

# 광디스크 드라이브에서의 대물렌즈 자동광축보정

## Optical Axis Auto-adjustment of Objective Lens in Optical Disc Drives

유 정 래\*, 문 정 호, 조 주 필  
(Jung Rae Ryoo, Jung-Ho Moon, and Jupil Cho)

**Abstract :** Optical axis misalignment, which represents the position deviation of the objective lens from the optical axis, is an inevitable assembly error in an optical pick-up. Since the laser power intensity varies with respect to the distance from the optical axis, the misalignment leads to variation of the laser spot power intensity, which is one of the critical factors increasing data bit-error-rate in optical disc drives. In this paper, an auto-adjustment scheme for optical axis alignment is proposed to eliminate the undesirable variation of the laser spot power intensity in optical disc drives. An envelope of the data RF signal is extracted and utilized to detect the optical axis misalignment. Then an adjustment input is added to the driving input of the tracking actuator to shift the objective lens to the optical axis. Finally, the feasibility is verified by experiments.

**Keywords :** optical disc drive, optical axis, auto-adjustment, objective lens

### I. 서론

광디스크 드라이브에서는 데이터의 기록 및 재생을 위하여 레이저 빔을 이용한다. 레이저 다이오드(Laser Diode, LD)에서 출력된 레이저 빔은 각종 광학소자를 거친 후 최종적으로 대물렌즈(objective lens)를 통하여 광픽업(optical pickup) 외부로 출사되며, 출사광은 디스크의 기록면에 반사된 후 다시 대물렌즈를 통하여 광픽업 내부의 광검출기(photo detector, PD)에서 수신된다. 데이터 재생 과정에서는 디스크에 반사되어 광검출기에 수신된 광의 세기를 재생 데이터로 변환하며, 반대로 데이터 기록 과정에서는 레이저 다이오드의 출사광량을 기록할 데이터에 맞추어 제어한다. 이 과정에서 디스크 기록면의 데이터 트랙에 광스팟이 형성되도록 대물렌즈의 디스크에 대한 수직, 수평 위치를 광픽업에 내장된 액츄에이터를 이용하여 제어한다. 즉, 서보 시스템은 광스팟의 위치를 결정하고, 데이터의 기록/재생은 디스크 표면에 형성되는 광스팟의 강도에 의하여 결정된다.

레이저 다이오드에서의 레이저 출사광량은 데이터 재생을 위한 광검출기 외에 별도의 광검출기(front photo detector, FPD) 센서를 이용한 레이저 광량 제어 회로에 의하여 정밀하게 제어된다. 그러나, 이 회로는 레이저에서 출사되는 광량을 제어하는 것으로 데이터의 재생 및 기록에 직접적으로 연관이 있는 디스크 표면의 광스팟 광강도와는 다소 차이가 있다. 즉, 레이저 다이오드에서 출력되는 광강도가 정밀하게 제어된다고 하더라도, 디스크 표면에 형성되는 광스팟의 강도는 광픽업에 탑재된 각종 광학소자의 편차와 서보 제어에서의 오차로 인하여 기준 광량으로 정밀하게 유지되지 않는다. 대표적인 오차의 원인은 다음과 같이 요약된다.

- 레이저 다이오드와 광검출기 등 광학 소자 자체의 오차
- 광픽업 조립과정에서 발생하는 부품들의 조립 오차

- 서보 제어에서의 제어 오차

대물렌즈 수평위치의 광축에 대한 정렬 오차는 서보 제어 오차와 광픽업 조립 오차가 복합적으로 나타나는 현상이다. 트랙 추종 서보 시스템의 제어 정밀도 향상을 위한 연구에서는 트래킹 액츄에이터에 대한 다양한 제어 알고리즘과 제어기 설계 방법이 제안되었다[1-4]. 데이터 기록/재생을 위한 트랙 추종 서보 제어에서는 데이터 트랙을 추종하는 정밀도와 더불어 대물렌즈의 수평위치가 광축에서 크게 벗어나지 않아야 디스크에 형성되는 광스팟의 광강도가 일정하게 유지될 수 있다. 이를 위하여 2단 액츄에이터(dual-stage actuator)를 사용하는 트랙 추종 서보 시스템에서 대물렌즈를 중립위치로 유지하기 위한 보상기 설계에 관한 연구가 수행되었다[5]. 또한, 광축의 디스크에 대한 수직 정렬의 문제를 해결하기 위한 기구적인 개선이 연구되었다[6]. 그러나, 대물렌즈의 중립위치가 광축에 정렬되지 않는 경우에는 레이저다이오드 광량 제어 회로와 서보 시스템이 아무리 잘 동작하여도 디스크 표면에 형성되는 광스팟의 강도는 일정하게 유지될 수 없으며, 이는 데이터 기록 및 재생에 오차를 발생시킨다. 여기서 광축(optical axis)은 레이저 다이오드 출사광의 중심이며, 대물렌즈의 중립위치는 트래킹 액츄에이터에 전원을 인가하지 않은 상태에서의 광축에 대한 대물렌즈의 디스크 수평방향 상대 위치이다[7].

본 논문에서는 데이터 기록/재생을 위한 트랙 추종 서보 시스템에서 대물렌즈의 수평위치를 광축에 정렬하기 위한 자동 광축 보정 알고리즘을 제안한다. 광디스크 드라이브 서보 시스템에서는 서보의 안정성 확보 및 정확한 데이터 입출력을 보장하기 위하여 데이터 입출력 전에 광픽업과 디스크에 존재하는 다양한 편차를 보상하는 각종 자동조정을 1회 수행하는데, 본 논문에서 제안하는 자동 광축 보정 알고리즘도 이러한 자동 조정의 범주에 포함되어 데이터 입출력 전에 수행된다. 광디스크 드라이브 서보 제어 시스템의 특성상 대물렌즈의 광축 정렬 오차는 측정이 불가능하므로 수신 데이터 신호의 품질을 이용하여 보정값을 추출한다. 이와 아울러, 추출한 보정값을 이용하여 대물렌즈를 광축에 정렬하는 서보 제어 구조를 제시한다. 이 때, 보정값을 기존의 제어 구조

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 8. 20., 채택확정 : 2008. 5. 6.

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

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

조주필 : 군산대학교 전자정보공학부(stefano@kunsan.ac.kr)

※ 본 논문은 서울산업대학교 신입교수연구과제의 연구 결과임.

에 적용함에 있어서 데이터 트랙 추종 정밀도가 저하되지 않아야 하며, 보정 전압에 의한 트래킹 액츄에이터와 슬레드 모터의 이동 변위는 동일한 거리에 방향만 반대가 되도록 설정되어야 한다. 이러한 조건을 만족하면 트래킹 액츄에이터와 슬레드 모터로 구성되는 2단 액츄에이터 구조의 자체 운동(self motion)에 의하여 대물렌즈의 수평위치는 데이터 트랙의 중앙을 정밀하게 추종하면서도 광픽업에 고정된 광축이 대물렌즈의 중앙으로 이동하는 효과를 거둘 수 있다. 마지막으로 제안된 자동 광축 보정 알고리즘을 실제 시스템에 적용하여 그 타당성을 입증한다.

**II. 대물렌즈 수평위치의 광축에 대한 정렬 오차**

그림 1에는 광디스크 드라이브의 트랙 추종 서보 시스템의 기구부를 나타내었다. 데이터 기록/재생을 위해서는 광스팟이 디스크의 데이터 트랙에 위치하여야 한다. 광스팟의 위치는 트래킹 액츄에이터에 의하여 구동되는 대물렌즈의 수평방향 위치에 의하여 결정되는데, 트래킹 액츄에이터와 대물렌즈를 탑재한 광픽업의 수평위치는 슬레드 모터에 의하여 결정되므로, 광스팟의 위치는 결국 트래킹 액츄에이터의 변위와 슬레드 모터 변위의 합으로 결정된다. 따라서, 트랙

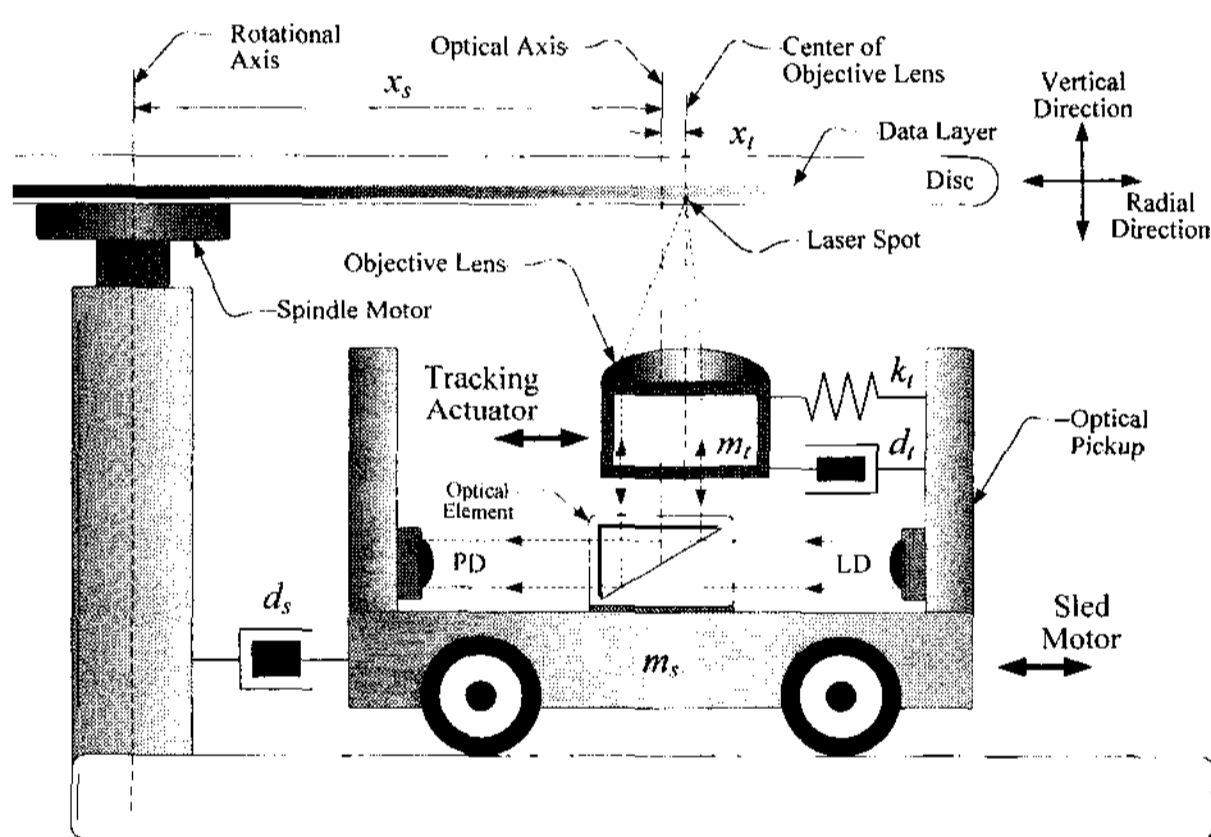


그림 1. 광디스크 드라이브 트랙 추종 기구부.  
Fig. 1. Schematic view of a track-following mechanism in an optical disc drive.

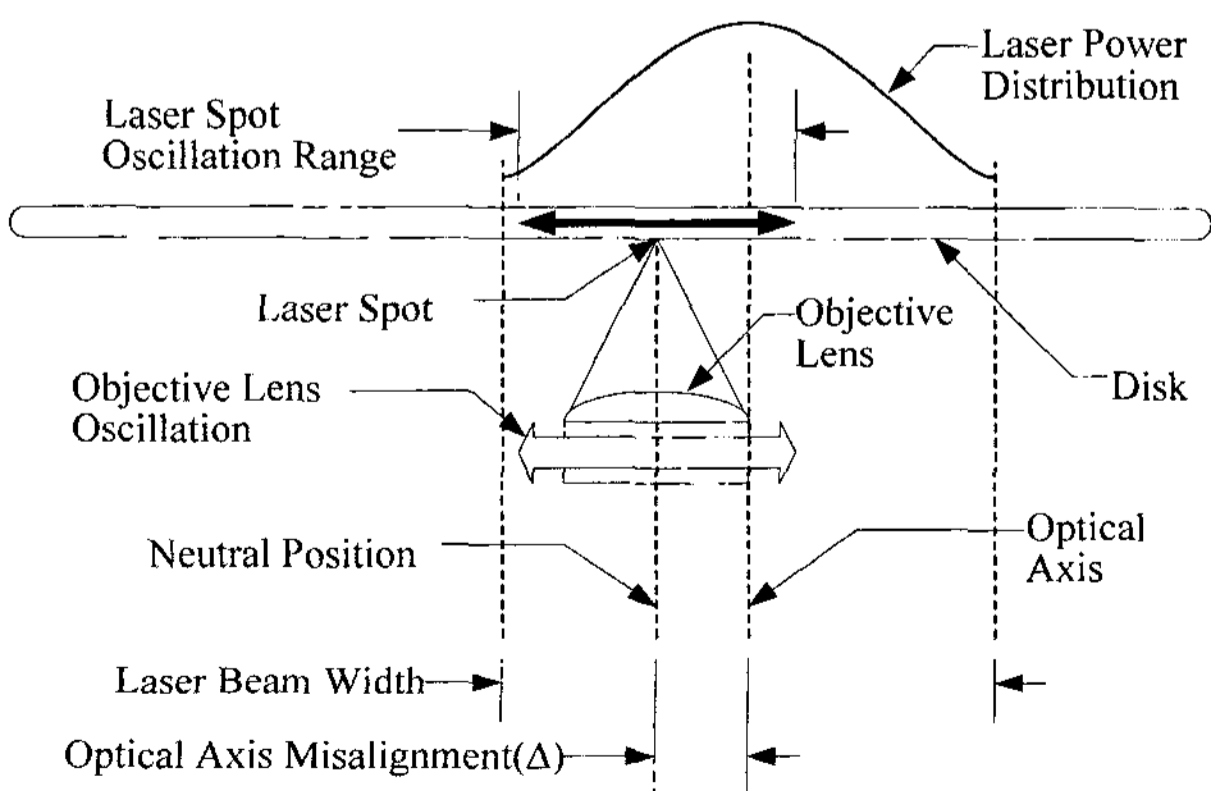


그림 2. 광축에 대한 대물렌즈 중립위치의 정렬 오차.  
Fig. 2. Neutral position misalignment of objective lens with respect to the optical axis.

추종 서보 시스템의 기구부는 2단 액츄에이터 구조에 의하여 광스팟의 수평위치 제어 외에 자유도가 하나 남는 여유 자유도 매니플레이터로 간주할 수 있으며, 본 논문에서는 여분의 자유도를 이용하여 광축을 보정하는 제어 목적을 달성한다.

그림 2에는 대물렌즈 수평위치의 광축에 대한 정렬 오차를  $\Delta$ 로 나타내었다. 레이저 다이오드에서 출사된 빔의 광각도는 광축에서 최대이며 광축에서 벗어날수록 강도가 줄어든다. 대물렌즈는 레이저 다이오드 출사광 중 일부를 집광하여 디스크 데이터 기록층 표면에 레이저 스팟을 형성한다. 따라서, 대물렌즈의 수평위치가 광축에서 벗어나게 되면 레이저 스팟에 집광되는 광의 세기도 줄어들게 되고, 결국 재생 및 기록에 직접적인 영향을 미치는 레이저 스팟의 광각도를 약하게하므로 재생 및 기록의 정확성을 저하시킬 수 있다.

또한, 디스크 편심에 의한 트랙의 수평방향 진동 성분을 트래킹 액츄에이터가 추종하기 위해서는 대물렌즈의 수평위치가 광축으로부터 이탈하는 현상이 발생할 수 밖에 없다. 하지만, 대물렌즈의 중립위치가 광축에서 벗어난 상황에서의 데이터 트랙 추종은 결과적으로 재생 데이터 신호의 진폭을 주기적으로 변화시키므로 재생 데이터의 정확성에 악영향을 미친다. 트랙 추종 과정에서 대물렌즈의 수평위치는 트래킹 액츄에이터의 중립위치가 되도록 슬레드 모터에 의하여 제어된다. 따라서, 정확한 데이터 재생 및 기록을 위해서는 대물렌즈 중립위치를 광축에 정렬하는 자동조정이 선행되어야 한다.

**III. 대물렌즈 중립위치의 광축에 대한 자동정렬**

대물렌즈의 중립위치를 광축에 정렬하기 위해서는 전술한 정렬오차  $\Delta$ 를 측정하거나 상대적인 정렬 정도를 측정하여야 한다. 광픽업에서의 모든 측정 신호는 디스크에 반사된 광신호를 활용하고 디스크의 데이터 기록 상태에 따라서 모든 신호가 영향받으므로 절대적인 정렬오차  $\Delta$ 를 측정하는 것은 불가능하고, 대안으로 상대적인 정렬 정도를 측정한다. 트래킹 액츄에이터에 DC 보정 전압을 인가하여 대물렌즈의 중립위치를 가변하면서 최적의 정렬 정도를 나타내는 DC 전압을 찾고, 해당 DC 전압만큼 정확히 이동하도록 적절한 제어 구조를 적용한다.

**1. 광축에 대한 대물렌즈 중립위치의 측정**

광축에 대한 대물렌즈의 중립위치 정렬 상태를 측정하기 위하여 본 논문에서는 수신된 재생 데이터 신호의 크기를 사용한다. RF 신호로 불리는 재생 데이터 신호는 그 주파수가 높기 때문에 신호의 진폭을 디지털 서보 시스템에서 측정하기 위해서 신호의 포락선(envelope) 신호를 생성하고, 이 신호의 DC 전압을 샘플링하여 사용한다. 그림 3에는 재생 데이터 신호의 크기 측정을 위한 포락선 신호 생성 과정을 요약하였다. 데이터 RF 신호는 데이터 재생을 위한 이치화(slicer) 및 PLL에 입력되는 한편, 신호의 상태를 검출하기 위한 포락선 신호 생성기(envelope detector)에 입력된다.

그림 4에는 대물렌즈의 중립위치와 데이터 RF 신호의 포락선과의 관계를 나타내었다. 그림 4(a)와 (c)는 대물렌즈의 중립위치가 광축에서 많이 벗어난 경우를 나타내었다. 편심

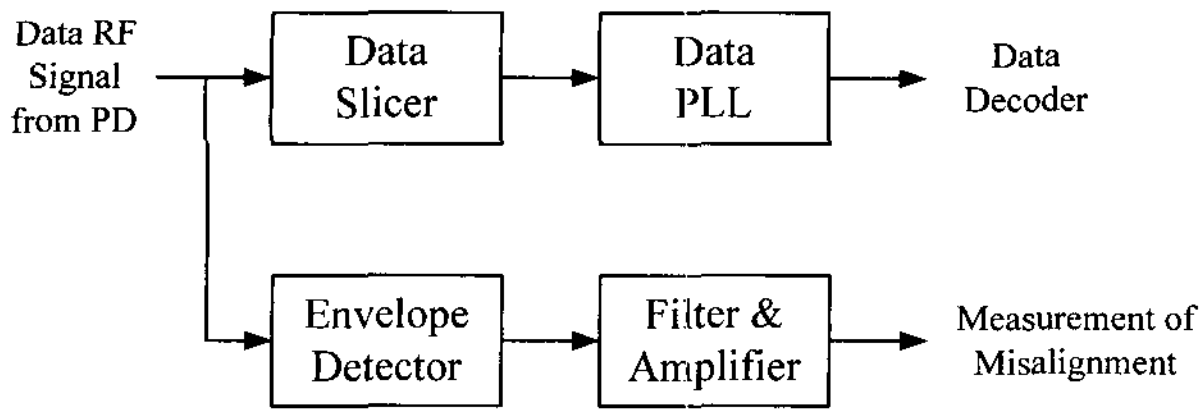


그림 3. 데이터 RF 신호의 포락선 신호 생성.  
Fig. 3. Generation of envelope signal representing data RF signal amplitude.

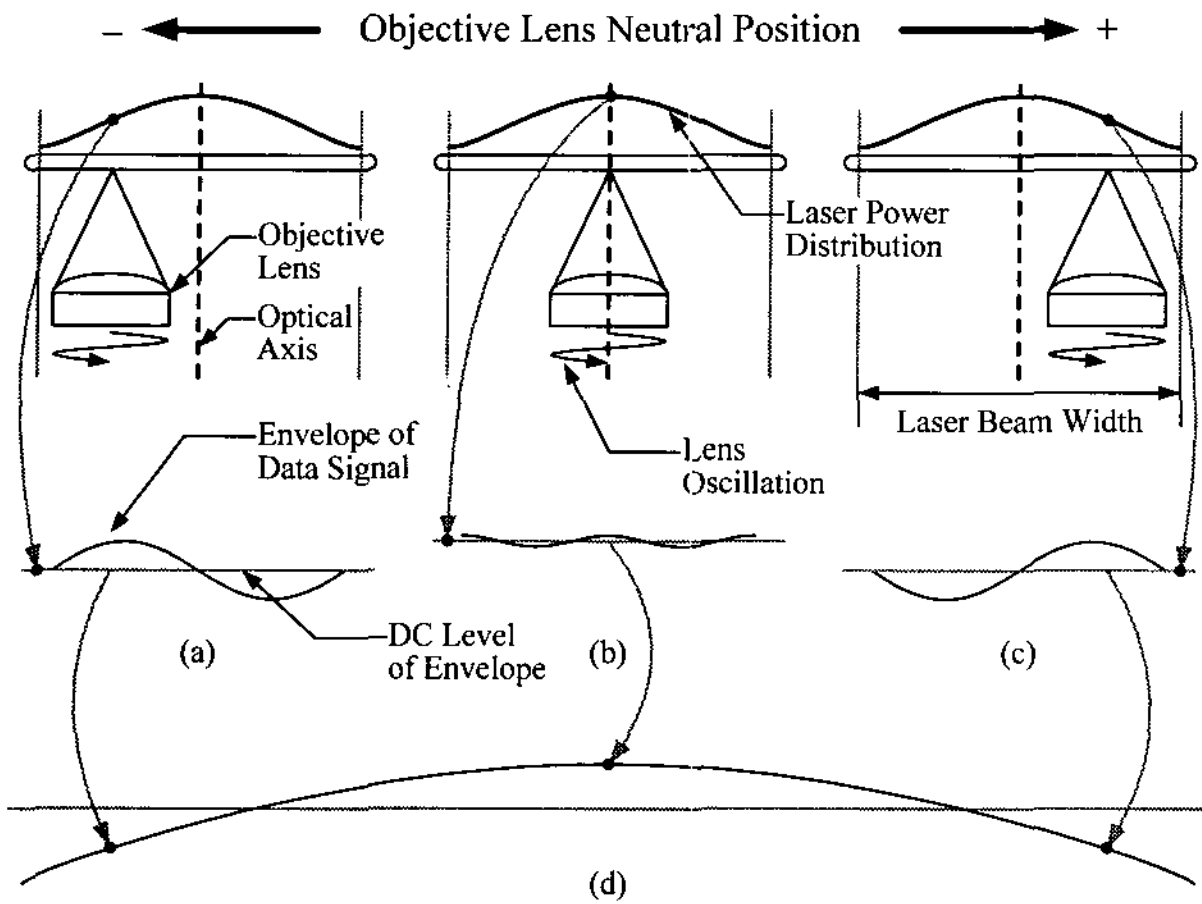


그림 4. 광축에 대한 대물렌즈 중립위치와 포락선의 관계.  
Fig. 4. Neutral position misalignment of objective lens vs. envelope signal of data RF signal.

에 의한 트랙의 수평방향 진동 성분을 추적 액츄에이터에 의하여 대물렌즈가 충실히 추종함에 따라 대물렌즈가 디스크 회전 주기에 맞추어 수평방향으로 진동하게 되고, 그 결과로 대물렌즈가 광량이 적은 영역까지 이동하므로 수신 RF 데이터 신호의 진폭은 마찬가지로 디스크 회전 주기에 맞추어 주기적으로 변하게 된다. 그림 4(b)의 경우는 대물렌즈 중립위치와 광축이 일치한 경우로 그림 4(a)와 (c)에서와 동일한 편심성분을 추종하더라도 광량의 변화가 크지 않으므로 상대적으로 일정한 크기의 RF 데이터 신호를 얻을 수 있다. 즉, 그림 4(d)에 나타난 것처럼 광축에서 대물렌즈 중립위치까지의 거리에 따라 증가/감소하는 데이터 RF 신호의 포락선을 상대적인 정렬 정도로 활용하고, 이 포락선이 최대가 되도록 대물렌즈의 중립위치를 조절한다.

2. 대물렌즈 수평위치 보정을 위한 추적 제어 구조

그림 5에는 대물렌즈의 중립위치 보정을 위한 추적 제어 구조를 나타내었다. 대물렌즈는 추적 액츄에이터  $P_t(s)$  에 연결되어 있으므로 추적 액츄에이터의 변위  $x_t$  를 대물렌즈의 이동 거리로 생각할 수 있다.  $u_{adj}$  는 궤환 보상기  $C_t(s)$  와  $C_s(s)$  에 관련없이 대물렌즈를 수평방향으로 일정량만큼 이동시키는 역할을 한다. 기존의 제어기 설계에서와 마찬가지로 추적 액츄에이터 보상기  $C_t(s)$  는 편심에 의한 외란 성분인  $x_d$  의 영향을 최소화하도록 설계되며, 슬레드 모터 보상기  $C_s(s)$  는 나선형의 트랙을 추종함에 따라 발생

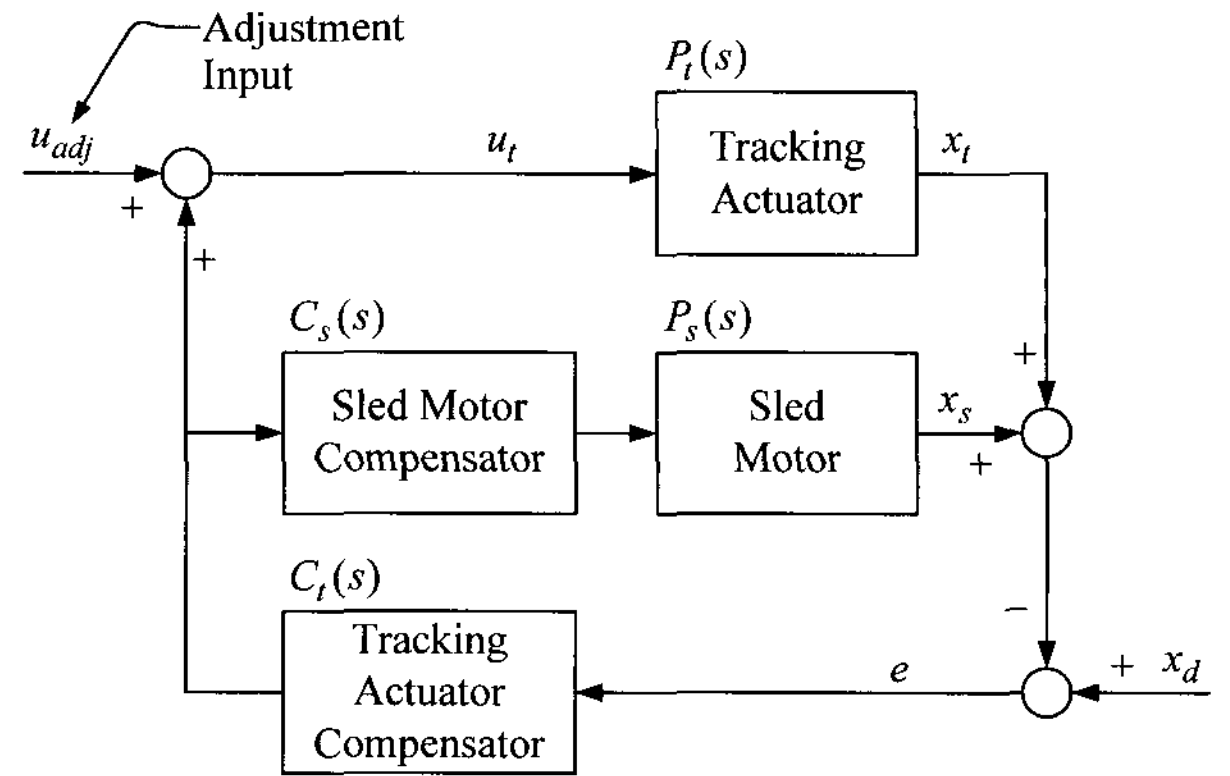


그림 5. 대물렌즈 중립위치 보정을 위한 제어 구조.  
Fig. 5. Control structure to adjust neutral position of objective lens.

하는 대물렌즈의 치우침을 제거하기 위하여  $C_t(s)$  의 DC 오프셋을 제거하도록 설계한다[5,8].

제어 구조에서  $u_{adj}$  는 대물렌즈 중립위치 보정을 위한 DC 입력을 나타낸다. 제어구조에서  $u_{adj}$  를 인가하는 위치는 다음의 조건을 만족하도록 선택되었다.

- 보정전압에 의한 트랙 추종 정밀도 저하가 없어야 한다.
- 보정전압에 의하여 추적 액츄에이터와 슬레드 모터가 동일한 거리를 반대 방향으로 이동하여야 한다.
- 보정전압에 의한 대물렌즈 이동 거리가 설계된 보상기와 무관하여야 한다.

이 3가지 조건을 그림 5의 제어 구조가 만족하는지 확인하면 다음과 같다. 외부 입력  $u_{adj}$  와  $x_d$  로부터 추적 에러  $e$  와 추적 액츄에이터의 변위  $x_t$ , 그리고 슬레드 모터의 변위  $x_s$  는 다음과 같이 정리된다.

$$e = -\frac{P_t}{1 + C_t P_t + C_t C_s P_s} u_{adj} + \frac{1}{1 + C_t P_t + C_t C_s P_s} x_d \quad (1)$$

$$x_t = \frac{P_t(1 + C_t C_s P_s)}{1 + C_t P_t + C_t C_s P_s} u_{adj} + \frac{C_t P_t}{1 + C_t P_t + C_t C_s P_s} x_d \quad (2)$$

$$x_s = -\frac{P_t C_t C_s P_s}{1 + C_t P_t + C_t C_s P_s} u_{adj} + \frac{C_t C_s P_s}{1 + C_t P_t + C_t C_s P_s} x_d \quad (3)$$

여기서 라플라스 연산자  $s$  는 편의를 위하여 생략하였다. 슬레드 모터  $P_s(s)$  의 DC 이득은  $P_t(s)$  에 비하여 충분히 높기 때문에 (1)과 (2)로부터 DC 보정전압  $u_{adj}$  에 의한 신호 성분을 구하면 다음과 같다.

$$e|_{u_{adj}} \cong 0 \quad (4)$$

$$x_t|_{u_{adj}} \cong P_t(0)u_{adj} \quad (5)$$

여기서  $\bullet|_{u_{adj}}$  는 각 신호에서 DC 보정전압  $u_{adj}$  에 의한 응답 성분을 의미한다. (4)에서 나타내었듯이 제안된 제어구조에서는 트랙 오차 신호에 DC 오프셋을 발생시키지 않으므로 데이터 트랙의 중앙을 추종하는 성능에는 전혀 영향을 미치지 않으면서 대물렌즈의 수평위치를 (5)에 나타난 양 만큼 광축

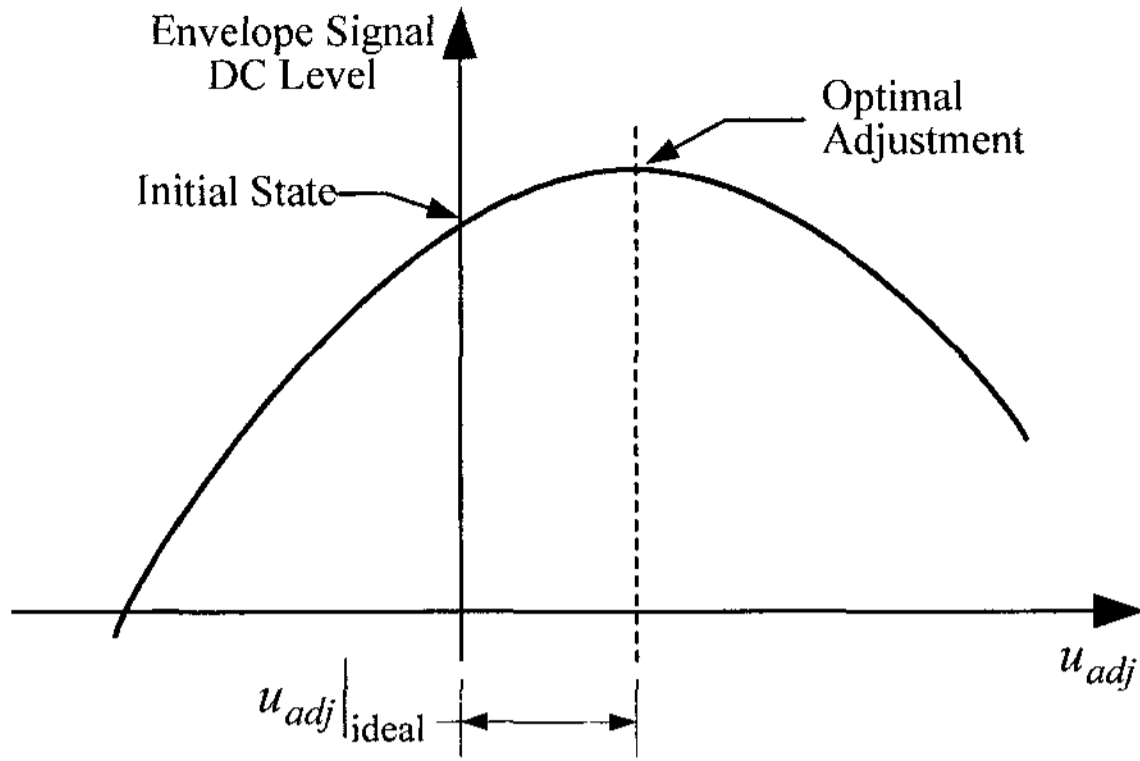


그림 6. 광축 보정 전압과 포락선 신호의 DC 전압의 관계.  
Fig. 6. Optical axis adjustment input vs. DC level of envelope signal.

방향으로 이동시켜서 광축에 정렬한다. 또한, (3)에 나타난 슬레드 모터 변위  $x_s$  에서 DC 보정전압에 의한 응답 성분을 구하면 다음과 같다.

$$x_s|_{u_{adj}} \cong -P_t(0)u_{adj} \quad (6)$$

(5)와 (6)을 비교하면 동일한 크기에 극성만 반대로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 여유 자유도 로봇 매니플레이터의 제어 분야에서 다루는 일종의 자체 운동으로서 트래킹 액츄에이터와 슬레드 모터를 서로 반대 방향으로 같은 양을 이동시키므로 대물렌즈의 수평 위치는 변하지 않는다. 하지만, 픽업 내부에서 대물렌즈의 위치는 (5)만큼 이동하므로 이 양을  $u_{adj}$  로 조정하면 광축을 대물렌즈의 중앙에 일치시킬 수 있다. 마지막으로, (5)와 (6)을 보면 보정전압에 의하여 대물렌즈와 광픽업이 이동하는 거리는 사용된 보상기에 전혀 무관하므로 보상기 설계와 완전 별개로 다룰 수 있다.

그림 5의 제어 구조에서 보면 DC 보정전압을 인가할 수 있는 위치가 본 논문에서 제안한 위치 외에도 여럿 있다. 실제로 광축 보정 효과가 비슷하게 나타나지만, 그림 5에 나타난 위치 이외에서는 앞에서 언급한 3가지 조건을 모두 만족하는 보정전압의 위치는 존재하지 않는다.

3. 대물렌즈 수평위치 보정값 연산

그림 5의 제어구조에서  $u_{adj}$  가 대물렌즈의 수평위치를 광축에 정렬하는 직접적인 역할을 하며, 이 값은 시스템에 따라서 각기 다른 값을 가져야 한다. 이상적인 보정값  $u_{adj}$  는 다음의 관계를 만족하여야 한다.

$$x_t|_{u_{adj}} \cong P_t(0)u_{adj}|_{ideal} = \Delta \quad (7)$$

여기서  $\Delta$ 는 그림 2에 나타난 대물렌즈의 광축에 대한 중립 위치로서 양산된 광픽업에 따라 각기 다른 값을 가지며 광픽업의 특성상 직접적인 측정이 불가능하다. 시스템의 제어 목적은 안정적인 기록 및 재생을 위한 대물렌즈의 광축 보정이므로 대물렌즈의 광축에 대한 수평위치  $\Delta$ 를 반드시 측정할 필요는 없으며, 상대적인 정렬 정도를 측정하여 그림 5에 나타난 보정값  $u_{adj}$  를 구한다. 본 논문에서는 대물렌즈 중립

위치의 상대 정렬 정도를 확인하기 위하여 데이터 RF 신호 포락선의 DC 전압을 활용한다. 그림 6에는  $u_{adj}$  에 대한 포락선 신호 DC 전압의 상관관계를 나타내었는데, 포락선 신호의 DC 전압은 광축에 대한 대물렌즈의 수평거리는 나타내지만 방향에 대한 정보는 반영하지 못한다. 결과적으로 한번의 측정으로는 방향을 알 수 없으며 2개 이상의 서로 다른  $u_{adj}$  에 대한 포락선의 DC 전압을 측정하여야 방향에 대한 정보를 판단할 수 있다. 본 논문에서는 몇 개의  $u_{adj}$  에 대하여 데이터 RF 신호 포락선의 DC 전압을 측정하고, 이를 바탕으로 2차 곡선으로의 곡선맞춤(curve fitting)을 수행하여 RF 신호의 포락선이 최대가 되는 보정전압  $u_{adj}$  를 찾는다.

IV. 실험 및 결과

1. 실험 환경

제안된 트랙 추종 서보 시스템과 대물렌즈 중립위치 보정 알고리즘은 32비트 부동 소수점 연산형 DSP(Digital Signal Processor)를 이용하여 구현하였으며, 전체 시스템은 그림 7과 같다. DSP의 연산능력을 바탕으로 트랙 추종 서보 시스템의 샘플링 주파수는 200kHz를 적용하였는데, 이는 상용 DVD-ROM 드라이브에서 통상적으로 사용하는 샘플링 주파수이다. 디스크의 회전은 1000RPM으로서 트랙 추종 서보 시스템의 초기 디스크 회전 속도로서 서보 시스템을 위한 모든 초기화 및 자동조정을 수행하는 통상적인 디스크 회전 속도이다.

2. 실험 결과

$u_{adj}$  를 변화시키면서 데이터 신호의 포락선을 관찰하고, 그 중 몇몇 보정전압에 대한 실측 파형을 그림 8(a)에 나타내었다.  $u_{adj}$  가 -0.2V에서 0.4V로 증가함에 따라 포락선 신호에 나타나는 디스크 회전 주파수에 대응하는 AC 성분은 점차 감소하고, 그 결과로 DC 전압은 상승한다. 하지만, 0.2V를 넘어서는 과도한 보정전압  $u_{adj}$  를 인가하면 대물렌즈가 과도하게 이동하여 포락선 신호에는 디스크 회전 주파수의 AC 성분이 다시 나타나게 된다. 그림 8(b)에는  $u_{adj}$  를 변화시킴에 따라 트래킹 액츄에이터 제어 입력에 나타나는 오프셋의 변화를 나타내었다. 즉, 주기적인 정현파 신호는 디스크의 편심

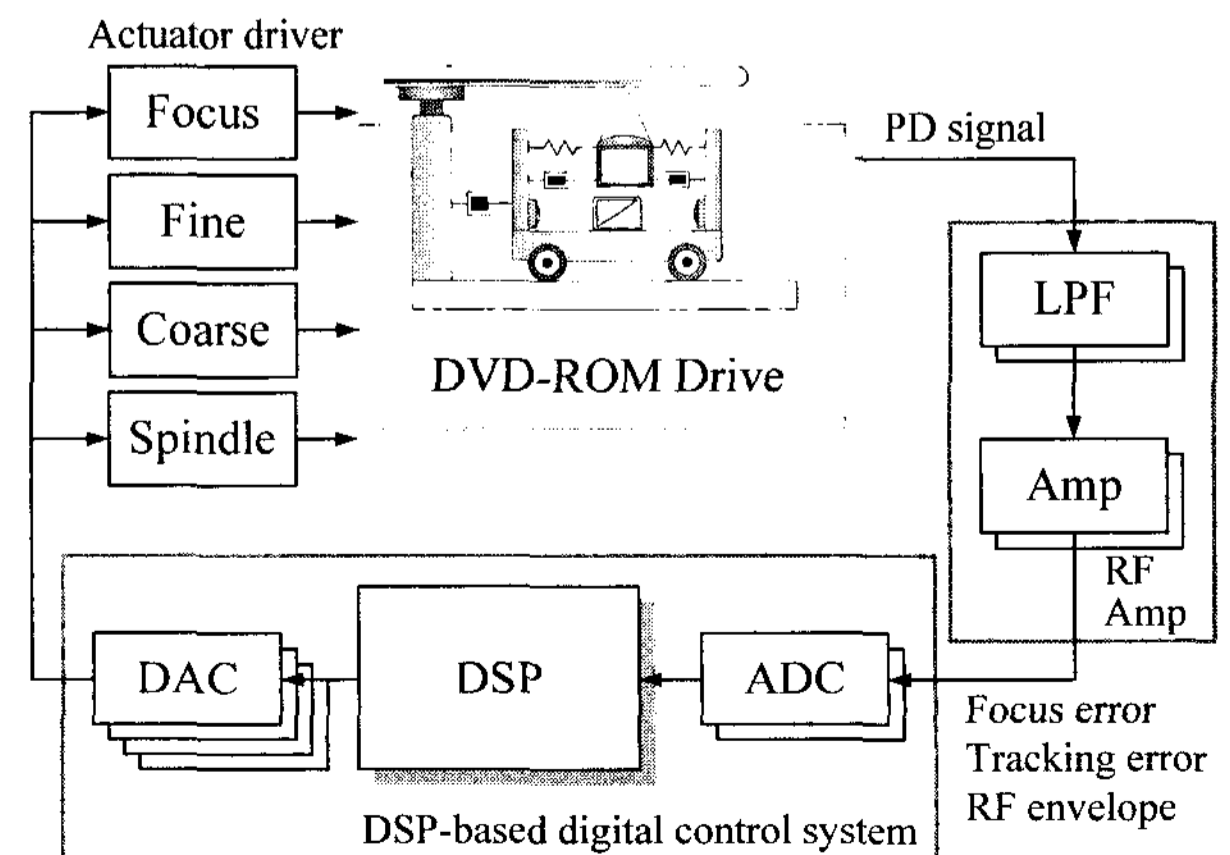


그림 7. DSP를 이용한 디지털 서보 시스템의 구성도.  
Fig. 7. Schematic view of the DSP-based digital servo system.



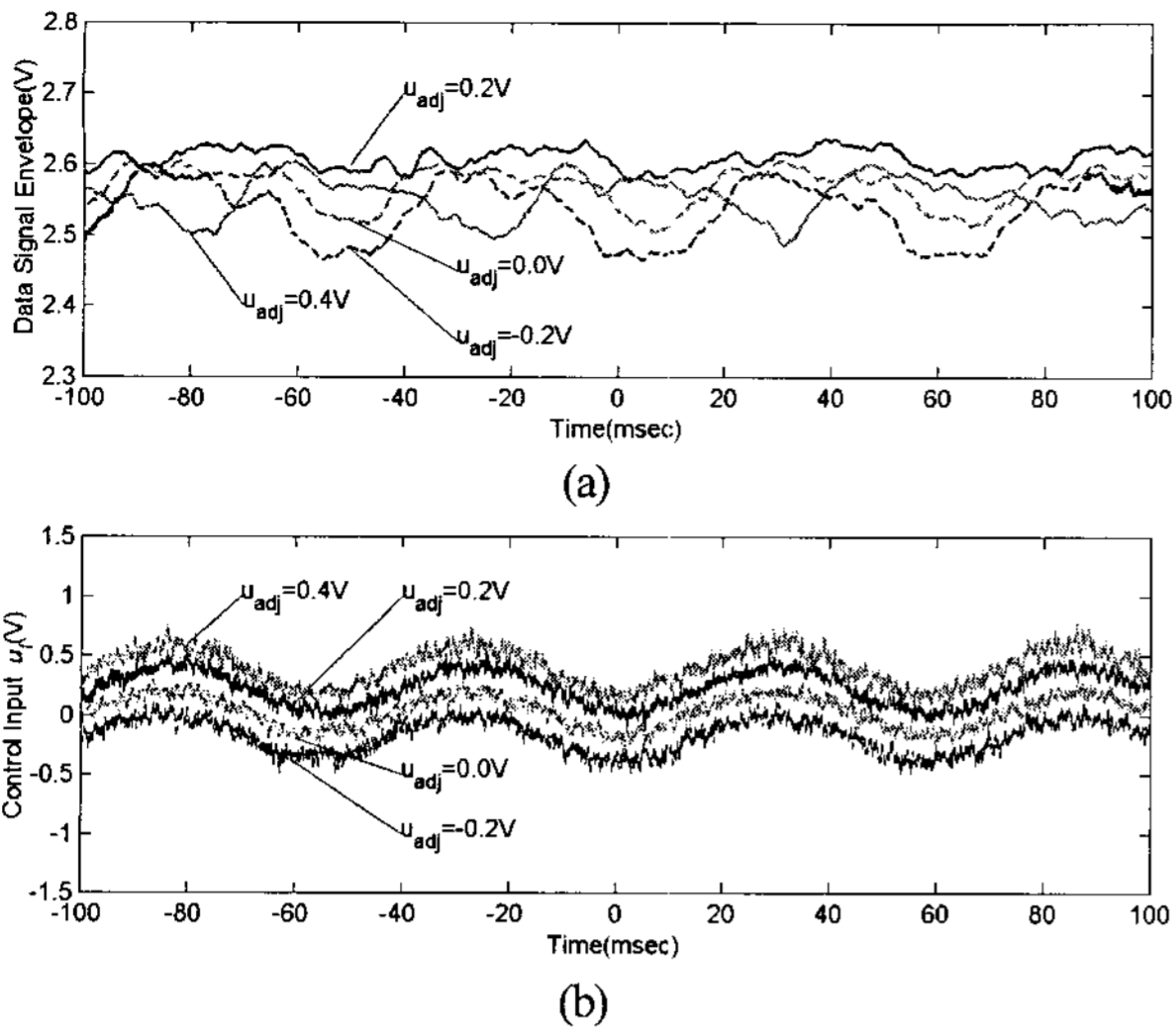


그림 8. 광축 보정 전압에 따른 포락선 신호와 트래킹 제어 입력의 변화.

Fig. 8. Envelope signal and tracking control inputs with respect to some optical axis adjustment input.

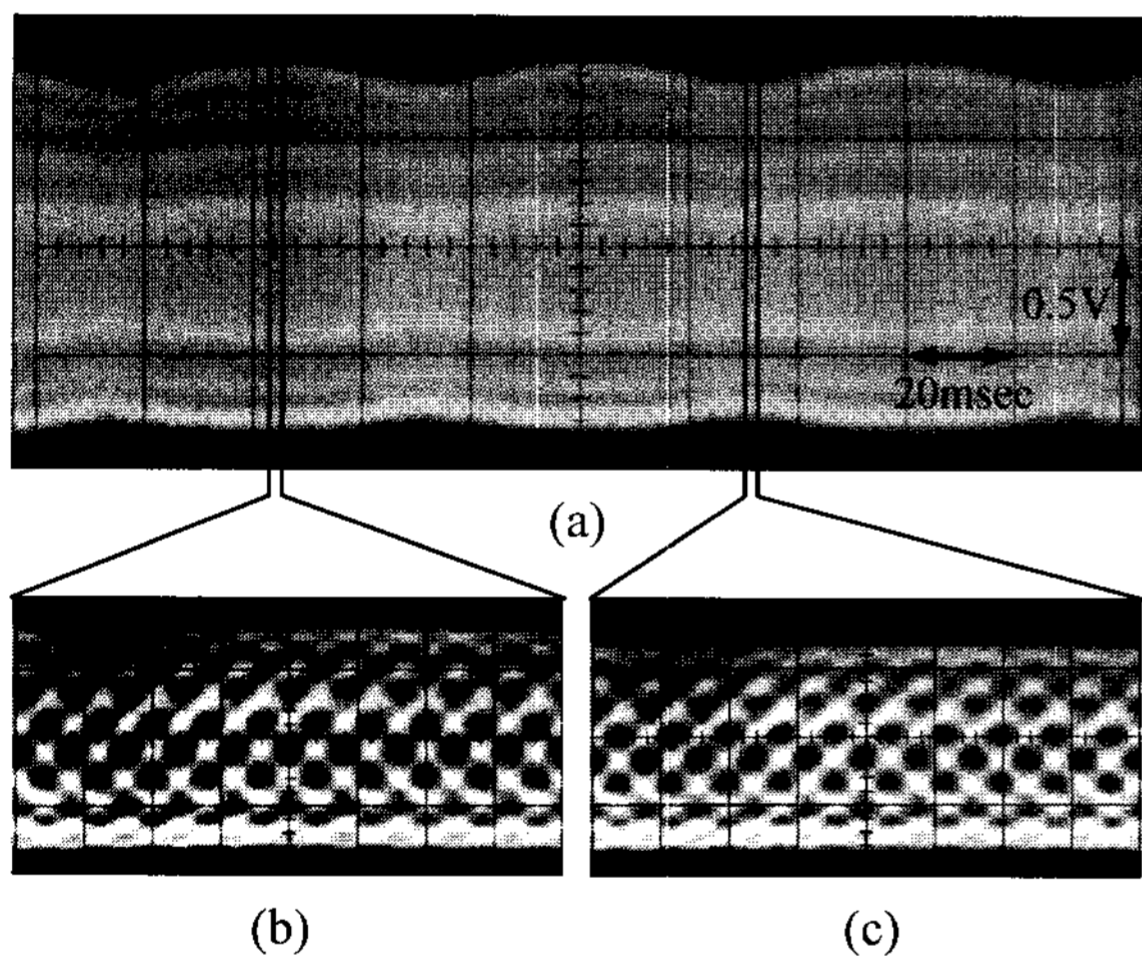


그림 9. 광축 보정 전의 데이터 RF 신호의 아이패턴.  
Fig. 9. Eye pattern of data RF signal before optical axis adjustment.

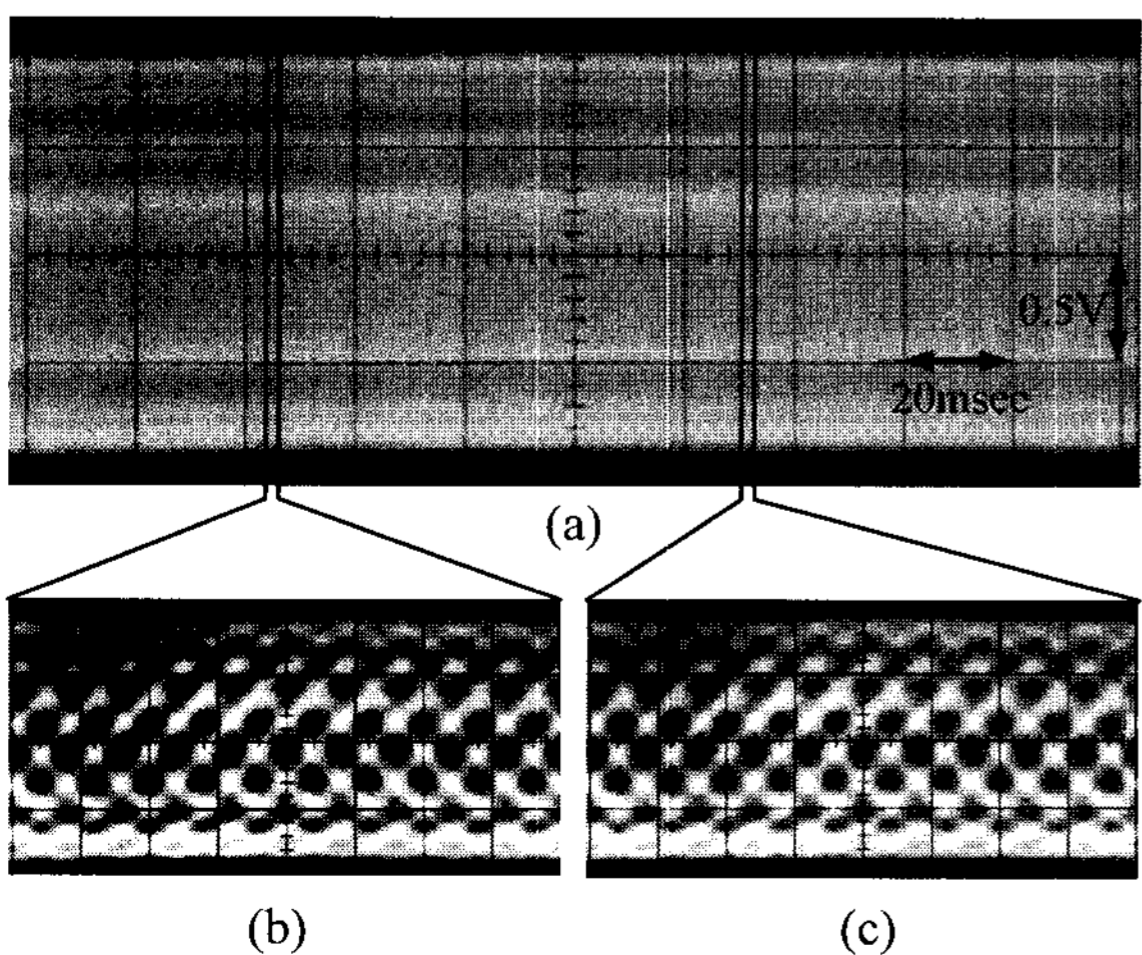


그림 10. 광축 보정 후의 데이터 RF 신호의 아이패턴.  
Fig. 10. Eye pattern of data RF signal after optical axis adjustment.

에 의한 데이터 트랙의 흔들림을 추종하기 위한 제어입력 성분이며,  $u_{adj}$ 에 따라 다르게 나타나는 DC 오프셋은 대물렌즈의 중립위치를 변화시키는 성분이다.

그림 9과 그림 10에는 대물렌즈 중립위치 보정 전과 후의 데이터 RF 신호의 아이패턴(eye pattern)을 나타내었다[9]. 아이패턴은 데이터 신호를 관측할 때, 데이터 신호를 여러 번 중첩하여 나타낸 파형이다. 디지털 통신을 비롯한 디지털 데이터 스트림 처리에서 아이패턴을 관측하면 신호의 품질을 확인할 수 있으며, 아이패턴이 선명할수록 신호간 간섭 및 노이즈에 의한 데이터 오차가 감소한다. 그림 9(a)에 나타낸 바와 같이 보정 전에는 RF 신호의 크기가 디스크 회전 주기인 60msec마다 울렁거리는 현상을 확인할 수 있다. 그림 9(b)와 (c)에는 RF 신호의 크기가 큰 시점과 작은 시점에서의 시간축으로 확대된 RF 신호를 나타내었다. 데이터 신호의 아이패턴이 잘 나타나기는 하지만 신호의 첨두간 전압(peak to peak voltage)이 확연히 차이가 남을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 재생 데이터 신호의 지터(jitter) 성능 저하를 유발하고, 결과적으로 재생 데이터의 에러를 발생시킨다.

그림 10(a)에 나타낸 대물렌즈 중립위치 보정 후의 RF 신호에는 보정 전에 보이던 RF 신호의 울렁거림이 나타나지 않으며, 그림 10(b)와 (c)에 나타낸 확대된 RF 신호에서는 그 첨두 전압이 같음을 확인할 수 있다.

### 3. 지터 성능 개선 검증

일정한 크기로 유지되는 데이터 RF 신호는 데이터 신호의 지터 성능을 향상시켜서 재생 데이터의 오차율을 감소시킨다. 지터는 그림 9와 10에 나타낸 아이패턴에서 데이터 신호의 상태가 변하는 과도 구간의 폭을 나타내며, 이 값은 작을수록 데이터 재생 오차율이 감소한다. 광디스크 드라이브에서는 지터 값을 통상적으로 데이터 비트 길이에 대한 백분율로 표현한다.

광축 보정에 의한 지터 성능의 향상을 검증하기 위하여 그림 11에는 대물렌즈의 중립위치에 대한 재생 데이터 신호의 지터 성능을 나타내었다. 대물렌즈의 중립위치 보정 전의 지터는 8.7%인 반면 본 논문에서 제시한 방법을 이용한 보정 후의 지터는 8.0%로 향상됨을 확인할 수 있다. 이 검증 결과

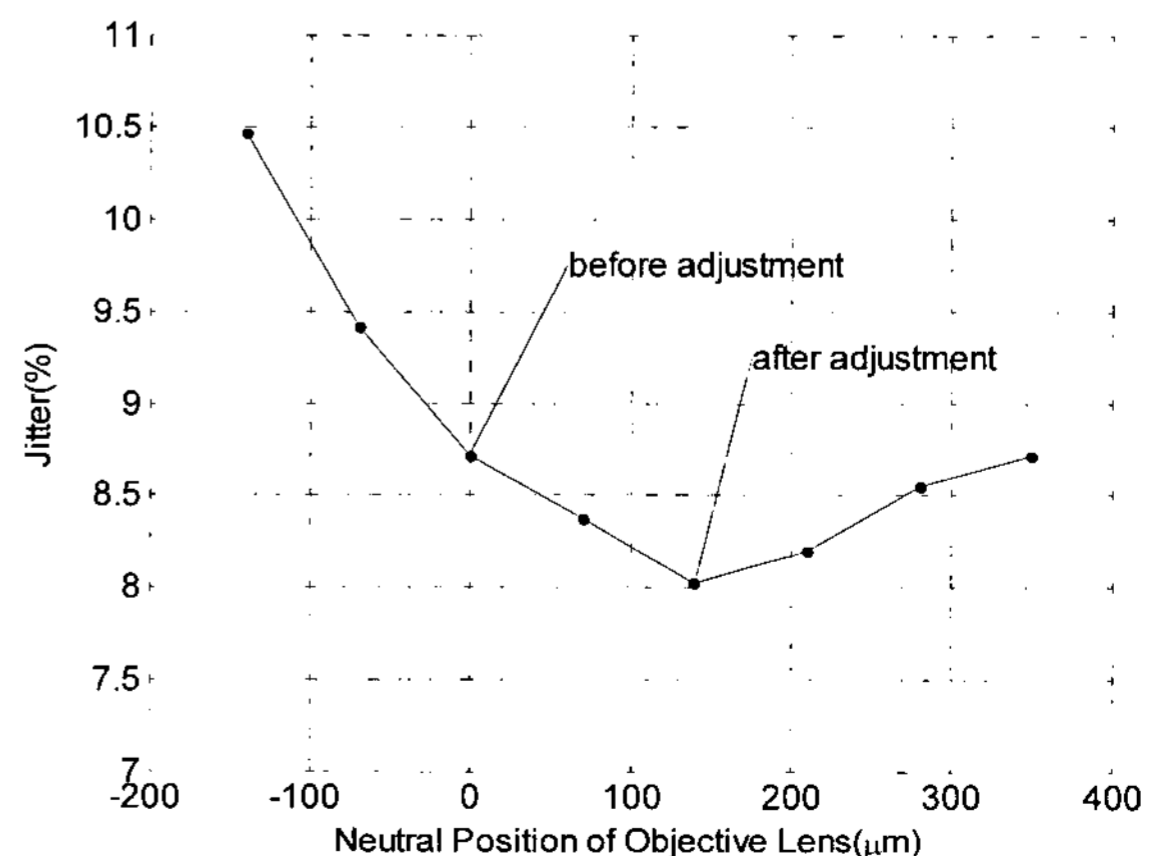


그림 11. 대물렌즈 중립위치 보정에 따른 지터 성능 향상.  
Fig. 11. Optical axis adjustment and improvement of jitter performance.

로부터 광축 보정이 데이터 신호의 지터 성능과 관련이 있음을 확인할 수 있으며, 이는 결과적으로 재생 데이터 오차율을 감소시키는 효과로 나타난다.

### V. 결론

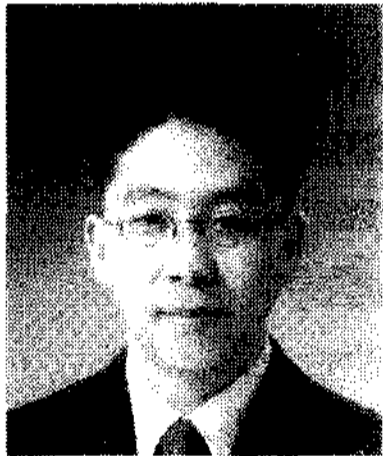
본 논문에서는 광디스크 트랙 추종 서보 시스템에서의 광축에 대한 대물렌즈의 중립위치 자동 보정 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘에 의하여 대물렌즈의 디스크 지름 방향 수평위치를 광축에 일치시켜서 수신되는 디스크 반사광을 일정하게 유지하도록 보정하였다. 그 결과 재생 데이터 RF 신호의 크기가 일정하게 유지되고, 데이터 신호의 지터 성능도 향상되어 결과적으로 데이터 오차율을 감소시킬 수 있다. 또한, 광축에 대한 대물렌즈의 중립위치가 틀어진 광픽업에 대해서도 재생 성능을 향상할 수 있으므로 광픽업의 허용 오차도 확장할 수 있는 장점이 있다.

### 참고문헌

- [1] M.-N. Lee, J.-H. Moon, K. B. Jin, and M. J. Chung, "Robust  $H_\infty$  control with multiple constraints for the track-following systems of an optical disk drive," *IEEE Trans. Ind. Electr.*, vol. 45, no. 4, pp. 638-645, 1998.
- [2] J.-H. Moon, M.-N. Lee, and M. J. Chung, "Repetitive control for the track-following servo system of an optical disk drive," *IEEE*

*Trans. Contr. Syst. Techn.*, vol. 6, no. 5, pp. 663-670, 1998.

- [3] T.-Y. Doh, J. R. Ryoo, and M. J. Chung, "Design of a repetitive controller: an application to the track-following servo system of optical disk drives," *IEE Proc.-Contr. Theory Appl.*, vol. 153, no. 3, pp. 323-330, 2006.
- [4] 유정래, 문정호, 진경복, 정명진, "고배속 광디스크 드라이브 트랙 추종 제어 시스템에서의 외란 관측기를 이용한 점근적 외란 제거," 제어·자동화·시스템공학 논문지, vol. 10, no. 5, pp. 402-410, 2004.
- [5] J. R. Ryoo, T.-Y. Doh, and M. J. Chung, "Compensator design for a dual-stage actuator in the track-following servo system of optical disk drives," *IEEE Trans. Consum. Elec.*, vol. 51, no. 2, pp. 471-477, 2005.
- [6] H. Yasuhiro and S. Hiroshi: U.S. Patent 5610886, 1997.
- [7] T. Shihara, K. Watanabe, S. Kadowaki, and H. Ishibashi, "Lens Shift Correction in Tracking Servo System for Digital Versatile Rewritable Disc," *Jpn. Jour. Appl. Phys.*, vol. 39, no. 2B, pp. 840-842, 2000.
- [8] T. H. Akkermans and S. G. Stan, "Digital servo IC for optical disc drives," *Contr. Eng. Pract.*, vol. 9, no. 11, pp. 1245-1253, 2001.
- [9] A. B. Carlson, *Communication Systems*, Englewood Cliffs, NJ: McGraw-Hill, 1986.



### 유정래

1972년 2월 6일생. 1996년 한국과학기술대학 전기 및 전자공학과 졸업. 1998년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 및 2004년 박사. 2004년~2005년 9월 삼성전자 책임연구원. 2005년 10월~현재 국립서울산업대학교 제어계측공학과 조

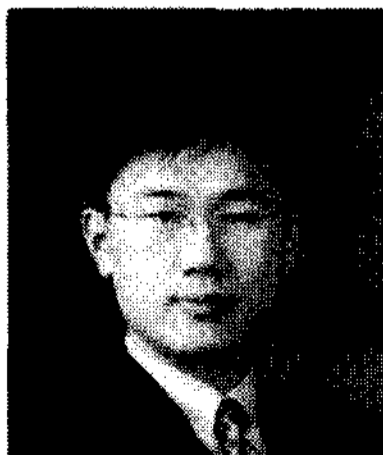
교수. 관심분야는 강인 동작 제어, 광디스크 드라이브 서보 제어, DSP를 이용한 디지털 제어 시스템 설계.



### 문정호

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 부교수. 관심분야는

반복 학습 제어, 디스크 드라이브 서보 시스템, 임베디드 시스템.



### 조주필

1971년 1월 1일생. 1992년 전북대학교 정보통신공학과 졸업. 1994년 전북대학교 전자공학과 석사 및 2001년 공학박사. 2000년~2005년 ETRI 이동통신연구단 선임연구원. 2005년~현재 군산대학교 전자정보공학부 조교수. 2006년~2007년

ETRI 초빙연구원. 관심분야는 통신신호처리, 적응신호처리, 4세대 이동통신기술, Cognitive Radio, UWB.