

광디스크 드라이브의 개선된 트래킹 서보 시스템

An Improved Tracking Servo System in Optical Disk Drives

이태규*, 정동술**, 정정주***

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

Abstract - In optical disk drives, a conventional control method in the presence of surface defect is holding the previous tracking control command. It is known that the method has a long settling time. This paper proposes a new control method which reduces the settling time. An optical head generally has coupled dynamics between focusing and tracking servo system. 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.

Key Words : Optical disk drive; Disk surface defect; Coupled dynamics, Tracking servo

1. 서론

광디스크 드라이브에서 광 픽업은 레이저 다이오드로부터 조사된 빔을 통하여 데이터를 입출력하는데 사용된다. 회전 광디스크로 인하여 발생하는 외란을 광학 빔의 상·하 움직임으로 포커싱 서보한다. 또한 좌·우 움직임에 대한 외란은 트래킹 서보로 제어한다. 광 픽업은 포커싱 방향과 트래킹 방향 2축으로 구동되고 이상적으로는 서로 구동 간섭이 없어야 한다[1]. 그러나 제작 과정 및 조립 과정에서 발생하는 여러 가지 요인에 의하여 구동 간섭이 존재한다. 트래킹 서보와 포커싱 서보의 결합관계를 2개의 상수로 표현, 전자 보정 회로를 사용하여 커플링을 제거하는 방식이 제안되었다[2]. 전자 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 제안하여 크로스 토크를 감소시켜 서보의 성능을 향상 시키는 방법도 제안되었다[3]. 또한 디스크의 표면에 결함이 발생할 경우에는 광학 빔의 디스크 반사율이 감소하여 RF 신호와 트래킹 및 포커싱 에러 신호가 왜곡된다[4].

이런 문제점의 대응방식으로 결합구간에서 제어기 대역폭을 감소시켜 왜곡된 에러를 추종하지 않도록 하는 방법이 제안되었다. 그러나 제어기의 대역폭을 감소시키면 외부에서 충격을 인가했을 경우 고주파 성분에 대한 대응력이 떨어져서 추종하던 트랙을 이탈할 수 있다[5]. 이외에 결합구간 내에서 제어기의 이전 출력 값을 유지하는 방식이 제안되기도 했다[6]. 그러나 결합구간이 길어지게 되면 서보 시스템이 안정화하는데 많은 시간이 소요되며, 때로는 픽업이 트랙을 이탈하는 현상이 발생할 수도 있다[7]. 그의 결합구간에서 Coprime factorization(CF)과 zero phase error tracking(ZPET)을 사용한 2 자유도 제어 방법이 제

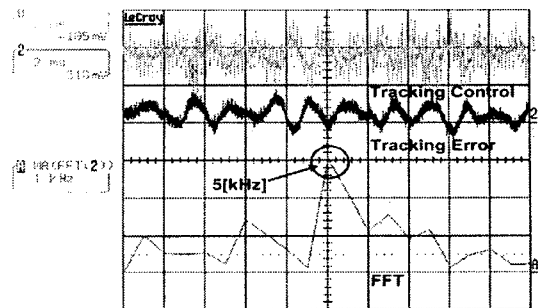


그림 1. 포커싱 서보와 트래킹 서보 구동 공진 발생

안되었다[8]. 그러나 이 방식은 시스템의 모델을 RRO 계산에 이용하기 때문에 플랜트 모델링이 필요하다.

본 논문에서는 트래킹 서보와 포커싱 서보의 구동간섭에 의해 발생하는 현상을 관찰하고 트래킹 서보에 영향을 주는 포커싱 서보의 영향을 감소시켜 디스크의 결함이 발생할 경우, 광디스크 드라이브의 성능을 향상시키는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 표면 결함이 있는 디스크를 사용하여, 기존 제어기와 결합 대응 성능을 비교하여 제어기의 우수성을 검증한다.

2. 서보 시스템 문제점 및 원인

2.1 트래킹·포커싱 서보 구동 간섭에 의한 공진

광디스크 드라이브에서 데이터를 입·출력하기 위해서 포커싱 서보와 트래킹 서보를 수행하게 되면 트래킹 에러 신호에 그림 1과 같이 고주파의 진동 모드가 존재하는 것을 알 수 있다. 이때, 공진의 주파수를 확인하기 위해 그림 1의 트래킹 에러 신호를 오실로스코프로 FFT한 결과 그림 1에서 보는 것과 같이 5[kHz]의 공진이 존재함을 확인하였다. 본 연구에서 사용된 광학 픽업은 각각 포커싱 구동기는 약 20[kHz], 트래킹 구동기는 약 9[kHz]에 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.

5[kHz] 공진의 원인을 찾기 위하여 트래킹 서보와 포커싱 서보 시스템의 구조에 대해서 살펴보겠다. 트래킹 서보 시스템은

저자 소개

* 이태규: 漢陽大學校 電氣工學科 碩士課程

** 정동술: 漢陽大學校 電氣電波工學科 博士課程

*** 정정주: 漢陽大學校 電氣制御生體工學部 正教授·工博

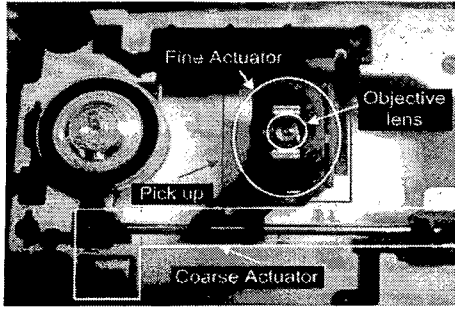


그림 2. Structure of actuator

그림 2와 같이 2개의 구동기를 사용한다. 긴 거리 이동은 Coarse 구동기를 사용하고 미세 이동은 Fine 구동기를 사용하여 제어함으로써 빠른 이동이 가능하다. 그림 2는 트래킹 및 포커싱 서보 구동기의 구조를 나타내었다. 포커싱 서보 시스템은 그림 2와 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 간섭 현상에 의해 발생하는 공진으로 추정할 수 있다.

2.2. 광디스크 드라이브의 배속 변경 실험

5[kHz]의 공진 현상이 트래킹과 포커싱 서보 구동의 간섭 현상을 확인하기 위하여 표면 결합이 있는 디스크를 이용하여, 광디스크 드라이브의 배속을 변경시켜 같은 현상이 발생하는지 실험을 진행하였다. 광디스크 드라이브 배속을 24X, 32X, 42X로 변경하여 실험한 결과 그림 3과 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.

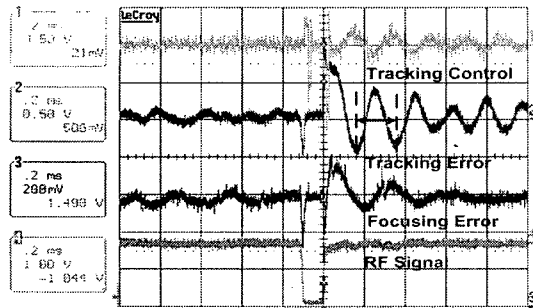


그림 3. 광디스크 드라이브의 배속 변경 실험

3. 서보 시스템

3.1 Lead Lag 제어기의 설계

본 논문에서는 (주)삼성전자 52X CD-ROM 드라이브의 광학 픽업의 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 Drive 이득, K_r 은 광학 이득이다. ω_n 은 1884.94rad/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 주파수를 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

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

이때 각 계수들의 값은 $b_2 = 155.2$, $b_1 = 2.524 \times 10^6$, $b_0 = 3.089 \times 10^9$, $a_1 = 1.188 \times 10^{-8}$, $a_3 = 0.005409$, $a_2 = 4.069$, $a_1 = 1.975 \times 10^4$, $a_0 = 3.553 \times 10^8$ 이다.

3.2 제안한 제어기의 구현

포커싱 서보와 트래킹 서보의 간섭현상으로 발생하는 5[kHz] 공진은 포커싱 에러 신호를 트래킹 제어 신호에 더해 줌으로써 트래킹 서보에 영향을 주는 포커싱 서보의 간섭 현상을 감소시킨다. 이 때, 제어기는 3.1절에서 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.

$$\begin{aligned} x_c(k+1) &= A_c x_c(k) + B_c u_c(k) \\ y_c(k) &= C_c x_c(k) + D_c u_c(k) \end{aligned} \quad (4)$$

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 Sampling 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.

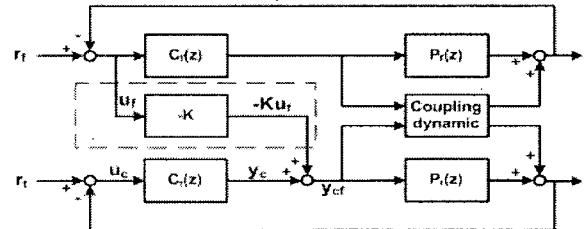


그림 4. 제안한 제어기의 구조

트래킹 서보 수행시 포커싱 서보의 간섭현상을 감소시키기 위하여 그림 3에서 보여진 것과 같이 포커싱 에러와 트래킹 에러의 180도 위상차를 이용한다. 그림 4의 빨간 점선으로 표시된 부분과 같이 입력받은 포커싱 에러신호 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 상쇄시

킨다고 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 감소시킨다. 이 때 게인 값 K 는 0.05로 설정하였다.

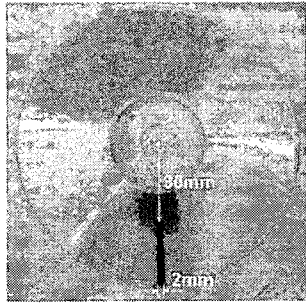


그림 5. 디스크의 표면 결함

3.3 실험결과

디스크의 표면에 결함이 발생할 경우, 광학 빔의 디스크 반사율을 감소시켜 그림 3과 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 알아보겠다.

디스크의 표면 결함을 표현하기 위하여 그림 5와 같이 블랙 펜으로 디스크에 선을 그었다. 그림 5의 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[8].

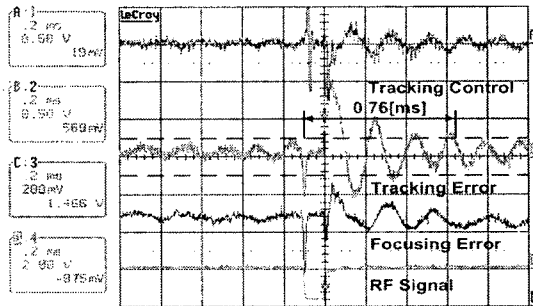


그림 6. Lead Lag 제어기 사용

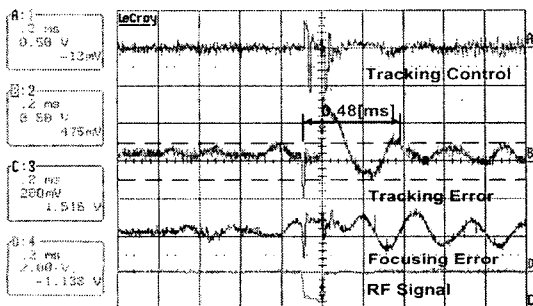


그림 7. Lead Lag 제어기에 포커싱 에러 보상

실험 결과는 그림 6과 그림 7에 나타내었다. 각 그림의 트래킹 에러에 그려진 파란 점선은 트래킹 서보 동작이, 올바르게 작동하여 데이터를 입출력 할 수 있는 범위를 나타낸다.

RF 신호를 관측함으로써 디스크의 표면 결함이 발생했는지를 알 수 있으며, 트래킹 에러 신호를 관측함으로써 표면 결함 발생시의 과도 응답을 관측할 수 있다. 표면 결함이 발생했을 경우, 포커싱 에러를 적용하여 보상하지 않은 경우(그림 5)는 과도 응답 시간이 0.76ms지만 보상한 경우(그림 6)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 제어기가 더 안정된 트래킹 서보를 수행한다. 따라서 위 실험결과로서 광디스크 드라이브 시스템에서 제안한 제어 방식을 사용하였을 때의 우수성을 검증하였다.

5. 결론

본 논문에서는 디스크의 표면에 결함이 발생하였을 때의 포커싱과 트래킹 서보 시스템간의 결합 동역학을 고려한 보상을 통해 트래킹 서보의 성능을 개선시킬 수 있음을 보였다. 커플링된 서보 시스템을 보상하는 방법으로 트래킹 에러와 포커싱 에러의 180도 위상차를 이용하여 트래킹 제어 신호에 포커싱 에러의 일정한 이득을 곱하여 보상해 줌으로써 포커싱 서보에 대한 트래킹 서보 시스템의 영향을 감소시켰다. 제안한 제어기의 트래킹 서보 시스템 성능 개선은 실험을 통하여 검증하였다.

참고문헌

- [1] L.Huang, M. Gong and W. Jia, 2002, "Movement Interference Analysis for Objective Lens Actuator in Optical Disk System", *Sensor and Actuator A*, Vol.102, pp.19-30
- [2] H.Sekiya, S. Kagami 1991. " Stabilization of Focus Servo System for High-Speed Access in a 90 mm MO Disk Drive", *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. 31(1992) pp. 648-652
- [3] Yeh, T.Jen and Pan, Yi-chuan, 2000 "Modeling and Identification of Opto-mechanical coupling and backlash Nonlinearity in Optical Disk Drives"; *proc. of the 2000 American Control Conference*. pp. 3076-3080
- [4] E. Vidal, P. Andersen, J. Stoustrup, and T. Pedersen, 2001, "A study on the surface defects of a compact disk", *Proc. of the 2001 IEEE International Conference on Control Applications*, pp. 101-104.
- [5] E. Vidal, K. G. Hansen, R. S. Andersen, K. B. Poulsen, J. Stoustrup et al., 2001, " Linear Quadratic Controller with Fault Detection in Compact Disk Players", *Proc. of the 2001 IEEE international Conference on Control Applications*, pp. 77-81.
- [6] R. M. Shoji, J. S. Chudy and C. J. Eberly : U.S. Patent 4406000.
- [7] Tomoaki Ryu, Eiji Yokoyama, Masaharu Ogawa and Kenjiro Kime, 2001, "Stable Servo System of Digital Versatile Disk Player against Defect", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol 40, No. 9A, pp.5340-5341
- [8] J. S. Lee, D. S. Jeong, C. C. Chung. "Tracking-Following Control for Disk Surface Defect of Optical Disk Drive Systems." *Proc.of the 2005 Society of Information storage Systems*. pp. 223-228