

CD/DVD 겸용 광 픽업 액추에이터의 설계

이 문 구*, 권 대 갑**, 이 관 철***, 정 희 원*

CD/DVD Compatible Optical Pickup Actuator Design

Moon G. Lee*, Dae-Gab Gweon**, Kwanchul Lee*** and Hoe Won Jung*

ABSTRACT

Recently, DVD/CD compatible driver is needed for DVD and CD is widely used as a new optical data restoring device. The optical systems of DVD and CD driver are different because they have different optical feature. If only one objective lens is used, the change of an aperture or a dual focal length of the lens is required. This method, however, increases the number of parts and results in loss of the power of laser light. Hence, we propose a dual lens actuator design that can read DVD and CD respectively. Albeit magnetic spring is important mechanism in the dual lens actuator design, there has not been the systematic approach to design the mechanism in the preceding researches. In this article, the guideway to design magnetic spring is presented by using the qualitative theoretical approach and the finite element analysis.

Key Words : Optical Pickup Actuator(광 픽업 액추에이터), DVD, CD, Magnetic Spring(자기 스프링)

1. 서 론

근래에 들어 새로운 광 기록 매체로써 DVD가 대두되고 있는데 이는 기존의 CD보다 더 높은 기록 밀도를 가진다. 그러나 기존의 CD도 광 기록 매체로써 아직 병존하고 있고, 앞으로도 상당 기간 일정 정도의 시장 지위가 보장될 것이므로 DVD/CD 겸용 재생기가 필요하다.

DVD와 CD는 그 광학적 특성이 다르므로 정보를 재생하는 광학계의 광학적 특성도 달라야 한다. 레이저의 초점을 광 디스크면에 맺게 하는 대물렌즈를 하나만 쓰는

경우, 렌즈의 구경(Aperture)을 변화시키거나 이중 초점 거리(Dual Focal Length) 방식을 써야 DVD와 CD를 각각 읽을 수 있다. 그러나 이러한 방식을 쓰면 부품의 수가 많아지고, 레이저의 출력의 손실이 발생하게 된다. 또한 렌즈의 구경을 변화시키는 장치를 제작하는 것이나 이중초점거리를 가지는 렌즈를 제작하는 것은 쉽지 않다. 이러한 이유로 두개의 렌즈로 CD/DVD를 각각 읽는, 두개의 렌즈를 가진 CD/DVD 겸용 액추에이터(Dual Lens Actuator for CD/DVD Compatible Optical Heads)방식을 택하고 이를 설계한다.⁽¹⁾

* 한국과학기술원 기계공학과(대학원)
 ** 한국과학기술원 기계공학과
 *** 대우전자 OM 연구소

자기 스프링(Magnetic Spring)은, 두개의 렌즈를 가진 액추에이터에서 렌즈의 전환(switching)을 가능하게 하고 미세 추종시에 스프링 역할을 동시에 하는 매우 중요한 기구이다. 그러나 이에 대한 이론적 해석이 어려워 체계적인 접근이 부족했다. 여기서는 정성적인 이론적 접근과 유한요소법(FEM)을 통하여 자기 스프링 설계의 지침을 제시한다.

II. 광 픽업의 기본 원리와 Actuator의 사양

광 픽업(Optical pick-up)은 정보를 저장하는 원반형 광 디스크와 여기서 정보를 얻어내는 광 픽업 드라이브(drive)로 구성되어 있다. 광 디스크(DVD 또는 CD)는 여러 개의 나선형 트랙과 그 트랙을 따라 피트(pit)라고 불리는 일정 크기의 구멍을 표면에 가지고 있다. DVD의 경우 트랙 피치는 0.74 μ m, 피트 피치는 0.40 μ m 정도로 매우 미세하다.^[1] 레이저의 스팟(spot)이 트랙을 따라 피트에 초점을 추종한다. 광학 헤드 하단에 있는 레이저 반도체에서 발생된 레이저는 광학 시스템을 지나 디스크의 트랙에 입사된 후 반사된다. 이 반사된 레이저는 편광판을 거쳐 광학 헤드 수광기(photo detector)에 입사된다. 이때, 트랙에 피트의 유, 무에 따라 수광되는 빛의 강도가 달라지게 되는데 이를 감지함으로써 정보를 얻어 낸다.

여기서 구동계는 위의 광학계가 장착되어 있는 광학 헤드를 원하는 트랙에 이동시켜 주는 근사트래킹 구동기(Fig. 1의 헤드 구동 모터)와 디스크의 트랙의 미소 진동이 있을 때 레이저 스팟을 원하는 트랙에 정확하게 위치시켜 주는 미세구동기로 나뉜다. 미세구동기는 대물렌즈를 디스크의 지름방향으로 트랙을 추종시켜 주는 트래킹 구동기와 대물렌즈를 디스크면과 수직 방향으로 추종하

는 포커싱 구동기로 나누어진다.

여기서 미세 구동부는 디스크의 다음 진동을 추종해야 되므로 표 1과 Fig. 2와 같은 여러 사양들이 요구된다. Fig. 2의 사양은 액추에이터의 Open loop 주파수 응답에서 결정된다.

Table 1 Specifications of Fine Actuator of Optical Pickup

구분	Focusing	Tracking
1st resonant freq.(ω_f)	26 \pm 4 Hz	33 \pm 4 Hz
1st resonant peak(Q_f)	< 20 dB	< 28 dB
parasitic resonant freq.(ω_p)	100 Hz ~ 10kHz	100 Hz ~ 10kHz
parasitic resonant peak(Q_p)	< 3 dB	< 3 dB
sensitivity at low freq.(S)	1.35 \pm 0.5 m/V	1.20 \pm 0.5 m/V

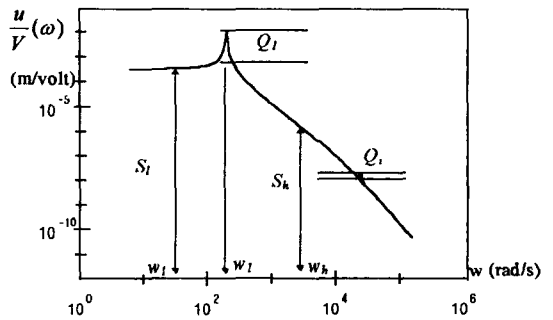


Fig. 2 Specifications of optical pickup fine actuator

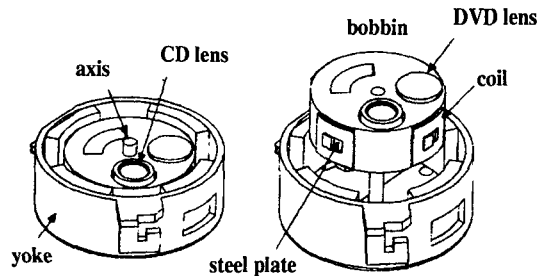


Fig. 3 Appearance of Dual Lens Actuator

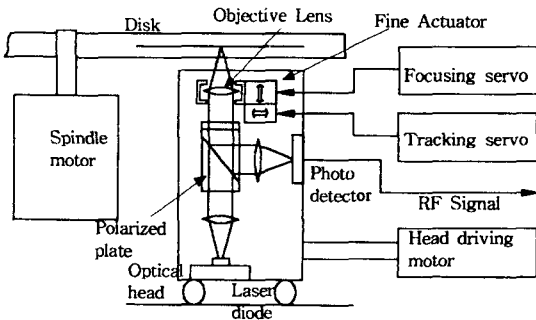


Fig. 1 Mechanism of Optical Pickup

III. 두개의 렌즈를 가진 Actuator의 구동 원리

이 연구에서 제안하는 액추에이터의 외관은 Fig. 3과 같다.

보빈(렌즈 홀더)은 렌즈, 코일, FPCB를 싣고 있으며

그 자체의 모양은 Fig. 4와 같다. 보빈은 고정된 축에 의해서 안내되어 축을 따라서 상하 운동(포커싱 운동)과 회전 운동(트래킹 운동)을 하게 된다.

보빈 옆면에 90°씩 떨어져서 네 개의 철판(steel plate)이 위치되고 마주보는 위치 각각 트래킹 자석과 포커싱 자석이 두 개씩 위치하게 된다.(Fig. 5) 철판이 AB 선을 따라 평행 위치, P에서 벗어나면, 철판의 중심, C를 평행 위치로 되돌아가게 하려는 자기력(F_z)이 생기게 된다. 이 자기력이 보존력이 되어 자석과 철판은 자기 스프링의 역할을 하게 된다. 이러한 원리는 Fig. 7에서 설명하였다.

보빈의 조립성을 위하여 Fig. 6과 같이 오프셋 앵글(Offset Angle)을 두는 것이 좋다. 이러한 오프셋 앵글은 약간의 조립 오차가 있더라도 마주보는 철판에 마주보는 힘이 발생하여 렌즈의 중심을 원하는 위치에 정확히 맞출 수 있다.

보빈에 감긴 코일에 전류가 흐르게 되면 자속에 의해서 코일이 힘을 받게 되고, 이 힘과 자기 스프링의 힘과 관성

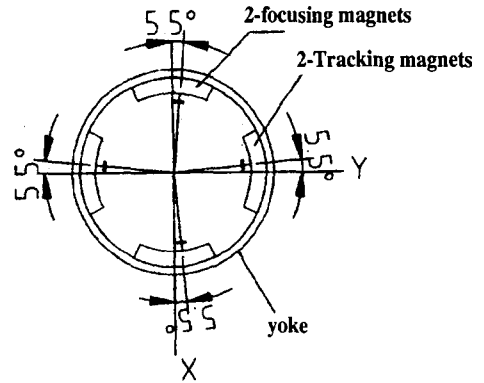


Fig. 6 Magnets, Yoke and Steel Plates with Offset Angles: Top View

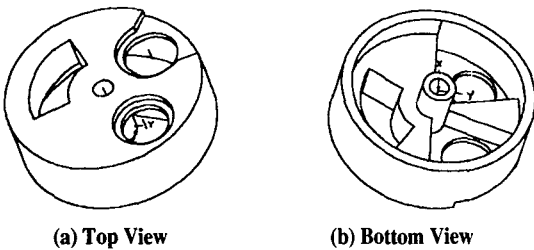


Fig. 4 Appearance of Bobbin

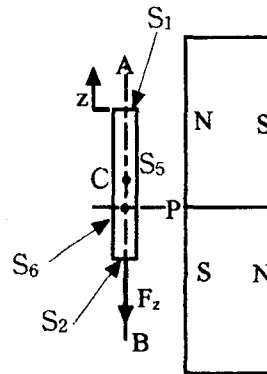


Fig. 7 Principle of Magnetic Spring

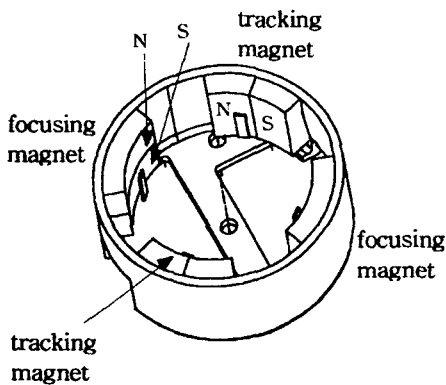


Fig. 5 Magnets, Yoke and Steel Plates

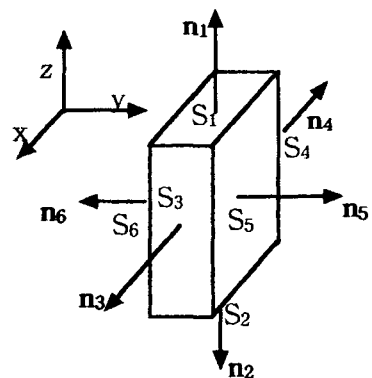
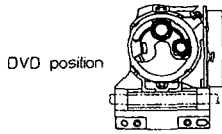
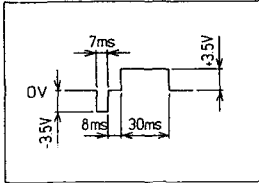


Fig. 8 Steel Plate in Magnetic Field

① DVD → CD



① | | ②

② CD → DVD

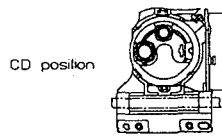
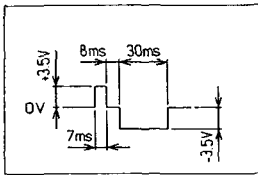


Fig. 9 Signal for Lens Switching

력이 평형이 되면 디스크면 진동을 추종 가능하게 된다. 트래킹 코일에 Fig. 9와 같은 입력을 주어 평형 위치를 벗어나서 90° 돌아가서 다른 평형 위치로 돌아가게 만들 수 있다. 이 두개의 평형 위치가 각각 DVD 위치와 CD 위치가 된다.⁽¹⁾

IV. Actuator 모델링과 설계

이 구동 시스템의 동적 모델링은 코일의 전기적인 특성, (1)과 보빈운동의 기계적인 특성, (2)에서 얻을 수 있다.

$$L \frac{di}{dt} + Ri = E - \Phi v \quad \text{where, } v = \frac{dz}{dt} \quad (1)$$

i : coil의 전류 E : input 전압
 L : 코일의 인덕턴스, R : 코일의 저항
 Φv : 코일의 역기전력, Φ : 모터 상수

$$m \frac{d^2z}{dt^2} + b \frac{dz}{dt} + Kz = nBli = \Phi i \quad (2)$$

m : 보빈과 보빈이 싣고 있는 질량
 b : 축과 보빈의 마찰에 의한 감쇠,
 K : 자기 스프링 상수
 l : coil의 유효길이

두 식을 이용해서 시스템의 전달함수를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{Z}{E} = \frac{1}{\frac{Lm}{\Phi} s^3 + \frac{Lb + Rm}{\Phi} s^2 + (\frac{LK + Rb}{\Phi} + \Phi)s + \frac{RK}{\Phi}} \quad (3)$$

식 (3)에서 Fig. 2의 Open loop 주파수 응답을 예측할 수 있다. 이를 이용하여 저주파 영역의 감도(S)과 액추에이터 고유 진동수 등을 예측하여 설계의 지침으로 삼았다.

구동부의 기생 공진(Parasitic Resonance)를 억제하기 위해서 보빈의 첫 번째 진동 모드의 진동수가 25 kHz 이상이 되어야 하고, 운동 중심과 무게 중심이 일치해야 한다. FEM을 이용한 모드 해석 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 또한 보빈의 소형화를 위해서 렌즈를 보빈의 재질 안으로 삽입하여 높이를 줄였다. 축과 보빈의 마찰을 줄이기 위해서 축의 겉면에 고체 윤활제(Teflon)를 코팅했다.

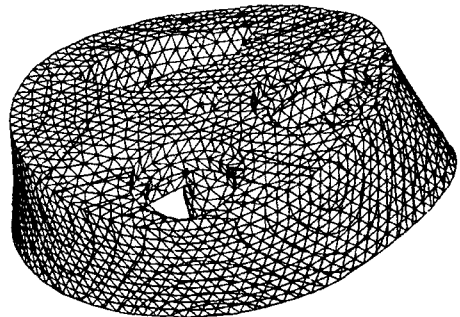


Fig. 10 First Vibrating Mode of Bobbin

충분한 Actuator의 속도를 위하여 Actuator의 첫 번째 공진 진동수를 26 Hz 이상이 되게 해야 하므로 구동부의 무게가 가벼워야 한다. 코일에 흐르는 전류가 너무 크면 파위의 한계에 다다를 수 있고 열도 많이 발생하므로 액추에이터 이득(Actuator Gain)이 충분히 커야 한다. 이를 위해서 코일을 많이 감거나 자기 스프링의 스프링 상수를 작게 해야 하는데, 전자는 구동부의 무게를 크게 하므로 후자의 방법을 택한다.

V. 자기 스프링 설계

철편에 작용하는 힘을 구하는 방법은 가상 일의 원리 (virtual work principle)을 이용하여 가상의 변위를 주어 여기에 필요한 일을 구하여 이를 미분하는 방식과 Maxwell stress tensor를 철편에 대하여 각면에 대하여 적분하는 방식이 있다. 전자의 방식은 FEM해석에서 널리 쓰이는 방식으로 그 수렴성이 뛰어난 대신 힘을 받는 부재에 대한 정보를 알수 없고, 후자는 수렴성이 느린 대신 힘을 받는 부재의 각 성분에 대한 분석이 가능하다. 그러므로 여기서는 전자에 의한 해석결과에서 힘의 크기를 구하고 이를 후처리(post-processing)하여 후자의 각 성분을 계산하여 자기스프링을 설계하는 지침을 제시하고자 한다.

철편의 자기장의 에너지는 식(5)와 같고 이것이 자기 스프링의 포텐셜(Potential)이 된다.⁽²⁾ 그러므로, 자기 스프링의 스프링 상수를 줄이려면 철편의 부피를 줄여야 하고 B-H 곡선의 아래 부분의 면적이 작은 Austenite Stainless Steel같은 재료를 택해야 한다.

$$W_m = \frac{1}{2} \int_V \mathbf{H} \cdot \mathbf{B} \, dv \quad (4)$$

자기장이 강자성체에 발생시키는 힘은 다음 식과 같이 Maxwell Stress Tensor (T)의 면적분에 의해 결정된다.⁽³⁾(Fig. 8)

$$T_{\alpha\beta} \equiv \frac{1}{\mu_0} \left[B_\alpha B_\beta - \frac{1}{2} |\mathbf{B}|^2 \delta_{\alpha\beta} \right] \quad (5)$$

$$\mathbf{F} = \oint_S \sum_\beta T_{\alpha\beta} \mathbf{n}_\beta \, da$$

그러므로 Fig. 7와 8에서 축방향(z-방향)의 힘은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} F_z &= \frac{1}{\mu_0} \left[\oint_{S_1} (B_z^2 - \frac{1}{2} |\mathbf{B}|^2) da - \oint_{S_2} (B_z^2 - \frac{1}{2} |\mathbf{B}|^2) da + \oint_{S_3} B_y B_z da \right. \\ &\quad \left. - \oint_{S_4} B_y B_z da + \oint_{S_5} B_x B_z da - \oint_{S_6} B_x B_z da \right] \\ &= \frac{1}{\mu_0} [I_1 + I_2 + I_3 + I_5 + I_6] \end{aligned} \quad (6)$$

where \mathbf{B} is the magnetic flux density on the surface.

일정한 변위를 z방향(포커싱)과 θ 방향(트래킹)으로 주고, FEM 해석결과에서 가상 일의 원리에 의한 힘(virtual work force)을 구한다. 그리고 나서 FEM의 post-processing을 통해서 Fz의 각각의 적분값에 주목해 보자. FEM 모델은 Fig. 5를 따랐고 상용 S/W인 Maxwell을 이용하였다. 다음 표 3은 식 (6)의 적분값을 하나의 철편에 대해서 나타낸 것으로 그 변위는 z방향으로 0.5 mm이다.

Table 2 Maxwell Stress Tensor Integration in Each Surface

I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	$F_z = \sum I_i / \mu_0$
-2.429e-8	6.599e-9	-3.218e-9	-1.676e-9	2.377e-7	2.179e-7	-1.0e-2

I_1 과 I_2 의 차이는 다른 것에 비해 상대적으로 커서 S_1 과 S_2 의 넓이가 철편이 받는 힘의 크기에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. S_5 와 S_6 이 받는 힘의 차이도 I_5 와 I_6 에서 상대적으로 고려할 만 하지만, S_5 와 S_6 의 힘의 원인인 자속밀도가 자석의 중심의 큰 자속에서 비롯된 것으로 그 값은 넓이에 큰 관련이 없어서 그 넓이 변화에 의한 힘의 변화가 적다. 한편, S_1 과 S_2 의 넓이가 변하면 이 두 면의 자속은 차이가 크므로 상대적으로 큰 변화를 보이게 된다.

VI. 결론

S_1 과 S_2 의 넓이는 철편의 두께와 폭에 따라 변하는데, 그 두께에 대한 스프링 상수의 변화를 Fig. 11에 나타내었다. 이러한 관계는 철편의 폭에도 같이 적용된다. Fig. 12에서 철편의 길이와 스프링 상수는 별 관계가 없다는

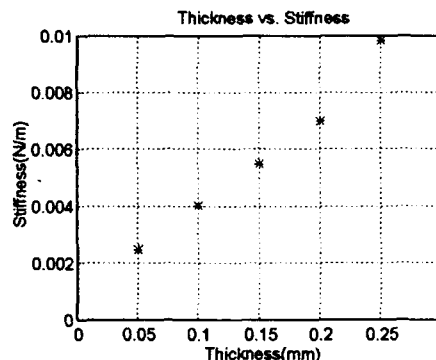


Fig. 11 Magnetic Spring Constant vs. Thickness of Steel Plate

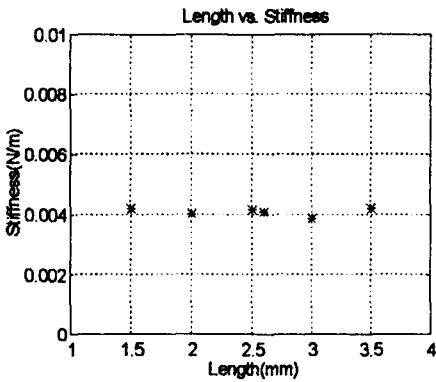


Fig. 12 Magnetic Spring Constant vs. Length of Steel Plate

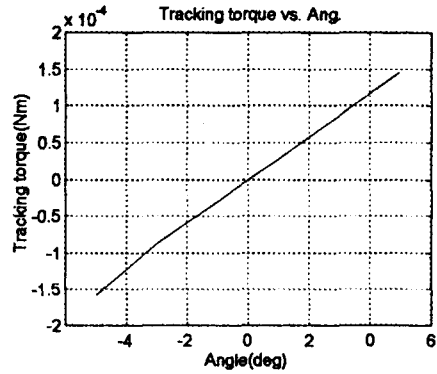


Fig. 14 Magnetic Spring Torque vs. Angle

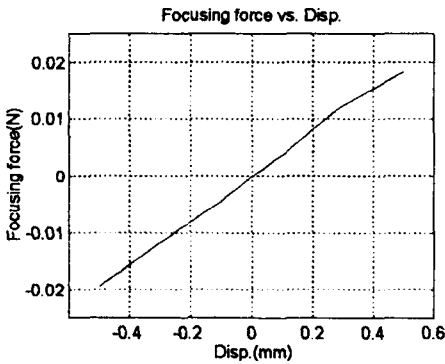


Fig. 13 Magnetic Spring Force vs. Displacement

것을 알 수 있다. 자기 스프링의 변위에 대한 복원력의 관계는 Fig. 13과 14와 같다. 두 그림은 각각 포커싱과 트래킹 방향의 관계이다. 여기서 스프링의 비선형성이 매우 적다. 이러한 결과는 자기 스프링을 설계하는데 자침이

될 수 있다.

설계 결과 구동부의 무게가 약 1.2g이고, 포커싱과 트래킹 방향 감도가 각각 1.6 mm/V, 1.7 mm/V이고, 공진 주파수가 각각 28 Hz이며 보빈에 의한 기생 공진이 25 kHz이상인 액추에이터를 얻을 수 있었다. 이 장치는 Tilt Angle이 매우 적고 소형이다. 조립성이 우수하고, 레이저의 파워 손실이 적다. DVD 위치와 CD 위치로 전환되어서 두개의 렌즈 중에 하나가 대물렌즈로 쉽게 선택될 수 있다.

참고문헌

1. N. Takahashi et al., "DVD/CD Compatible Pickup Heads," ISOM'96, Technical Digest Series, Vol. 12, OThC5-1, 1996.
2. D. K. Cheng, Fundamentals of Engineering Electromagnetics, Addison-Wesley, 1993.
3. F. C. Moon, Magneto-Solid Mechanics, John Wiley & Sons, 1939.