

카메라폰용 슬림형 액츄에이터 설계

Design of a slim piezoelectric actuator for mobile phone camera

† 이승환*·김경호*·김정윤**·이승엽*·김수경**

Seunghwan Lee, Kyoungho Kim, Jungyun Kim, Seung-Yop Lee, Sookyoung Kim

Key Words : Bimorph PZT (바이모프 PZT), Piezoelectric material(압전재료), Modal analysis (모드 해석), Actuator(액츄에이터)

ABSTRACT

In this paper, a slim type actuator is proposed using a bimorph PZT and a circular rotor link. The bimorph contacts the circular rotor, and its displacement generates the rotational motion of the rotor. The rotor causes the linear motion of AF and zoom lens through gear and a motion guide. The proposed model enables the actuations of many lens groups for zoom module by extending the single lens model. The important design parameter is the contact force determined by the frictional coefficient and preload between the rotor and PZT bimorph. A prototype of the single actuator model is manufactured and experiments results using LDV and tachometer are compared to the theoretical and numerical predictions. Experiments show the linear bimorph actuator model meets the performance criteria of the lens actuation, and it can be applicable to various slim type actuators for AF and zoom motions in mobile cameras.

1. Introduction

휴대폰이 보급되기 시작한지 10 여 이 지난 지금 지속적으로 휴대폰에 관련된 주요 이슈들이 등장하고 있다. 컬러 액정사용과 더불어 MP3 및 PMP 와 같은 디지털 컨버전스를 넘어 현재의 가장 중요한 이슈는 디자인이며 그 중에서도 슬림형 카메라폰이 주류를 이루고 있으며 이에 대한 치열한 개발 경쟁이 이루어지고 있다.

현재 시장에서는 130 만이나 200 만 화소급 CMOS 센서의 카메라폰이 가장 많이 판매되고 있다. 휴대폰 카메라 자체의 성능이 구매의 중요한 조건이 되어있기 때문에 현재 대부분의 제품에는 자동초점 (autofocusing) 기능을 탑재되고 있으며 일부 고급 제품에는 디지털 카메라에 사용되는 줌 기능이 탑재되고 있다. 줌 기능은 실제 적용시 2 배 줌까지 렌즈 배열을 통해 구현이 가능하다. 그러나 슬림 폰의 경우에는 크기의 제한 때문에 자동초점이나 줌 기능의 구현이 어려운 상황이다.

카메라 폰의 렌즈를 움직여야 할 구동기의 경우는 기존의 스테핑 모터나 VCM 방법이 낮은 구동력과 부피의 제약 때문에 슬림형 모델에는 적용이 어려운 상황이다. 이에 대한 대안으로 압전재료를 이용한 다양한 형태의 압전형 구동기가 활발

히 연구되고 있다. 본 논문에서는 기본적 구조이면서도 가장 높은 성능을 구현할 수 있는 Bimorph 구조의 bender 를 대상으로 모델링과 해석 및 실험을 수행하였으며 디지털 카메라에 적용 가능한 메커니즘을 기본으로 prototype 을 제작하였으며 이를 기준으로 최적화된 휴대폰 카메라 모듈을 재설계하고 가능성을 검토할 것이다.

2. Modeling of Actuator

2.1 Modeling and conceptual design

실제 카메라폰용 줌 렌즈는 몇 개의 렌즈 군으로 되어 있으므로 최소한 2 개 이상의 렌즈 구동 액츄에이터가 필요하다. 본 연구에서는 이러한 렌즈군을 구동하기 위한 새로운 형태의 액츄에이터를 설계하는데 디지털 카메라에 적용 가능한 좀더 큰 scale 의 prototype 을 제작하여 제안한 액츄에이터의 성능을 검증하기로 한다. 주변의 조립 조건이나 부품의 공차에 의한 실제 액츄에이터 동작 성능이 이론적 예측과 유사한 지를 살펴보고자 한다

Fig. 1 은 제안한 액츄에이터의 개념도를 보여준다. PZT bimorph 액츄에이터가 원형의 세라믹 로터와 연결되어 있어서 액츄에이터의 변형이 로터에 회전운동을 일으켜 로터와 기어로 연결된 가이드를 움직여 렌즈를 구동하게 하는 것이다. 이 모델의 장점은 하나의 렌즈 뿐만 아니라 여러 개의 렌즈군을 움직이도록 쉽게 확대할 수 있으며 또한 상대적으로 크기를 줄일 수 있다는 장점이 있다. 본 논문에서는 먼저 광학 시스템의 성능 평

† 이승환 E-mail : austurias17@empal.com

Tel : (02) 706-8280, Fax : (02) 712-0799

* 서강대학교 기계공학과

** (주)나노스토리지

가에 앞서 가이드와 주변 부품의 적용 가능성을 검토할 것이다.

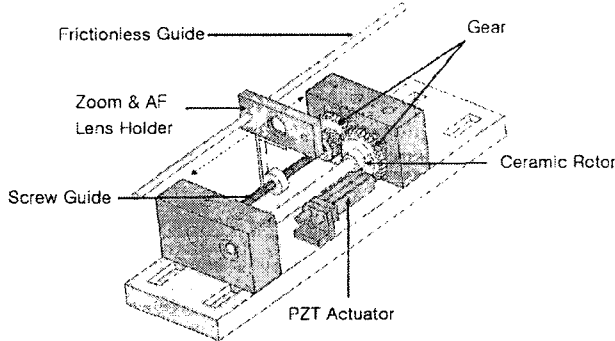


Fig. 1 Proposed actuator model for AF and Zoom lens

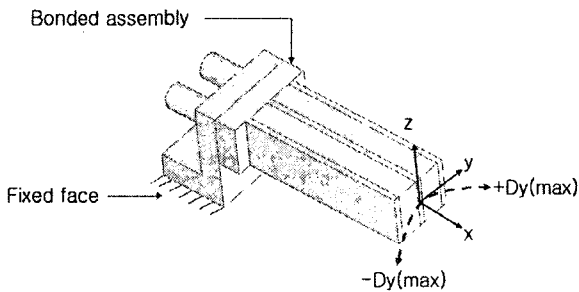


Fig. 2 Actuator modeling for testing

Fig. 2 는 실제 구동할 bimorph 모델의 보여준다. 액추에이터 성능을 검증하기 위하여 액추에이터를 제작된 알루미늄 지그와 실험 베이스에 고정 또는 bonding 하였으며 실제 제작에 앞서서 성능을 예측하기 위해서 시뮬레이션을 수행하였다.

2.2 Driving mechanism

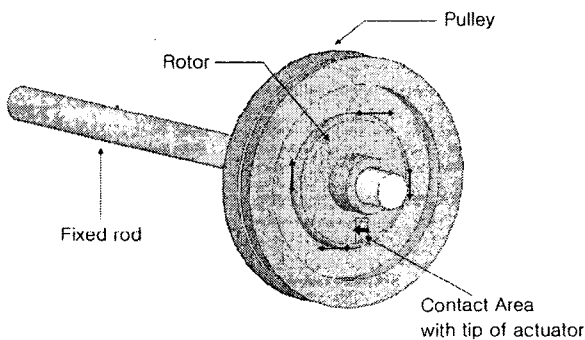


Fig. 3 은 액추에이터의 선형 운동을 회전 운동으로 바꾸어주는 세라믹 로터를 보여준다. 실제 액추에이터를 구동시 중요한 설계변수는 PZT 와 원형 로터 사이의 적절한 마찰력이다. 따라서 preload 의 적용에 따른 guide 의 설계와 tip 의 마찰면 설정이 중요하다. 여기에서는 ceramic 로

터를 벨트나 기어를 연결할 수 있는 pulley 와 접촉시켜 운동 전달 시스템을 구성하였다.

3. Simulation

3.1 Simulation process

PZT 액추에이터를 설계하기 위한 두 가지 중요한 변수는 y 축 변위와 공진 대역이다. 두 조건 모두 PZT 의 치수와 밀접한 관련을 맺어 변화하기 때문에 특성을 잘 파악하여야 한다.

Table 1 과 2 는 사용된 재료의 치수 조건과 물성치를 보여준다. Electrode 는 알루미늄을 사용하였는데 Young's modulus 가 PZT 재료와 거의 동일한 수준이므로 수십~수백 um 로 이루어진 electrode 를 해석에서는 무시할 수 있다고 보고 이같이 설계하여도 낮은 오차 내에서 구동 특성을 예측할 수 있다.

Table 1 Material property of KP 14

Piezoelectric material KP14	
Density	7800 kg/m ³
Young's Modulus	82GPa
Poisson's ratio	0.3
Q factor	80

Table 2 Actuator dimensions

Bimorph actuator - 2 PZT stacked	
Length	14.45
Width	4.00
Height	4.09

워 데이터의 적용 기준은 입력전압 기준 20V(peak to peak)의 sinusoidal wave 이므로 parallel polarization type 의 bimorph PZT 의 경우는 tip 에서 작용하는 y 방향의 변위는 다음과 같다.

$$\delta = 3d_{31} (L^2 / t^2) \cdot V \quad (1)$$

이를 계산하면 약 101 nm 이다. 그리고 bimorph 로 구성된 각각의 PZT 에 대하여 길이 방향과 두께 방향의 변위와 힘을 구하면 각각 다음과 같다

$$\Delta t = d_{33} \cdot V \quad (2)$$

$$\Delta L = d_{31} \cdot V \cdot \frac{L}{t} \quad (3)$$

$$F_3 = \frac{L \cdot W \cdot \Delta t}{S_{33} \cdot t} \quad (4)$$

$$F_1 = \frac{t \cdot W \cdot \Delta L}{S_{11} \cdot L} \quad (5)$$

두께 방향의 변위와 힘은 약 6.7 nm 와 15.5 N 으로 계산되며 길이 방향의 변위와 힘은 약 20nm 와 0.8N 으로 값을 산출 할 수 있다.

그리고 공진에 따른 효과를 산출하기 위하여 감쇠비는 Q 값과 다음과 관계가 있으므로

$$Q_i = 1/2\xi \quad (6)$$

식(6)으로부터 ξ 값은 0.00625 로 결정된다. 위의 값들을 정리하여 simulation tool 에서 경계조건과 결합조건 및 특성값을 이용하여 다음과 같은 simulation 값을 얻는다.

Table 3 Resonant frequency at each mode

Name	Mode	Frequency
1st bending mode	1	9.56 kHz
1st shear mode	2	9.65 kHz
1st torsion mode	3	31.83 kHz
2nd bending mode	4	46.69 kHz
2nd shear mode	5	46.99 kHz
Longitudinal mode	6	56.17 kHz
2nd torsion mode	7	95.44 kHz

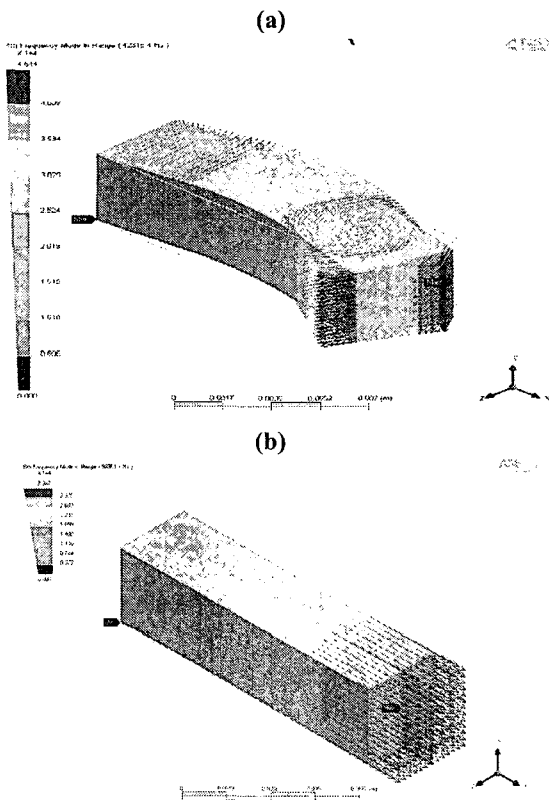


Fig. 3 Vibration mode simulation: (a) 2nd bending mode, (b) Longitudinal mode

3.2 Simulation Results

시뮬레이션 결과는 아래와 같으며 액츄에이터 tip 에서의 타원 운동을 고려하고 줌 기능을 위한 빠른 구동속도가 가능하면서 자동 초점 기능을 위한 미세한 변위를 만족하기 위해서는 높은 대역의 모드가 필요하다. 따라서 이와 관여되는 진동모드는 두 번째 굽힘 모드와 길이방향(longitudinal) 모드로 볼 수 있다. 특히 길이방향 모드의 경우 앞에서 언급한 대로 길이 방향으로 낮은 변위가 가능하도록 진동 모드의 coupling 이 가능한 지점으로 설계하여야 한다.

앞에서 기술한 PZT 에 작용하는 힘과 변위에 의하여 공진 시에 작용하는 변위를 simulation 을 통하여 산출할 수 있는데 여기에서 주파수 응답에 의한 complex response x_1 와 x_2 는 아래의 방정식으로부터 구할 수 있다.

$$(-\Omega^2 [M] + j\Omega [C] + [K])(x_1 + jx_2) = (F_1 + jF_2) \quad (7)$$

위의 식으로부터 ANSYS workbench program 을 이용하여 아래와 같은 각각의 주파수 응답을 구하였다.

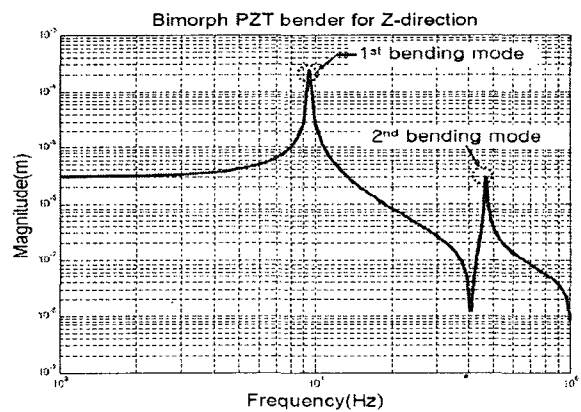


Fig. 4 Frequency response of z-direction motion

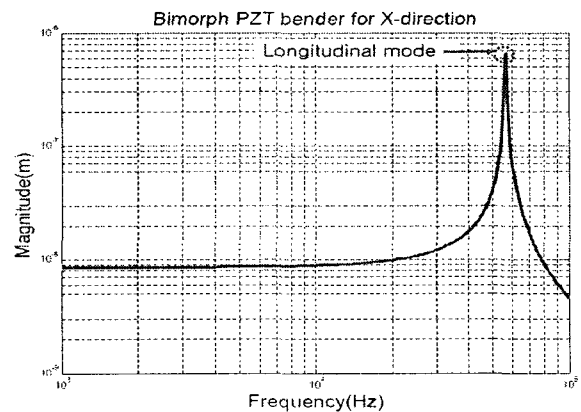


Fig. 5 Frequency response of x-direction motion

simulation 결과 46.6kHz 에서 x 와 y 방향으로 각각 42.5 nm와 4.9 μm 를 얻었다. y 축의 경우 상당히 높은 변위를 볼 수 있는데 이것은 bimorph PZT 의 특성상 굽힘 방향의 큰 변형이 일어나기 때문이다 그러나 실제 구동상 적용되는 변위는 x 축의 hysteresis 에 좌우된다.

4. Experiments

4.1 Experiment setup and result

본 논문에서는 PZT bender 의 특성과 작동 성능 및 그 적용 가능성을 알아보기 위한 것으로 전체 시스템 중에서 모터와 로터에 해당하는 부분만 선택하여 실험하였다.

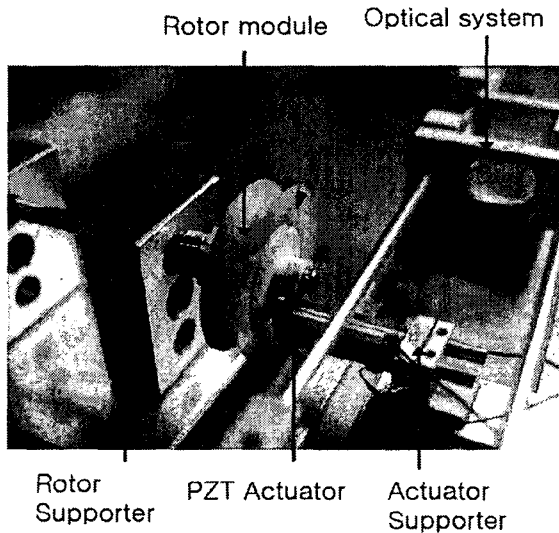


Fig. 6 Prototype and experimental system

실험 방식은 크게 두 가지로 각 굽힘 모드를 가진 할 수 있도록 액츄에이터에 sinusoidal input 을 주고 LDV (Laser Doppler Vibrometer)를 사용하여 각 방향의 변위를 측정하였다. 또한 전달되는 운동량을 측정하기 위하여 비 접촉 레이저 센서 방식의 tachometer 를 사용하여 pulley 에서 속도를 측정하였는데 그 결과는 아래의 표와 같다.

Table 4 Experimental results

1 st bending at 25.8 kHz	
Displacement to y-direction	3.976 μm
Displacement to x-direction	662 nm
Rotational speed at pulley	320 rpm
2 nd bending at 49 kHz	
Displacement to y-direction	1.352 μm
Displacement to x-direction	162.4 nm
Rotational speed at pulley	130 rpm

각 진동모드의 고유진동수는 PZT 이외에 tip 과 support deck 에 의하여 이동하였으며 특히 1st 굽힘 모드의 경우가 매우 높았다. 그리고 x 방향의 변위도 첫 번째 굽힘 모드에서 크게 나타났는데 이는 supporter 와의 결합으로 인하여 길이 방향에 의존하는 longitudinal 모드가 낮은 주파수 대역으로 바뀌면서 첫 번째 굽힘 모드와 더 큰 coupling 이 일어났음을 보여준다.

5. Conclusion

액츄에이터 설계 및, FEM 시뮬레이션 그리고 실험을 통해서 약 1.5 cm 길이의 액츄에이터의 성능을 살펴보았다. 초소형 카메라용 액츄에이터를 1 cm의 기준으로 놓고 볼 때에 bimorph PZT bender 는 수백 nm 의 최소 변위를 충분히 만족하기 때문에 성능상 필요한 스펙을 만족하는 것으로 판단된다. 설계상 중요한 부분은 축과 로터의 alignment 부분과 PZT 를 위치시키기 위한 supporting deck 부분으로 전자는 preload 의 적용조건이 가장 중요하고 후자의 경우는 진동 모드의 coupling 이 충분히 일어나도록 하는 것이 중요하다. 이와 같은 실험 결과를 토대로 최종적으로 1cm 이하의 초소형 액츄에이터 설계 및 제작을 통하여 이에 대한 검증을 수행하고자 한다.

참고문헌

- (1) K. Uchino, 1997, Piezoelectric Actuators and Ultrasonic Motors, Kluwer Academic Publishers, Norwell
- (2) S. Ueha and Y. Tomikawa, 1991, 김진수, 이명훈 譯, 초음파 전동기의 이론과 응용, 성안당
- (3) L. C. Kian, 2001, Systematic Design of a Disc-typed Traveling Wave Ultrasonic Motor, Nanyang Technological University
- (4) S.-Y. Lee, H. Lee and T. Kwon, 2006, "Design and Analysis of inchworm type focusing actuator using ring-type piezoelectric materials", MIPE 2006, Santa Clara CA, USA, pp. 312-314
- (5) S.-Y. Lee, B. Ko, and W.-S. Yang, December 2005, "Theoretical Modeling, Experiments and Optimization of Piezoelectric Multimorph", Smart Materials and Structures, Vol. 14, pp. 1343-1352