

논문 2007-44SC-4-11

광디스크 드라이브의 개선된 트래킹 서보 시스템

(An Improved Tracking Servo System in Optical Disk Drives)

이 태 규*, 정 동 슬**, 정 정 주***

(Tae Gyu Lee, Dong Seul Jeong, and Chung Choo Chung)

요 약

광디스크 드라이브에서 일반적으로 광 픽업은 포커싱과 트래킹 서보 시스템의 결합된 동력학 시스템을 갖는다. 이 결합된 동력학 시스템은 서로의 구동간섭에 의하여 광디스크 드라이브의 성능을 저하시킨다. 특히 디스크의 표면에 결함이 존재할 경우에는, 포커싱과 트래킹 서보 시스템의 구동간섭으로 인해 시스템이 안정화하는데 많은 시간이 소요되고 결합구간이 길어질 경우 광학 렌즈가 추종하던 트랙을 이탈할 수 있다. 본 논문에서는 이 문제점을 극복하기 위하여, 트래킹 에러와 포커싱 에러의 관측을 기반으로 광디스크 드라이브의 새로운 제어 방법을 제안한다. 결함이 존재할 경우 결합된 동력학 시스템에 대한 보상을 통하여 시스템의 안정화 시간을 감소시킨다. 동일한 표면 결함에 대하여 제안된 제어 방법의 개선된 성능은 실험을 통하여 검증하였다.

Abstract

An optical pick up generally has coupled dynamics between focusing and tracking servos. The coupled dynamics reduces tracking performance of optical disk drives. A conventional control method is holding the previous tracking control command in the presence of surface defect. The method has a long settling time. If the defective area is getting larger, objective lens will get away from the following track. In order to overcome this problem, this paper proposed a new control method for optical disk drives based on a prediction of tracking error and focusing error. We present how to compensate the coupled dynamics so that reduced settling time is achieved. It is verified by experiments that the proposed method brings an improved performance in the presence of surface defect as well as in the normal operating condition

Keywords: Optical disk drive, Disk surface defect, Coupled dynamics, Tracking servo

I. 서 론

광디스크 드라이브에서 광 픽업은 포커싱 및 트래킹 서보를 통하여 회전하는 광디스크로부터 발생하는 외란을 허용 오차 범위 이내로 발생하도록 구동하는 장치이다. 일반적으로 광 픽업은 포커싱 방향과 트래킹 방향

2축으로 구동되고 이상적으로 서로 구동 간섭이 없어야 한다^[1]. 그러나 제작 과정 및 조립 과정에서 발생하는 여러 가지 요인에 의하여 축간 구동 간섭이 존재한다. 이 축간 구동 간섭은 광디스크 드라이브의 정밀한 제어를 방해하는 원인이다. 이러한 트래킹 서보와 포커싱 서보의 결합 관계를 2개의 상수로 표현, 전자 보정 회로를 사용하여 커플링을 제거하는 방식이 제안되었다^[2]. 이와 같이 전자 보정 회로를 사용할 경우 비용 및 설치 공간의 문제점이 발생한다. 전자 보정 회로의 추가 없이 서보 구동 간섭의 가장 큰 원인을 광 기계적인 커플링(opto-mechanical coupling)으로 인한 크로스 토크의 증가로 간주하고, 제어 이득을 회전 공진 근처로 제한하여 크로스 토크를 감소시켜 서보의 성능을 향상시키는 방법도 제안되었다^[3].

* 학생회원, 한양대학교 전기공학과
(Hanyang University, Department of Electrical Engineering)

** 학생회원, 한양대학교 전자통신전과공학과
(Hanyang University, Department of Electronics and Computer Engineering)

*** 정회원-교신저자, 한양대학교 전기제어생체공학부
(Hanyang University, Division of Electrical and Biomedical Engineering)

접수일자: 2007년4월27일, 수정완료일: 2007년6월4일

또한 Scratch, 지문, 잉크 등의 디스크 표면에 존재하는 결함도 광디스크 드라이브의 정밀한 제어를 방해하는 원인이다. 디스크의 표면에 결함이 존재할 경우에는 광학 빔의 디스크 반사율이 감소하여 RF 신호와 트래킹 및 포커싱 에러 신호가 왜곡된다^[4]. 이런 문제점을 해결하기 위해 결함구간에서 제어기 대역폭을 감소시켜 왜곡된 에러를 추종하지 않도록 하는 방법도 제안되었다^[5]. 그러나 단순히 제어기의 대역폭을 감소시키면 외부에서 충격을 인가했을 경우 고주파 성분에 대한 대응력이 떨어져서 추종하던 트랙을 이탈할 수 있다^[6]. 이외에 결함구간 내에서 제어기의 이전 출력 값을 유지하는 방식이 제안되기도 했다^[7]. 이 경우는 결함구간이 길어지게 되면 서보 시스템이 안정화하는데 많은 시간이 소요되며, 때로는 광 픽업이 트랙을 이탈하는 현상이 발생할 수도 있다^[8]. 그 외에 결함구간에서 Coprime Factorization(CF)과 Zero Phase Error Tracking (ZPET)을 사용한 2 자유도 제어 방법이 제안되었다^{[9][10][15]}. 그러나 이 방식은 시스템의 모델을 RRO 계산에 이용하기 때문에 플랜트 모델링이 필요하다.

본 논문에서는 트래킹 서보와 포커싱 서보의 구동 간섭에 의해 발생하는 현상을 관찰하고 그 영향을 감소시키는 새로운 제어 방법을 제안한다. 제안한 제어방법은 트래킹 서보에 영향을 주는 포커싱 서보의 영향을 감소시켜 디스크의 결함이 발생할 경우, 광디스크 드라이브의 성능을 향상시킨다. 또한 표면 결함이 있는 디스크를 사용하여, 기존 제어기와 결함 대응 성능을 비교하여 제어기의 우수성을 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장은 광디스크의 트래킹 서보와 포커싱 서보의 원리를 설명한다. III장에서는 트래킹 서보와 포커싱 서보를 수행할 경우 발생하는 현상과 발생 원인에 대해 조사한다. IV장에서는 III장에서 발생한 현상에 대한 해결책을 제안하여 제어기를 설계하고 V장은 실험을 통해 제안된 제어기의 성능을 검증한다. 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 포커싱 서보와 트래킹 서보

1. 포커싱 서보

광디스크를 지지하는 스피들의 면진동과 스피들의 회전 운동에 의한 디스크 자체의 진동은 고주파 성분을 갖는다. 디스크의 반사율 변동과 외란 및 진동 등은 데이터를 기록 및 재생하는데 심각한 문제를 일으킨다. 그러므로 진동과 외란 등이 발생하면, 광 픽업에서 나

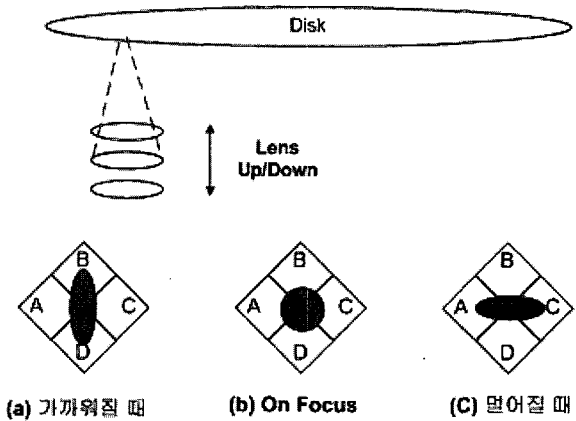


그림 1. 포커싱 서보의 원리
Fig. 1. Principle of Focusing Servo.

오는 광학 빔의 초점을 그림 1과 같이 기록 면에 위치하도록 제어한다. 이 광학 빔의 초점을 기록 면에 위치하도록 제어하는 작업이 포커싱 서보이다^[11~12]. 이 때, 포커스 에러 검출 방법으로 비점수차가 크게 발생하는 Cylindrical lens를 이용한다. Cylindrical lens는 대물 렌즈의 초점 거리에 디스크의 기록 면이 위치할 경우에는 빔의 스팟 모양이 그림 1.(b)와 같이 원형이 되게 하고 그렇지 않을 경우에는 비점수차가 발생하여, 대물 렌즈의 초점 거리보다 디스크의 기록 면이 멀 때는 그림 1.(c)와 같이 빔의 스팟 모양이 생성되고 디스크의 기록 면이 가까울 때는 그림 1.(a)와 같이 빔의 스팟 모양이 생성된다. 이런 원리로 광학 빔의 초점을 기록 면에 위치하도록 제어할 수 있다.

2. 트래킹 서보

포커싱 서보가 수행되면 디스크 위의 트랙은 편심과 외란 등에 의해서 흔들린다. 트랙의 흔들림은 디스크의 회전 주파수 성분뿐만 아니라 여러 고주파 성분을 갖는다. 이러한 진동, 디스크의 반사율 변동, 온도 등의 외란

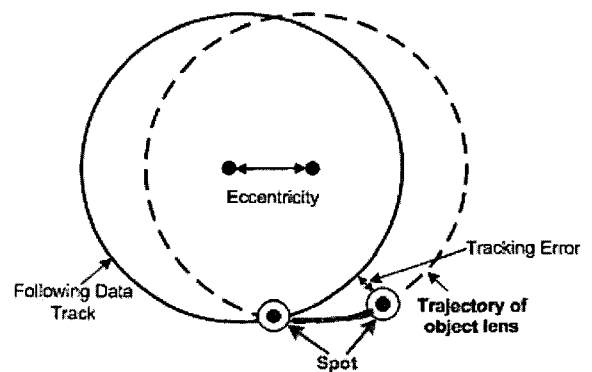


그림 2. 트래킹 서보의 원리
Fig. 2. Principle of Tracking Servo.

이 발생하면 광학 빔의 초점을 그림 2와 같이 트랙의 중앙에 위치시킨다. 이 광학 빔의 초점을 트랙의 중앙에 위치시켜 데이터 기록 및 재생을 가능하게 하는 작업이 트래킹 서보이다^[11~12].

트래킹 서보의 에러 검출 방법으로 차등 푸시-풀 방식을 사용한다. 차등 푸시-풀 방식은 레이저 다이오드에서 출사된 광을 회절 격자를 통과하여 0, 1차 빔으로 분리하여 디스크에 조사한다. 디스크에 조사된 빔이 반사되어 포토 다이오드에 감지되면 그 때의 감도차에 의해서 트래킹 에러를 검출하여, 광학 빔이 트랙의 중앙에 위치하도록 제어할 수 있다.

다음 장에서는 트래킹 서보와 포커싱 서보 수행 중 구동 간섭에 의해 발생하는 현상을 살펴보고 구동 간섭의 발생 원인을 분석한다.

III. 서보 시스템의 문제점 및 원인

1. 트래킹·포커싱 서보 구동 간섭에 의한 공진

광디스크 드라이브에서 데이터를 입·출력하기 위해서 포커싱 서보와 트래킹 서보를 수행하면 트래킹 에러 신호에 그림 3과 같이 고조파의 진동 모드가 존재하는 것을 볼 수 있다. 이 때, 공진의 주파수를 확인하기 위해 그림 3의 트래킹 에러 신호를 오실로스코프로 FFT한 결과 그림 3에서 보는 것과 같이 5[kHz]의 공진이 존재함을 확인하였다.

본 연구에서 사용된 광 픽업은 각각 포커싱 구동기는 약 20[kHz], 트래킹 구동기는 약 9[kHz]의 공진 주파수를 갖고 있다. 따라서 약 5[kHz]의 공진 주파수는 트래킹이나 포커싱 서보 구동기의 공진 주파수 성분이 아니고 결합 동력학에 의한 것임을 간접적으로 확인하였다.

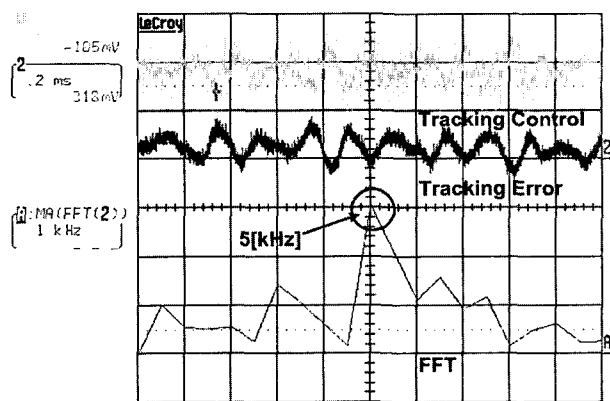


그림 3. 포커싱 서보와 트래킹 서보 구동 공진 발생
Fig. 3. Resonance frequency between tracking and focusing servo.

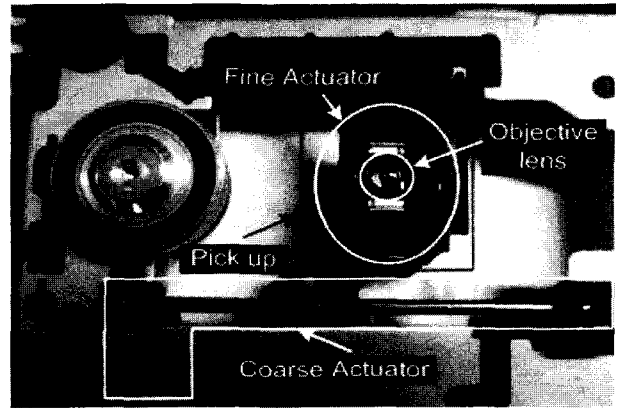


그림 4. 플랜트의 구조
Fig. 4. Structure of Plant.

다음으로 5[kHz] 공진의 원인을 찾기 위하여 트래킹 서보와 포커싱 서보 시스템의 구조에 대해서 살펴 보았다.

트래킹 서보 시스템은 그림 4와 같이 2개의 구동기를 사용한다. 긴 거리 이동은 Coarse 구동기를 사용하고 미세 이동은 Fine 구동기를 사용하여 제어함으로써 빠른 이동이 가능하다^[13~14]. 그림 4는 광디스크 드라이브의 플랜트 구조를 나타내었다. 포커싱 서보 시스템은 그림 4와 같이 트래킹 서보를 수행하는 Fine 구동기와 결합된 광 픽업을 사용하여 서보 동작을 수행한다. 따라서 광 픽업은 포커싱 방향과 트래킹 방향 2축 구동으로 서보 동작을 수행할 경우 구동 간섭이 없어야 한다. 그러나 제작 과정 및 조립 과정에서 발생하는 여러 요인에 의하여 구동 간섭이 존재한다. 따라서 5[kHz]의 공진은 포커싱 서보와 트래킹 서보의 구동 간섭 현상에 의해 발생하는 공진으로 추정할 수 있다.

2. 광디스크 드라이브의 배속 변경 실험

5[kHz]의 공진 현상이 트래킹과 포커싱 서보 구동의 간섭 현상임을 확인하기 위하여 표면 결함이 있는 디스크를 이용하여, 광디스크 드라이브의 배속을 변경시켜 같은 현상이 발생하는지 실험을 진행하였다. 광디스크 드라이브 배속을 24X, 32X, 42X로 변경하여 실험한 결과 그림 5와 같이 약 5[kHz](4.8[kHz] ~ 5.2[kHz])의 공진이 발생하는 것을 확인할 수 있었으며, 5[kHz]의 공진 현상이 디스크의 회전 속도와 관계없이 트래킹과 포커싱 서보 구동의 간섭 현상의 결과로 발생한 것임을 추정할 수 있다. 여기서 포커싱과 트래킹 신호간의 결합동력학 영향으로 위상차가 180도 되어 나타남을 알 수 있다.

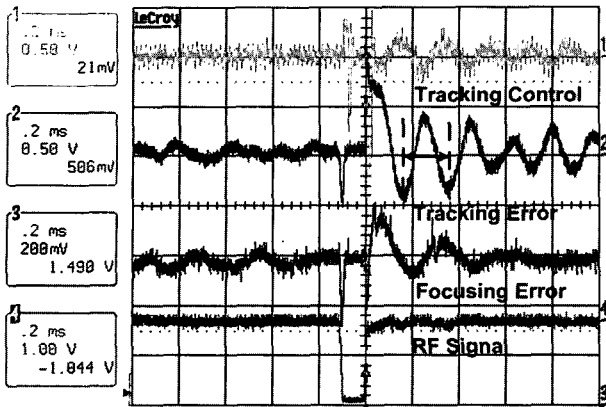


그림 5. 광디스크 드라이브의 배속 변경 실험
Fig. 5. Changing compact disk access time of Optical Disk Drives.

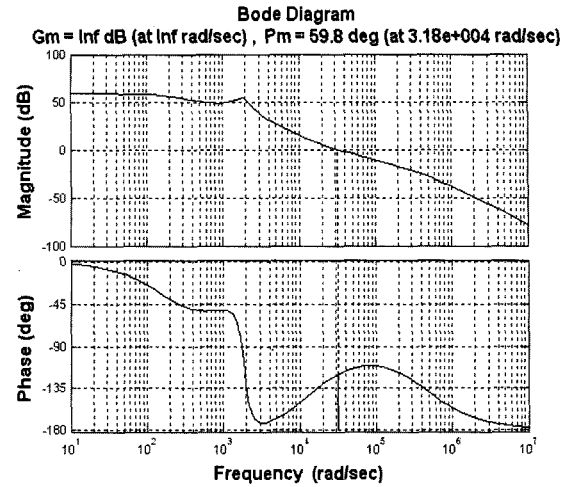


그림 6. 개루프의 보드선도
Fig. 6. Bode plot of open loop.

IV. 제어기의 설계

1. Lead Lag 제어기의 설계

본 논문에서는 52X CD-ROM 드라이브 광 픽업 구동기의 동특성을 식(1)과 같이 모델링하였다.

$$P_n(s) = \frac{K_d K_r \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (1)$$

여기서 ω_n 은 공진 주파수이고, ζ 는 감쇠비, K_d 는 드라이브 이득, K_r 은 광학 이득이다. ω_n 은 1884.94 rad/sec, ζ 는 0.149, K_d 는 3.47×10^{-4} , K_r 은 2.5×10^6 이다. 트래킹 제어를 위해 필요한 DC 게인, Phase Margin, Crossover frequency를 만족하도록 Matlab SISOTOOL을 이용하여 식(2)와 같이 Lead Lag 제어기를 설계하였다.

$$C(s) = \frac{5.025 \times 10^{-8} s^2 + 0.000817s + 1}{1.188 \times 10^{-8} s^2 + 0.005402s + 1} \quad (2)$$

또한 설계된 Lead Lag 제어기를 포함한 트래킹 서보 시스템의 Loop gain은 식(3)과 같다.

$$G(s) = P_n(s)C(s) = \frac{b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \quad (3)$$

이때 각 계수들의 값은 $b_2 = 155.2$, $b_1 = 2.524 \times 10^6$, $b_0 = 3.089 \times 10^9$, $a_4 = 1.188 \times 10^{-8}$, $a_3 = 0.005409$, $a_2 = 4.069$, $a_1 = 1.975 \times 10^4$, $a_0 =$

3.553×10^8 이다. 그림 6은 Loop gain의 보드선도를 나타낸다.

2. 제안한 제어기의 구현

포커싱 서보와 트래킹 서보의 간섭 현상으로 발생하는 5[kHz] 공진은 포커싱 에러 신호를 트래킹 제어 신호에 더해 줌으로써 트래킹 서보에 영향을 주는 포커싱 서보의 간섭 현상을 감소시킨다. 이 때, 제어기는 4.1절에서 설계한 Lead Lag 제어기를 이용하였다. 또한 제안한 제어기는 DSP board(TMS320C33)를 사용하여 구현하였다. 구현한 방법은 다음과 같다. 트래킹 에러 신호와 포커싱 에러 신호의 위상차를 이용하기 위하여 두 에러 신호를 입력 받는다. $u_c(\cdot)$ 는 트래킹 에러 신호를, $u_f(\cdot)$ 는 포커싱 에러 신호를 나타낸다. 식(2)를 Tustin 방법을 이용하여 디지털화 한 후 state space 나타내면 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} x_c(k+1) &= A_d x_c(k) + B_d u_c(k) \\ y_c(k) &= C_d x_c(k) + D_d u_c(k) \end{aligned} \quad (4)$$

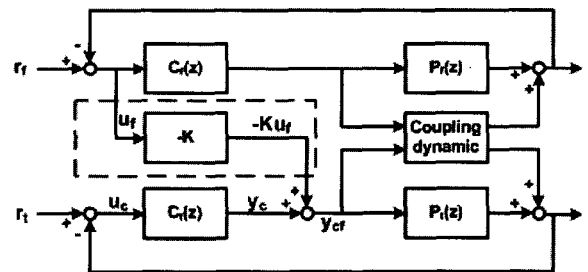


그림 7. 제안한 제어기의 구조
Fig. 7. Structure of Proposed Controller.

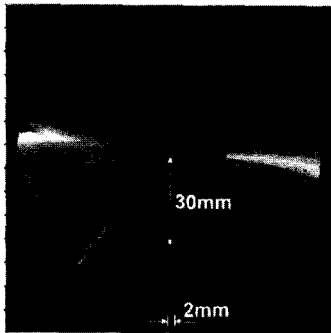


그림 8. 디스크의 표면 결함
Fig. 8. Disk Defect.

식(4)의 $x_c(k+1)$, $x_c(k)$, $u_c(k)$ 는 각각 $x_c(kT+T)$, $x_c(kT)$, $u_c(kT)$ 의 간략화된 표현이다. 이때 T는 샘플링 주기이다. 식(4)는 식(2)를 디지털 변환한 시스템이며, 이 때 $x_c(k+1)$ 는 트래킹 제어 상태를 나타내고, $y_c(k)$ 는 트래킹 제어 신호를 나타낸다.

트래킹 서보 수행 시 포커싱 서보의 간섭현상을 감쇠시키기 위하여 그림 5에서 보여준 것과 같이 포커싱 에러와 트래킹 에러의 위상차를 이용한다. 그림 7의 빨간 점선으로 표시된 부분과 같이 입력받은 포커싱 에러 신호 u_f 를 식(5)와 같이 트래킹 제어 신호 $y_c(k)$ 에서 제거시킨다. 이때 트래킹 동력학을 고려한 ZPET 방식을 사용할 수 있지만 특정주파수의 영향만을 상쇄시킨다고 생각하면 일정한 이득을 곱한 형태로 보상을 하여 주어도 성능개선 효과를 기대할 수 있다.

$$y_{cf}(k) = C_d x_c(k) + D_d u_c(k) - K u_f(k) \quad (5)$$

즉 포커싱 서보의 움직임은 포커싱 에러 신호를 통하여 관측되므로 트래킹 제어 신호에서 포커싱 에러 신호를 빼줌으로써 트래킹 서보에 간섭하는 포커싱 서보의 영향을 감쇠시킨다. 이 때 게인 값 K는 0.05로 설정하였다.

V. 실험결과

디스크의 표면에 결함이 발생할 경우, 광학 빔의 디스크 반사율을 감소시켜 그림 5와 같이 트래킹 및 포커싱 에러 신호를 발생시킨다. 결함 구간이 끝날 경우 잘못된 광학 빔의 초점을 디스크 기록 면에 위치시키고 트랙의 중앙에 위치시키기 위하여 트래킹 및 포커싱 서보가 수행된다. 이 때 Lead Lag 제어기를 사용한 경우와 포커싱 에러를 보상한 Lead Lag 제어기를 적용한 광디스크 드라이브 시스템의 성능을 실험을 통하여 알

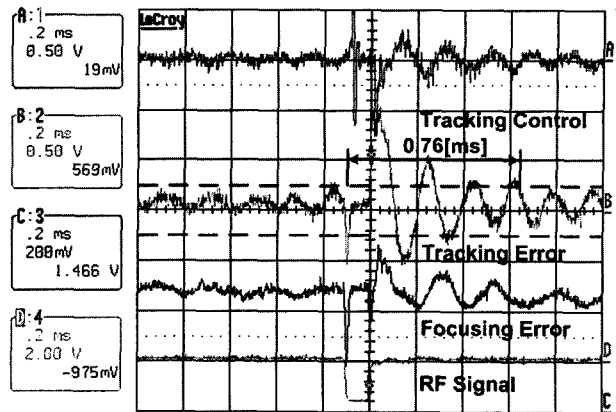


그림 9. Lead Lag 제어기의 실험결과
Fig. 9. Experiment result of Lead Lag Controller.

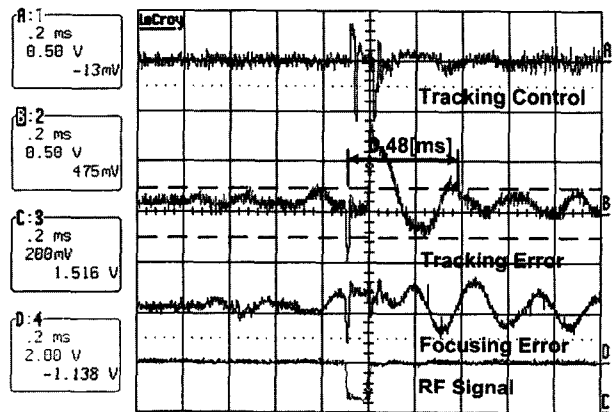


그림 10. 제안한 제어기의 실험결과
Fig. 10. Experiment result of Proposed Controller.

아보겠다.

디스크의 표면 결함을 표현하기 위하여 그림 8과 같이 블랙 펜으로 디스크에 선을 그었다. 그림 8의 디스크를 사용하여 일반 Lead Lag 제어기에 포커싱 에러 신호를 적용하여 보상하였을 때와 보상하지 않았을 때의 트래킹 및 포커싱 에러 신호, 트래킹 제어 신호, RF 신호를 비교하였다^[15].

실험 결과는 그림 9와 그림 10에 나타내었다. 각 그림의 트래킹 에러에 그려진 파란 점선은 트래킹 서보 동작이 올바르게 작동하여 데이터를 입·출력 할 수 있는 범위를 나타낸다.

RF 신호를 관측함으로써 디스크의 표면 결함이 발생했는지를 알 수 있으며, 트래킹 에러 신호를 관측함으로써 표면 결함 발생 시의 과도 응답을 관측할 수 있다. 표면 결함이 발생했을 경우, 포커싱 에러를 적용하여 보상하지 않은 경우(그림 9)는 과도 응답 시간이 0.76ms지만 보상한 경우(그림 10)는 과도 응답 시간이 0.48ms로 약 37%감소하였다. 또한 트래킹 제어 신호의

크기도 포커싱 에러를 보상한 경우에 더 작은 범위를 가지므로 포커싱 에러를 보상한 제어가 더 안정된 트래킹 서보를 수행한다. 따라서 위 실험결과로서 광디스크 드라이브 시스템에서 제안한 제어 방식을 사용하였을 때의 우수성을 검증하였다.

VI. 결 론

본 논문에서는 디스크의 표면에 결함이 발생하였을 때의 포커싱과 트래킹 서보 시스템간의 결합 동력학을 고려한 보상을 통해 트래킹 서보의 성능을 개선시킬 수 있음을 보였다. 커플링 된 서보 시스템을 보상하는 방법으로 트래킹 에러와 포커싱 에러의 위상차를 이용하여 트래킹 제어 신호에 포커싱 에러의 일정한 이득을 곱하여 보상해 줌으로써 포커싱 서보에 대한 트래킹 서보 시스템의 영향을 감쇠시켰다. 제안한 제어기의 트래킹 서보 시스템 성능 개선은 실험을 통하여 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] L. Huang, M. Gong and W. Jia, "Movement Interference Analysis for Objective Lens Actuator in Optical Disk System", *Sensor and Actuator A.*, Vol. 102, pp. 19-30, July 2002.
- [2] H. Sekiya, S. Kagami, "Stabilization of Focus Servo System for High-Speed Access in a 90 mm MO Disk Drive", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 31, pp. 648-652, February 1991.
- [3] T. J. Yeh and Y. C. Pan, "Modeling and Identification of Opto-mechanical Coupling and Backlash Nonlinearity in Optical Disk Drives", *IEEE*, Vol. 5, pp. 2076-3080, June 2000.
- [4] E. Vidal, P. Andersen, J. Stoustrup and T. Pedersen, "A study on the Surface Defects of a Compact Disk", in *Proc. of the IEEE International Conf. on Control Applications.*, pp. 101-104, Mexico, Sept. 2001.
- [5] P. F. Odgaard, J. Stoustrup, M. V. Wickerhauser and H. F. Mikkelsen, "A Simulation Model of Focus and Radial Servos in Compact Disc Players with Disc Surface Defects", in *Proc. of the IEEE International Conf. on Control Applications.*, pp. 105-110, Taipei, Taiwan, Sept. 2004.
- [6] E. Vidal, K. G. Hansen, R. S. Andersen, K. B. Poulsen, J. Stoustrup et al. "Linear Quadratic Controller with Fault Detection in Compact Disk Players", in *Proc. of the IEEE international Conf. on Control Applications.*, pp. 77-81, Mexico, Sept. 2001.
- [7] R. M. Shoji, J. S. Chudy and C. J. Eberly : U.S. Patent 4406000.
- [8] T. Ryu, E. Yokoyama, M. Ogawa and K. Kime, "Stable Servo System of Digital Versatile Disk Player against Defect", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 40, No. 9A, pp. 5340-5341, May 2001.
- [9] K. Ohishi, Y. Hayakawa, H. Yanagisawa, D. Koide and H. Tokumaru, "Robust Feedforward Tracking Following Control System for an Optical Disk", in *Proc. of IEEE Conf. Advanced Motion Control*, pp. 57-62, Japan, July 2002.
- [10] K. Ohishi, Y. Hayakawa, H. Yanagisawa, D. Koide and H. Tokumaru, "Robust Feedforward Tracking Following Control System for an Optical Disk Drive System", in *Proc. of American Control Conf.* pp. 4329-4334, Japan, June 2003.
- [11] 김수경, 김진홍, 이승엽, 최영진, "정보저장기기의 기초와 응용", *홍릉과학출판사*, 94-258쪽 2002년도.
- [12] 박범호, 정정주, 표현봉, 박용우, "광디스크 드라이브를 위한 강인 제어기 설계", 2003 정보 및 제어 학술회의, pp. 380-383, 2003년 11월
- [13] R. J. Ryoo, K. B. Jin, J. H. Moon. and M. J. Chung, "Tracking-Following Control using a Disturbance Observer with Asymptotic disturbance Rejection in High-Speed Optical Disk Drives", *IEEE Trans. Consumer Electronics.* Vol. 49, No. 4, pp. 1178-1185, Nov. 2003.
- [14] K. Fujiyama, M. Tomizuka, R. katayama, "Digital Tracking Controller Design for CD Player using Disturbance Observer", in *Proc. of IEEE Conf. on Advanced Motion Control.*, pp. 598-603, Coimbra, July 1998.
- [15] J. S. Lee, D. S. Jung, and C. C. Chung, "Tracking-Following Control for Disk Surface Defect of Optical Disk Drive Systems", in *Proc. of Society of Information Storage Systems*, pp. 223-228, Korea, Oct. 2005.

저 자 소 개



이 태 규(학생회원)
 2005년 배재대학교 정보통신
 공학부 학사 졸업.
 2005년~현재 한양대학교
 전기공학과 석사 과정.
 <주관심분야 : 광디스크 드라이
 브, Atomic Force Microscopy >



정 동 술(학생회원)
 1998년 원광대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2000년 전북대학교 의용생체
 공학과 석사 졸업.
 2000년~현재 한양대학교
 전자통신전파공학과
 박사 과정.

2006년~현재 (주)이노칩테크놀로지 부설연구소
 선임연구원.

<주관심분야 : 멀티레이트제어, 광디스크 드라이
 브, 센서시스템 설계, 바이오시스템 설계 >



정 정 주(정회원)-교신저자
 1981년 서울대학교 전기공학과
 학사 졸업.
 1983년 서울대학교 전기공학과
 석사졸업.
 1993년 University of Southern
 California 박사 졸업.

1983년~1985년 LG전자 중앙연구소 주임연구원.

1985년~1987년 한국 IBM 국제 구매 사무서
 구매 및 품질보증 엔지니어.

1993년~1994년 미국 콜로라도 주립대 연구원.

1994년~1997년 삼성종합기술원 정밀기계 연구실
 수석 연구원(팀장).

2005년 8월~2006년 8월 미국 버클리대방문
 연구자.

1997년~현재 한양대학교 전기제어생체공학부
 교수.

<주관심분야 : Nonlinear control theory, robotic
 system, vehicle dynamics control, biological
 control and datastorage systems including hard
 disk drives, optical disk drives, holographic data
 storage system and SPM based storage system,
 Lithography, exposure system.>