

양면 Teeth 구조를 가지는 진행파 회전형 초음파 모터의 고정자 설계 및 제작

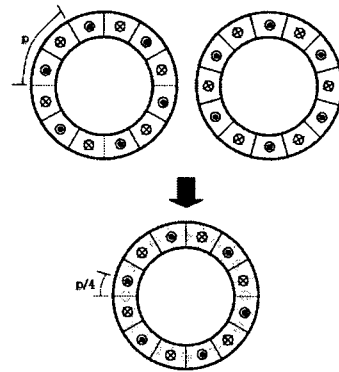
오진현, 임종남, 이종섭*, 임기조
충북대학교, 경기지방 중소기업청

Fabrication of two sided stator of traveling wave rotary USM

Jin-Heon Oh, Jong-Nam Lim, Jong-sub Lee*, Kee-Joe Lim
Chungbuk National University, Gyeonggi Province SMBA*

Abstract - A stator of ultrasonic motor of high torque with a new configuration is proposed. The stator designed newly is two-sided vibrator consisting of toothed metal disk with piezoelectric ceramic ring bonded on both face of disk, which generates a flexural traveling wave along the circumference of disk. it produces a large vibrating force and amplitude because the vibrator is sandwiched by two piezoelectric ring. The finite element method was used to compute the vibration mode of the stator with a outer diameter of 48mm. A 6th vibration mode was chosen as operation mode with resonance frequency about 72kHz. According to the design, the prototype stator was fabricated and its performance was measured.

압전소자를 사용할 때보다 진동의 전달효율이 개선되어 여진되는 진동의 진폭을 증가시킬 수 있다.



〈그림 2〉 압전소자의 형상, 분극 및 고정자 배치 형태

1. 서 론

초음파 모터 구동의 핵심은 압전소자의 초음파 진동을 고정자와 회전자 사이의 마찰력으로 변환하여 이를 매개로 하는 추력을 얻어내는 데에 있다. 따라서 압전소자의 진동메커니즘, 탄성체의 형상, 압전소자와 탄성체의 접합 및 고정자와 회전자간의 접촉특성 등은 초음파 모터의 성능을 결정하는 중요한 설계요소가 된다. 초음파 모터는 전자식 모터와 다른 구동 메커니즘과 구조적 특성을 보이기 때문에 기존의 전자식 모터가 이용되기 어려운 영역에서의 사용을 기대할 수 있지만 현실적으로는 여전히 산업계에서 요구하는 수준의 충분한 토크와 출력을 제공하지 못하여 산업응용의 측면에 있어서 많은 제한을 받고 있다. 따라서 토크와 출력을 증가시켜 모터의 성능을 개선하기 위해 전술한 설계요소를 포함하여 많은 부분에 대한 연구요구가 늘어나고 있는 실정이다. 본 연구에서는 모터의 토크 특성을 향상시키기 위하여 Teeth구조를 탄성체의 상하 양면에 설치하고 두 개의 압전소자를 부착한 형태의 진행파 여진용 고정자를 설계, 제작하여 그 특성을 분석하였다.

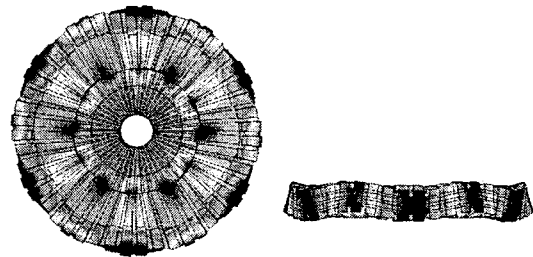
2.2 고정자 진동의 해석 시뮬레이션

고정자의 동작특성을 공진주파수 분석과정(Modal Analysis)과 진동 정상상태 해석(Harmonic Analysis)을 이용하여 수치적으로 해석하였다. 여기에는 유한요소해석 프로그램 ATILA-GID를 사용하였다. 해석하고자 하는 고정자의 형상에 있어서 Modal Analysis를 통하여 6차의 진동차수의 공진주파수를 구한 후 그 주파수의 교류전압을 인가하고 Harmonic Analysis를 수행하여 고정자의 변위분포를 그래프로 구원하였다. Modal Analysis에 의한 해석결과 B16 공진모드에서 72kHz의 공진주파수가 계산되었으며 이 동작주파수에서 Harmonic Analysis를 실행한 결과 변위분포가 〈그림 3〉과 같은 형태로 나타났다.

2. 본 론

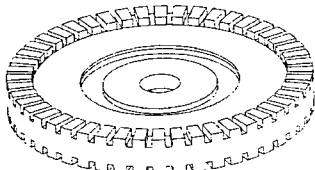
2.1 구조 및 동작원리

설계한 고정자의 형상이 〈그림 1〉에 나타나 있다. 탄성체는 상하 양면에 각각 48개의 Teeth를 갖도록 설계하고 압전소자는 원환모양으로 탄성체의 상하 양면에 각각 1개씩 부착하였다. 6파장의 진행파를 얻을 수 있도록 12개의 세그먼트로 나누어 1/2파장마다 방향을 반전시켜 분극 하였으며, 상하 양면의 압전소자는 1/4파장의 공간적인 위상차를 두고 부착되어 있다. 상하 양면의 압전 소자 중 한 쪽 면에는 $\sin \omega t$, 다른 한 쪽 면에는 $\cos \omega t$ 의 교류신호를 인가하면 각각의 압전소자는 정재파를 발생하게 되고 양면의 시간적, 공간적으로 직교관계를 가지는 두 정재파가 합성되어 탄성체에는 진행파가 형성된다.



〈그림 3〉 유한요소해석 프로그램(ATILA-GID)에 의해 해석된 변위분포

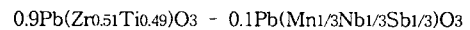
안쪽에서 나타나는 변위분포는 압전소자의 진동에 의한 변위이고 가장자리 부분이 Teeth의 변위분포가 된다. 그림에서 보는 바와 같이 압전소자와 탄성체의 Teeth간에 발생하는 진동의 위상차는 180도가 된다. Teeth 부근의 변위를 살펴보면 Teeth 전체에 나타나는 것이 아니라 가장자리부분으로 변위가 집중되고 있음을 알 수 있다.



〈그림 1〉 고정자의 형상

2.3 고정자의 제작

시뮬레이션 해석결과를 기초로 하여 실제 고정자를 제작하였다. 탄성체의 재질로는 인칭동을 사용하였고, 외경 48mm, 두께 2.4mm, Teeth의 높이는 상하 각각 1.3mm로 제작하였다. 압전소자는 PZT-PMNS 세라믹을 사용하였다. 압전세라믹의 조성비는 다음과 같으며, 재료정수를 <표 1>에 나타내었다.

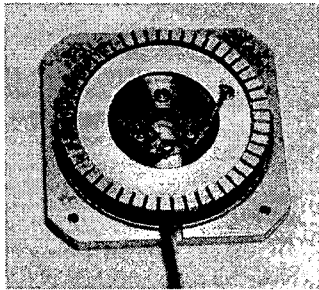


기존 한 면의 Teeth 구조를 가지는 고정자를 사용한 초음파모터의 경우, 압전소자의 반경은 고정자에 접촉되는 회전자의 반경과 동일하여 압전소자의 진동은 초음파 모터의 구조적 특성에 기인하는 회전자에 의한 가압력 때문에 직접적인 제한을 받게 된다. 그러나 본 연구에서 설계된 고정자는 회전자의 반경이 압전소자의 외경보다도 크기 때문에 고정자와 회전자가 접촉하는 부분이 압전소자의 위치보다 바깥쪽에 있으므로 회전자의 가압력에 대한 영향이 감소하고, 하나의 탄성체에 두 개의 압전소자가 양면으로 겹쳐지므로 하나의

압전세라믹의 경우 외경 40mm, 내경 25mm, 두께 0.5mm의 원환형으로 가공하여 탄성체의 양면에 부착하였다. 그 구체적인 형태는 다음의 〈그림 4〉에 나타나 있다.

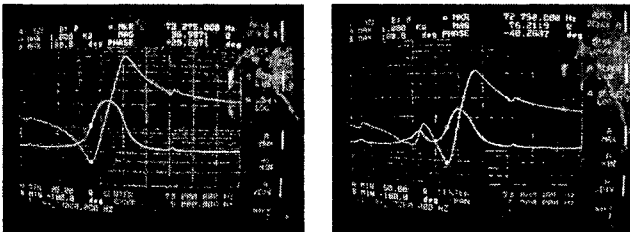
<표 1> PZT-PMNS 세라믹의 압전 및 유전특성

Characteristics	Units	Value
Electro-Mechanicacoupling factor, k_p	%	58
Mechanical quality factor, Q_m		1500
Piezoelectric constant d_{31}	pC/N	340
	d_{33}	pC/N
Frequency constant N_p	Hz·m	2100
Relative dielectric constant		1300



<그림 4> 실제 제작된 고정자의 모습

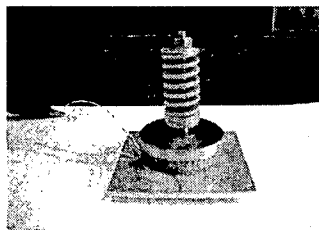
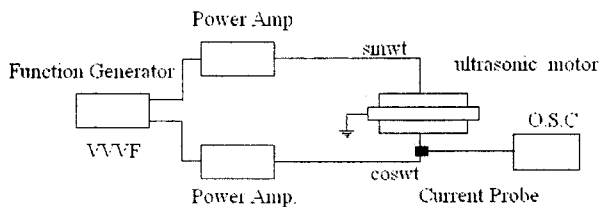
Impedance Analyzer를 이용하여 기계작된 고정자의 공진주파수를 측정 한 결과 상하 양면 각각 72.3kHz, 72.7kHz로 시뮬레이션 해석결과와 대체로 비슷하였으나 양면의 압전소자의 공진주파수와 임피던스 특성이 완벽하게 일치하지는 않았다. 이는 탄성체와 압전소자의 접착공정에서의 정밀도를 완벽하게 확보하지 못하였기 때문으로 생각된다.



(왼면) (아랫면)
<그림 5> 압전소자의 주파수에 따른 임피던스 특성 측정

2.4 성능의 측정

<그림 5>와 같이 고정자의 진동특성을 확인하기 위한 시스템을 구성하였다. 양면의 압전소자에는 120Vrms, 72kHz의 교류전압을 인가하였고, 고정자와 결합된 회전자에는 300N의 힘을 가하였다.

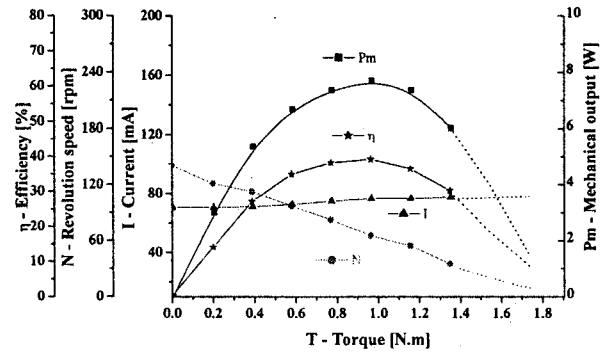


<그림 6> 고정자의 성능 측정을 위한 시스템 구성

측정 결과 정지 토크는 약 1.8Nm, 최대 무부하속도는 약 140rpm이었으며, 최대효율은 정지 토크의 약 60%에서 37%, 최대출력은 약 7.7W였다. 이를 <그림 7>의 출력 특성곡선에 표현하였고, 고정자의 성능을 가늠하기 위하여 기존에 제작된 단면 Teeth 구조를 갖는 모터들의 주요 제원과 비교하여 <표 2>에 나타내었다.

<표 2> 제작된 고정자와 생산되는 제품들과의 성능 비교

Characteristics	Units	This work	USR60	USR30
Diameter(motor size)	mm	48	60	30
Operating voltage	Vrms	120	130	100
Rotational speed(no load)	Rev/min	140	150	300
Maximum Torque	N m	1.8	1	0.1
Remarks		Two sided stator	Shinsei Co., One sided stator	



<그림 7> 고정자의 출력 특성 곡선

3. 결 론

본 연구에서 제작한 고정자는 회전자와 접촉하는 Teeth 구조의 위치가 압전소자의 바깥쪽으로 부착되도록 설계됨으로써 압전소자의 진동을 초음파 모터의 구조적인 면으로부터 자유롭게 할 수 있다. 또한 압전소자를 Sandwich형태로 배치함으로써 고정자의 표면적을 최대한 이용하여 진동을 발생시키기 때문에 고정자 내 압전소자가 미부착된 부분에서의 불필요한 에너지 손실을 줄이게 되므로 압전소자의 진동을 최대한으로 이용하여 회전자에 추력을 전달하게 된다. 이는 연구결과에서도 나타났듯이 토오크 특성의 개선으로 연결된다.

즉, 모터의 크기와 중량을 증가시키지 않고도 고정자를 적절히 설계하여 고 토크를 얻는 것이 가능하다. 압전소자의 진동메커니즘에 관한 연구와 병행하여 효율적으로 진동을 전달할 수 있는 고정자의 최적의 설계기술을 확보하는 것이 초음파 모터의 성능을 향상시키고 그 응용범위를 확대하는 첩경이 될 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Timothy. S. Glenn and Nesbitt. W. Haghood "Development of a two sided piezoelectric rotary ultrasonic motor for high torque", SPIE Vol. 3041, p. 326-338, 1997.
- [2] R. Inaba et al. "Piezoelectric ultrasonic motor", IEEE Ultrasonic Symposium, p. 747-756, 1987
- [3] A Frangi et al. "Finite element modelling of a rotating piezoelectric ultrasonic motor", Ultrasonics, vol. 43, Issue 9, p. 747-755, 2005
- [4] Y. Chen et al. "A traveling wave ultrasonic motor of high torque", Ultrasonics, vol. 44 Supplement 1, p. e581-e584, 2006