

## 광디스크 드라이브용 3축 초박형 액츄에이터 개발

### Development of the 3-Axis Ultra-slim Actuator for Optical Disc Drives

김 세 원\* · 조 태 민\* · 윤 영 복\*\* · 신 경 식\*\* · 임 경 화\*\*\*

Se-Won Kim, Tae-Min Cho, Young-Bok Yoon, Kyung-Sik Shin, Kyung-Hwa Rim

**Key Words** : 3-Axis Ultra-slim Actuator(3축 초박형 액츄에이터), Optical Disc(광디스크), Electromagnetic Analysis(전자기 해석), Dynamic Characteristics(동특성), Finite Element Method(유한요소법)

#### ABSTRACT

A note-book PC has become thinner in recent years. And optical disc drives are required to have high memory capacity. Therefore, the actuator of optical disc drives must be thinner and have disc tilt compensation function for high density memory. In this paper, the hybrid type actuator is investigated for 3-axis ultra-slim actuator. A 3-axis ultra-slim actuator is designed by using the modal analysis of the actuator and the electromagnetic analysis of magnetic circuit to achieve dynamic characteristics and magnetic flux density for high sensitivity, respectively. Also, magnetic force between tilt magnet and tilt yoke is investigated to find the influence on the DC sensitivity in the focus and track directions.

#### 1. 서 론

최근 정보화 기술의 발달로 광디스크 드라이브, 하드디스크 드라이브 등 대용량 데이터 저장장치의 필요성이 급격히 증가하고 있다.<sup>(1)</sup> 그중에서도 데이터 이동성이 뛰어난 CD, DVD, BD(blue-ray disc), AOD(advanced optical disc)와 같은 광디스크 드라이브의 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>(2~4)</sup> 이러한 광디스크 드라이브는 고용량 및 휴대성을 위하여 고밀속화, 고밀도화, 슬림(slim)화 되고 있다. 고밀도를 이루기 위해서는 대물렌즈(objective lens)의 개구수(Numerical Aperture, NA)를 높이고 레이저의 파장을 짧게 하여 광 스팟(spot)의 크기를 작게 하여야 한다. 하지만 이로 인하여 디스크와 대물렌즈 광축간의 직각 특성 변화로 인해 발생하는 코마수차(comma aberration)가 증가하기 때문에 광학신호의 열화가 발생한다. 따라서 광학신호의 열화를 보상하기 위해 좀더 정밀한 기구 부품제작 및 조립 관리가 필요하지만 이는 한계가 있기 때문에 능동적으로 디스크의 틸트(tilt)를 보정할 필요가 있다. 이에 대한 연구로

기존의 2축 액츄에이터(actuator)에 디스크 틸트를 보정하기 위하여 틸트 구동을 추가시킨 3축 액츄에이터의 개발이 활발히 이루어지고 있다.<sup>(5~11)</sup> 또한 드라이브의 슬림화 구조로 인해 액츄에이터의 높이가 기구적으로 제한을 받게 되어 균일한 자속밀도(magnetic flux density)의 구간을 확보하기가 어렵고, 액츄에이터 보빈(bobbin)의 구조가 기존의 대칭형(symmetric) 구조와 달리 대물렌즈 밑에 위치하는 반사거울(reflective mirror)을 보빈의 안쪽에 위치시키면서 동특성이 나쁜 비대칭형(asymmetric) 구조를 이루게 된다. 따라서 비대칭형 구조로 인해 발생하는 부공진(sub-resonance)의 원인 규명과 이를 해결하기 위한 연구가 진행되고 있다.<sup>(12)</sup>

본 연구는 기존 노트북보다 더 얇아진 슬림형 노트북에 사용되는 고밀도용 광디스크 드라이브의 액츄에이터 개발을 목표로 하여 기존의 3축 박형 액츄에이터보다 더욱 제한된 높이의 3축 초박형 액츄에이터에 관한 연구를 수행하였다. 기존의 2축 초박형 액츄에이터를 기반으로 감도계산을 위한 전자기해석(electromagnetic analysis)과 동특성 파악을 위한 모드해석(modal analysis) 및 주파수 응답함수 해석(frequency response function analysis)을 수행하여 3축 초박형 액츄에이터의 설계안을 제시하였고, 상용 유한요소 해석 프로그램을 이용하여 그 성능을 확인하였다.

\* 한국기술교육대학교 대학원

E-mail : ksw@kut.ac.kr

Tel : (041)530-1147, Fax : (041)530-1253

\*\* 삼성전기 광디바이스 사업부

\*\*\* 한국기술교육대학교 제어시스템공학과

## 2. 3축 초박형 액츄에이터의 기본형태

3축 액츄에이터는 여러 가지 형태가 제안되고 있지만 구동방식 측면에서 3가지의 형태가 연구되고 있다. 6개의 와이어로 지지된 가동코일형(moving coil type)과 코일이 액츄에이터의 베이스에 고정되고 구동부에 영구자석을 결합시킨 가동자석형(moving magnet type), 가동코일형과 가동자석형의 장단점을 결합시킨 혼합형(hybrid type)이다. 가동코일형은 구동부의 질량이 가볍고 자기회로가 폐루프를 유지하지만 코일에 전류를 인가하기 위해 6개의 와이어를 연결해야 하므로 제품의 조립성이 나빠지는 단점을 갖는다. 이에 비해 가동자석형은 코일 부분이 액츄에이터의 베이스에 고정되어 있기 때문에 전류인가를 위한 배선이 용이하지만 자기회로가 폐회로를 구성하지 못하고 영구자석으로 인해 구동부의 질량이 증가하므로 가동코일형에 비해 구동감도가 작고 소형화하기가 어렵다. 마지막으로 혼합형은 틸트 코일이 액츄에이터의 베이스에 고정되므로 코일 감응수의 증가가 용이하며 기존의 4-와이어 형태로 지지하므로 제품의 조립성이 좋다. 하지만 틸트 구동을 위한 자기회로가 폐루프를 이루지 못하고 틸트 자석과 틸트 요크 간에 흡인력이 발생하여 포커스와 트랙 방향의 DC감도(DC sensitivity)를 저하시킨다.<sup>(10)</sup> 이에 본 연구에서는 이러한 각 형태의 장단점을 고려하여 조립 및 생산성의 측면에서 유리한 혼합 형태를 3축 초박형 액츄에이터의 기본 형태로 결정하였으며 그 형태는 Fig. 1과 같다.

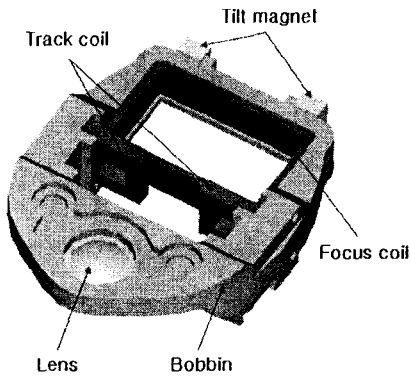


Fig. 1 3-axis ultra-slim actuator

기본 형태는 기존의 4-와이어 형태의 비대칭 구조인 2축 초박형 액츄에이터를 따르고 있지만 보빈에 틸트 자석을 추가해야 하므로 구동감도와 질량중심, 동특성 등을 고려하여 요구되는 구동 성능을 만족하도록 설계하여야 한다.

## 3. 3축 초박형 액츄에이터의 설계

### 3.1 액츄에이터 물성치의 모달 튜닝

액츄에이터 설계를 하기 위해서는 전자기해석, 흡인력해석, 모드해석 등을 수행하게 되는데 해석에 필요한 재료 물성치를 도출하기 위해 액츄에이터의 실험환경이 구축되어야 한다. 액츄에이터의 구동특성을 파악하고 실험조건을 검증하기 위해 Fig. 2와 같이 기존의 2축 초박형 액츄에이터의 실험을 수행하였다. 입력신호는 신호발생기(function generator)로 전압을 입력하였고 출력신호는 액츄에이터의 주 관심 지점인 대물렌즈의 중앙 부분에 반사지를 붙여 LDV(laser doppler vibrometer)로 변위를 측정하였다. 입력력 신호를 신호분석기(HP-35670A)에 연결하여 전압 입력에 대한 변위 출력의 주파수 응답함수를 구하였다.

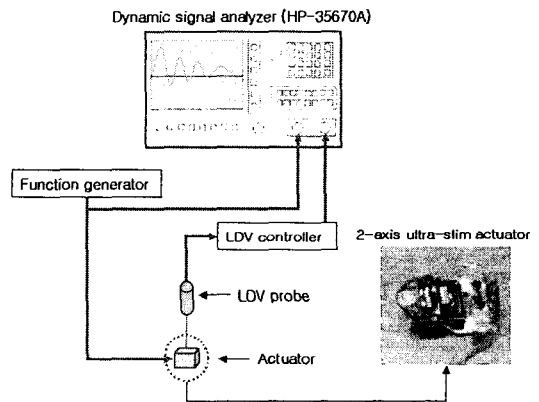


Fig. 2 Schematic diagram of experiment

Fig. 3은 기존 2축 초박형 액츄에이터의 포커스 방향 주파수 응답함수이다. 68 Hz에서 포커스 방향 강체 고유진동수가 검출되었으며, 16.9 kHz와 21.2 kHz에서 각각 보빈의 포커스 방향과 트랙 방향의 유연 모드(flexible mode)가 검출되었다.

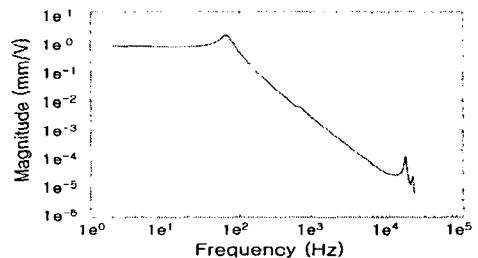


Fig. 3 Experiment of FRF in focus direction

그리고 상용 유한요소해석 프로그램인 MSC/NASTRAN을 이용하여 액츄에이터의 시뮬레이션을 수행하였다. 재료 물성치는 일반적으로 알려진 값을 초기치로 이용하였다. 시뮬레이션 결과 실험적으로 구한 고유진동수 및 감도와 차이를 보였다. 따라서 재료의 강성을 변경시켜가면서 모드해석을 수행하여 실험적으로 구한 고유진동수와 비교하였다. 그리고 재료의 감쇠 계수를 변경시켜가면서 주파수 응답함수 해석을 수행하여 실험적으로 구한 액츄에이터의 구동감도와 비교하였다. 기존 제품의 실험과 해석을 통해 주요 물성치의 튜닝(tuning)을 수행한 결과 알려진 재료 물성치의 값과 다소 차이가 있음을 확인하였다. 이것은 사출공정을 통하여 제작되는 보빈의 특성과 적층이 되어 이방성 재료의 특성을 가지는 코일, 그리고 접합체의 불명확한 물성치에 기인한 것으로 판단된다. Table 1과 2는 튜닝된 물성치를 사용하여 구한 시뮬레이션 결과와 실험 결과를 비교한 것이다.

비교 결과 실험치와 시뮬레이션 결과가 거의 일치하는 것으로 나타나 물성치의 튜닝이 적절히 수행된 것을 확인할 수 있다.

Table 1 Modal parameters of experiment and FEM

Mode shape	Natural frequency	
	Experiment	FEM
Focus	68 Hz	67.8 Hz
Track	68 Hz	67.8 Hz
Tilt	-	112 Hz
Bobbin tilt flexible	-	15.4 kHz
Bobbin focus flexible	16.9 kHz	17.5 kHz
Bobbin track flexible	21.2 kHz	21.2 kHz

Table 2 Dynamic characteristics of focus direction

Items	Experiment	FEM
1st natural frequency (Hz)	68	67.8
DC sensitivity (mm/V)	0.65	0.64
Q factor (dB)	8.4	8.4
AC sensitivity ( $\mu\text{m}/\text{V}$ at 200 Hz)	64.4	89.4
2nd natural frequency (kHz)	16.9	17.5
Gain margin (dB)		
{Gain difference 2nd natural frequency and 1 kHz}	28.6	29.5

### 3.2 전자기해석 및 흡인력 분석

#### (1) 전자기해석

액츄에이터의 구동감도 확보여부를 알기 위해서는 자속밀도의 분포를 알아야 하는데 이를 위해 상용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 3차원으로 자기회로에 대한 해석을 수행하였으며 자기회로의 모델은 Fig. 4와 같다.

Fig. 4의 자기회로를 해석하여 포커스, 트랙 영구자석 사이의 자속밀도 분포를 Fig. 5에, 틸트 영구자석과 틸트 요크 사이의 자속밀도 분포를 Fig. 6에 나타내었으며 확보된 자속밀도 값과 보빈의 이동(shift)에 따른 자속밀도의 특성을 Table 3에 나타내었다.

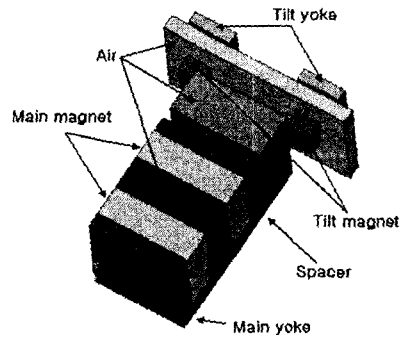


Fig. 4 Modeling of magnetic circuit

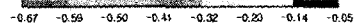
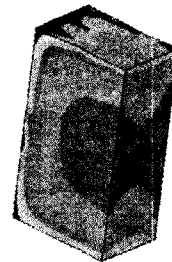


Fig. 5 Magnetic flux density distribution of air gap between main magnet and yoke



Fig. 6 Magnetic flux density distribution of air gap between tilt magnet and tilt yoke

Table 3 Magnetic flux density at focus, track and tilt coil

Shift (mm)		Focus coil (Tesla)	Track coil(Tesla)		Tilt coil (Tesla)
Focus	Track		left	right	
0	0	0.54	0.44	0.44	0.097
0.4	0	0.52	0.43	0.43	0.097
0	0.2	0.54	0.37	0.49	0.094
0.4	0.2	0.52	0.37	0.49	0.094

Table 3에서 보빈의 이동양은 균일한 자속밀도값이 요구되는 범위로 적용하였다. 포커스 코일은 0.53(Tesla)을 기준으로 이동범위 내에서 약 1.9%의 오차를 가지며 트랙 코일은 트랙 방향의 이동에 따라 많은 변화를 보이지만 두개의 트랙 코일을 고려하였을 때 0.435(Tesla)를 기준으로 이동범위 내에서 약 1.1%의 오차를 갖는다. 또한 틸트 코일은 0.095(Tesla)를 기준으로 이동범위 내에서 약 2.1%의 오차를 갖는다. 따라서 균일한 자속밀도를 확보하였다는 것을 알 수 있다.

(2) 흡인력 분석

2축 액츄에이터에 틸트 구동을 추가하면서 틸트 자석과 틸트 요크 간에 발생하는 자기력(magnetic force)에 의해 포커스, 트랙 방향의 DC감도가 저하된다. 따라서 전자기 해석 결과로부터 보빈의 이동에 따라 틸트자석에 작용하는 자기력의 변화를 살펴보고 그 결과를 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 7과 Fig. 8로부터 보빈의 이동 방향에 따라 이동 방향의 자기력이 커짐으로써 액츄에이터의 DC감도에 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 또한 틸트 요크의 폭 변화에 따라 포커스 방향의 이동 특성은 변화가 적지만 트랙 방향의 이동 특성은 변화가 많음을 알 수 있다. 그러므로 틸트 요크의 폭을 확장하면 흡인력에 의한 트랙방향의 DC감도 저하를 감소시킬 수 있음을 알 수 있다. 그러나 구조적인 문제와 틸트 코일 저항 증가 등을 고려하여 최종적으로 틸트 요크의 폭을 결정하여야 한다.

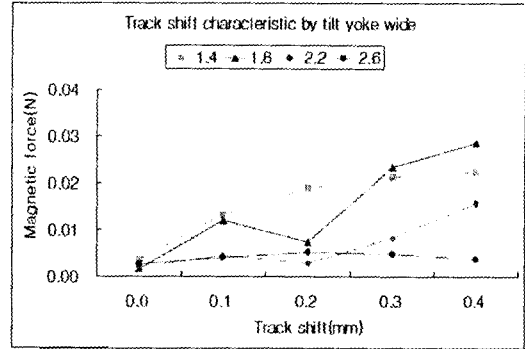


Fig. 8 Track shift characteristic by tilt yoke width

3.3 동특성 분석

액츄에이터의 동특성 파악을 위하여 모드해석과 주파수 응답함수 해석을 수행하였다. 이를 통하여 강제 고유진동수와 보빈의 유연 모드를 구하여 DC 및 AC 감도와 게인마진(gain margin)을 확인할 수 있다. 액츄에이터의 시뮬레이션을 위하여 3D 모델링을 수행하였다.

모드해석을 수행한 결과 액츄에이터의 포커스, 트랙, 틸트 방향의 강제모드는 각각 60 Hz, 60 Hz, 104 Hz로 나타났다. Fig. 9 ~ Fig. 11은 보빈의 틸트, 포커스, 트랙 방향의 유연 모드를 나타낸 것이다.

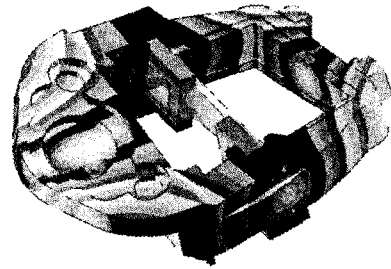


Fig. 9 Bobbin tilt flexible mode (14.7 kHz)

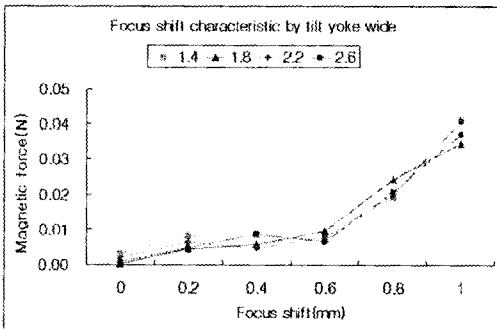


Fig. 7 Focus shift characteristic by tilt yoke width

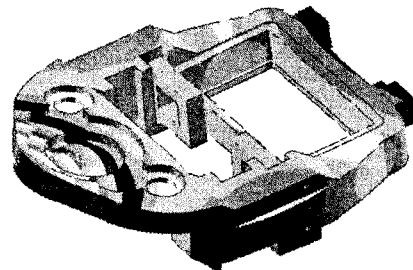


Fig. 10 Bobbin focus flexible mode (20.7 kHz)

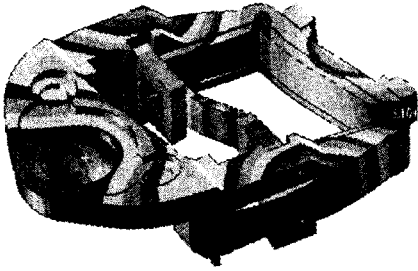


Fig. 11 Bobbin track flexible mode (20.9 kHz)

대물렌즈가 부착되어 있는 보빈의 경우, 고주파수 대역에서 불필요한 진동의 발생이 없도록 하기 위하여 보빈의 유연 모드는 가능한 고주파수에 위치해야 한다. 보빈의 유연 모드 중 포커스, 트랙 모드는 20 kHz 이상의 고주파수 영역에 존재하였으나, 틸트 자석의 부착으로 인하여 틸트 모드는 이보다 낮은 고유진동수를 가짐을 확인하였다.

이와 같은 모드해석 결과를 바탕으로 액츄에이터의 포커스, 트랙, 틸트 방향의 주파수 응답함수 해석을 수행하였다. 포커스 코일, 트랙 코일, 틸트 자석의 중앙에서 각각의 방향으로 하중을 가하였으며 출력점은 렌즈의 중앙지점을 선정하였다. Fig. 12 ~ Fig. 14는 액츄에이터의 포커스, 트랙, 틸트 방향의 주파수 응답함수 해석결과를 나타낸 것이다. 각 구동방향의 주파수 응답함수는 부공진 없이 안정된 동특성을 나타내고 있다. 이것은 액츄에이터의 모델링 과정에서 질량중심과 지지중심 그리고 하중중심점을 각각 일치시켰기 때문이다.

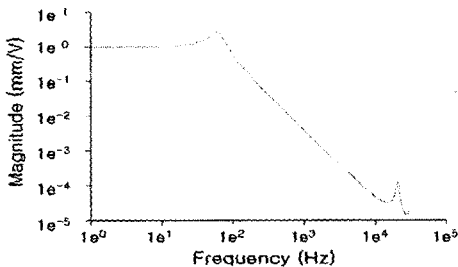


Fig. 12 FRF of focus direction

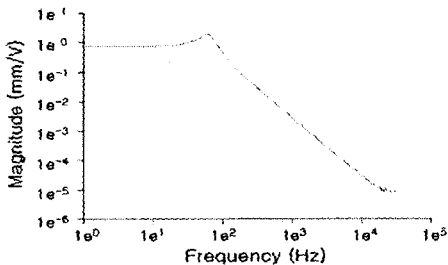


Fig. 13 FRF of track direction

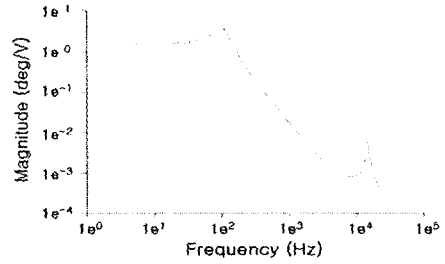


Fig. 14 FRF of tilt direction

3축 초박형 액츄에이터의 동특성 해석결과, 3방향으로 적절한 DC, AC 감도를 가지며 서보 대역폭(servo bandwidth) 확보에 중요한 변수인 계인마진도 만족할 만한 값을 지남을 확인할 수 있었다. 한편 액츄에이터의 구동감도는 틸트 자석과 요크 간의 흡인력에 의하여 다소 감소될 수 있다.

#### 4. 결론

3축 초박형 액츄에이터의 구동방식을 혼합형으로 선택하였으며, 상용 유한요소해석 프로그램을 이용한 모달 해석과 전자기해석을 통하여 요구되는 3축 초박형 액츄에이터의 구동성능을 만족하도록 설계하였고 포커스, 트랙 코일 지속밀도의 이동특성을 확인하였다. 또한 포커스와 트랙 방향의 DC감도에 영향을 주는 틸트 자석과 틸트 요크 간의 흡인력을 분석하였고 정확한 유한요소해석을 위해 모달 튜닝을 이용한 방법으로 주요 물성치를 도출하였다. 최종적으로 설계된 모델의 시뮬레이션을 통하여 액츄에이터의 구동성능을 확인하였다.

#### 후 기

본 연구는 삼성전기(주)의 지원을 받아 수행되었으며 이에 관계자에게 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- (1) 안채현, 임경화, 2003, "근접장 광기록용 슬라이더의 동특성 분석," 한국소음진동공학회논문집, 제 13 권, 제 3 호, pp. 164~171.
- (2) 김석중, 이용훈, 손용기, 이철우, 임경화, 1998, "고밀도 기록용 광픽업의 정밀 액츄에이터 동특성 연구," 한국소음진동공학회논문집, 제 8 권, 제 1 호, pp. 87~98.
- (3) 김석중, 이용훈, 최한국, 2000, "고밀도 광저장 기기용 틸트 액츄에이터 동특성 분석 및 평가," 한국소음진동공학회논문집, 제 10 권, 제 4 호, pp. 584~595.
- (4) 송병환, 신경식, 김진기, 남도선, 성평용, 이주형, 2001, "자성유체 댐퍼를 이용한 광픽업 액츄에이터의 동특성 개

선,” 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp. 496~503.

(5) 김철진, 이경택, 신창훈, 박노철, 박영필, 2002, “틸트 제어를 위한 하이브리드형 광픽업 구동기에 대한 연구,” 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp. 782~787.

(6) 정호섭, 이호철, 윤용한, 2002, “기록용 고밀도 광디스크를 위한 박형 틸트 구동기,” 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp. 788~793.

(7) 박관우, 서민석, 홍삼열, 김영중, 최인호, 김진용, 2002, “3축 구동이 가능한 Slim 형 Pick-Up Actuator 개발 및 동특성 분석,” 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp. 373~377.

(8) Junya Aso, Takashi Haruguchi, Shogo Horinouchi, 2002, “High Response Actuator with Tilt Function for 12.7mm slim Optical Disc Drives,” Hawaii, ISOM/ODS 2002, July, pp. 326~328

(9) 정영민, 이진원, 김광, 2002, “슬림광디스크드라이브를 위한 고감도 3축구동 액추에이터,” 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp. 1000~1003.

(10) Hocheol LEE, Hoseop JEONG, Dongju LEE, Nocheol PARK, Youngpil PARK, 2003, “DESIGN AND OPTIMIZATION OF ACTUATOR FOR MICRO OPTICAL DISK DRIVE,” IIP/ISPS Joint MIPE '03, June 16~18, Yokohama, Japan, pp. 273~274.

(11) In-Ho Choi, Sam-Nyol Hong, Young-Joong Kim, Gina Kim, Hyun-Jun Kim and Jin-Yong Kim, 2003, “New 3-Axis Optical Pickup Actuator For High-Density Rewritable System,” ODS, pp. 259~261.

(12) 서진규, 정호섭, 박기환, 2000, “광 픽업 액추에이터의 부공진 원인 규명과 저감화,” 대한기계학회논문집 A권, 제 24 권, 제 3 호, pp. 728~734.