

L1-B8형 초음파 모터의 구동 특성

김행식, 박태곤, 김명호*

창원대학교 전기공학과 *창원대학교 세라믹공학과

Driving Characteristics of L1-B8 Mode Ultrasonic Motor

Hang-Sik Kim, Tae-Gone Park, *Myong-Ho Kim

Dept. of Electrical Eng., Changwon National Univ.

*Dept. of Ceramic Eng., Changwon National Univ.

Abstract

This paper deals with a flat type ultrasonic motor, which uses a longitudinal-bending multi mode vibrator of rectangular form. This ultrasonic motor was designed by combination of the first longitudinal and eighth bending mode, and the motor consisted of a straight aluminum alloy bar bonded with piezoelectric ceramic elements as a driving element. The geometrical dimensions of the rectangular aluminum vibrator were determined by Euler-Bernoulli theory

In the experimental device, piezoelectric ceramics (a piece of ceramic for the L-mode, $24 \times 8 \times 1$ [mm], and four pieces for the B-mode, $12.5 \times 8 \times 1$ [mm]) were attached to one side of a aluminum plate($100 \times 8 \times 1$ [mm]), and the stator was supported with a plastic case.

As results, no-load rpm was 50[rev./m] when applied voltage was 150[Vrms] at the resonance frequency, and as the voltage was increased, the rpm was increased.

Key Words : Ultrasonic linear motor, L1-B8, Longitudinal Mode, Bending Mode

1. 서 론

초음파 전동기는 고정진동자의 초음파 진동을 회전자 사이의 마찰을 이용하여 추진력을 얻는 모터이다. 초음파 전동기는 전자식 전동기와 비교해 고주파 전원이 필요하고 마찰로 인한 내구성이 떨어진다. 단점이 있는 반면, 저속에서 고폭토크를 발생하고 응답속도가 빠르며, 제동이 견고하고 소음이 전혀 없고 소형·경량·단순구조 및 전·자계로부터 영향을 받지 않으며 역으로 발생하지도 않는다는 장점을 보유하고 있다. 특히 리니어 모터는 기어를 사용하지 않고 정밀위치 제어가 가능한 x-y스테이지 등의 구성에 유용하다.[1] 초음파 모터의 실용화를 위해서는 압전세라믹의 변위가 마이크로 범위(micro order)이기 때문에 작은 변위를 이용하여 고효율을 얻기 위해 고정진동자의 변위

의 형성을 향상시키고, 마찰에 의한 에너지 전달을 좋게 하기 위한 노력이 요구되어 진다.

본 논문에서는 고정진동자의 Euler-Bernoulli theory를 이용하여 탄성체를 설계하고 공간적 위상이 다른 지점에 압전세라믹을 부착하였다. 제작된 구동드라이버를 이용하여 90° 위상차를 갖는 sin파와 cos파를 각각 전원단자에 인가하여 동작 특성을 살펴보았다.

2. L1-B8 모드 초음파 전동기의 설계

2.1 구조와 동작원리

1차 종진동모드(L1)와 8차 굴곡진동모드(B8)의 두개의 진동 모드를 이용한 선형 초음파 전동기의 동작원리 및 구조를 그림 1, 그림 2에 나타내었다. 진동원인 압전소자는 각 진동모드의 공간적으

로 위상이 다른 위치에 접합하고, 분극방향의 조정을 하여, 고주파의 90° 위상차가 나는 두개의 교류 전원을 인가하면 압전 특성에 의해 그림 1과 같이 1차 종방향진동(L1)모드와 8차 굴곡진동(B8)모드가 동시에 발생하고, 이 두 모드가 합성된 결과로써, 타원진동이 발생한다.[2] 이 타원진동에 의해 초음파 전동기로서 응용되어 질 수 있다.

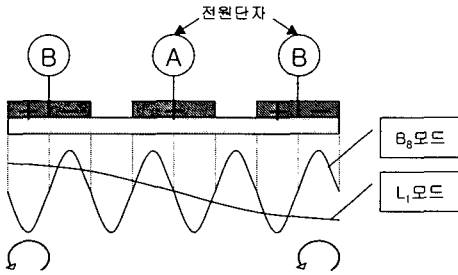


그림 1. 동작원리

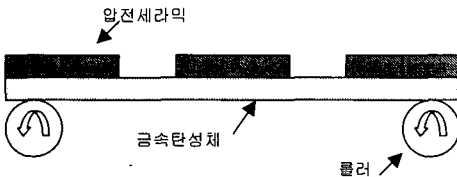


그림 2. 모터의 구조

2.2 고정자의 설계 및 제작

1차 종진동과 8차 굴곡진동을 이용하여 초음파 리니어 전동기의 설계시 고려하여야 할 사항은 고정진동자의 기하학적 크기이다. n차 굴곡진동모드의 공진주파수는 보의 굽힘에 관한 기본이론 (Euler-Bernoulli theory)을 이용하였고, 회전관성과 전단변형의 영향을 무시하였다.[3] n차 종진동모드의 공진 주파수는 봉이나 막대의 x방향 힘의 합 운동방정식에서 유도할 수 있다.[4] 각각의 공식은

$$f_{Bn} = \frac{\alpha^2 t}{4\pi\sqrt{3}l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} : \alpha_n \approx \left(\frac{2n+1}{2}\right)\pi(1)$$

$$f_{L1} = \left(\frac{1}{2l}\right)\sqrt{\frac{E}{\rho}}(2)$$

이다. 단, E, ρ, l, t는 각각 탄성체의 영률, 밀도, 길이, 두께를 의미한다.

$$f_{L1} = f_{B8} \quad (3)$$

식 (3)조건에서 탄성체를 설계하여야 가장 좋은 효율을 얻을 수 있다. 따라서 식 (1)과 (2)를 식 (3)에 대입함으로써 식 (4)를 구할 수 있다.

$$l = \frac{\alpha^2 t}{2\pi\sqrt{3}} \quad (4)$$

식 (4)로부터 탄성체의 길이와 두께 그리고 공진주파수를 결정할 수 있다. 실제 제작할 진동자는 압전세라믹과 전선(electric wires)의 접착 때문에 공진주파수가 변경되므로 미세한 수정이 필요하다.[5] 위의 식에서 설계한 알루미늄 탄성체의 크기(X×Y×Z)는 100×8×1[mm]이다. 압전세라믹의 두께는 알루미늄 탄성체와 동일한 두께로 하여 한 개의 종진동 모드 압전세라믹은 24×8×1[mm], 4 개의 굴곡진동 모드 압전세라믹은 12.5×8×1[mm]로 하였다. 탄성체, 압전세라믹 그리고 리드선의 접착은 도전성 접착제(Eccobond 56c, Ablestik)를 고르게 바른 후 60[°C]에서 40분간 열처리하여 접착하였다.

2.3 구동회로

초음파 모터의 구동회로를 그림 3에 나타내었다. 초음파 모터의 전원은 90° 만큼 다른 위상을 갖는 sin파와 cos파를 압전 세라믹스에 각각 인가하여야만 L1-B8모드가 형성된다. 실험에 사용한 구동회로의 발진회로는 입력을 DC로 하여 CMOS IC 칩을 사용하여 주파수 제어방식으로 발진소자로 4046B를 사용하였고, 주기 T인 신호의 위상을 4013B에 의해 4T인 신호를 만들어 낸다. 버퍼로 LM 556을 사용했으며, MOSFET를 이용한 푸쉬풀 전력증폭기와 변압기에 의한 전력증폭 및 RLC 공진에 의해 2상의 AC 전압을 출력하는 회로이다.[6]

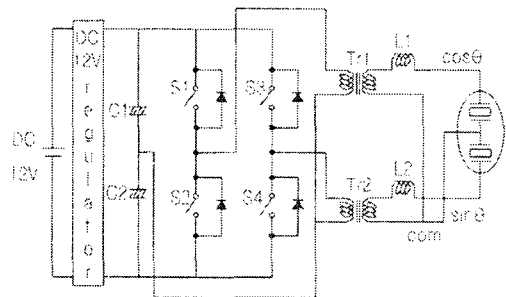


그림 3. 구동회로

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 주파수에 따른 속도 및 전류 특성

초음파 모터와 회전자를 그림 4, 5와 같이 설치하여 구동회로의 입력 주파수 변화에 따른 입력 전류의 변화 및 롤러(지름 24mm)의 회전 속도를 측정하였다.

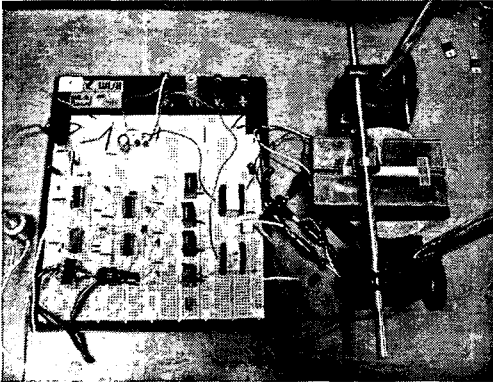


그림 4. 구동 드라이버

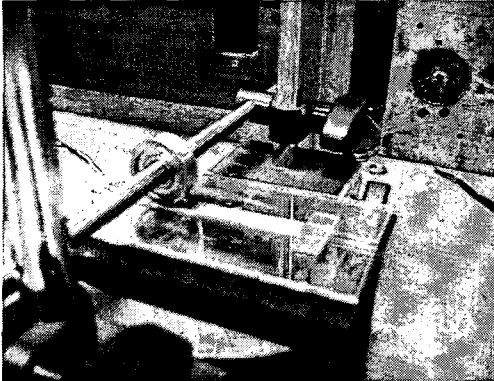


그림 5. 구동 스테이지

표 1 과 그림 6는 입력 전압을 150[Vrms]로 일정하게 하고 25[kHz]에서 50[kHz]까지 증가시키며 주파수에 따른 입력전류와 속도를 나타내고 있다. 주파수가 증가하면 속도는 선형적으로 증가하고 공진주파수 32.5[kHz] 부근에서 최대를 나타내었다. 그리고 주파수를 더욱더 증가시키면 속도는 감소하며 37.5[kHz]부근에서 갑자기 역방향으로 회전하였으며, 47.5[kHz] 부근에서 역방

향으로 최고의 속도를 나타내었다. 전류의 경우에는 주파수를 증가시키면 선형적으로 증가하고 공진주파수 부근에서 최고로 흐르며, 역방향으로 회전하면 감소하였다가 주파수를 점점 더 증가시키면 정방향 회전시보다 더 크게 증가함을 알 수 있었다.

표 1. 주파수 변화에 따른 전류 및 속도 특성

측정 \ 주파수	25	27.5	30	32.5	35	37.5
I[mA]	12.9	14.0	18.4	36.8	20.9	19.6
속도[rev/m]	9.1	9.5	31.3	50	25	27
측정 \ 주파수	40	42.5	45	47.5	50	
I[mA]	18.2	18.7	30.4	36.6	39.4	
속도[rev/m]	21.7	30.3	31.4	34.1	30.5	

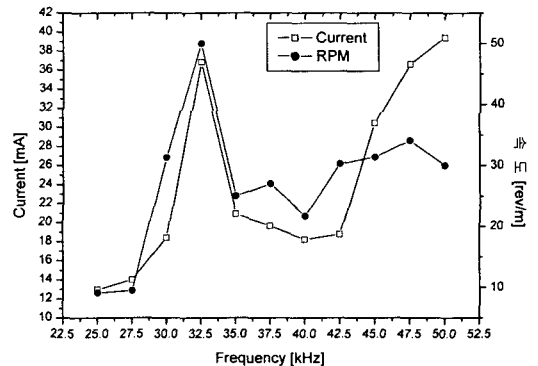


그림 6. 주파수 변화에 따른 전류 및 속도 특성

4.2 전압 변화에 따른 속도 특성

표 2와 그림 7은 주파수 32.5[kHz] 일 때 전압 (100~200[Vrms])에 따른 속도를 나타내었다. 인가 전압이 증가하면 속도는 증가하며 전압이 커질수록 선형적으로 증가함을 알 수 있었다.

그림 6과 그림7에서 주파수와 전압을 변화를 통해 속도제어를 할 수 있고 회전방향도 바꿀 수 있었다.

표 2. 전압 변화에 따른 속도변화

(주파수 $f = 32.5\text{kHz}$)

전압 Vrms]	100	110	120	130	140	150
속도[rev/m]	21.3	24.4	25.4	38.4	43.4	50
전압 Vrms]	160	170	80	190	200	
속도[rev/m]	51.6	54.9	58.9	61.0	63.5	

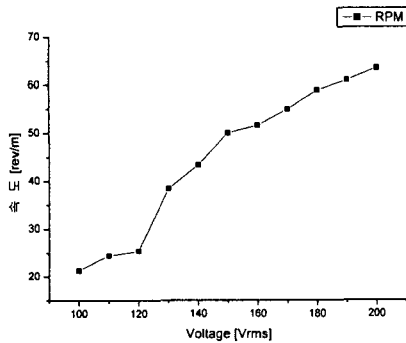


그림 7. 전압변화에 따른 속도 특성

4. 결론

공진주파수 32.5[kHz] 부근에서 가장 큰 회전 속도 특성을 나타내며, 전류 또한 가장 많이 흐름을 알 수 있었다. 또한 주파수의 변화에 따라 속도 및 방향을 조절 할 수 있으며, 주파수가 50[kHz] 이상 증가시 구동회로의 출력전압이 변동이 심하게 변화하였다. 또한 입력 전압이 증가함에 따라 속도가 선형적으로 증가하였다. 주파수와 전압 제어를 통해 L1-B8 초음파 모터의 효율적인 제어가 가능할 것으로 보인다.

참고 문헌

- [1] Toshiiku Sashida, Tokashi Kenjo, "An Introduction to Ultrasonic Motors", OXPORD, 1993.
- [2] Yoshiro Tomikawa, Takashi Nishitsuka, Toshiharu Ogas-awara and Takehiro Takano, "A Paper or Card Forwarding Device using a Flat-Type Ultrasonic Motor, S&A vol. 1,2 p. 359-379, 1989.
- [3] Singiresu S. Rao, 'Mechanical Vibratoins', Addison Wesley Publishing Company, 1990.

- [4] S. Ueha, Y. Tomikawa, M. Kurosawa and N. Nakamura, "Ultrasonic Motors Theory and Application", OXPORD, 1993.
- [5] T. Kosawada, K. Suzuki, T. Tomikawa, "A Card Sending Linear Ultrasonic Motor using Multi-Beam Piezoelectric Vibrator", International Journal of Applied Electromagnetics in Materials Vol. 2, p. 285-290, 1992.
- [6] 심성훈, 백동수, 윤석진, 김현재, "초음파 모터 구동용 발진회로 설계 및 제작", 전기전자재료학회추계학술대회논문집, p129-131, 1999