

## 적층 압전세라믹 액츄에이터의 2차원모델 해석에 관한 연구

### 2-D Model Analysis on the Multilayer Piezoelectric Ceramic Actuators

홍재일<sup>\*</sup>, 류주현<sup>\*\*</sup>, 박창엽<sup>\*\*\*</sup>

(Jae Il Hong, Ju Hyun Yoo, Chang Yub Park)

#### Abstract

Finite element analysis was investigated on the stress distribution at the 2-D model of piezoelectric ceramic actuators. The y direction maximum stress decreased with a(internal electrode gap) size until 0.4 mm and is not much difference with c(external electrode thickness) size. The stress distribution with internal layers is almost same, and the stress distribution of load condition is higher than that of no load condition.

The y direction maximum stress increased exponentially with the number of layer and saturated at 260 layers. In the case of defective actuator, the stress distribution is smaller than that of normal actuator.

#### 1. 서 론

적층 압전세라믹 액츄에이터는 큰 변위, 저전압구동, 빠른 응답, 큰 생성력과 높은 전기기계 전달능력으로 인해 전기기계 소자의 부품으로 응용되어 왔다[1,2].

재래의 적층 소자는 높은 구동전압을 요구하기 때문에 대부분의 적층 액츄에이터는 테스프 캐스팅법으로 제조된다[3]. 대표적인 적층 액츄에이터의 교번 전극은 전극 끝 주위에 내부 스트레스 집중을 생기게 하며[4] 이 스트레스 집중은 적층 액츄에이터의 크랙

을 만든다[5].

내부 스트레스의 직접적인 측정은 불가능하지만 유한요소 해석을 통하여 적층 액츄에이터의 내부 스트레스를 분석 및 예측할 수 있으며 이는 적층 액츄에이터의 설계뿐 아니라 문제점 해결에 매우 유용하다.

본 연구에서는 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS를 사용하여 적층 압전세라믹 액츄에이터의 내부 스트레스 분포를 여러 가지 조건에 따라서 시뮬레이션하고 이를 분석하였다.

\*대유공업전문대학 전기과

(성남시 수정구 북정동 423, FAX: 0342-720-2060

E-mail: jihong@haksan.daeyoo.ac.kr)

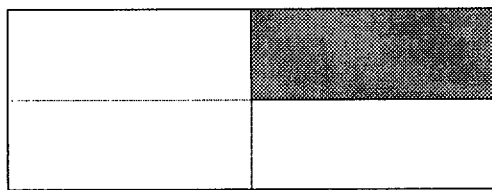
\*\* 세명대학교 전기공학과

\*\*\* 연세대학교 전기공학과

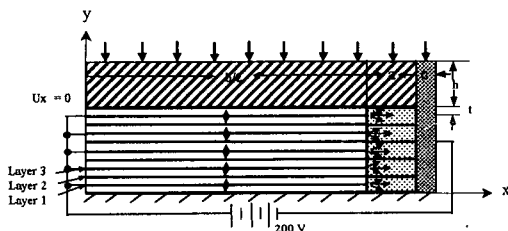
#### 2. 실험

그림 1은 본 연구에서 사용된 10층 대칭 액츄에이터의 2차원 모델이다. 그림 1(a)는

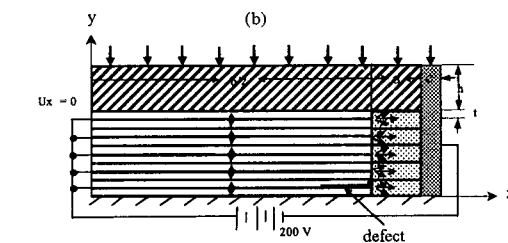
전체 모델을 점선으로 네 부분으로 나눈 것이며, 그림 1(b),(c)는 이 모델이 폭 방향과 높이 방향의 중앙 축에 대해 대칭구조이므로 전체 모델의 1/4 만을 나타낸 정상 모델과 결함 모델이다.



(a)



(b)



(c)

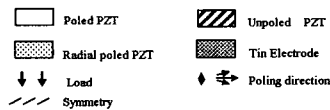


그림 2. 적층 액츄에이터의 2차원모델 (b=8.8, t=0.1, h=0.5 mm, a,c는 가변)

대부분의 적층 액츄에이터는 테이프 캐스팅법에 의해 제조되므로 내부 전극의 두께는

무시하였다.

크랙은 보통 내부전극의 끝에서 시작되어 다른 전극과 전극 밖으로 전달된다[6]. 크랙의 주요 원인은 내부 스트레스 집중이므로 이것을 감소시켜야 한다. 내부 스트레스 집중을 감소시키기 위해서 내부전극에 따른 스트레스 분포를 전극 갭, 외부전극, 액츄에이터 층수의 변화에 따라 유한요소 해석에 의해 연구하였다.

대부분의 스트레스 분포는 공장에서의 실제 생산조건인 1000 Pa의 부하 조건하에서 계산하였으며 크랙(crack)과 분리(debonding)로 이루어진 결함 모델의 스트레스를 정상 모델의 스트레스와 비교하였다. 대부분의 스트레스에 대한 유한요소 해석은 2차원 모델의 첫 번째 층위에서 행하였다.

### 3. 결과 및 고찰

일반적으로 크랙은 전극의 끝에서 발생되며 이런 타입의 내부 크랙은 적층 액츄에이터 내에서 생기는 내부 스트레스 때문이다. 그림 2는 a크기(내부 전극 갭)에 따른 y방향 최대 스트레스를 나타낸다. 이 스트레스는 0.4 mm까지 a크기에 따라 감소되어 그 이후로는 거의 일정하였다.

적층 액츄에이터에서 내부 스트레스를 줄이는 것은 중요한 일이다. 적층 액츄에이터의 활성 영역은 실제로 그림 1에서 b부분이며, 그 부분은 액츄에이터의 변위에 기여한다. 전극갭은 변위에 기여하지 않기 때문에 a 크기를 과도하게 증가시키는 것은 좋지 않다. 그러므로 본 연구에 사용한 모델의 크기에 비추어 볼 때 적당한 a(내부전극 갭) 크기는

0.4 mm이다. 그러나 외부전극두께인  $c$  크기에 따른  $y$  방향 최대 스트레스는 별로 차이가 없었다. 이 결과로부터 외부 전극 두께는 스트레스에 중요한 요소가 아니라는 것을 알 수 있었다.

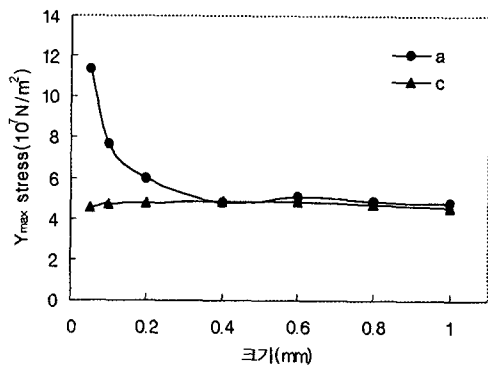


그림 2. a, c 크기에 따른  $y$ 방향 최대 스트레스

그림 3은 내부 층에 따른  $y$  방향 스트레스 분포를 나타냈다. 양전극 1층과 3층 스트레스는 거의 동일하지만 음전극 2층 스트레스는 1층과 3층 스트레스 보다 조금 작다. 2층이 음극임에도 불구하고 스트레스 분포는 양극 스트레스 분포와 유사하였는데 이것은 음전극 주위의 높은 전계로 인한 것이다.

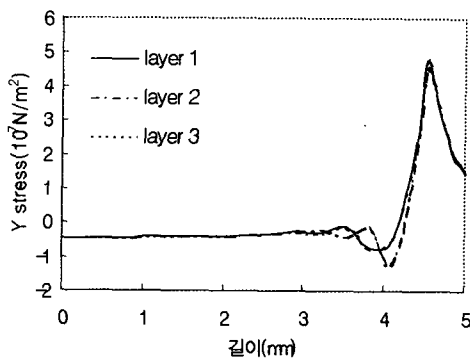


그림 3. 내부 층에 따른  $y$ 방향 스트레스

그림 4는 2차원 모델에서 부하 또는 무부하에서의  $y$ 방향 스트레스를 보이고 있다. 무부하의 2차원 모델의 스트레스는 부하에서의 스트레스보다 작다. 이로부터 부하는 액츄에이터의 스트레스에 중요한 요소라는 것을 알 수 있었다.

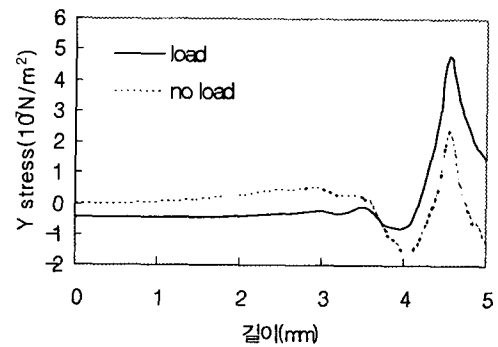


그림 4. 부하와 무부하 모델의  $y$ 방향 스트레스

그림 5는 층수에 따른  $y$ 방향 최대 스트레스 분포이다. 이것은 스트레스와 층수의 관계를 보여주고 있다.  $y$ 방향 최대 스트레스는 층수에 따라서 지수함수적으로 증가하여 260층 일 때 포화에 이르러서 더 이상 증가하지 않는다.

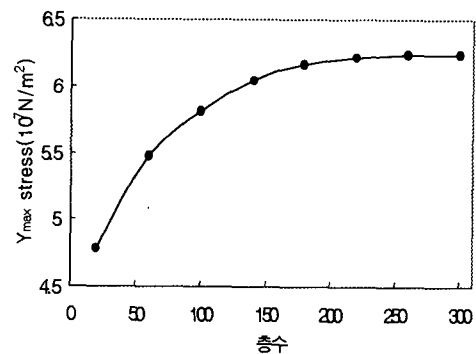


그림 5. 층수에 따른  $y$ 방향 최대 스트레스

그림 6으로부터 결합 모델의 y방향 스트레스가 정상 모델의 스트레스보다, 스트레스 곡선모양은 결합 주위에서 부드럽지 않게 나타났다.

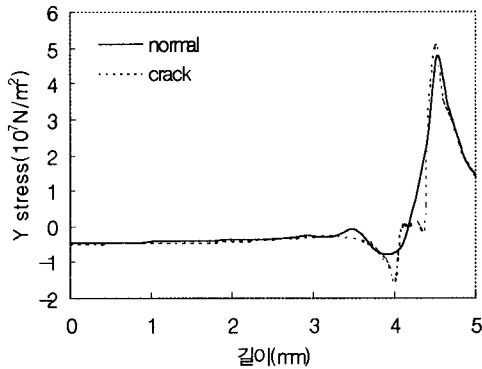


그림 6. 정상 및 결합 모델의 y방향 스트레스

#### 4. 결 론

유한요소 해석 프로그램인 ANSYS를 사용하여 적층 압전세라믹 액츄에이터 2차원모델의 내부 스트레스를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. y방향 최대 스트레스의 분석에 의해 내부전극갭 a의 적절한 크기는 0.4[mm]이며 외부전극두께 c에 의한 영향은 없었다.

2. 적층 액츄에이터의 내부 층에 따른 y방향 스트레스는 거의 변화가 없었다.

3. 부하조건하에서의 y방향 스트레스는 무부하 조건하에서의 것보다 컸다.

4. 층수에 따른 y방향 최대 스트레스는 260층까지 증가하였다.

위와 같은 결과들은 적층 압전세라믹 액츄에이터를 설계 시 상당히 유용한 정보가 될 것이며 제조할 때 시행착오를 줄일 수 있을

것이다.

#### 참고문헌

- [1] K. Uchino, Piezoelectric/Electrostrictive Actuators, Tokyo, Morikita, Japan, 1986.
- [2] K. Uchino, MRS Bull., 18, 42, 1993
- [3] S. Yamachita, Jpn. J. Appl. Phys., 20 suppl. 20-4, p.93, 1981
- [4] S. Takahashi, A. Ochi, M. Yonezawa, T. Yano, T. Hamatsuki and I. Fukui, "Internal Electrode Piezoelectric Ceramic Actuator," Ferroelectrics, Vol.50, p.181-190, 1983
- [5] A. Furuta and K. Uchino, "Dynamic observation of Crack propagation in Piezoelectric Multilayer Actuators," J. Am. Ceram. Soc., Vol. 76, No. 6, pp.1615-1617, 1993.
- [6] H. Aburatani, S. Harada, K. Uchino, A. Furuta and Y. Fuda, "Destruction Mechanism in Ceramic Multilayer Actuators," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 33, Part 1, No.5B, pp.3091-3094, 1994