

# 광 픽업 조정기를 위한 디지털 서보 시스템의 모델링

## Modeling of Digital Servo System for Optical Pickup Tuner

곽한섭, 백광렬

(Han-Seop Kwak, and Kwang-Ryul Baek)

**Abstract** : CD-ROM(Compact Disk-Read Only Memory) is very attractive storage media because it has much storage space but is small size and portable. Optical pickup, one of the most important parts for reading data on a CD-ROM, is not produced tuned up. For the use of goods, we must tune up the optical pickup by adjusting the screw for adjustment. First, we developed analog servo system for optical pickup tuners. For eliminating some problems in analog servo system, this paper designed the modeling of digital servo system for optical pickup tuner. Though the characteristics of optical pickup are changed, the digital servo system for optical pickup tuner can easily apply to all pickup, and can reduce the measurement error among the optical pickup tuners. For the purpose of confirming the designed digital servo system, we produced data that specify the disk vibration and the disk eccentricity, and simulated servo system with MATLAB.

**Keywords** : optical pickup, digital servo, CD-ROM

### I. 서론

CD-ROM에 기록된 데이터를 읽어내는 주요 부품인 광 픽업은 조정이 안된 상태로 생산된다. 그러므로 광 픽업을 제품에 사용하기 위해서는 광 픽업에 장치된 여러 개의 조정 나사를 돌려서 성능을 최상의 상태로 조정하는 단계가 필요하다. 광 픽업을 조정하기 위해서는 광 픽업을 제어하여 CD-ROM에 적힌 데이터를 읽으면서 그 데이터를 오실로스코프, 지터 미터 등의 장비를 사용하여 측정해야하는데, 이를 위해 광 픽업 조정기가 필요하다. 광 픽업 조정기는 광 픽업으로부터 나온 신호로부터 제어를 위한 오차 신호를 만든 후 이를 이용해서 포커싱 서보와 트래킹 서보, 피드 서보와 회전 서보를 수행한다. 최근에 우리는 애널로그 서보를 이용한 광 픽업 조정기를 제작하였다. 그러나 애널로그 회로를 이용하여 광 픽업을 제어할 경우 광 픽업의 특성이 바뀌면 그에 맞도록 회로를 수정하기가 어려우며, 부품의 값들이 매우 정밀하지 않으면 조정기에 따른 측정 오차가 생길 수 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 본 논문에서는 광 픽업조정기의 제어 부분을 애널로그 회로대신 DSP(Digital Signal Processor)를 사용한 디지털 서보 시스템으로 변경하고자 한다. DSP를 이용한 디지털 서보 시스템으로 광 픽업 제어를 구성했을 경우 내부 소프트웨어의 변경만으로 여러 광 픽업 모델들에 쉽게 적용 가능하고, 부품 값들의 변동에 따른 조정기 사이의 측정 오차도 줄일 수 있다.

논문의 본문에서는 광 픽업 제어에 대한 이론적인 설명[1]과 포커싱 액추에이터와 트래킹 액추에이터의 모델링한 결과를 바탕으로 설계한 디지털 광 픽업 서보 시스템을 MATLAB을 이용하여 모의 실험을 하고, 결론에서

모의 실험한 결과 분석을 통해서 디지털 제어기의 가능성을 보였다.

### II. 광 픽업 서보에 대한 개요

1. 레이저 출력 안정화 서보(APC: automatic power control)  
레이저 광선을 투사하여, 디스크의 정보를 읽는 CD 플레이어는 레이저 출력이 변동하게 되면, 리드 오차가 발생할 가능성이 있다. 따라서 항상 일정한 광량으로 레이저 광선을 투사할 필요가 있는데, 레이저 출력 안정화 서보가 이를 담당한다.

2. 포커싱 서보(Focusing Servo)

포커싱 서보는 렌즈와 디스크와의 신호 면의 거리를 일정하게 유지하기 위한 서보이다.

CD와 같이 광학 디스크에는 디스크의 신호면 상에 광의 초점을 정확히 맞추지 않으면 새겨진 정보를 올바르게 읽지 못한다. 포커싱 서보는 디스크가 회전할 때 발생하는 상하 움직임을 따라가기 위해 광 픽업을 상하로 움직이도록 되어 있다.

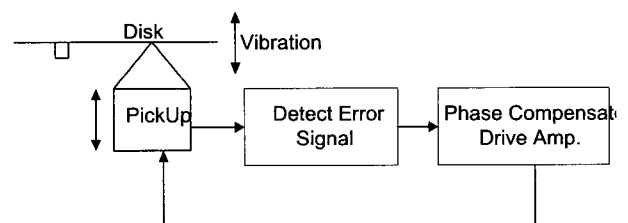


그림 1. 포커싱 서보의 블록 다이어그램.

Fig. 1. Block diagram of focusing servo.

1) 디스크의 면 진동 사항

디스크의 신호 면은 휘어짐과 요철이 없는 평면으로 되어 있는 것이 이상적이지만 실제로는 상당히 많은 휘어짐과 요철이 있다. 표 1은 디스크가 변형되어 휘어져 있는 상태로 회전했을 때 일어나는 면 진동에 관한 디스

접수일자 : 1998. 4. 20., 수정완료 : 1998. 9. 22.

곽한섭, 백광렬 : 부산대학교 전자공학과

\* 본 연구는 부산대학교 기성희 재원 학술연구조성비에 의한 연구입니다.

표 1. 디스크의 면 진동 규격.  
Table 1. The specification of disk vibration.

항 목	사 양	
	500Hz 이하	500Hz 이상
최대 면 진동(μm)	±500	±1
면 진동 최대 가속도(%)	10	—

크 사양을 표시한 것이다.

디스크가 회전하면서 발생하는 면 진동 가운데에 중심 주파수  $f$ 의 성분이  $\delta$ 만큼의 진폭으로 진동하고 있는 면 시간  $t$ 에 대한 변위( $x$ )는

$$x = \delta \sin \omega t \quad (1)$$

속도( $v$ )는

$$v = \delta \omega \cos \omega t \quad (2)$$

가속도( $a$ )는 다음과 같다.

$$a = -\delta \omega^2 \sin \omega t \quad (3)$$

(3)과 표 1에서 주어진 면 진동 규격으로부터 다음을 구할 수 있다.

$$10(m/s^2) = a_{\max} = \delta \omega^2 = \delta(2\pi f)^2 \quad (4)$$

$$\therefore f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{10}{\delta}} \quad (5)$$

표 1의 디스크 면 진동 규격으로부터

$$\begin{aligned} \delta = 1\mu m & : 503\text{Hz} \\ \delta = 500\mu m & : 22\text{Hz} \end{aligned} \quad (6)$$

이상을 그림으로 표시하면 다음과 같다.

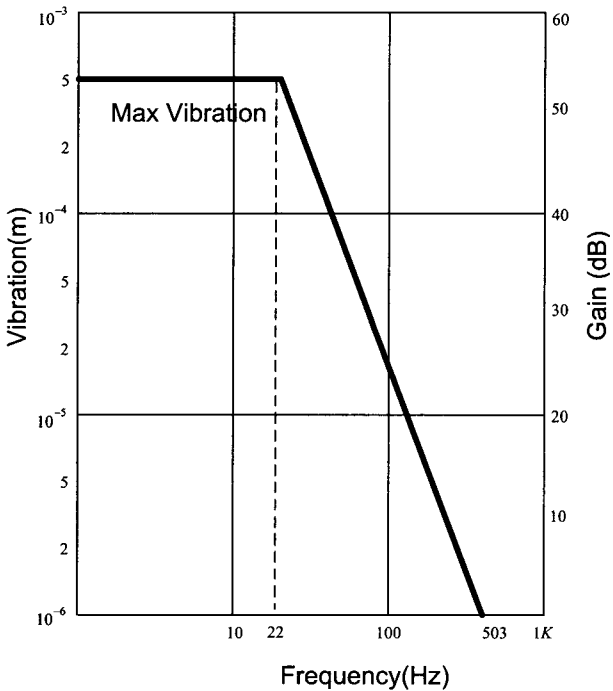


그림 2. 디스크 면 진동 사양.  
Fig. 2. Specifications of disk vibration.

2) 포커싱 서보의 제어 목표

광학 렌즈에 있어서 광의 파장  $\lambda$ , 렌즈 개구율  $NA$ 와, 스포트 직경  $d$  및 초점과 초점 심도  $h$ 는 다음과 같다.

$$\text{광 스포트 직경 } d \approx \frac{\lambda}{NA} \quad (7)$$

$$\text{초점 심도 } h \approx \frac{\lambda}{(NA)^2} \quad (8)$$

피트 정보를 정확히 읽어 내고, 서보계의 설계를 완벽하게 하기 위해서는 광 스포트 직경이 작고, 초점의 범위가 넓은 것이 요구되지만,  $NA$ 는 이런 2개의 요구에 대하여 상반되는 특성이 있다.  $NA$ 를 작게 하면 초점 심도가 깊어져서 서보계의 설계는 쉬워지지만, 스포트 직경이 크게 되어 인접 트랙의 영향을 받기 쉬워진다. 반대로  $NA$ 를 크게 하면 스포트 직경은 작아지지만, 초점 심도가 얕아져서 피트에서 떨어지기 쉬우므로 서보계의 설계가 어렵게 된다. 그런데 디스크 규격에 의하면 트랙 피치는  $1.6\mu m$ 이므로 인접 트랙의 영향을 받지 않게 하기 위해서는, 스포트 직경이  $3.2\mu m$ 이하로 되면 되겠지만, 광의 강도 분포 및 트랙 피치의 흠어짐 영향을 고려하여, 트랙 피치와 거의 같은 크기가 되도록 설계한다.

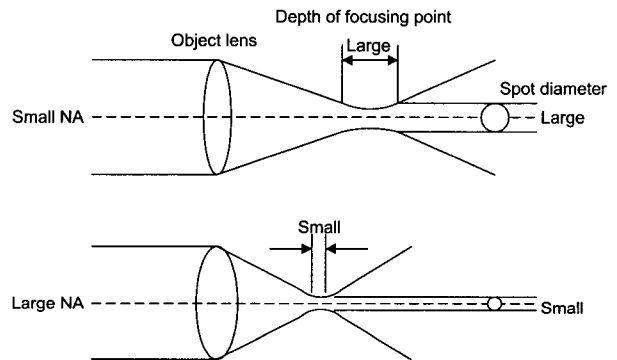


그림 3. 렌즈 NA와 초점 심도 스포트 직경과의 관계.  
Fig. 3. Relationship between NA of lens and spot diameter of focusing depth.

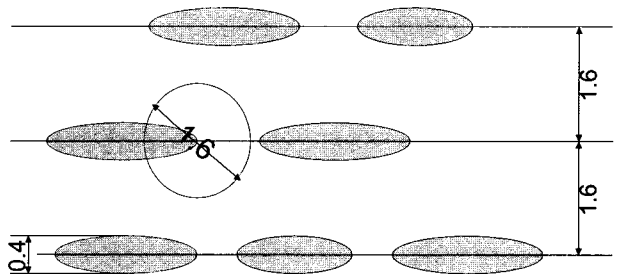


그림 4. 트랙과 스포트의 직경(단위 μm).  
Fig. 4. Diameter of track and spot.

3) 포커싱 서보 회로

포커싱 서보 회로는 초점에서 떨어진 것을 검출하는 오차 신호 검출기, 제어 대상에 있는 렌즈를 구동하는 액추에이터(actuator) 및 증폭기로 구성되어 있다. 포커싱 서보는 디스크가 상하 방향으로 면 진동하고 있는 경

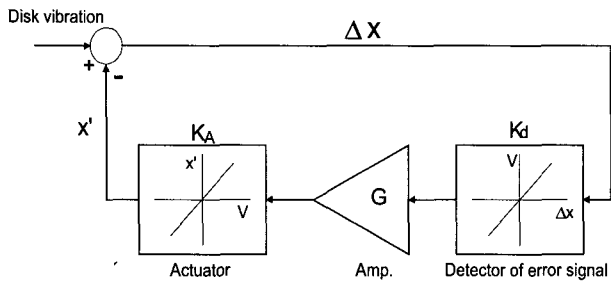


그림 5. 포커싱 서보의 블록도.  
Fig. 5. Block diagram of focusing servo.

우에 렌즈를 거기에 따라가게 만들어서, 디스크와 렌즈 사이의 상대 거리 변동을  $\pm 1.0 \mu\text{m}$  이내로 하는 것이 목적이다.

그림 5의  $K_d$  및  $K_A$ 는 각각 오차 신호 검출기 및 액추에이터 감도이고,  $G$ 는 증폭기의 이득(gain)을 표시하였다. 이 제어계가 안정하게 동작하고 있는 경우에는 (9)로 표현될 수 있다.

$$x' = K_A \cdot G \cdot K_d \cdot \Delta x \quad (9)$$

이 때,  $x - x' = \Delta x$ 이므로  $x'$ 를 (9)식에 대입하면

$$\Delta x = \frac{1}{1 + K_A \cdot G \cdot K_d} x \quad (10)$$

루우프 이득  $K_A \cdot G \cdot K_d$ 가  $|K_A \cdot G \cdot K_d| \gg 1$ 의 영역에서는 오차는

$$\Delta x \cong \frac{1}{K_A \cdot G \cdot K_d} x \quad (11)$$

로 표시되며, 이 때  $\pm 500 \mu\text{m}$ 의 먼 진동을  $\pm 1.0 \mu\text{m}$  이내로 하기 위해서는 루우프 이득  $K_A \cdot G \cdot K_d$ 를 500 이상으로 설계할 필요가 있다.

3. 트래킹 서보(tracking servo)

피치가  $1.6 \mu\text{m}$ 인 트랙을 따라가기 위해서는 서보에 의지할 수밖에 없다. 디스크의 제조나 플레이어에 디스크를 장착할 때 발생하는 편심을 고려해서 결정된 최대 편심량은  $\pm 50 \mu\text{m}$ 이다. 편심 등의 영향은 거의 회전 주기로 나오게 되므로 10Hz 이하의 낮은 주파수 성분이 주된 것이다. 트래킹의 대역은 내 쇼크성(플레이어에 충격을 가했을 때의 세기)등을 고려하여 500Hz 정도나 그 이상으로 선택된다. 트래킹 서보는 픽업 전체, 또는 픽업의 일부를 움직여서 행한다.

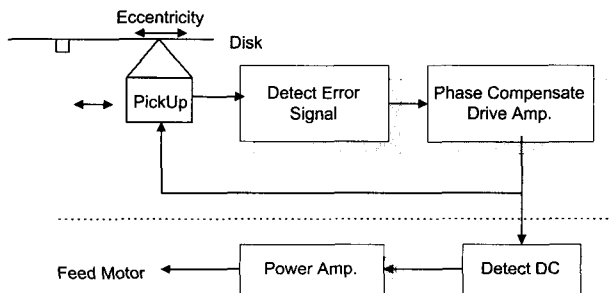


그림 6. 트래킹 서보의 블록도.  
Fig. 6. Block diagram of tracking servo.

1) 디스크의 편심 규격

디스크의 트랙은  $1.6 \mu\text{m}$  피치로 정확히 기록되어 있어도 중심으로부터 편심이 생긴다. 또 디스크의 제조 공정상 수지의 사출 및 경화 과정에 왜곡이 생기기 때문에, 장착하기 위한 구멍이 정확히 뚫려 있다 해도 편심이 생기게 된다. 표 2는 편심에 관한 디스크 규격이다.

표 2. 편심에 관한 디스크 사양.  
Table 2. Specifications of disk eccentricity.

항목	사양
최대 편심량 ( $\mu\text{m}$ )	$\pm 50$
최대 편심 가속도 ( $\text{m/s}^2$ )	0.4

표 2로부터 디스크의 편심 사양을 그림으로 표시하면 다음과 같다.

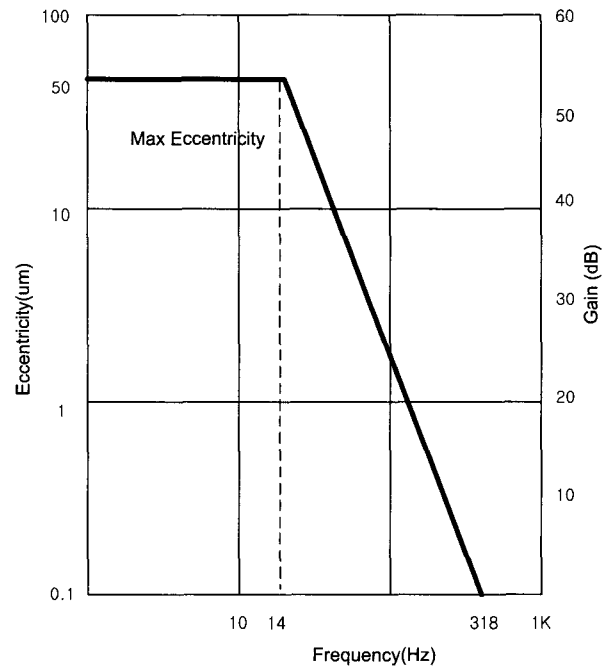


그림 7. 디스크 편심 사양.  
Fig. 7. Specifications of disk eccentricity.

2) 트래킹 서보의 제어 목표

피트의 폭은  $0.4 \mu\text{m}$ 이고 중심에서 갈라놓으면  $\pm 0.2 \mu\text{m}$ 밖에 되지 않는다. 광의 스포트를 이상적인 한 점에 교차시킬 경우에  $\pm 0.2 \mu\text{m}$  이상 떨어져서 교차시키면 신호를 얻어낼 수 없다. 따라서  $\pm 0.2 \mu\text{m}$  이내로 교차시켜야 한다. 실제로는 이렇게 단순한 것만으로는 결정할 수가 없고 흠어지는 것을 고려하면  $\pm 0.1 \mu\text{m}$  내에서 제어하지 않으면 안 된다.

4. 피드 서보(feed servo)

트래킹 서보로 픽업을 디스크의 편심에 추적시켜 갔지만, 액추에이터에는 가동 범위의 제한이 있기 때문에, 피드 서보를 이용하여 본체를 크게 이동시킨다.

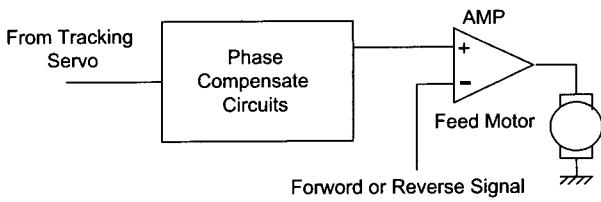


그림 8. 피드 서보의 블록 다이어그램.  
Fig. 8. Block diagram of feed servo.

5. 회전 서보(spindle servo)

일정 선 속도의 기록 방식을 채택하고 있는 CDP는 디스크의 회전수가 약 500rpm(내주)에서 200rpm(외주)까지 광 픽업의 재생 장치에 대하여 연속적인 변화를 한다. 그러나 기록 속도의 규격에는 1.2m/s-1.4m/s라고 하는 폭이 있으므로, 재생 속도도 이것에 맞지 않으면 안 된다. 회전 서보는 기록할 때의 속도를 재생할 때 정확히 복원하기 위해 광 픽업으로부터 나오는 RF(radio frequency)신호를 정형한 후 이를 디지털 PLL 회로를 이용하여 동기를 맞춘다.

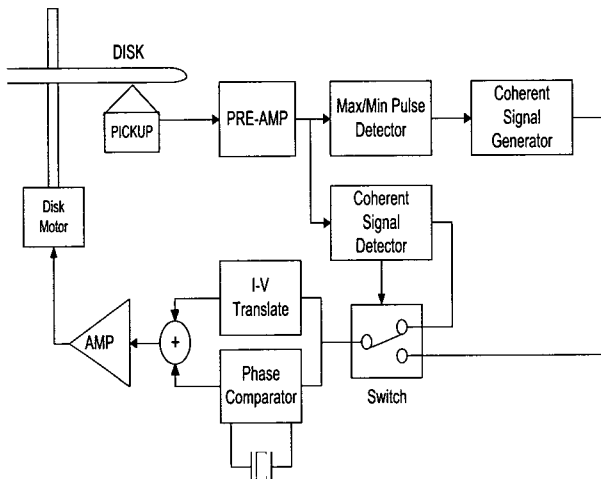


그림 9. 회전 서보의 블록도.  
Fig. 9. Block diagram of spindle servo.

III. 디지털 광 픽업 서보를 위한 시스템

광 픽업의 특성 곡선은 일반적으로 그림 10처럼 표현된다. 여기서  $M_0$ 는 저주파 이득이며  $M_p$ 는 공진 주파수  $\omega_p$ 에서의 이득이다.

광 픽업의 액추에이터는 스프링이 달려있는 물체로 모델링할 수 있으며, 실제 광 픽업의 특성 곡선을 보면 기울기가 -40 dB/dec 이므로 광 픽업의 전달 함수  $G(s)$ 는 일반적으로 다음과 같이 2차식으로 모델링할 수 있다.

$$G(s) = \frac{h}{s^2 + as + b} = \frac{K\omega_n^2}{s^2 + 2\delta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (12)$$

$$|G(j\omega)| = \frac{h}{\sqrt{b^2 - 2b\omega^2 + \omega^4 + a^2\omega^2}} \quad (13)$$

여기서 공진 주파수  $\omega_p$ 를 구하기 위해 미분을 하면,

$$\frac{d}{d\omega} |G(j\omega)| = \frac{-h(-4b\omega + 2a^2\omega + 4\omega^3)}{b^2 - 2b\omega^2 + \omega^4 + a^2\omega^2} = 0$$

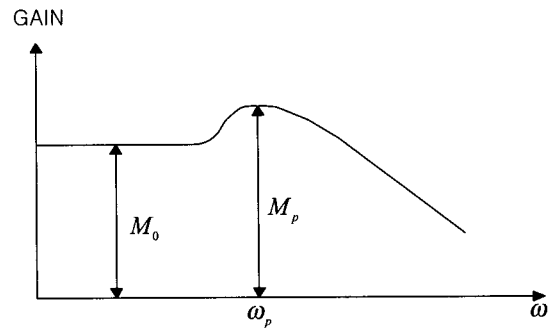


그림 10. 광 픽업의 특성 곡선.  
Fig. 10. Characteristic graph of optical pickup.

$$\frac{h\omega(4\omega^2 - 4b + 2a^2)}{b^2 - 2b\omega^2 + a^2\omega^2 + \omega^4} = 0 \quad (14)$$

$$4\omega_p^2 = 4b - 2a^2$$

그러므로, 공진 주파수  $\omega_p$ 는

$$\omega_p = \sqrt{b - \frac{a^2}{2}} \quad (\omega_p > 0) \quad (15)$$

이고, 공진 주파수에서의 크기  $M_p$ 는

$$M_p = |G(j\omega_p)| = \frac{h}{a\sqrt{b - \frac{a^2}{4}}} \quad (16)$$

이고, DC에서의 크기는 다음과 같다.

$$M_0 = \frac{h}{b} \quad (17)$$

(15), (16), (17)로부터 연립 방정식을 풀면,

$$\begin{aligned} a &= \sqrt{\frac{2M_p\omega_p^2}{\sqrt{M_p^2 - M_0^2} - 2\omega_p^2}} \\ b &= \frac{M_p\omega_p^2}{\sqrt{M_p^2 - M_0^2}} \\ h &= bM_0 \end{aligned} \quad (18)$$

1. 포커싱 액추에이터의 전달 함수 유도

본 논문에서 사용한 광 픽업의 데이터 시트로부터 주어지는 포커싱 액추에이터의 데이터는 다음과 같다[2].

$$\begin{aligned} f_0 &= 29\text{Hz} \pm 6\text{Hz} \\ M_0 &= 1.1\text{mm}/V \pm 3\text{dB} \\ Q &\leq 8\text{dB} \end{aligned} \quad (19)$$

$M_p = M_0Q$ 이므로, (19)을 (18)에 대입하면 포커싱 액추에이터의 전달 함수는 다음과 같다.

$$G_f(s) = \frac{39.81}{s^2 + 77.35s + 36912.65} \quad (20)$$

2. 트래킹 액추에이터의 전달 함수 유도

광 픽업의 데이터 시트로부터 주어지는 트래킹 액추에이터의 데이터는 다음과 같다[2].

$$\begin{aligned} f_0 &= 30\text{Hz} \pm 6\text{Hz} \\ M_0 &= 1\text{mm}/V \pm 3\text{dB} \\ Q &\leq 8\text{dB} \end{aligned} \quad (21)$$

마찬가지로, (21)을 (18)에 대입하면 트래킹 액추에이터의 전달 함수를 구할 수 있다.

$$G_t(s) = \frac{38.73}{s^2 + 80.02s + 38732.22} \quad (22)$$

IV. 모의 실험

일반적으로 서보에 대한 모의 실험을 할 때 계단 응답을 가장 많이 사용하지만, 여기서는 계단 응답 자체보다는 CD의 면 진동과 편심 규격을 이용한 모의 실험이 더욱 의미가 있다. 면 진동과 편심에 대한 규격은 표 1과 표 2에 표시되어 있다. 이러한 면 진동과 편심 규격을 만족하도록 C코드를 사용하여 외란을 만들고 포커싱 서보와 트래킹 서보의 제어 목표를 만족시키도록 모의 실험을 통한 서보 시스템의 특성을 구하였다. 또한 실제 제작시 발생할 수 있는 몇가지 문제점들을 모의 실험을 통해서 분석해보았다.

1. 면 진동의 모델링을 통한 포커싱 서보의 모의 실험  
 그림 11은 디스크의 면 진동 규격을 만족하도록 C코드를 사용하여 만들어 낸 데이터이다.

2. 위상 보상 회로  
 액추에이터 코일 및 렌즈는 보통 용수철로 지탱되어 붙어 있어서 주파수에 대한 응답은 2차의 특성을 표시한다. 이대로 서보 회로를 구성하게 되면, 180° 지연된 부분에 루우프 이득이 1이 되는 부분이 발생한다. 이것은 (10)에 있어서  $K_A \cdot G \cdot K_d = -1$ 에 해당되어  $\Delta x$ 가 무한대로 되어 발전하여 버린다. 이를 방지하기 위해 위상 보호 회로가 필요하다. 모의 실험을 통해 위상 여유를 많이 줄수록 시스템이 더욱 안정적이라는 것을 알 수 있

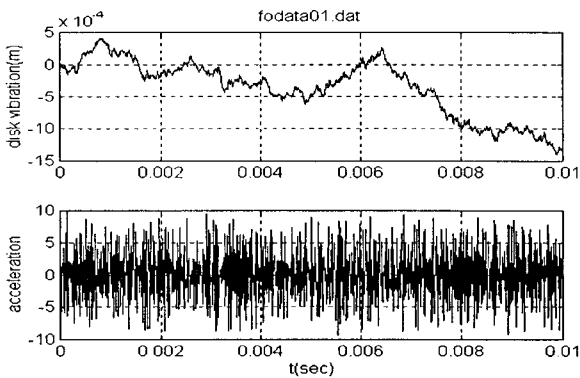


그림 11. 디스크 면 진동의 모델링.  
 Fig. 11. Modeling of disk vibration.

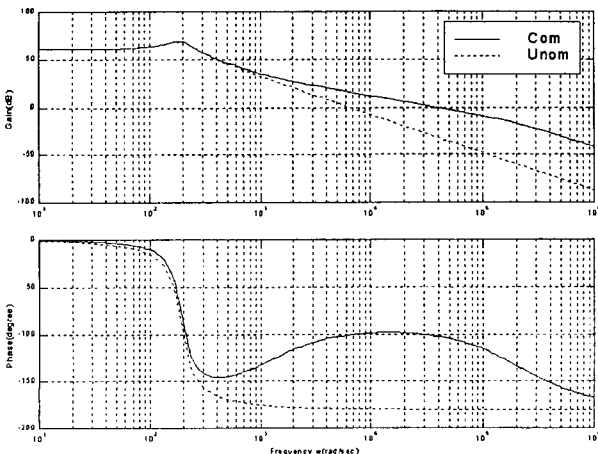


그림 12. 위상 보상 회로의 효과.  
 Fig. 12. Effects of phase compensation.

었다. 모의 실험에서의 최대 위상 여유는 80° 정도였다. 이를 바탕으로 설계된 위상 보상 회로의 전달 함수 특성은 다음과 같다.

$$G_{phase}(s) = \frac{200s + 212132}{s + 212132} \quad (23)$$

그림 12에서 위상 보상 회로의 효과로 위상 여유가 80° 이상임을 알 수 있다.

3. 양자화 오차

ADC(Analog to Digital Converter)를 이용하여 디지털로 제어를 하므로 실제 제작시에는 양자화에 대한 고려가 필요하다. 그림 13은 8단계(3비트)의 전형적인 A/D 변화의 양자화를 보이고 있다. 그림 13에서 양자화 간격  $\Delta$ 는 (B+1)비트의 ADC를 사용했을 경우 (24)와 같다. 여기서는 그림 14처럼 가산 잡음 모델(additive noise model)을 사용한 양자화 오차를 모의 실험에 포함하였다. 양자화 오차는 (25)와 같다.

$$-\frac{\Delta}{2} < e[n] \leq \frac{\Delta}{2} \quad (24)$$

8비트 ADC를 사용하고 최대 범위(2Xm)가 5 V일 때 (24)와 (25)를 이용하여 양자화 오차를 구하면 (26)이 된다.

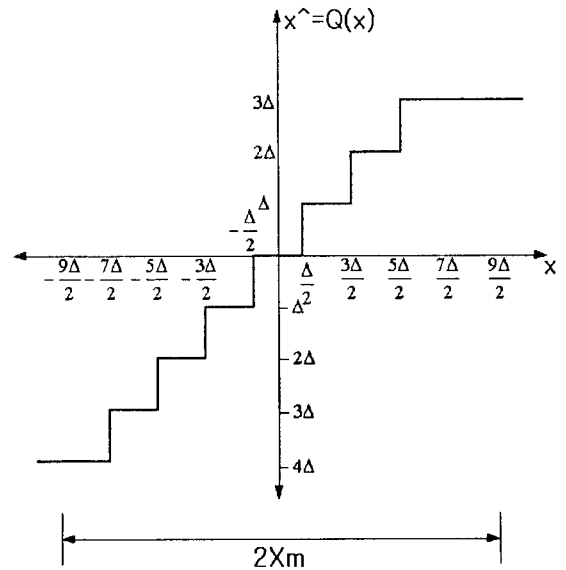


그림 13. 전형적인 A/D 변화의 양자화.  
 Fig. 13. Typical quantizer for A/D conversion.

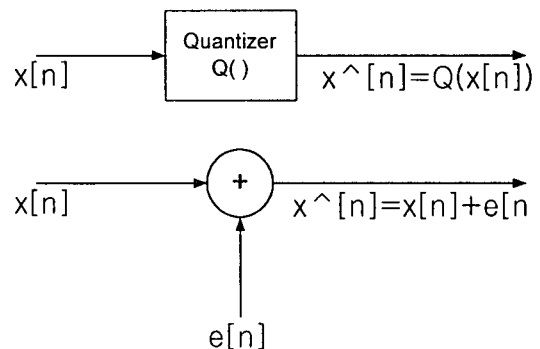


그림 14. 양자화에 대한 가산 잡음 모델.  
 Fig. 14. Additive noise model for quantizer.

$$-0.01V \leq e[n] \leq 0.01V \quad (25)$$

$$\Delta = \frac{2X_m}{2^{B+1}} = \frac{X_m}{2^B} \quad (26)$$

4. 모의 실험에 사용된 포커싱 서보 시스템의 구성

그림 15에서 제어는 비레이득(600)만을 사용했으며, 오차 신호 검출기(Detector of error signal)의 이득은 106이다.

5. 포커싱 제어 시스템의 모의 실험 결과 분석

그림 16은 그림 11의 디스크 면 진동 데이터를 이용하여 포커싱 서보 시스템을 MATLAB으로 모의 실험한 결과이다[3-6]. 포커싱 서보의 제어 목표는 2.3절에 의해 디스크와 광 픽업 사이의 상대 거리가  $\pm 1\mu\text{m}$ 인데, 모의 실험 결과에 의하면 제작시 생기는 전기적인 잡음이 0.1V까지 되어도 8비트 ADC를 사용해서 제어가 됨을 알 수 있다.

6. 편심의 모델링을 통한 트래킹 서보의 모의 실험

그림 17은 디스크 편심 규격을 만족하도록 C코드를 사용하여 만들어 낸 데이터이다.

7. 모의 실험에 사용된 트래킹 서보 시스템의 구성

트래킹 액추에이터와 포커싱 액추에이터의 전달 함수 특성이 크게 다르지 않으므로, 포커싱 서보에서 설계하고 모의 실험했던 위상 보상 회로와 양자화 오차를 트래

킹 서보 시스템에도 그대로 적용한다. 그림 18에서 제어는 비레이득(1500)만을 사용했으며, 오차 신호 검출기의 이득은 106이다.

8. 트래킹 서보의 모의 실험 결과 분석

그림 19는 그림 17의 디스크 편심 데이터를 이용하여 트래킹 서보 시스템을 MATLAB으로 모의 실험한 결과이다[3]-[6]. 트래킹 서보의 제어 목표는 3.2절에 의해 트랙과 광 픽업의 초점 사이의 상대 거리가  $\pm 0.1\mu\text{m}$ 인데, 모의 실험 결과에 의하면 제작시 생기는 전기적인 잡음

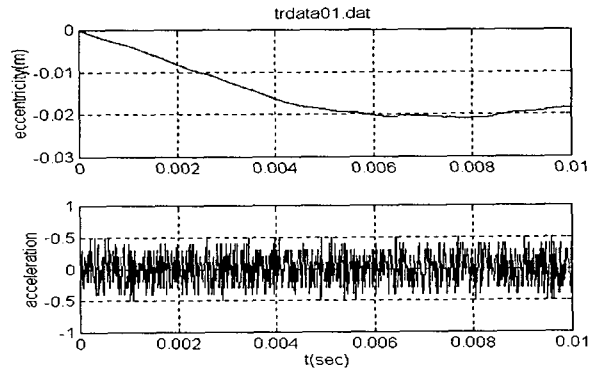


그림 17. 디스크 편심의 모델링.  
Fig. 17. Modeling of disk eccentricity.

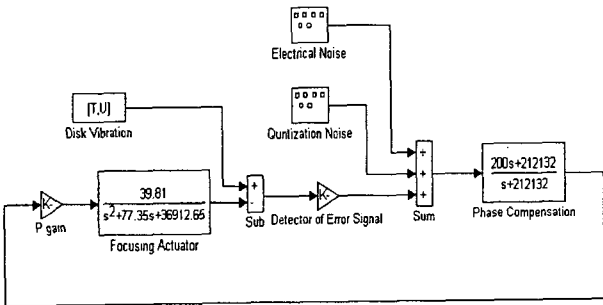


그림 15. 모의 실험을 위한 포커싱 서보 시스템의 구성.  
Fig. 15. Composition of focusing servo system for simulation.

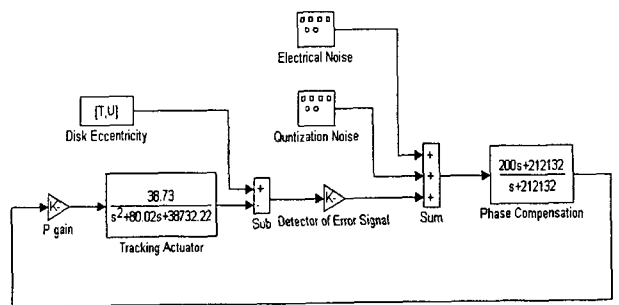


그림 18. 모의 실험을 위한 트래킹 서보 시스템의 구성.  
Fig. 18. Composition of tracking servo system for simulation.

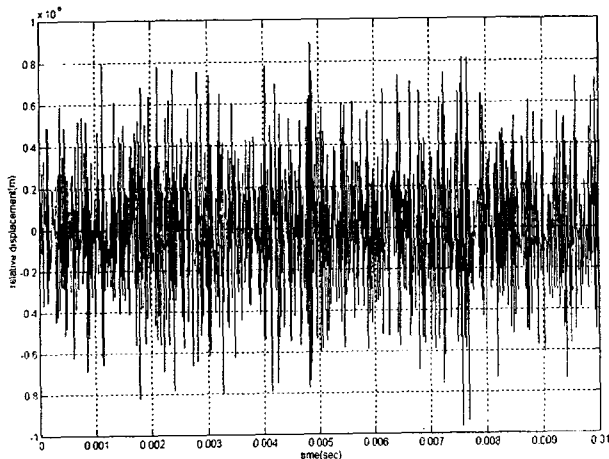


그림 16. 커싱 서보의 모의 실험.  
Fig. 16. Simulation of focusing servo.

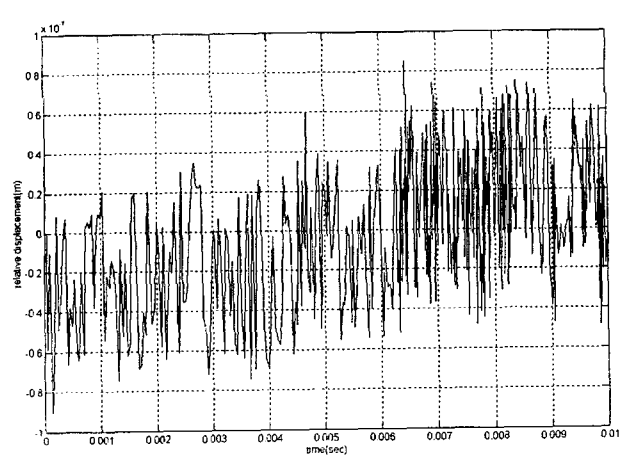


그림 19. 트래킹 서보의 모의 실험.  
Fig. 19. Simulation of tracking servo.

이 0.05V까지는 8비트 ADC를 사용해서 제어가 가능함을 확인할 수 있었다. 그러므로 트래킹 서보를 제작시 포커싱 서보보다 전기적인 잡음을 더욱 줄일 필요가 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 광 픽업 서보를 애널로그 회로에서 DSP를 이용한 디지털 광 픽업 서보 시스템으로 바꾸어 광 픽업의 특성이 바뀌더라도 광 픽업 조정기의 전체적인 교체 없이 내부 소프트웨어의 파라미터 교체만으로 조정기를 그대로 사용할 수 있도록 하는 것과 이를 통한 조정기 사이의 측정 오차를 줄이는 것을 목표로 했다. 디지털 광 픽업 서보 시스템의 설계를 위해 CD 규격을 만족시키는 면 진동과 편심을 모델링 했으며, MATLAB을 이용한 모의 실험을 거쳐 포커싱 서보와 트래킹 서보의 에러 범위를 제어 목표 이내로 줄일 수 있도록 설계하였다.

MATLAB을 이용한 모의 실험 결과 포커싱 서보나 트래킹 서보 모두 원하는 제어 목표 이내로 에러를 줄일 수 있었으며, 이를 바탕으로 디지털 광 픽업 서보의 설계가 가능함을 보였다. 실제 포커싱과 트래킹은 서로 커플링(coupling)되어 있는 향이 있을 수 있으나 최근에 우리가 애널로그 서보를 이용해서 구성한 광 픽업 조정기를 볼 때 크게 영향을 못 미치는 것으로 생각된다. 디지털 서보 시스템에서 프로그램을 통해 서로간의 상관

관계를 고려해 볼 필요가 있을 것으로 생각된다.

현재까지 모의 실험을 통한 결과를 구했으며 이를 바탕으로 DSP를 이용한 디지털 서보 시스템을 구현하고자 한다. 향후에 이것은 디지털 광 픽업 조정기뿐만 아니라 디지털 광 픽업 평가기를 만드는 데도 유용하게 이용될 수 있을 것이고, 또한 DVD-ROM용 디지털 광 픽업 조정/평가 기기에 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

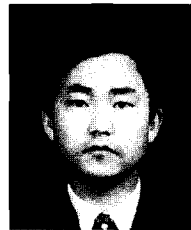
### 참고문헌

- [1] 정기혁, "도해 콤팩트 디스크 CD-플레이어 기술," 가남사, 서울, 1992.
- [2] Specification for optical pickup HOF-EIF, EIQ for CD-ROM GCD-R520B, GCD-R540B
- [3] 황우현·안성모, "MATLAB을 이용한 제어 시스템 설계," 대광서림, 서울, 1997.
- [4] 정 슬, "제어 시스템의 분석과 MATLAB의 활용," 청문각, 서울, 1997.
- [5] Uekawa, et al.: "The development of digital servo algorithms for optical disc players," *IEEE Trans. consumer Electronics*, vol. 36, no. 3, pp. 567-571, 1990.
- [6] B. C Kuo, "Automatic control systems," Prentice-Hall International Editions, 6th edition.
- [7] A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer *Discrete-Time Signal Processing*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J. 07632.



**곽 한 섭**

1996년 부산대학교 전자공학과 졸업(공학사), 1998년 동대학원 전자공학과 졸업(공학석사), 1998년-현재 동대학원 전자공학과 박사과정.



**백 광 렬**

1984년 부산대학교 공과대학 전기기계과 졸업(공학사), 1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사), 1989년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사), 현재 부산대학교 전자공학과 조교수.