

# 탄성체의 크기 변화에 따른 L1-B4형 초음파 리니어 모터의 구동 특성

김행식, 박태곤  
창원대학교

## Driving Characteristic of L1-B4 Type Ultrasonic Linear Motor by Varying the Size of Elastic Material

Hang-Sik Kim, Tae-Gone Park  
Changwon Uni

### Abstract

An ultrasonic linear motor was composed of a slider and a stator vibrator including piezoelectric material and elastic material. The ultrasonic linear motors mainly consist of an ultrasonic vibrator which generates elliptical oscillations. L1-B4 ultrasonic linear motor use longitudinal and bending multi-vibration. In order to design stators which has high efficiency and driving characteristics, The finite element method was used to optimize dimension of ultrasonic vibrator and direction of vibratory displacement. stator vibrator of respectively width 3, 5, 7[mm] was fabricated and experimented. as results When width was 5[mm], the driving characteristics was good

Key Words : Ultrasonic Linear Motor, Finite Element Method, ANSYS, Longitudinal Mode, Bending Mode

### 1. 서론

압전세라믹을 사용하는 초음파 모터는 압전세라믹의 신속한 발전에 따라 매우 빠른 속도로 발전하고 있다. 전자기 모터와는 메커니즘이 전혀 다른 초음파 모터는 전기입력에 의하여 진동체에 미소한 탄성진동을 일으키고, 이 탄성진동을 이용한 마찰력에 의하여 회전운동을 발생시키는 모터이다. 전자기식 모터에 비하여 소형이며 간단한 구조를 이루고 저속에서 높은 토크를 발생한다. 특히 리니어 모터는 기어를 사용하지 않고 정밀위치 제어가 가능한 X-Y 스테이지 등의 구성에 유용하다.[1] 초음파 모터의 원리는 수평과 수직방향(X 그리고

Y축)에서의 변위가 타원형 운동을 형성하는 것이다. 따라서 선택한 타원운동의 방식에 의해서 모터의 형상이 달라진다.[2]

L1-B4 초음파 리니어 모터는 공진주파수에서 종진동과 횡진동의 결합에 의해서 만들어졌다. 유한요소해석 프로그램인 ANSYS에 의한 초음파 모터의 해석은 주로 공진 주파수 해석과 공진 모드에 따른 변위량 해석으로써 최적 모델설계에 유용하게 사용이 되었다.[3] 폭이 다른 3가지 고정진동자 모델이 공진주파수로 구동될 때 탄성체 표면의 변위량을 해석하여 최대 변위의 모델을 결정하였으며, 최대의 변위점에 변위확대기구를 부착하여 더욱 향상된 초음파 리니어 모터를 설계, 개발하였

다.

## 2. 이론

### 2.1 L1-B4 리니어 모터의 구조와 동작원리

그림 1은 고정진동자이다. 탄성체의 1차 종진동 모드(L1)와 4차 굴곡진동모드(B4)의 두 진동모드를 이용하고 있다. 진동원인 압전소자는 각 모드의 공간적 위상이 다른 위치에서 접합시켰고, 90도 위상차가 나는 교류 전원을 인가하면 L1모드의 진동과 B4모드의 진동을 동시에 발생시킬 수 있다. 따라서 종진동(L1모드)과 4차의 굴곡진동(B4모드)이 동시에 일어나고, 그림 3과 같이 이 두 모드가 합성된 결과로 두 변위확대기에서 타원진동을 일으킬 수 있다. 이 타원진동에 의해 슬라이드를 이동시키게 된다.

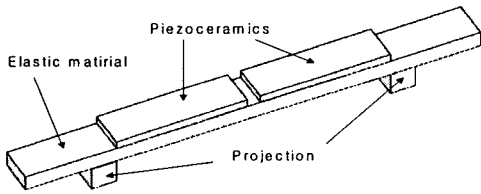


그림 1. 고정진동자의 구조

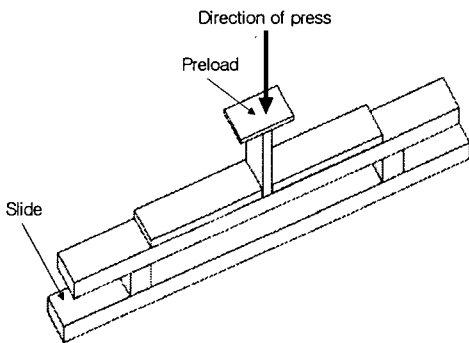


그림 2. L1-B4 초음파 리니어 모터의 구조

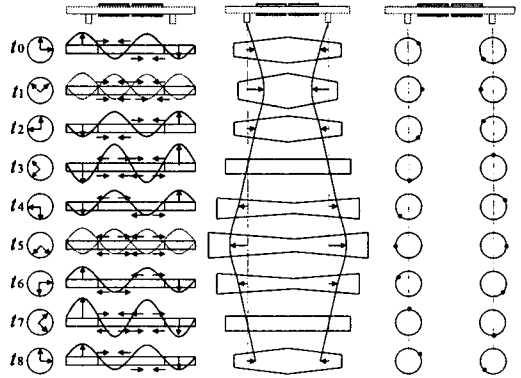


그림 3. L1-B4 초음파 리니어 모터의 동작원리

### 2.2 고정자의 설계

1차 종진동과 4차 굴곡진동을 이용하여 초음파 리니어 모터의 설계시 고려하여야 할 사항은 고정진동자의 기하학적 크기이다. n차 굴곡진동모드의 공진주파수는 보의 굽힘에 관한 기본이론(Euler-Bernoulli theory)을 이용하였고 회전관성과 전단변형의 영향을 무시하였다.[4] n차 종진동모드의 공진주파수는 봉이나 막대의 x방향 힘의 합 운동방정식에서 유도할 수 있다. 각각의 공식은

$$f_{Bn} = \frac{\alpha^2 t}{4\pi\sqrt{3}l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad \alpha_n \approx \left(\frac{2n+1}{2}\right)\pi \quad (1)$$

$$f_{Ln} = \left(\frac{n}{2l}\right) \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2)$$

E, ρ, l, t는 각각 탄성체의 영률, 밀도, 길이, 두께를 의미한다.

$$f_{Ln} = f_{Bn} \quad (3)$$

$$l = \frac{\alpha^2 t}{2\pi\sqrt{3}} \quad (4)$$

식 (3)조건에서 탄성체를 설계하여야 가장 좋은 효율을 얻을 수 있다. 따라서 식(1)과 (2)를 식(3)에 대입함으로써 식(4)를 구할 수 있다. 식 (4)로부터 탄성체의 길이와 두께 그리고 공진주파수를 결정할 수 있다. 위의 식에서 설계한 알루미늄 탄성체의 치수는 길이 l 과 두께 t는 각각 37, 2[mm]이다.

### 2.3 폭에 따른 변위 특성

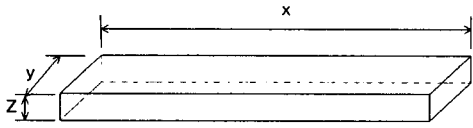


그림 4. 횡진동 모드용 압전세라믹

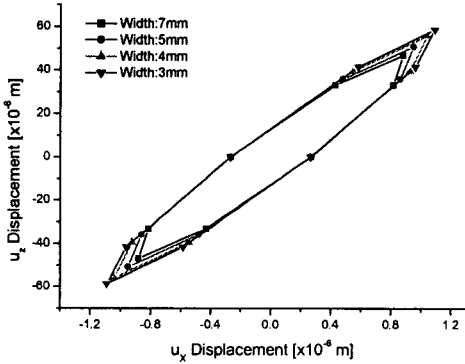


그림 5. 탄성체와 압전세라믹스의 폭 변화에 의한 변위량

고정진동자의 최적설계를 위하여 탄성체와 세라믹의 폭을 같이 변화시키면서 유한요소해석프로그램인 ANSYS 7.0을 이용하여 변위량을 해석하였다. 세라믹의 횡진동 모드(transverse mode)는 그림 4의  $(x/z)^2$ 과  $(x/y)^2$ 이 모두 10이상일 경우에 나타나는 모드이다.[5] 탄성체의 길이를 37[mm], 두께 2[mm], 세라믹의 길이 9[mm], 두께 0.5[mm], 세라믹과 세라믹의 간격을 1[mm]로 일정하게 하고 폭을 변화시켜 변위량을 비교하였다. 그림 5에서 알 수 있듯이  $(x/y)^2$ 이 클수록 변위량이 증가하며 횡진동 모드조건을 만족하는 폭이 작아질수록 X, Y축 방향의 변위가 커짐을 알 수 있었다.

또한 탄성체의 재질에 따른 변위량 해석에서 알루미늄합금이 스테인리스강보다 변위 특성이 우수하였다.

### 3. 실험

#### 3.1 전압에 따른 속도

알루미늄 합금 탄성체로 이루어진 그림 1과 같은 형태의 모터를 제작하여 실험하였다. 폭의 변화에 따른 모터의 동작 특성을 측정하기 위해 길이

와 두께를 37[mm]와 2[mm]로 고정하고, 폭을 3, 5, 7[mm]로 변화시켜 제작하였다. 동작주파수는 폭에 관계없이 일정하며 67kHz 부근에서 동작하였다.(프리로드(Preload)란 고정진동자의 노달(nodal) 포인트를 눌러주는 부하를 말한다.)

그림 6은 주파수 67[Khz], 프리로드 150[gf]일 때 전압(30~90[Vrms])에 따른 속도를 나타내었다. 폭이 5, 7, 3[mm] 순으로 전압에 따른 속도가 높게 나타나며 인가전압이 증가할수록 속도도 선형적으로 증가하였다. 하지만 인가전압이 더 높아지면 한계치가 있을 것으로 사료된다.[6]

폭이 좁을수록 변위 크기가 커지는 해석결과에 따르면 폭이 7, 5, 3[mm] 순으로 속도 특성이 좋을 것으로 예상하였으나 5, 7, 3[mm]순으로 속도 특성이 좋았다. 폭이 좁을수록 횡진동모드 조건을 충족하나 모터의 구동특성은 접촉면의 크기와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다.

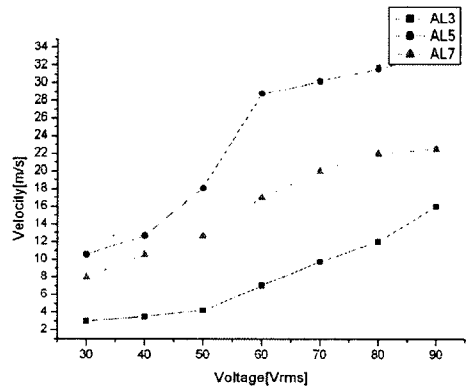


그림 6 전압에 따른 정추력

#### 3.2 전압에 따른 정추력 특성

그림 7은 주파수 67[Khz], 프리로드 150[gf]일 때 전압(30~90[Vrms])에 따른 추력을 나타내었다. 폭이 5, 7, 3[mm] 순으로 전압에 따른 추력이 높게 나타났다. 전압에 비례하여 증가하지 않았으며, 폭이 좁을수록 추력의 변화가 큼을 알 수 있었다.

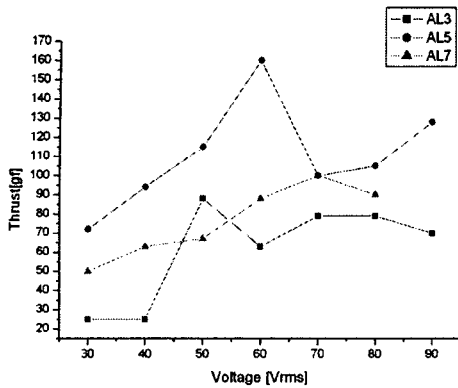


그림 7. 전압에 따른 정추력

### 3.3 전압에 따른 효율

그림 8는 주파수 67[Khz], 프리로드 150[gf]일 때 전압(30~90[Vrms])에 따른 효율을 나타내었다. 폭이 5, 7, 3[mm] 순으로 전압에 따른 효율이 높게 나타났다. 전압에 비례하여 증가하지 않았으며, 60[Vrms] 부근에서 모두 효율에 높게 나타났으며 전압이 높을수록 효율은 낮았다.

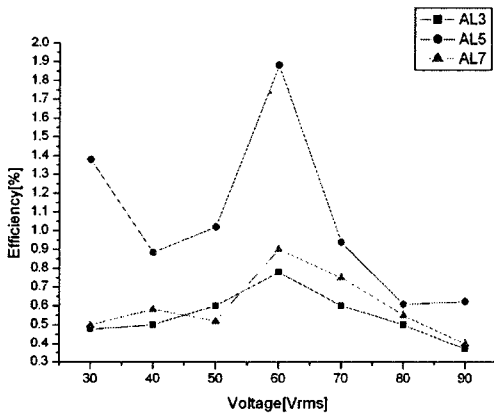


그림 8. 전압에 따른 효율

## 4. 결과 및 고찰

L1-B4 초음파 리니어 모터를 제조할 때 동작 특성에 영향을 미칠수 있는 탄성체의 재질 및 크기에 따른 영향을 유한요소 프로그램으로 해석하였으며, 폭을 3, 5, 7[mm]로 변화시켜 제조하여 그 동작특성을 비교하였다. 인가 전압에 따른 속도는

5, 7, 3[mm] 순서로 높았으며, 추력은 입력전압에 따라 모두 그 특성이 다르게 나타났으며, 전체적으로 5, 7, 3[mm] 순서로 전압에 따른 추력 특성이 높았다. 본 논문에서는 재질 및 폭이 모터의 동작 특성에 미치는 영향을 보았으며 모터의 제조 또는 제어 시 고려되어야 할 것이다.

## 참고 문헌

- [1]Toshiiku Sashida, Takashi Kenjo, "An Introduction to Ultrasonic Motors", OXFORD, 1993
- [2]Yoshiro Tomikawa, Toshiharu Ogasawara, Sumio Sugawara, Masashi Konno and Takehiro Takano, "Construction of Ultrasonic Motors and their Application", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 27, pp. 195-197, 1988
- [3]임태빈, 성하경, "Atila에 의한 평판형 고정진동자의 변위량 해석", 전기전자재료 제11권, 제11호, pp.122-125,1998.
- [4] Singiresu S. Rao, 'Mechanical Vibratoins', Addison Wesley Publishing Company, 1990.
- [5] 신병철, "압전특성 평가기술", 과학과 기술, Vol. 6, No. 1, 1991
- [6] 이종섭, 정수현, 임기조, 임태빈, 강성택, 채홍인, "L1-B4 진동모드를 이용한 평판형 선형 초음파 모터의 설계 및 시제작". 전기전자학회논문지, Vol.11. No.10, p. 861-865, 1998