

# 광 디스크 드라이브의 픽업 액츄에이터 설계

## Design of Optical Pickup Actuator

조유호, 조석환, 이광석, 오재건(대우전자 OM연구소); 최영석(인덕공전)  
 Cho, YuhHo; Zoh, SokHwan; Lee, GwangSok; Oh, JaeGyon; Choe YongSok

### ABSTRACT

In order to design a system a process or plant must be put into a mathematical form for analysis and evaluation, and an appropriate controller must be designed to attain the desired system response. In this paper, the mathematical model for an optical pickup actuator is proposed and an  $H_{\infty}$  controller is employed to obtain the optimal focusing/tracking servo system behavior. Simulation and experiments are carried out to verify the performance of the proposed model.

**Key Words:** optical pickup actuator, holder lens, yoke, damping, compensator,  $H_{\infty}$

### 1. 서 론

최근 광학 기술을 이용한 정보 처리 및 저장 기술은 정보화 사회의 진행과 발 맞추어 빠른 속도로 발전하고 있다. 초기 전문적인 음향 기술을 위한 분야에서부터 가정용 오디오, 비디오 분야와 컴퓨터 정보 저장 영역과 같은 민수용 제품에 까지 그 사용 분야가 확대되었다.

1979년 비접촉 광학 방식 디지털 오디오 시스템에 처음 적용되기 시작한 CD는 이후 컴퓨터에는 CD-ROM으로 가정에는 오디오, 비디오 기기로 보급되면서 많은 변화를 겪어 왔다. 또한 CD의 한 부류로 취급되는 DVD(Digital Versatile Disc)는 저장 가능한 정보량의 확대라는 측면에서 새롭게 부상하고 있다.

이들 광매체는 Optical Pickup이라는 핵심 부품의 사용이 공통적이다. 이는 신호를 기록, 재생하는 역할을 하는 것으로 고도의 기술이 집약되어 있는 고부가가치의 부품이다.

이에 본 논문에서는 당사에서 개발한 Optical Pickup Actuator의 설계 방법을 소개하여 향후 타 기종 개발에 참고 자료로 활용할 수 있도록 하고자 한다.

### 2. 액츄에이터 구조

픽업 액츄에이터는 Linear Motor 또는 Voice Coil Motor와 개념을 같이 하고 있다.

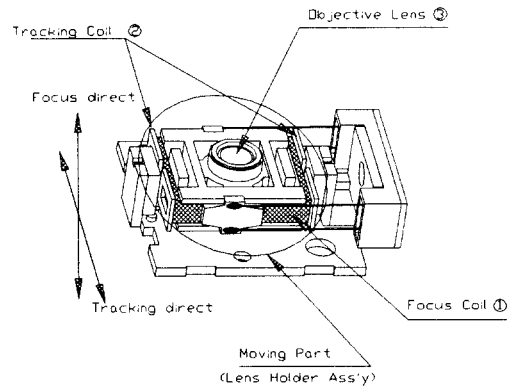


Fig. 2.1 Actuator Assembly

#### 2.1 병진 운동계와 전자기계

Fig. 2.1은 병진 운동계와 전자기계로 표현된다.

$$F(t) = M \frac{d^2}{dt^2} x(t) + D \frac{d}{dt} x(t) + Kx(t) \quad (2.1)$$

$$F(t) = i(t)IBn \quad (2.2)$$

$$V(t) = L \frac{d}{dt} i(t) + Ri(t) \quad (2.3)$$

#### 2.2 액츄에이터 스펙

액츄에이터 스펙 선정은 ISO규격(RED BOOK)과 Photo Diode 스펙, 액츄에이터 Servo 회로 스펙 등과 동시에 양산성, 조립성, 제조 원가의 측면을 고려하여야 한다. 이에 흔히 타입보다는 가격과 기술적 측면에서 유리한 Wire 타입을 채용하고 광학계에서는 조립과 조정에 유리한 홀로그래프 방식을 택했다

### 3. 설계 파라미터 선정

#### 3.1 병진 운동계 (Dynamic System) 설계

##### 3.1.1 Holder Lens 설계

(1) 조립성을 고려한 설계-지그와 지그 안착부, 납땜 시 타 부품과의 간섭 등을 고려하여 설계  
 첫째, Holder Lens Assembly의 무게 중심과 힘의 작용 중심이 일치하도록 하여 Rolling, Pitching 등으로 인한 안정도 저하를 방지한다-사출 공차, 조립 지그 가공 공차 및 조립 공차 등을 정밀하게 함

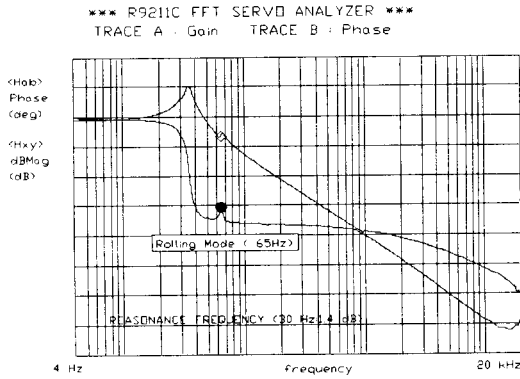


Fig. 3.1 Rolling Mode : Focusing

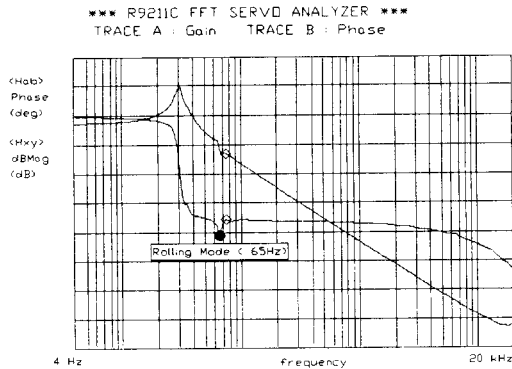


Fig. 3.2 Rolling mode : tracking direction

Fig. 3.2는 접착 상태가 견고하지 못하여 잔공진이 발생하는 것을 보여준다- 조립 오차로 발생.

둘째, 부공진이 고주파 영역에서 발생하도록 구조 및 재질을 선택한다-해석이 난해하므로 대부분 경험에 의존.

\*\*\* R9211C FFT SERVO ANALYZER \*\*\*  
 TRACE A : Gain TRACE B : Phase

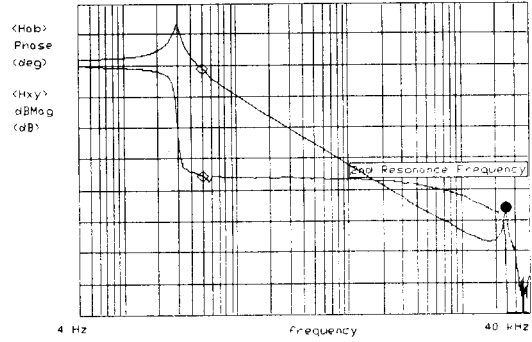


Fig. 3.3 부공진 : focusing direction

\*\*\* R9211C FFT SERVO ANALYZER \*\*\*  
 TRACE A : Gain TRACE B : Phase

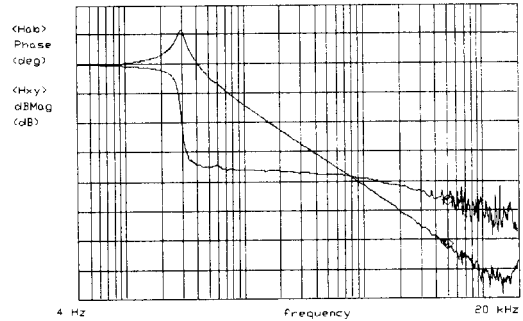


Fig. 3.4 Holder Lens Ass'y의 Bonding 불량(잔공진)

특히 Holder Lens는 액츄에이터의 구동 감도 및 특성 향상을 위하여 소형, 박형화가 필요하지만 이 경우 자체 공진점이 낮아져 시스템의 안정도가 문제가 되게 되므로 높은 경도 또한 요구된다. 본 액츄에이터의 부공진은 20kHz보다 높게 위치하므로 보상기 설치 후 그 크기가 0dB 이하로 관리될 수 있어 안정도에 영향을 미치지 않는다.

#### 3.1.2 Wire Suspension 설계

선형적 구간에서 스프링 상수 K는 다음과 같다.

$$f(t) = Kx(t) \quad (3.1)$$

$$K = \frac{12E\pi r^4}{\beta} \quad (3.2)$$

#### 3.1.3 댐퍼 설계

$$f(t) = D \frac{dx(t)}{dt} \quad (3.3)$$

$$Q = 20 \text{LOG} \frac{D}{2\sqrt{MK}} \quad (3.4)$$

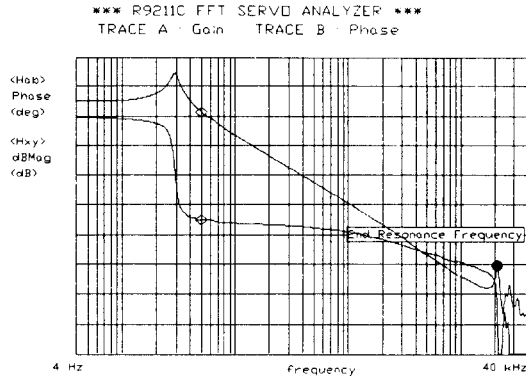


Fig. 3.5 부공진 : tracking direction

일반적으로 Q Factor는 Servo 설계 시 회로 상으로 조정할 수 있는 Factor이나 Servo 회로의 단순화를 위해 액추에이터에서 미리 조정하여 주면 좋다. 5 Hz DC Gain의 1.2 ~ 1.3 배로 설계->댐핑선정

### 3.2 전자기계(Electromagnetic System)

#### 3.2.1 Yoke 설계

Yoke는 자속의 통로를 제공하고 Tilting을 조정하는 부분으로 공극 내에서 균일하고 큰 자속을 형성할 수 있는 구조를 갖추어야 한다. 특히 Tilting 조정부 R의 중심점은 Objective Lens의 주점의 위치에 있어야만 Tilting 조정 시 광축 상에서 Objective Lens의 중심이 이탈되지 않도록 할 수 있다.

#### 3.2.2 자석설계

Yoke의 공극 내의 자속은 액추에이터 DC Gain에 직접 영향을 주므로 설계 시 다음 사항을 고려한다.

- ① 자장의 세기가 큰 것을 택할 것->중량 감소
- ② 고온(100°C 이상)에서 자속 감소가 없을 것.
- ③ 자석을 Yoke에 취부 시 Yoke의 바닥에서 약 0.5mm 정도 떨어지게 할 것. 자석이 Yoke의 바닥에 닿는 경우 모서리 부분의 자속의 상당량이 Yoke의 바닥 면으로 흘러 효율의 저하를 가져온다.

#### 3.2.3 코일의 설계

##### (1) Focusing 코일

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad ; \text{저항} \quad (3.5)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{2\pi f L}{R} \right) \quad ; \text{인덕턴스} \quad (3.6)$$

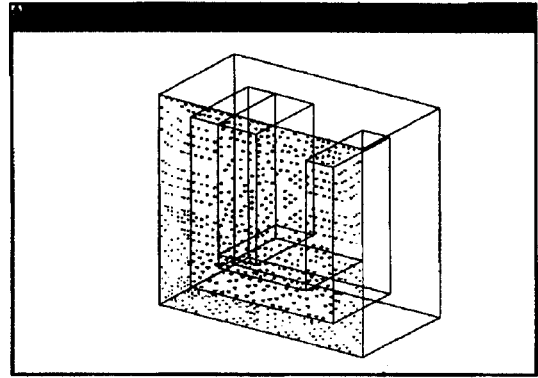


Fig. 3.6 Plot of flux vector inside the yoke(MAXWELL)

전기장 내부에 영구자석이 존재하는 경우 코일의 인덕턴스 해석이 어렵기 때문에 Focusing 코일 내부에 Yoke만 존재하는 경우의 인덕턴스를 계산한 후 1.27을 곱하여 사용하였다(영구자석에 의해 인덕턴스가 약 27% 감소함을 실험적으로 규명).

##### (2) Tracking 코일

R값 계산은 Focusing 코일의 경우와 유사하다.

### 4. 시뮬레이션

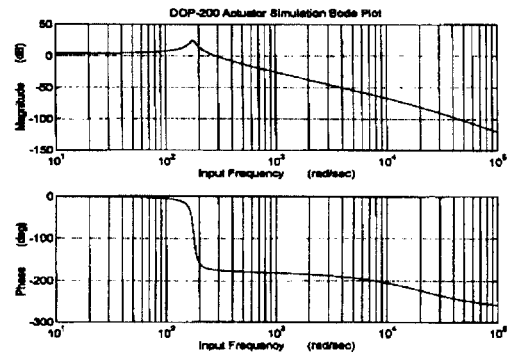


Fig. 4.1 FRF of the whole plant

$$\frac{V(s)}{X(s)} = \frac{285.4}{178.9} \cdot \frac{31272.72}{s^2 + 17.681s + 31272.72} \cdot \frac{20800}{s + 20800} \quad (3.7)$$

(※ K값의 계산치는 34.4N/m이나 댐핑의 영향으로 39.0 N/m로 증가하는 것이 실험적으로 나타났다.) DC Gain이 약 1.6 mm/V임을 알 수 있다.

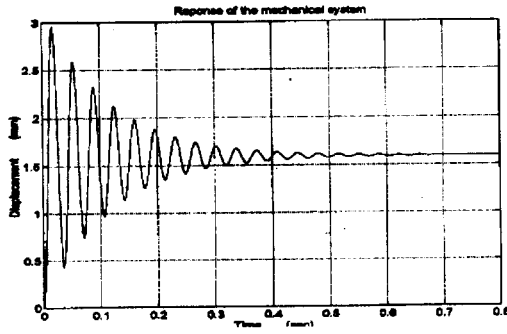


Fig. 4.2 Step response(simulation)

### 5. 제작 및 동특성 실험

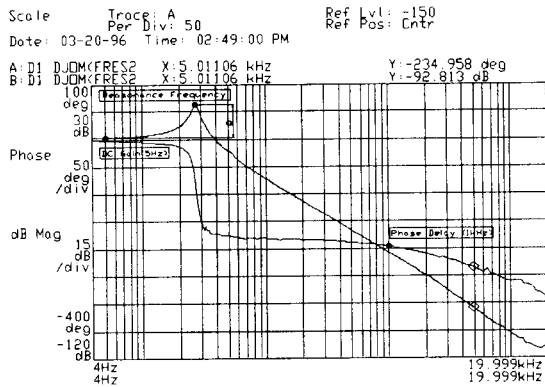


Fig. 5.1 FRF(focusing direction)

구분	Focus	Tracking	단위	비고
DC Gain (5Hz)	1.3 / 1.6 / 1.3	0.70 / 0.81 / 0.67	mm/V	*
Phase (1kHz)	-193 / -194 / -192.7	-182 / -184 / -183.4	Hz	
공진 주파수	30 / 28.1 / 29.5	30 / 28.1 / 29.7	deg	
DC R	5.2 / 5.2 / 5.2	4.9 / 4.8 / 5.2	ohm	
Q Value	16 / 16 / 17.3	20 / 20 / 20.6	dB	

표 5.1 Actuator의 동특성

※주) ( 목표값 / Simulation / 실험 결과 )

**DC Gain(5 Hz):** DC Gain(5 Hz)은 예상 값보다 다소 작게 측정되었다. 이는 K 값이 Silicon Gel에 의해 증가했기 때문이다.

**공진 주파수:** 공진 주파수의 설계치와 실측치의 편차 원인도 DC Gain(5 Hz)의 변화 원인과 동일하다.

**Phase(1 kHz):** 정확히 일치하였다.

**DC R:** 정확히 일치하였다.

**Q Value:** 실험적으로 구하였고 목표치에 상당히 접근했다.

표 5.1의 결과로부터 시뮬레이션 결과와 실험 결과가 잘 맞는 것을 통하여 앞에서 기술한 액추에이터의 설계 방법의 타당성을 알 수 있다.

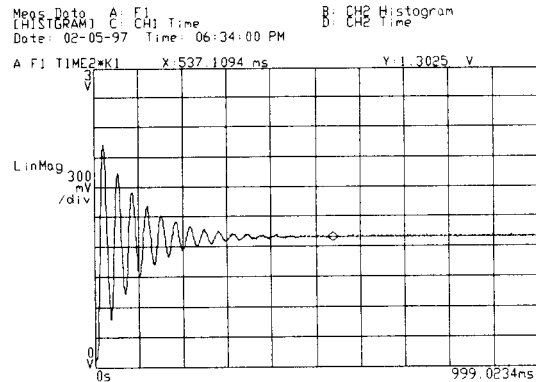


Fig. 5.2 Step response(focusing direction; experiment)

※주) Fig. 5.2에서 우측 상단의 Y: 1.3025V는 액추에이터의 DC Gain을 표시하는 수치이다.

액추에이터의 설계 시 양산성, 조립성, 경제성, 성능 등의 측면을 함께 고려하여 설계하는 것이 가장 중요하다. 또한 시뮬레이션에서 발견할 수 없는 사항들-고주파 영역에서의 잔공진(Holder Lens Assembly의 Bonding이 약하기 때문) 및 고온, 저온에서 액추에이터와 Objective Lens의 Tilting 발생(Bond의 변형) 등-은 치명적이지만 해석하기 어려운 부분이다.

추후 과제로서 당사의 Focusing/Tracking 코일을 각각 따로 권선하여 Lens Holder에 부착, 조립하는 방식에서 벗어나, 이를 하나의 PCB로 제작하여 Lens Holder Assembly를 제작한다면 보다 생산성과 경제성을 갖추면서 불량률도 개선된 제품을 생산할 수 있겠다.

### 6. 보상기와 $H_{\infty}$ 를 이용한 제어

#### 6.1 진상,지상 보상(Lead-Lag Compensation)

$$G_c(s) = 1.7721 \times \frac{s+3436}{s+34704} \frac{s+415}{s+212} \quad (6.1)$$

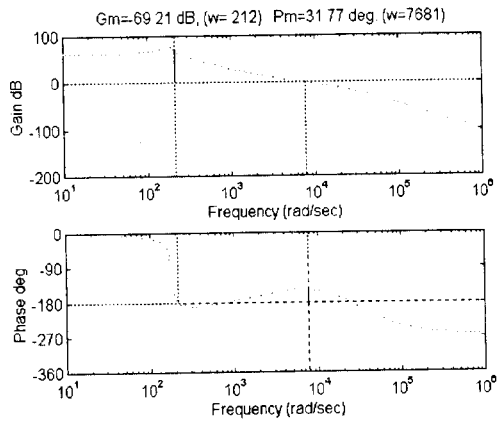


Fig. 6.1 Gain margin & phase margin

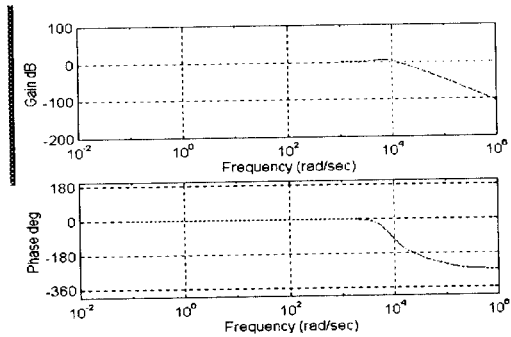


Fig. 6.2 Bode plot of the closed loop system with lead-lag compensator

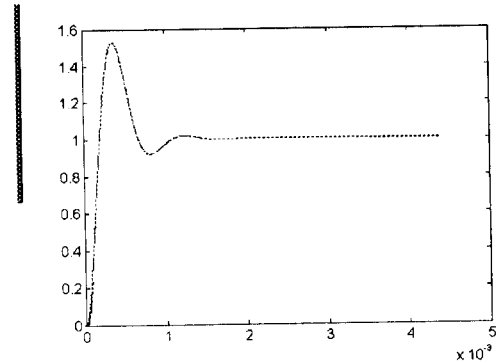


Fig. 6.3 Step response

## 6.2 $H_\infty$ 제어

다음은  $H_\infty$  이용하여 제어를 수행한 결과이다.

$$G_c = \frac{(2.54 \times 10^8 s^5 + 2.55 \times 10^{15} s^4 + 1.53 \times 10^{20} s^3 + 2.08 \times 10^{24} s^2 + 4.15 \times 10^{25} s + 6.50 \times 10^{28})}{(s^6 + 1.04 \times 10^7 s^5 + 4.21 \times 10^{12} s^4 + 8.61 \times 10^{17} s^3 + 1.06 \times 10^{23} s^2 + 2.09 \times 10^{26} s + 1.04 \times 10^{29})} \quad (6.2)$$

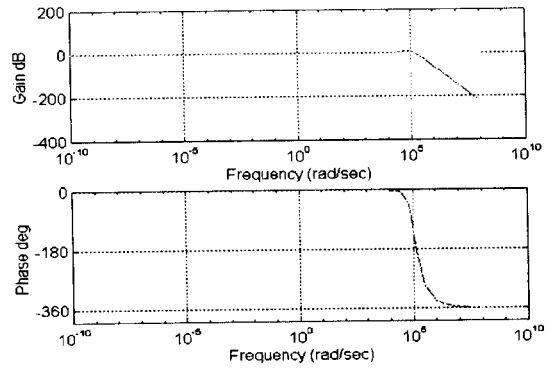


Fig. 6.4 Bode plot of the closed loop system (with  $H_\infty$  controller)

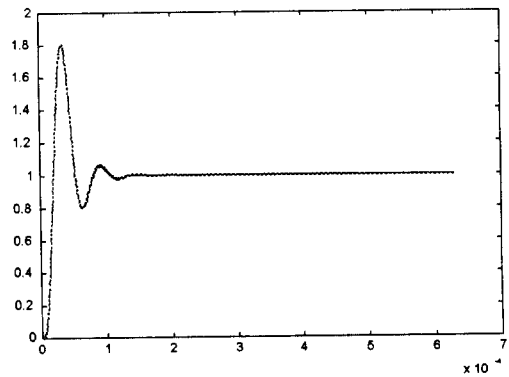


Fig. 6.5 Step response

## 참고 문헌

1. Bouwhuis, J. Braat et al., 1986, *Principles of Optical Disc Systems*, Adam Hilger Ltd.
2. A. E. Fitzgerald et al., *Electric Machinery*, McGraw-Hill Series in Electrical Engineering
3. J. M. Maciejowski, 1994, *Multivariable Feedback Design*, Addison Wesley.