

변위확대기구를 이용한 선형 초음파 전동기의 효율 개선

Efficiency Improvement of Linear Ultrasonic Motor Using Arrangement for Magnification of Displacement

이명훈* · 우상호* · 김진수*
(Myung-Hun Lee · Sang-Ho U · Jin-Soo Kim)

Abstract

In this paper, we studied efficiency improvement of linear ultrasonic motor using projection. The principle of ultrasonic motor is to use an elliptic motion generated at the side of the vibrator, and the elliptic motion of the ultrasonic motor was obtained by complex oscillation of L_1 - B_4 mode.

As the experimental results, the efficiency of linear ultrasonic motor without projection was 1.52[%] when applied voltage was 56[V] in resonance frequency 58.4[kHz]. The efficiency of linear ultrasonic motor using projection was 3.36[%] when applied voltage was 56[V] in resonance frequency 58.4[kHz].

The efficiency was improved by projection.

Key Words(중요용어) : Linear ultrasonic motor, Projection, Elliptic motion,

1. 서 론

현재 국내외에서 활발하게 연구되고 있는 압전 액츄에이터를 이용한 초음파 전동기의 경우 각광을 받기 시작한지 십여년밖에 되지 않았으나 소형 경량이고, 저속에서도 높은 토크를 발생하고, 단위 중량당 발생하는 기계적 출력이 높으며, 구조가 단순하여 생산공정이 쉽고, 자계와 무관하기 때문에 전자 유도 장애가 없으며, 빠른 응답과 폭넓은 속도 범위를 갖는 등 많은 장점을 가지고 있다[1, 2, 3]. 또한 선형 초음파 전동기의 경우 부속장치 없이 선형 운동을 얻을 수 있다.

따라서, 선형 초음파 전동기의 경우 구동장치의 단순화로 소형·경량화가 가능하고, 고장 발생률이 적으며, 응답성이 빨라 전자식 전동기를 대신하여 각종 기기(공중 전화기, 은행의 카드 현금지급기 등)

에 적용할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 종변위로 1개의 마디와 굴곡변위로 4개의 마디를 가진 1차 종(L_1)-4차 굴곡(B_4)모드를 이용한 선형 초음파 전동기(Linear Ultrasonic Motor, LUM)를 제작하고 변위확대기구인 돌기가 없는 상태에서의 효율과 돌기가 있는 상태에서의 효율 특성을 측정·분석하였다.

2. L_1 - B_4 모드의 선형 초음파 전동기 구조

2.1 구조

L_1 - B_4 모드의 선형 초음파 전동기는 고정자와 회전자로 이루어져 있으며, 고정자는 압전 세라믹스와 탄성체로 이루어져 있다(그림 1).

2.2 탄성체 치수 결정

초음파 전동기는 공진 현상을 이용하므로, 종진동과 굴곡진동의 공진주파수를 일치시켜야 고효율의 초음파 전동기를 제작할 수 있다.

* 한국교원대학교 기술교육과
(충북 청원군 강내면 한국교원대학교,
Fax: 043-230-3787
E-mail : lee6877@hanmail.net)

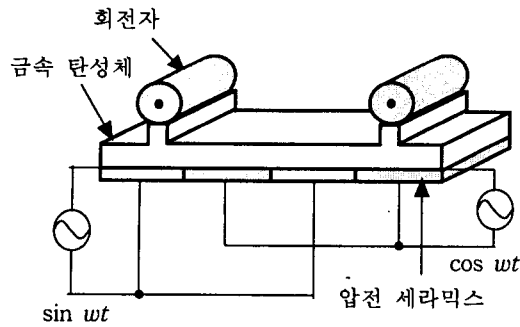


그림 1 L₁-B₄모드를 이용한 선형 초음파 전동기

종진동과 굴곡진동의 공진주파수는 식 (1)과 같다 [4].

$$f_{L1} = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \text{ [Hz]} \quad (1)$$

$$f_{B4} = \frac{\alpha^2 t}{4\pi\sqrt{3}l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \text{ [Hz]},$$

$$\alpha \approx \left(\frac{2n+1}{2}\right)\pi, \quad (n = 4)$$

여기서 E 는 영률, ρ 는 밀도, l 은 탄성체의 길이, t 는 탄성체의 두께이다.

따라서 공진조건($f_{L1}=f_{B4}$)으로부터 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$l = \alpha^2 t / 2\pi\sqrt{3} \text{ [mm]} \quad (2)$$

그러므로 탄성체의 두께(t)에 따라 탄성체의 길이(l)가 결정된다.

2.3 변위확대기구

탄성체의 횡방향으로의 변위가 확대되면 그만큼 특성이 향상된다. 그림 2는 탄성체에 변위확대기구(돌기)가 부착된 상태와 변위운동을 그린 것이다. 변위확대기구를 설치한 경우 종방향 변위(B/b)뿐만 아니라 횡방향 변위(A/a)도 확대된다. 물론 그림에서의 타원은 설명을 하기 위해 크게 그린 것으로 실제의 경우 매우 작은 변위 타원운동이 탄성체 표면에 발생한다 [5]. 또한 돌기는 최대출력을 얻기 위하여 최대 변위점에 설치되어야 한다.

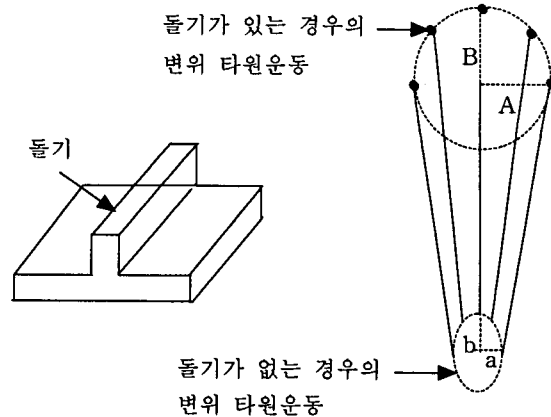


그림 2 변위확대기구

3. L₁-B₄모드의 선형 초음파 전동기 제작

3.1 압전 세라믹스

압전성이 우수하고, 큐리온도가 높은 PZT 압전 세라믹스를 사용하였다. 초음파 전동기용 압전 세라믹스에 요구되는 특성으로는 이 밖에도 높은 전기기계적 결합계수(k_{31})와 기계적 품질계수(Q_m), 낮은 유전 손실($\tan \delta$) 등이 있다[6].

3.2 탄성체

고정자의 탄성체 소재로는 스테인리스강[7], 인칭동[8], 황동[9] 등 다양한 금속이 사용되고 있다. 본 연구에서는 탄성 계수와 영률이 다른 금속에 비하여 우수한 스테인리스강을 사용하였다.

본 연구에서는 탄성체의 두께가 2.0 mm인 스테인리스강을 사용하였으므로 탄성체의 길이는 식 (2)에 의해 36.0 mm가 된다. 탄성체의 폭에 대한 제한은 없으나 여기서는 임의로 10.0 mm로 하였다(36.0×10.0×2.0 mm³).

또한 고정자의 변위를 확대하기 위하여 치수가 2.0×10.0×2.0 mm³(길이×폭×높이)인 돌기를 굴곡모드의 변위가 최대인 곳에 설치하였다[10].

3.3 압전 세라믹스와 탄성체의 접착

위의 공정에서 제조한 압전 세라믹스와 탄성체의 접착에는 접착력이 우수한 2-type 에폭시 접착제(에폰스 화학공업주식회사: 한국)를 사용하였다. 주재와 경화제의 비율을 50 : 50으로 혼합한 다음 탄성체의 가장자리에 얇게 바른 후, 압전 세라믹스와 접착시

켰다.

접착면에서 발생할 수 있는 기포를 제거하기 위하여 전기 오븐(DMC 122, 한국)에서 75℃로 1시간 동안 유지하였다[11].

3.4 회전자

탄성체 표면의 미소한 변위 타원운동을 받아서 회전하게 된다. 외경 8 mm, 내경 3 mm인 베어링(재질: 스테인리스)을 사용하였다.

그림 3은 완성된 초음파 전동기 사진이다.

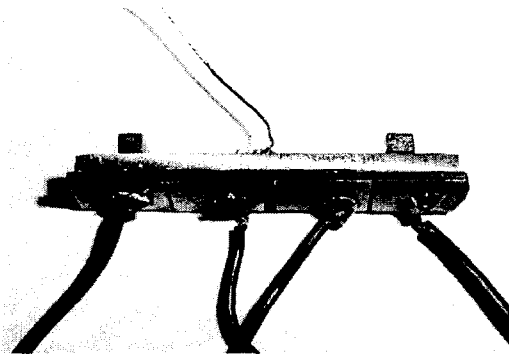


그림 3 완성된 초음파 전동기

4. 구동 및 측정 시스템

4.1 구동 시스템

L_1 - B_4 모드의 선형 초음파 전동기도 일반적인 선형 초음파 전동기처럼 2상으로 구동된다. 2대의 함수 발생기(HP 33120A, 미국)를 이용하여 90° 위상차를 갖는 2상 신호를 발생시키고, 이 신호의 전압을 2대의 증폭기(NF 4015, 일본)로 증폭하여 이용하였다[12].

전압과 주파수는 함수 발생기를 이용하여 조절하고, 오실로스코프(HC 5802, 한국)로 측정된 2상의 위상차는 함수 발생기로 조절한다.

4.2 측정 시스템

타코메타(Ametek C-809, 미국)와 전력계로 회전수(rps)와 전력을 측정한다.

토크는 회전자에 실로 추를 연결하고 다음 식을 이용하여 구하였다.

$$T = 9.8 m \cdot r \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (3)$$

효율은 다음 식을 이용하여 구한다[13].

$$\text{효율} = \frac{\text{기계적출력}}{\text{전기적입력}} = \frac{2 \pi n \cdot T}{P} \times 100[\%] \quad (4)$$

여기서 n 은 초당 회전자의 회전수(rps), T 는 토크(N·m), P 는 전력(W)이다.

5. 실험 결과 및 고찰

5.1 돌기가 없는 경우

효율을 측정하기 위하여, 주파수와 인가전압을 58.4 kHz, 56 V로 고정시켜 놓고 식 (4)를 이용하여 효율을 측정하였다(그림 4).

토크가 1.0 mN·m일 때 효율은 1.52 %이었다. 이와 같이 효율이 낮은 것은 고정자와 회전자 사이의 접촉면의 마찰에 크게 영향을 받는 것으로 여겨진다.

또한 효율을 개선하기 위해서는 변위확대기구(돌기)의 설치가 요구된다.

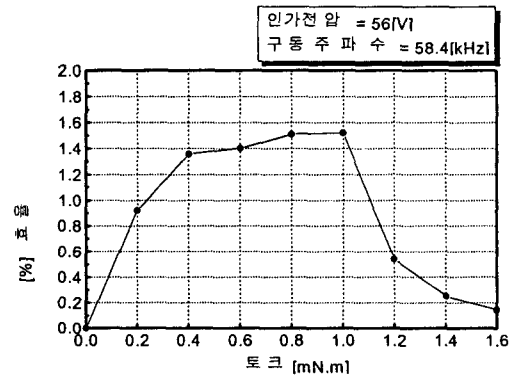


그림 4 돌기가 없는 경우의 초음파 전동기의 효율

5.2 돌기가 있는 경우

효율을 측정하기 위하여, 주파수와 인가전압을 58.4 kHz, 56 V로 고정시켜 놓고 식 (4)를 이용하여 효율을 측정하였다(그림 5).

토크가 1.2 mN·m일 때 효율은 3.36 %이었다. 돌기가 있는 경우 돌기가 없는 경우보다 효율이 향상되었음을 알 수 있다.

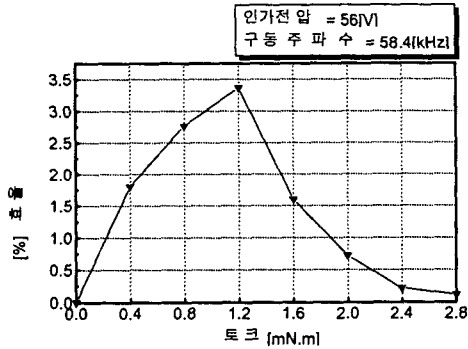


그림 5 돌기가 있는 경우의 초음파 전동기의 효율

6. 결 론

L₁-B₄모드의 초음파 전동기는 기능에 의한 분류에서는 선형에 속하고, 구조에 따른 분류에서는 자주식이며, 진동모드에 의한 분류에서는 종-굴곡모드를 이용한 전동기에 속한다.

제작된 초음파 전동기의 크기는 36.0×10.0×2.0 mm³(길이×폭×두께)이다.

변위확대기구(돌기)가 효율에 미치는 영향을 알아보기 위하여 돌기가 없는 전동기와 있는 전동기를 만들어 각각의 효율을 구하였다.

(1) 돌기가 없는 전동기의 효율을 주파수 58.4 kHz, 인가전압 56 V에서 측정하였더니, 토크가 1.0 mN·m일 때 1.52 %이었다. 이와 같이 효율이 낮은 것은 고정자와 회전자 접촉면의 마찰에 크게 영향을 받는 것으로 여겨진다.

(2) 돌기가 있는 전동기의 효율을 주파수 58.4 kHz, 인가전압 56 V에서 측정하였더니, 토크가 1.2 mN·m일 때 3.36 %이었다. 돌기가 있는 경우 돌기가 없는 경우보다 효율이 향상되었음을 알 수 있다.

참고 문헌

[1]. T. Sashida and T. Kenjo, *An Introduction to Ultrasonic Motors*, Clarendon Press, Oxford,

pp. 17-24, 1993.
 [2]. 上羽貞行, 富川義朗, *新版 超音波モーター, トリケップス*, pp. 11-12, 1991.
 [3]. K. Uchino, *Piezoelectric Actuators And Ultrasonic Motors*, Kluwer Academic Publishers, Boston, p. 267, 1997.
 [4]. S. Ueha, Y. Tomikawa, M. Kurosawa, and N. Nakamura, *Ultrasonic Motors Theory and Applications*, Clarendon Press, Oxford, pp. 131-152, 1993.
 [5] 김진수, 이명훈 공역, 초음파 전동기의 이론과 응용, 성안당, p. 17-18, 2000.
 [6] S. Ueha, Y. Tomikawa, M. Kurosawa, and N. Nakamura, *Ultrasonic Motors Theory and Applications*, Clarendon Press, Oxford, p. 45, 1993.
 [7] 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.
 [8] 指田年生, 見城尚志 공저, *超音波モーター入門, 統合電子出版社*, pp. 189-193, 1991.
 [9] Jin-Soo Kim, Man-Ju Park, Kenji Uchino, "Composite Ultrasonic Motors Using a Piezoelectric Disc and an Elastic Body of "Windmill" type", *Ferroelectrics*, Vol. 232, pp. 185-190, 1999.
 [10] 김진수, 이명훈 공역, 초음파 전동기의 이론과 응용, 성안당, p. 120-122, 2000.
 [11] 김영균, 김진수, "풍차형 초음파 전동기의 회전자에 인가된 힘이 회전특성에 미치는 영향", *한국전기전자재료학회 논문지* Vol. 13, No. 5, pp. 390-395, 2000.
 [12] 이명훈, 김진수, "L₁-B₄모드를 이용한 선형 초음파 전동기의 시제작과 속도 특성", *대한전기학회 충북지부 춘계학술대회, 충주대학교*, pp. 21-24, 2000.
 [13] 김영길, 김용주, 원충연, 박복기 공저, *전기기계*, 동일출판사, p. 58, 1997.