

초음파 리니어 모터의 타원궤적 해석

Elliptical Trajectory Analysis of Ultrasonic Linear Motor

김태열, 김범진, 박태곤, 김명호*
(Tae-Yoal Kim, Beom-Jin Kim, Tae-Gone Park, *Myong-Ho Kim)

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 oscillator which generates elliptical oscillations. Elliptical oscillations are generated by synthesizing two degenerated modes. Direction of vibratory displacement was analyzed by employing the finite element method. So, we could recognize that the direction of the slider's movement was controlled by changing the phase difference of the drive voltage.

Key Words(중요용어) : Ultrasonic Linear Motor, Finite Element Method, ANSYS, Elliptical Trajectory

1. 서 론

압전세라믹을 사용하는 초음파 모터는 압전세라믹의 신속한 발전에 따라 매우 빠른 속도로 발전하고 있다. 전자기 모터와는 메커니즘이 전혀 다른 초음파 모터는 전기입력에 의하여 진동체에 미소한 탄성 진동을 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. 유한요소법에 의한 초음파 모터의 해석은 주로 공진 주

파수 해석과 공진 모드에 따른 변위량 해석 및 모델 설계에 유용하게 사용이 되고 있다.^[3] 유한요소법을 적용함으로서 진동자의 진동모드와 진동 변위 방향에 관해서 해석할 수가 있다. 유한요소 프로그램인 ANSYS 5.5.1을 이용하여 두 압전세라믹의 분극방향이 같을 때와 서로 다를 때, 구동전압의 위상차를 90도로 하면 타원형궤적을 관찰할 수 있으며, 타원 진동 회전방향을 알 수 있어서 초음파 리니어 모터의 슬라이드 방향을 알 수 있다.

2. L1-B4 초음파 리니어 모터의 구성 및 동작원리

초음파 리니어 모터의 본체는 Fig.1에서 보듯이 고정자, 슬라이드, 가압수단(preload)으로 구성되어 있다. 고정자는 진동의 발생원으로 2매의 압전소자, 알루미늄의 탄성체, 및 출력을 확대하기 위해서 2개의 변위확대기구(projection)로 구성되어 있다. 두께방향으로 분극 되어진 압전소자에 두께방향으로 교류전압을 인가하면 횡진동모드 진동을 발생시킨다. 이 압전소자의 진동으로부터 접착된 탄성체에서도 진동

창원대학교 전기공학과, *창원대학교 세라믹공학과
(경남 창원시 사립동 창원대학교)
Fax: 0551-263-9956
E-mail: kty10@cosmos.changwon.ac.kr

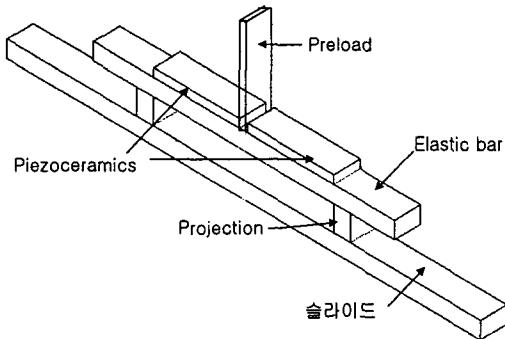


Fig. 1. Construction of ultrasonic liner motor

이 발생한다. 슬라이드는 가압수단(preload)으로 고정자에 가압 접착하고 있기 때문에 변위확대기구와의 사이에 마찰력이 존재한다. 따라서, 탄성체의 진동은 변위확대기구에서 확대되어 이동자를 이동시킨다. 고정자의 지지는 탄성체의 길이방향의 중앙부에 놓이도록 설계하였다.

Fig. 2는 초음파 리니어 모터의 동작원리를 보여준다. 여기서 보여주는 것은 탄성체의 1차 종진동모드(L1)와 4차 굴곡진동모드(B4)의 두 진동모드를 이용하고 있다. 탄성체와 압전소자로 구성되어진 고정자는 두 진동모드의 공진주파수를 거의 동일하게 설계하였다. 진동원인 두 압전소자는 각 모드의 공간적 위상이 다른 위치에 접합시켰고, 이 두 압전소자에 90도 위상이 다른 전압(A: sin파, B: cos파)을 인가하면, L1모드의 진동과 B4모드의 진동을 동시에 발생시킬 수 있다. 압전소자의 공간적인 위상차와 전기신호의 위상차로부터, A: sin파를 기준으로 한다면, L1모드 진동은 45도 위상이 뒤지는 진동이 되고, B4모드 진동은 45도 위상이 앞서는 진동이 된다. 따라서 두 모드의 진동변위 사이에는 90도의 위상차가

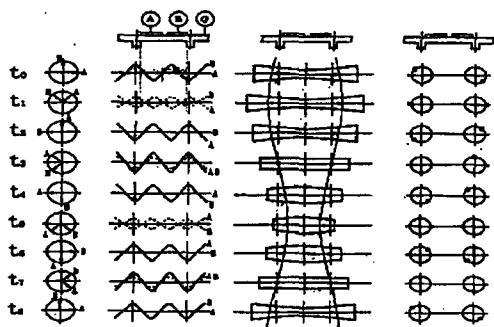


Fig. 2. Operation principle of ultrasonic linear motor

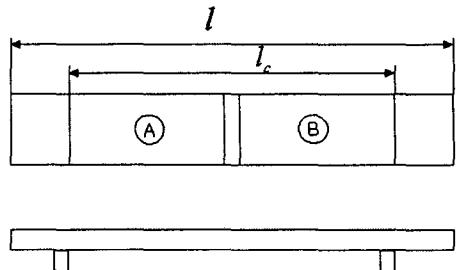


Fig. 3. Structure of the stator

발생한다.^[4] 따라서 종진동(L1모드)과 4차의 굴곡진동(B4모드)가 동시에 일어나고, 이 두 모드가 합성된 결과로 두 변위확대기구에서 타원진동을 일으킬 수 있다. 이 타원진동에 의해 슬라이드를 이동시키게 된다.

3. 유한요소법에 의한 타원진동의 변위량 및 방향해석

3.1 분극방향이 같을 때 타원궤적

두 압전소자의 분극방향을 변화하고, 90도 위상차를 가진 전기적신호를 Fig. 3의 A와 B에서 서로 바꿔가면서 타원운동의 변위량과 회전방향을 알아보았다. ANSYS로서 modal 해석을 하여 공진주파수를 구하고 이 공진주파수로서 harmonic 해석을 하였다. 타원 변위량을 조사한 부분은 변위확대기구를 접착하게 되는 탄성체의 골과 마루부분 노드에서 결정하였다.

먼저 Fig. 4는 두 압전소자의 분극방향이 (\uparrow, \uparrow)이고 압전소자 A: cos파, B: sin파의 구동전압을 인가했을 때의 타원 변위량과 회전방향을 나타낸다. 화살표는 타원운동의 출발점을 의미한다. 그리고 타원운동의 회전방향은 같지만 타원궤적의 우측 변위량과 좌측 변위량의 기울기방향은 다르다.^[5]

Fig. 5는 두 압전소자의 분극방향(\uparrow, \uparrow)이 앞의 모델과 동일하지만 압전소자 A: sin파, B: cos파의 구동전압을 인가할 경우의 타원변위량이다.

Fig. 6은 두 압전소자의 분극방향이 (\downarrow, \downarrow)이고, 압전소자 A: cos파, B: sin파 구동전압을 인가한 경우의 타원변위량을 나타내었다.

Fig. 7은 압전소자의 분극방향(\downarrow, \downarrow)은 앞 모델과 같고, 압전소자 A: sin파, B: cos파 구동전압을 인가한 경우의 타원변위량을 나타내었다.

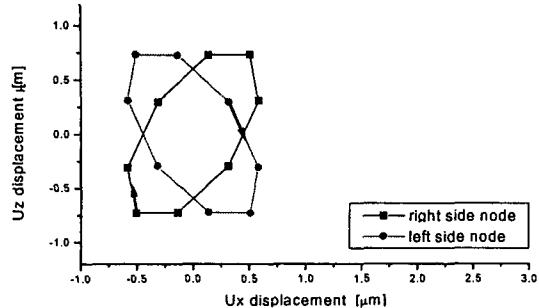


Fig. 4. Elliptical displacement motion when direction of polarization is same(\uparrow, \uparrow) and A is cos wave, B is sin wave

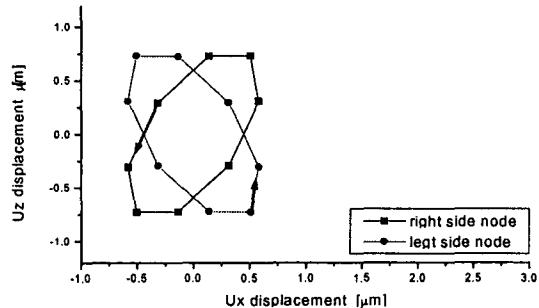


Fig. 5. Elliptical displacement motion when direction of polarization is same(\uparrow, \uparrow) and A is sin wave, B is cos wave

분극방향이 각각 (\uparrow, \uparrow)와 (\downarrow, \downarrow)일 때 구동전압의 위상(A: cos, B: sin \Leftrightarrow A: sin, B: cos)이 같으면 타원운동 회전방향은 동방향이고 출발점만 바뀌게 되며, 타원운동의 회전방향은 역방향이 되고 출발점도 바뀌게 된다. 그러나 구동전압의 위상은 같고 두 압전소자의 분극방향이 각각 (\uparrow, \uparrow) \Leftrightarrow (\downarrow, \downarrow)로 바뀌게 되면 타원운동의 회전방향은 같고 출발점만 다르게 된다.

따라서 두 압전소자의 분극방향이 각각 같을 때 초음파 리니어 모터에서 슬라이드의 이동방향을 바꾸고 싶을 경우에는 구동전압의 위상을 바꾸면 된다.

3.2 분극방향이 다를 때 타원궤적

Fig. 8은 두 압전소자의 분극방향이 (\uparrow, \downarrow)로 각각 다를 때 압전소자 A: cos파, B: sin파의 구동전압을 인가한 경우의 타원변위량은 나타내었다.

Fig. 9는 앞의 경우와 같이 분극방향은 (\uparrow, \downarrow)같고, 압전소자 A: sin파, B: cos파의 구동전압을 인가

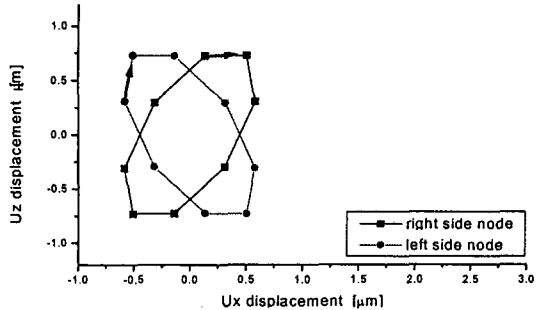


Fig. 6. Elliptical displacement motion when direction of polarization is same(\downarrow, \downarrow) and A is cos wave, B is sin wave

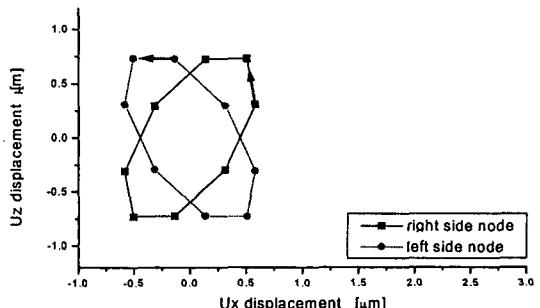


Fig. 7. Elliptical displacement motion when direction of polarization is same(\downarrow, \downarrow) and A is sin wave, B is cos wave

한 경우의 타원변위량을 나타내었다.

Fig. 10은 두 압전소자의 분극 방향이 (\downarrow, \uparrow)이고 압전소자 A: cos파, B: sin파의 구동전압을 인가한 경우의 타원변위량을 나타내었다.

Fig. 11은 두 압전소자의 분극 방향이 (\downarrow, \uparrow)로 앞의 모델과 같고, 압전소자 A: sin파, B: cos파의 구동전압을 인가한 경우의 타원 변위량을 그림 11에 나타내었다.

이상에서 알 수 있듯이 두 압전소자의 분극방향이 (\uparrow, \downarrow)이거나 (\downarrow, \uparrow)로 일정할 때 구동전압의 위상만 같으면 타원운동 회전방향은 동방향이 되고 출발점은 다르게 된다. 그러나 구동전압의 위상이 다르게 되면 타원운동 회전방향이 역방향이 되고 출발점도 다르게 된다. 또 구동전압의 위상은 같은데 분극방향을 (\uparrow, \downarrow) \Leftrightarrow (\downarrow, \uparrow) 바꾸면 타원운동의 회전방향은 바뀌지 않고 출발점만 바뀌게 된다.

따라서 두 압전소자의 분극방향이 서로 다르게 되었을 때 구동전압의 위상을 바꾸면 초음파 리니어 모터의 이동방향을 바꿀 수 있다.

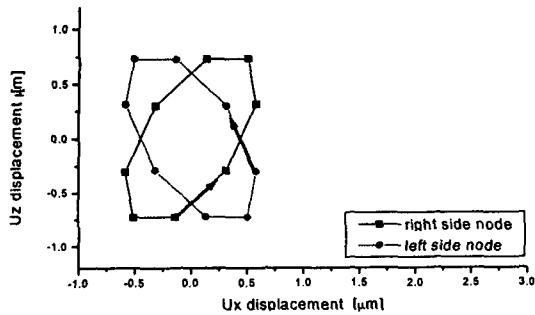


Fig. 8. Elliptical displacement motion when direction of polarization is same(\uparrow, \downarrow) and A is cos wave, B is sin wave

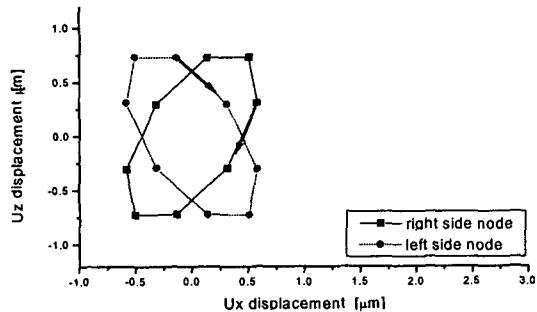


Fig. 9. Elliptical displacement motion when direction of polarization is same(\uparrow, \downarrow) and A is sin wave, B is cos wave

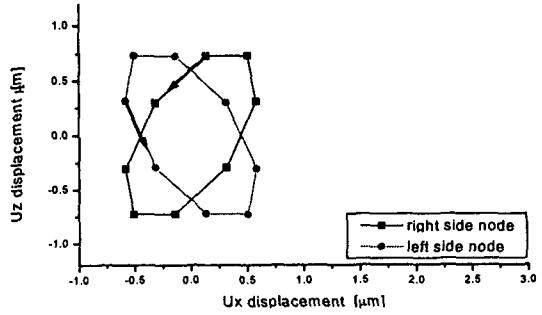


Fig. 10. Elliptical displacement motion when direction of polarization is same(\downarrow, \uparrow) and A is cos wave, B is sin wave

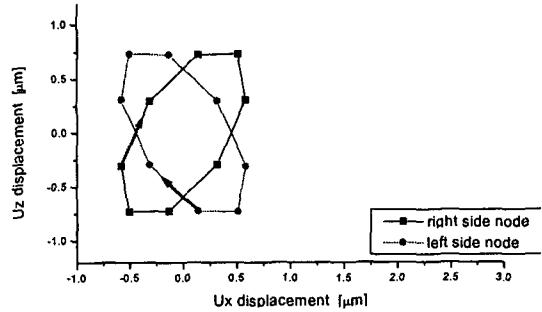


Fig. 11. Elliptical displacement motion when direction of polarization is same(\downarrow, \uparrow) and A is sin wave, B is cos wave

4. 결 론

초음파 리니어 모터를 유한요소 프로그램인 ANSYS로서 해석을 함으로써 타원궤적의 변위량을 알 수 있었고, 타원운동 회전방향을 알 수 있어서 슬라이드의 이동방향을 알 수 있었다. 두 압전소자의 분극방향이 (\uparrow, \uparrow) 이거나 (\downarrow, \downarrow)일 때 구동전압의 위상이 같다면 타원운동은 동방향 회전을 하고, 구동전압의 위상이 바뀌게되면 역방향 회전을 하게된다. 두 압전소자의 분극방향이 (\uparrow, \downarrow) 이거나 (\downarrow, \uparrow)일때도 구동전압의 위상이 같으면 타원운동 회전방향이 동방향이 되고, 다르면 타원운동 회전방향이 역방향이 된다. 따라서 구동전압의 위상으로써 초음파 리니어 모터의 슬라이드 이동방향을 바꿀 수 있다.

[Acknowledgement]

본 연구는 한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원에 의한 것입니다.

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] 高木忠雄氏, "リニア形超音波アクチュエータの實用化", 株式會社ニコン 事業開發部
- [5] 青柳全, "超音波モーターの応用可能性", (株)日化マーケットサーチ 代表取役, pp.229-236,
- [6] 初澤毅, "特集 電力伝達ギヤマスター", ブッタ, 省力の自動化 6月, pp.78-80, 1989