

# 가정용 DLP 프로젝터의 소음 저감에 관한 연구

## Study on Noise Reduction of DLP Front Home Theater Projector

박 대 경<sup>†</sup> · 장 동 섭\* · 박 철 민\*\*

Dae Kyong Park , Dong Seob Jang and Chul Min Park

(2004년 6월 10일 접수 : 2004년 7월 21일 심사완료)

**Key Words** : Display(디스플레이), Projector(프로젝터), DLP(digital light processing), DMD(digital micro-mirror device)

### ABSTRACT

For the evaluation of acoustic noise of a DLP projector, vibration and sound characteristics of a DLP projector were studied. The acoustic noise of DLP projector could be classified into three categories, that is, the direct noise from a body of rotation, the air-bone noise generated from turbulence or vortex occurred during cooling process and the structural born noise produced by vibrating elements. Cooling fans and color filter wheel which rotates at 9000 rpm are main causes of acoustic noise induced in DLP projector. Since the structure of an optical module in a DLP projector can be excited by the excessive vibration of a color filter wheel, the structural design for anti-vibration should be considered. To make a reduction of overall acoustic noise, the anti-vibration design and the enclosing structure have been studied and applied to a color filter wheel.

### 1. 서 론

근래의 광학 프로젝터는 종래의 데이터 프로젝터 시장에서 급속하게 일반 가정용 AV기기 시장과 고급 홈시어터 시장으로 확대되고 있다. 즉, 일반가정에서 게임, DVD, TV 방송 등을 투사하는 목적과 영화 화면 등을 위한 DVD나 HDTV방송 등을 위한 목적의 프로젝터 시장이 급격하게 확대되고 있다. 현재 2003년 현재 업체들의 많은 노력에 의하여 프로젝터의 저가격화가 진행되고 있으며 화질이 가능한 한 낮아지지 않도록 하면서 소비자 가격을 100만원대로 하는 프로젝터가 조만간 시장에 다수 선보일 것이라는 예측이다.<sup>(1, 2)</sup>

프로젝션 타입의 디스플레이의 용도중 데이터 및

AV용 프로젝트 디바이스로는 크게 LCD와 DMD소자를 이용한 것이 있으며 서로 경합하여 시장을 확대하고 있다. 이중 반사형 광 변조소자인 DMD(digital micromirror device)를 이용한 DLP(digital light processing) 방식 프로젝터는 1997년부터 고휘도 타입의 제품화가 시작되어 밝기 10,000 ANSI 루멘을 달성한 1999년 이후, 대화면 디스플레이 분야에서 커다란 위치를 차지하게 되었다.

이러한 DLP기술의 핵심은 TI(texas instruments Inc.)사의 DMD이다. DMD는 SRAM Cell의 표면에 장착되어 있으며, 극미세 (16 microns square) 거울의 사각형 집합체로 이루어져 있고 각 거울은 힌지로 움직이게 되어 있으며, 한 쪽으로 10도까지 기울어진다.<sup>(3)</sup>

DMD의 고속 응답성의 특징으로 DMD 칩을 1개 또는 2개를 사용한 시스템이 있다. 이는 칼라필터휠을 사용해 색을 시분할하여 컬러이미지를 얻는다. 이에 반해 DMD 3개를 이용한 시스템은 LCD와는 달리 편광판을 사용하지 않는 관계로 LCD보다 광효율 향

<sup>†</sup> 책임저자 ; 정회원, 삼성전자 디지털미디어 연구소  
E-mail : pdkyoung@samsung.com

Tel : (031) 200-4747, Fax : (031) 200-3160

\* 정회원, 삼성전자 디지털미디어 연구소

\*\* 정회원, 삼성전자 영상디스플레이 사업부

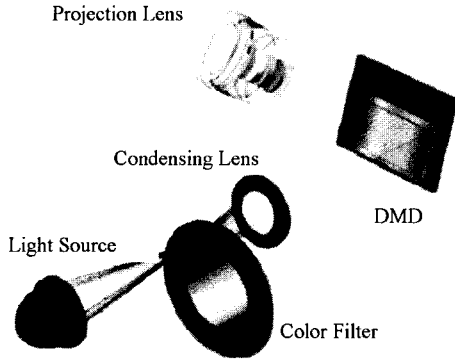


Fig. 1 Chip DLP projection

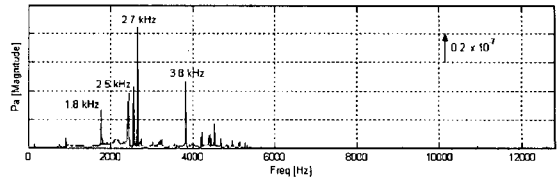
상이 가능하며 광학계는 3판식 액정 광학계와 비슷한 구조를 갖는다. Fig. 1은 이 연구에서 검토한 DLP 프로젝터의 광학계에 대해서 개략적으로 보여준 그림이다.<sup>(4)</sup>

이 연구는 DLP방식중 칼라필터휠과 1장의 DMD를 이용하여 컬러를 표현하는 방식의 프로젝터에 대한 것으로 현재 많은 업체에서 개발 및 생산을 하고 있는 시스템이다. 이러한 방식의 DLP projector에서 발생하는 소음은 광학계 및 발열소자에서 발생하는 열을 냉각시키기 위한 팬과 적색, 녹색, 청색의 색분리를 위하여 쓰이는 칼라필터휠의 회전에 따른 진동 및 소음에 의한다. 프로젝터에서의 소음은 상기 칼라필터휠이 장착된 칼라휠 모터 및 냉각팬 모터의 회전 운동으로부터 시작된다. 최종 리시버인 사람이 듣게 되는 소음은 칼라휠모터 및 냉각팬으로부터 직접 방사되는 소음과 이를 지지하는 베이스 및 커버 등의 기구물이 가진되어 나타나는 구조기인 소음 및 회전체와 매질인 공기와의 마찰로 인한 공력기인 소음으로 나눌 수 있다. 이 연구에서는 상기 소음원 중 DLP 프로젝터의 운행시 발생가능한 소음에 대해 소음 및 진동 스펙트럼 분석 및 운행변형현상<sup>(5)</sup> 측정결과를 제시하고 이를 바탕으로 효과적인 방진 및 차음 제어를 시도하였다.

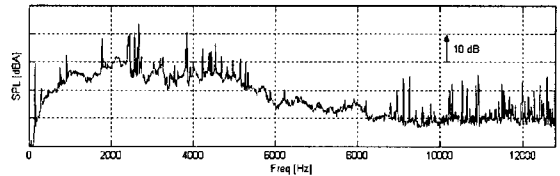
## 2. 칼라필터휠 단품 측정

구동보드와 연결한 칼라필터휠을 고정지그에 장착한 후 구동시키고 마이크로폰 및 가속도계를 이용하여 음압과 진동을 측정한 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

모터소음은 칼라필터휠의 코깅토크나 불균형 자력



(a) Linear scale



(b) dB scale

Fig. 2 Acoustic noise of color filter wheel

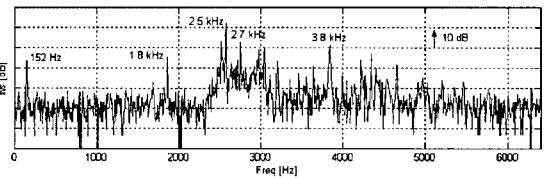


Fig. 3 Vibration of wheel holder unit

등에 의한 전자기 불균일에 의한 전자기적 소음이나 가공불량 혹은 외부충격에 의한 베어링계 결함에 의한 기계적 원인 및 공기역학적 원인에 의한 소음으로 나타나며 본 실험에 의한 결과로부터 보이는 피크는 모터에 글라스 휠을 장착하는 부가의 과정에서의 충격 및 불균일질량등에 의한 기계적 결함과 모터 단품내 구조물의 공진에 의한 것으로 판단된다. Fig. 3은 모터의 PCB등이 안착되고 모터를 지지하는 구조물에서 측정된 진동데이터로 2.5 kHz역의 피크는 구조물이 공진하는 것임을 확인하였다. 단품에 따라 다소 크기의 차이가 발견되나 주파수 특성은 비슷하였다. 모터의 타입은 3상, 12극, 9슬롯의 브러쉬리스형이고 회전속도는 9000 rpm이다.

## 3. 프로젝터 소음

### 3.1 칼라 휠 진동전달 및 구조유발소음

Fig. 4는 광학베이스를 보여주는 것으로 칼라필터휠은 광학계가 구성되어 있는 베이스에 결합되어 있으며 광원으로부터의 빛이 light tunnel을 통해 DMD로 이동하게 된다.

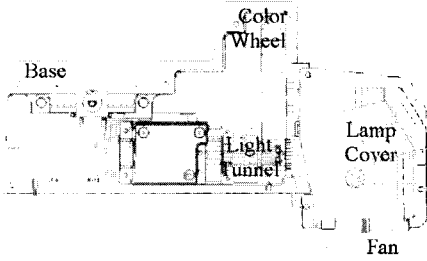


Fig. 4 Optical module of DLP projector

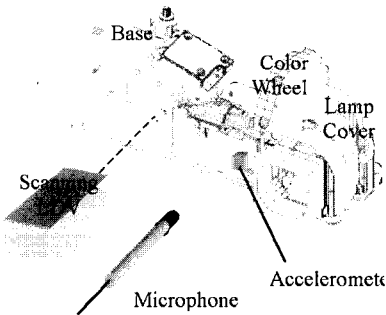
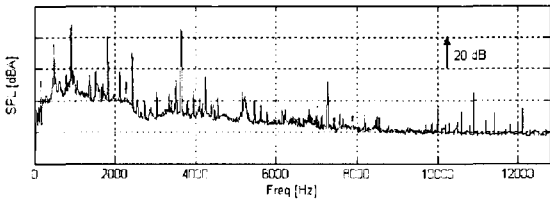
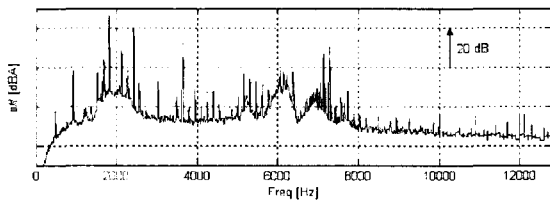


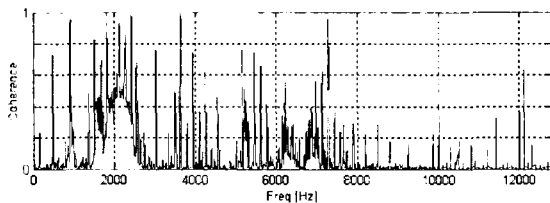
Fig. 5 Set up for detecting coherence of both noise and vibration in optical-base module



(a) Acoustic Noise [SPL]



(b) Vibration [Acceleration]



(c) Coherence

Fig. 6 Both acoustic noise and vibration in optical-base module

우선 칼라필터휠의 회전에 따른 구조기인 소음분석을 위하여 전체 세트 중 베이스모듈을 분리하여 소음음압과 베이스로의 진동 및 coherence를 측정하여 연관성을 검토<sup>(6)</sup> 하였다.

광학베이스에 대한 실험장치를 Fig. 5에 도시하였다. 칼라필터휠의 구동시 생성되는 소음을 측정하기 위하여 1/2" 마이크로폰을 사용하였고 가속도계를 이용해 진동을 측정하고 analyzer를 통하여 FFT 및 coherence를 얻었다. 구조물의 모드 해석만으로 소음과의 직접적인 상관성을 얻기 어렵기 때문에 운행중의 진동패턴에 의한 소음방사 여부를 확인하기 위하여 베이스에 대한 운행변형형상을 scanning LDV를 이용하여 측정하였다.

Fig. 6에서 보듯이 1~3 kHz역에서 강한 상관이 보이고 있으며 6~8 kHz역에서도 상관관계가 보이고 있다. 베이스 측면에 대하여 scanning LDV를 이용하여 칼라필터휠 회전시 ODS(operational deflection shape)을 측정한 결과가 Fig. 7에 나타나 있다. 이는 진동측정 결과와 비교할 때 진동레벨이 높은 주파수와 일치하며 해당 주파수에서 효과적으로 소음을 방사하고 있음을 알 수 있다. 그림에서 베이스의 변형이 큰 곳은 광경로를 고려한 설계 및 무게의 저감을 위하여 변형부위 안쪽이 비워져 있는 곳으로 베이스의 다른 부분과 비교할 때 상대적으로 단순한 평판형상을 가지고 있는 부분이다.

ODS 실험을 통해서도 광학베이스가 1~3 kHz역에서 두드러진 진동특성을 보이고 있음을 알 수 있으며 이는 광학베이스의 모듈특성과 관련된 것으로 판단된다.

본 시스템의 광학베이스는 마그네슘 재질로 모터진동이 칼라필터휠 홀더를 통하여 광학베이스로 바로 전달되는 구조이다. 수지유등의 재료를 이용할 경우 고유주파수의 변경이나 내부 감쇠특성 등을 통해 구조유발 소음을 다소 저감 가능할 것으로 판단되나 상



(a) Shape at 1.8kHz (b) Shape at 2.5kHz

Fig. 7 Operational deflection shapes according to peak frequencies(optical-base)

당히 고온인 광원에 의한 베이스 파손이 우려되기 때문에 적용하기 곤란하였다. 또한 방사면의 진동패턴 변경을 통한 접근도 가능하나 광학설계의 변경을 초래할 수 있기 때문에 현재의 광학베이스에서 칼라필터휠과 광학베이스로의 진동전달을 최소화하고 피크를 줄일 수 있는 방진설계 방안을 선택하였다.

### 3.2 웬 진동전달 및 구조유발소음

이 시스템에서 사용한 냉각웬은 여러 샘플들을 단품측정하여 같은 용량의 웬에 대하여 상대적으로 적은 소음을 발생하는 것을 선택하였다.

가장 큰 용량을 필요로 하는 웬은 광원을 냉각하기 위하여 쓰이는 램프웬으로 시스템 레이아웃 및 램프 구조를 고려하여 선정하였고 DMD보드 및 칼라필터휠 모터의 냉각을 위한 웬과 발열소자의 온도상승에 따른 냉각을 위하여 회로보드에 근접하게 냉각웬을 설치하였다. Table 1은 사용된 웬에 대한 사이즈 및 회전속도에 대한 사양이다.

상기 4개의 냉각웬 중 가장 큰 용량을 가지는 램프냉각용 웬은 회전에 따라 소음 뿐 아니라 상당한 진동을 유발하며 특히 넓은 방사면을 가지고 있는 램프커버에 부착됨에 의해 소음에 불리하다. Fig. 8은 웬진동에 따른 소음유발 특성을 검토하기 위한 실험

Table 1 Specification of the used fan

	Color wheel	Fan			
		Lamp1	Lamp2	DMD	Wheel
rpm	9000	3750	4260	2640	5280
Size	φ 55 mm	60 mm	50 mm	60 mm	40 mm

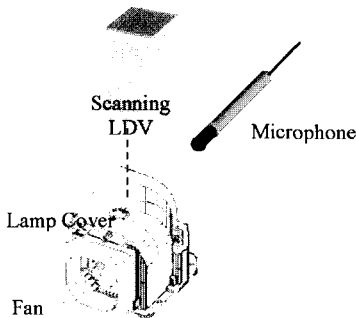


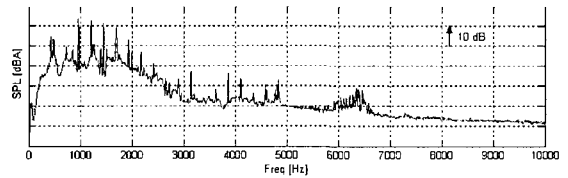
Fig. 8 Set up for detecting coherence of both noise and vibration in lamp cover

장치를 보여주고 있으며 Fig. 9 및 10은 실험결과로 냉각웬의 회전주파수와 연관되어 램프커버로의 진동 전달에 의한 구조유발 소음이 발생함을 볼 수 있다.

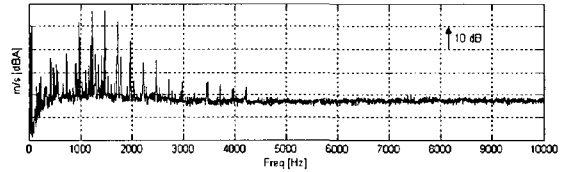
주파수 대역 1~2 kHz역에서 램프커버의 모드특성과 관련된 피크가 주기적으로 나타나고 있으며 냉각 웬으로부터 진동절연구조가 구성되지 않을 경우 앞서 살펴본 광학베이스에서의 구조유발소음 주파수대역과 중첩을 이루어 소음을 가중시킬 수 있음을 알 수 있다.

### 3.3 칼라 휠 차폐구조설계

소음의 저감에 있어서 가장 효과적인 방안 중 하나는 소음원의 차폐를 들 수 있다. 이 시스템에서 열원



(a) Acoustic noise[SPL]



(b) Vibration[velocity]

Fig. 9 Acoustic noise and vibration in lamp cover module

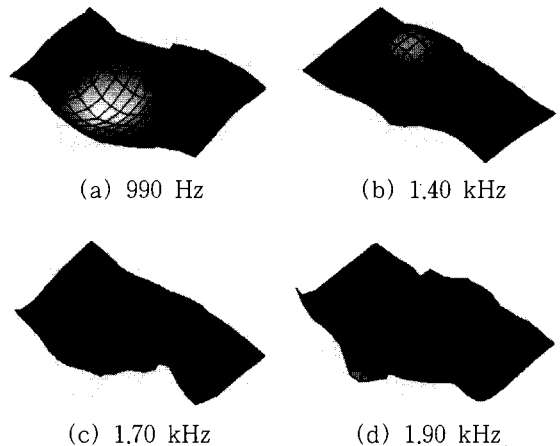


Fig. 10 Operational deflection shapes according to peak frequencies(lamp cover)

을 냉각하기 위하여 사용하는 팬의 경우 차폐는 불가능하나 색 분리를 위하여 사용되는 칼라필터휠의 경우 외부와의 차폐를 통해 소음을 저감할 수 있다.

칼라필터휠의 소음은 칼라휠이 체결된 DC모터의 회전운동으로부터 시작되고 소음원 중 구조가진 소음은 방진계를 통한 진동전달을 저감시킴에 의해 제어 가능하나 여전히 직접 방사소음과 공기유동에 의한 소음 등이 남아 있게 된다. 이러한 잔여소음의 저감을 위한 차폐구조를 적용함에 있어 앞서 살펴본 바와

같이 칼라필터휠의 과도한 진동의 전달에 의한 구조유발소음을 방지해야지만 원하는 차폐효과를 달성할 수 있다. 칼라필터휠의 진동이 차폐구조로 직접 전달되지 않도록 구조를 설계하여 차폐구조의 가진에 의한 구조기인 소음 발생을 미리 차단하기 위한 설계를 수행하였다. Fig. 11은 차폐구조에 대한 실험장치이며, Fig. 12는 칼라필터휠 회전에 따른 소음과 차폐구조물의 진동사이의 연관성을 검토한 실험 결과이다.

그림에서 보듯이 차폐구조물로의 진동전달이 상당히 발생하고 있으며, 특히, 고주파에서의 특성은 차폐부재와 칼라휠 사이의 공간이 협소함에 따라 원형휠의 회전에 의한 난류유동소음 및 진동으로 판단된다. 회전체의 진동전달에 따른 구조가진 특성과 비교할 때 난류발생에 따른 공력가진 특성은 회전휠과의 공기 마찰에 의한 요동의 불규칙한 운동으로 주기성이 없으며 주파수도 특정주파수가 아닌 넓은 주파수에 걸쳐 존재함을 알 수 있다. 광학 베이스에서 측정된 결과와 비교할 때 저주파에서 베이스와 연계된 특성이 보이고 있으나 고주파에서의 진동의 경우 차폐구조의 모드특성과 연관된 특성이 보이지 않음을 알 수 있다.

소음측정결과에서 보듯이 단품측정 결과에서 보았던 칼라휠 자체의 소음 및 고주파에서의 난류유발소음이 존재하고 있으며 이는 light tunnel 및 광학경로를 통한 취약부위의 누설소음이 발생하기 때문인 것으로 판단된다.

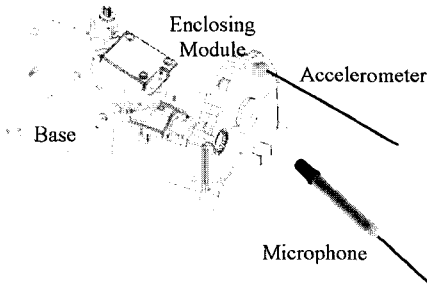


Fig. 11 Set up for detecting Coherence of both Noise and Vibration in Sealing Module

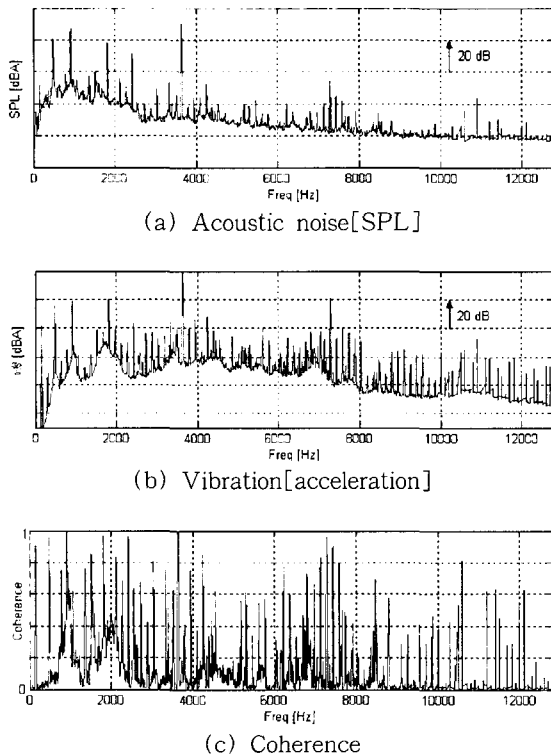


Fig. 12 Acoustic Noise and Vibration in Sealing Module

## 4. 소음 저감 설계

### 4.1 방진계 적용을 통한 진동전달 저감

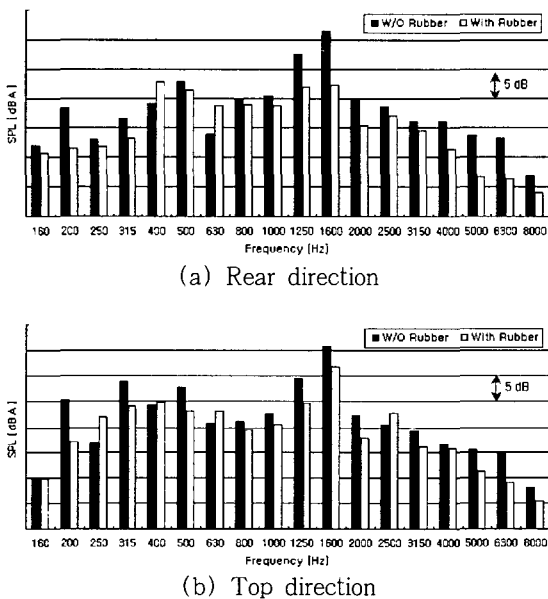
이상으로 살펴본 바와 같이 본 시스템에서 소음원으로 작용하는 칼라필터휠과 냉각팬에 의한 진동전달 및 이로 인한 구조유발소음도 무시하지 못함을 알 수 있었다. 이에 진동전달을 저감하기 위한 방진계를 Table 2와 같이 구성하였다.

Table 2 Types of the used rubber

	Type	Hardness (specific gravity)	Thickness
Wheel	Modified NBR type	50 (1.23)	1 mm
Lamp	"	"	1.5 mm
DMD	Modified butyl type	50(1.42)	3 mm
Wheel	Modified NBR type	50(1.23)	1 mm

**Table 3** Results by attaching anti-vibration rubber

		Reduced values
All	Measured	3.3 dBA
	Calculated	3.0 dBA
Color wheel		2.5 dBA
Lamp 1 Fan		2.6 dBA
Lamp 2 Fan		4.1 dBA
DMD Fan		0.9 dBA
Wheel Fan		4.5 dBA



**Fig. 13** Comparison of noise by use of anti-vibration rubber

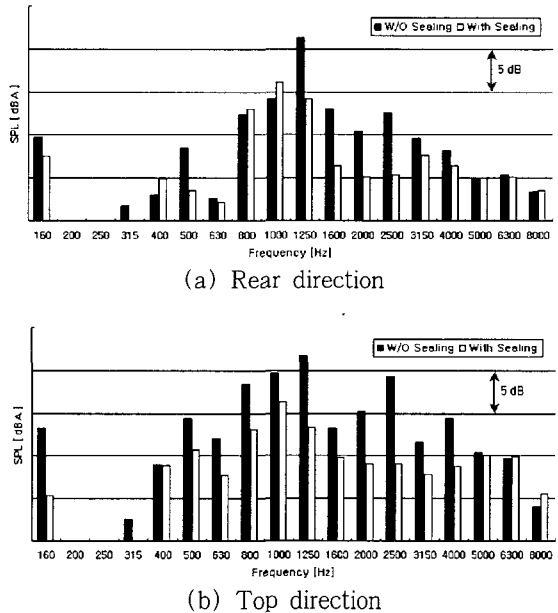
방진계를 구성하기 전후의 소음저감 효과를 관찰하기 위하여 프로젝터의 전후좌우상면 방향 1m 지점에서 음압을 각각 측정하여 파워평균을 한 결과가 Table 3에 나타나 있다. 4개의 팬중 DMD 팬은 외장 케이스에 부착되어 있고 나머지는 광학베이스에 부착되어 있는데 그 차이는 외장케이스의 경우 재질의 내부 감쇠특성 및 브라켓 장착구조에 의한 것으로 판단된다.

Fig. 13은 방진재 적용전후의 소음변화를 옥타브밴드로 보여준 것이다.

방진재 적용에 의하여 특히 광학베이스 및 램프커버의 공진주파수가 관찰되었던 1~2 kHz역의 저감량이 상대적으로 크며 이는 사람의 예민한 청취주파수

**Table 4** Results by sealing of color filter wheel

		Reduced values
All Sources		0.9 dBA
Color wheel		4.8 dBA



**Fig. 14** Comparison of noise by sealing of color filter wheel

역과 관련되어 있다는 측면에서도 바람직하다.

#### 4.2 칼라 휠 누설소음 저감

차폐부재에서 앞서 설명한 소음누설 예상부위에 대하여 소음이 누설될 수 있는 틈을 고무재질을 이용하여 완전히 제거한 후 음압을 측정된 결과가 Table 4 및 Fig. 14와 같다. 칼라필터휠의 차폐를 통한 칼라필터휠만의 소음은 4.8 dBA가 줄었으며 전체 시스템상에서는 1 dBA가량 줄어들었다.

광원경로를 통한 누설소음의 경우는 차폐에 의하여 특정대역보다 넓은 대역에 걸쳐서 효과적으로 저감되고 있음을 볼 수 있다.

### 5. 결 론

AV향 프로젝터 개발에 있어 소비자가 요구하는 저소음의 제품을 개발하기 위한 방법으로 방진 및 차

폐를 통한 소음저감을 구현하였다.

프로젝터의 소음을 제어하기 위하여 첫번째로 고속 회전체를 사용함에 따른 구조적 소음전달에 근거한 구조기인소음의 전달경로를 소음 및 진동측정을 통한 연관성 분석이나 고유특성 및 운행변형형상에 의해 확인할 수 있었으며 적절한 방진계를 적용하여 소음을 저감할 수 있었다.

또한, 원형판이 장착된 칼라필터휠의 고속회전에 의한 유동소음의 방사를 차단하기 위한 차폐구조를 적용함에 있어 구조적인 진동전달에 따른 공진현상을 방지하고 제품의 취약부분에 대한 구조변경 및 누설 소음을 최소화하는 설계를 통해 보다 정숙한 운전이 가능한 프로젝터의 개발이 가능하였다. 앞으로 근원적인 소음 및 진동 발생원에 대하여 명확한 측정 및 분석을 통한 직접방사소음의 저감도 병행되어야 할 것이다.

이외에 본 프로젝터는 가정용으로서 보다 정숙한 운행을 위하여 운행조건에 있어 고회도 및 저회도 모드로 나누어 각 모드에 맞는 냉각용량을 냉각팬의 회전속도로 제어하여 적은 소음모드에서 동작하도록 하였으며 앞으로 이러한 모드제어시 발생할 수 있는 다른 소음원과의 상관관계 분석 및 최적설계에 대한 연구도 고부가 제품의 개발을 위해 필요하다고 생각 된다.

## 참 고 문 헌

- (1) 이한배, 1999, "액정 프로젝터의 저소음 설계," 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, pp. 481~484.
- (2) "동요하기 시작한 저소음 설계 한없이 무음으로," 日經 일렉트로닉스, 2001年12月3日號.
- (3) 김영운, 2002, "Projection TV의 기술 및 개발 현황," 한국정보디스플레이학회지, Vol. 3, No. 4, pp. 7~12.
- (4) 홍창완, 2002, "신방식 디스플레이의 기술동향 : Micro-display편," 한국정보디스플레이학회지, Vol. 3, No. 3, pp. 13~19.
- (5) O. Dossing, 1988, "Structural Stroboscopy Measurement of Operational Deflection Shapes," B&K, pp. 18~26.
- (6) 황태연, 1999, "고속 HDD의 소음 제어," 한국소음진동공학회지논문집, 제 9 권, 제 4 호, pp. 660~668.