

# 광디스크 드라이브의 진동특성에 대한 유한요소해석

0박건순\*· 임종락\*· 한용희\*· 손희기\*

## (Finite Element Analysis on Vibration Characteristics of an Optical Disk Drive)

G. S. Park, J. R. Lim, Y. H. Han and H. G. Son

### ABSTRACT

This work focuses on the analysis of dynamic characteristics of an optical disk drive. Dynamic performance of the drive plays an important role in the design of a mechanism where the quality of servo mainly affected by the quality of controlling focus error and tracking error. A finite element model of the optical disk drive is presented to demonstrate its dynamic behaviors. Experimental results for the drive are presented and compared to predictions from the finite element model for verification. Using the finite element model, dynamic responses are predicted under internal and external excitations. Some design parameters of the vibration isolators are presented, satisfying the requirements of DVD drive system.

### 1. 서론

레이저 광을 이용하여 미디어에 기록 및 재생을 하도록 하는 광디스크 드라이브에 있어서 광원의 역할을 하는 대물렌즈와 미디어인 디스크간에는 대물렌즈의 초점거리만큼 떨어져 있어야 할뿐만 아니라 대물렌즈의 광축은 항상 트랙의 중심을 따라가도록 되어 있는데, 초점거리의 변동과 트랙의 중심과 광축간의 반경방향 변동이 항상 소정의 값 이하가 되도록 대물렌즈를 디스크의 축방향 및 반경방향으로 서보를 하고 있다.<sup>(1)(2)</sup> 대물렌즈는 비교적 강성이 작은 구조물에 지지되어 VCM (voice coil motor)로 구동되는 액추에이터로 구성되어 작은 전류에도 빠른 응답과 큰 가동범위가 가능하나 진동과 같은 외란에 매우 민감하며, 제어가능 이상의 외란에 노출될 경우 기록 및 재생에 중대한 결함을 일으킬 수 있다.<sup>(3)(4)</sup>

특히 지금 차세대 기록 및 재생기기로 주목받고 있는 DVD 드라이브의 경우 기존의 CD에 비해 용량이 4배정도 커서 고밀도기록이 불가피하였고 그에 따라 필요로 하는 데크 메카니즘의 기계적 및 광

학적 정밀도 역시 증가하여 대물렌즈와 디스크간에 유지해야 하는 초점거리의 변동 허용량과 반경방향 변동 허용량도 CD에 비해 1/5수준으로 줄었다. 이에 따라 액추에이터의 서보 계인을 높이는 노력뿐만이 아니라 외란이 대물렌즈를 포함하는 데크 메카니즘에 전달되는 양을 줄이려고 하는 방진대책에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다.

상용화되어 있는 대부분의 광디스크 드라이브는 방진부가 설치되어 내외부에서 발생하는 진동을 흡수하도록 하고 있다. 방진부를 구성하는 재료로는 통상 고무를 사용하고 있는데 이는 점탄성 재료로서 진동을 흡수하는 능력이 탁월하고 경제성 및 성형성도 우수하기 때문이다. 그런데 방진계를 어떻게 설계하느냐에 따라 데크 메카니즘의 진동특성에 차이가 생기며 이들 진동특성이 나쁘면 외란이 가해졌을 때 신호의 기록 및 재생에 오류가 발생할 수 있기 때문에 가능하면 이들 오류가 발생하지 않도록 방진계를 설계해야 한다. 그리고 최근에는 고배속추세에 따라 디스크의 회전에 따라 내부에서 발생하는 진동도 크게 문제가 되고 있는데 이들 내부진동이 외부로 적게 전달되도록 노력하고 있다.

방진계 설계는 주로 고무 같은 방진재의 강성을 조절하여 방진계의 고유진동수를 결정하는 것인데

\* LG전자(주) 디지털미디어 연구소

이 고유진동수에 따라 데크 메카니즘의 진동특성이 어떻게 바뀌는지를 알아야 한다. 그러나 일일이 원하는 고유진동수를 갖는 고무를 만들면서 실험을 하기에는 시간과 비용이 많이 필요하고 설계자가 원하는 지점에서의 응답특성을 관찰하는 것도 쉽지 않다. 그리고 데크 메카니즘을 구성하는 부품들의 진동특성 역시 방진계를 포함한 메카니즘 전체의 진동특성에 많은 영향을 미친다. 특히 픽업부와 스피indle모터를 지지하는 슬레드베이스가 공진을 일으킬 경우는 기록 및 재생 과정에 치명적인 결함을 유발할 수 있다. 그러나 이 역시 데크 메카니즘의 조립 상태에서 실험적으로 주요 관심 부위의 진동을 관찰하는 것은 쉽지 않은 일이다. 그래서 시뮬레이션을 통하여 데크 메카니즘의 진동특성을 알 수 있다면 힘들이지 않고 방진계의 고유진동수를 바꿔가면서 그에 따른 계 전체의 응답특성을 구하여 설계에 적용할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 방진계를 포함한 데크 메카니즘의 진동특성을 잘 표현할 수 있는 유한요소모형을 만들었으며 이를 실험을 통하여 검증하였다. 그리고 만들어진 유한요소모형에 대하여 방진계의 고유진동수를 달리하여 외부 또는 내부에서 주어질 수 있는 외란에 대한 응답특성을 비교 및 평가함으로써 데크 메카니즘의 방진계를 설계할 수 있는 기틀을 마련하였다.

## 2. 데크 메카니즘에 대한 유한요소해석

데크 메카니즘은 Fig. 1 과 같이 수많은 부품들이 여러 개의 결합방식으로 조립되어 있는 복잡한 계이다. 구성부품들의 수가 워낙 많고 다양하기 때문에 이들을 일일이 3차원 요소로 모델링한다면 모델 크기가 너무 커져서 해석 자체가 비효율적일 수 있다.

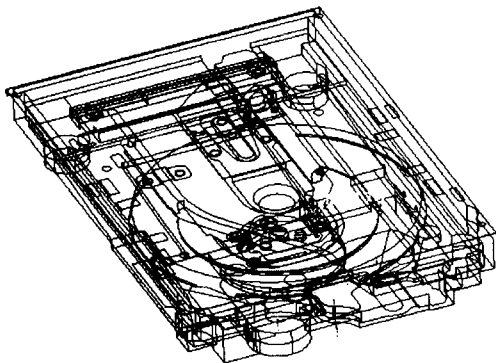


Fig. 1 Geometrical model of DVD deck mechanism

그러나 다행히 많은 부품들이 프레스 가공에 의

한 강판재나 사출금형에 의한 플라스틱 부품으로 비교적 두께가 균일하고 면적에 비해 두께가 매우 얇아 2차원 요소로서 충분히 모델링할 수 있다. 그래서 거의 모든 부품을 얇은 쉘요소를 사용하여 모델링하였고 쉘요소를 사용하기 힘든 부분은 국부적으로 솔리드요소를 사용하였다.

부품들간의 연결은 스크류체결 및 스프링력에 의한 밀착의 형태로 이루어지며 밀착의 경우는 부품간에 면접촉을 하면서 그 사이에서 미끄러짐이 일어나거나 일부 하중조건하에서는 서로 떨어질 수 있는 등 비선형운동이 일어날 수 있다. 동적거동을 보기 위한 해석을 하면서 이들 비선형성을 고려하기 어려우므로 부품들간의 연결에는 몇 가지 가정을 하였다.

첫째, 스크류의 머리부분을 포함한 체결영역내의 변형은 없는 것으로 하였다. 그래서 이 체결부의 모델링은 강체요소를 사용하였다.

둘째, 데크 메카니즘에 가해지는 외란은 부품들간에 밀착되는 힘보다 작다는 가정 하에 밀착면의 수직방향으로는 서로 떨어지지 않는다고 보았으며 면접촉은 몇 개의 점접촉으로 구성된다고 보았다.

해석 tool로는 Ideas Master Series 5.0을 사용하였다. 위의 상용프로그램은 전체 어셈블리의 유한요소모형을 작성시 각각 모델링한 부품들의 유한요소 모형을 바로 이용할 수 있는 기능이 포함되어 있어서 데크 메카니즘과 같은 많은 부품들로 이루어진 시스템을 모델링하기에 편리하다.

이와 같이 하여 만든 유한요소모형을 Fig. 2 에서 보여주고 있으며 전체 모델의 절점수는 17,650 개 그리고 요소수는 16,468개이다.

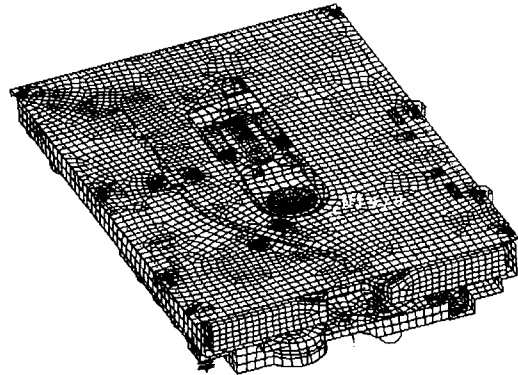


Fig. 2 Finite Element model of DVD deck mechanism

## 3. 실험에 의한 모델의 검증

모델의 검증은 실험을 통해서 하였다. 실험에 의하여 가장 쉽게 데크 메카니즘의 동적 특성을 파

악할 수 있는 것으로는 베이스의 가진에 대하여 데크 메카니즘의 전달률을 측정하는 것이다.

그래서, 실험에 의하여 외부가진에 대한 데크 메카니즘 상의 한 지점인 픽업 베이스에서의 전달률을 구하고 이를 해석결과와 비교하여 유한요소 모델이 타당한지를 검증한다.

### 3.1 실험장치 및 방법

Fig. 3 은 실험장치의 개략도를 보여주는 것으로서, 파형발생기(function generator)로부터 발생된 사인파 신호가 증폭기(amp.)를 통해서 가진기(exciter)에 가해지면 베이스와 더불어 이에 장착된 데크 메카니즘은 주어진 주파수로 가진되게 된다. 이 때, 베이스와 데크 메카니즘에 각각 부착된 가속도계(accelerometer)에서 검출된 가속도는 가속도 증폭기에서 증폭되어 FFT로 보내진다.

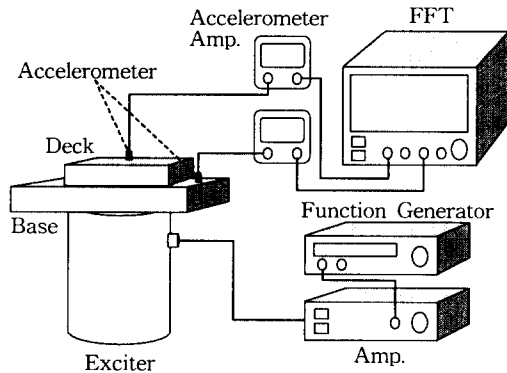


Fig. 3 Schematic view of experimental setup

DVD 드라이브가 PC에 장착되어 동작 중일 때 외부로부터 받게 되는 진동은 주파수 범위가 1~400Hz 이며 그 크기는 가속도로 0.2G 이하로 그 범위내에서 정상적인 기록/재생이 가능해야 한다. 그러므로 데크 메카니즘에 가진되는 진동의 크기가 0.2G가 되도록 증폭기의 게인을 조정하였고, 주파수는 파형발생기에서 1Hz씩 증가시키면서 측정하였다. 가능하면 대물렌즈 근처의 가속도를 검출할 수 있도록 출력가속도계는 대물렌즈가 장착되어 있는 픽업베이스 상에 부착하였고, 베이스는 자체의 진동이 발생하지 않도록 측정주파수 범위보다 큰 500Hz 이상의 고유진동수를 갖도록 설계하였다.

### 3.2 실험과 해석결과의 비교

실험에 의하여 얻은 외부가진에 대한 데크 메카니즘 진동의 비인 전달률을 유한요소해석 결과로부터 구한 전달률과 비교하여 유한요소모델이 적

합한지를 살펴본다. Fig. 4 는 실험과 해석에 의해서 구한 전달률을 함께 보여주는 그림으로서 그림 내에서 각 곡선의 피크로부터 데크 메카니즘의 고유진동수를 알 수 있고, 이들 고유진동수 및 모드 형상을 비교함으로써 모델의 적합 여부를 판단한다.

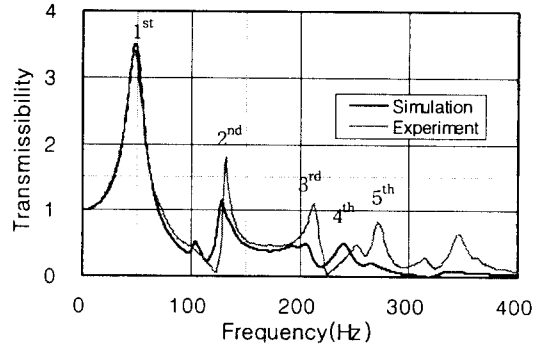


Fig. 4 Comparison of experimental result with simulation result

세 개의 피크 중 첫 번째는 방진계의 고유진동수를 보여주는 것으로 해석 상에서는 설계자의 의도에 따라 방진계의 스프링 상수를 바꿈으로써 조정 가능하며, 나머지는 데크 메카니즘 부품들의 고유진동을 나타내는 것으로 이들이 서로 비교해야 할 결과이다. 해석에 의한 결과 중 300Hz이상에서 나타나는 피크는 피크의 판정이 모호하나 적어도 300Hz이하의 응답특성은 실험결과와 잘 일치하고 있다.

Table 1. Comparison of natural frequencies

mode	natural frequency(Hz)		error rate(%)
	experiment	simulation	
2 <sup>nd</sup>	128	132	3.1
3 <sup>rd</sup>	205	213	3.9
4 <sup>th</sup>	240	253	5.4
5 <sup>th</sup>	265	272	2.6

Table 1. 에는 실험 및 해석을 통하여 구한 데크 메카니즘의 전달률 곡선 중 피크인 고유진동수를 각 모드별로 정리하였으며 해석결과가 실험결과에 근사함을 알 수 있다.

### 4. 방진계 설계방향에 대한 검토

앞서 검증된 유한요소모델을 사용하여 방진계의 고유진동수에 따른 데크 메카니즘의 진동특성을 비교/검토하여 우수한 방진성능을 갖는 방진계의

설계값을 찾아보도록 한다.

보통 픽업의 성능 구현을 위하여 액추에이터의 고유진동수는 변경이 어렵기 때문에 방진계의 고유진동수는 주어진 액추에이터의 고유진동수와 일치하지 않도록 설계되고 있다. 본 연구에서 사용한 액추에이터의 고유진동수가 50Hz 근처이기 때문에 본 해석에서 사용할 방진계의 고유진동수로 30Hz와 85Hz의 두 가지를 선택하여 비교하고자 한다. 그리고 테크메카니즘에 가해지는 외란은 외부가진과 불균일질량 디스크의 회전에 의해 발생하는 내부가진이 있으며 이들 외란에 대한 응답특성을 관찰함으로써 방진계의 설계방향을 결정할 수 있다.

#### 4.1 외부가진에 대한 응답특성 비교

외부가진에 의한 테크 메카니즘의 응답특성으로서 전달률, 디스크와 대물렌즈간의 상대변위 변동량 그리고 베이스와 테크 메카니즘간의 상대변위 변동량등을 살펴본다.

**전달률.** 방진계 자체의 진동흡수능력을 보고자 전달률을 서로 비교해본다. Fig. 5는 방진계의 고유진동수가 30Hz일 때와 85Hz일 때의 전달률을 함께 보여주는 그림이다.

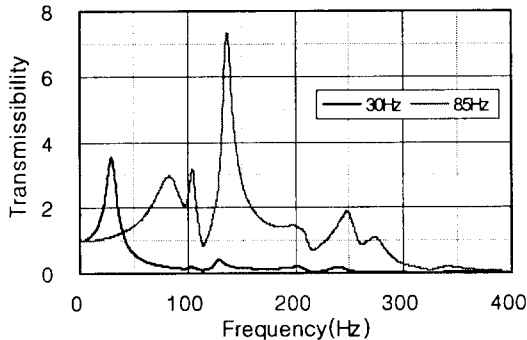


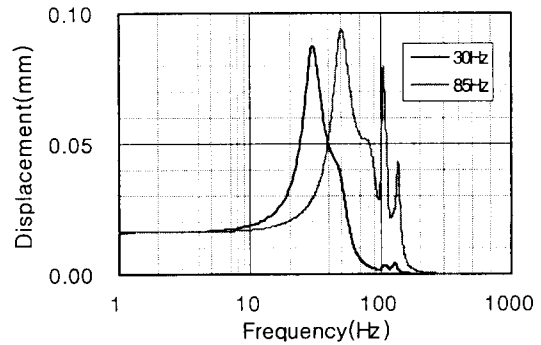
Fig. 5 Comparison of transmissibility by external excitation

그림에서 보면 방진계의 고유진동수가 30Hz인 경우에는 방진계의 자체 피크 외에는 큰 피크가 보이지 않는데 비해 방진계의 고유진동수가 85Hz인 경우에는 여러 개의 피크가 전달률이 1이상으로 매우 큼을 알 수 있다.

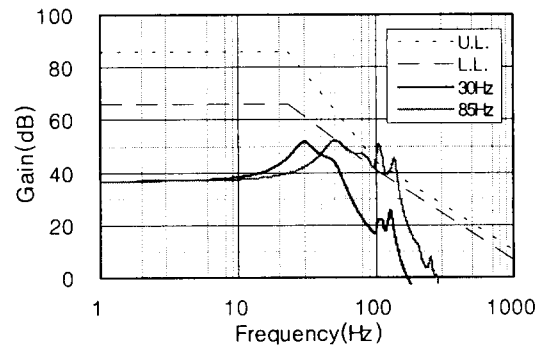
**디스크와 대물렌즈간의 상대변위.** 진동으로 인해 발생하는 변위 중 실제로 데이터의 기록 및 재생에 영향을 미치는 것은 디스크와 대물렌즈 사이의 상대변위의 변동량이다. 디스크와 대물렌즈간의 거리가 초점 영역에서 벗어나게 되면 디스크에 데이터를 기록하거나 기록된 데이터를 읽을 수가 없

으므로 디스크와 대물렌즈간의 상대변위 변동량을 억제하는 것은 매우 중요하고, 방진계가 존재하는 궁극적인 이유라고 볼 수 있다.

Fig. 6은 0.2G의 가속도를 갖는 외부가진이 테크 메카니즘에 가해질 때 방진계의 공진주파수가 30Hz일 때와 85Hz일 때에 디스크와 대물렌즈 사이에서 발생하는 상대변위의 변동량을 보여주는 그림으로 수평축은 가진 주파수를 나타내며 로그 단위로 표현하였다. Fig. 6(a)는 디스크와 대물렌즈간에 발생하는 상대변위의 변동량을 mm단위로 표현한 것으로 외부가진이 40Hz 정도까지는 방진계의 고유진동수가 85Hz일 때 상대변위가 작고 그 이외의 구간에서는 방진계의 고유진동수가 30Hz일 때 상대변위 변동량이 작음을 알 수 있다. 그러나 이는 단지 발생하는 상대변위의 크기에 따른 평가일 뿐이고 실제로는 이를 주어진 서보게인의 주파수특성과 비교하여 검토해야 한다.



(a) physical scale



U.L. : Reference servo upper limit  
L.L. : Reference servo lower limit

(b) dimensionless scale

Fig. 6 Comparison of relative displacement deviation of the disk to the objective lens by external excitation

Fig. 6(b)는 디스크와 대물렌즈 사이에 발생하는 상대변위와 DVD 규격<sup>(5)</sup>에 나와 있는 서보 개루

프게인을 함께 보여주는 것으로서 게인의 상한치와 하한치를 함께 보여준다.

위의 그림에서 게인은 dB로 표현하였으며 그 기준은 서보목표치로 다음 식과 같이 표현된다.

$$Gain(dB) = 20 \cdot \log_{10} \frac{D_{disk} - D_{lens}}{\delta}$$

여기서,  $D_{disk}$  는 disk의 변위  
 $D_{lens}$  는 lens의 변위  
 $\delta$  는 서보목표치

그림에서 보면 비록 40Hz이하에서는 방진계의 공진주파수가 30Hz일 때 발생하는 상대변위가 크지만 이는 서보게인보다 작으므로 데이터의 기록 및 재생에는 문제가 없는 것으로 판단된다. 그러나 40Hz이상의 주파수에서는 방진계의 고유진동수가 85Hz인 경우가 크며 이는 제어 가능 영역을 벗어난다고 볼 수 있다.

**베이스와 데크 메카니즘간의 상대변위.** 방진계를 구성하는 고무는 데크 메카니즘을 구성하는 부품들에 비해 비교적 강성이 작으므로 하중이나 충격으로 인해 비교적 큰 변위가 발생한다. 그래서 고무 양측간의 간격이 크지 않는 한 운송등에서 야기되는 큰 진동이 가해졌을 때 서로 충돌이 발생하여 제품이 파손될 수 있다. 그러나 제품 설계상 sway space라 불리우는 간격을 무한정 크게 할 수 없으므로 큰 진동으로 인하여 이들이 얼마나 근접하는지를 알아내어 충돌을 피할 수 있도록 설계를 해야 한다.

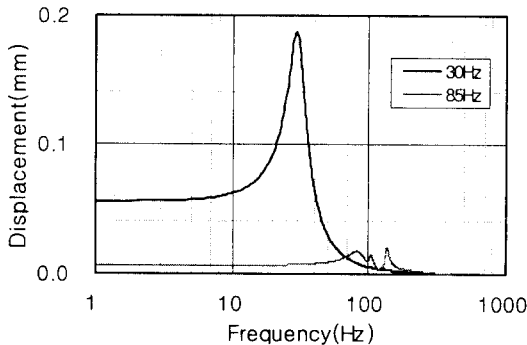


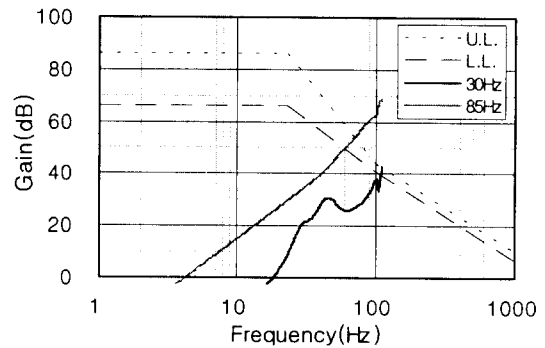
Fig. 7 Comparison of relative displacement of the base frame to the deck mechanism by external excitation

Fig. 7 은 0.2G의 가속도 크기를 갖는 외부가진이 가해졌을 때의 베이스와 데크 메카니즘간의 상대변위를 비교해주는 그림으로서 방진계의 고유진동수가 30Hz인 경우가 85Hz인 경우보다 매우 크지만 이 경우에도 최대변위는 0.2mm이하로 실용상 아무 문제가 없다고 볼 수 있다.

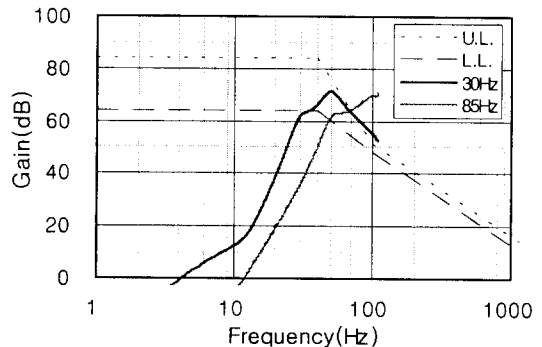
#### 4.2 내부가진에 대한 응답특성 비교

최근 광디스크 드라이브의 고배속화 추세에 따라, 불균형 질량 디스크의 고속회전에 의한 내부가진원에 대한 대응이 큰 문제가 되고 있다. 이에 따라 내부가진에 의한 테크 메카니즘의 진동특성을 살펴본다.

**디스크와 대물렌즈간의 상대변위.** 앞서의 외부가진에 대한 응답특성과 마찬가지로 내부가진에 대한 디스크와 대물렌즈간의 상대변위 변동량은 데이터의 기록 및 재생에 큰 영향을 미친다. 내부가진은 질량중심이 회전중심과 편심된 디스크의 회전에 의하여 발생하는 원심력과 디스크가 기울어진 상태로 회전함으로써 발생하는 회전 모멘트로 구성되며, 그로 인해 발생하는 변위 변동량은 디스크의 반경방향뿐만이 아니라 축방향으로도 나타난다.



(a) axial direction



(b) radial direction

U.L. : Reference servo upper limit  
 L.L. : Reference servo lower limit

Fig. 8 Comparison of relative displacement of the disk to the objective lens by internal excitation

Fig. 8은 내부가진에 의해서 반경방향 및 축방향

으로 발생하는 디스크와 대물렌즈간의 상대변위를 보여주고 있으며 여기서 디스크의 불균형 질량은  $1g \cdot cm$ 이며 디스크가 기울어진 각도는 기계적인 조립정밀도 수준을 고려하여  $0.1^\circ$  로 선정하였다. 디스크의 최대회전수는 CD-ROM 12배속(CLV)의 최대회전수인 6400rpm(106Hz)로 하였다.

외부가진에 의한 응답특성에서와 마찬가지로 상대변위를 Gain(dB)로 나타내었으며, Fig. 8 (a)는 축방향의 상대변위를 그리고 Fig. 8 (b)는 반경방향의 상대변위를 보여준다.

축방향을 보면 방진계의 고유진동수가 30Hz인 경우 상대변위가 제어가능영역 안에 들어 있으나 85Hz인 경우 70Hz이후에서 제어가능영역을 벗어나 있음을 알 수 있다.

반경방향으로의 디스크와 대물렌즈간의 상대변위를 보면 전체적으로는 방진계의 고유진동수가 30Hz인 쪽이 크다. 그러나 방진계의 고유진동수가 85Hz일 때 50Hz이후에서 상대변위가 계속 증가하여 제어가능영역을 벗어나나 고유진동수가 30Hz일 때는 50Hz이후에서 상대변위가 점점 감소하여 제어 가능 영역 근처에 있음을 알 수 있다.

**외부전달 가속도.** 불균형 질량 디스크의 회전에 의해 발생하는 내부가진력은 회전수의 제곱에 비례하며 그로 인해 고배속 드라이브일수록 발생하는 진동은 커진다. 이러한 내부진동은 소음을 유발시키며 주변의 하드디스크등에 대한 가진원이 될 수 있다.

그래서 내부진동에 의해 외부로 전달되는 진동을 규제할 필요가 있고 이를 위하여 드라이브가 PC에 장착되는 부위에서 내부진동에 의한 가속도를 측정한다.

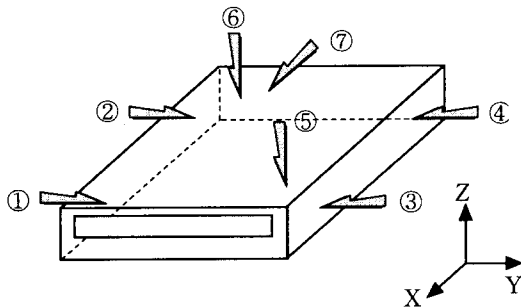


Fig. 9 Location of transmitted acceleration measuring points

Fig. 9는 드라이브 상에서 통상 외부전달 가속도를 측정하는 위치를 보여주는 그림으로서 이들 위치에서 방진계의 공진주파수 위치에 따라 외부전달가속도가 어떻게 변하는지 살펴본다.

Table 2.는 유한요소해석으로 구한 내부가진에 의한 외부전달가속도를 정리한 것으로서, 방진계

의 고유진동수가 30Hz인 경우 85Hz인 것보다 외부전달가속도가 작음을 알 수 있다.

Table 2. Comparison of transmitted acceleration by internal excitation

location	acc.* direction	transmitted acc.* (G)	
		30Hz	85Hz
①	Y	0.7	1.1
②	Y	0.3	2.3
③	Y	0.5	0.7
④	Y	0.4	0.6
⑤	Z	0.9	4.3
⑥	Z	0.4	3.0
⑦	X	0.2	1.1

\* acceleration

#### 4. 결론

본 연구에서는 DVD 테크 메카니즘의 진동특성을 알아내기 위하여 테크 메카니즘에 대한 유한요소 해석을 수행하였다.

모델링에는 되도록 2차원 요소를 사용하여 모델의 크기와 해석시간을 단축하도록 하였고 부품들간을 결합하는데도 여러 가지 시도를 하여 테크 메카니즘의 동적거동을 비교적 정확히 예측할 수 있는 유한요소모델을 작성하였으며, 실험결과와 비교적 잘 일치하는 유한요소모델을 제시하였다.

그리고 작성된 유한요소모델을 바탕으로 방진계의 고유진동수에 따른 진동특성을 비교 평가하였다.

#### 참고 문헌

- (1) Alan B.Marchant, "Optical Recording A Technical Overview", Addison-Wesley Publishing Company.
- (2) Bouwhuis,G., J.Braat, A.Huijser, J. Pasman, G. van Rosmalen, and K. Schouhamer Immink, "Principles of Optical Disk Systems", Adam Hilger, Ltd., Boston, 1985.
- (3) 村山登, 小出博, 山田和作, 國兼眞, "光ディスク技術", ラジオ技術選書198.
- (4) Braat, J., and G. Bouwhuis, "Position Sensing in video disk read-out", Applied Optics, 17, 2013(1978).
- (5) DVD Specifications for Rewritable Disk, Part1 Physical Specifications.