

렌즈 구동을 위한 선형 초음파 전동기 설계

권태성[†] 이승엽^{*} 김수경^{**}

Design of Linear Ultrasonic Motor for Small Lens Actuation

Taeseong Kwon, Seung-Yop Lee, Sookyung Kim

Key Words: Actuator, Ultrasonic motor, Focusing actuator, Inertia force, Saw signal

ABSTRACT

There is a great demand of micro-actuators for mobile information devices such as SFF optical drives and mobile camera phones. However, conventional magnetic coils of electromagnetic motors are a major obstacle for miniaturization because of their complicated structures and large power consumption. In this paper, a linear ultrasonic motor to actuate focusing lens of mobile devices is proposed. The new actuator uses a ring type bimorph piezoelectric material, and d_{31} mode is adopted for applying linear motion. The interaction between inertia force and friction force makes linear motion by high-frequency saw signal input. The saw signal gives steady forces on the one direction by asymmetric inclination property of the signal itself on time domain. A commercial FEM (ANSYS) was used in this investigation for simulating structural analysis, identification of dynamic property, such as resultant displacement and coupled analysis with piezoelectric material. To evaluate the performance of the new design, a prototype was manufactured and experiments were carried out. Experimental results show the actuator motion of 1.52 mm/s at 10 kHz input signal in 5 V.

1. 서 론

현재 전 세계적으로 정보 저장기기의 고밀도화에 따른 각종 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 삼성 전자의 16기가 낸드 플래시 메모리의 개발을 필두로 정보 저장기기 산업에서 분야를 가리지 않는 무한 경쟁이 시작된 것이다.

HDD, ODD 및 플래시 메모리 등 거의 모든 기억 가능한 소자들은 이미 마이크로 시대를 넘어 나노단위의 정밀한 구조와 동작을 요구하게 되었다. 그러나 각 소자자체의 기술과 정밀도와 달리

상대적으로 구동기의 기술 향상 및 선택성은 그리 크게 진보하지 못했다. 이는 대체로 가격대 성능비가 가장 뛰어난 electro-magnetic force를 위주로 하는 구동기의 특성상의 한계 때문이며 실제 산업에 사용되는 제품 역시 이들 제품이 대다수를 차지한다 [1].

그러나 HDD가 100Gb/in² 이상의 성능이 요구되고 ODD에서 Blue-ray Disc의 상품으로써의 등장이 가시화되는 현재의 기술 상황에서 나노미터 단위의 위치 제어가 상당한 이슈로 대두되었다. 단순히 액츄에이터를 작고 정밀하게 만들어서 구동하는 것으로는 해결하기 어려운 문제이기 때문이다. 이를 극복하기 위하여 나노미터 단위의 제어가 가능한 동시에 신호에 대한 응답성이 좋은 압전 재료를 이용한 액츄에이터의 연구가 상당한 주목을 받게 되었다 [2].

현재 활발한 연구가 진행되고 있는 ODD분야의 근접장 광기록 부문에서 Gap 제어와 관련되어

† 서강대학교 기계공학과

E.mail: ulario7x@sogang.ac.kr

TEL: (02)706-8280 FAX: (02)712-0799

* 서강대학교 기계공학과, 교수

** (주)나노스토리지

압전재료를 사용한 액츄에이터의 필요성은 상당하다고 할 수 있다. 이는 광신호의 요구 SNR을 충족하기 위해서 능동 제어가 이식되고 있는 상황에서 광픽업의 성능을 유지 시켜줄 수 있으며 또한 디스크 충격과 같은 순간 변화량에 대해서 빠르고 정밀한 보정이 가능하기 때문이다. 더구나 압전재료 특성상 소형화 되어야할 액츄에이터에서도 기존 액츄에이터보다 상대적으로 큰 힘을 낼 수 있기 때문에 가속도 변화량에 대한 지지력 감소 부분을 해결 할 수 있다.

본 논문에서는 전자기기 전체에서 문제가 되는 전력 소모를 줄이기 위하여 multi-layer를 피하고 dual-layer를 이용하여 순간 변위량과 힘을 높였으며 PZT에 비하여 성능이 우수한 PMN-PT를 사용한 액츄에이터를 제시하였고 광픽업용 액츄에이터로서의 가능성을 타진하기 위하여 ring type의 축 방향 구동을 목적으로 새로운 형태의 액츄에이터를 설계하였다.

2. 액츄에이터 구조 및 구동 원리

2.1 액츄에이터 구조

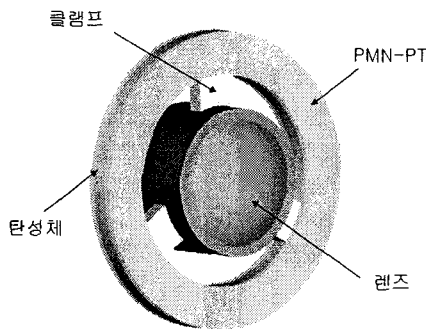


Fig 1 액츄에이터 구조

Fig 1은 본 연구에서 제안한 렌즈 구동을 위한 선형 초음파 액츄에이터의 구조를 보여준다. 그 구조는 렌즈를 포함한 경통, 2개의 링 모양의 압전체(PMN-PT) 그리고 탄성체와 클램프로 구성되어 있다. 탄성체와 클램프는 일체형이며 탄성체와 압전체는 에폭시로 접착되어 있고 압전체의 Poling 방향은 Fig 2와 같다. 전극은 두 개의 압전체가 서로 반대방향이며 이는 전압이 인가되었을 때 서로 반대방향의 변위를 갖도록 하기 위함

이다.

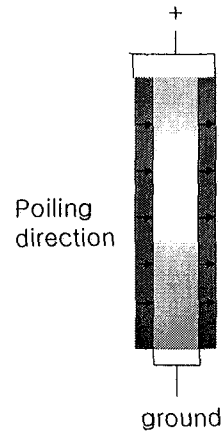
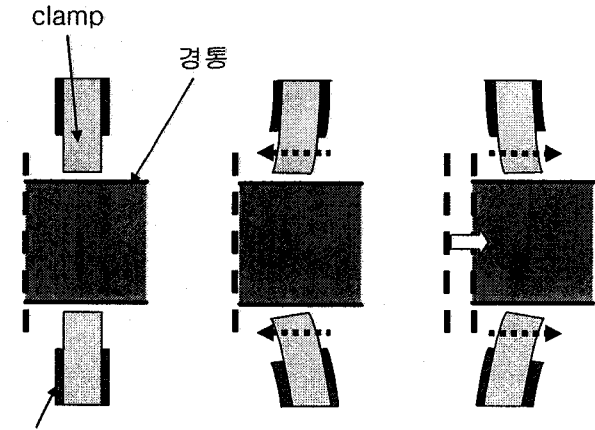


Fig 2 압전체의 전극과 Poling 방향

본 연구에서 제안하는 액츄에이터는 나노단위의 정밀제어를 목적으로 할 뿐 아니라 모바일 기기에서와 같이 그 크기가 매우 제한적인 장치에서도 유용하도록 하는데 주안점을 두고 있다. 따라서 그 구조가 간단하여야 하고 소수의 압전재료만을 사용하여야 하며 그 동작 또한 복잡하지 않아야 한다. 이런 조건을 만족시키며 렌즈경통을 전후방향 뿐 아니라 상하방향으로도 구동시키기 위해서 클램프가 사용된다.

2.2 구동 원리

압전재료의 빠른 변형 응답을 이용한 정밀 구동에 대한 연구는 제안되어져 왔다. 본 논문에서는 기존 방식보다 새롭고 개선된 구동원리(Impact drive mechanism)를 제안한다. Fig 3은 이 원리를 나타내고 있다. 구동은 3단계로 이루어지는데 첫 번째 단계는 전원이 인가되지 않은 초기상태이고 (Fig 3 (a)), 두 번째 단계는 인가전압을 빠르게 감소시키며 인가하면 클램프가 뒷방향으로 빠르게 움직이며 경통은 관성에 의해 제자리에 있게 되며(Fig 3 (b)), 세 번째 단계는 전원인가를 서서히 증가시키면 전진 방향으로 클램프가 서서히 움직이며 이때 경통이 클램프를 따라서 서서히 이동하게 된다(Fig 3 (b)). 그리고 두 번째 단계와 세 번째 단계를 반복하게 되면 결국 경통은 앞으로 전진하게 된다.



PMN-PT

(a) Initial (b) Quick deflection (c) Slow deflection

Fig 3 Principle of Impact drive mechanism

구동 과정중 경통은 마찰력과 관성력의 순간적인 비교 우위에 따라 정지 또는 이동을 반복하게 되는데 클램프와 경통사이의 마찰계수, Saw signal 형태로 인가되는 전압의 주파수 그리고 인가전압에 대한 압전체의 변위량등이 이 운동을 결정짓는 주요 파라미터라고 할 수 있다.

3. 이론적 해석

3.1 링 타입 액츄에이터의 이론적 모델링

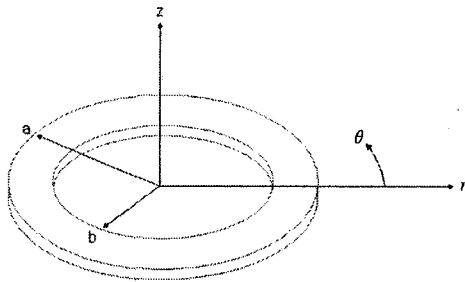


Fig. 4 Ring and Polar coordination

링 타입 액츄에이터의 공진 주파수나 공진 모드는 다음 변위의 관계식

$$u_r = \frac{1}{h} \left[A \frac{dJ_n(hr)}{dr} + B \frac{dY_n(hr)}{dr} + \frac{n}{r} (CJ_n(kr) + DY_n(kr)) \right] \times \cos(n\theta) e^{j\omega t} \quad (1)$$

$$u_\theta = -\frac{1}{h} \left[\frac{n}{r} (AJ_n(hr) + BY_n) + C \frac{dJ_n(kr)}{dr} + D \frac{dY_n(kr)}{dr} \right] \times \sin(n\theta) e^{j\omega t} \quad (2)$$

$$h^2 = \frac{\rho\omega^2}{\lambda' + 2\mu} \quad \rho: \text{density} \quad (3)$$

$$k^2 = \frac{\rho\omega^2}{\mu} \quad \omega: \text{angular frequency} \quad (4)$$

$$\lambda' + 2\mu = \frac{E}{1-\sigma^2} \quad E: \text{Young's Modulus} \quad (5)$$

$$\mu = \frac{E}{2(1+\sigma)} \quad \sigma: \text{프아송비} \quad (6)$$

를 $r=a$ 및 $r=b$ 에서의 경계 조건

$$T_{rr} = (\lambda' + 2\mu) \frac{\partial u_r}{\partial r} + \lambda' \frac{u_r}{r} + \frac{\lambda'}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} = 0 \quad (7)$$

$$T_{r\theta} = \mu \left(\frac{\partial u_\theta}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_r}{\partial r} - \frac{u_\theta}{r} \right) = 0 \quad (8)$$

으로 풀어서 구할 수 있다. 즉 공진 주파수 정수

$\alpha_{n,m} = ha$ 가 정해지면

$$f_r = \frac{\alpha_{n,m}}{2\pi a} \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\sigma^2)}}, \quad \alpha_{n,m} = ha \quad (9)$$

로 계산된다. 이로부터 초음파 액츄에이터의 동적 주파수가 얻어진다.

3.2 PMN-PT 액츄에이터

PMN(lead-magnesium-niobate)은 전왜(electrostrictive) 물질로서 PZT보다 우수한 물성치를 가진 재료이다. Table 1 은 밀도를 제외한 다른 주요 물성치들이 PZT보다 PMN-PT가 우수함을 보여준다. 특히 Piezoelectric constant가 4배가량 크고 탄성계수가 3배정도 크기 때문에 힘과 변위에서 PMN-PT가 유리함을 알 수 있다.

Table 1 Properties of PZT and PMN-PT material

Property	PMN-PT	PZT	Unit
Density	7843	7900	kg/m ³
Dielectric constant	6110	3000	.
Coupling factor	0.92	0.62	.
D31 charge constant	-894E-12	-240E-12	m/V
Young's modulus	144E9	50E9	Pa

4. 유한요소 해석

4.1 PMN-PT 연성해석

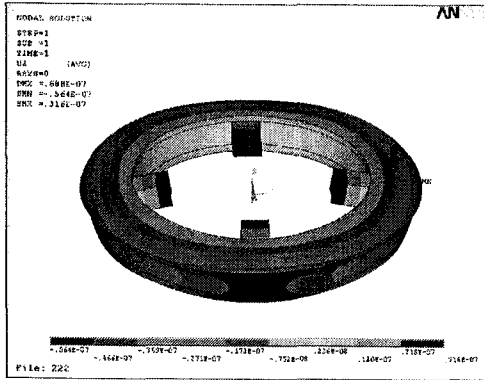


Fig 5 Deformation result of PMN-PT actuator

인가 전압에 대한 압전체의 변위량은 본 논문에서 제안하는 선형 초음파 액추에이터의 속도를 결정짓는 중요 파라미터이므로 그 값을 예측하는 것이 필요하다. 또한 압전체의 변위량은 액추에이터의 설계 요소(외경, 내경, 탄성체 두께등)에 의해 결정된다. 따라서 초음파 액추에이터의 적정 구동 속도를 얻기 위한 정적 변위량을 설계 요소에 반영하여야 한다.

Fig 5는 압전체의 변위를 상용 유한 요소 해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 도출해낸 결과를 나타낸다. 압전체에 5V의 구동전압을 인가하였을 경우 31.6nm의 변위량을 나타내는 것을 알 수 있었다.

4.2 동특성 해석

일반적으로 초음파 액추에이터에는 구동주파수에 있어서 공진주파수를 이용하는 것과 그렇지 않은 것이 있다. 특히 소형의 초음파 액추에이터에서는 압전체 자체의 크기가 작기 때문에 변위가 매우 작은 편이어서 일반적으로 공진주파수로 전압을 인가하여 그 변위가 증폭되는 효과를 이용한다.

Fig 6은 상용 프로그램인 ANSYS Workbench를 이용하여 해석한 제안 모델의 전달함수이며 1차 공진 모드는 19.7 KHz, 2차 공진 모드는 51.4 KHz로 나타났다.

본 논문에서 제안한 모델에서는 앞에서 언급한 바와 같이 PMN-PT 연성해석 결과 5V의 전압을 인가하였을 경우 31.6 nm의 변위가 발생하는 것을 알 수 있었으며, 이를 토대로 액추에이터의 이송 속도를 예측하면 10 KHz의 saw signal 구동

주파수에서 0.632mm/sec 가 된다. 여기에 공진 주파수를 이용하기 위하여 51.4 KHz로 전압을 인가하게 되면 액추에이터 이송 속도는 수 mm/sec가 됨을 예상할 수 있다.

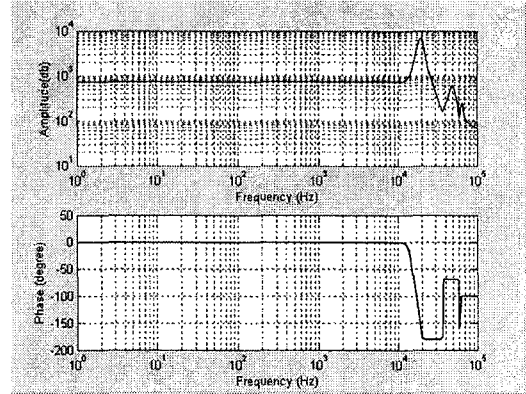


Fig. 6 FRF of PMN-PT actuator by ANSYS

5. 실험

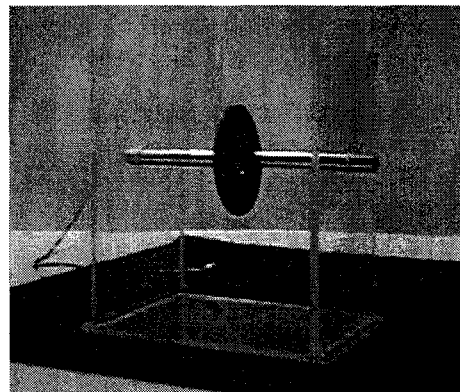


Fig. 7 Prototype of actuator

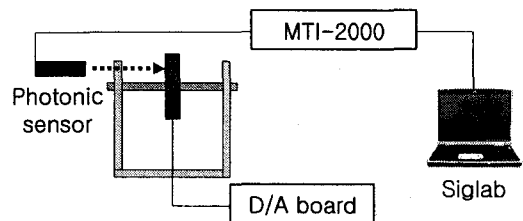


Fig 8 Measurement system

본 논문에서 제안하는 초음파 액추에이터의 적합성을 검토하기 위해서 설계 사항을 고려하여 제안모델보다 다소 크게 실험 모델을 제작 후 실

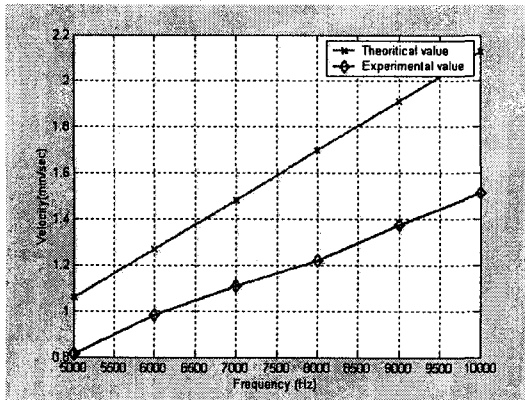


Fig. 9 Velocity of prototype actuator

험을 수행하였다. Fig 7은 액추에이터의 실험 모델로 외경 20 mm, 내경 6 mm의 크기로 제작되었으며 렌즈 경통 대신 3 mm 지름의 shaft를 이용하여 shaft를 따라서 PMN-PT 액추에이터가 이동하도록 하였다. Fig 8은 실험 시스템을 도식화한 것이다. D/A 보드에서 10V_{pp} saw signal을 인가하고 PMN-PT 액추에이터의 움직임을 포토닉 센서를 이용하여 MTI-2000으로 측정하고 그 신호를 Siglab에서 읽게 된다. Fig 9는 실험 모델에 5 KHz부터 10 KHz까지 5V_{pp} 전압의 saw signal을 인가하였을 때의 주파수에 따른 액추에이터 속도의 변화를 측정한 값을 그래프로 나타낸 것이다. 액추에이터의 속도를 결정짓는 파라미터중 하나인 정적 변위를 토대로 한 이론적인 속도(10 KHz 일때 2.13 mm/sec)와 실제 측정 속도(1.52 mm/sec)는 14%의 오차를 보이고 있는데 이것은 액추에이터의 속도가 전적으로 정적 변위에만 의존하지 않음을 보여주는 것이다. 실제로 액추에이터의 속도는 정적변위 뿐 아니라 클램프와 shaft사이의 마찰력과 구동 주파수와도 밀접한 관계가 있으며 그것은 액추에이터가 움직이게 되는 직접적 이유인 슬립 시간을 결정하기 때문이다.

6. 결론

본 논문에서는 압전 재료를 이용한 렌즈 구동을 위한 새로운 형태의 선형 초음파 모터를 제안하였으며 이론적 모델링과 유한요소 해석 그리고 실험을 통해서 그 타당성을 검증하였다. 액추에이터의 구동은 saw signal에 의해서 발생하는 관성력에 의해 클램프와 경통 사이에 슬립이 발생

하여 이루어진다. 액추에이터의 이동 속도는 클램프와 경통사이의 마찰력, 압전체의 정적변위 그리고 인가 주파수의 3가지 주요 파라미터에 의해 결정된다. 액추에이터의 설계변수에 따라서 압전체의 정적 변위가 수나노에서 수십나노미터에 불과하기 때문에 근접장 광기록 부문의 Gab 제어와 같은 정밀위치제어를 위한 액추에이터로 이용할 수 있을 뿐 아니라 공진주파수를 이용한 고주파대역의 전압인가를 통해서 모바일 기기에서 요구되는 빠른 이동속도를 위한 액추에이터로도 이용될 수 있음을 알 수 있었다.

Acknowledgement

본 연구는 학술진흥재단 (KRF-2004-005-D0003)에 의해 지원되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) W.S. Yang, S.-Y. Lee, S. Kim, 2004, "Ultra Small Pick-Up Actuator Design for a CF type II Optical Disk Drive", 2004 ISOM, Jeju, pp. 200-201
- (2) S.-Y. Lee, B. Ko and W.S. Yang, 2005, "Theoretical modeling, experiments and optimization of piezoelectric multimorph", Smart Materials and Structures, Vol. 14, pp. 1282-1290
- (3) L. Sun, Y. Zhang, 2001, "Study on Robots with PZT Actuator for small pipe", 2001 international symposium on micromechatronics and human science 0-7803-7190-9/01
- (4) M. Kurosawa, 1989, "Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control", IEEE, 36, 517-521
- (5) W. Ren, A.J. Masys, et al., 2001, "The variation of piezoelectric and Electrostrictive Strain as a Function of Frequency and Applied Electric Field Using an Interferometric Technique", British Crown, 85-88
- (6) K.Kawagoe, K. Furutani, 2003, Influence of Friction Force on Seal Mechanism with One Degree of Freedom", 2003 International Symposium on Mictomechatronics and Human Science 0-7803-8165-3/03