한국전기전자재료학회 춘계학술대회 논문집 1998.

L1-B4 진동모드를 이용한 linear-Type Ultrasonic Motor의 설계 및 시작

Design and Fabrication of Linear-Type Ultrasonic Motor using L1-B4 Vibration Mode

이종섭, 정수현*, 임기조, 정중기**, 임태빈**, 채홍인***
(J. S. Lee, S. H. Jeong*, K. J. Lim, J. K. Jeong**, T. B. Im**, H. I. Chae***)

Abstract

A plate-type ultrasonic linear motor using longitudinal and bending multi-vibration mode was designed and fabricated for card-forwarding device. The rotor consisted of piezoelectric ceramic plate and elastic materials. The performances of the motor were measured. As the experimental results, no-load speed of the motor was 0.6 m/s at 80 V in applied voltage. Starting torque was 1.4 mNm and maximum efficiency was 1.2 %

Key Words (중요용어) : Longitudinal mode(종진동모드), Bending mode(굴곡진동모드), Plate-type ultrasonic motor(평판형 초음파 모터),

1. 서 론

최근 압전 세라믹 기술의 급속한 발전과 함께 압전체를 이용한 압전 디바이스의 개발도 급속하게 이루어지고 있다[1]. 특히, 초음파 모터 분야가 그러하다. 초음파 모터의 기본적인 원리는 압전 세라믹의 초음파 진동을 이용하여 회전자와 고정자의 마찰력을 매개로 회전력으로 변환된다. 초음파 모터는 H. V. Barth가 최초로 제안하였고 1980년 T. Sashida의 쐐기형 초음파 모터에 의해 비약적으로 발전하게 되었다. 그 후 진행파를 이용한 초음파 모터의 개발등이 이루어졌다. 이 때부터 다양한 초음파 모터의 개발 및 상품화가 이루어졌다. 상품화의 대표적인 예는 Canon사의 A/F용 링형 초음파 모터이다.

초음파 모터는 기존의 전자식 모터에 비해 여러 가지 장점을 가지고 있다. 그 장점을 살펴보면, 고효율로 저속에서 고토크를 발생할 수 있고, 단위 중량당 토크가 높으며, 이동자의 관성력이 매우 낮아서 기동 및 정지시에 제어 특성이 좋다. 또한, 응답성이 좋고 자계에 의한 영향이 거의 없다. 고정자와 회전자의 마찰력을 매개로 회전하기 때문에 자기유지토크가 크고, 저속에서 안정한 운전이 가능하므로 감속기어가 필요없다[2].

이와 같이 초음파 모터는 전자식 모터에 비해 여러 가지 장점을 가지고 있기 때문에 앞으로도 상당히 각광을 받을 수 있는 분야이다.

본 논문에서는 카드전송장치로서 L1-B4 진동모드를 이용한 평판형 선형 초음파 모터를 제작하였고 제작한 초음파 모터의 부하 특성, 속도 특성 등을 측정, 검토하였다.

충북대학교 전기공학과
충북 청주시 개신동 산 48 충북대학교
(kjlim@trut.chungbuk.ac.kr)
*대원대학 전기과
**KETI(한국전자부품연구소)
***주성대학 전기과

2. 실 험

2.1. 평판형 선형 초음파 동작원리

그림 1에 평판형 선형 초음파 모터의 동작원리를 시간에 따라 도식적으로 보이고 있다. 이 평판형 초음파 모터는 종진동(L1)모드와 굴곡진동(B4)모드를 이용한다. 43㎜×10㎜×0.5㎜ 크기의 압전세라믹을 4개의 segment로 분할하였다. 그림 2에 보이듯이 2개의 segment만을 서로 반대가 되도록 분극시켰다. 분극된 압전세라믹에 90° 위상차를 갖는 전기 신호를 인가하였다. 전기 신호에 따라 그림 1에 보이듯이 종진동과 굴곡진동이 동시에 발생한다. 이와 같이 종진동과 굴곡진동이 합성이 되어 절에 타원운동이 발생하게 된다. 이 절의 위치에 따라 효율도 변화하게 된다[3,4,5]. 또한 이 질점에 롤러를 설치하고 고정자와 회전자를 가압하면 롤러는 병진운동을 하게 된다. 이것이 평판형 초음파 모터의 동작원리이다.

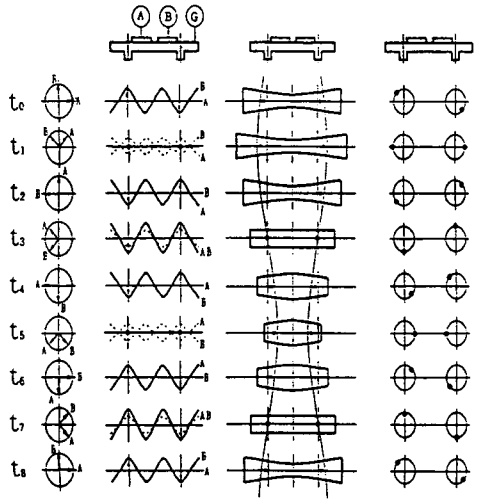

그림 1. 평판형 초음파 모터의 동작원리

Fig. 1. Operation principle of plate-type ultrasonic motor

2.2 평판형 초음파 모터의 구조

그림 2는 고정자의 구성도이다. 그림에서 탄성체와 롤러는 stainless steel로 만들었다. 또한 탄성체의 최대변위점에 고분자재료인 PPS(Polypheny-lene Sulfide)를 접착력이 우수한 에폭시로 부착하였다[6]. 압전체는 PZT계 세라믹으로 만들었고 전극분할은 그림과 같이 하였다. 각각의 분할된 세라믹은 분극 방향을 반대로 하여 80 ~ 100 ℃의 절연유중에서 4 kV/mm의 전계로 분극하였다. 마찰재와 마찬가지로 압전체와 탄성체의 접착은 상온에서 에폭시로 하였다.

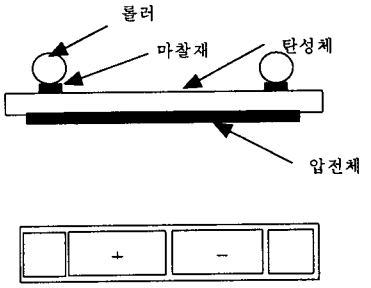

그림 2. 고정자의 구성도

Fig. 2. Block diagram of stator

2.3 평판형 초음파 모터의 구동

평판형 초음파 모터의 구동 및 성능측정 블록도를 그림 3에 나타내었다. 평판형 초음파 모터도 일반적인 초음파 모터와 마찬가지로 2상구동을 한다. A상(sin상)과 B상(cos상)의 2상구동을 위해 Universal Source(HP 3245A)에서 90° 위상차를 갖는 신호를 발생시켜 Power Amplifier(NF 4015)에서 전압을 증폭하였다. 또한 이때 흐르는 전류를 전류 프로브를 이용하여 측정하였다. Universal Source를 이용하여 주파수를 가변하고 입력전류를 측정하여 공진주파수도 측정하였다.

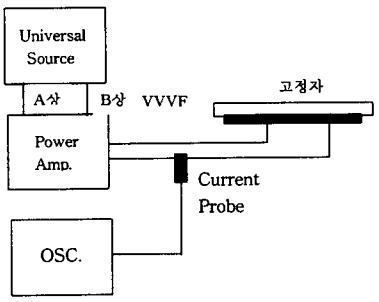

그림 3. 초음파 모터의 구동 블록도

Fig. 3. Driving block diagram of ultrasonic motor

3. 실험결과 및 논의

3.1. 주파수 특성

초음파 모터는 압전 세라믹의 공진현상을 이용하므로 공진주파수 근처에서 구동을 한다. 일반적으로 압전 세라믹의 공진주파수는 임피던스 어널라이져를 이용하여 측정하게 된다. 표 1은 본 실험에 사용된 압전 세라믹 자체의 특성을 나타낸 것이다. 표 1에서 알 수 있듯이 압전 세라믹의 공진주파수는 38.1 kHz이다. 그러나, 압전 세라믹은 탄성체에 구속되고 고전계하에서는 그 공진주파수는 변화한다. 그림 4는 입력 전압 80 V를 인가했을 때 주파수에 따른 속도와 전류를 나타내고 있다. 주파수가 증가할수록 입력전류와 속도는 서서히 증가하였으며 49.6 kHz에서 최대 피크를 나타내었다. 그 때의 전류는 99.7 mA이었고 속도는 약 0.6 [m/s]이었다. 저전계하에서 압전세라믹 단독일 때의 공진주파수와는 많이 상이함을 알 수 있다. 또한, 그림에서 알 수 있듯이 주파수를 변화함에 따라 속도가 변화하므로 주파수를 변화하여 속도를 제어할 수도 있다[7].

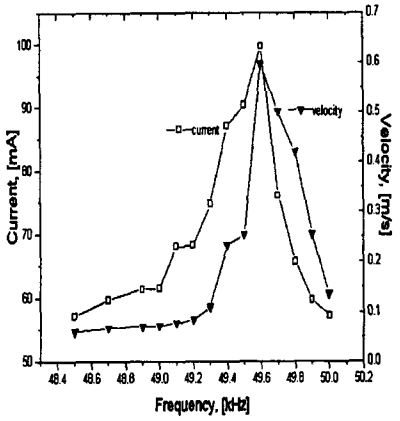

그림 4. 주파수에 따른 입력전류 및 속도
Fig. 4. Current and speed as a function of frequency

표 1. 압전 세라믹의 특성

공진주파수	38.1kHz
R	64.2812Ω
C	649.785pF
C_d	6.61444mF
L	27.2638mH

그림 5는 무부하시 입력에 따른 속도의 변화를 보이고 있다. 이 때의 구동 주파수는 49.6 kHz이다. 입력이 증가함에 따라 속도는 거의 선형적으로 증가하였다. 79 W(80 V_{p-p})에서의 속도는 0.6 m/s이었다.

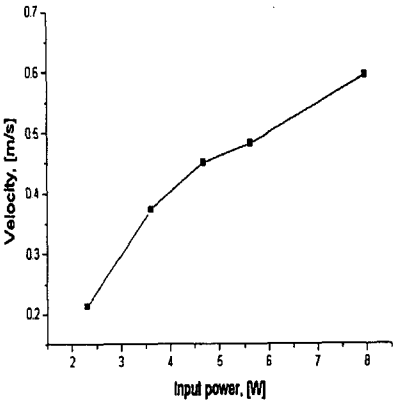

그림 5. 입력에 따른 속도의 변화
Fig. 5. Speed as a function of power

3.2. 부하 특성

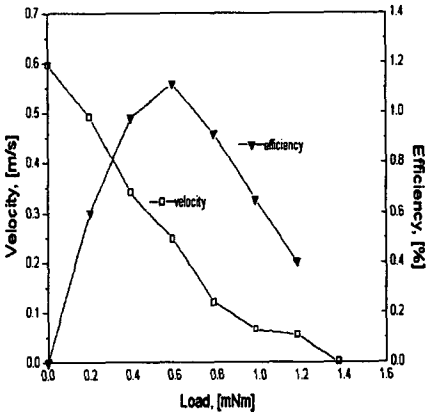

그림 6. 토오크에 따른 속도와 효율
Fig. 6. Speed and efficiency as a function of torque

그림 6는 부하에 따른 속도의 변화를 보이고 있다. 입력전압은 80 V이고 주파수는 49.6 kHz이었다. 부하가 증가함에 따라 속도가 감소하는 수하특성을 보이고 있다. 무부하시 속도는 거의 0.6 m/s이었고 또한 최대효율은 약 1.2%정도이었다. 최대효율일 때

의 토오크는 0.7 mNm이었고 속도는 0.3 m/s이었다.

현재 국내의 공중전화카드의 무게가 약 2 g 정도인 것을 감안하면 카드전송용 기구로 응용 가능함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 카드전송용 디바이스로의 응용을 목적으로 기존의 초음파 모터와는 그 형태가 다른 평판형 linear 초음파 모터를 시작하고 그 주파수 특성, 부하 특성을 검토하였다. 이 평판형 초음파 모터는 종진동모드와 굴곡진동모드를 이용한 초음파 모터로서 종래의 진행파나 정재파를 이용하는 디스크형, 링형, 원통형 모터와는 상이하다. 구성은 압전 세라믹과 탄성체가 고정자를 이루고 그 위에 롤러를 설치하여 가압한다. 이런 단순한 형태이므로 기존의 병진운동을 이끌어내기 위한 복잡한 형태의 초음파 모터에 비해 이 평판형 선형 초음파 모터를 이용하면 박형화, 소형화, 경량화가 가능하다. 주파수 특성을 살펴보면 압전 세라믹 자체의 공진주파수는 38.1 kHz인데 반해 탄성체를 접착하면 그 공진주파수는 49.6 kHz로 상당히 변화하게 된다. 고진동레벨에서의 공진주파수는 전류를 측정함으로서 가능하다. 공진주파수 근처에서 80V로 구동하였을 때 그 무부하시 속도는 0.6m/s이었다. 최대효율은 1.2%정도이었으며 그 때 토오크는 0.7mNm이고 속도는 0.3 m/s이었다.

본 연구에서 시작한 평판형 선형 초음파 모터를 이용하여 현재의 카드전송 디바이스로의 응용이 가능할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

[1] Junhui Hu, Kentaro Nakamura and Sadauki Ueha, "Optimum Operation Conditions of an Ultrasonic Motor Driving Fluid Directly, JJAP, Vol. 35, pp. 3289-3294, 1996.

[2] S. Ueha, Y. Tomikawa, M. Kurosawa and N. Nakamura, "Introduction to Ultrasonic motor", OXFORD, 1993.

[3] S. Ueha, Y. Tomikawa, M. Kurosawa and N. Nakamura, "Ultrasonic Motors - Theory and Applications", OXFORD, 1993.

[4] Zhigang Yang, Katsuyoshi Susuki and Guangming Cheng, "Ultrasonic Motor Using a Plate Vibrator with Projections", 日本機械學會論文集, Vol, 62, pp. 1996 - 2000, 1953.

[5] Yoshiro Tomikawa, Takashi Nishitsuka, Toshiharu Ogasawara and Takehiro Takano, "A Paper or Card Forwarding Device Using a Flat-Type Ultrasonic Motor",

[6] Robert W. Messler, Jr., "Joining of Advanced Materials", pp. 553, 1993

[7] Katsuyoshi Suzuki, Tatsuichi Hiromoto and Tadashi Kosawada, "Ultrsonic Motor using a plate Vibrator with Displacement Amplification Mechanism", JJAP, Vol. 28, No. 6, 1993.