

## 심벌 액츄에이터의 변위특성에 대한 인가전압 의존성

### Applied Voltage Dependence of the Displacement Characteristics on The Cymbal Actuator

최성영 한국교원대학교 기술교육과

김진수 한국교원대학교 기술교육과

Sung-Young Choi Dept. of Technology Ed., Korea Nat'l Univ. of Ed.

Jin-Soo Kim Dept. of Technology Ed., Korea Nat'l Univ. of Ed.

#### Abstract

In this study, the cymbal actuators with brass and bronze endcap at various endcap thickness were fabricated, and then the displacement vs applied voltage relation and position from the center of endcap relation were investigated.

The displacement values of all cymbal actuator were measured using laser vibrometer. The displacement of the cymbal actuator was increased linearly with increasing applied voltage. The cymbal actuator with 0.15mm thick brass endcap show approximately 1.3 $\mu$ m displacement more than cymbal actuator with uniformly thick bronze endcap.

The displacement about 3mm in diameter at the center of the endcap was uniform and rapidly decreased away from 3mm in diameter at the center of the endcap.

#### 1. 서론

최근 미소제어변위소자로 압전 액츄에이터가 각광을 받고 있다. 압전 액츄에이터는 미소변위제어가 용이하고 자계의 발생이 없을 뿐만 아니라, 소형화 및 경량화가 가능하다. 또한 발생력, 변위면에서 우수하여 센서기능까지 겸비할 수 있기 때문이다. 지금까지 많이 사용되고 있는 압전 액츄에이터는 주로 바이몰프(bimorph)와 다층형(multilayer)액츄에이터였는데, 바이몰프는 발생력이 작고, 다층형은 변위가 작은 각기 단점이 있었다. 위의 단점을 보완할 연구가 진행되면서 1989년 Newnham<sup>1,2)</sup>에 의해 무니(moonie) 변환기가 개발되었다. 무니변환기는 바이몰프와 다층형의 중간특성을 가지고 있어 이들 단점을 보완할 수 있었다. 그 후 무니 변환기에 대한 여러 특성이 연구되고 실용화방안에 대한 많은 연구가 진행되었다. 그 과정에서 무니 변환기의 특

성을 최적조건으로 하기 위한 연구를 하던 중 A. Dogan<sup>3)</sup>에 의해 심벌(cymbal)액츄에이터가 개발되었다. 엔드캡이 심벌 모양을 하고 있으며 무니보다 적은 재료로 쉽게 제작할 수 있다. 또한 심벌 액츄에이터는 변위와 발생력면에서 무니보다 2배이상 크기 때문에 무니액츄에이터보다 더 많은 분야에 사용될 수 있다.

본 연구는 심벌 액츄에이터를 제작하여 인가전압 및 중심거리에 따른 심벌 액츄에이터의 변위 특성을 측정·분석함으로써 차후 많은 장점을 가진 심벌 액츄에이터가 실용화되는 데 이바지하고자 한다.

#### 2. 실험

본 실험에서는 엔드캡의 윗면지름3mm, 공동깊이1.5mm인 황동과 청동엔드캡을 4가지 두께(0.15, 0.2, 0.3, 0.5mm)로 하여 엔드캡을 가공하였다. 가공한 심벌 모양의 엔드캡사이에 압전세라믹(PZT)을 접착하여 엔드캡의 두께별로 심벌 액츄에이터

를 제작하였다. 그림 1은 심벌액츄에이터의 제작 단계사진으로

①은 황동엔드캡을 일정한 크기(11.5mm<sup>2</sup>)로 절삭 가공한 모양이며,

②는 선반을 이용하여 ①을 지름 11.25mm로 원형가공한 모양이며,

③은 펀치다이셋에 ②를 넣고 프레스로 압착한 엔드캡의 모양이며,

④는 원판형 압전세라믹 상하면에 압착한 ③을 접착하기 전의 모양이며,

⑤ 압전세라믹의 상하면에 가공한 엔드캡을 접착하고 리드선을 부착하여 심벌액츄에이터가 완성된 모양이다.

그림2는 심벌액츄에이터의 구조를 나타낸 것이다. 여기에 인가 전압을 30V(이하 인가전압은 최대치  $V_{max}$ 를 말함)에서 10V씩 증가하면서 100[V]까지 변위를 측정하였으며 중심거리에 대한 변위특성은 인가전압을 60[V]로 하여 측정하였다. 그림 2은 변위측정 시스템을 나타낸 것이다. 먼저 신호 발생기(HP 33120A, U.S.A.)와 고속 전력증폭기(NF4015, Japan)를 통해 심벌액츄에이터에 전압을 인가한다. 이때 발생하는 변위는 sensor head(Polytec OFV 302, German)와 vibrometer controller(Polytec OFV 3000, German)가 감지하여 20MHz digital storage oscilloscope(HC 5802, Korean)를 통해 파형으로 나타낸다. 신호발생기의 파수주를 가변하여 파형이 가장 크게 나타나는 주파수에 고정하고 인가전압을 증가시켰다. 이 주파수는 최대 공진이 일어나는 공진주파수이다.

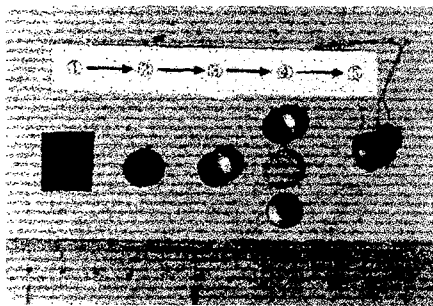


그림 1. 심벌 액츄에이터의 제작 단계사진  
Fig. 1. Fabrication process of cymbal actuator

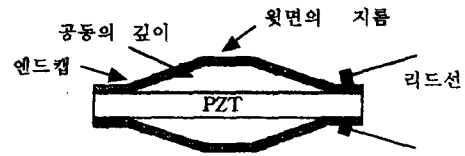


그림 2. 심벌 액츄에이터의 구조  
Fig. 2. Structure of Cymbal actuator

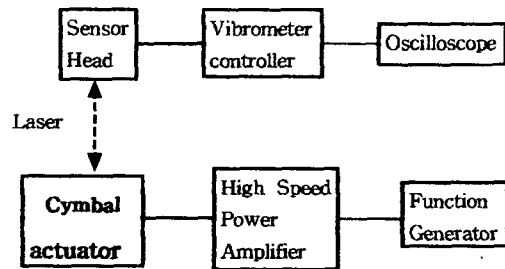


그림 3. 변위 측정 시스템  
Fig. 3. Measuring system of displacement

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 인가 전압에 따른 변위특성

그림3은 엔드캡의 두께가 0.15mm인 심벌 액츄에이터의 인가전압에 따른 변위특성 그래프이다. 인가 전압이 증가할수록 변위는 증가하였으며 청동엔드캡보다 황동엔드캡을 사용한 심벌액츄에이터가 평균1.3 $\mu$ m(엔드캡의 두께0.15mm 인 경우) 더 큰 변위를 나타냈다. 이는 경도가 작을수록 변위가 크다는 K. Onitsuka의 4인의 연구<sup>4)</sup>에서 시사한 바와 같이 황동이 청동보다 경도가 작기 때문이다. 인가 전압 100V인 경우 누설전류가 흘렀으며 이 누설전류와 압전 세라믹의 진동손실로 인하여 열이 급속히 상승하기 때문에 변위는 급속히 감소한다. 이는 이종섭의 5인의 연구<sup>5)</sup>에서 지적한 바 있다. 따라서 높은 전압인 경우 본 실험의 측정시간은 30초이내에서 측정하였다. 그림 4는 엔드캡의 두께가 두꺼운 0.5mm인 경우 변위특성이다. 청동인 경우 변위는 매우 작고 약간 증가하였고 또한 황동보다 공진주파수도 높았다. 그림 5는 황동엔드캡의 두께별 인가전압에 따른 변위특성으로 그림에서 알 수 있듯이 인가전압 증가에 따라 변위는 증가하였으며 두

께가 얇을수록 변위가 더 컸다. 이는 Burhanettin Koc의 4인의 연구<sup>6)</sup>에서 지적한 바와 같이 두꺼우면 반경 운동력을 일으킬 수 없기 때문에 변위는 감소한다.

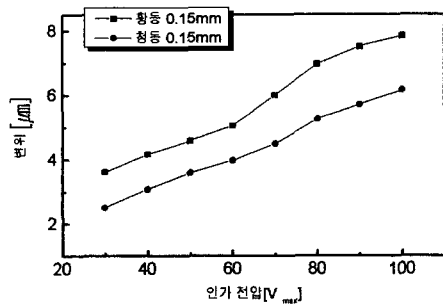


그림 4. 엔드캡의 2 가지 재료별 인가전압에 따른 변위(공동깊이1.5mm, 윗면지름3mm)

Fig. 4. Effect of applied voltage on the displacement values of cymbal actuator at two endcap material(cavity depth 1.5mm, contact surface 3 mm)

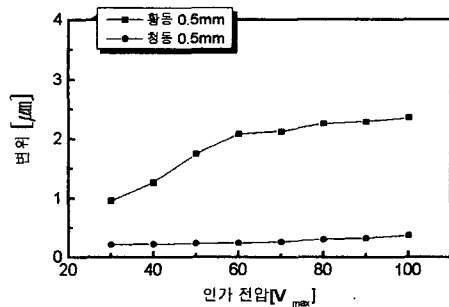


그림 5. 엔드캡의 2 가지 재료별 인가전압에 따른 변위(공동깊이1.5mm, 윗면지름3mm)

Fig. 5. Effect of applied voltage on the displacement values of cymbal actuator at two endcap material(cavity depth 1.5mm, contact surface 3 mm)

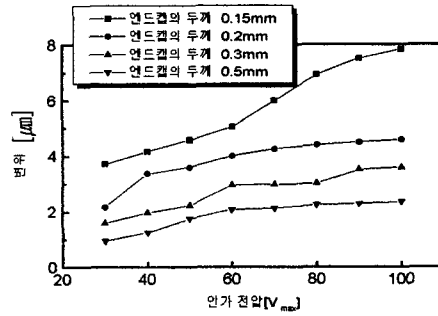


그림 6. 황동 엔드캡의 두께별 인가전압에 따른 변위(공동깊이1.5mm, 윗면지름3mm)

Fig. 6. Effect of applied voltage on the displacement values of cymbal actuator(cavity depth 1.5mm, contact surface 3 mm)

### 3.2 중심거리에 따른 변위특성

그림 6은 황동 엔드캡의 두께별 중심거리에 따른 심별 액츄에이터의 변위특성이다. 엔드캡의 윗면지름3mm, 공동깊이 1.5mm였으며 인가전압은 60[V]에서 측정한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 윗면지름내에서(3mm) 변위는 동일했으며 경사진 부분의 변위는 윗면지름내의 변위보다 평균3.04[μm]작았다.

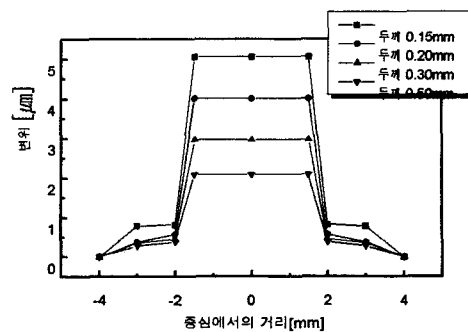


그림 7. 황동 엔드캡의 두께별 중심거리에 따른 변위(인가전압 60[V])

Fig.7. Effect of distance from the center of endcap on cymbal actuator at various endcap thickness(applied voltage 60V)

또한 엔드캡과 압전체(PZT)의 접착부분의 윗면에서의 변위는 PZT의 자체 변위와 동일할 것으로 생각되며 그 변위는 매우 작아 0으로 하였다. 중심 거리에 따른 변위특성은 윗면지름내에서는 동일하고 윗면지름외에서의 변위는 급감소하였으며 경사진 부분에서의 변위는 그다지 차이를 보이지 않았다. 엔드캡의 두께가 두꺼울수록 변위는 감소했으며 공진주파수는 증가했다.

#### 4. 결론

심벌 액츄에이터의 인가전압에 따른 변위특성과 중심 거리에 따른 변위특성을 측정 한 결과한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 인가 전압  $V_{max}$ 이 증가하면 변위는 대체적으로 증가했으며, 황동이 청동보다 평균  $1.3\mu m$  더 큰 변위를 나타냈다. 그러나 높은 전압(90V 이상)에서 누설전류증가와 압전 세라믹의 진동손실로 인하여 많은 열이 발생하여 변위가 급감소하였다.

(2) 엔드캡의 두께가 얇을수록 변위증가율이 더 높았고 반대로 두꺼울수록 변위증가율은 작았다.

(3) 중심 거리에 따른 변위는 엔드캡의 윗면지름 내에서 동일했으며, 윗면지름외에서 변위는 매우 작고, 거리에 대한 변위차이는 미소했다.

지금까지 인가전압에 따른 심벌액츄에이터의 변위특성을 살펴보았다. 심벌 액츄에이터를 실용화하기 위해서 높은 전압에서의 누설전류와 압전 세라믹의 진동손실에 의한 온도상승으로 공진특성이 변하므로 이에 대한 연구가 필요하다.

#### 참 고 문 헌

1. Newnham, R.E., Q.C. Xu, and S. Yoshikawa U.S patent, 999819, March 12 (1991)
2. Y. Sugawara et al., "Metal-Ceramic Composite Actuators", J. Am. Ceram. Soc., 75[4], pp. 996-998, 1992.
3. A Dogan, R.E. Newnham, "Flexensional Cymbal Transducer", PSU Invention Disclosure No. 94-1395, 1994.
4. K. Onitsuka et al., "Design Optimization for Metal-Ceramic Composite actuator, 'Moonie'",

Ferroelectrics, vol, 156, pp. 37-42, 1994.

5. 이종섭 외 5인, "고진동 레벨하의 PZ-PT-PMS 세라믹의 전기기계적 특성", '98 대한전기학회 춘계 학술대회 논문집, pp. 171-174, 1998.

6. Burhanettin Koc et al., "Accelerometer Application of the Modified Moonie(Cymbal) Transducer", Jpn.J.Appl. Phys. vol. 35, pp.4547-4549, 1996.