

선형 초음파 모터 설계 및 제작

이동균, 한득영*, 최지원, 김현재, 윤석진

한국과학기술연구원 박막재료연구센터, 건국대학교 전기공학과*

Design and Fabrication of Novel Linear Ultrasonic Motor

Dong-Kyun Lee, Deuk-Young Han*, Ji-Won Choi, Hyun-Jai Kim, and Seok-Jin Yoon

KIST Thin Film Material Research Center, Konkuk Uni.*

Abstract

In the paper, the novel linear ultrasonic motor for precision position control was designed and fabricated. It was composed of two piezoelectric actuators with longitudinal ultrasonic fluctuations and shaking beam. When two AC electric fields ($U_{sin\omega t}$, $U_{cos\omega t}$) were applied in two piezoelectric actuators respectively, the middle part of shaking beam had an elliptical trajectory. According to experimental results, good symmetrical characteristic of two piezoelectric actuators were obtained.

Key Words : Linear ultrasonic motor, Shaking beam, Elliptical trajectory, Piezoelectric actuator

1. 서론

최근 정보사회의 급속한 발달로 보다 빠르고, 정밀한 전자 및 광학기기의 필요성이 크게 대두되고 있으며, 이러한 기기에서 요구되는 높은 정밀성 때문에 서브 마이크론 크기의 위치제어를 위한 변위 소자가 필요하다. 특히, 광학용으로는 종래의 위치 이동 없이 사용하던 렌즈, 경사각 및 초점거리 등이 상황에 따라 변화되어야 하며, 광로 및 광파장의 변조를 위해서 나노 크기의 위치제어가 필수적이다. 이러한 광학장비는 인공위성과 같이 우주공간 내에서도 필수적으로 사용되고 있는 것으로 정밀 측정을 위한 광학기기의 스테이지를 조정할 수 있는 대출력 미소변위 기능을 갖는 positioner가 필수 부품이 된다. 그 외에 민수, 군사용으로 선형 및 회전용 필요로 하는 모든 기기에서는 전자적 잡음으로 인한 장애가 없고, 소형·경량이며 대출력, 고속의 움직임을 보이는 변위소자의 개발이 요구된다.

이에 부합되는 특성을 갖는 대표적인 변위 소자에는 압전세라믹을 이용한 초음파 모터가 있다. 압전 초음파 모터는 기존의 전자기계 구동을 하는 모터에 비해 질량대비 힘이 우수하며 직접구동방식이고 윤활유 등이 필요 없는 장점을 가지고 있

다. 특히 낮은 전력 소모와 경량이며 속도와 위치 제어를 전기적으로 제어할 수 있음은 물론 정 또는 역방향으로 움직임이 가능하고 정지 시 미끄러짐이 없는 장점을 지닌 선형 초음파 모터는 빠른 속도로 nm의 높은 위치 정밀도를 가지고 있어서 정밀위치 제어를 필요로 하는 XYZ stage, 반도체 소자의 집적을 위한 얼라인먼트 기기인 stepper 등에 부착되어 정밀한 위치제어를 위한 액츄에이터 소자로 응용이 가능하다.

일반적으로 선형 초음파 모터를 구동하기 위해서 란쥬발 진동자를 이용해 발생된 진동과 를 이용하는 방법[1]과 서로 다른 동작 모드를 갖는 진동자를 결합하여 발생하는 복수 진동을 이용하는 방법등이 사용된다[2][3]. 이외에 진동전달에는 여러가지 방법이 제안되고 있지만 효율적으로 구동력을 전달하는 메카니즘과 연속 구동시 마모 등으로 인해 일정한 진동 진폭을 확보하기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 압전 세라믹스에서 발생하는 종방향 진동을 확대하여 효율적으로 이동자에 타원형의 진동을 전달할 수 있는 새로운 구조의 선형 모터를 제안하였다.

2. 선형모터 동작원리

본 연구에서 제안된 압전 선형모터는 압전 세라

믹스에서 발생하는 초음파 진동 (>20 kHz) 을 이용하여 그림 1에서와 같이 연결된 진동빔 (shaking beam)에서 높은 구동력을 발생시키는 모터이다.

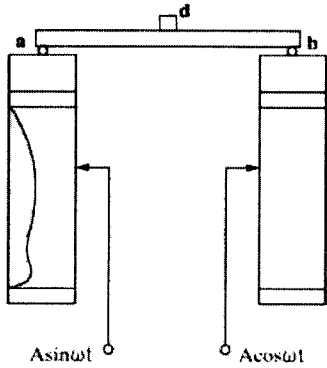


그림 1. 진동빔의 기계적 구조.

그림 2는 두께방향 초음파진동을 하는 2개의 압전 액츄에이터에 위상차가 90° 인 sin과 cos 교류 전원을 인가했을 때 이와 연결된 진동빔의 동작원리이다. 양쪽 액츄에이터(a, b)로 구성된 진동빔은 $t=T/4$ 일 때 시계 방향으로 회전하고 $t=T/2$ 에서는 아래로, 그리고 $t=3T/4$ 에서 반시계 방향으로 회전한 후 $t=0$ 에서 다시 처음 상태로 되돌아온다. 이와 같은 진동빔의 움직임에 의해 중간지점(d)에서 타원형 기계적 변위가 발생한다.

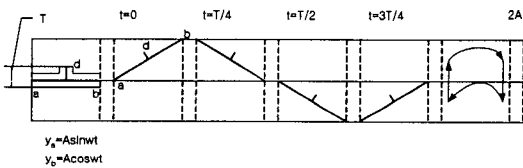


그림 2. 진동빔의 동작원리.

그림 3는 진동빔의 중간지점(d)에 위치한 돌출부에서 발생하는 타원궤적을 순차적으로 나타낸다. 이렇게 발생된 타원변위는 마찰력을 통해 이동자를 선형적으로 구동시킨다.

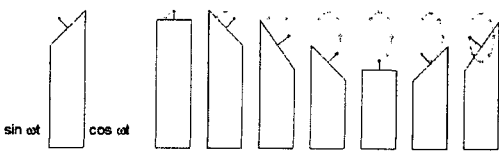


그림 3. 돌출부의 변위 궤적.

3. 제작 및 결과

그림 4는 위에서 설명한 구동원리에 의해 동작하는 선형 초음파 모터이다. 제작에 사용된 압전 세라믹의 크기는 $8 \times 8 \times 2 \text{ mm}^3$ 이고 각각 4개씩 2개의 package로 구성하여 분극방향이 서로 교번되도록 적층한 후 25 Mpa 압착력으로 압전 액츄에이터에 고정시킨다. 또한 타원궤적이 발생하는 돌출부는 지름 2 mm, 길이 0.7 mm의 바(bar)형태이고 이동자와의 마찰에 의한 마모발생을 억제하기 위해 VK (Vanadium-carbide)로 만들었다.

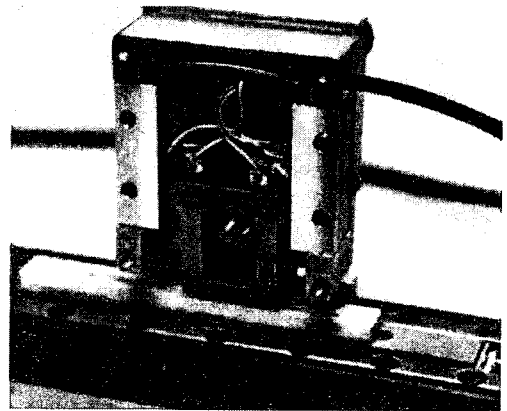
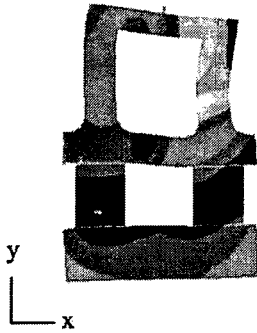


그림 4. 제작된 선형 초음파 모터.

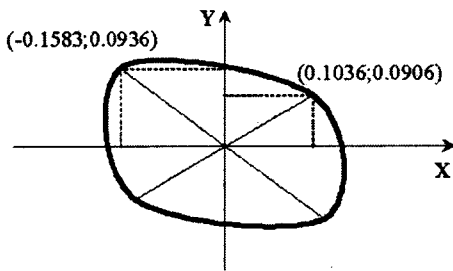
그림 5는 FEM 프로그램 (ANSYS 5.7)을 이용하여 선형 초음파 모터의 동작특성을 분석한 결과이다. 그림 5(a)는 T/4에서 선형모터의 변위를 색지수로 나타낸 것이고 주기별로 진동빔의 돌출부에서 발생하는 변위를 연속적으로 연결하면 그림 5(b)에서와 같이 타원궤적을 형성한다.

그림 6은 제작된 선형 압전 액츄에이터의 특성을 나타낸다. 그림에서 보듯이 발생력과 속도는 반비례하고 압착력의 크기가 증가함에 따라 발생력이 증가함을 알 수 있다. 즉 압착력이 50N일 때 최대 힘은 7.3N, 최대 속도는 0.09m/s이며 압착력이 20N일 때 최대 힘은 2.4N, 최대 속도 0.38m/s의 특성을 나타냈다.

그림 7은 액츄에이터 구동부의 특정부에서 발생하는 변위를 측정된 결과이다. 그림 7(b)는 그림 7(a)에 표시된 점 7, 8, 9의 주파수에 따른 변위크기를 측정된 결과로서 대칭구조를 갖는 양쪽 압전 액츄에이터 (점 7, 9)의 변위는 거의 일치하였으며 돌출부 (점 8)는 공진주파수 (약 62kHz)에서 최대 변위특성을 나타내었다.



(a) 선형모터 변위 (56.05 KHz)



(b) 돌출부의 변위계적

그림 5. 압전 선형모터의 동작특성.

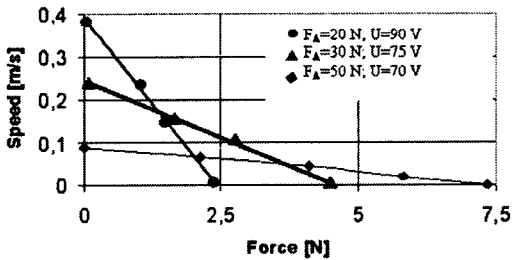
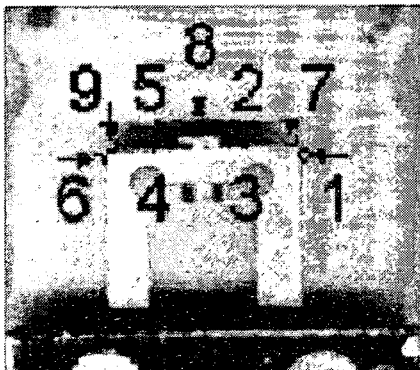
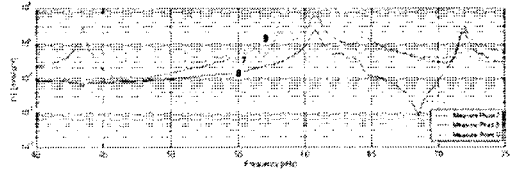


그림 6. 압착력에 따른 발생력/속도 특성



(a) 구동부의 변위측정 위치



(b) 주파수에 따른 변위 특성

그림 7. 구동부의 변위 특성.

4. 결론

본 연구에서 제안된 선형 초음파 모터는 두께방향으로 초음파진동을 하는 2개의 압전 액츄에이터에 각각 위상차가 90인 sin과 cos 교류전원을 인가함으로써 직직 직선운동을 얻을 수 있었다. 또한 압전 세라믹스에서 발생하는 종방향 진동을 확대하여 효율적으로 이동자에 타원형 변위를 전달할 수 있는 구조와 내마모성 물질로 이뤄진 돌출부는 선형 초음파 모터의 신뢰도를 향상시킬 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] M. Kuribayashi, S. Ueha, and E. Mori, "Excitation Conditions of Flexural Travelling Waves for a Reversible Ultrasonic Linear Motor", J. Acoust. Soc. Amer., Vol. 77, No.4, 1985
- [2] 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, 2760-2764, 1995.
- [3] 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, 3073-3076, 1992.