

내부전극패턴 변경에 따른 적층형 압전 액추에이터의 유한요소해석

A Finite-element Method of a Multilayer Piezoelectric Body for an Actuator Depending on Inner Electrode Pattern

이형규^{1,a}, 강형원¹

(Hyeung-Gyu Lee^{1,a} and Hyung-Won Kang¹)

Abstract

New piezoelectric actuator design, which can reduce the number of the stacking layer without lowering the piezoelectric displacement, is suggested in this work. Each layer of the new designed multilayer actuator has the same electrode pattern as the cross-sectioned layer of the existing multilayer actuator has. The piezoelectric displacement was calculated by Finite-Element Method (FEM) analysis. The maximum piezoelectric displacement of the new-designed actuator with 13 layers was calculated to be almost same value (55.9 μm) as that of the existing actuator with 25 layers(60.1 μm).

Key Words : Finite-element Method, Multilayer, Inner electrode, Piezoelectric actuator, Displacement

1. 서론

최근 전자 제품은 많은 기능을 보유하고 있으면서도 어느 정도로 작게 만들 수 있는가에 관심이 모이고 있다. 제품이 작아지기 위해서는 적용 부품도 작아야 하고 만일 제품에 움직임 기능이 포함된다면 서브마이크론으로 위치를 조정하기 위한 미소 변위 소자가 필요하게 된다. 이와 같이 미소 변위를 조절할 수 있으면서 움직임이 가능한 것이 압전액추에이터이다.

압전액추에이터는 전기적 에너지를 인가하면 기계적 변위가 발생하는 압전체 소자를 이용한 액추에이터로 최근에는 각종 전자 정보 기기들의 모바일(mobile)화 및 소형화에 따라 기존의 모터 및 액추에이터보다 매우 작으면서도 고효율, 위치 결정 능력 및 토크가 우수한 구동체를 요구하고 있고 [1-3] 카메라폰용의 광학 줌, 자동 초점 기능을 갖

는 저전압 구동을 위해 수십 마이크로미터(μm)의 층간 구조를 형성시키는 적층 성형 구조 설계 및 공정 기술에 대한 연구가 늘어나고 있는 추세이다.

압전액추에이터에 대한 연구는 초창기에는 하나의 소결한 압전체 소자를 절단, 연마해서 얇은 판상으로 가공한 다음 이것에 전극을 도포한 후 접착 또는 압착하는 접합형 압전액추에이터로 진행되었으나 제작을 위한 공정수가 많아 생산성이 나쁘다는 점과 가공에 대한 한계로 인해 한 장의 두께를 그다지 얇게 할 수 없기 때문에 구동 전압이 높아지는 단점이 있었다. 이에 대한 대체 방법으로 슬러리 상태의 압전재료를 테이프 캐스팅을 통해 두께가 수십~수백 마이크로미터가 되는 시트(sheet)로 만들고 그렇게 만들어진 시트에 금속 전극재를 인쇄해서 여러 장을 압착한 후 동시 소결하는 방법(내부 전극법)이 고안되었는데 저전압 구동 및 신뢰성, 양산성을 개선할 수 있는 장점이 있다[4].

그러나 적층형 내부 전극법의 경우, 많은 수의 적층이 행해지면 다음 공정인 커팅 공정에서 쉘기 모양으로 생긴 커팅 칼날이 수직으로 들어가다가 압전체 소자의 두꺼운 두께로 인해 커팅면이 휘는 문제가 생긴다. 따라서, 이와 같은 문제를 해결하

1. 전자부품연구원 전자소재패키징연구센터
(경기도 성남시 분당구 야탑동 68)

a. Corresponding Author : hklee@keti.re.kr

접수일자 : 2005. 9. 21

1차 심사 : 2005. 10. 20

심사완료 : 2005. 11. 2

고자 기존 고적층과 유사한 변위값을 가지면서 컷팅을 두께가 얇은 방향으로 진행할 수 있도록 내부 전극의 패턴을 변경하여 액추에이터를 설계하였으며 이를 기존의 고적층 액추에이터와 비교하기 위해 그 변위값을 유한요소법의 원리를 이용한 Atila 5.2.4 프로그램을 이용하여 예측, 향후 적용 가능성을 검토해보고자 한다.

2. 본 론

2.1 압전체 소자

그림 1은 압전 시트가 25층 적층된 액추에이터용 압전체 소자이다. (내부 전극수 24개, A 전극 12개, B 전극 12개) 시트 두께를 150 μm 로 가정하면 소자의 총 두께는 3750 μm 가 되며 수축율을 감안한다면 소결 전에는 4800 μm 에 가까운 두께로 적층하여 소자를 제작해야 한다.

이처럼 적층된 압전체 소자는 두께가 두꺼워질수록 다음 공정인 컷팅 공정에서 썰기 모양의 칼날이 적층된 시트를 절단하면서 칼날이 수직으로 들어가다가 두꺼운 두께로 인해 한쪽으로 휘어 컷팅면이 수직으로 되지 못하고 휘는 단점이 있다. 이를 설명하기 위해 적층된 압전체 소자의 컷팅면을 그림 2에 나타내었다. 그림을 보면 컷팅면이 바닥면과 수직을 이루지 못하고 좌측으로 휘어져 내려가는 것을 확인할 수 있다. 이것은 두께가 얇은 컷팅 칼날에, 컷팅을 위해 위에서 내려 누르는 힘은 일정하나 소자의 두꺼운 두께로 인해 칼날이 쉽게 내려가지 못하기 때문에 컷팅하고자 하는 소자의 두께가 두꺼울수록 컷팅면은 심하게 휘어질 수밖에 없는 것이다.

이에 대한 대체 방법으로 그림 3과 같이 기존 방식으로 적층된 압전체 소자를 수직으로 절단한면(그림 3에서 수직면)을 가상하여 그 가상면을, 대체할 적층형 압전체 소자의 개별 시트면으로 가정하고 그 면과 기존 적층형 압전체 소자의 내부 전극면이 교차하는 지점에 있는 전극선과 동일하게, 실제 공정상에서 가상 시트면에 전극재를 인쇄하여 완성된 각 가상 시트면을 기존 적층형 압전체 소자의 세로 길이만큼 적층하는 방법을 고려했었다. 여기서 주목해야 할 것은 이러한 가정에도 불구하고 실제 제작될 대체된 적층형 압전체 소자의 가상 시트면에 그려져야 할 전극선은 일정한 폭을 갖는 면이 될 수밖에 없고 또한 기존 적층형 압전체 소자에서 연속적으로 연결되었던 전극면이,

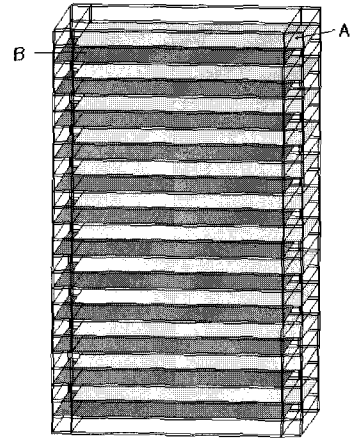


그림 1. 적층형 압전체 소자.

Fig. 1. Multilayer piezoelectric body.

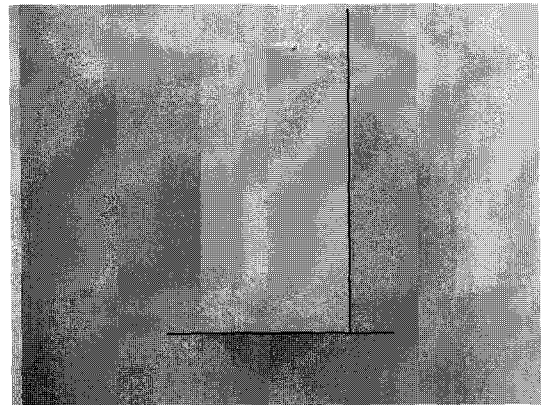


그림 2. 적층형 압전체 소자의 휘어짐 상태.

Fig. 2. Status of bending in the multilayer piezoelectric body.

대체된 적층형 압전체 소자에서는 적층이 되면서 불연속적으로 되어야 하기 때문에 기존 적층형 압전체 소자의 변위값과는 다른 값을 갖게 된다는 것이다. 따라서 이러한 공정상의 한계 때문에 기존 적층형 압전체 소자와 똑같은 변위값을 갖기는 어려우나 가상면의 전극폭이 작을수록, 그리고 가상 시트면의 두께가 얇을수록 기존 변위값에 근접할 것이다.

본 설계는 실제 공정처럼 가상 시트의 두께를 150 μm , 전극 폭은 인쇄가 가능한 150 μm 로 하였

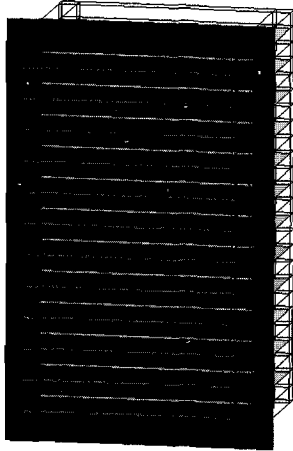


그림 3. 대체될 적층형 압전체 소자의 시트면에 인쇄될 전극선.

Fig. 3. Electrode line which will be printed in the exchanged multilayer piezoelectric body.

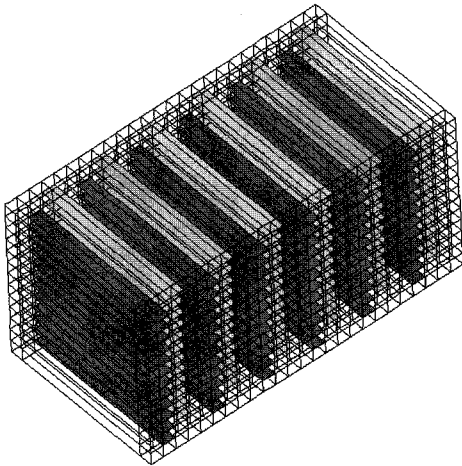


그림 4. 대체된 적층형 압전체 소자.

Fig. 4. Exchanged multilayer piezoelectric body.

다. 따라서 이러한 공정상의 한계로 인한 액추에이터의 변위값 감소가 예상되어 각각을 시뮬레이션하고 그 변위값을 비교 분석하였다.

본 연구에서는 기존의 적층형 압전체 소자의 적층수를 25층으로 한정하였으나 각각의 변위값이 유사하다면 고적층에서의 모든 전극층을 대체 설

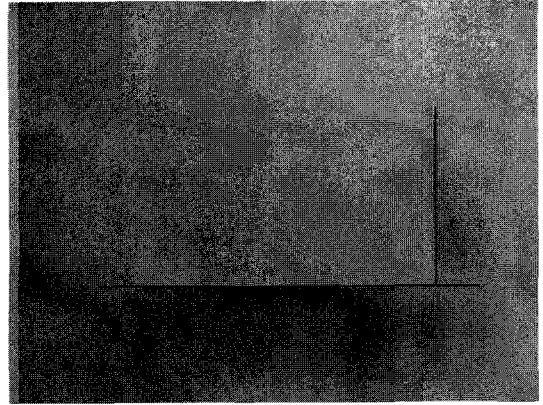


그림 5. 대체된 적층형 압전체 소자의 상태.

Fig. 5. Status in the exchanged multilayer piezoelectric body.

계하여 동일 평면에 한꺼번에 그릴 수 있는 장점이 있게 된다.

그림 5에는 대체된 적층형 압전체 소자의 커팅면을 나타내었다. 적층 두께가 기존에 대비해서 얇아졌기 때문에 커팅면의 휘어짐 증상도 거의 없음을 확인할 수 있다.

2.2 압전체 소자 설계

유한요소법(FEM)은 구조물을 유한요소라고 불리는 작은 부분으로 분해하여 각각의 요소들에 있는 점, 선, 면에 물리적인 법칙을 적용하여 서로 인접한 다른 요소들과의 결합을 통하여 구조물 전체에 대한 방정식을 만들어 해를 구하고 그로부터

표 1. 적층형 압전체 소자의 재료 정수.

Table 1. Material constants of the multilayer piezoelectric body.

Density	0.750E+04	kg/m ³
S_{11}^E	0.123E-10	m ² /N
S_{12}^E	-0.405E-11	m ² /N
S_{13}^E	-0.531E-11	m ² /N
S_{33}^E	0.155E-10	m ² /N
S_{44}^E	0.390E-10	m ² /N
d_{15}	0.496E-09	C/N
d_{31}	-0.123E-09	C/N
d_{33}	0.289E-09	C/N
ϵ_{11}^T	1.306E-08	F/m
ϵ_{33}^T	1.151E-08	F/m

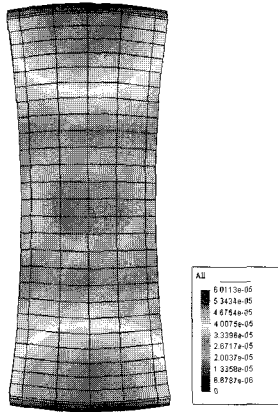


그림 6. 적층형 압전체 소자의 변위.
 Fig. 6. Displacement of the multilayer piezo-electric body.

구조물에 대한 물리적인 정보를 얻는 방법을 말한다. 이와 같은 유한요소법을 이용하여 적층형 압전체 소자의 물리적인 특성을 예측할 수 있는 대표적인 프로그램이 Atila 이다.

적층형 압전체 소자의 변위 해석을 위해 Atila 5.2.4와 GID 7.2를 이용하였고 해석 모델은 그림 1과 3에 나타내었다. 압전체 시트 두께는 150 μm 로 하였으며 소자의 크기는 각각 가로 \times 세로 \times 높이를 1950 \times 1950 \times 3750 (25층 적층), 3750 \times 1950 \times 1950 (13층 적층) μm 로 하였다. 여기서 주목할 점은 기존의 적층형 압전체 소자의 세로와 높이의 길이가, 대체된 적층형 압전체 소자의 높이와 세로의 길이로 변경이 되어 적층형 압전체 소자의 전체 두께가 그만큼 감소되었다는 점이다.

모델링이 끝난 후에는 프로그램에서 제공된 라이브러리(library)를 이용하여 적층형 압전체 소자의 재료를 설정하였으며 그를 표 1에 나타내었다.

설정된 재료의 면과 부피에 경계 조건을 주고 유한요소 해석을 위해 메쉬(mesh)를 형성하였으며 해석 후 프리프로세스(pre-process)를 완료하였다.

이렇게 하여 얻어진 변위량의 결과를 그림 6과 7에 나타내었다. 각각의 공진 주파수는 394 kHz, 419 kHz였으며 최대 변위값은 약 60.1, 55.9 μm 로 큰 차이를 보이지 않았다.

이것은 기존의 25층 적층된 압전체 소자를 수직으로 절단하여(그림 3 참고) 그 절단면을 내부 전극 패턴으로 변경하고 기존의 적층형 압전체 소자의 세로 길이인 13층으로 적층하여도 기존의 것과 유사한 변위량을 얻을 수 있음을 보여준다 하겠다.

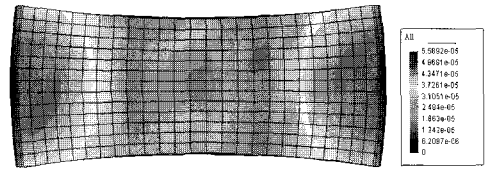


그림 7. 대체된 적층형 압전체 소자의 변위.
 Fig. 7. Displacement of the exchanged multi-layer piezoelectric body.

3. 결론

본 연구에서는 두꺼운 두께를 갖는 기존의 적층형 액추에이터용 압전체 소자를 수직으로 절단한 후 그 절단면을 내부 전극 패턴으로 변경하여 전극 인쇄를 하고 적층 수를 기존의 세로 길이만큼 감소시켜 그 최대 변위값을 유한요소법의 원리를 이용한 컴퓨터 프로그램을 이용하여 예측하였다. 얻어진 결과는 각각의 최대 변위가 약 60.1, 55.9 μm 로 큰 차이를 보이지 않았다.

이것은 기존의 적층형 압전체 소자를 제작하기 위해 한면의 거의 전부분에 인쇄되었던 내부 전극의 두께가 3~4 μm 였으나 수직으로 절단한 면을 내부 전극 패턴으로 변경하면서 비록 그 한면이 직선들로 분해되었으나 인쇄 전극폭을 3~4 μm 아닌 150 μm 로 하였기 때문에 기존의 적층형 압전체 소자로부터 얻어질 수 있는 최대 변위값과 유사한 결과가 얻어진 것으로 사료된다.

이러한 결과로부터 적층형 압전체 소자의 적층 두께가 두꺼울 경우 기존의 적층형 압전체 소자를 수직 절단한 모양으로 내부 전극 패턴을 변경하여 기존 적층형 압전체 소자의 세로 길이 만큼 적층 수를 감소시켜 적층하면 아무리 고적층을 요구하는 압전체 소자라고 하더라도 대체된 적층형 압전체 소자에서는 절단면의 전극만 신규로 추가하면 되기 때문에 커팅 공정에서 커팅면이 휘는 것을 방지할 수 있을 뿐만 아니라 기존의 고적층을 요구하는 압전체 소자와 유사한 최대 변위값을 얻을 수 있는 적층형 압전체 소자를 제작하는 것이 가능하다고 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 21세기 프론티어연구개발사업의 일환인 '차세대소재성형기술개발사업단'의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] J. Park, S. Keller, G. P. Carman, and H. T. Hahn, "Development of a compact displacement accumulation actuator device for both large force and large displacement", *Sensor and Actuators A*, Vol. 90, Iss. 3, p. 191, 2001.
- [2] H. N. Kwon, S. H. Jung, S. K. Lee, and J. H. Lee, "Design and characterization of a micromachined inchworm motor with thermo-elastic linkage actuators", *Sensors and Actuators A*, Vol. 103, Iss. 1-2, p. 143, 2003.
- [3] 김영우, 허운행, "압전 세라믹스의 기술 및 시장 분석" RIST, p. 10, 2005.
- [4] 윤기현, 오기영 譯, "압전/전왜 액추에이터", 반도체출판사, p. 99, 1995.