

Barium Titanate 의 재료 특성을 고려한 MLCC 의 거동 분석

Analysis on behavior of MLCC considering material properties for BaTiO₃

박노철[†] · 정상극[‡] · 고병한* · 박영필*

No-Cheol Park, Sanggeuk Jeong, Byeong-Han Ko and Young-Pil Park

Key Words : MLCC, Barium titanate, Piezoelectricity, Electrostriction, Vibration shape

ABSTRACT

MLCCs are used broadly in electronic industry like smart phone and TV. Although they are fabricated in small size and have high capacitance, there are acoustic noise problems to reduce comfort of user. Acoustic noise results from linear piezoelectricity and nonlinear electrostriction of BaTiO₃ in MLCC and there are some researches on MLCC vibration under AC electric field. When only AC electric field without DC bias is applied to MLCC, fundamental frequency response is affected by piezoelectricity and second-harmonic frequency response shows electrostrictive vibration. In this study we get vibration shape of MLCC under AC electric field for each frequency and analysis on the mechanism of MLCC vibration affected by piezoelectricity and electrostriction.

1. 서 론

MLCC(Multi-layer Ceramic Capacitor)는 초소형의 캐패시터로 TV, 스마트폰, 디지털 카메라와 같은 일반 전자기기에 다량으로 실장되는 전자부품이다. MLCC는 작은 크기에 비해 매우 큰 용량을 갖기 위해 높은 유전율을 가지는 Barium Titanate(BT)을 주재료로 사용한다. 캐패시터의 용량의 극대화를 위하여 단면적을 늘림과 동시에 두께를 마이크로 미터 단위로 구성한다. 또한 유전체와 전극을 교대로 쌓아 올려 수백층에 이르는 구조를 통해 전기적으로 병렬연결시켜 용량을 증가시킨다. MLCC는 지속적으로 크기를 줄이면서 용량을 늘리는 방향으로 개발되고 있으며 이 과정에서 유전층의 두께는 점차 감소한다. 두께가 줄어들면서 정전용량은 증가하지만 내부전극 사이에 걸리는 전기장이 커지게 된다. 이 전기장은 유전체의 기계적 변형을 야기하며 MLCC 소자 전체의 진동 및 기판

의 공진소음을 유발한다. 이 소음은 실제 스마트폰을 사용할 시 통화 음질을 떨어뜨릴 정도로 크게 발생하므로 반드시 저감되어야 한다. 따라서 MLCC의 진동과 소음의 관계, MLCC 소자 자체 진동에 대한 연구 등이 활발히 이루어지고 있다.

MLCC의 진동은 BT의 재료 특성으로 인해 발생한다. 전기장에 의해 기계적 변형이 일어나는 이 현상의 원인은 압전 특성과 전기 변형 특성으로 나누어진다. 압전 특성은 기계적 변형이 전기장의 크기에 비례하며 전기장의 방향에 따라 수축, 팽창이 결정되는 선형성을 보인다. 반면 전기 변형 특성에 의한 변형은 전기장 크기의 제곱에 비례하고 전기장 방향으로 항상 수축하는 비선형적 특징을 보인다. BT는 두 가지 특성을 모두 갖고 있기 때문에 MLCC의 진동에 대해 접근할 때 두 가지 특성이 커플링된 형태로 보아야 한다. 이전 연구에서는 한 가지 주파수 성분을 갖는 교류 전기장을 인가하여 MLCC의 윗면 중심 변위의 인가 전기장에 따른 경향성을 분석하였다. 이를 통해 MLCC의 전기장에 따른 진동은 압전 특성과 전기 변형 특성 모두에 영향을 받게 됨을 밝혔다. 본 연구에서는 MLCC의 윗면, 옆면, 정면에서 생기는 표면의 거동을 측정하여 전체적 진동 형상을 토대로 내부에서 발생하는 진동을 분석하였다.

[†] 박노철; 연세대학교 기계공학과

E-mail : pnch@yonsei.ac.kr

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

[‡] 정상극; 연세대학교 기계공학과

* 연세대학교 기계공학과

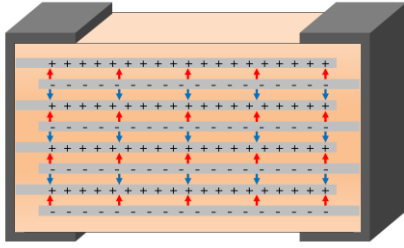


Figure 1 Internal structure of MLCC and electric field gradient

2. MLCC 내부 진동 메커니즘

2.1 MLCC 내 전기장 분포

MLCC는 내부전극과 BT가 교대로 쌓여 있는 구조를 갖고 있다. 내부 전극의 극성은 그림 1처럼 교대로 다른 극성을 띠며 이웃한 BT 층은 서로 다른 방향의 전기장 하에 놓이게 된다. 같은 전기장 하에서 압전 특성과 전기 변형 특성은 각각 다른 형태의 진동을 유발하므로 각각의 경우에 따른 진동 양상에 대해 분석할 필요가 있다.

2.2 압전 특성에 의한 진동

BT 와 같은 압전 재료의 특성은 재료 내부 분극의 분포에 따라 큰 차이가 발생한다. MLCC 내부의 BT 는 분극이 무질서하게 분포하는 Depoled 상태에서 사용환경에 따라 전기장 방향에 따라 정렬 현상(Poling)이 발생한다. BT 내부 분극이 무질서하게 분포할 경우는 압전특성이 매우 작아진다. 따라서 Z 방향의 최종 변위 역시 작게 나타나게 된다. 반면 BT 내부 분극이 정렬이 되는 경우 층에 따라 반대 방향으로 정렬되게 되며 유의미한 크기의 변위를 보인다. 이 경우 전기장의 방향, 정렬 방향이 모두 반대이므로 결국 이웃하는 유전층은 같은 거동을 보이며 최종 변위는 각 층 변위의 합으로 나타난다.

2.3 전기 변형 특성에 의한 진동

전기 변형 특성은 전기장의 방향에 상관없이 재료를 항상 수축시키게 한다. 따라서 각 유전층은 전기장 인가시 일관되게 수축하는 거동을 보이게 된다. 수축과 팽창이 반복되는 압전 특성과는 다른 거동이지만 모든 층에서 통일된 움직임을 보이므로 진동 형상은 같게 된다.

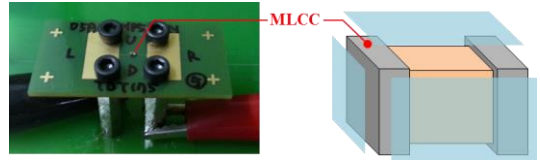


Figure 2 Experimental condition and three measurement faces of MLCC

3. 실험 조건

10mmX5mm 사이즈의 MLCC 를 대상으로 전기장을 인가시켜 그림 2 처럼 고정단을 형성하고 LDV(Laser Doppler Vibrometer)를 활용하여 진동을 측정하였다. 윗면, 옆면, 정면에 대해 ODS 를 측정하였으며 내부의 분극을 Depoled 상태로 만들기 위하여 BT 의 큐리온도인 180' C 로 90 분간 열처리를 수행하였다. 이후 직류 전기장을 단계적으로 인가하여 내부 분극이 정렬되도록 하였다. 본 연구에서는 압전 특성과 전기 변형 특성을 독립적으로 분석하기 위하여 직류 전기장 없이 교류 전기장을 인가하였다.

4. 실험 결과 및 분석

교류 전기장(1.0MV/m)을 인가할 때 MLCC 의 진동 형상을 도시하였다. 그림 3 은 Poling 정도에 따른 원 주파수 진동, 그림 4 는 두배 주파수 진동에 해당한다. 압전 특성에 의한 진동을 의미하는 2kHz 대역의 진동은 Depoled 상태에서는 그림 3(a)에서 나타나듯이 윗면, 옆면 상으로 역위상이 관찰되고 대칭성을 보이지 않는다. 반면 Depoled 상태의 4kHz 대역의 진동은 그림 4(a)와 같이 대칭성이 잘 드러난다. 이를 통해 Depoled 상태일 경우 압전 특성과 전기 변형 특성에서 비롯된 진동은 MLCC 내부에서 다른 형태로 발생하는 것으로 볼 수 있다.

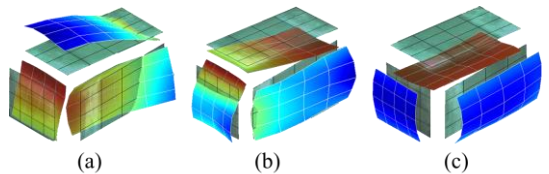


Figure 3 Vibration shape of MLCC at 2kHz (a) Depoled (b) 0.4Vdc poled (c) 4Vdc poled

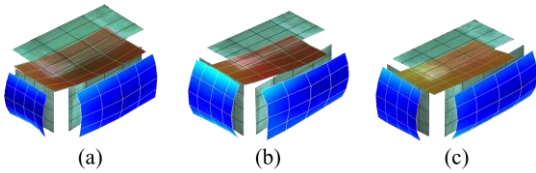


Figure 4 Vibration shape of MLCC at 4kHz (a) Depoled (b) 0.4Vdc poled (c) 4Vdc poled

그림 3 을 통해 직류 전압을 가하여 MLCC 내부 분극을 전기장 방향으로 정렬시킬 경우 원 주파수 진동 형상이 변화함을 알 수 있다. 진동 형상은 최초 Depoled 상태일 때 불규칙한 형상을 갖지만 내부 분극이 정렬되면서 대칭성을 갖고 전기 변형에 의한 형상에 가까워진다. 분극의 정도에 따라 진동은 내부에서 다른 메커니즘을 통해 발생함을 알 수 있다. 그리고 Poling 이 완전히 이루어질 경우 전기 변형 특성에 의한 진동과 마찬가지로 각 유전층이 일관되게 거동함을 추측할 수 있다. 반면 그림 4 에서 나타나는 Poling 정도에 따른 두배 주파수 진동 형상은 크기와 형상의 큰 변화가 없다. 이는 전기 변형 특성이 분극의 방향과는 상관 없이 일정한 변위를 발생시키는 특성을 갖기 때문이다.

5. 결 론

인가 전기장에 따른 MLCC 의 진동을 분석하기 위하여 교류 전기장을 인가시키고 MLCC 의 3 면의 ODS 를 측정하였다. 직류 전기장을 통해 Poling 정도를 제어하였을 때 압전 특성으로 인한 진동은 Poling 정도에 따라 진동 형상이 변화한다. 이는 Poling 이 진행되면서 전기장 방향으로 분극이 정렬됨에 따라 발생하는 것으로 전기장에 따른 유전층의 진동 양상이 바뀌기 때문이다. Depoled 상태에서는 압전 특성이 매우 작아지므로 불규칙한 진동 형상을 갖는다. 하지만 Poling 이 된 후에는 각 층에서 일관된 거동을 하게 되어 각 유전층의 진동이 보장되면서 크기와 형태가 달라지게 된다. 반면 전기 변형에 의한 진동 형상은 압전 특성에 의한 진동과는 다르게 크기와 형태 면에서 큰 변화를 보이지 않는다. 이는 전기 변형이 Poling 정도에 크게 변하지 않는 특성 때문이다. 따라서 MLCC 의 진동에서 압전 특성은 전기장에 대해 선형적이지만 Poling 정도에 따라 변화하기 쉬우며 전기 변형 특성은 전기장에 대해 비선형적 특성을 보이지만

Poling 이 되어도 변화가 적은 특성을 보여준다.

향후 MLCC 진동 및 소음에 대한 정확한 분석을 수행하기 위하여 주 요인인 BT 의 압전 특성의 Poling 정도에 따른 변화에 대한 연구가 필요하다. 그리고 이는 MLCC 가 직류 전기장이 포함되어 압전 특성과 전기 변형 특성이 더해져 나타나는 상황에 대한 분석과 실제 구동되는 환경에서의 분석으로 적용되어 전자기기에서 발생하는 소음 저감으로 연결될 것이다.

후 기

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

참 고 문 헌

- (1) Ko, B. H., Kim, J. K., Park, N. C., Park, Y. P., Park, K. S. and Ahn, Y. G., 2012, Analysis of acoustic noise generation mechanism of MLCC, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 830~831.
- (2) Jeong, S. G., Ko, B. H., Park, N. C. and Park, Y. P., 2014, Research on nonlinear characteristics of vibration from MLCC, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 394~395.