

Pickup Actuator 의 구동특성 향상을 위한 구조, 자기 비선형성에 대한 고찰

Study on Structural and Electromagnetic Nonlinearities for Improving Dynamic Characteristics of Pickup Actuator

이종진† · 김재은* · 홍삼열* · 고의석* · 민병훈**

Jong-Jin Lee, Jae-Eun Kim, Sam-Nyol Hong, Eui-Seok Ko and Byung-Hoon Min

Key Words : Shift Characteristics, Nonlinearity, Coupled-Field Analysis

ABSTRACT

According as optical storage becomes high-density, numerical aperture increases. Therefore, the shift characteristic of moving parts in an actuator for optical pickup becomes a critical design factor because of decrease in the tilt margin. The tilt angle is maximized when the position of moving parts is in a diagonal direction within a moving range. This is determined by design of structure and magnetic circuit of an actuator. Previous analysis method only predicts linear characteristics of moving parts. However, the result of shift characteristics of the moving parts considering structural and magnetic circuit's nonlinearity following the every position simultaneously shows us more realistic result. Therefore, we present analysis method considering nonlinearity of moving parts' position through FEM package using coupled-field analysis. Then, we will suggest hereafter a design guide by comparing the above results with experimental ones.

1. 서론

광 픽업 기술은 고밀도화 되고 있는 다양한 미디어(media)에 대응하고, 고 배속화 기기의 시장 요구에 부합하기 위하여 고 성능화에 대한 요구가 증대되고 있다. 이에 따라 광픽업 내 디스크의 정밀 위치 추종 기구인 액츄에이터(actuator)도 고속 회전하는 고밀도 디스크에 데이터를 안정적으로 읽고 쓰기 위하여 포커싱(focusing)과 트래킹(tracking)구동에 대한 높은 정밀도가 요구된다. 특히 디스크의 고 밀도화에 따른 개구수(N/A: Numerical Aperture)의 증가에 따라 광축과 대물렌즈의 수직오차(tilt)와 디스크의 휨과 처짐에 의한 광축과 디스크 간의 수직오차로 인한 콤파수차 (comma aberration)가 증가하여 기록 및 재생특성에 악영향을 줄 수 있기 때문에 액츄에이터의 구동틸트 특성은 고밀도 디스크 시스템에서 중요한 설계 인자가 되고 있다.^(1,2)

또한, 최근 활발히 개발되고 있는 Blue Laser 를 이용한 HD 급 Pickup 은 Backward Compatibility 를 위해서 Red Laser 를 사용하는 CD/DVD 디스크에도 대응하는 추세이고, 이에 따라 광학계가 복잡해 지고 서로 다른 디스크에 대

해 최적 틸트 위치가 다르게 나타날 수 있어 드라이브의 Playability 특성 향상을 위해서는 액츄에이터의 구동 틸트 특성이 더욱 중요해 지고 있다.⁽³⁾

본 연구에서는 선형적인 요인만 고려하여 예측한 액츄에이터 가동부의 기울기특성과 구조와 자기 회로의 비선형 적인 요소를 모두 고려한 연성 해석을 통해 예측한 결과에 대해 비교, 고찰해 보고자 한다. 액츄에이터 구동에 따른 Tilt 특성은 간단하게는 가동부를 와이어의 변형은 고려하지 않은 채 가동 범위 내의 한 위치에서 발생하는 자기력의 불 평형을 고려하여 예측할 수도 있겠지만, 더 엄밀하게는 위치에 따라 서로 다르게 발생하는 자기력의 비선형성과 각각의 위치에서 와이어에 저장되는 변형 에너지(strain energy)의 비선형성을 함께 고려하여 틸트량을 계산 하여야 한다. 구조와 자기회로의 비선형성을 엄밀하게 고려한 연성해석의 경우 선형적인 해석 결과보다 실험치에 더 근사한 Tilt 량을 계산할 수 있었다.

2. 구동 틸트

구동 틸트는 액츄에이터의 이동에 의해 좌우 로렌츠(Lorentz) 힘 즉, 자기력의 평형이 깨져 발생하는 토크에 의한 가동부의 경사를 말한다. 이 경사는 액츄에이터의 특성 중 중요한 평가 요인이며 성능을 좌우하는 기준이기도 하다.

† LG 전자 DS Lab. DCT Gr

E-mail : leejongjin@lge.com

Tel : (02) 526-4753, Fax : (02) 526-4801

* LG 전자 DS Lab. DCT Gr

** LG 전자 DS Lab.

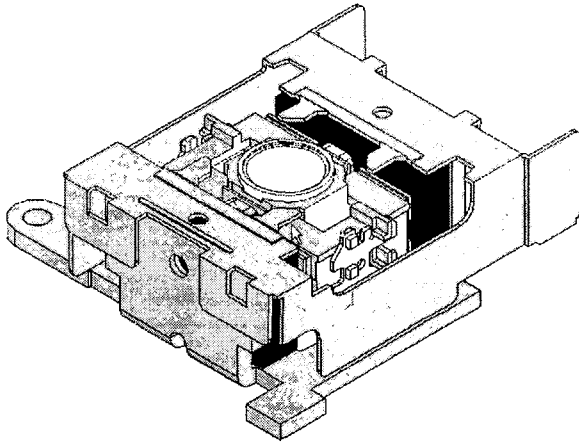


Fig. 1 FE Model of the Actuator

3. 액츄에이터의 연성해석

3.1 액츄에이터 FE 모델

액츄에이터는 구동력을 발생 시키는 자기회로 부분과 디스크를 추종하는 구동부로 나누어 진다. 지금까지의 FEM 을 이용한 해석은 자기회로 부분을 먼저 해석하여 얻어진 로렌츠 힘 (Lorentz force)을 임의의 조작을 통해 구동부에 가진력으로 작용하는 방식으로 이루어 졌다. 본 논문에서는 Fig. 1 과 같이 구조-자기부분의 통합 모델을 이용하여 전자기 해석과 구동부 해석을 동시에 진행 하였다.

3.2 액츄에이터 연성해석

연성해석은 자기해석 부분과 구조해석 부분이 하나의 모델에서 상호보완적으로 이루어 지는 해석이다. 가동부의 위치에 따른 자기해석 결과를 통해 코일의 각 절점에서의 힘의 크기와 방향을 결정하여 구조해석에 데이터의 왜곡 없이 가진력으로 적용할 수 있다.

이는 입력 전류에 대한 구동부의 움직임을 해석할 수 있으며, 이를 바탕으로 입력 전류에 따른 구동기의 위치나 틸트량을 알 수 있다. 여기에서 연성해석의 신뢰도를 확보하기 위해 DC 감도에 따른 포커스, 트랙킹 방향으로의 가동부의 변위를 해석적으로 구하고 이를 실험치와 비교하여 보았다. Table 1 에서 보듯이 가동부의 DC 감도는 허용 오차 범위 내에서 정확한 값을 얻을 수 있었다.

Table 1 DC Sensitivity of the Actuator

	Focus	Track
Experiment	1.291 $\mu\text{m}/\text{V}$	1.202 $\mu\text{m}/\text{V}$
FEM analysis	1.268 $\mu\text{m}/\text{V}$	1.184 $\mu\text{m}/\text{V}$
Error	1.78%	1.49%

4. 틸트량 계산

4.1 선형 FEM 해석 방법

기존의 틸트량을 구하는 해석 방법은 액츄에이터의 특정 위치에서 구한 자기력을 초기 위치에 있는 와이어의 회전 강성 (rotational stiffness)을 고려하여 간단한 수학적 원리를 적용, 회전각을 계산하는 방법이다.

선형 FEM 해석은 수학적 해석과 동일한 값을 도출할 수 있는 방법으로 구조 및 자기 비선형성을 고려하지 않고 와이어의 개수, 와이어간의 수직 및 수평거리, 강성계수, 유효길이 등을 고려하여 계산하는 방법이다. 이 방법은 실제 모델에서 발생하는 비선형성은 고려되지 않아 빠르게 계산이 가능하다.

4.2 제안된 해석 방법

실제 가동부의 이동특성에 의해 틸트가 일어나는 현상과 동일한 상황을 구현하기 위해 우선 트랙킹 방향으로 반복 해석을 통해 와이어의 변형 에너지와 자기력이 평형이 되는 위치를 찾는다. 평형이 되는 위치는 초기 인가되는 전류에 의해 이동되는 가동부의 변위가 아니라, 가동부의 이동에 따른 각 위치에서 자기해석이 반복적으로 이루어져 도출된 에너지 평형점을 말한다. 그리고, 이 지점에서 와이어에 가해진 예압 (prestress)을 유지한 채 포커스 방향으로 구동을 이전과 동일하게 반복해석을 통해 에너지 평형이 이루어 지는 위치를 찾는다. (Fig. 2,3) 이 방법은 와이어의 형상뿐만 아니라 각 노드에 저장된 물리적 정보의 손실이 없고, 회전강성의 구조 비선형성과 각 위치에서 비선형성을 고려한 자기해석의 수렴값을 가지고 해석을 진행하여 이전 해석 방법에 비해 정확성을 높일 수 있다. 본 논문에서 사용된 해석 절차를 Fig. 4 에 나타내었다.

4.3 해석 결과

앞에서 언급된 기존의 두 가지 방법에 의한 결과

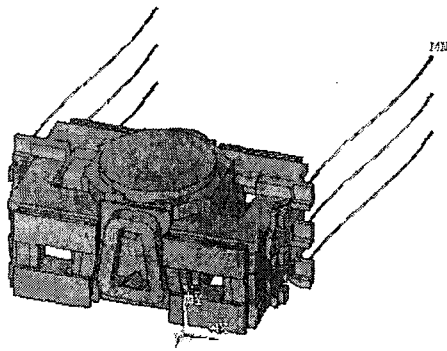


Fig. 2 Final Deformed State of the Actuator

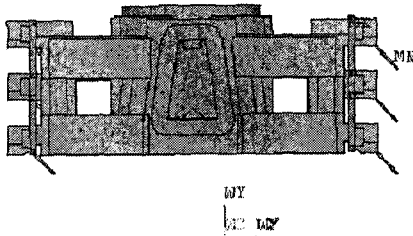


Fig. 3 Front View

Table 2 Results of the Tilt Analysis

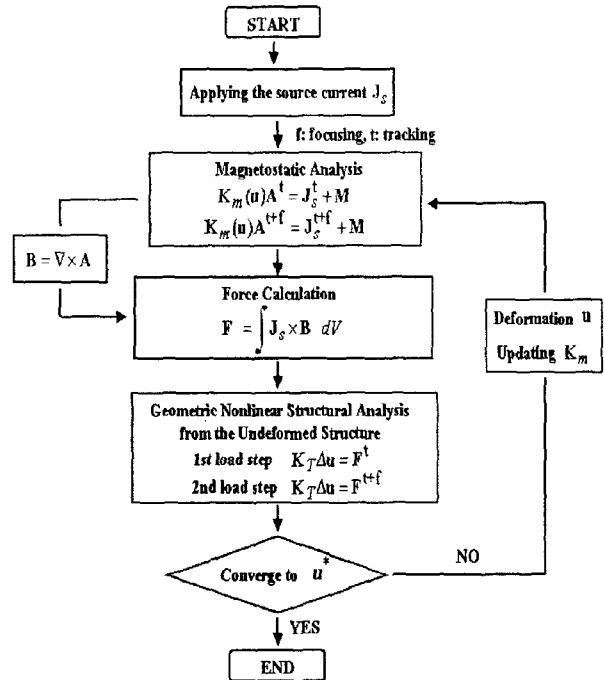
(Focus:0.5mm, Track:0.3mm 이동 시)

	Tilt Angle
Conventional Linear FEM Analysis Method	0.0876°
Proposed Nonlinear FEM Analysis Method	0.075°
Experimental Result	0.055°

와 제안된 방법으로 해석된 결과 그리고 실험치와의 차이는 Table 2 에서 보는 것과 같다. 측정 위 치는 최대 가동범위 위치에서 측정하였다. Table 2 에서 보듯이 본 논문에서 제안된 방법으로 구한 틸트량이 실제 실험에 의해 구해진 값에 가장 근사함을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 액츄에이터의 각 구동위치에서 지지구조와 자기회로의 선형적인 요인만을 고려한 틸트 특성과 구조기하 비선형과 가동부의 이동에 따른 잔류 토크의 비선형성을 엄밀하게 고려한 방



J_s: Current Density
K_m: Magnetic Stiffness Matrix
A: Magnetic Vector Potential
M: Remanent Flux Density
u: Structural Displacement
K_T: Structural Tangent Stiffness Matrix

Fig.4 Flow Chart of the Employed Analysis Process

법에 의한 결과를 비교, 고찰 하였다. 제시한 방법을 통하여 액츄에이터 구동 틸트 현상에 대하여 보다 정확히 이해할 수 있었으며 구동 틸트를 효과적으로 억제할 수 있는 액츄에이터를 개발하여 고밀도 디스크용 Pickup 에 적용 하였다.

참고문헌

다음의 양식을 참고하셔서 작성해 주시기 바랍니다.

- (1) Chang-Hoom Shin, Chul-Jin Kim, Kyung-Taek Lee, No-Cheol Park and Young-Pil Park, 2002, "Tilt analysis of optical pickup actuator using coupled field analysis", The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 2002 spring conference proceeding, pp.684-687.
- (2) Hideo Yamaguchi, Takachi Haruguchi and Shogo Horinouchi, 2000, "Two-axis Actuator with High Sensitivity and Low Tilt", ISOM 2000, pp.138-139.
- (3) Sam-Nyol Hong, In-Ho Choi and Chae-Min Ju, 2005, "Development of High Performance 3-Axis Actuator for DVD Recording", Journal of KSNVE, 2005, Vol.15, No.4, pp.15-18.