

# 외팔보 형태의 동흡진기를 이용한 광디스크 드라이브의 진동 저감

## Vibration Reduction in Optical Disk Drive using Cantilever Type Dynamic Vibration Absorber

박노철† · 임승호\* · 김경태\* · 조용래\* · 박영필\* · 박경수\* · 소옥영\*\*

No-Cheol Park, Seungho Lim, Kyungtae Kim, Ungrae Cho, Young-Pil Park, Kyoung-Su Park, Wook-Young Soh

### 1. 서론

HD 급 영상이 대중화됨에 따라, 정보저장 기기의 기록 밀도 증대 및 데이터의 전송 속도 향상에 대한 소비자의 요구가 증가하고 있다. 그러나 저품질의 광디스크는 상당한 편심을 갖으므로, 고속 회전 때 따라 과도한 진동 및 소음을 유발하여 광디스크 드라이브의 성능을 제한한다. 특히 드라이브의 진동은 사용자에게 불쾌함을 주고, VCM 구동기의 서보계에 과도한 제어입력을 요구하므로 별도의 제진 메커니즘 개발이 필요하다. 그 가운데 동흡진기는 제작 상의 용이성과 제작비용의 이점을 가지고 있어 상용 제품에 널리 적용되고 있으며, 이에 대한 여러 연구가 진행되었다. 허진욱[1]과 Jintai Chung[2]은 동흡진기의 수학적 모델을 세우고 고무 보빈을 이용하여 동흡진기를 설계하였다. 최근에는 다양한 회전 속도에서의 진동 저감을 위하여 적응 동흡진기를 설계한 연구가 발표되었다[3].

본 연구에서는 첨단 질량을 갖는 외팔보 형태의 동흡진기를 설계하여, 광디스크 드라이브의 고속 회전에 따른 진동을 저감하였다. 외팔보 형태의 동흡진기는 기존의 고무를 이용한 동흡진기보다 상대적으로 작은 구조 감쇄만 작용하므로 특정 주파수에서의 진동 저감효과를 극대화 할 수 있으며, 드라이브의 평면내 및 평면외 진동을 동시에 줄일 수 있는 장점을 갖는다. 제시된 동흡진기의 설계를 위해, 집중 파라미터 모델 및 유한요소 모델을 수립하였으며, 데크계의 동특성을 실험적으로 검증 및 진동저감 효과를 평가하였다.

### 2. 수학적 모델링

#### 2.1 물성, 관성 모멘트 및 기하 정보의 추출

데스크탑에 장착되는 광디스크 드라이브는 그림 1 과 같이, 고무 마운트에 의해 절연된 데크계와 스

핀들 모터, 슬레드 모터, 픽업 조립체로 구성되어 있다. 해석 모델을 간단히 나타내기 위해 데크는 강체로 가정하였으며, 고무 마운트는 집중 파라미터, 즉 강성과 감쇄 상수만을 갖는 요소로 나타내었다. 따라서 삼차원 설계 프로그램을 이용하여 데크계의 관성 모멘트 및 기하학적 정보를 추출하고, 고무의 물성은 그림 2 와 같이 공진법을 이용하여 측정하였다.

#### 2.2 집중 파라미터 모델

데크계를 집중 파라미터를 갖는 강체로 가정하여 6 자유도계로 나타내고, 동흡진기의 트래킹 및 포커싱 방향 병진 자유도를 고려하면 그림 3 과 같이 8 자유도를 갖는 진동계로 나타낼 수 있다. 첨단질량을 갖는 외팔보는 1 차 고유주파수를 이용하여 등가 강성을 구하여 해석에 적용하였다. 운동 방정식은 그림 3 에서 나타낸 일반화된 자유도( $q_i$ )에 대하여, 라그랑지 방정식(1)을 이용해 구하였으며,  $T, V, D$  는 각각 운동에너지, 위치에너지, 감쇄에너지를 나타낸다.

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial V}{\partial q_i} + \frac{\partial D}{\partial \dot{q}_i} = Q_i \quad (1)$$

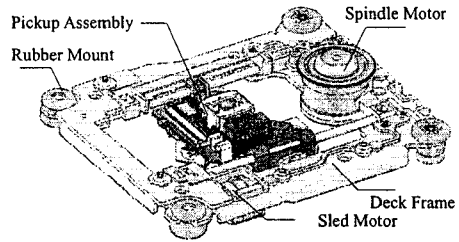


그림 1. 광디스크 드라이브의 구조

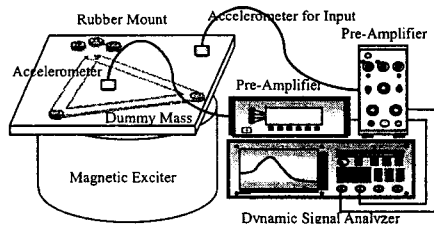


그림 2. 고무의 마운트의 물성 측정 실험

† 박노철: 연세대학교 기계공학과  
E-mail : pnch@yonsei.ac.kr  
Tel : (02) 2123-4677, Fax : (02) 365-8460  
\* 연세대학교 기계공학과  
\*\* Hitachi-LG Data Storage, Inc.

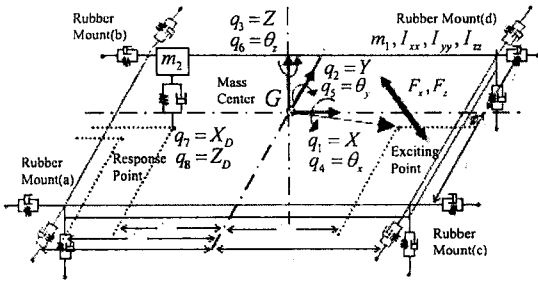


그림 3. 집중 파라미터 모델

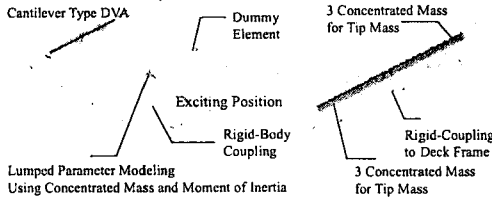


그림 4. 유한 요소 모델

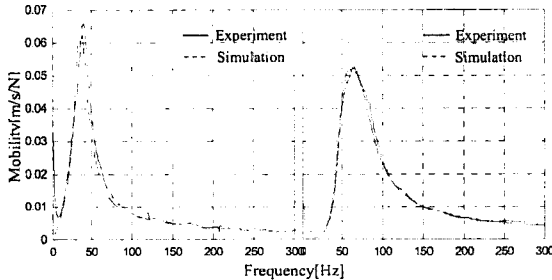


그림 5. 데크계의 평면내(좌) 및 평면외(우) 주파수 응답함수 (모빌리티)

### 2.3 유한 요소 모델

상용 유한요소 해석툴인 ANSYS 를 이용하여, 광디스크 드라이브의 해석 모델을 구축하였다. 데크계는 집중 파라미터와 같이 모델링하고, 동흡진기 구조는 보요소(3D Timoshenko Beam)와 수개의 집중 질량요소로 나타내어 모델을 간단히 나타내었다. 모달 해석 시, 고무 마운트의 기초를 강체 구속시켰으며, 조화 응답을 구하기 위해서 스피들 모터에 단위 힘을 부가하여 데크의 주파수 응답을 구하였다.

### 2.4 수학 모델의 검증

해석 모델의 유효성을 검증하기 위해 동흡진기를 제외한 모델(6 자유도 모델)에 대한 모달 테스트를 수행하고, 주파수 응답함수를 측정하였다. 고무 마운트에 의한 감쇄가 크기 때문에 공진 피크를 쉽게 구분할 수 없지만, 주파수 응답함수가 관심 주파수 대역 전반에 걸쳐 일치하고 있음을 그림 5 를 통해 알 수 있다. 따라서 해석 모델의 동특성이 정확히 반영되어 동흡진기 설계에 활용할 수 있다.

## 3. 외팔보 형태의 동흡진기 제작 및 성능 평가

### 3.1 여유 공간을 고려한 동흡진기의 형태 선정

광디스크 드라이브에서 디스크의 외주 쪽에 여유 공간이 있으며, 일반적으로 동흡진기는 응답이 큰 위치에 부착하는 것이 유리하므로 그림 6(a)과 같이 동흡진기를 데크계에 설치하였다. 외부 케이스와의 공간 제약과 내충격 설계 명세 때문에 첨단 질량을 6gram 으로 제한하였다. 또한 보의 제작 공차 및 불안전 구속 조건에 강건하기 위해 보의 길이를 여유 공간 안에서 최대한 길게 설계하였다. 그림 6(b)는 설계된 동흡진기를 보여준다.

### 3.2 주파수 응답함수와 동흡진기의 튜닝

본 연구에 사용된 광디스크 드라이브는 트래킹 방향(평면내 방향) 모드의 고유주파수가 34Hz 이며, 포커싱 방향(평면외 방향) 모드의 고유주파수가 48.57Hz 로 고유주파수가 다르다. 따라서 동흡진기의 등가 강성을 다르게 설계할 필요성이 있으며, 보의 단면 형상을 조절하여 트래킹 방향의 등가 강성을 높여 반공진점의 위치를 튜닝할 수 있다. 또한 첨단 질량의 제한으로 인해 반공진 주파수와 동흡진기에 의한 부공진 주파수가 근접해 진다. 그림 7(a)와 같이 목표 주파수(디스크의 회전 주파수)를 반공진점에 정확히 위치시켜 설계를 할 경우, 제작 공차 및 보의 불안전 구속에 의해 목표 주파수가 부공진 주파수에 겹쳐 진동 특성이 악화될 가능성이 있다. 따라서 반공진점을 목표 주파수보다 높게 설정하여, 제작 조건에 강건하게 설계하도록 하였다. 그림 7(b)는 위의 요구 조건을 만족하도록 튜닝한 주파수 응답을 나타낸다.

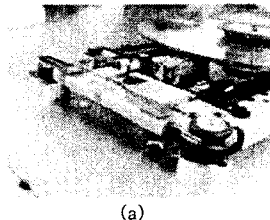


그림 6. 첨단 질량을 갖는 외팔보 형태의 동흡진기

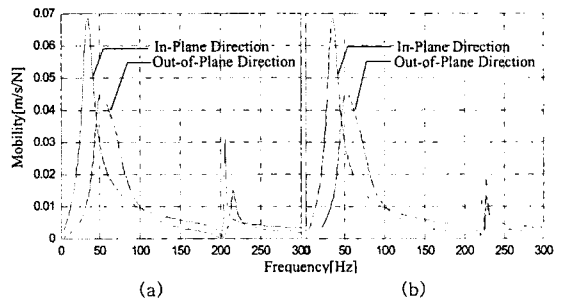
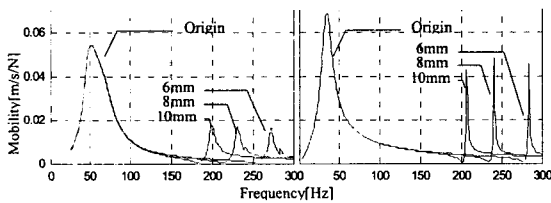


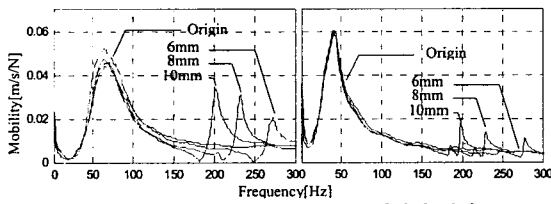
그림 7. 동흡진기의 튜닝 전(a), 후(b)의 주파수 응답

### 3.3 동흡진기의 성능 평가

제시된 동흡진기의 성능을 평가하기 위해, 보의유효 길이 변화에 따른 주파수 응답함수를 측정하였다. 그림 8 과 그림 9 와 같이 보의 유효 길이가 짧아짐에 따라 반공진 주파수 및 동흡진기의 부공진 주파수가 증가함을 알 수 있으며, 해석 결과와 잘 일치함을 알 수 있다. 또한 실제 스피들 모터의 작동 시, 동흡진기 성능을 평가하기 위해 회전 속도 및 보의 길이에 따른 픽업 부근의 응답을 측정하였다. 스피들 모터는 표준편심디스크(0.3gram·cm)를 회전시키며, 동흡진기만의 성능을 평가하기 위해, 자동 불평형장치는 제거하였다. 비접촉 센서인 LDV(Laser Doppler Vibrometer)로 진동 신호를 측정하였으며, 전진폭(Peak-to-Peak)의 3000 번 평균으로 측정치를 나타내었다. 그림 9 는 목표 회전 속도에 따른 외팔보형 동흡진기의 제진 성능을 보여준다. 따라서 목표 회전 속도에서 트래킹 방향과 포커싱 방향으로 동시에 30~50%의 진동 감소의 효과를 얻을 수 있다.



(a) 평면의 방향 (b) 평면내 방향  
그림 8. 해석을 통한 주파수 응답 함수



(a) 평면의 방향 (b) 평면내 방향  
그림 9. 실험을 통한 주파수 응답 함수

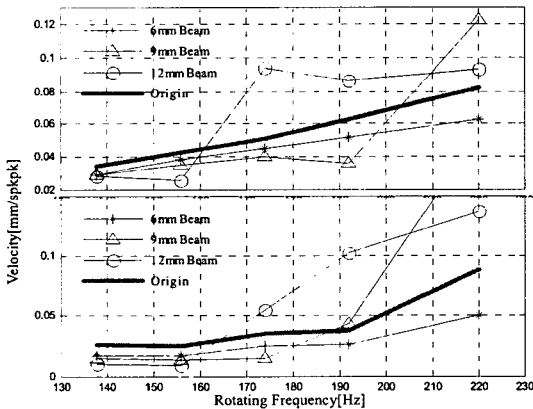


그림 10. 외팔보형 동흡진기의 회전 속도에 따른 응답  
평면내 방향(위) / 평면의 방향(아래)

### 4. 결 론

본 연구에서는 첨단 질량을 갖는 외팔보 형태의 동흡진기를 설계하여 광디스크 드라이브의 고속 회전에 따른 진동을 저감하였다. 유한요소 해석 및 집중 파라미터 모델을 통해 해석 모델을 구축하였으며, 모달 테스트를 통해서 동특성을 검증하였다. 광디스크 드라이브의 평면내 및 평면외 진동을 동시에 저감하기 위해 보의 단면을 튜닝하였으며, 제작 공차에 따른 동흡진기의 성능 저하를 방지하기 위해 강건한 설계를 제시하였다. 마지막으로 동흡진기를 제작하여 보의 유효 길이 및 디스크 드라이브의 최대 회전 속도에 따른 진동 성능을 평가하였다.

### 후 기

본 연구는 Hitachi-LG Data Storage 의 지원을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자분들께 감사드립니다.

### 참고 문헌

- [1] J. W. Heo, J. Chung and J. M. Park, 2002, "Vibration and Noise Reduction of an Optical Disk Drive Using a Vibration Absorber", *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, Vol. 48, No. 4, pp.874-878,2002
- [2] J.T. Chung, 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
- [3] Chi-Shen Chang and Tzong-Shi Liu, 2006, "Design of Adaptive Dynamic Absorber to Reduce Optical Disk Drive Vibration at Multiple Rotating Speeds", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol.45, No.2B, pp. 1120-1123