

4 축 광픽업 액추에이터의 개발

Development of a 4-axis optical pickup actuator

김재은† ·이경택*·홍삼열*·고의석*·서정교*·최인호*·민병훈*

Jae Eun Kim, Kyung Taek Lee, Sam Nyol Hong, Eui Seok Ko, Jeong Kyo Seo, In Ho Choi and Byung Hoon Min

Key Words : 4-Axis Optical Pickup Actuator (4 축 광픽업 액추에이터), NFR (근접장 광 기록 장치), GES (갭 에러 신호), SIL (Solid Immersion Lens), TTES (Tangential Tilt Error Signal), RTES (Radial Tilt Error Signal)

ABSTRACT

Wire-suspensions in the conventional actuators mechanically support the moving part and guarantee the accuracy of the actuator without tangential tilt actuation. However, such a suspension configuration has considerable stiffness in the tangential tilt direction with two additional wire beams for the tangential tilt. Thus, we performed a design sensitivity analysis for the wire-suspension stiffness of 4-axis actuator and controlled the main parameters such as distance among wire-suspensions and wire-suspension length to allow tangential tilt flexibility. The elasticity of frame PCB that supports the moving part by wire-suspensions was also exploited to improve the flexibility of wire-suspension in the tangential tilt direction. A novel suspension structure was devised by establishing eight wire-suspensions at both sides of the moving part for electrical connection to coils. The magnetic circuit according to the proposed 4-axis actuator using multi-polar magnet and coils was also suggested for the generation of electromagnetic forces in the focusing, tracking, radial and tangential tilt directions.

1. 서 론

최근 광픽업 정보 저장 장치의 고용량, 고밀도화 경향에 맞추어 근접장 광을 이용한 정보 저장장치(NFR; Near Field Recording)에 대한 연구가 이루어지고 있다. 근접장 광 정보 기록 장치는 SIL (Solid Immersion Lens)과 디스크 사이의 좁은 간격(수십 nm 내외)으로 인한 상호 충돌 가능성을 방지하기 위하여 기존 광픽업 액추에이터에 구현된 3 축 운동(포커싱, 트래킹, 디스크 반경 방향 틸트)외에도 디스크 접선 방향의 틸트 제어가 필요하다.

그러나, 추가된 틸트 자유도를 제어하기 위해서는 전류 인입을 위한 와이어의 개수도 6 개(3 축)에서 8 개로 늘어나 전체적인 강성이 증가된다. 특히, 디스크 접선 방향의 틸트 구동을 위한 충분한 감도를 위해서는 이 방향의 강성이 최대한 낮아야 하는데 늘어난 개수의 와이어로 인해 기존의 와이어 구조에서는 확보하기가 어렵다. 또한, 디스크 접선 방향의 틸트에 대한 감도는 포커싱 가진 시 피칭 부공진에 영향을 끼칠 수 있다. 이를 해결하기 위해 4 개의 와이어를 사용하되 각 와이어에 가요성 인쇄 회로를 이용하여 다중 배선이 장착된 지지 구조를 이용한 경우⁽¹⁾도 있었으며 와이어를 양단 지지보의 구조로 8 개를 한 평면상에

배치한 경우⁽²⁾가 있었다.

본 연구에서는 기존 와이어 구조의 적절한 배치 및 프레임 PCB의 유연성을 동시에 고려하여 디스크 접선 방향 틸트 구동 감도를 확보할 수 있는 방안을 제시하였다.

또한, 제안된 4 축 구동 액추에이터의 성능을 검증하기 위해 근접장 정보 저장용 광픽업 장치 및 서보 신호로서의 GES (Gap Error Signal) 기반 틸트 신호 검출기를 구성하여 디스크 반경 방향 뿐만 아니라 접선 방향으로의 능동 틸트 보상이 수행됨을 확인하였다.

2. 4 축 액추에이터의 구성 및 특징

2.1 NFR 시스템의 기구적 Skew Margin 특성

고밀도, 고용량화의 추세에 따라 차세대 광 정보 저장장치로 연구되고 있는 근접장 광 정보 기록 장치는 SIL (Solid Immersion Lens)을 디스크에 레이저광의 파장 이내의 거리로 접근시킴으로써 파장보다 작은 단위의 정보를 읽거나 쓸 수 있다⁽³⁾.

본 연구에서 4 축 액추에이터의 성능을 확인하고자 사용된 근접장 광 정보 기록 장치는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 SIL과 디스크 사이의 거리가 30 nm에서 제어되며, SIL의 직경은 40 μm가 된다. 따라서, SIL이 약 0.09도만 회전하더라도 디스크 면과 닿게 되고 이러한 기구적 여유 회전량은 광학적인 여유 회전량 0.4도⁽⁴⁾보다 작아

† 교신저자; 정회원, LG 전자 DS 연구소

E-mail : nicejekim@lge.com

Tel : (031) 789-4216, Fax : (031) 789-4205

* LG 전자 DS 연구소

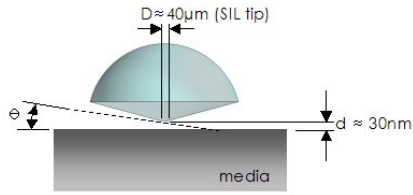


Fig. 1 Geometric condition between SIL and disc

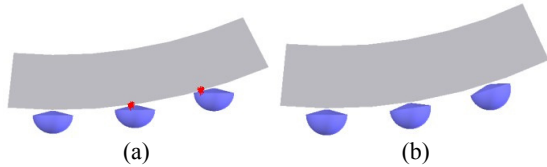


Fig. 2 (a) Collision of the SIL with a disc by disc deflection and (b) the stable maintenance of air gap by a tilt control

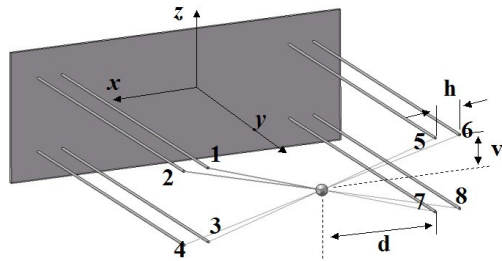


Fig. 3 Configuration of 8 wires and related dimensions

충돌의 가능성이 있고 이는 서보의 불안정성을 가져 온다.

더욱이, 스핀들 모터의 조립 오차로 인한 축방향 run-out 양이 약 0.05 도이며 디스크 자체의 축방향 run-out 양이 블루레이 디스크의 경우 0.15 도로서 디스크와의 충돌없이 일정한 간격을 유지하기 위해서는 최소 0.2 도 정도를 동적으로 보상할 수 있는 틸트 제어기가 필요하다 (Fig. 2). Philips⁽⁵⁾는 3 축 액추에이터에서 디스크 반경 방향의 틸트를 동적으로 제어하는 연구를 수행한 바 있으나 디스크 접선 방향의 틸트도 같은 이유로 제어가 필요하므로 본 연구에서는 액추에이터의 디스크 접선 방향 틸트 민감도 및 강성을 고려하여 새로운 4 축 액추에이터의 구조 및 자기 회로를 제안하였다.

2.2 Wire 지지 구조의 강성 설계

본 연구에서는 액추에이터의 4 축 자유도를 제어하기 위해 기존의 와이어 타입을 채택하였다. 그러나, 기존 구조의 3 축 액추에이터에서 디스크 접선 방향의 제어를 위해 1 개의 자유도를 추가하면 와이어의 개수도 보빈의 좌, 우측 각각 4 개로서 총 8 개로 늘어나 전체적인 강성이 늘어나게 된다. 특히, 이는 디스크 접선 방향의 틸트 방향

강성을 증가시키고 감도를 감소시켜 원하는 제어를 하기가 어려워진다.

적절한 디스크 접선 방향의 강성을 얻기 위해 와이어의 배치를 Fig.3 과 같이 정하고 와이어의 길이 및 간격은 기존 연구⁽⁶⁾ 참조하되 4 축 액추에이터에 대해 유도한 디스크 접선 방향의 강성 식 (1)을 통하여 구하였다.

식 (1) 과 (2)는 디스크 접선 방향의 강성 및 접선 방향 모멘트가 가해졌을 때 연성되어 발생하는 포커싱 방향의 변위 및 반대로 포커싱이 가해질 때 연성하여 발생하는 디스크 접선 방향의 회전양에 대한 식을 나타내었다. 식에서 보는 바와 같이 강성은 보빈의 좌, 우측 수평 거리 및 한 측에서의 와이어 사이의 수평 거리와는 상관없이 없으며 따라서 이와 관련된 수치는 조립 및 제작의 편의성을 고려하여 정하였다. 추가된 자유도의 강성을 감소시키기 위해서 와이어사이의 수직 거리를 감소시킬 필요가 있으나, 지나치게 감소시킬 경우는 Focusing 방향의 운동과 연성을 갖게 되어 Pitching 부공진이 발생할 가능성이 높아진다.

Pitching 방향 부공진을 감소시키기 위해서는 보빈 측 와이어 고정점을 Frame 반대쪽으로 최대한 이동시키는 방법을 취하였다.

또한, Fig. 4 에 추가로 디스크 접선 방향의 강성을 낮추기 위한 방안으로 형상 최적화된 Frame PCB 의 형상을 나타내었다. 이는 Frame PCB 의 유연성을 이용하여 pitching 방향 부공진을 감소시키기 위해 제안되었던 방법⁽⁷⁾으로서 본 연구에서는 pitching 방향 부공진의 감소 뿐만 아니라 디스크 접선 방향 틸트 강성을 낮추기 위해 사용되었다. Fig. 5 는 위의 설계 관점이 고려되어 제작된 액추에이터이다.

- 디스크 접선 방향의 모멘트 가진 시 강성 및 포커싱 방향 연성 변위량

$$k_{\theta_x} = \frac{8(EI_{xx} + EA \cdot v^2)}{L} \quad (1a)$$

$$U_z = \frac{L^2 \cdot M_x}{16(EI_{xx} + EA \cdot v^2)} \quad (1b)$$

- 포커싱 가진 시 강성 및 디스크 접선 방향 연성 회전량

$$k_z = \frac{96 \cdot EI_{xx} \cdot (EI_{xx} + EA \cdot v^2)}{L^3 (4EI_{xx} + EA \cdot v^2)} \quad (2a)$$

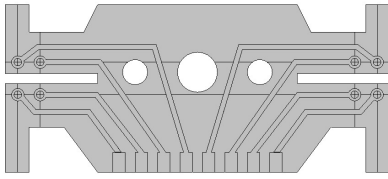


Fig. 4 Shape optimized frame PCB to additionally reduce the stiffness in the tangential tilt direction

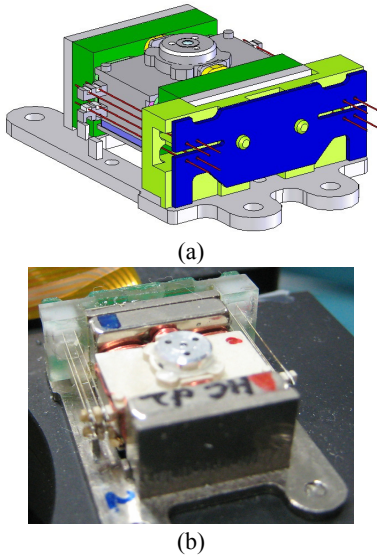


Fig. 5 (a) CAD model of the proposed actuator assembly and (b) the manufactured one

$$\theta_x = \left(\frac{EA \cdot L^2 \cdot v^2}{16EI_{xx}(EI_{xx} + EA \cdot v^2)} + \frac{L^2}{16EI_{xx}} \right) \cdot F_z \quad (2b)$$

(EI_{xx} : flexural rigidity, EA : axial rigidity
 M_x : x 축 중심 모멘트, F_z : z 방향 가진)

2.3 VCM 구동 회로 및 액추에이터 동특성

4 축 액추에이터를 채용한 광 정보 기록 장치에서는 추가로 디스크 접선 방향의 틸트 운동을 제어할 수 있어야 하므로 이를 구현하기 위한 개념이 제안된 적이 있다. 가동 코일 및 가동 자석 형의 혼합형 구동기의 형식으로⁽⁸⁾, 영구 자석 대신 전자석을 이용하여 전압차를 발생시키는 방법으로⁽⁹⁾, 기존 포커싱 및 트래킹 코일을 사용하되 적절한 자석의 분극 및 회로적으로 신호의 위상차를 발생시키는 방법으로⁽¹⁰⁾, 혹은 보빈 측면에 추가적인 틸트용 코일 및 영구 자석을 구비하여 한 세트의 틸트용 코일에서 신호의 제어를 통하여 디스크 반경 방향 및 접선 방향의 틸트 구동을 모두 가능하게 하는 방법⁽¹¹⁾이 있다.

본 연구에서는 기존의 영구 자석 분극 구조를 사용하고 디스크 접선 방향 틸트용 코일을 추가하는 것만으로 4 축 구동을 가능하게 하였다.

Fig. 6에 나타난 자기 회로의 특징은, 디스크 접선 방향 구동을 위한 틸트 코일을 설치하되 이를 포커싱 코일 외부에 설치하는 것이다. 또한, 이는 포커싱 및 접선 방향 틸트 구동 감도를 고려하여 서로의 위치가 바뀌는 것이 가능하다. 기존 3 축 구동에서는 일반적으로 포커싱 코일의 내부 둘레에 디스크 반경 방향 틸트 코일이 설치되는 경우가 있었다. 디스크 반경 방향의 틸트 구동을 위해서는 보빈의 상단 혹은 하단 부분의 둘레에 설치하는 것이 가능하나 본 연구에서는 상단에 설치시 SIL 및 대물렌즈를 포함한 경통과 같이 상측 무게를 더욱 증가시켜 무게 중심 및 강성 중심의 불일치로 인해 부공진의 가능성이 있어 아래 부분에 설치하였다. 이러한 형식은 기존 2 축 구동기에서 단극 자석을 사용한 포커싱 구동에 주로 사용되는 것이다.

제안된 4 축 액추에이터를 사용한 실험결과를 Table 1에 나타내었다. 실험 결과에 의하면 디스크 반경 방향 및 접선 방향으로 각각 약 1.5°/V 및 0.3°/V의 DC 민감도가 얻어짐을 알 수 있다. Fig. 7에는 주파수 응답에 대한 실험 결과이며 Fig. 8에 보인 고유 진동수 해석의 결과와 거의 일치하는 고차 유연 모드의 공진 주파수를 얻을 수 있었다. 다만, Fig. 6(a) 및 (b)의 주파수 응답에서 디스크 접선 방향의 틸트 가진시 포커싱 방향의 운동이 연성되어 있음을 관찰할 수 있으나 근접장 광 기록 장치의 틸팅 제어 실험에서 문제될 만한 수준은 아니었다.

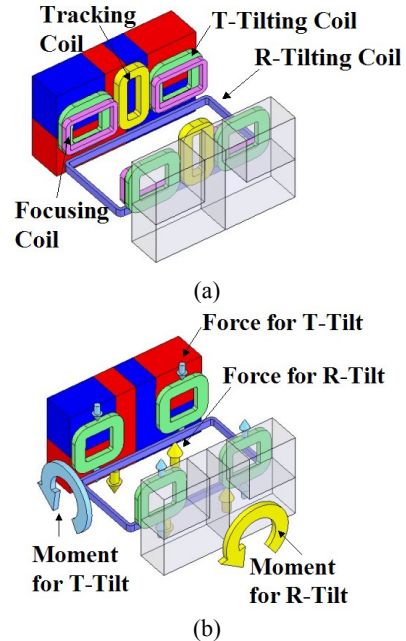
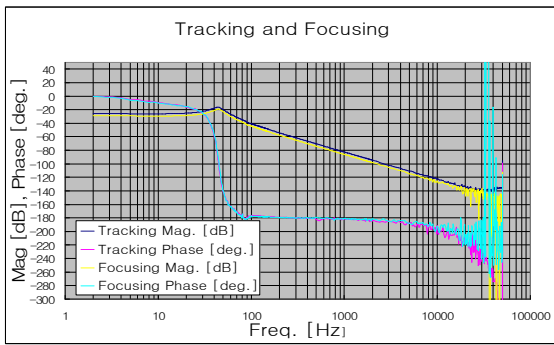


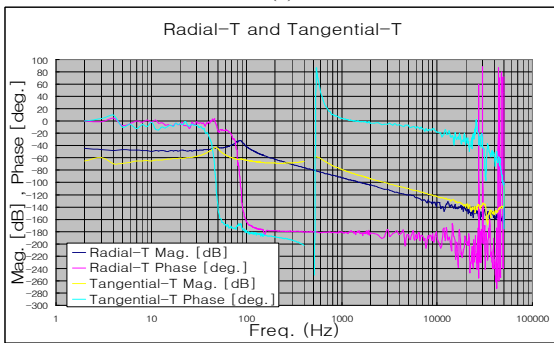
Fig. 6 (a) Arrangement of focusing, tracking, radial tilting and tangential tilting coils and (b) magnetic forces and corresponding moment generations in each tilting coil

Table 1. Dynamic characteristics of 4-axis actuator.

Property Direction	Resonant Freq. (Hz)	DC Gain (mm/V or deg./V)	AC Gain (@ 1kHz) (mm/V or deg./V)
Focus	44	0.84	1.2
Tracking	44	1.1	1.9
R/Tilt	84	1.56	-
T/Tilt	525	0.34	-
Twisting (Flexible)	12.9 (kHz)		-
Bending (Flexible)	31.0 (kHz)		-



(a)



(b)

Fig. 7 Frequency responses of the 4-axis actuator : (a) Tracking and focusing excitations and (b) Radial and tangential tilt excitations

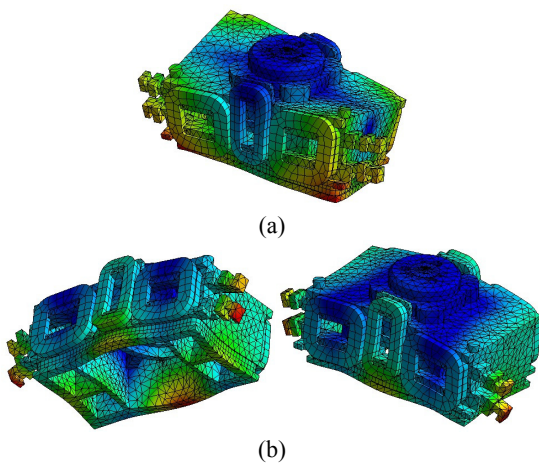


Fig. 8 CAE simulation of the actuator (bobbin assembly) : (a) twisting mode (12.8 kHz) and (b) bending mode in the focusing direction (32.1 kHz)

3. 실험 장치 구성 및 결과

제안된 액추에이터의 4 축 구동 특성 및 틸팅 제어 특성을 실험하기 위하여 Fig. 9 와 같이 실험 장치를 구성하였다. Philips 에서 기존 3 축 액추에이터를 사용하여 반경 방향 틸트를 제어하기 위해 제안한 방법을 본 연구에서 채택하여 디스크 반경 방향 뿐 아니라 접선 방향의 틸트 제어에도 이용하였다. 4 분할 광 검출기를 이용하여 반경 방향 틸트 에러 신호 (RTES) 및 접선 방향 틸트 에러 신호(TTES)를 얻을 수 있으며 Fig. 10 은 이를 제어하여 각각의 에러 신호 감소됨을 보여주고 있다. Fig. 11 은 사용된 틸트 제어 흐름을 나타낸다. 실험 결과에서 반경 방향 틸트는 완전하게 감소함을 관찰할 수 있었으나 접선 방향 틸트는 충분히 감소하지 못한 면도 있었다. 이는 제안된 액추에이터의 접선 방향 틸트 특성으로 갭 서보 제어되는 움직임 (포커싱)이 접선 방향 틸트의 특성을 나쁘게 하는 것으로 추정되어진다. 또한, 반경 방향 틸트 제어에 의한 접선 방향 틸트의 영향은 매우 작음이 확인되었다.

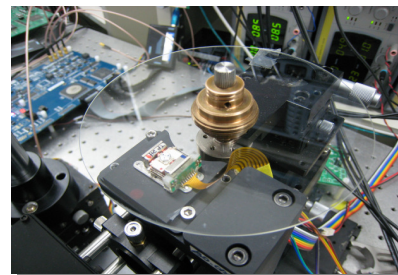


Fig. 9 Experimental setup with a glass disc and the 4-axis actuator on test-bed.

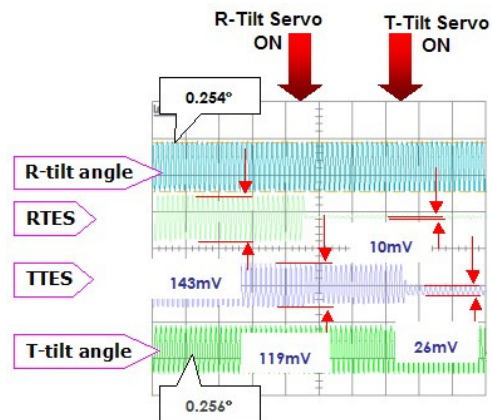


Fig. 10 Tilt error reduction by tilt servo

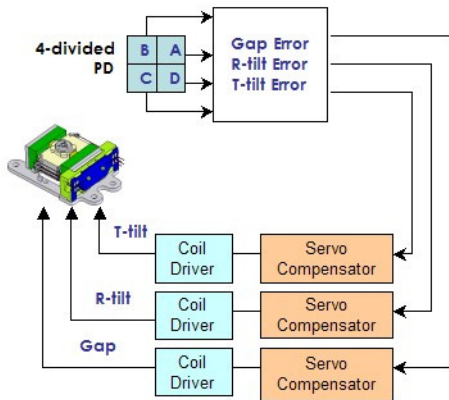


Fig. 11 Flow chart for actuator control

4. 결 론

본 논문에서는 기존 3 축 구동기의 구조와 크게 다르지 않으면서도 포커싱, 트래킹, 디스크 반경 방향의 틸트 외에도 디스크 접선 방향의 틸트 구동 제어가 가능한 4 축 액추에이터를 개발하여 근접장 광정보 기록장치에서 에어갭 및 틸트 제어를 통하여 그 성능을 확인하였다.

참 고 문 헌

(1) 송병륜, 강형주, 윤상열, 성평용, 이영원, 2004, 광픽업용 다중배선 서스펜션 및 상기 다중배선 서스펜션이 장착된 광픽업용 액추에이터, 대한민국 특허, 10-2004-0074558.

(2) Kawasaki, T., Akanuma, G., Maeda, I., Kitazawa, T. and Andoh, S., 2005, " Radial and Tangential-Tilt Servo Using Four-Axis Actuator" , Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 44, No. 5B, pp. 3402~3404.

(3) 김수경, 2002, 최신 광정보저장기술, 문운당.

(4) Motegi, Y., Nagasato, M., Ishibashi, Y., Someya, H. and Kikuri, N., 1999, " Development of tilt servo system using 4-axis lens actuator for disc tilt compensation" , Proceedings of SPIE, Vol. 3864, pp. 20~22.

(5) Verschuren, C. A., Zipp, F., Bruls, D. M., Lee, J. I. and van Eerenbeemd, J. M. A., 2006, " Cover-layer incident Near-Field recording: towards 4-layer discs using dynamic tilt control" , Proceedings of SPIE, Vol. 6282, pp. 62820M-1-62820M-10.

(6) 한창수, 서현석, 이정현, 원종화, 김수현, 박윤근, 1998, " 광디스크용 4 와이어 구동기의 경사에 관한 연구" , 한국정밀공학회지, Vol. 15, No. 7, pp. 52~60.

(7) 정호섭, 오관영, 유익형, 1998, " FP 코일을 이용한 비대칭 광픽업 액추에이터의 설계 및 부공진의 진동저감 대책" , 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp. 160~165.

(8) 최인호, 2000, " 광 픽업 액추에이터" , 대한민국

특허, 10-2000-0014245.

(9) 홍삼열, 최인호, 2000, " 전자석을 이용한 다축 구동 액추에이터 및 틸트 제어방법" , 대한민국 특허, 10-2000-0040274.

(10) 송병륜, 신경식, 2001, " 광픽업 액추에이터 구동 방법 및 광픽업 액추에이터" , 대한민국 특허, 10-2001-0034687.

(11) 김석중, 이용훈, 도태용, 김선모, 최한국, 2000, " 광픽업용 4 축 구동 액추에이터" , 대한민국 특허, 10-2000-0074796.