

종-비틀림 진동모드를 이용한 회전형 초음파 진동자의 유한요소 해석

FEA of Rotary Type Ultrasonic Vibrator using Longitudinal-Torsional Vibration

정동석, 박태근, 김명호*

(Dong-Seok Jeong, Tae-Gone Park, Myung-Ho Kim)

Abstract

In this paper bolt-tightened Langevin type vibrator was designed using longitudinal-torsional vibration. These two vibrations make rotary displacement at the end of the vibrator. ANSYS was used to determine shape and dimension of the vibrator in addition to resonant frequency, displacement and stress distribution. This kind of vibrator can be applied for a brakeless and gearless rotary motor which has high torque at low speed.

Key Words : longitudinal-torsional vibration, Langevin type vibrator, FEA, ANSYS

1. 서 론¹⁾

최근 압전 세라믹 기술의 발달에 따라 기존의 전자기 모터와는 다른 특징을 갖는 초음파 모터에 대한 관심이 증대되고 있다. 초음파 모터는 전기입력에 의하여 발생한 미소한 탄성진동을 물체간의 마찰에 의해 구동시키는 모터이다. 전자기식 모터에 비하여 변속기어와 브레이크가 없는 간단한 구조로써 소형, 경량화가 가능하고, 저속에서 높은 토크를 발생하므로 여러 분야에 적용이 가능한 장점을 가지고 있다.^[1] 초음파모터의 공진주파수 및 공진모드에 따른 변위량 해석 및 모델의 설계에 유한요소법이 유용하게 사용되고 있다.^[2] 본 논문에서는 봉의 종 진동과 비틀림 진동을 이용하여 진동자의 종단면에 회전변위를 발생시키는 볼트조임 란주반형 진동자를 설계하였다.^[3] 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS 5.5를 이용하여 진동자의 형상에 따른 공진주파수를 해석하였고, 인가전압의 변화에 따른 변위의 형상을 알아보았다.

2. 본 론

2.1 진동자의 설계

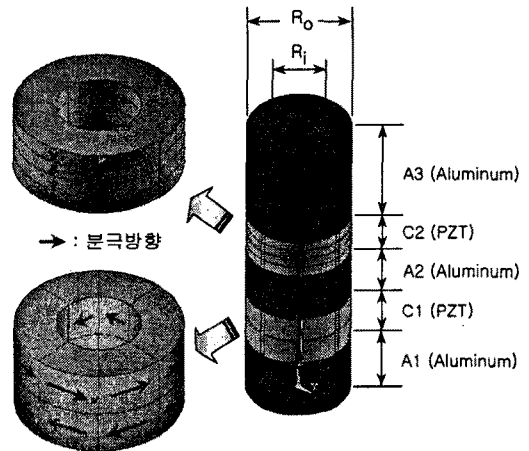


그림 1. 진동자의 구조

Fig. 1. Structure of the vibrator

그림 1.은 본 연구에서 설계한 진동자의 구조이다. 그림 2.와 같이 원주방향으로 분극시킨 PZT 판을 2층으로 접합시켜 기존의 란주반형 진동자의

창원대학교 전기공학과

* 창원대학교 세라믹공학과

(창원시 사림동 9번지 창원대학교)

Fax: 055-263-9956

E-mail : jds1224@hanmail.net

아래 부분에 첨가하였다. 위층의 PZT는 붕의 종방향 진동을 일으키고, 아래층의 PZT는 붕의 비틀림 방향 진동을 발생시킨다. 이 결과 붕의 끝에서는 종진동과 비틀림 진동의 합성으로 한 방향으로의 회전운동이 발생된다. 즉 종방향 변위를 주로 이용하던 기존의 란쥬반형 진동자를 개조하여 회전운동을 발생시킬 수 있었다. 표 1.과 2.는 진동자의 구조에 따른 각 부분의 치수를 및 재료정수를 각각 나타내었다.

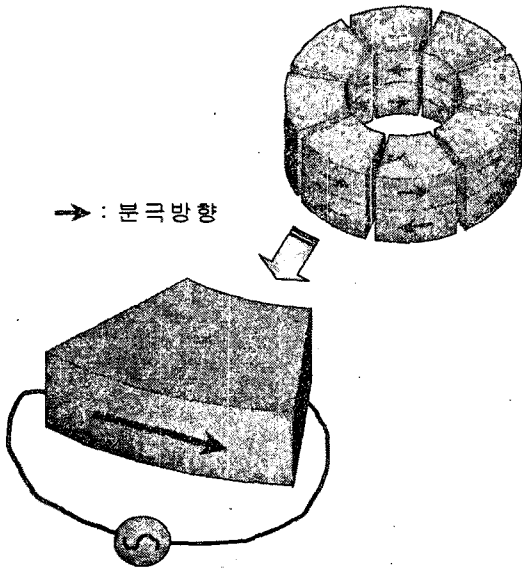


그림 2. 분극방향 및 전원 연결
Fig. 2. Poling direction and connection of source

표 1. 진동자의 치수
Table 1. Size of vibrator [mm]

	A1	C1	A2	C2	A3	R _i	R _o
[mm]	6	4	5	4	10	5	10

표 2. 재료 정수
Table 2. Material characteristics

	PZT	Aluminum
Young's Modulus E [N/m ²]	7.6×10^{10}	7.6×10^{10}
Poisson Ratio σ	0.33	0.3
Density ρ [kg/m ³]	7600	2700

2.2 유한요소 해석

초음파모터의 공진주파수 및 공진모드에 따른 변위량 해석 및 모델의 설계를 위해 범용 유한요소 해석 프로그램인 ANSS 5.5를 이용하였고, 그 방법은 그림 3.과 같은 순서에 의하여 실시하였다. 해석에 이용된 요소로는 coupled-field 와 3-D 해석을 위해 PZT는 SOLID5, 알루미늄은 SOLID45를 이용하였다.

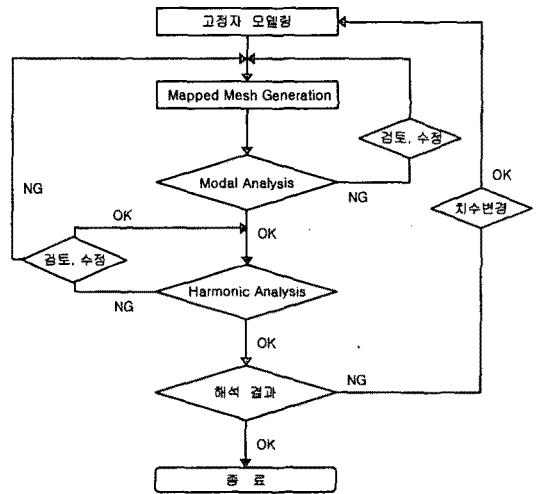


그림 3. 유한요소 해석의 순서도
Fig. 3. Flow chart of FEA

진동자는 3차원으로 모델링 하였고, 외부 구속조건이 없는 상태로 전압 100[Vrms]인 상태로 해석을 실시하였다. C2의 전체길이를 고정된 상태에서 PZT 적층수와 각 층의 두께를 표 3.과 같이 변화시켰을 때 진동자의 변위 및 주파수변화는 표 4.와 같았다. 이때 변위의 측정은 진동자 종단의 한 절점의 값으로 하였으며, 주파수는 최대 변위를 나타낼 때의 값이다. 변위의 값이 음으로 나타나는 것은 그 축에 대한 음의 방향으로의 증가를 나타내는 것이다.

표 3. PZT 적층수 및 두께
Table 3. Number of layers and thickness of PZT

	C-2-2	C-1-4	C-0.5-8
적층수	2	4	8
각 층의 두께	2[mm]	1[mm]	0.5[mm]

표 4. PZT 적층수 변화에 따른 주파수 및 변위
Table 4. Resonant frequency and displacement due to the number of layers

	C-2-2	C-1-4	C-0.5-8
Fr	40380	40386	40395
Ux	0.16723E-06	0.21437E-06	0.11772E-05
Uy	-0.45958E-06	0.58878E-06	-0.42771E-06
Uz	0.40758E-07	0.80129E-07	0.15863E-06
Usum	0.49075E-06	0.63169E-06	0.12625E-05

그림 4는 표 4. PZT 적층수 변화에 따른 주파수 및 변위의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. PZT 적층수 변화에 따라 주파수의 변화는 거의 일어나지 않았지만, 변위는 비례하여 증가하였다.

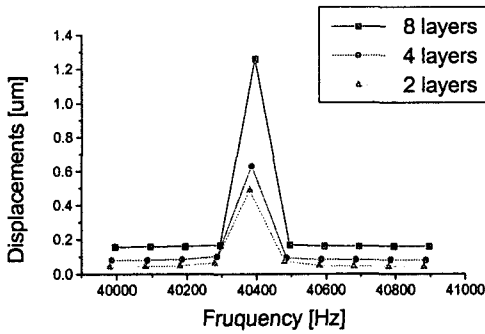


그림 4. 세라믹 적층수에 따른 공진주파수 및 변위량 변화
Fig. 4. Resonant frequency and displacement due to the PZT layers

그림 5는 C-1-4일 때, 공진주파수 40386[Hz]에서 진동자의 변형을 벡터도로 나타낸 것으로써 중-비틀림 방향의 진동이 동시에 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 그림 6은 같은 조건에서 공진주파수에서의 진동자의 응력분포를 나타내었다.

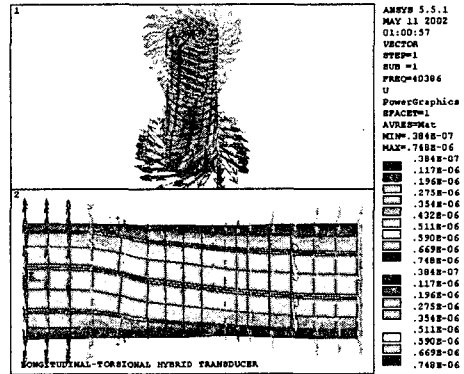


그림 5. 진동자의 변형 형상
Fig. 5. Displacement directions of vibrator

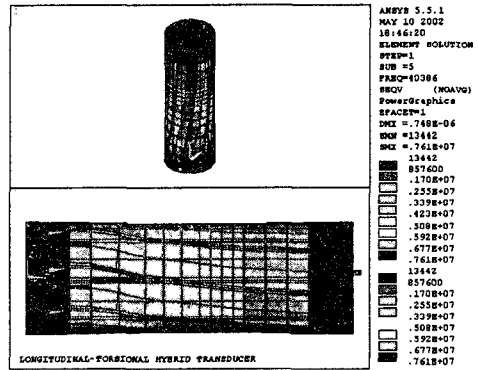


그림 6. 변위와 응력분포
Fig. 6. Displacement and stress distribution

3. 결론

중-비틀림 진동을 이용하여 진동자의 종단면에 회전운동을 발생시키기 위해 기존의 란쥬반형 진동자의 아랫부분에 원주방향으로 분극시킨 PZT판을 첨가시킨 형태의 진동자를 설계하였다. 이의 해석을 위해 유한요소 해석프로그램인 ANSYS를 이용하였다. 세라믹의 적층수를 증가시킬수록 변위는 증가하였고, 진동자의 끝부분에서 회전운동이 발생하는 것을 확인하였다. 이 형태의 진동자는 변속기어와 브레이크가 없는 간단한 구조로써, 소형 경량화가 가능하므로 앞으로 여러 분야에서의 응용이 기대된다.

참고 문헌

- [1] Kenji Uchino, *Ferroelectric Devices*, p. 215, 2000
- [2] J. W. Krome, "Finite Element Models for the Piezoelectric Actuation in Ultrasonic Traveling Wave Motors", *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, Vol. 7, pp. 157-161, 1996. 3
- [3] Nakamura, K., Kurosawa, M. and Ueha, S. : In *Proceedings, 1990 Spring Meeting, Acoustical Society of Japan*, Vol. II, pp. 863-864, 1990.
- [4] Jun Satonobu, DongKyung Lee, Kentaro Nakamura, and Sadayuki Ueha. "Improvement of the Longitudinal Vibration System for the Hybrid Transducer Ultrasonic Motor" *IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect., Freq. Contr.*, Vol. 47, NO. 1, January 2000
- [5] 박창엽, "전지 전자용 압전 세라믹스", 반도체출판사, 1994
- [6] S. Ueha, Y. Tomidawa, "Ultrasonic Motors Theory and Applications", OXFORD, 1993