

# 압전소자를 이용한 다중빔 광디스크용 빔 회전 구동기

김병준\*, 김수현\*\*, 곽윤근\*\*

## Piezoelectric Beam Rotating Actuator for Multiple Beam Disk Drives

B. J. Kim\*, S. H. Kim\*\*, Y. K. Kwak\*\*

### ABSTRACT

A multi-beam optical disk drive is presented as a method for improving the effective data transfer rate by increasing the beam spot number formed on an optical disk. The beam rotating actuator is necessary for putting multi-beam on more than one track. The beam rotating actuator is made up of piezoelectric material, high stiffness wire hinge and dove prism. The actuator has good frequency response above 1kHz and suitable operational range. The dynamic equation for the actuator is derived.

**Key Words :** Multiple beam (다중광선), Multi-beam optical disk drive (다중빔 광디스크 드라이브), SEL(표면방사레이저), Beam rotating actuator(빔회전구동기), Piezoelectric material (압전소자), Dove prism(도브 프리즘)

### 1. 서 론

정보 기록 매체 중 레이저 광원을 이용해서 디스크의 트랙에 기하학적 형태로 정보를 기록하거나 재생하는 광디스크 시스템은 대용량의 기록 매체로써 현재 오디오나 비디오, 컴퓨터의 보조 기억장치로 널리 활용 되고 있다. 따라서 고속, 고용량의 데이터 전송 능력을 갖는 광디스크 드라이브의 개발은 정보화 시대에 있어 필수적이라 할 수 있다.<sup>(1)(2)(3)</sup>

기존의 광 디스크 드라이브의 성능 향상의 한계가 예견되어 일부에서는 다중빔을 이용한 광디스크 드라이브 연구가 수행되고 있다. 이것은 현재 상용화 되어있는 광디스크드라이브의 헤드가 단일 광원을 사용하는데 반하여, 여러 빔을 동시에 디

스크의 트랙에 조사하여 여러 트랙에 기록된 정보를 빠르게 읽어 들이는 기술로 이를 구현하기 위하여는 조사된 다중빔이 디스크면에서 회전할 수 있도록 하는 빔 회전 구동기등 특수한 광학 부품들이 설계되어 장착되는 것이 필요하다.<sup>(4)(8)</sup>

본 연구에서는 이러한 다중빔 광디스크드라이브에 적용될 빔 회전 구동기를 제안하고자 한다. 본 연구에서는 소형이면서도 수 마이크로미터 이내의 작동 정밀도를 갖는 압전 소자를 이용하여 간단한 구조를 갖는 압전형 빔 회전 구동기를 설계 하여 이의 성능과 특성을 나타내었다. 적용될 다중 광 디스크 시스템을 분석하여 구동기의 구동범위와 정밀도를 결정하였으며 이를 실험적으로 검증하고 구동기의 주파수 대역과 운동 특성 방정식을 계산 하였다.

\* 한국과학기술원 기계공학과, 대학원

\*\* 한국과학기술원 기계공학과

## 2. 빔 회전 구동기

### 2.1 압전 소자

빔 회전 구동기에 사용된 압전 소자는 Tokin 社의 NEPEC-10 압전 세라믹을 적층한 NLA-5×5×18 을 사용하였다. 그림 1 은 적층형 압전 소자의 모습을 나타낸 그림이다.

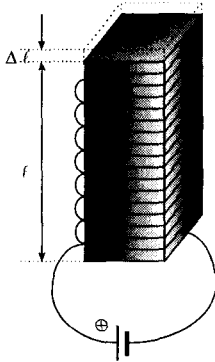


Fig. 1 Shape of piezoelectric material

적층형 압전 소자는 115 $\mu\text{m}$  두께의 압전 세라믹 144 층과 내부 전극을 고체 소결(solid sintering)법에 의해 교대로 접합 시켜서 만들어졌고, 에폭시 접착제로 코팅 되었다. 압전 소자의 최대 구동 전압은 100V 직류이며 자유 상태(free end condition)에서의 변위량은 15.0 $\mu\text{m}/100\text{V}$ , 변위 제한 시에 87kgf/cm<sup>2</sup>의 힘을 발생시키고 정전용량 (static capacitance)은 650nF 이다. 압전 소자의 강성 계수는 단위 전압당 변위 신장에 해당하는 압전상수 ( $D_{33}$ ), 압전소자의 탄성상수 ( $C_{33}^E$ ), 면적(A), 두께( $l$ ) 등에 의해 결정되며 구동 전압에 의해 발생하는 구동력과 변위 길이는 각각 식(1)과 식(2)로 유도 된다.<sup>(5)</sup>

$$F = AC_{33}^E D_{33} \frac{\Delta V}{t} \dots\dots\dots(1)$$

$$\Delta \ell = n \Delta t = n D_{33} V = \frac{\ell}{t} D_{33} V$$

$$= E D_{33} V \dots\dots\dots(2)$$

$$= [\text{Field strength}] \frac{V}{t}$$

압전 소자를 교류로 구동하기 위해서는 분극이

역전 되는 것을 방지하기 위해 직류 바이어스 (direct current bias)를 중첩 시켜야 한다.<sup>(7)</sup> 표 1 와 표 2 는 압전 소자의 성능과 물성치를 나타낸다.

Table 1 Piezoelectric element (NLA-5\*5\*1)

|                        |                   |
|------------------------|-------------------|
| Max. operation voltage | 100V              |
| Displacement           | 6.5 $\mu\text{m}$ |
| Force generation       | 87kgf             |
| Static capacitance     | 650nF             |

Table 2 Piezoelectric ceramics NEPEC-10

|   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| Relative dielectric Constant ( $\epsilon_{33}^T / \epsilon_0$ ) | 5440                              |
| Electromechanical Coupling constant ( $K_{33}$ )                | 0.68                              |
| Elastic constant ( $C_{33}^E$ )                                 | 5.5 $\times 10^{10} \text{N/m}^2$ |
| Piezoelectric constant( $D_{33}$ )                              | 635 $\times 10^{-12} \text{m/V}$  |

### 2.2 탄성 조인트의 설계

압전 소자의 직선 변위 운동을 회전 운동으로 변환하기 위해선 압전 소자의 끝부분을 도브프리즘에 피봇 하여 접착하여야 한다. 하지만 이 경우 접착 부위에 과중한 전단을 가하지 않고 일반적인 기계 조인트에서 발생하는 백래쉬(back-lash)를 줄이기 위해 강성을 지니면서 기계적 조인트의 역할을 하는 탄성 관절을 사용하는 것이 바람직하다.<sup>(6)</sup>

탄성 관절은 3 방향의 자유도를 갖으며 0.5mm 직경을 가지는 열처리된 고강성 텅스텐 와이어를 아크릴 사이에 몰입하여 압전 소자의 직선 운동이 구동기의 회전 운동으로 쉽게 전환될 수 있도록 하였다. 그림 2 는 탄성 조인트를 부착한 압전형 직선 운동 구동기이다.

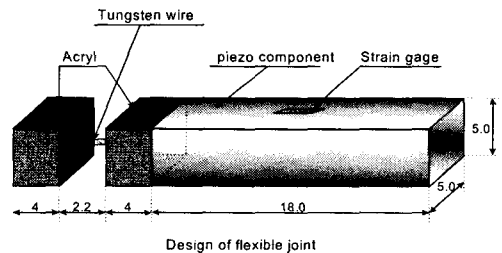


Fig. 2 Linear actuator with flexible joint

압전 소자가 발생하는 변위를 정확히 측정하기

위하여 Kyowa 社의 KFG-1-120-C1-11L1M2R 스트레인 게이지(strain gage)를 부착하였다. 스트레인 게이지의 길이는 1mm, 저항  $119.6 \pm 0.4\Omega$ , Gage factor 는 2.13 이며 스트레인 게이지의 접착에는 Cyano-acrylate Based Adhesive 를 이용하였다.

### 2.3 구동 시스템과 구동기의 작동범위

압전 소자를 구동하기 위한 100V 의 직류전압을 발생시키기 위해 고전압 증폭기(High Voltage Amplifier)를 구성하여 사용하였다. 압전소자에 주파수 5Hz 의 0V 에서 85V 까지의 전압을 인가 하였을 경우 압전 소자의 이력 곡선을 그림 3 과 같이 얻을 수 있었다.

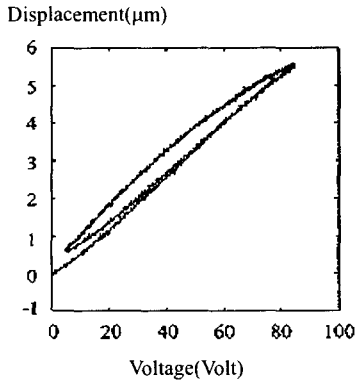


Fig. 3 Hysteresis curve of piezoelectric element

도브프리즘은 멀티빔을 사용한 광 디스크 드라이브가 일반적인 광 디스크 드라이브와 구별되는 가장 큰 특징이다. 멀티빔을 항상 디스크의 트랙에 정확히 포커싱 하면서 정렬을 하기 위해서는 일렬로 늘어선 빔들을 디스크의 안쪽과 밖의 곡률 차이에 따라서 다른 각도로 틀어주어야만 한다. 이 때에 사용되어지는 것이 빔 회전 구동기이며 많은 경우에 있어서는 도브프리즘이 사용되어지고 있다. 하지만 광선이 빔 회전 구동기를 통과하고 난 후에 일정한 간격을 유지하면서도 상의 일그러짐을 제거하기 위해서는 광선이 도브프리즘을 통과하기 전에 무한사양(無限仕樣)인 광축에 대해 평행하게 만들어져야 하며 이때 빔이 광디스크 면의 안쪽과 바깥쪽의 트랙에서의 곡률 차이를 극복하고 제대로 트랙에 정렬이 되게 하여야 한다. 다중빔 광디스크 시스템과 다중빔이 디스크 시스템에서 정렬되는 모양을 그림 4 에 나타내었다.

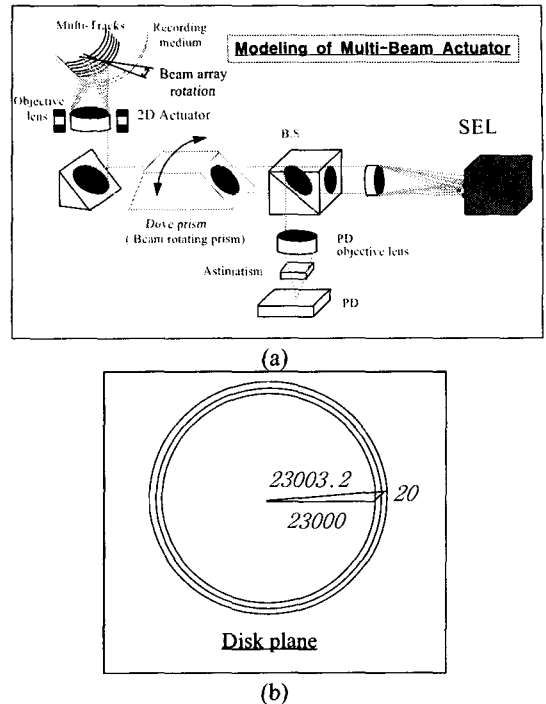


Fig. 4 Multi-beam optical disk drive system & beam orientation

그림 4 (b)에서와 같이 디스크의 안쪽 영역에서와 바깥쪽에서의 빔의 정렬에 의한 도브 프리즘의 회전 각도 범위를 살펴보면 다음과 같다. 디스크에서의 빔 간격을  $10\mu\text{m}$ 로 가정하면 3-beam 일 경우 빔의 총 간격은  $20\mu\text{m}$  이고 CD-ROM 의 경우 데이터가 기록된 가장 안쪽 곡률반경이 23mm 가장 바깥 영역이 58mm 이다. 데이터가 기록된 트랙 사이의 간격은  $1.6\mu\text{m}$  이므로 코사인 제 2 법칙에 의하여 안쪽과 바깥에의 빔과 트랙과의 정렬 각도  $\theta$ 는 식(3)와 식 (4)와같이 주어진다.

$$\theta_{inner} = \cos^{-1} \frac{23000^2 + 20^2 - 23003.2^2}{2 \times 20 \times 23000} \dots\dots\dots(3)$$

$$\theta_{outer} = \cos^{-1} \frac{58000^2 + 20^2 - 58003.2^2}{2 \times 20 \times 58000} \dots\dots\dots(4)$$

따라서 정렬 각도의 차이는 식 (3)과 (4)의 차이 값인  $\Delta\theta_1 = \theta_{outer} - \theta_{inner} = 0.015^\circ$  로 구하여진다. 여기에 디스크의 최대 트랙링 오차  $0.03\mu\text{m}$  와 디스크면에서의 레이저 광원의 간격  $16\mu\text{m}$  를 고려한

변위각,  $\Delta\theta_2$ 는 식(5)로 나타내어 진다.

$$\Delta\theta_2 = \sin^{-1} \frac{0.03\mu\text{m}}{16\mu\text{m}} = 0.107^\circ \dots\dots\dots(5)$$

따라서 총 변위각,  $\Delta\theta_{total}$ 는 식(6)으로 표시되며, 구동기의 작동 변위각은 이의 절반인  $0.061^\circ$ 가 요구된다.

$$\Delta\theta_{total} = \Delta\theta_1 + \Delta\theta_2 = 0.122^\circ \dots\dots\dots(6)$$

### 2.4 빔 회전 구동기

압전 소자, 도브 프리즘, 그리고 압전 소자의 이력 현상을 보상해줄 판 스프링으로 구성된 정밀 빔 회전 구동기를 그림 5 와 같은 구조로 설계 하여 제작 하였다.

구동기는 압전 소자에서 발생하는 길이 방향의 변위를 우리가 원하는 만큼의 각도 변위로 변환하기 위하여 피봇 되는 판 스프링의 길이  $\lambda_2$ 와 광축으로부터 압전 소자가 접착되는 위치까지의 거리  $\lambda_1$ , 변위  $\Delta\lambda$ , 변위각  $\Delta\theta$ 의 관계는 식 (7)으로 유도 되어진다.

$$\Delta\theta = \tan^{-1} \left( \frac{\lambda_2 + \Delta\lambda}{\lambda_1} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right) \dots\dots\dots(7)$$

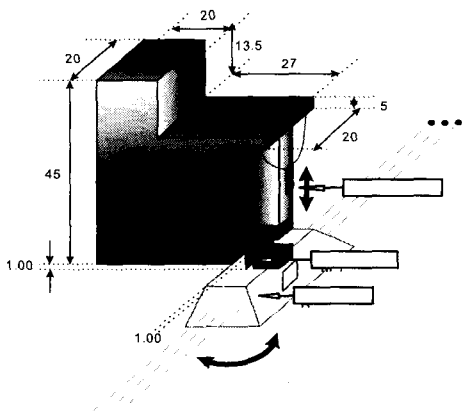


Fig. 5 Beam rotating actuator

빔 회전 구동기의 몸체는 압전시 발생하는 변위를 충분히 견딜만한 스테인리스 스틸 (stainless

steel)을 재료로 사용했다. 압전 소자와 몸체 간에 에폭시 레진으로 접착 되었고 도브프리즘과 압전 소자 사이엔 텅스텐 와이어(tungsten wire)를 삽입한 탄성 관절을 부착했고 이 관절은 아크릴 몸체를 포함해서 8.2mm의 길이를 갖는다. 그림 6은 최종 조립된 빔 회전 구동기의 모습을 나타낸다.

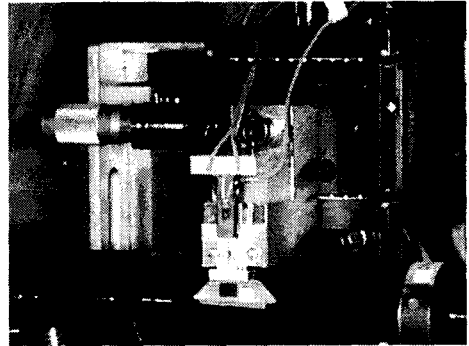


Fig. 6 Beam rotating actuator

## 3. 실험 결과

### 3.1 빔 회전 특성 측정

완성된 빔 회전 구동기가 표면방사레이저 소자(SEL)에서 나온 빔을 적당한 범위의 각도로 회전시켜줄 수 있는지를 파악하여야 한다. 하지만 다중빔을 이용한 고속 광디스크 드라이브 픽업에서의 영상 회전 각도는 앞에서 구한 것처럼 미소한 것이기 때문에 그림 7 과 같이 도브프리즘의 측면에 거울을 달아 이곳에 레이저 빔을 조사하여 멀리 떨어진 스크린상에서 결상 되는 레이저 빔의 이동 거리를 측정함으로써 미소한 범위의 회전각의 측정이 가능 하였다.

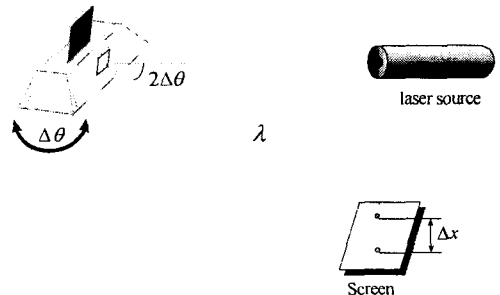


Fig. 7 Detecting method of beam rotation angle

이 경우 측정되는 변위의 각  $\Delta\theta$  와 빔이 움직이는 거리  $\Delta x$ , 구동기와 스크린 사이의 거리  $\lambda$  사이에 식 (8)이 성립한다.

$$2\pi\lambda \frac{2\Delta\theta}{360} = \Delta x \dots\dots\dots(8)$$

$$\Delta\theta = \frac{90\Delta x}{\pi\lambda} [^\circ]$$

컴퓨터 D/A 변환기로 출력된 0~10V 사이의 전압을 고풍력 전압 증폭기를 통하여 정밀 회전 구동기에 인가 하였을 경우의 입력 전압에 대한 회전 성능의 결과를 그림 8 에 나타내었다. 입력에 대한 출력 성능이 선형적인 관계를 보임을 알 수 있고 최대 회전 각도는 0.63° 정도이다.

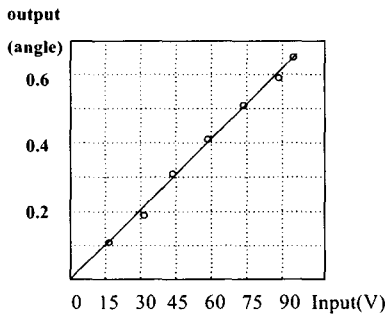


Fig. 8 Beam rotation ability

### 3.2 빔 회전 구동기의 주파수 특성

제작된 빔 회전 구동기가 제어 가능한 영역에서 제 성능을 내는 지를 알아보기 위해선 구동기의 주파수 특성을 확인할 필요가 있다. 구동기의 E(young's modulus), I(moment of inertia) 등 각각의 매개변수들을 고려할 때의 구동기의 고유 진동수는 아래의 식(9)와 같다.

$$\delta = \frac{Pl}{EI}, K = \frac{EI}{l} \dots\dots\dots(9)$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{m}} = \sqrt{\frac{EI}{lm}}$$

이 식에 판 스프링의 영률(E ; young's modulus)는 193Gpa, 모멘트 이너서 (I ; moment inertia), 도브프리즘의 질량 m 등을 대입하면 구동기가 갖는 고유 진동수는 1.12kHz 로 구하여 진다.

근사식으로 구해진 주파수 특성을 실험을 통해 측정해 보려고 하였다. 디지털 신호 분석기의 2Hz 에서부터 5kHz 까지의 스위프 싸인(sweep sine) 신호를 고전압 증폭기에 순차적으로 가해서 시간 도메인 상에서의 도브 프리즘이 갖는 진동 특성을 Polytec 社의 OFV 1102 레이저 인터페로메터로 측정을 해 보았다. 측정을 위한 실험세트는 아래의 그림 9 와 같이 구성되어 있다.

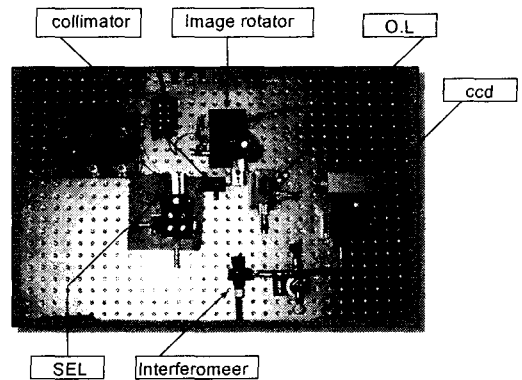


Fig. 9 Overview of experimental set-up

근사식으로 구하여진 주파수 특성치를 레이저 간섭계를 이용하여 주파수 특성을 측정하여 보았다.

그림 10 은 디지털 신호 분석기로 30V 의 DC offset 을 2Hz 에서 5kHz 까지의 순차 정현파(sweep sine signal) 를 빔 회전 구동기에 인가 하였을 경우 나타나는 속도-주파수 특성 프로파일이다. 1 차 공진 주파수가 1.0387kHz 부근에서 나타나는 것을 알 수 있다.

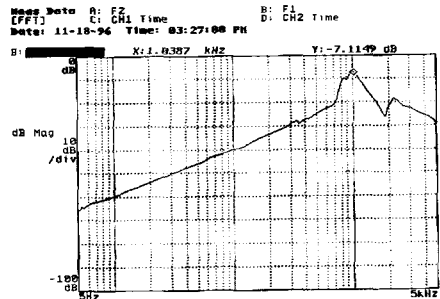


Fig. 10 Velocity-frequency response of actuator.

그림 11 은 속도 프로파일을  $j\Omega$  로 나누어 적분하여 나타낸 위치-주파수 특성 프로파일이다. 그림 12 는 속도-주파수 프로파일을 2 차시스템으로 커브피트하여 나타낸 프로파일이다. 1 차 공진주파수는 1.0034kHz 에서 관찰되었다.

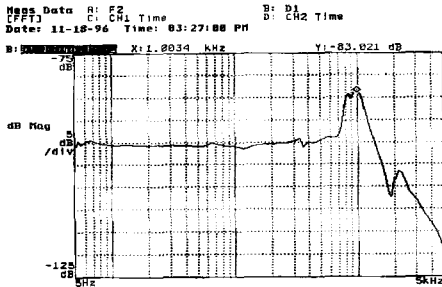


Fig. 11 Position-frequency response

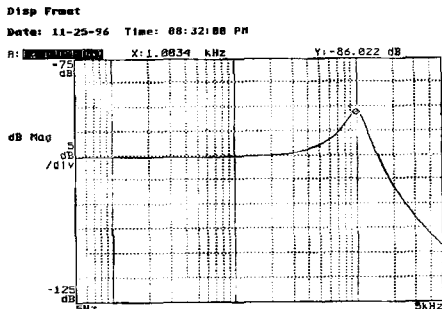


Fig. 12 Curve-fit of position-frequency response

곡선 맞춤(Curve fitting)과 단위 변환과정의 이득을 고려하여 레이저 센서에 의해 구한 전달함수는 아래와 같다.

$$\frac{\theta_L}{V_i} = \frac{106}{s^2 + 3.23E2s + 6.20E5} \dots\dots\dots(10)$$

여기서  $\theta_L$  과  $V_i$  는 각각 레이저 센서에 의해 계산된 회전각 [°], 구동입력 전압 [V]이다.

디스크의 최고 회전량을 3000rpm 으로 간주할때, 빔 회전구동기의 공진주파수는 디스크의 편심량에 의해 추종하여야 할 주파수 영역인 50Hz 이상이여야 한다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 압전 소자를 이용하여 다중빔 광 디스크 드라이브의 픽업에 적용될 수 있는 빔 회전 구동기를 직접 설계하여 제작하였다. 압전소자의 선형운동을 회전운동으로 변환하기 위하여 판스프링을 사용하였으며 백래쉬를 줄이기 위하여 탄성 관절을 사용하였다. 빔회전 구동기는 인가하는 직류 전압에 비례하여 선형적인 출력 특성을 보였으며 최대 인가전압 100V 일때 0.63° 의 회전 성능을 보였다. 주파수 성능 특성 실험시에는 1kHz 부근에서 공진주파수가 관찰되었으며 추후 제어가능 하도록 전달함수도 계산하여 나타냈다. 제작된 빔 회전 구동기의 필요 작동 범위는 실제 요구되는 0.061° 보다 넓은 0.63° 까지 확보하였다.

#### 참 고 문 헌

1. Alan B. Marchant, "Optical recording(a technical overview)," Addison-Welsley Publishing Company, Massachusetts, USA, 1990.
2. Koumura, K., Takizawa, F., Iwanaga, T., and Inada, H. "High Speed Accessing using Split Optical Head," SPIE, Data Storage Topical Meeting, Vol. 1078, pp. 239-243, 1989.
3. 新居 亨一, 水上, "8 ビーム LD 아레이による光ディスク 드라이브의 고轉送速度化," OPTRONICS, Vol. 5, pp. 132-136, 1994.
4. "光ディスク技術," 村山登, 小出博, 山田和作, 國兼眞, 共著, ラジオ技術選書.
5. Fredric E. Scire, E.Clayton Teague, "Piezodriven 50  $\mu$ m Range Stage with Subnanometer Resolution," Rev. Sci. Instrum., Vol. 49, No. 12, pp. 1735-1740, 1978.
6. J. M. Paros, L. Weisbord, "How to Design Flexure Hinges," Machine Design, pp. 151-156, Nov., 1965.
7. Tsutomu Kusakari, Masanori Yoshikawa, "A Piezo driven 3D positioning mechanism with Single-stage Structure," JSPE, Vol. 62, No. 1, pp. 130-134, 1996.
8. Victor B. Jipson, "Drive Technology for the future," SPIE Vol. 2514, 1995.
9. 김병준, "A Study on the Multiple Beam Disk Drive's Optical Pick-up Part," 석사학위논문, 한국과학기술원, 1997.