

# AgPd 내부전극을 이용한 적층형 압전 액츄에이터의 제조

논문  
13-1-6

## Fabrication of Multilayer Piezoelectric Actuator with AgPd Internal Electrode

임인호\*, 윤현상\*\*, 박종주\*\*\*, 백동수\*\*\*\*, 박창엽\*

(In-Ho Im\*, Hyun-Sang Yoon\*\*, Jong-Joo Park\*\*\*, Dong-Soo Paek\*\*\*\*, Chang-Yub Park\*)

### Abstract

In this study, multilayer piezoelectric actuators were fabricated with 75 layers by a conventional multilayer capacitor (MLC) techniques, using 70Ag/30Pd paste as an internal electrode which can be sintered at low temperature and have cost down effect in mass productions. The multilayer piezoelectric actuators had no defects such as diffusions of internal electrode to ceramic bodies and shortages of internal electrodes. The multilayer piezoelectric actuators did not show the cracks in the ceramics parts and the gapping phenomena in the external electrodes when Ag paste was used as external electrodes. The multilayer piezoelectric actuators showed a maximum displacement of 4 $\mu$ m at 100V dc voltage and kept the maximum displacement constant for 300 seconds. The multilayer piezoelectric actuators showed good matching properties between ceramic bodies and AgPd internal electrodes.

We confirmed the possibility of large-scaled production of the multilayer piezoelectric actuators with superior electrical properties and cost down effect using 70Ag/30Pd paste as an internal electrodes.

**Key Words(중요어)** : multilayer actuator(적층형 액츄에이터), internal electrode(내부전극), delamination(박리), 70Ag/30Pd paste(70Ag/30Pd 페이스트), diffusion(확산), gapping phenomena(gapping 현상)

### 1. 서 론

압전 및 전액재료를 이용한 액츄에이터는 광학용 장치, 반도체 장비 등과 같은 정밀 변위 조절이 필요한 용도에서 넓게 사용되고 있다<sup>1-3)</sup>. 특히 적층형 압전 액츄에이터는 전자식 액츄에이터에 비해 구동 전압이 낮고<sup>4)</sup> 빠른 동작 속도, 저소비전력, 높은 정밀도 및 노이즈가 발생하지 않는 장점<sup>5, 6)</sup> 등으로 인해 많은 연구가 진행되고 있다. Takahashi 등<sup>7, 8)</sup>은 0.65Pb(Mg<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>-0.35PbTiO<sub>3</sub> 세라믹을 이용하여 내부전극으로 Pt paste를 사용하여 저전압 구동과 양산 가능성을 연구하였으며, 또한 소자 단면적에 대한 내부전극의 유효 단면적의 비가 적층형 압전 액츄에

이터에 미치는 영향에 대해 보고하였다.

적층형 압전 액츄에이터의 내부전극으로 100% Pd paste 혹은 100% Pt paste를 사용하여 제작할 경우 제조단가가 매우 상승하게 되며 특히 100% Pd paste를 사용할 경우 세라믹층과 내부전극과의 열팽창계수 차이로 인해 crack 또는 delamination이 발생하거나 외부전극부에서 gapping 현상이 발생하여 압전특성이 열화되는 경향이 있다. 따라서 전기적 특성이 우수하며 신뢰성이 높고 경제성 및 양산성이 우수한 적층형 압전 액츄에이터의 개발이 절실히 요구되고 있다.

본 연구에서는 제조단가가 낮고 높은 변위특성을 갖는 적층형 압전 액츄에이터를 개발하기 위하여, 광범위한 응용 범위<sup>9-12)</sup>에서 많이 사용되며 낮은 소결온도를 갖는 PNN-PZ-PT 계 세라믹스를 압전 액츄에이터용 조성으로 선택한 후 내부전극으로 비교적 가격이 저렴한 70Ag/30Pd paste를 사용하여 전통적인 적층형 콘덴서(이하 MLC) 제조기법으로 적층형 압전 액츄에이터를 제작하였다. 그리고 제작된 적층형 압전 액츄에이터의 구조적, 압전 특성과 변위특성

\* : 연세대학교 전기·컴퓨터공학과

\*\* : 경문대학 전기과

\*\*\* : 명지대학교 화학과

\*\*\*\* : 한국과학기술연구원 박막기술연구센터

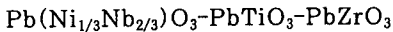
1999년 9월 30일 접수, 1999년 11월 25일 심사완료

을 조사하여 그 응용 가능성을 평가하였다.

## 2. 실험

### 2.1 적층형 압전 액츄에이터의 제작

본 실험에 사용된 세라믹 조성은 다음과 같다.



본 조성의 압전 및 유전 특성은 표 1에 나타내었다<sup>13)</sup>.

Table 1. Electric properties of PNN-PZ-PT ceramics.

$\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	4500
$S_{33}^E(10^{-12}\text{m}^2/\text{N})$	21.4
$d_{33}(\text{pC}/\text{N})$	650
$k_{33}(\%)$	74.5
$Q_m$	80
$T_c(^\circ\text{C})$	200

적층형 압전 액츄에이터의 제조 공정을 그림 1에 나타내었다. 세라믹 분말과 binder(MSI, B73210)는 65:35의 비율로 배합하였다. 소결 중에 발생하는 내부전극의 수축과 팽창을 다소 감소시키기 위하여  $\text{ZrO}_2$  powder가 약 1wt% 첨가된 70Ag/30Pd paste(Ferro, E-1401)를 내부전극으로 사용하였으며, rotary printer(Model 134, TAM)을 이용하여 70Ag/30Pd paste를 green sheet 상에 인쇄하였다. 내부전극 구조는 일반적인 MLC 전극 구조를 사용하였으며, 그림 2에 도시하였다. 그림 2에 나타난 것과 같이 본 실험에서는 적층형 압전 액츄에이터의 비활성부의 영향을 최소화하기 위하여 소자 단면적에 대한 내부전극 유효 면적비를 0.935로 설계하였다<sup>6)</sup>. 각 층의 소결 후의 최종 두께를 약 30~35  $\mu\text{m}$ 로 되도록 하였으며 내부전극이 도포된 green sheet를 교번적으로 75층 적층한 후 소자 상하부에 각각 내부전극이 도포되지 않은 green sheet를 수매 쌓아 cover sheet를 형성하였다. Cover sheet를 형성한 후 Laminator(Model 109, TAM)를 이용하여 시편의 상하부에 50 $^\circ\text{C}$ 의 온도를 가해주면서 3000-4000 psi의 압력으로 압착하여 green bar(50 $\times$ 50 mm)를 제작하였다. 이후 적당한 크기로 green bar를 cutting한 후 binder

burn-out을 행하였다. Binder burn-out 공정에서는 탈지시에 발생하는 내부전극의 수축, 팽창에 의한 불량 발생 문제를 최소화하기 위하여 300 $^\circ\text{C}$ 에서 5시간동안 충분히 binder burn out을 행하였으며, 이때 승온율은 5 $^\circ\text{C}/\text{hr}$ 이고 냉각속도는 30 $^\circ\text{C}/\text{hr}$ 로 하였다. Binder burn-out 공정을 통해 성형체에 포함된 바인더의 약 90%를 제거한 후 분위기 분말을 사용하지 않고 1050 $^\circ\text{C}$ 에서 3시간동안 MgO 도가니 내에서 소결하였으며, 이때 승온율과 냉각율은 300 $^\circ\text{C}/\text{hr}$ 로 하였다. 소결된 소자의 크기는 8.2(L) $\times$ 5.0(W) $\times$ 3.15(H) mm이었으며 제조된 시편의 측면에 Ag Paste(Dupont, 7095)를 도포한 뒤 600 $^\circ\text{C}$ 에서 10분간 열처리를 행하여 외부전극을 형성하였다. 외부전극이 형성된 시편을 120 $^\circ\text{C}$ 의 silicon oil 속에서 30분간 30 kV/cm의 직류전압을 가해 분극하고 24시간이 경과한 후 제반 특성을 측정하였다.

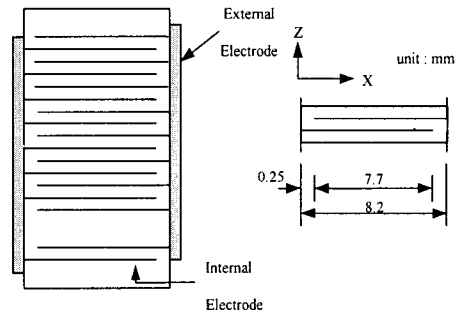


그림 1. 적층형 압전 액츄에이터의 (a) 단면과 (b) 치수

Fig. 1. (a) Cross section and (b) dimensions of the Multilayer Piezoelectric Actuator

### 2.2 측 정

제작된 적층형 압전 액츄에이터의 표면 및 단면은 SEM(JSM-6320, JEOL)을 이용하여 관찰하였으며 온도에 따른 정전용량 및 손실의 변화는 Test Chamber(4220A Test Chamber, S&A, Inc.)를 이용하여 측정하였다. 적층형 압전 액츄에이터의 변위특성은 그림 3에 나타나 있는 것처럼, 분극 방향과 동일하게 strain gauge(KFG-1-120-C1-

11L1M2R, Kyowa)를 부착한 후 측정하였으며, 적층형 압전 액츄에이터에서 발생하는 strain값은 strain amplifier(DSA-692, NMB)를 이용하여 측정함으로써 계산하였다.

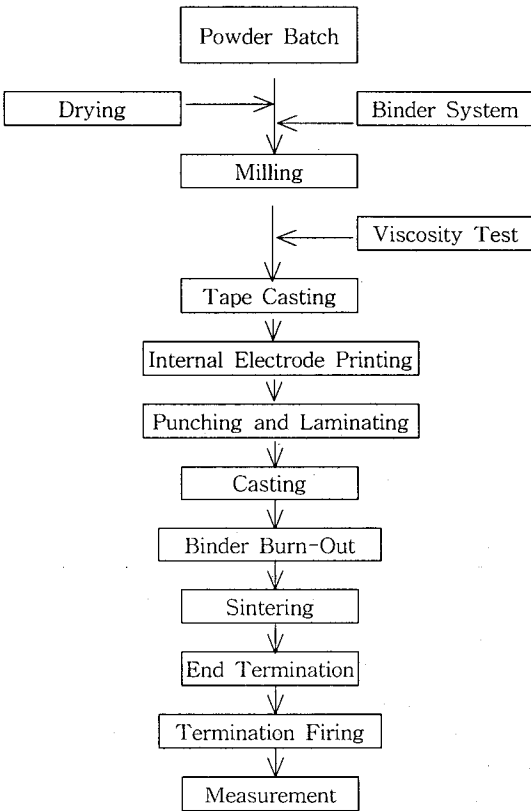


그림 2. 적층형 압전 액츄에이터의 제조 공정도  
Fig. 2. Flow chart for the Multilayer Piezoelectric Actuator

### 3. 결과 및 토의

#### 3.1 소결 특성

그림 4와 5는 제작된 적층형 압전 액츄에이터의 표면 및 단면 사진이다. 그림 4에서 알 수 있듯이 제작된 적층형 압전 액츄에이터는 약 4~5 μm의 결정립으로 구성되어 있으며 open pore나 2차상이 없는 매우 치밀한 구조로 이루어져 있다. 또한 내부전극으로 사용된 AgPd paste의 끊어짐이나 내부전극의 세

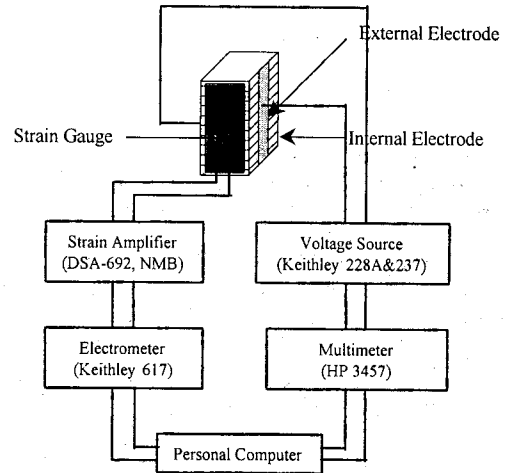


그림 3. 변위 측정 System  
Fig. 3. Schematic diagram of strain measurement



그림 4. 적층형 압전 액츄에이터의 표면  
Fig. 4. SEM photograph (surface) of multilayer piezoelectric actuator

라믹층으로의 확산이 발생하지 않은 것을 그림 5로부터 명확히 알 수 있다.

내부전극의 수축은 내부전극내에 포함되어 있는 수%의 Zirconium oxide로 인해 상당히 감소되었음을 알 수 있다. 또한 제작된 적층형 압전 액츄에이터는 세라믹층에서의 delamination이나 crack 현상, 외부전극으로 사용된 Ag paste와의 반응으로 인한 gapping 현상 등이 관찰되지 않았다. 그러므로 AgPd

paste는 세라믹층과 매우 우수한 정합성을 나타내었으며, 따라서 AgPd paste가 적층형 압전 액츄에이터 내부전극으로 적절하게 적용될 수 있음을 알 수 있다.

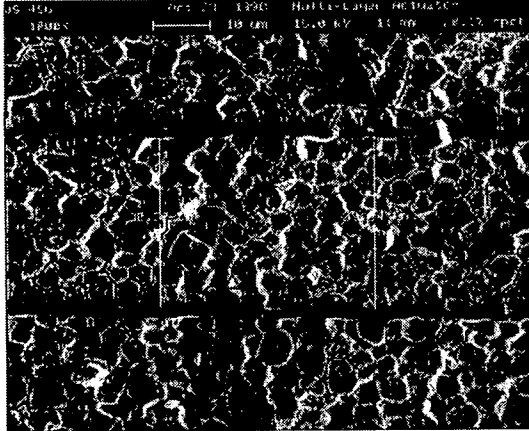


그림 5. 적층형 압전 액츄에이터의 단면  
Fig. 5. SEM photograph (surface) of multi-layer piezoelectric actuator

### 3.2 온도에 따른 정전용량

그림 6은 제작된 적층형 압전 액츄에이터의 온도에 따른 정전 용량 및 손실을 나타내고 있다. 제작된 적층형 압전 액츄에이터는 상온에서 약 1.92[ $\mu\text{F}$ ]의 정전용량과 2.36%의 손실 값을 나타내었다.

일반적으로 적층형 압전 액츄에이터는 세라믹층과 내부전극과의 결합이 열악하면 손실이 증가하며 이로

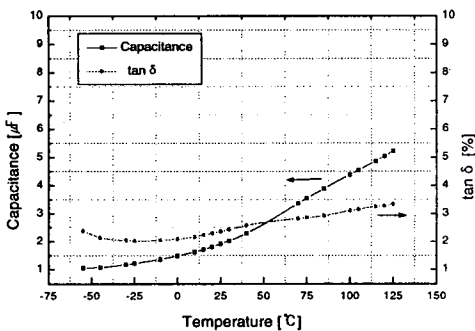


그림 6. 적층형 압전 액츄에이터의 온도특성  
Fig. 6. Temperature characteristics of multi-layer piezoelectric actuator

인해 DC 전압 구동시 발열이 증가하게 되어 파괴되기도 한다. 본 연구에서 제작된 적층형 압전 액츄에이터의 손실값은 실제 사용 온도구간인  $-25^{\circ}\text{C} \sim 75^{\circ}\text{C}$ 에서 2.03%~2.57%의 낮은 값을 나타내었다. 이 값은 현재 상용되는 제품들과 비교하여 우수한 특성을 나타내는 것으로 세라믹층과 내부전극간의 matching성이 우수함을 의미한다.

### 3.3 인가 전계에 따른 strain 특성

인가전계에 따른 strain 특성을 그림 7, 8 그리고 그림 9에 나타내었다. 본 연구에서 제작된 적층형 압전 액츄에이터는 전형적인 butterfly 형태의 이력곡선을 나타내었으며 인가 전계가 2.85kV/mm일 때 약 4 $\mu\text{m}$ 의 변위값을 나타내었다. 이러한 변위특성은 1.27 $\mu\text{m}/100\text{V}$ 의 해당하는 값으로 일본의 Tokin사에서 생산되는 NLA a $\times$ b $\times$ 9 시리즈의 0.72 $\mu\text{m}/100\text{V}$ 의 특성에 비해 우수한 특성을 나타내고 있다.

그림 8은 실제 사용 전압 구간인 0V에서 +100V 전압 구간을 3회 반복한 결과를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 반복적인 전압인가에도 큰 이력이 나타나지 않음을 알 수 있다.

그림 9는 직류전압 +100V를 인가한 후 300초 동안의 변위특성을 나타낸 것으로 일정시간동안 연속인가에도 거의 동일한 변위가 지속되고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서 제작된 적층형 압전 액츄에이터의 creep 특성은 Uchino에 의해 제시된 정의<sup>10)</sup>,  $(un,^{30} un,^{01})/un,^{01}$ 에 따라 계산한 결과 0.06%의 값을 나타내었다.

따라서 상기 변위특성 측정 결과 전계 인가시 우수한 변위 발생 능력과 반복적인 구동 전계 하에서도 안정적인 변위특성을 지닌 것으로 판단된다.

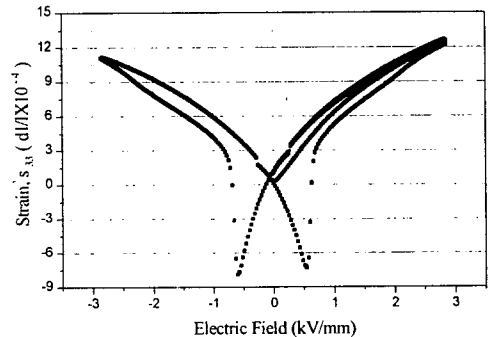


그림 7. 적층형 압전 액츄에이터의 변위특성  
Fig. 7. Displacement characteristics of multi-layer piezoelectric actuator

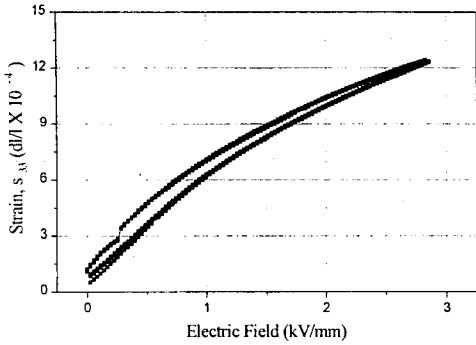


그림 8. 적층형 압전 액츄에이터의 반복특성  
Fig. 8. Repetition characteristics of multilayer piezoelectric actuator

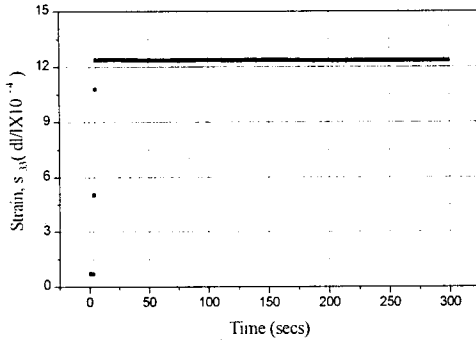


그림 9. 적층형 압전 액츄에이터의 creep 특성  
Fig. 9. Creep characteristics of multilayer piezoelectric actuator

#### 4. 결 론

전통적인 MLC 제조기법을 이용하여, 저가이며 저온소결이 가능한 70Ag/30Pd paste를 내부전극으로, 층간두께는 약 30~35  $\mu\text{m}$ 로, 적층수는 75층으로 적층형 압전 액츄에이터를 제작하여 구조적, 압전적 그리고 변위특성을 측정 한 결과는 다음과 같다.

1. 내부전극인 70Ag/30Pd paste는 PNN-PZ-PT계 세라믹과 우수한 정합성을 나타내었으며 세라믹층의 delamination, 내부전극의 세라믹층으로의 확산 그리고 외부전극에서의 gapping 현상 등과 같은 결함은 나타나지 않았다.
2. 제작된 적층형 압전 액츄에이터는 인가전계가 2.85kV/mm일 때 약 4 $\mu\text{m}$ 의 최대 변위특성을 나타내었으며 약 0.06%의 creep 특성으로 상용되는 일부제품군과 비교하여 보다 우수한 변위특성을

나타내었다.

따라서 본 연구를 통해, 내부전극으로 AgPd paste를 이용하여, 제조단가가 낮고 경제성이 높으며 전기적 특성 및 변위특성이 우수한 적층형 압전 액츄에이터의 양산 가능성이 기대된다.

#### 참 고 문 헌

1. NIKKEI MECHANICAL, 13. JUNE, 1988.
2. Tanaka : Bimorph shutter, MINOLTA TECHNO REPORT, 5, 1988.
3. NIKKEI MECHANICAL, 14. JUNE, 1993.
4. M. Suga & M. Tsuzuki, Improved drop ejection characteristics through use of micro-valves in ink jet head. Jpn. J. Appl. Phys., vol 23, no. 6, pp. 765-773, 1984.
5. N. Ohde, K. Utsumi, A. Ochi & S. Takahashi, A multilayer piezoelectric actuator with low driving voltage. IECEJ Technical Report, CPM 88-52, 220, 7-12, 1988.
6. S. Takahashi, Multilayer piezoelectric ceramic actuator and their application. Jpn. J. Appl. Phys., 24(1985) Suppl. 24-2, 41.
7. S. Takahashi, A. Ochi, M. Yonezawa, T. Yano, T. Hamatsuki & I. Fukui, Internal electrode piezoelectric ceramic actuator. Ferroelectrics, Vol. 50, 181, 1983.
8. S. Takahashi, A. Ochi, M. Yonezawa, T. Yano, T. Hamatsuki & I. Fukui, Internal electrode piezoelectric ceramic actuator. Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 22(1983) Suppl. 22-2, 157.
9. J. M. Moon & H. M. Jang, Effect of sintering atmosphere on densification behavior and piezoelectric properties of  $\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{-PbTiO}_3\text{-PbZrO}_3$  ceramics. J. Am. Ceram. Soc., 76(2) 549-52, 1993.
10. D. Dong, K. Murakami, S. Kaneko & M. Xiong, Piezoelectric properties of PZT ceramics sintered at low temperature with complex-oxide additives. J. Ceram. Soc. Jpn., 101[10] 1090-94, 1993.
11. J. M. Moon & H. M. Jang, Densification and piezoelectric properties of  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$  doped  $\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{-PbTiO}_3\text{-PbZrO}_3$  ceramics. J. Mater. Res., 8[12] 3184-91, 1993.

12. G. Zhilum, L. Longtu, L. Hongqung & Z. Xiaowen, Low temperature sintering of lead magnesium nickel niobate zirconate titanate (PMN-PNN-PZT) piezoelectric ceramics with high performances. *Ferroelectrics*, 101, 93-99, 1990.
13. C. H. Cho, I. K. Park, H. G. Kim & H. T. Chung, Sintering behavior of cadmium-doped  $Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})-PbTiO_3-PbZrO_3$  ceramics. *J. Am. Ceram. Soc.*, 80 [6] 1523-34, 1997.
14. K. Uchino : Piezoelectric actuators and ultrasonics motors (Kluwer Academic Publishers) Appendixes, p. 336. 1997.