

란쥬반형 초음파 진동자의 설계와 유한요소 해석

Design and FEM Analysis of Langevin Type Ultrasonic Vibrator

박민호, 김태열, 박태곤, 김명호*

창원대학교 전기공학과 *창원대학교 세라믹공학과

Min-Ho Park, Tae-Yoal Kim, Tae-Gone Park, *Myong-Ho Kim

Dept. of Electrical Eng. Changwon National Univ.

*Dept. of Ceramic Eng. Changwon National Univ.

Abstract

Piezoelectric ceramics can provide electro-mechanical transduction with high stresses but low displacement. To obtain larger displacements, several mechanical amplifying structures have been used. High alternating displacements can be obtained using resonant structure. In this paper, we designed three kinds of the bolt-tightened Langevin type ultrasonic vibrators whose resonant frequencies are 30[kHz], 40[kHz] and 50[kHz]. FEM(Finite Element Methode) was employed to calculate the resonant frequencies and maximum displacements of designed vibrators. The designed resonant frequencies and computer calculated frequencies were coincided. When input voltages were increased, maximum displacements were also raised. ANSYS was used to find resonant frequencies and calculate displacements of vibrators

1. 서론

압전세라믹을 이용한 초음파 모터는 PZT 세라믹의 개발에 따라 매우 빠른 속도로 발전하고 있다. 압전 진동자는 센서와 함께 대단히 중요시 되고있는 기술의 하나로, 특히 최근에 고도로 발전하고 있는 메카트로닉스 기기에서 매우 중요한 부품이 되고 있다. 현재 진동자로 전자기 진동자가 많이 채택되고 있으나 소비전력이 많고 발열

과 전자기파 발생 및 그에 의한 영향 등이 문제가 되어 새로운 원리를 적용한 압전 진동자가 각광을 받고 있다. 압전 진동자는 기존의 전자기 진동자의 결점을 가지지 않고, 소형 경량으로 여러 분야에 적용이 가능한 장점이 있다.

란쥬반형 진동자는 PZT를 적층한 구조로 되어 있으며 압전 종효과(Longitudinal Vibration)를 이용하므로 전기-기계변환효율(k_p)이 커서 강력 진동자로의 적용이 가능하다.

본 논문에서는 봉의 1차 종진동 모드를 이용한 압전세라믹 진동자를 설계하였다. 또한, 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 설계모델의 형상에 따른 공진주파수를 해석하였고 인가전압을 가변하여 그 최대변위와 교류전압 인가시 최대변위를 확인하였다.

2. Langevin형 압전 진동자의 설계

2.1 봉의 종진동

봉의 길이를 l 이라 할 때 이 값이 봉의 반파장의 정수배와 같으면 공진한다. 즉, 길이 방향으로 충격을 가하면 공진주파수와 거의 같은 주파수로 자유진동을 한다. 봉 내부에서의 음속과 n 번째 공진 주파수 f_n 은 다음과 같다.

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \tag{1}$$

$$f_n = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \tag{2}$$

여기서 c , ρ 그리고 E 는 각각 봉 내부의 전파 속도, 밀도, 영률을 나타낸다.

이 때 알루미늄 실린더의 끝 부분에서 최대의 변위가 나타나도록 하기위해 전체 길이는 $n=1$ 인 종진동 진행파의 1/2 되는 지점으로 한다.

$$\lambda = \frac{c}{f_n} \quad (3)$$

$$l = \frac{\lambda}{2} \quad (4)$$

여기서 l 과 λ 는 진동자의 길이와 종진동 진행파의 길이이다.

PZT 세라믹의 종진동 변위는 아주 작다. 란주반형 진동자에서는 이러한 작은 변위를 증폭시키기 위해서 알루미늄 실린더 사이에 두 개의 디스크 타입 세라믹을 분극방향이 마주보도록 겹쳐서 그 사이에 전극을 연결하고 전체가 볼트로 조여진 형태이다.

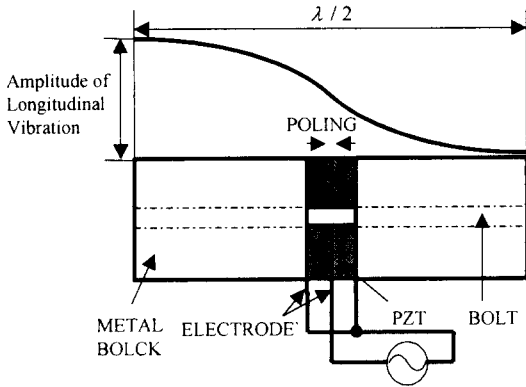


Fig. 1. The bolt-tightened Langevin type vibrator

2.2 란주반형 진동자의 설계식

$$k = \frac{c_1 \rho_1 S_1}{c_2 \rho_2 S_2} \quad (5)$$

$$\lambda_1 = \frac{c_1}{f_n} \quad (6)$$

$$\lambda_2 = \frac{c_2}{f_n} \quad (7)$$

$$a = a \frac{\lambda_2}{4} \quad (8)$$

$$b = \beta \frac{\lambda_1}{4} \quad (9)$$

$$\tan \frac{\pi}{2} \alpha \cdot \tan \frac{\pi}{2} \beta = k \quad (10)$$

여기서 c_1 , c_2 , S_1 , S_2 , a , b 는 각각 PZT와 Aluminum의 음속, 단면적, 두께이다. 설계에 사용된 알루미늄과 PZT의 재료정수는 Table 1과 같다.

Table 1. Material characteristics

	Aluminum	PZT
Young's modulus E [N/m ²]	76×10^9	76×10^9
Density ρ [kg/m ³]	2700	7730
Poisson's ratio μ	0.3	0.33
Velocity c [m/s]	5305	3162

2.3 모델 사이즈 결정

재료정수로부터 식(1)에서 PZT의 음속 c_1 과 알루미늄의 음속 c_2 을 구하고 f_n 과 b 를 결정하면 식(5)에서 (8)로부터 a 를 구할 수 있다. 여기서 구한 값들은 Table 2와 같고 그 형상은 Fig. 2와 같다.

Table 2. Decision of size [mm]

		a	b	l
Frequency [kHz]	30	41.177	3	88.354
	40	30.116	3	66.232
	50	23.464	3	52.928

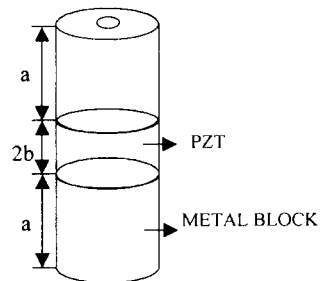


Fig. 2. Structure of vibrator

3. 란쥬반형 진동자의 유한요소 해석

3.1 고유주파수 해석

진동자의 Size가 결정되면 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 진동자의 공진주파수를 계산할 수 있다. ANSYS에서 계산된 공진주파수를 설계수준에 따라 결정한 공진주파수와 비교하고 알루미늄 끝부분의 중심에서 최대변위를 확인하였다. Fig. 3은 40[kHz] 모델의 공진주파수 40.170[kHz] 인가시 ANSYS로 해석한 최대변위의 형상을 나타내었다.

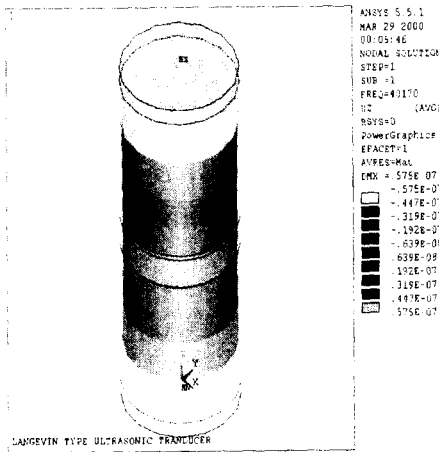


Fig. 3. Maximum displacements of 40[kHz] model

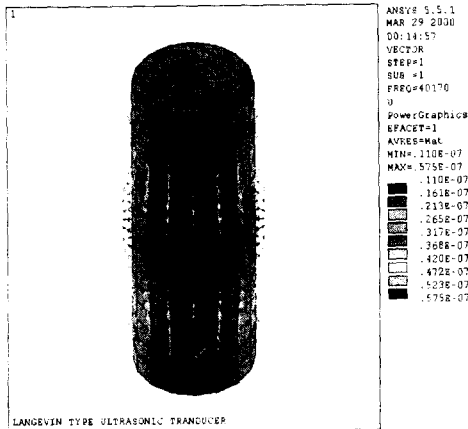


Fig. 4. Displacement directions of contracted mode

Fig. 4는 공진주파수 40.170[kHz]에서 진동자의 수축시 모드의 벡터를 표시한 것이다.

Table 3은 설계수준에 의한 공진주파수와 ANSYS로 해석된 공진주파수를 비교하고 최대변위를 나타내었다. 계산결과에서 공진주파수의 차이는 해석단계에서 노드의 수를 무한히 크게 할 수 없으므로 적당히 간략화하는 과정에서 오차가 다소 발생한 것으로 보인다.

Table 3. ANSYS calculated resonant frequencies and maximum displacements of various models

설계공진주파수 [kHz]	ANSYS 해석 공진주파수[kHz]	최대 변위 [μm]
30	30.147	0.0836051
40	40.170	0.0575002
50	49.321	0.0643344

3.2 인가전압가변시 최대변위의 변화

설계된 란쥬반형 진동자에서 알루미늄상단 중심의 변위를 관찰하여 최대변위의 증가량을 알아보았다. 공진주파수 40[kHz] 모델에서 인가전압을 5[V]에서 20[V]까지 5[V]씩 증가시켜서 최대변위를 계산하였다.

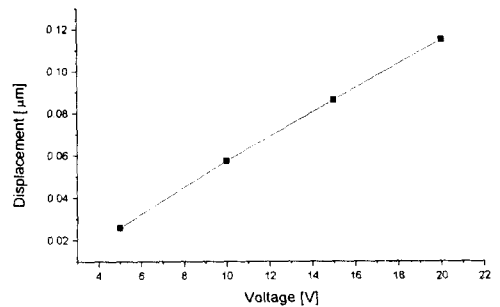


Fig. 5. Maximum displacements as a function of applied voltage

Fig. 5의 결과에서 보면 인가전압이 증가함에 따라 최대변위도 증가함을 알 수 있었다. 5[V] 인가

시는 0.0288[μm]의 변위를 나타냈지만 20[V] 인가시는 0.1151[μm]의 변위로 진동이 더 큰 것으로 나타났다.

3.3 교류전압 인가시 최대변위의 변화

관류반형 진동자에서는 교류전압을 인가하여 진동력을 얻으므로 실제적용에 있어서 교류전압 인가시의 최대변위의 변화를 알아 볼 필요가 있다

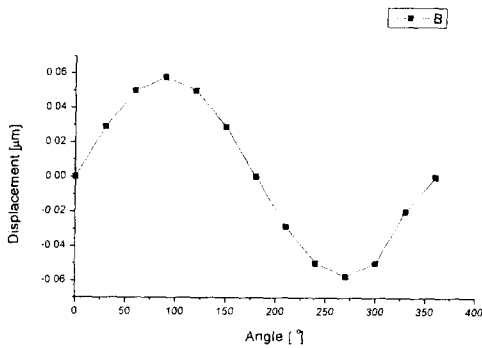


Fig. 6 Maximum displacements when AC voltage was applied in 40[kHz] model

Fig. 6은 10[V], 40[kHz] 교류전압을 인가하여 0°에서 360°까지 30°씩 변화를 주어 최대변위량을 알아보았다. 그 결과에서 90°에서 최대변위가 일어나고 0°과 180°에서 변위가 일어나지 않았고 270°에서 변위가 최소로 줄어드는 형상의 정현적인 최대변위의 변화가 나타났다.

4. 결론

관류반형 진동자의 설계수식에 따라 3가지 크기의 관류반형 진동자를 설계하고, 공진주파수는 계산치와 ANSYS 해석치가 근사한 값을 나타내었다. 또한 ANSYS로 최대변위값을 계산하였다. 공진주파수에서 40[kHz]모델에서 인가전압을 가변하여 최대변위를 측정된 결과 인가전압에 비례하여 최대변위가 증가함을 확인하였다. 10[V] 교류전압을 인가하여 최대변위를 확인한 결과 정현적인 최대변위의 변화를 나타내었다.

[Acknowledgement]

본 연구는 한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- [1]. Singiresu S. Rao, "Mechanical Vibrations", Addison-Wesley Publishing Company, 1990.
- [2]. S. Ueha, Y. Tomikawa, "Ultrasonic Motors Theory and Applications", OXFORD, 1993
- [3]. Toshiiku Sashida, Takashi Kenjo, "An Introduction to Ultrasonic Motors", OXFORD, 1993.
- [4]. T. Kosawada, K. Suzuki, T. Tomikawa, "A Card Sending Linear Ultrasonic Motor using Multi-Beam Piezoelectric Vibrators", International Journal of Applied Electromagnetics in Materials 2, pp. 285-290, 1992
- [5]. 阿部, 田中ほか: 電氣工學會連合大會 講演論文集, 1,(1952, 5), 80.
- [6]. Yoshikazu Koike, Takeshi Tamura, Sadayuki Ueha "Derivation of a Force Factor Equation for a Langevin Type Flexural Mode Transducer" Jpn. J. Phys. Vol. 35, pp.3274 -3280, 1990
- [7]. Yoshikazu Koike, Takeshi Tamura, Sadayuki Ueha "Electrical Equivalent Circuit of Loaded Thick Langevin Flexural Mode Transducer" Jpn. J. Phys. Vol. 36, pp.3121 -3125, 1997
- [8]. 김태열, 강도원, 김범진, 박태곤, 김명호 "초음파 리니어 모터의 설계와 유한요소 해석" 한국공작기계학회 '99년도 추계학술대회 논문집, pp.210-215, 1999
- [9]. ANSYS 5.5 Manual