

## 압전방법을 이용한 광학적 원격 제어 MEMS 액추에이터

강민석, 차두열, 김성태, 조세준, 장성필  
인하대학교 전자공학과

### Optically Remote MEMS Actuator by Piezoelectric method

Min-suk Kang, Doo-yeol Cha, Sung-tae Kim, Se-jun Cho, Sung-pil Chang  
Inha Univ. electronic engineering

**Abstract :** 점점 전송 기술이 발달함에 따라, 고속/대용량의 광 연결 기술이 많이 응용되고 있다. 소자들 또한 이러한 광 신호를 받기에 적합한 형태가 필요하다. 따라서 본 논문에서는, 미리 설계한 광 신호로 동작하는 PZT 액추에이터의 동작 범위와 변위를 FEM 시뮬레이션(Finite Element Method Simulation)을 통해 해석해 보니 10V 전압에서 532nm의 변위를 확인할 수 있었고, 또한 열적, 기계적, 전기적 해석을 통하여 차후 제작에 감안할 점들을 찾아내는데 주안점을 두었다.

**Key Words :** MEMS, PZT, FEM 시뮬레이션, 광소자

#### 1. 서 론

최근 전송 기술이 발전하면서 기존 금속 배선의 한계로 인해 보다 고속/대용량의 광 연결 기술에 대한 연구가 활발해지고 있다. 이에 따라 광 연결을 이용한 소자의 연구 또한 필수적이다. 또한 MEMS 기술을 이용하여 3차원 마이크로 구조물의 설계와 제작이 가능하므로, 광 연결을 이용하여 센서와 액추에이터로 동작 가능한 MEMS 구조물을 제작하고자 한다.

MEMS 구조물을 제작하기 위한 재료로서 PZT, 즉 압전 물질을 이용하였고, 여기서 압전 물질이란 재료에 응력을 인가했을 시 분극이 발생하거나(정 압전 현상) 재료에 전기장을 가했을 시 변형이 발생하는(역 압전 현상) 물질을 말한다. PZT란  $Pb(Zr, Ti)O_3$  를 줄여서 부르는 약어로서 PZT계 세라믹을 총칭하는 용어로 자주 이용된다. 이는 가공성이나 제반 압전특성이 우수하고 가격이 저렴하여 초음파 진동자, 필터, 레조네이터, 착화소자 및 센서 등에 가장 널리 응용되고 있다.

본 논문에서는 광 연결을 이용한 3차원 마이크로 구조물 제작에 앞서 구조물의 몇 가지 특성에 대하여 시뮬레이션해 보고, 특이사항 및 문제점을 알아보려고 하였다.

#### 2. 이론

##### 2.1 압전 특성의 이론식

전기장을 걸어주어 변형을 일으키는 압전 재료의 특성상 광 신호를 전기적으로 변환해주는 포토 다이오드가 필요하다. 시중에 판매되는 포토 다이오드의 경우 빛의 세기에 따라 조금씩 차이가 있지만 평균적으로 5mA의 전류를 발생시키기 때문에, 이를 감안하여 소자를 제작하였다. 압전 특성은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$D = dT + \epsilon^T E \quad (2-1)$$

$$S = s^E T + dE \quad (2-2)$$

여기서 D는 전기적 변위 벡터 [ $C/m^2$ ], d는 변형률/전기장 관련 압전 상수 [ $C/N$ ], T는 응력 벡터 [ $N/m^2$ ],  $\epsilon^T$ 는 일정 응력에서의 유전 상수 [ $F/m$ ], E는 전기장 벡터 [ $N/C$ ], s는 변형률 벡터,  $s^E$ 는 일정한 전기장에서의 탄성 행렬 [ $m^2/N$ ]이다.

식 (2-1), 과 (2-2)를 고려하여, FEM 시뮬레이션에 대입될 PZT-5H의 실제 수치 값은 표 1.에 나타내었다. 또한 상하부 전극으로는 각각 크롬과 금이 사용되었으며 크롬은 탄성 계수가 279 Gpa, 프와송비가 0.21, 밀도가 7150  $kg/m^3$  이고, 금은 탄성 계수를 78 Gpa, 프와송비를 0.44, 밀도를 19300  $kg/m^3$  로 대입하여 시뮬레이션하였다. 열에 관련된 시뮬레이션 또한 실제 수치와 흡사하게 모델링하여 시행하였다.

표 1. PZT-5H의 물성치

일정한 전기장에서의 탄성 행렬 (Compliance) [ $m^2/N$ ]	$S_{11}^E = S_{22}^E = 16.5 \times 10^{-12}$ $S_{12}^E = -4.78 \times 10^{-12}$ $S_{13}^E = -8.45 \times 10^{-12}$ $S_{33}^E = 20.7 \times 10^{-12}$ $S_{44}^E = S_{55}^E = 43.5 \times 10^{-12}$ $S_{11}^E = 16.5 \times 10^{-12}$
변형률/전기장 관련 압전 상수 (Piezoelectric constant) [ $C/N$ ]	$d_{31} = d_{32} = -274 \times 10^{-12}$ $d_{33} = 593 \times 10^{-12}$ $d_{15} = d_{24} = 741 \times 10^{-12}$
비유전 상수 (Relative permittivity constants) [ $F/m$ ]	$\frac{\epsilon_{11}^T}{\epsilon_0} = \frac{\epsilon_{22}^T}{\epsilon_0} = 3130$ $\frac{\epsilon_{33}^T}{\epsilon_0} = 3400$
밀도(Density) [ $kg/m^3$ ]	7500

## 2.2 시뮬레이션

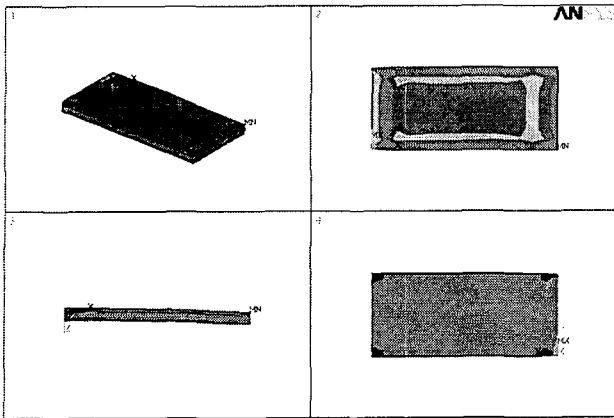


그림 1. PZT Cantilever의 응력분포

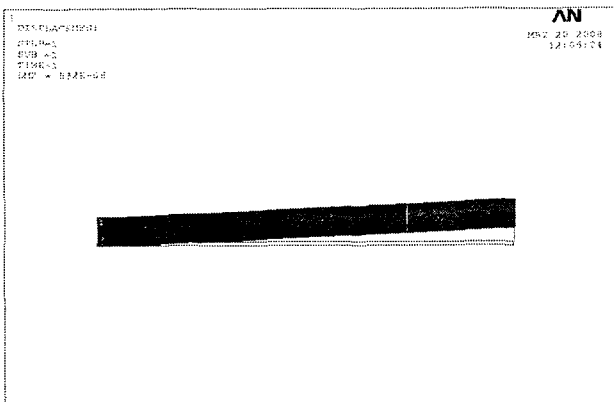


그림 2. 압전 현상으로 인한 형태 변형

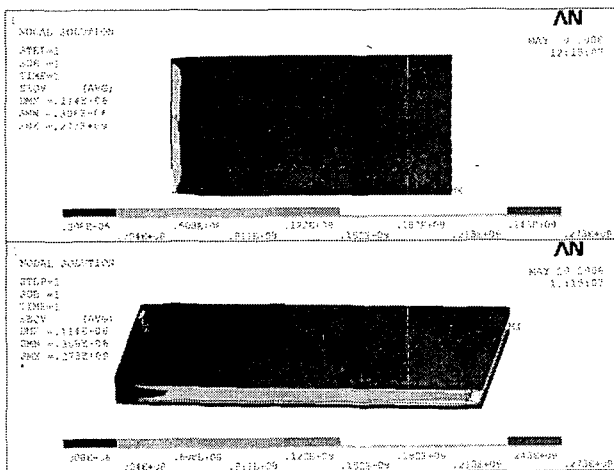


그림 3. 열응력으로 인한 형태 변형

앞의 그림들은 표 1.의 값을 바탕으로 실제 제작할 소자의 형태를 단순화하여 시뮬레이션을 돌린 결과이다. 실리콘 웨이퍼 위에 박막을 증착한 3단 구조로써, 상단부의 크롬 전극과 하단부의 금 전극 그리고 중간에 PZT-5H가 끼워져 샌드위치 형태로 쌓여 있다. 또한 캔틸레버가 동작할 수 있는 공간은 실리콘 웨이퍼를 식각함으로써 형성시킬 예정이다.

## 3. 결과 및 고찰

앞의 시뮬레이션은 캔틸레버에 전계를 걸어 주었을 때 그림 1, 2.와 같이 정상적으로 휘어짐이 발생하는 것을 보여주었고, 그림 3.에서는 상, 하부의 전극에 전기가 가해지면서 발생하는 열에 의하여 소자 형태에 변형이 발생하는 것을 보여주었는데, 이 때 80°C에서 최대 변형은 약 114nm 정도 발생하였다.

## 4. 결론

열, 전기, 기계적 시뮬레이션을 동시에 시행함에 있어 어려운 점이 많았지만, 실제 제작중인 PZT 액추에이터의 공정 방향을 잡는데 많은 도움이 되었다. 특히나 가장 중요한 점은 소자의 제작에 있어서 열응력에 의한 열변형에도 주의를 기울여야 한다는 것이다. PZT의 경우 최소 600도 정도에서 결정화가 이루어지기 때문에 열에 대하여 좋은 내성을 가졌다고 볼 수 있다. 하지만 접촉된 상하부 전극의 팽창으로 인하여 PZT도 같이 변형되기 때문에, 충분한 접착력을 갖지 못하면 소자가 파괴될 가능성이 존재한다는 사실을 인지할 수 있었다. 사실 변형된 수치는 소자 전체의 크기에 비해 굉장히 작은 값이지만, 센서나 액추에이터로서 동작하는 PZT 소자의 경우에는, 민감성에도 큰 영향을 끼칠 수 있기 때문에, 열로 인한 오차에 대한 보정 같은 대처 방안 등이 반드시 고려되어야만 하겠다.

## 감사의 글

본 연구는 인하대학교 집적형 광자기술센터의 "OPCB 설계 및 표준화" 연구사업 지원으로 수행됨.

## 참고 문헌

- [1] 이흥식, 조종두, "압전 작동기 거동해석을 위한 유한 요소 모사", 대한기계학회 2003년도 추계학술대회 논문집, p. 1402, 2003.
- [2] 임종인, 김병익, "압전세라믹의 재료 물성 및 특성 평가기술", 세라미스트, 8권, 1호, p. 50, 2005.
- [3] Hyonse Kim, Chihyun In, Gilho Yoon, Jongwon Kim, "A slim type microvalve driven by PZT films", Sensors and Actuators A 121 (2005) 162-171.
- [4] Xiao-Hui Xu, Jia-Ru Chu, "Preparation of a high-quality PZT thick film with performance comparable to those of bulk materials for applications in MEMS", J. Micromech. Microeng. 18 (2008) 065001 (7pp).
- [5] N.R. Harris, M.Hill, R.Torah, R.췌준동, S.Beeby, N.M. White, J.Ding, "A multilayer thick-film PZT actuator for MEMS applications", Sensors and Actuators A 132(2006) 311-316.