

모드 커플링을 이용한 압전형 선형 모터 Piezoelectric Linear Motor using Vibration Mode Coupling

*#이승엽, 한대웅, 김선기

*#Seung-Yop Lee(sylee@sogang.ac.kr), Daewoong Han, Sun-Ki Kim,
서강대학교 기계공학과

Key words : Piezoelectric material, Ultrasonic motor, Actuator, Vibration mode

1. 서론

최근 세계 도처 여러 나라에서는 압전모터를 개발하여 여러 분야에 응용하고 있다. 기존의 압전모터는 대부분이 Stator(Vibrator)와 Slider(rotor)의 구성으로 운동을 발생시킨다. Stator가 표면 또는 끝 단에서 타원운동을 발생시켜 마찰력에 의해 Slider에 운동을 전달시키게 되는데 타원운동은 정형파(standing wave)와 진행파(traveling wave)의 중첩으로 발생시킬 수 있다.

본 논문에서는 압전 액추에이터의 변위를 증폭하기 위하여 두 가지 공진 모드를 동시에 사용하는데 기존의 방식은 길이방향 끝점에 팁을 붙여서 팁의 타원운동으로 접촉하는 스테이지의 선형운동을 일으키는 것인데 본 연구에서는 횡방향으로 굽힘 모드의 최대 변위에 팁을 위치시켜서 팁의 타원운동으로 스테이지를 구동하는 방법을 사용한다. 두 지점을 고정하여 변형의 문제를 해결하고 기계적인 시스템의 완전 구현을 위하여 제어기 제작을 하고 이것을 통하여 스테이지 구동을 목적으로 하였다.

2. 압전모터의 이론과 설계

모터의 정지자에서 타원형 운동을 발생시켜서 접촉하는 슬라이더에 선형운동을 발생시키는 압전형 선형 모터에서는 모터의 타원형 운동에 대해서 생각해 보자. 압전 액추에이터의 임의의 점에서 타원형 운동을 발생시키기 위해서 설계한 PMN-PT 단결정 액추에이터의 끝 단과 표면에서의 운동을 길이방향과 폭 방향으로 나누어 각 성분의 응답을 수학적으로 표현할 필요가 있다. 여기서 u_w 는 액추에이터의 폭 방향 변위를 나타내며 u_l 는 길이방향으로의 변위를 나타낸다. 외팔보의 간단한 수식을 이용하면 길이방향 진동 모드에 관한 다음과 같은 수식을 도출할 수 있다.

$$u_{l,r}(x,t) = C_1 \cos(\beta_r x) \sin(\omega_l t) \quad (1)$$

경계조건은 양쪽을 자유단으로 적용하였다. (3)번 식에서 단면적(A)과 길이당 질량(m)을 일정하다고 가정하면 길이(L)의 함수로 표현되는데 이것은 종방향(Longitudinal) 모드는 길이를 조절함으로써 원하는 대역으로 쉽게 튜닝이 가능함을 의미한다. 폭 방향 굽힘 모드는 단순한 Euler's beam으로 가정하면 상당한 오차를 보이기 때문에 Timoshenko beam으로 가정하거나 FEM 프로그램을 이용하여 계산한다. 타원 운동의 두 변위 성분을 각각 길이(L; axial-direction)방향의 종방향(longitudinal)모드와 폭 방향(W; y-direction)의 2차 굽힘모드를 이용하게 된다. 두 가지 공진 모드를 적절한 길이(L)과 폭(W) 및 두께(T)의 조절을 통하여 같은 주파수 대역으로 설계할 수 있다.

외팔보 형태로 설계된 PMN-PT 단결정 액추에이터의 끝단에 Alumina ceramic tip을 통해 slider에 타원운동을 전달하게 된다. 여기서 사용하고자 하는 모드형상은 Fig. 1에 나타나 있다.

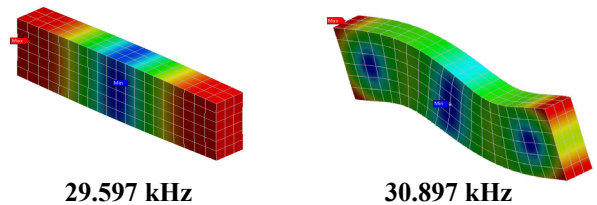


Fig. 1 1longitudinal and 2nd bending mode

사이즈를 결정하기 전에 1st 종방향모드는 식 (3)을 통해 간단히 구할 수 있다. 다음과 같이 PMN-PT의 물성을 사용하여 액추에이터의 사이즈를 25(L)×7.5(W)×3(T)mm로 하였을 때 식(3)과 같이 29.4kHz의 결과를 보인다.

$$\omega_{n1} = \pi \sqrt{\frac{EA}{mL^2}} = \pi \sqrt{\frac{(17 \times 10^9 \text{ kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2 / \text{m}^2)}{(7843 \text{ kg} / \text{m}^3)(0.025 \text{ m})}} = 29.44 \text{ kHz} \quad (3)$$

각각의 모드 형상은 Fig. 1과 같다. PMN-PT 단결정의 사이즈를 25(L)×7.5(W)×3(T)mm로 설계하면 두 모드의 주파수를 거의 30kHz로 일치시키는 것이 가능하기 때문에 입력신호를 30kHz로 가진하게 되면 두 모드가 동시에 발생하게 되어 액추에이터 끝 단이나 단결정의 표면에서 타원운동(Elliptical motion)을 형성한다.

Fig. 2는 두가지 진동 모드의 커플링을 이용한 액추에이터의 구동 매커니즘을 보여준다. 그림과 같이 가로방향으로 굽힘 모드의 변위가 최대가 되는 점에 세라믹 팁을 위치시켜 접촉하는 스테이지를 구동하는 원리이다. 두 모드를 효과적으로 발생시키기 위해서는 액추에이터의 가진을 최적화시킬 필요가 있다. 따라서 본 논문에서 설계한 액추에이터는 Fig. 3과 같이 사분할 된 면의 전극을 대각 위치의 면의 전극을 연결하고 서로 다른 대각 위치의 면끼리는 전극을 분할(Isolation)시켜 입력신호가 대각 면끼리 같은 신호를 입력 받게 되어 횡 방향의 굽힘모드를 발생시킨다. 또한 사분할 된 면과 마주 보고 있는 반대편 면에는 별도의 분할 면을 만들지 않아 종방향모드를 형성하게끔 하였다.

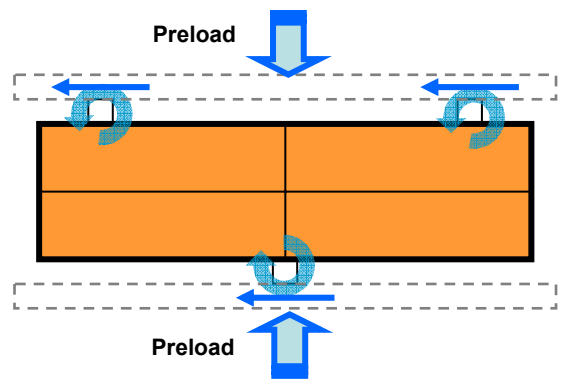


Fig. 2 Moving mechanism of linear actuator using two vibration modes



Fig. 3 Design of actuator using PMN-PT

3. 액추에이터의 선형구동 구현 및 제어기 사양

굽힘모드와 종방향모드가 연성되어 나타나는 30 kHz 부근에서 가장 높은 peak 가 나타나 액추에이터의 구동은 앞서 예상한 바와 같다고 할 수 있다. 선형구동 액추에이터로서 구동원리는 Fig. 4(a)와 같이 액추에이터의 3 점에 세라믹 팁을 부착하여 타원운동을 이용하는 방법을 통하여 선형 구동 실험을 실행하였다. Pre-load 에 의하여 구동여부가 민감하기 때문에 스테이지를 고정하여 적절한 Pre-load 를 이용하여 구동하였다.

Fig. 4(b)는 실험을 위한 압전모터의 구동 앰프이다. 구동 앰프는 압전모터와 제어기로부터 위치 제어 신호를 받아 액추에이터를 구동하는 역할을 한다. 실험에서는 50 - 80 V 사이에서 실험을 수행하였다. 구동 실험을 위한 입력 주파수와 전압은 Fig. 4(c)에 나타나 있다 제어기와 앰프의 통신 인터페이스는 RS232 asynchronous 통신 방식이 적용되었으며 통신 속도는 19200bps, 통신 포맷은 통신 케이블 연결 정보는 Fig. 5 와 같다. 측정은 Polytec LDV 센서를 이용하여 속도를 측정하였으며 입력 전압에 따른 속도 변화를 Fig. 6 에 나타내었다.

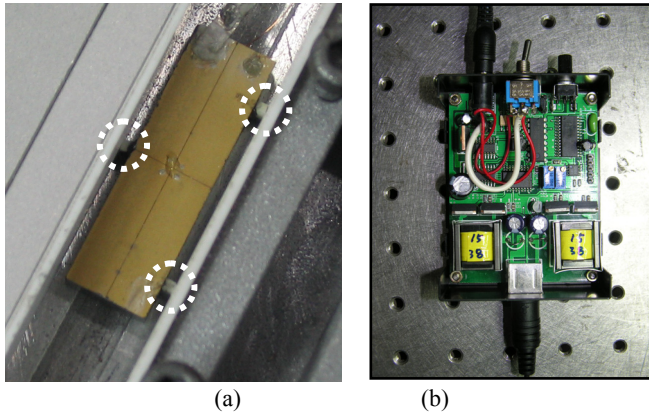


Fig. 4 (a)Linear actuator with three ceramic tips, (b) motor amplifier (c) input voltage

4. 결론

본 연구를 통해서 압전 액추에이터의 두 진동모드를 동시에 사용하여 더욱 큰 변위를 얻어낼 수 있음을 확인하였으며 운동의 전달을 위해서는 Pre-load 의 적절한 값이 필요로 하게 된다. 결과적으로 두 시스템 모두 입력 전압이

증가할수록 빠른 속도로 구동하는 경향을 보이고 있으며 입력 신호주파수는 30 kHz 부근에서 벗어나면 구동이 불가능하거나 연속적이지 못한 운동의 전달을 보인다. 또한 제어기를 통한 기계적 시스템의 완비를 수행함으로 더욱 세밀한 구동력과 연속적인 움직임을 확인 할 수 있었다. 입력 값에 따른 따라서 구동 영역의 Pre-load 를 이용하면 앞서 사용된 두 방식의 선형 구동기로서 사용이 가능하다고 할 수 있겠다.

Pin	Function	connecting	Function	Pin
1	-		-	1
2	RX	←	TX	2
3	TX	→	RX	3
4	-		-	4
5	GND	←	GND	5
6	-		-	6
7	-		-	7
8	-		-	8
9	-		-	9

Data length	8 bit
Start bit	1 bit
Stop bit	1 bit
Parity bit	None
Hand shake	None

Fig. 5 Interface between controller and amplifier

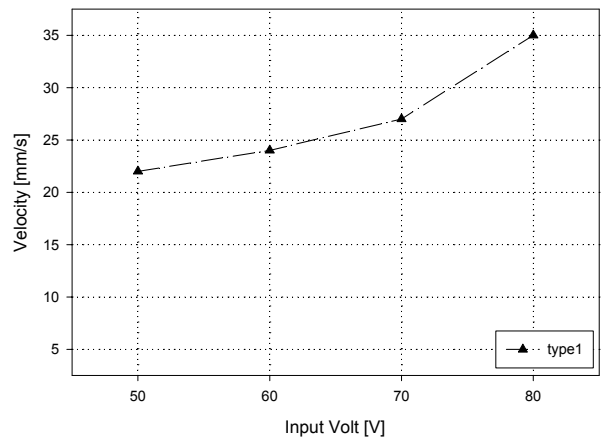


Fig. 6 Velocity depending on the input voltages

참고문헌

1. Thilo Bein, Elmar J Breitbach, Kenji Uchino, 1997, "A linear ultrasonic motor using the first longitudinal and the fourth bending mode", Smart Mater. Struct. Vol.6, pp.619-627.
2. Lee, S.-Y., Ko, B. and Yang, W.-S., December 2005, "Theoretical Modeling, Experiments and Optimization of Piezoelectric Multimorph", Smart Materials and Structures, Vol. 14, pp. 1343-1352.
3. K Uchino, 1997, "Piezoelectric Actuators and Ultrasonic Motors", Kluwer, Academic Publishers, Boston, London.
4. S.-Y. Lee, H. Lee and T. Kwon, 2006, "Design and Analysis of inchworm type focusing actuator using ring-type piezoelectric materials", MIPE 2006, Santa Clara CA, USA, pp. 312-314
5. 최요한, 김경호, 이승엽, "압전재료를 이용한 선형 액추에이터 설계" 2006년 정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp.375-376