

## Cross형 초음파 회전모터의 설계에 관한 연구

정현호, 박태근  
창원대학교

### A Study on Design of the Cross Type Ultrasonic Rotrory Motor

Hyon-Ho Chong, Tae-Gone Park  
Changwon National Univ.

**Abstract:** In this study, the ultrasonic motor which has hollowed cross type stator was designed, and the elastic body of ultrasonic motor was optimized by using a finite element analysis program(ANSYS 9.0). When the length of leg(L) of the elastic body was increased and the width of piezoceramics was decreased, the resonant frequency was increased and the displacement of contact point between the rotor and the stator was increased. However, when the length of the leg was over the 1/3 point of the width of ceramics, the displacement of the contact point was decreased, because the elastic buckle was generated in the leg.

**Key Words :** Ultrasonic motor, Piezoelectric effect, FEM, Standing wave

#### 1. 서 론

전자기 모터가 개발된 지 100년이 훨씬 넘었지만 아직도 자기물질이나 초전도물질을 이용한 모터를 대체할 적당한 물질이 개발되지 않아 현재에도 전자가를 이용한 모터가 산업계에 대부분을 차지하고 있다. 그러나 전자기 모터의 경우 소형모터로 제작될 경우 충분한 에너지 효율을 가지지 못한다. 또한 정밀도를 높이기 위해서는 별도의 장치가 필요하다. 그러나 압전세라믹을 이용한 초음파 모터는 그 크기에 관계없이 동일한 수준의 효율을 나타내며 소형에서 고 토크, 고효율의 특징을 나타낸다<sup>[1]</sup>. 초음파 모터는 이러한 전자기 모터와 구분되는 여러 가지 특성에 의해 전자기 모터가 접근할 수 없는 분야로 그 개발이 진행되고 있다. 첫번째는 저속, 고 토크, 고 정밀도의 특징을 이용한 초음파 모터로서 카메라 포커싱이나 공작기계로서의 활용 가능성을 제시하고 있으며, 두번째는 소형화가 용이한 특성을 이용한 핸드폰이나 PDA 등의 휴대용기기의 카메라 모듈로, 셋째는 전자기 발생이 적고 또한 그 영향을 받지 않는 특징을 이용한 의료용으로의 활용에 대한 연구가 진행되고 있다. 그러나 초음파 모터의 연구는 모터의 토크가 커짐에 따른 열 발생, 마모의 증가, 소형화에 따른 토크의 감소 등의 문제를 가지고 있으며 이를 해결하기 위한 다양한 형태와 내구성 강화 등의 연구가 진행되고 있다<sup>[1][2]</sup>.

본 연구에서는 소형화가 용이한 간단한 구조로 회전을 얻을 수 있는 cross형태의 스테이터를 가진 초음파 모터를 설계하고, 유한요소해석프로그램인 ANSYS 9.0을 이용하여 탄성체의 각 부위의 사이즈를 변형하여 cross형 초음파 모터의 최적구조를 유도하였다.

#### 2. 설계 및 실험

##### 2.1 초음파모터의 구조

본 연구에서 고안한 초음파 모터의 구조는 그림 2.1과 같다. 중심에 cross 형태의 탄성체를 구성하고 가장자리에

분극을 달리한 압전세라믹을 부착하여 cross형 탄성체의 중심에 있는 모서리에 타원케적의 발생을 유도하여 로터를 회전시키는 구조이다.

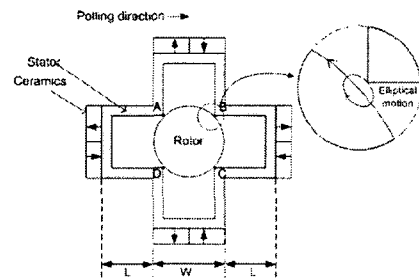


그림 2.1 Cross형 초음파모터의 구조

##### 2.2 Cross형 초음파모터의 원리

탄성체의 각 점에서의 분극방향과 전압의 입력형태에 따른 변위를 그림 2.2에 나타내었다. 그림에서와 같이 탄성체에  $\sin \omega t$ 의 전압을 인가하게 되면

$$y = A \sin\left(\frac{x}{\lambda} 2\pi\right) \sin(\omega t)$$

의 정재파를 발생하게 된다. 여기서 A: 증폭률,  $\lambda$ : 파장,  $\omega$ : 각 주파수이다<sup>[3]</sup>. A점에서 살펴보면 L의 길이를 가진 leg이 부착된  $x_m$ 위치에서 x, y 방향의 변위는

$$dx_a = LA \frac{2\pi}{\lambda} \cos\left(\frac{x_m}{\lambda} 2\pi\right) \sin(\omega t), \quad dy_a = A \sin\left(\frac{x_m}{\lambda} 2\pi\right) \sin(\omega t)$$

이고 수직으로 위치한 b에서의 변위는 다음과 같다.

$$dx_b = K_{y,b} \sin(\omega t + 270^\circ) = -A \sin\left(\frac{x_m}{\lambda} 2\pi\right) \cos(\omega t)$$

$$dy_b = K_{x,b} \sin(\omega t + 270^\circ) = -LA \frac{2\pi}{\lambda} \cos\left(\frac{x_m}{\lambda} 2\pi\right) \cos(\omega t)$$

두 변위를 합치면

$$dx = LA \frac{2\pi}{\lambda} \cos\left(\frac{x_m}{\lambda} 2\pi\right) \sin(\omega t) - A \sin\left(\frac{x_m}{\lambda} 2\pi\right) \cos(\omega t)$$

$$dy = A \sin\left(\frac{x_m}{\lambda} 2\pi\right) \sin(\omega t) + LA \frac{2\pi}{\lambda} \cos\left(\frac{x_m}{\lambda} 2\pi\right) \cos(\omega t)$$

이다. 이를 시간에 따른 그래프로 나타내면 그림 2.3과

같은 타원궤적을 나타내며 화살표는 시작점을 나타낸다. 동일한 방법으로 각점의 입력전압과 분극방향을 고려하여 변위를 구성하면 로터에 교대로 접촉하는 타원궤적을 얻을 수 있다.

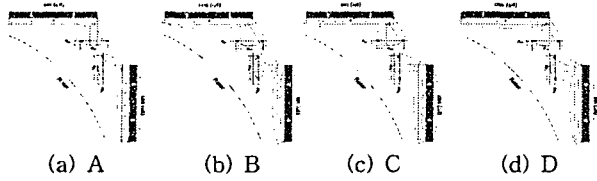


그림 2.2 각점의 구성

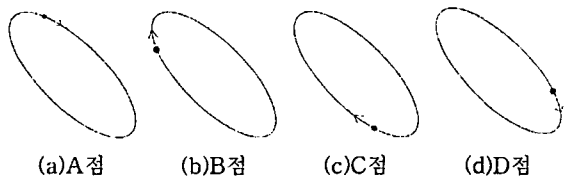


그림 2.3 각점에서의 변위

2.3 초음파 모터의 유한요소해석

설계된 모형을 바탕으로 스테이터의 폭(W)과 길이(L)의 변화에 대한 모터의 특성을 예측하기 위해 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS 9.0을 사용하여 스테이터의 변위를 해석하였다. 해석을 위해 사용된 압전 세라믹은 Tokin 사의 NEPEC-6을 사용하였으며 스테이터의 재질은 SUS-20Cb-3을 사용하였다. 먼저 modal해석을 이용하여 각 모델의 타원궤적의 변위를 일으키는 주파수를 찾고, 그 주파수의 부근에서 harmonic해석을 수행하여 최대 변위를 나타내는 공진주파수를 찾아 그 크기를 살펴보았다. 각 모델사이즈와 최대 변위를 나타내는 주파수(fr)는 표 2.1과 같다.

표 2.1 스테이터 모델의 치수와 공진주파수

Model	L [mm]	W [mm]	fr [kHz]	Model	L [mm]	W [mm]	fr [kHz]
L03W16	3	16	145.5	L04W14	4	14	157.0
L04W16	4	16	131.5	L05W14	5	14	142.0
L05W16	5	16	120.0	L06W14	6	14	125.5
L06W16	6	16	109.5	L07W14	7	14	107.0
L07W16	7	16	98.0	L04W12	4	12	200.0
L08W16	8	16	85.0	L05W12	5	12	180.5
L09W16	9	16	72.5	L06W12	6	12	165.5

3. 결과 및 고찰

그림 2.1에서와 같이 각각  $50\sin\omega t$ ,  $50\cos\omega t$ 의 전압을 모터에 인가하였을 때 스테이터와 로터의 접촉부 A, B, C, D에서의 크기와 진행 방향은 그림 3.1과 같다. 각 점에서 탄성체가 로터와 교대로 접촉함을 확인할 수 있었다.

각 탄성체의 두께(t)를 2[mm]로 고정하고 leg의 길이(L)를 변화시킨 모델의 로터의 접선방향의 변위의 크기를 살펴보면 그림 3.2와 같다. 세라믹의 폭(W)가 증가할수록 변위의 크기가 증가하며 leg의 길이(L)이 증가함에 따른 변위가 증가하다가 다시 감소함을 확인할 수 있었다. 최대 변위는 L의 길이가 W의 약 1/3이 되는 점에서 나타났다.

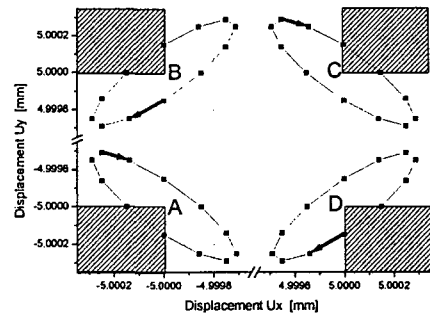


그림 3.1 FEM을 이용한 로터의 각점의 운동방향

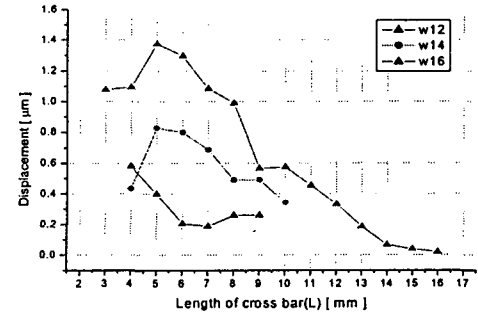


그림 3.2 leg의 길이(L)에 따른 변위의 크기

4. 결론

본 연구에서는 간단한 구조를 가지는 cross형 스테이터를 가진 초음파 모터를 설계하고 유한요소해석프로그램을 이용하여 탄성체의 크기를 최적화 하였다. 유한요소해석 결과 그 변위의 형태는 설계된 이론에서 나타난 변위와 유사한 형태의 타원궤적을 나타내었다. 또한 탄성체의 크기에 따른 해석 결과를 살펴보면 두 변위의 합을 나타내는 수식에서와 같이 탄성체의 leg의 길이(L)이 증가함에 따라 그 변위가 증가함을 확인할 수 있었다. 그러나 그 길이가 세라믹의 폭(W)의 1/3이상 되었을 때 다시 감소함을 확인할 수 있었으며 이는 leg의 길이가 증가함에 leg의 좌굴이 커짐에 의해 변위가 감소하는 것으로 보인다. 그러므로 cross형 초음파 모터의 설계 시 leg의 길이는 오일러의 좌굴공식  $L = \pi\sqrt{EI/P_{crit}}$ 의 범위를 넘지 않는 범위에서 L이 최대일 때 최대 변위를 얻을 수 있을 것이라 생각되어진다.

참고 문헌

[1] 박태근, 김명호, "압전세라믹 리니어 모터의 동작원리와 응용", 전기전자재료학회지, 14권, 4호, p. 8, 2001.  
 [2] T. Sashida and T. Kenjo, "An introduction to ultrasonic motors", Oxford, pp17-23, 1993.  
 [3] Chee Kian Lim, Siyuan He "A Piezo-on-Slider Type Linear Ultrasonic Motor for the Application of Positioning Stages". IEEE/ASME(in USA), pp. 103-108, 1999.