

마찰이 존재하는 픽업 구동기의 포커싱 서보 시스템 Focusing Servo System in Pickup Actuator with Friction

*이정현, 한창수(KAIST 원), 원종화, 윤형덕(삼성전자(주)), 김수현, 곽윤근(KAIST)

J. H. Lee, C. S. Han(KAIST), J. H. Won, H. D. Yoon(Samsun Inc.), S. H. Kim, Y. K. Kwak(KAIST)

ABSTRACT

In optical disk drives, one of commonly used pickup actuator is a Sliding and rotary type of pickup actuator which is cheaper than other pickup actuators and has simple assembly. However, it reported that non-linearity due to friction between a shaft and a sleeve had to be considerably analyzed in design and servo system in employing this type of pickup actuator. In this paper, this friction is modeled as a Coulomb's friction and the effect of friction is examined in the simulation. A digital servo system is applied to pickup actuator with friction in order to have good focusing servo. To enhance focusing servo performance using digital servo merit, first PD-controller is applied to have fast response performance, second lead-lag compensator is applied to have stable focusing performance.

Key Words: focusing servo(포커싱 서보), pick-up(픽업), actuator(구동기), lens actuator(렌즈 구동기), friction factor(마찰 계수), optical disk(광 디스크), digital servo(디지털 서보)

1. 서론

광디스크는 고용량의 데이터를 저장하고 있는 기록 장치이다. 따라서 이 많은 양의 데이터를 읽어내기 위해서는 데이터 전송 능력과 데이터 액세스 능력이 매우 중요한 역할을 한다. 특히, 이 두 가지의 특성에 따라서 CD-ROM의 경우에 배속을 정하는 기준으로 사용하고 있다. 이런 고 전송 능력과 빠른 액세스 능력을 향상시킬 수 있는 고성능을 이루기 위한 연구가 많이 진행되고 있다. 보편적으로 많이 사용되고 있는 CD-ROM의 경우 데이터의 기록이 CLV(constant linear velocity) 모드로 기록되어 있으므로, 고배속을 실현하기 위해서는 고속 스피들 구동기가 필요하고, pick-up 계의 정교한 광학계와 함께 여기에 장착된 미세 구동기의 고성능이 요구되며, 또한

이외의 구동기에 대한 정밀한 제어와 고속화가 요구되고 있다. 한편 광디스크의 고밀도화를 위해서는 pick-up에 장착된 광학계에 대한 정교한 장착과 특히, 대물렌즈의 고 개구수(Numerical aperture)가 요구된다.

요즈음 많이 사용되는 CD-ROM에 장착되는 pick-up 계의 미세 구동기에는 축습동방식(sliding and rotary type), 4-wire 방식, 판스프링 방식 등 여러 가지의 형태가 있다. 이 중에서 특히 축습동방식의 경우에는 제작 단가의 이점과 많은 트랙을 이동하는 seek 구동시에 대물렌즈의 움직임이 작아 조동 구동기(coarse actuator)와 pickup 구동기와의 간섭이 적은 장점이 있다. 그러나, 축습동방식 구동기의 경우에는 축(shaft)과 축수(sleeve)의 존재로 인하여 이들간에 포커싱 방향의 미세 구동시에 비선형적 요소인 마찰이 존재하

는 단점이 있다. 따라서, 축습동 방식의 설계 및 실제 적용시에 마찰의 영향에 대해서 여러 가지로 고찰을 하여야 한다. (1-2)

축과 축수 사이에서 발생하는 마찰이 존재하는 경우에 대해, 일반적으로 사용하는 아날로그 제어방식이 아니라 디지털 제어를 통하여 이러한 비선형적 요소의 영향에 무관하게 충분한 포커싱 성능을 이루고자 한다. 특히 축과 축수상의 마찰 관계를 다른 연구자와 달리 단순한 쿨롱마찰(coulomb friction)로만 고려하지 않고 여기서는 좀더 실제의 상황에 더 가까운 쿨롱마찰과 점성마찰을 함께 고려하여 시뮬레이션을 하여 그 효과를 보고자 한다. 본 연구에서는 제어기의 초기 응답특성을 향상시키고, 제어기 안정성을 구현하기 하고자 한다. 따라서, 디지털 제어의 장점을 이용하여 PD 제어기와 lead-lag 제어를 결합한 Hybrid 형 제어기를 적용하여 포커싱 성능이 충분히 만족함을 보이고자 한다.

2. 구동기의 모델 및 특성

본 연구에서 사용한 축습동방식의 구동기에 대하여 세부적으로 부품과 장치를 나타내었다.(Fig. 1 참조)

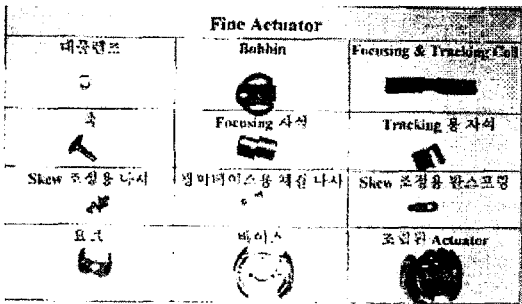


Fig. 1 Configuration of pickup actuator.

축습동 방식 구동기의 장점은 구동부가 가운데 부분의 축을 중심으로 움직임으로 조동 구동기가 트래킹 방향으로 많이 이동시에 pickup 구동기에 장착된 렌즈가 관성의 영향을 적게 받게 설계되어 있다. 축과 축수(sleeve)사이에는 약 10-20um 정도의 여유가

있다. 이 간격이 너무 좁으면 매끄럽게 움직이지 않고, 클때는 까닥거리는 움직임이 생긴다. 포커싱 방향의 움직임에는 축과 축수(sleeve)사이에서 마찰이 발생할 수 있다. 주파수 영역에서는 이런 비선형적 요소인 마찰 성분 특성을 파악하는 것이 불가능하다. 축습동 방식의 구동기에서는 보통 마찰 계수가 0.15 정도이며 최대 0.3 정도인 것으로 알려져 있다.(3,4,5) 보통 이런 마찰 성분은 속도의 함수로 마찰을 모델링하여 나타낸다.(6) (Fig. 2 참조)

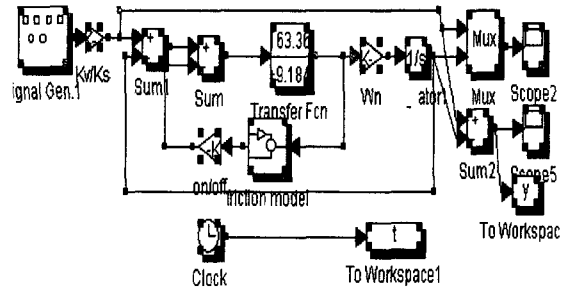
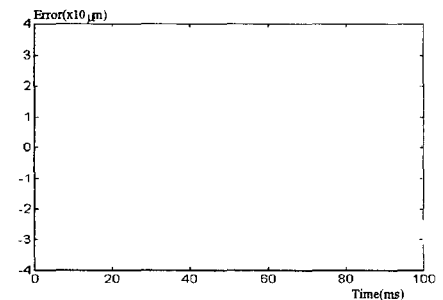
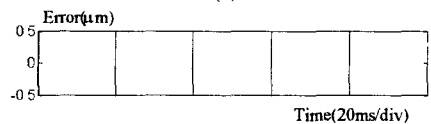


Fig. 2 Plant model with friction to be analyzed

정현파에 해당하는 면 진동량에 대해 마찰의 존재로 인하여 정상상태의 오차를 발생시킨다.(Fig. 3(a) 참조) 그러나 마찰의 영향이 없으면 이러한 오차는 발생하지 않음을 알 수 있다. (Fig. 3(b) 참조)



(a)



(b)

Fig. 3 Steady-state focus error of actuator (a) with (b) without velocity feedback

또한 포커싱 방향의 pickup 구동기의 선형 구동 특성을 파악하기 위해 주파수 응답 특성을 조사하였다.(Fig. 4 참조). 마찬가지로 영향을 없애기 위하여, 주파수 영역에서의 정확한 특성을 관찰하기 위하여 Fig. 4와 같이 두 종류의 주파수로 나누어 실험하였다. 이를 바탕으로 제어계를 설계하고 모사 실험을 수행하기 할 수 있다.

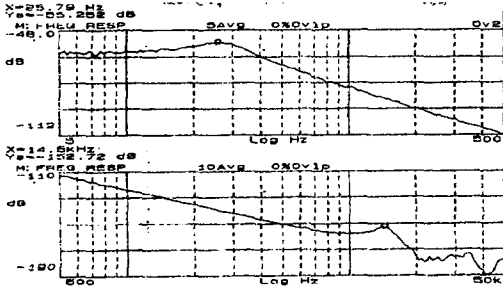


Fig. 4 Bode plot of focus in the pickup actuator.

3. 제어계

광디스크 드라이브의 경우에는 pickup 구동기부에, 레이저 빔의 초점부분을 디스크 기록면에 위치시키는 포커싱 렌즈 구동기가 있다. 렌즈 구동기가 포커싱방향으로 충분한 성능을 발휘하기 위하여 제어기가 필요하다. 일반적으로, 포커싱방향으로 신호를 충분히 읽어 내기 위해서는 빔의 초점부가 디스크 기록면에서 $\pm 1\mu\text{m}$ 이내의 추종 성능을 가져야 하는 것으로 알려져 있다.

광디스크에 사용되는 대부분의 제어계는 일반적으로 아날로그로 구성되어 왔다. 하지만 본 연구에서는 DSP(digital signal process)를 이용하여 포커싱 제어계를 구성하고자 한다. 디지털 제어를 이용함으로써 여러 가지의 제어기를 함께 혼합된 형태의 제어기를 쉽게 구성할 수 있고, 또한 새로운 제어기에 대해 성능 평가가 쉬워진다. 앞으로 좀더 정교한 제어를 위해 디지털 제어가 더욱 보편화 될 것으로 기대된다.

본 연구에서 사용한 디지털 제어기는 초기의 응답 특성을 좋게 하기 위해서 초기에는 PD 제어기를 사

용하고, 이후에는 디스크의 면진동과 다른 효과를 보상하기 위해 lead-lag compensator를 적용하였다, 디지털 제어의 기본 구성도를 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 DSP로 두 제어기를 자연스럽게 변환 시켜준다. 여기서 K_s , G_p 는 photo-diode 센서 게인과, 렌즈 구동기 중 포커싱 구동기의 전달 함수를 나타낸다.(Fig. 5 참조)

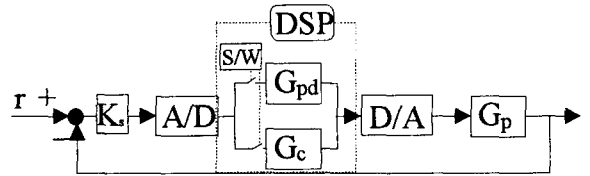


Fig. 5 Schematic diagram of digital focusing servo system

PD 제어기의 경우 P 게인을 적절히 조정하여 응답 속도가 좋게 하였다. 여기서 D-게인은 중요한 역할을 하지 않는다. Lead-lag 보상기의 설정은 우선 디스크에 대한 면진동량과 다른 이득에 대한 보상의 요인들을 잘 고려하여 설계해야 한다. 따라서, 본 제어기의 설계는 이런 게인 보상조건을 고려하여 제어기가 필요한 게인 여유와 위상 여유를 확보하고자 하였다.(Fig. 6, 7 참조)

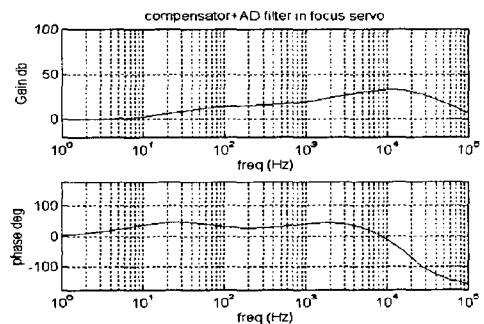


Fig. 6 Compensator bode plot of focus servo with AD circuit

또한 실제로 디지털 제어기가 적용됨으로 Lead-lag 제어기에 대한 디지털 Bode 선도는 나타내고 있다 (Fig. 6,7 참조)

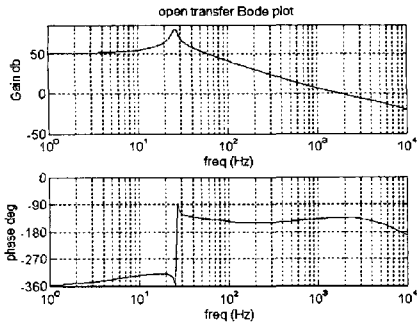


Fig. 7 Open loop transfer of focus servo
($G_m=17.68\text{dB}$ [8.4kHz], $P_m=45.3$ [$f=1.8\text{kHz}$])

4. 모사실험 및 실험결과

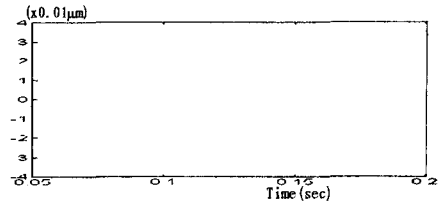
광디스크 시스템에서 포커싱을 구현하기 위해서는 $\pm 1\mu\text{m}$ 이내로 레이저 빔을 디스크상에 모아야 한다. (7) 포커싱 성능 발휘하는 것은 디스크의 회전에 의한 면진동량과 다른 요인에 의한 디스크면을 렌즈가 추종하는 것을 의미한다. 즉, 포커싱 제어제를 구성하기 위해서는 디스크의 경사에 대한 보상, 외부 진동에 대한 보상과 중력에 대한 보상 및 그 외 여러가지의 요인에 대한 보상을 하여야 한다.

따라서, 본 모사 실험에서는 3장에서 설계한 제어기를 바탕으로 면진동량이 $100\mu\text{m}$ 이내에 있을 경우에 대하여 포커싱 오차에 대한 성능 평가를 하였다.(Fig 8 참조) 또한 pickup 구동기에 마찰에 의한 영향을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우에 대하여도 결과를 관찰하였다.(Fig 8 (b), (c)) 마찰이 있는 모델에 대해서도 포커싱을 이루기 위한 충분히 만족할 만한 결과를 얻고 있음을 알 수 있다.

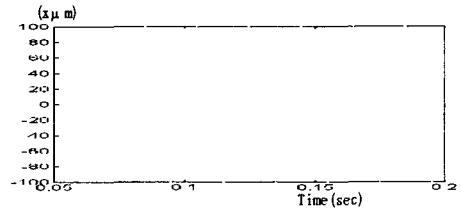
디지털 제어기에 대한 평가를 모사 실험을 통하여 확인한 후, 이를 바탕으로 실제 DSP 프로그램을 구성하고, 광 디스크 시스템에 적용하여 성능을 평가하였다. 본 연구에 사용한 DSP 칩은 TMS320C31(4)Mhz 을 이용하였다. 그리고 A/D, D/A 샘플링 주파수는 78kHz 로 하였다.

포커싱 제어를 구현하기 위해서는 디스크면에 대한 레이저 초점의 움직임 측정하기 위한 photo-diode

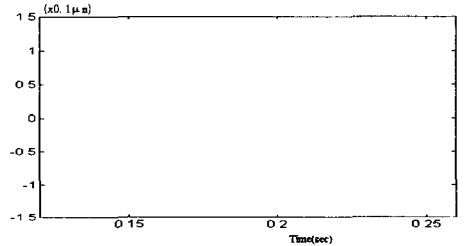
센서가 필요하다.



(a) Vibration amplitude of disk



(b) Focusing error without friction effect



(c) Focusing error with friction effect

Fig. 8 Simulation results of focusing characteristics

포커싱 구동기의 경우에 렌즈의 움직임을 감지하는 방식에는 여러가지가 있으나 아래와 같은 형태의 곡선을 나타내는 비점수차법을 이용한 방식을 많이 사용하고 있다.(Fig. 9) 렌즈구동기를 이용하여 렌즈를 디스크면에 대하여 멀리 떨어뜨린후 디스크에 가깝도록 하면 Fig. 9와 같은 S 자 곡선을 얻는다.

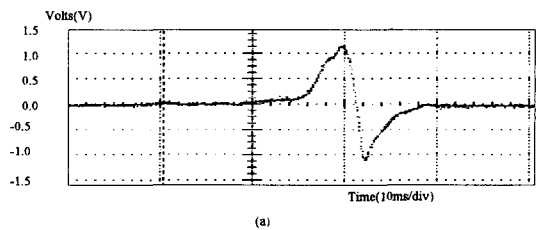


Fig. 9 S-curve in focus signal when lens is swung

S 곡선중에 안쪽의 선형영역에 부근에서 대물렌즈

가 들어가면 포커싱 제어계를 작동시켜 렌즈를 디스크면에 포커싱시킨다. 이때 렌즈의 포커싱 끌어들이는 능력은 포커싱 제어기의 성능에 따라 다르다.

제어기에서 초기 응답성을 높게 한 PD 제어기에서 P 계인을 조절하여 안정적인 끌어들이를 할 수 있다. 그러나 너무 큰 P 계인은 오히려 제어계의 필요한 제어 대역을 확보하기 어렵다 따라서 본 연구에서는 이런 단점을 보완하기 위하여 초기 끌어들이 동작에는 약간 P 계인을 높혀 주고 실제 본 동작에 들어가면 Lead-lag 제어계를 사용하는 방식을 사용하였다. 이렇게 함으로써 실제에 제어시에 소비되는 전력을 줄일 수 있고, 제어기의 강인성의 확보면에서도 유리하다. 디지털 제어계를 사용함으로써 두 제어기를 자연스럽게 연결할 수 있는 장점을 가지고 있다.

경우에 따라서는 면진동량이나 다른 포커싱의 어긋남을 일으키는 요인이 작을 경우는 하나의 제어기를 사용해도 무방하다.

실제의 광디스크 시스템에 연결하여 포커싱 제어를 하였을 때의 포커싱 오차 신호를 나타내었다. (Fig 10) 전기적인 노이즈가 많아 제어기의 성능이 실제로 보다 못하다.

본 실험에서는 렌즈 구동기를 구동시켜주는 구동 드라이브단과 A/D, D/A 를 아날로그 회로를 이용하여 구성하였다.

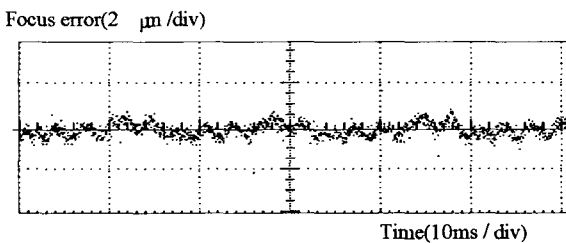


Fig. 10 Focus error of experimental results

5. 결론

광 디스크 장치에 이용되는 pickup 구동기 중 축습동 방식의 구동기에 대하여 특성을 모델링하고, 조사하였다. 구동기의 축과 축수에서 발생하는 비선형적 요

소인 마찰의 영향을 관찰하고 모사할 힘적으로 이들의 영향을 관찰하였다.

디지털 제어기를 이용하여 비선형적 마찰이 존재하는 pickup 구동기에 대하여 광디스크의 포커싱 성능을 얻고자 하였다.

포커싱의 초기 응답성을 향상시키고, 제어기의 안정성을 향상시키기 위하여 디지털 제어의 장점을 이용하여 PD 제어기와 lead-lag 보상기를 순차적으로 자연스럽게 연결하여 포커싱 제어를 구현하였다.

구동기의 구동부와 A/D, D/A 부의 아날로그 제작시에 전기적 노이즈가 너무 크기 때문에 실제의 제어기를 적용하여 좋은 성능을 얻는데 한계를 있다. 따라서 이런 부분은 개선의 여지가 있다.

참고 문헌

1. 吉澤 高志, 村田 幸, “褶回動形光 head actuator of 摩擦・磨耗特性”, 1990 年度精密工學會秋季講演會講演 論文集, K54, pp889-p890, 1990
2. Shinji wakui, “ Simulation of optical-head actuator with non-linear friction”, 昭和 61 年度電子通信光.電波部門全國大會, pp1-175-I-1776, 1986.
3. K. Kime et al. “Development of the Focusing and the Tracking Actuator in and Optical Disc System,” Bull Japan Soc. Prec. Eng. , pp133-pp138, Vol. 22. No.2 1988.
4. Irie, Fujita, Shinoda, Kondo : “Focus Sensing Characteristics of the Pupil Obstruction Method for Continuously Grooved Disks”, Jap. J. Appl. Phys. Vol26 Sep. 1987.
5. 木目建治郎, “光 disk 裝置用 actuator 의 非線形特性, 精密工學會昭和 63 年度關西地方定期學術講演會講演 論文集, Vol 207 pp81-pp82, 1986
6. A. H. Brian, et all, “ A Survey of Models, Analysis Tools and Compensation Methods for the Control of Machines with friction”, Automatica, Vol 30, No. 7 pp1083-1138, 1994
7. 정기혁, “콤팩트디스크(CD-플레이어기술),”