

## 초음파 모터용 디스크형 고정자의 전기기계적 특성

이종섭, 김복원, 이세형, 신세일, 남기동, 오홍기, 장여진  
경기지방중소기업청

### The Electro-Mechanical Properties of Disk-Type Stator for Ultrasonic Motor

J. S. Lee, B. W. Kim, S. H. Lee, S. I. Shin, K. D. Nam, H. K. Oh, Y. J. Jang  
Gyeonggi Regional Office of Small&Medium Business Administration

**Abstract :** In this paper, disk-type ultrasonic motor using radial and bending vibration modes is newly designed and fabricated to measure its characteristics. As the diameter of elastic body increases, the resonant frequency decreases and its resonant frequency is about 92kHz when the physical dimensions of piezoelectric ceramic and elastic body are 28mm of diameter and 2mm of thickness, and 32mm of diameter and 2mm of thickness, respectively. When the applied voltage is 20Vpp, its speed and torque are 200rpm and 1N, respectively.

**Key Words :** Ultrasonic motor, FEM, Optical Zoom, Piezoelectric

#### 1. 서론

최근, 광학 및 반도체 산업이 급속도로 발전함에 따라 정밀 모터에 대한 수요가 증가하고 있다. 그러나, 종래의 전자식 모터는 분해능과 크기에서 한계를 보이고 있어, 초음파 모터에 대한 연구가 이루어지고 있으며 광학 증용 모터와 같은 다양한 응용분야에 적용되고 있다.[1-3] 전자식 모터와 비교해, 초음파 모터는 단면적이 적고, 소비전력이 낮으며, 구조가 단순하며 구조 자유도가 크다. 또한, 감속기어를 사용하지 않으므로 backlash가 없으며, 저속/고토크를 장점으로 가지고 있다.

그러나, 종래의 초음파 모터는 고정자에 변위 확대기구가 설치되어 있으므로 구조가 매우 복잡하고, 정밀 가공이 필요하며 가격이 비싸다는 단점이 있다.[4,5]

따라서, 본 논문에서는 종래 초음파 모터의 변위 확대기구를 제거하여 구조가 단순하며 저가로 탄성체를 제작할 수 있는 새로운 구조의 초음파 모터를 설계 및 제작하고 그 특성을 측정하고자 한다.

#### 2. 동작원리

그림 1은 본 논문에서 새롭게 제안한 초음파 모터의 구조를 나타낸 그림이다. 고정자는 두개의 디스크형 압전 세라믹과 디스크형 탄성체로 구성되며, 압전 세라믹은 탄성체의 양면에 각각 에폭시를 이용하여 접착된다. 이 때, 압전 세라믹의 분극 방향은 서로 반대방향으로 접착된다.

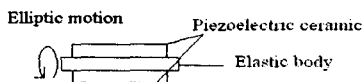


그림 1. 제안된 초음파 모터의 구조

90°의 위상차를 갖는  $\sin\omega t$ 와  $\cos\omega t$ 를 갖는 입력전압을 고정자에 접착된 압전 세라믹에 각각 인가하면, 경방향 진동과 굴곡 진동이 고정자에 동시에 발생하게 된다.

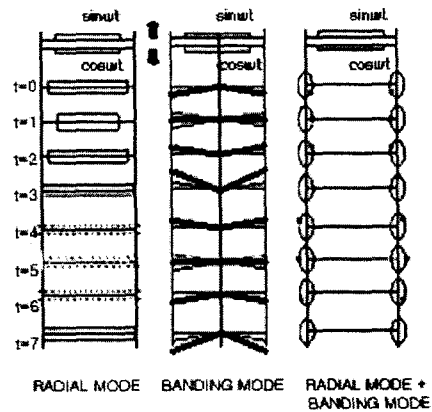


그림 2. 제안된 초음파 모터의 구동 원리

그림 2는 시간에 따른 고정자의 타원 운동을 나타낸 그림이다.  $t=0$ 일 때,  $\sin\omega t$ 는 영이고  $\cos\omega t$ 는 최대이므로  $\sin\omega t$ 가 인가된 압전 세라믹은 변형이 없고  $\cos\omega t$ 가 인가된 압전 세라믹은 경방향 모드에서 수축된다. 따라서, 고정자는 수축된다.  $\sin\omega t$ 가 인가된 압전 세라믹은 변형이 없고,  $\cos\omega t$ 가 인가된 압전 세라믹은 굴곡진동모드에서 아래 방향으로 굴곡된다. 따라서, 고정자 또한 아래로 굴곡된다. 경방향과 굴곡진동이 동시에 고정자에 발생하므로, 고정자 위치의 벡터 합은 그림 2에 나타난 부분에 위치하게 된다.  $t=1$ 일 때,  $\sin\omega t$ 와  $\cos\omega t$ 의 크기는 같으므로  $\sin\omega t$ 가 인가된 압전 세라믹은 수축하고  $\cos\omega t$ 가 인가된 압전 세라믹 또한 수축하게 된다. 따라서, 고정자는 경방향 모드에서 최대 수축한다.  $\sin\omega t$ 가 인가된 압전 세라믹은 굴곡진동 모드에서 위로 굴곡되고  $\cos\omega t$ 가 인가된 압전 세라믹은

아래로 굴곡되므로 고정자의 변형은 영이다. 따라서, 고정자의 벡터 합은 그림 2에 나타난 부분으로 이동하게 된다. 그림 2에 나타내었듯이, 시간  $t$ 에 따라 경방향 진동 모드와 굴곡 진동 모드의 벡터 합을 도식하면, 고정자의 측면은 타원 궤적을 그리며 진동하고 회전자가 고정자에 가압 접촉함으로써 회전자는 회전할 수 있게 된다. 또한, 위상차를  $270^\circ$ 로 변화시키면 회전 방향을 역전시킬 수 있게 된다.

### 3. 결과 및 검토

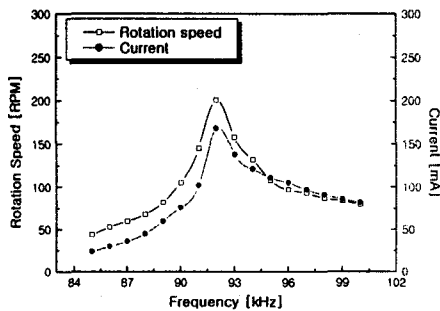


그림 3. 구동 주파수에 따른 회전속도 및 전류의 변화

그림 3은 구동 주파수에 따른 회전 속도 및 전류의 변화를 나타낸 그림이다. 여기서, 입력 전압은 20[Vpp]이었다. 그림에서 알 수 있듯이, 전형적인 공진 특성을 나타내고 있다. 구동 주파수가 증가함에 따라, 회전속도와 전류는 증가하다가 약 92[kHz]에서 200[rpm], 170[mA]로 각각 최대를 보인 후 점차 감소하였다.

공진 파형은 비대칭적인데 그 이유는 압전 세라믹의 열 발생에 기인된 것을 사료된다. 즉, 초음파 모터가 연속적으로 공진 주파수에서 구동되면, 압전 세라믹의 손실 계수에 기인하여 열이 발생되고, 이에 따라 공진 주파수가 변화되기 때문인 것으로 사료된다[6].

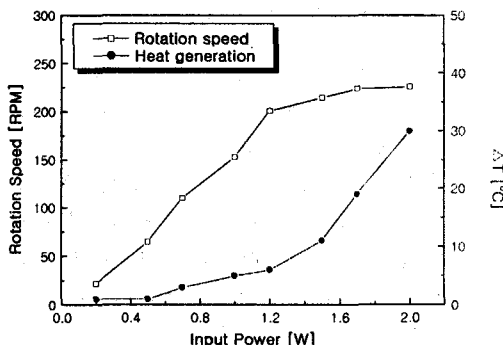


그림 4. 입력전력에 따른 열 발생과 회전속도의 변화

그림 4는 입력 전력에 따른 열발생과 회전 속도의 변화를 나타낸 그림이다. 여기서, 구동 주파수는 92[kHz]이었다. 입력 전력이 증가함에 따라, 회전 속도는 1.2[W]까지 거의 선형적으로 증가하였지만, 1.2[W]이상에서는 포화되었

다. 열 발생은 1.2[W]까지는 거의 일정하였으나, 1.2[W] 이상에서는 급격하게 증가하였다. 이와같은 이유는 다음과 같이 설명될 수 있다.

진동 손실 에너지는 진동 속도가 증가함에 따라 진동 속도의 제곱에 비례하여 증가한다. 따라서, 진동 속도는 인가전압에 비례하지만, 어느 인계값 이상에서는 손실 에너지만 증가되므로 열 발생이 증가하고, 진동 속도는 포화되는 현상이 발생하는 것으로 사료된다[77].

### 4. 결론

본 논문에서는, 경방향 진동 모드와 굴곡진동모드를 이용하는 새로운 형태의 디스크형 초음파 모터를 설계하고 그 특성에 대해 연구하였다. ATILA 유한 요소 해석 프로그램을 이용하여 경방향 진동모드와 굴곡진동모드를 확인하였으며, 이를 기초로 초음파 모터의 동작 원리를 정성적으로 해석하였다. 또한, 제작된 초음파 모터를 이용하여 전기기계적 특성을 검토하였으며, 열 발생과 진동 속도의 상관 관계 또한, 정성적으로 검토하였다. 실험 결과로써, 탄성체의 직경이 증가할수록 공진 주파수는 감소하였으며, 압전 세라믹 직경 28[mm], 두께 2[mm], 탄성체 직경 32[mm], 두께 2[mm]일 때, 공진 주파수는 약 92[kHz]이었으며, 입력 전압 20[Vpp]를 인가하였을 때, 최대 속도는 약 200[rpm]이었으며, 입력 전력은 1.2[W]이었다.

결론적으로, 새롭게 제안된 디스크형 초음파 모터는 변위 확대 기구를 가지고 있는 초음파 모터에 비해 단순한 구조와 가격 경쟁력이 있으므로 다양한 정밀 분야에 응용 가능할 것으로 사료된다.

### 참고 문헌

- [1] Gene H. Haertling, J. Am. Ceram. Soc., Vol. 4, No. 82, pp. 797 - 818, 1999.
- [2] Shijie GUO, et. al, 日本機械學會論文集, Vol. 57, No. 541, pp. 20 -26, 1991.
- [3] Y. Tomikawa et al, Sensors and Materials, Vol. 1, No. 6, pp. 359-379, 1989.
- [4] Burhanettin Koc et al, JJAP, Vol. 37, No. 10, pp. 5659 - 5662, 1998.
- [5] S. Ueha et al, CLARENDON PRESS, pp. 59 - 92, 1993.
- [6] S. Takahashi, Y. Sasaki, S. Hirose and K. Uchino, JJAP, Vol. 34, Part 1, No. 9B, pp. 5328-5331, 1995
- [7] S. Takahashi, Y. Sasaki and S. Hirose, JJAP, Vol. 36, Part 1, No. 5B, pp. 3010-3015, 1997