

선형 운동하는 L₁-B₈ 모드 초음파 전동기의 효율과 토크 특성

The Characteristics of Efficiency and Torque in L₁-B₈ mode USM Having Linear Movement.

우상호*, 신순인**, 김진수***

(Sang-Ho U*, Soon-In Shin**, Jin-Soo Kim***)

Abstract

The USM uses friction between a mobile part(rotor) and a vibration part(stator), which is different from the principle of the conventional motor based on the interaction of electric and magnetic fields. In this thesis, a flat-type L₁-B₈ mode USM was designed and fabricated the characteristics of an ultrasonic vibration. The results of fabricated USM are as follows:

(1) In case of ultrasonic motor with elastic-body of stainless, when applied voltage, frequency, pressing force of rotor were 50 [V], 27.9 [kHz], 1.5 [N], 5.0[mN · m] respectively, the speed of revolution could be presented up to 0 [cm/s]. (2) In case of ultrasonic motor with elastic-body of brass, when applied voltage, frequency, pressing force of rotor were 50 [V], 21.4 [kHz], 1.5 [N], 1.4[mN · m] respectively, the speed of rotor revolution was presented up to 0 [cm/s]. (3) The USM of elastic-body of stainless showing 1.17 [%], somewhat low, in the maximum efficiency according to torque was superior to the USM of elastic-body of brass showing 0.34 [%]. The Flat-type L₁-B₈ mode USM had characteristics of typical drooping torque-speed, large torque and high speed, and operating in both directions by phase reversal.

Key Words : USM(Ultrasonic Motor), Linear Ultrasonic Motor, L₁-B₈ mode Ultrasonic Motor, Piezoelectric Ceramics

1. 서 론

오늘날 첨단 신소재인 세라믹의 다양한 특성을 이용하여 소자의 개발이 활발히 이루어지고 있는 가운데 압전 효과를 이용한 다양한 초음파 전동기(Ultrasonic Motor, USM)의 연구·개발이 성장을 거듭하고 있다. 초음파 전동기는 압전 세라믹에 고주파 전압을 걸어 판의 고유 진동수에 맞추면 공진하며, 강하게 진동하여 회전자의 기계적인 출력을 얻는 것으로 전통적인 전자식 전동기에 비해 중량

당 높은 토크, 기동 및 정지시의 좋은 제어 특성, 간단한 구조 및 형태의 다양한 변형 및 전자계 유도에 의한 영향을 피할 수 있는 이점 등의 특징이 있어 기존의 전자식 전동기를 대신하여 각종 기기(공중전화기, 현금 인출기, 지하철 개찰기 등)에 이용이 가능하다.^{[1][2][3]}

1973년 처음으로 초음파 전동기가 제안된 이후, T. Sashida에 의한 고효율 진행파형 초음파 전동기의 실험적인 제작을 거쳐, 최근 상업적 응용을 위한 개발에 이르기까지 많은 특성의 개선과 제어 설계가 이루어지고 있다.^[4]

이 연구는 여러 모드 중에서 1차 종(L₁)-8차 굴곡(B₈)모드를 이용한 선형 초음파 전동기(Linear Ultrasonic Motor)를 제작하여, 여러 가지 운전 특성에 대하여 토크 및 효율을 측정하여 분석하였다.

* 한국교원대학교 기술교육과 박사과정

** 한국교원대학교 기술교육과 석사과정

*** 한국교원대학교 기술교육과 부교수

(충북 청원군 강내면 다락리, 한국교원대학교 기술교육과

Fax : 043-230-3787

E-mail : <http://cc.knue.ac.kr/~jskim>)

2. 실험

2.1 동작원리

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

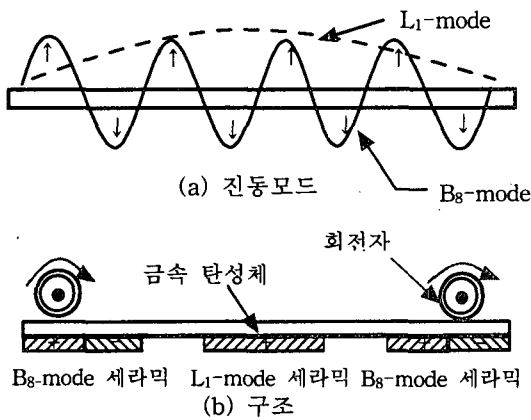


그림 1. 종(L_1)- 굴곡(B_8) 모드 USM 동작원리
Fig. 1. The operating system of L_1 - B_8 mode USM

2.2 초음파 진동기의 제작

압전 진동자의 제작 과정을 그림 2에 나타내었다.

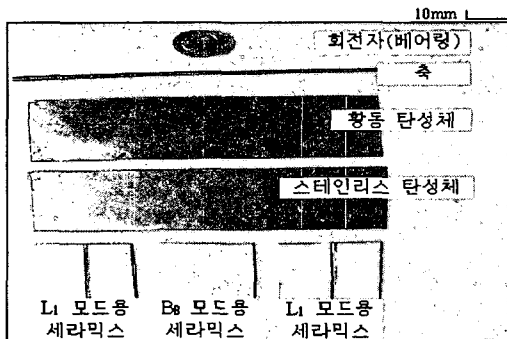


그림 2. 평판형 L_1 - B_8 모드의 USM 구성 요소
Fig. 1. The element of flat-type L_1 - B_8 mode USM

고정자로 압전 세라믹스와 탄성체를 사용하였고 이 연구에서 사용된 압전 세라믹스는 PZT계로 큐리온도가 높고, 압전성이 우수한 것을 분극 처리하여 사용하였다. 탄성체의 재료로는 황동과 스테인리스를 사용하여 그 효율을 비교하고자 하였다. 압전 세라믹스와 금속 탄성체의 접착은 에폭시로 접착한 후 이것을 75°C 에서 1시간 정도 전기오븐에서 경화시켰다. 경화 후 압전 세라믹스와 탄성체에 전원선과 접지선을 부착하여 납땜하였다. 회전자로 베어링을 설치하였다. 베어링의 재질은 스테인리스이며, 회전자 축은 지름 3[mm]인 스테인리스를 사용하였다. 그림 3은 선형 초음파 진동기의 전체적인 제작과정을 나타낸 것이다.

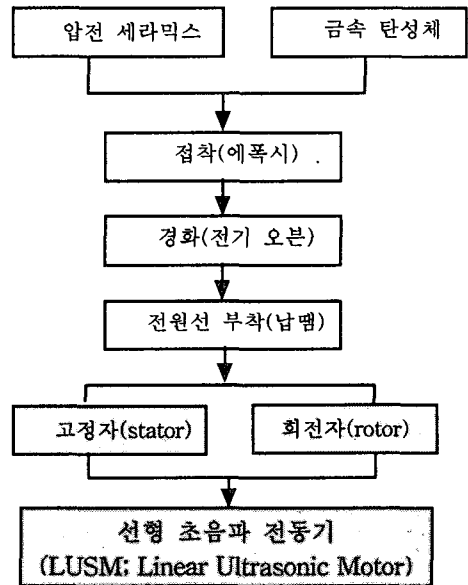


그림 3. 선형 초음파 진동기의 제작 순서도
Fig. 3. The making FC of LUSM

제작한 선형 초음파 진동기의 규격을 표 1에 나타내었다.

표 1. 제작한 L_1 - B_8 모드 초음파 진동기 규격
Table 1. The size of a fabricated USM

구분	단위	값
전체크기($1 \times w \times t$)	mm	$80 \times 20 \times 1.5$
압전 세라믹	L_1 모드용	g 2.13
	B_8 모드용	g 2.11
탄성체 무게	스테인리스	g 13.1
회전자의 무게	g	4.0

2.3 초음파 전동기의 구동 및 측정 방법

그림 4는 초음파 전동기의 구동 및 측정 시스템의 개략도를 나타낸 것이다. 회전자의 회전속도를 Digital Photo Tachometer로 측정하고, 이를 다음 식에 의해 무부하시의 회전속도(v)로 계산하였다.

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

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

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

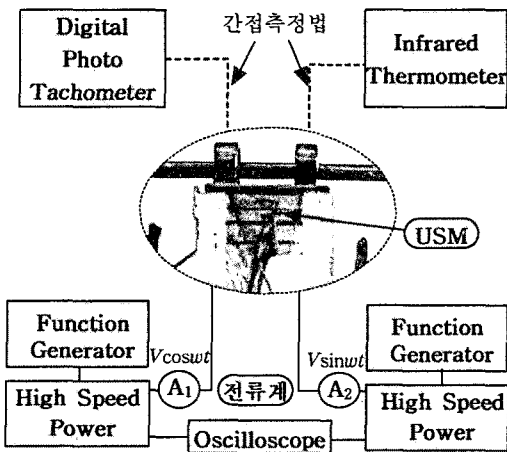


그림 4. 구동 및 특성 측정 시스템도
Fig. 4. The system figure of operating and measuring

3. 결과 및 고찰

그림 5는 스테인레스 탄성체에서 가압력 150[gf], 인가 전압 50[V], 인가 주파수 27.9[kHz]로 고정시켜 두고, 그림 7은 황동 탄성체에서 가압력 150[gf], 인가 전압 50[V], 인가 주파수 21.4[kHz]로 부하의 크기를 달리하여 회전자의 토크에 따른 이송속도의 변화를 측정하였다. 이송속도의 일반적인 현상은 토크가 가장 작을 때 가장 빠른 속도를 나타내었다. 그러나 탄성체가 스테인리스인 경우 토크가 5.0[mN·m]일 때 이송속도가 거의 0[m/sec]인 반면, 탄성체가 황동인 초음파 전동기는 1.4[mN·m]으로 훨씬 낮은 값을 나타내었다. 이것은 탄성체의 재질에 따라 효율이 다를 수 있다.

그림 6은 스테인레스 탄성체에서 가압력 150[gf],

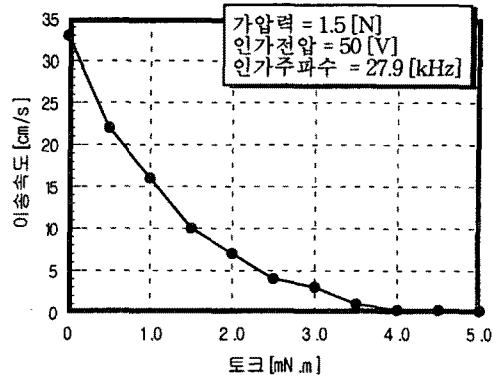


그림 5. 스테인레스 탄성체에서 토크에 따른 이송속도
Fig 5. Feeding speed of USM by torque

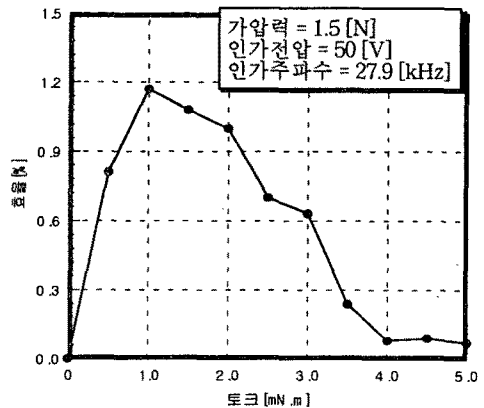


그림 6. 토크에 따른 효율
Fig. 6. Effect of torque on efficiency

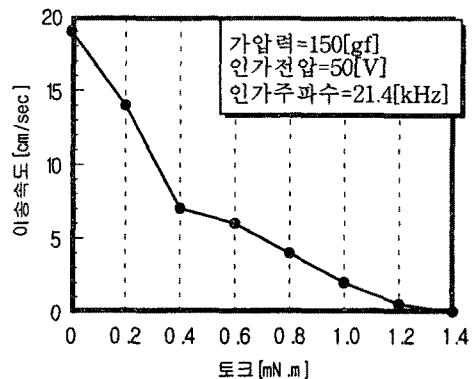


그림 7. 토크에 따른 이송속도
Fig. 7. Feeding speed of USM by torque

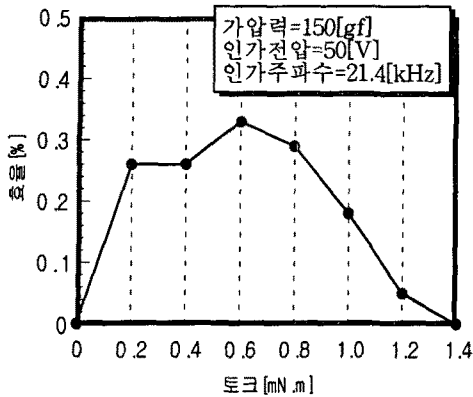


그림 8. 토크에 따른 효율
Fig. 8. Effect of torque on efficiency

인가 전압 50[V], 인가 주파수 27.9[kHz]로 고정시켜 두고, 그림 8은 황동 탄성체에서 가압력 150[gf], 인가 전압 50[V], 인가 주파수 21.4[kHz]로 부하의 크기를 달리하여 회전자의 토크에 따른 효율의 변화를 측정 한 것이다. 스테인레스인 경우 토크가 1.0[mN·m]일 때 효율이 거의 1.17[%]인 반면, 탄성체가 황동인 초음파 전동기는 0.6[mN·m]에서 0.34[%]로 훨씬 낮은 값을 나타내었다. 이것은 탄성체의 재질에 따라 효율이 다를 수 있다.

4. 결론

이 연구에서는 평판형 L_1-B_8 모드의 초음파 전동기를 제작하고 탄성체에 따른 특성을 측정 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 평판형 L_1-B_8 모드 초음파 전동기는, 인가 전압 50 [V], 인가 주파수 27.9 [kHz], 가압력이 1.5 [N]일 때 최고 회전속도 32.7 [cm/s]를 나타내었다.

(2) 부하에 따른 토크가 증가할수록 회전자의 회전속도는 감소하는 전형적인 초음파 전동기의 수하(垂下) 특성, 저속 고토크 현상을 나타내었다.

(3) 평판형 L_1-B_8 모드 초음파 전동기에 있어 탄성체에 따른 이송속도와 효율에 차이가 있어 탄성체 재질에 따른 특성의 차이가 크다는 것을 알 수 있었다.

이상의 결론으로 평판형 L_1-B_8 모드 초음파 전동기는 토크와 이송속도 특성이 우수하여 다양한 이송체의 이송에 응용될 수 있을 것으로 생각한다.

또 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] 이종섭, 임기조 외, “ L_1-B_4 진동모드를 이용한 평판형 선형 초음파 모터의 설계 및 시제작”, 전기전자재료학회 논문지, Vol. 11, No. 10, pp. 267, 1997.
- [3] 육재호, 이덕출, 富川義朗, “ L_1-B_2 다중모드 압전진동자를 이용한 초음파 모우터의 특성과 카드이송장치에의 응용에 관한 연구”, 대한전기학회, Vol. 42, No. 4, pp. 39-46, 1993.
- [4] 김영관, 김진수, “풍차형 초음파 전동기의 제작과 토크 및 정·역 회전특성”, 대한전기학회 논문지, Vol. 50C, No. 3, pp. 105-109, 2001.
- [5] K. Uchino, “Piezoelectric Actuators And Ultrasonic Motors”, Kluwer Academic Publishers, Boston, p. 267, 1997.
- [6] 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.
- [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] 우상호, 김진수 외, 유한요소해석 시뮬레이션을 이용한 평판형 “ L_1-B_8 모드 초음파 전동기의 최적 설계”, 한국전기전자재료학회 하계학술대회 논문집, pp. 664, 2001.
- [9] Y. Kagawa, T. Tsuchiya, T. Kataoka, “Finite Element Simulation of Dynamic Responses of Piezoelectric Actuators”, Journal of Sound and Vibration, 194(4), pp. 519-538, 1996.
- [10] Jin-Soo Kim, So-Jung Kim, Ho-Gi Kim, Duck-Chool Lee and Kenji Uchino, “Piezoelectric and Dielectric Properties of Fe_2O_3 -Doped $0.57Pb(SC_{1/2}Nb_{1/2})O_3-0.43PbTiO_3$ Ceramic Materials”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 38, NO. 3A, pp. 1433-1437, 1999.
- [11] 이명훈, 김진수, “ L_1-B_4 모드 선형 초음파 전동기 제작과 운전특성”, 대한전기학회 논문지, Vol. 50C, No. 6, pp. 257-262, 2001.