

고속 광 디스크 드라이브를 위한 디스크의 편심 보상 방법

A Method for Reducing the Effect of Disk Radial Runout for a High-Speed Optical Disk Drive

문 정 호*, 유 정 래
(Jung-Ho Moon and Jung Rae Ryoo)

Abstract : Disk radial runout creates a periodic relative motion between the laser beam spot and tracks formed on an optical disk. While only focus control is activated, the periodic relative motion yields sinusoid-like waves in the tracking error signal, where one cycle of the sinusoid-like waves corresponds to one track. The frequency of the sinusoid-like waves varies depending on the disk rotational speed and the amount of the disk radial runout. If the frequency of the tracking error signal in the off-track state is too high due to large radial runout of the disk, it is not a simple matter to begin track-following control stably. It might take a long time to reach a steady state or tracking control might fail to reach a stable steady state in the worst case. This article proposes a simple method for reducing the relative motion caused by the disk radial runout in the off-track state. The relative motion in the off-track state is effectively reduced by a drive input obtained through measurements of the tracking error signal and simple calculations based on the measurements, which helps reduce the transient response time of the track-following control. The validity of the proposed method is verified through an experiment using an optical disk drive.

Keywords : optical disk drive, radial runout, runout compensation, track-following control

1. 서론

광 디스크에 저장되어 있는 정보를 읽기 위해서는, 레이저 빔 스팟(spot)이 데이터가 기록되어 있는 트랙의 중심을 정확하게 따라가도록 하기 위한 트래킹(tracking) 제어가 필요하다. 디스크가 회전할 때 광 디스크에 형성되어 있는 트랙의 중심과 디스크의 회전 중심은 일반적으로 완전하게 일치하지는 않는데 이를 편심이라고 부른다. 편심은 CD-ROM이나 DVD-ROM과 같은 광 디스크 드라이브의 트래킹 제어 시스템에 작용하는 외란(disturbance)의 가장 주요한 원인이 된다.

트래킹 제어를 위해서는 트래킹 오차 신호가 필요하지만 트래킹 오차 신호는 포커스 제어가 유지되는 동안에만 출력된다. 포커스 제어가 진행되면 레이저 빔의 초점을 디스크의 표면에 정확하게 유지하기 위하여 대물 렌즈가 상하로 끊임 없이 움직이는데 트래킹 제어가 동작하기 전에는 대물 렌즈가 디스크의 반지름 방향으로 움직이지 않는다. 하지만 대물 렌즈가 디스크의 반지름 방향으로 고정되어 있다 하더라도 편심의 영향으로 인하여 대물 렌즈와 디스크 상의 트랙 사이에는 상대적인 움직임이 생긴다.

디스크가 정지해 있을 때 대물 렌즈 바로 위에 위치하고 있던 임의의 트랙은 디스크가 회전을 시작하면 디스크의 바깥쪽으로 나갔다가 정지되어 있는 대물 렌즈를 가로질러서 다시 안쪽으로 돌아온 다음 다시 바깥쪽으로 움직여서 원래의 위치로 돌아온다. 이러한 상대적인 움직임은 디스크의 편심에 의해서 발생하기 때문에 디스크의 매 회전마다 동일한 동작을 반복한다. 따라서 트래킹 제어 시스템에 가해지는 외란은 디스크의 회전 주파수를 그 기본 주파수로 하는 주기성

을 띄게 된다. 트래킹 제어가 시작되면 트래킹 액츄에이터가 대물 렌즈를 디스크의 반지름 방향으로 움직이면서 빔 스팟이 트랙을 따라가도록 제어하는데 트랙이 대물 렌즈를 가로지르며 안쪽과 바깥쪽으로 움직이는 동작을 반복하므로 결국 트래킹 제어가 진행되는 동안 대물 렌즈 역시 디스크의 안쪽과 바깥쪽으로 움직이는 동작을 반복한다.

트래킹 서보 시스템에 가장 큰 영향을 미치는 외란은 편심에 의해서 발생하는 트랙의 주기적인 움직임이므로 트래킹 제어기는 디스크의 회전 주파수에서 가장 큰 이득을 가지고 고주파 대역에서는 전체 폐루프 시스템이 충분한 안정성 여유를 가지도록 설계된다. 현재까지 다양한 제어기 설계 기법이 광 디스크 드라이브 트래킹 제어 시스템에 적용되었다. 여러 가지 형태의 외란 관측기를 도입하여 제어 시스템에 작용하는 편심에 의한 외란을 적극적으로 상쇄시킴으로써 트래킹 제어 성능을 높이기도 하였으며[1-5] 편심에 의한 외란의 특성을 적극 활용하여 주기적인 외란을 효과적으로 억제할 수 있는 반복 제어 이론이 적용되기도 하였다[6]. 이 외에도 일반적인 강인 제어 이론을 광 디스크 드라이브 트래킹 서보 시스템에 적용하는 시도도 많이 있었다[7,8].

지금까지 발표된 대부분의 제어 기법은 트래킹 제어 시, 즉 on-track 상태에서 외란의 영향을 극복하여 제어 성능을 향상시키기 위한 방법이므로 트래킹 제어가 시작되어 정상 상태(steady state)에 이른 후의 상황에 대해 고려하고 있다. 하지만 광 디스크 드라이브의 특성상 포커스 제어기만 동작하는 off-track 상태에서 관측되는 트래킹 오차 신호의 주파수는 on-track 상태에서 나타나는 트래킹 오차 신호의 주파수보다 훨씬 높다. 이는 광 디스크 드라이브의 트래킹 오차 신호는 디스크 상에서의 레이저 빔 스팟(spot)의 절대적 위치에 대한 정보를 제공하는 것이 아니라 빔 스팟과 가장 가까운 트랙 사이의 상대적인 거리에 관한 정보만 제공하기 때문이다. 따라서 안정적인 트래킹 제어 성능을 보장할 수 있는 제어기를

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2005. 10. 27., 채택확정 : 2005. 12. 5.

문정호 : 강릉대학교 전자공학과(itmoon@kangnung.ac.kr)

유정래 : 서울산업대학교 제어계측공학과(jryoo@snut.ac.kr)

※ 이 논문은 2004년도 강릉대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

사용한다 하더라도 트랙킹 제어를 시작하는 시점의 상황에 따라서는 광 픽업(optical pickup)이 디스크의 안쪽 또는 바깥 쪽으로 밀리면서 트랙킹 제어가 정상화될 때까지 매우 긴 시간이 걸릴 수도 있으며 최악의 경우에는 트랙킹 제어의 시작이 불가능해질 수도 있다.

이 논문에서는 포커스 제어기만 동작하는 off-track 상태에서 렌즈와 트랙 사이의 상대적인 움직임을 최소화하여 안정적으로 트랙킹 제어를 시작할 수 있도록 편심의 영향을 감소시킬 수 있는 편심 보상 방법을 제안한다. 미리 정해진 특정한 패턴으로 트랙킹 액추에이터를 움직이면서 측정된 트랙킹 오차 신호를 바탕으로 간단한 계산을 통하여 상대 운동을 최소화시키는 액추에이터 입력 신호를 계산한다. CD-ROM 드라이브를 사용한 실험을 통하여 이 논문에서 제안하는 편심 보상 방법의 타당성을 보인다.

II. 문제 설정

광 디스크 드라이브는 트랙이 미리 만들어져 있는 디스크를 드라이브에 장착하는 구조로 되어 있기 때문에 디스크의 중심과 디스크의 회전 중심이 정확하게 일치하지 않는다. 이와 같은 회전 중심의 불일치 때문에, 대물 렌즈가 고정되어 있다 하더라도 디스크가 회전하는 동안 레이저 빔 스팟과 트랙 사이에는 상대 운동이 생겨난다. 예를 들어서 중심이 어긋난 정도, 즉 편심이 3트랙에 해당한다면, 디스크가 1회전하는 동안 3트랙이 레이저 빔 스팟을 가로 질러 바깥쪽으로 움직였다가 다시 안쪽으로, 그리고 다시 바깥쪽으로 움직인다. 따라서 디스크 1회전 동안에는 모두 12 트랙이 레이저 빔을 가로지르는 결과를 가져온다[9].

트랙킹 제어를 위해서는 빔 스팟이 트랙의 중심으로부터 얼마나 떨어져 있는가를 알려주는 오차 신호가 필요하다. 레이저 빔이 하나의 트랙을 가로지르면 한 주기의 정현파 형태의 트랙킹 오차 신호가 나타난다. 다시 말해서, 트랙킹 오차는 특정한 목표 트랙과 현재 빔 스팟 위치와의 절대적인 거리를 나타내는 것이 아니고, 현재 빔 스팟과 가장 가까운 트랙과 사이의 상대적인 거리만을 나타낸다. 따라서 편심이 3 트랙이라면, off-track 상태에서 디스크가 1회전하는 동안 12주기의 정현파 형태의 신호를 관측할 수 있다. 다음 그림 1은 이때 관측되는 트랙킹 오차 신호를 예시한 것이다.

그림 1에서 확인할 수 있듯이 편심이 크면 클수록 디스크

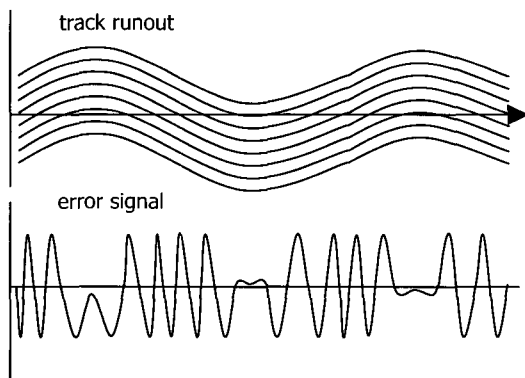


그림 1. Off-track 상태에서의 트랙킹 오차 신호.
Fig. 1. A tracking error signal in the off-track state.

가 1회전하는 동안 트랙킹 오차 신호에 나타나는 정현파 형태의 신호의 싸이클의 수는 많아진다. 따라서 편심이 크면 클수록 off-track 상태에서 관측되는 트랙킹 오차 신호의 주파수는 높아지며 이 주파수는 편심에 의한 외란의 주파수보다 훨씬 높다. 편심에 의한 외란은 디스크의 회전에 의해서 발생하므로 외란의 주파수는 디스크의 회전 주파수와 같기 때문이다. 또한 디스크의 회전 주파수가 높아질수록 off-track 상태에서의 트랙킹 오차 신호의 주파수도 함께 높아진다.

편심이 있다고 하더라도 디스크의 회전 속도가 느린 경우에는 트랙킹 제어를 시작하는데 큰 어려움이 없다. 회전 속도가 낮기 때문에 포커스 제어기가 동작하는 동안 출력되는 트랙킹 오차 신호의 주파수가 그리 높지 않아서 트랙킹 서보가 동작하면 트랙킹 액추에이터가 트랙킹 오차 신호에 충분히 빠르게 반응할 수 있다. 따라서 트랙킹 서보를 동작하는 시점에서 즉시 빔 스팟이 트랙의 중심으로 움직이도록 제어가 이루어진다. 그러나 디스크의 회전 속도가 빨라지고 편심이 커지면 안정적으로 트랙킹 제어를 시작하는 것이 점점 어려워진다.

정상적으로 트랙킹 제어가 이루어지는 상태에서 디스크의 편심에 의한 외란은 디스크의 회전 주파수와 같은 주파수를 가지기 때문에 트랙킹 서보 시스템은 외란에 대하여 충분히 빠르게 반응할 수 있다. 하지만 가장 가까운 트랙과 현재의 빔 위치와의 상대적인 거리를 나타내는 트랙킹 오차 신호의 특성 때문에 트랙킹 제어를 시작하는 시점에는 트랙킹 오차 신호의 주파수는 외란의 주파수보다 훨씬 높아서 트랙킹 액추에이터가 오차 신호에 충분히 빠르게 반응하지 못할 수도 있다. 이런 상황에서는 트랙킹 서보 시스템이 안정화되지 못하여 트랙킹 액추에이터 또는 광 픽업 전체가 한 방향으로 쭉 밀리거나 심하게 진동하는 현상이 나타난다. 이런 현상이 발생하면 이 후에 트랙킹 제어에 성공하더라도 트랙킹 서보가 안정될 때까지의 과도 상태(transient response)가 상당히 길어진다.

III. Off-track 상태에서의 편심 보상 방법

앞에서 언급한 것처럼, off-track 상태에서 나타나는 대물 렌즈와 디스크 상의 트랙 사이의 상대 운동의 주파수는 디스크의 회전 주파수와 같다. 디스크가 1회전하는 동안 트랙킹 오차 신호에 몇 주기의 정현파 형태가 나타나는지를 세면 디스크 편심의 크기를 알 수 있다. 그리고 트랙과 렌즈 사이의 상대 운동의 방향이 바뀌는 지점 부근에서는 상대 운동의 속도가 줄어들어서 정현파 형태의 신호의 변화율이 현저하게 감소하므로 정현파 형태의 신호의 주파수 변화를 관찰하면 상대 운동의 방향이 바뀌는 시점도 알 수 있다. 따라서 렌즈에 대한 디스크의 상대적인 움직임과 똑 같이 대물 렌즈를 움직일 수 있다면 렌즈와 트랙 사이의 상대 운동을 상쇄시킬 수 있으므로 트랙킹 오차 신호의 주파수가 충분히 낮아져서 트랙킹 제어를 안정하게 시작할 수 있다.

문제는 렌즈와 디스크 사이의 상대 운동의 크기와 상대 운동의 방향이 변하는 시점을 알 수는 있지만 실제 상대 운동의 방향, 즉 상대 운동의 위상을 알기는 어렵다는 것이다. 다시 말해서 상대 운동의 방향이 변하는 지점에서 트랙이 대물 렌즈에 대하여 바깥쪽으로 움직이다가 안쪽으로 방향을 바

꾸는 것인지 아니면 그 반대인지 알 수 없다. 또한 렌즈와 디스크 사이의 상대 운동의 진폭과 위상을 안다고 하더라도 그 상대 운동을 상세시킬 수 있도록 트랙킹 액츄에이터를 움직이는 구동 입력을 정확하게 알 수 없다는 것도 또 다른 문제이다. 이 논문에서는 미리 정해진 일정한 형태로 대물 렌즈를 움직이면서 그 동안의 트랙킹 오차 신호를 관측하여 이 값을 바탕으로 상대 운동을 최소화하도록 대물 렌즈를 움직여서 편심의 영향을 감소시킬 수 있는 방법을 제안한다.

광 디스크의 트랙 사이의 간격을 x , 디스크의 회전 주파수를 ω_r 이라고 하자. 이 두 값은 미리 알고 있는 값이다. 포커스 제어기만 동작시킨 상태에서 트랙킹 제어기를 동작시키기 전에 트랙킹 오차 신호를 관측하여 디스크의 1회전 동안 빔 스팟이 가로지른 트랙의 수, 즉 트랙킹 오차 신호에 나타나는 정현파 형태의 싸이클의 수를 측정한다. 가로지른 트랙의 수가 N 이라면 디스크의 편심의 크기는 $0.25N$ 트랙이므로 대물 렌즈와 트랙 사이 상대 운동의 진폭은 $0.25Nx$ 가 된다. 이렇게 얻은 상대 운동의 진폭을 A_d 라고 하자.

다음 단계는 미리 정한 입력으로 트랙킹 액츄에이터를 움직이는 것이다. 디스크의 특정 위치에서부터 시작하여 디스크의 1회전 동안

$$u_0(t) = A_u \cos(\omega_r t + \phi_u) \tag{1}$$

라는 입력을 트랙킹 액츄에이터에 가하여 트랙킹 액츄에이터를 디스크의 반지름 방향으로 디스크의 회전 주파수 ω_r 로 진동시킨다. 여기에서 A_u 와 ϕ_u 는 미리 정해진 임의의 진폭과 위상 값이다. 이 입력에 의해 움직이는 트랙킹 액츄에이터의 변위는 $A_v A_u \cos(\omega_r t + \phi_u + \phi_v)$ 로 표현된다. 여기에서 A_v 와 ϕ_v 는 디스크의 회전 주파수 ω_r 에서 트랙킹 액츄에이터의 이득과 위상 값으로서 정확하게 알 수 없는 값이다.

입력 (1)에 의하여 액츄에이터가 움직이는 상태에서 나타나는 트랙과 대물 렌즈 사이의 상대 운동은 액츄에이터가 고정되었을 때의 상대 운동과는 당연히 다르다. 이 상태에서 디스크가 1회전 하는 동안 빔 스팟이 가로지른 트랙의 수를 세면 앞에서와 마찬가지로 방법으로 움직이는 대물 렌즈와 트랙간의 상대 운동의 크기를 알 수 있다. 이렇게 얻은 진폭을 $A_r(0)$ 라고 하자. $A_r(0)$ 는 입력 (1)에 의해서 움직이는 대물 렌즈와 편심의 영향에 의해서 움직이는 트랙 사이의 상대적인 운동에 의해서 발생하기 때문에 아래의 그림 2와 같은 벡터 관계가 성립한다.

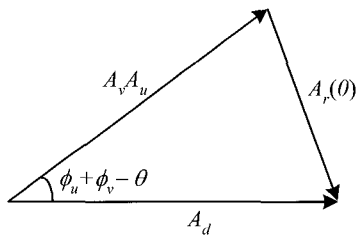


그림 2. 벡터 상관 관계.

Fig. 2. Vector relation.

여기에서 θ 는 렌즈가 고정되어 있을 때 편심에 의한 디스크와 렌즈 사이의 상대 운동의 위상이다. 만일 입력 (1)에 의한 대물 렌즈의 움직임이 편심의 영향에 의한 트랙의 움직임과 크기와 위상이 완전히 일치한다면 $A_u A_v$ 는 A_d 와 같아지며 $\phi_u + \phi_v$ 와 θ 가 같아지므로 $A_r(0)$ 는 0이 되어 렌즈와 디스크 사이의 상대적 움직임은 완전히 사라지게 된다. 반면에 입력 (1)에 의한 대물 렌즈의 움직임이 편심에 의한 트랙의 움직임과 크기는 일치하면서 위상이 반대라면 $A_r(0)$ 는 $2A_d$ 가 될 것이다. 이는 렌즈와 트랙이 완전히 반대 방향으로 움직이기 때문이다. 위 그림 2에서 $A_r(0)$ 는 cosine 제2법칙으로부터

$$A_r(0)^2 = A_d^2 + (A_u A_v)^2 - 2A_d A_v A_u \cos(\phi_u + \phi_v - \theta) \tag{2}$$

의 관계를 만족시킨다. (2)에서 알 수 있듯이 액츄에이터에 가해주는 구동 전압의 진폭 A_u 와 위상 ϕ_u 에 따라 트랙과 렌즈 사이의 상대적인 움직임이 달라지게 된다.

$A_r(0)$ 의 측정이 끝나면 그 다음으로 입력 (1)의 진폭은 A_u 로 동일하지만 위상이 정반대인 신호 $-A_u \cos(\omega_r t + \phi_u)$ 를 트랙킹 액츄에이터에 가하면서 앞에서와 같은 방법으로 디스크와 트랙 사이의 상대 운동의 진폭을 측정한다. 이렇게 측정된 상대 운동의 진폭을 $A_r(\pi)$ 라고 하면 앞의 (2)와 마찬가지로 아래의 관계

$$A_r(\pi)^2 = A_d^2 + (A_u A_v)^2 + 2A_d A_v A_u \cos(\phi_u + \phi_v - \theta) \tag{3}$$

가 성립한다.

위 (2)와 (3)에서 A_d , $A_r(0)$, $A_r(\pi)$ 는 모두 측정값이며, A_u 와 ϕ_u 는 임의로 정하여 액츄에이터에 가해주는 값이므로 모두 알고 있는 값이다. 위 두 식에서 모르는 값은 주파수 ω_r 에서 액츄에이터의 이득 A_v , 위상 지연 ϕ_v , 그리고 편심에 의한 트랙의 움직임의 위상 θ 이다. 위 두 (2)와 (3)을 서로 더하면 회전 주파수 ω_r 에서 액츄에이터의 이득 A_v 를 알아낼 수 있으며 (3)에서 (2)를 빼고 앞에서 구한 A_v 를 대입하면 $\phi_u + \phi_v - \theta$ 를 알아낼 수 있다. 이 과정을 식으로 정리하면

$$A_v = \sqrt{\frac{(A_r(\pi))^2 + A_r(0)^2 - 2A_d^2}{2A_u^2}} \tag{4}$$

$$\phi = \phi_u + \phi_v - \theta = \cos^{-1}\left(\frac{(A_r(\pi))^2 - A_r(0)^2}{4A_d A_u A_v}\right)$$

와 같다.

(4)에서 구한 값을 이용하면 off-track 상태에서 나타나는 편심에 의한 트랙과 대물 렌즈 사이의 상대 운동의 크기를 줄일 수 있다. 대물 렌즈와 트랙 사이의 상대적인 움직임을 줄여주기 위해서는 대물 렌즈가 편심에 의한 트랙의 움직임을 따라가도록 만들어야 한다. 이를 위해서는 그림 2에서 $A_v A_u$ 값이 A_d 와 같아야 하며 $\phi_u + \phi_v - \theta$ 가 0이 되어야 하므로 (4)에서 구한 값을 이용하여 아래와 같은 새로운 구

동 입력

$$u(t) = \frac{A_d}{A_v} \cos(\omega_r t + \phi_u - \phi) \quad (5)$$

을 가해주면 off-track 상태에서 나타나는 편심의 영향을 없앨 수 있다. 여기에서 ϕ 는 (4)에서 구한 $\phi_u + \phi_v - \theta$ 값이다. (5)의 입력을 트랙킹 액츄에이터에 가해주면 이 입력에 의한 트랙킹 액츄에이터의 변위는 $A_d \cos(\omega_r t + \theta)$ 가 되므로 트랙킹 액츄에이터의 움직임이 편심에 의한 디스크의 움직임과 완전히 일치하게 되므로 이론적으로 편심의 영향을 완전히 없앨 수 있다.

IV. 실험 결과

이 논문에서 제시한 편심 보상 방법을 검증하기 위하여 6000 rpm으로 회전하는 광 디스크에 편심 보상 방법을 적용하는 실험을 수행하였다. 아래 그림 3은 트랙킹 제어 시스템의 간략한 블록선도이다.

아래 그림에서 K_{PD} 는 트랙킹 오차 신호를 검출하기 위한 광학계의 이득을 나타내며 $C(s)$ 와 $P(s)$ 는 각각 트랙킹 제어기와 트랙킹 액츄에이터의 전달 함수이다. $d(t)$ 는 편심에 의한 외란을 의미한다. 이 논문에서 고려하고 있는 편심 보상 알고리즘은 포커스 서보만 동작하고 있는 상황에서 $d(t)$ 의 영향을 감소시키는 방법이므로 이 논문에서 제시한 편심 보상 방법은 트랙킹 제어기 $C(s)$ 와는 직접적인 상관은 없다. 이 논문

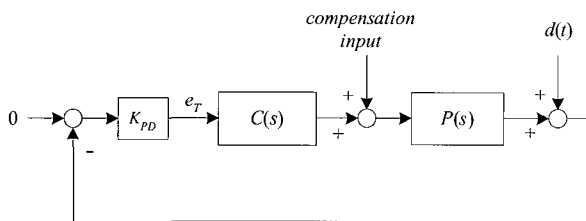


그림 3. 트랙킹 제어 시스템의 블록선도.
Fig. 3. Block diagram of the track-following control system.

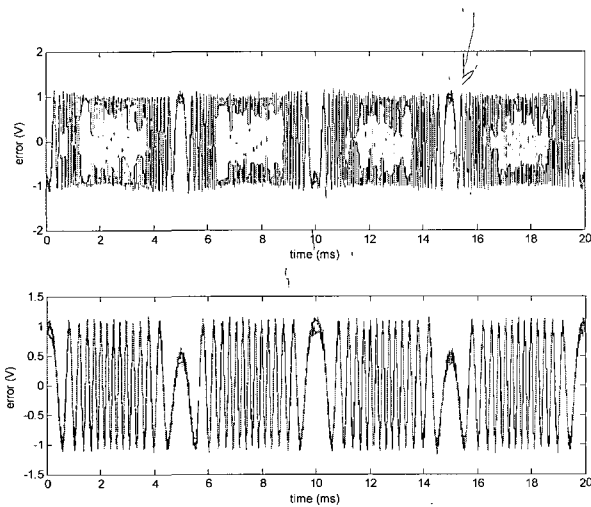


그림 4. 편심 보상 전후의 트랙킹 오차 신호.
Fig. 4. Tracking error signals before and after the eccentricity compensation.

의 편심 보상 알고리즘을 수행한 후 트랙킹 제어가 시작되면 $C(s)$ 가 동작하게 된다.

그림 4는 off-track 상태에서 측정된 트랙킹 오차 신호를 나타낸 것이다.

왼쪽의 파형은 편심 보상 알고리즘을 적용하기 전에 측정된 트랙킹 오차 신호이며 아래쪽의 파형은 이 논문에서 제시한 편심 보상 알고리즘을 적용한 다음 측정된 트랙킹 오차 신호이다. 편심 보상 알고리즘을 적용하기 전에는 약 40 트랙 정도의 runout이 있었기 때문에 트랙킹 오차 신호가 상당히 높은 주파수 성분을 가지는 것을 볼 수 있다. 하지만 편심 보상 알고리즘을 적용하여 편심의 영향을 감소시킨 후에는 약 6~7 트랙 정도의 runout만이 남게 되어 트랙킹 오차 신호의 주파수 역시 상당히 낮아졌다.

이론적으로는 편심에 의한 디스크의 움직임과 트랙킹 액츄에이터의 움직임이 완전히 일치하게 되어 트랙킹 액츄에이터와 디스크 사이의 상대 운동이 완전히 사라지게 되지만 실제 실험에서는 편심의 영향을 완전히 없애는 것은 불가능하였다. 이것은 디스크와 대물 렌즈 사이의 상대 운동은 트랙킹 오차 신호를 사용하여 간접적으로 측정하므로 측정 과정에서 약간의 오차가 생길 수 밖에 없기 때문이다. 예를 들면 상대 운동의 방향이 바뀌는 지점에서는 트랙의 어느 정도까지를 통과하다가 다시 방향을 바꿔서 돌아가는지 판단하기가 어렵다. 이런 이유 때문에 편심의 영향을 완전히 제거하지는 못 했다고 하더라도 6~7 트랙 정도의 runout은 트랙킹 서보로 충분히 극복할 수 있으므로 트랙킹 제어를 안정하게 시작하도록 도와서 과도 응답 시간을 줄인다는 목적에는 충분히 부합한다고 하겠다.

이 논문에서 제시한 off-track 편심 보상 방법은 디스크 2회전 후 곧 출력을 계산할 수 있다는 점에서 그리 많은 시간을 소모하지 않는다. 위 실험에서처럼 6000rpm으로 디스크가 회전하고 있다면 20ms 정도의 측정 시간 이후에 곧바로 편심의 영향을 줄일 수 있는 출력을 계산할 수 있다. 렌즈와 디스크 사이의 상대 운동의 크기를 측정하는 시간을 디스크의 1회전에서 1/2회전으로 줄인다면 더 빠른 시간 내에 원하는 출력을 디스크 계산할 수 있을 것이다.

VI. 결론

이 논문에서는 디스크의 편심에 의한 영향을 감소시켜서 트랙킹 제어를 안정적으로 시작할 수 있는 효과를 가진 off-track 편심 보상 방법을 제안하였다. 미리 정해진 형태의 입력을 트랙킹 액츄에이터에 가하면서 관측되는 트랙킹 오차 신호를 이용하여 간단한 계산을 통하여 편심의 영향을 감소시킬 수 있음을 보였으며 광 디스크 드라이브를 사용한 실험을 통하여 이 논문에서 제안한 방법의 효과를 검증하였다. 이 논문에서 제시하고 있는 방법은 off-track 상태에서 편심의 영향을 감소시키는 것이지만, 디스크의 회전 주파수가 바뀌지 않으면 편심의 영향도 크게 변하지 않으므로 이 방법으로 얻은 보상 입력을 피드 포워드 제어 입력으로 트랙킹 제어 상태에서 계속 적용하는 것도 가능하며 그림 3의 $C(s)$ 가 반복 제어기나 반복 학습 제어기인 경우에는 편심 보상 입력 값을 트랙킹 제어 입력을 계산하기 위한 초기 값으로 활용하는 것도 효과적이라고 할 수 있다.

참고문헌

[1] J. R. Ryoo, K. B. Jin, J.-H. Moon, and M. J. Chung, "Track-following control using a disturbance observer with asymptotic disturbance rejection in high-speed optical disk drives," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 49, no. 4, pp. 1178-1185, Nov., 2003.

[2] 정종일, 김무섭, 오경환, 정정주, "수정된 외란 관측기를 이용한 광 디스크 드라이브 서보 시스템," 제어·자동화·시스템 공학 논문지, vol. 11, no. 6, pp. 484-491, 2005.

[3] 김홍록, 최영진, 서일홍, 정완권, 박명관, 이경호, "강인성과 제어 성능을 고려한 외란 관측기의 설계 (2): 광 디스크 드라이브 서보 시스템에의 적용 실험," 제어·자동화·시스템 공학 논문지, vol. 9, no. 4, pp. 270-276, 2004.

[4] K. Fujiyama, R. Katayama, T. Hamaguchi, and K. Kawakami, "Digital controller design for recordable optical disk player using disturbance observer," in *Proc. of Advanced Motion Control*, pp. 141-146, 2000.

[5] K.-S. Kim, S.-P. Hong, Y.-H. Han, and H. Son, "Using a disturbance observer for eccentricity compensation in optical storage systems," in *Proc. of International Conference on Control, Automation, and Systems*, pp. 1983-1986, 2001.

[6] J.-H. Moon, M.-L. Lee, and M. J. Chung, "Repetitive control for the track-following control of an optical disk drive," *IEEE Trans. Control Systems Technology*, vol. 6, no. 5, pp. 663-670, 1998.

[7] M.-L. Lee, J.-H. Moon, and M. J. Chung, "Robust H_∞ control with multiple constraints for the track-following system of an optical disk drive," *IEEE Trans. Industrial Electronics*, vol. 45, no. 4, pp. 638-645, 1998.

[8] 이문노, 진경복, 문정호, "불확실한 주파수의 정현파 외란이 있는 기록형 광 디스크 드라이브의 강인 제어," 제어·자동화·시스템 공학 논문지, vol. 8, no. 8, pp. 682-690, 2002.

[9] A. B. Marchant, *Optical Recording: A Technical Overview*, Addison-Wesley, 1990.

문 정 호



1969년 3월 8일생. 1991년 서울대학교 제어계측공학과 졸업. 1993년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 및 1998년 박사. 1998년~2002년 삼성전자 및 휴맥스 연구원. 2003년~현재 강릉대학교 전자공학과 조교수. 관심분야는 반복 학습 제어, 디스크 드라이브 서보 시스템, 임베디드 시스템.

유 정 래



1972년 2월 6일생. 1996년 한국과학기술대학 전기 및 전자공학과 졸업. 1998년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 및 2004년 박사. 2005년 9월~현재 국립서울산업대학교 제어계측공학과 전임강사. 관심분야는 강인 동작 제어, 광 디스크 드라이브 서보 제어, DSP를 이용한 디지털 제어 시스템 설계.