

# 대칭형 자기회로를 갖는 슬림형 액추에이터의 설계

## Design of Slim Actuator with Symmetric Electromagnetic Circuit

우정현\*, 박노철<sup>†</sup>, 박영필\*, 박경수\*, 오영세\*\*, 김기범\*\*

Jung-Hyun Woo, No-Cheol Park, Young-Pil Park, Kyoung-Su Park,  
Young-Se Oh and Ki-Beom Kim

(2009년 9월7일 접수; 2009년 9월21일 심사완료; 2010년 2월26일 게재확정)

### Abstract

Researches for actuator which is appropriate to slim optical disk drive (ODD) have been progressed for a long time. Various types of actuators are suggested to secure high performances with slim thickness. In this paper, the slim actuator with symmetric electromagnetic (EM) circuit is suggested to apply slim ODD. Various EM circuits are proposed to increase EM force in the focusing and the tracking directions. Flexible mode frequencies and driving sensitivities are increased by using stress distribution and design of experiment (DOE). Consequently, final model is suggested to have high flexible mode frequencies and driving sensitivities.

**Key Words:** slim ODD, slim actuator, symmetric EM circuit, stress distribution, DOE

### 1. 서론

노트북, 휴대폰, PDA, 외장형 하드디스크 드라이브 등 다양한 디지털 가전 기기들은 낮은 가격과 고성능을 기반으로 경쟁력을 키워나가고 있다. 현재의 가전기기들은 기존의 성능개선과 휴대성을 고려하여 슬림한 두께를 갖도록 기술을 발전시켜나가고 있다. 최근 광디스크 드라이브 시장에서 블루레이 디스크가 차세대 포맷으로 결정됨에 따라 관련 연구가 활발히 진행되고 있는 가운데 기술의 추세에 맞춰 슬림한 두께를 갖는 광디스크 드라이브 역시 연구의 한 축을 이루게 되었다. 광디스크 드라이브용 액추에이터 역시 기존 성능의 개선뿐만 아니라 슬림한 두께를 유지하면서 고배속에 적용 가능하도록 설계하는 것이 중요한 이슈가 되어 다양한 형태의 액추에이터가 연구되고 있다[1,2,5].

표.1은 현재 적용되고 있는 슬림형 블루레이 디스크 드라이브의 사양을 보여준다. 현재 적용되는 노트북 용 슬림형 블루레이 드라이브의 기준 두께는 12.7 mm이며 이에 적용되기 위해 액추에이터의 두께는 5.4 mm 이하로 유지되어야 한다[4]. 본 논문에서는 하나의 렌즈를 사용하여 블루레이에 적용 가능한 슬림형 액추에이터를 제안하였고 비대칭 형상이 갖는 단점을 극복하기 위해 새로운 자기회로를 제안하였다[6]. 힘 중심과 무게중심의 일치를 통해 부공진 모드가 발생하지 않도록 대칭형으로 자기회로를 구성하였고 요크를 이용하여 폐회로로 자기회로를 구성하여 보다 높은 힘을 발생하도록 설계를 진행하였다. 추가적으로 응력해석을 수행하여 효과적으로 불필요한 질량을 제거하였고 부족한 자기회로의 구동 힘을 증가시키기 위해 코일과 자석의 설계변수들을 분석하여 최적의 힘을 생성할 수 있도록 실험계획법을 수행하였다[1].

**Table 1** Specification of slim BD drive

Unit	Drive thickness	Actuator thickness
mm	12.7	5.4
mm	9.5	3.7
mm	7	2.3

<sup>†</sup>연세대학교 기계공학과

E-mail : pnch@yonsei.ac.kr

TEL : (02)2123-4677

\* 연세대학교 기계공학과

\*\* 아이엠 (주)

## 2. 설 계

### 2.1 비대칭 액추에이터의 자기회로

비대칭 형상을 갖는 액추에이터의 자기회로는 Fig. 1과 같이 크게 세 가지 자기 회로로 나눌 수 있다. 첫 번째 자기 회로는 권선 코일의 한 면을 이용하여 구동 힘을 발생시키는 방법으로 많은 비대칭 액추에이터는 이와 같은 자기회로를 구성하고 있다. 무게중심과 힘 중심의 일치가 수월하며 적은 무게를 갖는 장점을 가지고 있으나 권선 코일의 한 면으로만 자기회로가 구성되어 구동 힘이 낮은 단점이 있으며 비대칭 자기회로의 구성으로 포커싱 방향 힘과 트래킹 방향 힘의 중심이 정확히 일치 하지 않아 부공진 모드가 가질 될 우려가 있다[3]. 두 번째 자기회로는 권선 코일의 양면을 이용하는 방식으로 가동부의 외곽을 포함하여 구성하였다. 코일의 양면을 이용하여 높은 구동 힘을 확보 수 있는 장점이 있으나 구동 힘의 중심이 무게중심에 비해 아래쪽으로 위치하고 있어 무게중심과 힘 중심을 일치시키기 위한 부가적인 질량의 추가가 필요하여 전체 질량이 증가하고 구동감도가 감소하여 적용하기 어렵다. 세 번째 자기회로는 앞선 두 가지 자기회로들의 단점을 보완하기 위한 방법으로 권선코일의 양면을 이용하여 자기회로를 구성하되 구동 힘의 중심을 최대한 무게 중심 쪽으로 위치시켜 충분한 구동 힘을 확보한 채 힘 중심과 무게중심을 일치시킨 자기회로이다.

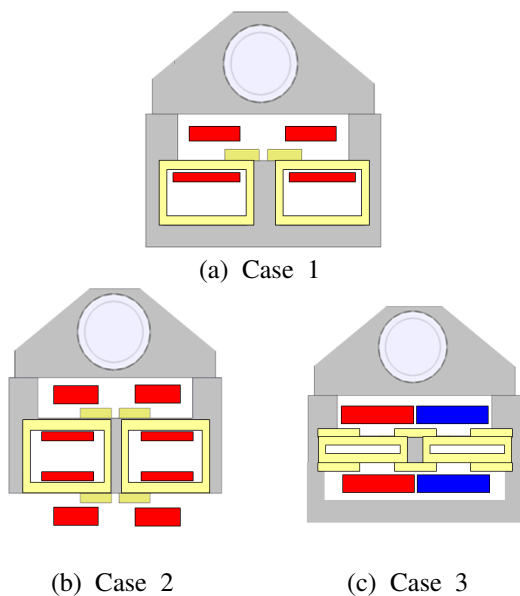


Fig. 1 EM Circuit

### 2.1.1 자기회로 설계

제한된 공간 내에서 높은 구동 힘을 발생시킬 수 있는 자기회로를 구성하기 위해 다양한 형태의 자기회로를 검증하였다. 구동 힘을 해석하기 위해 상용 전자기 해석 프로그램 MAXWELL, 11을 사용하였다. Figure 2는 검증된 자기회로의 기본적인 구성을 보여준다. 각 자석은 2개의 분극 자석으로 구성되어 있으며 코일 앞과 뒤로 위치시켜 최대의 구동 힘을 생성할 수 있도록 구성하였다. 위쪽과 아래쪽에서 발생시키는 힘이 대칭을 이룰 수 있도록 코일 및 자석의 위치를 선정하였다. Figure 4는 검증된 자기회로에서 최대의 힘을 얻기 위해 요크없이 구성된 열린 자기회로 및 요크를 통해 구성된 닫힌 자기 회로에 대한 시뮬레이션 결과를 보여준다. Table 2는 가장 구동 힘이 높은 닫힌 자기회로에 대한 각 방향 구동 힘을 보여준다. 해석 결과를 바탕으로 자석, 요크, 2개의 포커싱 코일, 2개의 트래킹 코일을 기반으로 구성된 자기회로 모델이 확립되었다.

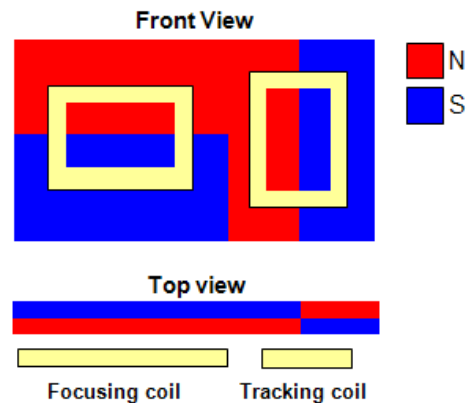


Fig. 2 EM circuit

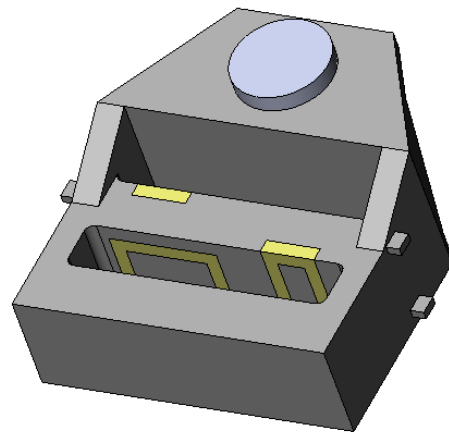


Fig. 3 Conceptual design

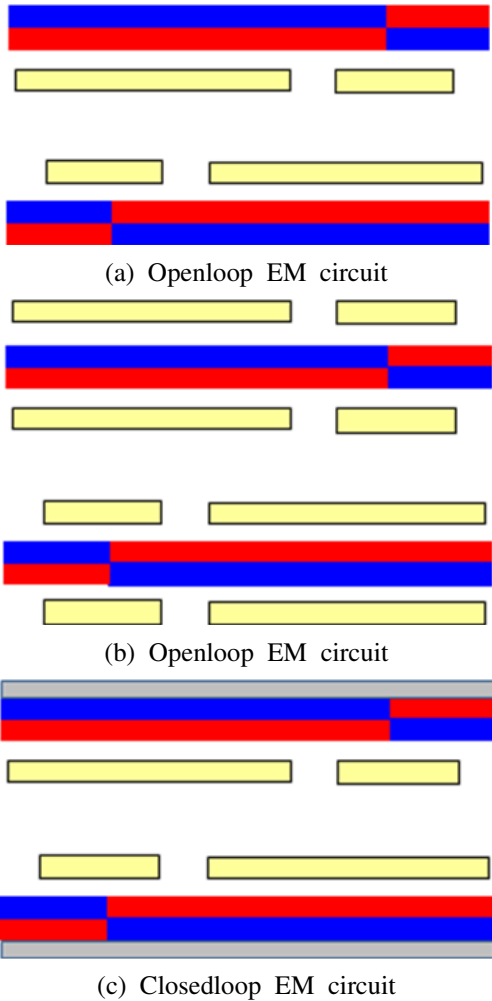


Fig. 4 EM circuit

Table 2 Dynamic characteristics of conceptual model

Item		Unit	Value
Tracking	DC(5Hz)	mm/V	0.61
	AC(200Hz)	μm/V	40
Focusing	DC(5Hz)	mm/V	0.75
	AC(200Hz)	μm/V	50.6
Flexible mode freq.	Focusing	kHz	28.7
	Tracking	kHz	25.8

### 2.1.2 자기회로 설계

Figure 3은 제안된 액추에이터의 전체 형상을 보여준다. 설계된 액추에이터의 동특성을 파악하기 위해 유한요소해석 프로그램인 ANSYS.10을 이용하여 모달해석 및 조화해석을 수행하였으며 Table 2를 통해 성능을 확인할 수 있다. 유연모드 주파수는 약 25 kHz이상에서 발생했으며 AC감도 및 DC감도는 개선이 필요함을 확인할 수 있다.

## 3. 초기 모델

### 3.1 초기 모델의 개선 방법

설계된 개념모델은 유연모드 주파수 및 구동감도의 증가가 필요하다. 유연모드 주파수를 증가시키기 위해서는 액추에이터의 구조 강성을 증가시키거나 강성의 감소 없이 질량을 감소시키는 방법이 있고 구동 감도의 증가를 위해서는 구동 힘을 증가시키거나 질량을 줄이는 방법이 있다. 하지만 일반적으로 구동부의 질량을 감소시키면서 유연모드주파수를 증가시키는 것은 매우 어렵다. 이를 개선시키기 위해 굽힘 모드 및 비틀림 모드에 대한 응력해석을 수행하였으며 해석결과를 바탕으로 효율적으로 질량을 감소시켜 추가적인 자기회로의 변형 없이 비틀림 모드 주파수와 구동감도를 증가시켰다.

#### 3.1.1 응력 해석

Figure 5는 굽힘 모드 및 비틀림 모드의 형상을 보여주며 Fig. 6은 각 모드 형상에 따르는 응력분포를 보여주고 있다. 렌즈 반대편의 질량은 각 모드에 영향을 받지 않는 것을 확인할 수 있으며 이를 기반으로 효과적으로 질량을 감소시킬 수 있다. 질량을 감소시킨 결과 유연모드 주파수는 증가하고 구동감도 역시 증가하는 것을 확인할 수 있었다. Table 3을 통해 자세한 동특성을 확인할 수 있다.

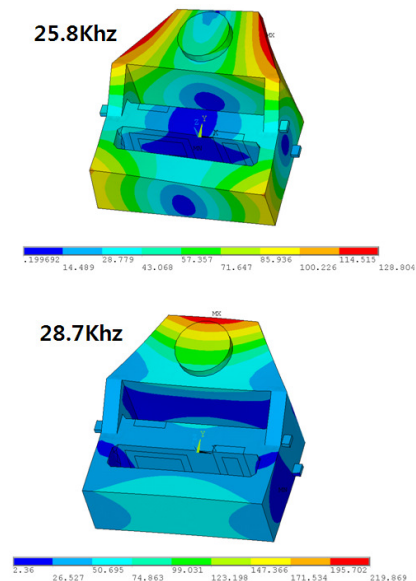


Fig. 5 Flexible mode frequencies in the tracking and the focusing directions

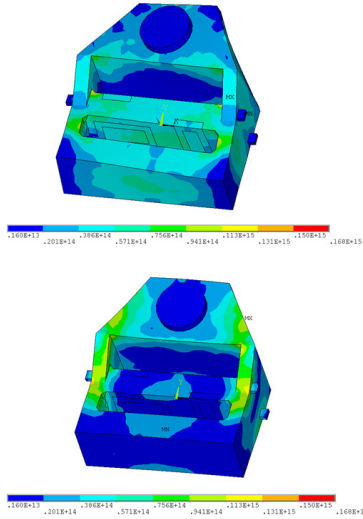


Fig. 6 Result of stress analysis

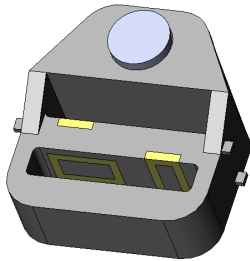


Fig. 7 Improved model

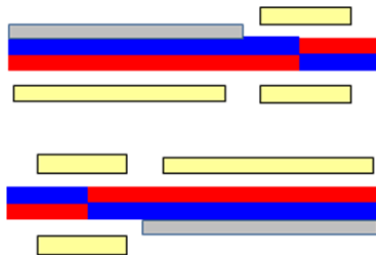


Fig. 8 Improved EM circuit

Table 3 Dynamic characteristics of conceptual model

Item		Unit	Value
Tracking	DC(5Hz)	mm/V	0.78
	AC(200Hz)	$\mu\text{m}/\text{V}$	54.1
Focusing	DC(5Hz)	mm/V	0.77
	AC(200Hz)	$\mu\text{m}/\text{V}$	53.8
Flexible mode freq.	Focusing	kHz	28.8
	Tracking	kHz	27.4

### 3.1.2 자기회로의 개선

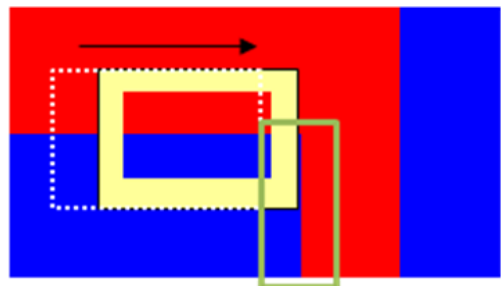
Figure 4에서 보여준 자기회로의 경우 포커싱 방향 구동 힘은 만족하지만 트래킹 방향 구동 힘은 포커싱 방향에 비해 상당히 낮다는 것을 확인할 수 있었다. 이로 인해 트래킹 구동감도가 낮

아져 감도의 증가가 요구되었다. 이를 개선하기 위해 요크의 형상을 조절하여 자석의 양면을 사용하여 자기회로를 구성할 수 있도록 Fig. 8과 같이 자기회로를 개선하였다. 개선된 자기회로의 경우 트래킹 방향 구동힘이 30 mN에서 39 mN으로 약 30 %정도 증가하였다. Figure 7 과 Table 3 을 통해 구조형상 및 성능을 확인할 수 있다.

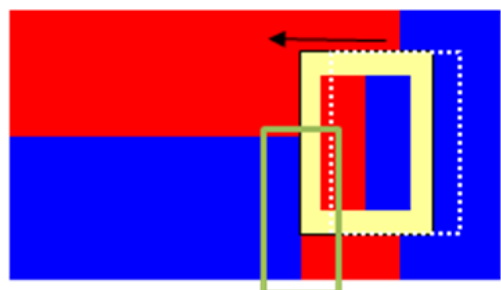
## 4. 실험계획법

### 4.1 액추에이터 구동에 따른 영향

응력해석을 통해 제안된 초기모델을 바탕으로 구동성능을 증가시키기 위해 실험계획법을 수행하였다. 선택된 자기회로는 포커싱 방향과 트래킹 방향구동 시 Fig. 9에 표시된 나눠지는 분극 부분에 의해 포커싱 방향의 상하 방향 구동 힘과 트래킹 방향의 좌우 방향 구동 힘이 다르게 분포될 수 있다. 이를 방지하기 위해 구동 범위 내에서 충분한 거리를 확보하여 제한된 영역에서 구동 힘의 변화를 최대한 줄일 수 있도록 설계변수의 범위를 정하였고 포커싱 방향과 트래킹 방향 구동 힘을 증가시키기 위해 실험계획법을 수행하였다.



(a) Effect of focusing coil caused by movement in tracking direction



(b) Effect of tracking coil caused by movement in tracking direction

Fig. 9 Effects of tracking coil and focusing coil caused by movement in tracking direction

#### 4.2 실험계획법 수행

Figure 10은 자기회로의 설계 변수들을 보여준다. 구동 범위에 따른 제약 조건을 고려하여 총 7개의 자기회로 변수가 선정되었다. 포커싱 코일과 트래킹 코일에서 세 가지 설계 변수를 선택하였고 추가로 자석의 두께를 변수로 선택하였다. 각 변수들에 대한 영향을 평가하기 위해 2수준 요인 배치법인 L27(128)을 수행하였다. Table 4는 각 변수의 레벨에 따른 값을 보여준다. 목적 함수는 트래킹 방향 힘과 포커싱 방향 힘의 합으로 표현하였다. 각 변수들의 영향을 파레토 그림, 주 효과, 교호작용 효과를 통해 확인하였다. Figure 11은 누적기여율을 보여주는 파레토 그림으로 A, G, C가 가장 크게 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. Figure 12는 주 효과를 보여주는 그림으로 레벨에 따른 기울기를 통해 변수의 민감도를 확인할 수 있으며 파레토 그림과 같이 변수 A, G, C가 가장 민감한 변수임을 확인할 수 있다. 최종적으로 Fig. 13을 통해 변수들 간의 교호작용효과를 확인하였다. 2인자 교호작용 효과를 확인한 결과 변수들 간의 교호작용 효과는 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 이처럼 민감한 변수의 레벨 값을 토대로 자기회로 변수의 값을 선정하였다. 분석된 값을 통해 변수 A(2레벨), B(1레벨), C(2레벨), D(1레벨), E(1레벨), F(1레벨), G(2레벨)로 선정하였다. 선택된 값으로 자기해석을 한 결과 각 하나의 코일에서 발생하는 전체 힘은 포커싱 방향 41 mN과 트래킹 방향 46 mN이다. Figure 14를 통해 최종모델의 유연모드 주파수 형상을 확인할 수 있으며 Table 5를 통해 최종모델의 동특성을 확인할 수 있다. 굽힘 모드 및 비틀림 모드 모두 27 kHz 이상에서 발생하는 것을 확인하였다.

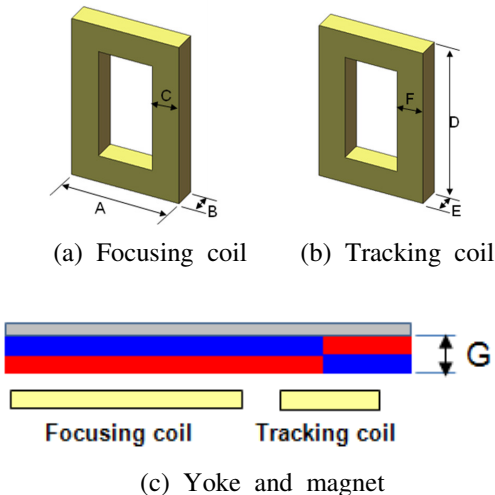


Fig. 10 Design variables

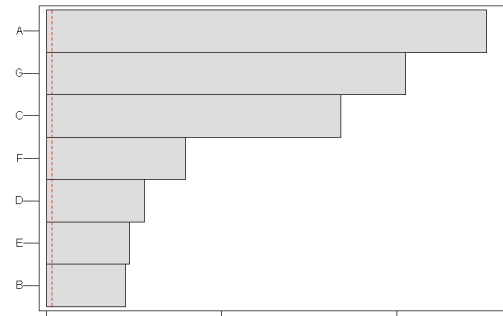


Fig. 11 Pareto chart

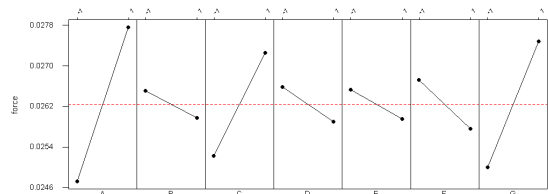


Fig. 12 Main effect plot

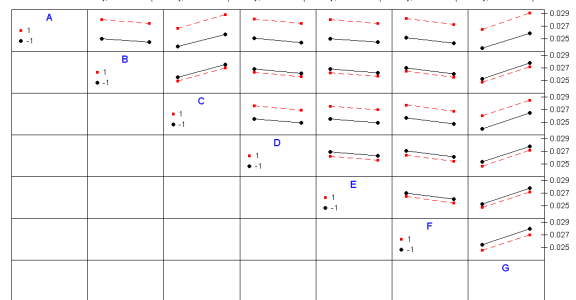


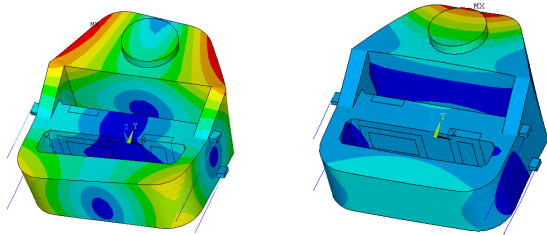
Fig. 13 Interaction plot

Table 4 Values at each level

Design variables	1 level (mm)	2 level (mm)
A	3.5	4
B	0.4	0.5
C	0.4	0.5
D	3	3.5
E	0.4	0.5
F	0.4	0.5
G	0.8	1

Table 5 Dynamic characteristics of final model

Item		Unit	Value
Tracking	DC(5Hz)	mm/V	0.78
	AC(200Hz)	μm/V	54.1
Focusing	DC(5Hz)	mm/V	0.77
	AC(200Hz)	μm/V	53.8
Flexible mode freq.	Focusing	kHz	28.8
	Tracking	kHz	27.4



**Fig. 14** Flexible mode frequencies of final model

## 5. 결론

본 논문에서 제안된 액추에이터는 렌즈를 포함해 전체 두께가 4.9 mm로 노트북 PC용 슬림 드라이브에 적용하기에 적합하며 최종 모델의 사양은 자기회로 및 구조회로의 개선과 실험계획법을 통해 포커싱 방향과 트래킹 방향 모두 27 kHz 이상의 유연모드 주파수 성능을 확보하였으며 AC 감도 역시 트래킹 방향 62.8 mm/V와 트래킹 방향 64.9 mm/V로 초기 모델에 비해 25 %, 60 %씩 증가하여 높은 구동감도를 확보할 수 있었다.

## 후 기

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2008-0060616).

## 참고문헌

- [1] Yoon-Ki Kim, Myeong-Gyu Song, Dong-Ju Lee, No-Cheol Park and Young-Pil Park , 2006, "Design of Moving Coil Type Optical Pickup Actuator for Flexible Disk", Proceedings of the KSNVE Conference, KSNVE06A-14-02
- [2] Sam-Nyol Hong, In-Ho Choi, Young-Joong Kim, Min-Suk Suh and Jin-Yong Kim, 2001, "In-Groove phase-change optical recording for a capacity of over 24GB", Jpn. J. Appl. Phys, Vol.40, No.3B, pp.1771-1774
- [3] Dong-Ju LEE, Gi-Won JUNG, No-Cheol PARK, Hyun Seok YANG, Young-Pil PARK and et al, 2005, "Coupled-Field-Analysis and Dynamic Improvement of Ultraslim Optical Pickup Actuator", Jpn. J. Appl. Phys, Vol.44, No.5B, pp.3373-3378
- [4] Shinji Tanaka , Susumu Uragami and Hiroshi Gotoh, 2007, "Super Thin Actuator for 7mm-Height Optical

Disc Drives, ODS'07

- [5] Buqing Zhang, Jianshe Ma, Longfa Pan, Xuemin Cheng, Hua Hu and Yi Tang, 2008, "Magnetic Circuit Design for Six-Wire Suspension Type Actuator in a Super Multi-optical Pickup", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, Vol.44, No.5, pp.598-604
- [6] Byung Youn Song, Young Bin Lee, Dae Jong Jang, Jong Kook Lee and Junhoon 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