

# 다중 광선을 이용한 광 시스템의 광선 회전기

이정현\*, 한창수\*, 김수현\*, 곽윤근\*

## Beam Rotator of Optical System Based on Multi-Beam

J. H. Lee\*, C. S. Han\*, S. H. Kim\*, Y. K. Kwak\*

### ABSTRACT

The beam rotating actuator has been developed. It can be utilized to improve the data transfer rate for the optical disk systems, Newly developed laser beam rotating actuator is applied to put multi-beam spots on more than one track on the optical disk simultaneously.

The beam rotating actuator is made of piezoelectric ceramic bimorph as the form of cantilever. Piezoelectric actuators with high resolution, high stiffness and fast frequency response are widely assembled in micropositioning applications. Therefore, the actuator has above 50Hz natural frequency. Beam array is rotated using the dove prism in the end of beamrotator. The dynamic equation of beam rotating actuator is derived theoretically. The actuator is designed on the ground of this analysis. The performance of the beam rotating actuator is verified as the dynamics frequency performance is measured using the dynamic analyzer and sensor.

**Key Words** :Bimorph Piezo Material (바이몰프 압전 소자), Beam Rotator(빔 회전기), Dove Prism(도브 프리즘), Hysteresis(히스테리시스)

### 1. 서론

영상 미디어 시대의 발달로 영상 및 문자 기록장치에 대한 수요가 증가하고 있다. 특히, 데이터 전송 속도를 향상시키기 위해 CD-ROM의 경우 배속을 높임으로써 기록 장치의 성능을 향상시키고 있다. 따라서 기록 장치의 정보량을 빨리 재생하는 연구가 매우 활발히 진행되고 있다.<sup>(1-2)</sup>

하나의 재생 광원을 이용하는 방법에서는 구동기 자체

의 성능을 향상시키는 연구가 현재까지 많이 진행되었다. 그러나 이러한 방법에는 구동기 자체의 성능 향상에 한계가 존재한다. 따라서, 데이터의 전송속도를 향상시키는 연구의 한 분야로 다중 광선을 이용한 광디스크 시스템에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다<sup>(3)</sup>. 따라서 본 연구에서는 여러 개의 광원을 사용함으로써 데이터 재생능력을 향상시켜 전송능력을 빠르게 할 수 있는 기본 연구를 수행하고자 한다. 이 방식에서는 여러 개의 재생 광원을 광 디스크의 정보가 기록된 트랙 위에 광선을 동시에 모아

\* 한국과학기술원 기계공학과

야 한다. 따라서, 다중 광선을 동시에 트랙 위에 모으도록 도와 주고 새로운 역할을 하는 광선 회전기가 필요하다.

이에 대한 선행연구를 살펴보면 다음과 같다. Katayama<sup>(4)</sup> 등은 다중빔 시스템에서 광학계를 수광부와 송광부를 별도로 구성하였고, 광선 회전기의 형상을 외팔보 형태로 제작하였다. 그러나 구동 방식은 도브 프리즘의 양쪽에 코일을 붙여 VCM 방식으로 구동 하였다. 이 방식은 전체적으로 양쪽에 구동력을 발생시키는 코일을 부착하기 위해 이를 지지하는 별도의 구조물이 부착되므로 구동기의 형상이 커지게 되고, 형상이 복잡해지는 단점을 가진다. Tokumaru<sup>(5)</sup> 등은 다중빔 시스템에서 회전하는 광학부를 사다리꼴 형상의 프리즘과 대물렌즈로 구성하였다. 이 방식에는 고성능에 적합하지 않는 베어링 지지 구조를 구성하였다. 또한 회전하는 부분의 부품이 많아 전체적으로 구동부 질량이 증가하는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 압전 소자를 이용한 광선 회전기를 제안하고자 한다. 구동 소자로 압전 소자를 이용함으로써 고 응답성과 고 정밀도를 가지는 특성이 있다. 광선 회전기의 설계를 위하여 다중 광선 시스템의 특성을 분석하였다. 이 데이터를 바탕으로 광선 회전기의 구동 범위와 정밀도를 결정하였다. 또한 압전 소자를 이용한 광선 회전기의 운동 방식을 이론적으로 유도하였고 이를 실험적으로 증명하였다. 구동기의 주파수 대역 (bandwidth)을 50Hz 이상 되도록 설계 및 제작하고,  $\pm 0.005$  이하의 정밀도를 가지게 했다.

## 2. 수학적 모델링

바이몰프 압전 소자는 Fig.1에 나타난 것처럼 압전효과를 가지는 두 개의 압전 소자판이 가운데 동판을 사이에 두고 접착된 구조이다. 전압을 두 판에 인가했을 때 한 쪽 판은 인장하고, 다른 한 쪽은 판은 압축되어서 궁극적으로 판 전체가 굴곡변위를 갖도록 하는 재료이다. 본 논문에서 이용한 바이몰프 압전 소자는 병렬 형태(parallel type)의 저 전압 구동 재료인 NTK P/N EB-300-80MSH2-3 이다. 이 재료의 물성 값은 Table 1과 같다.

Smits<sup>(6)</sup>은 바이몰프 압전 소자를 비교적 단순한 형태의 빔으로 가정하여 모델링을 하였다. 따라서 본 논문에서도 간단한 외팔보 형태의 빔으로 모델링하여 특성을 파악하고자 한다.

바이몰프 압전 소자의 전체적인 형상은 길이  $l$ , 두께  $t_1$ , 동판 두께  $t_2$ , 폭  $w$ 로 Fig.1(a)에 나타내었다. Zhao<sup>(7)</sup>에 따

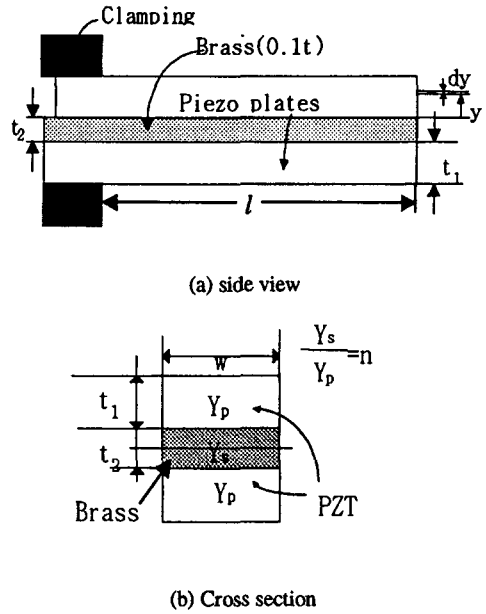


Fig. 1 Reinforced multilayer bimorph piezo device.

Table 1 Material properties.

Properties	Value
$l$ (Effective length)	25[mm]
$w$ (Width of piezo plate)	8[mm]
$D_{31}$ (Charging constant of piezo)	260E-12[C/N]
$Y_p$ (Young's modulus)	6.1E10[N/m <sup>2</sup> ]
$\rho_p$ (Density of piezo)	7.8E3[kg/m <sup>3</sup> ]
$t_2$ (Thickness of brass)	0.1[mm]
$t_1$ (Thickness of piezo)	0.21[mm]

르면, 바이몰프의 압전상수  $D_{31}$ , 한쪽판의 전압,  $V$ 에 대한 변위를 나타내면 식 (1)과 같다.

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{D_{31}V}{t_1} \quad (1)$$

압전 소자의 탄성계수  $Y_p$ 인 압전 소자의 한쪽판에 걸리는 힘  $\Delta F$ 과 이로 인해 발생하는 모멘트(Moment)  $\Delta M$ 는 Fig.2(a)을 참조하면 식(2)와 같이 전체 굽힘 모멘트를 구할 수 있다.

$$M = 2 \int_{t_2/2}^{t_2/2+t_1} \Delta M dy. \quad (2)$$

$$\Delta M = \Delta F \cdot y = \frac{D_{31} V Y_p W y dy}{t_1}. \quad (3)$$

따라서 바이몰프의 전체 굽힘 모멘트는 식(2) 와 (3)에 의해 다음과 같다.

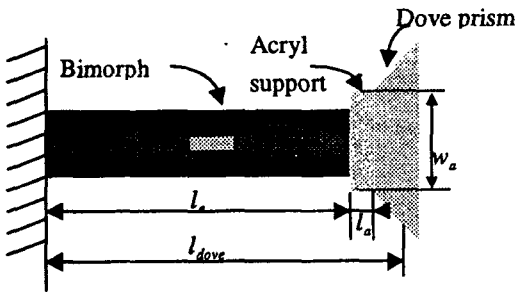
$$M = D_{31} V Y_p W (t_1 + t_2). \quad (4)$$

한편, 압전 소자와 동(brass)로 된 복합 빔의 를 Fig.3(b)를 참조하여 구하면 다음과 같다.

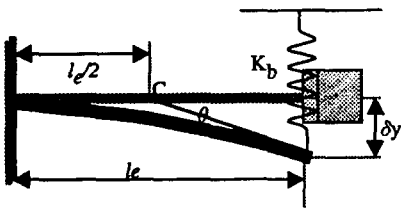
$$E_{eq} I_{eq} = Y_s I_s + Y_p I_p = \frac{w}{12} Y_p \{ t_2^3 (n-1) + (2t_1 + t_2)^3 \}. \quad (5)$$

외팔보 형태 빔에 대해 2차원적으로 변위와 회전량을 이론적 해석하고자 한다.

Figure 1과 같은 외력이 존재하는 외팔보 끝단에 도브 프리즘을 부착한 형태의 광선 회전기에 대한 운동방정식을 유도한다.



(a) Schematic configuration.



(b) Equivalent system.

Fig. 2 Beam rotating actuator.

Figure2(a)와 같은 일반적인 형태를 Fig.2(b)와 같이 질량과 스프링 시스템으로 모델링한다. 그리고, 빔 굽힘의 중간부(C)가 빔 끝단의 가상 회전 중심으로 본다. 이 끝단의 회전이 실제 회전 부품인 도브 프리즘의 회전과 같은 것이다. 빔의 상당 질량은 Rayleigh의 에너지법(12)에 의해 구하면 아래와 같다.

$$I_{beam} = 0.235 m_{beam} \frac{l_e}{4}, \quad (6)$$

여기서,  $m_{beam}$ 는 빔의 질량이고,  $l_e$ 는 굽힘이 일어나는 빔의 유효 길이이다.

가상 회전 중심점C에 빔 회전 운동 방정식을 구하면,

$$\sum T = I_{sys} \ddot{\theta}, \quad (7)$$

여기서  $I_{sys}$ 는 구동기의 전체 관성 모멘트이고,  $\ddot{\theta}$ 는 각 가속도이다. 회전각이 미소하다고 가정한다. Fig.2(b)을 바탕으로 회전각  $\theta$ 에 대한 식은 기하적인 관계에 의해 아래와 같다.

$$\theta = \frac{\delta y}{(l_e/2)}, \quad (8)$$

여기서,  $\delta y$ 는 끝 단에서의 수직방향 변형량이다.

식(7)을 적용하면 운동방정식을 아래와 같이 구할 수 있다.

$$M = I_{sys} \ddot{\theta} + M_f \dot{\theta} + K_b \theta, \quad (9)$$

여기서,  $K_b$ 는 바이몰프 압전 소자 빔의 선형 스프링 상수이다.  $M$ 은 압전 소자에 가해지는 모멘트이고,  $M_f$ 은 마찰이나 지지조건에 의해 발생하는 손실 부분이다.

물론 이 값은 이론적으로 구하기 힘들고 실험적으로 구할 수 있는 값이다. 상기의 값들은 아래와 같이 구할 수 있다.

$$K_b = \frac{3(Y_s J_s + Y_p J_p)}{l_e^3} = \frac{3E_{eq} I_{eq}}{l_e^3}, \quad (10)$$

$$I_{sys} = I_{beam} + I_{dove} + I_{etc}, \quad (11)$$

$$I_{etc} = m_{etc} \left( \frac{l_e^2}{4} + \frac{(l_A^2 + A^2)}{12} \right), \quad (12)$$

$$I_{dove} = m_{dove} \left[ \frac{(l_e + h_c)^2}{4} + \frac{A^2}{18} \left( 1 + \frac{2BD}{(B+D)^2} \right) \right] \quad (13)$$

$$h_c = \frac{A(2B+D)}{3(B+D)}, \quad (14)$$

여기서,  $I_{dove}$ 는 도브 프리즘의 관성 모멘트(Moment of inertia)이다.  $I_{etc}$ 는 도브 프리즘과 바이몰프 압전 소자와의 연결부에 사용한 아크릴에 대한 관성 모멘트이다.

$m_{dove}$ 와  $m_{etc}$ 는 도브 프리즘의 질량, 아크릴 받침대의 질량이다.

식(9)에서 광선 회전기의 1차 공진주파수는 다음과 같이 구한다.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_{sys}}{I_{sys}}} \quad (15)$$

$$K_{sys} = K_b \frac{l_e^2}{4} = \frac{3(Y_s J_s + Y_p J_p)}{4l_e} \quad (16)$$

회전각이 미소하고, 구동입력에 대한 회전각이 선형적이라는 가정하에 회전량을 구할 수 있다. 정적 회전각은 Fig.2(b)와 식(9)을 통하여 아래와 같은 간단한 수식으로 얻을 수 있다.

$$\theta = \frac{M}{K_{sys}} \quad (17)$$

본 장에서 구한 수식들을 이용하여 광선 회전기의 공진 주파수와 회전각을 구한다. 이를 바탕으로 광선 회전기를 설계하는데 이용할 것이다.

### 3. 빔 회전 특성

빔 회전을 위해서는 보통 여러 개의 다른 광학 부품을 사용한다. 그러나 본 논문에서는 이러한 특성을 좀더 쉽게 할 수 있도록 고안된 도브 프리즘을 이용하고자 한다.<sup>(9)</sup> 삼각형의 밑변(hypotenuse)에 평행하게 여러 광이 지나가고 있는 도브 프리즘 형상을 Fig.3에 나타내었다.

도브 프리즘의 특성은 다중 광선을 도브에 주사한 후 도브 프리즘을 회전시킴으로써 입사된 일렬의 다중빔을 회전시킬 수 있다. 빔의 회전 원리를 Fig.3에 자세히 나타내었다. 도브 프리즘은 평행광(parallel light)에 사용하지

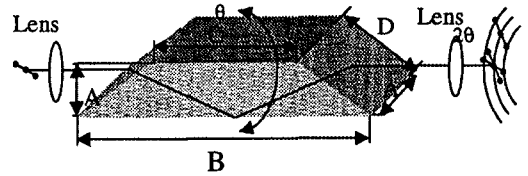


Fig. 3 Dove prism configuration.

Table 2 Dove prism size.

크기	A	B	C	D
8 Dove[mm]	8	34	18	11

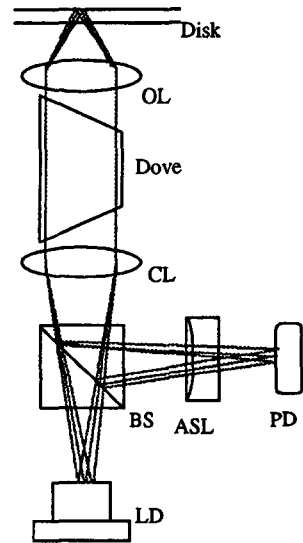


Fig. 4 Multi-beam system configuration.

않을 경우 상당한 비점수차를 발생시키므로 반듯이 평행광에서 사용해야 한다. 도브 프리즘의 크기는 빔이 통과하는 부분의 광단면 지름에 의해 결정된다. 따라서 본 논문에서 사용한 도브 프리즘의 크기는 Table 2과 같다.

다중 광 디스크의 전체적인 시스템을 Fig.4에 나타내었다. 전체 시스템에서 광선 회전기는 평행광 속에 놓여지고 다중 광선을 회전시킨다. 광선 회전 방식은 외팔보 형태의 끝 단에서 발생하는 회전을 이용한다. 여기에는 회전 외에도 수평방향의 선형적 움직임도 있다. 그러나, 이런 양은 광 디스크 시스템에서 수평방향의 움직임을 디스크의 트랙과 같은 방향이 되게 하면 영향을 최소화시킬 수 있다. 이에 대한 설명은 다음 장에서 자세히 서술할 것이다.

## 4. 구동기 설계 및 실험

### 4.1 설계

광선이 디스크상의 트랙 추종을 위해서 일반적으로 트랙 구동기를 사용하였다. 보통, 트랙 벗어남은 디스크 트랙 편심에 의해 발생한다. 그러나, 다중 광선의 경우, 가운데 빔 외의 주변 빔도 추가적으로 트랙을 추종하게 해야 한다. 주변 빔의 경우 반경 방향으로 트랙편심을 보상하더라도 법선 방향의 트랙 편심에 의해 주기적 트랙 벗어남이 발생한다. 이를 보상하기 위해 다중 광선 회전기를 필요로 한다. 다중 광선이 디스크상의 트랙을 동시에 추종하기 위한 광선 회전기의 설계 사양을 정하고 이를 바탕으로 회전기를 제작한다. 우선 광선 회전기의 회전각 정밀도, 회전기의 공진주파수를 결정한다. 또한 전체적으로 구동해야 될 회전 범위도 결정한다.

첫째, 광선 회전기의 구동 범위를 결정하고자 한다. 따라서 다중 광선 시스템의 특성을 파악해야 한다. 우선 다중광선의 회전을 일으키는 원인에 분석하고 이에 따라 회전하는 각을 계산을 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\theta_c = \frac{E_c}{r_d} + \frac{e}{p_d} + \alpha + \beta + \varepsilon, \quad (18)$$

여기서  $E_c, r_d, e, p_d$ 는 각각 디스크 편심량, 디스크의 유효 데이터 반경, 디스크의 트랙킹 에러량, 디스크 상의 빔간 간격이다.  $\alpha$ 는 디스크의 외주와 내주의 곡률 차이에 의한 회전각( $\geq 0.02^\circ$ )이다.  $\beta$ 는 예측할 수 없는 시스템 외부의 외란과 내부의 진동에 의한 회전 변화 각이다.  $\varepsilon$ 는 광축 조절을 위해 필요한 초기 회전각이다. 여기서 편심량은 디스크의 장착 정도에 따라 최소  $60\mu\text{m}$ 에서 최대  $100\mu\text{m}$ 의 값을 가지도록 하고 있다. 따라서 본 연구에서는  $100\mu\text{m}$ 로 하였다. 그리고 디스크의 유효 데이터 반경은  $25\sim 58\text{mm}$ 이다. 그리고 트랙킹 에러량은  $0.03\mu\text{m}$ 이다. 그리고 디스크상의 빔간 간격은  $20\mu\text{m}$ 이다. 따라서 위 식(18)에서 전체적인 광선의 회전 범위는  $\pm 1^\circ$  이상을 요구한다. 따라서 광선 회전기의 구동 범위는  $\pm 0.5^\circ$  이상을 가지면 된다. 그러나, 도브 프리즘 회전으로 광축 조절을 하기 때문에 회전 범위는 최대한 커야 한다.

둘째, 다중 광선이 여러 트랙을 동시에 읽어 낼 정도의 회전 정밀도가 요구 된다. 우선 광 디스크의 트랙킹 오차는 약  $0.03\mu\text{m}$ 이다. 따라서, 다중 광선에서의 트랙킹 오차는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T_e = |t_e + \Delta x| \leq 0.03\mu\text{m}, \quad (19)$$

여기서,  $t_e$  과  $\Delta x$ 는 트랙킹 구동기에 의한 주변 광선의 트랙킹 오차, 광선 회전기에 의한 주변 광선의 트랙킹 벗어남이다.

디스크에서 주변 광선의 회전 메커니즘을 Fig. 5를 통하여 살펴보자. 디스크의 이상적 회전 중심과 실제 회전 중심과의 차이로 인해 디스크의 회전 편심이 발생한다.

또한 이 편심에 의해 주변 광선의 트랙 벗어남 현상이 발생한다. 이때의 트랙 벗어남의 주기는 실제 회전하는 디스크의 회전 주기와 일치한다.

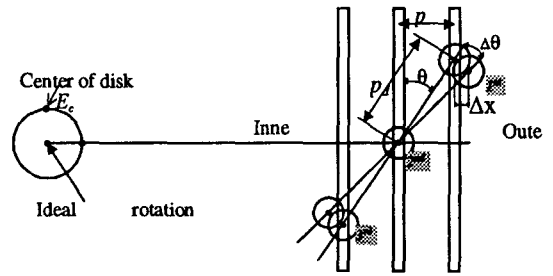


Fig. 5 Rotating mechanism of side beam.

Figure 5에서 디스크의 초기 회전각은 아래와 같다.

$$\theta_0 = \frac{p}{p_d}, \quad (20)$$

여기서,  $p$ 는 디스크상의 트랙 피치 간격이고, 이 값은 약  $1.6\mu\text{m}$ 이다.

편심에 의한 트랙 벗어남 값  $\Delta x$ 은 Fig. 5에서 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\Delta x = p_d \{ \sin(\theta_0 + \Delta\theta) - \sin(\theta_0) \} \cong p_d \Delta\theta, \quad (21)$$

여기서,  $\theta_0 + \Delta\theta$ 는 작은 각이다. 편심에 의한 주변 광선의 트랙 벗어남에 따라 실제 디스크상의 회전 각은 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$\Delta\theta = \frac{E_c \sin(\omega t)}{r_d}. \quad (22)$$

이때의 회전각은 최대 약 0.2°도 이하임을 알 수 있다. 따라서, 광선 회전기의 회전각은 약 0.1°를 추종할 수 있어야 됨을 알 수 있다.

센서문제와 제어기의 안정성으로 인하여 식(19)의  $t_e$ 의 값을 어떤 값이하로 줄이는 것은 사실상 불가능하다. 즉, 트래킹 구동기에 의한 트랙 오차를 일정 값이하로 줄이는 것은 매우 힘들다. 그리고  $t_e$ 와  $\Delta\theta$ 는 서로 반비례하는 특징을 가진다. 따라서, 서로 약간의 양보가 필요하다. 위의 조건을 고려하여,  $t_e$ 를 약  $\pm 0.026\mu\text{m}$  이상으로 한다. 이에 따라서 디스크상에서의 최소 회전정밀도는 약  $\pm 0.013^\circ$  이하로 계산된다. 따라서 광선 회전기의 정밀도는 이것을 보상할 정도의  $\pm 0.005^\circ$ 면 충분하다.

셋째, 광선 회전기의 공진 주파수를 결정해야 한다. 앞에서 광선 회전기가 추종해야 할 편심에 의한 트랙 벗어남의 주파수는 디스크의 회전 주파수와 일치함을 설명하였다. 따라서, 본 연구에서 디스크의 최고 회전량을 3000rpm으로 간주할 때, 빔 회전기의 공진 주파수는 50Hz이상에서 설계되어야 한다.

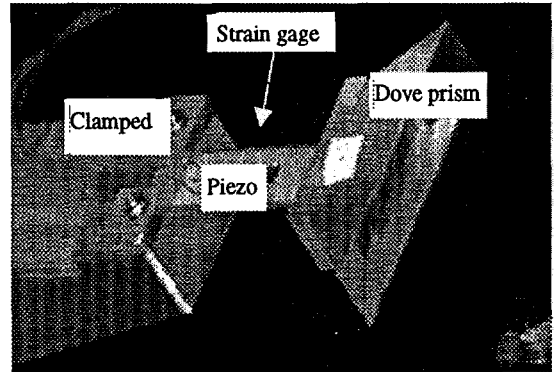


Fig. 7 Configuration of beam rotating actuator.

Table 3 Actuator size.

	$l_e$	$l_{dove}$	$l_a$	$w_a$
치수[mm]	22	29.4	3	18

함에 필요한 부품의 크기는 Table 3에 나타내었다.

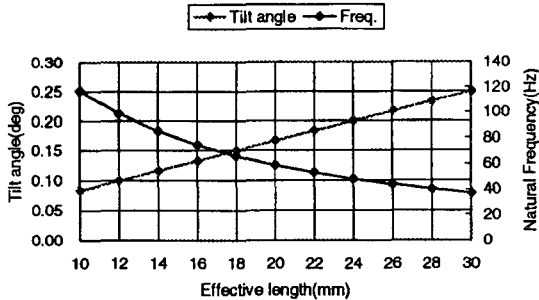


Fig. 6 Natural frequency and tilt angle when input voltage is 15V

식(17)을 이용하여 구한 Fig. 6에서 구동 입력이 45V 일 경우 회전 범위는 0.5° 까지 가능한 경우는 바이몰프의 유효길이가 22mm인 경우이다. 따라서, 앞에서 관찰한 세가지의 경우를 바탕으로 Fig. 6에서 알 수 있듯이 유효길이는 약 22mm로하는 것이 적당함을 알 수 있다. 이 경우 회전기의 감도가  $0.013^\circ/V$ 이므로 정밀도는 충분히  $\pm 0.005^\circ$ 로 만들 수 있다. 본 논문에서 사용한 구동기의 구성은 사진 Fig. 7과 같다. 압전 소자의 한쪽 끝을 나사로 고정시켰다. 압전 소자와 도브 프리즘 부착을 위해 아크릴로 제작된 도브 홀더를 사용하였다. 아크릴의 두께는 8mm로 도브의 'A'의 크기와 같다. 광선 회전기를 제작

#### 4.2 회전량 실험

광선 회전기 끝 단에서 발생하는 회전량과 공진 주파수에 대한 검증을 실험적으로 관찰하고자 한다. DC 구동 전압 입력에 대한 회전 특성을 정량적으로 측정하였다. Figure 8의 실험방법을 살펴보면, 헬륨 네온 레이저 광원(He-Ne laser)을 도브 프리즘에 조사시켜 반사되어 오는 빛의 위치로 바이몰프 압전 소자의 회전각을 측정한다. 헬륨 네온 레이저 광원과 도브 프리즘사이의 거리는 6m로 두었다. 반사된 헬륨 네온 레이저의 위치는 눈금자를 통하여 움직인 양을 측정하였다.

이때, 회전각은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$2\pi L \cdot \frac{2\theta}{360} = d \Rightarrow \theta = \frac{90d}{\pi L} [^\circ], \quad (23)$$

여기서  $L$ ,  $d$ 과  $\theta$ 은 레이저 광원과 바이몰프까지의 거리, 눈금자에서의 레이저 빔 이동 거리, 끝단의 회전각이다.

광선 회전기의 회전 측정결과는 3번의 측정을 통하여 Fig.9에 나타내었다. 측정결과에서 알 수 있듯이 압전 소자는 전형적인 이력현상을 볼 수 있었다. 구동 입력 범위에 따른 DC 영역의 회전량은 Fig.9에서 ①번 선을 따라 가며 변하게 된다. 즉 압전 소자의 이력 현상 때문에, 입력 범위에 따라 구동기의 DC이득 회전각이 조금씩 변하

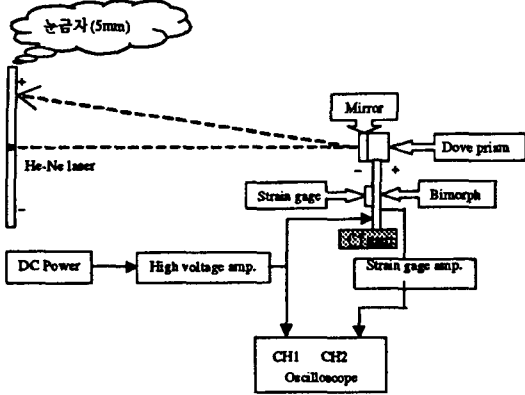


Fig. 8 Configuration of experimental setup.

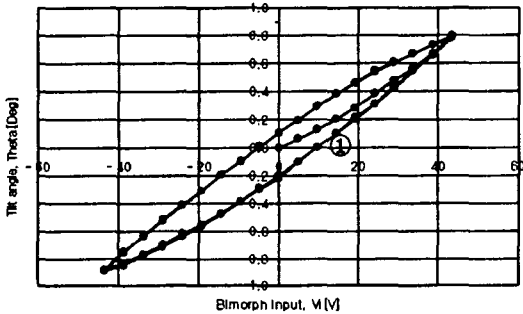


Fig. 9 Relationship between strain gauge and bimorph input voltage.

게 된다. 식(23)에서 구한 정적 회전각은 이론적으로 구한 식(17)의 값과 비슷한 값을 가짐을 알 수 있다. 즉 구동 입력 10V에서의 회전각은 이론적으로 구할 경우 약 0.13°이다. 초기의 구동 영역이 약 10V로 할 경우, 실험적으로 구한 값 0.12°과 비슷함을 알 수 있다.

### 4.3 구동기 전달함수

광선 회전기의 주파수 특성 분석을 위해 분석장비로는 HP35670A를 사용하였다.

측정 센서로 Polytec사의 OFV-3000 laser Vibrometer를 사용하였다. 정현파 스위핑을 통하여 주파수 분석을 하였다. 실험적으로 구한 공진 주파수는 54Hz 부근에서 관찰되고 있다. 측정 결과는 Fig. 10에 나타내었다.

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

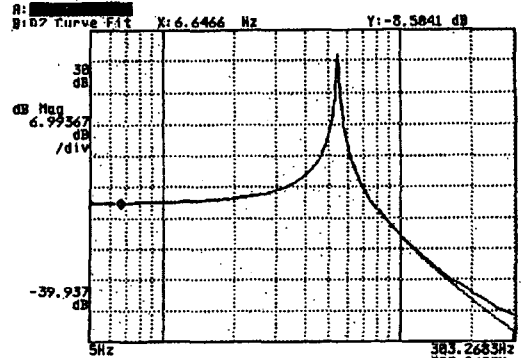


Fig. 10 Frequency response of beam rotating actuator using laser vibrometer.

$$\frac{\theta_L}{V_i} = \frac{1.3E3}{s^2 + 1.1s + 1.18E5}, \quad (24)$$

여기서,  $\theta_L$ 와  $V_i$ 는 각각 레이저센서에 의해 계산된 회전각 (°), 구동입력 전압(V)이다.

## 5. 분석 및 고찰

광선 회전기는 고 정밀도를 구현하기 위해 구동소자로 피에조를 사용하여 제작 하였다. 회전각은 측정을 통하여 구한 것과 이론적으로 구한 것을 비교 분석하여 검증하였다. 광선 회전기의 정적 회전영역에 대해서는 Fig. 9에 실험적으로 자세히 나타내었다. 입력과 출력과의 관계가 선형적이고 구동입력이 적은 경우, 회전각은 식(17)에서 구한 것과 실험적으로 구한 Fig. 9의 값과 일치한다.

실험식(24)는 광선 회전기의 전달함수로 이론적으로 모델링한 식(9)를 의미한다. 실제 제어에서 사용하는 구간은 15V이내의 값을 사용하고 센서를 사용하여 보상하므로 피에조의 비선형성은 충분히 보상 가능하다.

식(9)에서 구한 공진주파수 값(52Hz)은 실험적으로 구한 값(54Hz)과 일치하고 있다.

또한 DC 영역의 회전값도 실험식(23)과 이론식(17)에서 비슷함을 알 수 있다. 즉, 구동 입력 10V에서의 값을 실험값과 이론값을 비교하면  $0.12 \pm 0.01^\circ$ 로 비슷함으로 알 수 있다. 따라서 미소 회전각에 대해서 선형적으로 가정할 경우 2장의 수학적 모델링은 충분히 광선 회전기의 특징을 나타내고 있다. 이에 대한 검증을 위해 실험적으

로 운동 방정식을 구하였다.

## 6. 결 론

다중 광선 시스템을 사용함으로써 광 디스크 시스템의 전송률을 높일 수 있다. 그러나 이 시스템은 새로운 빔 회전기를 요구한다. 따라서 본 연구에서는 일렬의 여러 광선을 회전시킬 수 있는 고 대역 빔 회전기를 개발하였다. 광선 회전기의 특성은 다음과 같다. 첫째, 수학적 모델링을 유도하고 이를 바탕으로 공진 주파수와 구동 주파수 범위를 결정하였다. 구동기의 공진 주파수는 54Hz에서 실험적으로 관찰하였다. 둘째, 구동기의 주파수 특성을 이론적, 실험적 분석을 통하여 구동기 자체의 전달함수를 구하였다. 레이저 센서를 사용하여 구동기의 주파수 특성을 실험적으로 측정하였고, 회전량과 구동 입력과의 상관 관계를 통하여 타당성을 실험적으로 검증하였다. 셋째, 피에조 자체 특성에 의해  $\pm 0.005^\circ$  이하의 정밀도를 가지는 정밀 구동기를 개발하였다. 또한 빔 회전기의 전체 회전 범위는 45V에서 최대  $\pm 0.8^\circ$ 의 범위까지 확보했다.

## 참 고 문 헌

1. G. Bouwhuis et al, "Principles of Optical Disc Systems," Adam Hilger Ltd., Bristol. 1985.
2. 村山登, 小出博, 山田和作, 國兼眞, 共著, "光ディスク技術, ラジオ技術選書," pp.123~172, 1988.

3. 新居 亨一, 水上, "8빔-LD아레이による光ディスクドライブの高轉送速度化," Optronics, Vol. 5, pp.132~136, 1994.
4. R. Katayama, K. Yoshihara and Y. Yamanaka, "Multi-beam Magneto-Optical Disk Drive for Parallel Read/write Operation," Optical Data Storage-Topical Meeting, Proc. SPIE, Vol. 1078, pp. 98~104, 1989.
5. H. Tokumaru, K. Arai and N. Kawamura, "Multibeam optical system Incorporating a Microlens Array," Jpn, J. Appl. Phys. Vol. 35, pp. 375~379, 1996.
6. J. G. Smits, and A. Ballato, "Dynamic Admittance Matrix of Piezoelectric Cantilever Bimorphs," Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 3, pp. 105~111, 1994.
7. Y. Zhao and B. Jones, "Optimization of a Bimorph Piezotranslator Device for Electro-Pneumatic Power Conversion," Mechatronics, Vol. 3 No. 5, pp. 559~569, 1993.
8. R. F. Steidel Jr., "An Introduction to mechanical vibration, 3rd," John wiley & sons, New York, pp. 90~92, 1989.
9. M. Bass, E. W. Stryland, D. R. Williams and W. L. Wolfe, Handbook of Optics, McGraw Hill Inc. New York, 1995.