

## 고토크 초음파 모터의 설계 및 특성에 관한 연구

오진현, 임종남, 박철현, 임기조  
충북대학교

### Design and performances of high torque ultrasonic motor

Jin-Heon Oh, Jong-nam Lim, Cheol-Hyun Park and Kee-Joe Lim  
Chungbuk National Univ.

**Abstract :** An ultrasonic motor of high torque with a new configuration for application in automobiles is proposed. The newly designed stator is a two sided vibrator consisting of a toothed metal disk with a piezoelectric ceramic ring bonded on both faces of the disk which generates a flexural traveling wave along the circumference of disk. In this configuration, the displacement on the surface of stator may not be confined. It also produces a large vibrating force and amplitude because the vibrator is sandwiched by two piezoelectric plates. It is possible to increase the torque by improving the vibration characteristics. To compute the vibration mode of the motor of diameter 48 mm, the finite element method was used. A 6th mode was chosen as the operation mode with a resonance frequency of about 64.4 kHz. According to this design and measured its performance, a prototype was fabricated. The performance measurement of the prototype motor showed that its stall torque was about 1.8 Nm and efficiency was 37 % at 60 % of the maximum torque.

**Key Words :** ultrasonic motor, two-sided stator, high torque, traveling wave

### 1. 서론

초음파 모터는 압전 세라믹의 초음파 진동을 구동원으로 하는 모터로서 마찰에 의해 얻어지는 추진력을 이용한다. 초음파란 20[kHz] 이상의 비가청 주파수 영역의 음파나 물체의 진동을 의미한다. 초음파 모터는 교류적인 진동운동을 기계적인 정류에 의하여 직류적인 운동으로 변환하는 장치이지만, 1주기의 움직임이 마이크로미터 정도더라도 1초당 진동 회수는 수 만회에 달하여 의외로 빠른 속도를 얻을 수 있다. 원리적으로, 진행파 회전형 초음파 모터의 최대 토크는 모터의 직경에 비례하기 때문에 토크를 증가시키기 위해서는 모터의 크기가 커져야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 진행파 회전형 초음파 모터를 베이스 모델로 하여 토크를 일정수준 유지시키면서 모터의 크기와 중량을 줄이는데 초점을 맞추었다. 즉, 초음파모터 고정자의 진동진폭을 증가시키면, 고정자가 진동하여 회전자를 밀어주는 마찰에 의한 추진력이 증가하여 토크 특성의 개선으로 연결된다. 이러한 원리를 적용하여, 하나의 압전체를 사용하는 일반적인 고정자와 달리, 진폭을 증대시켜 진동특성을 개선하기 위한 방안으로 두 장의 링형 압전체를 고정자의 상하 양면에 부착하는 새로운 형태의 고정자를 설계, 제작하고 이것이 적용된 모터의 출력 특성을 평가하였다.

### 2. 실험

#### 2.1 새로운 형태의 고정자 설계

새롭게 설계한 고정자의 전체적인 형상을 그림 3-1에 나타내었다. 주목할 점은 기존의 형태와 달리 진동을 발생시키는 역할을 하는 압전 세라믹이 고정자의 상하면에 각각 1장씩 모두 2장이 부착되었다는 점이다. 이는 압전 세라믹에 인가되는 전체적인 전기적 입력 에너지를 증가시켜 진동 특성을 개선하여 토크를 확대하는 효과를 얻기 위한 것이다. 본 설계에서는 회전자가 접촉되는 teeth 부분이 압전 세라믹의 바깥쪽에 위치하도록 함으로써, 극대화된 진동 진폭을 효율적으로 이용할 뿐만 아니라, 초음파 모터의 구조적인 특성상 나타나는 회전자에 의한 진동 억제 효과를 어느 정도 감소시키도록 하였다. 또한, 설계된 고정자는 기하학적으로 대칭인 구조를 가지고 있기 때문에 진동시 열적인 안정도를 높여 초음파 모터의 동작온도 범위를 개선할 수 있다.

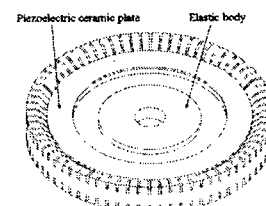


그림 1. 설계한 고정자의 형상.

2.2 유한요소 해석프로그램을 이용한 시뮬레이션  
진행파 회전형 초음파 모터의 고정자를 유한 요소 해석 프

그림 ATILA를 이용하여 변위분포와 진동차수에 대해 해석하였다. 해석 모델은 ATILA 프로그램이 제공하는 Preprocess 단계를 이용하여 고정자를 구성하는 압전 세라믹과 탄성체의 치수를 설정하고 요소 분할을 하여 3차원적으로 설계하였다.

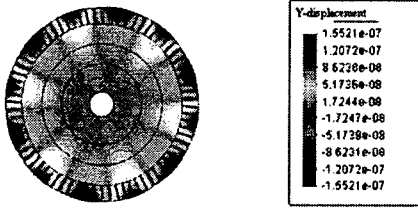


그림 2. 고정자 진동시의 변위분포.

### 2.3 고정자의 제작 및 성능 평가

진행파 회전형 초음파 모터의 고정자를 제작하는 과정과 실제 제작된 고정자의 모습을 그림 3에 나타내었다.

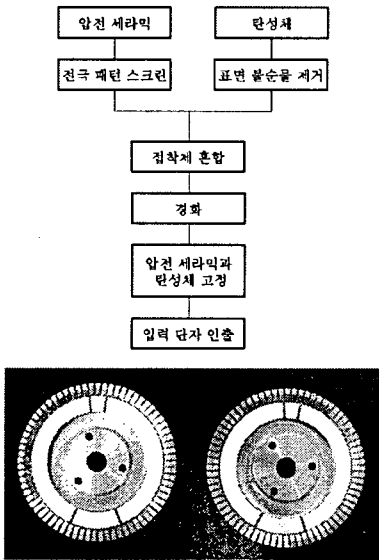


그림 3. 고정자 제작과정 및 제작된 고정자의 모습.

압전 세라믹 진동자와 탄성체를 접착시키기 위한 접착제로 열에 의한 접착강도의 변화가 적은 에폭시를 사용하였다. 압전 세라믹 진동자와 탄성체 사이의 접착 면에 기포가 존재하게 되면 고정자의 진동 특성을 떨어뜨리기 때문에 접착 과정 시 존재할 수 있는 기포를 제거하고 경화속도를 증진시키기 위하여 120[°C]의 열을 가한 상태에서 1시간동안 압착 공정을 진행하였다. 그림4는 진행파 회전형 초음파 모터를 구동하기 위한 시스템이다. 본 연구에 의해 제안된 초음파 모터도 일반적인 초음파 모터와 마찬가지로 2상으로 구동된다. A상(sin wt)과 B상(cos wt)의 2상 구동을 위하여 함수발생기(Tektronix AFG 320)에서 90°의 위상차를 갖고 고정자의 공진주파수 부근의 주파수를 가지는 2상의 교류신호를 발생시켜 Power Amplifier(NF 4015)에서 전압의 크기를 각각 증

폭하여 초음파 모터를 구동한다.

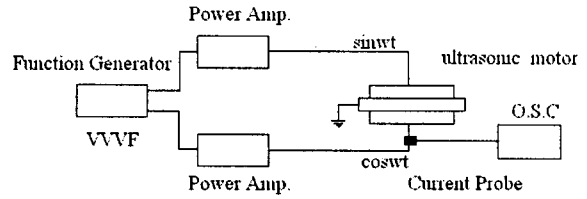


그림 4. 초음파모터 구동시스템.

### 3. 결과 및 고찰

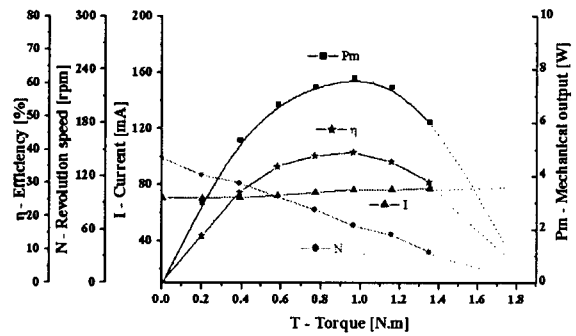


그림 5. 제작된 고정자의 성능 특성 곡선.

그림 5에 제작된 고정자의 성능 특성곡선을 나타내었다. 특성의 측정결과 최대 토크는 약 1.8[Nm], 최대 효율은 최대 토크의 약 60[%] 부근에서 37[%] 정도로 나타났다.

### 4. 결론

본 연구에서 제작한 고정자는 회전자와 접촉하는 Teeth 구조의 위치가 압전소자의 바깥쪽으로 부착되도록 설계함으로써 압전소자의 진동을 초음파모터의 구조적인 면으로부터 자유롭게 할 수 있다. 또한 복수의 압전소자를 사용하여 진동특성을 개선하여 토크를 증대하는 효과를 얻는다. 즉, 모터의 크기와 중량을 증가시키지 않고도 고정자를 적절히 설계하여 고토크를 얻는 것이 가능하다.

### 참고 문헌

- [1] K. Uchino, *Ferroelectric Devices* (Marcel Dekker, New York, 2000), p.197
- [2] G. H. Haertling, *J. Am. Ceram. Soc.*, 4(82), 797 - 818 (1999)
- [3] T. S. Glenn and N. W. Hagood, *SPIE* 3041 326-338(1997)
- [4] Y. Kawai, *Jpn. J. Appl.* 35, 2711-2714 (1996)
- [5] Y. Chen, Q.L.Liu, and T. Y. Zhou, *Ultrasonics*, 45, 120 (2006)