

# 구면 수차 보상을 위한 액츄에이터 설계에 대한 연구

## A Study on Actuator Design for SA Compensation

이성훈\*·박관우\*\*·김진아\*\*·최인호\*\*·김진용\*\*

Seong Hun Lee, Kwan Woo Park, Jin A Kim, In-ho Choi, Jin Yong Kim

**Key Words :** SA Compensation(구면 수차 보상), Actuator(액츄에이터), Blu-ray pickup(블루레이저 픽업), Shaft Type actuating(축 타입 구동), Magnetic stiffness(자기 스프링)

### ABSTRACT

In Blu-ray(BD) optical system, as a short laser wavelength of laser diode and thin cover layer thickness of disc, the proper adjustment of spherical aberration should be performed. Considering thin cover layer thickness and tolerance variation of disc in BD optical system, spherical aberration in BD format is more serious than CD·DVD format. Especially, in dual-layer disc, to compensate the aberration at each layer, optical component should be moved finely in the way of optical path. In this study, 1-axis moving actuator was introduced as the method of compensating the spherical aberration, and the mechanism of the system was described. Finally, its effect on optical system will be mentioned.

### 1. 서론

최근 정보화 산업의 급속한 발전으로 디스크 미디어의 고 밀도화와 고 배속화가 가속화 되는 추세이고 데이터의 저장 및 재생을 위한 다양한 정보 저장 기기의 시장 수요가 증대되고 있다. 과거 CD로부터 DVD 에 이르기까지 광 드라이브의 개발은 급속도로 발전되었으며 고 화질 매스미디어의 빠른 전파와 함께 이를 동시에 저장하고자 하는 소비자의 요구가 증대됨에 따라 기존 DVD 저장 밀도의 한계를 넘어선 BD(Blu-ray disc) 포맷의 미디어 기술이 시장에 소개되고 있는 실정이다. 이와 같이 급속한 기술적 개발은 디스크의 정보를 읽기 위한 핵심 부품인 광 픽업 장치의 개발과 더불어 새로운 포맷에 대응하기 위한 광학 및 회로적 연구가 뒷받침 되어야 한다[1].

앞서 소개한 바와 같이 현재 시장에서 일부 소개되고 있는 BD 포맷 드라이브(23~27GB)의 경우 기록 밀도가 기존 DVD 급(4.5GB)의 5 배 이상에 해당하여 디스크 특성도 DVD 급 디스크에 비해 관리 요소가 많으며, 기록 밀도의 획기적인 증가를 위해 디스크 자체를 이중 층(double-layer)으로 구성하기도 한다[2].

BD 포맷의 가장 근본적인 특징 중 하나인

405nm 대역의 짧은 파장 광원을 사용함으로써 인 해 기존의 red-계에서의 광학 기술을 그대로 적용할 수 없으며 이에 따른 광학 요소의 새로운 구성과 함께 새로운 부품 개발이 필요하다.

특히, 디스크의 cover lay 두께가 0.1mm 로 CD/DVD 급 미디어의 커버 층 두께보다 얇으며, Numerical Aperture(NA) 값은 상대적으로 크기 때문에 구면 수차(Spherical aberration)의 발생을 피할 수가 없게 된다.

BD 포맷에서 그 중요성이 대두되고 있는 구면 수차를 보상해 주기 위해서는 광원으로부터 대물렌즈로 이어지는 광 경로 상에 구면 수차를 보상해주는 광 부품을 삽입하거나, 기존 광 부품을 광축 방향으로 이동 시킴으로써 해결할 수 있다.

광 부품을 광 축 방향으로 이송 시키는 구조는 광 축 방향과 수직인 방향으로 움직임이 없도록 하고, 오로지 광 축으로만 이송되도록 구속 조건을 구성하여야 하고, 고 정밀도를 요구하는 BD 포맷에 대응하기 위하여 이송 중 각 틀어짐이 최소화 되도록 관리하여야 한다.

이러한 이송 조건을 만족 시키기 위해서 본 연구에서는 두 개의 축으로 한 방향 움직임이 가이 드가 되는 1 축 구동 액츄에이터를 구성하였다.

또한, 1 축 구동 액츄에이터의 구동 특성에 있어서 광 부품 배치에 따른 커버 층 두께 대비 구동 분해능 이 결정되므로 기구적으로 구현 가능한 구동 분해능과 광 부품의 배치 최적화를 수행하였다.

### 2. 구면 수차 보상 Mechanism

\* LG 전자 DM 연구소 DCT 그룹

E-mail : macjew@lge.com

Tel : (02) 526-4977, Fax : (02) 526-4801

\*\* LG 전자 DM 연구소 DCT 그룹

광학계에서 발생하는 수차는 일반적으로 구면 수차와 코마 수차 그리고 색 수차가 있다. 대부분 수차의 경우, CD·DVD 기술의 발전과 함께 그 해결책이 제시되었고 이를 보상하기 위한 적절한 광부품을 개발하여 사용하고 있다.

한편, CD·DVD 급에서도 구면 수차는 발생하나, 식 1 에서와 같이 구면 수차는 NA(numerical aperture)의 4 제곱에 비례하며, 광원의 파장에 반 비례하며, 디스크 cover lay 의 두께에 비례하기 때문에 CD·DVD 에 비해 큰 NA 값과 짧은 파장을 사용하고, cover lay 두께가 얇은 디스크를 사용하는 BD 포맷의 경우 CD·DVD 급에서와 동일한 기구적 공차 조건으로 설계를 하면 구면 수차는 더욱 심각하게 발생하게 되며 이를 보상하는 기술이 필요하다.

$$SA = \frac{(N.A)^4}{\lambda} \cdot \Delta t \dots\dots\dots (1)$$

(where, N.A is numerical aperture,  $\lambda$  is wave length of laser diode,  $\Delta t$  is cover layer thickness)

따라서, 본 연구에서는 디스크 cover lay 두께 변화를 보상하기 위해 평행광 경로상에 임의의 광학 렌즈의 위치를 조정하는 방법을 선택하였으며, 디스크 cover lay 두께 변화에 따른 구동 비율을 고려하여 layer 변화량과 double layer 간격 변화를 보상하도록 1 축 액츄에이터의 가동 범위가 총  $\pm 0.6\text{mm}$  를 확보하도록 하였으며, 이때 보상 효과를 극대화하기 위한 최적 점을 추종하는 servo 계를 고려하여 구동 분해능이  $30\mu\text{m}$  이내가 가능하도록 설계하였다.

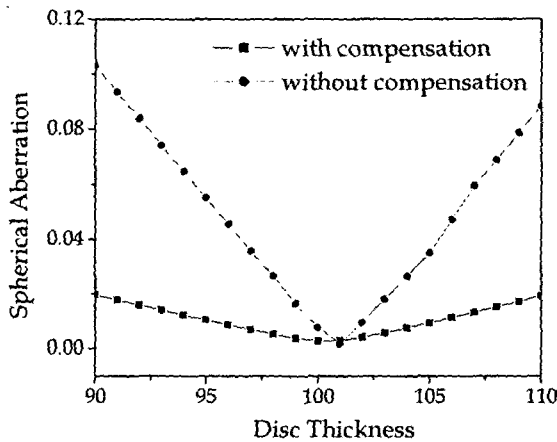


Fig.1 Effect of SA compensation with adjusting the distance of expander lens

구면 수차 보상을 위해 보상 렌즈의 거리를 조

정하는 경우 구면 수차 값의 개선 정도를 알아보기 위해 보상 전,후의 구면 수차 값을 비교하는 해석을 수행하였으며, 해석 결과인 fig.1 를 살펴보면, 디스크 cover lay 에 따른 구면 수차 값이 보상 후 최대 80%정도까지 향상 되는 것을 알 수 있었다.

### 3. 구면 수차 보상 Actuator 특성

#### 3.1 구동 원리 및 기본적 특성

이미 설명한 바와 같이 구면 수차 보상을 위한 액츄에이터는 평행광 경로상에 위치하는 보상 렌즈를 광 축 방향으로 이송 시키는 역할을 수행해야 하며, BD 시스템의 정밀도를 고려하여 구동 중 발생할 수 있는 각 틀어짐(tilt)과 중심 벗어남(de-center)을 최소화 시켜야 한다.

본 연구에서는 이 둘 조건을 만족시키기 위해 fig.2 에서와 같이 두개의 축에 의해 구동이 가이드되며, 구동력은 VCM 을 통해 이루어 지는 1 축 구동 액츄에이터를 이용하였다. 즉, 렌즈 홀더에는 두개의 샤프트 가이드 부를 설치하여 한 쪽은 상,하,좌,우를 동시에 구속할 수 있고, 나머지 가이드부는 상,하만을 구속하도록 설정하여 구동 중 렌즈 홀더의 틀어짐이나 샤프트의 초기 안착시 틀어짐으로 인해 구동이 저하되는 현상 없이 광 축 방향 운동만이 가능하도록 하였다.

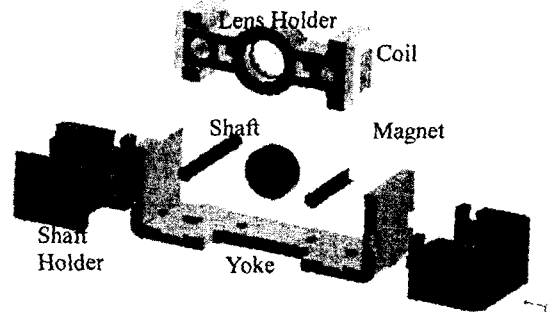


Fig.2 Design of SA compensation actuator

VCM 구조는 fig.3 에서 볼 수 있듯이 한 쌍의 2극 자석과 안경형 코일로 이루어져 있으며, 특정 위치에서 위치 평형을 유지하기 위해 3.2 절에서 설명할 자기 스프링을 복원력으로 사용하였다. 자기 스프링을 사용하는 경우, 스프링 구성에 필요한 기구적 공간을 별도로 마련할 필요가 없는 장점이 있으며 코일 내측에 적정 복원력을 유지하도

록 철판을 부착하여 항시 렌즈 홀더가 극간 방향으로 힘을 받을 수 있게 하여 특정 전압 인가에 따른 위치 변위량을 가정 하여 servo 할 수 있는 장점이 있다.

### 3.2 자기 복원력과 구동력

3.1 절에서 설명한 바와 같이 1 축 구동 액츄에이터에서 질량-스프링계를 구성함에 있어서, 복원력을 위하여 자기 스프링력을 사용하였다.

자기 스프링은 자성체의 물질이 자석의 극간에 위치하려는 에너지 안정화 특성을 이용한 것으로, 자석에서 일정 거리 떨어진 위치에 자성체를 두게 되면 자석의 극간에 자성체가 위치하려는 복원력을 발생시킨다. 이 복원력은 극간에서 멀어질수록 그 크기가 커져 거리에 비례하여 복원력이 증가하는 스프링 특성과 유사하기 때문에 스프링계로 표현할 수 있으며, 따라서 탄성 계수의 단위도 [N/m]를 사용하게 된다.

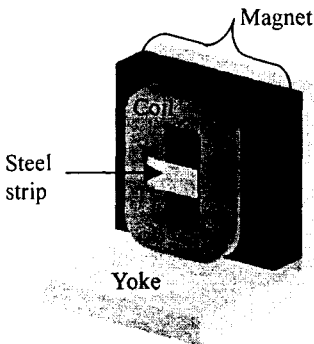


Fig.3 Analytical modeling of Magnetic stiffness

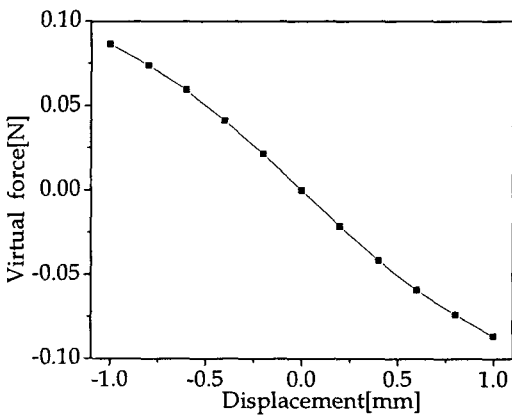


Fig.4 Analytical result of magnetic stiffness

Fig.3 에 자석과 자성체인 철판, 그리고 코일의 구조와 위치를 보여주고 있으며 이 모델을 이용한

해석 결과를 fig.4 에 나타내었다. Fig.4 를 보면 알 수 있듯이 자기 스프링에 의해 발생하는 가상 힘은 두 자석의 극간에서는 그 값이 0 이 되며, 거리가 증가함에 따라 비선형 성분이 포함된 3 차 곡선의 형태를 보여주고 있다.

또한, 가동 범위 전 구간에서의 로렌츠 힘 계산 결과인 Fig.5 을 살펴보면 2 극 자석 극간에 위치하고 있을 때 최고 값을 보이고, 멀어질수록 그 크기가 작아지는 비선형 성분을 확인할 수 있는데, 이때, 로렌츠 힘과 자기 스프링력의 비가 식 2 에서 표현되는 시스템의 저역 감도이므로, 최종적으로 두개의 값이 고려된 저역 감도가 가동 범위에서 가능한 한 선형적인 값을 유지하도록 자기 스프링 값과 로렌츠 힘을 최적 설정하였다.

또한, 구동 특성 저하에 영향을 미치는 마찰력에 대한 효과를 저감 시키기 위한 방법의 하나로 자기 스프링력을 키우게 되면 가동 범위 구간에서 일정하지 않은 저역 감도가 발생하므로 가동 범위 전 구간에서 일정한 저역 감도를 얻을 수 있도록 철판 사이즈와 코일 특성을 조정하였다.

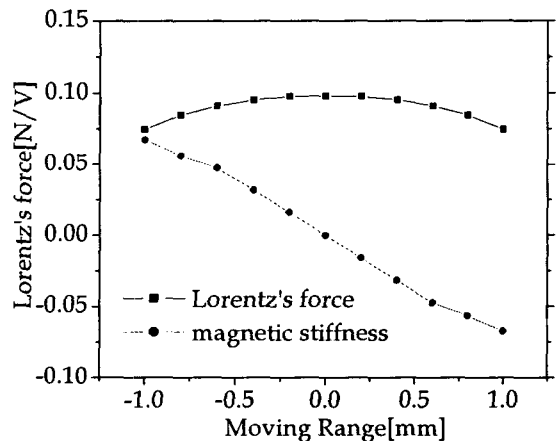


Fig.5 Analytical result of Lorentz's force and magnetic stiffness

$$\text{Sensitivity [mm/V]} = \frac{\text{Lorentz's force [N/V]}}{\text{Magnetic stiffness [N/mm]}} \dots (2)$$

## 4. 액츄에이터의 특성

구면 수차 보상을 위해 사용한 액츄에이터는 3.2 장에서 설명한 바와 같이 자기 스프링에 의한 복원력과 구동 전압에 의한 전자기력의 힘 평형에 의해 특정 위치에서 고정되는 방식이다. 또한, 구

면 수차 보상이 성취되면 시스템의 jitter 값이 최소가 될 것이라는 것을 가정할 수 있다. 따라서, 최적의 구면 수차 보상이 되는 점으로 액츄에이터를 위치시키기 위하여 시스템에서 jitter 값을 추출하여 최적의 jitter 위치가 되는 점으로 액츄에이터를 계속 추종하게 하는 servo 계를 구성하여 수행하였다. 본 액츄에이터는 이와 같은 servo 계의 정밀도를 만족하기 위하여 저역 감도의 비선형성과 구동 분해능, 왕복운동시의 히스테리시스를 최소화 하도록 하였다.

한편, 이러한 특성을 성취하기 위하여 액츄에이터는 두개의 축에 의해 가이드 되는 구조이므로, 축과 렌즈 홀더간의 마찰을 최소화 하고, 이들간의 clearance 를 미끄럼 특성에 영향을 미치지 않는 최적 값을 선택하여야 한다. 그러나, 마찰 특성 및 clearance 는 해석을 통해서 최적 값을 구하기는 어려우며, 실험을 통해 결정하는 것이 용이하다. 따라서 미끄럼 특성을 개선하기 위한 방법으로 렌즈 홀더의 표면 조도 향상 작업 및 재질 및 clearance 의 최적화에 따른 영향을 살펴보았다.

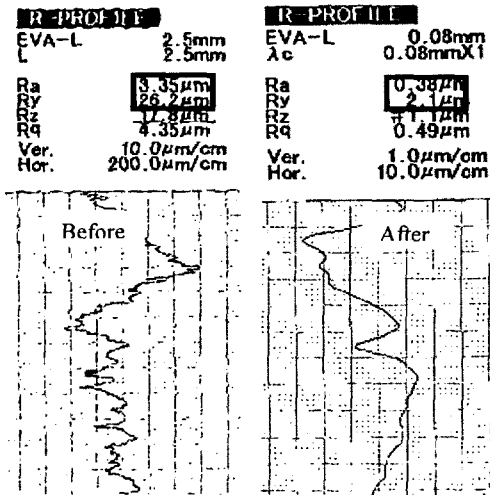


Fig.6 Measurement data of roughness

Fig.6 에 렌즈 홀더의 축 마찰면 조도 측정 결과를 나타내었으며 조도 개선 작업을 통해 최대 표면 조도( $R_{max}$  or  $R_y$ )를 개선 전 대비 10%대로 관리하였다.

다음으로, Table.1 에서와 같이 미끄럼 특성의 정도를 제시하는 변수로서, 구동 분해능을 결과 값으로 하여, 재질 및 clearance 가 구동 분해능에 미치는 영향을 살펴보았다.

재질은 LCP 재질과 PPS 재질 세 종류를 선택

하였으며, clearance 는  $10\mu\text{m}$  단위로 3 단계를 구분한 뒤, 각 실험 세트마다 5 대씩 측정하였다.

Table.1 결과를 통해 알 수 있듯이, LCP 1 재질을 사용하고, clearance B 값을 선택한 경우 최저 구동 분해능을 얻을 수 있었으며, 실험을 통해 선택한 구성을 이용하여 다시 10 대의 샘플을 제작한 결과 평균 분해능  $22.5\mu\text{m}$ , 표준 편차 1.3 의 값을 얻을 수 있었다.

Fig.7 에 Table.1 에서 선정된 최적 실험 세트에 대한 인가 전압 대비 이동 추종 여부를 확인한 실험 결과를 나타내었으며, 결과에서 볼 수 있듯이  $20\sim 30\mu\text{m}$  이내의 구동 분해능을 확인할 수 있다.

이는 2.1 절에서 설명한 servo 정밀도를 충분히 만족하는 값으로 구면 수차 보상 1 축 액츄에이터가 BD 포맷에서 광학적으로 발생할 수 있는 구면 수차를 충분히 보상할 수 있음을 입증할 수 있다.

Table.1 Experimental Set

	LCP 1	LCP 2	PPS
Clearance A	24	24	31
Clearance B	22	23	30
Clearance C	26	28	32

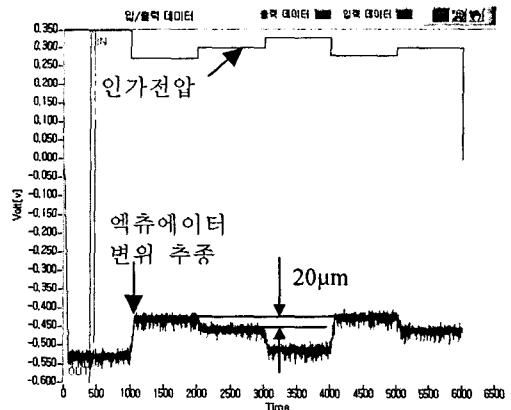


Fig.7 Experimental result of Tracing

최종적으로 Fig.8 에 액츄에이터의 구동 전압 대비 이동량 그래프를 나타내었으며, 그래프 직선 기울기로부터 저역 감도의 선형 특성이 우수하며  $20\mu\text{m}$  이내의 구동 step 에서 잘 추종하고 있으며, 왕복 운동시의 히스테리시스는 거의 무시해도 되는 우수한 특성을 성취하였음을 확인할 수 있다.

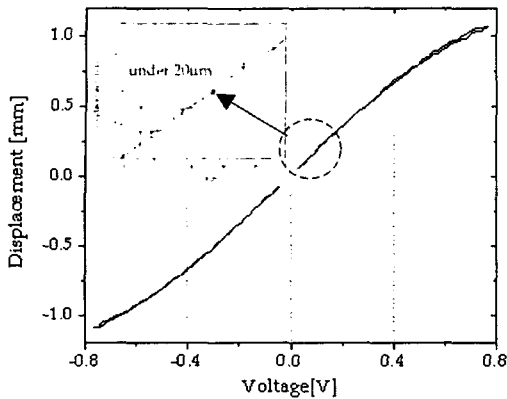


Fig. 8 Linearity Curve of SA compensation actuator

## 5. 결론

본 연구에서는 BD 포맷 디스크의 cover lay 두께 편차에 의해 발생하는 구면 수차를 보정하기 위해 광 부품을 이송 시키는 액츄에이터를 구성하였다.

액츄에이터의 구동력을 발생 시키는 VCM 과 힘 평형을 이루기 위해 구성한 자기 스프링을 이용하여 최적 jitter 특성을 만족하는 위치로 servo 가 가능하도록 하였으며, 구동에 있어서

1 자유도만 허용하기 위해 축 가이드 방식을 이용하였다.

축 가이드 구동 방식을 구성함에 있어 구동 분해능의 향상을 위해 3 재질-3 clearance 단계의 실험을 통하여 최적의 재질과 clearance 를 선택할 수 있었으며, 이 값을 이용하여 액츄에이터를 구성하는 경우 디스크 cover lay  $1\mu\text{m}$  이내의 변화까지도 보상할 수 있는 구면 수차 보상을 실현하였다.

## 참고 문헌

- (1) 최인호 등, 2000, "렌즈 돌출형 광 픽업 액츄에이터의 구동 성능 향상을 위한 force 특성 분석", 한국 소음 진동 공학회 창립 10 주년 기념 소음 진동 학술 대회 논문집, pp.1555~1560
- (2) Matsushita, Philips, Sony corporation, 2002, "Blu-ray disc-system description rewritable format"
- (3) S.Bouissou and F. Piriou, 1994, "Study of 3D Formulation to Model Electromagnetic Devices ", IEEE Transactions on Magnetics, vol. 30, pp.3228~3231
- (4) I.H.Choi, W.E.Chung, Y.J.Kim, I.S.Eom, H.M.Park & J.Y.Kim, 1998, "Compact disc/digital video disc(CD/DVD) Compatible Optical pickup actuator for high density and high speed", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 37, pp.2189~2196
- (5) I.H.Choi, S.P.Hong, W.E.Chung, Y.J.Kim, M.H.Lee & J.Y. Kim, 1999, "Concentrated Anisotropic Magnetization for High Sensitivity of Optical Pickup Actuator", IEEE Transactions on Magnetics, vol. 35, No.3, pp.1861~1864