

광디스크 드라이브의 진동 원인 규명 및 유한요소 모델 구축

Vibration Source Identification and Finite Element Model Construction of Optical Disk Drive

오원석*, 임승호*, 박노철*, 박경수[†], 박영필*, 유승헌**, 이한백**

Wonseok Oh, Seungho Lim, No-Cheol Park, Kyoung-Su Park, Young-Pil Park,
Seung Hon Yoo, and Han-Baek Lee

(2012년 3월 13일 접수; 2012년 3월 25일 심사완료; 2012년 3월 26일 게재확정)

Abstract

Optical disk drives (ODDs) are subjected to vibrations caused by the high-speed rotation of the optical disk, and these vibrations can be excessive and reduce the read/write performance. Elastic rubber mounts with cushioning materials are often used to minimize these problems. In this paper, the source of vibrations was identified by experimental modal tests and high-speed photography. Structural modifications were made based on a lumped parameter model and a finite element model.

Key Words : Optical Disk Drive (ODD), Rubber Mount, Structural Modification, Vibration Analysis

1. 서론

최근 3-D 영화와 같은 고용량 영상의 급속한 보급에 따라 광디스크 드라이브의 고용량의 정보 저장에 대한 필요성이 증가되고 있다. 이를 위해 기록 용량 및 전송 속도 향상이 필요하며, 이를 위해서는 디스크 회전속도의 증가가 필수적이다. 그러나 고속 회전 시, 디스크 제작 오차나 재료의 불균질 등으로 인해 일반적인 광디스크는 편심을 갖는다. 이러한 편심 디스크는 드라이브의 진동과 소음을 유발하여 드라이브의 성능을 제한한다. 일체형 컴퓨터나 차량용 오디오에 장착되는 슬롯형 광디스크 드라이브는 소형화, 경량화의 소비자의 요구에 맞춰 설계되며, 부품간의 기구적인 간섭의 발생으로 진동 및 소음에 상대적으로 취약한 특성을 가지게 된다. 특히 픽업 베이스와 브라켓 링크 간의 기구적 간섭으로 소음과 진동이 발생하여 이

에 대한 구조 변경 등의 진동 저감 대책이 필요하다. 이러한 광디스크 드라이브의 소음과 진동 문제를 해결하기 위해, 김경태 등[1]은 슬림형 광디스크 드라이브의 진동 해석을 위한 유한요소 모델을 구축하여, 이를 바탕으로 동특성을 개선하였고, T. W. Park[2]은 광디스크 드라이브의 구조와 메커니즘을 소개하고, 방진 및 내충격 성능 향상을 위하여 디스크 스토퍼와 고무 방진기를 설계하였다. Chang 과 Liu[3]는 동흡진기를 개발하였고, Kang[4] 등은 볼타입 평형장치를 만들었다. 다른 연구들은 다양한 형태의 평형장치를 고안되었으며, Sohn[5]은 펜들럼 형태 Lim[6]은 유연한 형태를 고안하였다. 그러나 슬롯형 광디스크 드라이브의 유한요소 해석과 기계적 국부 간섭으로 인한 소음 및 진동의 저감 방법에 대해서는 제시된 바 없다. 본 연구에서는 일체형 개인용 컴퓨터에 사용되는 슬롯형 광디스크 드라이브의 진동의 원인을 규명하기 위하여 실험하였고, 진동을 정확하게 해석하기 위하여 유한요소 모델을 구축하였다. 유한요소 모델은 실험 모달 해석을 통해 검증하였다.

[†] 연세대학교 기계공학부
E-mail : pks6348@yonsei.ac.kr
TEL : (02) 2123-4680

* 연세대학교 기계공학부

** Hitachi-LG Data Storage, Inc.

2. 슬롯형 광디스크 드라이브의 메커니즘

상용 광디스크드라이브는 트레이를 통해서 데크

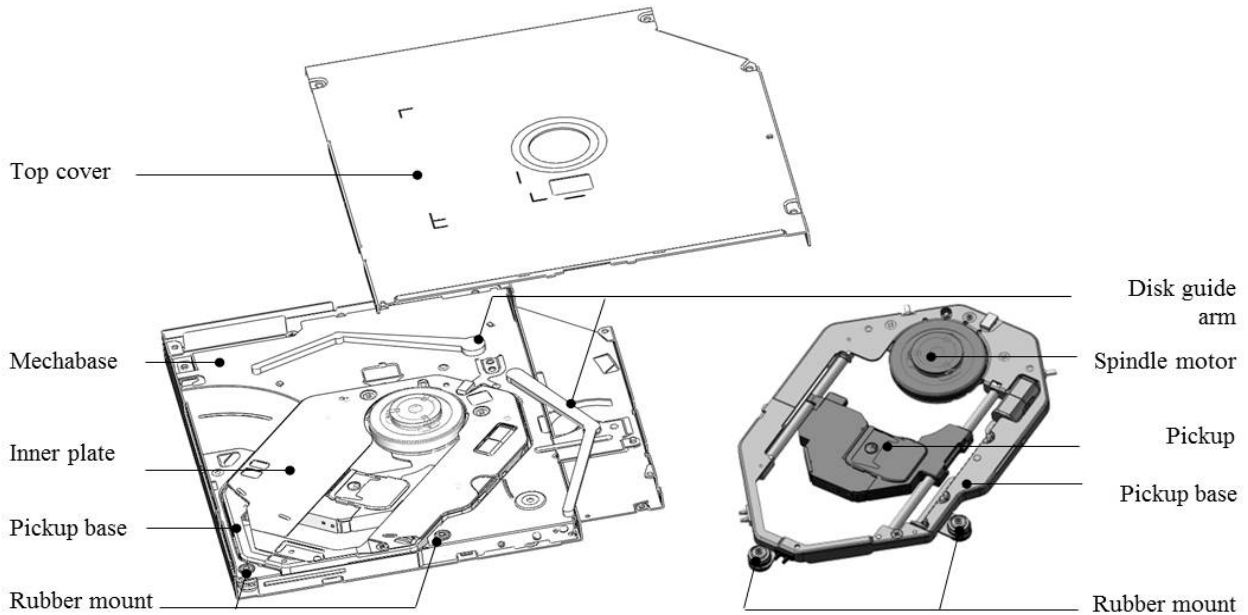


Fig. 1 Mechanism of Slot-type Optical Disk Drive

에 광디스크드라이브를 삽입한다. 이러한 로딩 메커니즘은 수평방향으로만 작동하게 된다. 반면에 슬롯형 광디스크드라이브는 수평,수직, 다양한 방향에서 작동 가능하다. 따라서, 슬롯형 광디스크 드라이브의 메커니즘은 다양한 컴퓨팅 환경에서 활용 가능하다.

슬롯형 광디스크 드라이브는 Fig.1 과 같이 다양한 기계적인 부품으로 이루어져있다. Mechabase 는 전체 광디스크 드라이브 시스템을 지탱하고 있다. 픽업 베이스는 광디스크 표면에서 정보를 읽고,쓰는 픽업을 포함하고 있다. Disk guide arm 은 디스크의 사이즈를 구별하고, 디스크 삽입 시에 디스크를 제어하는 한편 회전 중심을 조정하는 역할을 한다. Mechabase 는 링크를 포함하고 있는데, 이 링크를 통해서 픽업 베이스의 높낮이를 조정한다. 슬롯형 광디스크 드라이브는 다음 원리와 같이 작동한다. 디스크가 드라이브로 로드 되면, Disk guide arm 은 디스크의 회전 중심을 조정한다. 그때 픽업 베이스는 Mechabase 의 링크에 의해서 들어올려지고, 이 때 클램퍼가 디스크를 붙잡게 된다. 슬롯형 광디스크 드라이브의 주요작동 속도는 4,800~ 6,000rpm 이다. 따라서 주요 작동 주파수에서 낮은 수준의 진동으로 유지하는 것은 중요하다. 하지만 광디스크 드라이브가 경량화, 소형화 되어 짐에 따라서 부품간의 기구적 간섭이 문제가 된다. 본 연구의 대상이 되는 슬롯형 광디스크 드라이브는 5,000rpm 주변의 회전속도에서 과도한 진동을 발생한다.

3. 진동원 규명

정확한 진동의 원인을 규명하는 것이 중요하다. 이를 위해서 주요 부품과 회전 디스크의 동역학적인 특성을 규명하기 위한 모달 테스트가 진행되었고, 고속 촬영을 통해서 기계적인 간섭이 예상되는 지점의 동적 거동을 관찰하였다.

3.1 주요 부품의 모달 테스트

주요 부품의 구조 공진은 진동의 원인 되기 쉽다. 따라서 주요 부품의 동역학적인 특성을 규명하기 위하여 the top cover, mechabase, pickup base, inner plate, bracket link, and disk guide arm 과 같은 주요 부품을 모달 테스트 하였다.모달테스트는 임팩트 헤머를 통하여 가진하고, 그 응답을 laser Doppler vibrometer(LDV)를 이용하여 받았다. 더불어, 실제 고정 조건과 같은 상황으로 실험하기 위하여 브라킷을 사용하였다. 고유 진동수와 그에 상응하는 모드 형상은 모달테스트로부터 얻어졌다. Table 1 은 슬롯형 광디스크 드라이브의 주요 부품의 첫 번째, 두번째 고유 진동수를 보여준다. 각 부품은 5,000 rpm 보다 높은 첫번째 고유진동수를 가지는 것을 확인하였다. 그러므로 과도한 진동은 이러한 부품들로 인한 구조 공진으로 인한 것이 아님을 알 수 있다.

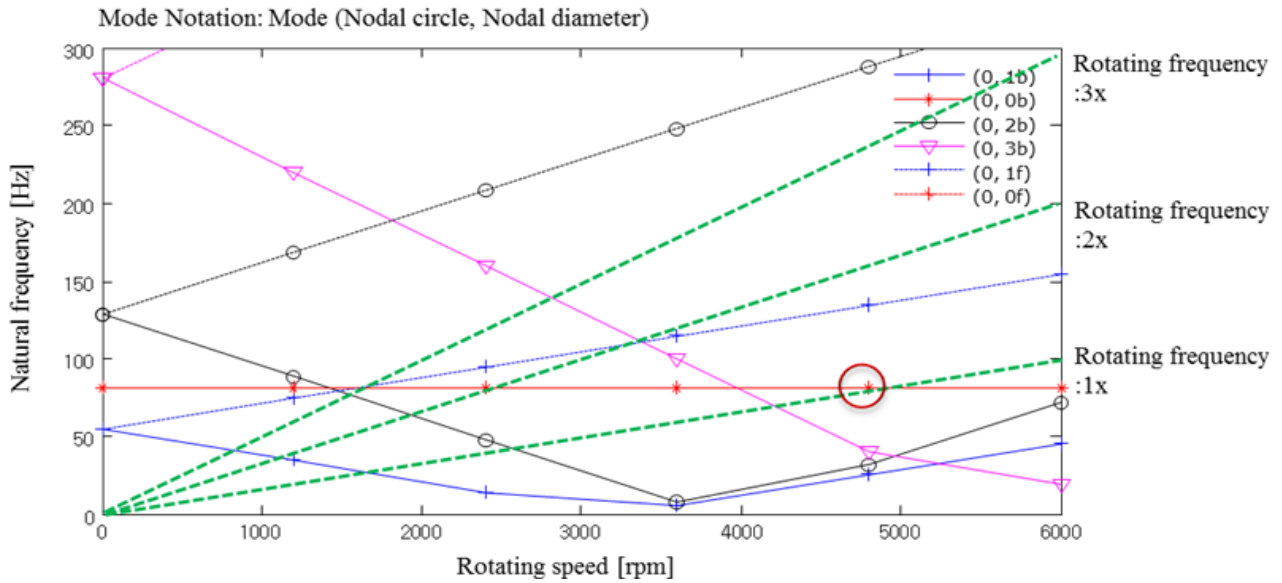


Fig. 2 Campbell diagram of the rotating disk

Table 1 First two natural frequencies of components

| Units [Hz] | Pickup base | Mechab ase | Pickup base |
|----------------------|-------------|----------------|-------------|
| 1 st mode | 161.44 | 117.88 | 120.3 |
| 2 nd mode | 282.91 | 150.84 | 185.9 |
| | Inner plate | Disk guide arm | Bracket |
| 1 st mode | 118.8 | 145.3 | 150.2 |
| 2 nd mode | 167.2 | 190.2 | 250.2 |

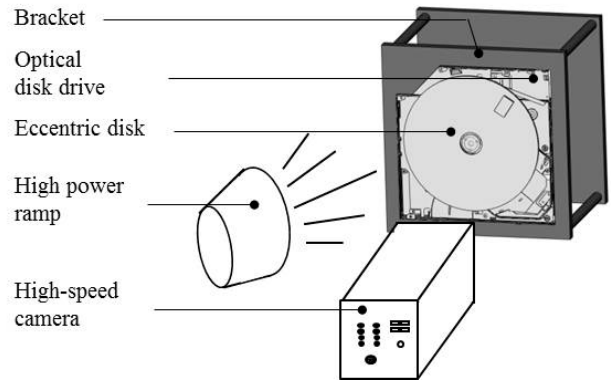


Fig. 3 Experimental setup for the high-speed photography

3.2 회전 디스크의 모달 테스트

디스크의 회전속도 변화에 따른 고유진동수는 작동상태에서의 모달테스트로부터 얻어질 수 있다. 광디스크는 회전 속도에 따라서 다른 동역학적인 특성을 보이기 때문에 모달테스트를 0rpm 부터 6,000 rpm 까지 1,200 rpm 마다 수행하였다. Fig.2 는 슬롯형 광디스크 드라이브에서 회전 디스크의 Campbell diagram 을 도시한 것이다. 디스크의 모드는 (nodal circle, nodal diameter)와 같이 표시하였다. Fig. 4 에서 빨간색 원으로 표시한 (0,0)모드는 5,000 rpm 의 디스크 회전 속도에서 가진되기 쉬운 것으로 보인다. 이 모드는 우산 모드(umbrella mode)이며 쉽게 가진되는 특성을 가진다. 결과적으로 회전 디스크의 구조 공진이 과도한 진동의 원인이 되는 것을 알 수 있다.

3.3 고속 촬영을 통한 동역학적 거동 관찰

과도한 진동의 원인이 되는 기구적인 간섭의

촬영하는 고속 카메라를 이용하여 슬롯형 광디스크 드라이브를 Fig. 3 과 같이 고속 촬영하였다. 브라켓 링크와 픽업베이스 사이의 경계선이 충돌 지점으로 예측되기 때문에 Fig. 4 의 파란색 박스로 표시된 부분에 집중적으로 고속 촬영하였다. 이 때 슬롯형 광디스크 드라이브는 실제 작동 상태를 모사하기 위해 브라켓에 고정하였다. 편심 투명 디스크를 이용하여 가진력을 증폭시켰으며, 드라이브의 동역학적인 반응을 분명하게 관찰할 수 있었다. 편심 디스크는 편심량이 0.3 g·cm 이었으며, 물성치는 통상적인 광디스크와 같았다. 편심량은 진동 테스트 규격을 바탕으로 정해졌다.

0~ 4,800rpm 사이의 회전 주파수에서는 과도한 진동이 관찰되지 않았다. 하지만 5,100rpm 에서 광디스크드라이브가 진동하고, 소음을 발생하기 시작하였다. Fig. 5 에서 보이는 것처럼, 5,100rpm 에서 브라켓 링크와 픽업 베이스의 사이에 충돌이 발생

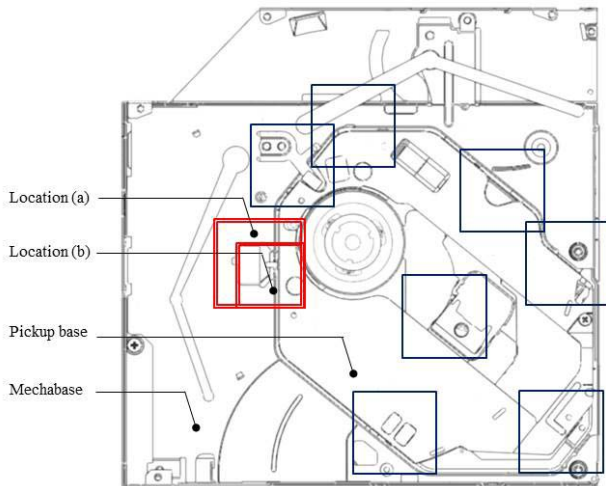


Fig. 4 Objective location for the high-speed photography

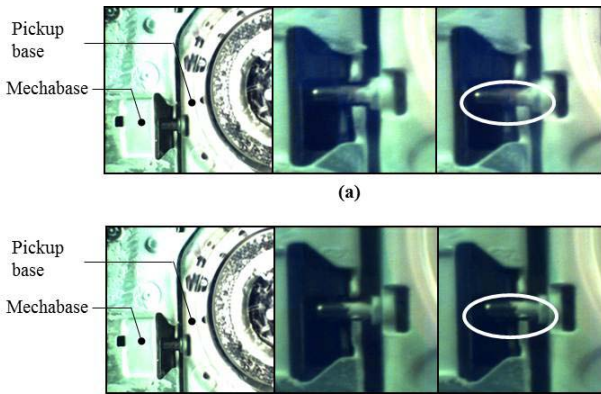


Fig. 5 Location of the collisions between the bracket link and pickup a at 5,100 rpm and b at 2,400 rpm

한다. 그러나 2,400rpm 으로 작동중에는 충돌이 발생하지 않는다. 회전 디스크의 모달 테스트로부터 5,100rpm 은 디스크의 (0,0) 모드의 고유 진동수와 근접한 것을 알 수 있다. 결과적으로 과도한 진동의 원인은 브라킷 링크와 픽업 베이스 사이의 충돌인 것을 알 수 있다.

3.4 진동 전달 경로

고속 촬영과 모달 테스트로부터 다음과 같은 진동원과 진동 전달 경로를 추측할 수 있다.

- 1) 광디스크 드라이브의 회전 속도가 디스크 모드 (0,0)의 고유 진동수에 근접하게 되면, 디스크의 구조 공진이 증폭된다.
- 2) 증폭된 편심력은 회전 속도와 함께 증가한다.
- 3) 디스크 공진과 증가한 편심력으로 인한 진동력은 픽업 베이스로 전달되며 픽업 베이스의 진동을 증폭시킨다.
- 4) 브라킷 링크와 픽업 베이스 사이의 지점에서 충돌이 발생한다.

- 5) 위의 충돌로 인해 과도한 진동이 발생한다.

4. 유한요소모델

광디스크 드라이브의 진동을 줄이기 위하여, 픽업 베이스의 진동을 분석하는 것이 중요하다.

4.1 픽업 베이스의 집중 파라미터 모델

슬롯형 광디스크 드라이브의 동적 거동을 예측하기 위해 픽업 베이스를 집중 파라미터 모델로 나타내었다. 픽업 베이스는 3 차원 설계를 이용하여 관성 모멘트, 질량 중심, 질량 등의 집중 매개변수를 추출하였으며, 6 자유도의 강체로 표현하였다. 고무 댐퍼는 선 요소를 이용하여 Fig. 6 과 같이 실험에서 얻은 횡강성, 종강성 및 감쇠 계수를 적용하였다. 고무댐퍼의 정확한 물성을 추출하는 것은 집중 파라미터 해석의 정확도에 있어서 매우 중요하다. 실험은 고무 댐퍼의 매개 변수를 강성과 댐핑상수로 표현하기 위하여 설계되었다. 이러한 집중 상수들은 작동 중의 transmissibility 를 측정하여 얻어질 수 있다. 댐핑 상수(ζ)는 가속도 transmissibility 의 최대 값값으로부터 계산되어질 수 있다.[7]

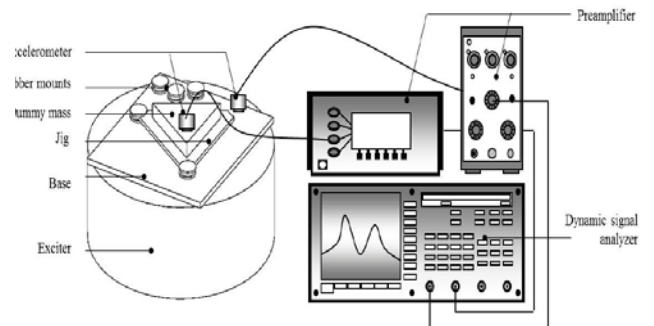


Fig. 6 Experiment for material properties extraction

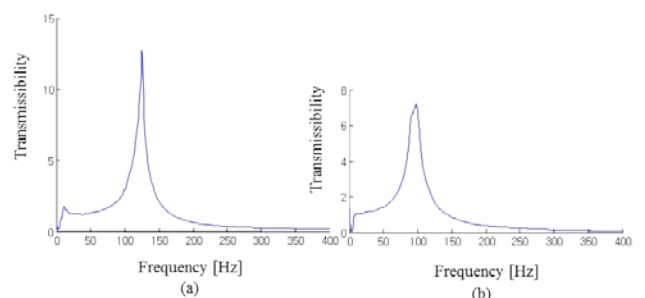


Fig. 7 Acceleration transmissibility: a vertical direction and b horizontal direction

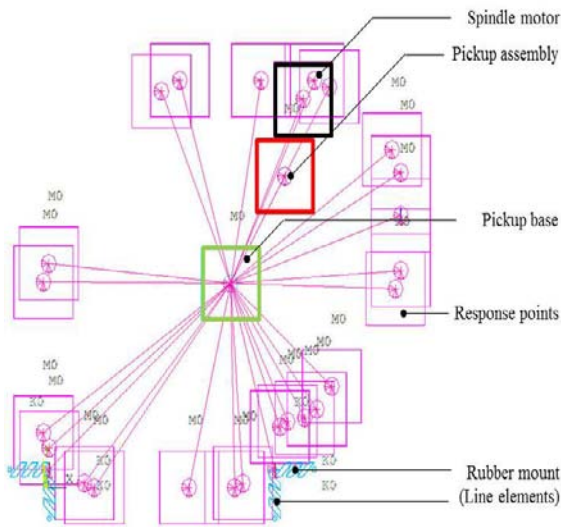


Fig. 8 Acceleration transmissibility: **a** vertical direction and **b** horizontal direction

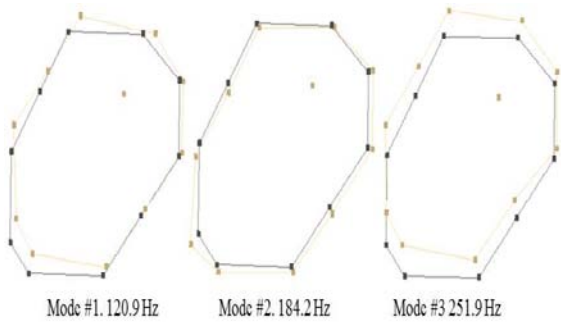


Fig. 9 Acceleration transmissibility: **a** vertical direction and **b** horizontal direction

Table 2 First three natural frequencies of the pickup base

| nits [Hz] | EMA | FEM | Error (%) |
|----------------------|-------|-------|-----------|
| 1 st mode | 120.9 | 119.5 | -1.2 |
| 2 nd mode | 184.2 | 161.2 | -12.4 |
| 3 rd mode | 251.9 | 271.0 | 7.5 |

앞선 실험과 계산법으로 고무 댐퍼의 강성과 댐핑 계수를 추출하고, 픽업 베이스, 스피들 모터와 같은 주요 부품의 질량, 관성 모멘트를 측정하여 집중 파라미터 모델을 Fig. 8 과 같이 구축하였다. 구축된 집중 파라미터 모델의 유효성을 검증하기 위해서 모달해석을 실시하고, 그 결과를 실험 모달 테스트와 그 결과를 비교하였다. 먼저, 구축된 집중 파라미터 모델을 바탕으로 모달해석을 수행하여 고유진동수와 각 고유진동수에 대응하는 모드 형상을 얻었다. 마찬가지로 실험을 통한 모달 테스트를 통해서 픽업 베이스의 고유진동수, 모드 형상을 얻었다. 첫번째 3 개의 모드 형상은 Fig.9 과 같은 형상으로 나왔으며, 그 고유 진동수는 Table 2 와 같다. 이를 통해 집중 파라미터 모

델이 동특성을 잘 반영하는 것을 확인하였다. 이를 이용하여 추가적인 민감도 해석과 구조 최적화가 가능할 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 일체형 개인용 컴퓨터에 사용되는 슬롯형 광디스크 드라이브의 진동의 원인을 규명하기 위하여 실험하였고, 진동을 정확하게 해석하기 위하여 유한요소 모델을 구축하였다. 유한요소 모델은 실험 모달 해석을 통해 검증하였다. 이렇게 구축 및 검증된 유한요소 모델은 동특성 변경을 통한 진동 감소에 활용될 수 있다.

후 기

이 논문은 Hitachi-LG Data Storage 와 2011 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0000023).

참고문헌

- [1] Kim KT, Lim SH, Lee YH, Park NC, Park YP, Lee IH, Lee HB, Cha IJ (2007) FE vibration analysis and structural modification of slim type optical disk drive. Proceedings KNSVE Conference:1284-1287
- [2] Park TW (2005) Design and analysis of anti-vibration system for the stylish DVD deck. Microsyst Technol 11(8-11):1056-1064
- [3] Chang CS, Liu TS (2006) Design of adaptive dynamic absorber to reduce optical disk drive vibration at multiple rotating speeds. Japan J Appl Phys 45:1120-1123
- [4] Kang JR, Chao CP, Huang CL, Sung CK (2001) The dynamics of a ball-type balancer system equipped with a pair of free-moving balancing masses. J Vib Acoust 123:456-466
- [5] Sohn JS, Lee JW, Cho EH, Park NC, Park YP (2007) Dynamic analysis of a pendulum dynamic. Shock Vib 14:151-167
- [6] Lim SH, Kim KT, Cho UR, Park NC, Park YP, Park KS, Lee HB, Yoo SH (2011) Flexible auto balancer design for the reduction of optical disk drive vibration. Microsyst Technol 17(5-7):945-951
- [7] Kelly SG (2000) Fundamentals of mechanical vibration. McGraw-Hill, New York