

Bimorph 피에조 소자를 이용한 빔 회전 구동기의 개발

The Development of the Beam Rotating Actuator Based on the Bimorph Piezo Material

이정현*(KAIST), 한창수(KAIST), 원종화(삼성전자), 김수현(KAIST), 박윤근(KAIST 대학원)

J. H. Lee* (KAIST), C. S. Han(KAIST), J. H. Won(Samsung Inc.), S. H. Kim(KAIST), Y. K. Kwak(KAIST)

ABSTRACT

The beam rotating actuator, which can be utilized to improve the data transfer rate for the optical disk systems, has been developed. It can employ a newly developed laser beam rotating actuator for putting multi-beam spots on more than one track on the optical disk simultaneously. Therefore, It has to maintain up to $\pm 0.01^\circ$ resolution and high bandwidth performance. In this these, the Dove prism is used for the beam rotating actuator based on bimorph piezo material. The performance of the beam rotating actuator is verified since the dynamics frequency performance is measured using the dynamic analyzer and the attached strain gage sensor. the beam rotating angle performance is also examined since the long range beam reflection character is utilized.

Key Words: Bimorph Piezo Material (바이모프 압전소자), Beam Rotation(빔 회전), Rotating Actuator(구동기), High Bandwidth(고대역폭), High Resolution(고정밀도)

1. 본론

현대의 정보사회에서는 고용량의 정보를 저장하는 장치들이 많은 인기를 얻고 있다. 이들 기록 매체 중에서도 광디스크 시스템은 최근의 기록 매체로 가장 많이 사용되고 있는 것 중 하나이다. 이 광디스크 시스템은 많은 발전을 거듭하고 있다. 특히 기록 재생속도의 향상에 대한 연구는 많이 진행되고 있다.^{(1)(2),(3)}

광 디스크에서 기록된 데이터를 재생시키기 위해 보통 하나의 광원으로 사용한다. 그러나 본 연구에서는 이러한 광원을 여러 개를 사용함으로써 데이터 재생능력을 향상시켜 데이터 전송능력을 빠르게 할 수 있는 기본 연구를 수행하고자 한다. 이를 위해서는 데이터 재생 광원을 여러 개 사용함으로써 인하여 이들 광원들을 각각 광 디스크의 정보가 기록된 트랙 위에 정확하게 빔을 모아야 한다. 보통 하나의 광원을 사용할 경우에는 광 디스크에

초점을 맞추어주는 초점 구동기와 트랙에 광원을 모으도록 도와 주는 트랙킹 구동기가 필요하다.⁽⁴⁾

그러나 여러 개의 광원을 사용할 경우에는 광 디스크의 반경반향으로 반경의 차이 나 장착상의 문제로 인하여 여러 개의 광원을 동시에 트랙 위에 모아야 한다. 이를 도와 주는 새로운 역할 하는 것이 필요하게 된다. 이를 해 주기 위해서는 정보를 읽어내는 광원을 적절히 미소하나마 회전시키는 것이 필요하다. 이러한 특성을 좀더 쉽게 할 수 있도록 고안된 것이 있다. 이 것이 도브(Dove) 프리즘이다. 도브 프리즘의 특성은 빔을 도브에 주사한 후 도브 프리즘을 회전시킴으로써 입사 된 일렬 빔의 방향을 회전 시킬 수 있다.

이 논문에서는 이러한 특성을 이용하여 일렬의 광원을 회전시키고자 한다. 즉 도브 프리즘을 회전시킬 수 있는 구동기를 고안함으로써 여러 개의 광원을 광축을 중심으로 회전 시키고자 한다.

본 연구에서 고안 되는 도브 프리즘 회전 구동기

는 $\pm 0.8^\circ$ 의 구동범위를 가지며 $\pm 0.01^\circ$ 의 정밀도를 가지고자 한다. 또한 이 구동기의 응답특성도 매우 높아야 한다. 따라서 구동기 자체의 주파수 대역(Bandwidth)를 높게 가지도록 하였다. 물론 약간의 병진운동도 수반하지만 이른 운동은 트래킹 구동기에서 충분히 보상이 가능하 것이다. 이들의 병진 운동량을 트래킹 구동기가 보상할 수 있도록 회전 구동기의 장착을 잘 고려하여야 한다.

2. 빔 회전 구동기

2.1 Bimorph의 모델링

Bimorph는 압전효과를 가지는 두개의 피에조판을 접착제를 이용하여 서로 붙여서 전압을 두 판에 인가했을 때 한 쪽 판은 인장하고, 다른 한 쪽은 판은 압축 되어서 궁극적으로 판 전체가 굴곡변위를 갖도록 하는 것을 재료이다.⁽⁵⁾

이때 가해지는 전압은 굴곡 변위에 비례하게 되는데 그 비례상수를 압전상수, D_{31} 라 한다. 판의 굴곡 변위를 이용하기 때문에 적층형 피에조에 비하여 공진주파수가 낮은 곳에 작동하며, 일반적으로 발생하는 힘 또한 작다.

Bimorph는 비교적 단순한 형태의 빔으로 처리하여 모델링을 할 수 있고 필요한 성능을 구할 수 있다. Bimorph의 한쪽판의 전압, V 에 대한 변위를 나타내면 식 (1)과 같다.

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

한쪽판에 걸리는 힘 ΔF 과 Moment ΔM 는 식 (2),(3)과 같다.

$$\Delta F = \frac{D_{31}VY_p W dy}{t_1} \quad (2)$$

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

따라서 Bimorph에 의한 전체 굽힘 모멘트(Bending moment)는

$$M = 2 \int_{t_2/2}^{t_2/2+t_1/2} \Delta M dy = \frac{D_{31}VY_p W (t_1 + 2t_2)}{4} \quad (4)$$

응력과 변형을 관계를 이용해서 굽힘 모멘트를 구해보면

$$M = 2 \int_0^{t_1/2} S_y y \delta A + 2 \int_{t_2/2}^{t_2/2+t_1/2} S_p y \delta A \quad (5)$$

$$= \frac{1}{r} (Y_s J_s + Y_p J_p)$$

$$\text{where, } J_s = \frac{W t_1^3}{12}$$

$$J_p = \frac{W}{12} [(t_1 + t_2)^3 - t_2^3]$$

식 (5)를 정리하여 식 (4)에 대입하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\frac{1}{r} = \frac{D_{31}VY_p W (t_1 + 2t_2)}{4(J_s J_s + J_p Y_p)} \quad (6)$$

한편, r 과 y 의 관계는 다음과 같다.

$$\frac{1}{r} = \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (7)$$

따라서 변위 y 를 구하면

$$y = \frac{3D_{31}VY_p (t_1 + 2t_2)}{2\{Y_s t_2^3 + Y_p [(t_1 + t_2)^3 - t_2^3]\}} x^2 \quad (8)$$

$x=l$ 일 때, 최대변위는 다음과 같이 얻어진다.

$$\delta = \frac{3D_{31}VY_p (t_1 + 2t_2)}{2\{Y_s t_2^3 + Y_p [(t_1 + t_2)^3 - t_2^3]\}} l^2 \quad (9)$$

이러한 최대변위를 얻기 위해서 필요한 힘은

$$F_c = \frac{3\delta(J_s Y_s + J_p Y_p)}{l^3} = \frac{3D_{31}VY_p W (t_1 + 2t_2)}{8l} \quad (10)$$

작은 굽힘 각에 대한 공진주파수를 구하기 보면 다음과 같다.

$$\Theta = \frac{\delta}{l} \quad (11)$$

$$K = \frac{M}{\Theta} = \frac{3(J_s Y_s + J_p Y_p)}{4l} \quad (12)$$

$$= \frac{W\{Y_s t_2^3 + Y_p [(t_1 + t_2)^3 - t_2^3]\}}{4l}$$

$$I = \int_0^l (\rho_s W t_2 + \rho_p W t_1) x^2 dx = \frac{1}{3} W (\rho_s t_2 + \rho_p t_1) l^3 \quad (13)$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{I}} = \frac{1}{4\pi l^2} \sqrt{\frac{3\{Y_s t_2^3 + Y_p [(t_1 + t_2)^3 - t_2^3]\}}{\rho_s t_2 + \rho_p t_1}} \quad (14)$$

위 식들로부터 Bimorph의 공진주파수와 변위, 힘을 구할 수 있다. Bimorph의 끝단에 질량을 달게 되면 전체적으로 주파수가 떨어지게 된다.

여기서 구한 공진주파수, 최대변위, 힘 등은 시스템에 적용하기 위한 구동기의 특성설계에 매우 중요한 기준이 된다. 그러나 이 수학적 모델링은 실제의 값과는 약간 차이를 가지게 되는데 이는 clamping 조건, 각 피에조판의 압전 상수의 차이,

creep 특성 등의 차이에서 기인한다. 위의 주파수 특성을 고려하여 선정된 Bimorph는 NTK P/N EB-300-80MSH2-3 로 선정하였다. 이 재료와 구동기의 특성 값은 Table 1 과 같다.

Properties	Value
l (Effective length)	25[mm]
w (Width of piezo plate)	8[mm]
Y_p (Young's modulus of piezo)	$6e10[N/m^2]$
D_{31} (Charging constant of piezo)	$-260E-12[C/N]$
ρ_p (Density of piezo)	$7.5E3[kg/m^3]$
T_2 (Thickness of brass)	0.1[mm]
T_1 (Thickness of brass)	0.21[mm]

Table 1. Material Properties

2.2 회전구동기

빔 회전은 도브 프리즘의 다음과 같은 특성으로 이용하여 회전을 일으킨다. 도브 프리즘의 회전각이 θ 인 경우 실제 일렬의 광원의 회전량은 실제 2θ 량 만큼 회전하게 된다

빔을 회전시키는 고주파수 특성을 가지는 구동기를 제작하기 위하여 외팔보 형태로 하였다. 물론 외팔보 끝단에서 발생하는 회전을 이용하고자 한 것이다. 그러나 이에는 회전 외에도 수평방향의 선형적 움직임도 존재한다. 그러나 이러한 양은 트래킹 구동기에서 충분히 보상이 가능한 것이다. 따라서 본 논문에서는 외팔보의 끝단에서 발생하는 회전량에 대한 감정을 통하여 회전 구동기의 특성을 파악하고자 한다. 전체적인 구동기의 형상은 Fig. 3 와 같다. 여기에서 사용한 센스는 우선적으로 Strain gage를 사용한다. 우선 Strain gage의 특성은 Fig. 4 과 같이 간단한 회전정보에 대한 특성을 정량적으로 측정하고 이를 바탕으로 Strain gage와의 상관관계를 알고자 하였다.

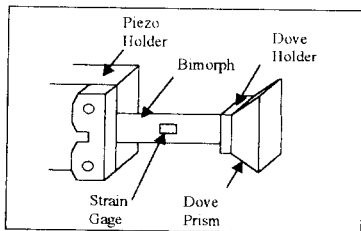


Fig. 3. Configuration of Dove Actuator

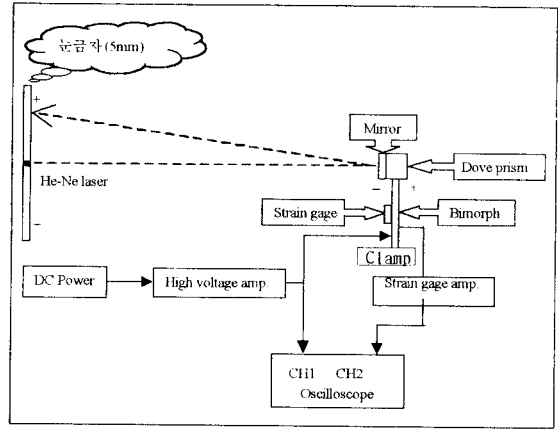


Fig. 4. Configuration of Experimental setup

실험방법을 살펴보면, He-Ne laser를 Dove prism에 조사 시켜 반사되어 오는 빛의 위치로 Bimorph의 회전각을 측정한다. 이때 Strain gage를 사용하여 Bimorph중앙의 Strain 값 변화도 기록한다. Strain gage amp는 이득 값을 10,000으로 두어 Sensitivity는 $200\mu\epsilon/3.657V$ 가 되도록 하였다. He-Ne laser의 Spot 위치는 도브 프리즘의 옆면. He-Ne laser와 도브 프리즘사이의 거리는 4.5m로 두었다. 레이저 광원(He-Ne laser)의 위치를 중심으로 눈금자를 사용하여 움직인 량을 측정하였다. 따라서 이때에 Bimorph의 회전각은 다음과 같이 간단히 계산될 수 있다.

$$2\pi L \cdot \frac{2\theta}{360} = d \Rightarrow \theta = \frac{90d}{\pi L} \text{ [°]} \quad (15)$$

where, L : laser source ~ Bimorph사이거리

d : laser spot의 이동거리

θ : Bimorph끝단의 회전각

3. 구동기 특성 분석

구동기의 센스로 사용될 Strain gage의 일력에 대한 출력 관계를 Fig. 4의 방법으로 측정하여 Fig. 5의 결과를 얻었다. 본 연구에서 사용한 Strain gage용 Amplifier는 Instruments Division 2310 Signal Conditioning Amplifier이다. 측정결과에서 알 수 있듯이 피에조의 전형적인 이력현상을 가진다. 그러나 이들의 관계로 대략적으로 선형화 시켜 구하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$V_g = 0.076 V_i \quad (16)$$

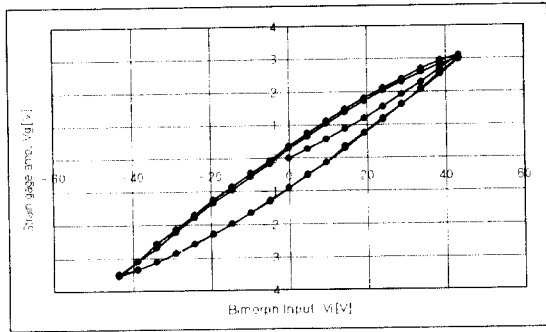


Fig. 5 Relationship between Strain gage and Bimorph Input Voltage.

도브 회전 구동기의 회전 특성을 알아 보기 위하여 Fig. 4의 방법으로 실제 회전량을 측정하였다. 아래와 같은 이력현상(Hysteresis)을 가졌으며 회전 범위는 50V 입력에 대하여 약 $\pm 0.8^\circ$ 가 되었다. 또한 이들의 관계를 선형적으로 예측할 경우 아래와 같은 간단한 관계를 구할 수 있다.

$$\theta = 0.019 V_i \quad (17)$$

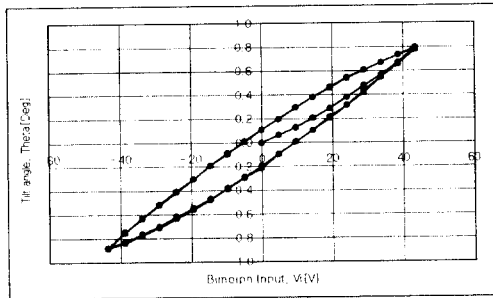


Fig. 6. Relationship between Tilt angle and Bimorph Input Voltage.

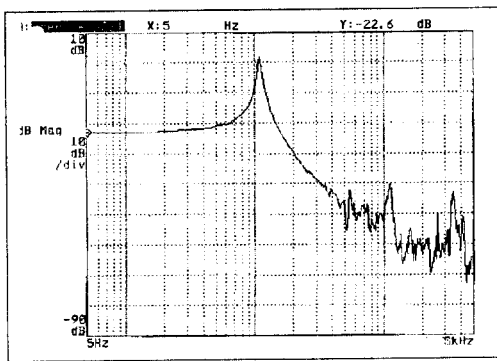


Fig. 7. Frequency Response of Dove Actuator.

회전 구동기의 특성을 분석하기 위하여 주파수 특

성을 분석하였다. 분석장비로는 HP35670A를 사용하였다. 구동기의 주파수 분석을 위해서 Strain gage의 사용과 함께, 광학센스를 하여 검정하였다. 분석 결과 Fig. 7에서 보는 바와 같이 구동기 자체의 공진 점은 약 100Hz에 존재했으며, 2차 공진 점은 약 1.1kHz에서 나타났다. 2차 공진 점은 구조 자체에서 발생하는 공진 점이다.

4. 요약

본 연구에서는 일련의 여러 빔을 회전시킬 수 있는 고 대역을 가지는 빔 회전 구동기를 개발하였다. 구동기의 주파수 대역은 100Hz이며 부차 공진 점은 1.1kHz에서 발생하였다. 실제 이 구동기는 구동 주파수 범위는 빔의 개수에 따라서 약간은 다를 수 있지만 초기의 위치만을 정확하게 조절할 수 있으면 된다. 따라서 충분히 빔의 회전에 필요한 구동기 특성을 가지고 있다.

구동기의 특성을 분석하기 위하여 아래와 같은 실험을 하여 검정하였다.

1. 구동기의 주파수 특성을 분석하여 구동기 자체의 전달함수를 구하였다.
2. 구동기의 센스로 사용할 수 있는 Strain gage를 부착하고 특성을 실험적으로 검정하였다.
3. 실제의 회전량을 측정하여 Strain gage의 변형량을 측정하였다.

참고문헌

1. Alan B. Marchant, "Optical recording(a technical overview)," Addison-Welsley Publishing Company, 1990, Massachusetts, USA.
2. Koumura, K., Takizawa, F., Iwanaga, T., and Inada, H. "High Speed Accessing using Split Optical Head," SPIE, Data Storage Topical Meeting, Vol. 1078, 1989, pp. 239-243.
3. 新居 亭一, 水上, "8ビーム LD 배열による光ディスクドライブの高轉送速度化," OPTRONICS, Vol. 5 1994, pp132-136.
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. Y. Zhao and B. Jones, "Optimization of a Bimorph Piezotranslator Device for Electro-Pneumatic Power Conversion," Mechatronics, Vol. 3 No. 5, 1993, pp559-569.