

## 재질의 변화에 따른 Cross형 초음파 회전모터의 구동특성

정현호, 박태곤  
창원대학교

### Driving Characteristics of the Cross Type Ultrasonic Rotary Motor Dependant on the Materials of the Stator

Hyon Ho Chong, Tae Gone Park  
Changwon Univ.

**Abstract :** Novel structure ultrasonic motors which have cross type stator were designed and fabricated. Driving characteristics of the motors were analyzed and measured by changing the materials of the stator. This ultrasonic motor has stator with hollowed cross bar and the stator rotate the rotor using elliptical displacement of the inside tips. This motion is generated by lateral vibration mode of cross bars. This stator was analyzed by finite element analysis and the ultrasonic motors were made by analyzed results. The larger displacements were obtained, when the Young's modulus was increased and the Poisson's ratio was decreased. The fabricated one has high speed in large Poisson's ratio and Young's modulus. And the torque was increased in high Young's modulus.

**Key Words :** Ultrasonic motor, Piezoelectric, FEM, Rotary motor

#### 1. 서론

압전세라믹이 부착된 두개의 진동유닛을 이용하여 진동자를 회전시키는 초음파 모터가 1973년 H.V.Barth에 의해 고안되었다. 이후 초음파 모터는 압전재료의 발달과 함께 다양한 원리와 형태로 매우 빠른 속도로 발전되고 있다. 전자기 모터와 전혀 다른 원리를 이용하는 초음파 모터는 전자기 코일에 의한 자기장의 유도에 의한 동력원이 아닌 압전 세라믹의 진동을 이용하게 된다. 이러한 원리로 인해 소형 경량이며, 기어를 필요로 하지 않는 구조를 얻을 수 있고 소형에서 비교적 높은 효율을 가지며, 제어 특성이 뛰어나며, 전자기 노이즈가 거의 없고, 저속에서 고토크를 가지는 특징이 있다. 그러므로 일반적인 전자기 모터에서 사용할 수 없는 의료분야나 산업분야에 매우 높은 관심을 유도하였다<sup>[1]</sup>.

본 연구에서는 4개의 L형 스테이터가 로터를 타격하여 회전시키는 cross형의 초음파 모터를 설계하고 스테이터의 재질을 변화시켜 영률과 밀도, 프와송비가 모터의 특성에 미치는 변화를 살펴보았다. 먼저 유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 진동원인 스테이터를 설계 해석하였고 해석된 결과를 바탕으로 각각의 스테이터를 제작하였다. 이를 이용하여 cross형의 초음파 모터를 제작하고 그 특성을 살펴보았다.

#### 2. 본론

##### 2.1 모터의 구조와 원리

그림 1에서는 본 연구에서 고안된 초음파모터의 스테이터의 형태를 보여준다. 스테이터의 폭은 14[mm]이며 길이는

9[mm]인 4개의 L형태로 된 탄성체로 구성되어져 있으며 탄성체의 두께는 2[mm]이고 전체 높이는 7[mm]이다. 이를 재질의 변화에 따라 해석하여 변위특성을 살펴보았으며 제작된 모터와 그 특성을 비교하여 보았다.

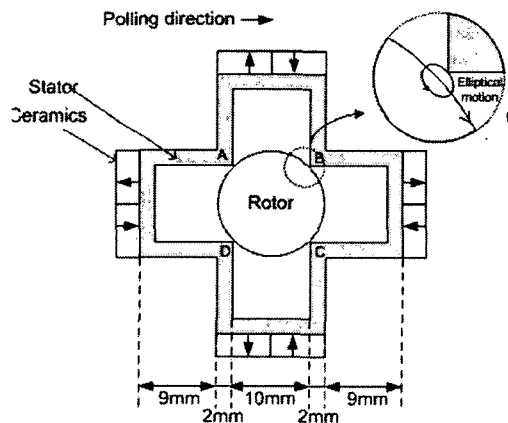


그림 1. Cross형 초음파모터의 스테이터구조

이러한 두개의 보로 이루어진 스테이터의 진동은 그림 2에서와 같이 두개의 다른 위상차를 갖는 전압이 각각의 세라믹에 인가되게 되면 스테이터의 보는 각각 90도의 위상차를 가지는 lateral vibration을 일으키게 되며 이 90도의 위상차에 의해 빔은 A,B,C,D점에서 타원 궤적을 그리며 움직이게 된다. 본 모터에서의 스테이터와 로터의 접촉점을 A,B,C,D라고 하면 90°의 위상차를 갖는 두개의 전압을 인가하였을 때 세라믹의 분극방향과 인가된 전압을 고려하면 각점에서의 변위는 그림 2에서와 같이 서로 교대로 로터에 접촉을 이루게 된다.

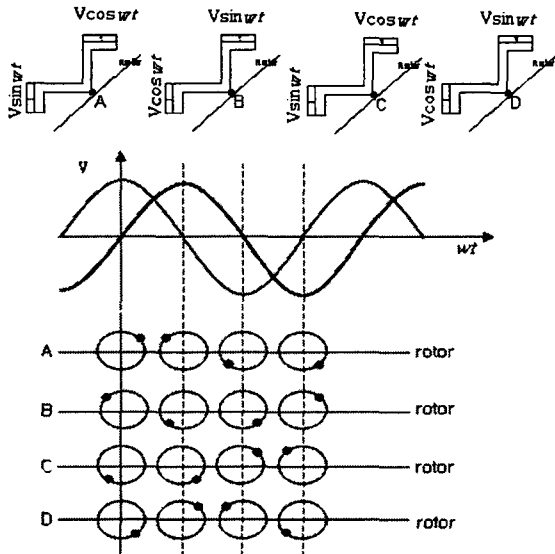


그림 2. 모터의 각점에서의 움직임

### 2.2 스테이터의 설계 및 유한요소 해석

설계된 모형을 바탕으로 스테이터의 폭과 길이의 변화에 대한 모터의 특성을 예측하기 위해 유한요소 해석프로그램인 ANSYS 9.0을 사용하여 스테이터의 변위를 해석하였다. ANSYS를 사용하여 모터를 해석할 때 사용되어지는 압전체의 전기기계 계에 대한 방정식은 다음과 같으며<sup>[2]</sup>

$$\begin{Bmatrix} \{T\} \\ \{D\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [c] & [e] \\ [e]^T & -[E] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{S\} \\ \{E\} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

해석을 위해 사용된 압전 세라믹은 Tokin 사의 NEPEC 6을 사용하였으며 스테이터에 사용되어진 재료의 물성치는 표1과 같다<sup>[3]</sup>.

표 1. Material properties of stator.

	Al	Fe	SUS	Cu
밀도 [kg/m <sup>3</sup> ]	2690	7840	8080	8890
영률 [N/m <sup>2</sup> ]	7.03 × 10 <sup>10</sup>	19.86 × 10 <sup>10</sup>	19.3 × 10 <sup>10</sup>	11.5 × 10 <sup>10</sup>
프와송비	0.34	0.29	0.31	0.31

먼저 전처리 과정으로 그림 1에서와 과 같은 형태로 탄성체에 두께1[mm]의 세라믹을 부착한 형태의 고정자 모델을 모델링 하였다. 표 1.의 물성치와와 solid 5 3-D coupled-field element 요소를 사용하여 고정자 모델을 3차원 meshing하였다. Modal 해석을 이용하여 스테이터의 고유진동수를 찾아내고 harmonic 해석을 이용하여 압전 세라믹에 90도의 위상차를 가지는 전압을 각각의 세라믹에 인가하고 세라믹의 한쪽 면을 고정시킨 후 주파수를 변화시켜 가면서 최대변위를 나타내는 점을 찾아보았다. 해석에 의한 각각의 재료에서 최대 변위를 나타내는 주파수를 표 2에 나타내었다.

표 2. 스테이터의 재료에 따른 공진 주파수

재료	Al	Fe	SUS-T300	Cu
공진주파수	81086[Hz]	73090[Hz]	70795[Hz]	54845[Hz]

Modal 해석을 이용하여 스테이터의 고유진동수를 찾아

내고 harmonic 해석을 이용하여 압전세라믹에 90도의 위상차를 나타내는 전압을 각각의 세라믹에 인가하고 세라믹의 한쪽면을 고정시킨 후 주파수를 변화시켜 가면서 최대변위를 나타내는 점을 찾아보았다. 양쪽끝단의 세라믹에 50[V]의 전압을 인가하고 세라믹의 끝을 고정하였을 때 스테이터의 변위형상은 그림 3과 같다. 로터와의 접촉부에서 스테이터의 A,B,C,D 점이 반시계방향으로 타원궤적의 일으키는 것을 확인할 수 있었으며 로터가 4점에서 교대로 회전력을 얻게 됨을 확인할 수 있다.

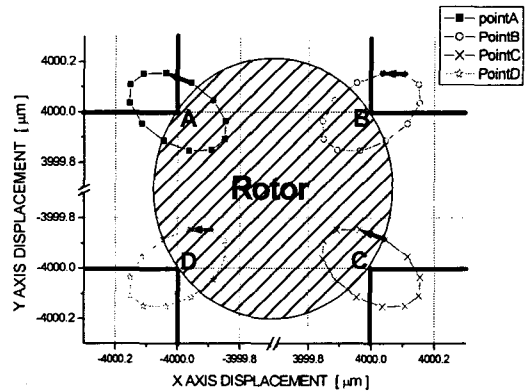


그림 3. 유한요소해석을 통한 로터의 각점의 운동방향

### 3. 실험

해석된 결과를 바탕으로 모터를 제작하기 위해 가로×세로(7×7[mm])의 세라믹을 각각의 고정자에 그림 1에서와 같이 배치하고 접착제(353ND, epotech社)를 이용하여 접착하였으며, 가장자리를 알루미늄 구조물로 고정하였다. 제작된 초음파 모터의 전압의 변화에 따른 속도를 측정하기 위해 주파수발생기(33120A, agilent社)에서 모터의 공진주파수의 사인파를 인가하고, power amplifier(NF, HSA4051)을 이용하여 증폭하였으며 동일한 파형의 전압을 phase shift를 이용하여 90°의 위상차를 주어 변환하여 또 다른 power amplifier를 통해 증폭하였다. 증폭된 전압을 모터에 인가하여 각각의 스테이터의 재료의 변화에 따른 속도를 측정하였다. 그림 4는 제작된 초음파 모터의 내부형태를 보여준다.

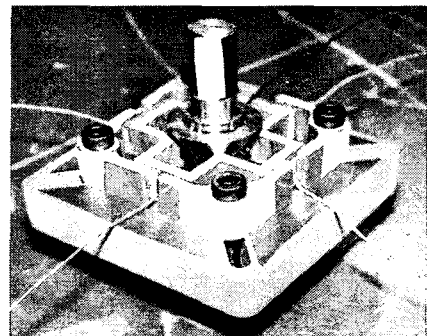


그림 4. 제작된 모터의 내부구조

#### 4. 결과 및 고찰

초음파 모터의 Harmonic해석에서 재료의 변화에 따른 스테이터의 B점의 변위를 그림 5에 나타내었다. 스테이터의 각각의 재질에 따른 변위의 크기는 영률과 프와송비에 비례하여 증가하고 밀도에 반비례함을 알 수 있었다.

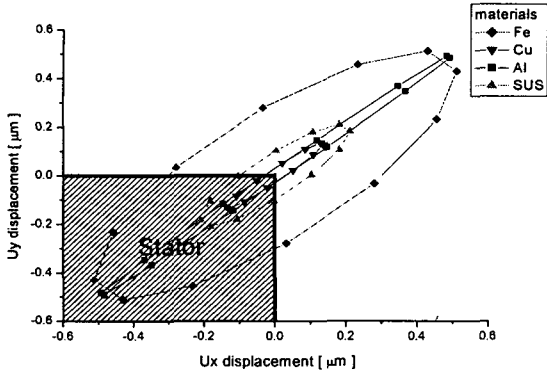


그림 5. 유한요소해석을 통한 스테이터의 A점에서의 변위

이러한 특징을 바탕으로 제작된 초음파 모터의 속도를 살펴보면 타원체적의 크기가 가장 큰 철이 가장 빠른 속도를 나타내었으나 로터와의 법선방향으로의 변위가 크고 접선방향으로의 변위가 적은 알루미늄의 경우 속도가 비교적 느린 것을 확인할 수 있었다. 또한 타 재질로 구성된 스테이터를 사용한 모터에 비하여 회전시의 소음이 매우 컸다.

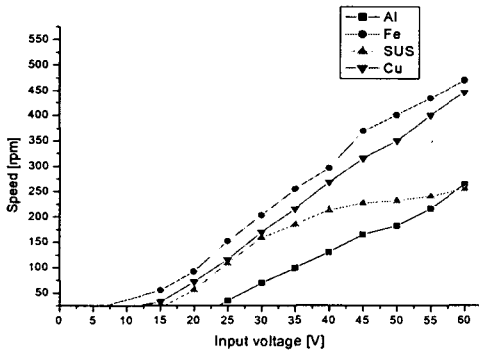


그림 6. 스테이터의 재질에 따른 초음파 모터의 속도

각각의 모터에 1[kg]의 하중을 가하고 구동전압을 변화시켰을 때, 그에 따른 토크의 크기를 그림 7에 나타내었다. 영률이 가장 높은 철이 가장 큰 토크를 나타내었고 가장 낮은 알루미늄의 경우는 그 크기가 미소하여 측정이 불가능 하였다. Cu보다 영률이 보다 높은 SUS-T300의 경우 속도는 Cu에 비하여 낮았으나 토크의 경우 더 높음을 확인할 수 있었다. 이것으로 미루어 보아 다른 재질의 특성에 비하여 영률이 크기가 모터의 토크에 보다 큰 영향을 미치는 것으로 생각되어진다.

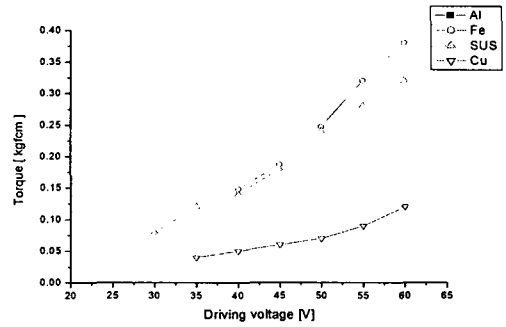


그림 7. 스테이터의 재질에 따른 초음파 모터의 토크

#### 5. 결론

본 연구에서는 새로운 구조의 cross형 스테이터를 가진 초음파 모터를 설계하고 그 스테이터의 재료의 변화가 모터의 속도와 토크의 크기에 미치는 영향을 살펴보았다. 재질을 변화시켜 각각의 스테이터를 해석하였을 때 밀도가 높을수록 낮은 공진주파수를 나타내었으며, 프와송비가 낮고 영률이 높은 재질이 큰 변위를 나타내었다. 실제 모터를 제작하였을 경우 프와송비가 낮을수록 높은 속도를 나타내었고 영률이 높을수록 높은 토크를 나타내었다. 이로 미루어 볼 때 보다 부드러운 재질을 사용할 경우 속도는 높을 수 있으나 탄성이 약할 경우 마찰에 의한 마모가 크며 보다 큰 토크를 얻을 수 없음을 나타낸다. 실제로 알루미늄재질의 경우 구동 시 마찰음이나 마모의 정도가 매우 높았으며 토크의 측정이 불가능할 정도의 매우 적은 값을 나타내었다. 그러므로 마찰에 의해 구동되는 초음파 모터의 경우 일정한 크기 이상의 영률을 가지는 재질을 사용하여 탄성체를 구성하여야 보다 높은 토크와 안정된 모터의 구동특성을 얻을 수 있을 것이라 생각되어진다.

#### 감사의 글

본 연구는 교육인적자원부와 산업자원부의 출연금 및 보조금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업의 연구결과입니다.

#### 참고 문헌

- [1] Toshiku Sashida and Takashi Kenjo, " An introduction to ultrasonic motors", Oxford, 1993.
- [2] Allik, H., and Hughes, J. R., "Finite Element for Piezoelectric Vibration", International Journal Numerical Methods of Engineering, No. 2, pp. 151-157, (1970)
- [3] <http://www.matweb.com>
- [4] Taegone Park, Beomjin Kim, Myong-ho Kim and Kenji Uchino "Characteristics of the First Longitudinal-Fourth Bending Mode Linear Ultrasonic Motors", J.J.A.P., Vol. 45, pp.7139-7144,2002