

동흡진기를 채용한 광 디스크 드라이브의 동적 해석

김남웅*(LG 전자) 김국원(순천향대학교), 황효균, 김동규, 이진우, 김외열(LG 전자)

Dynamic Analysis of an Optical Disk Drive with Dynamic Vibration Absorber

Nam Woong Kim* (LG Electronics Inc.), Kug Weon Kim (Soonchunhyang Univ.)

Hyo-Kune Hwang, Dong Kyu Kim, Jin Woo Lee, Wae Yeul Kim (LG Electronics Inc.),

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 are obtained from the analysis.

Key Words : dynamic vibration absorber (동흡진기), optical disk drive (광 디스크 드라이브), vibration reduction(진동저감) mass-unbalanced disk (질량 불균형 디스크)

1. 서론

현재 광 디스크 드라이브 업계의 주요한 개발 추세 중 한 축은 CD 및 DVD 계열의 복합기기 (combo 드라이브)와 고배속 기록 기기에 있다. 이러한 드라이브는 다 매체, 다 배속에 대응해야 하므로 작동 주파수 대역이 대단히 넓으며, 고배속 및 저배속의 기록과 재생 모두에 신뢰성을 가져야 한다. 한편, CD 계열의 재생 속도는 이미 수 년 전부터 10,000 rpm 을 넘는 고배속을 구현하고 있지만, 같은 CD 계열의 기록 속도 및 DVD 계열의 재생 속도는 최근에 들어서 각각 48x 과 16x 이 실현되어서 업계의 배속 경쟁은 지속되고 있다. 이렇게 고속으로 회전하는 기기에서 발생하는 기계적 문제는 여러 가지가 있지만, 그 중 심각한 것이 진동이다. 특히 디스크 지조상의 문제나 사용상의 부주위로 생기게 되는 질량 불균형 디스크(mass unbalanced disk)의 경우, 드라이브 내에서 회전수의 제곱에 비례하는 가진력을 발생시키므로 고배속 기기의 주요한 기계적 문제이다.

광 디스크 드라이브의 진동 저감은 과거, 픽업 액츄에이터의 서보제어 측면에서만 문제점이 부각

되었으나 이와 함께 고품위 드라이브의 구현이라는 측면에서도 반드시 고려해야 할 문제이다. 일반적으로 광 디스크 드라이브의 방진은 점탄성 재료인 방진 마운트를 통해 구현된다^[1]. 그러나 10,000 rpm 이상의 고속에서 질량 불균형 디스크의 가진이 있을 경우, 일반적인 구조의 방진 마운트만으로는 충분한 방진 성능을 구현하기 어렵다. 따라서 자동 평형 장치(automatic dynamic balancer)^[2,3]나 동흡진기(dynamic vibration absorber)^[4,5]의 추가적인 방진 대책을 사용한다. 자동 평형 장치의 경우, 이론적으로는 계의 공진 주파수 이상에서 불평형을 완벽히 보상하나, 이하에서는 진동을 유발하는 단점과 여러 가지 구현 상의 단점을 갖는다^[4]. 한편 동흡진기는 광 디스크 드라이브의 공간적 제약 때문에 보조계의 질량이 한정되어 있으므로, 진동 저감 성능에 한계가 있으나, 일반적으로 자동 평형 장치에 비해 신뢰성이 있으며 구조가 매우 간단하다.

본 연구에서는 질량 불균형 디스크의 고속 회전에 의한 광 디스크 드라이브의 진동을 동흡진기를 채용하여 저감한다. 동흡진기의 동적 모델은 기존의 단방향 2 자유도 모델이 아닌 3 차원 12 자유도 모델을 통해 구현되며, 주어진 동흡진기의 질량에

다른 최적의 주파수비를 예측한다. 또한 슬레드 베이스에 비해 상대적으로 면적이 작은 동흡진기의 장착 위치에 따른 진동 저감 성능을 분석하여 효과적인 동흡진기의 설계 방안을 제시한다.

2. 동흡진기의 최적 주파수비

2.1 광 디스크 드라이브의 동특성

본 연구에서 고려하고 있는 광 디스크 드라이브는 DVD±RW Combo 드라이브로서 DVD 16x 에서 최고 속도를 갖는다. 여기서는 질량 불균형 디스크에 의해 가진되는 드라이브 내부의 진동 저감을 목표로 하는 바, 최고 속도인 160 Hz 에서, 특히 문제가 심각한 트래킹 방향의 진동을 주 해석 대상으로 고려하였다. Table 1 은 전달율(transmissibility) 실험에서 측정된 트래킹 방향과 포커싱 방향의 공진 주파수와 크기를 나타낸다. 여기서 트래킹과 포커싱 방향은 각각 슬레드 베이스의 평면에서 이루어지는 픽업의 트래킹 운동 방향과 모터의 회전축 방향으로 정의한다.

Table 1 Natural frequency of DVD±RW combo drive

	Frequency [Hz]	Magnitude [g/g]
Focusing dir.	43	2.0
Tracking dir.	31	1.6

2.2 동흡진기의 2 자유도 동역학 모델

동흡진기는 기본적으로 주계(principal system)의 공진 대역에서 발생하는 진동을 주계의 동특성에 큰 영향을 미치지 않는 보조계(auxiliary system)를 부가하여 저감하는 장치이다. 여기서 보조계는 질량, 스프링, 감쇠로 구성된다. 한편, 질량 불균형 디스크의 회전으로 인한 진동을 저감하는 측면에서는 계의 공진 주파수 대역보다는 고속 대역에서의 진동이 문제가 된다. 따라서 고속의 특정 주파수 대역을 진동저감의 목표로 한다. Figure 1 은 단방향 2 자유도계로 모델링된 동흡진기를 나타낸다.

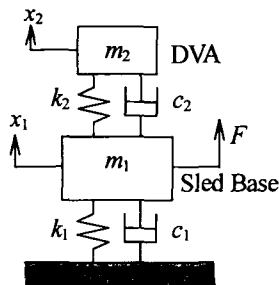


Fig. 1 2-dof model of dynamic vibration absorber

여기서 m_1, k_1, c_1, x_1 과 m_2, k_2, c_2, x_2 는 각각 주계인 슬레드 베이스계와 보조계인 동흡진기의 질량, 부착된 방진 마운트의 강성과 감쇠 그리고 변위를 나타낸다. F 는 질량 불균형 디스크의 회전에 의한 가진력을 나타낸다. 동흡진기의 주요 설계 매개변수는 식 (1)~(3)과 같다.

$$MR = \frac{m_2}{m_1} \quad (1)$$

$$SR = \frac{k_2}{k_1} \quad (2)$$

$$FR = \sqrt{\frac{SR}{MR}} \quad (3)$$

여기서 MR, SR, FR 은 각각 주계와 보조계의 질량비, 강성비, 공진주파수비를 나타낸다.

슬레드 베이스 계의 질량은 260 g 정도이고, 고려되는 동흡진기의 질량은 26 g 으로서 공간적 제약 상 이를 초과할 수 없다. 따라서 질량비는 0.1 로 고정한다. 고려되는 질량 불균형은 1 gcm 이다. Figure 2 는 2 자유도의 모델을 통해 구해진 슬레드 베이스계의 가속도를 나타낸다. 주파수비 4 까지는 오히려 진동을 더 크게 하며, 주파수비가 약 6 이상이 되어야 160 Hz 이하에서 안정적인 진동 저감 효과를 볼 수 있다.

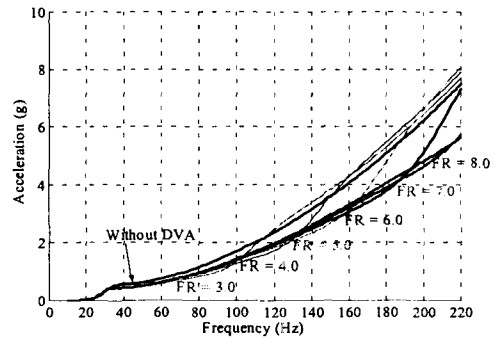


Fig. 2 Vibration of sled base: 2-dof analysis

2.3 동흡진기의 12 자유도 동역학 모델

2.2 절에서 전술한 동흡진기의 2 자유도 모델은 기본적으로 트래킹과 포커싱 두 방향에 대해서 독립적으로 해석되며, 간편하게 최적의 주파수비를 구할 수 있는 장점이 있으나 슬레드 베이스계의 회전모드를 고려할 수 없다. 또한, 설계시 필요한 동흡진기와 방진 마운트의 위치, 동흡진기 plate 의 형상 등 설계 인자를 고려할 수 없다. 본 연구에서는 상용 동역학 해석 software 인 ADAMS 를 통해 광

디스크 드라이브의 방진계 및 동흡진기를 다 자유도로 모델링하여 최적 주파수 비를 구한다. Figure 3는 ADAMS에서 구현된 강제 동역학 모델로서 총 12 자유도를 갖는다. 이 모델은 픽업 액츄에이터의 동특성과 일부 부품의 유연성을 제외한 광 디스크 드라이브 대부분의 강제 동역학이 반영된 것으로서, 픽업 액츄에이터에 전달되는 진동을 해석하는데 효과적인 모델로 사료된다.

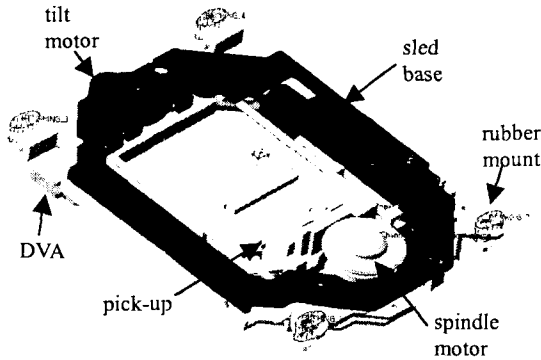


Fig. 3 ADAMS model of DVD±RW combo drive

초기 동흡진기의 장착 위치는 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 픽업의 외주측으로서 슬레드 베이스계의 하단이다. 동흡진기의 질량비는 약 0.1로서 그 크기는 슬레드 베이스계에 비해 매우 작아서 장착 위치에 따른 효과가 다를 것으로 예측된다. 따라서 동흡진기의 초기 설정 위치인 외주의 위치를 기준으로 내주 측으로 40 mm, 80 mm 옮겼을 때를 상정하여 시스템의 진동 해석을 수행했다. 동흡진기의 주파수비는 2.2 절의 결과에 따라 6으로 선정했다. Figure 4과 Table 2는 각각 픽업 액츄에이터에 전달되는 진동과 160 Hz에서의 진동을 나타낸다. 특히 할 점은 동흡진기가 초기 설정 위치인 외주에 장착되어 있을 때는 픽업 액츄에이터에 전달되는 진동에 별 영향을 미치지 못하며, 내주에 가까워질수록 진동을 저감한다는 것이다. 이것은 일반적으로 슬레드 베이스계의 정적 균형을 맞추기 위해 동흡진기를 외주측에 장착하는 것과 배치되는 사실로서 동흡진기를 내주측에 장착하는 것이 보다 바람직함을 보인다. 이러한 해석 내용은 2 자유도 모델로는 수행할 수 없는 부분으로, 동흡진기가 국부적으로 진동에 영향을 미칠 수 있음을 나타낸다.

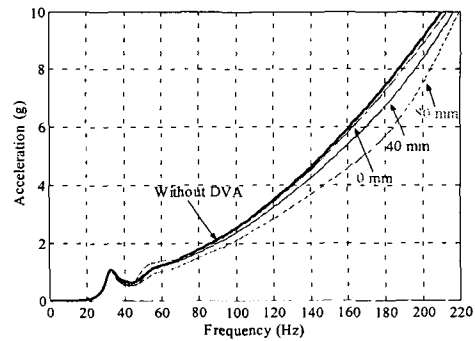


Fig. 4 Effect of DVA location

Table 2 Effect of DVA location on vibration reduction [g]:

160 Hz	
Case	Acceleration
Without DVA	5.9
0 mm	5.8
40 mm	5.4
80 mm	4.6

한편, 슬레드 베이스계의 질량 증가에 의한 진동 저감 효과에 대해 계산해 보는 것은 의미가 있으리라 사료된다. 따라서 Fig. 3의 DVD±RW Combo 드라이브의 구조에서 방진 마운트를 그대로 사용한 채, 슬레드 베이스 상판의 질량 및 관성을 2 배로 증가 시켰다. 이것은 슬레드 베이스 전반에 120 g의 질량이 새로이 분포되는 것과 같다. Figure 5는 이러한 질량 증가가 슬레드 베이스계의 특정 위치에 얼마나 영향을 미치는 가를 나타낸다. 여기서 각각의 위치는 총 3 개소로서 픽업 액츄에이터 부분과 스피들 모터 그리고 외주측의 틸트 모터의 위치이다. 이 들 각각은 PU, SM, TM의 약자로 표기한다. Table 3는 Fig. 5에서 160 Hz에서의 진동 저감이다. 여기서 주목할 부분은 120 g이라는 큰 폭의 질량 증가에 의해, 스피들 모터 부분의 진동은 약 3.6 g이 줄어 상당히 큰 진동 저감 효과를 나타냈으나 픽업 액츄에이터 부분의 진동은 1.8 g 정도만 줄었다는 것이다. 이것은 현 구조 상에서는 슬레드 베이스계의 질량을 대폭 증가 시켜도 진동 저감의 주요 목표인 픽업 액츄에이터 부분의 진동은 많이 줄일 수 없다는 것이며, 설계시 관행적인 방진 대책으로서 슬레드 베이스의 두께를 증가시키는 것은 효과가 크지 않다는 것을 의미한다. 따라서 동흡진기의 도입이 필요하다.

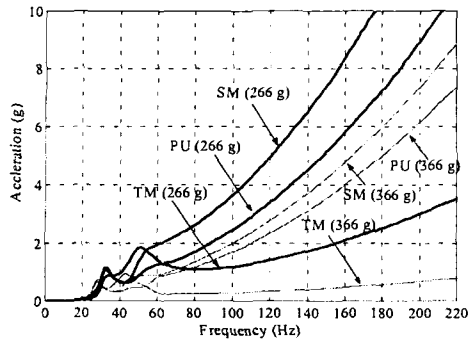


Fig. 5 Mass effect on vibration

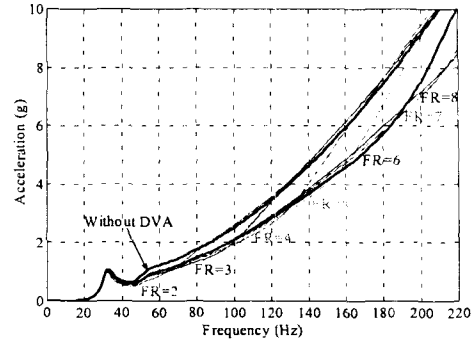


Fig. 6 Vibration of sled base with natural frequency ratio

Table 3 Mass effect on vibration reduction [g]: 160 Hz

	Acceleration :Mass 266 g	Acceleration :Mass 366 g	Vibration Reduction
SM	8.4	4.8	3.6 (43 % ↓)
PU	5.8	4.0	1.8 (31 % ↓)
TM	2.1	0.5	1.6 (76 % ↓)

동흡진기의 최적 주파수비를 계산하기 전에, 먼저 동흡진기의 위치를 Fig. 4 및 Table 2의 결과에 따라 내주에 있는 것으로 가정하였다. 여기서 질량비를 0.1로 고정한 상태로 주파수비를 1단위로 변화시키면서 픽업 액츄에이터의 진동을 최대한 저감할 수 있는 값을 계산했다. Figure 6는 이러한 결과를 나타낸다. 160 Hz 대역까지 안정된 진동 저감 성능을 구현하기 위해서는 주파수비가 적어도 6 이상이 되어야 한다. 이러한 결과는 Fig. 2에서 나타난 2 자유도 해석의 결과와 동일한 것으로 보이나, 그 값에서 차이가 있고, 특정 위치의 진동을 저감한다는 면에서 큰 차이가 있다. Table 4는 160 Hz에서의 진동 저감을 나타낸다. Table 3에 나타난 바와 같이, 슬레드 베이스계의 질량을 100 g 정도 대폭 증가한 상태에서의 진동저감이 불과 1.8 g 인 것과 비교하면, 질량비 0.1 정도의 작은 동흡진기로 구현되는 1.3 g의 진동 저감은 비교적 효과가 큰 것으로 사료된다.

Table 4 Vibration reduction with DVA [g]

	Acceleration : without DVA	Acceleration : With DVA	Vibration Reduction
FR=6	5.9	4.6	1.3 (22 % ↓)

3. 결론

본 연구에서는 동흡진기가 채용된 DVD±RW Combo 드라이브의 동특성을 해석하여 효과적인 장착 위치와 최적의 주파수비를 계산했다. 해석을 진행함에 있어, 기존의 단순한 단방향 2 자유도 모델과 함께 3 차원 12 자유도 모델을 고려하였다. 다음은 본 연구에서 수행된 연구의 결론이다.

- 1) 3 차원 12 자유도의 동역학 모델을 통해 동흡진기가 채용된 광디스크 드라이브의 동특성을 해석하였으며, 동흡진기가 국부적으로 다른 진동저감 효과를 발생함을 확인했다.
- 2) 구현된 모델을 통해 동흡진기의 최적의 주파수를 계산할 수 있었다.

참고문헌

1. Nam Woong Kim, Kug Weon Kim, Jong Rak Lim and Wae Yeul Kim, "Numerical Simulation and Experiment of and Antivibration Design of Slim Optical Disk Drive," J. of Information Storage and Processing Systems, Vol. 1, pp. 351-356, 1999.
2. Chung, J. and Ro, D.-S. "Dynamic Analysis of an Automatic Dynamic Balancer," Journal of Sound and Vibration Vol. 231, No.2, pp. 375-391, 2000.
3. 이동진, 정진태 외, "자동 불 평형장치를 이용한 광 디스크 드라이브의 진동 저감," 한국소음진동공학회지, 제 9 권, 제 2 호, pp. 355-362, 1999.
4. 박준호, 최학현, 임종락, 하성규, "동흡진기를 이용한 광디스크 드라이브의 진동저감에 관한 연구," 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp. 758-762, 1999.
5. 박준민, 허진욱 외, "동흡진기를 이용한 광디스크 드라이브의 진동저감," 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집, pp. 649-654, 2001.