한국소음진동공학회논문집 제16권 제5호, pp. 529~536, 2006.

동흡진기를 사용한 광 디스크 드라이브의 진동저감

Vibration Reduction of an Optical Disk Drive with a Dynamic Vibration Absorber

김 남 웅* · 김 국 원† · 신 효 철**

Nam Woong Kim, Kug Weon Kim and Hyo-Chol Sin

(2006년 2월 15일 접수 ; 2006년 4월 21일 심사완료)

Key Words : Optical Disk Drive(광디스크 드라이브), Dynamic Vibration Absorber(동흡진기), Vibration Reduction(진동저감)

ABSTRACT

In high-speed optical disk drive, the excitation caused by rotation of a mass-unbalanced disk is a major source of vibration. The vibration can be a disturbance to the servo system, which is sufficient to cause severe failures in the reading and writing process. The vibration also causes users to feel unpleasantness. The vibration reduction is therefore essential for the reliable operation of optical disk drive. One of the approaches to reduce the vibration is a dynamic vibration absorber(DVA). In this paper, we analyze the dynamic behavior of DVD±RW combo drive system with DVA through 12-dof rigid multi-body dynamic model. The effective location and the optimal frequency ratio for the DVA are obtained from the analysis. The DVA are fabricated based on the analysis and its usefulness is confirmed.

1. 서 론

지난 20여년간 광기록·재생 기기 업계에는 끊임없는 배속 경쟁 즉, 전송률 경쟁이 지속되어 왔다. 현재는 배속 경쟁이 거의 수렴치에 달하여, 시장에 출시되고 있는 CD계열 드라이브는 52배속이, DVD계열 드라이브는 16배속이 일반화되어 있다. 이들 광디스크 드라이브는 200 ~ 10,500 rpm에 이르는 다배속 구동을 지원하고, 현재 시장에서의 주류 상품인 복합 드라이브(combo, multi)처럼 다매체를 대응해야 하기 때문에, 광범위한 주파수대역에서 동적 안정성을 구현해야 한다. 따라서 적절한 방진대책을 통해 동적 안정성을 높일 필요가 있다.

광디스크 드라이브의 진동원에는 환경으로부터 발생하여 내부로 전달되는 외부 진동원과 디스크 진동, 공기유동, 모터 진동 등 부품에서 발생하는 내부 진동원이 있다. 이중 특히 심각한 것이 질량 불균형 디스크(mass unbalanced disk)로 인해 발생하는 내부 진동으로서, 회전수의 제곱에 비례하여 가진력을 발생시키므로 고배속 광디스크 드라이브에서는 보다 향상된 방진 대책이 요구된다.

일반적으로 광디스크 드라이브의 방진은 점탄성 재료인 방진 마운트를 통해 구현된다.[1] 그러나 10,000 rpm 이상의 고속 회전 기기에서 질량 불균형 디스크의 가진이 발생할 경우, 기존 구조의 방진 마운트만으로는 충분한 방진 성능을 구현하기 어렵다. 따라서 그동안 광기록·재생 기기 업계에서는 자동 평형 장치(automatic dynamic balancer)[2,3]나 동흡진기(dynamic vibration absorber, DVA)[4~7]

† 책임저자; 정회원, 순천향대학교 기계공학과
E-mail : kimkug1@sch.ac.kr
Tel : (041) 530-1225, Fax : (041) 530-1550
* 서울대학교 대학원 기계항공공학부
** 서울대학교 기계항공공학부

의 부가적인 방진 대책을 사용해왔다. 자동 평형 장치의 경우, 이론적으로는 계의 공진주파수 이상에서 질량 불평형을 완벽히 보상하나, 이하에서는 진동을 유발하는 단점을 가지고 있다. 동흡진기는 광 디스크 드라이브의 질량적 혹은 공간적 제약 때문에 보조계의 질량이 한정되어 있으므로 방진 성능에는 한계가 있으나 일반적으로 자동 평형 장치에 비해 신뢰성이 있으며 구조가 매우 간단한 장점이 있다.

동흡진기의 이론은 DenHartog[4]이 선형 비감쇠계에 장착된 동흡진기를 2자유도의 동적 모델을 통해 최초로 분석한 이래 많은 연구가 있었으나, 광디스크 드라이브를 대상으로 한 연구는 매우 적었다. Heo 등[6]은 60 Hz의 회전주파수에서 공진하는 편향디스크의 특정모드 진동을 줄이기 위해 동흡진기의 사양을 결정하여 이를 제작하고, 실험적으로 진동과 소음이 저감됨을 보였다. 여기서는 일반적으로 광디스크 드라이브를 개발할 때, 문제시되고 있는 고속에서의 방진에 관해서는 다루지 않았다. Kang 등[7]은 회전 모드가 고려된 12자유도의 동적 모델을 통해 실제의 광디스크 드라이브와 유사한 특성을 가지는 실험모델을 해석하여, 슬레드 베이스의 진동저감을 위한 최적의 공진주파수비를 구했다. 그러나 실제 광디스크 드라이브에서 기록·재생에 문제를 발생시키는 것은 픽업 액추에이터 부분에서의 진동이며, 회전 모드로 인해 슬레드 베이스의 진동과는 다른 양상을 보일 수 있다.

이 연구에서는 DVD±RW 복합(combo) 드라이브를 대상으로 회전모드가 고려된 3차원 12 자유도의 동적 모델을 수립하여 주파수비와 장착위치 등 동흡진기의 사양을 결정하였다. 해석에는 상용 동역학해석 소프트웨어인 ADAMS를 사용하여 12자유도 동역학 모델을 구성하였다. 방진의 목표는 픽업 액추에이터 부분에서의 진동이며, 특히 최고 속도인 DVD 16배속에서 트래킹(tracking) 방향의 진동저감을 목표로 하였다. 마지막으로 동역학 해석을 통해 결정된 동흡진기의 주파수비를 구현하는 방진 마운트를 제작하여 제안된 사양의 타당성을 실험을 통해 검증하였다.

2. 동흡진기를 고려한 동역학 모델

2.1 동특성 사양 및 진동저감 목표

동흡진기의 원리는 주계(main system)의 공진대역에서 발생하는 진동을 주계의 동특성에 큰 영향을 미치지 않는 보조계(auxiliary system) 즉, 동흡진기를 부가하여 저감하는 것이다. 광디스크 드라이브에서 주계는 슬레드 베이스 조립체(sled base assembly)의 질량과 방진 마운트(rubber mount)의 강성과 감쇠로 구성된다. 여기서 슬레드 베이스 조립체란 슬레드 베이스와 여기에 장착되는 픽업(pick-up), 스핀들 모터(spindle motor), 피드 모터(feed motor), 광디스크 등 일체 부품의 조립체를 의미한다.

이 연구에서 고려하고 있는 DVD±RW 복합드라이브는 재생모드에서 CD 40배속/DVD 16배속으로 동작하고, 기록모드에서는 이보다 낮은 속도로 동작한다. 따라서 DVD 16배속 재생시에 최고 속도 160 Hz로 동작한다.

질량 불균형 디스크의 회전에 의해 광디스크 드라이브가 가진될 경우, 일반적으로 공진 주파수에서의 진동은 큰 문제가 되지 않는다. 이것은 주계의 공진주파수가 최고 회전 주파수 대비, 매우 낮게 설정되어 있어 질량 불균형 디스크에 의한 가진력이 크지 않고, 또한 방진 마운트에 의해 진동이 충분히 감쇠되어 기록·재생을 위한 픽업의 서보 제어에 큰 영향을 미치지 않기 때문이다. 반면, 질량 불균형 디스크의 가진력이 최대가 되는 최고 회전 주파수에서의 진동, 특히 트래킹 방향의 진동은 기록·재생에 심각한 악영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 최고 속도인 160 Hz에서, 픽업 액추에이터의 서보제어에 특히 악영향을 미치는 트래킹 방향의 진동 저감을 목표로 한다.

DVD±RW 복합드라이브 주계의 공진 주파수 및 방진 마운트의 진동 특성을 구하기 위해 전달률(transmissibility)을 측정하였다. Fig. 1과 같이 가진기(shaker) 위에 슬레드 베이스 조립체를 고정하고, 가진기 상면과 슬레드 베이스에 조립된 스핀들 모터 상면 각각에 가속도계를 장착하여 입력 가속도와 방진 마운트를 통해 전달되는 응답 가속도의 비를 측정한다. 스윕(sweep)은 10 ~ 400 Hz 구간에서 0.5 octave/min 정현파 가진이다. 전달률 측정 결과를 Fig. 2에 나타냈으며, 각 방향의 공진주파수를 Table 1에 정리했다. 표에서 포커싱(focusing) 방향은 디스크의 축방향을 나타내며, 트래킹 방향은 디스크의 면

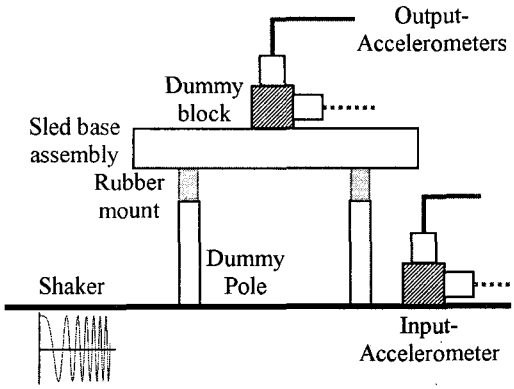


Fig. 1 Schematic diagram of transmissibility test

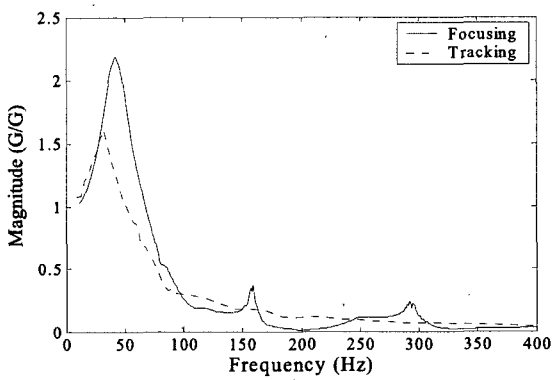


Fig. 2 Transmissibility of DVD±RW combo drive

Table 1 Natural frequency of DVD±RW combo drive

	Frequency (Hz)	Magnitude (G/G)
Focusing direction	43	2.2
Tracking direction	31	1.6

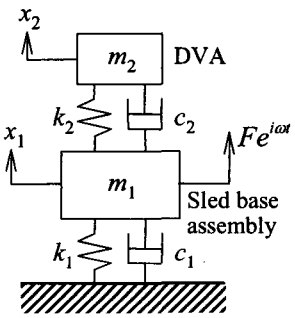


Fig. 3 2-dof model of dynamic vibration absorber

방향 중 픽업이 움직이는 방향을 의미한다.

2.2 2자유도 동역학 모델을 이용한 해석

12자유도 동역학 모델과의 비교를 위해 먼저 Fig. 3에 나타낸 2자유도 모델을 사용해 동흡진기의 사양을 결정한다.

Fig. 3에서 m_1, x_1과 m_2, x_2는 각각 주계인 슬레드 베이스 조립체와 보조계인 동흡진기의 질량과 변위를 나타낸다. 또한 k_1, c_1과 k_2, c_2는 각각 주계와 보조계에 부착된 방진 마운트의 강성과 감쇠를 나타낸다. F와 ω는 각각 질량 불균형 디스크의 회전에 의한 조화가진의 진폭과 주파수를 나타낸다. 동흡진기의 사양을 결정하기 위해 다음과 같은 무차원 설계변수를 도입한다.

$$\mu=\frac{m_2}{m_1} \tag{1}$$

$$S=\frac{k_2}{k_1} \tag{2}$$

$$T=\frac{\omega_2}{\omega_1} \tag{3}$$

여기서 μ, S, T는 각각 주계와 보조계 간의 질량비(mass ratio), 강성비(stiffness ratio), 공진주파수비(natural frequency ratio)를 의미하며 ω_1, ω_2는 각각 주계와 보조계의 공진주파수를 나타낸다. Fig. 3의 동흡진기 모델에 대해 2자유도의 운동방정식을 수립하여 조화해석을 수행하면, 주계의 진폭 X_1을 구할 수 있다.

$$X_1=\frac{F}{k_1}\frac{(1-\gamma_2^2+i2\zeta\gamma_2)}{DET} \tag{4}$$

여기서

$$DET=[1+T^2\mu-\gamma_1^2+i2(\zeta_1\gamma_1+\zeta_2\gamma_2\mu)]\\ [1-\gamma_2^2+i2\zeta_2\gamma_2]-(1+i2\zeta_2\gamma_2)^2T^2\mu$$

$$\gamma_i=\frac{\omega}{\omega_i}\qquad i=1,2$$

이고 ζ_1, ζ_2는 각각 주계와 보조계의 감쇠비이다.

DVD±RW 복합 드라이브에서 슬레드 베이스 조립체의 질량은 266 g으로 주어져 있다. 그리고 고려되는

동흡진기의 질량은 27 g정도로, 공간적 제약상 이를 초과할 수 없다. 따라서 이후의 해석에서 μ는 0.1로 고정된다. 고려되는 질량 불균형은 1 g·cm이다.

Fig. 4(a), (b)는 식 (4)를 이용해 T의 변화에 따른 슬레드 베이스 조립체의 가속도를 계산한 결과를 나타낸 것이다. 최고 속도인 160 Hz에서의 진동에 주목해 보면, T가 4까지는 동흡진기를 사용하지 않았을 때에 비해 오히려 진동이 더 증폭되며, T가 6이상이 되어야 안정적인 진동 저감 효과를 볼 수 있다.

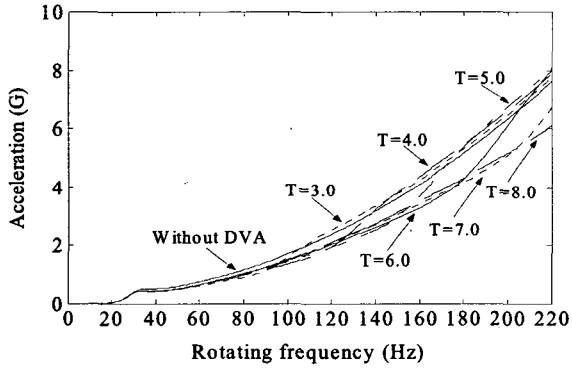
2.3 12자유도 동역학 모델 및 검증

전술한 동흡진기 2자유도 모델은 간단한 해석해를 통해 최적의 주파수비를 구할 수 있는 장점이 있으나 슬레드 베이스 조립체와 동흡진기의 회전모드를 고려할 수 없다. 또한 동흡진기 설계시 필요한 방진 마운트의 개수나 위치, 질량체의 형상 등 설계 인자를 고려할 수 없다. 그러므로 보다 엄밀한 해석을 위해서는 다자유도 모델이 필요하다.

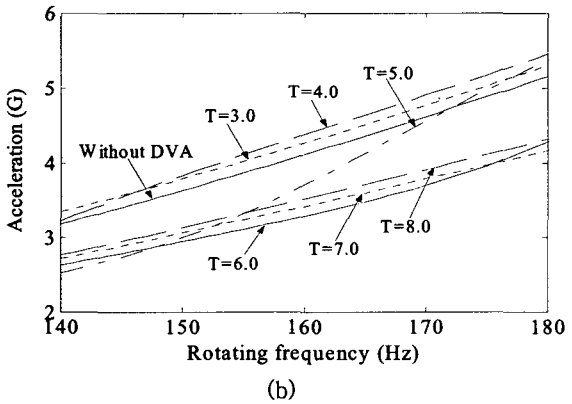
이 연구에서는 상용 동역학 해석 소프트웨어인 ADAMS를 사용해, 광디스크 드라이브의 슬레드 베이스 조립체 및 동흡진기를 Fig. 5와 같이 다자유도로 강체 모델링하여 동흡진기의 사양을 결정한다. 여기서 z축은 포커싱 방향을, x축은 트래킹 방향을 나타낸다. 방진 마운트는 부싱(bushing)요소를 사용해 모델링했다. 부싱요소의 강성과 감쇠계수로는 Table 1의 전달률 실험 결과로부터 계산된 값을 사

Table 2 Properties of rubber mount at sled base

	Stiffness (N/m)	Damping factor
Focusing direction	4854.2	0.23
Tracking direction	2522.9	0.31



(a)



(b)

Fig. 4 Vibration of sled base assembly with 2-dof analysis: (a) (0≤f≤220) (b) (140≤f≤180)

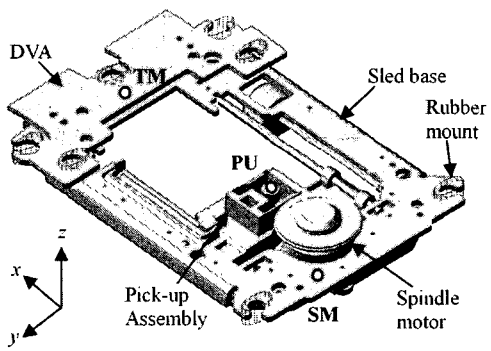


Fig. 5 ADAMS model of DVD±RW combo drive

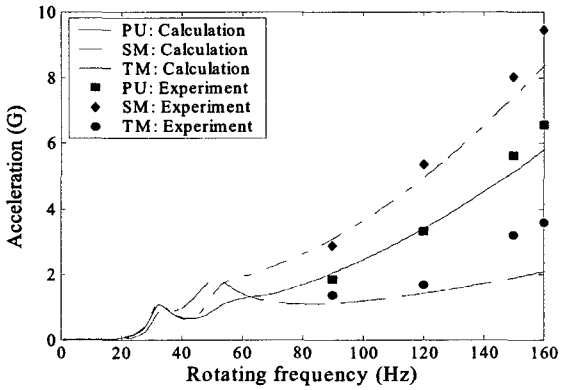


Fig. 6 Vibration induced by 1 g·cm mass-unbalanced disk without DVA

용했는데, 이 결과를 Table 2에 정리했다.

구현된 모델은 두 가지로서, 슬레드 베이스 조립체만으로 구성된 6자유도 모델과 슬레드 베이스 조립체와 동흡진기를 모두 고려한 12자유도 모델로서 주계와 보조계의 3축 병진, 3축 회전 자유도를 포함한다. 한편, 구현된 모델은 픽업의 위치에 따른 동역학적 거동의 차이를 고려할 수 있다. Fig. 5는 픽업이 내주에 있는 상태이다.

동역학 모델을 검증하기 위해 6자유도 모델에서 픽업 내주 조건하에, 1 g·cm 질량 불균형 디스크의 회전에 의해 발생하는 가속도를 계산하여 실험과 비교했다. 측정 위치는 Fig. 5에 나타낸 PU, SM, TM 이며 각각은 첫째, 픽업 하단, 둘째, 내주의 스핀들 모터 하단, 셋째, 외주의 슬레드 베이스 상단 위치를 나타낸다. 실험에서는 ABEX사의 TCD-776(1 g·cm 질량 불균형 시험 디스크)가 사용되었고, 측정 위치에 작은 알루미늄 블록을 설치한 후, 가속도계를 부착하여 디스크의 회전 주파수에 따른 트래킹 방향의 가속도를 측정했다. Fig. 6에 나타낸 바와 같이, 동역학 해석 결과와 실험결과는 전반적인 경향과 값이 비교적 잘 일치하여, 구현된 동역학 모델이 타당함을 보인다. 한편 실험치 및 계산치 모두에서 측정 위치(PU, SM, TM)에 따른 진동 가속도가 상당한 차이를 보이는데, 이는 질량 중심과 도심이 일치하지 않을 때, 회전 모드 때문에 발생하는 현상이다. 따라서 기록·재생에 큰 영향을 미치는 PU에서의 진동을 저감하기 위해서는 회전모드를 고려할 수 있는 다자유도 모델이 반드시 필요함을 알 수 있다. 해석결과에서 보이는 52 Hz의 피크는 회전모드에 의한 공진이다.

3. 동흡진기 설계

3.1 동흡진기 위치변화에 따른 진동저감

동흡진기의 질량비 μ는 공간적 제약상 0.1을 초과할 수 없으므로 그 크기는 슬레드 베이스에 비해 매우 작다. 따라서 동흡진기 장착 위치에 따라 픽업 하단(PU)에서의 진동저감 효과가 다를 것으로 예측된다. 이를 고려하기 위해 Fig. 7에 나타낸 것과 같이 세 가지의 장착위치를 해석조건으로 설정했다. L1을 외주에 설정된 기준 위치라 했을 때, L2와 L3는 각각 내주측으로 40 mm 그리고 80 mm 떨어진 위치이다. 여기서 내·외주란, 광디스크가 장착되었을 때, 광디스크의 내·외주의 위치를 의미한다. L2, L3

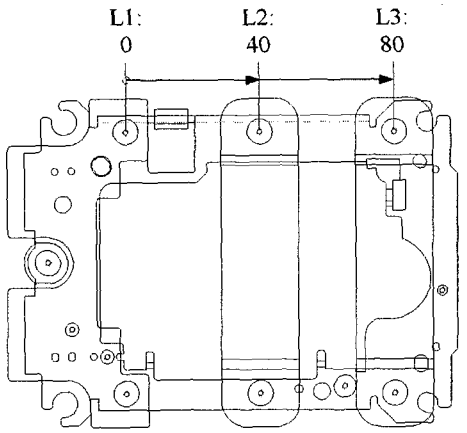
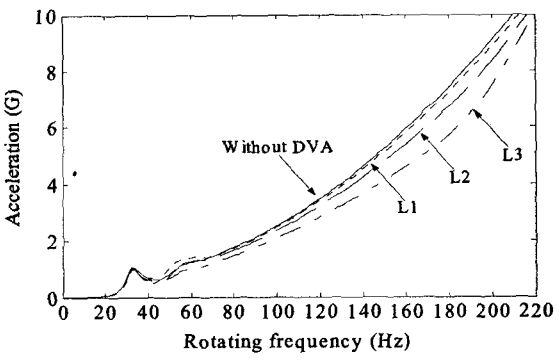
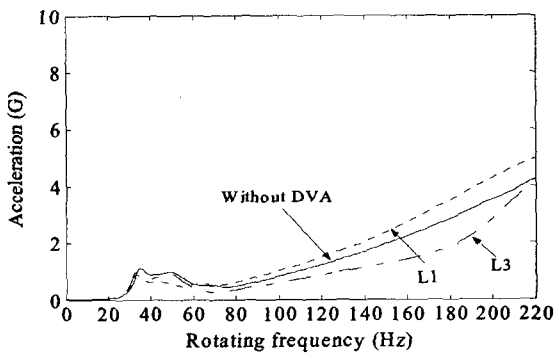


Fig. 7 Location of DVA



(a)



(b)

Fig. 8 Vibration induced by 1 g·cm mass-unbalanced disk with respect to the location of DVA (PU, $\mu = 0.1$, $T = 6$) : (a) pick-up at inner perimeter region (b) pick-up at outer perimeter region

의 DVA 형상은 장착성을 고려하여 DVA의 형상을 변경했으되 질량은 동일하게 유지했다.

주파수비 T는 2.2절에서의 2자유도 해석 결과에 따라 6으로 선정한다. 상기 조건에 따라 12 자유도 모델을 통해, 픽업이 내주 및 외주에 위치하는 각각의 경우에 대해, 1 g·cm 질량 불균형 디스크의 회전에 의해 PU에 전달되는 트래킹 방향 진동을 계산해서 Fig. 8과 Table 3에 나타냈다. 특이할 점은 동흡진기가 외주인 L1에 장착되어 있을 때는 PU에 전달되는 진동에 별 영향을 미치지 못한 반면, 내주인 L3에 가까워질수록 진동저감 효과가 크다는 것이다. 이것은 일반적으로 광디스크 드라이브 개발 시 스핀들 모터가 장착되는 내주와의 하중 균형을 맞추기 위해 외주측에 동흡진기를 장착하는 것과 상치되는 결과로서, 현 사양 및 구조에서는 내주에 동흡진기를 장착하는 것이 바람직함을 나타낸다. 또한 이 결과를 통해, 설계시 동흡진기의 장착위치에 대한 응답지점 진동의 영향을 반드시 고려해야 함을 알 수 있다.

3.2 동흡진기 주파수비에 따른 진동저감

앞의 결과에 따라 동흡진기가 내주인 L3에 장착된다고 가정했다. 여기서, 질량비 μ를 0.1로 고정한 상태로 주파수비 T의 변화에 따라, 1 g·cm 질량 불균형 디스크의 회전에 의해 PU에 전달되는 트래킹 방향 진동을 12 자유도모델을 통해 계산하여 Fig. 9 (a) ~ (d)에 나타냈다. 최고 속도인 160 Hz에서의 진동을 고려했을 때, 픽업의 위치에 상관없이, 최대 진동저감 효과는 주파수비 T가 6일 때 나타났다. 정리하면, 첫째, 픽업 내주 조건에 대해, 동흡진기가 없을 때의 진동이 5.9 G 인데 비해 주파수비 T가 6인 동흡진기가 사용될 경우에 4.6 G로, 1.3 G (22 %)의 진동저감 효과를 보였다. 둘째, 픽업 외주 조건에서는, 2.2 G에서 1.4 G로 0.8 G (36 %)의 진동

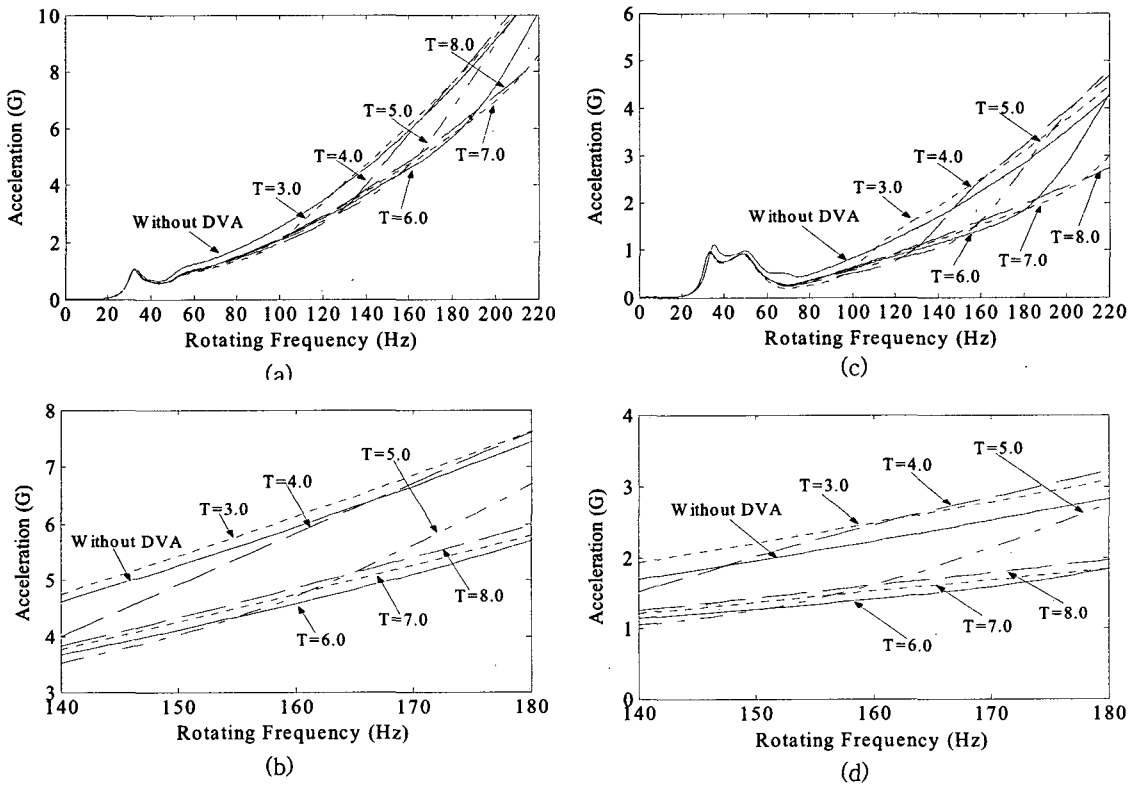


Fig. 9 Vibration induced by 1 g·cm mass− unbalanced disk with respect to natural frequency ratio T (PU, μ= 0.1): (a) pick-up at inner perimeter region (0≤f≤220) (b) pick-up at inner perimeter region (140≤f≤180) (c) pick-up at outer perimeter region (0≤f≤220) (d) pick-up at outer perimeter region (140≤f≤180)

저감 효과를 보였다. 한편, 주파수비 T가 4 이하에서는 오히려 진동을 더 증폭시키는 결과를, 6 이상에서는 안정된 진동저감효과를 보였다. 이러한 결과는 Fig. 4에서 보인 2 자유도 해석의 결과와 대체적으로 일치지만 진동 가속도의 정량적인 값에서 차이가 있고, 특정 응답 위치의 진동을 고려할 수 있다는 면에서 큰 차이가 있다.

3.3 동흡진기 제작 및 검증

동흡진기 방진 마운트는 Fig. 10에 나타낸 것과 같이 중앙부에 동흡진기판이 끼워진 상태로, 나사의 조임에 의해 슬레드 베이스 상에 압축 고정된다. 방진마운트는 장착 시 높이가 4.2 mm, 외경은 9.6 mm로 공간적 제약 상, 이를 초과할 수 없다. 이 연구에서는 저자들의 이전 연구[1),(8,9)]에 근거, T= 6을 구현하는 방진 마운트를 설계/제작했다.

제작된 동흡진기 방진 마운트를 채용하여, 동흡진기 장착위치에 따라, 1 g·cm 질량 불균형 디스크의 회전에 의해 PU에 전달되는 트래킹 방향 진동을 측정하여 3.1절의 계산 결과와 비교한 내용을 Fig. 11에 나타냈다. 실험 방법 및 조건은 2.3절의 실험과 동일하다.

동흡진기가 L1 보다 L3에 장착되었을 때, 진동저감 효과가 크다는 점과 전체적인 경향면에서 해석과 실험은 비교적 잘 일치했다. 따라서 제작된 동흡진기가 목표 성능을 잘 구현함을 검증했다. 한편, 픽업 내주 조건에서는 동흡진기가 L1에 장착되었을 때, 오히려 동흡진기가 없을 때보다 진동을 더 증폭시키는 실험결과를 보여 해석과 차이를 보인다. 이러한 차이는 동역학 모델링 오차로부터 비롯된 것으로 판단된다. 즉, 비선형 재료인 방진 마운트를 선형 강성/감쇠 요소로 고려한 점, 동역학 모델에서 픽업, 스핀들 모터 등, 각 부품의 질량 관성을 정확히 고려하지 않은 점, 부품의 정확한 조립조건을 고려할 수 없었던 점 등을 들 수 있다.

Table 3 Vibration induced by 1 g·cm mass-unbalanced disk with respect to the location of DVA at 160 Hz (PU, μ= 0.1, T= 6)

	Acceleration at PU (G)	
	Pick-up at inner perimeter region	Pick-up at outer perimeter region
Without DVA	5.9	2.2
With DVA at L1	5.8	2.7
With DVA at L2	5.4	-
With DVA at L3	4.6	1.4

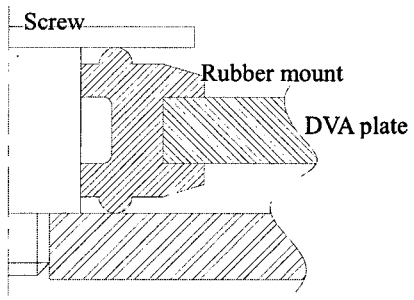
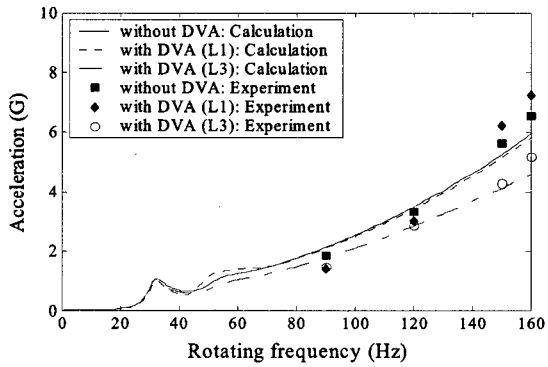
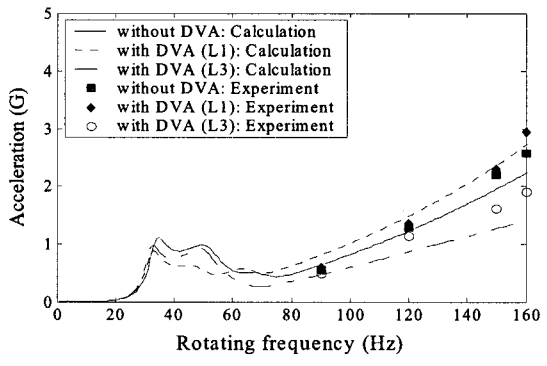


Fig. 10 DVA rubber mount assembly



(a)



(b)

Fig. 11 Vibration induced by 1 g·cm mass-unbalanced disk with respect to the location of DVA (Comparison between calculation and experiment, PU, μ=0.1, T = 6) : (a) pick-up at inner perimeter region (b) pick-up at outer perimeter region

4. 결 론

이 연구에서는 동역학 해석을 통해 동흡진기의 설계사양을 제시함으로써, DVD±RW 복합 드라이브의 진동특성을 개선하였다. 구체적으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

(1) 최고 회전 주파수인 160 Hz에서의 진동을 저감하기 위한, 동흡진기의 최적의 주파수비 T를 제시하였다. 고려한 DVD±RW 복합 드라이브에서 질량비 μ가 공간적 제약상 0.1로 고정될 때, 최적의 T는 6으로, 실험결과 픽업 내·외주 조건에서 각각 1.4 G (21 %), 0.7 G (26 %)의 진동을 저감할 수 있었으며, 동역학 해석결과 1.3 G (22 %), 0.8 G (36 %)와도 잘 부합했다. 한편, T가 4 보다 작은 경우는 오히려 진동을 증폭시키고, 6 보다 클 경우 비교적 안정된 진동 저감 성능을 보였다.

(2) 동흡진기는 장착 위치에 따라 진동 저감 성능에 큰 차이를 보인다. 고려한 DVD±RW 복합 드라이브에서 동흡진기는 외주보다 내주에 장착되어 있을 때, 진동 저감 효과가 컸다.

(3) 질량 불균형 디스크의 회전으로부터 발생되는 진동 전달은 슬레드 베이스 조립체 상의 특정 위치마다 매우 다르다. 따라서 기록·재생시 큰 영향을 미치는 픽업에서의 진동과 같은, 특정 위치의 진동을 저감하기 위해서는 회전 모드를 고려하는 다자유도 동역학 모델이 반드시 필요하다.

후 기

이 논문은 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(R05-2003-000-10279-0).

참 고 문 헌

(1) Kim, N. W., Kim, K. W., Lim, J. R. and Kim, W. Y., 1999, "Numerical Simulation and Experiment of an Antivibration Design of Slim Optical Disk Drive," Journal of Information Storage and Processing Systems, Vol. 1, pp. 351~356.

(2) Chung, J. and Ro, D.-S., 2000, "Dynamic Analysis of an Automatic Dynamic Balancer," Journal of Sound and Vibration Vol. 231, No.2, pp. 375~391.

(3) Lee, D. J., Chung, J. T. and Ro, D. S., 1999, "Vibration Reduction of an Optical Disk Drive Using an Automatic Ball Balancer," Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 9, No. 2, pp. 355~362.

(4) DenHartog, J. P., 1956, Mechanical Vibrations, 4th Edition McGraw Hill.

(5) Chung, J., 2004, "Vibration Absorber for Reduction of the In-plane Vibration in an Optical Disk Drive," IEEE Trans. On Consumer Electronics, Vol. 50, No. 2, pp. 552~557.

(6) Heo, J. W., Chung, J. and Park, J. M., 2002, "Vibration and Noise Reduction of an Optical Disk Drive Using a Vibration Absorber," IEEE Trans. On Consumer Electronics, Vol. 48, No. 4, pp. 874~878.

(7) Kang, B. J., Chung, T. E., Sin, H. C. and Oh. J. H., 2004, "A Study on Vibration Reduction of an Optical Disk Drive with the Misaligned Axis of Rotation," Journal of KSPE, Vol. 21, No. 5, pp. 122~130.

(8) Kim, N. W., Kim, K. W., Lim, J. R. and Ahn, T. K., 2001, "Dynamic Characteristics Prediction of Rubber Mounts for Anti-vibration of an Optical Disk Drive," Journal of KSPE, Vol. 18, No. 12, pp. 104~109.

(9) Kim, K. W. and Kim, N. W., 2002, "Prediction of Dynamic Characteristics of Rubber Mount for Anti-vibration," Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 12, No. 9, pp. 661~667.