

## 평판형 L<sub>1</sub>-B<sub>8</sub> 모드 초음파 전동기의 설계 및 제작

### Design and Fabrication of Flat-type L<sub>1</sub>-B<sub>8</sub> Mode Ultrasonic Motors

우상호\*, 김우태\*, 신순인\*, 김동연\*\*, 김진수\*\*\*

(Sang-Ho U\*, Woo-Tae Kim\*, Soon-In Shin\*, Dong-Yeon Kim\*\*, Jin-Soo Kim\*\*\*)

#### Abstract

Recently, developments of device using characteristics of ceramics as a new technical material is in progress. While doing so, Ultrasonic motor which is a part of research & development of piezo-actuator by piezo-effects is being used in the various applications. So, we fabricated a flat-type L<sub>1</sub>-B<sub>8</sub> mode Ultrasonic motor and measured the operation characteristics of its. The size of USM is 80\*20\*1.5[mm<sup>3</sup>](length\*width\*thickness) and is constructed with stator by piezo-ceramics and stainless elastic body and rotator by bearings. As results of experiments, the fastest speed of revolution( $v$ ), the maximum torque( $T$ ) and the efficiency( $\eta$ ) were 37.5[cm/sec], 5.0[mN·m] and 1.17[%] respectively when 27.9[kHz], 150[gf], 50[V] were applied. So, we think this flat-type L<sub>1</sub>-B<sub>8</sub> mode Ultrasonic motor is able to be used for applications in forwarding device of a paper or electric card and so on.

**Key Words** : Flat-type L<sub>1</sub>-B<sub>8</sub> mode Ultrasonic Motors, Piezoelectric ceramics, forwarding device.

#### 1. 서 론

21 세기에 유망한 첨단 신소재로 세라믹이 주목받으면서 세라믹의 다양한 특성을 이용한 소자의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 이러한 가운데 압전 효과를 이용한 압전 액추에이터의 연구 및 개발의 한 분야인 초음파 전동기(USM:Ultrasonic Motor)가 다양한 응용으로 성장을 거듭하고 있다.

초음파 전동기는 압전 세라믹의 미세 진동을 이용하여 회전자의 기계적인 출력을 얻는 것으로, H. V. Barth가 최초로 초음파 전동기에 대한 제안을 한 후, 오늘날 가정용에서 우주 개발에 이르기까지 다양한 응용 연구가 활발히 진행중이다<sup>[1]</sup>.

초음파 전동기의 부상(浮上)은 간단한 구조, 저속

에서의 고 토크, 기동과 정지 시에 우수한 응답 특성 및 자계의 영향을 거의 받지 않는 특성이 전자식 전동기를 대신하여 다양한 용도로 사용될 수 있기 때문이다<sup>[2][3]</sup>.

초음파 전동기의 연구와 개발이 회전형에 대해서는 많이 이루어져 왔으나 선형 운동이 가능한 평판형 초음파 전동기의 경우는 아직 다양한 모드에 대한 연구와 이의 개발은 진행 중에 있다.

이 연구의 평판형 L<sub>1</sub>-B<sub>8</sub>모드 초음파 전동기는 종이나 전자 카드 등의 이송체를 선형 운동이 가능케 하는 이송 장치용 전동기로 사용함으로써 디바이스의 소형 경량화 추세에 부응할 수 있다<sup>[4]</sup>.

#### 2. 평판형 L<sub>1</sub>-B<sub>8</sub> 모드 초음파 전동기의 제작

##### 2.1 L<sub>1</sub>-B<sub>8</sub> 모드 초음파 전동기의 구조

그림 1은 제작한 평판형 L<sub>1</sub>-B<sub>8</sub>모드의 초음파 전동기의 구조이다. 고정자는 압전세라믹스와 스테인리스 탄성체로 이루어져 있고, 회전자로 베어링을 설치하였다. 이때 구동 전원을 인가하는 방법은 그림 1과 같고, 그림에서 화살표의 방향은 세라믹의

\* : 한국교원대학교 기술교육과 석사과정  
\*\* : 한국교원대학교 기술교육과 박사과정  
\*\*\* : 한국교원대학교 기술교육과 교수  
(충북 청원군 강내면 다락리,  
Fax : 043-230-3787  
E-mail : jskim@cc.knue.ac.kr)

분극방향을 나타낸 것이다.

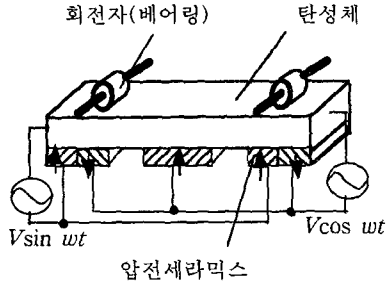


그림 1.  $L_1$ - $B_8$  모드 초음파 전동기의 구조

### 2.2 $L_1$ - $B_8$ 모드 초음파 전동기의 원리

평판형  $L_1$ - $B_8$ 모드의 초음파 전동기는 평판형의 금속 탄성체에 압전세라믹을 접착하여 고주파의 2상 ( $\sin \omega t$ ,  $\cos \omega t$ )의 교류 전원을 인가하면 압전특성에 의해 그림 2(a)와 같이 종진동으로 1차 모드( $L_1$ ) 및 굴곡진동으로 8차 모드( $B_8$ )이 여진된다<sup>[5]</sup>. 이것에 의해 발생된 정재파를 합성한 타원형 진동이 초당수 만회의 속도로 타원형 진동을 발생하여 그림 2(b)와 같이 회전자를 마찰시켜 회전하게 된다<sup>[6]</sup>.

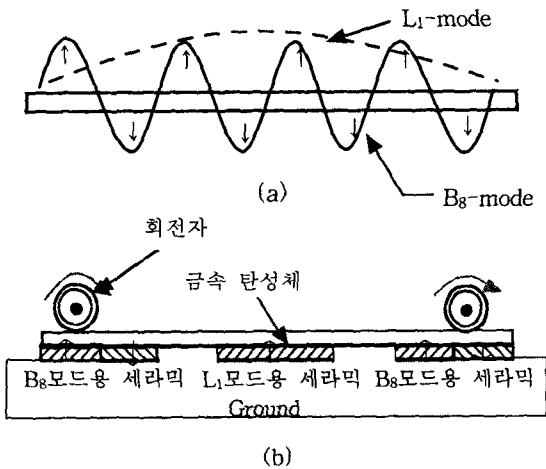


그림 2.  $L_1$ - $B_8$  모드 USM의 동작원리

### 2.3 $L_1$ - $B_8$ 모드 초음파 전동기의 제작

그림 3은 초음파 전동기의 제작 순서를 나타낸 것이다. 압전세라믹스와 금속탄성체의 접착은 에폭시로 접착두께를 최소화하여 고르게 하였고, 이것을 75℃에서 1시간정도 전기오븐에서 경화시켰다.

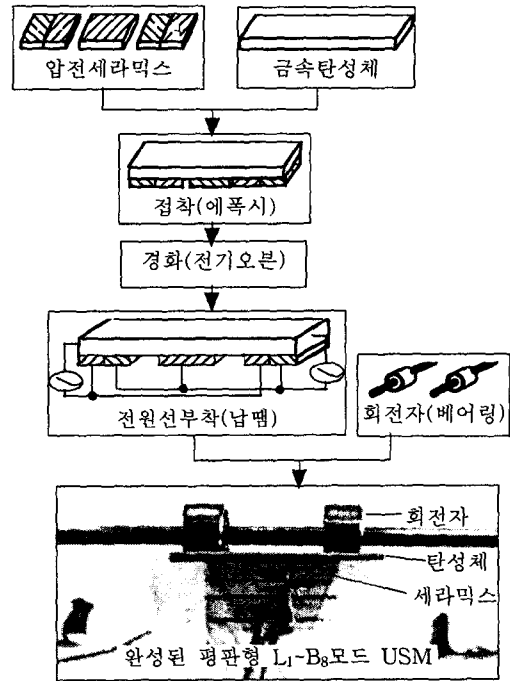


그림 3. 평판형  $L_1$ - $B_8$ 모드 USM의 제작 순서

설계 시 탄성체의 길이( $l$ )는 평판형  $L_1$ - $B_8$  모드 초음파 전동기가 공진 현상을 이용하므로 1차 종진동과 8차 굴곡진동의 공진주파수를 일치시켜 Euler-Bernoulli의 기본이론으로 구하되<sup>[7]</sup>, 고정자의 여진용 압전세라믹의 접착방법에 따라 발생하는 주파수의 변동 영향을 고려하여  $\Delta l$ 을 보정할 필요가 있다<sup>[8]</sup>.

이에 본 연구에서는 스테인리스 재질의 탄성체 크기를  $80 \times 20 \times 1$ [mm]로 하였고, 압전세라믹은  $L_1$  및  $B_8$  모드용의 크기를 각각  $20 \times 20 \times 0.5$ [mm] 및  $10 \times 20 \times 0.5$ [mm](가로×세로×두께)로 설계하여 유한요소 시뮬레이션으로 진동 특성을 살펴보고 제작하였다.

### 3. 초음파 전동기의 구동 및 측정 방법

평판형  $L_1$ - $B_8$ 모드의 초음파 전동기의 구동 및 측정을 위한 장비는 주파수 발생기(90° 위상차를 갖는 2상의 신호를 발생)와 전력 증폭기(신호 증폭)를 사용하고 이때 흐르는 전류는 아날로그 전류계(ADC A2013, 한국)로, 인가한 주파수의 위상차를 오실로스코프(HC 5802, 한국)로 각각 측정한다. 그림 4는 초음파 전동기의 구동 및 측정 시스템의 개략도를 나타낸 것이다.

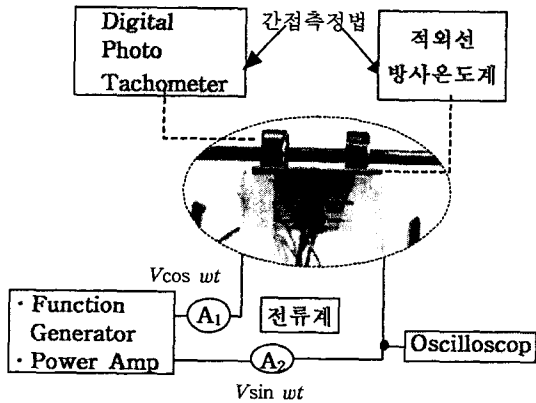


그림 4. 특성 측정 시스템의 개략도

회전자의 회전속도를 Digital Photo Tachometer로 측정하고, 이를 다음 식에 의해 무부하시의 회전속도( $v$ )로 계산하였다.

$$v = 2\pi \times r \times n \text{ [m/sec]} \quad (1)$$

여기서,  $n$ [rps]는 회전자의 회전수,  $r$ [m]은 회전자의 반경이다.

가압력은 회전자의 축에 추(분동)를 달아 회전자가 진동자 위를 가압하도록 하였고, 탄성체 표면에 발생하는 열의 온도 측정은 비접촉식 디지털 적외선 방사온도계(SK - 870, 일본)를 이용하였다.

토크 측정은 회전자에 추를 연결하여 측정하는 방법으로 토크( $T$ ) 값은 다음 식에 의해 구하였다.

$$T = 9.8 m \cdot r \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (2)$$

여기서,  $m$ 과  $r$ 은 식 (1)과 같다.

효율( $\eta$ )의 계산은 다음 식을 통해 구하였다.

$$\eta = \frac{\text{기계적 출력}}{\text{전기적 입력}} = \frac{2\pi n \cdot T}{V_{in} \cdot I_{in}} \times 100[\%] \quad (3)$$

#### 4. 실험 결과 및 고찰

측정 및 분석 실험에서 인가 주파수 27.9[kHz]와 회전자의 위치는 유한요소 시뮬레이션을 통해 진동 해석한 것을 이용하여 최적의 주파수를 찾은 것이다.

그림 5는 인가 전압 50[v], 가압력 150[gf]에서 주파수에 따른 선형 초음파 진동기의 회전자의 회전속도를 측정하고, 이를 식 (1)에 의해 무부하시의 이송

체의 이송속도로 환산한 것이다. 회전속도는 인가 주파수의 증감에 따라 거의 비례하여 증감을 나타내었고, 주파수가 27.4[kHz]에서 최고 회전속도 625[rpm]로 무부하시의 최고 이송속도는 32.7[cm/sec] 이었다.

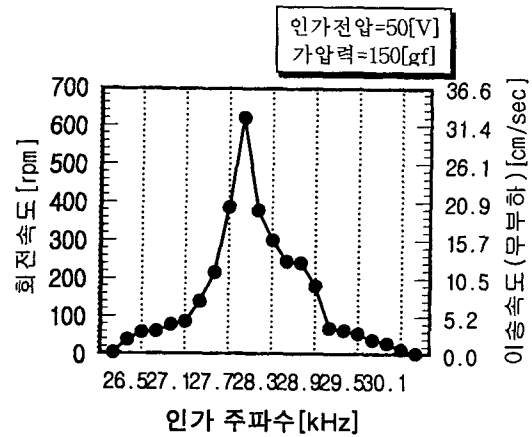


그림 5. 인가 주파수에 따른 회전속도 및 이송속도

가압력(preload)은 고정진동자의 절점(node)을 늘려주는 부하로서 마찰력으로 구동하는 초음파 진동기에 있어 중요한 역할을 한다. 가압력에 따른 회전자의 회전속도와 최대 토크와의 관계를 그림 6에 나타내었다. 원활한 구동을 위해 50[gf]이상의 가압력이 필요하였고 150[gf]일 때 최고 회전속도를 나타내다가 그 이상의 가압력에서는 회전속도가 선형적으로 떨어짐을 알 수 있었다.

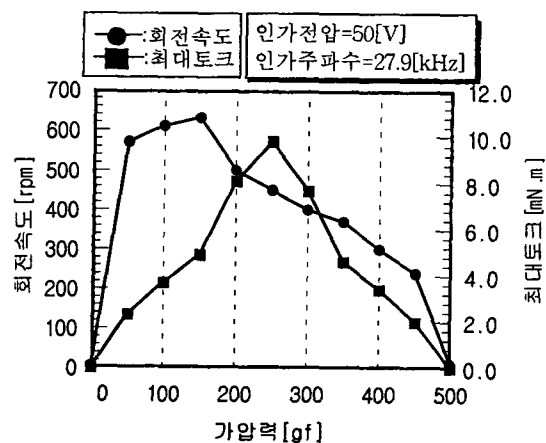


그림 6. 가압력에 따른 회전속도 및 최대 토크

인가 전압에 따른 회전자의 회전속도와 최대 토크와의 관계를 측정하여 그림 7에 나타내었다. 회전속도와 최대 토크는 인가 전압의 증가에 따라 각각 625[rpm]과 5.0[mN·m]에 이르기까지 비례하여 증가하는 현상을 보여주었다. 본 연구의 L<sub>1</sub>-B<sub>8</sub>모드 초음파 전동기에 있어, 속도제어가 가능한 유효한 구동 전압의 범위는 10~50[V]임을 알 수 있었다.

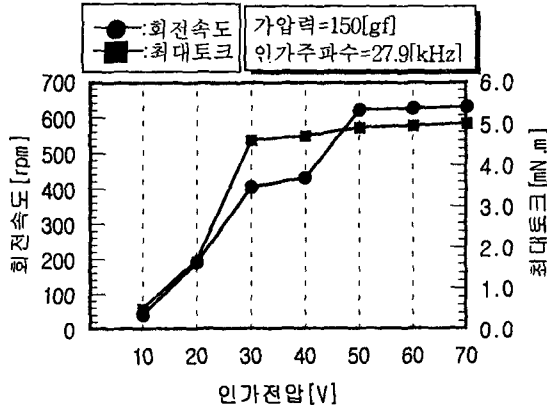


그림 7. 인가 전압에 따른 회전속도와 최대 토크

그림 8은 토크에 따른 L<sub>1</sub>-B<sub>8</sub>모드 초음파 전동기의 무부하시의 이송속도 및 전류를 측정하고 이를 효율로 계산한 것이다. 최고 이송속도가 32.7[cm/sec]에 이르고, 최고 토크로 5.0[mN·m]까지 발생시킬 수 있었다. 효율은 1.0[mN·m]에서 가장 좋은 1.17[%]로 선행연구의 L<sub>1</sub>-B<sub>4</sub>모드가 2.14[%]인 것에 비하면 작은 값이지만 일본의 L<sub>1</sub>-B<sub>8</sub>모드 USM이 4.3[W](70V)의 경우는 약 0.5[%]의 용지 이송효율을 나타내었다<sup>[6]</sup>.

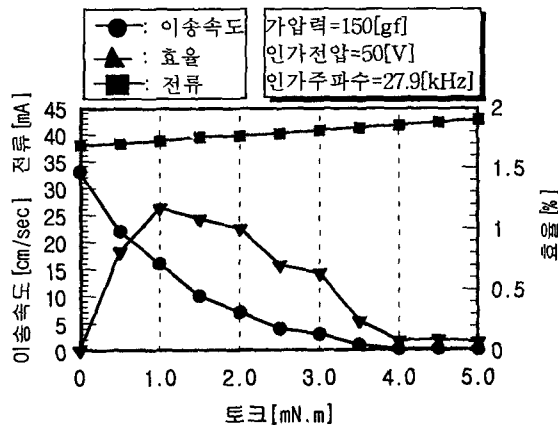


그림 8. 토크에 따른 이송속도, 전류 및 효율

## 5. 결 론

이 연구의 평판형 L<sub>1</sub>-B<sub>8</sub>모드 초음파 전동기는 인가 주파수, 전압, 가압력에 따른 전체적인 특성이 선행 연구의 L<sub>1</sub>-B<sub>4</sub>모드 초음파전동기와 비슷한 경향을 나타내어, 전형적인 저속 고 토크 및 수하(垂下)현상 그리고, 정·역회전, 빠른 응답성을 보여주었다. 특히, 회전속도 및 토크가 우수하여 종이나 전자 카드 등의 다양한 이송체를 이송하기에 충분하였고, 변위 확대기구의 설치<sup>[6]</sup> 및 적당한 가압력과 전압의 인가로 효율의 개선도 기대할 수 있으리라 여겨진다.

## 참고 문헌

- [1] 김진수, 이명훈 공역, "초음파 전동기의 이론과 응용", 성안당, pp. 3-5, 2000.
- [2] K. Uchino, "Piezoelectric Actuators And Ultrasonic Motors", Kluwer Academic Publishers, Boston, p. 267, 1997.
- [3] 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.
- [4] H. A. KUNKEL, "Finite-Element Analysis of Vibrational Modes in Piezoelectric Ceramic Disks" IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS. FERROELECTRICS. AND FREQUENCY CONTROL. VOL. 37. NO. 4, p. 317, 1990.
- [5] 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.
- [6] 이명훈, 김진수, "L<sub>1</sub>-B<sub>4</sub> 모드 선형 초음파 전동기 제작과 운전특성", 대한전기학회 논문지, Vol. 50C, No. 6, JUN. 2001.
- [7] 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.
- [8] 이명훈, 이상호, 김진수, "변위확대기구를 이용한 선형 초음파 전동기의 효율 개선", 한국전기전자재료학회 추계학술대회 논문집, 한국전기연구소, pp. 177~180, 2000.