

MLCC에서 발생하는 진동의 비선형성에 관한 연구

Research on nonlinear characteristics of vibration from MLCC

정상극 · 고병한 · 박노철† · 박영필*
 Sanggeuk Jeong, Byeong-Han Ko, No-Cheol Park, Young-Pil Park

1. 서 론

전자부품 중 하나인 MLCC(Multi-Layer Ceramic Capacitor)는 소형이면서 높은 정전용량의 성능을 갖고 있기 때문에 최근의 경량화, 소형화 개발 추세에 잘 부합하여 소형 모바일 기기 뿐만 아니라 컴퓨터, TV, 자동차 등 널리 사용되고 있다. MLCC는 단위 부피당 높은 정전용량을 얻기 위하여 유전율이 높은 BT(Barium Titanate)를 주 유전체 재료로 한다. 하지만 BT는 유전물질임과 동시에 압전물질에 해당하므로 내부전극 사이에 전기장이 발생할 경우 기계적 변형을 일으키게 되어 소음이 발생한다. 이를 위한 MLCC의 소음 및 진동에 관한 여러 연구들이 수행되었다. MLCC의 진동에 대한 기존의 연구는 비선형적 특성이 제외된 선형적인 압전성에 의한 영향만을 평가해 왔다. 하지만 조건에 따라서 비선형적인 전기변형(Electrostriction) 특성에 의한 영향이 더 큰 경우도 실험을 통해 관찰되고 있으므로 이는 반드시 고려되어야 하는 부분이다. 따라서 본 연구에서는 MLCC에서 발생하는 진동에서 비선형성에 의한 영향을 분석하였다.

2. MLCC에서 발생하는 전기 변형 특성

2.1 전기 변형 특성

전기변형(Electrostriction) 특성은 내부에 분극(polarization)이 균일하게 분포된 유전체(Dielectric materials)에서 발생한다. 유전체의 외부에 전기장이 인가될 때 재료 내부의 분극은 한 방향으로 배열이 된다. 이에 따라 전기장의 방향으로 재료의 양 끝 부분은 다른 극성을 띠게 되며 전기적 인력이

발생하여 재료가 전기장의 방향에 상관 없이 항상 수축하게 된다. 전기변형 및 압전 특성에 관한 지배 방정식은 다음과 같다.

$$s_{ij} = d_{ijk}E_k + M_{ijkl}E_kE_l \quad (1)$$

위 식에서 s_{ij} 는 변형률, M_{ijkl} 는 압전 상수, M_{ijk} 는 전기변형 상수, E 는 전기장에 해당한다. 전기변형에 의한 변형률은 전기장의 제곱에 비례하게 된다.

2.2 적층 구조에서의 전기 변형 특성

MLCC와 같이 유전체물질(BT)이 적층되어 있을 경우 위의 식(1)을 통하여 인가 전압에 따른 변위를 유도해낼 수 있다.

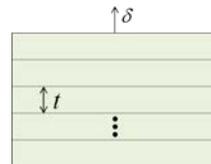


Figure 1 Multi-layer structure (dielectric material)

$$\frac{\Delta t}{t} = d \frac{V}{t} + Q(\chi_e \epsilon_0)^2 \frac{V^2}{t^2} \quad (2)$$

$$\delta = n\Delta t = ndV + nQ(\chi_e \epsilon_0)^2 \frac{V^2}{t} \quad (3)$$

위 식에서 n 은 적층수, V 는 전압, t 는 한 층의 두께에 해당한다. 변위 δ 는 다른 구조변수들이 고정될 때 오직 전압에 의한 영향을 받게 되며 전압을 일정한 주파수의 교류전압으로 가정할 경우 다음과 같이 표현된다.

$$V = V_{DC} + V_{AC} \cos \omega t \quad (4)$$

이 때 V_{DC} 는 직류 전압의 크기, V_{AC} 는 교류 전압

† 박노철: 연세대학교 기계공학과
 E-mail : pnch@yonsei.ac.kr

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

* 연세대학교 기계공학과

의 크기, ω 는 교류 전압의 주파수에 해당한다. 이를 식(3)에 대입하게 되면 전압에 따른 변위를 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} \delta &= nd(V_{DC} + V_{AC} \cos \omega t) + nQ(\chi_e \varepsilon_0)^2 \frac{(V_{DC} + V_{AC} \cos \omega t)^2}{t} \\ &= \left(ndV_{DC} + \frac{nQ(\chi_e \varepsilon_0)^2}{t} \left(V_{DC}^2 + \frac{1}{2} V_{AC}^2 \right) \right) \\ &\quad + \left(ndV_{AC} + \frac{2nQ(\chi_e \varepsilon_0)^2 V_{DC} V_{AC}}{t} \right) \cos \omega t \\ &\quad + \left(\frac{nQ(\chi_e \varepsilon_0)^2 V_{AC}^2}{2t} \right) \cos 2\omega t \quad (5) \end{aligned}$$

인가된 전압에 따른 변위는 정적 변위와 동적 변위로 나누어지며 동적 변위는 인가 교류 전압의 원(源) 주파수, 두 배 주파수 성분으로 표현된다. 원 주파수 성분은 압전과 전기변형 특성에 모두 영향을 받게 되고 두 배 주파수 성분은 전기변형 특성에만 영향을 받게 된다. 특히 직류 전압이 제거된 상태($V_{DC} = 0$)에서 교류전압만을 인가할 시 비선형적인 전기변형 특성은 두 배 주파수 성분에만 영향을 미치고 선형적인 압전 특성은 원 주파수 성분에만 영향을 미치게 된다. 따라서 직류 전압 없이 교류 전압만을 인가하였을 때 진동을 측정함으로써 각 요인에 따른 영향을 독립적으로 분리하여 관찰할 수 있다.

2.3 실험을 통한 검증

유도한 관계식을 바탕으로 MLCC의 진동에서 전기변형에 의한 효과를 관찰하기 위하여 실험을 진행하였다. 기판에 납땀한 MLCC를 그림 2와 같이 고정단을 부여하고 함수 생성기로 전압을 인가하여 LDV(Laser Doppler Vibrometer)로 진폭을 측정하였다. 직류 전압은 제거한 상태에서 교류전압의 주파수는 1kHz로 고정하고 크기는 1~5Vpp로 늘려가며 MLCC 윗면 중심의 진폭을 측정하였다.



Figure 2 Fixed condition of MLCC on the circuit board

LDV를 통해 측정된 변위를 원 주파수 성분

(1kHz)과 두배 주파수 성분(2kHz)을 그림 3으로 도시하였다. 원 주파수 성분은 교류전압이 증가함에 따라 선형적인 증가 추세를 보였고 두배 주파수 성분은 2차 함수 형태로 증가한다. 앞서 유도한 식(5)에서 두배 주파수 성분은 교류 전압의 크기의 제곱에 비례하므로 실험 결과를 통해 MLCC에서 두배 주파수 성분이 생기는 것은 전기변형에 의한 것임을 알 수 있다.

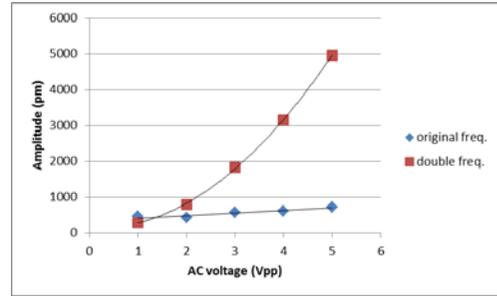


Figure 3 Tendency of frequency response

3. 결 론

본 연구에서는 MLCC에서 발생하는 진동의 비선형성을 입력 주파수의 두 배 주파수 성분을 검출하는 실험을 통하여 검증하였다. 기존의 선형적인 접근은 입력 주파수 성분의 진동만을 분석하였기 때문에 진동을 저평가하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 전기 변형 특성을 포함한 접근을 통해 MLCC의 진동에너지지를 정확하게 평가, 분석하여 진동/소음 저감 목표를 달성할 수 있다.

후 기

본 연구는 ㈜삼성전기의 지원을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 분들께 감사 드립니다. (2012-8-1793)

참 고 문 헌

[1] 고병한, 김재근, 박노철, 박영필, 박경수, 안영규, 박상수, 박일규, 한국소음진동공학회 2012년도 춘계학술대회 논문집, pp.654-655