

## 고속 광학기록매체용 다중빔 회전 구동기의 개발

김병준\*, 김수현, 곽윤근 (KAIST 기계공학과)

The Development of Beam Rotating Actuator for High Speed Optical Disk Storage

Boung Jun KIM, Soo Hyun Kim, Yoon Keun KWAK (Mechanical Eng. Dept., KAIST)

### ABSTRACT

To enhance the effective data transfer rate the multi-beam optical disk drive is presented. The Beam rotating actuator is necessary for putting multi-beam on more than one track. Ray tracing was also executed for real system set-up. The Beam Rotating Actuator is made up of piezoelectric material, high stiffness wire hinge and dove prism. The actuator has about 1kHz natural frequency and suitable operational range. The dynamic equation for the actuator is derived for the control of real system.

**Key Words** : Optical Disk (광디스크), Beam Rotating Actuator (빔회전구동기), Piezoelectric Material (압전소자)

### 1. 서론

현재 사용되고 있는 광디스크는 대용량의 정보 저장능력과 이동의 편리성, 보관의 용이성 등 수많은 장점으로 인하여 널리 사용되고 있다. 그러나, 일반적으로 사용되고 있는 광디스크 드라이브의 성능 향상의 한계가 예견되어 일부에서는 다중빔을 이용한 광디스크 드라이브의 구현을 위한 연구가 수행되고 있다. 이것은 현재 상용화 되어있는 광디스크 드라이브의 픽업이 단일 광원을 사용하는데 비하여, 두개 이상의 다중 빔을 동시에 디스크의 트랙에 조사하여 여러 트랙에 기록된 정보를 빠르게 읽어 들여 신호처리를 통해서 정보 전송속도를 획기적으로 향상시키려는 기술로 이의 구현을 위해서는 표면방사레이저(SEL; Surface Emitting Laser)에서 조사된 다중빔이 디스크면에 정확히 배열될 수 있도록 하는 빔 회전 구동기가 필수적이라 할 수 있다.<sup>(1),(2)</sup>

본 연구에서는 이러한 다중빔 광디스크 드라이브에 적용될 빔 회전 구동기의 구현을 위한 기본적인 실험을 수행하고자 한다. 소형이면서도 수 마이크로미터 이내의 작동 정밀도를 갖는 압전 소자를 이용하여 간단한 구조를 갖는 압전형 빔 회전 구동기를 설계, 이의 성능과 특성을 제시할 것이며, 적용될 다중 광디스크 시스템을 분석하여 구동기의

구동범위와 정밀도를 결정하고 이를 실험적으로 검증하고 구동기의 주파수 대역과 운동 특성 방정식을 제시하여 실제 설계 제작된 빔 회전구동기의 다중빔 광디스크 시스템에서의 활용 가능성을 제시하고자 한다.

### 2. 빔 회전 구동기

#### 2.1 다중빔 디스크드라이브의 픽업

다중빔을 이용한 광학 픽업의 전체적인 시스템은 Fig. 1 과 같다. 광픽업은 반도체 레이저로부터 레이저 광을 집속하여 광디스크 정보 기록부에 조사한 다음, 되돌아오는 반사광을 수광 다이오드(photo diode)에서 전기 신호로 변환시켜 정보를 읽어내는 역할을 한다.

다중 빔을 디스크의 안쪽과 바깥에서 곡률 반경의 변화에 따라 적절하게 정렬 시킬 수 있도록 도브프리즘을 장착한 빔 회전 구동기가 사용되어 진다. 이때 신호처리부에서 디스크의 회전주기와 함께 회전주파수를 파악하여 광픽업 액츄에이터와 빔 회전 구동기를 위한 제어 신호를 산출한다. 도브프리즘은 입사된 광선을 일정한 각도만큼 회전시키는 기능을 하며  $\theta$  만큼을 회전하면 프리즘을 통과한 광선은  $2\theta$  만큼 회전되는 특성이 있다.<sup>(3),(4)</sup>

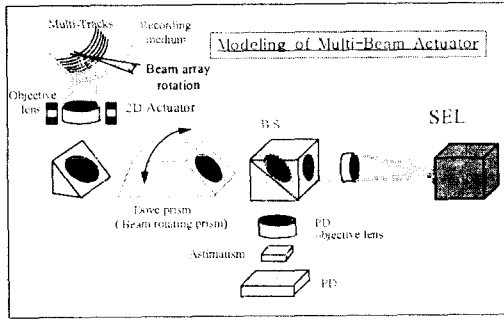


Fig. 1 Multi-beam optical disk drive system

## 2.2 구동 시스템

압전 소자를 구동하기 위한 직류 고전압을 발생시키기 위해 고전압 증폭기 (High Voltage Amplifier)를 구성하여 사용하였다. 고전압 증폭기의 블록 다이어그램은 아래의 Fig. 2와 같다.

0~10V까지의 DC를 출력하여 이를 고전압 증폭기를 이용하여 압전소자를 구동하고, 스트레인 게이지를 통해 압전소자의 변위량을 얻을 수 있었다. 고전압 증폭기에 의하여 압전소자에 5Hz의 주파수를 갖는 0V에서 85V까지의 전압을 인가하였을 경우 소자의 변위량은  $6\mu\text{m}$  정도였다.

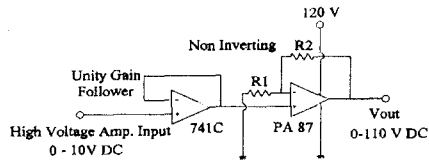


Fig. 2 High voltage amplifier for piezoelectric element

## 2.3 탄성 조인트의 제작

압전 소자의 직선 변위 운동을 회전 운동으로 변환하기 위해선 압전 소자의 끝부분을 도브프리즘에 피봇하여 접촉하여야 한다. 하지만 이 경우 접촉 부위에 과도한 전단을 가하지 않고 일반적인 기계 조인트에서 발생하는 백래쉬(back-lash)를 줄이기 위해 강성을 지니면서 기계적 조인트의 역할을 하는 탄성 관절을 사용하였다.

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. Fig. 3은 탄성 조인트를 부착한 압전형 직선 운동 구동기이다.

압전 소자가 발생하는 변위를 정확히 측정하기 위하여 Kyowa社의 KFG-1-120-C1-11L1M2R 스트레인 게이지(strain gage)를 부착하였다. 스트레인게

이지의 길이는 1mm, 저항  $119.6 \pm 0.4\Omega$ , Gage factor는 2.13이며 스트레인 게이지의 접착에는 Cyanoacrylate Based Adhesive를 이용하였다.

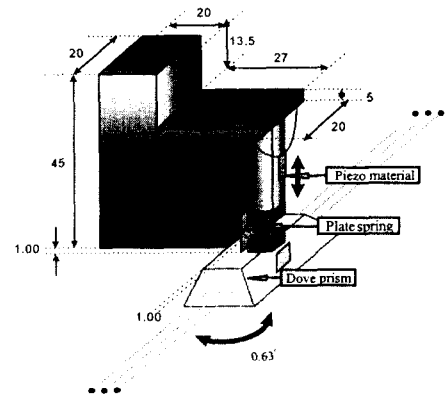


Fig. 3 Beam rotating actuator (unit : mm)

## 2.4 구동기의 작동 범위

도브프리즘은 다중빔을 사용한 광 디스크 드라이브가 일반적인 광 디스크 드라이브와 구별되는 가장 큰 특징이다. 다중빔을 항상 디스크의 트랙에 정확히 포커싱 하면서 정렬을 하기 위해서는 일렬로 늘어선 빔들을 회전시켜 디스크의 트랙에 정렬시켜 주어야만 한다. 다중 빔의 회전 원인은 디스크의 편심각( $\theta_1$ ), 외주와 내주의 곡률 반경 차이로 인한 회전각( $\theta_2$ ), 광축 조절을 위한 초기 회전각( $\theta_3$ ) 등이 있다. 이를 보상하기 위한 빔의 회전각을 식 (1)에 나타내었다.

$$\theta_b = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 \quad (1)$$

디스크의 편심을 보상해 주기 위한 빔의 회전은 디스크의 중심과 회전 중심이 일치하지 않음에 의한다.

디스크의 회전 속도  $\omega$ , 광디스크에서의 편심량  $e$  (최대  $100\mu\text{m}$ ) 고려 하면, 편심량과 중앙 빔의 위치 변화  $e_b$ 와의 관계는 식 (5)와 같이 표현된다

$$e_b = e \cdot \sin(\omega t) \quad (2)$$

식 (5)와 디스크의 최소 유효 반경( $r$ ; 25mm)을 고려할 때 디스크의 편심을 보상해 주기 위한 빔의 회전각  $\theta_1$ 은 식 (3)과 같이 계산된다.

$$\theta_1 \approx \frac{e_b}{r} \leq \frac{e}{r} \leq \frac{100 \times 180}{25000 \times \pi} = 0.23^\circ \quad (3)$$

디스크에서의 빔 간격을  $10\mu\text{m}$  로 가정하면 3-

beam 일 경우 빔의 총 간격은 20 $\mu$  m 이고 CD-ROM 의 경우 데이터가 기록된 가장 안쪽 곡률반경이 23mm 가장 바깥 영역이 58mm 이다. 데이터가 기록된 트랙 사이의 간격은 1.6 $\mu$  m 이므로 코싸인 제 2 법칙에 의하여 안쪽과 바깥에의 빔과 트랙과의 정렬 각도  $\theta_2$  는 식 (7)와 식 (8)과 같이 주어진다.

$$\theta_{inner} = \cos^{-1} \frac{23000^2 + 20^2 - 23003.2^2}{2 \times 20 \times 23000} \quad (4)$$

$$\theta_{outer} = \cos^{-1} \frac{58000^2 + 20^2 - 58003.2^2}{2 \times 20 \times 58000} \quad (5)$$

디스크의 곡률 반경 차이에 의한 정렬 각  $\theta_2$  는 식 (4)과 (5)의 차이인  $\theta_2 = \theta_{outer} - \theta_{inner} = 0.015^\circ$  로 구하여진다. 또한 광축 조절을 위한 회전각  $\theta_3$  는  $0.3^\circ$  이내로, 전체적인 다중 빔의 회전각  $\theta_6$  는  $0.55^\circ$  이내이다. 따라서 빔 회전 구동기 작동의 범위는 작동범위는  $0.28^\circ$  이상이 되어야 한다.

### 2.5 빔 회전 구동기

압전소자, 도브프리즘, 그리고 압전소자의 이력 현상을 보상해줄 판 스프링으로 구성된 정밀 빔 회전 구동기를 설계하여 제작하였다.

구동기는 압전소자에서 발생하는 길이 방향의 변위를 우리가 원하는 만큼의 각도 변위로 변환하기 위하여 피봇되는 판 스프링의 길이  $\lambda_2$  와 광축으로부터 압전 소자가 접촉되는 위치까지의 거리  $\lambda_1$ , 변위  $\Delta\lambda$ , 변위각  $\Delta\theta$  의 관계는 식 (6)로 유도되어진다.

$$\Delta\theta = \tan^{-1} \left( \frac{\lambda_2 + \Delta\lambda}{\lambda_1} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right) \quad (6)$$

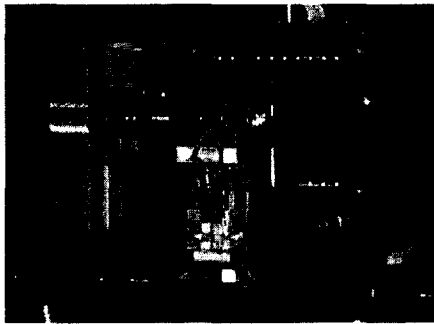


Fig. 4 Assembled beam rotating actuator

빔 회전 구동기의 몸체는 압전시 발생하는 변위를 충분히 견딜만한 스테인리스 스틸 (stainless steel)을 재료로 사용했다. 압전 소자와 몸체 간은 에폭시 레진으로 접착 되었고 도브프리즘과 압전

소자 사이엔 텅스텐 와이어(tungsten wire)를 삽입한 탄성 관절을 부착하였다. 이 관절은 아크릴 몸체를 포함해서 8.2mm 의 길이를 갖는다. Fig. 4 는 최종 조립된 빔 회전 구동기의 모습을 나타낸다.

## 3. 구동기의 특성 측정

### 3.1 빔 회전 특성

완성된 빔 회전 구동기가 표면방사레이저(SEL)에서 나온 빔을 적당한 범위의 각도로 회전시켜줄 수 있는 지를 파악하여야 한다. 하지만 다중빔을 이용한 고속 광디스크 드라이브 픽업에서의 빔 회전 각도는 앞에서 구한 것처럼 미소한 것이기 때문 직접 구동기의 변위를 측정하는 대신에 도브프리즘의 측면에 거울을 달아 이곳에 레이저 빔을 조사하여 멀리 떨어진 스크린상에서 결상 되는 레이저 빔의 이동 거리를 측정함으로써 미소한 범위의 회전 각도의 측정이 가능 하였다.

Fig. 5 는 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 나타낸 것이다. 입력에 대한 출력 성능이 선형적인 관계를 보임을 알 수 있고 최대 회전 각도는  $0.63^\circ$  정도이다.

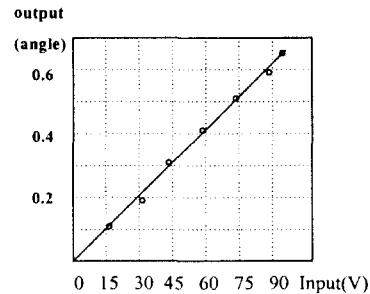


Fig. 5 Beam rotation ability

### 3.2 빔 회전 구동기의 주파수

이렇게 제작된 빔 회전 구동기가 제어 가능한 영역에서 제 성능을 내는 지를 알아보기 위하여 구동기의 주파수 특성을 고려하여야 한다. 구동기의 E(young's modulus), I(moment of inertia) 등 각각의 매개변수들을 고려할 때의 구동기의 고유 진동수는 아래의 식(7)과 같다.

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 1.12kHz로 구하여진다.

$$\delta = \frac{Pl}{EI}, K = \frac{EI}{l} \quad (7)$$

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

근사식으로 구해진 주파수 특성을 실험을 통해 측정해 보았다. 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. 근사식으로 구하여진 주파수 특성치를 레이저 간섭계를 이용하여 측정하여 보았다.

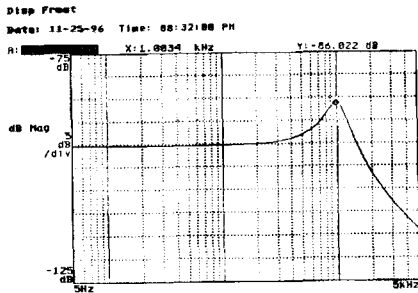


Fig. 6 Curve fit of frequency response

Fig. 6 은 속도-주파수 응답 곡선을 2 차 시스템으로 곡선맞춤(Curve fitting) 하여 나타낸 것이다. 곡선맞춤과 단위 변환과정의 이득을 고려하여 얻어진 구동기의 전달함수는 식 (8)과 같다.

$$\frac{\theta_z}{V_i} = \frac{10.6}{s^2 + 3.23E2s + 6.20E5} \quad (8)$$

여기서  $\theta_z$  과  $V_i$  는 각각 레이저 센서에 의해 계산된 회전각 [ $^\circ$ ], 구동입력 전압 [V]이다. 디스크의 최고 회전량을 3000rpm 으로 간주할 때, 빔 회전구동기의 공진주파수는 디스크의 편심량에 의해 추종하여야 할 주파수 영역인 50Hz 이상이되어야 하는데, 측정된 구동기의 공진주파수는 1kHz 부근이었다.

### 3.3 빔 회전 구동기의 주파수

이 측정을 위한 실험세트는 아래의 Fig. 7 과 같이 앞서서의 광선추적 실험(Ray Tracing)을 통한 결과를 통해 완성되었다. 광선 추적실험을 통해서 완성한 집속렌즈, 도브프리즘, 대물렌즈 등으로 광경로를 구성하고 디스크면을 대신해 CCD 카메라를 장착하여 빔의 디스크면에서의 빔 영상을 가시화

하여 보았다.

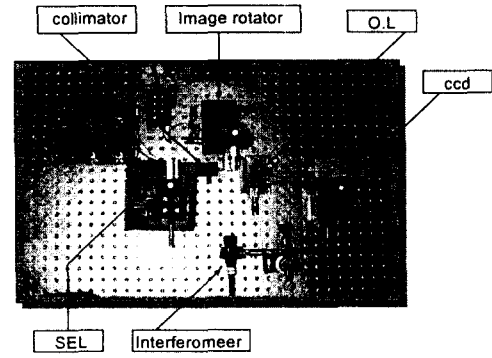


Fig. 7 Overview of experimental set-up

완성된 광학 시스템에 전원을 공급하고 CCD 카메라로 결상면에서 빔의 궤적을 촬영해 측정하여 본 결과 결상면에서의 빔의 회전각은 구동기의 회전각의 정확히 2 배가 됨을 확인 할 수 있었다.

## 4. 결론

다중빔 광디스크의 픽업에 사용이 가능한 빔 회전 구동기를 제안하였다. 전체적인 광픽업 시스템의 광선추적실험을 통해서 구동기를 특성화 하여 압전소자와 판스프링을 이용하여 제작하였다.

제작한 빔회전 구동기는 인가하는 직류 전압에 비례하여 선형적인 출력 특성을 보였으며 주파수 성능 특성 시험에서 1kHz 부근에서 공진주파수가 검출되었으며 작동 범위는 필요 작동범위인 0.28°를 충족하는 0.63°까지 확보하였다.

## 참고문헌

1. F Alan B. Marchant, 1990, "Optical Recording(A Technical Overview)," Addison-Welsley Publishing Company, Massachusetts, USA.
2. Koumura, K., Takizawa, F., Iwanaga, T., and Inada, H., 1989, "High Speed Accessing using Split Optical Head," SPIE, Data Storage Topical Meeting, Vol. 1078, pp. 239~243.
3. Victor B. Jipson, 1995, "Drive Technology for the future," SPIE, Vol. 2514.
4. 김병준, 1997, "A Study on the Multiple Beam Disk Drive's Optical Pick-up Part," 석사학위논문, 한국과학기술원, 대전.