

유한요소법을 이용한 초음파 모터의 설계 해석

정현호, 박태곤, 김명호
창원대학교

Design and Analysis of Ultrasonic Motor Using Finite Element Method

Hyon-ho Chong, Tae-gone Park, Myung-ho Kim
Changwon National Uni.

Abstract

This paper presents design and analysis of stator which is vibration source of ring-type ultrasonic motor. The stator were designed for 9th flexural vibration mode. Designed stator was simulated by FEA for changing its materials. As results, the resonance frequencies of stators were changed by Poisson's ratio and density. And higher displacement were obtained by using the materials of low Young's modulus. Using the results, can easily design and manufacture the stator of ring type ultrasonic motor. And we suppose that it can save the time and finances.

Key Words : 초음파 모터, ring-type, 진행파, 굴곡진동, stator

1. 서론

압전현상은 1880년 P.Curie와 J.Curie형제가 전기석에서 압전효과발명하면서 그 역사가 시작되었다. 그 후 다양한 압전재료에 대한 연구가 진행되었으며 초음파 모터, 압전변압기, 초음파 센서등 그 적용 분야가 계속 확대되어 가고 있다^[1].

압전세라믹을 이용한 초음파 모터는 압전 재료의 발달에 따라 이용범위와 성능이 매우 빠른 속도로 발달되고 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, 구조가 간단하고 높은 효율을 가지며, 기어를 필요로 하지 않아 제어 특성이 뛰어나며, 전자기 노이즈가 매우 적으며, 저속에서 고 토크를 가지는 특징이 있다. 그러므로 일반적인 전자기 모터에서 사용할 수 없는 의료분야나 산업분야에 매우 높은 관심을 유도하였다.

Ring-type 초음파 모터의 경우 일본의 Cannon사가 실용화를 위해 고안하여 카메라의 포커싱 등, 광학용으로 현재 사용되고 있다. ring-type 초음파 모터의 경우 두 번의 에너지 전달을 거쳐 회전자

를 움직이게 되는데, 그림 1에서 보는 바와 같이 압전세라믹이 스테이터(stator)의 아랫부분의 적당한 위치에 배치되어 스테이터를 진동하게 된다. 여기서 중요한 것은 초음파 전동기의 경우 스테이터에서 발생하는 파가 정재파(sanding wave)가 아닌 진행파(travelling wave)가 되어야 한다는 것이다. 유한한 길이의 보의 경우 끝부분의 파가 반사되어 정재파가 발생하므로 무한한 길이의 효과를 얻기 위해 보를 ring 형태로 만들어 주게 된다. 그러나 이러한 경우 발생한 파가 양방향으로 발생하여 방향성을 얻지 못하므로 두 개 이상의 압전세라믹을 적당한 위치에 부착하여 주파수를 인가하게 되면 방향성을 가지는 진행파를 발생하게 된다. 이러한 원리에 의해 압전세라믹의 진동에너지가 스테이터의 진행파로 변환되게 되고, 이 진행파에 의해 발생한 로터의 굴곡진동(flexural vibration)이 파의 진행방향과 반대방향으로 로터를 회전시키게 된다^[2].

본 논문에서는 이러한 ring-type 초음파 모터의 진동원인 스테이터를 설계하여 유한요소 해석법을 이용하여 재료의 변화에 따른 진동특성을 살펴 보았다. 먼저 범용화된 유한요소해석프로그램인 ANSYS 5.5.1을 통해 스테이터의 세라믹 배치에 따른 적당한 굴곡 진동모드의 주파수를 mode 해석

을 통해 찾아내고, 그 주파수에서의 입력에 따른 출력특성을 harmonic 해석을 통해 알아보았다.

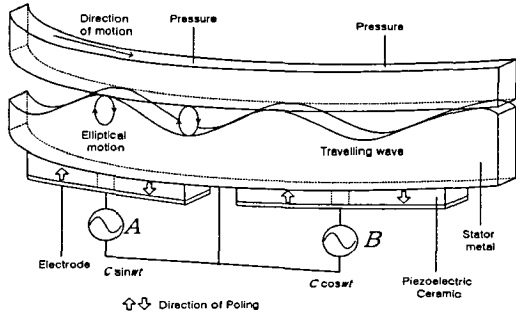


그림 1. 진행파형 초음파모터의 원리

2. 본 론

2.1 모터의 구조와 원리

그림 2는 Sashida에 의해 설계된 진행파형 초음파 모터의 구조이며 그림에서와 같이 분극이 된 압전세라믹을 스테이터의 아래쪽에 배치하고 A쪽의 세라믹에 $\cos \omega t$ 의 주파수로 $V_0 \cos \omega t$ 의 전압이 인가하고 B쪽에 $\sin \omega t$ 의 주파수로 $V_0 \sin \omega t$ 의 전압을 인가하여 한파장을 λ 로 하였을 때 A쪽과 B쪽에 $1/4\lambda$ 의 위상차를 주어 진행파를 발생시킨다. A쪽과 B쪽은 각각 8개의 세라믹이 배치되어 있으며 링 전체에 9차의 굴곡진동을 일으키게 된다^[3].

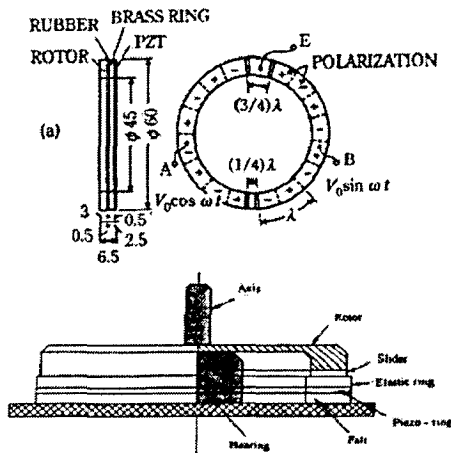


그림 2. 진행파형 초음파 모터의 구조.

본 논문에서 설계한 초음파 모터의 스테이터에서 발생하는 굴곡진동모드 역시 9차의 굴곡진동모드를 이용하였다.

2.2 스테이터의 유한요소 해석

초음파모터의 진동원인 스테이터를 해석하기 위해 먼저 전처리 과정으로 지름 50[mm]이고 폭이 10[mm], 두께 5[mm]의 스테이터 링의 아랫부분에 0.5[mm]두께의 압전세라믹을 그림 3과 같은 형태로 부착되어 있는 스테이터를 설계하였다. 여기에서 사용된 압전 세라믹은 Tokin 사의 NEPEC 6을 사용하였으며 스테이터의 재질은 알루미늄, 철, 티타늄, 베릴륨동(BeCu)을 사용하였고 각각의 물성치는 표 1, 2와 같다. 스테이터의 각각의 재질의 변화에 대한 변위특성을 비교하여 보았다.

표 1. 압전세라믹의 물질상수

$c_{11}^E (\times 10^{10} [N/m^2])$	13.2	c_{12}^E	7.1
c_{13}^E	7.3	c_{22}^E	13.2
c_{23}^E	7.3	c_{33}^E	11.5
c_{44}^E	3.0	c_{55}^E	2.6
c_{11}^E	2.6		
$e_{13} (C/m^2)$	-4.1	e_{23}	-4.1
e_{33}	14.1	e_{52}	10.5
e_{61}	10.5		
$\epsilon_{11} (\times 10^9 [F/m])$	7.214	ϵ_{22}	7.214
ϵ_{33}	5.841		
Density	7730 [kg/m ³]		

표 2. 스테이터 링의 물질상수

	Al	Fe	Ti	BeCu
밀도 (Kg/m ³)	2690	7840	4510	8250
영률 (N/m ²)	7.03×10^{10}	19.86×10^{10}	9.93×10^{10}	11.2×10^{10}
프와송비	0.34	0.29	0.3	0.3

설계된 스테이터의 9차 굴곡진동모드의 주파수를 얻기 위해 압전세라믹에 전압을 인가하지 않은 무부하 상태에서 modal 해석을 시행하였다. 일반적으로 연결된 링에 진동을 가할 때 양쪽방향으로 발생하는 정재파는 다음 식으로 표현 할 수 있

며

$$u(\theta, t) = A \sin n\theta \cos \omega t$$

진행파의 경우

$$u(\theta, t) = A \cos(n\theta - \omega t)$$

와 같다.

그러므로 진행파는 두개의 정재파를 겹침으로써,

$$u(\theta, t) = A \cos n\theta \cos \omega t + A \cos(n\theta - \pi/2) \cos(\omega t - \pi/2)$$

으로 표현 할 수 있으며 각의 굴곡진동모드에 따른 링에서의 파장의 위치는 그림 3과 같다.

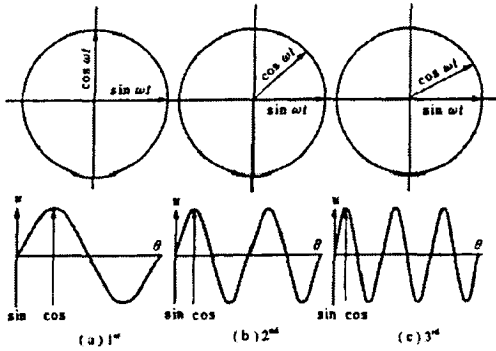


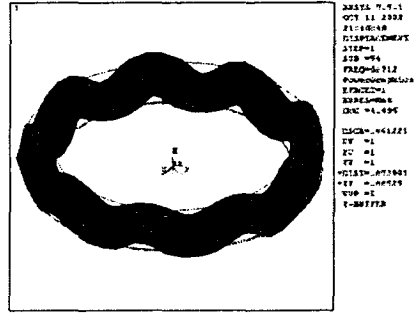
그림 3. 스테이터 링에 전달되는 파장의 위치.

3. 결과 및 고찰

modal 해석에 의한 진동체의 공진주파수는 표 3과 같다. 공진주파수의 제곱은 밀도에 반비례하고 영률에 비례하는 관계에 있으므로 영률이 가장 큰 철이 가장 높은 공진 주파수를 가지며 밀도가 가장 큰 BeCu가 가장 낮음을 알 수 있다^[2]. modal 해석에서의 나타난 스테이터의 변위 형상은 그림 4와 같으며 여기에서는 철의 9차 굴곡진동 모드를 나타낸 것이다. n번째 진동모드를 이용한다면 진행파를 얻기 위해 스테이터의 굴곡부위에 (n+1)×2개의 세라믹을 배치하게 된다.

표 3. 스테이터의 재질에 따른 공진 주파수^[4]

진동모드	공진주파수[Hz]			
	Al	Fe	Ti	BeCu
5차	23555	23783	22111	17727
6차	33314	33628	31281	25089
7차	44179	44611	41503	33279
8차	56116	56642	52700	42220
9차	68868	69712	64736	51916



로터와 스테이터의 마찰손실이 크게 되므로 모터의 수명이 짧아지고 효율이 감소하게 될 것이라 예상된다.

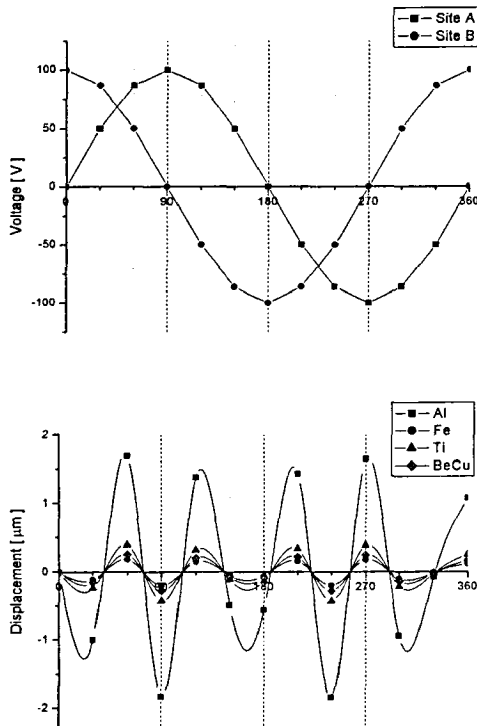


그림 6. 정현파 인가에 따른 스테이터의 변위.

4. 결론

본 논문에서는 ring-type 초음파 모터에 주요 동력원인 스테이터의 재질에 따른 특성을 유한요소 해석법을 통하여 살펴보았으며, 그 특성은 다음과 같다.

- 1) 재료의 밀도가 낮고 프와송비가 높은 재료일수록 높은 공진주파수를 나타내었으며 각각의 n 번째 공진주파수에서 그 증가량이 일정한 크기로 증가하는 양상을 보였다.
- 2) 스테이터의 변위는 재료의 영률에 반비례하고 프와송비에 비례하여 증가하였다. 그러나 이것은 단순히 스테이터의 특성만을 살펴본 것으로 이러한 특성을 실제 모터에 적용하기 위해서는 로터와의 접촉을 고려하여 해석하는 것이 필요할 것이라 사료된다.

유한요소 해석법을 통해 스테이터에 사용될 수

있는 재료의 주파수특성, 변위특성등을 살펴볼 수 있었으며 로터와의 접촉까지 고려하여 해석을 수행할 경우 보다 다양한 초음파 모터의 출력특성을 얻을 수 있을것이며 보다 손쉽게 초음파 모터를 설계 제작할 수 있을 것이라 사료된다.

참고 문헌

- [1] 김호기, "전자세라믹재료" 반도체판사, pp.70-78,1991.
- [2] Toshiku Sashida and Takashi Kenjo, "An introduction to ultrasonic motors", Oxford, 1993.
- [3] Kenji Uchino, "Ferroelectric Devices", Marcel Dekker, Inc., pp.208, 2001.
- [4] Ei'ichi Ando, "Finite-Element Simulation of Transient Heat Response in Ultrasonic Transducers", IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency control, Vol. 39, No. 3, May 1992.