

## 주파수 선도를 이용한 광픽업 설계 연구 A Study on the Optical Pickup Design using the Bode Diagram

손도현\*·홍삼열\*\*·최인호\*\*·김영중\*\*·김진용\*\*

Do-Hyeon SON, Sam-Nyol HONG, In-Ho CHOI, Young-Jung KIM and Jin-Yong KIM

Key Words : Optical Pickup, Actuator, Sub-resonance, Bode Diagram, Open Loop System, Doppler Laser Vibrometer, Dynamic Signal Analyzer

### ABSTRACT

The frequency characteristics of the optical pickup are investigated indirectly from the bode diagram of the open loop system and the actuator. However, there is necessity of acquiring the optical pickup bode diagram in a view of the differences in the frequency characteristics. One of the differences is that bode diagrams of the optical pickup are differ to that of the actuator and the other is that bode diagrams of the open loop system include controller, gains and filters. So this paper presents the method acquiring the optical pickup bode diagram. In addition, usefulness of the optical pickup bode diagram was demonstrated by being applied to the optical pickup design. The reason of reducing the development period and acquiring the frequency characteristics of the optical system, the optical pickup bode diagram has many merits in the optical pickup design before acquiring the stable bode diagram of the open loop system.

### 1. 서론

광 저장 및 기록장치는 소비자의 요구를 만족시키기 위하여 데이터 기록밀도 향상과 고속화, 소형화와 함께 CD-RW와 DVD-ROM의 기능이 복합된 콤팩트와 같이 다기능화 되어가는 추세에 있다. 따라서 광픽업 장치(optical pickup) 또한 요구 정밀도가 높아지고 고성능, 다기능의 성능을 만족시키기 위하여 관련 업계에서도 경쟁이 매우 심화되고 있으며 이런 이유가 가동부인 액츄에이터의 주파수 특성에 대한 많은 연구를 계속 지속시키는 이유인 것이다.<sup>(1)</sup>

광픽업 액츄에이터는 트랙킹과 포커싱 동작 시에 주요 회전 진동 모드로서 롤링과 피칭 모드의 부차공진(sub-resonance)을 가지고 있으며 이들은 각각 트랙킹과 포커싱 동작 중에 기본 주파수 특성의 위상과 변위에 악영향을 주게 된다.<sup>(2)(3)(4)</sup> 따라서 산업계에서도 이를 제거하기 위하여 부차공진에서 변위가 없는 특정 노드와 구동 중심을 일치시키는 법, 누설 자속(leakage flux)을 이용하는 법등을 제시하였다.<sup>(2)(5)</sup> 그러나 이러한 액츄에이터 단품에서 발생하는 공진 모드 뿐만 아니라 최근 소형화와 다기능화의 요구는 액츄에이터 고정 지지부 구조와 광픽업의 베이스와 결합되는 지지 구조의 방법에 의하여 광픽업 자체의 진동 현

상이 점차 서보 가동 대역에서 발생하게 하였으며 이것은 새로운 공진의 원인으로 많은 연구가 진행되고 있다.

그 예로 슬립형 액츄에이터의 경우 소형화 및 다기능, 고성능화의 요구조건을 만족하기 위하여 구조적으로 광 경로를 이루는 액츄에이터의 기구적 높이를 줄여야 하였으며 이를 위해 렌즈가 돌출된 형태의 구조가 요구되고 그 결과 액츄에이터 지지부에 의한 회전모드의 제어가 추가 설계 제어 요소가 되었다. 또한 조립과 생산 공정에서 허용되는 조정오차의 범위가 작아지고, 가동 범위 증가에 의한 공간상의 제약에 의해 액츄에이터를 광픽업 구조물에 조립 후 고정부 강성 취약에 의해 발생하는 기구적 진동도 수 kHz 대역에서 나타날 수 있으며 액츄에이터 단품의 진동 특성은 광픽업의 광학 부품 및 픽업의 골격이 되는 베이스와 연동하여 실제 픽업에서 발생하는 진동의 양상이 액츄에이터 단품에서 측정된 특성과 다른 양상으로 나타날 수 있다. 따라서 보다 정밀한 설계를 위해서는 액츄에이터 단품에 의한 특성 주파수 응답 뿐만 아니라 광픽업 전체에서 발생할 수 있는 주파수 응답 특성을 광픽업의 개발 단계에서 파악해야 할 필요성이 대두되고 있는 것이다.

이에 본 논문에서는 광픽업의 진동 문제를 정확히 구분하여 분석하고 해결하기 위하여 액츄에이터, 광픽업, 드라이브 시스템(open loop system)이라는 서로 다른 관점에서의 주파수 특성을 파악하기로 하였다. 우선 기존 방법들의 경우로써 액츄에이터 단품의 진동특성은 구동부 움직임의 물리적 양을 대상으로 주파수 선도(bode

\* LG 전자 DM 연구소 DCT 그룹  
E-mail : sondo@lge.com  
Tel : (02) 526-4777, Fax : (02) 526-4801

\*\* LG 전자 DM 연구소 DCT 그룹

diagram or FRF diagram)를 구하여 진동의 공진 성분을 추정하는 방법과 드라이브 시스템의 주파수 선도에서 광픽업의 진동 특성을 추정하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다. 그러나 액추에이터 주파수 선도 측정에서는 액추에이터의 기계적 특성을 외부 센서로 측정하는 개념이기 때문에 실제 외부 센서를 이용할 경우 기하학적 한계 및 측정 위치의 선택 문제등에 의해 광픽업 특성에 영향을 미치는 대물렌즈의 진동 특성을 정확히 표현한다고는 볼 수 없다. 또한 드라이브 시스템의 주파수 선도에서는 광픽업 자체의 광학적 진동 특성을 파악하기 어렵고 서보 계와 개발 초기 불완전한 드라이브 시스템에서 발생하는 잡음 들의 원인으로 물리적 진동 성분을 정확히 분석하기가 어렵다. 따라서 액추에이터와 픽업 베이스 고정부의 진동 경로와 광학적 경로의 영향등에 대한 픽업 자체 관점에서 주파수 특성을 확인하기 위한 요구가 발생하였고 이에 본 논문에서는 액추에이터와 광 경로가 포함된 광픽업에서의 주파수 특성을 정확히 파악하기 위하여 픽업의 PD상의 출력 신호를 대상으로 주파수 특성을 획득하는 새로운 방법을 제안한다.

본 논문에서는 광픽업 주파수 선도의 특성과 적용을 확인하기 위하여 개발 과정의 광픽업을 장착하고 획득한 광픽업의 주파수 선도를 구할 것이며, 이것은 도플러 측정기(doppler laser vibrometer)로 얻은 액추에이터의 주파수 선도와 드라이브 시스템에서 획득한 시스템의 주파수 선도들과 비교될 것이다. 주파수 선도들의 비교에서 광픽업 주파수 선도는 액추에이터의 주파수 특성을 포함하며 시스템 전체의 주파수 선도를 미리 예상할 수 있는 유사한 주파수 특성을 가지고 있음을 확인할 수 있다. 광픽업 주파수 선도의 활용 방법으로 광픽업 설계에서 발생한 이상 공진 특성을 정확히 분석하고 이 결과로부터 공진 대역의 발생 원인을 기존의 경우보다 신속하게 찾아 광픽업의 기계적 이상 공진 성분을 개선할 수 있었으며 광픽업 주파수 선도의 적용에 대한 유용성을 확인할 수 있었다.

## 2. 액추에이터와 시스템 주파수 특성

### 2.1 액추에이터 주파수 특성

실제 과정의 광 저장매체에서 광픽업의 주파수 특성을 측정하고 결과를 반영하는 실험을 수행하

였다. 우선 광픽업 액추에이터의 주파수 특성을 획득하기 위하여 Fig. 1 과 같은 실험장치를 구성하여 실험을 하였으며, 실험에는 개발 과정의 광픽업과 도플러 측정기, 동적신호분석기(dynamic signal analyzer)를 이용하였다.<sup>(6)</sup> Fig. 2의 실험 결과는 액추에이터의 트래킹 방향에 대한 주파수 선도를 나타낸다. 도플러 측정기는 외부 인가 전압에 대한 액추에이터의 동작이 레이저에 의해 간접 측정이 되며, 실험 결과에서 고차공진 대역을 제외한 주파수 전 영역에 대하여 발진특성이 보이지 않고 있다. Fig. 2에서는 5kHz 대역에서 위상 뒤짐(phase lag) 현상의 부차공진이 발생하고 있다.

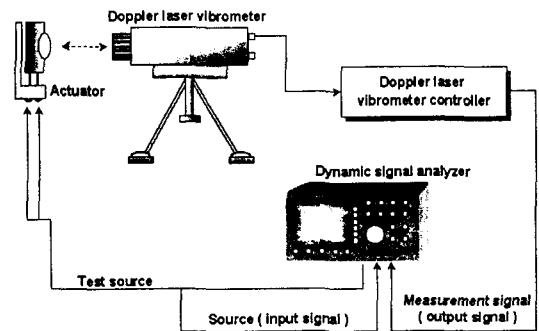


Fig. 1 Schematic of the FRF test for the actuator

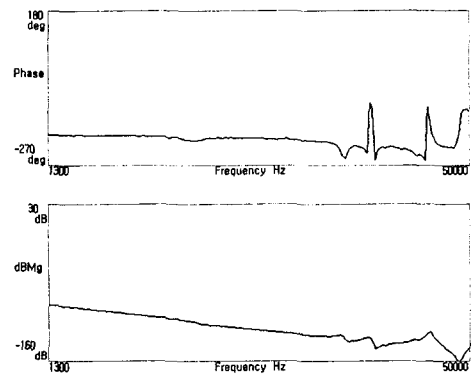


Fig. 2 Bode diagram for the actuator

### 2.2 시스템 주파수 특성

광픽업을 시스템과 연결하여 시스템 전체의 주파수 선도를 구하는 실험장치 구조는 Fig. 3 과 같으며 Fig. 4 는 그 결과이다. 이때 시스템의 주파수 특성을 얻기 위해 페루프 드라이브 시스템의 개루프(open loop) 주파수 특성을 획득한다.

Fig. 4의 드라이브 시스템 주파수 선도에서는 액추에이터의 절점 주파수(break frequency or corner frequency)대역이 보이지 않고 있으며 시스템의 제어기와 게인 및 필터들의 영향으로 절점 주파수 대역이 1kHz 대역으로 바뀌었다. Fig. 4의 원호로 표시된 주파수 대역에서는 드라이브 시스템의 서보가 불안정한 현상을 나타내었다. 이와 같은 경우 발진 원인을 찾기 어려우나 본 논문에서는 광픽업의 주파수 선도를 이용하여 보다 신속하게 발진 인자에 접근할 수 있었으며 그 결과는 3장에서 설명될 것이다.

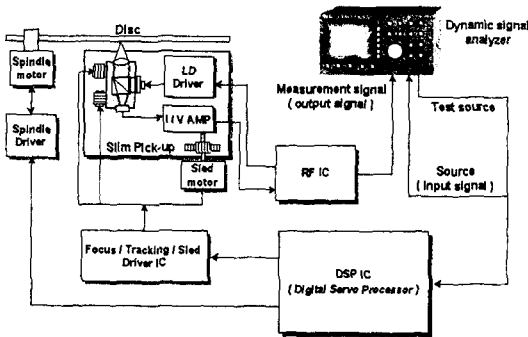


Fig. 3 Schematic of the FRF test for the optical system

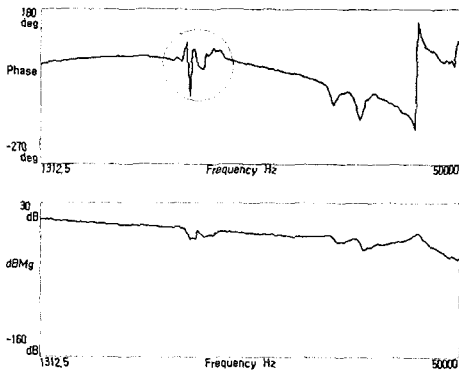


Fig. 4 Bode diagram for the open loop system

### 3. 광픽업 주파수 특성

#### 3.1 광픽업의 주파수 특성

광픽업의 주파수 특성을 획득하기 위한 시스템 구성은 Fig. 5이다. 광픽업의 PD 출력 신호를 이용한 주파수 특성을 획득하기 위해서는 서보가 동작하는 상태이어야 하며, 서보가 동작된 상태의 신호 흐름은 시스템의 RF IC에서 출력되는 트랙

킹과 포커싱 서보의 에러 신호가 회로적인 루프와 DSP IC내의 서보 제어를 지나 최종적으로 광픽업의 출력 드라이브 IC로 신호를 보냄으로써 구성된다. 이 출력 드라이브 신호를 광픽업의 입력 신호로 정하고, 광픽업의 PD 출력 신호가 RF IC를 거친 구동계 오차신호를 광픽업의 출력신호로 정함으로써 광픽업의 주파수 선도를 획득할 수 있게 된다.

실험에서는 다양한 광디스크에 적용 가능한 목적으로 설계된 강인한 제어를 이용하기 위해 트랙킹 서보의 에러 신호에 외부 가진 신호를 인가시켰으며 이를 구성하기 위하여 전용 보드를 제작하였다. 2장의 Fig. 4에서 드라이브 시스템의 서보가 불안정 하였던 주파수 대역이 광픽업 주파수 선도인 Fig. 6에서도 존재하고 있으며 이것은 불안정성의 발생 인자가 광픽업에 존재함을 설명하는 것이다. 또, Fig. 2에서 구동부인 액추에이터는 발생 인자가 아니라는 사실이 확인되며 이와 같은 결과를 바탕으로 재차 광픽업의 설계를 재검토하여 본 결과 액추에이터와 광픽업의 연결 부위에 취약점을 발견하였다. 이 취약점을 보완하는 재설계 후 최종적으로 획득한 시스템과 광픽업의 주파수 선도는 Fig. 7과 Fig. 8이며 그림들은 3장 테이블 뒤에 첨부되어 있다. 그림들에서는 기존의 불안정 하였던 주파수 대역이 제거되어 광픽업 시스템이 안정된 주파수 특성을 가지고 있음을 알 수 있다. 트랙킹 방향의 광픽업의 주파수 선도를 그린 Fig. 6에서는 주파수 선도의 크기가 액추에이터의 주파수 선도의 크기에서 옅게 되어 있으며 이것은 액추에이터 주파수 특성 이외에 광학계와 IC의 주파수 특성이 결합된 결과이다.

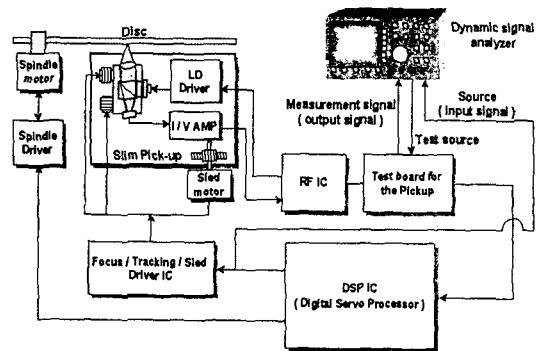


Fig. 5 Schematic of the FRF test for the optical pickup

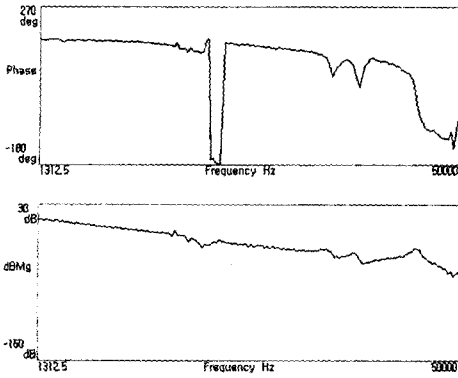


Fig. 6 Bode diagram for the optical pickup

#### 4. 주파수 특성 분석

##### 4.1 주파수 선도의 특성 분석

앞장에서 액츄에이터와 드라이브 시스템 그리고 광픽업의 관점에서 주파수 선도를 획득하였다. 각각의 실험 결과는 액츄에이터 고정부 구조와 광픽업 베이스 고정 지지 구조를 최적으로 수정한 후의 결과와 수정 전의 초기 결과를 비교하여 Table 1에 정리하였다. Table 1에서 최종 재설계 후의 고차공진 점이 동일하게 유지되고 있음을 알 수 있으며 고차공진 점은 액츄에이터 가동부의 형상 구조로 발생하는 공진으로 고정부 변화에 따라 변하지 않는 것을 확인할 수 있다. 이상공진 (abnormal resonance) 점의 경우에 있어서는 광픽업 주파수 선도와 시스템 주파수 선도가 유사 주파수 대역에 존재하고 있으며 주파수 선도의 크기에 있어서는 액츄에이터 주파수 선도의 크기보다는 시스템의 주파수 선도 크기에 근접하고 있다. 실제로 재설계 전의 시스템과 광픽업 주파수 선도인 Fig. 4와 Fig. 6 그리고 재설계 후의 결과인 Fig. 7과 Fig. 8을 비교하면 크기에 있어서는 시스템의 주파수 선도 크기는 광픽업 주파수 선도의 크기에 옅색의 효과가 더해진 유사성을 가지고 있다. 이것은 광픽업 주파수 선도가 액츄에이터의 특성을 포함하고 있으면서 시스템 주파수 선도에서 나타나는 주파수 특성을 가지고 있는 것을 확인시켜 준다. 결과적으로 드라이브 시스템이 안정되지 않더라도 정확한 광픽업 주파수 선도를 본 논문에서 제시한 방법으로 구한다면 드라이브 시스템의 안정화되기 이전에 광픽업의 최적 설계가 가능하다는 장점을 광픽업 주파수 선도는 가지고 있는 것이다. Table 1의 마지막 항목인 1kHz 대역의 주파수 선도 크기에서 광픽업과 드라이브 시스템이 서

로 다른 이유는 시스템에 포함된 위상 보상 제어기와 게인 들의 영향이다.

Table 1 Comparison of the FRF test results

REDESIGN ?	ACTUATOR	OPTICAL PICK-UP		SYSTEM CLOSED LOOP	
		BEFORE	AFTER	BEFORE	AFTER
HIGH RESONANCE(MHz)	16.1	15.8	16.1	15.8	16.1
ABNORMAL RESONANCE(Hz)	<del>4.3</del>	5.4	<del>4.3</del>	4.3	<del>4.3</del>
1kHz dB (MAGNITUDE)	-43.4	-17.4	-13.7	-13.0	-10.9

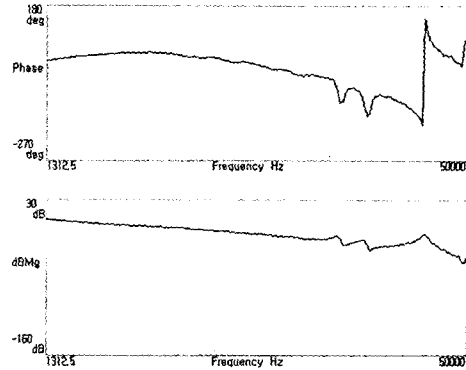


Fig. 7 Bode diagram for the open loop system

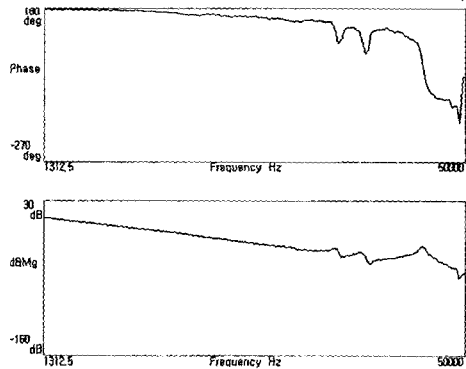


Fig. 8 Bode diagram for the optical pickup

#### 5. 결론

기존에는 액츄에이터 단품과 전체 시스템이 완성된 상태의 주파수 특성만을 이용한 설계 과정을 가졌으며 가동부인 액츄에이터가 조립되는 광픽업에서는 지금까지 명확한 주파수 특성을 파악하기 어려운 상황이었다.

그러나 본 논문에서 제시한 광픽업의 주파수

선도 획득 방법을 적용함으로써 기존에는 시스템 주파수 선도에서나 간접 파악이 가능한 광픽업의 주파수 특성을 정확하게 측정 가능하게 되었으며 광픽업 설계 과정에서 안정되고 완전한 시스템이 갖추어야 획득이 가능한 드라이브 시스템의 주파수 선도를 대신하여 광픽업 설계에 이용할 수 있음을 개발 과정의 광픽업에 적용하는 실험을 통하여 확인하였다. 또한 광픽업 주파수 선도는 액츄에이터의 구동계와 연계되어 광학계에 미치는 기계적 진동 영향 또한 확인할 수 있는 장점을 가지고 있음도 확인하였다.

본 논문에서 제시한 광픽업 주파수 선도는 광픽업이 소형화와 다기능, 고성능화에 따라 고주파 대역의 안정된 주파수 특성을 요구하는 시점에서 안정화된 드라이브 시스템 주파수 선도를 구하기 전에 정확한 광픽업의 주파수 선도를 획득할 수 있는 방법이며, 이와 같은 측면에서 안정되고 정밀한 광픽업 설계 및 개발 기간 단축이라는 큰 이점을 가지게 될 것이다.

### 참고문헌

- (1) I. H. CHOI. et al, 1998, "Concentrated Anisotropic Magnetization for High Sensitivity of Optical Pickup Actuator", IEEE trans. on Magnetics, vol. 35 No. 3, pp. 1861~1864.
- (2) 최인호 등, 2000, "렌즈 돌출형 광픽업 액츄에이터의 구동 성능 향상을 위한 Force 특성 분석", 한국소음진동공학회 창립 10주년기념 소음진동 학술대회 논문집 2000, pp. 1555~1560.
- (3) S. H. HONG. Et al, 2001, "Force Characteristics of Slim Pickup Actuator to Improve Actuating Performances", Japanese Journal of Applied Physics. vol. 40, pp. 1771~1774.
- (4) Shozo Saegusa. et al, 1994, "Modal Modeling and Simplified Modal Damping Evaluation in Higher Modes for Objective Lens Actuator", Trans. Jap. Soc. Mech. Eng. C. vol. 60. No. 567, pp. 2664~2669.
- (5) Junichi Ichihara. et al, 1992, "Development of Actuators for Small-size Magneto-optical Disk Drivers", Japanese Journal of Applied Physics. vol. 31, pp. 519~523.
- (6) Advantest., 1989, FFT Servo Analyzer instruction manual, Advantest corporation., Japan.