

# 모바일 기기용 렌즈 구동 압전형 액츄에이터 개발

## A Piezoelectric Lens Actuator for Mobile Information Devices

이 훈 태†·이 승 엽\*·박 영 필\*\*

Hun-Tae Lee, Seung-Yop Lee and Young-Phil Park

**Key Words:** PZT, Piezoelectric material(압전소자), Actuator(구동기), Auto-focusing(자동 초점), Clamp(클램프), Saw Signal (톱니파), Inertial force(관성력), Friction force(마찰력)

### ABSTRACT

In this paper, a lens actuator for mobile devices is proposed using stack type piezoelectric materials. In general, the deformation of PZT actuators is not enough for lens motion when the allowed voltage is applied. The small stroke problem can be solved by accumulating a lot of small displacements in high frequency. In this paper, a new inch-worm type model for focusing actuator is suggested based on the interaction of inertial and frictional forces. Theoretical analysis and simulation using ANSYS are performed to verify the feasibility of the inch-worm PZT actuator model. Various types of clamps are considered to determine the effect of frictional force on the motion, and appropriate clamp-actuator models are proposed. The proposed models are experimentally verified and the experimental results show high correspondence with theoretical and simulated values. The inch-worm type focusing actuator enable a large stroke with 7.79 mm/sec with 10kHz and 10V.

## 1. 서 론

최근 들어 한국 정부가 지향하고 있는 대한민국의 미래 모습은 “유비쿼터스(Ubiquitous)” 세상이다. 즉, 전국 어디에서나 컴퓨터를 통하여 쉽고, 빠르게 정보에 접속할 수 있는 나라를 만든다는게 현 정부의 입장이다. 이러한 유비쿼터스 세상의 중심에는 휴대폰, PDA 와 같은 무선 인터넷 기능을 강화한 모바일(Mobile)기기가 존재한다.

현재 추세는 우리나라뿐만이 아니라 각 나라마다, 그리고 이윤을 추구하는 각 기업마다 유비쿼터스 세상을 주도하기 위하여 다양한 연구가 진행되고 있으며 누가 먼저 경쟁에서 우위를 선점하느냐를 놓고 치열한 기술개발을 하고 있다. 그 전형적인 예가 인터넷사의 모바일 기능을 위한 중앙 처리 장치(CPU), 노스브릿지 등과 함께 무선 인터넷 연결을 가능케 하는 무선랜 등의 주요 핵심 부품군을 지칭하는 Centrino 라는 제품명일 것이다.

그러나 현재 모바일 기기의 대표적인 기기인 핸드폰에서 보면 알 수 있듯이 모바일 기기의 소형화는 여러 가지 중요한 기계적 요소의 한계로 인하여 그 벽에 부딪히고 있다. 즉, 현재 휴대폰은 고기능화에 의한 대형화와 시장의 요구인 소형화 경량화란 반대의 상황에 처해 있다. 그리고 그 한계의 중점에는 카메라의 오토포커싱용 모듈의 소형화란 주제가

있다. 또한 의료분야에서 진단을 위한 사진 촬영이나 건축 안전 진단 분야에서 건축물의 안전 상태를 확인하기 위한 사진 촬영을 위한 카메라 모듈은 거의 필수로 자리 잡기 시작하고 있다. 따라서 이 시점에 모바일 기기의 초소형화 및 경량화를 위한 모바일 기기용 오토포커싱 모듈을 미리 연구 함으로써 다가올 유비쿼터스 시대에 대비하는 연구가 필요하다.

이러한 이유로 활발한 연구가 진행되고 있는데 현재 (주) 삼성테크윈에서는 스텝핑모터를 이용한 연구가 진행중이지만 가격과 부피에 문제점이 있다. (주) 삼성 전기에서는 유압 방식의 모듈을 개발 중이나, 전력 소비 등의 문제가 있고, 기존의 광픽업 타입에서 처럼 전자기를 이용하여 많은 연구가 진행중이나 이 또한 부피와 복잡한 구조 등의 문제점을 안고 있다.

이 논문에서는 앞서 제시한 구동방식과는 다르게 한창 그 가능성을 발견하여 연구 중에 있는 지능재료(Smart material) 중에서 전압이 인가되면 변형을 일으키는 압전소자(Piezoelectric material)의 특성을 응용하여 모바일 기기의 현재 추세인 소형화에 필요한 초소형 렌즈 구동용 액츄에이터에 대해서는 해보고자 한다.

## 2. 액츄에이터 설계 및 구동 원리

본 연구에서 제안한 모바일 기기용 렌즈 구동 액츄에이터는 관성 질량, 실린더 타입 PZT, clamp 로 구성되어 있으며, 실린더 타입의 PZT 액츄에이터에

† 서강대학교 기계공학과 대학원  
E-mail : lht0421@sogang.ac.kr  
Tel : (02) 706-8280, Fax : (02) 712-0799  
\* 서강대학교 기계공학과, 정회원  
.. 연세대학교 기계공학과, 정회원

관성을 일으키게 해주는 질량이 결합되며 질량부에 렌즈가 삽입되는 형태를 보인다. 또한 마찰력을 일으키게 해주는 clamp 가 왼쪽과 오른쪽에 각각 2 개씩 추가되는 형태이다.

액츄에이터는 관성과 마찰의 상호 작용에 의해 구동하며, 구동 원리는 아래 Fig. 1 에서 보듯이 초기에는 4 개의 clamp 가 마찰력에 의하여 액츄에이터는 정지 상태에 놓여져 있다(Fig 1.-a). 이런 상태에서 PZT 액츄에이터에 saw 신호를 입력하면 PZT 액츄에이터는 천천히 변형을 일으키게 되어 상대적으로 마찰이 큰 오른쪽 clamp 가 고정부가 되어 중앙의 PZT 액츄에이터는 질량부와 함께 왼쪽으로 천천히 팽창한다(Fig 1.-b).

이 후에 빠르게 전압을 감소시키면 관성력이 발생하여 clamp 들의 마찰력 보다 관성력이 커지게 되며, 이로 인해 질량 부분이 중심이 되어 수축이 일어나게 되므로 질량부분이 고정부가 되어 오른쪽 clamp 가 왼쪽으로 끌려 오게 된다(Fig 1.-c).

앞서 설명한 구동원리를 이용하여 높은 주파수의 saw 신호를 압전재료에 입력하여 주면 왼쪽으로 이동하게 되며, 반대 방향으로 구동하기 위해서는 단지 신호만 반대방향으로 입력해 주면 된다.

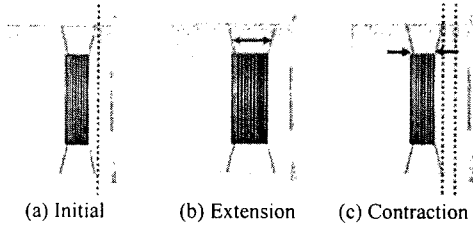


Fig. 1 Moving method

### 3. 이론적 모델

#### 3.1 PZT 액츄에이터의 정적 모델

Fig 2 에서 보는 바와 같이 실린더형 PZT 를 적층시키고 그 사이에 전압인가를 위해 전극을 넣어준 구조이다. 압전체의 Poling 방향으로 전압을 인가하게 되면 압전체는 인가 전압 방향으로 신장을 하게 된다.

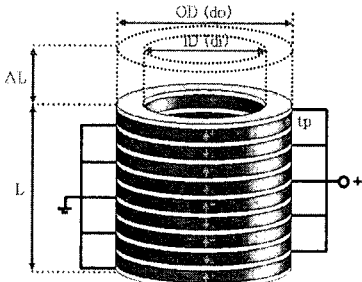


Fig. 2 PZT actuator

이러한 PZT 의 전압에 대한 변형의 구성방정식

은 다음과 같다.

$$S_{ij} = s_{ij}^E T_{ij} + d_{ij}^T E_i \quad (1)$$

$$D_{ij} = d_{ij}^T T_{ij} + \epsilon_{ij}^T E_i$$

$S_{ij}$ : Mechanical strain of ij direction

$s_{ij}^E$ : Elastic compliance of ij direction

$d_{ij}^T$ : Piezoelectric constant of ij direction

$E_i$ : Electric field of i direction

$D_{ij}$ : Electric displacement of ij direction

$\epsilon_{ij}^T$ : Dielectric constant of ij direction

식 (1)에 의해 외력  $T=0$  일 경우 PZT 의 변위를 나타내는 변형률은 다음과 같다.

$$S_{ij} = d_{ij} \frac{V_{in}}{t} \quad (2)$$

여기서 액츄에이터에서 이용하는 방향이 33 이므로 다시 정리하면 다음과 같이 유도된다.

$$S_{33} = d_{33} \frac{V_{in}}{t_{pzt}} \quad (3)$$

따라서 변위  $\Delta L$ 은 다음과 같고,

$$\Delta L = \epsilon_{33} L = d_{33} \frac{V_{in}}{t_{pzt}} L \quad (4)$$

결국 변위는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta = d_{33} V N \quad (N = \text{Pzt layer 수}) \quad (5)$$

또한, 식 (1)에서 Piezoelectric coupling 과 성분 ( $dE$ )을 제외하면 Hooke's Law 와 유사하다. 따라서 응력과 변형률과의 관계식을 이용하여 PZT 액츄에이터의 힘을 구할 수 있다.

우선, 응력과 변형률과의 관계식은 식 (6)과 같이 표현된다.

$$\sigma_{33} = Y_{33} S_{33} \quad (6)$$

앞에서 정의한 변위 변형률은 식 (3)과 같다. 따라서 식 (3)을 식 (6)에 대입하면 다음과 같고,

$$\sigma_{33} = Y_{33} \frac{V_{in}}{t_{pzt}} d_{33} \quad (7)$$

여기서  $\sigma_{33} = F/A$ ,  $Y_{33} = 1/\epsilon_{33}$  이므로 PZT 액츄에이터의 힘은 아래 식(8)과 같이 정리되어 진다.

$$F = \frac{\pi}{4} (d_o^2 - d_i^2) \frac{d_{33}}{\epsilon_{33}} \frac{V_{in}}{t_{pzt}} \quad (8)$$

#### 3.2 PZT 액츄에이터의 동적 모델

PZT 액츄에이터를 하나의 로드로 가정을 하게 되면 Fig. 3 과 같이 로드 에 외력이 가해졌을 경우의 축방향 운동으로 표현 할 수 있다. 따라서 각각의 축방향 모드를 해밀턴 원리를 이용하여 경계치 문제로써 유도해 낼 수 있게 된다.

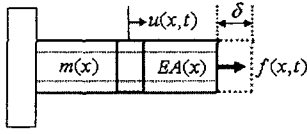


Fig. 3 Axial rod

$u(x,t)$  : Axial displacement

$m(x)$  : Mass per unit length

$EA(x)$  : Axial stiffness

여기서 축방향 변위인  $u(x,t)$  에 의해 에너지가 발생하게 되며, 그로 인한 운동에너지, 위치에너지와 비보전력에 기인한 가상 일을 구한 후 해밀턴 원리에 적용하여 정리하면 PZT 액츄에이터의 운동 방정식을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$-m(x)\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} + EA(x)\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} + f(x,t) = 0 \quad (9)$$

앞에서 구한 운동 방정식을 오일러 방정식에 적용하여 각각의 고유진동수를 구할 수 있으며, 고유진동수를 구하기 위해서 외력이 없다고 가정을 하면 액츄에이터의 운동 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$m(x)\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} - EA(x)\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} = 0 \quad (10)$$

식 (10)을 변수 분리를 사용하여 경계 조건 하에서 정리하면 고유 함수는 다음과 같다.

$$U_r(x) = \sqrt{\frac{2}{mL}} \sin\left(\frac{2r-1}{2L}\pi x\right) \quad (11)$$

또한, PZT 액츄에이터에 대한 각각의 고유진동수를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\omega_r = \frac{(2r-1)}{2} \pi \sqrt{\frac{EA}{mL^2}} \quad (12)$$

실린더 타입의 PZT 액츄에이터의 동적 특성을 알아보기 위해서 오일러 법칙을 적용하였다. 식 (11)에 의해 각각의 모드  $\psi_r(x)$  은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\psi_r(x) = \sin\left(\frac{(2r-1)}{2L}\pi x\right) \quad (13)$$

여기서 PZT 액츄에이터에 전압이 인가되었을 경우 힘이 발생하게 되는데, 이 힘을 고려하여 PZT 액츄에이터의 운동방정식을 구하면 다음과 같다.

$$m\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} - EA\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} = F_{pzt}(x) \quad (14)$$

식 (14)를 변수 분리를 사용하여 경계 조건 하에서 정리하고, 각각의 모드들은 순차적으로 직교하는 성질을 적용하여 정리하면 PZT 액츄에이터의 동적 특성 방정식은 다음과 같다.

$$u(x,t) = \sum_{r=1}^{\infty} U_r(x) F_r(t) \quad (15)$$

$$= \sum_{r=1}^{\infty} A_r \psi_r(x) F_{r0} e^{j\omega_r t}$$

여기서,

$$F_r(t) = \frac{A_r F_0}{m(\omega_r^2 - \omega_{dr}^2)} [\bar{\psi}_r(L) - \bar{\psi}_r(0)] e^{j\omega_{dr} t}$$

$$\bar{\psi}_r(x) = -\frac{2L}{(2r-1)} \cos\left(\frac{(2r-1)\pi x}{2L}\right)$$

### 3.3 Clamp 설계

앞에서 언급한 바와 같이 PZT 액츄에이터는 마찰과 관성의 상호 작용에 의하여 구동을 하게 된다. 따라서 PZT 액츄에이터와 케이스 표면 사이에 마찰을 유발하기 위하여 clamp 를 삽입하였다. 왼쪽 clamp 보다 오른쪽 clamp 에 상대적으로 큰 마찰력을 인가해 주기 위해서 clamp 의 설계가 필요하다. 또한 clamp 는 액츄에이터를 사용하지 않을 경우와 원하는 위치에 포커싱을 하였을 경우 보빈부를 고정시켜 주는 역할을 하게 된다.

Clamp 는 Fig. 4 과 같이 케이스 보다 수평 길이를  $\delta_x$  만큼 길게 제작하면, 케이스에 삽입 할 경우  $\delta_x$  만큼의 변형에 의한 수평 성분의 힘이 발생하게 된다.

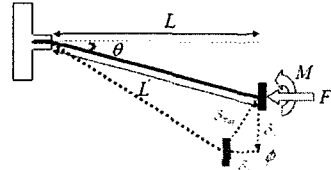


Fig. 4 Configuration of clamp

여기서 액츄에이터를 케이스에 삽입 할 경우 발생하는 변형  $\delta_x$  와 그로 인한 반발력 F 그리고 clamp 의 변형에 의해 발생하는 각도  $\phi$  와의 관계를 반발력 F 의 관점에서 정리해 보면 다음과 같이 나타내어진다.

$$\delta_{F,x} = \frac{FL^3 \sin^2 \theta}{3EI \cos^3 \theta} \quad (16)$$

$$\phi_F = \frac{FL^2 \sin \theta}{2EI \cos^2 \theta} \quad (17)$$

그리고 끝단에 힘이 작용할 경우 clamp 의 끝단이 T 자형이기 때문에 모멘트가 함께 작용하게 되는데 이러한 모멘트에 의해 발생하는 각도가 발생하게 되며 clamp 의 끝단이 수평을 유지하게 된다면 힘에 의한 각도 변화  $\phi_F$  와 모멘트에 의한 각도 변화  $\phi_M$  는 같다고 할 수 있고, 이를 토대로 모멘트를 구하면 모멘트에 의한 변형  $\delta_x$  를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\delta_{M,x} = \frac{FL^3 \sin^2 \theta}{4EI \cos^3 \theta} \quad (18)$$

따라서 최종적으로 발생하는 가로 방향에 대한 변형은 힘에 의한 변형에서 모멘트에 의한 변형을 빼 줌으로써 구할 수 있으며 결론적으로 변형에 의한 반발력 F 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$F = \frac{Ewt^3 \delta_x \cos^3 \theta}{L^3 \sin^2 \theta} \quad (19)$$

또한, clamp 의 끝단이 원형과 같은 형태로 한다면, T 자형태와 달리 끝단을 수평으로 유지하기 위한 모멘트가 발생하지 않는다. 따라서 clamp 의 끝단이 원형 모양일 경우에는 변형에 의한 반발력을 구할 경우 모멘트에 의해서 발생하는 변형을 고려해 주지 않음으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = \frac{Ewl^3\delta_x \cos^3\theta}{4L^3 \sin^2\theta} \quad (20)$$

### 3.4 오토포커싱 액츄에이터 구동 방식식

액츄에이터의 구동을 위해서는 Fig. 5 와 같이 기울기가 완만한 구간(section 1)에서는 슬립이 짧게 발생해야 하며, 기울기가 급격한 구간(section 2)에서는 슬립이 충분히 발생해야 한다.

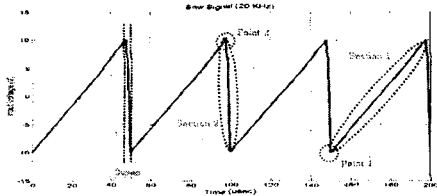
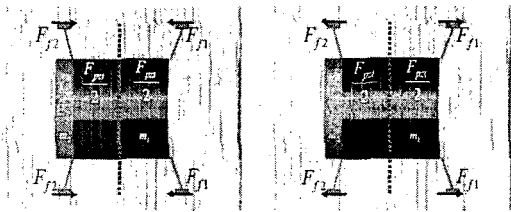


Fig. 5 Saw wave input signal

구간 1 과 구간 2 에서 액츄에이터는 등속운동을 하며, 구간이 바뀌는 지점에서 발생하는 관성력은 같다고 할 수 있다. 그러나 두 구간에서 액츄에이터의 초기 속도가 달라지므로, 관성력이 마찰에 의해 소멸되는 시간 즉, 관성력이 지속되는 시간은 두 구간이 다르다고 할 수 있다. 구간 1 의 시간  $t_1$  은 주파수에 따라서 변화하게 되고, 구간 2 의 시간  $t_2$  는 function generator 에서 일정하게 발생하는 시간으로 약 2usec 정도이다.



(a) Model of section 1 (b) Model of section 2

Fig. 6 Configuration of AF actuator by section

Fig. 6(a)는 구간 1 에서의 액츄에이터의 운동을 나타낸다. 각 clamp 의 마찰력은 앞 절에서 언급한 clamp 의 변형에 의한 반발력 즉, 수직항력과 임의의 마찰계수 0.5 를 곱한 값으로 나타내어지며 PZT 의 질량과 관성 질량을 합한 값을  $m_{total}$  이라 한다면 PZT 액츄에이터는 무게중심이 왼쪽으로 이동하게 되며 변경된 무게 중심을 기준으로 팽창하게 되나 오른쪽 clamp 의 마찰력이 왼쪽 clamp 의 마찰력보다 크기 때문에 오른쪽 clamp 가 고정축이 되어 결국, 왼쪽으로 팽창하게 된다. 여기서, 관성력이 발생할 때 액츄에이터의 초기 속도를

$V_{initial}$ , 관성력이 마찰에 의해 소멸되는 시간을  $V_{final}$  이라 가정하고 clamp 들간의 마찰력을 뉴턴의 제 2 법칙에 적용하여 마찰력에 대한 가속도 값을 구하면 구간 1 에서의 슬립이 일어나는 시간  $t_{slip1}$  은 다음과 같다.

$$t_{slip1} = \frac{2m_{total}d_{33}VNf}{(F_{f1} + F_{f2})(1 - 2 \times 10^{-6}f)} \quad (21)$$

Fig. 6(b)는 구간 2 에서의 액츄에이터의 운동을 나타내며 구간 2 과 구간 1 에서의 차이는 앞에서 언급한 바와 같이 구간 1 에서의 시간  $t_1$  이 주파수에 의존하는 반면 구간 2 에서의 시간  $t_2$  은 항상 2usec 로 동일하다는 것과 그로 인해 관성력이 발생할 때 액츄에이터의 초기 속도  $V_{initial}$  은 항상 동일하다는 것이다. 따라서 구간 2 에서의 슬립 시간인  $t_{slip2}$  는 다음 식과 같다.

$$t_{slip2} = \frac{m_{total}d_{33}VN \times 10^6}{(F_{f1} + F_{f2})} \quad (22)$$

## 4. 모델 해석

### 4.1 PZT 액츄에이터 변위 및 힘 해석

오토포커싱 액츄에이터를 설계하기 위해서는 PZT 액츄에이터의 변위와 힘을 아는 것이 중요하다. 일정 전압을 인가하였을 경우 발생하는 PZT 액츄에이터의 변위는 전체 액츄에이터의 슬립 시간을 예측 할 경우 초기 속도를 결정해주는 매우 중요한 요소이며, 힘은 clamp 의 마찰력을 고려한 설계에 있어서 중요한 요소이기 때문이다. PZT 액츄에이터의 변위와 힘을 구하기 위하여 앞 장에서 도출해낸 이론식 (5)와 (8) 그리고 유한 요소 해석툴인 ANSYS 를 이용하여 아래 Table. 1 과 2 에 나타난 값을 갖는 PZT 모델의 구조해석을 수행하였다.

Fig. 7 은 PZT 액츄에이터의 변위와 힘을 이론식과 유한요소 해석툴을 이용하여 계산된 결과값을 나타낸 것으로 거의 오차가 발생하지 않음을 알 수 있다. 본 오토포커싱 액츄에이터의 입력 전압인 10V 입력시, PZT 의 변위와 힘은 각각 800.5 nm 와 224.5 N 이다.

Dimension	Values	Units
Outer Diameter (OD)	14.3	mm
Inner Diameter (ID)	9.5	mm
PZT Height	13.5	mm

Table. 1 Material dimension of PZT actuator

Property	Values	Units
Young's modulus	48.3	GPa
Density	7500	Kg/m3
d33	593E-12	m/V
Dielectric const.	3400	
Poisson ratio	0.3	

Table. 2 Material properties of PZT actuator

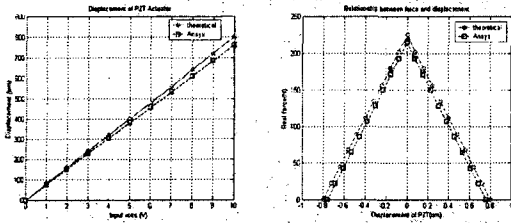


Fig. 7 Comparison of displacement between theoretical and Ansys results

### 4.2 PZT 액츄에이터 동특성 해석

본 연구에서 사용한 PZT 액츄에이터는 전압이 가해지면 축방향으로 변형이 일어나는데, 이때 변위는 매우 미미한 수준이다. 더욱이 모바일 기기등과 같은 경우에는 전압이 높지 않기 때문에 작은 신호로 큰 변위를 얻기 위해서는 PZT 액츄에이터의 공진 주파수와 동일한 주파수의 구동 신호를 인가해 주는 것보다 효과적이라 할 수 있다. 따라서 PZT 액츄에이터의 동특성을 분석하는 것이 필요하다. 이를 위해 앞장에서 도출해낸 이론식 (15)와 상용 프로그램인 ANSYS Workbench 를 이용하여 해석하였다. Fig. 8 은 이론에 의한 해석결과와 ANSYS Workbench 에 의한 해석결과를 도시한 것이다. 첫번째 축방향 공진 주파수는 동일함을 알 수 있었고, 이후 축방향 공진 주파수에서는 약간의 오차가 발생하는 것을 알 수있었다.

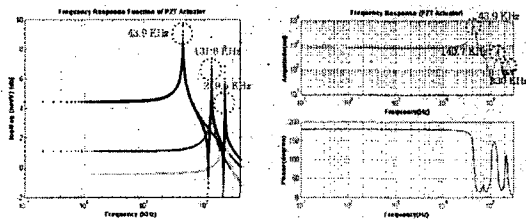
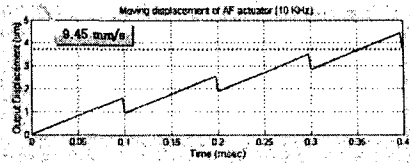


Fig. 8 FRF of PZT actuator by theoretical and Ansys

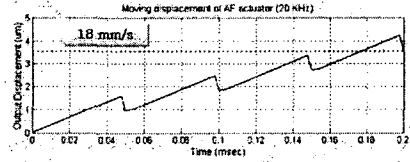
### 4.3 오토포커싱 액츄에이터 구동 해석

오토포커싱 액츄에이터의 이동 속도를 확인하기 위하여 앞에서 살펴본 슬립 시간에 관한 이론식 (21) 와 (22)을 토대로 하여 prototype 모델의 이론적 해석을 수행하였다. 여기서 슬립 시간은 마찰과 관련이 깊기 때문에 표면 거칠기와 구동 신호 그리고 PZT 액츄에이터의 응답 속도 등과 같은 많은 변수가 존재하지만, 이러한 변수들이 일정하다는 가정하에 계산 하였다. Fig. 9 (a)와 (b) 는 10 KHz 와 20 KHz 에서 시간에 따른 이동거리를 계산 한 것이다. 10 KHz 에서는 구간 1 에서의 슬립이 매우 짧기 때문에 이동 거리에 대한 손실이 거의 없으나, 20 KHz 에서는 구간 1 에서 슬립이 생기는 시간이 길어져 처음 기울기가 완만하게 꺾이는 것을 볼 수 있다. 하지만, 이러한 손실보다는 주파수의 증가로 인한 액츄에이터의 변형의 횟수가 증

가하기 때문에 전체적으로 볼 때 액츄에이터의 이동 속도는 9.45 mm/s (10 KHz) 에서 18mm/s (20 KHz) 로 증가하는 것으로 예상 할 수 있다.



(a) Moving velocity (10 KHz)



(b) Moving velocity (20 KHz)

Fig. 9 Moving velocity of AF actuator

## 5. 실험 및 분석

### 5.1 PZT 액츄에이터 실험 결과

PZT 액츄에이터의 적합성을 검토하기 위하여 이론적 해석에 사용되었던 설계 사양을 갖는 모델에 대한 실험을 수행하였다. 입력 신호는 데이터 측정 및 처리 장비인 시그랩(SigLab)으로 -10V 에서 +10V 의 교류전압을 입력하였고, 비접촉 변위 센서인 MTI-2000 Fotonic sensor 를 통해 PZT 액츄에이터의 변위를 측정하였다. PZT 액츄에이터의 타입은 압전 계열 물질 중  $d_{31}$  값이 우수한 PZT-5H 타입이며, 액츄에이터의 전체 치수는  $9.5 \times 14.3 \times 13.5$  이다. Fig. 10 은 PZT 액츄에이터의 변위에 대한 실험 결과를 나타낸 것이다. PZT 액츄에이터의 변위는 782 nm 가 측정되었으며 이 결과는 이론적 해석 결과인 800.5 nm 그리고 ANSYS 해석 결과인 760 nm 와 유사함을 알 수 있으며, 이론식이 타당함을 보여준다. 특히, 압전체에 문제가 되고 있는 히스테리시스 또한 일반적 값인 10 % 보다 우수한 성능을 보여주고 있다.

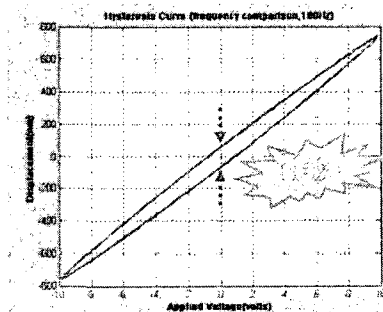


Fig. 10 Hysteresis and displacement of PZT actuator

## 5.2 오토포커싱 액츄에이터 구동 실험

앞에서 정립한 이론에 입각하여 구동 조건을 갖는 오토포커싱 액츄에이터를 제작하여 실험을 수행하였다. Fig. 11 은 prototype 으로 제작한 오토포커싱 액츄에이터이다. 우선적인 검증을 위하여 prototype 모델은 일반적인 모델보다 약간 큰 2.4 x 2.4 x 1.7 로 제작하였다.

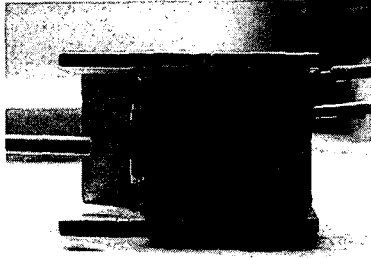


Fig. 11 Prototype of AF actuator

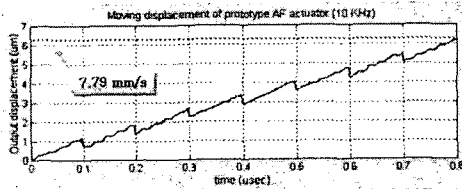


Fig. 12 Moving displacement of prototype AF actuator

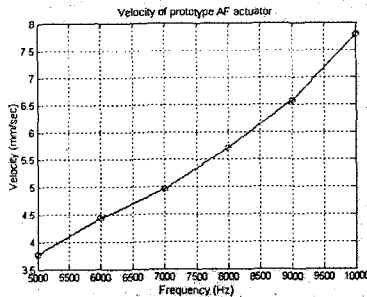


Fig. 13 Velocity of prototype AF actuator

Fig. 12 는 prototype 타입 모델에 10 KHz 로 -10 에서 +10 V 전압의 Saw 신호를 입력 하였을 때의 결과이다. 앞에서 정립한 이론으로 해석한 결과 (9.45 mm/s)와 실험 결과 (7.79 mm/s) 볼 때 약 12 % 정도의 오차가 발생하는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과의 차이는 제작 공차와 조립 시에 발생하는 오차 그리고 재질의 표면 거칠기 등에 따른 마찰 계수에 의한 영향으로 분석된다. 또한, stack 타입의 PZT 액츄에이터의 경우 캐패시턴스가 다른 타입 보다 다소 높기 때문에 구동 신호를 입력할 때 신호의 외곽이 미세하게 나타 발생한다. 이로 인해 이론적 해석에서와 같이 PZT 액츄에이터는 완벽한 응답을 보여주지 못하게 되고 관성력에서 약간의 오차가 발생하는 것이라 판단된다.

Fig. 13 은 동일한 조건하에 주파수를 낮춰가면서 측정한 결과이다. 주파수가 낮아 질수록 거의 선형적인 변화를 나타내는 것을 알 수 있다. 하지만, 앞에서

도 언급한 바와 같이 주파수에 따라 슬립이 일어나는 시간이 구간 마다 달라지고 여러 가지 변수들에 의해 약간의 오차가 발생하는 것을 알 수 있다. 그리고 적층수가 많은 PZT 액츄에이터를 사용하였기 때문에 공진주파수를 사용하지 않고도 충분한 성능이 나오는 것을 알 수 있다. 또한, 4 개의 clamp 가 액츄에이터를 지지해 주고, 양 측면에 구동 레일을 추가한다면 오토포커싱 액츄에이터의 중요한 요소중의 하나인 틸트를 저감하는데 매우 효과적이라 판단된다.

## 6. 결론

본 논문에서는 압전 재료를 이용하여 모바일 기기에 적용이 가능한 렌즈 구동형 액츄에이터를 제안하였다. 보다 안정적이고 큰 변위를 얻기 위하여 관성과 마찰에 의해 발생하는 슬립 현상을 이용한 구동 모델을 제시하였고, 관성력과 마찰력을 발생시키는 방법 및 이론적 모델을 제안하였다. 모델의 적합성을 검증하기 위해 각각의 설계 요소에 대해 이론식과 상용 해석 프로그램을 사용하여 구조 해석 및 구동 해석을 수행하였고, 이러한 해석을 토대로 실제 모델을 제작하여 실험을 수행하였으며 이론적 해석과 비교 및 분석을 통하여 타당성을 검증 하였다. 본 연구에서 제작한 prototype 액츄에이터의 실험 결과를 살펴보면 이동 속도와 거리가 매우 큰 것을 알 수 있으며 이 결과로써 오토포커싱 뿐만 아니라 줌 액츄에이터로도 적용이 가능하고 구조적으로 틸트에 강하기 때문에 차세대 모바일 기기용 초소형 카메라 액츄에이터로써 타당함을 확인하였다.

## ACKNOWLEDGEMENT

본 논문은 과학재단 지원에 의한 (R11-1997-042-11001-0) 정보저장기기연구센터(CISD) 과제로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고 문헌

- (1) 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
- (2) M. Goldfarb, N. Celanovic, 1996, "Modeling Piezoelectric Stack Actuators for Control of Micromanipulation", 1996 IEEE
- (3) W.S. Yang, S.Y. Lee, 2004, "Ultra Small Pick-Up Actuator Design for a CF type II Optical Disk Drive", 2004 ISOM, Jeju
- (4) Y. Ke, T. Guo and J. Li, 2003, "A New-Style, Slotted-Cymbal Transducer with Large Displacement and High Energy", IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, Vol. 51, No. 9
- (5) 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