

# 굴곡 진동모드를 이용한 초음파 선형 압전 액추에이터 Ultrasonic linear piezoelectric actuator with flexural vibration mode

\*윤장호<sup>1,2</sup>, 정우석<sup>1</sup>, 최우천<sup>2</sup>, 강종윤<sup>1</sup>, #윤석진<sup>1</sup>

\*J. H. Yoon<sup>1,2</sup>, W. S. Jung<sup>1</sup>, W. C. Choi<sup>2</sup>, C. Y. Kang<sup>1</sup>, #S. J. Yoon(sjyoon@kist.re.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국과학기술연구원, <sup>2</sup> 고려대학교 기계공학부

Key words : Piezoelectric, ATILA, ultrasonic, flexural vibration, elliptical motion

## 1. 서론

현재 산업용 액추에이터는 전자기식 모터와 유공압 액추에이터가 주류를 이루고 있으나 소비전력이 크고 발열 및 전자기적 잡음이 발생하여 전기자기식 모터를 구성하는 자성 및 도전재료 등의 특성상 사용에 제약이 받는다.[1-2]

압전 초음파 액추에이터는 기존의 전자기식 모터와는 원리, 구조, 구동 방식이 완전히 다르다. 초음파 액추에이터의 특징은 저속에서 높은 토크를 발생하고 단위 중량당 발생하는 기계적 출력이 높고, 기동 및 정지시 속응성 및 감속 장치의 불필요, 자계와 무관하기 때문에 전자유도 장애가 전혀 없고 구조 또한 간단하여 정밀 위치 제어를 필요로 하는 X-Y 스테이지, 소형화 로봇 및 구동 장치에의 응용이 가능하다.[3-4] 따라서 본 논문에서는 굴곡 진동모드를 이용한 새로운 선형 압전 액추에이터를 제작하고자 한다.

## 2. 이론과 설계

초음파 선형 압전 액추에이터는 초음파 영역에서의 기계적 진동을 구동원으로 하여 압전 역효과를 이용하는데 고정자와 이동자 사이의 마찰력에 의해 구동이 되고 구동 원리에 따라 굴곡파(flexural wave)에 의해 발생한 진행파로 구동하는 방법과 종진동(longitudinal vibration)과 횡진동(transversal vibration) 액추에이터를 결합하여 수직과 수평진동을 반복적으로 발생시켜 이동자를 구동하는 정재파형 방법으로 구분된다.[5-6]

본 연구에서 제안된 액추에이터의 구동 방법은 압전 세라믹에 전압을 인가하면 길이방향의 변위가 발생되어 여기에 탄성체를 결합하여 발생한 굴곡변위를 이용하고 Fig. 1과 같이 선형 운동을 위해 두 개의 세라믹에 90°의 위상차를 갖는 교류전원을 인가하여 팁에서 타원운동(elliptical motion)을 얻는다.

액추에이터 설계는 유한요소법에 의해 구동되는 ATILA를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였고 이는 압전 세라믹스와 금속의 재질과 크기, 구조, 전극의 패턴과 분극의 방향 등을 변수로 하여 공진주파수와 공진 모드에 따른 변위량 등을 손쉽게 예측 및 분석할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} [K_{uu}] - \omega^2 [M] & [K_{u\phi}] \\ [K_{u\phi}]^T & [K_{\phi\phi}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ \Phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -q \end{bmatrix} \quad (1)$$

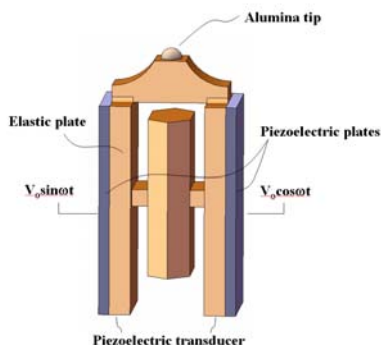


Fig. 1 Structure of the piezoelectric transducer

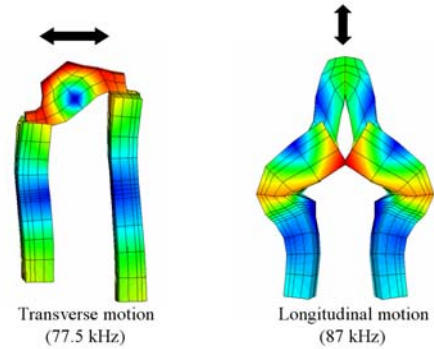


Fig. 2 Actuator motion at resonance frequency

압전체의 모달분석은 식 (1)과 같이 매트릭스 형태의 방정식으로 나타낼 수 있다. 여기서  $K_{uu}$ 는 강성,  $K_{u\phi}$ 는 압전체,  $M$ 은 질량,  $\omega$ 는 각진동수,  $K_{\phi\phi}$ 는 유전체를  $U$ 는 변위벡터를,  $\Phi$ 는 전위벡터를 나타낸다. 식 (1)을 통해 공진 주파수와 반공진 주파수, 그리고 전기-기계 결합계수를 알 수 있다. 압전체의 조화 분석은 식 (2)와 같이 표현되고 경계조건인 전압과 부하 등을 고려하여 설계된 액추에이터의 어드미턴스 특성과 특정 주파수에서의 변위와 응력 분포 등을 알 수 있다[7-8].

$$\begin{bmatrix} [K_{uu}] - \omega^2 [M] & [K_{u\phi}] & [K_{u\phi}] & [K_{uI}] & -[L] \\ [K_{u\phi}]^T & [K_{\phi\phi}] & [0] & [0] & [0] \\ [K_{u\phi}]^T & [0] & [K_{\phi\phi}] & [K_{\phi I}] & [0] \\ [K_{uI}]^T & [0] & [K_{\phi I}]^T & [K_{II}] & [0] \\ -\rho^2 c^2 \omega^2 [L]^T & [0] & [0] & [0] & [H] - \omega^2 [M_1] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ \Phi \\ \Phi \\ I \\ P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \rho c^2 \Psi_i \end{bmatrix} \quad (2)$$

액추에이터의 시뮬레이션을 위해 모델을 생성한 후에 풀링, 인가전압, 고정부위 등의 경계조건을 설정한 후 전기, 기계 결합계수가 높은 공진주파수를 확인하고 팁에서의 움직임을 확인하였다.

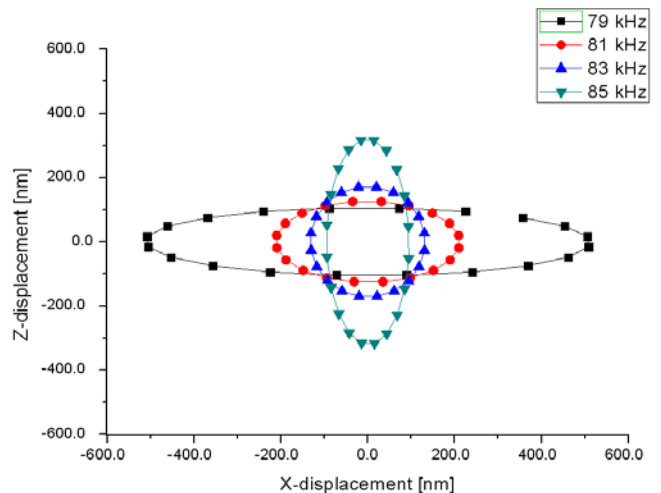


Fig. 3 Dependence of elliptical motion on frequency

Fig. 2와 같이 설계된 액추에이터는 공진 주파수인 77.5 kHz에서는 횡진동을 나타내었고 87 kHz에서는 종진동을 나타내었다. 선형운동을 위한 팁에서의 타원 궤적을 확인하기 위해 두 모드 사이의 주파수들인 79, 81, 83, 85 kHz에서 팁의 궤적을 확인하였고 Fig. 3과 같은 형태의 타원 궤적들을 확인할 수 있었다.

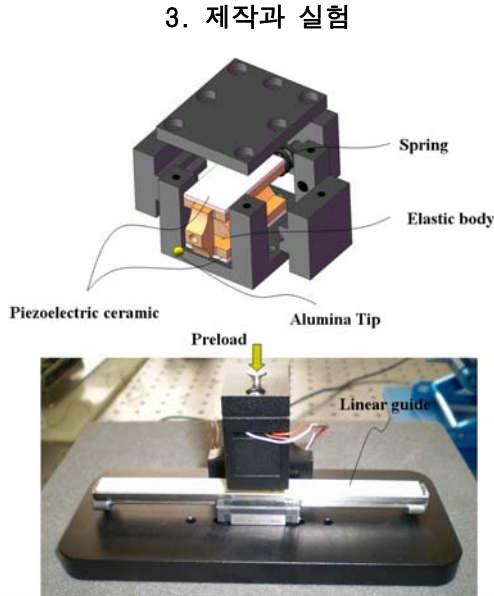


Fig. 4 Components of linear piezoelectric actuator

Fig. 4와 같이 제작된 액추에이터는 세라믹의 두께와 크기, 탄성체의 두께 및 구조 등은 시뮬레이션 결과를 기초로 하여 설계되었고 선형 운동을 확인하기 위한 선형 가이드가 장착된 스테이지를 설계하였으며 설계된 액추에이터의 탄성체 크기는 24 \* 10 \* 10.5 [mm] 이고 세라믹의 크기는 20 \* 10 \* 1 [mm]이다. 시뮬레이션 데이터와의 비교를 위해 임피던스 분석기 HP4194A를 이용하였으며 Fig. 5같은 각각의 세라믹에 대한 어드미턴스 특성 그래프를 얻었다. 각각의 세라믹은 유사한 특성을 나타내었으며 4~5개의 높은 전기-기계 결합계수를 갖는 공진 주파수 중에서 79 kHz, 81 kHz 사이에서 액추에이터의 선형 운동을 확인하였다. 구동실험은 두 개의 90° 위상차를 가지는 사인파와 코사인파를 증폭기를 통하여 약 130V<sub>p-p</sub>로 증폭시킨 후 각각의 세라믹에 전압을 인가하여 선형 구동하였고 Polytec사의 laser vibrometer를 사용하여 속도를, 힘 측정기를 사용하여 액추에이터의 발생력을 측정하였다. Fig. 6은 그 결과를 보여주고 있으며 79 kHz에서 횡방향 특성이 강하며 가이드의 변위가 크게 나타났으며 80 kHz 부근에서는 종진동 특성이 강하여 발생력이 크게 나타났다.

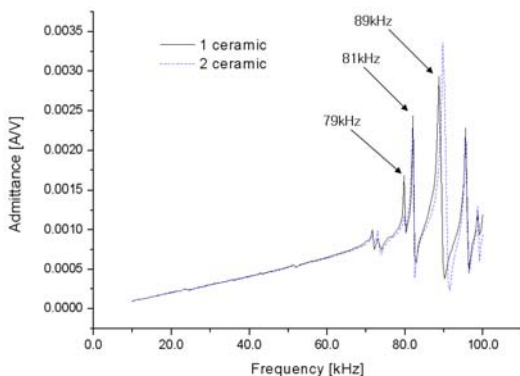


Fig. 5 Admittances of ceramics combined with the actuator

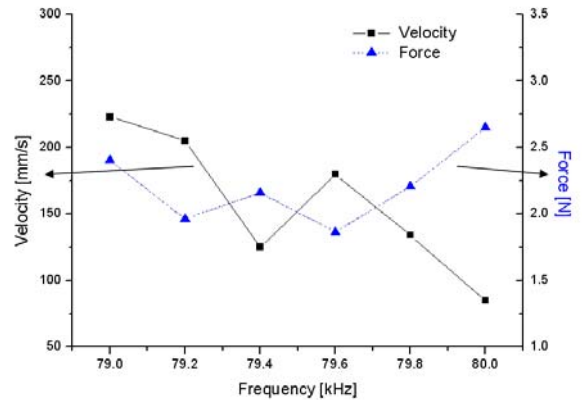


Fig. 6 Velocity and force characteristics of actuator

### 4. 결론

본 연구에서는 탄성체에 붙인 두 개의 세라믹에 90° 위상차를 가지는 두 개의 교류주파수를 인가하여 굴곡 진동모드를 이용하는 초음파 선형 압전 액추에이터를 설계 및 제작하였다. ATILA를 사용하여 길이와 두께 등의 변수를 통해 구조를 최적화 하였고 전기-기계결합 계수가 높은 공진주파수 중에서 종진동과 횡진동을 확인하여 두 공진주파수 사이에서 팁의 타원 궤적을 얻음으로서 선형운동이 가능하였다. 제작된 액추에이터는 79 kHz ~ 80 kHz 사이에서 구동되었으며 주파수에 따른 속도와 발생력은 반비례 관계를 이루었다. 제작된 선형액추에이터의 최대 발생력은 270g이며 최대 속도는 223 mm/s의 특성을 보여주었다. 향후 정밀 위치 제어 스테이지와 로봇분야에 응용이 가능할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. K. Uchino, S. Nomura, L. E. Cross, and R. E. Newnham, "New Electrostrictive Materials II", *Elect. Ceramics II*, Vol. 3, pp. 67-71, 1980.
2. K. Uchino, S. Nomura, "New electrostrictive materials", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 20, Suppl. 225, 1981.
3. K. Uchino, "Piezoelectric Motors for camera Modules", proceedings, Actuator 2008, pp. 157-160
4. K. Uchino, "Piezoelectric Actuators 2008 - Key Factors for commercialization", proceedings, Actuator 2008, pp. 107-112
5. H. Saigoh, M. Kawasaki, N. Maruko, and K. Kanayama, "Multilayer Piezoelectric Motor Using the First Longitudinal and the Second Bending Vibrations", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 34, Pt. 1, No. 5B, pp. 2760-2764, 1995.
6. Y. Tomikawa, T. Takano, and H. Umeda, "Thin Rotary and Linear Ultrasonic Motors Using a Double-mode Piezoelectric Vibrator of the First Longitudinal and Second Bending Modes", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 31, Pt. 1, No. 9B, pp. 3073-3076, 1992.
7. E. heinonen, J. Juuti, S. Leppavuori, "Characterization and modelling of 3D piezoelectric ceramic structures with ATILA software", journal of the European Ceramic Society, v.25 no.12, 2005
8. 고희필, 강중윤, 윤석진, "ATILA를 이용한 소형 압전 선형 모터의 설계", 전기전자재료학회, v.18 no.12, 2005