

초소형 광디스크 드라이브의 진동 특성 및 설계 고려 사항

°윤동화* · 이승엽** · 박영필***

Vibration Characteristics and Design Considerations of Micro Optical Disk Drives

Dong-Hwa Yun, Seung-Yop Lee, Young-Pil Park

ABSTRACT

As the form factor of the disk drive is decreased, many mechanical issues that are negligible in larger form factors, should be considered for the design of the miniature drives. This paper deals with basic research on vibration characteristics and design considerations of small disks and actuators. The natural frequencies of micro-sized disks with polycarbonate and glass substrates are experimentally measured, being compared to FEM results. In order to investigate the effects of rotating speeds, airflow and disk size on power consumption, we measure power imposed to spindle motor when different optical disks are spins in vacuum chamber. Finally, The vibration characteristics of the micro actuator used in a IBM Microdrive are experimentally studied for the application to the basic design of micro optical disks.

1. 서론

최근 정보화의 급속한 발전으로 광디스크 드라이브를 비롯한 다양한 정보저장기기가 사용되고 있으며 새로운 형태의 고밀도 정보기록기술들이 개발되고 있다. 광 정보저장기기 업계의 최근 동향으로는 데이터 전달률의 증가를 위한 디스크 드라이브의 고배속화, CD-RW 및 DVD-RAM과 같은 기록가능 광디스크 드라이브의 확산, 휴대용 정보 저장기기에 사용될 초소형 정보저장기기의 출현 그리고 근접장 기록(NFR) 기술과 같은 차세대 정보 기록기술에 대한 연구 등을 들 수 있다 [1].

초소형 광 정보저장기기는 주로 디지털 카메라나 디지털 캠코더, 혹은 노트북 PC와 같은 다양한

휴대용 정보저장기기에 장착되므로 이동성에 따른 기록/재생의 안정성, 카드형의 초박형/초경량 구조 및 저소비 전력 기술 구현이 필요하다. 따라서 기계 부품의 획기적인 설계 기술이 확보되어야 하며 기존의 정보저장기기에서는 고려되지 않았으나 소형화에 따라서 중요한 문제로 대두되고 있는 기계적인 사항들을 충분히 고려하여야 한다. 소형 드라이브에서는 디스크 미디어, 헤드나 광픽업, 스피들 모터, 액추에이터, 베이스 플레이트 등의 기계적인 부품의 설계와 소형화와 이동성에 따른 소음, 진동, 충격, 소비전력 등의 문제들도 전반적으로 연구되어야 한다. 본 연구에서 이러한 기계적인 고려 사항들에 대한 기반 연구를 수행하였고, 그 중에서 초소형 디스크 정지 및 회전 시 진동 특성 변화와 진공 Chamber를 이용하여 회전속도, 공기유동 및 디스크 크기에 따른 소비전력 변화를 측정하였다. 마지막으로 초소형 광픽업 액추에이터 서스펜션의 설계안을 제시하려 한다.

* 서강대학교 대학원 기계공학과

** 서강대학교 공과대학 기계공학과, 정회원

*** 연세대학교 공과대학 기계전자공학부, 정회원

2. 초소형 디스크의 진동 특성

2.1 정지상태 디스크의 진동 해석

정지상태에서 디스크의 크기 및 재질 변화에 따른 고유진동수의 변화를 관찰하고 마이크로 디스크의 고유진동수를 측정하기 위해 Fig. 1과 같이 충격 해머를 이용하는 실험장치를 구성하였다.

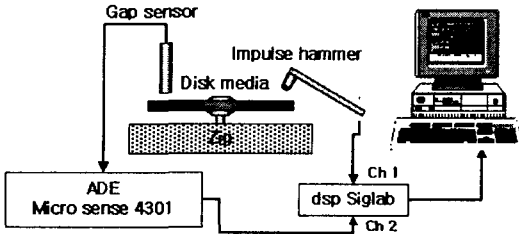


Fig. 1 Experimental setup for a stationary disk modal test

실험에 사용된 디스크의 종류별 크기와 물성치를 Table 1에 나타내었다. 기존의 디스크는 CD, ASMO, MD를 사용하였고 마이크로 디스크는 LG 전자에서 연구용으로 개발된 Polycarbonate 재질의 디스크와 유리 재질의 디스크 두 가지를 대상으로 하였다. 디스크의 크기는 IBM Microdrive에 사용되는 디스크와 동일하다. 디스크는 스피들 모터에 장착하지 않고 디스크의 클램핑 직경을 구속할 수 있는 지그를 제작하여 실제 스피들 모터부에 장착되었을 때의 클램핑 조건 보다 강하게 고정하였다. 이는 유한요소해석시의 경계조건과 유사하게 만들어 해의 비교 정확도를 높이기 위함이다. 마이크로 디스크는 클램핑 반경과 일치하는 볼트와 너트를 이용하여 지그 위에 고정하였다. 실험에 사용

한 충격해머와 ADE의 Microsense 센서 및 Polytec의 LDV의 감도(Sensitivity)를 Table 2에 나타내었다. 감도를 이용하여 검출되는 전압신호를 힘과 변위와 같은 실제 물리량으로 환산하였다.

위의 실험 장치를 이용하여 실험한 결과를 Fig. 3에서 7까지 각 디스크별로 나타내었고 FEM 모사 실험 결과와 비교하였다. 모사실험은 상용 유한요소 프로그램인 ANSYS로 각각의 디스크를 모델링하고 모드해석과 조화응답해석을 수행하여 전달함수의 보드선도를 얻어 실험에 의한 값과 비교하였다.

Experimental equipment	Sensitivity
Impulse hammer	22.7×10^{-3} V/N
ADE gap sensor	4000 V/m
Polytec LDV	125000 V/m

Table 2 Sensitivities of equipment

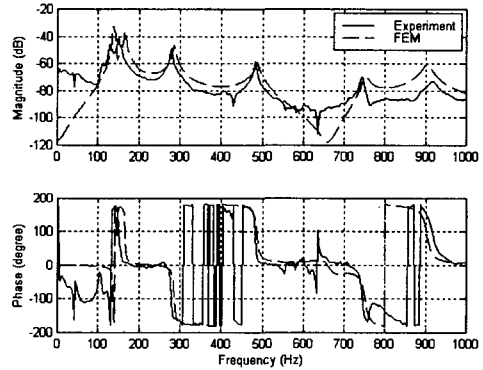


Fig. 3 Bode plot of stationary CD

Disk		Conventional disk			Small form factor micro disk		
		CD	ASMO	MD	Polycarbonate	Glass (Microdrive disk)	
Dimension (mm)	Radius	Inner	7.55			3.475	
		Outer	60	40	11.2		
		Clamping	15.5			4.8	
	Thickness	1.2	0.65	1.2	0.65	0.5	
Material properties	Young's modulus (mN/mm ²)	2.7×10^9					20×10^9
	Density (kg/mm ³)	1.2×10^{-3}					2.6×10^{-3}
	Poisson's ratio	0.38					0.245

Table 1 Dimensions and material properties of various disks

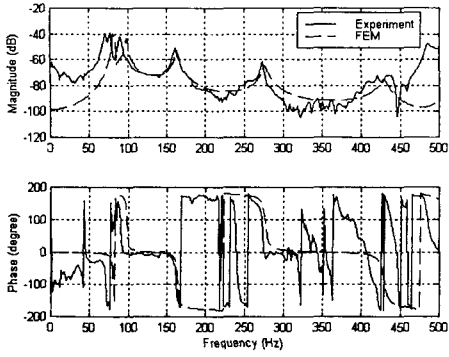


Fig. 4 Bode plot of ASMO

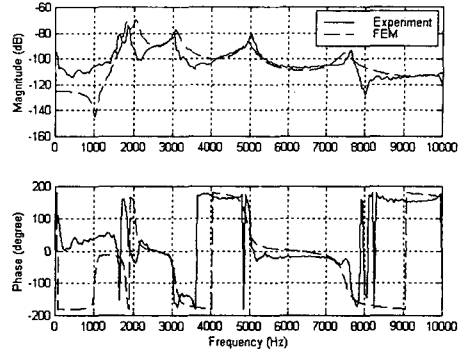


Fig. 6 Bode plot of polycarbonate micro disk

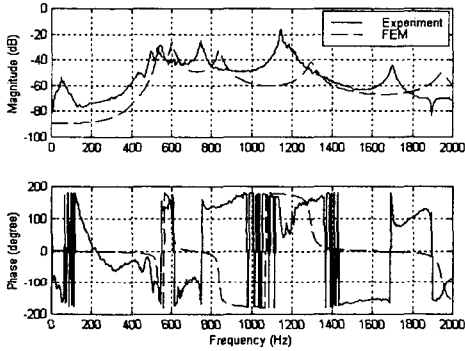


Fig. 5 Bode plot of MD

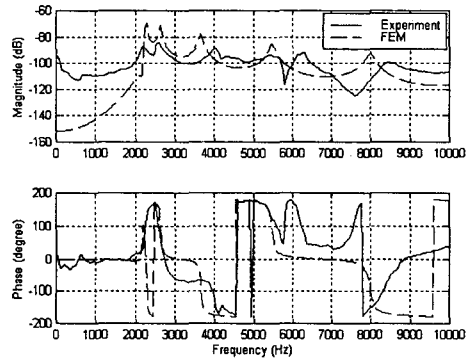


Fig. 7 Bode plot of glass micro disk

디스크의 클램핑 힘의 조건을 실제보다 증가시켰기 때문에 실험에 의해 측정된 전달함수가 해석적인 해와 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다. 초소형 디스크는 작은 Form factor와 재료의 강성으로 인해 고유진동수가 고주파 대역에서 나타나고 있음을 알 수 있다.

2.2 회전 디스크의 진동 및 소비전력

2.2.1 마이크로 디스크 임계속도 예측

정지상태 마이크로 디스크의 고유진동수를 측정된 결과 약 1600Hz - 2000Hz 범위에서 첫 번째 모드인 (0,1)모드의 고유진동수가 나타나고 있다. 디스크가 회전하게 되면 하나의 진동 모드의 고유진동수는 회전속도에 따라 증가되는 전진파와 반대로 감소하는 후진파 고유진동수로 분리된다. 후진파 고유진동수가 영이 되는 회전속도인

Mode	Natural frequencies (Hz)									
	Conventional disk						Micro disk			
	CD		ASMO		MD		Polycarbonate		Glass	
	Experiment	FEM	Experiment	FEM	Experiment	FEM	Experiment	FEM	Experiment	FEM
ω_{01}	130.0	137.3	71.0	80.7	450.0	530.4	1650.0	1731.1	2200.0	2237.6
ω_{00}	150.0	166.3	78.0	83.8	537.5	582.9	1850.0	1969.1	2600.0	2639.5
ω_{02}	280.0	286.0	89.5	98.3	712.5	838.0	3000.0	3075.0	4000.0	3658.8
ω_{03}	482.5	487.5	161.0	163.6	1125.0	1293.4	5000.0	5000.0	5400.0	5474.8

Table 3 Natural frequencies comparisons of each disk

임계속도를 구하기 위해서는 기존의 논문 [2,3] 등에서 유도된 식들을 사용할 수 있다. 식 (1)을 이용하여 임계속도를 디스크 반지름의 비로 쉽게 구할 수 있고 그 결과를 Table 4에 나타내었다.

$$\Omega_{cr} = \sqrt{\frac{Eh^2}{\rho b^4} \left[42.3 \left(\frac{a}{b} \right)^2 + 2.4 \left(\frac{a}{b} \right) + 11.0 \right]} \quad (1)$$

여기서, a, b, h 는 디스크 클램핑 반지름, 외경 및 두께이고, E, ρ 는 탄성계수와 밀도이다.

$\Omega_{operating}$ (rpm)	6000-9000		3000-4000	
Ω_{cr} (rpm)	7122	23138	153880	252460

Table 4 Critical speeds of various disks

Polycarbonate 디스크가 150,000 rpm, Glass 디스크가 250,000 rpm 정도이므로 드라이브 작동 속도에서 매우 크게 벗어나 임계속도는 발생하지 않는다고 보아도 될 것이다. 하지만 이와 같은 디스크의 작동 안정성을 보장하기 위해서는 디스크 자체의 회전 동특성 보다도 스피들 모터와 같은 외부 장치들이 작동 안정성이 고려되어야 한다. 따라서 IBM Microdrive 에서는 볼 베어링 대신 유체 베어링을 사용하여 기존의 볼베어링을 사용하는 하드디스크 스피들 모터에서 발생하는 NRRO(Non Repeatable Runout)을 최소화시켰다 [4]. 디스크 작동 안정성을 위해 이러한 베어링 시스템이 초소형 광 디스크 드라이브용 스피들 모터에도 적용되어야 할 것이다.

2.2.2 소비전력 및 작동 온도

디스크의 스피들의 회전속도가 증가하면서 공기 저항에 의한 에너지 손실 때문에 전력소비가 증가 되는데 일반적으로 전력소비는 회전속도 Ω 와 디스크 지름 D 에 다음과 같은 비례 관계가 성립한다 [5].

$$P \propto N \Omega^{2.8} D^{4.6} \quad (2)$$

여기서 N 은 디스크의 개수이다. 실험은 마이크로 디스크를 제외한 CD, ASMO, MD디스크를 이용하여 실시하였으며 회전속도에 따른 디스크별, 환경 조건별 전력소비량을 측정하였다. 다음과 같이 4가

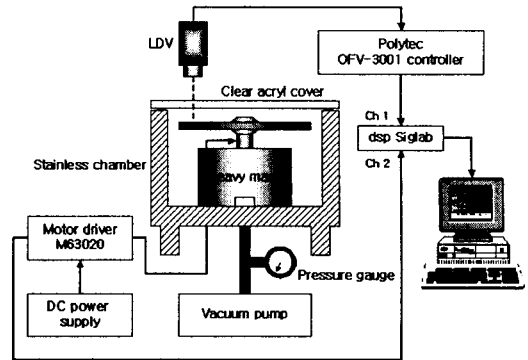


Fig. 8 Experimental setup for measuring power consumption

지 환경조건에서 디스크를 회전시켰다.

- 1) Chamber 외부의 완전히 open된 공간
- 2) 상부 투명 아크릴 커버가 제거된 상태에서의 Chamber 내부
- 3) 상부 투명 아크릴 커버가 장착된 밀폐된 Chamber 내부
- 4) 진공상태의 Chamber 내부

진공상태 실험을 위하여 투명 아크릴 커버로 스테인레스 Chamber의 상부를 완전히 밀폐하고 진공 펌프를 이용하여 내부 대기압을 0 가 가까이 만들었다. 저전력으로 구동되는 초소형 디스크들은 미세하게 흐르는 구동 전류의 측정이 불가능하여 회전 속도별 전력소비측정을 하지 못하였다. 따라서, CD, ASMO 및 MD만을 측정 비교함으로써 직경과 두께가 변할 때 전력소비의 변화를 관찰하였다.

Fig. 9와 10은 각각 디스크 및 환경조건의 변화에 따른 회전속도별 전력소비량을 보여준다. 일반적으로 디스크의 직경이 크고 외부 공기에 노출되는 정도가 클수록 공기유동의 영향을 크게 받게 되므로 전력소비가 증가하게 된다. 실험 결과로부터 디스크 직경이 작은 MD가 실험 조건 변화에 대한 영향을 가장 적게 받는다는 것을 확인할 수 있다. Fig. 10을 보면 Chamber의 상부 커버가 개방된 상태에서와 Chamber 외부에서 회전할 때에 ASMO가 그 두께의 2배인 CD에 비해 고속에서 전력소비가 거의 같음을 알 수 있다. 두께가 얇은 ASMO 디스크의 특성상 고속 회전시 공기유동과의 연성에 의한 플러터 불안정성이 일어나게 되는데 본 실험에서는 (0,3)모드의 후진과 고유진동수가 약 9960 rpm 부근에서 플러터를 유발시킴을 확인하였다. Fig. 11은 회전속도에 따른 디스크 진동

스펙트럼을 log와 linear scale로 나타낸 것이다. (0.3) 모드의 고유진동수가 9960 rpm 이전까지 급격히 증가하다가 그 이후부터는 더 이상 증가하지 않고 해당 주파수의 스펙트럼 레벨이 커진 것을 알 수 있다. 따라서 ASMO의 경우 고속 회전 시 디스크의 불안정한 진동에너지에 전력의 일부가 사용되었기 때문에 전력소비가 급격하게 증가하였다고 볼 수 있다.

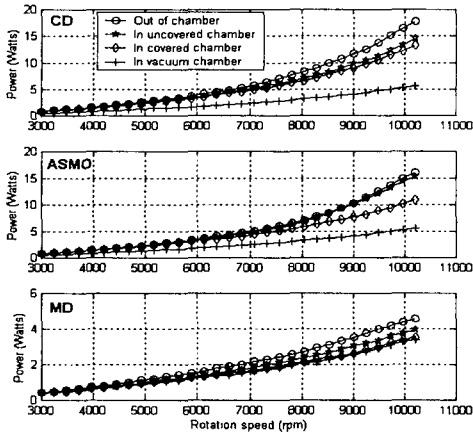


Fig. 9 Power consumptions of rotating disks

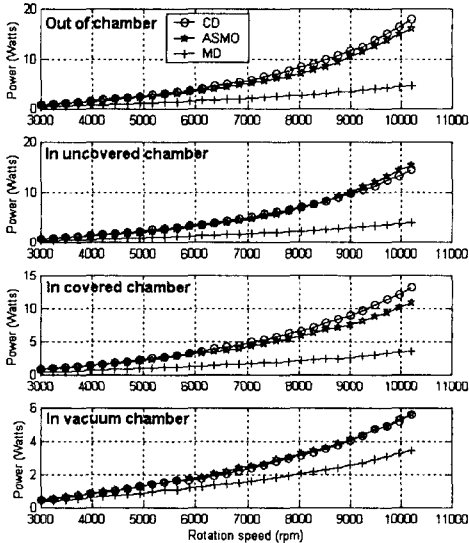


Fig. 10 Power consumptions of rotating disks at each condition

진공상태에서는 공기유동의 효과가 없기 때문에 직경이 같은 CD와 ASMO모두 비슷한 전력소비

양상을 나타내나, 공기유동이 있는 대기압 상태의 3가지 경우에는 디스크의 크기 및 질량에 따라 차이가 발생하게 된다.

식 (2)에 나타난 회전속도와 디스크 크기와의 비례관계를 실험 결과로부터 확인하였다. 회전속도와 의 관계는 대기압 상태의 밀폐된 Chamber 내부에서 회전할 때 잘 일치하고 있었으며 같은 회전속도에서 두께가 같은 CD와 MD를 확인한 결과 직경의 변화에 대해서도 비교적 잘 일치하고 있음을 확인했다.

전력소모와는 다른 문제로서 디스크 드라이브가 소형화되면서 공기와의 접촉되는 면의 감소로 인해 열전달 문제가 중요하게 되었다. 일반적으로 파 일 작동 온도는 다음과 같은 경향을 갖는다고 알려져 있다 [5].

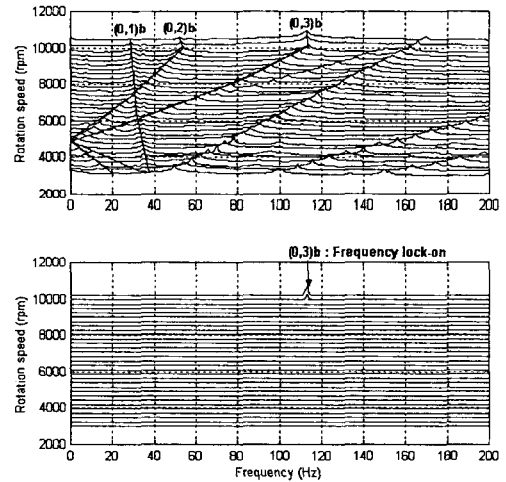


Fig. 11 Waterfall plot of a rotating ASMO: log scale (up) and linear scale (down)

$$\Delta T = \frac{P_t}{H_{eff} A} \quad (3)$$

여기서 P_t 는 스펀들과 전자부품에 의해 소비되는 전력이며 A 는 Form factor의 면적 그리고 H_{eff} 는 Overall effective convective film 계수이다. 특별히 초소형 광디스크 드라이브는 IBM Microdrive와는 다르게 레이저빔과 광원에 의한 열이 더해진다. 따라서 발생하는 내부열과 드라이브 구조와 크기와의 관계 또한 초소형 드라이브 개발을 위해서는 고려되어야 할 중요한 문제중 하나이다.

3. 초소형 액추에이터의 설계 및 실험

3.1 설계 고려 사항

광디스크 드라이브에서 광픽업을 디스크의 원하는 트랙으로 위치시키는 액추에이터는 광픽업의 트랙킹과 포커싱의 성능을 결정한다. 기존의 광디스크 드라이브는 리니어 모터를 사용하여 광픽업을 원하는 트랙으로 위치시키고 광픽업에 달린 코일로서 세밀한 트랙킹 및 포커싱 운동을 조절하였다. 최근에 개발중인 대부분의 초소형 광디스크 드라이브는 이와 다르게 기존의 HDD에 사용되었던 로터리 구동기와 공기베어링 슬라이더를 사용한다. 기존의 대물렌즈는 크기와 레이저 빔의 초점 거리의 한계로 인해 소형 광디스크에서는 대부분 근접장 기록(NFR, Near Field Recoding)을 가능케 하는 초소형 특수 렌즈를 사용한다. 렌즈를 슬라이더 탑재하여 공기베어링으로 원하는 부상 높이에서 포커싱이 가능하도록 한다. Fig. 12는 현재 개발중인 초소형 광디스크 드라이브에서 채택하고 있는 액추에이터의 기본적인 형태를 보여준다. 전체적으로 광학계는 기존의 CD/DVD 드라이브와 같은 구조이다 [6].

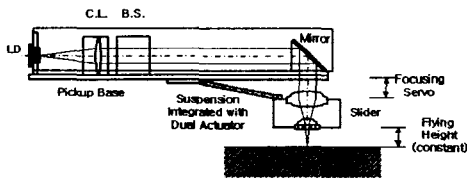


Fig. 12 Schematic of rotary actuator for small form factor optical storage device

액추에이터의 기본적인 작동 메카니즘은 기존의 HDD의 액추에이터와 같지만 자기헤드 슬라이더가 아닌 광픽업 슬라이더를 서스펜션에 탑재하기 때문에 HDD에서는 중요시되지 않았던 동적 특성이 중요한 설계변수로 작용할 것이다. 즉, 슬라이더의 질량 증가로 인해 액추에이터를 신속히 제어하기 힘들어 지기 때문에 데이터 전달률이 저하되는 경향을 나타낼 것이고 서스펜션의 동특성 주파수 대역이 전체적으로 저주파 대역으로 이동할 수 있으므로 에러를 유발시키는 모드들이 제어 대역쪽에 포함될 경우 기록 안정성에 중대한 영향을 미칠 것이다. HDD에서는 트랙킹 에러에 영향을 주는 트랙킹 강성 모드들이 중요한 특성이었지만 광 스팟 사이즈가 일정해야 하는 ODD의 경우 포

커싱 에러에 영향을 주는 모드들도 중요하게 고려해야 한다. 뿐만 아니라 서스펜션의 비틀림 모드는 광픽업 슬라이더의 틸트를 유발하므로 고밀도 기록 및 재생을 어렵게 할 것이다. 따라서 이러한 동특성 변화를 고려하여 서스펜션을 설계하여야 한다.

Mode	Micro ODD		HDD		주파수 조영
	- Slider 질량 증가 - Tracking, Focusing, Tilt Error 발생 억제		- Slider 질량 감소 - Tracking Error 발생 억제		
Cantilever	Compliance mode (ABS)		Compliance mode (ABS)		허용
1 st Bending	트	Focusing Error 유발	트	Tracking Error에 작은 영향	상향
1 st Torsion	트	Tilt Error 유발	트	Tracking Error에 작은 영향	
2 nd Bending	트	Focusing Error 유발	트	Tracking Error에 작은 영향	
Sway	트	Tracking Error 유발	트	Tracking Error에 가장 치명적	
2 nd Torsion	트	Tilt Error 유발	트	Tracking Error에 다소 영향	

Table 5 Modal characteristic comparison

Table 5는 광픽업 슬라이더를 서스펜션에 장착했을 경우 각 서스펜션 모드가 유발할 수 있는 에러에 대해 HDD 경우와 비교한 도표이다. 서스펜션의 각 모드들에 의해 발생할 수 있는 에러가 ODD에서 보다 빈번하게 일어날 수 있음을 짐작할 수 있다. 기존의 HDD 서스펜션과 다르게 설계해야 할 주요 사항을 보게 되면, 우선 슬라이더의 질량을 안정적으로 지지할 수 있어야 하므로 충분한 강성을 가지는 재료를 사용하거나 기존의 재료를 사용하되 두께나 모양과 같은 설계변수들을 변경해야 할 것이다. 또한 슬라이더가 공기 베어링에 의해 부상한 후 디스크의 면진동을 추종하면서 포커싱 거리 즉, 부상높이(Flying Height)를 유지해야 하므로 슬라이더의 질량을 최소한으로 줄여야 하며 서스펜션의 순응도 모드(Compliance mode)인 Cantilever 모드가 안정적으로 나타날 수 있도록 서스펜션의 굽힘 영역을 적절히 설계하여야 할 것이다.

추가적으로, 사용되는 미디어가 Polycarbonate와 같은 플라스틱 종류일 경우 HDD의 미디어와는 다르게 디스크 표면 거칠기가 크고 강성이 낮으므로 회전시 디스크에 굴곡이 생겨 공기 베어링 포커싱의 안정성이 저하될 수 있다. 따라서 기존의 CD/DVD 드라이브의 경우와 같이 자기회로를 이용해 디스크의 표면상태에 따라 포커싱 서보를 할 필요가 있을 것으로 보인다. 또한, 서스펜션의 비틀림 모드 발생에 따른 슬라이더의 틸트를 억제할 수 있도록 서스펜션을 설계해야 한다.

마지막으로, 트랙킹 에러를 유발시키는 모드인 Sway모드를 보상하기 위하여 PZT를 이용한 이중 구동기를 장착해야 할 것이다. 본 연구에서는 이러

한 동특성에 의한 문제점을 보완할 수 있는 개선된 광픽업 서스펜션 모델을 제안하였다.

3.2 마이크로 액추에이터의 동특성 실험

초소형 광 디스크 드라이브용 로터리 액추에이터를 설계하기 위하여 유사한 Form factor를 가지는 IBM Microdrive용 디스크 및 액추에이터의 동특성을 알아보았다.

마이크로 드라이브의 커버를 제거한 후 Fig. 13과 같이 실험장치를 구성하였으며 디스크 자체의 회전 동특성과 서스펜션이 ABS에 의하여 부상하였을 때의 순응도를 측정하였다. 실험결과, 디스크 회전 시 기존의 CD, ASMO에서 나타나는 정지상태 고유진동수의 후진과 고유진동수는 관찰할 수 없었고, 서스펜션의 순응도 전달함수는 회전속도 따라 비교적 안정적인 경향을 나타냄을 확인했다.

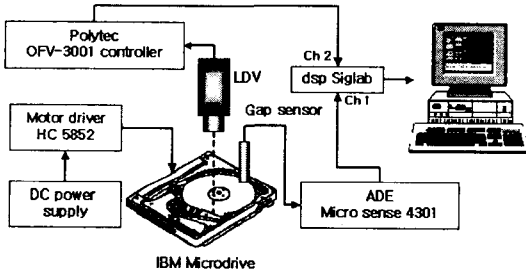


Fig. 13 Experimental setup for suspension compliance test

또한 부상상태의 서스펜션을 충격 해머로 가격하여 진동모드를 관찰하였다. Fig. 14에서 보는 바와 같이 베이스 플레이트 부분을 입력으로 하고 서스펜션 상부 8개점을 출력으로 하여 응답을 측정하였다. Fig. 15와 16은 각각 4번과 5번 측정점에서의 전달함수를 보여준다. Table 6에 실험으로 구한 서스펜션의 각 모드에 해당되는 고유진동수를 정리하였다. 3.5인치 HDD용 액추에이터 서스펜션에 비해 고주파영역에서 고유진동수들이 관찰되고 있음을 알 수 있다.

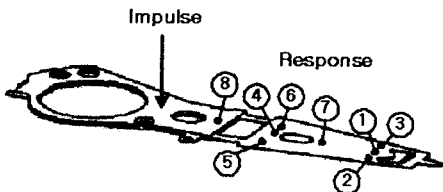


Fig. 14 HSA of IBM Microdrive

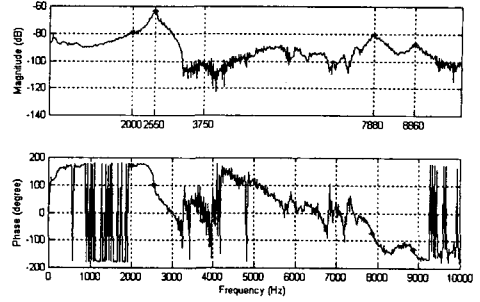


Fig. 15. FRF of measure point ④

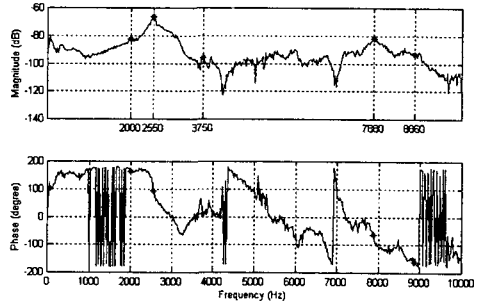


Fig. 16 FRF of measure point ⑤

Mode	Natural frequency (Hz)
Cantilever	2000
1st bending	2550
1st torsion	3750
2nd bending	7880
2nd torsion	8860

Table 6 Natural modes and frequencies of Microdrive suspension

3.3 액추에이터 모델 제안 및 FEM 해석

IBM Microdrive용 액추에이터를 참조하여 초소형 광 디스크 드라이브용 액추에이터 서스펜션을 설계해 보았다. 앞 절에서 언급한 여러 가지 설계 고려사항을 충족시키는 모델을 구현하기 위해 상용 프로그램인 ANSYS와 Matlab을 이용하여 각종 설계변수를 바꾸어가면서 모델들을 디자인하고 모사실험을 통하여 동특성을 예측하였다. Fig. 18은 설계된 모델의 형태와 조화응답해석에서의 가진점 및 응답점을 보여주고 있고 Fig. 19는 자유상태에서의 모델에 대한 ANSYS의 조화응답해석 결과를 보여준다. 범례에서 UZ는 측정점에서의 병진운동을, ROTX는 X축방향의 회전운동을 나타낸다. 설계된 모델은 IBM Microdrive의 실험결과와 비교

해 볼 때 비교적 적절한 동특성 주파수 대역을 보여주고 있다. Table 7에 제안된 서스펜션의 모사실험결과에 따른 고유모드별 고유진동수를 정리하였다.

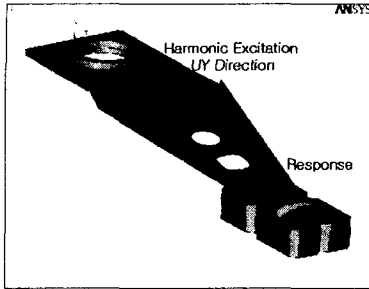


Fig. 18 Newly designed suspension model for micro optical disk drive

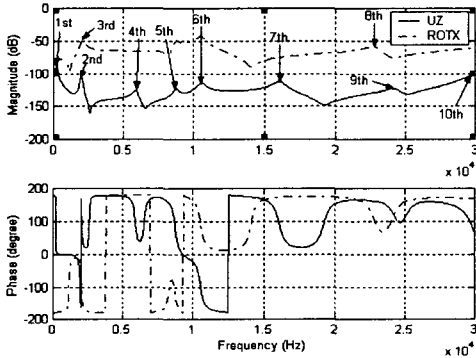


Fig. 19 Harmonic analysis of improved suspension

Peak point	Mode	Natural frequency (Hz)
1st	Cantilever	224.12
2nd	Slider pitch	1933
3rd	Slider roll	2059.6
4th	1st bending	5896
5th	1st torsion	8736
6th	Sway	10541
7th	2nd bending	16081
8th	2nd torsion	22806
9th	3rd bending	24292
10th	4th bending	29833

Table 7 Natural frequencies of improved suspension model

4. 결론

본 논문은 초소형 광 디스크 드라이브 개발을 위한 선행연구 중 디스크 미디어의 Form factor

변화에 따른 정지 및 회전 동특성과 전력소비 문제에 대해 언급하고 IBM Microdrive 액추에이터의 동특성을 실험을 통하여 액추에이터 서스펜션의 설계안을 제시하였다.

디스크의 크기가 작아질수록 동특성 대역이 고주파 대역으로 이동하여 회전 시 임계속도나 플러터와 같은 진동 불안정성은 발생하지 않으나 스피들 모터와 같은 외부 장치로부터의 외란에 민감하게 반응하기 때문에 이와 같은 부품들이 더욱 안정적으로 작동할 수 있도록 설계되어야 한다. 한편, 디스크의 Form factor가 작아질수록 주변 환경변화에 따른 회전 전력소비량의 변화는 작아지게 됨을 확인했다. 초소형 광픽업 액추에이터 서스펜션 설계를 위해서는 다양한 요소들이 고려되어야 함을 IBM Microdrive용 서스펜션의 동특성 실험과 FEM 해석으로 보였다.

후기

본 연구는 한국과학재단 지정 정보저장기기연구센터의 지원(2001G0101)으로 수행되었으며 실험에 도움을 주신 연세대학교 기계공학과 임윤철 교수님과 LG전자 디지털 미디어 연구소 김수경 박사님께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Lee, S.-Y. and Kim, S., 1998, "Trends and Mechanical Issues in Optical Disk Drives," *the 9th Symposium on Information Storage and Processing Systems, IMECE, ISPS-Vol. 4*, pp. 81-90.
- [2] S. Chonan, "On the Critical Speed of a Rotating Circular Plate," *ASME Journal of Applied Mechanics*, Vol. 54, pp. 967-968, 1987
- [3] Lee, S.-Y. and Kim, S., 2001, "Design and Vibration Analysis of a New Optical Disk with Initial Stress," *Journal of Information Storage and Processing Systems*, Vol. 3, pp. 177-184.
- [4] Albrecht, T.R., et al., 2000, "Microdrive Mechanical Design Considerations," *Journal of Information Storage and Processing Systems*, Vol. 2, pp. 47-51
- [5] Schirle, N., and Lieu, D. K., 1996, "History and Trends in the Development of Motorized Spindles for Hard Disk Drives," *IEEE Trans. Manet.*, Vol. 32, No. 3, pp. 1703-1708
- [6] 오형렬, 권대갑, 이준희, 윤형길, 김진용, 김수경, 김영식, NFR 시스템 헤드의 광 부품 조립 정밀도 분석, 한국소음진동공학회 2001년도 춘계학술대회논문집, pp. 718-721.