

# ANSYS를 이용한 초음파 리니어 모터의 타원궤적 해석

최명일, 박태곤, 김명호\*

창원대학교 전기공학과, 창원대학교 세라믹공학과\*

## Elliptical Trajectory Analysis of Ultrasonic Linear Motor using ANSYS

Myeong-il Choi, Tae-Gone Park, Myong-Ho Kim\*

Dept. of Electrical Eng., Dept. of Ceramic Eng.\*

### Abstract

Transducer for linear ultrasonic motor with symmetric and anti-symmetric modes was studied. The transducer was composed of two Langevin-type vibrators that cross at right angles with each other at tip. In order to excite two vibration modes, two Langevin-type vibrators must have 90-degree phase difference with each other. As a result, tip of transducers moves in elliptical motion. In this paper, elliptical trajectory of transducer was analyzed by employing the finite element method.

**Key Words** : Ultrasonic liner motor, Langevin type vibrator, FEA, ANSYS

적용함으로써 진동자의 진동모드와 진동변위의 방향에 관하여 해석할 수가 있다.

### 1. 서론

초음파 모터는 압전 세라믹의 신속한 발전에 따라 하부가 다르게 발전하고 다양한 진동모드를 사용하여 많은 분야에 적용이 되고 있다. 이러한 초음파 모터는 전자기식 모터에 비하여 소형이며 간단한 구조를 이루고 저속에서 높은 토크를 발생한다. 초음파 리니어 모터의 원리는 수직, 수평 방향에 있어서 변위의 타원적 움직임을 이용한다. 이 초음파 리니어 모터는 특히, 기어를 사용하지 않고 정밀위치 제어가 가능한 x-y스테이지등의 구성에 유용하다.<sup>[1]</sup> 또한, 자계에 영향을 받지 않으며 자계를 만들지 않는다는 큰 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 2개의 란쥬반형 진동자로 구성된 초음파 리니어 모터를 최적 설계하기 위해 진동자의 tip 부분의 타원궤적을 해석하였다. 유한 요소법에 의한 초음파 모터의 해석은 주로 공진주파수의 해석과 공진모드에 따른 변위량 해석 및 모델설계에 유용하게 사용되고 있다.<sup>[2]</sup> 유한 요소법을

### 2. 초음파 리니어 모터의 구성과 원리

초음파 모터는 그림 1과 같이 2개의 란쥬반형 진동자가 tip 부분에서 서로 직각으로 배열되도록 설계하였다. 이 초음파 모터는 대칭, 비대칭 모드를 이용한다.<sup>[4]</sup> 두 진동자가 같은 구동전압의 위상에서 동작하면 진동자가 만나는 tip 부분이 슬라이드의 법선방향으로 운동을 하게 되고, 다른 위상을 가지면, 접선방향으로 진행을 하게 된다. 따라서 대칭, 비대칭 모드를 발생하기 위하여 각각의 란쥬반형 진동자의 압전체에 90° 위상이 다른 전압(A: sin파, B: cos파)을 인가하면 두 진동모드가 동시에 발생한다. 대칭, 비대칭모드가 합성된 결과로 진동자의 tip에서 타원진동이 일어나고, 이 타원궤적에 의해 슬라이드가 이동하게 된다.

식(1)과 (2)처럼 위상차  $\theta$ 를 갖는 2개의 sin파는 식 (3)처럼 유도한 궤적 방정식(trajecory equation)에

서와 같이 구동전압의 위상의 차가 90°가 되면 타원운동이 발생하는 것을 알 수 있다.

$$u_x = u_{x0} \sin \omega t \quad (1)$$

$$u_y = u_{y0} \sin(\omega t + \Phi) \quad (2)$$

$$\frac{u_x^2}{u_{x0}^2} + \frac{u_y^2}{u_{y0}^2} = 1 \quad (3)$$

표 1은 전체 압전 세라믹의 두께를 5[mm]로 유지하고, 세라믹의 층수를 2층에서 8층까지 적층하면서 3가지 모델의 진동자의 세라믹 두께를 나타내었고, ANSYS로 해석된 공진주파수와 비교하였다.

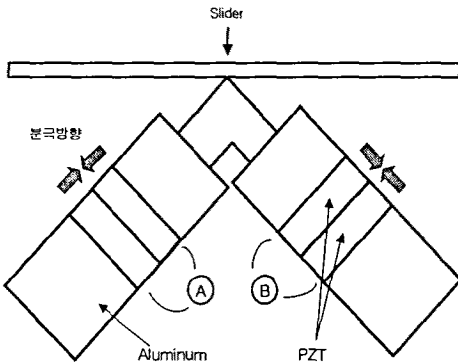


그림 1. 초음파 리니어 모터의 구조

표 1. 적층에 의한 공진주파수

Number of ceramics	2	4	8
Thickness [mm]	2.5	1.25	0.625
Resonant frequency [Hz]	24914	24823	30058

### 3. ANSYS를 이용한 유한요소해석

#### 3.1 해석 모델의 설계

유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 가지고 modal 해석을 하여 공진주파수를 구하고, 이 공진주파수로서 harmonic 해석을 하였다. 그림 2는 SOLID5와 SOLID45 요소를 사용한 유한요소해석 모델이다.<sup>[7]</sup>

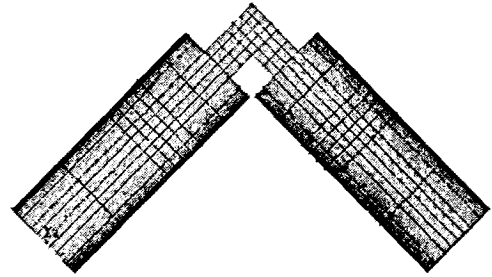


그림 2. 유한요소해석 모델

#### 3.2 타원변위의 해석

먼저, 그림 3은 두 란쥬반형 진동자의 세라믹 적층에 따른 타원 변위량을 나타내고 있다. 세라믹의 층수가 증가 할수록 타원변위가 크게 발생하는 것을 확인하였다.

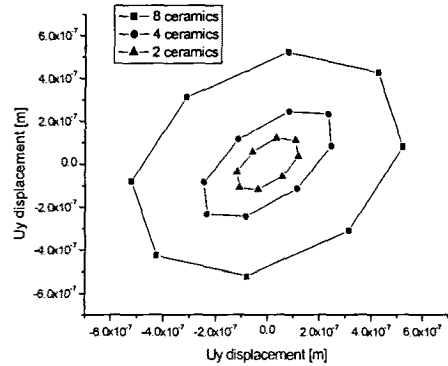


그림 3. 세라믹의 적층에 의한 변위량

그림 4는 두 란쥬반형 진동자의 구동전압의 위상을 A: sin파, B: cos파에서 A: cos파, B: sin파로 바꾼 경우의 변위량을 나타내고 있다. 구동전압의 위상이 반대가 되면 타원변위는 같지만, 타원운동의 회전방향이 역방향으로 바뀌는 것을 알 수 있다.<sup>[5]</sup> 즉, 구동전압의 위상으로 슬라이더의 이동방향을 바꿀 수 있음을 나타내고 있다. 그리고 란쥬반형 진동자들의 분극방향이 각각 같은 경우와 다른 경우에는 타원 변위량과 타원운동의 회전방향은 바뀌지 않고 출발점만 바뀌는 것을 확인하였다.

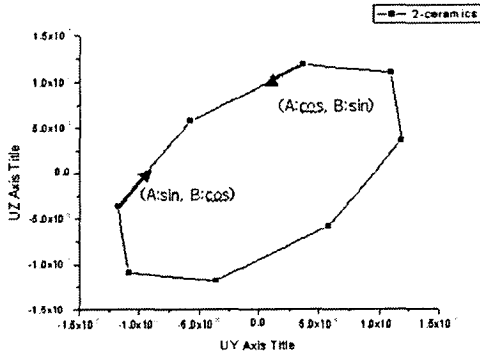


그림 4. 구동전압에 위상에 의한 타원변위

그림 5는 인가전압에 의한 변위량을 나타내고 있다. 그림에서 보면 인가전압을 50 [V]에서 250 [V] 까지 높이면 전압에 비례하여 변위량이 커짐을 알 수 있다. 즉, 압전 역효과의 이론과 일치함을 확인 하였다.

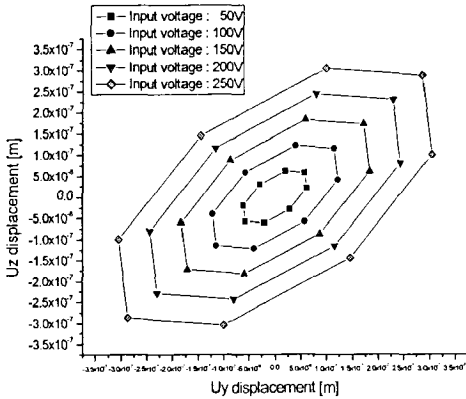


그림 5. 인가전압에 의한 타원변위

그림 6은 유한요소 해석의 초기 설계모델(공진주파수 24.9 [kHz])의 free-free 경계조건에서 두 란츄반형 진동자의 끝과 각 란츄반형 진동자의 중간 지점의 한 노드를  $U_x$ ,  $U_y$ ,  $U_z$  방향으로 고정시킨 모델을 비교하였다. 란츄반형 진동자의 끝을 고정시킨 경우는 초기 모델보다 우수한 변위량을 얻었지만, 중간지점의 노드들을 고정시킨 경우는 Y-축 및 Z-축을 포함한 너무 좁은 타원 변위가 발생하여 실제 진동에는 효과적이라고 할 수는 없다.

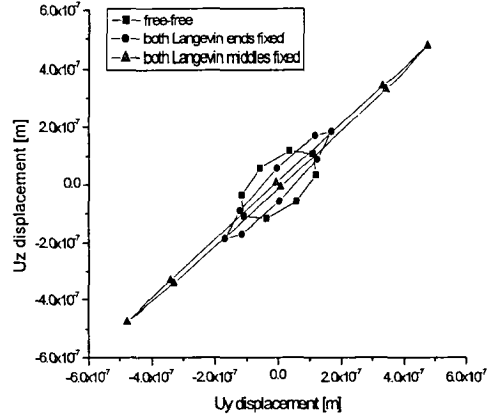


그림 6. 경계조건에 따른 타원변위

공진주파수 24.9 [kHz], 전압 100 [V]에서  $U_y$ 와  $U_z$  방향의 변위량 분포는 아래의 그림 7에서 나타내고 있다. +는 양의 변위량을, -는 음의 변위량을 표시하고 있다.

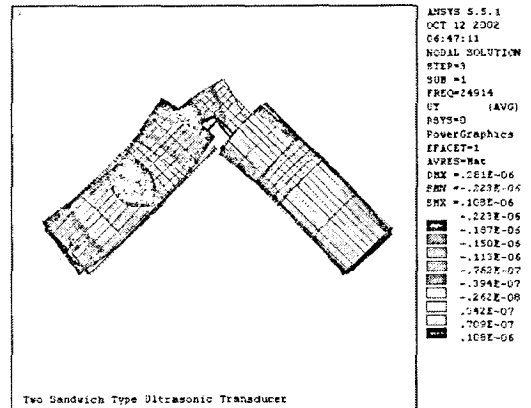


그림 7(a). ANSYS에 의한  $U_x$ 방향의 변위량

#### 4. 결론

유한요소 해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 각각의 란츄반형 진동자에 90도 위상차의 구동전압을 주어 타원리체를 해석하였다. ANSYS 해석 결과 전체 세라믹의 두께를 일정하게 유지한 상태에서 층수를 가변하여 해석한 결과 공진주파수와의 변화는 관계가 없었으며, 세라믹 층수가 증가 할수록 변위량이 좋아지는 것을 확인하였다. 따라서 효율적인 초음파 리니어 모터를 실

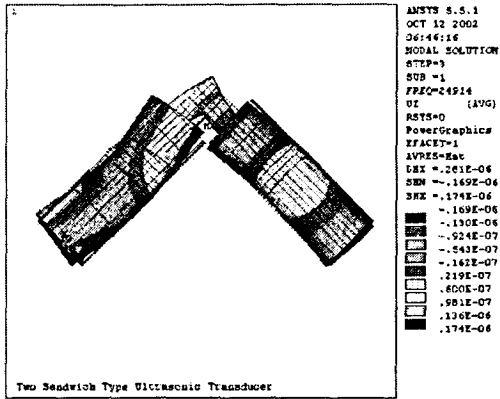


그림 7(b). ANSYS에 의한  $U_z$ 방향의 변위량  
 제 제작하는데 있어서 적중화가 바람직하다고 생  
 각한다. 또한 인가전압이 증가할수록 변위량이 커  
 졌고, 구동전압의 위상을 바꾸면 슬라이더의 진행  
 방향을 제어 할 수 있음을 확인하였다.

### 참고 문헌

- [1] Toshiiku Sashida, Takashi Kenjo, "An Introduction to Ultrasonic Motors", OXFORD, 1993.
- [2] 임태빈, 성하경, "Atila에 의한 평판형 고정진동자의 변위량 해석", 전기전자재료 제11권, 11호, pp.122-125, 1998
- [3] S. Ucha, Y. Tomikawa, "Ultrasonic Motors Theory and Applications", OXFORD, 1993.
- [4] Minoru Kuribayashi Kurosawa, "Transducer for High Speed and Large Thrust Ultrasonic Linear Motor Using Two Sandwich-Type Vibrators", IEEE, Vol. 45, No. 5, 1998.
- [5] 김태열, 김범진, 박태곤, 김명호, "초음파 리니어 모터의 타원궤적 해석", 한국전기전자재료학회 '2000년도 하계학술대회 논문집', Vol 1, pp.411-414, 2000.
- [6] 박창엽, "전기전자용 압전세라믹스", 반도체출판사, 1994.
- [7] ANSYS 5.5 Manual.