한국전기전자재료학회
'00 영호남 학술대회논문집

회전형 초음파모터 개발을 위한 란쥬반형 진동자의 설계 및 유한요소해석

Design and FEA of Langevin Type Ultrasonic Vibrator for Development of Rotary Motor

박민호, 김형우, 박태곤, 김명호*
창원대학교 전기공학과 *창원대학교 세라믹공학과
Min-Ho Park, Hyeoung-Woo 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 a bolt-tightened Langevin type ultrasonic vibrator whose resonant frequency is 50[kHz] and ceramics are multilayered. FEM(Finite Element Methode) was employed to calculate the resonant frequencies and maximum displacements of designed vibrators. The designed resonant frequency and computer calculated frequencies were coincided. When input voltages were increased, the maximum displacements also rose. As AC voltage was applied, the maximum displacement were shown sinusoidal changes. Terminal input admittance over a frequency range spanning the resonant frequency were calculated. ANSYS was used to find resonant frequencies and calculate displacements of vibrators

Key word : The bolt-tightened Langevin type ultrasonic vibrator, Piezoelectric ceramics, ANSYS

1. 서 론

압전세라믹을 이용한 초음파 모터는 PZT 세라믹의 개발에 따라 매우 빠른 속도로 발전하고 있다. 압전 모터는 센서와 함께 대단히 중요시 되고있는 기술의 하나로, 특히 최근에 고도로 발전하고 있는 메카트로닉스 기기에서 매우 중요한 부품이 되고 있다. 현재 모터로 전자기 모터가 많이 채택되고 있으나 소비전력이 많고 발열과 전자기파 발생 및 그에 의한 영향 등이 문제가 되어 새로운 원리를 적용한 압전 모터가 각광을 받고 있다. 압전 모터는 기존의 전자기 모터의 결점을 가지지 않고, 소형 경량으로 여러 분야에 적용이 가능한 장점이 있다.

란쥬반형 진동자는 PZT를 적층한 구조로 되어있으며, 압전 종효과(longitudinal vibration)를 이용하므로 전기-기계변환효율(k_p)이 커서 강력 진동자로의 적용이 가능하다. 본 논문에서는 봉의 1차 종진동 모드와 뒤틀림 진동을 이용한 회전형 hybrid type 초음파모터의 개발을 위한, 봉의 1차 종진동 모드를 이용한 란쥬반형 압전 진동자를 설계하였다. 또한 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 설계모델의 형상의 공진주파수를 해석하였고, 인가전압을 증가시켜 최대변위의 변화를 계산하고 교류전압 인가시 최대변위를 확인하였다.

2. Langevin형 압전 진동자의 설계

2.1 봉의 종진동

봉의 길이를 l이라 할 때 이 값이 봉의 반파장의 정수배와 같으면 공진한다. 즉, 길이 방향으로 충격을 가하면 공진주파수와 거의 같은 주파수로 자유진동을 한다. 봉 내부에서의 음속과 n번째 공진 주파수 f_n은 다음과 같다.

$$c=\sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1)$$

$$f_n=\frac{n}{2l}\sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2)$$

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

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

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

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

여기서 l 과 λ는 진동자의 길이와 종진동 진행파의 길이이다.

PZT 세라믹의 종진동 변위는 대개 0.1 마이크로미터 이하로 아주 작다. 따라서 란쥬반형 진동자는 이러한 작은 변위를 증폭시키기 위해서 알루미늄 실린더 사이에 디스크 타입 세라믹을 분극방향이 마주보도록 겹쳐서 여러장 적층시키고 그 사이에 전극을 연결하여 전체가 볼트로 조여진 형태이다.

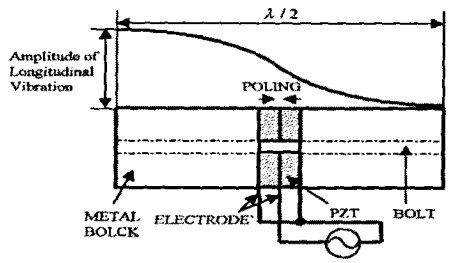

Fig.1. The bolt-tightened Langevin type vibrator

2.2 란쥬반형 진동자의 설계식

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

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

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

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

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

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

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

2.3 모델의 사이즈 결정

재료정수로부터 식(1)에서 PZT의 음속 c_1과 알루미늄의 음속 c_2을 구하고 원하는 공진주파수 f_n

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

에서 PZT세라믹의 두께 b를 결정하면 식(5)에서 (8)로부터 알루미늄의 두께 a를 구할 수 있다.

본 논문에서는 공진주파수 50[kHz]의 란쥬반형 진동자를 설계하였고 앞의 식들에 의하여 구한 값들은 Table 2와 같고 그 형상은 Fig. 2와 같다.

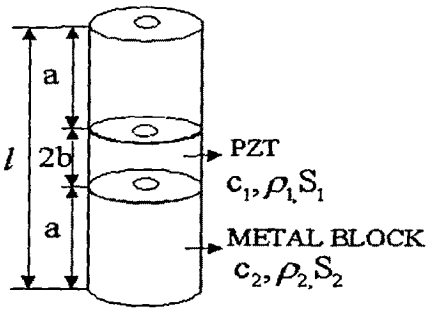

Fig.2. Structure of vibrator

Table 2. The size of vibrator [mm]

Frequency	a	b	d_1	d_2	l
50[kHz]	22.0585	3	5	48	50.1170

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 설계수순에 따라 결정한 공진주파수와 비교하고 알루미늄 끝부분의 중심에서 최대변위를 확인하였다. Fig. 3은 ANSYS로 해석한 세라믹층수 8층 모델의 공진주파수 50.349[kHz]에서 전압 100V 인가시 최대변위의 형상을 나타내었다.

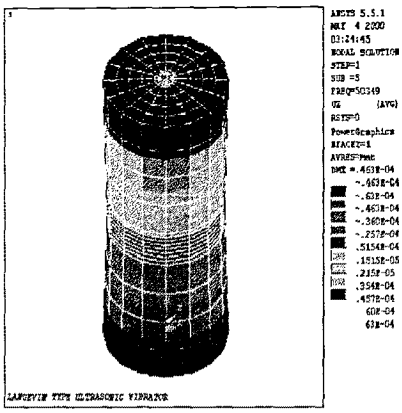

Fig. 3. Vibration mode at resonant frequency

Table 3. Resonant frequency and maximum displacement

Number of ceramics	2	4	6	8
Thickness[mm]	3	1.5	1	0.75
Resonant frequency[Hz]	50322	50282	50382	50349
Maximum displacement[μm]	6.3398	16.2685	25.6310	45.3153

Table 3은 전체 세라믹의 두께를 6[mm](2b)로 일정하게 유지하고 세라믹의 층수를 2층에서 8층까지 2층씩 증가시킨 4가지 모델의 진동자의 세라믹의 두께를 나타내고, 설계수순에 의한 공진주파수와 ANSYS로 해석된 공진주파수를 비교하고 최대변위를 나타내었다. 위 결과에서 세라믹의 총 두께를 같이 한 상태에서 세라믹의 층수를 늘인 결과 층수가 증가할수록 공진주파수는 거의 비슷하였으며, 최대변위는 증가함을 확인하였다. Fig.4는 설계공진주파수 50[kHz] 부근에서 최대변위를 나타내었다.

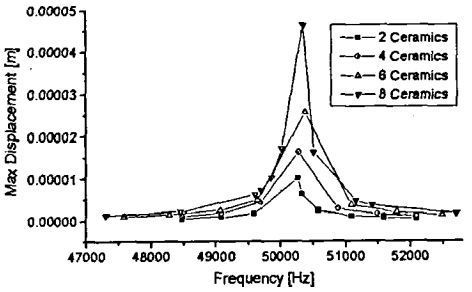

Fig. 4. Maximum displacement near resonant frequencies

3.2 어드미턴스 계산

란쥬반형 진동자의 공진주파수 근처에서 입력측의 어드미턴스를 계산한 결과 Fig. 5와 같이 공진주파수 주변에서 최대 및 최소 어드미턴스가 나타났다.

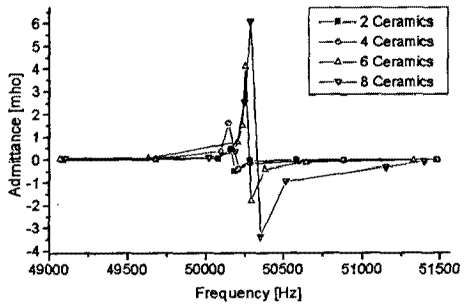

Fig. 5. Input admittance near resonant frequencies

3.3 인가전압가변시 최대변위의 변화

Fig. 6에서는 인가전압을 25[V]에서 125[V]까지 25[V]씩 증가시켜서 최대변위를 계산한 결과 인가전압이 증가함에 따라 최대변위도 증가함을 알 수 있었다.

3.4 교류전압 인가시 최대변위의 변화

란쥬반형 진동자에서는 교류전압을 인가하여 진동력을 얻으므로 실제적용에 있어서 교류전압을 인가하므로 이때의 최대변위의 변화를 알아 볼 필요가 있다.

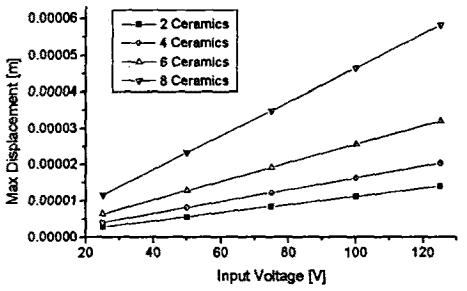

Fig. 6. Maximum displacement as functions of input voltages

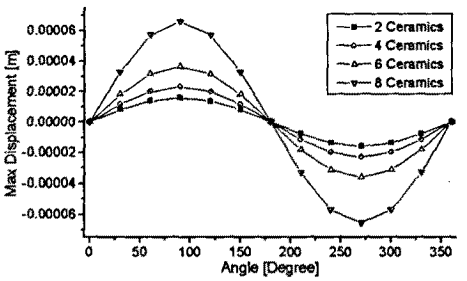

Fig. 7. Maximum displacement when AC voltage was applied

Fig. 7은 교류 100[V] 실효치 전압을 인가하여 0 ° 에서 360 ° 까지 30 ° 씩 변화를 주어 최대변위량을 알아본 결과, 인가전압과 비슷한 형상의 정현적인 최대변위의 변화가 나타났다.

4. 결 론

란쥬반형 진동자의 설계수식에 따라 공진주파수 50[kHz] 모델의 란쥬반형 진동자를 설계하였고, ANSYS 해석결과 공진주파수는 설계수식 계산치와 해석치가 근사한 값으로 나타났다. 세라믹의 층수를 가변하여 변위의 차이를 알아본 결과 공진주파수의 변화는 거의 없었으며, 층수의 증가에 따라 변위 또한 증가함을 보였다. 공진수파수 근처에서 진동자의 입력측 어드미턴스를 계산하였다. 이 때 공진주파수 부근에서 최대 및 최소 임피던스를 확인하였고, 이 값 또한 층수의 증가에 따라 증가된 값이 나타났다. 인가전압을 가변하여 최대변위를 측정한 결과 인가전압에 비례하는 최대변위를 확인하였다. 또한 100[V] 교류전압을 인가하여 최대변위를 확인한 결과 정현적인 최대변위의 변화를 확인함으로서 hybrid type 회전형 초음파 모터에 적용이 가능할 것으로 사료된다. 또한 강력진동을 얻기 위해서는 세라믹의 multilayer화가 필요한 것으로 예상된다.

[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 Piezoeletric Vibrators", International Journal of Applied Electromagnetics in Materials 2, pp. 285-290, 1992

[5]. 阿部, 田中ほか: 電氣三學會連合大會 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