

L₁-B₄모드와 L₁-B₈모드 초음파 선형 전동기의 특성 비교

우상호*, 김동연*, 김진수**

*한국교원대학교 박사과정, **한국교원대학교 기술교육과 부교수

Comparison of Characteristics between L₁-B₄ mode and L₁-B₈ mode Ultrasonic Motors

Sang-Ho U*, Dong-Yeon Kim*, Jin-Soo Kim**

* Doctoral Student of Korea National University of Education, ** Associate Professor of KNUE

Abstract - Purpose of this research compares best transfer speed about applied frequency and voltage using characteristic of L₁-B₄ mode and L₁-B₈ mode linear ultrasonic motor that use piezoelectric effect.

By method of study, analyzed best transfer speed measuring and comparison load status that use actuality telephone card in L₁-B₄ mode linear ultrasonic motor and no-load status of L₁-B₈ mode linear ultrasonic motor.

Experiment result is applied frequency(58.4Hz) in L₁-B₄ mode linear ultrasonic motor (load state) and the best transfer speed by 19.8(cm/s) at applied voltage(56V) point. Also, L₁-B₈ mode linear ultrasonic motor (no-load state) is best transfer speed by applied frequency(27.9kHz) and 32.96(cm/s) at applied voltage(50V) point.

1. 서 론

세라믹 압전 효과를 이용한 압전 액츄에이터 연구 및 개발은 기존 전자식 전동기를 대신하는 초음파 전동기의 형태로 현재 각광을 받고 있다. 이러한 초음파 전동기의 주요 특성은, 소형 경량이며, 저속에서의 높은 토크 발생 및 구조가 매우 단순하여 생산성과 밀접한 관련을 가지고 있다. 또한, 전자 유도 장애가 전혀 없으며 높은 응답 특성으로 광범위한 속도 범위 등을 제어할 수 있는 다양한 특징을 지닌 응용 분야이다[1, 7, 8].

이러한 초음파 전동기의 기본 동작은 변위 타원 운동을 형성하는 2개의 변위를 구성하는 방법에 따라 초음파를 분류할 수 있다.

L₁-B₄모드의 구동 원리는 하나의 종(longitudinal) 모드와 4개의 굴곡(bending)모드로 인하여, 구동되는 선형 초음파 전동기로서 기능에 의한 분류에서는 선형에 속하고, 구조는 자주식, 전동 모드는 종-굴곡 모드이다 [3-5]. L₁-B₈모드의 구동 원리는 기존 초음파 전동기와는 달리 여러 진동 모드를 이용한다. 즉, 종 진동 모드와 굴곡 진동 모드를 이용하여 탄성체의 표면에 타원 운동을 발생하는 평행형 초음파 전동기이다[2, 6, 9, 10].

따라서, 이 연구에서는 초음파 전동기의 기본적인 특성을 지닌 L₁-B₄ 모드와 L₁-B₈ 모드 초음파 선형 전동기의 특성을 측정 및 비교 분석하였다.

2. L₁-B₄ 모드와 L₁-B₈ 모드 초음파 전동기의 고정자 구조 비교

이 연구에서 제작한 L₁-B₄ 모드와 L₁-B₈ 모드의 초음파 선형 전동기의 고정자 구조 비교를 그림 1과 같이 나타낸다.

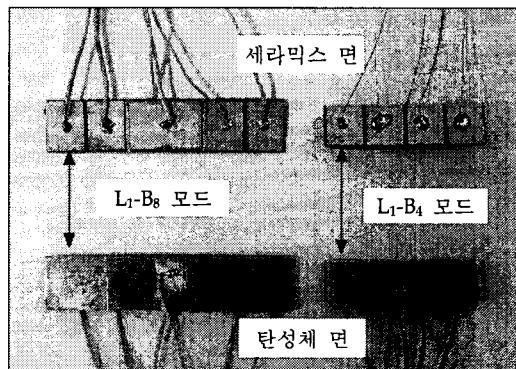


그림 1. L₁-B₄ 모드와 L₁-B₈ 모드 초음파 전동기의 고정자 구조 비교

Fig. 1. Stator structure comparison of L₁-B₄ mode and L₁-B₈ mode ultrasonic motor

3. 선형 초음파 전동기의 설계 및 제작

이 연구에서의 L₁-B₄ 모드와 L₁-B₈ 모드에 사용된 재료는 압전성이 우수하고 큐리 온도가 높은 PZT 압전 세라믹스를 사용하였다. 또한, 초음파 전동기용 압전 세라믹스에 요구되는 주요 특성인 높은 전기기계적 결합 계수와 기계적 품질 계수 및 낮은 유전 손실 등을 충분히 고려하였다.

이 연구에서 사용된 압전 세라믹스는 Lattron Co., Ltd.에 주문 제작한 L₁-B₄ 모드 및 L₁-B₈ 모드 압전 세라믹스의 재료 특성표를 표 1과 표 2에 나타낸다.

표 1. L₁-B₄ 모드 압전 세라믹스의 재료 특성

Table 1. Material characteristic of L₁-B₄ mode piezoelectric ceramics

재료 특성	상수
유전 상수(E_{33}/E_0)	1500
유전 손실($\tan \delta : \%$)	0.3
전기 기계 결합 계수(k_{31})	0.34
전기 기계 결합 계수(k_{33})	0.72
압전 계수($d_{31} : \text{pC/N}$)	-150
압전 계수($d_{33} : \text{pC/N}$)	340
기계적 품질 계수(Q_m)	1700
큐리 온도(°C)	300

압전 세라믹스의 특성을 이용하여 초음파 전동기에 사용 및 제작된 L₁-B₄ 모드와 L₁-B₈ 모드용 압전 세라믹스의 세그먼트를 그림 2 및 그림 3a), b)와 같이 나타낸다(그림의 +, - 및 ↑, ↓ 부호는 분극 방향임).

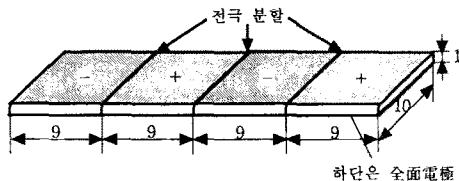


그림 2. L₁-B₄ 진동 모드의 압전 세라믹스 세그먼트
Fig. 2. Piezoelectric ceramics segment of L₁-B₄ vibration mode

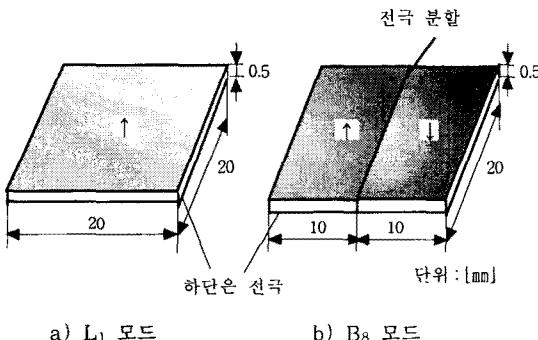


그림 3. L₁-B₈ 진동 모드의 압전 세라믹스 세그먼트
Fig. 3. Piezoelectric ceramics segment of L₁-B₈ vibration mode

4. 실험 결과 및 고찰

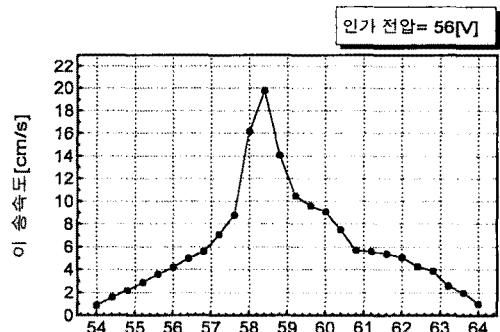
이 연구에서 제작한 L₁-B₄ 모드와 L₁-B₈ 모드에 대한 각 특성 곡선을 측정 및 비교 분석하였으며, 이에 따른 초음파 전동기의 최적 특성 곡선을 그림 4a), b)와 같이 나타낸다. 먼저, L₁-B₄ 모드의 주파수에 따른 실제의 카드 이송 속도에 대한 특성 곡선을 그림 4a)와 같이 나타낸다.

최적의 실험 조건을 고려하여 구동 주파수를 56[V]로 고정시켜 실제 상황에서의 카드 이송 속도를 측정 및 분석한 결과는, 그림 4a)의 특성 곡선과 같다. 즉, 인가 주파수의 증가에 따라 실제 카드 이송 속도는 거의 선형적으로 증가하는 특성을 보이며, 58.4[kHz] 지점에서 19.8[cm/s]로 최적의 이송 속도를 나타낸다.

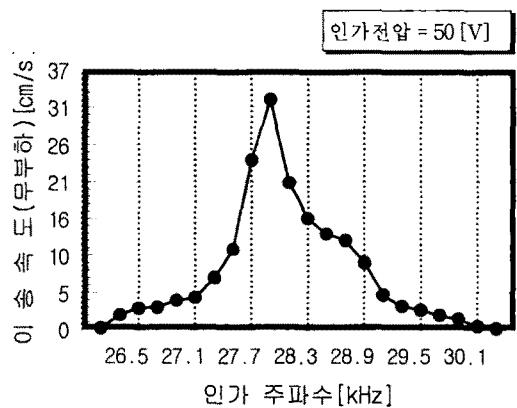
또한, L₁-B₈ 모드에서의 주파수에 따른 이송 속도에 대한 최적의 특성 곡선을 설계하기 위하여, 인가 전압 50[V]로 고정시키고, 각 인가 주파수에 따른 무부하 상태에서의 이송 속도에 대한 특성 곡선은 그림 4b)와 같이 나타낸다.

즉, 인가 주파수를 증가함에 따라 이송 속도는 거의 선형적인 특성을 보이며, 인가 주파수 27.9[kHz] 지점에서 32.96[cm/s]로 최적의 이송 속도를 나타낸다.

따라서, 인가 주파수에 따른 부하 상태 및 무부하 상태에서의 초음파 전동기의 최적 이송 속도를 정량적으로 해석 및 설계 할 수 있다.



a) L₁-B₄ 모드



b) L₁-B₈ 모드

그림 4. L₁-B₄ 모드 및 L₁-B₈ 모드에 대한 인가 주파수에 따른 이송 속도

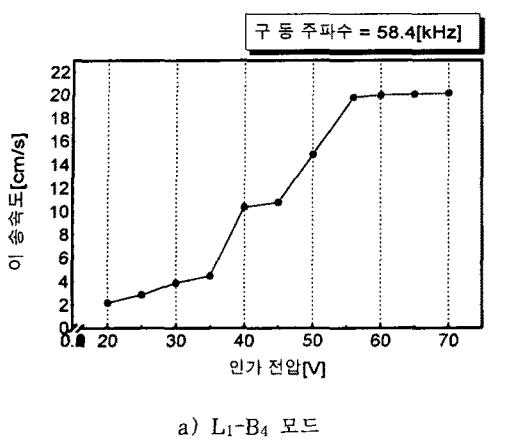
Fig. 4. Speed by applied frequency about L₁-B₄ mode and L₁-B₈ mode

인가 전압에 따른 L₁-B₄ 모드 초음파 전동기의 카드 이송 속도와 L₁-B₈ 모드의 초음파 전동기에 대한 무부하 상태에서의 이송 속도를 그림 5a), b)와 같이 최적의 특성 곡선을 나타낸다.

인가 전압에 따른 L₁-B₁ 모드에서의 실제 카드 이송 속도 특성 곡선은 그림 5a)에서와 같다. 즉, 인가 주파수를 58.4[kHz]로 고정시킨 후, 인가 전압을 점차 증가함에 따라 카드 이송 속도가 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 특히, 인가 전압이 56[V] 지점에서 가장 최적의 이송 속도인 19.8[cm/s]으로 나타낼 수 있다.

L₁-B₈ 모드에 대한 무부하 상태에서의 이송 속도 특성 곡선은 그림 5b)와 같이 나타난다. 즉, 인가 주파수를 27.9[kHz]로 고정시킨 후 인가 전압을 점차 증가함에 따라 L₁-B₄ 모드와 같이 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 특히, L₁-B₈ 모드는 L₁-B₄ 모드에 비해 거의 50[V] 지점에서 최적의 이송 속도인 32.96[cm/s]로 나타낼 수 있다.

따라서, 인가 전압에 따른 부하 상태 및 무부하 상태에서의 초음파 전동기의 최적 이송 속도를 정량적으로 해석 및 설계 할 수 있다.



a) L_1 - B_4 모드

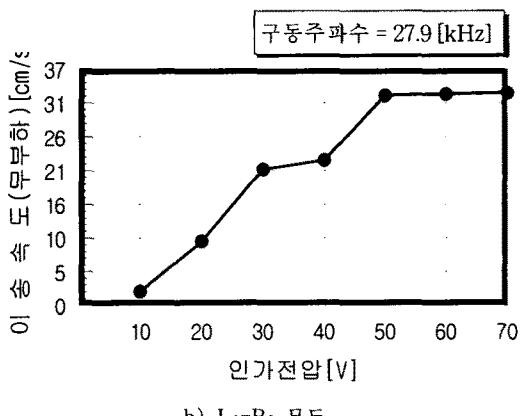


그림 5. L_1 - B_4 모드 및 L_1 - B_8 모드에 대한 인가 전압에 따른 이송 속도

Fig. 5. Speed by applied voltage about L_1 - B_4 mode and L_1 - B_8 mode

5. 결론

이 연구는 L_1 - B_4 모드와 L_1 - B_8 모드 초음파 선형 전동기의 특성을 분석 및 최적의 설계를 위하여, 각 모드의 인가 주파수 및 전압에 따른 다음과 같은 주요 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) L_1 - B_4 모드 초음파 전동기에서의 인가 주파수 및 전압 증가에 따른 이송 속도를 살펴보면, L_1 - B_4 모드는 인가 주파수 58.4[kHz] 지점에서 19.8[cm/s] 및 인가 전압 56[V] 지점에서 19.8[cm/s]로 최적의 이송 속도를 나타낸다.
- (2) L_1 - B_8 모드 초음파 전동기에서의 인가 주파수 및 전압 증가에 따른 이송 속도를 살펴보면, L_1 - B_8 모드는 인가 주파수 27.9[kHz] 지점에서 32.96[cm/s] 및 인가 전압 50[V] 지점에서 32.96[cm/s]로 최적의 이송 속도를 나타낸다.
- (3) L_1 - B_4 모드와 L_1 - B_8 모드 초음파 전동기에서는 인가 주파수 및 전압 증가에 따른 이송 속도는 선형적인 특성 분포 곡선을 나타내었다.

따라서, 이 연구에서는 L_1 - B_4 모드와 L_1 - B_8 모드 초음파 전동기 특성 곡선에서 L_1 - B_8 모드의 초음파 전동기가 효율적임을 이 연구에서 알 수 있었다. 또한, 각 모드의 인가 주파수 및 전압을 제어함으로써, 이송 속도

등을 제어 할 수 있으며, 실제 현장에의 응용 및 실용성이 요구된다.

(참고문헌)

- [1] 김진수, 이명훈 공연, "초음파 전동기의 이론과 응용", 성안당, pp. 3-5, 2000.
- [2] 김영균, 김진수, "풍차형 초음파 전동기의 회전자에 인가된 힘이 회전 특성에 미치는 영향", 한국전기전자재료학회 논문지, Vol. 13, No. 5, pp. 390-395, 2000.
- [3] 육재호, 이덕출, 富川義朗, " L_1 - B_2 다중 모드 압전 진동자를 이용한 초음파 모우터의 특성과 카드 이송 장치에의 응용에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, Vol. 42, No. 4, pp. 39-46, 1993.
- [4] 이명훈, 김진수, " L_1 - B_4 모드 선형 초음파 전동기 제작과 운전특성", 대한전기학회 논문지, Vol. 50C, No. 6, JUN, 2001.
- [5] 이종섭, 정수현, 임기조, 임태빈, 강성택, 채홍인, " L_1 - B_4 진동모드를 이용한 평판형 선형 초음파 모터의 설계 및 시제작", 전기전자재료학회 논문지, Vol. 13, No. 12, pp. 1025-1031, 2000.
- [6] 지승한, 이덕출, 김진수, "압전 세라믹스를 이용한 풍차형 초음파 전동기의 제작과 특성", 한국전기전자재료학회 논문지, Vol. 10, No. 9, pp. 889-894, 1997.
- [7] Jin-Soo Kim, Man-Ju Park and KENJI UCHINO, "Composite Ultrasonic Motors using a Piezoelectric Disc and an Elastic Body of "Windmill" Type", Ferroelectrics, Vol. 232, pp. 185-190, 1999.
- [8] K. Uchino, "Piezoelectric Actuators And Ultrasonic Motors", Kluwer Academic Publishers, Boston, p. 267, 1997.
- [9] T. Kosawada, K. Suzuki, T. Tomikawa, "A Card sending Linear Ultrasonic Motor using Multi-Beam Piezoelectric Vibrators", International Journal of Applied Electromagnetics in Materials 2, pp. 285-290, 1992.
- [10] Y. Tomikawa, T. Nishitsuka, T. Ogasawara, and T. Takano, "A Paper or Card Forwarding Device Using a Flat-Type Ultrasonic Motor", Sensors and Materials, 1-6, pp. 359-379, 1989.