

# 적층형 압전 세라믹 액추에이터에 대한 Ag-세라믹 복합소재 전극의 응용

김성훈, 이용희, 조성열, 최운석, 이재신, 김일원\*, 정순중\*\*, 송재성\*\*  
 울산대학교 첨단소재공학부, \*울산대학교 물리학과, \*\*한국전기연구원

## Application of Ag-Ceramic Composite Electrodes to Piezoelectric Multilayer Ceramic Actuators

Sung-Hoon Kim, Yong-Hui Lee, Sung-Youl Cho, Mun-Seok Choi, Jae-Shin Lee, Ill-Won Kim\*  
 Soon-Jong Jeong\*\*, and Jae-Sung Song\*\*  
 School of Materials Science & Engineering, \*Department of Physics, Univ. of Ulsan, \*\* KERI.

**Abstract :** Ag-ceramic composite materials were investigated as internal electrodes for multilayer ceramic actuators (MLCA). Ag-ceramic pastes were prepared by adding PZT-based ceramic powders to a Ag patse in a range of 0 to 50 wt.%. PZT/Ag-PZT multilayered laminates were fabricated by tape casting and fired at low temperatures below 950°C. The addition of ceramic into the Ag electrode resulted in a decrease in the thermal expansion mismatch between the electrode and the ceramic sheet. The maximum strain of PZT/Ag-PZT multilayered actuators were  $9 \times 10^{-4}$  under an electric field of 2.5MV/m. In conclusion, Ag-PZT composite materials are efficient for low cost piezoelectric MLCAs.

**Key Words :** Piezoelectric ceramics, Multilayer actuators, Internal electrode, low-firing

### 1. 서론

적층형 압전 세라믹 소자는 일반적인 단층 압전 세라믹 소자에 비해서 낮은 소비전력, 낮은 구동전압, 빠른 응답속도, 높은 발생력, 높은 효율의 이점을 제공하여 액추에이터, 변환기, 변압기 등의 분야에 응용이 확대되고 있다.[1]. 그러나 적층형 압전 소자에 있어서 전극과 세라믹 층 간의 부정합성은 내부 결함을 야기하여 피로파괴와 성능저하의 주된 원인이 된다[2, 3]. 본 연구에서는 압전 세라믹과 내부 전극의 상호 정합성을 높이기 위하여 Ag 전극에 세라믹 분말을 첨가하여 적층형 액추에이터를 제작하였다. 전극의 세라믹 함량의 변화에 따른 전극과 전극/세라믹 적층소자의 전기적 특성 변화를 살펴보았다.

### 2. 실험

상업용 Ag paste에 PZT계 세라믹 분말을 첨가하여 스크린인쇄용 복합전극을 제조하였다. 본 연구에서는 전극 중의 세라믹 함량을 0~50 w/o로 변화시켰다.

적층형 세라믹 액추에이터 (MLCA: multilayer ceramic actuators) 제조과정을 그림 1에 나타내었다. PbO, ZrO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, MnO<sub>2</sub>, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 분말을 출발원료로 하여 고상반응법으로 PMN-PZT 분말을 합성하였다. 합성된 분말에 유기 첨가제를 넣어 ball-milling 방법으로 세라믹 반죽을 제조하고, tape casting 방법으로 green sheet를 성형한 다음 제조된 복합전극 paste를 스크린인쇄법으로 도포하고 적층 및 소결공정을 거쳐 소자를 제조하였다. 제조된 압전 액추에이터의 전체 치수는 7x7x5mm였으며, 상단면과 하단면에 dummy 층을 삽입하였고, 압전체 한 층의 두께는 약 0.1mm이고, 적층수는 40층이었다.

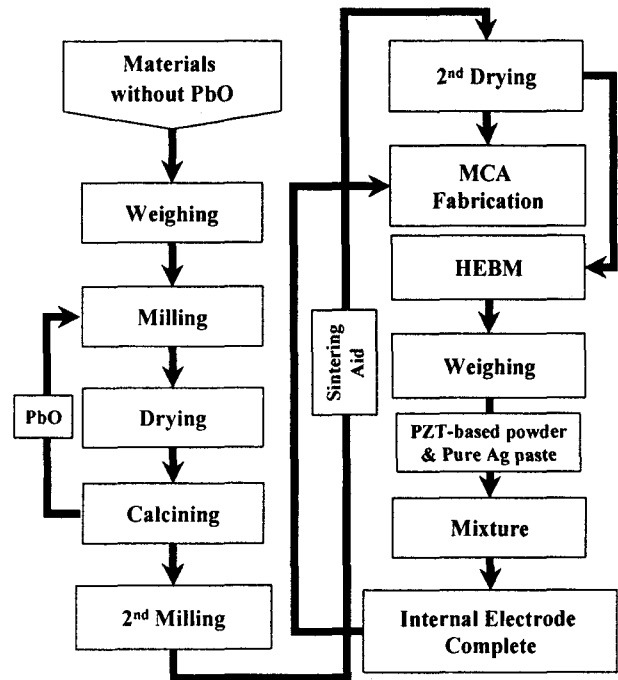


그림 1. 복합소재 전극 및 MLCA 제작 공정

### 3. 결과 및 검토

세라믹 분말의 함량변화에 따른 복합재료 전극의 열수축 특성을 그림 2에 나타내었다. 순수한 Ag 전극과 압전 세라믹 판의 열수축 곡선을 비교해보면 500°C 이상에서 열수축 부정합이 커지는 것을 알 수 있다. 이러한 열수축 특성 차이는 MLCA 제작 시 세라믹/내부전극 층간 박리현상의 주 원인이 된다. 반면 내부전극 중 세라믹 분말의 함량이 증가할수록 세라믹과 전극 간의 열수축 정합성이 향상됨을 볼 수 있다.

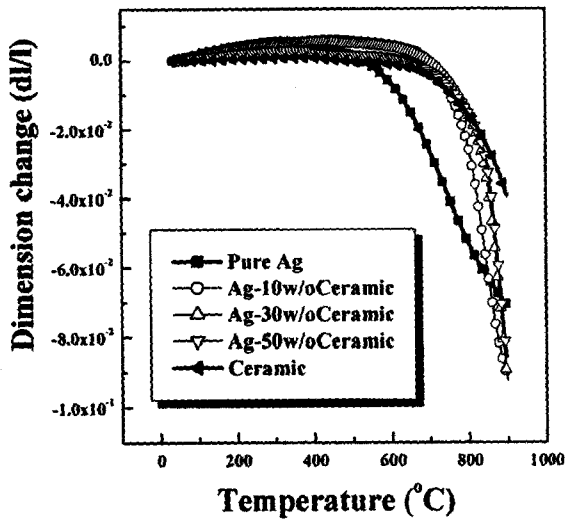


그림 2. 복합소재 전극재료와 압전세라믹 green sheet의 열수축 특성

그림 3은 세라믹 분말 함량에 따른 복합재료 전극의 전기전도도 변화를 나타내었다. 세라믹 함량의 증가함에 따라 전극의 전기전도도가 감소하였다. 그러나 세라믹 함량이 50중량 백분율에 이르러도 도전성을 유지함을 알 수 있다.

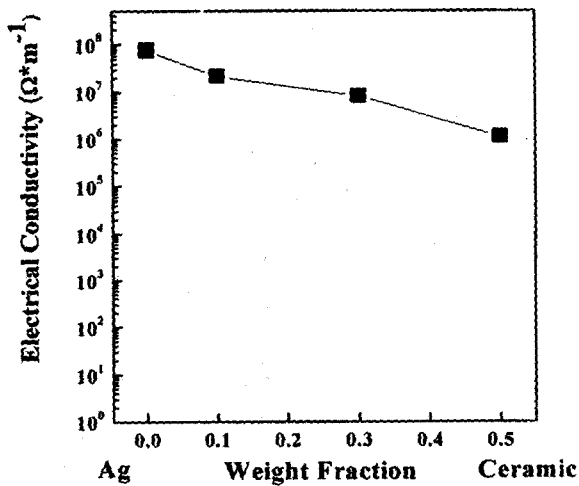


그림 3. 세라믹 첨가량의 변화에 따른 복합재료 전극의 전기전도도 변화

열 수축 특성과 전기전도도가 우수한 복합전극을 이용하여 40중 MLCA를 제작한 후 전기기계적 변형 특성을 살펴보았다. MLCA의 전계유도 변형율과 발생력을 그림 4에 나타내었다. 변위 특성의 경우 내부전극의 종류에 큰 영향 없이 2.5kV/mm이하에서 약  $9 \times 10^{-4}$ 의 변형율을 나타내었으며, 발생력은 순수한 Ag 전극과 세라믹이 첨가된 복합소재전극이 Pd이 첨가된 전극에 비하여 더 우수한 특성을 나타내었다.

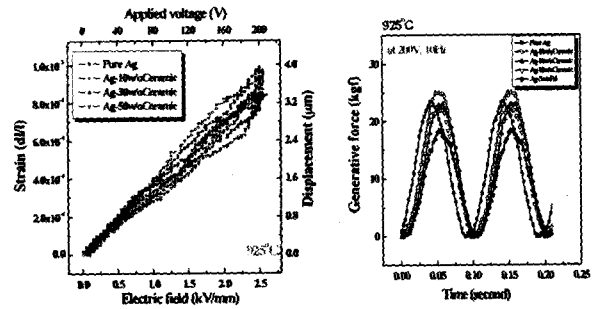


그림 4. 925°C에서 소결한 MLCA의 변위특성 및 발생력

#### 4. 결론

내부전극 중 세라믹 분말의 함량이 증가할수록 모재 세라믹과 유사한 열 수축 특성을 나타내었으며, 전기전도도 역시 크게 감소하지 않음을 알 수 있다. Ag 전극에 세라믹을 첨가함으로써 전극의 수축특성을 효과적으로 제어할 수 있고, 세라믹/내부전극층간 동시소성 정합성을 향상시킬 수 있었다.

#### 감사의 글

본 결과물은 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금 및 보조금으로 수행한 최우수실용실험지원사업의 연구 결과입니다.

#### 참고 문헌

- [1] K.Uchino, in: H.L. Tuller (Ed), "Piezoelectric Actuators and Ultrasonic Motors, 2nd ed", Kluwer Academic Publishers, Boston, Charter 4, pp. 1-12, 1997.
- [2] J.G. Peppin, W. Borland, P.O. Callaghan, R.J.S. Young, J. Am. Ceram. Soc., vol. 72, pp. 2287-2291, 1989.
- [3] C.R. Bowen, M. Lopez-Prieto, S. Mahon, F.Lowrie, Scr. Mater., vol 42, pp. 813-818, 2000.