

V-형 선형 초음파 모터의 구동 특성

Driving Characteristic of Ultrasonic Linear Motor With V-type

정성수¹, 박태곤^{1,a}

(Seong-Su Jeong¹ and Tae-Gone Park^{1,a})

Abstract

A linear ultrasonic motor was designed by a combination of the longitudinal and bending mode. Linear ultrasonic motors are based on an elliptical motion on the surface of elastic body, such as bar or plates. The corresponding eigen-mode of one resonance frequency can be excited twice at the same time with a phase shift of 90 degrees in space and time. That is excite symmetric and anti-symmetric modes. Then it determines the thrust and speed of the motor. Linear ultrasonic motors are investigated experimentally in according to be fabricated a general classification to motor structure and material characteristic. There was the first to simulate as use of finite element analysis ANSYS 9.0. The AL-T2W8-ARM14-LEG18-ANGLE80 motor has a maxim efficiency 18 % under the speed 0.14 m/s, thrust 345 gf and preload 280 gf, operating frequency is 57.6 kHz.

Key Words : Ultrasonic motor, FEM, Vibration mode, ANSYS

1. 서 론

전자기 모터와 구동원리가 다른 초음파 모터는 압전 세라믹의 진동을 이용한다. 초음파 모터는 높은 제어특성과 전자기 노이즈에 대한 안정성을 갖고, 저속 고 토크, 고 효율을 갖는 특징이 있다. 근래에는 자동카메라의 자동초점 시스템과 줌 장치의 구동원, 그리고 카메라 떨림 보정장치에 응용되고 있다. 이는 정밀제어가 가능하고 다양한 형태의 초음파 모터의 개발로서 위 분야에 빠르게 적용되고 있는 것으로 사료된다[1,2]. 이와 같이 소형기기의 구동원으로 초음파 모터가 적용되면서 보다 소형, 경량의 모터가 요구되었고 본 연구에서는 이를 충족하고자 구조가 간단한 V형 선형 초음파 모터를 제안하게 되었다.

제안한 초음파 모터는 V-형 스테이터에 판형 세라믹 두 장을 각각 접합한 형태의 초음파 모터로서 스테이터의 재질과 arm의 변화에 따른 모터의 특성을 살펴보았다. 유한요소프로그램인 ANSYS를 이용하여 스테이터를 설계 해석하였고 body, angle, leg의 조건을 해석결과 중 최적의 조건으로 선정하여 V-형 초음파 모터를 제작하고 특성을 실험하였다.

2. 본 론

2.1 구조

그림 1에서는 V형 선형 초음파 모터의 구조와 크기를 보여준다. arm의 윗면에 압전 세라믹을 접합하였고, leg가 결합된 각을 angle이라 한다. arm과 연결된 leg의 끝부분인 tip이 슬라이드를 타격하여 모터가 구동되는 원리이다.

스테이터의 tip에서 타원 변위를 만들기 위해서 필요한 종진동(longitudinal vibration)과 굽힘진동

1. 창원대학교 전기공학과
(경남 창원시 사림동 9)

a. Corresponding Author : tgpark@sarim.changwon.ac.kr

접수일자 : 2007. 3. 5

1차 심사 : 2007. 4. 10

심사완료 : 2007. 4. 20

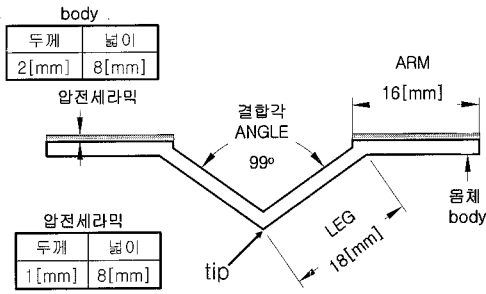


그림 1. V-형 초음파모터의 구조와 크기.
Fig. 1. Structure and size of V-type ultrasonic motor.

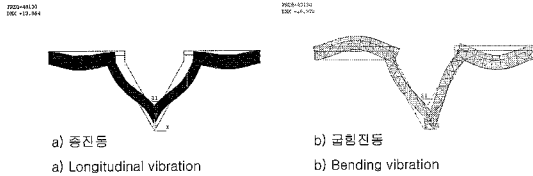


그림 2. 진동모드.
Fig. 2. Vibration mode.

(bending vibration)을 그림 2에서 보여준다. 좀 더 자세한 타원변위의 생성과정을 그림 3에서 확인할 수 있다. 두 압전 세라믹에 90°위상차가 나는 전원을 인가하면 그림에서 보듯이 T₀에서 T₇까지의 주기 동안 타원 변위를 보임을 확인할 수 있다. 이는 대칭과 비대칭의 원리로서 압전 세라믹에 같은 위상의 전원이 인가될 경우 tip은 슬라이드와 수직 방향의 운동을 하는 대칭이 되고, 압전세라믹에 다른 위상의 전원이 인가되면 tip은 슬라이드와 수평 방향으로 운동한다. 이 운동이 반복되어 tip의 운동이 타원 궤적을 그리게 된다. 그림 3에서 T₁과 T₅는 위상이 같은 즉, 대칭일 때의 모습이고 나머지는 위상이 틀린 비대칭일 때의 진동을 보이고 있다. 한 주기 동안 tip은 한 바퀴의 타원궤적 운동을 하며 이는 공진주파수대역에서 반복하게 된다[3,4].

2.2 유한요소해석

설계한 모형을 바탕으로 유한요소해석 프로그램인 ANSYS 9.0을 이용하여 변위를 해석 하였다. Tokin사의 NEPEC 6 압전 세라믹을 적용하여 해석하였고 스테이터에 사용된 재료 특성은 표 1과 같다[3].

modal 해석을 통하여 스테이터의 고유진동수를 찾아내고 harmonic 해석을 이용하여 압전 세라믹

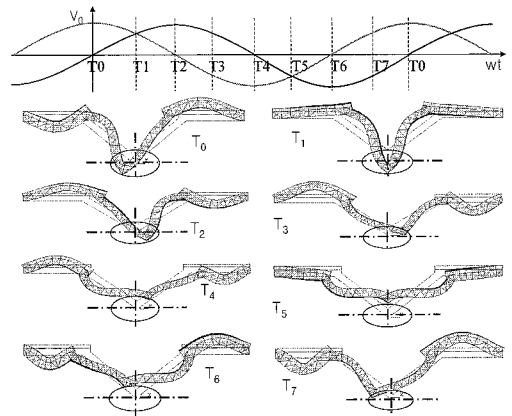


그림 3. 한 주기 동안의 tip 변위.
Fig. 3. Change of vibration at cycle.

표 1. 스테이터 재료의 특성.

Table 1. Material properties of the stators.

materials	Elasticity (E)	Poisson's ratio (σ)	Density(ρ)
Al	7.0E ¹⁰	0.33	2700
SUS	19.3E ¹⁰	0.31	8080
Fe	19.86E ¹⁰	0.29	7840

에 90°위상차를 가지는 전압을 각각 인가하여 최대 변위 점을 보이는 주파수 영역을 찾았다.

먼저 위상차에 따른 변위는 그림 4에서 확인할 수 있다. 위상차를 0° 에서 330° 까지 30° 간격으로 줄 때 위상차가 90° 와 270°일 때 가장 좋은 타원 변위가 나타났다.

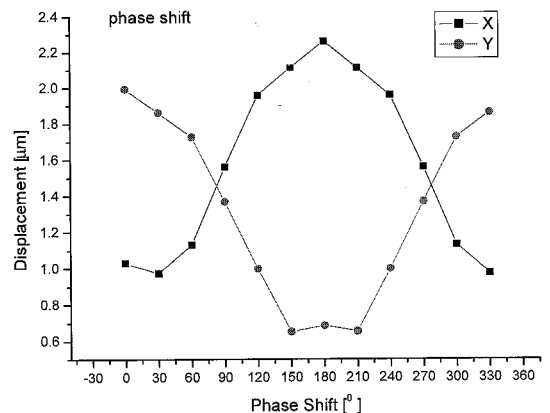


그림 4. 위상차에 따른 변위.
Fig. 4. The displacement of phase difference.

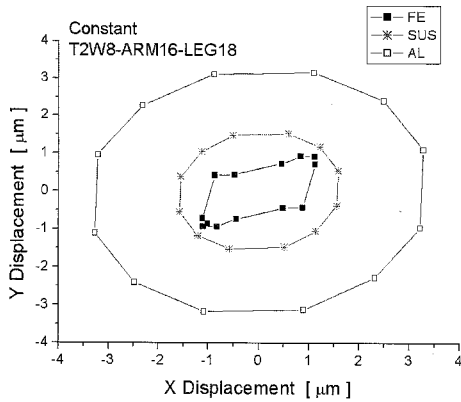


그림 5. 스테이터의 재질에 따른 tip 변위.
Fig. 5. The displacement of stators.

적용된 스테이터는 두께 2 mm, 넓이 8 mm, arm 16 mm, leg 18 mm이고 부착된 압전 세라믹의 크기는 두께 1 mm, 길이 16 mm, 넓이 8 mm이다. 스테이터의 재질을 Al(알루미늄합금), SUS(스테인리스), Fe(철)로 주어서 유한요소해석을 한 결과 tip의 변위는 그림 5와 같았다. 해석한 결과 타원체적의 크기는 Al > SUS > Fe 순으로 나타났다.

스테이터의 arm의 길이 변화에 따른 타원 변위의 크기는 그림 6에서 확인할 수 있다. 큰 타원 변위를 얻기 위해 주어진 변수는 스테이터의 두께, 결합각, arm의 길이이고 두께 2 mm, 결합각이 90도 일 경우에는 arm의 길이가 10~17 mm 사이에서 큰 변위를 보이는 해석결과를 바탕으로 12, 14, 16 mm의 세 모델을 선정하였다. 가장 큰 변위를 나타낸 것은 16 mm로서 길이가 길수록 큰 변위를 보였고, 공진 주파수는 arm이 길어질수록 낮아지는 특성을 보였다.

3. 실험

해석된 결과를 바탕으로 초음파 모터를 제작하기 위해 그림 7과 같이 스테이터를 각각 가공하고, Epotech社의 353ND 접착제를 이용하여 압전 세라믹을 접착하였다.

제작된 초음파 모터의 속도특성을 측정하기 위해 주파수발생기(33120A, Agilent社)를 이용하여 정현파를 구현하였고 phase shift를 이용하여 90°

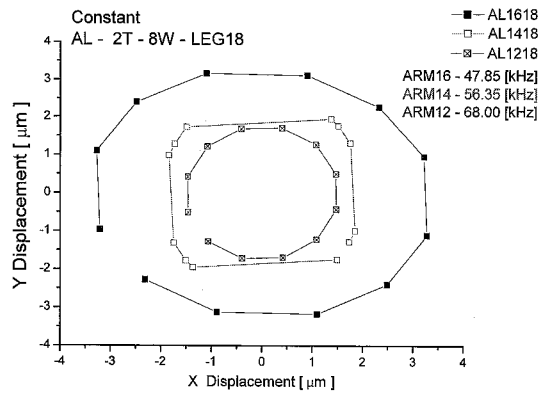


그림 6. Arm의 길이에 따른 변위 해석.
Fig. 6. Analysis of displacement accordance to arm length.

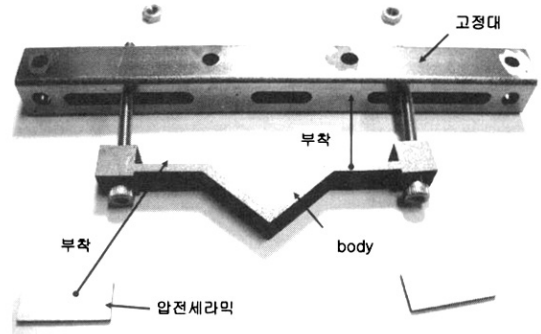


그림 7. 제작된 초음파 모터.
Fig. 7. Fabricated ultrasonic motor.

위상차가 있는 파형을 만들었으며, power amplifier (NF, HSA4051)를 이용하여 증폭하였다.

4. 결과 및 고찰

그림 8은 스테이터의 재질에 따른 초음파모터의 속도특성 곡선을 보여준다. Al이 가장 빠른 속도를 보였고 이어서 SUS, Fe 순으로 나타났다. 이는 그림 5에서 보는 바와 같이 유한요소해석결과와 일치하는 것을 확인할 수 있다. Al의 경우 전압의 증가에 따라 비교적 선형적이 속도 증가를 보였고, Fe와 SUS는 낮은 속도 특성을 나타내었다.

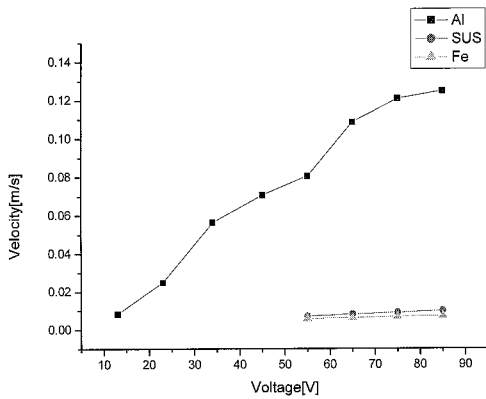


그림 8. 스테이터의 재질에 따른 velocity-voltage 곡선.
Fig. 8. Velocity-voltage curve by material.

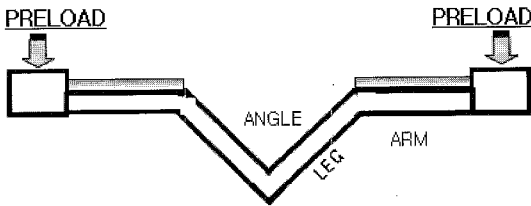


그림 9. Preload의 형태.
Fig. 9. The model of preload.

스테이터에 preload를 주었을 때의 특성을 살펴 보기 위해 그림 9와 같이 각각의 preload를 가하였다. 그림 10은 arm의 스테이터의 길이에 따른 속도특성을 보여준다. arm의 길이를 12 mm, 14 mm, 16 mm로 하고 preload를 200 gF에서 700 gF까지 변화 할 때의 특성을 측정하였다. preload가 400 gF일 때를 제외하고는 속도의 변화는 arm의 길이가 길수록 빠르게 나타났다. 이는 그림 6에서와 같이 유한요소해석결과와도 비교적 일치하는 결과를 보이고 있다. preload가 280일 때가 세 종류의 모터 모두 가장 좋은 특성을 나타냄을 확인하였다.

그림 11은 arm 길이에 따른 효율을 보여준다. 인가전압은 75 V로 일정하게 주어졌고 공전주파수에서 전류는 12 mm에서 45 mA, 14 mm에서 20 mA, 16 mm에서 41 mA로 측정 되었다. 14 mm에서 가장 적은 전류가 흐름을 알 수 있었고, preload가 280 gf일 때 18 %로 효율이 가장 높게 나타났다.

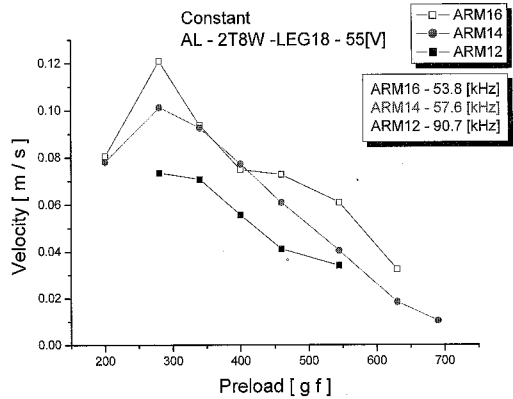


그림 10. Arm 길이에 따른 preload-velocity 곡선.
Fig. 10. Preload-velocity curve.

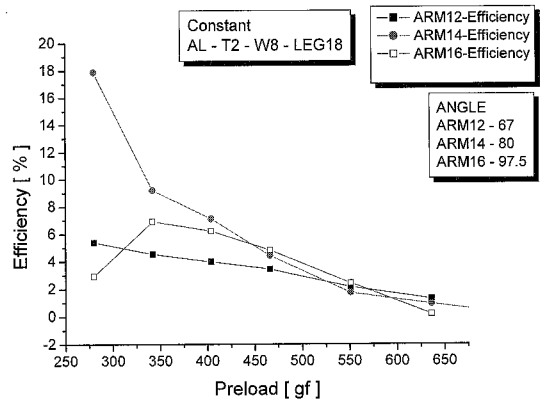


그림 11. Arm 길이에 따른 preload-efficiency 곡선.
Fig. 11. Preload-efficiency curve.

5. 결론

본 연구에서는 V-형 초음파 모터를 설계하고 그 스테이터의 재질과 크기의 변화에 따른 특성을 살펴본 결과는 다음과 같았다.

1. 스테이터의 재질에 따른 속도 특성은 Al이 가장 큰 타원변위와 함께 높은 속도를 나타냄으로서 유한요소해석 결과와 실험결과가 일치하였다.
2. Arm 길이 변화에 따른 velocity-preload 특성은 preload가 280 gf일 때 가장 큰 속도를 나타냈고, 이후로 점차 속도가 감소함을 보였다.
3. 최대 효율을 보이는 모델은 14 mm의 preload 280 gf일 때 18 %로 가장 높은 효율을 기록하였다.

위 연구결과, 스테이터와 압전 세라믹의 접촉시 접촉상태에 따라 유전율이 크게 변하게 되므로 주의가 요구되고, 접촉점의 마찰력에 의해 구동력을 얻으므로 tip의 마모로 인한 특성변화를 보이며 이를 줄이기 위한 대책으로 영률이 높은 재질의 스테이터를 사용하는 것이 효율에 유리할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2006년도 창원대학교 연구교수연구비에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

[1] 박태곤, 김명호, “압전세라믹 리니어 모터의 동작

원리와 응용”, 전기전자재료, 14권, 4호, p. 8, 2001.

[2] T. G. Park, B. J. Kim, M. H. Kim, and K. Uchino, “Characteristics of the first longitudinal-fourth bending mode linear ultrasonic motors”, J.J.A.P., Vol. 45, No. 9B, p. 7139, 2002.

[3] 當川義朗, “超音波エレクトロニクス振動論”, 朝倉書店, p. 164, 1997.

[4] T. Kosawada, K. Suzuki, and T. Tomikawa, “A card sending linear ultrasonic motor using multi-beam piezoelectric vibrators”, International Journal of Applied Electromagnetics in Materials, Vol. 2, p. 285, 1992.

[5] Matweb, automation creations, Inc., <http://www.matweb.com>, 1996-2005.