

유연 디스크를 위한 고감도 액추에이터 개발

Development of High Sensitivity Actuator for Flexible Disk

송명규† · 김충* · 이동주* · 박노철* · 박영필**

Myeong-Gyu Song, Choong Kim, Dong-Joo Lee, No-Cheol Park, Young-Pil Park

Key Words : Actuator(액추에이터), Flexible Disk(유연 디스크), Gain Margin(게인마진), DC/AC Sensitivity(DC/AC 감도), FE Analysis(유한요소해석)

ABSTRACT

This paper reports the high sensitivity actuator for flexible disk. The air stabilized flexible optical disk has very small axial runout. Therefore, it is proper to develop an actuator which has high sensitivity in tracking direction rather than in focusing direction. In order to maximize driving force in radial direction, we present an efficient design of magnetic circuit with simple multi-polarized magnets and auxiliary magnets. Designed magnetic circuit has big force in tracking direction. And we shift 2nd resonance frequency of moving parts into high frequency band, not causing increase of mass and discord between force and mass centers to secure high sensitivities and sufficient control bandwidth. Finally, experimental results show that designed actuator has superior sensitivity in tracking direction.

1. 서론

현재 시장을 주도하는 대표적인 정보저장기기인 하드디스크드라이브와 광디스크드라이브는 모두 회전하는 디스크에 정보를 저장하는 방식이다, 회전 디스크를 이용하는 정보저장장치들은 성능을 향상시키기 위해 디스크의 회전속도를 높이는 데 이 과정에서 디스크의 진동을 억제하는 기술이 필수적이다. 한편 차세대 고밀도 광학식 정보저장장치들은 기록밀도를 향상시키기 위해 높은 개구율의 대물렌즈와 짧은 파장의 광원을 사용하는데, 대물렌즈의 개구수가 크고 광원의 파장이 짧아질수록 시스템의 틸트 마진이나 포커스 마진 등이 작아지는 문제가 생기기 때문에 디스크의 미세한 진동에도 오작동할 수 있다. 이를 위해 고정밀 서보 및 고감도 액추에이터를 사용하거나 디스크 보호층을 최대한 평평하게 만드는 방법 등이 연구되어왔다. 한편 Onagi, Aman 등은 95mm 두께의 유연디스크와 반구형 침단을 가진 실린더 형의 공기베어링을 이용한 안정기(stabilizer)를 사용하여 디스크의 진동을 억제하는 방법에 대해 연구하였는데 실험결과 디스크의 축방향 진동을 5 μ m 이하로 줄이는데 성공하였다[1], [2], [3]. 그러나 이 방식에서는 기록 디스크가 심하게 꺾인 상태로 회전하기 때문에 광 픽업 역시 디스크의 기울기에 맞추어

기울어져야 하므로 기존의 광학식 정보저장장치에 응용하기에는 적절하지 못하다. 이런 단점을 극복하기 위해 염요한, 이호철 등은 기준면으로부터 심한 왜곡을 일으키지 않으면서 유연 디스크의 진동을 효과적으로 억제할 수 있는 안정기를 제안하여 유연 디스크의 축방향 진동폭을 15 μ m 이내로 억제하였다 [4].

이처럼 유연 디스크는 공기베어링 개념의 안정기에 의해 축방향 진동이 억제되는 것은 물론 디스크의 경사 역시 매우 작은 수준으로 제어되므로 이에 쓰일 액추에이터는 능동틸트 보정기능이 불필요하며 포커스 감도보다는 트래킹 감도를 높일 필요가 있다. 본 논문에서는 이와 같은 목적에 부합하는 액추에이터 개발을 위해 높은 트래킹 감도를 얻을 수 있는 자기회로를 제안하였으며, 자기해석과 실제로 제작된 액추에이터의 실험을 통해 설계된 자기회로의 성능을 입증하였다. 또한 높은 AC 감도와 충분한 게인 마진을 확보한 액추에이터를 개발하기 위해 가벼우면서도 2 차 공진 주파수가 높은 렌즈 홀더를 설계하였다.

2. 본론

2.1 자기회로의 설계 및 해석

전류가 흐르는 코일을 자기장에 놓으면 자기력이 발생하며 광 픽업 액추에이터는 이 힘을 이용하여 구동하며 자기력의 세기가 클수록 고감도 액추에이터를 만들 수 있으므로 자기회로는 주어진 공간에서 최대한의 자기력을 내도록 설계된다.

$$\vec{F} = \vec{B} \times \vec{I}Ln \quad (1)$$

코일에 가해지는 자기력 \vec{F} 은 위 식으로 구해지

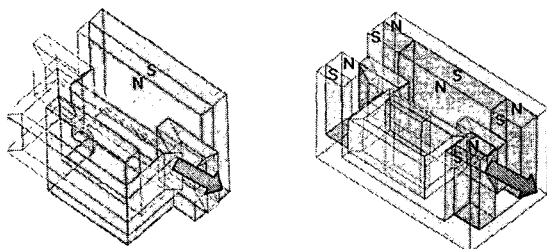
† 송명규; 연세대학교 정보저장기기연구센터
E-mail : netmang@yonsei.ac.kr
Tel : (02) 2123-4677, Fax : (02) 365-8460

* 연세대학교 정보저장기기연구센터

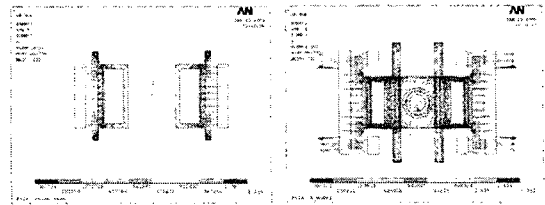
** 연세대학교 기계공학과

는데 자속밀도 B 는 자석과 요크에 의해 결정되며, 전류 I 와 코일 턴 수 n 의 곱 또한 코일의 저항에 의해 결정되며, 코일의 유효길이 역시 액추에이터의 크기에 의해 제한된다. 최인호 등은 트래킹 방향의 구동력 향상을 위해 요크 형상을 최적화하거나 분극 자석을 이용하여 트래킹 코일의 유효 길이를 극대화시키는 방법에 대해 연구하였다 [5]. 그러나 제한된 영역 안에서 자석을 원하는 대로 다극화하는 것은 매우 어려워 가격이 비싸며, 또 분극 자석을 적용하더라도 가동범위 안에서 위치에 따라 자속의 크기와 방향이 크게 달라져서 자기력이 변하기 때문에 액추에이터가 비선형 구동 특성을 갖게 되는 문제점을 지니고 있다.

본 논문에서는 앞서 언급한 분극 자석의 문제점을 해결하면서 트래킹 방향의 자기력을 크게 향상시킬 수 있는 자기 회로를 제안하고 자기 해석 결과를 통해 이를 입증하였다. Figure 1 는 설계된 자기회로의 모습을 통상적인 모델과 비교하여 보여준다. 자기회로는 하나의 주 분극 자석과 두 개의 보조 단극 자석으로 구성된다. 분극 자석을 제작할 때 착자 형상이 복잡할수록 원하는 형태로의 착자가 힘들어지므로 되도록 단순한 형태일수록 제작에 유리하다. 따라서, Fig. 1 처럼 주 분극 자석은 세로방향으로만 분극시켰다. 또한, 좌우 양끝에 위치한 두 개의 보조 자석을 통하여 B 를 증가시키고 유효길이 L 을 두배로 늘렸다. 해석프로그램 Ansys 와 Maxwell 을 이용하여 설계된 자기회로의 자기해석을 수행하였다. Figure 2 은 설계된 자기회로와 단극 자석을 이용한 일반적인 자기회로의 자속 분포를 비교한 것이다. 보조자석의 추가로 트래킹 코일 외곽부분을 지나는 자속이 훨씬 강화되었음을 확인할 수 있다. 자기해석의 결과를 요약한 Table 1 로부터 트래킹 방향의 힘이 400% 이상 증가했음을 확인할 수 있다.



(a) Conventional model (b) Designed model
Fig. 1 Magnetic circuit



(a) Conventional model (b) Designed model
Fig. 2 Magnetic flux-density distribution

Table 1. Comparison of magnetic analysis

Magnetic Force	Conventional model	Designed model
Focus	11.42 mN	14.04 mN
Track	5.16 mN	21.07 mN

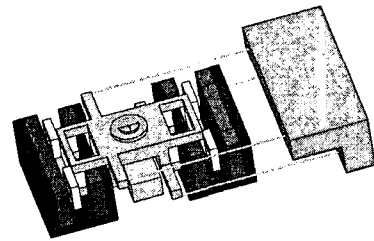


Fig. 3 Conceptual model

2.2 렌즈홀더의 설계 및 개선

일반적인 와이어의 배열을 사용하면서 광픽업의 두께를 최소화할 경우 와이어가 광로를 간섭할 수 있다. 따라서, 렌즈홀더를 설계하기에 앞서 와이어의 배열부터 고려해야만 했다. 앞서 설계된 자기회로와 와이어의 배열, 그리고 주어진 광학계에서의 요구사항 등을 바탕으로 설계한 초기 모델이 Fig. 3 에 나타나 있다. 렌즈홀더 아래에 위치한 연두색 블록이 광학계이며, 이를 간섭하지 않으면서 와이어를 붙이기 위해 양 옆으로 외팔보를 만들었다. 액추에이터의 중요한 성능 지표로는 DC 및 AC 감도와 게인마진이 있다. 일반적으로 액추에이터의 게인마진은 1kHz 의 게인값에서부터 2 차 공진피크의 게인값의 차로 정의한다. 그러나 고배속 드라이브에서는 저배속 모드의 0dB 교차주파수를 2kHz 나 그 이상으로 두기도 한다. 액추에이터의 게인마진이 시스템 최소 요구사항에 미치지 못할 경우 시스템이 불안정해지며 그 결과 포커스 및 트랙 오차신호에 2 차공진주파수 성분의 노이즈가 발생하고, 에러신호가 줄어들지 않거나 증폭하는 경우가 발생한다 [6]. 고성능, 고배속 광디스크 드라이브일수록 요구하는 최소 게인마진이 크기 때문에 액추에이터 설계에 있어서 게인마진 확보의 중요성은 점점 커지고 있다. 게인마진을 확보

하기 위해 2차 공진주파수가 되도록 높아야 하고, 2차 공진피크는 작아야 한다. 초기 렌즈 홀더 모델의 구조해석을 수행한 결과 2차공진주파수가 약 17kHz로 나타났고, 조화해석 결과 3kHz 대비 포커싱 게인 마진이 2dB에 불과해 구조 개선이 요구되었다. Figure 4는 렌즈 홀더 개선과정을 보여준다. Figure 5는 가동부의 응력분포를 보여주며 이를 바탕으로 Fig. 6와 같은 7가지 설계 변수를 도출해냈다. 각 변수에 대하여 파라미터 분석을 수행하고 그 중 변수 7이 가장 민감하다는 결과를 얻었다. Figure 7은 완성된 최종 설계를 보여준다. 이 모델은 앞서 수행된 파라미터 분석을 바탕으로 와이어 홀더와의 연결, 와이어 조립 등과 같은 실제 제작과정까지 반영한 것이고, 전체 픽업 두께는 4.3mm이다. Table 2는 초기모델과 최종모델의 게인 마진을 비교한 것이다. 초기모델에 비해 게인 마진이 향상되었음을 확인할 수 있다.

2.3 실험 및 고찰

Figure 8은 제작된 액추에이터의 모습을 보여준다. 렌즈 홀더 재질의 밀도와 강성이 다른 두 모델을 제작하였다. 제작된 액추에이터의 성능을 검

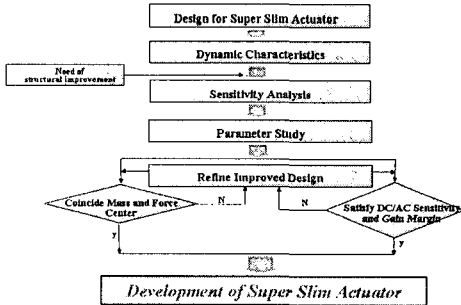


Fig. 4 Improvement procedure

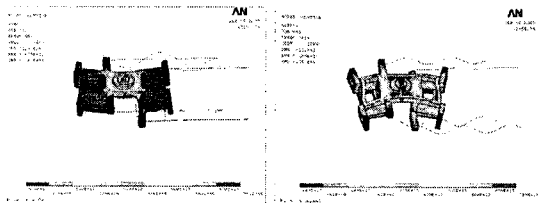


Fig. 5 Stress distribution of flexible mode

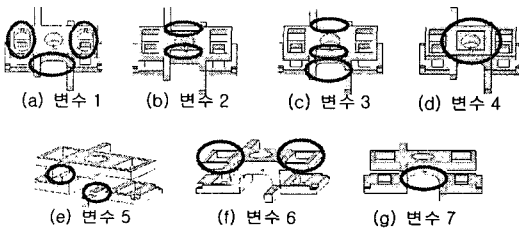


Fig. 6 Design parameter

Table 2. Initial and final model's gain margin at 3kHz

Gain Margin	Focusing	Tracking
Initial Model	2 dB	11.1 dB
Final Model	18.98 dB	12.76 dB

증하기 위해 LDV(Laser Doppler Velocimeter)를 이용하여 동특성을 측정하였다. 실험결과는 Table 3과 같고 해석 결과와 대체적인 성향이 일치하였으나 절대값에 있어서 무시할 수 없는 차이가 존재하여, 정확한 유한요소모델을 정립하기 위하여 튜닝을 수행하였다. 이전까지의 해석에서는 코일을 등방성 재료로 이루어진 하나의 덩어리로 취급했지만 실제로는 구리와 접착필름으로 구성된 일종의 복합재료이다. 따라서, Fig. 9 처럼 코일방향의 물성과 수직방향의 물성은 다르다. 코일방향과 수직방향의 영률 E_{long} , E_{tran} 은 식 (2)로 구할 수 있다. v_{copper} , v_{film} 는 구리와 필름의 부피비율이며, E_{copper} 과 E_{film} 는 각각 구리와 필름의 영률이다.

$$E_{tran} = \frac{v_{copper}}{E_{copper}} + \frac{v_{epoxy}}{E_{epoxy}} \quad (2)$$

$$E_{long} = v_{copper} E_{copper} + v_{epoxy} E_{epoxy}$$

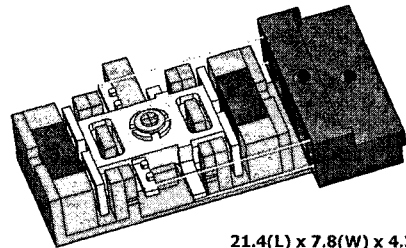
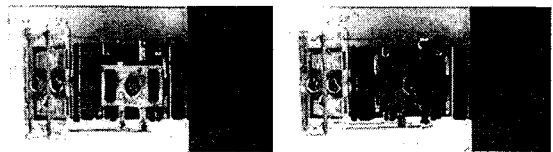


Fig. 7 Final design



(a) First model (b) Second model

Fig. 8 Fabricated models

Table 3. Comparison of simulation and experiment

		Sim.	Exp.	error
Gain margin at 1kHz(dB)	Focusing	40.18	42.48	-5%
	Tracking	29.78	37.70	-21%
Gain Margin at 3kHz(dB)	Focusing	18.98	22.88	-17
	Tracking	12.76	18.82	-32%
DC sensitivity At 5Hz(mm/V)	Focusing	0.74	0.59	25%
	Tracking	1.90	1.38	38%
AC sensitivity	Focusing	11.83	11.93	-1%

At 200Hz(G/V)	Tracking	31.39	24.36	29%
---------------	----------	-------	-------	-----

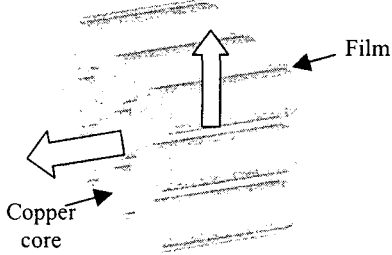


Fig. 9 Winding coil

그리고, 코일의 밀도 역시 구리코어와 접착필름의 두께를 고려하여 정확하게 계산하였고, 실제 코일의 무게와 부피를 측정하여 계산된 밀도와 비교해 값을 확인하였다. 이를 반영하여 재해석한 결과는 Fig. 9와 같고 Table 4에 이를 요약하였다. 대체적인 성향이 서로 일치하며 값의 차이도 이전 모델보다 줄었음을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 유연 디스크를 위한 트래킹 방향의 감도가 매우 높은 액추에이터를 개발하였다. 분극자석과 보조자석을 이용하여 트래킹 코일의 유효길이를 극대화하고 폐회로를 구성하여 자기회로를 설계하였다. 그리고 과도한 질량 증가 없이 렌즈 홀더의 구조를 보강하여 게인마진을 증가시켜 충분한 제어대역을 확보하였다. 마지막으로 제작된 액추에이터의 성능을 측정하여 시뮬레이션의 결과와 대체적인 경향이 일치함을 확인하였으며, 시뮬레이션과 실험결과를 튜닝하여 정확한 시뮬레이션 방법을 정립하였다.

후 기

본 연구는 리코의 지원을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Nobuki Onagi, Yasutomo Aman, Shozo Murata and Keisuke Uchida, 2003, "High-Density Recording on Air-Stabilized Flexible Optical Disk", ISOM03, pp96-97.
- (2) Yasutomo Aman, Nobuki Onagi, Shozo Murata and Keisuke Uchida, 2003, "Effect of Stabilizer in Recording Effects of Axial Runout on a Flexible Optical Disk", ISOM03, pp98-99.
- (3) Yasutomo Aman, Nobuki Onagi, Shozo Murata and Keisuke Uchida, 2004, "Aerodynamic Stabilization for a Flexible Optical Disk by Triangular Arranged Stabilizers System", ISOM04, pp86-87.
- (4) 엄요한, 이호렬, 이성호, 임윤철, 2005, "회전 유연

디스크의 비접촉 진동 억제", SISS2005 춘계학술대회는 문집, pp273-278.

(5) 최인호, 홍삼열, 김진아, 박관우, 김영중, 김진용, 2002, "다극성 자속 분포 효과를 이용한 액추에이터 고특성 실현", 2002년도 기계관련 산학연 연합심포지엄(한국소음진동공학회 편).

(6) 송병륜, 조원익, 강형주, 이영빈, 성평용, 박영필, 2003, "모달파라미터 제설계를 통한 초슬립형 광픽업 액추에이터의 고주파 진동저감", 한국소음진동공학회 03년 춘계학술대회논문집, pp770-774.

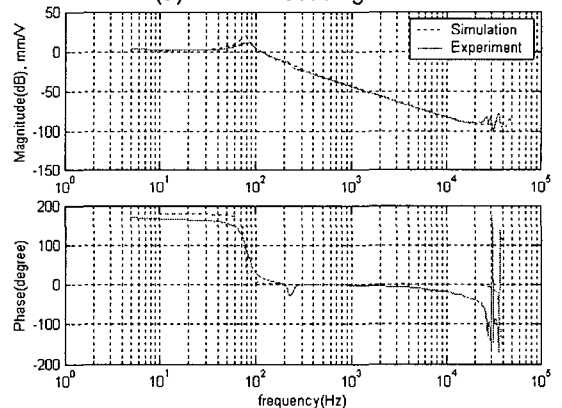
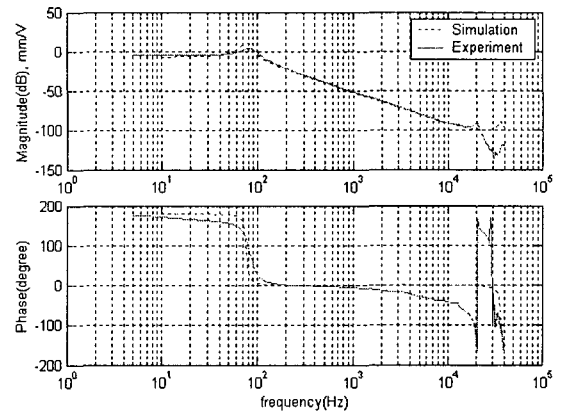


Fig. 10 FRF of tuned simulation and experiment

Table 4. Comparison of tuned simulation and experiment

		Sim.	Exp.	error
Gain margin at 1kHz(dB)	Focusing	36.57	42.48	-14%
	Tracking	39.29	37.70	4%
Gain Margin at 3kHz(dB)	Focusing	17.42	22.88	-24%
	Tracking	20.15	18.82	7%
DC sensitivity at 5Hz(mm/V)	Focusing	0.43	0.59	-27%
	Tracking	1.13	1.38	-18%
AC Tracking at 200Hz(G/V)	Focusing	10.13	11.93	15%
	Tracking	27.25	24.36	12%