프로젝터 회로 소음 및 진동 저감의 실험적 연구

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

최 영 수[†] · 송 근 영^{*} · 이 종 권^{*} · 오 홍 렬^{*} · 이 승 규^{*}

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

(Received March 4, 2013 ; Revised May 16, 2013 ; Accepted June 7, 2013)

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.

Nomenclature

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

1. 서 론

최근 가전제품의 소음진동 문제는 모터, 컴프레서 등이 포함된 세탁기나 냉장고뿐 아니라 TV와 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·전자기계 요소에 의한 미세한 회로 소음 발생이 소비자의 신경 거슬림 등으로 부각되고 있다^(1,2).

이 연구에서는 가전제품 중 프로젝터에 대해 다루었다. 일반적으로 프로젝터의 주요 소음원은 냉각팬, phosphor wheel, color wheel 등 회전체 진동에서 발생하는 구조소음과 공력소음이다⁽³⁾. 하지만 근래 냉각기술의 발달과 밀폐와 차폐 등의 방법으로 해당 소음원들의 기여도가 감소하면서 회로에서 발생하는 고주파대역의 소음이 문제가 되고 있다⁽⁴⁾. 회로 소음은 자왜 현상(magnetostrictive phenomena) 이라 불리는 소음이 일반적으로 알려

[†] Corresponding Author ; Member, Future Device R&D Department, LG Electronics
E-mail : youngsoo29.choi@lge.com
Tel : +82-2-526-4907

^{*} Future Device R&D Department, LG Electronics

A part of this paper was presented at the KSNVE 2013 Annual Spring Conference

‡ Recommended by Editor SungSoo Na

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

져 있다⁽⁵⁾. 이는 power supply unit(PSU)으로 60 Hz 교류 전압이 인가될 시 변압기(transformer)와 같은 AC 장치에서 발생하는 120 Hz조화 성분의 힘 소음(hum noise)을 의미한다. 이뿐만 아니라 구동보드 내로 직류 전압 인가 시 구동 방식에 따라 가진된 회로 소자들이 PCB로 진동을 전달하여 회로 소음이 발생하기도 하는데, 이 연구에서는 후자의 구동보드 소음 저감에 초점을 맞추었다. 회로 소음의 특성은 앞서 언급하였듯이 고주파 대역으로서 사용자들에게 정서적인 불쾌감을 형성한다. 이때 주요 진동소자는 MLCC(multi-layer ceramic capacitor)이며, 해당 소음 저감을 위해 생산업체에서도 많은 연구가 진행되고 있다⁽⁶⁾. 하지만 신규소자의 사용은 많은 검증이 필요하여 빠른 대응이 어렵다는 단점이 있다. 따라서 이 논문에서는 회로 소자의 기구적 배치를 통한 진동 및 소음의 저감을 실험적으로 검증하는 데 그 목적이 있다.

2. 프로젝터 회로소음

2.1 프로젝터 광원

프로젝터에서 광원은 밝기와 색조표현에 큰 영향을 미치는 요인이며, 제품 가격에 가장 큰 기여도를 가지고 있다. 특히 지금까지도 대중적으로 사용되는 램프(metal halide, UHP, Xenon 등)는 밝기 향상에는 만족스러운 결과를 나타내었지만, 수명이 짧은 단점을 가지고 있다. 이로 인해 램프의 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 하이브리드 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 전류값은 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

Fig. 1은 광원을 구동하는 보드의 간단한 개략도를 나타내고 있다. 광원에 인가되는 전류는 controller에 의해 제어가 되며 주 진동소자는 점선으로 표시된 콘덴서 즉, MLCC이다. 이 시스템에서는 광원에 인가되는 전류는 밝기나 색조표현의 향상을 위해 controller에서 120 Hz pulse형태의 전류로 조절되고 점선으로 표시된 콘덴서에 해당전류가 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⁽⁶⁾ 이때 발생하는 변위는 소자가 연결된 PCB로 전달되어 진동과 소음을 유발하게 된다.

변화하는 전압의 진폭이 작을 경우에는 들리지 않을 정도의 작은 소음이지만, 진폭이 증가하고 소자의 수가 많아지게 되면 사람이 들을 수 있는 가청주파수 대역의 소음이 발생하게 되는데 이를 마이크로포닉이라 한다⁽⁶⁾. 이 실험에서 ENDEVCO社의 가속도센서(모델명: 25B)를 이용하여 MLCC 상부에 직접부착을 하여 진동을 측정하였다. MLCC 진동에

Fig. 1 Schematic diagram of driving board

Fig. 2 Vibration of MLCC

의해 발생하는 진동은 Fig. 3과 같이 shock의 형태를 가지게 되며, 이에 따라 발현되는 주파수 영역에서의 소음 특성은 무수히 많은 조화 성분을 가지는 양상을 나타낸다.

이를 Fig. 4와 같이 3000 Hz에서 4000 Hz의 주파수 대역으로 확대해서 보면, 이는 controller로부터 인가된 120 Hz와 동일한 주파수 조화 성분으로 소음이 발생한다는 것을 알 수 있다.

2.4 광원 구동보드의 일반적 소음 저감 대책

(1) 제진재

마이크로포닉은 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 확인해 보았다.

Fig. 5와 같이 실험에 사용할 구동보드 앞, 뒷면에 제진재를 부착하여 실험한 결과, 기존대비 약 4~5 dB의 소음저감효과를 확인할 수 있었다. 하지만 제진재를 사용할 경우 그에 따른 재료비 상승과 보드 내 회로소자의 냉각 유동 경로를 차단하여 냉각면에서 불리한 조건이 된다. 뿐만 아니라 제진재는 부착 후에 제거가 어려워 고장 시 교체가 어렵다는 문제점이 있다.

(2) 신규소자

위에서 언급하였듯이 마이크로포닉은 Fig. 2와 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.

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

다시 나타내면,

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

Fig. 3 Vibration of light source driving board

Fig. 4 FFT of acoustic noise from driving board

Fig. 5 Vibration damper

Fig. 6 MURATA MLCC⁽⁸⁾

Fig. 7 Changing a shape of PCB

로 나타낼 수 있다. 즉 Fig. 2에서 ΔL 을 감소하게 되면 ΔT 가 감소하여 진동저감을 통해 소음을 줄일 수 있게 된다. 또한 MLCC 크기가 작을 경우에도 발생하는 소음을 줄일 수 있으며⁽⁷⁾, 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⁽⁸⁾.

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

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

(2) 진동 절연

그림과 같이 MLCC에서 발생하는 진동은 PCB로 전달되어 소음을 야기하게 된다. 따라서 MLCC에서 발생하는 진동의 전달 경로를 차단하여 PCB의 떨

Fig. 8 Vibration transmission from MLCC to PCB

Fig. 9 Slot beside MLCC

림을 줄이게 되면, 발생소음을 감소시키게 된다.

특히 검토를 통해 진동 전달 경로 차단을 위한 방법 중 하나로 Fig. 9와 같이 진동전달을 효과적으로 감소시켜주는 역할을 하는 장공을 검토하였다⁽⁹⁾. 이를 확인하기 위한 시뮬레이션 결과, Fig. 10과 같이 MLCC로부터 PCB기판으로의 진동 전달이 MLCC좌우 장공에 의해 감소함을 확인할 수 있었다.

이때 장공의 폭과 길이는 사용되는 MLCC의 크기와 PCB의 여유공간을 고려하여 반영하여야 한다.

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

(a) Vibration with slots on the PCB board

(b) Vibration without slots on the PCB board

Fig. 10 Simulation result

Fig. 11 Cancellation of vibration

통해 저감효과를 얻을 수 있다. 따라서 이 실험에서도 Fig. 11과 같이 PCB 양면에 MLCC를 배치함으로써 상쇄효과를 기대하였다.

이 개발에서 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 가지는 지를 선검토 후에 반영하여야 할 것이다.

(4) 기여도 평가

앞서 반영된 사항을 모두 반영한 신규보드는 Fig. 10과 같이 PCB 앞면과 뒷면에 3채널씩, 총 6채널로

Fig. 12 Experiment schematic

구성이 되었다. 해당 신규 보드 내에서의 개별 기여도 평가를 위한 각각의 개별 보드 제작은 개발시간, 비용 등 여건상의 어려움이 있었다. 이에 신규보드를 이용하여 장공 효과만을 반영한 상부의 2채널만 구동시킨 조건과 장공, 상하배치를 반영한 상하로 마주보는 2채널만 구동시킨 조건을 비교하여 기여도 평가를 진행하였다. 장공 효과의 경우 기존보드에 비해 5 dB정도의 감소를 하였고, 상하배치가 추가될 경우 6.9 dB의 감소를 하였다. 이를 바탕으로 장공, 상하대치, 형상 변경 순의 기여도를 가짐을 정량적으로 확인하였다. 이 개발에서는 구동보드 소음저감의 최대 효과를 위해 모든 사항을 반영한 신규보드를 최종적으로 선정하였다.

3.2 측정 방법

실험은 기존보드와 위에서 언급한 소음저감 대책을 반영한 신규보드의 소음을 측정하여 비교하였다. 소음의 측정은 암소음 17.2 dB(A)의 무향실에서 측정을 하였다. Fig. 12와 같이 controller를 이용하여 프로젝터 동작 조건인 RMS 1.2A에서 duty 10 %의 pulse 구동 시 발생 소음을 측정하였다.

마이크로폰의 위치는 광원 구동보드 5 cm 위에서 측정을 하였고, 구동보드와 연결된 광원과 냉각을 위한 팬을 테이블 하단으로 위치시켜 외부 소음의 영향을 최소화하였다. 평가 시료는 기존구동보드와 위에서 언급한 소음저감대책을 반영한 신규구동보드를 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. 13(a)의 1/1 octave band 그래프를 보면 2000 Hz 이상의 영역에서 상당한 소음저감을 확인할 수 있다.

특히 2000~4000 Hz 대역은 일반적으로 사람에게 민감한 영역으로 감성적 불쾌감을 유발한다. 따라서 해당 영역의 소음은 반드시 저감시켜야 할 영역이며, 이 실험 결과를 바탕으로 Table 1을 살펴보면, 4000 Hz에서 최고 17.4 dB 저감을 확인할 수 있다. 다음으로 Fig. 13(b)는 소음 측정 후 FFT 결과로 신규보드의 경우 소음이 감소한 것을 확인할 수 있다. 이를 3400 Hz에서 4400 Hz까지 범위를 확대하여 보면 앞서 Fig. 4에서 살펴본 120 Hz 조화 성분들이 눈에 띄게 감소함을 알 수 있다. 특히 앞서 언급한 4000 Hz 근방의 소음 저감이 두드러졌다. 다음으로 Fig. 14는 시간영역에서의 변화를 나타내고 있다.

신규보드의 결과가 기존보드에 비해 발생하는 소음의 진폭이 상당히 감소함을 다시 한번 확인할 수 있으며, shock의 진폭이 감소함으로써 120 Hz의 조화 성분이 크게 감소하게 되었다.

(a) 1/1 Octave band

(b) FFT

Fig. 13 Noise spectrum by applying the improved LD driving board

Fig. 14 Time domain result of noise reduction

Table 2 Overall noise of LD board

	Old board	New board
Overall noise	44.1 dB(A)	33 dB(A)

Table 1 1/1 Octave band

Frequency	16	32.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Old board	55.9	43.0	25.5	28.9	35.4	31.4	22.7	24.7	38.6	38.8	45.2
New board	53.0	42.5	25.2	29.0	35.9	30.9	19.9	16.3	21.2	25.3	35.4

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

4. 결론 및 고찰

회로소음 저감에 있어 PCB내 회로소자의 기구적인 배치를 통해 소음저감을 구현하였다.

소음저감을 위해서 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. 이 개발에서는 구동보드의 120 Hz의 pulse 구동이 원인이었다. 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. 이 연구를 통해 신규소자나 제진재 등에 따른 비용증가 없이 소음저감을 실현할 수 있었다. 추후 이 기술이 양산 적용에 용이하게 사용될 것을 기대한다.

References

- (1) Joo, J. M. and 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) Kelley, A. W., 1990, Measurement of Spacecraft Power Transformer Acoustic Noise, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 26, No. 1, pp. 281~289.

(6) Noji, T., Kawasaki, K., Sano, H. and Inoue, N., Malhotra, K., 2006, Development of Multilayer Ceramic Capacitors with Low Microphonics, Proceedings of the CARTS USA 2006.

(7) LM3435 Compact Sequential Mode RGB LED Driver with I²C Control Interface, Literature Number: SNVS724A, Texas Instruments.

(8) Low Acoustic Noise Solution Presentation, Murata Manufacturing Co., Ltd.

(9) Liquid Crystal Display Device, KR20110079118A.

Youngsoo Choi Received his BS in Physics and Mechanical Engineering, MS degrees in Mechanical Engineering from Yonsei University, Korea, in 2008 and 2010, respectively. Currently he is a research engineer of LG Electronics, Korea. His research interests are physical acoustics and vibration.

Keunyoung Song Received his BS and MS degrees in Electrical Engineering from INHA University, Korea, in 2003 and 2005, respectively. Currently he is a research engineer of LG Electronics, Korea. His research interests are hardware and software circuit.

Jongkwon Yi Received his BS and MS degrees in Electronics Engineering from Kyunghee University, Korea, in 2001 and 2004, respectively. Currently he is a research engineer of LG Electronics, Korea. His research interests are

Image processing and Sensor driving.