

통합설계방법을 적용한 가동자석형 3 축 액추에이터의 설계 Design of 3-Axis Moving Magnet Type Electromagnetic Actuator using Integrated Design Method

김상용*, 박노철[†], 박영필**, 박경수**

Sangyoung Kim, No-Cheol Park, Young-Pil Park and Kyoung-Su Park

(2011 년 8 월 25 일 접수; 2011 년 9 월 21 일 심사완료; 2011 년 9 월 23 일 게재확정)

Abstract

In this paper, we propose the integrated design method that enables multi-physics modeling and coupled-field analysis by connecting an electromagnetic field and a structural field. We design the 3-axis moving magnet type actuator that has the high structural stiffness and the effective electromagnetic circuit generating large electromagnetic force. Through design of experiments (DOE) and optimization, the designed actuator is optimized and satisfies high dynamic characteristics over the desired specifications.

Key Words : Integrated design method, moving magnet type actuator, design of experiment (DOE), flexible mode frequency

1. 서 론

광 디스크 드라이브는 최근 BD 를 선두로 하여 기존의 CD/DVD 와 통합된 시스템을 구축하여 연구를 진행하고 있다. 그 중에서 액추에이터는 보다 높은 디스크의 회전속도에 대응 가능한 개선된 성능의 개발이 요구되고 있다. 일반적으로 광 디스크 드라이브용 액추에이터는 가동부의 구성에 따라 가동자석형과 가동코일형으로 구분된다. 이 중 가동자석형은 가동부를 영구자석으로 구성하여 가동부의 질량은 증가하지만 자석이 가지는 높은 강성으로 인하여 높은 2 차 유연모드 주파수를 확보할 수 있으며, 권선코일이 고정자에 포함되어 있어 코일의 배선을 용이하게 구성할 수 있다 [1]. 이에 반해 가동코일형은 가동부의 질량이 상대적으로 가벼워 DC 감도와 AC 감도가 우수하나 2 차 유연모드는 낮은 경향이 있다. 본 연구에서는 보

다 고 배속에 적용하기 위하여 높은 2 차 유연모드 주파수를 확보함과 동시에 높은 DC 감도의 AC 감도를 얻기 위하여 새로운 형태의 자기회로를 제안하고 통합설계방법을 적용하였다 [2]. 또한 기존의 듀얼 렌즈 방식의 액추에이터가 가지는 단점을 극복하기 위하여 질량은 다소 무겁지만 BD 와 CD/DVD 를 호환할 수 있는 하나의 렌즈로 적용하여 설계를 진행하였다 [3].

2. 가동자석형 액추에이터의 설계

2.1 초기 모델 설계

Table 1 은 적용하려는 시스템의 요구사항을 보여준다. 보다 고 배속에 적용하기 위하여 포커싱 방향과 트래킹 방향으로 50 kHz 이상으로 유연모드 주파수가 발생하도록 설계하였으며 DC 감도와 AC 감도 역시 현재의 BD 시스템에 적용할 수 있는 높은 수치로 선정하였다 [4].

제안된 액추에이터의 자기회로는 Fig. 1 과 같다. 트래킹 방향 구동은 총 4 개의 영구자석과 4 개의 트래킹 코일로 구성되어 있으며, 트래킹 방향 구동 힘을 향상시키기 위하여 트래킹 코일의 렌즈 안쪽 방향으로 두 개의 영구자석을 추가로 보강한 구조로 되어 있다. 포커싱과 틸트 방향은 보다

[†] 연세대학교 기계공학과
E-mail : pnch@yonsei.ac.kr
TEL : (02)2123-4677

* 국방과학 연구소

** 연세대학교 기계공학과

Table 1 Specification of proposed actuator

	Unit	Focus	Track
Primary resonance freq.	Hz	50	50
secondary resonance freq.	kHz	50 >	50 >
DC sensitivity	mm/V	1 >	1 >
AC sensitivity	G/V	10 >	10 >
Moving range	mm	0.8	0.4

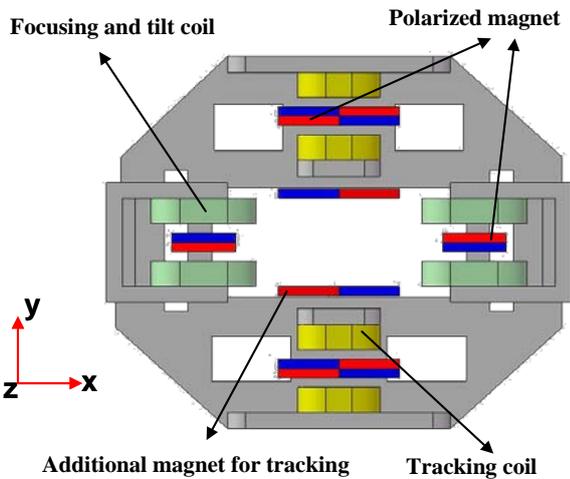


Fig. 1 Electromagnetic circuit of proposed actuator

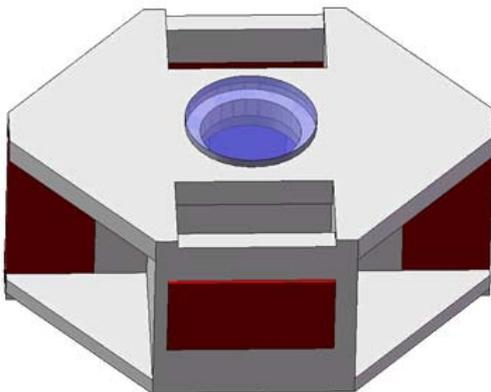
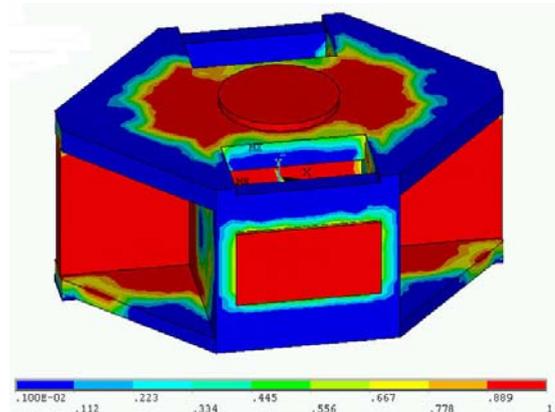


Fig. 2 Moving part of proposed actuator

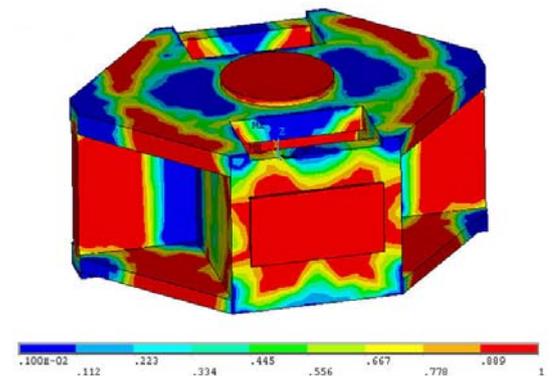
높은 구동감도를 확보하기 위하여 차동방식으로 구동되도록 설계하였으며, 총 2 개의 영구자석과 4 개의 코일로 구성되어 있다. Figure 2 는 가동부의 형상을 보여준다. 가동부의 강성이 증가 될 수 있도록 영구자석의 배치를 선정하였으며 부공진 모드의 발생을 억제하기 위하여 렌즈를 중심으로 대칭으로 자기회로가 구성될 수 있도록 설계하였고, 하나의 렌즈를 통해 호환성을 확보하도록 하였다.

2.2 위상최적설계

높은 유연모드 주파수를 확보하기 위해서는 구조강성을 증가시키면서 동시에 가동부 질량은 최소화 시켜야 한다. 보다 효율적으로 가동부의 질량을 감소시키기 위하여 위상최적설계를 적용하였다. 위상최적설계는 설계자의 목적에 맞게 효과적으로 질량을 감소시킬 수 있는 방법으로 구조해석의 경우 크게 구조강성을 증가시키는 방법과 공진 주파수를 증가시키는 방법이 있다. 본 연구에서는 2 차 유연모드 주파수를 증가시키기 위하여 트래킹 방향과 포커싱 방향 2 차 유연모드 주파수를 목적 함수로 하여 위상최적설계를 수행하였다. Figure 3 는 위상최적설계를 보여준다. 빨간색으로 표시된 부분은 밀도법에 의해 질량이 채워져 있는 것으로 해당 유연모드 주파수에 큰 영향을 미치는 부분을 의미하며, 파란색 부분은 질량이 채워지지 않는 것으로 거의 영향을 미치는 않는 것을 의미한다. 즉, 트래킹 방향과 포커싱 방향 유연모드 주파수를 모드 증가시키기 위해서는 Fig. 3(a)과 Fig. 3(b)에서 동일하게 파란색으로 형성된 부분을 제거



(a) Flexible mod frequency in the focusing direction



(b) Flexible mod frequency in the Tracking direction

Fig. 3 Results of topology optimization

Table 2 Dynamic characteristics of the initial model

	Unit	Focus	Track
Primary resonance freq.	Hz	50	50
secondary resonance freq.	kHz	45	62
DC sensitivity	mm/V	1.12	0.87
AC sensitivity	G/V	11.23	8.76

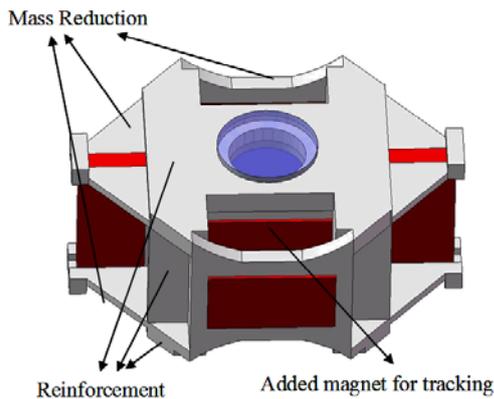
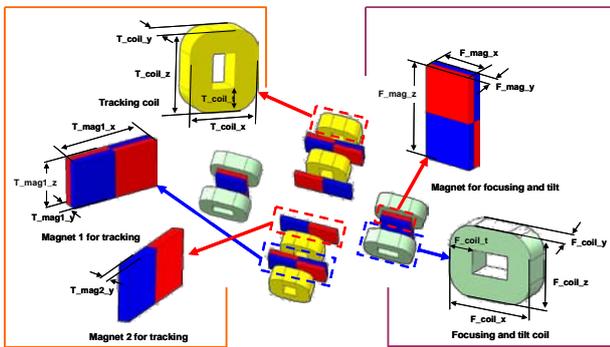
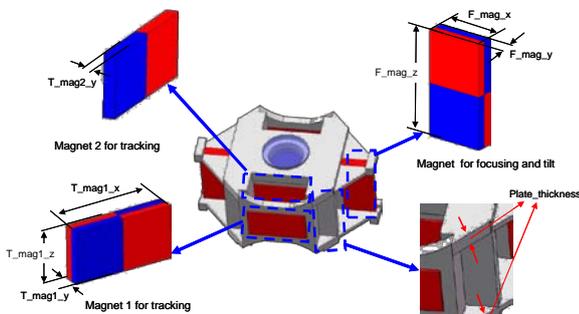


Fig. 4 Modification of structural part



(a) Design variables for EM circuit



(b) Design variables for structural part

Fig. 5 Design variables for improving dynamic characteristics

하면 질량은 감소시키면서 동시에 유연모드 주파

수를 증가시킬 수 있는 효과를 얻을 수 있다. Figure 4 는 개선된 구조부를 보여준다.

3. 자기회로의 개선

3.1 초기 모델의 동특성

Table 2 는 초기 모델의 동특성을 보여준다. 초기 모델은 포커싱 방향으로의 유연모드 주파수가 요구사양 보다 낮으면 트래킹 방향은 DC 감도와 AC 감도가 낮아 포커싱 방향 유연모드에 대한 강성증가 및 트래킹 방향 구동 힘을 증가시키기 위한 개선방법을 진행하였다.

3.2 성능 개선

가동자석형 액추에이터는 가동부가 영구자석으로 구성되어 있어 전자기 회로 설계의 변경이 가동부의 전체 강성에 미치는 영향이 가동코일형에 비해 크게 영향을 미치기 때문에 설계 변수의 선정에 있어서 구동 힘과 유연모드 주파수 상호간에 발생하는 영향을 충분히 고려할 수 있도록 선정하여야 한다. Figure 5 는 전자기 회로의 구동 힘과 유연모드주파수를 증가시키기 위한 설계 변수들을 보여준다. 설계 변수는 코일과 영구자석의 높이, 너비, 길이 등의 치수로 선정하였다. 트래킹 방향 코일과 자석은 구동 힘을 증가시키기 위한 방향으로 설계 변수들을 선정하였고, 포커싱 방향은 사양에 만족하는 범위 내에서 영구자석의 변수를 정하여 구조 강성을 증가시키기 위한 방향으로 설계를 진행하였다.

3.3 실험계획법

앞서 선정된 설계변수에 대한 감도를 확인하기 위하여 3 레벨 완전요인배치법으로 실험계획법을 진행하였다. Figure 6(a)는 포커싱방향 구동힘에 대한 주 효과를 보여준다. 자석의 Y 방향 길이가 가장 크게 영향을 미치는 것을 확인할 수 있으며, Fig. 6(b)에서 보듯 트래킹 방향 구동 힘 역시 영구자석의 치수에 따라 큰 영향을 받는 것을 확인할 수 있다. 또한, 유연모드 주파수를 증가시키기 위한 설계 변수들의 주 효과는 Fig. 6(C)를 통해 확인할 수 있다. 우선 보강재의 두께에 의한 영향과 가동부 영구자석의 치수에 따라 영향을 받는 것을 확인할 수 있다. 각 방향 설계변수들의 민감도 해석을 바탕으로 최적설계를 위한 설계 변수들을 선정하였다. 선택한 총 설계변수들은 6 가지로 Fig. 6 을 통해 확인할 수 있다.

3.4 최적설계

최적화를 위한 목적함수는 Eq. (1)과 같이 포커싱 방향과 트래킹 방향 구동감도를 최대화시킬 수 있도록 선정함과 동시에 포커싱 방향과 트래킹 방향 2 차 유연모드 주파수가 50kHz 이하로 발생하는 것을 방지하기 위하여 제한조건을 두었다. 최적설계방법은 먼저 전역설계 통해 설계변수에 대한 영향을 전역적으로 탐색한 뒤 국부적으로 탐색하는 기울기 기반의 Design Explorer 를 사용하였다 [4]. Figure 7 은 최적화 결과를 보여주며 Table 3 은 최적화를 통해 결정된 설계 변수들의 값을 보여준다. 최종적으로 최적화를 통해 선정된 변수들을 통해 액추에이터의 동특성을 확인하였다. Table4 와 같이 유연모드 주파수는 모두 50kHz 이하가 되지 않도록 설계되었으며 포커싱 방향과 트래킹 방향의 구동감도 모두 사양에 비교하여 더 증가된 것을 확인할 수 있다. Figure 8 은 최적화된 액추에이터의 주파수응답 특성과 각 방향에 해당하는 모드 형상을 보여준다.

$$F = -\sqrt{\left(\frac{S_F}{SD_F}\right)^2 + \left(\frac{S_T}{SD_T}\right)^2} \quad (1)$$

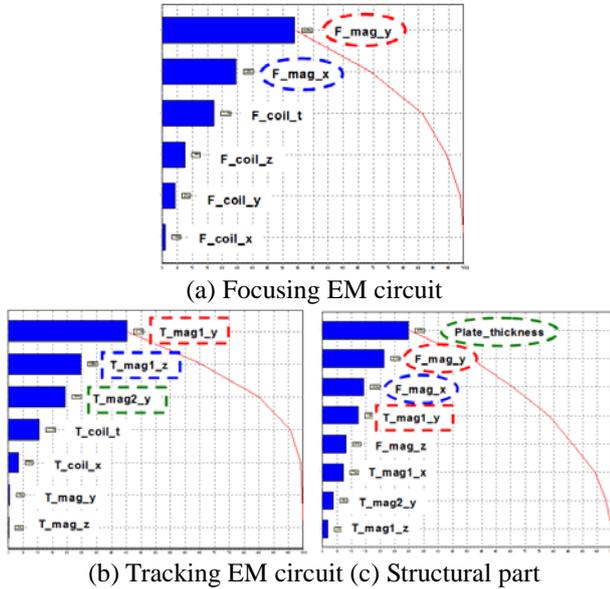


Fig. 6 Sensitivity analysis of candidates of design variables

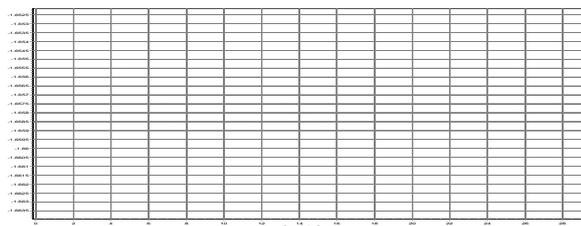


Fig. 7 Optimization results

Table 3 Optimized design variables

Parameter	Value	Parameter	Value
Plate_thickness	0.6mm	T_mag1_y	0.6mm
F_mag_y	0.6mm	T_mag1_x	2.0mm
F_mag_x	1.9mm	T_mag2_y	0.4mm

Table 4 Dynamic characteristics of optimized design

		Unit	Spec.	Initial Model	Optimized Model
Primary resonance freq.	DC	mm/V	1	1.11	1.15
	AC	G/V	10	11.23	11.56
secondary resonance freq.	DC	mm/V	1	0.87	1.179
	AC	G/V	10	8.763	11.86
DC sensitivity	Focus	Hz	50	50	50
	Track	Hz	50	50	50
AC sensitivity	Focus	kHz	50	45	51
	Track	kHz	50	62	60

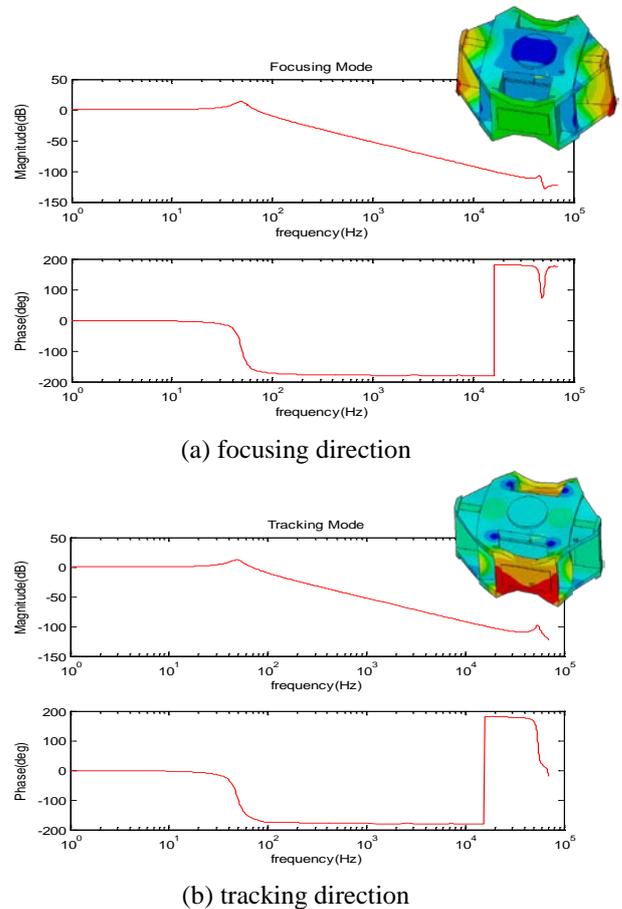


Fig. 8 FRF of optimized design

4. 결 론

본 연구에서는 고 배속에 대응이 가능한 높은 유연모드 주파수를 갖는 가동자석형 액추에이터의 설계를 진행하였다. 가동자석형 액추에이터가 갖는 가동부의 질량증가로 인한 감도의 저하를 극복하기 위하여 새로운 형태의 전자기 회로를 제안하였으며 구동감도와 유연모드 주파수에 대한 설계 사양을 만족시키기 위한 통합설계방법을 수행하였다.

참고문헌

- [1] Sangyong Kim, Myeong-Gyu Song, No-Cheol Park, Jeonghoon Yoo, Young-Pil Park, and Kyoung-Su Park, 2009, "Optimal Design of Moving-Magnet Type Actuators for Optical Disk Drives Considering Effect of Coil Electromagnet", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETIC, Vol.45, No.5, pp.2209-2212
- [2] Dong-Ju Lee, Jung-Hyun Woo, Sa-Ung Kim, Je-Seung Oh, Jeong-Hoon Yoo, No-Cheol Park, Young-Pil Park, and et al, 2007, "Development of "L-Shaped" rotary voice coil motor actuator for ultra slim optical disk drive using integrated design method based on coupled-field analysis", Jpn. J. Appl. Phys, Vol.46, No.6B, pp.3715-3723
- [3] Byung Youn Song, Young Bin Lee, Dae Jong Jang, Jong Kook Lee and Junghoon Lee, 2007, "High-performance optical pick-up actuator with singlet objective lens for BD/DVD/CD compatible drive", Microsystem Technologies, Vol.13, No.8-10, pp.1253-1260
- [4] Jung-Hyun Woo, No-Cheol Park, Young-Pil Park, Kyoung-Su Park, Young-Se Oh, and Ki-Beom Kim, 2010, "Development of Asymmetric Twin Objective Lens Actuator Using Integrated Design Method". Jpn. J. Appl. Phys, Vol.49, No.8, 08KA02-1~2