

평판형 선형 초음파 모터의 시작

이 종섭, 정수현*, 이강원, 임기조, 김영욱**, 임태빈**
 충북대학교, *대위공과대학, **한국전자부품연구원

Fabrication of Plate-Type Linear Ultrasonic Motor

J.S. Lee, S.H. Jung*, K.W. Lee, K.J. Lim, Y.W. Kim**, T.B. Im**
 Chungbuk Nat'l Univ., *Daewon Tec.College, **KETI

Abstract - We designed and fabricated plate-type linear ultrasonic motor. It used multi-vibration mode, 1st Longitudinal and 4th Bending mode. To analyze vibration mode and find maximum displacement point, we simulated using FEM(Finite Element Method). The plate-type linear ultrasonic motor was fabricated by the simulation results. Also, to confirm application to card-forwarding device, frequency and load characteristics were measured. Its resonance frequency was 49.6 kHz, and its maximum speed was about 0.6m/s when no load. Also, its maximum efficiency was 1.2 % and in that time, speed and torque was 0.3 m/s and 0.7 mNm, respectively.

1. 서론

압전 세라믹을 이용한 압전 디바이스의 응용분야가 다양하게 연구되고 있다. 그 대표적인 예로서 초음파 모터나 압전 필터, 압전 변압기등이 있다. 특히, 초음파 모터의 경우에는 전자식 모터에 비해 많은 장점을 가지고 있어 활발히 연구되고 있다. 그 장점을 살펴보면 저속/고토크, 전자파에 대한 영향이 없고, 자기 유지력이 매우 크기 때문에 정밀위치제어가 가능하다[1].

초음파 모터는 H.V. Barth가 최초로 제안하였고 1980년에 S. Sashida의 썬기형 초음파 모터에 의해 비약적인 발전을 이룩하게 되었다. 그 후, 다양한 형태의 초음파 모터가 만들어졌다. 그 대표적인 형태로는 원판형, 원판형, 각봉형등이 있다. 특히, 원판형은 그 형태가 중공구조로 되어 있기 때문에 CANON사의 카메라 A/F용 디바이스로서 장착·실용화된 좋은 예이다.

이와 같이 지금까지의 초음파 모터에 대한 연구는 거의 회전형에 국한되어 수행되었다. 따라서, 선형운동을 필요로 하는 디바이스에도 회전형 초음파 모터를 이용함으로써 그 구조가 매우 복잡하고 박형화, 소형화, 경량화에 한계를 나타내고 있다[2].

본 연구에서는 카드전송용 디바이스로의 응용을 목적으로 평판형 선형 초음파 모터를 제작하였다. 또한, 유한요소 프로그램인 ATILA를 이용하여 그 진동특성을 simulation하였고 실제 제작한 평판형 초음파 모터의 주파수 특성, 부하특성을 고찰하였다.

2. 본론

2.1 FEM을 이용한 진동해석

평판형 선형 초음파 모터를 제작하기 위해서 유한요소 프로그램인 ATILA를 이용하여 simulation을 행하였다. 초음파 모터의 구조를 최대한 간단히 하기 위해 평판형으로 압전 진동자를 설계하였다. 그림 1에 압전 진동자의 형태를 나타내었다.

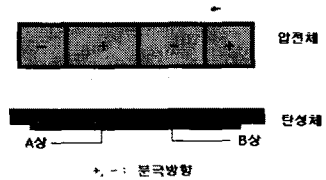


그림 1. 압전 진동자의 형상

그림 1에서 압전체의 형상은 44 mm×10 mm×0.5 mm이다. 그림과 같이 압전체는 4부분으로 분할하였다. 또한, 탄성체는 스테인레스강으로 48mm×10mm×2.6mm로 하였다. 이와 같은 형태의 압전 진동자를 ATILA를 이용하여 진동해석을 행하였다. 그 결과를 그림 2에 나타내었다.

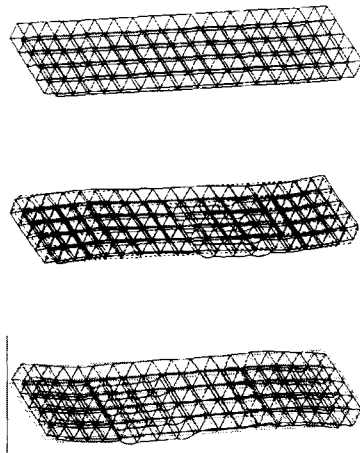


그림 2. ATILA를 이용한 진동해석

압전 진동자는 그림 1과 같이 탄성체와 압전체로 구성이 되고 압전체는 두께방향으로 분극시킨다. 이와 같은 압전체와 탄성체를 접착체에 의해 접착하게 된다. 이 압전 진동자에 90° 위상차가 있는 전기적인 신호를 인가하면 그림 2와 같이 접착면은 변위가 없고 밀면만 두께방향으로 수축·팽창이 발생하게 된다. 이에 따라, 탄성체는 굴곡진동을 하게 된다. 또한, 압전체의 길이방향의 수축·팽창에 의해 탄성체도 수축·팽창을 반복하게 된다. 이와 같이 본 연구에서 설계한 압전 진동자에는 L1(Longitudinal mode)와 B4(Bending mode)가 발생한다[3]. 평판형 선형 초음파 모터는 L1-B4 진동모드를 이용하여 탄성체 표

면에 타원운동을 여기시키게 된다. 그림 3은 압전 진동자의 변위량을 색지수로 나타낸 그림이다.

그림 3에서 B4 진동모드를 확인 할 수 있다. 또한, 변위가 가장 큰 점을 찾아 그 위치에 톨러를 설치함으로써 평판형 선형 초음파 모터의 효율을 높일 수 있다. 이와 같이 유한 요소법을 이용한 진동해석 프로그램인 ATILA로 진동해석을 행한 후 실제로 압전 진동자를 제작하였다.

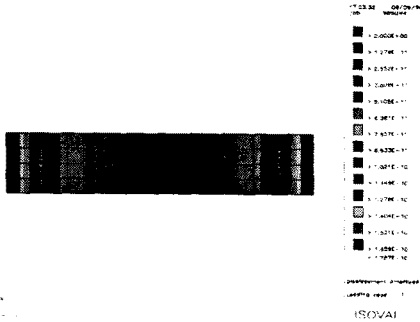


그림 3. 압전 진동자의 변위분포

2.2 압전 진동자의 제작

초음파 모터의 핵심부분인 압전 진동자를 제작하기 위해서 압전체는 PZT계의 세라믹을 이용하였다. 압전체의 형상은 simulation을 바탕으로 하여 같은 면적으로 제작하였다. 또한, 분극방향은 4부분이 각각 반대가 되도록 하였다. 양쪽 끝부분은 초음파 모터의 정속운전을 위해 feedback극으로 만들었다. 초음파 모터는 공진현상을 이용하므로 압전 진동자의 공진주파수로 구동된다. 그러나, 압전 진동자는 외부환경에 의해 그 공진주파수가 변하므로 정속운전을 위해 공진주파수 추미회로가 필요하게 된다[4]. 이 때 feedback극이 필요로 된다. 또한, 탄성체로는 스테인레스강을 사용하였고 그 표면은 불요진동에 의한 진동손실을 최소로 하기 위해 연마제 입도 1 μ m로 연마하였다. 이와 같이 제작된 압전체와 탄성체는 일반적으로 초음파 모터에 사용되는 접착제인 에폭시를 이용하여 상온에서 2시간동안 접착하였다[5].

평판형 선형 초음파 모터도 일반적인 초음파 모터와 마찬가지로 마찰력으로 기동하므로 마찰재를 필요로 하게 된다. 마찰재료는 고분자수지를 일반적으로 사용하는데 그 성능은 마찰계수, $\tan \delta$ 등에 크게 의존한다. 그 중 성능이 가장 좋은 것으로 알려진 PPS(Polyphenelen Suffide)를 사용하였다[6]. 마찰재의 접착 위치는 ATILA에 의해 결정하였다. 또한, 초음파 모터 구동시 압전 진동자의 고정을 위해 그 nodal line을 편으로 고정하였다.

2.3 구동 및 측정

평판형 선형 초음파 모터도 일반적인 초음파 모터와 마찬가지로 90° 위상차를 가지는 2상의 전기적 신호에 의해 구동된다. 그림 4는 평판형 선형 초음파 모터의 구동을 위한 블록도이다. 평판형 초음파 모터의 구동 및 성능측정 블록도를 그림 3에 나타내었다. 90° 위상차를 가지는 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 프로

브를 이용하여 측정하였다. Universal Source를 이용하여 주파수에 따른 입력전류를 측정하여 공진주파수를 측정하였다.

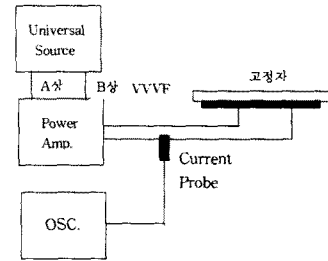


그림 4. 초음파 모터의 구동블록도

2.4 실험결과 및 고찰

초음파 모터는 공진현상을 이용하므로 그 공진주파수의 정확한 측정이 초음파 모터의 설계에 있어서 매우 중요하다. 일반적으로 압전 세라믹의 공진주파수는 임피던스 어닐라이저에 의한 공진·반공진법으로 저전계하에서 측정하게 된다. 그러나, 압전 변압기나 초음파 모터와 같은 대전폭용 압전 세라믹은 그 구동전계가 매우 높다.

이렇게 고전계하에서 압전 세라믹을 구동하게 되면 그 공진주파수는 변화하게 된다[7]. 본 연구에서 사용한 PZ-PT-PMS계의 직사각형의 압전 세라믹을 임피던스 어닐라이저로 등가회로 해석한 결과를 표 1에 요약하였다. 표 1에서 알 수 있듯이 저전계하에서의 공진주파수는 38.1 kHz이었다.

표 1. 등가회로 해석

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

2.4.1 주파수 특성

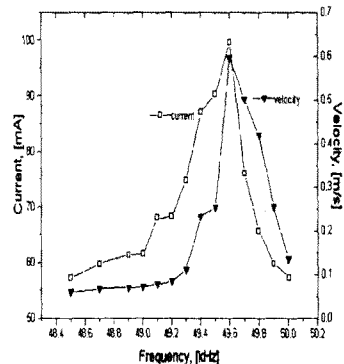


그림 5. 주파수에 따른 전류와 속도

그림 5는 제작한 압전 진동자를 80 V로 구동하면서 진동속도와 전류를 측정된 결과이다. 주파수가 증가함에

따라 전류는 증가하다가 49.6 kHz에서 큰 피크를 나타내었다. 이것은 구동전압이 80 V일 때 압전 진동자의 공진주파수는 49.6 kHz로 천이하였다는 것을 의미한다. 또한, 그 때의 회전속도는 0.6 m/s이었다

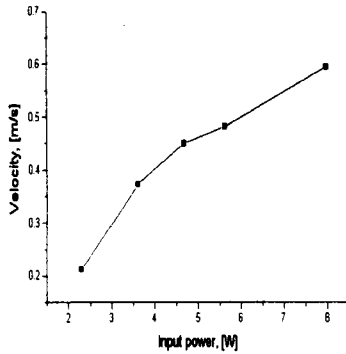


그림 6. 입력에 따른 속도의 변화

그림 6는 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_{r-p})에서의 속도는 0.6 m/s이었다

2.4.2 부하 특성

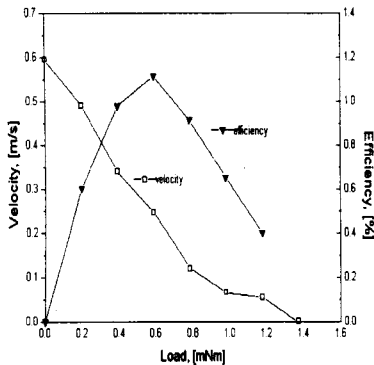


그림 7. 부하에 따른 효율과 속도

그림 7는 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 때의 토오크는 0.7 mNm이었고 속도는 0.3 m/s이었다.

3. 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 단

순한 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 접착하여 압전 진동자를 구성한 다음 고진동레벨에서 구동하면 그 공진주파수는 49.6 kHz로 상당히 변화하게 된다. 고진동레벨에서의 공진주파수의 측정은 압전 진동자에 흐르는 전류를 측정함으로써 가능하다. 공진주파수 근처에서 80 V로 구동하였을 때 그 무부하시 최대속도는 0.6 m/s이었다.

또한, 평판형 선형 초음파 모터의 최대효율은 1.2 % 정도이었으며 그 때 토오크는 0.7 mNm이고 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 Suzuki 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, 1993.
- [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, "Ultrasonic Motor using a plate Vibrator with Displacement Amplification Mechanism", JJAP, Vol. 28, No. 6, 1993.