

## 유니모프 진동자형 마이크로 초음파 리니어 모터

윤철호, 이성호  
한국생산기술연구원

## A Micro Ultrasonic Linear Motor using Two Unimorph Vibrators

C. H. Yun, S. H. Lee  
KITECH

**Abstract** - 두개의 유니모프 진동자를 이용한 새로운 형상의 마이크로 초음파 리니어 모터를 제안하였다. 유니모프 진동자는 금속판에 판상의 압전소자가 접착되어 있으며, 두개의 유니모프 진동자가 삼각형상의 진동 커플러에 의해 연결되어 스테이터를 구성한다. 스테이터는 두가지 진동모드(대칭모드와 비대칭모드)를 가지고 있으며, 이 두 진동모드가 축퇴되도록 설계하였다. 스테이터의 대칭모드와 비대칭모드를 위상차 90°로 여전시킴으로써 이동체의 직선(또는 회전) 운동을 발생시킬 수 있다. 시작기 모터는 높이 0.9 mm, 폭 1 mm, 길이 7.5 mm이며, 구동전압 100 V<sub>pp</sub>, 구동주파수 300 kHz로 구동되어, 모터 최대속도 0.3 m/s, 최대 추력 6 mN을 달성하였다.

## 1. 서 론

마이크로 메니퓰레이터, 광학 시스템, 의료기구 등의 소형화 추세에 의해 고정도, 고출력 마이크로 액추에이터가 요구되고 있다. 전자형 또는 정전형 마이크로 모터가 다수 보고되고 있지만, 초음파 마이크로 모터[1-3]는 구동원인 압전소자의 에너지 밀도가 높고, 기어 등을 사용하지 않고 슬라이더(또는 로터)의 디이렉트 구동이 가능하기 때문에 구조가 단순하면서 소형, 고출력 마이크로 모터로서 기대되고 있다. 그러나 초음파 리니어 모터를 구성할 경우, 슬라이더와 진동자의 지지 및 예압 인가기구를 포함한 시스템 전체에 대한 연구가 진행되지 않을 경우, 시스템의 소형화는 쉽지 않다.

본연구에서는 삼각돌기 구조를 갖는 유니모프형 진동자를 사용하여 밀리미터 크기를 갖는 마이크로 초음파 리니어 모터를 제안하고 시제품을 제작하였다. 이 모터는 진동자 양끝단의 지지가 가능하며, 진동자 자체의 탄성을 예압인가 기구로서 이용 가능한 구조로 되어 있다.

## 2. 본 론

## 2.1 모터 구조와 동작원리

제안한 모터의 구조를 Fig. 1에 나타낸다. 2개의 유니모프형 진동자는 중앙부가 삼각 형상으로 구성되어 있으며, 삼각구조의 끝부분이 슬라이더와 접촉한다. 삼각구조와 진동체는 인체동 판재를 두께 150 um, 폭 1 mm로 방전가공 한 것으로 그 양측에 두께 300 um, 길이 2 mm, 폭 1 mm의 두께 방향으로 분극한 PZT 소자를 접착하였다. 모터 전체의 길이는 7.5 mm, 폭 1 mm, 높이 0.9 mm이다. 진동자의 양끝단을 접착하여 지지한다.

제안한 리니어 모터에서는 진동자의 대칭 bending 모드와 비대칭 bending 모드를 이용한다. 두개의 유니모프 진동자를 동위상으로 구동하면, 삼각형상구조의 끝이 슬라이더 진행방향과 수직방향으로 진동한다(대칭모드, Fig. 2a). 이 진동성분으로 마찰력을 제어한다.

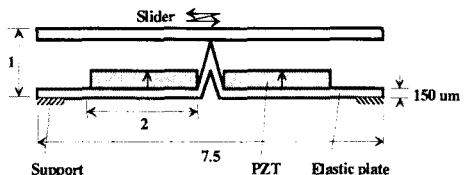


Fig. 1 Configuration of the stator transducer.

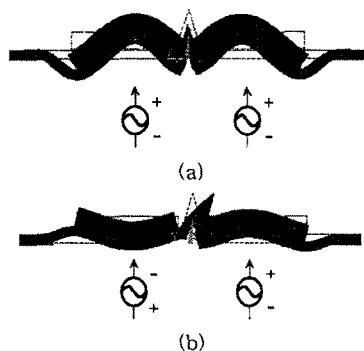


Fig. 2 Vibration modes of the stator analysed by the FEM: (a) symmetry mode and (b) asymmetry mode.

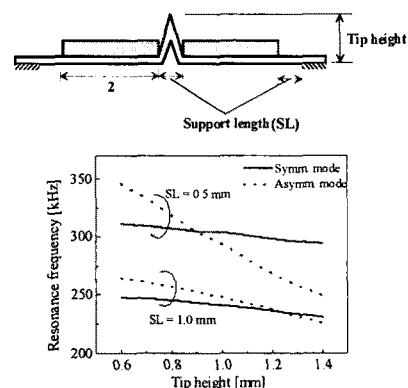


Fig. 3 Resonance frequencies vs. the tip height.

한편, 두개의 유니모프 진동자에 역위상으로 구동하면, 삼각형상구조의 끝은 수평방향으로 진동한다(비대칭모드, Fig. 2b). 이 진동성분은 구동력을 발생한다. 이 두 진동성분을 위상차 90°로 구동함으로써 삼각돌기의 끝에 타원궤적을 형성시킬 수 있다. 이 상태에서 삼각돌기 부분을 슬라이더에 예압을 가해 밀어 붙이면, 마찰력에 의해 슬라이더가 한쪽 방향으로 구동된다. 구동 위상차를 -90°로 하면, 슬라이더 진행방향이 반전한다.

## 2.2 모터의 설계

두 진동을 충분한 진동진폭으로 구동하기 위해, Fig. 2에 나타낸 2개의 진동모드를 축퇴시킬 필요가 있다. 삼각구조의 폭과 암전소자로부터 지지부까지의 거리(지지거리 : SL)를 일정하게 고정하고 삼각구조의 높이를 변화시킨 경우, 공진주파수 변화를 유한요소법으로 계산한 결과를 Fig. 3에 나타낸다. 삼각구조의 높이 변화에 따른 대칭 진동모드와 비대칭 진동모드의 공진주파수 변화율이 다르기 때문에 어느 높이에서 두 진동모드의 공진주파수가 일치했다. 본 연구에서는 지지거리  $SL = 0.5$  mm, 삼각구조의 높이 0.9 mm의 모터를 제작하여, 그 성능을 평가하였다. 해석 결과에 의하면 대칭진동모드와 비대칭진동모드의 공진 주파수는 약 307 kHz에서 일치하였다.

## 2.3 어드미턴스 특성

제작한 모터(스테이터 부분)의 어드미턴스 특성을 임피던스 어셀라이저(Agilent 4294A)로 측정하였다. 스테이터를 동위상으로 구동한 경우(대칭모드)와 역위상으로 구동한 경우(비대칭모드)의 어드미턴스 특성을 Fig. 4(a), 4(b)에 나타낸다. 유한요소법에 의한 해석 결과와는 조금 다르게 대칭모드의 공진주파수는 297 kHz이고, 비대칭모드의 공진주파수는 310 kHz였다.

## 2.4 부하특성

모터의 속도-추력 특성을 측정하기 위해, 분동에 의해 예압을 인가하여 볼베어링(로터)을 스테이터의 삼각구조 끝에 가압하였다. 부하특성은 로터의 정상속도 까지의 과도특성을 측정하여 계산하였다. 정상속도에 도달할 때 까지의 각점(시간)에서의 각각속도를 계산하고, 로터의 관성 모멘트를 곱하여, 각 순간에서의 순시 토크를 계산했다. 베어링의 반경을 이용하여 선속도와 추력 등 리니어 모션에 관한 특성을 계산했다.

구동주파수는 315 kHz, 구동전압 100 V<sub>op</sub>, 예압 100 mN으로 구동했을 때의 속도 특성을 Fig. 5에 나타낸다. 본 실험에서 사용한 로터는 직경 5 mm, 관성모멘트  $7 \times 10^{-9}$  kg·m<sup>2</sup>의 볼베어링이다. 로터의 회전속도는 In-plane LDV로 측정하였다. 구동시간 14 ms에서 정상 속도 0.32 m/s에 도달하였다. Fig. 6에는 Fig. 5의 과도 특성으로부터 계산한 속도-부하특성을 나타낸다. 최대추력 6mN을 달성하였다.

## 3. 결 론

삼각돌기 구조의 진동 커플러와 유니모프 진동자를 이용한 마이크로 초음파 리니어 모터를 제작, 시작하고 동작특성을 확인하였다. 모터 전체의 크기는  $7.5 \times 1 \times 1$  mm<sup>3</sup> 정도이다. 무부하 최대속도 0.32 m/s, 최대추력 6mN이 얻어졌다. 향후 예압인가 방법과 지지방법 등을 상세하게 검토할 필요가 있다.

## [참 고 문 헌]

- [1] M. Kurosawa,"A cylindrical micro ultrasonic motor using PZT thin film deposited by single process hydrothermal method," *IEEE Trans. UFFC*, vol. 40, 687-693 (1998)
- [2] B. Koc,"A piezoelectric micro motor using two orthogonal

bending modes of a hollow cylinder," *IEEE Trans. UFFC*, vol. 49, NO. 4, pp. 495-500 (2002)

- [3] B. Koc,"Piezoelectric micro motor using a metal-ceramic composite structure," *IEEE Trans. UFFC*, vol. 47, NO. 4, pp. 836-843 (2000)

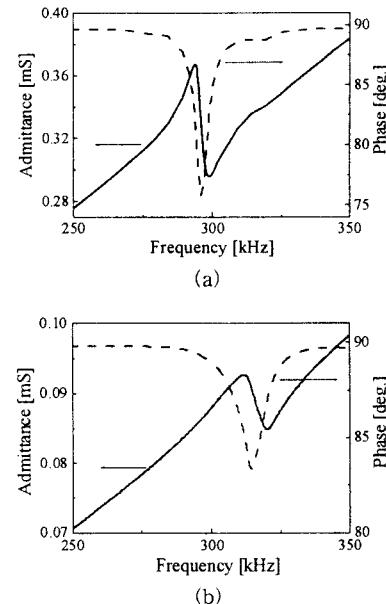


Fig. 4 Admittance characteristics of the stator: (a) in-phase and (b) anti-phase drive.

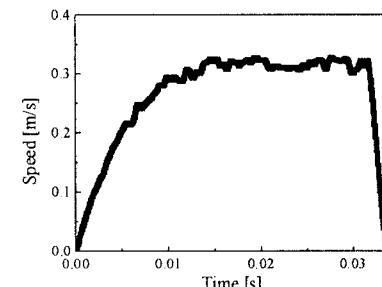


Fig. 5 Transient response of the motor.

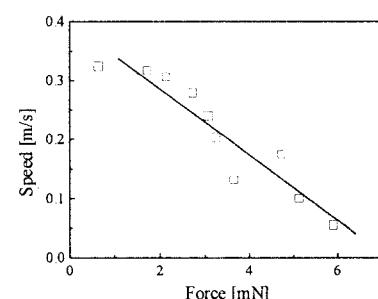


Fig. 6 Load characteristics of the motor calculated from Fig. 5.