전압이 클수록 감소함을 확인하였다.

### 3. 응력상태에 대한 압전 물성

#### 3.1 응력에 따른 압전변형률계수 변화

압전작동기의 응력상태에 따른 물성치 변화를 살펴보기 위하여 인장시편과 압축시편을 나눠 실험을 수행하였다. 여기서 사용한 압전재료는 PZT5A( $38.1 \times 12.7 \times 0.254 \text{ mm}^3$ )이며, Fig. 1 에서 보는 것과 같이 인장 시편의 경우에는 압전재료 양 끝단에 알루미늄 탭을 부착하고 알루미늄 탭에 인장력을 가하였다. 압축시편은 스테인리스 스틸판 두 장을 인장시켜둔 상태에서 샌드위치 구조로 중간에 압전재료를 부착하여 스테인리스 스틸판의 초기 인장력 제거 후 압전재료가 압축력을 받도록 하였다. 이렇게 응력이 가해진 상태의 시편에 전압을 인가하면서 시편 표면에서의 변형률을 측정함으로써 압전변형률계수를 산출하였다. 응력이 가해진 시편의  $d_{31}$  값을  $\bar{d}_{31}$  으로 정의하고 응력이 가해지지 않은 시편의  $d_{31}$  값을  $\bar{d}_{31@free}$  로 나타내어 둘 사이의 비율을 Fig. 2 에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 길이방향으로 인장력이 가해진 경우 압전변형률계수  $d_{31}$  이 증가하고, 압축력이 가해진 경우에는 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

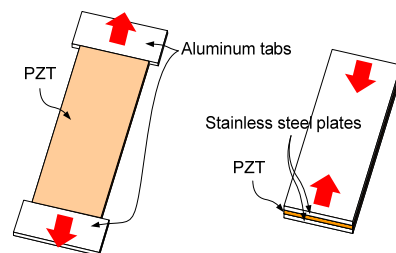


Fig. 1 Specimens for tension (left) and compression tests (right).

† 교신저자; KAIST 항공우주공학과

E-mail : jaehunghan@kaist.edu

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

\* KAIST 항공우주공학과

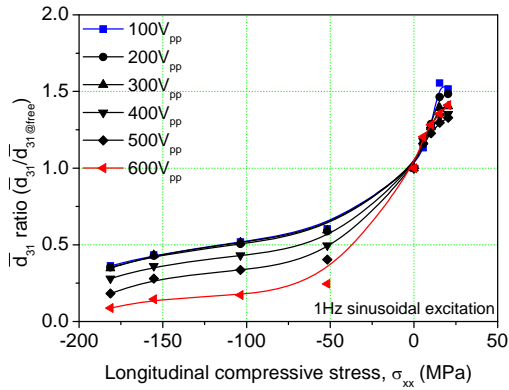


Fig. 2  $\bar{d}_{31}$  ratio under longitudinal stresses.

### 3.2 응력에 따른 탄성계수 변화

응력이 가해진 상태에서 압전재료의 탄성계수 변화를 측정하기 위하여 본 연구에서는 측정데이터의 교류응답신호가 안정화되는 영역의 평균 변형률을 측정하여 그 양만큼 탄성계수값이 변화하는 것으로 유추하였다. 압축시편의 경우 Fig. 3 과 같이 압축량 및 인가전압이 클수록 평균변형률이 음의 값으로 커졌으며, 인장시편의 경우 Fig. 4 와 같이 응력에 따라 평균변형률이 양의 값으로 커지는 특징을 보였다. 압축량에 따른 탄성계수 변화량을 ABAQUS 해석을 통해 역산출한 결과를 Table 1 에 요약하였으며, 압축

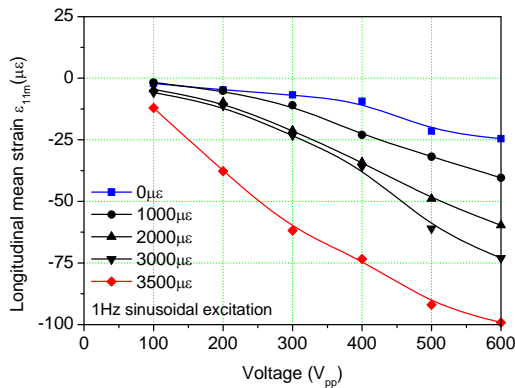


Fig. 3 Mean strains of the compression specimens.

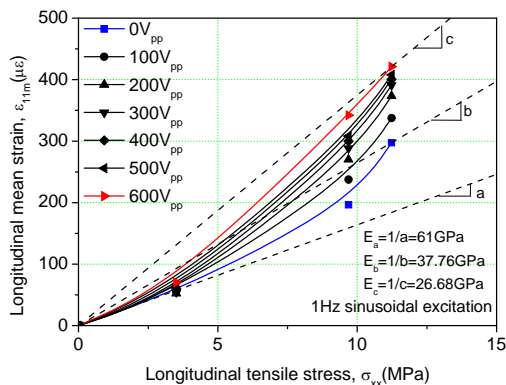


Fig. 4 Mean strains of the tension specimens.

Table 1. Elastic moduli of the compression specimens.

Voltage (\$V_{pp}\$)	Ref. <sup>(5)</sup>	Initial tension of SUS304 plates(\$\mu\epsilon\$)			
		1,000	2,000	3,000	3,500
100	61.00	60.35	60.16	60.28	59.72
200	56.44	59.10	59.20	59.63	57.03
300	54.55	56.96	57.10	58.14	54.55
400	52.24	52.66	54.79	56.61	53.38
500	52.06	49.57	52.14	53.60	51.51
600	51.72	46.62	50.26	52.18	50.78

력에 따른 탄성계수 변화는 전압의 영향만 고려한 것과 별 차이가 없음을 알 수 있었다. 하지만, Fig. 4 에서 본 바와 같이 인장응력에 따라 탄성계수가 많게는 두 배 이상 변화함을 알 수 있었다.

### 4. 결론

본 연구에서는 압전 유니모프 작동기에 사용되는 두께가 얇은 압전재료의 압전변형률계수와 탄성계수가 응력상태와 인가전압에 따라 변화하는 정도를 정량적으로 살펴보았다. 결과를 요약하면, 인가전압이 증가함에 따라 압전변형률계수  $d_{31}$  은 증가, 탄성계수는 감소하는 경향을 보였으며, 응력상태가 압축에서 인장으로 갈수록 압전변형률계수  $d_{31}$  은 증가, 탄성계수는 감소하는 경향을 보임을 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) H.H.A. Krueger, "Stress Sensitivity of Piezoelectric Ceramics: Part 3. Sensitivity to Compressive Stress Perpendicular to the Polar Axis," J. Acoust. Soc. Am., Vol. 43, pp.583-591, 1968.
- (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) 강래형, 한재홍, "내부응력과 인가전계에 대한 압전 비선형 특성 평가," 한국소음진동학회 춘계학술대회논문집, pp. 130-131, 2010.