

압전효과에 의한 적층 세라믹 콘덴서의 거동 분석

Study on behavior of multilayer ceramic capacitor caused by piezoelectricity

박노철[†], 고병한*, 박영필*, 안영규**

Byung-Han Ko, No-Cheol Park, Young-Pil Park and Younggyu Ahn

(2014년 9월 18일 접수; 2014년 9월 22일 심사완료; 2014년 9월 23일 게재확정)

Abstract

Vibration and acoustic noise arise from the Multilayer Ceramic Capacitor (MLCC) because of the piezoelectric effect of dielectric substance which consists of BaTiO₃. However, the phenomenon is not analyzed clearly because the MLCC shows different behavior compare with ordinary piezoelectric substance like PZT. Thus, MLCC was tested under the several DC bias conditions and heat treatment effect was also tested and analyzed in this paper. From the test, MLCC shows not only piezoelectric effect but also another physical phenomenon like electrostriction. Also, it was verified that DC bias affect to the piezoelectric constant of MLCC.

Key Words : MLCC, Pizoelectricity (압전), DC bias (DC 바이어스), Heat treatment (열처리)

1. 서 론

적층 세라믹 콘덴서 (Multilayer Ceramic Capacitor, MLCC)는 매우 얇은 유전체와 내부전극을 수백 층 적층함으로써 작은 소자 크기에 비해 큰 정전 용량을 가지는 콘덴서의 한 종류이다. 따라서 유전체와 내부전극을 얇게 만드는 것이 제조기술의 핵심인데, 최근 생산되는 제품들은 유전체와 외부전극 두께가 수백 nm 수준이다. 이로 인하여 전극과 전극 사이의 유전체는 매우 큰 전기장 아래 놓이게 되고, 유전체로 사용되는 BaTiO₃ (BT)의 압전 효과에 의해 소자에서 변형이 발생한다. MLCC 제조공정 중 내부 유전체가 분극되지는 않기 때문에 압전 액추에이터에 사용되는 재료와 같이 압전계수가 크지는 않지만, 입력되는 전압 형태에 따라 소자의 변형이 수 nm 에서 수십 nm 까지 발생한다. 이러한 소자 자체의 변형은 매우 작더라도 납땜을 통해 기판에 전달되는 가진력은 기판을 진동시키

기에 충분한 크기이므로, 소자의 진동에 의해 기판의 공진이 발생한다. 결과적으로, 가청주파수 내의 기판 공진은 소음을 유발시키며, 스마트폰이나 노트북과 같이 사용자 근처에서 사용되는 전자제품들의 경우에 불편을 느낄 수 있다.

MLCC 에 의한 소음이 여러 분야에서 보고되고 있지만, 실제 연구된 바는 많지 않다. Prymak[1]은 MLCC 에서 발생하는 소음을 압전효과에 의한 것이라 예측하였고, Singing capacitor 라 명명하였으나 정확한 거동원리나 소음발생과정에 대한 분석은 이루어지지 않았다. Laps[2]는 Clip 형태의 추가적인 구조물을 이용한 기판 위 납땜을 통해 MLCC 에서 발생하는 소음을 저감하고자 하였고, 테스트하여 검증하였다. 하지만 이는 기존에 이미 다른 이유에 의해 사용되던 납땜방법의 소음 저감효과를 검증한 것이며, 소음 저감효과에 비해 추가적인 구조물이나 기판 위 자리를 더 많이 차지한다는 단점이 있다. Guibourg[3]는 MLCC 및 기판, 납땜방법, 실장위치 등 여러 인자들이 소음에 어떤 영향을 미치는지 알아보았다. 하지만 이는 개략적인 결과이며, 구체적인 경향성을 파악했다고 보기는 어렵다.

실제 MLCC 에서 발생하는 압전효과는 널리 사용되는 분극된 PZT 등과는 다르기 때문에 정확한 연구를 위해서는 입력신호 및 MLCC 상태에 따라

[†] School of Mechanical Engineering, Yonsei university

E-mail : pnch@yonsei.ac.kr

TEL : (02) 2123-4677

* School of Mechanical Engineering, Yonsei university

** Samsung Electromechanics, LCR division

어떤 거동을 나타내는지에 대한 실험 및 분석이 선행되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 DC 바이어스 크기에 따라 MLCC 가 어떤 거동을 나타내는지 측정하였으며, 기기 사용 중 소자에 인가되는 DC 바이어스가 MLCC 상태에 어떤 영향을 미치는지 살펴보았다. 또한 MLCC 의 열처리 유무에 따라 압전효과가 어떻게 변하는지 관찰하였다.

2. DC 바이어스에 의한 영향분석

2.1 실험장치 구성

실험장치는 그림 1 과 같다. MLCC 에서 발생하는 수 nm 의 진동을 측정하기 위하여 Laser Doppler Vibrometer 를 사용하였고, 함수발생기를 이용하여 MLCC 에 전압을 인가하였으며 오실로스코프를 이용하여 결과를 수집하였다. MLCC 는 그림 2 와 같이 제작된 실험기판에 납땀하여 실험하였는데, MLCC 의 진동에 의해 기판의 휨이 발생하면 온전한 MLCC 의 진동량을 측정할 수 없기 때문에, 실험기판의 두께를 1.6mm 로 매우 두껍게 제작하였고, 고정점을 MLCC 에서 최대한 가깝게 하여 기판의 휨이 발생하지 않도록 하였다. 실험기판은 무거운 알루미늄 지그에 부착하였으며, 모든 실험은 방진테이블 위에서 진행되었다.



Fig. 1 Experimental setup

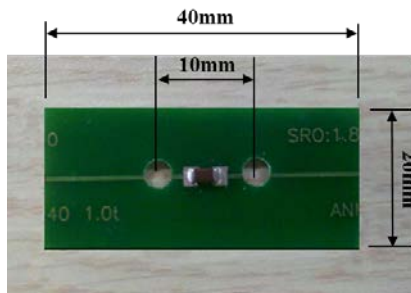


Fig. 2 MLCC Test board for vibration measurement

2.2 DC 바이어스에 의한 영향

MLCC 는 DC-DC 컨버터, 전압 제어 등 그 사용 목적에 의해 DC 바이어스가 필연적으로 인가되는데, 기기에 따라 인가되는 DC 바이어스에는 차이가 있으므로, 이에 따른 MLCC 의 거동이 어떻게 나타나는지에 관한 분석이 필수적이다.

DC 바이어스에 의한 영향을 살펴보기 위하여 MLCC 에 기본적으로 1kHz, 6V_{pp} 의 정현파를 입력하였고, DC 전원을 이용하여 0V 부터 3V 까지 1V 간격으로 DC 바이어스를 인가하였다. 이 때 그림 3 과 같이 최대변형이 나타나는 MLCC 중심점을 측정하였다.

실험 결과는 그림 4 와 같다. 그림 4 의 위 그래프는 입력 신호 형태를 나타내고, 아래 그래프는 이 때 MLCC 중심점의 변위응답을 나타낸다. 먼저 대부분의 기기에서 사용되는 전압 형태인 DC 바이어스가 3V, 즉 입력 전압이 0V 이하로 떨어지지 않는 경우에는 MLCC 가 입력 전압과 동일한 1kHz 로 진동하는 것을 알 수 있다. 세부적으로는 MLCC 가 DC 바이어스에 의해 일정량 팽창한 상태로 진동하는 것을 관찰할 수 있다.

하지만 DC 바이어스가 3V 보다 작은 경우에는 입력 전압이 0V 이하로 떨어지게 되는데, 그에 따라 MLCC 는 입력 신호와 다른 형태의 거동을 보였다. 전압이 0V 이하로 떨어지는 구간, 즉 -전압이 인가되는 상태에서도 +전압이 인가될 때와 마찬가지로 MLCC 가 팽창하는 모습을 관찰할 수 있었다. 특히, DC 바이어스가 0V, 즉 온전히 1kHz 정현파 신호만 인가되었을 때에는 그 2 배주파수에 해당하는 2kHz 변위응답이 측정되었다.

또한 각 경우의 진폭을 살펴보면, DC 바이어스가 3V 일 때 가장 큰 약 10nm 를 보이며, DC 바이어스가 없는 경우에는 가장 작은 약 2.4nm 를 보였다.

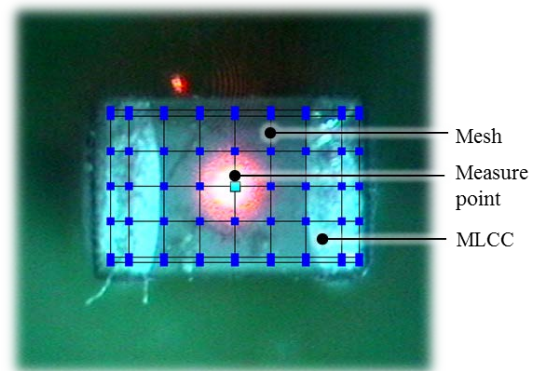


Fig. 3 MLCC measurement point

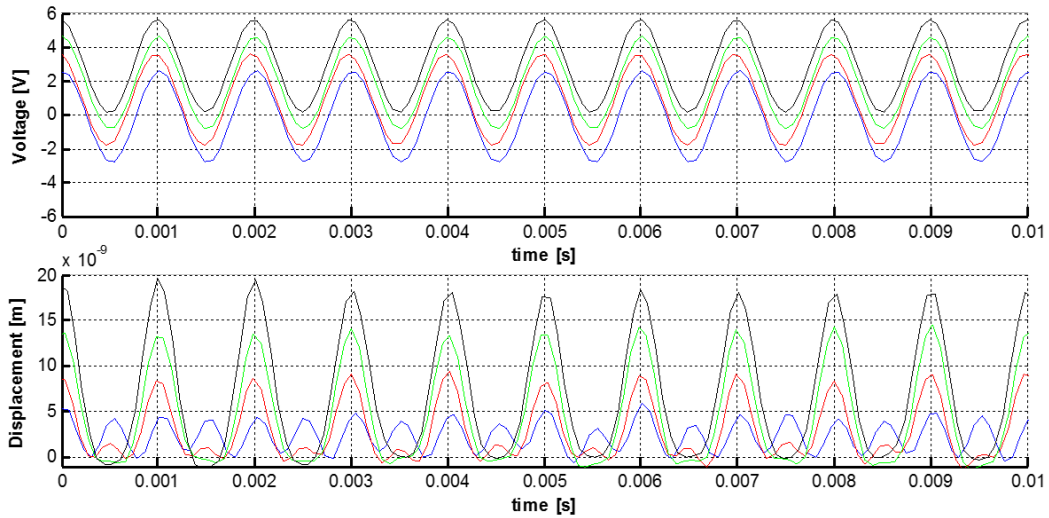


Fig. 4 Input voltage and MLCC displacement response for a number of DC bias

이는 일반적인 압전체의 거동이라고 보기 어렵다. 압전체의 경우 입력 전압 부호에 따라 팽창 또는 수축이 일어나야 하며, 입력 주파수와 동일한 주파수로 응답이 발생해야 한다. 하지만 위 실험결과에 의하면 DC 바이어스가 작아짐에 따라 수축은 일어나지 않고 팽창만 발생하며, 이에 따라 DC 바이어스가 0 인 경우에는 입력 주파수의 2 배 주파수로 거동이 관찰된다. 또한 진폭도 매우 작아지는 것을 볼 수 있는데, 이는 DC 바이어스가 작아짐에 따라 압전계수가 작아진다는 것을 의미한다. 따라서 DC 바이어스가 0 인 경우에는 압전계수가 거의 0 에 가까울 것이라 예측할 수 있으며, 따라서 2 배 주파수에 해당하는 거동은 압전효과 외에 전기변형 등의 다른 물리적 현상에 의해 발생하는 거동이라 판단된다.

3. 열처리 유무에 따른 영향

3.1 열처리에 따른 압전효과 변화

일반적으로 압전체를 사용하기 위해서는 분극 과정이 필요하다. 이는 Curie 온도 이상에서 압전체에 전기장을 일정한 방향으로 걸어줌으로서 유전체 내 쌍극자들을 전기장 방향으로 정렬시키는 과정이다. 반면, Curie 온도 이상에서 전기장을 걸어주지 않으면 오히려 쌍극자들이 무작위하게 배열되어 분극이 전혀 이루어지지 않게 된다. 이때의 압전효과는 매우 작거나 나타나지 않는데, MLCC 제조 시 소결 과정의 온도가 BT의 Curie

온도인 180C 보다 훨씬 높으며, 따로 전기장을 걸어주지 않기 때문에 MLCC는 기본적으로 분극이 되지 않은 압전체이다.

하지만 BT가 유전체로 사용될 때 유전파괴가 일어나지 않도록 grain 크기를 매우 작게 제조하게 되는데, 이로 인하여 각각의 grain 내부 쌍극자들이 외부 전기장에 의해 쉽게 변화할 가능성이 있다. 또한 MLCC 작동 시 인가되는 DC 바이어스에 의해 거동 특성이 변화하므로 제조 후 시간이 경과하여 DC 바이어스에 오래 노출된 MLCC는 열처리 직후의 특성과 다를 것이라 예측된다.

3.2 열처리에 의한 영향

열처리를 위하여 진공 베이킹 챔버를 사용하였고, 앞서와 마찬가지로 1kHz, 6V_{pp}의 정현파를 MLCC에 입력하였다. DC 바이어스에 의한 영향은 배제하기 위하여 입력하지 않았다. 2 가지 샘플군에 대하여 실험을 진행하였는데, 첫 번째 샘플군은 5V 크기의 DC 바이어스를 상온에서 1 시간동안 5 회 30 분 간격으로 입력한 뒤 실험을 실시하였으며, 두 번째 샘플군은 200C 에서 1 시간 열처리 후 30 분간 aging 한 직후에 실험을 실시하였다.

실험 결과는 그림 6 과 같다. 그림 6 의 위쪽 그래프는 입력 전압에 대한 MLCC 중심점의 속도 응답을 나타내며, 아래쪽 그래프는 FFT 한 결과를 나타낸다. 실험 결과, 열처리 이전에 DC 바이어스가 충분히 입력된 MLCC는 입력 전압의 주파수와 동일한 1kHz 응답이 발생하는 것을 관찰할 수 있었다. 반면, BT의 Curie 온도인 180C 이상에서

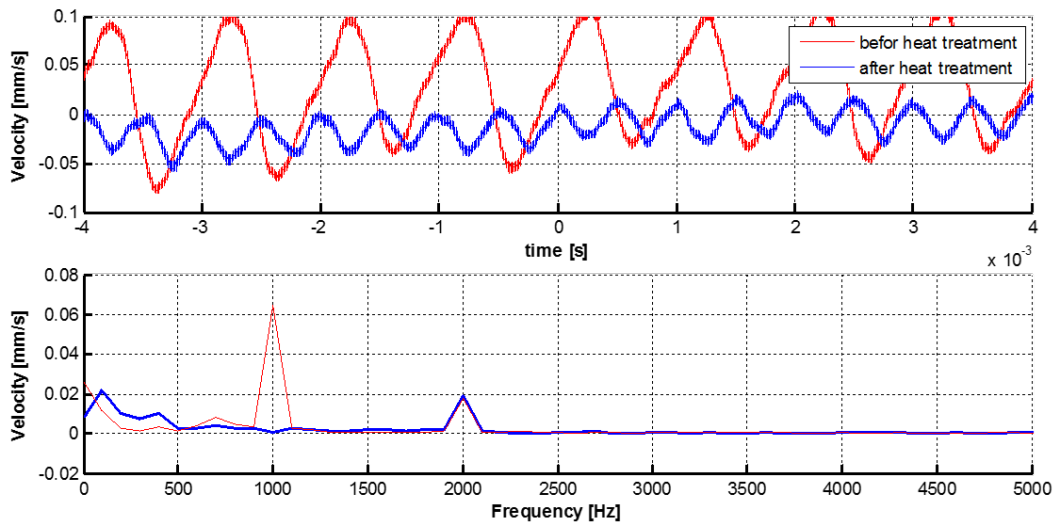


Fig. 6 MLCC displacement response for a number of DC bias

열처리된 직후에 실험한 MLCC 의 경우 1kHz 응답성분은 관찰되지 않았고, 그 2 배에 해당하는 2kHz 성분만 관찰되었다.

본 실험결과에 의하면 열처리된 직후의 MLCC 는 내부 유전체의 쌍극자들이 랜덤하게 배열되어 압전효과가 매우 미미하게 나타나며, 상온에서도 DC 바이어스가 충분히 인가된다면 쌍극자들이 분극과정을 거친 정도는 아니지만 일정 수준만큼 정렬되어 압전효과에 의한 진동이 발생한다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 MLCC 소자에서 발생하는 압전 효과에 의한 거동 특성을 여러 조건하에 살펴보았다. 먼저 DC 바이어스 크기에 상관없이 MLCC 에서는 팽창만 일어난다는 사실을 실험적으로 검증하였으며, DC 바이어스가 작아질수록 압전계수가 줄어든다는 것을 알 수 있었다. 또한 DC 바이어스가 없는 경우에는 압전효과에 의한 영향이 매우 작으며 다른 물리적 현상에 의해 MLCC 가 진동한다는 것을 알 수 있었다. 다음으로 열처리가 MLCC 의 압전특성에 어떠한 영향을 미치는지 알아보았으며, 열처리 직후의 MLCC 는 내부 쌍극자들이 랜덤하게 배열되어 압전효과가 매우 미미하게 나타난다는 사실을 알 수 있었다. 또한 상온이더라도 DC 바이어스가 충분히 입력된 후의 MLCC 는 마치 분극된 압전체와 같은 거동을 보인다는 사실을 알 수 있었다.

본 연구를 통해 MLCC 가 사용되는 여러 환경에서 MLCC 의 거동을 예측할 수 있을 것이라 기대되며, 이를 통해 MLCC 에서 발생하는 진동 및 소음 저감에 관한 연구를 보다 체계적으로 진행할 수 있을 것이라 생각된다.

후 기

본 연구는 (주)삼성전기 (과제번호: 2013-11-1974) 의 지원을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 분들께 감사 드립니다.

REFERENCES

- [1] John D. Prymak, 2006, "Piezoelectric Effects Ceramic Chip Capacitors (Singing Capacitors)" 2006-08 Arrow Asian Times Article
- [2] Mark Laps, Roy Grace, Bill Sloka, John Prymak, Xilin Xu, Pascal pinceloup, Abhijit Gurav, Michael Randall, Philip Lessner, Aziz Tajuddin, 2007, "Capacitors for Reduced Micro-phonics and Sound Emission", CARTS 2007, Conf. , 27 : 207-216
- [3] Nicolas Guibourg, 2012, "Minimise MLCCs' piezoelectric effects, audible noise", EE Times-India
- [4] B. Jaffe, W. Cooke, 1971, "Piezoelectric Ceramics", Academic Press
- [5] Craig D. Near, 1996, "Piezoelectric actuator technology", Proc. SPIE 2717, Smart Structures and Materials 1996: Smart Structures and Integrated Systems, 246