

적층 세라믹 콘덴서의 압전 유한요소 해석모델 구축 Finite element analysis for piezoelectricity of multilayer ceramic capacitor

박노철† · 고병한* · 박영필* · 박흥길**

No-Cheol Park, Byung-Han Ko, Young-Pil Park and Heungkil Park

Key Words : Multilayer ceramic capacitor, Piezoelectricity (압전), FEA (유한요소해석)

ABSTRACT

Multilayer ceramic capacitor (MLCC) makes acoustic noise of electronic devices. Conversely piezoelectric effect of dielectric substance consists of BaTiO₃ causes vibration of MLCC so it must be analyzed to reduce the noise. Thus, finite element model for piezoelectric analysis of MLCC was constructed in this paper. Piezoelectric characteristics of MLCC was considered for the accurate simulation result. Displacement response for sinusoidal voltage signal was measured and simulation result was verified with test result.

1. 서 론

적층 세라믹 콘덴서 (MLCC)는 크기가 매우 작고 기관 실장이 용이하며, ESL, ESR 이 비교적 작다는 장점 때문에 대부분의 전자제품들에 사용되는 필수 전기 소자이다. 그러나 전기적으로 좋은 특성을 지닌 반면에, 유전체 주 재료인 BaTiO₃ (BT)는 압전 효과를 나타내는 대표적인 물질이기 때문에 MLCC 에 전압이 인가되면 역압전효과에 의해 소자에서 미세한 진동이 발생하게 된다. 이로 인하여 최근 스마트폰이나 노트북 등에서 소음이 발생하여 문제가 되고 있으며, 소음을 줄이기 위한 MLCC 소자의 구조적 변경이나 기관 실장방법 등이 연구되고 있다.

소음 저감에 관한 이전 연구에서는 소자의 구조변경의 어려움 때문에 소자 외적으로 납땜 형상이 소음에 미치는 영향⁽¹⁾ 등에 대한 연구만이 진행되었다. 하지만 기존 연구들은 구체적인 실험 데이터에 기반하지 않고 경험적인 방법으로 진행되었기 때문에 효율적인 솔루션이라고 보기 어렵다. 하지만 설계변수 연구 등을 위하여 MLCC 를 실제 제작하는 데는

한계가 있기 때문에 해석모델의 구축은 필수적이다. 이에 따라 기존 연구에서 압전효과를 고려한 MLCC 의 해석모델을 구축하였으나⁽²⁾, MLCC 내부 구조를 고려하지 않았기 때문에 정확한 진동형상이 구현되지 않으며, 실제 거동과는 차이가 있다는 한계점이 있다.

따라서 본 연구에서는 MLCC 내부구조와 입력 전압 형태에 따른 압전 특성을 고려하여 압전 유한요소 해석모델을 구축하고자 한다. 또한 구축된 해석모델과 동일한 조건의 실험 샘플 테스트를 통해 해석모델의 신뢰성을 검증하도록 한다.

2. 유한요소 해석모델 구축

2.1 MLCC 구조 및 압전 특성 분석

MLCC는 그림 1과 같이 BT로 이루어진 얇은 유전체와 니켈로 이루어진 내부전극이 번갈아 적층되어 있으며, 각 내부전극은 오른쪽과 왼쪽의 외부전극에 연결된 형태로 되어 있다. 따라서 소자에 전압이 인가되었을 때 위아래 내부전극 사이의 유전체는 전기장 아래 놓이게 되고, 역압전효과에 의해 변형된다.

내부전극이 번갈아 적층된 구조에 의해 위아래로 인접한 두 유전체는 전기장을 반대방향으로 받게 되는데, 이로 인하여 분극되지 않은 MLCC의 각 층

† 교신저자; 정희원, 연세대학교 기계공학과

E-mail : pnch@yonsei.ac.kr

Tel : 02-2123-4677, Fax : 02-365-8460

* 연세대학교 기계공학과

** ㈜삼성전기 LCR 사업부

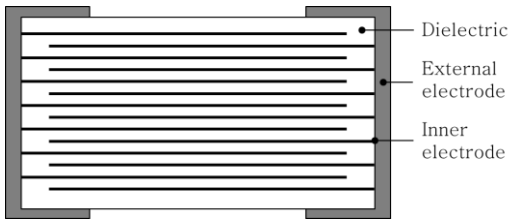


Fig. 1 Schematic of MLCC structure

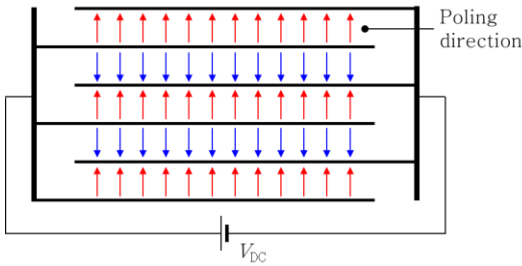


Fig. 2 Poling direction formation in MLCC

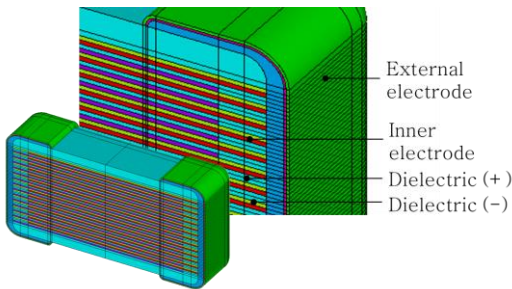


Fig. 3 Finite element model of MLCC

변형은 상쇄된다. 하지만 직류전압이 인가되는 상태에서는 그림 2와 같이 내부 유전체가 직류전압에 의한 전기장과 동일한 방향으로 분극되었다고 가정할 수 있으며, 이로 인하여 소자 전체 변형은 각 층의 변형량이 더해진 형태로 나타나게 된다. 또한 유전체 두께에 비해 길이와 폭이 충분히 넓으므로 프린지 효과에 의해 발생하는 전기장에 의한 변형은 무시할 수 있다.

2.2 유한요소 해석모델

그림 3은 구축된 유한요소 해석모델을 나타내고 있다. 길이, 폭, 두께가 각각 1000um, 500um, 500um이며 1uF의 용량을 갖는 MLCC를 대상으로 모델링되었으며, 유전체와 내부전극은 총 150층으로 구성되었다. 니켈과 구리, BT로 구성된 내부전극, 외부전극, 유전체에 표 1과 같은 기계적 물성을 입

Table 1 Material properties for FEA

	BT	Ni	Cu
Elastic moduli (GPa)	136	210	120
Poisson's ratio	0.29	0.31	0.33
Density (Kg/m3)	6,400	8,880	8,930
d31 (nm/V)	0.0035	-	-
d33 (nm/V)	0.0082	-	-

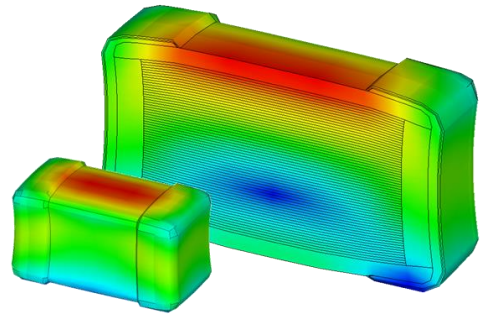


Fig. 4 Deformation shape of MLCC (FEA)

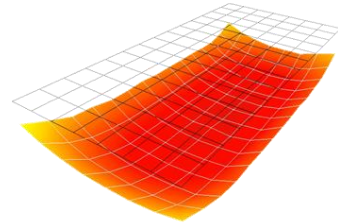


Fig. 5 Top surface deformation shape of MLCC (Test)

력하였고, 유전체에는 압전해석을 위하여 압전계수를 적용하였다. 분극방향을 설정하기 위하여 인접한 두 유전체에는 압전계수의 부호를 반대로 적용하여 동일한 방향으로 변형이 일어나도록 설정하였다. 입력 전압은 외부전극과 내부전극 노드들에 구속조건으로 부여하였고, 외부전극 아랫면을 고정하여 기판에 납땜된 상태를 모사하였다.

2.3 해석모델 검증

실제 전자제품에서 MLCC에 인가되는 전압을 고려하여 1kHz, 5V_{DC}, 2V_{PP} 형태의 정현파를 입력하였을 때, 구축된 유한요소 해석모델의 변형형상은 그림 4와 같이 나타난다. 이는 샘플 MLCC에 동일 신호를 입력하였을 때, scanning Laser Doppler Vibrometer (LDV)를 통해 측정한 그림 5와 같은

윗면 거동형상과 정확히 일치하는 것을 알 수 있다. 다음으로 해석모델의 정량적 검증을 위하여 MLCC에서 최대 변형이 일어나는 윗면과 외부전극면의 중심점에서 변위응답을 LDV를 이용해 측정하였으며, 표 2와 같이 해석결과와 비교하였다. 해석결과와 실험 결과가 1% 이내의 오차를 보임으로써, 구축된 해석모델의 신뢰성을 충분히 확보하였다.

3. 결 론

본 연구에서는 MLCC 내부구조와 입력 전압 특성에 의해 발생하는 압전 특성을 고려한 유한요소 해석모델을 구축하였고, 변위응답측정 실험을 통해 해석결과를 검증하였다. 추후 구축된 해석모델을 활용하여 MLCC에 의해 발생하는 소음 및 진동에 대한 설계변수 연구를 비롯한 체계적인 연구가 진행될 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 ㈜삼성전기의 지원을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 분들께 감사 드립니다. (2013-11-1974)

Table 2 Finite element model verification

Unit: nm	Top surface	External electrode surface
Experiment	5.81	2.11
FEA	5.75	2.09
Error	-1.0%	-0.9%

참 고 문 헌

- (1) Ko, B. H., Kim, J., Park, N. C., Park, Y. P., Park, K. S., Ahn, Y. G., Park, S. S. and Park, I. G., 2012, Design parameter selection for acoustic noise suppression of MLCC, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 654-655
- (2) Ko, B. H., Park, N. C., Jeong, S. K., Park, K. S., Park, Y. P., Park, H. and Ahn, Y. G., 2013, Simulation model of the Multi-Layer Ceramic Capacitor construction considering the piezoelectric effect, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 462-463.