

유한요소 해석을 통한 슬림형 광디스크 드라이브의 진동해석 및 구조 동특성 변경 FE Vibration Analysis and Structural Modification of Slim Type Optical Disk Drive

김경태*·임승호*·이용현*·박노철**·박영필†·이인환***·이한백***·차익주***·
Kyungtae Kim, Seungho Lim, Yonghyun Lee, No-Cheol Park,
Young-Pil Park, In-Hwan Lee, Han-Baek Lee, Ik-Joo Cha

Key Words : Slim Type Optical Disk Drive(슬림형 광디스크 드라이브), Modal Test(실험 모달 해석), Finite Element Analysis(유한요소해석), Harmonic Analysis(조화해석), Structural Dynamic Modification(구조 동특성 변경)

ABSTRACT

Recently, the need for slim type optical disk drive(ODD) has increased with popularization of lightweight notebook. Because of its lightweight and small structure, slim type ODD has low structural stiffness and it is weak to high-speed disk vibration. In this paper, Finite Element(FE) Model of slim type ODD is constructed and verified by experimental modal analysis. Additionally, sensitivity analysis is performed about structural parameters. As a result of sensitivity analysis, improved characteristic is verified by experiments using a sample of new model.

1. 서론

다양한 정보 저장기기 중에서 Optical Disk Drive(ODD)는 뛰어난 배포성과 가격 경쟁력, 휴대성을 기반으로 정보저장기기 분야에서 중요한 부분을 차지하고 있다. 특히 차세대 광학 정보저장기기 등과 관련하여, 기록 용량과 전송속도 향상을 위하여 많은 연구가 이루어지고 있으며, 이 방안으로 트랙 밀도의 증가와 디스크의 회전 속도 증가는 필수적이라 할 수 있다.

일반적으로 Desktop PC 에 사용되는 광디스크 드라이브와는 달리, 슬림형 광디스크 드라이브는 작은 부피와 무게를 가진다는 장점을 기반으로 Laptop PC 에 널리 사용되고 있다. 소형화, 경량화의 목적에 맞춰 설계된 슬림형 광디스크 드라이브는 상대적으로 내부의 여유 공간이 적고, 무게를 줄이기 위해 플라스틱과 같은 강성이 낮은 재료로 테크 프레임의 제작하게 된다. 이는 디스크가 고속으로 회전할 때 디스크의 편심으로 인해 발생하는 진동에 상대적으로 취약한 특성을 가지게 된다.

슬림형 광디스크 드라이브의 진동은 Laptop PC 와 같은 사용자가 근접해서 사용하는 장치에 사용되고, Laptop PC 의 키패드와 같이 사용자의 신체에 바로 맞닿아 전달되기 때문에 진동 제어 및 감소가 중요하다고 할 수 있고, 이때 진동 성분은 슬림형

광디스크 드라이브의 고무 댐퍼나 테크 프레임의 형태와 같은 내부 구조에 매우 밀접한 관련이 있다.

이러한 진동 제어 및 감소를 위해서 김남웅 등은 점탄성 재료로 구성되는 방진계를 설계 및 유한요소 해석을 수행하고, [1] 2 자유도 모델을 이용한 동흡진기를 설계하여 진동 저감을 시도하였다. [2] 또한 여러 연구에서 자동 불 평형장치 등을 사용하여 광디스크 드라이브의 진동 저감을 시도하였다. [3] 그러나 슬림형 광디스크 드라이브는 테크 프레임의 상대적으로 낮은 강성으로 인해 특정 주파수에서 테크 프레임의 일부분이 과도하게 진동하는 유연모드(Flexible Mode)를 가지게 되고, 이를 해석하기 위해서 유한요소 해석을 적용할 필요가 있다. 과거 Desktop PC 에 사용되는 광디스크 드라이브의 유한요소 모델은 박건순 등에 의해 제시된 바 있으나 [4], 슬림형 광디스크 드라이브에 대해서는 제시되지 않았다.

본 연구에서는 현재 시장에 출시되고 있는 DVD 계열의 슬림형 광디스크 드라이브를 기준으로 24 배속 드라이브의 회전수를 32 배속으로 늘렸을 때 증가하는 진동을 감소시키기 위한 방안을 도출하기 위해서 유한요소 해석을 수행하였다. 여기에서 실제 모델을 기반으로 제작된 유한요소 모델은 튜닝과 실험 모달 해석을 통해 검증하였다. 내부 구조의 파라미터를 추출하여 감도 해석을 수행하였고, 이를 기반으로 구조 동특성을 변경하였다. 그 결과는 유한요소 해석 및 실험 모달 해석을 통하여 검증하였다.

* 연세대학교 기계공학과

† 박영필; 연세대학교 기계공학과

E-mail : park2814@yonsei.ac.kr

Tel : (02) 2123-2814, Fax : (02) 365-8460

** 연세대학교 정보저장기기연구센터

*** Hitachi-LG data Storage, Inc

2. 유한요소 해석

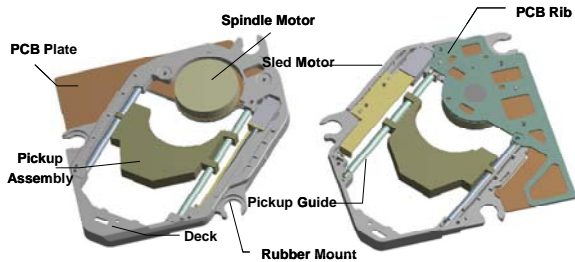


그림 1 슬림형 광디스크 드라이브의 구조

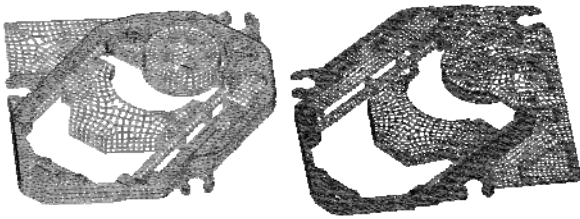


그림 2 유한요소 모델

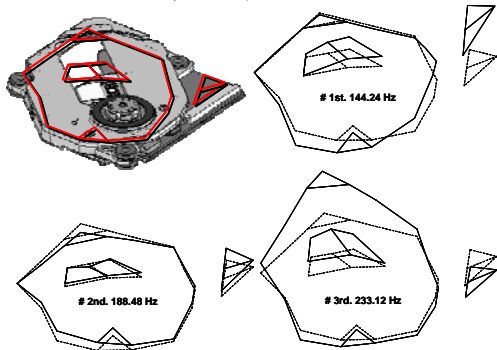


그림 3 슬림형 광디스크 드라이브의 1,2,3 차 진동 모드 형상

표 1 유한요소 모델링에 적용된 요소 타입 정리

Node	69318	
Element (Total: 56714)	Solid186	717
	Solid187	47308
	Combin14	45
	Target170	4322
	Contact174	4322

표 2 고유진동수의 실험 모달 해석 결과 및 유한요소 해석 결과

Unit: Hz	EMA	FEA	Error(%)
1 st Mode	144.24	139.63	-3.30
2 nd Mode	188.48	188.21	-0.14
3 rd Mode	233.12	218.99	-6.45
4 th Mode	346.97	310.26	-11.83
5 th Mode	447.81	433.26	-3.36
6 th Mode	505.49	477.41	-5.88

2.1 유한요소 모델

(1) 슬림형 광디스크 드라이브의 구조

슬림형 광디스크 드라이브의 유한요소 모델은 PCB 기판과 PCB Rib, 스핀들 모터, 데크 프레임, 픽업, 픽업 가이드 등으로 이루어져 있다. 유한요소 모델의 형상이 복잡하기 때문에 3 차원 설계 프로그램인 SolidWorks 를 이용하여 모델링 및 단순화시키고, 상용 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS 를 이용하여 유한 요소 해석을 하는 방법을 선택하였다. 그림 1 에 각 부품별 명칭과 위치를 설명하였다.

(2) 요소 타입

유한요소 해석의 정확도 향상과 해석 시간 단축을 위해서 여러 요소 타입을 이용하여 유한요소 모델링을 시도하였다. 데크 프레임은 사면체 요소를 이용하여 모델링하고, 고무 댐퍼는 선 요소를 이용하여 실험에서 얻은 횡방향 강성 및 종방향 강성 값을 고려하였다. 그 외의 부품은 육면체 요소를 사용하여 모델링 하였다. 사용된 요소들을 표 1 에 정리하였다.

2.2 실험 모달 해석 및 튜닝

슬림형 광디스크 드라이브의 정확한 유한요소 모델을 얻기 위해서, PCB 기판, PCB Rib, 스핀들 모터, 데크 프레임, 고무 댐퍼를 실험을 통해 정확한 물성치를 얻은 후 튜닝하고, 그 부품들을 순차적으로 결합시켜 가며 전체 유한요소 모델을 세우는 방법으로 진행하였다

(1) 슬림형 광디스크 드라이브의 구조

각 부품별로 정확한 물성치를 얻기 위해 실험 모달 해석을 수행한 후 유한 요소 해석 프로그램인 ANSYS 와 그 결과를 비교, 튜닝하는 방법을 취했다.

(2) 유한요소 모델

실험 및 튜닝 과정을 거쳐 만들어진 유한요소 모델의 형태는 그림 2 와 같다. 최종 모델 역시 실험 모달 해석을 통해 검증하였고, 3 차까지의 진동 모드 형상을 그림 3 에 설명하였고, 실험적 결과와 유한요소 모델의 해석 결과를 표 2 에서 비교하였다.

3. 조화해석

3.1 가진원의 정의

(1) 가진력의 측정

앞에서 정의된 유한요소 모델을 기반으로 조화해석을 수행하기 위해서 가진력을 측정하였다. 실험은 실제 슬림형 광디스크 드라이브에 사용되는 모터를 지그에 부착하고, Force Transducer 를 이용하여 표준 디스크와 편심 디스크(편심량 0.3gram·cm)가 회전할 때 전달되는 힘을 측정하였다. 그림 4 에 측정 한 결과를 정리하였다.

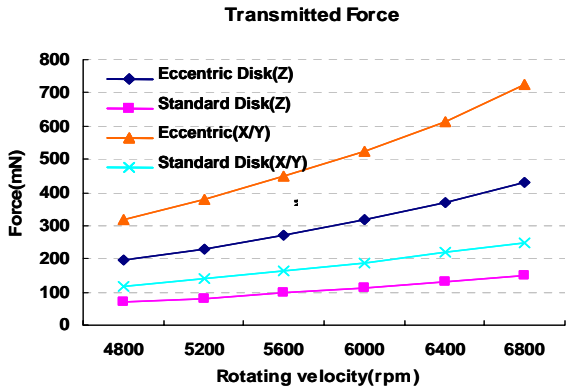


그림 4 가진력 측정 실험 결과

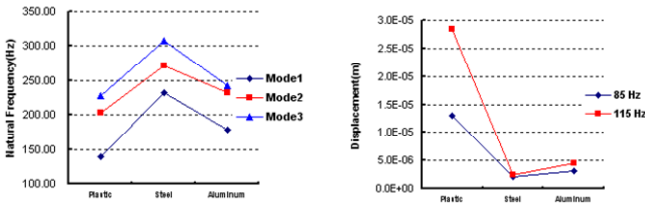


그림 5 재질 변화에 따른 고유진동수 및 조화응답 변화

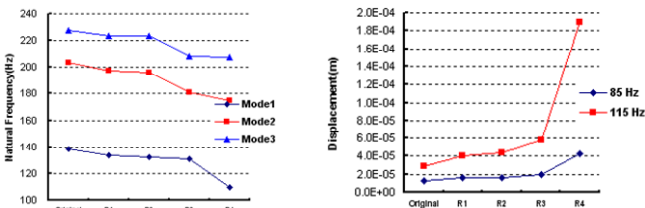


그림 6 데크 프레임 형상 변화에 따른 고유진동수 및 조화응답 변화

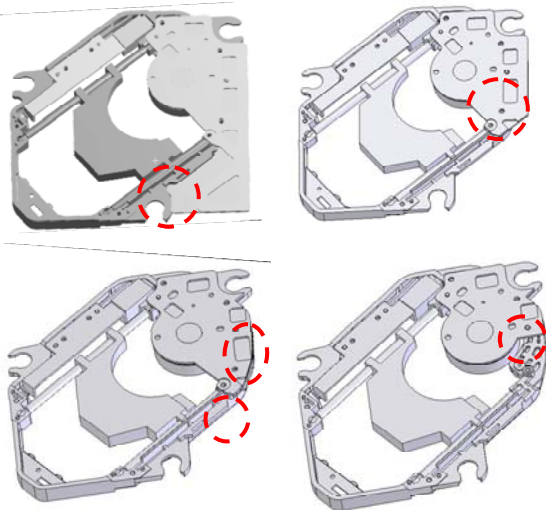


그림 7 PCB 기판의 형상 변화

(2) 조화 응답

실험을 통해 얻은 가진력을 앞에서 얻은 유한요소 모델에 대입하여 해석을 수행하였다. 24 배속과 32

배속의 회전수는 Hz 단위로 85Hz 와 115Hz 에 해당 하기 때문에 유한 요소 모델에서는 앞에서 얻은 가진력의 크기에 각각 해당하는 주파수로 조화 성분의 힘이 작용하도록 하중을 적용하였다. 가진력의 위치는 스피들 모터의 중앙부에 적용되었고, 조화 응답의 기준은 픽업의 중앙부로 적용하였다. 이때 픽업의 위치를 조화 응답의 기준으로 세운 것은 슬림형 광디스크 드라이브의 픽업에 과도한 외란이 작용하였을 경우에도 정상적인 제어가 가능한지 판단하기 위해서이다.

4. 구조 동특성 변경

4.1 파라미터 추출

(1) 설계 인자의 선택

구조 동특성 변경을 위해 시스템 특성에 미치는 영향이 클 것으로 예상되는 설계 인자를 선택하였다. 드라이브의 전체적인 강성에 영향을 주는 데크 프레임의 재질과 형상, PCB 기판의 형상, 고무 마운트의 위치를 파라미터로 선택하였고, 고무 마운트의 재질과 PCB Rib 의 두께의 변화에 따른 결과를 살펴 보았다.

4.2 구조 동특성 변경 결과

(1) 데크 프레임의 재질 및 형상

데크 프레임의 재질을 플라스틱, 알루미늄, 스틸로 바꾸어 가며 해석한 결과를 그림 5 에 정리하였다. 재질이 스틸과 알루미늄과 같은 고강도 재질로 갈수록 진동 특성은 더 나아지는 것을 알 수 있다.

데크 프레임의 형상 변화의 영향을 알아보기 위해 데크 프레임의 형상을 4 수준으로 바꾸어 가며 해석을 수행하였다. 1,2 수준에서는 데크 프레임의 두께를 1mm, 0.8mm 로 바꾸어 주었으며, 3,4 수준에서는 데크부의 특정 부분을 구멍을 뚫어 무게를 감소시키는 경우에 대해 해석을 수행하였다. 이에 대한 결과를 그림 6 에 정리하였다. 상대적으로 데크 프레임의 두께를 점점 얇게 할수록 고유진동수는 낮아지고 그에 따른 조화 응답의 크기도 점점 커지는 것을 알 수 있다. 이는 실제 설계시, 무게를 줄이기 위해 데크부의 부피를 감소시킬 경우 진동 성능에 영향을 미칠 수 있음을 예상할 수 있다.

(2) PCB 기판의 형상

현재 시장에 출시된 슬림형 광디스크 드라이브의 구조는 PCB 기판이 데크 프레임에 결합된 구조로서, 실제 작동시 PCB 기판이 다른 부분에 비해 과도하게 진동하는 유연 모드가 나타난다. 이를 개선하기 위해 외부로 돌출된 PCB 기판의 부피를 3 수준에 걸쳐서 줄이고, 추가적으로 PCB 기판을 데크 프레임에 접촉시킨 모델을 해석해 보았

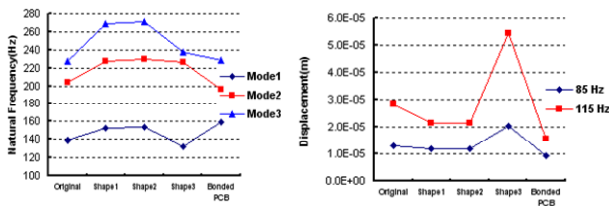


그림 8 PCB 기관의 형상 변화에 따른 고유진동수 및 조화응답 변화

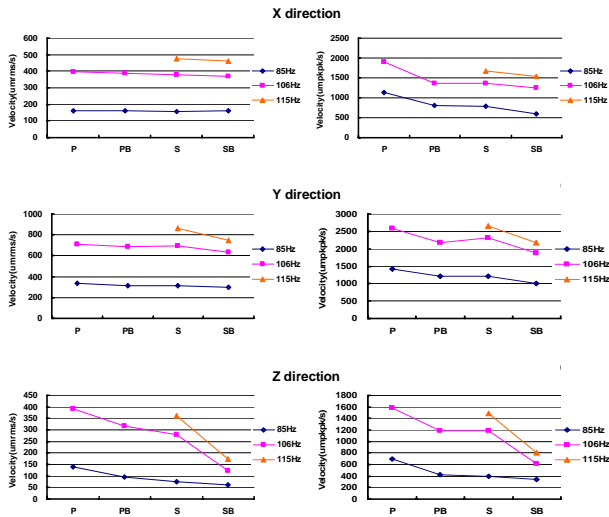


그림 9 각 모델별 진동량 (표준 디스크)

표 3 유한요소 해석 및 실험 모달 해석을 통한 각 모델별 1차 고유주파수

Unit (Hz)	Plastic		Steel	
	Not Bonded	Bonded	Not Bonded	Bonded
1 st Natural Frequency	EXP	145.3	188.7	192
	FEM	139.63	169.21	190.981

다. 모델의 개략도가 그림 7에 표시되어 있으며, 해석 결과를 그림 8에 정리하였다. PCB 기관의 형상 변화는 현재 모델과 비교하여 더 나은 성능을 가지지만, PCB 기관을 데크 프레임에 접착한 경우가 형상을 변화시킨 것과 비교하여 더 나은 성능을 보여주는 것을 확인할 수 있다.

(3) 기타 인자의 영향

위에서 정리한 결과 외에 고무 마운트의 위치, PCB Rib의 두께, PCB Rib의 형상 등을 바꿔가며 해석을 실행하였으나, 고무 마운트의 위치와 PCB 기관의 형상은 현재 사용하는 SATA 방식에서는 기관의 형상을 바꾸기 힘든 관계로 구조 변경이 어렵고, 기타 인자들은 진동 특성에 구조 동특성에 미치는 영향이 미미한 것으로 확인되었다.

(4) 개선 모델의 제작 및 성능 확인

지금까지의 해석 결과를 기반으로 개선 모델을 제작, 향상된 진동 특성의 확인을 시도하였다. 개선 모델은 데크 프레임을 스틸로 제작하고, 데크 프레임

형상을 위의 데크 프레임 형상 개선 모델 중 1mm 두께를 가지는 모델로 선택하였다. 또한 PCB 기관은 데크 프레임에 접착시켰으며, PCB Rib의 두께를 25% 감소시켰다. 기타 고무 마운트의 위치, PCB 기관의 형상, 고무 마운트의 종류는 현재 모델의 것을 그대로 유지시켰다. 그림 9에 각 모델별 진동량을 실험으로 측정 및 정리하였다. 그림 9에서 총 4가지 모델의 실험 결과를 정리하였는데, P는 기존 모델, PB는 기존 모델에 PCB 기관과 데크 프레임을 접착 처리한 모델, S는 개선 모델에서 PCB 기관을 데크 프레임에 접착하지 않은 모델, SB는 언급한 모든 개선 사항을 적용한 모델이다. 실험 결과를 통해 최대 61%의 진동 감소가 이루어졌음을 확인할 수 있다. 표 3은 각 모델별 고유주파수를 유한요소 해석을 통해 얻은 값과 실험 모달 해석을 통해 얻은 값을 비교하고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 슬림형 광디스크 드라이브의 진동 해석 및 구조 동특성 변경을 위해 유한요소 모델을 기반으로 해석을 수행하였다. 슬림형 광디스크 드라이브의 유한요소 모델을 실험 모달 해석을 통해 튜닝 및 검증하였고, 중요 파라미터들의 변경을 통한 성능 개선을 실제 모델 제작 후 실험을 통해 확인하였다.

후기

본 연구는 Hitachi-LG data Storage, Inc의 지원을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다

참고 문헌

- (1) 김남웅, 김국원, 홍구, 정문채, 김외열, 1999, “슬림형 광 디스크 드라이브의 방진설계”, Journal of KSNVE, 1226-0924, 제 9 권 2 호, pp.324-330
- (2) 김남웅, 신호철, 김국원, 2006, “동흡진기를 사용한 광 디스크 드라이브의 진동저감”, 한국소음진동공학회논문집 제 16 권 5 호 통권 110 호, pp529-536
- (3) Wonsuk Kim, Dong-Jin Lee and Jintai Chung, 22 July 2005, “Three-dimensional modelling and dynamic analysis of an automatic ball balancer in an optical disk drive”, Journal of Sound and Vibration, Volume 285, Issue 3, Pages 547-569
- (4) 박건순, 임종락, 한용희, 손희기, 1998, “광디스크 드라이브의 진동특성에 대한 유한요소해석”, 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp.227-232