

초소형 광디스크의 보호층 두께 편차 보상용 1축 액츄에이터

1-Axis Actuator for Compensating Focus Error and SA due to the Variation of Cover-Layer Thickness in Small-Form-Factor Optical Disk

박진무* · 홍삼열* · 최인호* · 김진용*

Jin-Moo Park, Sam-Nyol Hong, In-Ho Choi, and Jin Yong Kim

Key Words : 1-axis driving(1 축 구동), Cover-layer(보호층), Flat-spring actuator(판스프링 액츄에이터), Optical pick-up(광 픽업), Small form factor optical disk (초소형 광디스크)

ABSTRACT

Technological advance in information technology has sparked the necessity of small form factor (SFF) optical disk for mobile devices. Small form factor optical disk is highly anticipated to be a next generation storage device because it can be used for a cost-effective way compared with solid state memory. For the application to the 5 mm height small-form-factor optical disk drive, we have presented an optical flying head and swing arm actuator. In this study, we propose a small 1-axis actuator for compensating focus error and SA due to the variation of cover-layer thickness in the cover-layered small optical disk. The main design issues of the 1-axis actuator are the realization of compact structure and the new support structure of the actuator. Finally, the compensating principle and performance of the 1-axis actuator will be explained.

1. 서 론

광디스크는 휴대하기 편리하면서 고밀도, 고용량의 매체로써 멀티미디어 기술을 대표하는 제품이다. 현재는 8, 12 cm 지름을 가진 디스크가 광디스크의 표준이지만, 점차 다양해지고 작아진 디지털 제품에 대응할 수 있도록 더욱 작은 크기의 초소형 광디스크와 광디스크 드라이브에 대한 요구가 커지고 있다.

그러나 소형화에 따른 저장 용량의 감소, 휴대형 미디어에 대한 좁은 활용 영역, 미디어의 정보를 읽고 쓰기 위한 광학계의 크기를 줄이는데 있어서 제조 기술의 한계와 같은 이유로 인해서 광디스크 드라이브에 대한 초소형화가 오래 동안 적극적으로 추진되지 않았다.

대신 정보 기술이 발전함에 따라 개인이 접하고 처리하며 저장해야 할 정보의 양이 비약적으로 늘어나게 되면서, 기존의 광디스크 드라이브에 적용되는, 고용량의 광기록 기술과 고밀도 저장 가능한 미디어에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 따라서 이러한 연구 성과들을 바탕으로 하여 초소형의 광디스크도 충분히 높은 저장 용량을 갖출 수 있게 되었다. 최근에 초소형 광디

스크 드라이브 제품을 출시한 DataPlay 사의 경우, 650 nm 파장의 청색 LD(laser diode)를 사용하고 DVD 와 유사한 구조의 미디어를 사용하여 지름 32 mm 의 광디스크에 750 MB 의 데이터를 저장하였다.⁽¹⁾

PDA, MP3 player, Mobile phone, Digital camera, Camcorder 와 같이 다양한 휴대용 디지털 제품 시장이 크게 성장하면서 이들 제품을 위한 소형의 휴대형 미디어의 수요도 크게 증가하였다. 현재는 이들 디지털 제품이 대부분 광디스크보다는 반도체 메모리를 채용하고 있지만 기존 광디스크가 갖고 있는 데이터 저장 용량 대비 낮은 가격과 편리한 휴대성 등의 장점으로 인해서 소형의 광디스크 드라이브에 대한 요구도 늘어나고 있다.

DataPlay 의 제품에서도 적용된 바와 같이, 광디스크 드라이브의 초소형화를 위해서는 특히 광학 부품의 집적화가 필수적인데, 광학 부품은 특성상 조립을 매우 정밀하게 해야 하므로 부품이 작아지면 그만큼 작업의 난이도가 높아지기 때문이다. 따라서 LD, PD(photo diode), BS(beam splitter), collimation lens 와 같은 광학계 구성 부품을 반도체 기술을 이용하여 3.0(l)×2.0(h)×5.5(w)mm 크기로 집적화한 BOU(base optical unit)라 부르는 광 픽업 모듈을 개발하여 발표하였다.⁽²⁾

광학계 외의 디스크와 스피들 모터, 디스크 로딩 메카니즘 (disk loading mechanism), 포

* LG 전자 Digital Media(연) DCT Gr.
E-mail : brentano@lge.com
Tel : (02) 526-4753, Fax : (02) 526-4801

커싱과 트랙킹 액츄에이터와 같은 드라이브 부품들은 기존의 제조 기술을 이용하여 소형화를 시도해야 하는데, 이들이 조립된 전체 시스템의 크기는 기존의 제품과의 호환성을 고려해야 하므로 PCMCIA 타입이나⁽³⁾ 플래시 메모리 타입을 목표로 하여 개발하게 되었다.

아직까지 위의 두 가지 또는 제 3의 형태로 초소형 광디스크 드라이브의 형태가 결정되지는 않았지만, 광디스크 드라이브 초소형화의 공통적인 목표는 높이를 5 mm 로 낮추는 것이다.^(3,4) 따라서 지금까지 LGE 에서 초소형화의 주된 연구는 5 mm 두께의 드라이브에 장착할 수 있도록 설계한 초소형의 스윙암 액츄에이터 (swing arm actuator)와 디스크의 표면을 부상하면서 대물렌즈와 디스크의 간격을 일정하게 유지시켜주는 OFH(optical flying head) 및 OFH가 부상하기 위한 초소형 광디스크를 개발하고 이를 안정화시키는 것이었다.^(3,5)

이와 같이 광디스크 드라이브의 초소형화 연구가 많은 진전이 있었지만, 더욱 고용량인 디스크를 만들기 위하여 Blu-ray 규격을 초소형 광디스크 드라이브에 적용하게 되었다. Blu-ray 규격에서는 디스크 표면 보호층(cover layer)의 두께가 100 μm 인데, 현재까지의 기술로는 포커스 오차와 구면수차(SA:spherical aberration)가 발생할 정도로 보호층의 두께가 수 μm 의 편차를 가지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 BE (beam expander)를 적용하여 BE를 구성하는 보상렌즈 간의 거리를 조정하여 포커스 오차와 SA를 보상하도록 하였다. 그리고, BE의 보상렌즈를 구동하기 위한 액츄에이터로서 1축의 구동 액츄에이터를 제안하고자 한다.

2. 본 론

포커스 오차와 SA를 보상하기 위한 방법으로 제안한 1축 액츄에이터(1-axis actuator)를 설계할 때 다음의 두 가지 사항을 고려하였다. 첫째, 1축 액츄에이터는 스윙암과 OFH 사이에 들어가야 하는데, 스윙암의 구조를 고려할 때 액츄에이터는 BOU와 folding mirror 사이에 설치하는 경우에 가장 많은 공간을 가질 수 있다. 따라서 스윙암의 두께와 똑 이하로 액츄에이터를 만들 수 있어야 한다. 둘째, 기존의 SA보상용 1축 액츄에이터⁽⁶⁾를 소형화할 때 나타나는 문제점을 극복할 수 있도록 새로운 지지구조 및 복원력을 발생시키는 요소를 제안하는 것이다.

요컨대, 1축 액츄에이터에 대한 연구는 스윙암의 좁은 공간 내에서 원하는 성능의 액츄에이

터를 설계하고 조립하는 것과, 초소형화에 대응하기 위한 새로운 지지구조를 설계하는 것과 관련되어 있다.

2.1 1축 액츄에이터의 구조

일반적으로 광 픽업용의 액츄에이터에서 코일은 고정부의 영구 자석과 마주 보는 형태로 렌즈 홀더(lens holder)에 대칭이 되어 한 쌍으로 조립된다. 그러나 본 연구에서는 공간을 최대한 절약하기 위해서 Fig. 1과 같이 렌즈 홀더에 코일을 동축이 되도록 감아 주었다. 그리고, Fig. 2에는 렌즈 홀더-코일 조립품과 BE, 판스프링(thin flat spring), 영구 자석(magnet)이 조립된 1축 액츄에이터의 구조를 나타내었다. 그림에서 보이는 것처럼, 일반적으로 자기 회로의 자속(magnetic flux)의 손실을 줄이기 위해서 사용하는 요크를 설치하지 않았다. 코일과 자석을 서로 마주보지 않게 배치한 것과 요크를 생략함으로써 자력의 손실이 많이 생기지만, 1축 액츄에이터의 크기에 대한 제약을 극복할 수 있었다.

본 연구에서 적용한 판스프링은 기존의 축 방식의 지지구조와 복원력을 발생시키는 요소인 자기 스프링 구조를 대신하기 위한 것이다. 축-자기 스프링 방식의 경우 액츄에이터의 크기를 줄일 경우 마찰 문제나 자기 스프링의 조립이

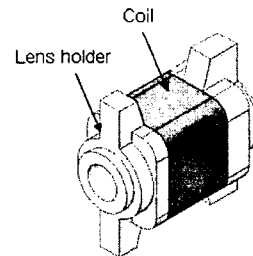


Fig. 1 Lens holder-coil assembly

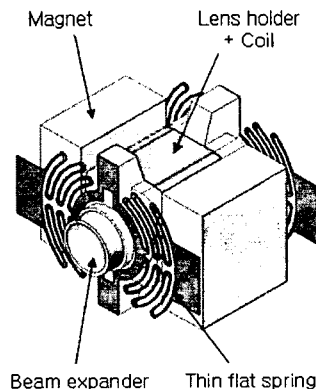


Fig. 2 Design of 1-axis actuator

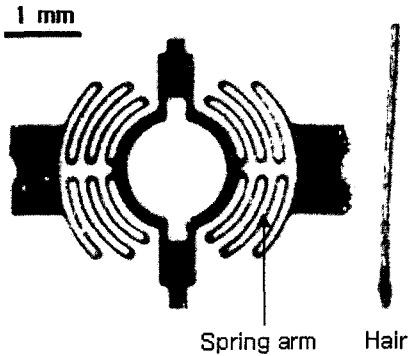


Fig. 3 Photographs of a flat spring

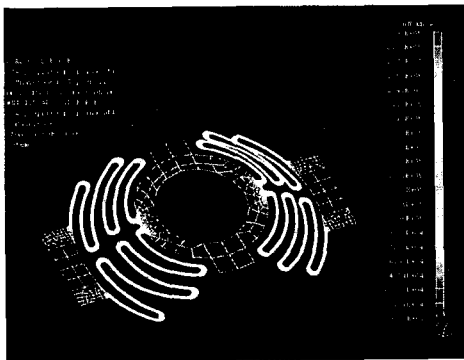


Fig. 4 Deformed shape of the flat spring at loaded condition

까다로워지므로, 크기를 더욱 줄일 수 있으면서 가동부의 마찰 문제를 피하며 동시에 지지와 복원력을 모두 가진 판스프링을 채택한 것이다. 판스프링은 에칭에 의해서 가공하므로 정밀하게 만들 수 있고, 축이나 자기 스프링의 철편(steel strip)에 비해서 크기를 작게 만드는 데 유리하다. 그리고 판스프링 재질을 전도성 재료로 택함으로써 가동부의 코일을 위한 단자 역할을 겸하게 하여 구조를 단순화하였다.

판스프링의 형상을 설계할 때, 가동부의 구동 거리를 향상시키기 위해 변형이 일어날 수 있는 면적을 최대한 활용하도록 스프링 팔의 형상을 'ㄷ' 형태로 만들었다. 그리고 스프링 팔(spring arm)의 폭을 30 μm 로 설계하였는데, 판스프링의 두께인 30 μm 이하로는 정밀한 에칭 가공이 불가능하기 때문에 가공 가능한 최소의 폭으로 만든 것이다. Fig. 3 에는 실제 제작한 판스프링을 나타냈으며, Fig. 4 에는 판스프링의 FEM 모델과 정하중 조건에서 변형된 형상을 나타내었다.

2.2 1 축 액추에이터의 구동 및 보상 원리

2.1 절에서 구조를 설명한 것처럼 1 축 액추에

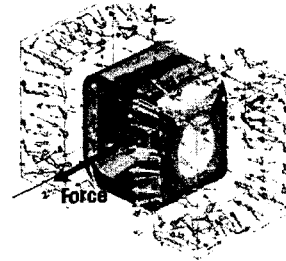


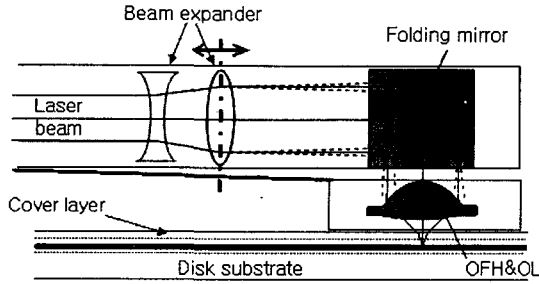
Fig. 5 Magnetic FEM analysis result (3D)

이터는 일반적인 광 픽업 액추에이터와 달리 코일의 감은 축과 영구 자석의 자력 방향을 Fig. 5 와 같이 서로 수직한 방향이 되도록 하였다. 그리고, 좌우에 놓은 자석의 자력방향이 서로 마주보게 하여 코일에 전류가 흐르게 되면 자석과 마주하는 코일의 좌우 부분에서 같은 방향으로 전자기력이 발생되도록 설계하였다.

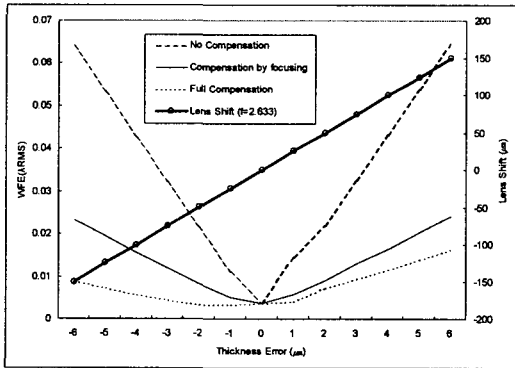
위와 같은 원리로 구동하도록 설계된 1 축 액추에이터에는, 보상렌즈로써 오목렌즈와 볼록렌즈가 조합된 BE 의 렌즈 중 하나를 조립한다. BE 는, 레이저 빔을 방출하고 반사되어 되돌아온 빔을 전기 신호로 변환하는, BOU 와 대물렌즈 사이에 설치하며, 1 축 액추에이터를 구동하여 보상렌즈 간의 거리를 조정하여 줌으로써 레이저 빔을 수렴시키거나 발산시켜주어 초점거리를 조정하여 준다.

포커스 오차와 SA 보상을 하기 위한 메커니즘과 보호층 두께 변화에 따른 WFE(wave front error)를 해석한 시뮬레이션 결과를 Fig. 6 에 나타내었다. 디스크는 플라스틱 기판(substrate) 위에 기록층(recording layer)이 있고 기록층을 보호하기 위한 보호층이 덮여 있다. OFH 는 스윙암과 서스펜션(suspension)으로 연결되어 디스크 표면을 따라서 표면의 형상(waviness)을 추종하여 부상(flying)하면서 대물렌즈와 디스크 사이의 거리를 유지시킨다. 대물렌즈 위에는 빔의 방향을 바꾸어주기 위한 folding mirror 가 장착되어 있고 BE 와 1 축 액추에이터는 folding mirror 와 BOU 사이의 공간에 설치한다.

Fig. 6(a)에서 나타낸 것처럼, 디스크의 보호층의 두께가 변하는 양에 따라서 렌즈를 움직여 초점거리를 변화시켜주는데, 만약 보호층의 두께가 얇아지면 렌즈간의 간격을 멀게 해주어서 빔을 수렴시켜주며, 보호층의 두께가 두꺼워질 경우에는 렌즈간의 거리를 가깝게 만들어서 빔을 발산시켜준다. Fig. 6(b)에 나타난 것처럼 1 축 액추에이터를 쓰더라도 완전히 오차를 보상할 수 없으나, 액추에이터를 쓰지 않는 경우에 비해서 현저하게 WFE 가 감소됨을 알 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 6 Compensation mechanism and simulation results

2.3 1 축 액츄에이터의 특성

포커스 오차와 SA 보상을 위한 1 축 액츄에이터는 특성상 DC 감도를 충분히 확보하는 것이 중요하다. BE의 설계에 따라 렌즈의 이동 거리 (lens shift)가 달라지지만, 본 연구에 적용한 BE의 경우 Fig. 6(b)의 결과를 보면 1 μm 의 두께 오차에 대해서 렌즈를 25 μm 를 구동해야 한다. 이 결과와 설계한 코일의 저항을 고려할 때 액츄에이터는 최소한 0.020 mm/V 이상의 DC 감도를 확보해야 하는데, 측정 결과 0.058 mm/V의 DC 감도를 얻었다. 이 결과를 볼 때 DC 감도가 충분히 여유 있다고 할 수는 없지만 감도를 개선하기 위한 설계 상의 여유가 있으므로 앞으로 적절한 DC 감도를 확보할 수 있을 것이다.

가동부를 지지하는 판스프링의 강성과 1 차 공진 주파수는 유한요소해석을 통해 구할 수 있다. 본 연구에서는 상용 해석 프로그램인 I-DEAS를 이용하여 모달해석(modal analysis)을 수행하였다. 가동부는 렌즈 홀더, 코일, BE 렌즈로 구성되어 있는데 이들을 등가 질량을 가진 하나의 원통으로 가정하였으며, 판스프링과 원통은 완전 접촉된 것으로 가정하였다. 해석 모델과 1 차 공진 모

드를 Fig. 7에 나타내었다.

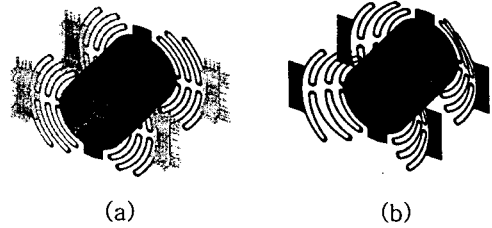


Fig. 7 (a) FE model, (b) 1st resonant mode

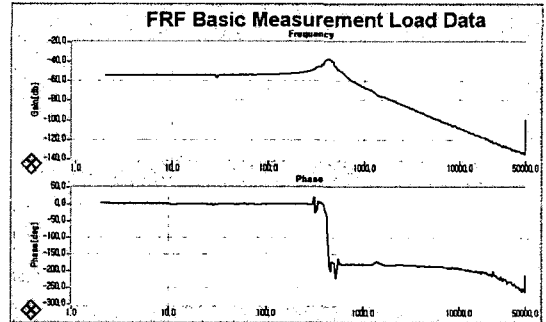


Fig. 8 Experimental results of FRF in 1-axis actuator

Item	Result	Unit
Resistance	3.85	[Ω]
1 st resonance frequency	430	[Hz]
DC sensitivity (5 Hz)	0.058	[mm/V]
AC sensitivity (1 kHz)	11.3	[$\mu\text{m}/\text{V}$]

Table. 1 Dynamic characteristics of 1-axis actuator

1 축 액츄에이터의 기본 특성 측정결과를 Fig. 8, Table. 1에 나타내었다. 이 결과에서 볼 수 있듯이, 1 축 액츄에이터의 크기와 질량이 일반적인 광픽업 액츄에이터보다 매우 작기 때문에, 공진 주파수가 430 Hz로 높은 편이며, FRF 실험에서 부차 공진의 경우 10 kHz의 측정 범위 내에서는 발생하지 않았다.

3. 결론

본 연구에서는 초소형 광디스크 드라이브를 개발하기 위해서 기존의 OFH-스윙암 액츄에이터에 100 μm 의 보호층을 가진 초소형 광디스크를 사용할 때 생기는 수 μm 의 보호층 두께의 편차를 극복하여 포커스 오차와 SA를 보상할 수 있는 1 축 액츄에이터를 개발하였다.

광디스크 드라이브의 초소형화를 위해서는 드라이브의 높이를 5 mm 로 맞추어야 하며, 이를 만족시키기 위해서 스윙암을 얇게 설계하게 되었으며 여기에 맞도록 1 축 액츄에이터가 설계되었다.

자기 회로적으로 적절한 배치나 부품의 생략을 통해서 크기를 줄였으며, 가공과 조립을 단순화할 수 있도록 판스프링을 사용하였다. 판스프링이 조립된 1 축 액츄에이터의 특성을 유한요소해석과 실험을 통해서 확인하였다.

참고문헌

- (1) David L. Blankenbeckler, et al. "An Increased Capacity DataPlay Optical Disc and Drive", *ODS 2004 Technical Digest*, pp.207-209
- (2) Sang-Cheon Kim, et al, 2003, "Ultra Small Optical Pickup Module", *Proc. Of ODS 2003*, SPIE Vol.5069, pp.335-340
- (3) Sookyung Kim, et al, 2003, "PCMCIA like Ultra Small Form Factor Optical Drive", *Proc. Of ODS 2003*, SPIE Vol.5069, pp.5-13
- (4) M.A.H. van der Aa, et al, 2003, "Highly miniaturized prototype optical drive for use in portable devices", *Proc. Of ODS 2003*, SPIE Vol.5069, pp.1-4
- (5) Sookyung Kim, et al, 2004, "An Optical Flying Head Assembly for a Small-Form-Factor Plastic Disk in PCMCIA-Like Drive", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol.43, No.7B, pp.4752-4758
- (6) 이성훈 외, 2004, "구면 수차 보상을 위한 액츄에이터 설계에 대한 연구", 한국소음진동공학회 2004 년도 춘계학술대회 논문집, pp.346-350