

광디스크 시스템에서의 외란 검출 방법 및 제어기 설계

최병호*, 최가형*, 윤태성**, 박진배*

*연세대학교 전기전자공학과, **창원대학교 전기공학과

Disturbance Detection and Design Controller in Optical Disc System

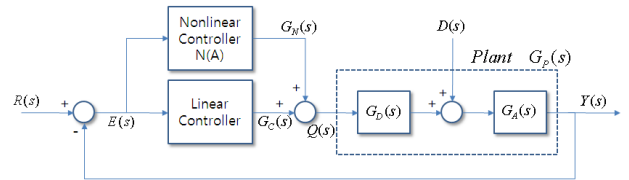
Byoung Ho Choi*, Ga Hyoung Choi*, Tae Sung Yoon**, Jin Bae Park*

*Dept. of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei Univ., **Dept. of Electrical Engineering, Changwon National Univ.

Abstract - Optical disk driver is being used in many electronic products besides computer. In particular, the demands are recently increased as an optical disk player in the mobile products such as camcorder or in the home theater appliances, or etc. However, under these circumstances, the disturbance inputs to the optical disk player increase gradually. In this paper, for reducing the possibility of malfunction of the optical disk player, we propose the method of detecting and controlling the non-periodic external shock of the disturbances. Also, we execute some simulations and actual experiments and discuss the results.

$$q(t) = \begin{cases} g_c(t), & \text{for } |e(t)| \leq \delta \\ g_c(t) + g_N(t), & \text{for } e(t) > \delta \\ g_c(t) - g_N(t), & \text{for } e(t) < -\delta \end{cases} \quad (1)$$

Dead zone을 갖는 릴레이 형태의 비선형 제어기는 그림2와 같이 비선형 제어기와 선형 제어기의 병렬형태로 나타낼 수 있다. 이것의 목적은 위에 설명한 바와 같이 dead zone구간에서는 선형 제어기(출력: $G_C(s)$)만을 동작시키고 충격이 검출되면 선형 제어기(출력: $G_C(s)$)와 비선형 제어기(출력: $G_N(s)$)을 동시에 구동 하기 위함이다.

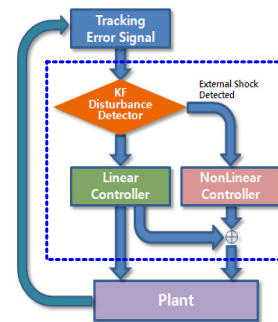


〈그림 2〉 비선형 제어기를 갖는 트래킹 블록도
Fig. 2. Block diagram of tracking with Nonlinear controller

이렇게 합해진 두 신호 $Q(s)$ 는 충분한 전류를 공급해 줄 수 있도록 액츄에이터 구동부 $G_D(s)$ 로 입력되고 증폭된 신호는 액츄에이터 $G_p(s)$ 로 입력되어 충격에 대응하게 된다.

2.2 외란 검출 알고리즘

그림2에서 나타낸 선형 제어기와 비선형 제어기의 동작 시점을 검출하기 위한 외란 검출 및 대응 알고리즘 블록도는 그림3과 같다.



〈그림 3〉 외란 검출 및 대응 알고리즘 블록도
Fig. 3. Block diagram of disturbance detection and control algorithm

그림3에서 사용된 트래킹 에러의 외란 검출 알고리즘은 [6]에서 사용된 방법으로, 칼만 필터를 이용하여 트래킹 에러신호의 통계적 변화를 검출하는 알고리즘이다. 즉, 칼만필터를 이용하여 시스템의 상태값과 오차의 공분산을 추정하고 추정된 값으로 chi-square test에 적용하여 외란이 발생하는 시점에서 비선형 제어기가 동작하도록 하는 것이다. 이를 수식으로 표현한 것이 식(2)이고 여기서 얻어진 값을 이용하여 외란의 발생시점 및 비선형 제어기의 동작 시점을 결정할 수 있다.

$$q_k = \sum_{i=k-n}^k \frac{(y_i - H_i \hat{x}_{i/i-1})(y_i - H_i \hat{x}_{i/i-1})^T}{H_i P_{i/i-1} H_i^T + R_i} \quad (2)$$

1. 서 론

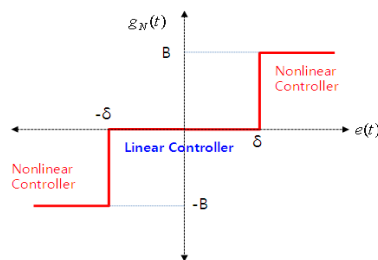
광디스크 구동 장치는 외부 충격(shock)에 의한 영향을 가장 크게 받는다는 특성이 있다. 이를 해결하기 위한 방법으로 기구적으로 진동이나 충격을 차단하기 위한 연구가 있었고[1], 알고리즘 측면에서는 이러한 비주기적인 외란에 대응하기 위해서 비선형 제어 이론이 도입되었다 [2-3]. 이러한 비선형 제어 이론을 바탕으로 Y. Zhou는 기존의 선형 제어기에 dead zone을 갖는 비선형 제어기를 제안하여 최대 5G의 외란에 대해 트래킹 에러신호를 규정 범위 이내에서 제어되도록 제안하였고[4], J.S.Baek은 [4]에서 제안된 제어기에서 선형 제어기를 PID에서 lead-lag로 변경하고 dead zone과 더불어 saturation을 갖는 비선형 제어기를 제안하여 큰 이득을 사용하더라도 시스템의 안정성을 확보하고 이를 토대로 보다 큰 외부 충격에서도 안정된 제어 성능 확보할 수 있도록 제안하였다[5]. 또, 기존의 [4],[5]보다 더 큰 외란에 대응할 수 있는 dead zone을 갖는 릴레이 형태의 비선형 제어기도 제안되었다[6].

본 논문에서는 [6]에서 제안된 dead zone을 갖는 릴레이 형태의 비선형 제어기의 모의 실험 결과와 실제 시스템에 적용했을 때 발생할 수 있는 몇가지 중요한 실험 조건 등에 대하여 서술하고 그 실험 결과를 논의한다.

2. 본 론

2.1 비선형 제어기 설계

광디스크 드라이브 시스템중에서 휴대형 장치는 사용 환경상 충격량이 매우 큰 경우가 많다. 따라서, 선형제어기만으로는 이러한 충격에 대응할 수 없기 때문에 [6]은 그림1과 같은 릴레이 형태의 비선형 제어기를 제안하였다. 이 비선형 제어기는 선형 제어기만 동작하는 dead zone 구간에서는 동작을 하지 않고, 이 범위를 넘어서게 되면 충격으로 인식하여 동작을 하도록 설계하였다. 즉, dead zone을 넘어서게 되면 선형 제어기 동작과 더불어 부족한 제어력을 비선형 제어기 동작을 통해 얻을 수 있도록 하는 것이다. 이에 대한 식을 식(1)에 나타내었다.



〈그림 1〉 Dead zone을 갖는 릴레이 형태의 비선형 제어 특성
Fig. 1. Characteristics of relay type nonlinear control with dead zone

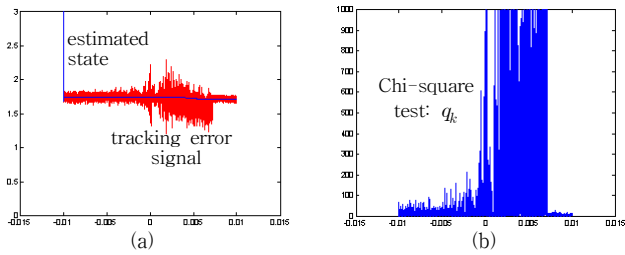
2.3 비선형 제어기 모의 실험

지금까지 기술한 릴레이 형태의 비선형 제어기에 대한 동작 원리의 이해와 외란에 대한 검출 알고리즘을 바탕으로 외부 충격 10G와 20G에 대한 모의 실험을 진행하였다. 선형 제어기와 시스템의 플랜트 모델은 [6]에서 사용한 식(3)과 (4)를 이용하였다.

$$G_p(s) = \frac{2.532 \times 10^9}{s^2 + 214.6s + 1.151 \times 10^5} \quad (3)$$

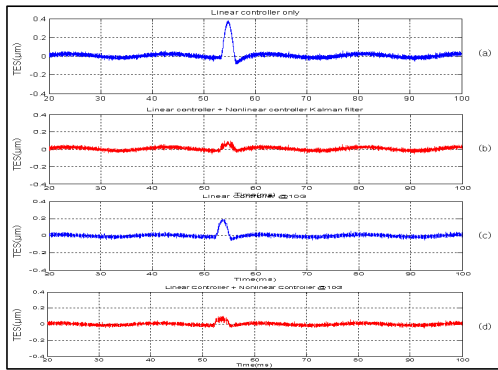
$$G_c(s)/E(s) = \frac{0.6(s + 628.32)(s + 5654.87)(s + 18849.56)}{(s + 402.12)(s + 37699.11)(s + 62831.85)} \quad (4)$$

또한, 그림1에서 나타난 비선형 제어기의 이득은 0.1[V]로 설정하였으며, 식(2)에서 사용된 외란 검출 알고리즘을 위한 자유도(m)값은 6으로 설정하였다. 먼저 2.2절에서 언급한 외란 검출 알고리즘에 의한 모의 실험 결과는 그림3과 같다.



〈그림 3〉 실제 시스템에 충격 인가 시, 트래킹 에러에서 얻어진 q_k
Fig. 3. q_k from tracking error in real system when the shock occurs

그림3의 (a)에서 잡음처럼 보이는 신호가 트래킹 에러신호를 나타낸 것이고 실선이 상태 추정값이고, (b)는 트래킹 에러신호로부터 얻어진 chi-square test의 결과 값이다. 그림 x축의 0 시점 근처에서 외부 충격이 발생 되었을 때, 트래킹 에러신호의 크기가 커지고, chi-square test 결과값인 q_k 가 동일하게 매우 급격한 통계적 변화를 일으킴을 알 수 있다. 따라서 q_k 값을 이용한다면 비선형 제어기의 동작시점을 결정할 수 있다. 이를 바탕으로 3ms동안의 외란 10G와 20G에 대한 모의 실험 결과는 그림4와 같다.

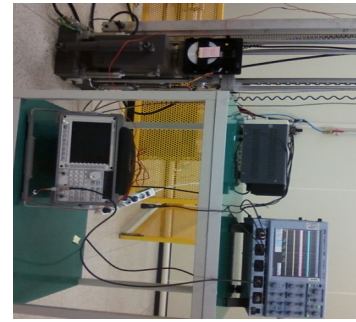


〈그림 4〉 충격 인가 시, 단순 slice비선형 제어기와 칼만필터를 이용한 비선형 제어기의 모의 실험 결과 비교
Fig. 4. Comparison of simulation results between simple slice and Kalman filter nonlinear controller

그림4의 (a)와 (c)는 각각 20G와 10G의 외란이 인가되었을 때, 선형 제어기만 동작하여 나타난 트래킹 에러신호이며, (b)와 (d)는 각각 20G와 10G가 인가되었을 때, 선형제어기와 비선형 제어기가 동시에 동작하여 나타난 트래킹 에러신호의 결과이다. 그림에서 나타난 바와 같이 선형제어기와 비선형 제어기가 동시에 동작했을 때, 발생한 트래킹 에러신호는 허용 잔류 에러신호 0.1 μ m이하로 잘 제어되고 있음을 알 수 있다.

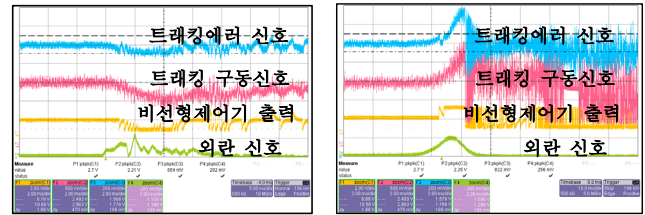
2.4 비선형 제어기의 실제 실험 결과

2.3절에서 수행한 모의실험 결과를 토대로 실제 시스템에서 실험을 하였다. 외부 충격 10G와 20G를 발생시키기 위한 가속도 실험장비는 Lansmont사의 15D라는 장비를 사용하였으며 실험환경은 그림5와 같다. 광디스크 드라이브 시스템은 삼성 DVD 드라이브를 이용하였다.



〈그림 5〉 충격 실험 환경
Fig. 5. Shock experimental environment

이 실험 장치를 이용하여 드라이브 시스템에 20G를 가하여 얻은 결과는 그림6 및 7과 같다.



〈그림 6〉 10G에서 실제 적용 실험 결과
Fig. 6. Shock experimental results at 10G

〈그림 7〉 20G에서 실제 적용 실험 결과
Fig. 7. Shock experimental results at 20G

그림7의 20G의 충격을 가하여 얻은 결과는 레이저의 광 스폿이 현재의 트랙을 벗어나 인접트랙으로 밀리는 불안정한 현상이 발생하였다. 이러한 현상의 원인은 첫째, 수평이 아닌 수직 상태에서 충격을 가함으로써 광픽업의 무게와 고려하지 못했던 여러진동 성분이 영향을 주었을 가능성과 두 번째, 모의 실험 결과의 조건과 실제 실험 조건과의 차이점이 그 원인일 것으로 판단된다. 그러나, 그림6의 10G 충격실험에 대한 결과는 CD의 허용 에러 범위 $\pm 0.1\mu$ m에 해당되어 허용범위 이내로 제어되어 제안한 제어기가 실제 외부 충격에도 안정된 성능이 보장됨을 알 수 있다.

3. 결 론

외부 충격에 의한 광디스크 시스템의 트래킹 제어 성능을 향상시키기 위하여 제안한 dead zone이 존재하는 비선형 제어기와 칼만필터를 이용한 외란 검출 알고리즘은 모의실험 결과와 실제 외부 충격 실험에서도 안정된 결과를 나타냄을 확인하였다. 그러나, 모의 실험에서 반영하지 못한 큰 외부 충격에 대한 모델링 오차에 대해서는 추가적인 실험이 필요하다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] 박영필, 정두한, 정진태, "자동차용 CD/DVD 테크의 진동 저감 및 성능향상에 관한 연구", 대한기계학회논문집 A권, 제29권 제7호, pp. 1035-1041, 2005
- [2] J.J.E. Slotine and W. Li, "Applied Non-linear Control", Prentice-Hall International, 1991.
- [3] H.K. Khalil, "Nonlinear Systems", Prentice-Hall, 1996.
- [4] Y. Zhou, M. Steinbuch, M. Van Der Aa, H. Ladegaard, "Anti-shock controller design for optical drives", Control Engineering Practice 12, 811-817, 2004.
- [5] J.S. Baek, C.C.Chung, M. Tomizuka, "Anti-shock Controller Design for Optical Disk Drive Systems with a Nonlinear Controller", Proceedings of the 2006 American Control Conference, pp. 1982-1989, 2006.
- [6] 최병호, 최가형, 라원상, 윤태성, 박진배, "광디스크 시스템에서의 충격 대응 제어기 설계와 검출 방법", 정보 및 제어 심포지움 " pp. 232-233, 2008