

고밀도 광 디스크용 가동자석형 구동기의 자기회로특성 개선

Improvement of Magnetic Circuit Characteristics for Moving Magnet Type Actuator in High Density Optical Disc

° 정호섭*, 윤용한*
Ho-Seop Jeong, Yong-Han Yoon

Key Words : Moving Magnet Actuator(가동자석형 구동기), Tilt Compensation(틸트보정), Magnetic Path(자기회로), Modal Analysis(모드해석)

Abstract

A moving-magnet type pickup actuator is proposed, which has the back-yoke to improve the sensitivity. Through the magnetic path analysis, we can find that the flux density is increased in the air gap by the pole assignment of magnet and the adding of back-yoke can reduce the flux leakage and induce 40% up of flux density. Experimental results show that the sensitivity is improved in the tracking direction, however, the improvement doesn't occur in the focusing direction. Finally, the compensation performance is tested in HD-DVD system. And it is verified that the actuator can compensate the disc tilt of $\pm 0.7^\circ$.

1. 서론

DVD, HD(High Density)-DVD등의 고밀도 광 디스크의 광 기록재생장치는 고 개구율(Numerical Aperture, NA)의 대물렌즈로 집광 빔의 크기를 소형화하여 기록용량을 증대시키고 있다. 이 경우 디스크에 대한 대물렌즈의 광축경사에 대한 수차가 개구율의 3승에 비례하여 커지기 때문에 양호한 기록 재생신호를 얻기 위해서는 디스크에 대한 대물렌즈의 경사를 보다 정밀하게 위치를 결정할 필요가 있다. 그러나 피당계의 경사보정이나 DC 모터를 이용한 경사보정은 저주파수의 각도 어긋남을 어느 정도는 보정할 수 있으나 수차절감에는 한계가 있다. 결과적으로 광축과 광 디스크의 기록면에 대한 경사는 광학적인 수차가 발생하고 신호 레벨의 저하나 포커스 트래킹 서보에 오프셋(offset)이나 기록시의 피트(pit) 형성의 오류, 크로스토크(Crosstalk)등의 문제가 발생한다.

이를 극복하기 위해서 직접 디스크의 경사에 따라 제어할 수 있는 픽업 구동기가 제안되어 왔다. 구동기는 가동코일형(moving coil type) [2]과 가동자석형(moving magnet type)[3-6]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. 최소 6개 이상의 와이어를 지지부재로서 이용하거나 FPCB를 이용하여 구동체로부터 배선을 유도하여야 한다. 따라서 비용이나 신뢰성, 조립성면에서 문제점을 갖는다. 반면에

* 삼성전기 종합연구소 Optical Pickup팀
E-Mail:kosbij@samsung.co.kr
Tel:(031)210-6678, Fax:(031)210-6652

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 작은 문제점을 안고 있다.

본 연구에서는 배선이 유리하여 조립, 조정, 신뢰성에서 유리한 가동자석형 구동기에 대해 고찰하였다. 먼저 3축 구동기를 3자유도 비연성 모델로 모형화하고 이를 바탕으로 구동기를 설계한다. 그리고 모드해석을 통해 가동자석형 구동기의 진동특성을 알아본다. 그리고 부족한 구동감도 극복을 위해 자기회로 해석을 통해 기존의 자기장을 분석하고 누설자속을 최소화하기 위한 요크구조를 제안하여 누설자속을 최소화하고 구동감도를 개선하였다. 설계된 가동자석형 구동기를 제작하여 구동감도의 개선을 확인하였으며 HD-DVD 픽업에 구동기를 직접 장착하여 디스크의 경사에 대한 실험을 수행하여 디스크 경사에 대한 구동기의 틸트 보정성능을 확인하고자 한다.

2. 3축 구동기의 모형화

픽업 액츄에이터는 6자유도로 모형화 할 수 있지만 본 논문에서 고려하고자 하는 3축 구동기는 대칭형이기 때문에 각 자유도의 연성이 매우 작아 비연성시켜 다음과 같이 모형화 할 수 있다.

$$\begin{aligned} G_f(s) &= \frac{X(s)}{F_f(s)} = \frac{K_{jf}}{Ms^2 + C_f s + K_f} \\ G_t(s) &= \frac{Y(s)}{F_t(s)} = \frac{K_{jt}}{Ms^2 + C_t s + K_t} \\ G_r(s) &= \frac{\Theta_r(s)}{T_r(s)} = \frac{K_{jr}}{J_r s^2 + C_r s + K_r} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 M, J_r는 구동체의 질량 및 롤링방향의 질량관성모멘트, C_f, C_t, C_r는 각각 초점, 트랙, 롤링방향 감쇠계수, K_f, K_t, K_r는 각각 초점, 트랙, 롤링방향 강성계수, K_{if}, K_{it}, K_{ir}는 각각 초점, 트랙, 롤링방향 힉계수, X(s), Y(s), Θ_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 d이고 길이가 L인 와이어를 사용했을 때 다음과 같다.

$$K_f = K_t = \frac{3\pi E d^4}{4L^3} \quad (2)$$

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

$$\begin{aligned} T &= T_{\Delta x} + T_{\Delta y} = K_f \Delta x \frac{b}{2} + K_f \Delta y \frac{a}{2} \\ &= \left(K_f \frac{b^2}{4} + K_f \frac{a^2}{4} \right) \theta \end{aligned} \quad (3)$$

식(3)으로부터 롤링방향의 스프링상수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} K_r &= \frac{T}{\theta} = \left(K_f \frac{b^2}{4} + K_f \frac{a^2}{4} \right) \\ &= \frac{a^2 + b^2}{4} K_f = \frac{3\pi(a^2 + b^2)Ed^4}{16L^3} \end{aligned} \quad (4)$$

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

3. 가동자석형 구동기의 설계

3-1 자기회로 분석

광 디스크의 틸트는 반경방향 틸트(radial tilt)와 접선방향 틸트(tangential tilt)로 구분된다. 그러나 실제 구동시에 접선방향 틸트에 의한 수차의 증가량은 커지 않기 때문에 반경방향 틸트만을 제어한다. 그림 1과 같은 구조를 가진 가동자석형(moving magnet type) 틸트 구동기가 제안되어왔다[3]. 이와 같은 구조는 공극 자속밀도와 코일의 감는수에 의해 구동기의 성능이 좌우된다. 코일의 감는수는 코일의 인덕턴스와 공간적 제약에 의해 결정된다. 따라서 가동자석형 구동기의 성능 향상을 위해서는 동일한 자석으로 공극 자속밀도를 최대화 하는 것이 가장 중요하다. 공극 자속밀도는 구동체에 부착된 자석이 세기, 크기 및 공극이 동일하다면 자석의 극성과 요크의 구조에 따라 자속밀도값은 많은 차이가 난다. 감도가 낮다는 가동자석형 구동기의 단점을 극복하기 위해서 자석의 배치와 요크의 형상에 따른 자기장의 변화를 ANSYS[6]를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 그 결과를 토대로 당사의 가동자석형 구동기의 감도를 향상시키고자

한다.

그림 1의 구조에서 자속이 코일의 뒤쪽부분으로 흐르는 것을 방지하고 영구자석의 극성배열에 의한 구동감도 향상을 최대화 시키기 위해서 그림 2와 같이 백요크(back yoke)를 채용하고자 한다. 그림 3은 백요크가 추가되었을때의 자기장 분포를 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이 코일의 뒤쪽으로는 자속의 흐름이 나타나지 않고 백요크를 통하여 자기장이 페루트를 형성함을 보여준다. 그림 3의 결과를 분석하면 백요크 부착에 의해 공극자속밀도가 40%정도 향상됨을 알 수 있다. 그림 3과 같이 영구자석의 극성을 선택하고, 백요크를 부착함으로써 구동코일에 발생하는 반대구동력을 없애고, 공극에 있어서의 자속밀도를 최대로 하였다.

3-2 구동기 설계

가동자석형 구동기는 가동코일형에 비해 자석이 구동체에 포함되기 때문에 요크에 흡인력이 작용한다. 따라서 조립이 잘못되었을 경우 흡인력에 의해 한쪽으로 치우치는 현상이 발생한다. 따라서 구동체와 요크사이의 흡인력이 치우침 현상이 발생하지 않도록 자석과 요크사이의 간격을 확보해야만 한다. 그러나 이 간격이 커지면 구동체의 감도를 떨어뜨리는 부작용이 있기 때문에 치우침과 감도를 고려하여 간격을 결정하여야만 한다. 본 연구에서는 지금까지의 실험경험을 토대로 흡인력에 의한 치우침 현상을 방지하고 감도를 확보하기 위해서 영구자석과 요크와의 간격을 1.0mm로 선정하였다. 필요감도는 HD DVD-RAM 드라이브용 광 디스크의 선속도와 진동량을 고려하여 코일유효길이를 선정하고 이를 기준으로 구동기의 감도를 설정하면 표1과 같다. 설계된 DC, AC감도는 모두 필요감도보다 70-100%이상이므로 드라이브의 배속이 높아지더라도 대응이 가능할 것으로 판단된다. 가동자석형의 구동기는 구동체가 움직일때 흡인력이 발생한다. 이를 추정하기 위해서 구동체가 움직일때의 구동력과 흡인력을 그림 4에 비교하였다. 양방향 모두 이동시에 변화량이 약 2.6%정도로 크지는 않지만 각 방향별 구동시에 구동력 대비 흡인력의 비율을 비교하면 트랙방향의 흡인력의 비율이 급격히 증가함을 알 수 있다. 흡인력은 스프링력과 동일하게 간주할 수 있으므로 흡인력에 의해 트랙방향의

공진주파수 증가가 예상된다.

3-3 모드해석

설계된 구동기의 진동특성을 살펴보기 위해서 구동부와 와이어를 유한요소해석을 통해 모드해석을 수행하였다. 모드해석을 위해서 스프링은 빔요소(beam element)로 모델링하였고 블레이드를 포함한 나머지 부분은 고체요소(solid element)로 모형화 하였다. 유연모드는 영구자석이 블레이드에 합체되어 있기 때문에 그림 5에 보이는 것처럼 76kHz에서 매우 높게 나타남을 알 수 있다. 유연모드가 높게 나타나는 것은 서보영역이 점점 높아지고 있는 광 디스크의 상황을 고려한다면 매우 큰 장점이라고 할 수 있다. 특히 HD-DVD의 경우 서보영역이 약 8kHz로 높아지고 있고 유연모드는 약 50kHz이상이어야만 한다. 지금 설계된 이 구동기의 경우는 충분하다고 판단된다.

4. 실험 및 고찰

4-1 진동특성 실험

설계된 3축 구동기는 그림 6과 같이 제작되었으며 진동측정을 위하여 Laser vibrometer가 사용되었다. 그림 7과 표1은 가동자석형 구동기의 진동특성을 실험한 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 각 세방향에서 부공진은 없으며 공진 주파수 또한 설계치와 유사한 결과이다. 그리고 50kHz까지의 실험결과 유연모드는 나타나지 않았다. 따라서 이 구동기는 광디스크의 서보영역이 8kHz까지 높아지더라도 유연모드 문제는 없다. 표1를 분석해 보면 트랙방향의 AC감도는 설계치와 큰 차이가 없지만 초점방향의 AC감도는 우리가 예상했던 것보다 감도의 약 70%정도 밖에 나오지 않았다. 이것은 우리가 자기장의 2차원 해석을 통한 자속밀도의 예측이 트랙방향에서는 일치하지만 초점방향에서는 오차가 있음을 보여준다. 따라서 3차원 자기장 해석을 통해 공극 자속밀도 오차의 원인을 파악하면 추가적인 감도향상을 꾀할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 트랙방향의 고유진동수는 이미 예측한 것처럼 원형 와이어를 쓰고 있음에도 불구하고 흡인력 때문에 강성이 커져서 고유진동수가 상당히 올라가고 DC감도도 떨어지고 있음을 알 수 있다. 백요크 부착에 따른 효과를 알아보기 위해서 백요크를 착탈하여 실험을 하였다. 표2는 백요크

착탈시에 감도변화를 보여준다. 표 2를 보면 백요크를 부착하면 초점방향으로는 큰 변화가 없으며 트랙방향으로는 약 2.5배정도의 감도가 향상됨을 알 수 있다. 결국 표4와 표5를 종합하면 백요크에 의해 감도향상은 트랙방향으로는 매우 우수하지만 초점방향으로는 영향이 거의 없음을 볼 수 있다. 필요사양은 비록 만족하지만 고배속용으로 사용하기 위해서는 초점방향의 공극 자속밀도를 높일 수 있는 방안이 필요하다고 사료된다.

4-2 디스크 경사 구동 실험

디스크 틸트에 의한 수차발생은 구동기의 틸트에 의해 보정하는 것이 가능하다. 본 실험은 틸트보정의 효과를 확인하고, 문제점에 대한 영향을 인식함에 있다. 실제 실험을 통해서 디스크의 반경방향 틸트 발생시에 구동기의 틸트보정 성능을 확인한다. 디스크의 반경방향 틸트 발생시에 수차변화 특성을 관찰하기 위해서 간섭계의 레이디얼 고니오미터(radial goniometer)를 10분단위로 변화시키면서 수차를 산출하였다. 이때 반경방향 틸트의 범위는 $\pm 30'$ 까지이다. 먼저 구동기의 SKEW조정이 이루어지지 않은 상태이기 때문에 구동기에 전압을 가해서 최소의 수차가 되는 부분을 찾은후 10'씩 움직이면서 구동기에 의한 수차 보정 특성을 관측하였다. 그림 8에서 보는 것처럼 디스크의 틸트가 증가함에 따라 스팟(spot)의 전체적인 RMS 수차가 상승하지만 구동기의 틸트보정에 의해 RMS 수차의 감소를 확인할 수 있다. 그러나 구동기에 의한 틸트 보정은 비점수차 발생이라는 문제를 유발시키기 때문에 틸트 보정의 한계가 있게 되고 전체적인 광학수차 특성을 미루어 판단해보면 대략 디스크 틸트 0.5도까지 틸트보정 효과가 있다고 판단되며, 이는 일반적인 디스크의 틸트를 충분히 보정하리라 판단된다.

최종적으로 구동기에 의한 틸트 보정효과를 픽업에 직접확인하기 위해서 평가기에서 구동된 상태에서 디스크 틸트에 따른 광 스팟의 간섭무늬 변화와 RF신호의 변화를 관측하였다. 틸트보상을 하지 않을 경우 RF신호가 아주 나빠지고 0.5도 이상에서는 측정조차 할 수 없었다. 그러나 구동기를 이용한 틸트보상을 한 경우 ± 0.77 까지 깨끗한 RF신호를 관측할 수 있었다. 지금까지

여러 가지의 틸트 보상 실험을 통하여 가동자석형 구동기로 ± 0.7 도까지 디스크 틸트는 보상될 수 있음을 증명하였다.

5. 결론

백요크(back yoke)를 부착하여 감도를 향상시킨 가동자석형 픽업 구동기를 제안하였다. 3축 구동기를 비연성 시켜 모형화하고 자기 해석을 통해 그 타당성을 보였다. 백요크를 부착함으로써 누설되는 자속을 줄이고 코일에 작용하는 공극 자속밀도의 값이 약 40%정도 상승될 수 있음을 보였다. 백요크 부착을 바탕으로 구동기를 설계하였으며 설계된 구동기의 진동해석을 통해 고유진동수와 유연모드를 확인하였다. 또한 실험을 통하여 트랙방향에서 백요크에 의해 약 2.5배정도의 감도상승을 확인하였으나 초점방향은 시뮬레이션과 상당히 다른 결과를 보여 주었다. 이것은 2차원 자기장 해석의 한계를 보였으며 3차원 모델로의 확대 해석이 필요하다고 판단된다. 그리고 디스크 경사에 대한 틸트 구동성능을 실험하였으며 $\pm 0.7^\circ$ 정도까지 디스크의 틸트를 보정할 수 있음을 보였다.

References

1. 한창수, 김수현, 박윤근, "고배속 광 픽업용 초정밀 액츄에이터," 제7회 광기술 워크샵, pp66-74, 1997.
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.
7. ANSYS User's Manual
8. IDEAS User's Manual

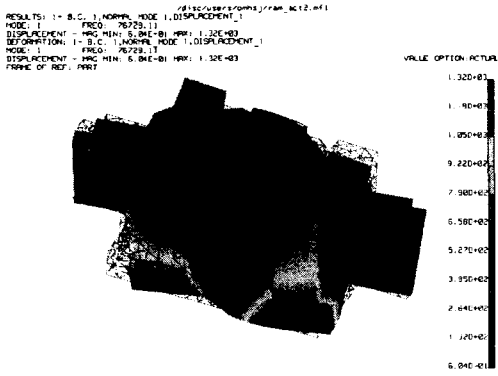


Fig.5 Flexible Mode of Moving Magnet Actuator

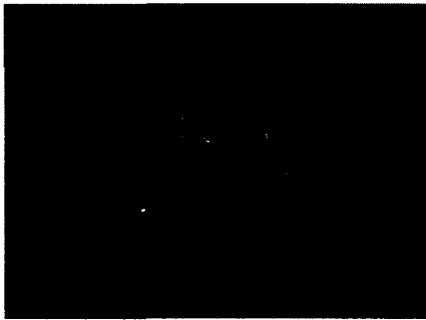


Fig. 6 Moving magnet actuator

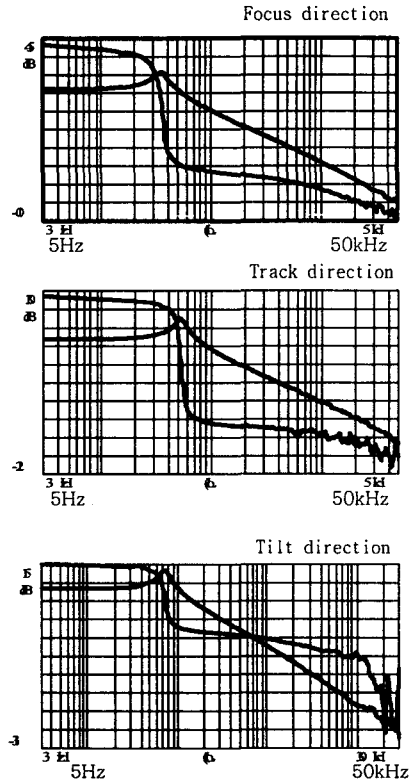


Fig. 7 FRFs of actuator

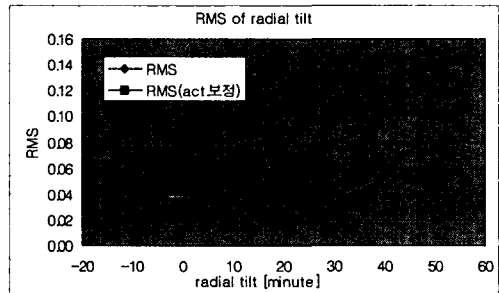


Fig. 8 Compensation of aberration by actuator