

회전축 정렬불량 광디스크 드라이브의 진동 저감에 관한 연구

강봉진#, 정태은*, 신호철**, 오주환***

A Study on Vibration Reduction of an Optical Disk Drive with the Misaligned Axis of Rotation

Bong Jin Kang#, Tae Eun Chung*, Hyo Chol Sin**, Ju Hwan Oh***

ABSTRACT

In a high-speed and wide operating field optical disk drive, the vibration problem is one of the most important factors to be considered for reliable performance. And a disk misaligned with axis of rotation is a major source of vibration in optical disk drive. Furthermore, this vibration disturbance of the disk spindle system causes failure in the reading and writing process. So to solve this vibration problem, the vibration absorber using rubber mount has been introduced in recent years. In this paper, we have analyzed the simple optical disk drive model with dynamic vibration absorber through dynamic analysis of 12-dof by Recurdyn program and obtained optimal mass and frequency ratios of dynamic vibration absorber of dynamic vibration absorber and the optimal frequency ratio.

Key Words : Optical disk drive(광 디스크 드라이브), Dynamic vibration absorber(동흡진기), Vibration reduction(진동저감), Misalignment(축정렬불량)

1. 서론

최근 DVD 롬, CD-RW, CD 롬 등의 광디스크 드라이브는 더 높은 데이터 전송률을 요구하고 있고, 이를 실현하기 위하여 디스크 회전 속도를 더 높일 필요가 있다. 또한 DVD, CD 등이 결합된 복합 드라이브는 다매체, 다배속에 모두 대응해야 하므로, 다양한 주파수 영역에서 기록과 재생이 가능해야 한다. 그런데 디스크 회전 속도가 높아질 경우, 광디스크 드라이브 내의 기계적 진동이 중요

한 문제로 나타난다.

광디스크 드라이브의 기계적 진동의 원인을 분석해 보면 구조적 측면에서 디스크 스피들 시스템(disk spindle system)에서의 진동과 광픽업(optical pick-up)에서의 진동으로 나눌 수 있다. 그 중 디스크 스피들 시스템에서의 진동 현상은 공진과 플러터(flutter) 등의 여러 원인에 의해 발생하며, 디스크의 질량 불균형에 의한 진동이 가장 주요한 원인이 된다. 디스크의 질량 불균형은 디스크 자체의 질량 분포의 오차와 디스크 회전 중심과 스

접수일: 2003년 4월 28; 게재승인일: 2004년 2월 20일
서울대학교 기계항공공학부 대학원
Email mechania@hotmail.com 02)880-1684
* 인덕대학 정보메카트로닉스 전공
** 서울대학교 기계항공공학부
*** 현대 모비스㈜

핀들 회전 중심의 불일치 등의 두 가지의 관점에서 생각해 볼 수 있다.^{1,2} 특히, 광디스크 드라이브는 회전축과 기하학적 중심축의 정렬불량으로 인해 영구적으로 스피들 축에 고정되어 있는 형태의 하드디스크 드라이브에 비해 많은 진동원을 가진다.³ 따라서, 광디스크 드라이브의 경우 이에 대한 연구도 필요하며, 이러한 경우에 대한 진동저감 방법 및 효용성에 대한 논의가 필요하다. 다음의 Fig. 1은 광디스크 드라이브의 기계적 진동 현상의 원인을 정리한 것이다.

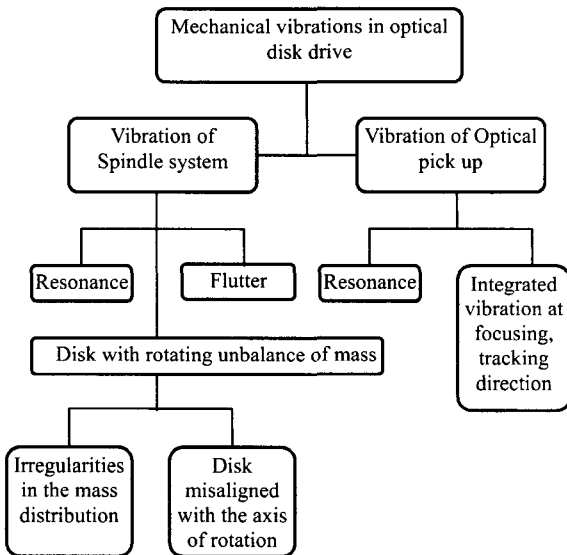


Fig. 1 Diagram of mechanical vibration in an optical disk drive

디스크의 질량 불균형으로 인한 진동의 저감은 기본적으로 방진 고무 마운트를 통하여 구현된다. 하지만, 고품위 드라이브를 구현하기 위해 추가적 장치로 자동 불 평형 장치(automatic ball balancer)와 동흡진기(dynamic vibration absorber: DVA) 등이 채용되고 있다. 자동 불 평형 장치의 경우, 비교적 널리 사용되는 장치로 계의 공진 주파수 이하에서 진동을 유발하는 단점과 여러 가지 구현 상의 단점이 있어 이를 보완하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다.^{4,5} 또한, 방진고무를 이용하는 동흡진기는 광디스크 드라이브의 공간적 제약 때문에 보조계의 질량이 한정되어 진동 저감 성능에 한계가 있다는 단점이 있으나, 자동 불 평형 장치에 비해 신뢰성

이 있으며 구조가 간단하다. 따라서, 방진 고무를 이용한 광디스크 드라이브의 진동 저감 효과에 대한 많은 연구가 있었고,^{6,7} 광디스크 드라이브에 사용되는 방진 고무 자체의 물성치를 해석적인 방법으로 보다 간편하게 구할 수 있는 방법에 대한 연구 역시 활발하게 이루어지고 있다.^{8,9}

그러나 앞서 언급한 바와 같이 실제의 계에서는 디스크와 스피들 모터 사이의 중심 불일치로 인해 모멘트가 발생하기 때문에, 실제 계에서의 동적 거동을 충분히 고려할 수 있는 다자유도의 수학적 모델이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 회전중심이 기하중심과 일치하지 않는 경우의 진동특성을 분석하는 것을 목표로 하고, 이를 위하여 실험적으로 제시된 광디스크 드라이브 등가 모델과 고무 마운트 물성치를 이용하여 3 차원 모델링을 수행하였고, 이에 대하여 Function Bay, Inc.의 Recurdyn 을 이용하여 12 자유도계 해석을 수행하였다. 또한, 동흡진기 질량과 고무 마운트 강성의 변화에 따른 흡진기 성능변화를 평가하여, 적절한 질량값과 최적 성능을 보이는 강성값을 결정하였다.

2. 동흡진기

2.1 동흡진기의 2 자유도계 모델

동흡진기는 임의의 진동계에 대해 그 계의 원하지 않는 특정한 진동을 제거하거나, 과도한 진동량을 줄이는 장치이다. 동흡진기는 Fig. 2와 같이 진동 저감의 대상이 되는 주계와 주계의 동특성에 큰 영향을 미치지 않는 보조계로 구성되며, 보조계는 질량, 스프링, 감쇠로 구성된다. 이론적으로 잘 알려져 있는 2 자유도계 동흡진기의 운동 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 \\ -c_2 & c_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F \sin \omega t \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

식 (1)을 임피던스 방법으로 풀면,

$$\begin{bmatrix} k_1+k_2-\omega^2 m_1 & -k_2-j\omega c_2 \\ +j\omega(c_1+c_2) & k_2-\omega^2 m_2 \\ -k_2-j\omega c_2 & +j\omega c_2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

와 같은 형태로 표현되며, 여기서 X_1, X_2 는 x_1, x_2 의 진폭을 의미한다. 식 (2)에서 주계의 진폭에 대하여 풀면,

$$X_1 = \frac{F}{det.} (k_2 - \omega^2 m_2 + j\omega c_2) \quad (3)$$

이다. 한편, 여기서 $det.$ 는 식 (2)의 2x2 행렬의 행렬식이다.

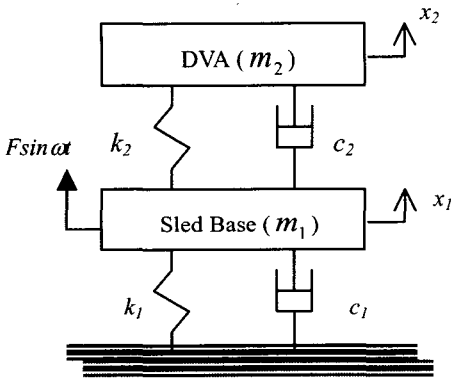


Fig. 2 Dynamic vibration absorber in 2-dof

2.1.1 동흡진기의 설계변수

앞 절의 식 (3)을 적절히 표현하기 위하여 다음의 무차원화 된 설계변수를 도입한다.

$$MR = m_2 / m_1 \quad (4)$$

$$SR = k_2 / k_1 \quad (5)$$

$$FR = \sqrt{SR / MR} \quad (6)$$

여기서 MR 은 주계와 보조계의 질량비(mass ratio)를 뜻하며, SR 은 강성비(stiffness ratio)를, FR 은 공진주파수비(natural frequency ratio)를 의미한다.

한편 앞 절의 2 자유도계 운동방정식에 위에서

도입한 설계변수를 적용하여 주계의 가속도를 구하고, 1 자유도계 일 때의 주계의 가속도(Fig. 3의 DOF1)와 비교해 보고자 한다. 이때 MR 을 0.1로 일정하게 유지하고, FR 을 각각 1.0, 2.0, 3.0으로 변화시키면서 동흡진기의 주파수를 어떻게 설정하는 것이 주계의 가속도 진폭을 줄일 수 있는지 알아 보았다.

Fig. 3에서 수평축은 1 자유도계일 때 주계의 공진주파수로 가진 주파수를 무차원화한 것이고, 수직축의 경우 주계의 가속도를 중력가속도로 무차원화 한 것이다. 이 때, 하나의 FR 값이 모든 구간에서의 성능향상에 기여하는 것이 아니라, FR 값에 따라 국부적으로 최적의 성능을 보이는 구간이 각각 존재함을 확인할 수 있다.

그리고 높은 디스크 회전 속도 구간에서는 FR 값이 큰 경우가 더 좋은 진동저감 성능을 나타내며, 각각의 경우 그 최적 성능을 나타내는 구간을 넘어서는 주파수에서는 FR 값이 큰 경우에 오히려 진동 저감 성능이 나빠지는 것을 확인할 수 있었다.

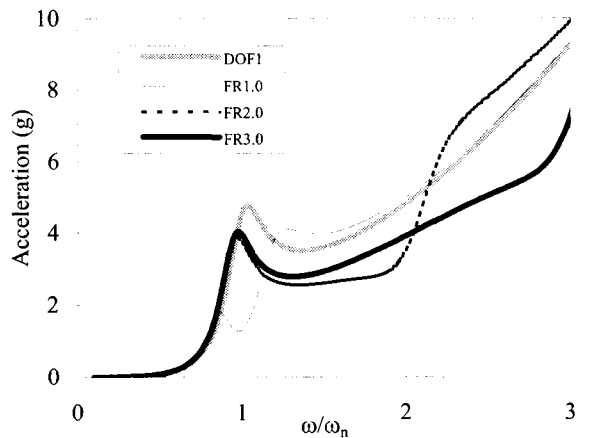


Fig. 3 Vibration of sled base in 2-dof ($MR=0.1$, damping factor $\zeta=0.1$, $\omega_n=50\text{Hz}$)

2.2 동흡진기의 12 자유도 모델

앞서 2 자유도계의 이론과 도입된 설계변수를 통해 흡진기의 유효성을 간단히 평가해 보았다. 이를 바탕으로 12 자유도를 가지는 3차원 모델을 제시하도록 한다.

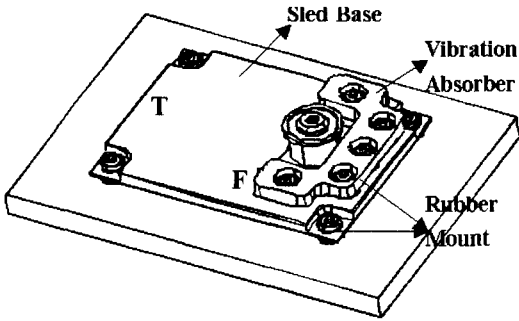


Fig. 4 Schematic diagram of optical disk drive

2.2.1 광디스크 모델에 대한 해석방향

광디스크 드라이브의 해석은 Fig. 4에서 제시된 실제 드라이브와 등가의 진동 특성을 갖는 등가 모델에 대하여 수행한다.

위의 광디스크 드라이브 모델에 부착된 흡진 장치에 대한 유효성은 선행연구에서 검증하였는데, 2 자유도계 수학적인 모델을 바탕으로 Fig. 4에 제시한 모델에 대해 실험과 해석을 통하여 흡진기의 타당성에 대해서 살펴보았다. 특히, 디스크가 불평형 질량을 가진 경우를 고려하였는데, 해석은 I-DEAS 를 이용하여 유한요소 모델을 생성하고 모드 해석을 수행하고, 그 결과로 주파수응답을 구하였으며, 실험은 해석모델과 동일한 모델을 통해 모터의 회전주파수를 5Hz 로부터 120Hz 까지 5Hz 씩 증가 시키면서 가속도계를 이용하여 슬레드 베이스(sled base)의 가속도를 측정하여 해석결과와 비교하였다. 그 결과 흡진기를 부착한 경우 최근 광디스크 드라이브의 작동 영역인 100Hz 이상에서 기존의 흡진장치에 비해 개선된 결과를 보여주었으며, 실험과 해석의 결과가 일치함을 확인하여, 광디스크 드라이브의 연구에 있어서의 해석적 방법의 타당성 역시 검증하였다.¹⁰ 또한, 모델을 다 자유도계로 확장하였을 경우 역시 방진고무를 이용한 흡진장치의 유효성 또한 검증 하였다.¹¹

따라서, 본 연구에서는 흡진장치의 타당성을 바탕으로 Fig. 4에 제시된 모델에 디스크와 스핀들의 회전축이 정렬 불량인 경우에 대한 해석을 수행하였다. 모델은 4 개의 고무 마운트로 지지되는 슬레드 베이스와 5 개의 고무 마운트로, 포커싱(focusing) 방향, T 점에서 디스크의 반경 방향인 트래킹(tracking) 방향에 대한 가속도 값을 구함으로써 좌표계에 상관없이 진동특성을 살펴 보고, 최

적의 주파수비와 질량비를 구하고자 한다.

2.2.2 등가모델의 물성치

등가 모델의 각 부품별 물성치를 나타내면 Table 1 과 같다. 모터의 경우 실제 모터와 동일한 질량을 가지고 회전중심 역시 실제에 일치하도록 하였다. 디스크는 폴리카보네이트 수지의 일종인 PC lexan 을 사용한다.

슬레드 베이스와 동흡진기에 부착된 고무 마운트에 대한 가진실험을 수행하여 구한 물성치는 Table 2, Table 3 과 같다. 그리고, 각 경우는 동흡진기가 부착되지 않은 Case 0을 기준으로 하였다. 그리고, 방진고무의 물성치는 가진실험을 통하여 구하였다.

Table 1 Material properties of the equivalent model

부품	Sled base	Motor	DVA	Disk
Material	Al		SUS304	PC lexan
Mass (kg)	0.208	0.0245	0.1102	0.0165
Density (kg/m ³)	2720	3790	5930	1210
I _{xx} (kg/m ²)	162.2E6	1.3E6	77.9E6	14.9E6
I _{yy} (kg/m ²)	307.5E6	1.3E6	18.5E6	14.9E6
I _{zz} (kg/m ²)	468.5E6	1.8E6	95.2E6	29.8E6

Table 2 Properties of rubber mount at sled base with motor

Direction	Case 0	
	Focusing	Tracking
Mass (kg)	0.233	
Stiffness (N/m)	4413.2	2215.3
Damping factor	0.279	0.251
Natural Frequency (Hz)	42	30

Table 3 Properties of rubber mount in dynamic vibration absorber (F=focusing / T=tracking direction)

Dir.	Case 1		Case 2		Case 3	
	F	T	F	T	F	T
Mass (kg)	0.110					
MR	0.474					
Stiffness (N/mm)	4.657	2.453	7.726	5.292	13.22	11.81
Damping factor	0.203	0.193	0.194	0.202	0.210	0.206
FR	1.49	1.53	1.92	2.25	2.51	3.33

2.2.3 Recurdyn 에서의 3 차원 모델링

앞 절의 등가모델을 해석하기 위해 본 연구에서는 Recurdyn 을 사용하였다. Recurdyn 은 Function Bay, Inc.에서 개발한 다물체 동역학 해석 프로그램이다.

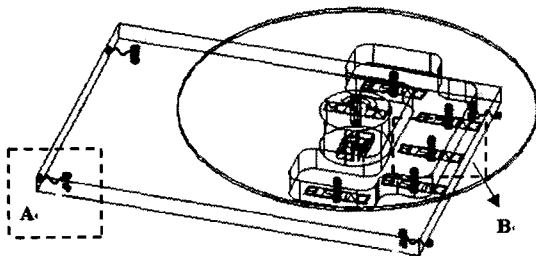


Fig. 5 3D Recurdyn model in 12-dof

Fig. 5는 Recurdyn 으로 광디스크 드라이브의 등가모델을 나타낸 것이다. 그림의 A 에서는 바닥과 슬래드 베이스를 3 방향의 스프링 및 댐퍼를 사용하였고, B 에서는 축방향으로는 스프링 및 댐퍼를, 나머지 횡방향으로는 부시(bush) 요소를 사용하여 슬래드 베이스와 동흡진기를 연결하였다. 또한, 디스크의 회전중심이 기하중심으로부터 0.061mm 떨어진 곳에 위치하도록 하여, 회전중심과 기하중심이 일치하지 않도록 모델링 하였다. 그리고, 모델의 물성치를 Table 3 과 같이 변화시키면서 동흡진기 강성에 따른 광디스크 드라이브의 동특성 변화를 관찰한다.

우선 MR=0.474 인 경우, FR=1.53, 2.25, 3.33 의

세 가지에 대하여 해석을 수행하였다. 각 조건에서 해석의 결과는 F, T 점에서의 가속도 값으로 나타내었다.

3. 동흡진기 해석 결과

앞 절의 모델에 대하여 해석을 수행하였다. 우선, 동흡진기에 부착된 고무 마운트가 실험적으로 제시된 Table 3 의 물성치를 갖는 경우에 대하여 해석하였다. 이를 바탕으로 동흡진기 부착 광디스크 드라이브의 동특성을 예측하고, 다음으로 동흡진기 강성과 질량 변화에 따른 경향을 파악하기 위하여 MR, SR, FR 등을 변화시키면서 결과를 관찰하였다.

우선, 디스크 회전 속도 0 Hz~140 Hz 의 범위에서 포커싱 방향과 트래킹 방향으로 나누어 결과를 나타내어 보았다.

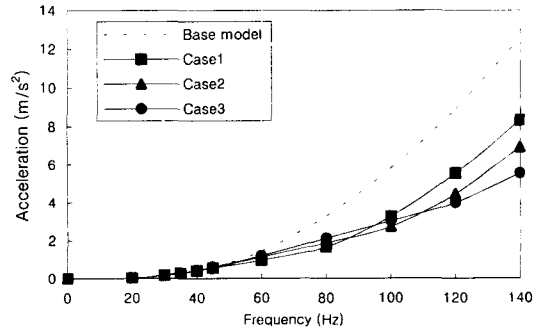


Fig. 6 Vibration of sled base in focusing direction (MR=0.474)

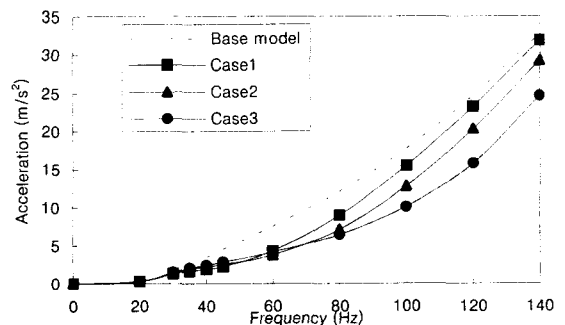


Fig. 7 Vibration of sled base in tracking direction (MR=0.474)

Fig. 6 은 디스크 회전 속도에 따른 F 점에서의 포커싱 방향 가속도 변화로 저주파수에서는 작은 강성의 동흡진기가 좋은 진동 저감을 나타내고, 고주파수에서는 큰 강성의 동흡진기가 더 좋은 진동저감 효과를 나타내었다. 또한, 저주파수에서는 강성이 낮은 Case 1 에서, 고주파로 갈수록 강성이 높은 Case 3 에서 국부적으로 최적의 성능을 보이는 경우, 즉, 최적의 FR 이 있음을 알 수 있다.

Fig. 7 은 디스크 회전 속도에 따른 T 점의 트래킹 방향 가속도 변화이다. 포커싱 방향과 마찬가지로 국부적으로 최적의 성능을 보이는 FR 이 있음을 확인 할 수 있다.

일반적으로 광디스크 드라이브에서 회전 질량 불균형에 의한 진동을 고려할 때, 포커싱 방향보다는 트래킹 방향의 진동이 훨씬 심각할 것을 예상할 수 있고, Fig. 6 과 Fig. 7 의 비교에서 그것을 확인할 수 있었다. 따라서, 트래킹 방향의 해석에 관심을 두기로 한다.

Table 4 Vibration reduction at 120Hz (MR=0.474, VR=Vibration Reduction)

Case	Case 0	Case 1	Case 2	Case 3
FR	0	1.53	2.25	3.33
Acc. (m/s ²)	24.7	23.3	20.3	15.8
VR	0% ↓	5.8% ↓	18% ↓	36% ↓

결과를 수치적으로 명확하게 비교하기 위해 Table 4 와 같이 나타내었다. Fig. 7 에서 대표적 광디스크 드라이브 작동 영역인 120 Hz (7200 rpm)의 값을 살펴보면, 기본 모델에 비해 Case 3에서 가장 진동 저감 성능을 보였지만, 더 나은 성능을 구현하기 위하여 MR, SR 등을 변화시키며 추가적 해석을 수행하기로 한다.

3.1 MR의 변화에 따른 결과

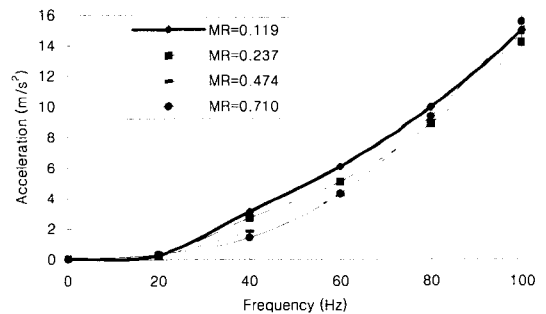
각각의 경우에 대해서 모델의 MR=0.474 를 기준으로 0.1185 씩 간격을 두어, MR=0 에서 0.710 까지 해석을 수행하였다. 그래프에서는 서로 간의 구분을 위하여 MR=0.119, 0.237, 0.474, 0.710 의 네 가지 경우에 대하여 나타내었다.

Fig.8은 고무 마운트의 강성을 Case 1에서 Case 3 까지 변화시키며 각각의 경우에 대해 동흡진기

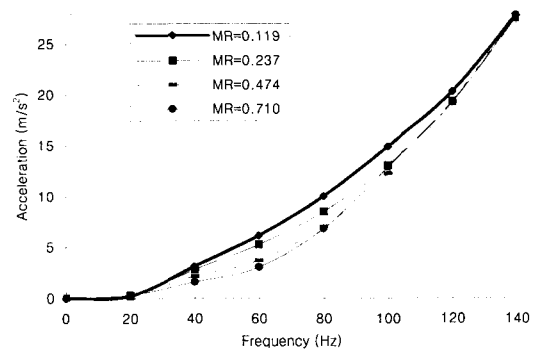
의 질량을 변화시키면서 해석을 수행하고 트래킹 방향의 가속도를 구한 결과이다.

Case 1(SR=1.1)의 경우 60Hz 이하에서는 MR 이 0.710 일 경우 가장 좋은 진동 저감 성능을 보였으며, 회전 속도가 증가할수록 적은 값의 MR 에서 최적 성능을 보였다. Case 2(SR=2.39)의 경우도 역시 MR 의 변화에 따라 FR 이 국부적으로 최적값을 나타내는 MR이 존재한다는 것을 확인할 수 있다. 마찬가지로 Case 3(SR=5.33)의 경우 전 주파수 구간에서 MR 이 0.710인 경우에 가장 좋은 진동 저감 성능을 보였다.

120Hz 에서 세 가지 경우를 종합적으로 살펴보면, Case 3 의 MR=0.710 에서 가장 좋은 진동 저감 성능이 나타났다. 즉, SR 과 MR 이 동시에 큰 경우가 최적의 진동 성능을 나타내고 있음을 알 수 있다. 하지만, 서론에서도 언급하였듯이 광디스크 드라이브의 공간적 제약으로 동흡진기 질량의 계속적 증가에는 한계가 있다.



(a) Case 1



(b) Case 2

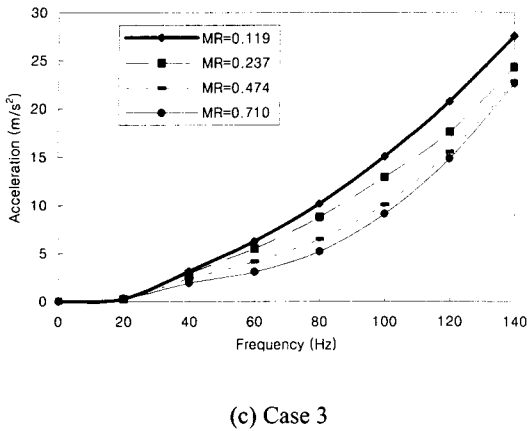


Fig. 8 Vibration of sled base with various MR

위의 결과를 수치적으로 비교하기 위하여 Table 5에 Case 3의 120 Hz 에서의 가속도 값을 나타내었다. Table 5에서 보면 MR이 0.237에서 0.474로 동흡진기 질량을 0.055kg 증가시켰을 때, 상대적으로 31% 향상된 진동 저감 성능을 보였지만, MR이 0.474에서 0.710으로 다시 0.055kg 증가시켰을 때는 상대적으로 8% 향상된 결과가 나왔다. 즉, MR=0.474 이상의 경우에는 동흡진기의 질량 증가에 따른 동흡진기의 효과가 감소하는 것을 확인하였다.

따라서 구조적 한계와 효율의 측면에서 MR을 0.474로 설정하고 지지하는 고무 마운트의 강성을 변화시켜서 진동 저감 효과를 알아보고자 한다.

Table 5 Vibration reduction at 120Hz (SR=5.36)

MR	0	0.119	0.237	0.474	0.710
Acc. (m/s ²)	24.2	20.8	17.7	15.6	14.9
VR	0%	14.2%	27.2%	35.7%	38.6%
	↓	↓	↓	↓	↓

3.2 FR의 변화에 따른 결과

MR이 0.474의 상태에서 동흡진기에 부착된 고무 마운트의 강성값을 변화시키며 FR을 변화시켜, 최적 진동 성능을 보이는 FR값을 찾아 보았다. FR값을 1씩 증가시켰으며, 앞의 실험 결과를 이용한 해석이 FR이 1.53에서 3.33까지 해석 결과이므로,

여기서는 FR이 4에서 7인 경우에 대하여 해석을 수행하였고, 그 결과를 Fig. 9에 나타내었다.

Fig. 9에서 A 구간은 광디스크 드라이브의 고유 주파수 영역을 표시한 것으로 심한 국부적 진동을 예상할 수 있으나, 모든 경우에서 충분한 감쇠 효과로 인하여 특별한 진동 증가, 혹은 감소 효과는 없었다. B 구간으로 나타낸 디스크 회전 속도 120 Hz (7,200 rpm)에서 140 Hz (8,400 rpm)의 구간에서는 FR이 5인 경우가 가장 좋은 진동 저감 성능을 보였다. FR 5에서는 120 Hz 이하의 주파수 구간에서도 안정적 진동 저감 성능을 나타내는 것을 그래프 상에서 확인 할 수 있다. 120 Hz에서의 결과를 수치상으로 나타낸 것이 Table 6이다.

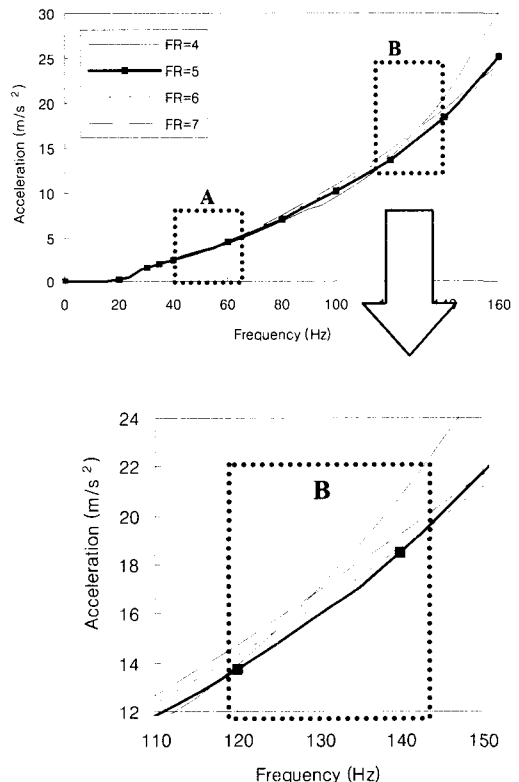


Fig. 9 Vibration of sled base with various FR

Table 6 Vibration reduction at 120Hz ($MR=0.474$)

FR	0	4	5	6	7
Acc. (m/s^2)	24.7	13.9	13.7	14.3	14.7
VR	0 % ↓	43.8 % ↓	44.3 % ↓	42.1 % ↓	40.2 % ↓

Table 6에서 보면 $FR=5$ 인 경우의 진동 저감이 44.3%로 지금까지의 모든 경우 중에서 가장 좋은 진동 저감 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 이상의 결과로 볼 때, 질량비(MR) 0.474에서 고유진동수비(FR) 5로 동흡진기를 설계하는 것이 가장 타당한 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 광디스크 드라이브의 회전 질량 불균형에 의한 진동 현상에 대한 방진 대책의 하나인 동흡진기에 대하여 살펴보았다. 기존의 연구에서 제시한 모델을 바탕으로 3 차원 12 자유도 계 해석을 수행하였다. 실제의 계에서는 디스크와 슬레드 베이스의 중심이 일치하지 않으므로 가진력에 의해 슬레드 베이스에 모멘트가 작용하고, 이 모멘트는 슬레드 베이스에 영향을 미치게 된다. 이러한 이유에서 2 자유도계 해석을 확장한 12 자유도계 해석 수행의 의의를 찾을 수 있다.

우선 실험적 물성치를 바탕으로 해석을 수행하였다. 지금까지 자동차나 여타의 방진을 필요로 하는 기기에 널리 사용되었던 고무 마운트의 광디스크 드라이브에의 적용은 이미 그 타당성이 검증되었다. 또한, 과도하게 설정된 회전축 정렬불량인 경우에도 고무 마운트를 이용한 동흡진기가 효과적임을 확인할 수 있었다. 다음 과정으로 동흡진기의 성능에 영향을 미치는 설계 변수인, 질량비, 강성비, 고유진동수비를 각각 도입하여, 그 변화에 따른 슬레드 베이스의 가속도 변화를 해석해 보았다. 그 결과 질량비와 강성비의 값을 같이 증가시키는 것이 진동 저감에 좋은 결과를 보였다.

그러나, 광디스크 드라이브는 구조적인 한계가 있고, 보조계의 지속적인 질량 증가는 주계의 동특성 변화에 큰 영향을 미칠 수 있으므로, 동흡진기의 질량을 크게 증가시키는 것은 어렵다. 따라서 적절한 질량비를 설정하고, 그것에 대하여 강

성비를 변화시키면서 각 경우에 따라 해석하여 최적의 고유 진동수비를 찾아내었다.

이 결과를 바탕으로 등가 모델이 아닌 실제 광디스크 드라이브의 모델을 도입하여 동흡진기에 대한 타당성을 재검토하고, 동흡진기의 위치에 대한 연구를 수행 할 필요가 있다. 또한, 실제의 시스템에 대해서도 모델의 간략화를 통한 설계 방안을 제시하는 것에서 시작하여, 자유도를 확장하여 최적의 설계 변수를 찾아낼 수 있을 것이다. 다만, 광 디스크 드라이브의 각 부품들은 디스크의 동작을 고려하여 공간적 배치가 결정되며, 동흡진기 역시 이를 고려하여 설계 되어야 할 것이다. 따라서, 고무 마운트의 수와 위치, 동흡진기 질량의 분포 등은 다른 인자에 의하여 변할 수 있고, 이에 따른 해석이 추가적으로 필요할 것이다.

참고문헌

1. Lee, S. Y., "Mechanical Vibration of Rotating Disks in Information Storage Devices Disks," J. of KSPE, Vol. 18, No. 4, pp. 19-24, 2001.
2. Song, T. S., Lee, M. D., Jun, H. G., Park, N. C., Park, Y. P., "Technical Trend of Optical Information Storage Device," J. of KSPE, Vol. 18, No. 4, pp. 25-36, 2001.
3. Heo, J. W., Chung, J., Choi, K. Y., "Vibration Analysis of a Flexible Spinning Disk Considering the effect of Misalignment," Transactions of KSME A, Vol. 26, No. 5, pp. 952-959, 2002.
4. Kim, B. H., Ryu, J., "Design Guidelines for the Automatic Ball Balancer in CD/DVD Systems with Varying Eccentricity," J of KSNVE, Vol. 9, No. 2, pp. 387-392, 1999.
5. Lee, D. J., Chung, J., Ro, D. S., "Vibration Reduction of an Optical Disk Drive Using an Automatic Ball Balancer," J. of KSNVE, Vol. 9, No. 2, pp. 355-362, 1999.
6. Kim, N. W., Kim, K. W., Lim, J. R., Kim, W. Y., "Numerical Simulation and Experiment of and Anti-vibration Design of Slim Optical Disk Drive," J. of Information Storage and Processing Systems, Vol. 1, pp. 351-356, 1999.
7. Heo, J. W., Chung, J., Park, J. M., "Vibration and Noise Reduction of an Optical Disk Drive by Using a

- Vibration Absorber,” IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol. 259, No.1, pp. 31-43, 2002.
8. Kim, K. W., Lim, J. R., Ahn, T. K., “Stiffness Analysis of Compressed Rubber Components for Anti-Vibration,” J. of KSPE, Vol. 16, No. 6, pp. 141-147, 1999.
 9. Kim, N. W., Kim, K. W., Hwang, H. K., Kim, D. K., Lee, J. W., Kim, W. Y., “Dynamic Analysis of an Optical Disk Drive with Dynamic Vibration Absorber,” Proceeding of the KSPE Fall Annual Meeting, 2002.
 10. Kang, B. J., “A Study on Vibration Absorber of the CDRW Drive Using Rubber Mount,” Master Thesis, Seoul National University, 2000.
 11. Kang, B. J., Sin, H. C., Chung, T. E., “A Study on Dynamic Characteristics of the Optical Disk Drive with Rubber Mount Absorber,” Proceeding of the KSPE Fall Annual Meeting, pp. 580-584, 2001.
 12. Meirovitch, Leonard, “Elements of vibration analysis,” McGRAW-HILL, 1986.
 13. McConnell, Kenneth G., “Vibration Testing,” John Wiley & Sons, Inc., 1995.