

# 비대칭 형상을 갖는 슬림형 듀얼 렌즈 액추에이터의 개선

## Improvement of Asymmetric Dual Lens Actuator with slim thickness

우정현\*, 임재경\*, 윤준호\*, 박노철<sup>†</sup>, 박영필\*, 박경수\*

Jung-Hyun Woo, JeaKyung Lim, Jun-Ho Yoon, No-Cheol Park,  
Young-Pil Park and Kyoung-Su Park

(2011년 3월 18일 접수; 2011년 3월 21일 심사완료; 2011년 3월 23일 게재확정)

### Abstract

As a standard of optical disk drive (ODD) was determined to Blu-ray disks (BD), researches for securing slim drive thickness, high data transfer rate and high capacity have been progressed. The actuator for applying BD is also required to have high performances, such as compatibility, slim thickness and 3-axis motion. In this paper, an asymmetric dual lens actuator is proposed to satisfy abovementioned performances. To design the actuator in a limited space, stress analysis and design of experiment (DOE) are performed to reduce weight of moving part and increase driving force and flexible mode frequency. Consequently, the final model, which is satisfied with specifications, is secured.

**Key Words :** asymmetric dual lens actuator, design of experiment (DOE), flexible mode frequency

### 1. 서론

광 디스크 드라이브 기술이 BD 까지 발전되어 오면서 액추에이터 기술은 CD/DVD/DB 와의 호환성뿐 만 아니라 소형화와 슬림화를 목표로 고 사양을 달성하기 위한 연구들이 꾸준히 진행되어 왔다. 이러한 호환성을 확보하며 슬림형으로 적용하기 위한 방법은 대물렌즈의 숫자에 따라 크게 두 가지 방법으로 구분된다. 첫 번째는 CD/DVD/BD 모두가 호환이 가능한 하나의 대물렌즈를 사용하는 방법으로 하나의 렌즈를 사용하기 때문에 액추에이터의 설계가 용이하나 가격이 비싸 상용화를 위한 적용에는 무리가 있다 [1]. 두 번째는 CD/DVD 를 위한 대물렌즈와 BD 를 위한 대물렌즈를 각각 적용하는 방법으로 두 개의 대물렌즈가 액추에이터의 가동부에 포함되기 때문에 설계가

어렵지만 광학계 구성이 쉽고 가격이 싸기 때문에 현재 널리 적용되고 있다 [2,3].

우정현 등은 이전 연구에서 CD/DVD/BD 에 호환이 가능한 슬림형의 고성능을 갖는 액추에이터를 개발하기 위하여 높은 구동 힘을 갖는 비대칭 형상의 듀얼 렌즈 액추에이터를 제작하여 평가하였다 [2]. 본 연구에서는 이전에 설계한 액추에이터의 성능을 개선하기 위한 새로운 전자기 회로 및 가동부의 형상을 제안하였고 효과적으로 가동부의 질량을 감소시키기 위한 방법 및 높은 구동 성능을 확보하기 위한 실험계획법을 진행하였다.

### 2. 설계

#### 2.1 슬림형 듀얼 렌즈 액추에이터의 종류

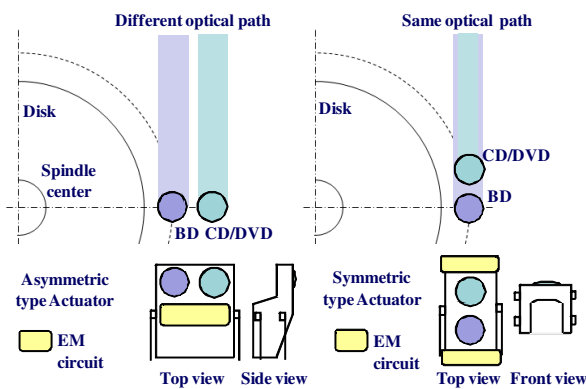
듀얼 렌즈 액추에이터를 슬림형으로 적용하기 위한 방법은 Fig. 1 에서와 같이 제어 방법에 따라 두 가지 방식으로 구분될 수 있다. 디스크를 중심으로 수평 방향으로 렌즈를 위치시키는 방법과 수직 방향으로 렌즈를 위치시키는 방법이다. 이 중에서 수평방향으로 위치시키는 방법은 광 픽업의 반 지름 방향 구동에 따른 렌즈 간의 트랙킹 서보 신호에 위상차가 발생하지 않아 기존의 CD/DVD 에서 사용되어온 제어방식을 그대로 사용할 수

<sup>†</sup> 연세대학교 기계공학과  
E-mail : pnch@yonsei.ac.kr  
TEL : (02)2323-4677

\* 연세대학교 기계공학과

**Table 1** Specification of dual lens actuator

	Unit	Focus	Track
Primary resonance freq.	Hz	55	55
secondary resonance freq.	kHz	20 >	20 >
DC sensitivity	mm/V	0.9 >	0.9 >
AC sensitivity	mm/V	75 >	75 >
Moving range	mm	0.8	0.4
Resistance	Ohm	2.6 ± 0.4	2.4 ± 0.4



**Fig. 1** Asymmetric and symmetry dual lens actuator

있는 장점이 있지만 비대칭 형상의 가동부 때문에 유연모드주파수 및 구동감도가 떨어지게 된다. 렌즈를 수평으로 위치시키는 방법은 두 개의 렌즈 간의 위상차가 발생하기 때문에 새로운 제어 방법이 요구되지만 액추에이터 가동부의 중심에 위치하는 렌즈로 인해 가동부의 설계가 용이하고 전자기 회로 역시 가동부의 양면을 사용할 수 있어 보다 쉽게 높은 구동 힘을 확보하도록 설계할 수 있다. 본 연구에서는 액추에이터의 설계는 어렵지만 기존의 제어방법을 활용할 수 있는 비대칭 형상을 갖는 듀얼 렌즈 액추에이터의 설계를 진행하였다.

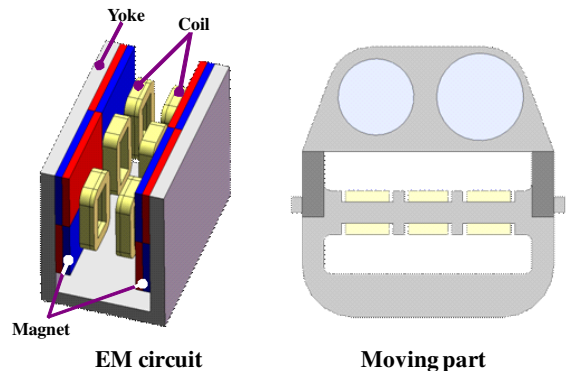
**2.2 설계 시 고려사항**

비대칭 형상으로 구성된 듀얼 렌즈 액추에이터를 슬림형 BD 드라이브에 적용하기 위해서는 다양한 설계 제한 조건들이 요구된다. 먼저, BD 용 렌즈와 CD/DVD 용 렌즈의 동작거리(working distance)가 서로 다르기 때문에 포커싱 방향으로 보다 넓은 구동거리가 확보되어야 하며, 액추에이터가 스피들 모터의 중심으로 최대한 이동할 시 기구적인 간섭이 발생하지 않아야 한다. 또한, 비대칭 형상으로 인한 부 공진 모드의 발생을 억제

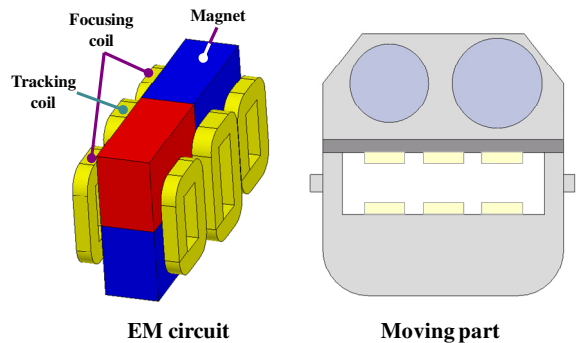
하기 위하여 힘 중심과 무게 중심을 일치시키도록 설계해야 하며 기타 광학계와의 간섭을 피해야 한다 [4]. 즉, 구조적인 제한 조건 하에서 높은 성능을 갖는 액추에이터의 설계가 필요하다. Table 1 은 액추에이터의 설계 사양을 보여준다.

**2.3 자기회로**

Figure 2 는 기존의 자기회로와 개선된 자기회로를 보여준다. 기존의 자기회로는 자석과 요크가 서로 폐회로로 구성되어 높은 자속 밀도를 갖도록 설계되었다. 하지만 이는 구조적으로 강성을 저하시키는 요소로 작용하여 유연모드 주파수를 저감시키는 결과를 초래하였다. 개선된 자기회로는 요크를 제거하고 자석의 양쪽 면을 이용하여 효과적으로 추력을 증가시킬 수 있는 구조로 제안하였다. 추가적인 요크가 없기 때문에 상대적으로 약한 자속 밀도를 보완하기 위하여 자석을 두껍게 설계하였고 두 개의 홀로 구성된 기존의 가동부를 하나의 홀만으로 구성하여 강성을 증가시킬 수 있는 구조로 선택하였다. 개선된 자기회로는 2 개의 트랙킹 코일, 4 개의 포커싱 코일, 영구자석으로 구성되어 있고 차동방식 구동을 위해 틸트 코일은 제거하였다.



(a) Original EM circuit and moving part



(b) New EM circuit and moving part

**Fig. 2** New EM circuit and moving part

### 3. 초기 모델의 설계

#### 3.1 성능 개선 방법

액추에이터의 성능을 개선하기 위해서는 먼저 자기회로의 구동 힘을 증가시켜 DC 감도와 AC 감도를 증가시키고 가동부의 강성을 증가시켜 유연 모드 주파수를 증가시켜야 한다. 하지만 자기회로의 구동 힘은 가동부의 강성과 밀접하게 연관되어 있어 자기회로의 구동 힘을 증가시키기 위해 자기회로의 크기가 커지면 상대적으로 가동부의 강성은 감소되는 트레이드 오프를 갖게 된다. 즉, 주어진 설계영역 내에서 효과적으로 힘을 증가시키기 위한 자기회로가 필요하며 유연모드 주파수의 감소 없이 효과적으로 가동부의 질량을 줄이기 위한 방법이 요구된다. 먼저, 자기회로의 개선을 위한 실험계획법을 수행하기 이전에 초기 모델을 확보하기 위하여 모드 해석을 수행하였고, 유연모드 주파수의 감소 없이 질량을 줄이기 위하여 해당 모드에 따른 응력해석을 수행하였다. Figure 3은 개념 모델의 비틀림 모드와 굽힘 모드를 Fig. 4는 응력 분포를 보여준다. 유연모드 주파수의 감소 없이 질량을 줄이기 위하여 응력이 상대적으로 약하게 분포되는 영역을 제거하였고 이를 통해 초기 모델을 설계하였다.

#### 3.2 초기 모델의 동특성

Figure 5는 초기모델의 가동부 형상을 보여준다. 초기 모델의 성능을 평가하기 위하여 유한요소해석 프로그램을 사용하여 구동 감도와 유연모드 주파수를 확인하였다. Figure 6은 초기 모델의 유연모드 주파수를 보여주며 Table 2는 자세한 동특성을 보여준다. 차동방식 구동으로 인해 포커싱 방향 구동 힘은 충분히 만족하지만 트랙킹 방향 구동 힘과 유연모드 주파수의 개선이 필요함을 확인하였다.

Table 2 Dynamic characteristics of the initial model

		Unit	Track
Focusing	DC(5Hz)	mm/V	1.15
	AC(200Hz)	μm/V	88.4
Tracking	DC(5Hz)	mm/V	0.91
	AC(200Hz)	μm/V	72.2
Flexible mode frequency	Twist	kHz	18
	Bending	kHz	20.6

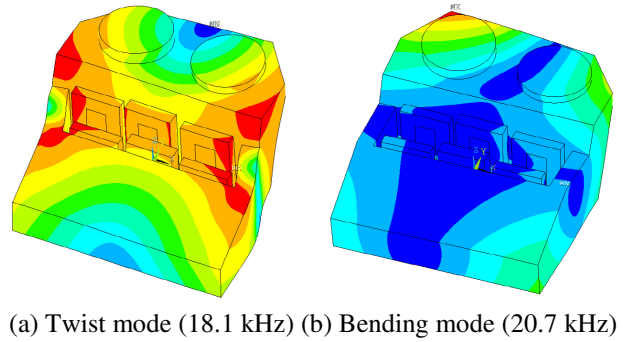
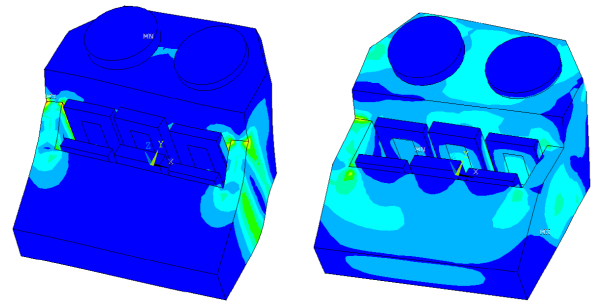


Fig. 3 Flexible mode frequencies



(a) Twist mode (18.1 kHz) (b) Bending mode (20.7 kHz)

Fig. 4 Stress distribution

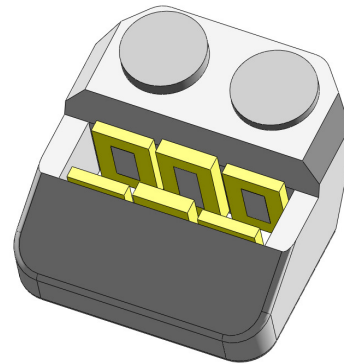
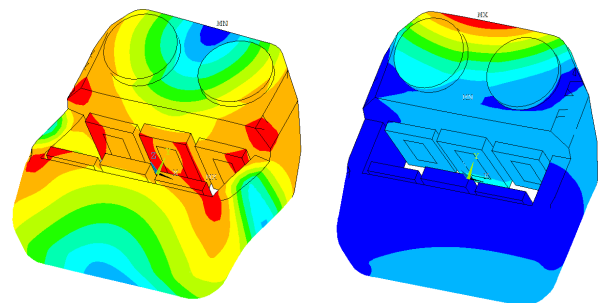


Fig. 5 Moving part of initial model



(a) Twist mode (18.1 kHz) (b) Bending mode (20.6 kHz)

Fig. 6 Flexible mode frequencies of initial model

## 4. 성능 개선

### 4.1 자기회로 개선

포커싱 방향 및 트랙킹 방향 구동 힘을 증가시키기 위하여 Fig. 7 과 같이 설계 변수들을 정하여 실험계획법을 수행하였다. 설계 변수는 액추에이터의 구동 범위와 자기회로간의 간섭을 고려하여 트랙킹 코일과 포커싱 코일의 두께 및 자석의 길이와 두께로 선정하였고 각 설계변수들 간의 영향을 평가하기 위하여 3 수준 완전 요인 배치법을 수행하였다. Table 3 은 설계변수들의 레벨에 따른 값을 보여준다. 해석은 한 쪽 면의 코일만을 고려하여 수행하였다.

Figure 8 은 포커싱 방향 힘을 Fig. 9 는 트랙킹 방향 힘에 대한 주 효과를 Fig. 10 과 Fig. 11 은 교호작용 효과를 보여준다. 포커싱 방향 힘은 변수 B,C,D 에 의한 영향이 가장 크며 트랙킹 방향 힘은 변수 A,D 에 의한 영향이 가장 크며 나머지 변수에는 영향을 받지 않는 것을 확인할 수 있다. 또한, 변수들 간의 교호작용 효과가 발생하는지 확인한 결과 변수들 간의 교호작용은 발생하지 않는 것을 알 수 있었다. 분석된 결과를 통해 각 변수는 A(3 레벨), B(3 레벨), C(3 레벨), D(3 레벨)로 결정하였다. 선택된 설계 변수들의 레벨을 토대로 구동 힘을 확인한 결과 포커싱 방향은 66.4 mN, 트랙킹 방향은 53.6 mN 의 힘으로 초기 모델과 비교하여 포커싱 방향 힘은 8.4 mN 증가하였고, 트랙킹 방향 힘은 7.6 mN 증가하였다.

Table 3 levels of design variables

	Level 1	Level 2	Level 3
A ( mm)	0.4	0.5	0.6
B (mm)	0.4	0.5	0.6
C (mm)	8.0	8.2	8.4
D (mm)	1.7	1.8	1.9

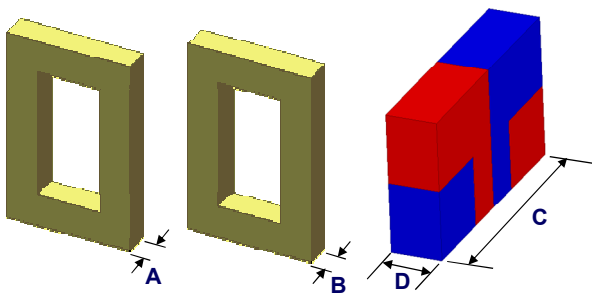


Fig. 7 Design variables for improving driving force

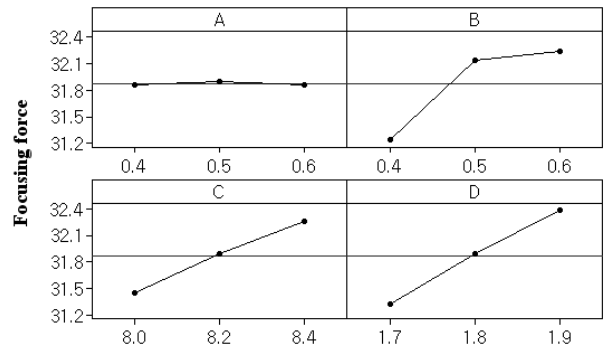


Fig. 8 Main effect plot for focusing force

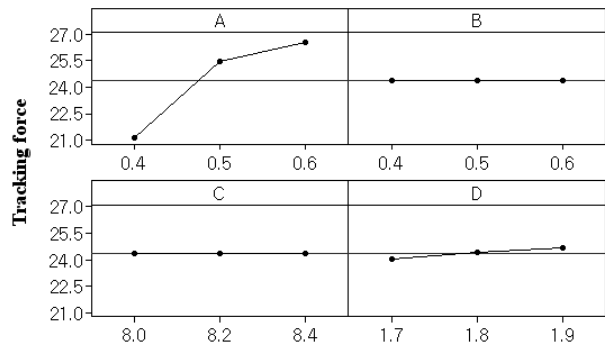


Fig. 9 Main effect plot for tracking force

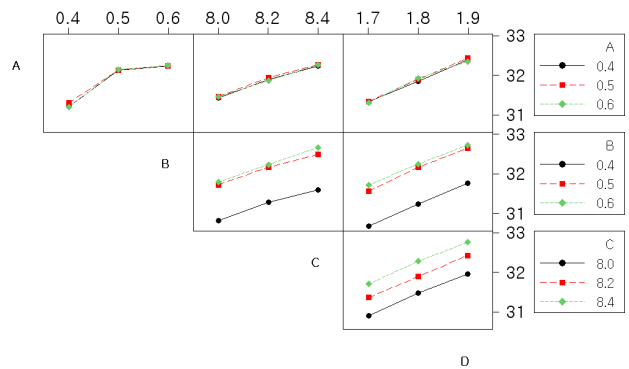


Fig. 10 Interaction plot for focusing force

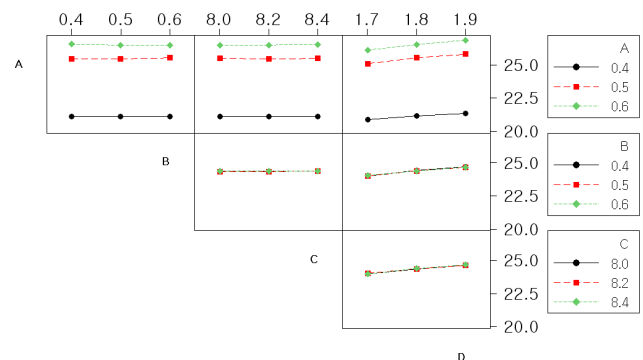


Fig. 11 Interaction plot for tracking force

4.2 구조부 개선

개선된 자기회로를 기반으로 가동부의 유연모드 주파수를 증가시키기 위하여 추가적인 실험계획법을 수행하였다. 유연모드주파수의 경우 가동부의 형상에 따라 모드 트래킹 형상이 발생할 수도 있기 때문에 비틀림 모드와 굽힘 모드 두 가지를 모두를 증가시킬 수 있는 방법으로 진행하였다. 효과적으로 설계변수들을 선정하기 위하여 앞서 살펴본 응력해석의 결과를 토대로 Fig. 12 와 같이 결정하였다. 비틀림 모드의 경우 가동부를 좌우로 비틀는 모드 형상으로 자기회로가 삽입되는 홀에 의해 발생하기 때문에 보다 강성을 증가시킬 수 있도록 변수 A 와 같이 좌우 두께를 증가시키고 변수 C 와 같은 두께로 결정하였고 굽힘 모드는 변수 B 와 같이 렌즈를 포함하고 있는 부분의 두께로 결정하였다. 설계 변수들의 각 레벨은 전체 가동부의 질량을 고려하여 Table 3 과 같이 선정하였다.

Figure 12 는 비틀림 모드의 주 효과를, Fig. 13 은 굽힘 모드의 주 효과를 보여주며, Fig. 15 와 Fig. 16 은 교호작용 효과를 보여준다. 두 가지 주파수 모두 각 변수 A(3 레벨), B(3 레벨), C(3 레벨) 에서 증가하는 것을 확인할 수 있다. 구조부의 두께를 증가시켜 강성이 증가함에 따라 모드 주파수가 개선되는 것을 볼 수 있다. 또한 선택된 설계 변수들로 인해 모드 트래킹 현상은 발생하지 않는 것도 확인할 수 있다.

Table 3 levels of design variables

	Level 1	Level 2	Level 3
A ( mm)	0.85	0.95	1.05
B (mm)	0.7	0.75	0.8
C (mm)	0.4	0.55	0.7

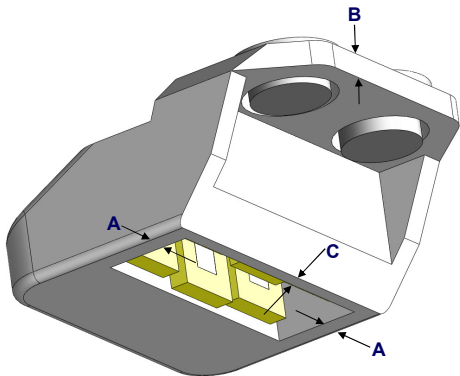


Fig. 12 Design variables for increasing flexible mode frequencies

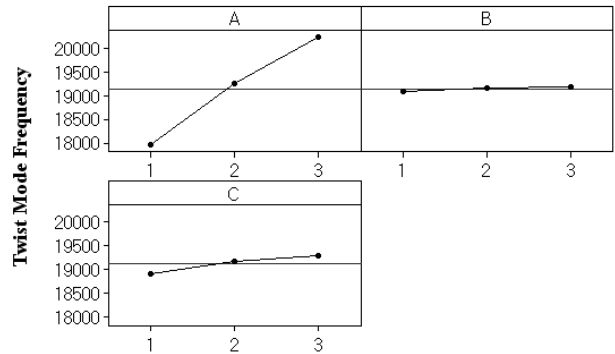


Fig. 13 Main effect plot for twist mode frequency

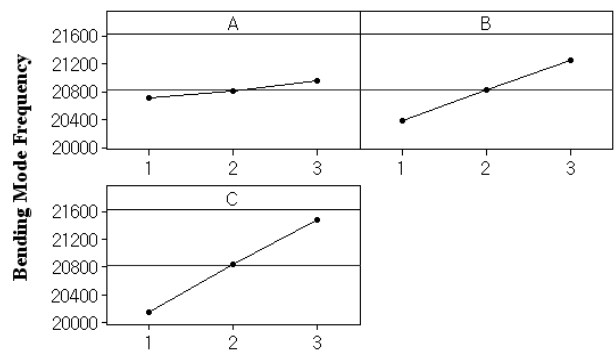


Fig. 14 Main effect plot for bending mode frequency

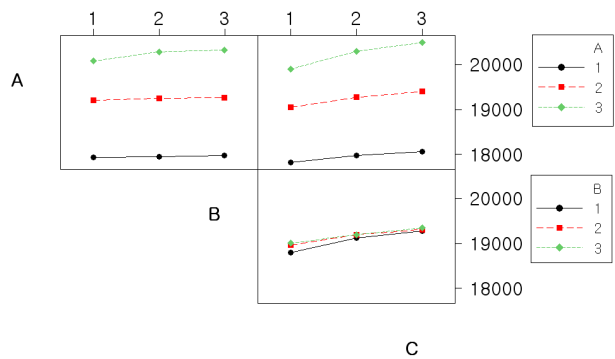


Fig. 15 Interaction plot for twist mode frequency

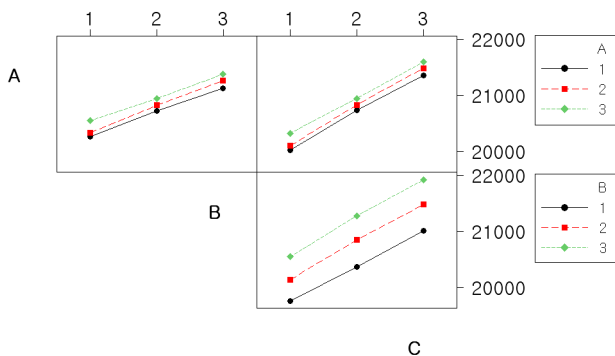
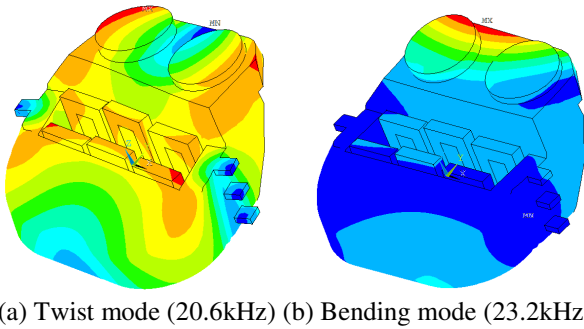


Fig. 16 Interaction plot for bending mode frequency

**Table 2** Dynamic characteristics of the final model

		Unit	Value
Focusing	DC(5Hz)	mm/V	1.31
	AC(200Hz)	μm/V	99.8
Tracking	DC(5Hz)	mm/V	1.05
	AC(200Hz)	μm/V	83.1
Flexible mode frequency	Twist	kHz	20.6
	Bending	kHz	23.2



**Fig. 17** Flexible mode frequencies of final model

### 4.3 최종 모델

실험계획법을 통해 결정된 변수들을 토대로 Table 4 와 같이 최종 모델의 동특성을 확인하였다. 비록 유연모드 주파수의 경우 사양과 비교하여 월등히 높지는 않지만 사양을 만족하는 것을 확인할 수 있다. Figure 17 은 비틀림 모드 및 굽힘 모드 주파수를 보여준다.

## 5. 결론

본 연구에서는 슬림형 BD 에 적용 가능한 비대칭 형상의 듀얼 렌즈 액추에이터의 설계를 제안하였다. 비대칭 형상으로 인한 낮은 유연모드 주파수를 증가시키기 위하여 새로운 형상의 자기회로 및 구동부 형상을 설계하였고, 응력 분포 및 실험 계획법을 통해 구동 감도와 유연모드 주파수를 증가시켰고 최종적으로 사양에 만족할만한 수준의 결과를 확보하였다.

## 후 기

이 논문은 2010 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0000769).

## 참고문헌

- [1] 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
- [2] 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", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol.49, No.8, pp. 08KA02-1-08KA02-2
- [3] Seok Jung KIM, Tae Youn HEOR, Tae Kyung KIM, Young Man AHN, Chong Sam CHUNG and Soo Han PARK, 2005, "High Response Twin-Objective Actuator with Radial Tilt Function for Blu-ray Disc Recorder", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol.44, No.5B, pp.3393-3396
- [4] Byung Youn SONG, Dong Ju LEE, Hyung Joo KANG, Won Ik CHO, Byung Ryul RYOO, Pyong Yong SEONG, Kyung Ho LEE, No Cheol PARK and Young Pil PARK, 2004, "Mechanical Filter on Actuator for System Stability of 9.5mm Drive", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol.43, No.7B, pp.4786-4789