

논문 21-1-9

적층형 압전 액츄에이터를 이용한 L1-B4형 선형 초음파 리니어 모터의 타원변위계적

Trajectory of Elliptical Displacement of L1-B4 Type Linear Ultrasonic Motor using Multilayer Piezoelectric Actuator

이갑수¹, 류주현^{1,a}, 황은상², 박덕원²

(Kab-Soo Lee¹, Ju-Hyun Yoo^{1,a}, Eun-Sang Hwang², and Durk-Won Park²)

Abstract

In this study, multilayer structured ultrasonic linear motor was simulated using Atila for investigating its optimum driving conditions. The ultrasonic linear motors mainly consist of an ultrasonic vibrator to generate elliptical displacement. The ultrasonic linear motor simulated in this paper was the use of the 1st longitudinal(L1) and 4th bending vibrations(B4). With the increase of the number of piezoelectric actuator layers, displacement of node was increased. Maximum total displacement of node was about 3.91 μm at the 13 layered ultrasonic motor under 5 V.

Key Words : Multilayer actuator, Linear ultrasonic motor, Atila

1. 서론

압전소자를 이용한 초음파 모터는 전자기적 원리로 동작하는 기존의 모터에 비해 구조가 간단하고 소형, 경량화가 가능하며 저속에서 큰 토크가 가능하고 μm 단위 까지 정밀제어가 가능하다는 장점 등으로 인해 그 응용분야가 점차 확대되고 있다[1-3]. 초음파 모터의 원리는 수평과 수직방향에서의 변위가 타원형 운동을 형성하는 것이다. 따라서 선택한 타원운동의 방식에 의해서 모터의 형상이 달라진다[4]. 또한 적층 압전세라믹은 입력 임피던스를 낮추어 낮은 구동전압에서 구동이 가능하며, 큰 변위와 토크를 발생하기 때문에 진동자의 수명향상과 구동전압을 낮추기에 적합하다. 초음파 모터의 연구는 주로 압전체, 탄성체 등의 재료에 대하여 진행되고 있지만 모터의 구조에 대한 해석의 연구는 미흡한 실정이다. 유한요소법에 의한 초

음파모터의 해석은 공진주파 해석과 공진 모드에 따른 변위량 해석 및 모델설계에 유용하게 사용되고 있다[5].

본 연구에서는 Atila를 사용하여 적층수가 다른 압전 액츄에이터가 공진주파수로 구동될 때 탄성체 표면의 변위량을 해석하여 최대 변위의 모델을 결정하고, 더욱 향상된 초음파 리니어 모터를 설계, 개발에 응용하였다.

2. 이론

2.1 탄성체 설계

1차 종진동과 4차 굴곡진동을 이용하여 초음파 리니어 모터의 설계시 고려하여야 할 사항은 탄성체의 기하학적 크기이다. 탄성체는 종진동과 굴곡진동의 공진주파수를 고려하여 설계하였다. 1차 종진동모드와 n차 굴곡진동모드의 공진주파수는 식(1)에 의해 결정된다[6,7].

$$f_{L1} = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$
$$f_{B4} = \frac{\alpha_n^2 t}{4\pi \sqrt{3} l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad ; \quad \alpha_n \approx \left(\frac{2n+1}{2}\right)\pi \quad (1)$$

1. 세명대학교 전기공학과
(충북 제천시 신월동 579)
2. 세명대학교 컴퓨터학과
a. Corresponding Author : juhyun57@semyung.ac.kr
접수일자 : 2007. 10. 10
1차 심사 : 2007. 11. 1
심사완료 : 2007. 11. 30

여기서 E , ρ , l , t 는 각각 탄성체의 영률, 밀도, 길이, 두께를 나타낸다. 1차 종진동모드와 n 차 굴곡진동모드의 공진주파수가 일치할 때 가장 좋은 효율을 얻을 수 있다. 따라서 탄성체 설계시 $f_{L1} = f_{B4}$ 조건을 고려하여 탄성체 크기를 설계하였다. 식 (1)에서 설계 조건을 만족시키는 식(2)를 도출할 수 있다.

$$l = \frac{\alpha_4^2 t}{2\pi\sqrt{3}} \quad (2)$$

따라서 식(2)로부터 탄성체의 길이와 두께를 결정하였다. 탄성체의 크기는 $61 \times 5 \times 3.3$ mm이다.

2.2 L1-B4 리니어 모터의 구조와 동작 원리

일반적으로 초음파 모터는 회전자와 고정자의 마찰력을 매개로 회전이나 선형운동을 하게 되며, 압전 세라믹의 형태, 이용하는 진동모드와 파의 종류에 따라 분류할 수 있다. 본 선형 초음파 모터는 종진동(L1)모드와 굴곡진동(B4)모드를이용한다. 진동원인 압전소자는 그림 1과 같이 탄성체에 접합시켰고, 90도 위상차가 나는 교류 전원을 인가하면 L1모드의 진동과 B4모드의 진동을 동시에 발생시킬 수 있다. 종진동모드에 의하여 U_x 방향으로의 변위와 굴곡진동모드에 의해 U_z 방향으로의 변위를 갖게 되고, 이 두 모드가 합성된 결과 변위확대기구에서 타원진동을 일으킬 수 있다. 이 타원진동에 의해 모터가 이동하게 된다.

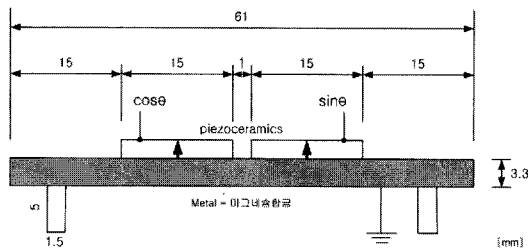
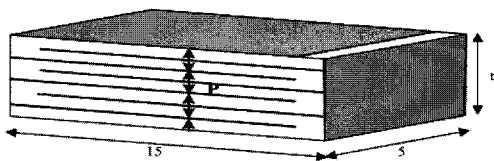


그림 1. 적층형 액츄에이터와 선형 초음파모터 모델.
Fig. 1. Multilayer actuator & model of linear ultrasonic motor

본 실험에서 적층 압전 액츄에이터의 한 층의 두께는 200 μ m이며, 층수를 5, 7, 9, 11, 13, 15층으로 변화를 주어 시뮬레이션 하였다[8,9].

적층형 액츄에이터를 시뮬레이션하기위해 가해진 전압은 다음과 같다.

$$V_1 = 5\cos wt, \quad V_2 = 5\sin wt, \quad w = 2\pi f$$

3. 결과 및 고찰

본 선형 초음파 모터는 L1모드와 B4모드가 합성되어 모터가 구동함으로 L1모드와 B4모드의 공진주파수가 일치하여야 한다. 따라서 탄성체 설계시 $f_{L1} = f_{B4}$ 조건을 고려하여 식(2)를 통해 탄성체의 길이가 61 mm, 두께가 3.3 mm인 결과를 얻었지만, 초음파모터 시뮬레이션시 탄성체에 변위확대기구를 부착하여 시뮬레이션하였다. 이 결과 같은 주파수를 가져야할 L1모드와 B4모드의 주파수가 서로 다르게 나타났다. 이것은 탄성체에 변위확대기구가 부착되면서 초음파모터에 load로 작용하여 L1모드와 B4모드의 주파수가 변한 것으로 사료된다. 그러나 표 1에서 알 수 있듯이 액츄에이터의 층수가 증가 할수록 L1모드의 공진주파수는 감소하고 B4모드의 공진주파수는 증가하여 두 모드의 주파수 간격이 좁아짐을 확인하였고, 13층에서는 L1모드와 B4모드가 거의 동일하게 나타났고, 15층에서 두 모드의 공진주파수 간격이 다시 넓어짐을 확인하였다.

표 1은 적층에 따른 1차 종진동모드(L1)모드와 4차 굴곡진동(B4)모드의 공진주파수를 나타낸 것이다.

표 1. 적층에 따른 모드의 공진주파수.

Table 1. Resonant frequency of L1 and B4 modes with the number of multilayer.

층수 \ 모드	B4	L1
5	34.48	38.34
7	35.01	38.13
9	35.53	37.61
11	36.01	36.87
13	36.11	36.42
15	35.44	36.76

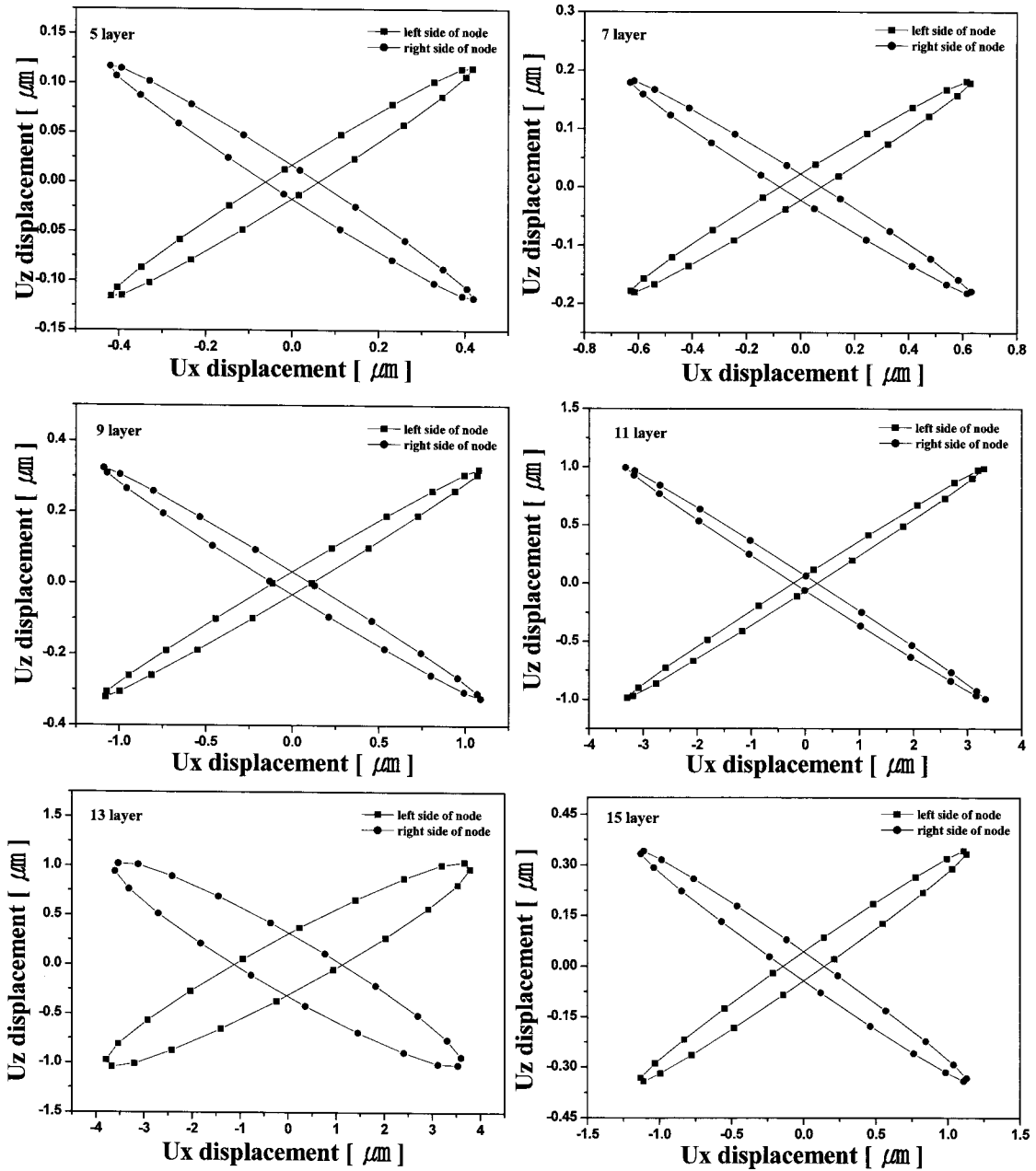


그림 2. 적층수에 따른 타원 변위궤적.

Fig. 2. Trajectory of elliptical displacement with the number of multilayer.

본 실험에서 시뮬레이션한 선형 초음파모터에선 진행파와 정재파가 동시에 나타나는 것을 확인하였다. 시뮬레이션 결과 진행파는 L1모드의 주파수 부근에서 나타났고, 정재파는 B4모드의 주파수 부근에서 나타났다. 본 실험은 정재파를 이용한 선형

초음파모터를 제작하기 위함이므로 B4모드의 주파수 부근에서 시뮬레이션 하였다.

그림 2는 적층수에 따른 선형 초음파 모터를 36.23 kHz의 주파수에서 해석한 타원 변위궤적을 나타낸 것이다. 적층수에 관계없이 모든 선형 초음

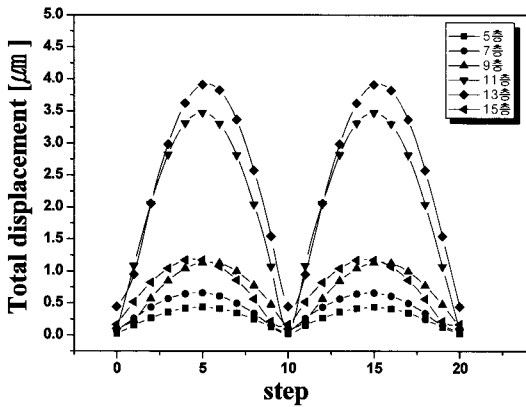


그림 3. 적층수에 따른 전체 변위 궤적.
Fig. 3. Trajectory of total displacement with the number of multilayer.

파모터에서 타원궤적을 나타내었다.

그림 3은 적층수에 따른 전체 변위 궤적을 나타낸 것이다. 액츄에이터의 적층수가 증가 할수록 변위가 증가하는 것을 확인하였고, 13층 적층한 선형 초음파 모터의 전체 변위는 5 V의 전압 인가 시 변위확대기구에서 3.91 μm 의 변위량을 나타내었다. 15층 적층한 선형 초음파모터의 변위는 다시 감소하는 특성을 타나냈다. 이러한 결과는 15층의 L1모드와 B4모드의 공진주파수의 간격이 다시 넓어졌기 때문으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 적층형 선형 초음파모터를 개발하기 위하여 Atila를 사용하여 적층형 액츄에이터의 층수를 변화하여 L1모드와 B4모드를 이용한 선형 초음파모터를 시뮬레이션 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 압전체의 두께가 두꺼워질수록 L1모드와 B4모드의 주파수간격이 좁아짐을 확인하였고, 13층 적층한 선형 초음파모터에서의 L1모드와 B4모드의 공진주파수가 거의 동일하였다. 따라서, 13층으로 적층한 액츄에이터를 사용한 초음파 모터가 최적이라는 것을 시뮬레이션 결과 얻을 수 있었다.
2. 시뮬레이션한 선형 초음파모터에선 진행파와 정재파가 동시에 나타나는 것을 확인하였고, 진행파는 L1모드의 주파수 부근에서 나타났고, 정재

파는 B4모드의 주파수 부근에서 나타났다.

3. 적층수가 증가할수록 변위량이 증가하였고, 13층 적층한 선형 초음파 모터에서 5 V의 낮은 전압을 인가 시 3.91 μm 의 변위량을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 학술진흥재단 선도연구자지원사업(과제번호 : KRF-2005-041-D003707)과 세명대학교 교내학술 연구비로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] 박태곤, 김명호, “압전세라믹 리니어 모터의 동작원리와 응용”, 전기전자재료, 14권, 4호, p. 8, 2001.
- [2] 김태열, 김범진, 박태곤, 김명호, K. Uchino, “L1-B4 샌드위치형 진동자를 이용한 선형 초음파 모터의 설계 및 특성”, 전기전자재료학회 논문지, 13권, 12호, p. 1025, 2000.
- [3] 이상호, 이갑수, 류주현, 홍제일, 정영호, “적층 선형 초음파 모터의 유한요소 시뮬레이션”, 재료학회하계학술대회논문집, p. 284, 2006.
- [3] Y. Tomikawa, T. Ogasawara, S. Sygawara, M. Konno, and T. Takano, “Construction of ultrasonic motors and their application”, J.J.A.P., Vol. 27, p. 195, 1988.
- [4] W. Seemann, “Ultrasonic traveling wave linear motor with improved efficiency”, SPIE, Vol. 2717, p. 554, 1996.
- [5] S. Ueha, Y. Tomokawa, M. Kurosawa, and N. Nakamura, “Introduction to Ultrasonic Motor”, OXFORD, 1993.
- [6] S. Ueha, Y. Tomokawa, M. Kurosawa, and N. Nakamura, “Ultrasonic Motor - Theory and Applications”, OXFORD, 1993.
- [8] 이갑수, 이상호, 류주현, “적층 압전초음파모터용 소자의 전기적 특성”, 재료학회하계학술대회논문집, p. 2325, 2006.
- [9] 이갑수, 이일하, 류주현, “적층 압전액츄에이터 소자의 온도에 따른 전기적 특성”, 대한전기학회추계학술대회논문집, p. 63, 2006.