

기록용 고밀도 광디스크를 위한 박형 틸트 구동기 Slim Tilt Actuator for High density Recording in the Optical Disc

°정호섭*, 이호철*, 윤용한*

Jeong, Ho-Seop, Lee, Ho-Cheol and Yoon, Yong-Han

Key Words : Tilt actuator(틸트구동기), optical disc(광디스크), dvd recording(DVD 기록)

ABSTRACT

Hybrid type slim tilt actuator and 6-wire supported are developed for DVD recording in the optical disc drive of notebook PC, which can compensate the inclination of disc and objective lens. The hybrid actuator uses the actuating method of moving coil in the focus and track direction and that of moving magnet in the tilt direction. Comparing with 6-wire supported actuator and hybrid type actuator, we can choose an actuator for slim super combo pickup. Two actuator are designed through the modal analysis and magnetic field analysis and experimental results shows dynamic characteristics. Finally, it is verified that the actuator can compensate the disc tilt of $\pm 0.4^\circ$.

1. 서론

DVD, Blu-Ray Disc 등의 광 디스크의 광 기록재 성장치는 개구율(Numerical Aperature, NA)을 높이고 파장을 짧게 하여 대물렌즈 집광 빔의 크기를 소형화 하고 기록용량을 증대시키고 있다. 그러나 NA가 높아지고 파장이 짧아짐에 따라 광디스크와 대물렌즈의 광축경사에 의해 발생하는 코마수차는 NA의 3승, 보호층의 두께에 비례하고 레이저의 파장길이에 반비례하여 커지기 때문에 양호한 기록 재생신호를 얻기 위해서는 디스크에 대한 대물렌즈의 경사를 보다 정밀하게 위치를 결정할 필요가 있다. 따라서 기존의 재생용 DVD픽업들은 피딩계(feeding system)를 모터의 기준면에 맞추어 조정하여 각도 어긋남을 어느 정도는 보정할 수 하지만 광 디스크가 모터에 안착될 때마다 디스크의 경사가 달라지기 때문에 정확한 보정이 어렵고 수차절감에 한계를 가진다. 결국 광축과 광 디스크의 기록면에 대한 경사는 광학적인 수차가 발

생하고 신호 레벨의 저하나 포커스 트래킹 서보에 오프셋(offset)이나 기록시의 피트(pit) 형성의 오류, 크로스토크(Crosstalk) 등의 문제가 발생한다. 따라서 삽입된 광디스크마다 광디스크와 대물렌즈의 광축을 조정할 필요가 있다. 이를 위해 많은 연구들이 진행되어 왔으며 최근에 발매되고는 광 디스크 드라이브에는 장착되고 있다. 특히 데스크 탑용 PC에 장착되는 DVD 기록용 광디스크 드라이브들은 대물렌즈 구동기보다 데크(deck)에 모터를 장착하여 틸트(tilt)를 구동하는 방식을 주로 채용하고 있다. 데크 틸트 구동장치는 픽업 전체의 광축을 이동하기 때문에 수차 보정 성능이 매우 우수하다. 그러나 모터를 넣어야 하기 때문에 소형화 하는 데는 어려움이 있다. 따라서 노트북용으로 사용되는 틸트보정장치는 모터를 이용하기 보다는 대물렌즈 구동부만을 움직이는 방식을 사용한다. 이 방법은 베이스에 고정된 광학부와 대물렌즈가 별도로 움직이기 때문에 차이가 코마수차를 제외한 나머지 부분의 성능에 영향을 줄 가능성이 있다[1-6].

본 연구는 노트북용으로 사용되는 광픽업의 틸트 구동기에 관한 연구이므로 데크에 틸트를 주는 구조는 적용하기가 불가능하기 때문에 이 방식을 제외하

* 삼성전기 중앙연구소 광모듈LAB
E-mail : hsjeong@samsung.com
Tel : (031)210-6678, Fax : (031)210-6652

고 대물렌즈를 구동하는 방식에 대해서만 살펴보고자 한다. 광 디스크의 경사에 따라 대물렌즈를 구동하는 틸트 구동기는 여러 가지로 제안되어 왔다. 구동방식을 기준으로 틸트구동기를 비교해 보면 가동코일형(moving coil type)과 가동자석형(moving magnet type)으로 나뉘어 질 수 있다. 먼저 가동코일형 구동기는 디스크와 대물렌즈와의 상대각도를 검출하고 그 검출 신호에 근거하여 가동체에 고정되어진 복수개의 포커싱 코일에 흐르는 구동전류를 조정하고 경사를 보정하는 방법으로 저주파수로부터 고주파수에 있어서 넓은 범위에서의 광축 어긋남을 보정한 것이 가능하다. 그렇지만 이와 같은 구성에서는, 자기회로는 고정되어 있기 때문에 가동체의 이동을 수반하고 자기회로의 자속밀도 분포에 의한 복수개의 포커싱 코일의 위치가 변화하기 때문에 각각의 포커싱 코일과 직교하는 자속밀도가 변동한다. 따라서 가동체의 위치에 따라 구동감도가 변동하고 서보의 안정성 및 제어 정밀도의 열화등의 문제점을 가지고 있다. 그리고 최소 6개 이상의 와이어를 지지부재로서 이용하거나 FPCB를 이용하여 구동체로부터 배선을 유도하여야 한다. 따라서 조립성과 동특성면에서 단점을 가진다. 가동자석형 구동기는 코일부분이 고정자에 붙어있기 때문에 전류를 인가하기 위한 배선에는 전혀 문제가 없다. 하지만 가동코일형에 비해 자기회로가 폐회로를 구성하지 못하기 때문에 구동감도가 상대적으로 가동코일형에 비해 작고 소형화하기에 어렵다는 문제점을 안고 있다.

본 연구에서는 기존에 연구가 이루어지고 있는 6개의 와이어로 지지된 가동코일형 틸트구동기와 가동코일과 가동자석형의 장점을 조합한 하이브리드형 틸트구동기를 개발하였다. 모드해석 및 진동해석을 통하여 두가지의 구동기를 설계/제작하였으며 동특성 실험을 통해서 틸트 구동기를 비교하였다. 또한 하이브리드 틸트 구동기에 대해서 자기회로를 최적화하여 요크와 마그네트간의 흡인력을 최소화하고 원하는 동특성을 찾을 수 있었다. 제작된 하이브리드형 틸트구동기를 이용하여 기록용 DVD픽업에 장착하고 광 디스크의 경사에 대한 실험을 수행하여 디스크 경사에 대한 구동기의 틸트 보정 성능을 확인하였다.

2. 코마수차와 3축 구동기

광픽업에는 기울어진 BS를 통과할 때 발생하는 비점수차, 디스크의 두께편차에 의해 발생하는 구면수차, 디스크와 대물렌즈의 광축이 기울어져 있을 때 발생하는 코마수차, LD에서 발광하는 파장의 변동에 의해 발생하는 색수차등 다양한 종류의 수차가 존재한

다. 그러나 여기에서는 광축의 기울어짐에 발생하는 코마수차에 대해서만 살펴보기로 한다. 코마수차는 식(1)과 같이 정의된다.

$$Coma\ Abberation \approx k \frac{t \times NA^3}{\lambda} \quad (1)$$

여기서 t 는 디스크의 보호층 두께, NA 는 대물렌즈의 개구율이고 λ 는 레이저의 파장이다. 식(1)을 살펴보면 기록용 DVD($t=0.6$, $NA=0.65$, $\lambda=650nm$)의 경우 CD($t=1.2$, $NA=0.45$, $\lambda=780nm$)에 비해 약 2배정도 코마수차가 커질 확률이 높아지고 광 디스크에 신호를 기록할 때는 빔의 형상이 나빠져 신호 레벨의 저하나 포커스 트래킹 서보에 오프셋(offset)이나 기록시의 피트(pit) 형성의 오류, 크로스토크(Crosstalk)이 발생한다. 따라서 이를 피하기 위해서 3축 틸트 구동기가 필요하다.

픽업 액츄에이터는 6자유도로 모형화 할 수 있지만 본 논문에서 고려하고자 하는 3축 틸트 구동기는 각 자유도의 연성이 작다고 가정하고 비연성시켜 다음과 같이 모형화 할 수 있다.

$$\begin{aligned} G_f(s) &= \frac{X(s)}{F_f(s)} = \frac{K_{if}}{Ms^2 + C_f s + K_f} \\ G_t(s) &= \frac{Y(s)}{F_t(s)} = \frac{K_{it}}{Ms^2 + C_t s + K_t} \\ G_r(s) &= \frac{Q_r(s)}{T_r(s)} = \frac{K_{ir}}{J_r s^2 + C_r s + K_r} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 M , J_r 는 구동체의 질량 및 롤링방향의 질량 관성모멘트, C_f , C_t , C_r 는 각각 초점, 트랙, 롤링방향 감쇠계수, K_f , K_t , K_r 는 각각 초점, 트랙, 롤링방향 강성계수, K_{if} , K_{it} , K_{ir} 는 각각 초점, 트랙, 롤링방향 힘 계수, $X(s)$, $Y(s)$, $\Theta_r(s)$ 은 초점, 트랙 및 롤링방향 변위의 라플라스 변환, $F_f(s)$, $F_t(s)$, $T_r(s)$ 은 초점, 트랙 및 롤링방향 구동력의 라플라스 변환, $G_f(s)$, $G_t(s)$, $G_r(s)$ 은 초점, 트랙 및 롤링방향의 전달함수이다.

이때 초점방향과 트랙방향의 강성계수는 직경이 d 이고 길이가 L 인 와이어를 사용했을 때 다음과 같다.

$$K_f = K_t = \frac{3pEd^4}{4L^3} \quad (3)$$

그리고 롤링방향의 강성계수(K_r)은 구동체가 θ 만큼 회전할 때 발생하는 토크는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} T &= T_{Dx} + T_{Dy} = K_t D_x \frac{b}{2} + K_f D_y \frac{a}{2} \\ &= \left(K_t \frac{b^2}{4} + K_f \frac{a^2}{4} \right) \theta \end{aligned} \quad (4)$$

식(4)로부터 롤링방향의 스프링상수는 다음과 같다:

$$K_r = \frac{T}{q} = \left(K_t \frac{b^2}{4} + K_f \frac{a^2}{4} \right) = \frac{a^2 + b^2}{4} K_f = \frac{3p(a^2 + b^2)Ed^4}{16L^3} \quad (5)$$

따라서 롤링방향의 고유진동수는 초점, 트랙방향의 고유진동수가 정해지면 각 와이어간의 간격인 a와 b를 조정하여 롤링고유진동수를 조절할 수 있다.

3. 3축 구동기의 설계 및 평가

3.1 6-Wire Tilt Actuator

기존의 데스크 탑용의 ODD에서 제안되어 사용되고 있는 6개의 와이어로 지지된 틸트 구동기를 설계하고 제작하였다. 그림 1은 제작된 틸트 구동기를 보여 준다. 6-wire 구동기는 기존의 2축 구동기와 구동방식이 동일하며 자기회로가 간단하기 때문에 설계 및 제작을 기존의 방식을 모두 활용할 수 있다는 장점을 가진다. 반면에 틸트 구동을 위해서 6개의 전원단이 필요하기 때문에 코일결선을 위해 6개의 와이어를 사용할 수 밖에 없다. 또한 틸트구동 방식이 Differential 방식과 독립구동 방식의 두가지 방식으로 나뉘어 지는데 본 연구에서는 독립구동 방식을 채택하였다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 양쪽의 3개씩의 와이어로 조립해야만 하기 때문에 조립정도에 따라 구동기의 성능에 차이가 나타날 수 있다.

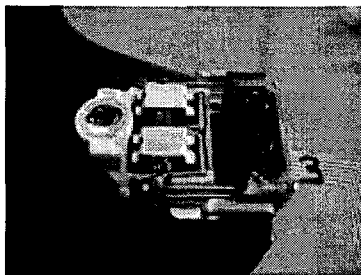


Fig.1 6-wire tilt actuator

그림 1과 같이 제작된 구동기를 평가하였으며 표 1은 동특성 평가결과를 보여 준다. 표에서 볼 수 있는 것처럼 고유진동수 및 감도는 기존의 2자유도 구동기와 별다른 차이는 없으며 틸트구동 감도가 2.3°/V로 매우 크다. 기본 동특성외에 구동기가 움직일 때의 성능을 알아보기 위해서 Shift 특성을 평가하였다. 그림 2는 구동기가 초점방향으로 ±0.3mm, 트랙방향으로 ±0.25mm 움직였을 때 대물 렌즈의 틸트량이다. 그림 2를 살펴보면 각각의 샘플의

측정값의 차이가 3-9min까지 변하는 것을 알 수 있다. 즉, 6-wire 틸트 구동기는 와이어의 조립 개수가 늘어남에 따라 샘플의 조립정도에 더욱 민감한 Shift Tilt특성을 나타냄을 알 수 있다. 결국 4개의 와이어를 사용하는 기존의 샘플에 비해 조립에 의한 영향을 많이 받는다고 할 수 있다.

Table 1 Dynamic characteristics of 6-wire Act.

	Focus	Track	Tilt
고유진동수	63Hz	63Hz	109Hz
DC감도	0.9mm/V	0.75mm/V	2.3°/V
AC감도	58μm/V	54μm/V	
저항	5.0Ω	3.2Ω	2.3Ω
가동부질량	0.29g		

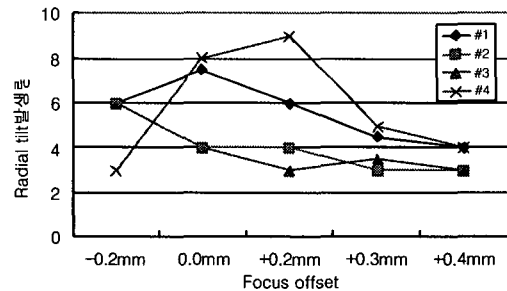
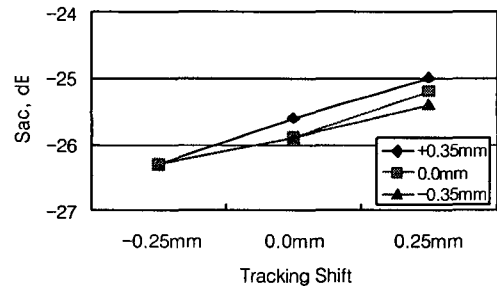
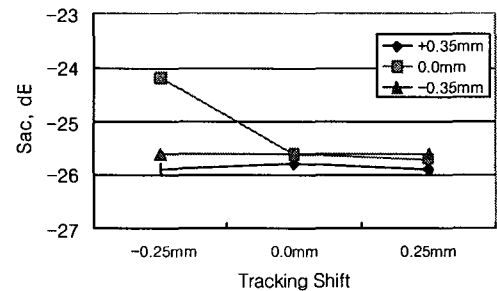


Fig.2 Shift characteristic of 6-wire Actuator



(a) AC sensitivity in focus direction



(b) AC sensitivity in track direction

Fig.3 Change of AC sensitivity as act is shifted

3.2 Hybrid Tilt Actuator

여섯개의 와이어를 사용하는 틸트 구동기에 비해 조립특성 및 동특성을 개선하기 위해서 본 연구에서는 하이브리드 틸트 구동기를 제안하였다. 본 구동기는 초점 및 트랙방향의 구동은 기존의 가동코일형을 그대로 적용하고 틸트방향의 구동만 가동자석형을 적용하여 코일결선의 문제를 해결하였다. 그러나 기존의 여섯개 와이어 틸트 구동기에 비해 자기회로가 복잡해지고 틸트자석과 요크에 의한 흡인력이 발생하기 때문에 이를 해결할 수 있는 설계를 해야만 하는 문제가 있다. 또한 가동코일형에 비해 자기회로가 페루프를 이루지 못하기 때문에 틸트 구동감도가 상대적으로 낮다는 단점이 있다.

따라서 본 연구에서 설계된 하이브리드 틸트 구동기는 $\pm 0.4^\circ$ 의 디스크 틸트구동을 충분히 할 수 있는 틸트 구동감도를 확보할 수 있도록 설계되었다. 그림 4는 제작된 하이브리드 틸트 구동기이다. 그림에서 볼 수 있듯이 초점 및 트랙방향은 기존의 구조와 동일한 형태이고 틸트방향만 코일이 홀더에 고정되어 있고 틸트용 자석이 블레이드에 장착되어 있다.

표2와 그림 5를 살펴보면 앞에서 실험한 6-wire형 구동기와 큰 차이는 없지만 틸트 구동감도가 약 2배정도 차이가 난다. 이것은 앞에서도 언급한 것처럼 하이브리드형이 틸트구동을 위한 자기회로가 페루프를 형성하지 못하기 때문에 발생하는 것이다. 하지만 필요한 감도에는 충분하다. 또한 트랙 공진주파수가 초점방향에 비해 약 6Hz정도 높게 나타난다. 이것은 틸트자석과 요크에 의해 흡인력이 발생하고 이것에 의해 고유진동수가 올라가는 현상이다.

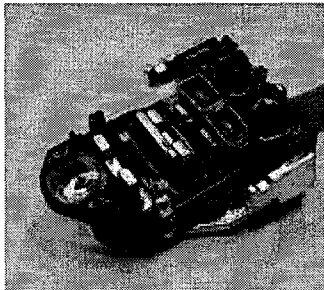
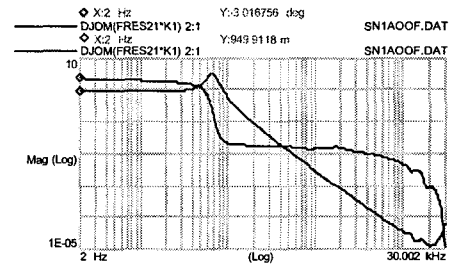
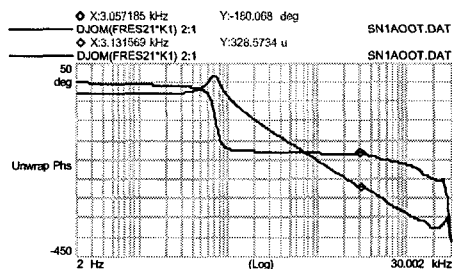


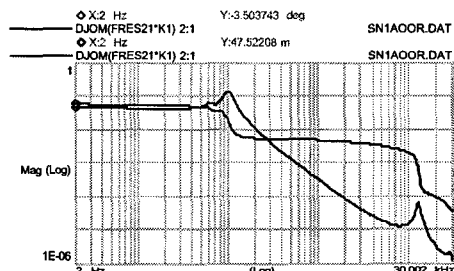
Fig.4 Hybrid tilt actuator



(a) Focus direction



(b) Track direction



(c) Tilt direction

Fig. 5 Transfer function

Table2 Dynamic characteristics of hybrid act.

	Focus	Track	Tilt
고유진동수	66Hz	72Hz	100Hz
DC감도	0.9mm/V	0.71mm/V	1.0°/V
AC감도	13.4G/V	13.2G/V	
저항	3.5Ω	2.7Ω	2.5Ω
가동부질량	0.24g		

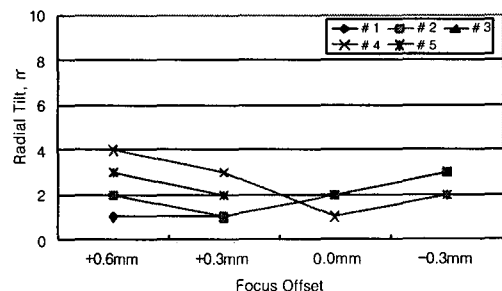
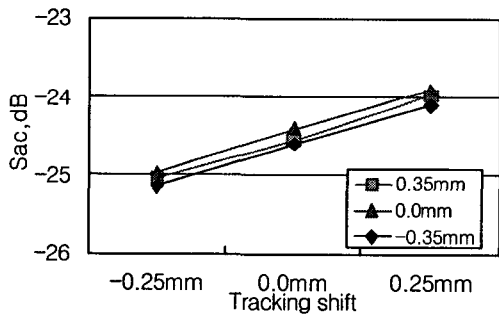


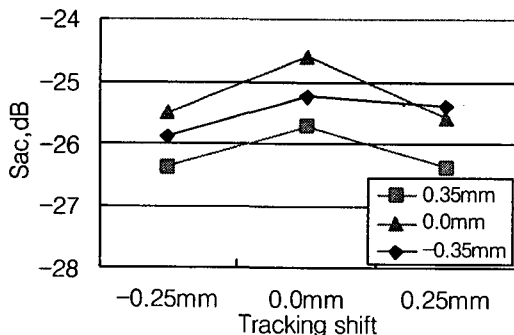
Fig.6 Shift Characteristics of hybrid actuator

그림 6은 구동기가 초점방향으로 $\pm 0.45\text{mm}$, 트랙 방향으로 $\pm 0.25\text{mm}$ 움직였을때의 대물렌즈의 틸트량이다. 그림에서 보는 것처럼 Shift 틸트량이 절대량도 4min미만이며 각 샘플간의 편차도 약 3min 이하이다. 따라서 6-wire형 구동기에 비해 조립편차가 작다고 할 수 있다. 또한 기록용 픽업은 주변 온도가 매우 높기 때문에 고온에서의 특성변화가 매우 중요하다. 따라서 70°C에서 구동기의 동작시험을 하였다. 그림7은 그 결과를 보여준다. 그림에서 보는 것처럼 고유진동수는 10%이하, Q값은 5%이하의 변화를 보였다.

마지막으로 틸트 구동기의 성능을 평가하기 위해서 개발된 구동기를 광픽업에 조립조정하여 기록재생평가기에서 디스크의 틸트를 조정하면서 지터(Jitter)의 변화를 확인하였다. 그림 9에서 볼 수 있는 것처럼 구동기의 틸트를 고정하채 디스크의 틸트만을 주면 $\pm 0.3^\circ$ 가 넘어가면 지터값이 9%를 넘어간다. 하지만 디스크 틸트에 따라 구동기를 틸트방향으로 RF값이 최대가 되도록 조절하면 지터값이 거의 변하지 않는 것을 알 수 있다. DVD 규격집에서 규정하고 있는 ± 0.4 범위안에서 디스크 틸트에 대해 완벽히 추종하고 있음을 알 수 있다.

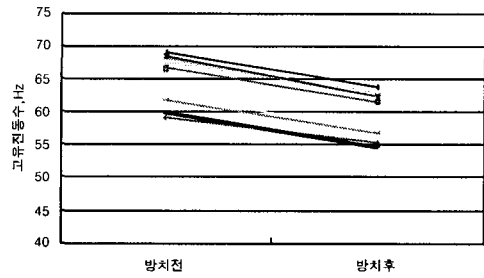


(a) AC sensitivity in focus direction

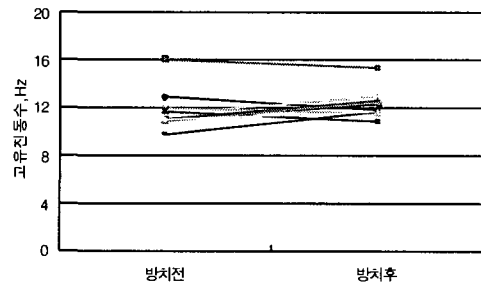


(b) AC sensitivity in track direction

Fig.7 Change of AC sensitivity as an act is shifted



(a) Change of natural frequency



(b) Q value

Fig.8 Operating test in high temperature condition

4. 결론

노트북에서 사용되는 DVD기록 가능한 광디스크 드라이브에 사용되는 광픽업을 개발함에 있어서 디스크와 대물렌즈의 광축 어긋남에 의해 발생하는 코마수차를 보상하는 박형 틸트 구동기를 개발하였다. 6개의 와이어로 지지된 틸트 구동기와 하이브리드형 틸트 구동기를 개발하였으며 기본 동특성과 Shift특성을 고찰하였다. 하이브리드 틸트 구동기에 대해서 자기회로를 최적화하여 요크와 마그네트간의 흡인력을 최소화하고 원하는 동특성을 찾을 수 있었다. 특히 기록용 픽업이 고온에서 사용됨에 따라 고온동작 시험을 통해 안정적으로 동작할 수 있음을 보였다. 마지막으로 광픽업에 개발된 구동기를 장착하여 디스크 틸트에 대한 보상성능을 보였다.

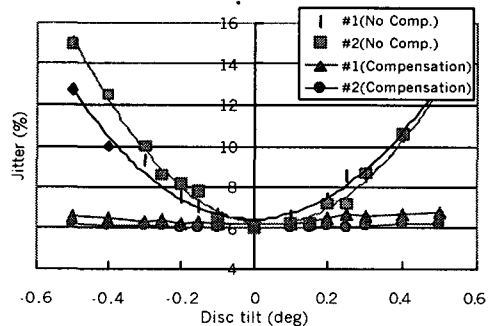


Fig.9 Compensation of disc tilt

References

1. 정호섭,윤용한, "고밀도 광 디스크용 가동자석형 구동기의 진동해석 및 자기회로특성 개선",한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집, pp780- 785, 2001.
2. S.J.Kim, et al, "Development of 3-Axis Lens Actuator to Compensate Disc Tilt in HD-DVD Optical Pickup, Proceeding of Satellite ISOM 2000, pp83-84, 2000.
3. 若林, "대물렌즈 구동장치," 特開平10-261233
4. 安西, "대물렌즈 구동장치," 特開平7-240031
5. 中村, "대물렌즈 구동장치," 特開平4-366429
6. M.S.Suh, et al, "A Study on the 4-Axis Actuators for HD-DVD Optical Pick-Ups," Proceeding of Satellite ISOM 2000, pp79-80, 2000.