

스테이터의 재질에 따른 Cross형 초음파 회전모터의 구동특성

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

정현호^{1,a}, 박태곤¹

(Hyon-Ho Chong^{1,a} and Tae-Gone Park¹)

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 dependant on stator's materials. And the cross type ultrasonic motors were made by analyzed results. The larger displacements were obtained, when the density of material was decreased. But the stress was increased when the stator's material has large density and Young's modulus. The fabricated one has high speed and torque in large stress on contact point between rotor and stator. The stress was more effected on speed and torque than the displacement.

Key Words : Ultrasonic motor, Piezoelectric, FEM, Rotary motor, Resonant vibration

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 고 토크를 가지는 특징이

있다. 그러므로 일반적인 전자기 모터에서 사용할 수 없는 의료분야나 산업분야에 매우 높은 관심을 유도하였다[1,2].

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.

1. 창원대학교 전기공학과
(경남 창원시 사림동 9)

a. Corresponding Author : sassy9@changwon.ac.kr
접수일자 : 2005. 6. 30
1차 심사 : 2005. 8. 11
심사완료 : 2005. 8. 19

2. 본론

2.1 모터의 구조와 원리

그림 1에서는 본 연구에서 고안된 초음파모터의 스테이터의 형태를 보여준다. 스테이터의 폭은 14 mm

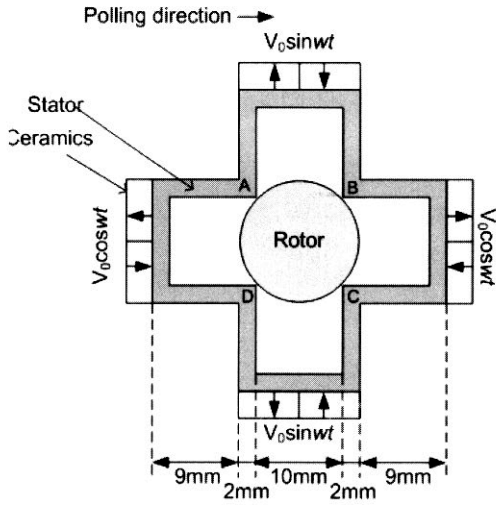


그림 1. Cross형 초음파모터의 스테이터구조.
Fig. 1. Structure of the cross type ultrasonic motor.

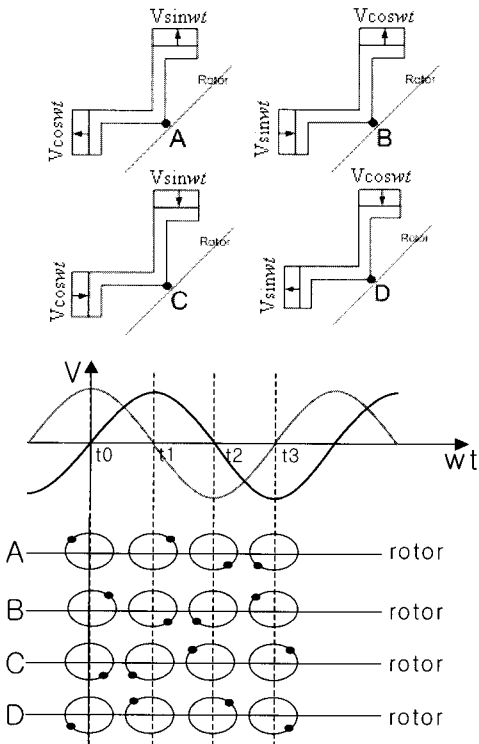


그림 2. 모터의 각점에서의 움직임.
Fig. 2. Elliptical motions of the contact points of the stator.

이며 길이는 9 mm인 4개의 L형태로 된 탄성체로 구성되어 있으며 탄성체의 두께는 2 mm이고 전체 높이는 7 mm이다. 이를 재료의 변화에 따라 해석하여 변위특성을 살펴보았으며 제작된 모터와 그 특성을 비교하여 보았다.

이러한 두개의 보로 이루어진 스테이터의 진동은 그림 1에서와 같이 두개의 다른 위상차를 갖는 전압이 세라믹에 인가되게 되면 각각의 스테이터의 보는 90°의 위상차를 가지는 굽힘진동을 일으키게 되며 이 90°의 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.

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. 해석을 위해 사용된 압전세라믹은 Tokin 사의 NEPEC 6을 사용하였으며 스테이터에 사용되어진 재료의 물성치는 표 1과 같다[3,4].

먼저 전처리 과정으로 그림 1에서와 같은 형태로 탄성체에 두께 1 mm의 세라믹을 부착한 형태의 고정자모형을 모델링 하였다. 표 1의 물성치와 solid 5 element를 사용하여 고정자 모형을 3차원 meshing하였다. Modal 해석을 이용하여 스테이터의 고유진동수를 찾아내고 harmonic 해석을 이용하여 압전세라믹에 90°의 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 1. 스테이터재료의 특성.

Table 1. Material properties of the stators.

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

표 2. 스테이터의 재질에 따른 공진주파수.

Table 2. Resonant frequency of the stators.

재질	Al	Fe	SUS-T300	Cu
공진주파수[kHz]	79.7	78.7	76.7	58.5

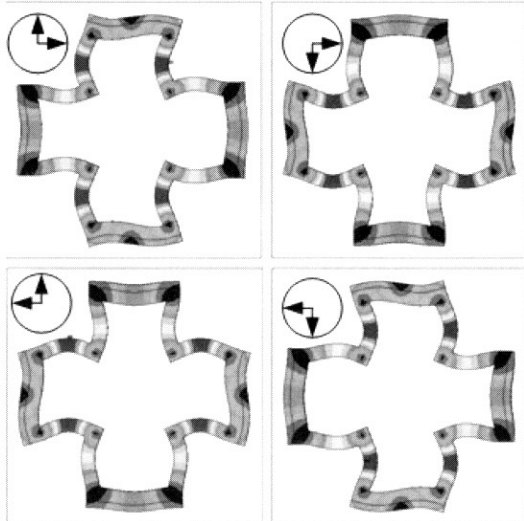


그림 3. 유한요소해석에 의한 스테이터의 변위.
Fig. 3. Displacement of the stator by FEM analysis.

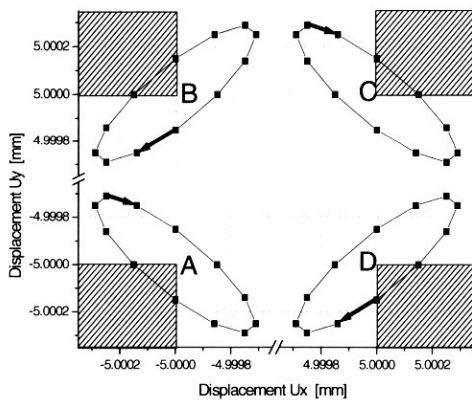


그림 4. 유한요소해석에 의한 로터의 각점의 운동 방향.
Fig. 4. Direction of rotation on each point by FEM analysis.

Modal 해석을 이용하여 스테이터의 고유진동수를 찾아내고 harmonic 해석을 이용하여 압전세라믹에 90°의 위상차를 나타내는 전압을 각각의 세라믹에 인가하고 세라믹의 한쪽면을 고정시킨 후 주파수를 변화시켜 가면서 최대변위를 나타내는 점을 찾아보았다. 양쪽끝단의 세라믹에 50 V의 전압을 인가하고 세라믹의 끝을 고정하였을 때 스테이터의 변위형상은 그림 3과 같으며 그 크기는 그림 4와 같다. 세라믹에서 굽힘진동이 나타남을 확인할 수 있으며 로터와의 접촉부의 스테이터의 A, B, C, D 점이 시계방향으로 로터와 교대로 접촉을 일으키는 타원궤적을 그리며 움직이는 것을 확인할 수 있다.

3. 실험

해석된 결과를 바탕으로 모터를 제작하기 위해 가로×세로×두께(7×7×1 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)를 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 재질의 변화에 따른 속도를 측정하였다. 그림 5는 제작된 초음파 모터의 로터와 스테이터의 형태를 보여준다.

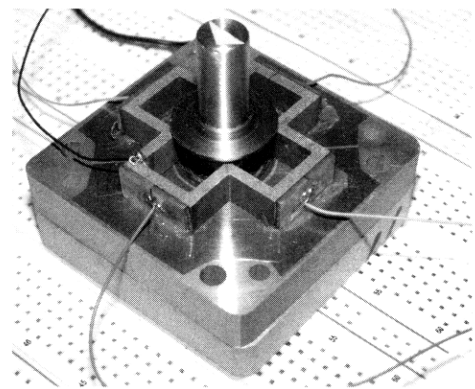


그림 5. 제작된 초음파 모터.
Fig. 5. Fabricated ultrasonic motor.

4. 결과 및 고찰

초음파 모터의 Harmonic 해석에서 입력전압의 한주기 동안의 재질의 변화에 따른 스테이터의 A 점의 변위를 그림 6에 나타내었다. 스테이터의 각각의 재질에 따른 변위의 크기는 밀도에 반비례함을 알 수 있었다. 밀도의 크기가 가장 적은 알루미늄의 경우 변위의 크기가 가장 크게 나타났으며 비슷한 크기의 밀도를 가지는 철과 SUS-T300과 구리의 경우 비슷한 크기를 나타내었다. 그림 7은 입력전압의 한주기 동안의 스테이터의 A점에서의 스트레스의 크기를 나타낸다. 스트레스의 크기는

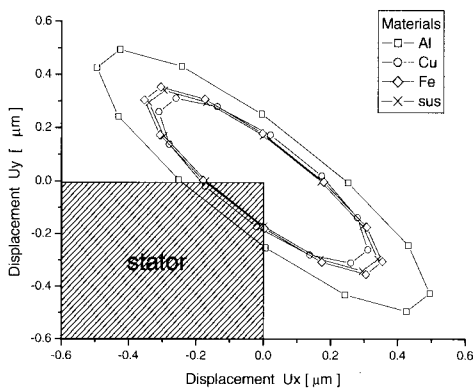


그림 6. 해석에 의한 스테이터의 A점에서의 변위.
Fig. 6. Displacement of stator's point A by FEM analysis.

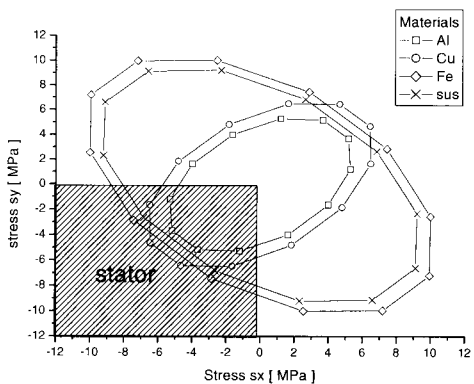


그림 7. 해석에 의한 스테이터의 A점에서의 스트레스.
Fig. 7. Stress of stator's point A by FEM analysis.

영향에 비례함을 보였다.

이러한 특징을 바탕으로 제작된 초음파 모터의 속도를 그림 8에 나타내었다. 타원케일의 크기가 크지만 스트레스의 크기가 작은 알루미늄의 경우 느린 속도를 나타내었으며 스트레스의 크기가 큰 철이 가장 빠른 속도를 나타내었다.

각각의 모터에 1 kg의 부하하중을 가하고 구동전압을 변화시켰을 때, 그에 따른 토크의 크기를 그림 9에 나타내었다. 스트레스의 크기가 큰 철과 스테인리스스틸이 높은 토크를 나타내었으나 스트레스의 크기가 작은 Cu는 낮은 토크를 나타내었

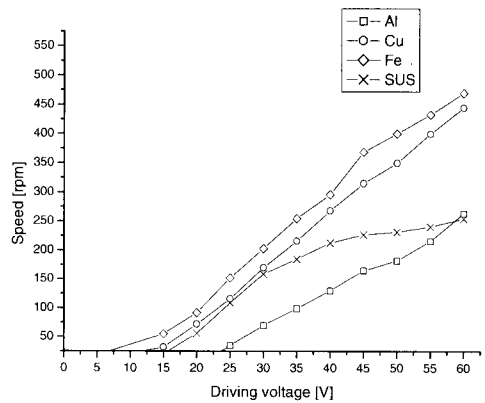


그림 8. 스테이터의 재질에 따른 초음파 모터의 속도.
Fig. 8. Speed of the motors depend on materials.

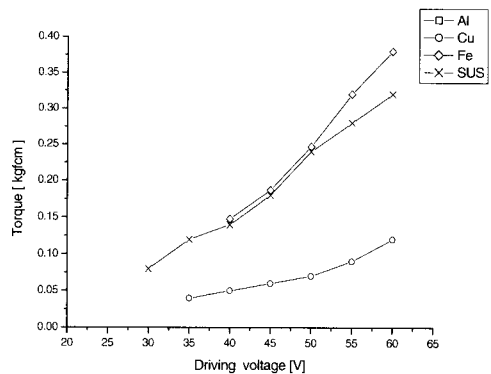


그림 9. 스테이터의 재질에 따른 초음파 모터의 토크.
Fig. 9. Torque of the motors depend on materials.

며 스트레스의 크기가 가장 작은 알루미늄의 경우 그 크기가 작고 변동이 심하여 측정이 불가능하였다.

5. 결론

본 연구에서는 새로운 구조의 cross형 스테이터를 가진 초음파 모터를 설계하고 그 스테이터의 재질의 변화가 모터의 속도와 토크의 크기에 미치는 영향을 살펴보았다. 재질을 변화시켜 각각의 스테이터를 해석하였을 때 밀도가 높은 재질일수록 낮은 공진주파수를 나타내었으며, 밀도가 낮고 프와송비가 높은 재질이 큰 변위를 나타내었다. 하지만 스테이터와 로터의 접촉점에서 발생하는 스트레스의 경우 영률이 높은 재질일수록 그 크기가 증가하였으며 실제로 제작된 모터의 경우 변위의 크기보다 스트레스의 크기가 속도와 토크에 더 큰 영향을 미침을 확인 할 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 하였을 때 마찰에 의해 회전력을 얻는 cross형 초음파 모터의 경우 영률이 높은 재질을 사용하여 탄성체를 구성하는 것이 보다 높은 속도와 큰 토크를 얻는데 유리할 것이라 생각된다.

감사의 글

본 연구는 교육인적자원부와 산업자원부의 출연금 및 보조금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업의 연구결과입니다.

참고 문헌

- [1] 박태곤, 김명호, "압전세라믹 리니어 모터의 동작원리와 응용", 전기전자재료학회지, 14권, 4호, p. 8, 2001.
- [2] T. G. Park, B. J. Kim, M. H. Kim, and K. Uchino, "Characteristics of the first longitudinal-fourth bending mode linear ultrasonic motors", J.J.A.P., Vol. 45, No. 9B, p. 7139, 2002.
- [3] H. Allik and J. R. Hughes, "Finite element for piezoelectric vibration", International Journal Numerical Methods of Engineering, Vol. 13, No. 2, p. 151, 1970.
- [4] Matweb, automation creations, Inc., <http://www.matweb.com>, 1996-2005.