

Projector 회로 소음 및 진동 저감의 실험적 연구

An Experimental Study on the Noise and Vibration reduction of Projector Driving Board

최영수† · 송근영* · 이종권* · 오홍렬* · 이승규*

Youngsoo Choi, Keunyoung Song, Jongkwon Yi, Honglyeol Oh, Seunggyu Lee

Key Words : Projector (프로젝터), MLCC(적층세라믹콘덴서), noise(소음), vibration(진동), microphonic(마이크로포닉)
ABSTRACT

This paper deals with noise reduction on a light source driving board in a projector. We analyze causes of noise/vibration in the circuit with the present increasing use of LD and LED driving boards. The main source of noise is the MLCC in the driving board. Our aim is to investigate how the mechanical arrangement of the circuit elements affects noise reduction. The result of our experiment shows that noise can be reduced by symmetrical arrangement and slots in PCB. This result is expected to facilitate a variety of applications for manufactures without a need to change circuit elements.

기 호 설 명

- L : 적층세라믹소자 (MLCC)의 길이
- ΔL : 길이방향 변위 변화량
- T : 적층세라믹소자 (MLCC)의 높이
- ΔT : 높이방향 변위 변화량
- α : 푸아송 상수

1. 서 론

최근 가전제품의 소음진동 문제는 모터, 컴프레서 등이 포함된 세탁기나 냉장고 뿐 아니라 TV 와 같은 디스플레이 장치에도 대두되고 있다. 이는 소비자의 소음에 관한 수준이 올라갔을 뿐 아니라 기술의 발전으로 전자제품의 모터, 컴프레서, 냉각팬 등의 주요 소음원들이 많이 감소하고 주변 환경이 많이 정숙해졌기 때문이다. 이로 인해 전기, 전자기적

요소에 의한 미세한 회로 소음 발생이 소비자의 신경 거슬림 등으로 부각되고 있다⁽¹⁾⁽²⁾. 본 연구에서는 이 중 projector 에 관해 다루고자 한다. 일반적으로 Projector 의 주요 소음원은 냉각팬, phosphor wheel, color wheel 등 회전체 진동에서 발생하는 구조소음과 공력소음이다⁽³⁾. 하지만 근래 냉각기술의 발달과 밀폐나 차폐 등의 방법으로 해당 소음원들의 기여도가 감소하면서 회로에서 발생하는 고주파대역의 소음이 문제가 되고 있다⁽⁴⁾. 회로에서 발생하는 소음은 전류 인가 시, 회로소자들이 가진되고 PCB 로 진동이 전달되어 발생하는 소음이다. 이런 소음의 특성은 앞서 언급하였듯이 고주파 대역으로서 사용자들에게 정서적인 불쾌감을 형성한다. 이때 주요 진동소자는 적층세라믹압전소자 (MLCC)이며, 해당 소음 저감을 위해 생산업체에서도 많은 연구가 진행되고 있다⁽⁵⁾. 하지만 신규소자의 사용은 많은 검증이 필요하여 빠른 대응이 어렵다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 회로소자의 기구적 배치를 통한 진동 및 소음의 저감을 실험적으로 검증하는 데 그 목적이 있다.

† 교신저자: 정희원, 교신저자 LG 전자 소재부품연구소

E-mail : youngsoo29.choi@lge.com

Tel : +082-2-526-4907

* LG 전자 소재부품연구소

2. Projector 회로소음

2.1 Projector 광원

Projector 에서 광원은 밝기와 색조표현에 큰 영향을 미치는 요인이며, 제품 가격에 가장 큰 기여도를 가지고 있다. 특히 지금까지도 대중적으로 사용되는 Lamp(metal halide, UHP, Xenon 등)는 밝기 향상에는 만족스러운 결과를 나타내었지만, 수명이 짧은 단점을 가지고 있다. 이로 인해 lamp의 잦은 교체에 따른 비용적, 환경적 문제를 야기하게 된다. 따라서 친환경적이며 긴 수명을 가지는 광원을 찾게 되었고 Laser diode(LD), LED 등의 사용이 대두되고 있다. 나아가 긴 수명을 보장하지만 밝기의 한계를 가지고 있는 LED광원의 경우 blue LD와 같이 사용하여 밝기를 향상시킬 수 있는 Hybrid 개념의 광원이 사용된 제품도 출시되고 있다. 광원의 개발과 더불어 밝기와 색조표현 향상을 위한 연구도 진행되고 있다. 색조 표현 시 RGB에 인가되는 전류값을 달리하거나, 광원의 on/off를 통해 RMS 전류값을 일정하게 유지한 채로 실제 사용구간의 전류를 증가시켜 밝기를 향상시키는 방법 등이 사용된다. 하지만 이런 인가전류의 변화로 인해 광원을 동작시키는 보드의 MLCC와 같은 소자가 진동을 하여 회로 소음이 발생하게 된다.

2.2 광원의 작동 원리

아래 Fig. 1은 광원을 구동하는 보드의 간단한 개략도를 나타내고 있다.

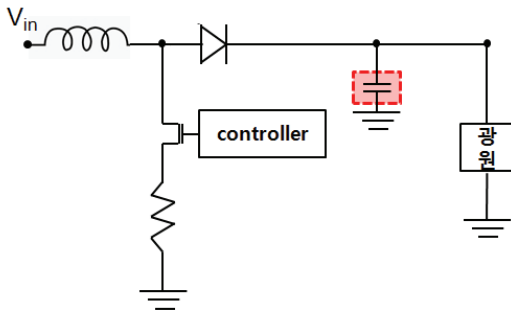


Fig. 1 Schematic diagram of driving board

광원에 인가되는 전류는 controller에 의해 제어가 되며 주 진동소자는 점선으로 표시된 콘덴서 즉, MLCC이다. 광원에 인가되는 전류는 밝기나 색조표현의 향상을 위해 controller에서 pulse형태의 전류값으로 조절되고 점선으로 표시된 콘덴서에도 해당

전류가 인가되게 된다.

2.3 광원 구동보드의 소음원

광원 구동보드에서 발생하는 소음은 광원구동을 위해 전류가 Pulse형태로 인가될 경우 MLCC의 진동으로 인해 발생한다. 일반적으로 MLCC에 가해지는 전압이 주기적으로 바뀌게 되면 MLCC는 팽창과 수축을 반복하게 된다. 이런 MLCC의 수축과 팽창은 전자기적 힘에 의해 Fig. 2와 같이 소자의 높이 방향으로 발생하게 되며⁽⁵⁾ 이때 발생하는 변위는 소자가 연결된 PCB로 전달되어 진동과 소음을 유발하게 된다.

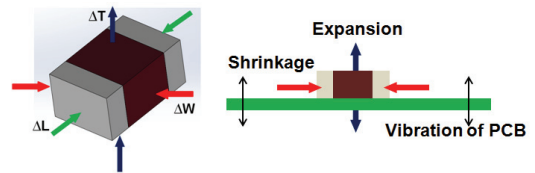


Fig. 2 Vibration of MLCC

변화하는 전압의 진폭이 작을 경우에는 들리지 않을 정도의 소음이지만, 진폭이 증가하고 소자의 수가 많아지게 되면 사람이 들을 수 있는 가청 주파수 대역의 소음이 발생하게 되는데 이를 microphonic이라 한다⁽⁵⁾. 본 실험에서 MLCC 진동에 의해 발생하는 진동은 Fig. 3과 같이 shock의 형태를 가지게 되며, 이에 따라 발현되는 주파수 영역에서의 소음 특성은 무수히 많은 Harmonic 성분을 가지는 Fig. 4와 같은 양상을 나타낸다.

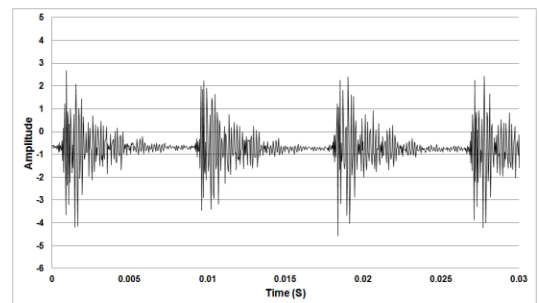


Fig. 3 Vibration of light source driving board

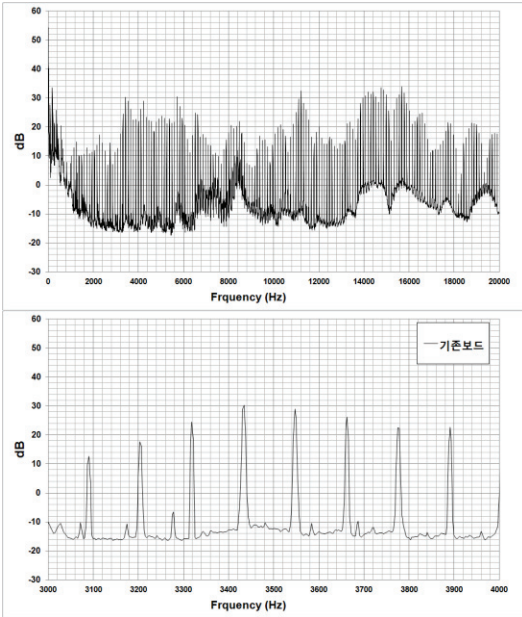


Fig. 4 FFT of acoustic noise in light source driving board

주파수 간격을 확대해서 보면, 이는 controller에서 인가한 120Hz와 동일한 주파수 harmonic 으로 진동을 한다는 것을 알 수 있다.

2.4 광원 구동보드의 일반적 소음 저감 대책

(1) 제진재

Microphonic은 위에서 언급하였듯이 MLCC의 진동에 의해 야기되는 것이기 때문에 진동을 줄여주게 되면 소음 저감을 기대할 수 있다. 이를 위해 진동 저감에 가장 단순하면서 효과적인 방법인 제진재를 사용하여 소음 저감효과를 확인해보았다.

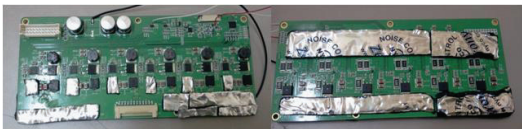


Fig. 5 Vibration damper

Fig. 5와 같이 실험에 사용할 구동보드 앞,뒷면에 제진재를 부착하여 실험한 결과 기준대비 약 4~5 dB의 소음저감효과를 확인할 수 있었다. 하지만 제진재를 사용할 경우 그에 따른 재료비 상승과 보드 내 회로소자의 냉각 유동 경로를 차단하여 냉각

면에서 불리한 조건이 된다. 뿐만 아니라 제진재는 부착 후에 제거가 어려워 고장 시 교체가 어렵다는 문제점이 있다.

(2) 신규소자

위에서 언급하였듯이 Microphonics은 그림과 같이 MLCC의 높이방향 변화량 (ΔT)이 PCB기판의 진동을 일으켜 발생하게 된다. 이때, 두께방향 변화량 (ΔT)과 길이방향 변화량 (ΔL)은 푸아송 상수 (Poisson constant)에 의해 다음과 같은 관계를 가지게 된다.

$$\frac{\Delta L}{\frac{L}{\Delta T}} = \alpha \quad (1)$$

다시 나타내면,

$$\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot \frac{L}{T} \quad (2)$$

로 나타낼 수 있다. 즉 ΔL 을 감소하게 되면 ΔT 가 감소하여 진동저감을 통해 소음을 줄일 수 있게 된다. 또한 MLCC 크기가 작을 경우에도 발생하는 소음을 줄일 수 있으며⁽⁶⁾, 유전물질 변경을 통해 고밀도로 제작하여 사용되는 MLCC의 개수를 감소시킴으로써 소음을 저감하는 효과를 가질 수도 있다. 이와 더불어 Fig. 6과 같은 기존소자를 기구적으로 변경한 저소음용 소자가 개발하기도 하였다⁽⁷⁾.



Fig. 6 MURATA MLCC⁽⁷⁾

하지만 이런 신규소자의 경우, 그 가격이 기존 양산에서 사용하는 소자에 비해 비싸기 때문에 재료비 상승을 야기시킨다.

따라서 본 논문에서는 기존 양산에서 사용하는 소자는 변경하지 않은 상태에서 소음을 야기하는 진동소자의 기구적인 배치를 통해 소음 저감효과를 확인하고자 하였다.

3. 실험

3.1 PCB의 기구적 배치를 통한 소음저감

(1) PCB의 형상 변경

Microphonic 현상에서 PCB는 소음을 방사하는 스피커 역할을 하게 된다. 따라서 PCB 형상을 사각형 형태가 아닌 모양으로 만들면 진동 시 발생하는 모드가 복잡해져 방사효율을 떨어뜨릴 것이다. 이를 확인하고자 기존에 사용하던 LD보드의 양쪽 모서리 부분을 Fig. 7과 같이 제거하여 소음을 측정해 보았을 때 기존 대비 약 1dB 정도 감소함을 확인할 수 있었다.

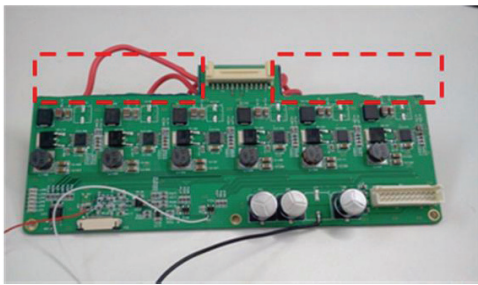


Fig. 7 Changing a shape of PCB

(2) 진동 절연

그림과 같이 MLCC에서 발생하는 진동은 PCB로 전달되어 소음을 야기하게 된다. 따라서 MLCC에서 발생하는 진동의 전달 경로를 차단하여 PCB의 떨림을 줄이게 되면, 발생소음을 감소시키게 된다.

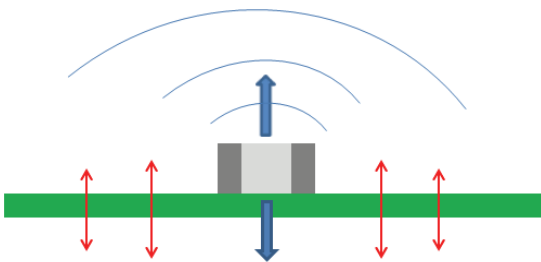


Fig. 8 Vibration transmission from MLCC to PCB

진동 전달 경로 차단을 위해 PCB에 Fig. 9와 같

은 장공을 이용하여 진동부분을 고립시킨다면 PCB의 진동을 크게 감소시킬 수 있다. 이 때 장공의 폭과 길이는 사용되는 MLCC의 크기와 PCB의 여유 공간을 고려하여 반영하여야 한다.

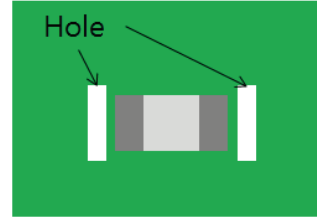


Fig. 9 Slot beside MLCC

뿐만 아니라 실제 PCB의 구멍을 뚫는다는 것은 회로설계 시 미리 반영을 하여 내부 배선을 효과적으로 배치하고 회로적 안정성을 확보해야 한다.

(3)진동 상쇄

일반적으로 진동과 같은 파동 현상은 상쇄간섭을 통해 저감효과를 얻을 수 있다. 따라서 본 실험에서도 Fig. 10과 같이 PCB 양면에 MLCC를 배치함으로써 상쇄효과를 기대하였다.

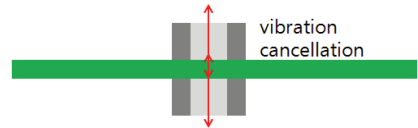


Fig. 10 Cancellation of vibration

본 연구에서 이런 대칭배치가 가능한 이유는 진동을 하는 소자들이 같은 위상과 주파수를 가지고 진동을 하기 때문이다. 만약 역위상을 가진 소자를 대칭 배치하게 되면 보강간섭에 의해 더 큰 진동을 유발하게 된다. 따라서 소자의 배치를 위해서는 실제 회로도를 바탕으로 동일 위상과 주파수를 가지는지를 선검토 후에 반영하여야 할 것이다.

3.2 측정 방법

실험은 기존보드와 위에서 언급한 소음저감 대책을 반영한 신규보드의 소음을 측정하여 비교하였다. 소음의 측정은 암소음 17.2dB(A)의 무향실에서 측

정을 하였다. Fig. 11과 같이 controller를 이용하여 본 Projector 동작 조건인 RMS 1.2A에서 Duty 10%의 pulse 구동 시 발생 소음을 측정하였다.

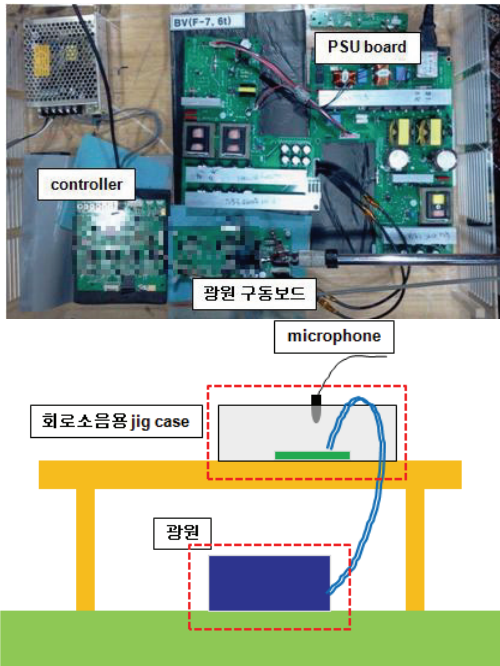
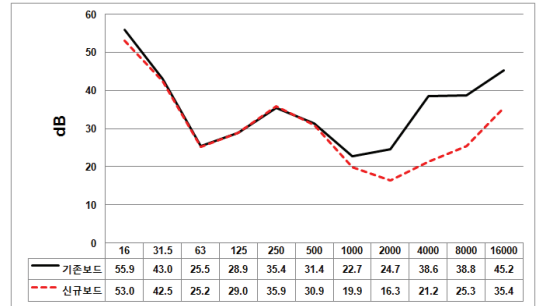


Fig. 11 Experiment schematic

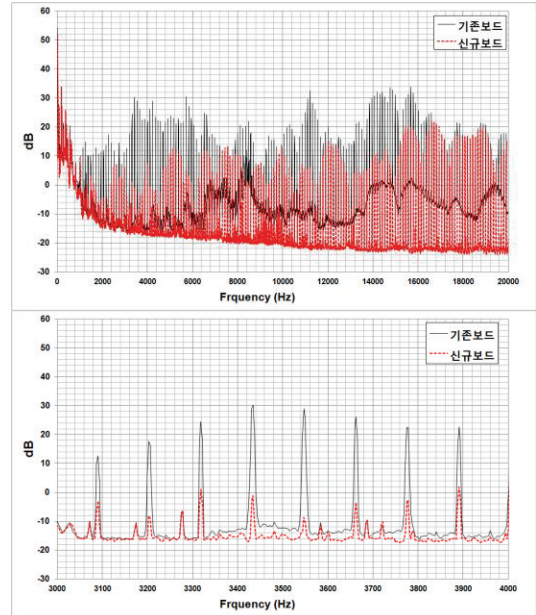
마이크로폰의 위치는 광원 구동보드 5cm 위에서 측정을 하여, 냉각을 위한 팬소음의 영향을 최소화 하였다. 기존보드와 위에서 언급한 소음저감대책을 반영한 신규보드를 비교 분석하여 소음저감 여부를 확인하였다.

3.3 실험 결과

소음 측정 결과에는 광원 냉각을 위한 팬소음이 포함되어 있으며, 기존보드와 신규보드 측정 시 동작 전압을 동일하게 하여 그 기여도를 동일하게 하였다. 먼저 주파수 영역에서 측정 결과로 Fig. 12 (a)의 CPB 그래프를 보면 500Hz 이상의 영역에서 상당한 소음저감을 확인할 수 있다.



(a) CPB



(b) FFT

Fig. 12 Noise spectrum by applying the improved LD driving board

특히 2000~4000Hz 대역은 일반적인 사람들의 민감한 영역으로 소음은 심리적 불쾌감을 유발한다. 따라서 해당 영역의 소음은 반드시 저감시켜야 할 영역이며, 본 실험 결과 4000Hz에서 최고 17.4dB 저감을 확인할 수 있다. 다음으로 Fig. 12 (b)는 FFT 결과로 무수히 많은 harmonic 성분을 확인할 수 있다. 조금 더 스케일을 확대하여 보면 120Hz harmonic 성분들이 눈에 띄게 감소함을 알 수 있으며, 앞서 언급하였듯이 4000Hz 근방의 소음 저감이 두드러졌다. 다음으로 Fig. 13은 시간영역에서의 변화를 나타내고 있다.

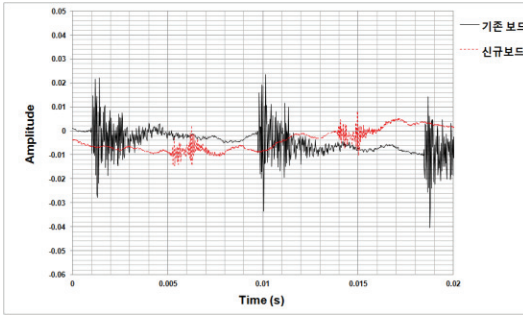


Fig. 13 Time domain result of noise reduction

측정 결과 기존보드에 비해 발생하는 소음의 진폭이 상당히 감소함을 다시 한번 확인할 수 있으며, Shock의 진폭이 감소함으로써 120Hz의 harmonic 성분이 크게 감소하게 되었다.

Table 1 Overall noise of LD board

	기존보드	신규보드
Overall noise	44.1 dB(A)	33 dB(A)

Overall 소음은 44.1 dB(A)에서 33 dB(A)로 약 11.1 dB(A)가 감소하였다. 마지막으로 신규보드를 실제 Projector에 적용하여 제품의 Overall 소음을 측정하였을 때, 회로소음에 의한 소음의 증가가 없음을 확인하였다.

4. 결론 및 고찰

회로소음 저감에 있어 PCB 내 회로소자의 기구적인 배치를 통해 소음저감을 구현하였다.

소음저감을 위해서는 먼저 회로 내 소음원에 해당하는 소자를 진동센서를 이용하여 도출하고 해당 소자의 진동 원인을 파악하였다. 회로에서 발생하는 소음의 경우, 근본적인 진동 원인을 분석하는 것이 선행되어야만 효과적인 소음저감 대책을 세울 수 있다. 이를 바탕으로 기존소자들을 PCB내에서 기구적 배치만을 통해 소음저감을 하고자 하였다. PCB의 형상은 비대칭으로 설계하여 소음방사효율을 낮추었으며, 회로소자 간의 상쇄간섭을 위한 대칭배치와 진동절연을 통해 소음저감을 검증하였다. 마지막으로 실제 세트에서의 소음 기여도를 확인하여 회로소음에 의한 소음증가가 없음을 확인하였다. 본 연구를 통해 신규소자나 제진재 등에 따른 비용증가 없이 소음저감을 실현할 수 있었다. 추후 연구로는 변경한 인자들의 기여도 분석 및 최적화가 필요하다.

참고 문헌

- (1) Joo, J. M., Choi, S. Y., 2003, Noise caused by electromagnetic forces in PDP, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering. Vol. 13, No. 2, pp. 102~108.
- (2) You, C-J., 2008, An Experimental Study on the Noise and Vibration Characteristics of LCD TV Inverter, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering. Vol. 18, No. 9, pp. 982~989.
- (3) Park, D. K., Jang, D. S. and Park, C. M., 2004, Study on Noise Reduction of DLP Front Home Theater Projector, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering. Vol. 14, No. 9, pp. 861~867.
- (4) Kwak, H-T., Jeong, J-E., Yang, I-H. and Park, G-D., Oh, J-E., 2010, Noise Reduction of PCB boards of PDP TV using Analytical Method, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 90~91.
- (5) T. Noji, K. Kawasaki, H. Sano and N. Inoue, K. Malhotra, Development of Multilayer Ceramic Capacitors with Low Microphonics, Proceedings of the CARTS USA 2006, April 306.
- (6) LM3435 Compact Sequential Mode RGB LED Driver with I²C Control Interface, Literature Number: SNVS724A, Texas Instruments.
- (7) Low Acoustic Noise Solution presentation, Murata Manufacturing Co., Ltd.