

볼트조임형압전진동자의 제작과 특성

주광호, 차경철

압전소자의 특성을 미세구조[2]와 함께 제작조건과의 연관속에서 밝히는것은 실천적으로 중요하다.

본문에서는 볼트조임형압전진동자의 압전특성을 구성요소들과의 연관속에서 조임응력에 따라 실험적으로 고찰하고 합리적인 제작조건을 밝혔다.

1. 볼트조임형압전진동자의 제작과 측정방법

볼트조임형압전진동자의 구조는 그림 1과 같다.

먼저 $K_p=0.74$, $\varepsilon=2500$ 인 PZT합성분말을 써서 $\Phi_{외}=12\text{mm}$, $\Phi_{내}=4.5\text{mm}$, $t=6.8\text{mm}$ 인 고리형시편들을 소성하였다.

고리형시편들의 양면들을 $t=6.0\text{mm}$ 의 두께로 평면연마한 다음 은전극을 입히고 고온분극법으로 분극시켰다.

분극된 압전시편들을 24h동안 경화시키고 LRC 측정계로 정전용량을, 직시장치 《LSW-115》와 결합된 공진-반공진측정회로에서 공진 및 반공진주파수와 공진저항을 측정하였다.

금속편들을 그림 1에서와 같이 가공한 다음 고리형압전시편과 접착되는 면들을 평면연마하였다.

조임응력에 따르는 공진특성의 변화를 고찰하기 위하여 접착면들에 경화제를 섞지 않은 에폭시를 바르고 조임응력을 증가시키면서 직시장치에서 공진 및 반공진주파수와 공진저항을 측정하였다.

조임응력의 크기는 다음식[2]으로 결정하였다.

$$P = 2\pi LF / HS \quad (1)$$

여기서 F 는 나사축에 수직으로 작용하는 힘, L 은 나사축으로부터 힘의 작용점까지의 거리, H 는 나사의 걸음, S 는 나사축에 수직인 시편의 자름면면적, P 는 조임응력이다.

유효전기력학결합계수는 다음식[1]으로 결정하였다.

$$K_{유효} = \sqrt{1 - (f_r / f_a)^2} \quad (2)$$

여기서 f_r 는 공진주파수, f_a 는 반공진주파수이다.

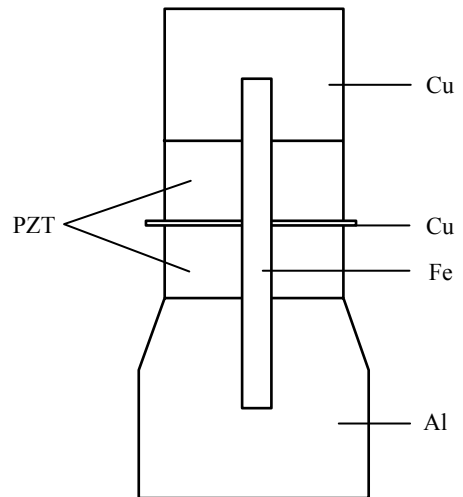


그림 1. 볼트조임형압전진동자의 구조

2. 실험결과 및 분석

조임응력의 증가에 따르는 공진 및 반공진주파수의 변화곡선은 그림 2와 같다.

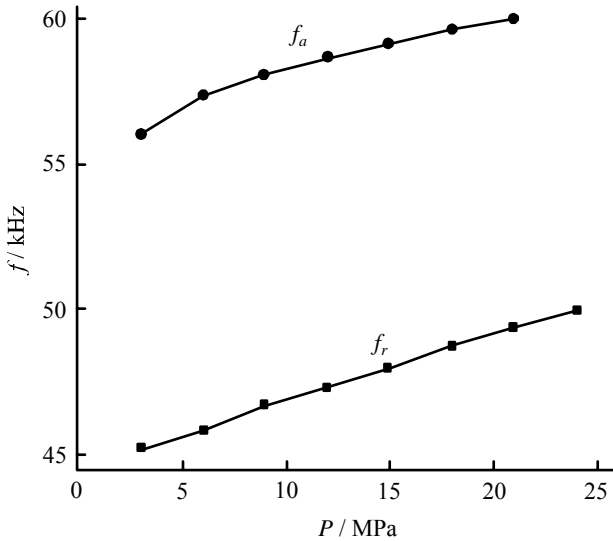


그림 2. 조임응력에 따르는 공진 및 반공진주파수의 변화곡선
보여주었다.

그림 2에서 보는바와 같이 공진주파수 f_r 는 조임응력의 증가에 따라 선형적으로 증가한다.

일반적으로 막대기형진동자에서 공진주파수는 다음과 같이 표시된다.

$$f_r = (1/2L)\sqrt{C^E / \rho} \quad (3)$$

여기서 L 은 막대기진동자의 길이, ρ 는 밀도, C^E 는 틱성률이다.

식 (3)에서 밀도는 변하지 않는다고 보면 공진주파수는 틱성률과 길이의 함수로서 고찰할 수 있다.

C^E 와 L 중에서 어느 인자가 본질적인 영향을 주는가를 밝히기 위해서 조임응력을 변화시키면서 길이와 공진주파수의 변화를 고찰한 실험결과를 그림 3에

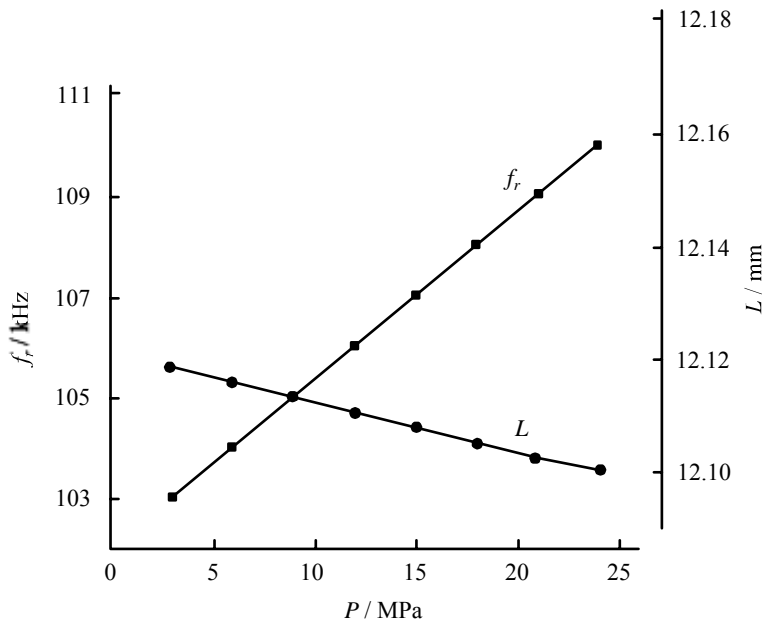


그림 3. 조임응력의 증가에 따르는 f_r , L 의 변화곡선

그림 3에서 보는바와 같이 조임응력의 증가에 따르는 f_r 와 L 의 변화률은 심히 차이

난다. 24MPa의 조임응력이 작용할 때 f_r 의 변화율은 6.8%이지만 L 의 변화율은 0.165%로서 f_r 의 변화율이 L 의 변화율보다 40배이상 더 크다.

식 (3)에 기초하여 24MPa의 조임응력에서 틱성률의 증가율을 계산하면 11.6%로서 길이의 변화율보다 70배정도 크다.

이것은 공진주파수의 변화에 직접적인 영향을 미치는 인자는 길이가 아니라 틱성률이라는것을 명백히 보여준다.

조임응력이 증가할 때 틱성률이 증가하는것은 이온들사이의 거리가 줄어들 때 정전기적척력이 비선형적으로 증가하는것과 관련된다고 볼수 있다.

조임응력에 따르는 유효전기력학결합계수와 공진시등가유효저항 R 의 변화곡선은 그림 4와 같다.

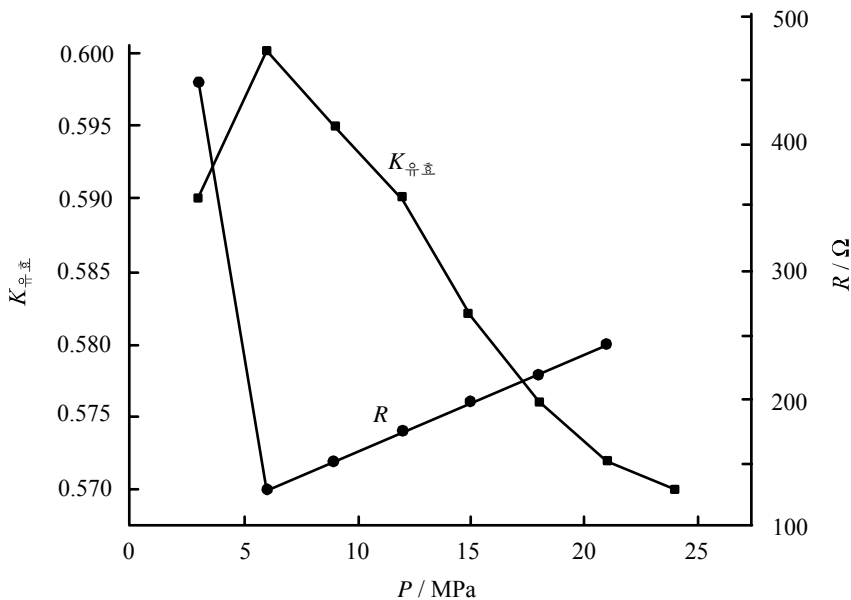


그림 4. 조임응력의 증가에 따르는 $K_{유효}$ 와 R 의 변화곡선

그림 4에서 보는바와 같이 $K_{유효}$ 와 R 는 6~9MPa의 조임응력에서 최대 및 최소값을 가진다.

$K_{유효}$ 와 R 의 이와 같은 변화특성은 금속편과 압전시편사이의 결합특성을 반영한다고 볼수 있다. 낮은 조임응력에서 압전편과 금속편이 완전히 접촉되지 않으므로 복합진동자의 압전특성은 최대값을 나타내지 못한다. 조임응력이 지내 높을 때 도멘들의 부분적인 절환에 의해 압전특성이 나빠진다.

일반적으로 시편들을 평면연마하는 경우에 시편들을 개별적으로 연마하면 평면도는 낮아지게 되며 따라서 압전특성이 나빠진다.

시편들을 개별연마한 경우와 300개씩 묶어서 연마한 경우 랑주뱅형복합진동자들의 특성을 표 1에 보여주었다.

표 1에서 보는바와 같이 볼트조임형압전진동자의 특성은 접착면의 평면도가 높을수록 개선되며 최적조임응력은 평면도가 낮을수록 높아진다는것을 알수 있다.

표 1. 시편들을 개별연마한 경우와 300개씩 묶어서 연마한 경우 랑쥬뱅형복합진동자들의 특성

연마방법	고리형압전시편의 특성					볼트조임형진동자의 특성				
	f_r/kHz	f_a/kHz	R/Ω	$\Delta f/\text{kHz}$	$K_{\text{유효}}$	최적조임 응력/MPa	f_r/kHz	f_a/kHz	R/Ω	$K_{\text{유효}}$
시편들을 개별적으로 연마한 경우	245.1	301.1	98	56.0	0.581	18	48.1	52.7	210	0.409
	244.5	305.1	98	60.6	0.598					
시편들을 300개씩 묶어 서 연마한 경우	244.2	302.5	98	58.3	0.590	6	45.9	57.3	140	0.599
	244.6	302.8	98	58.2	0.589					

볼트조임형압전진동자의 특성은 접착면의 평면도와 함께 고리형압전시편의 특성에 크게 관계된다.

고리형압전시편의 특성에 따르는 볼트조임형진동자의 특성변화를 표 2에 보여주었다.

표 2. 고리형압전시편의 특성에 따르는 볼트조임형진동자의 특성변화(조임응력: 3MPa)

No.	고리형압전시편의 특성					볼트조임형진동자의 특성				
	f_r/kHz	f_a/kHz	$\Delta f/\text{kHz}$	R/Ω	$K_{\text{유효}}$	f_r/kHz	f_a/kHz	$\Delta f/\text{kHz}$	R/Ω	$K_{\text{유효}}$
1	243.6	299.6	56.0	100	0.582	41.7	48.0	6.1	340	0.495
	244.2	298.5	54.3	100	0.575					
2	241.4	304.3	62.9	98	0.609	43.6	53.6	10	250	0.582
	241.5	303.7	62.2	98	0.606					

표 2에서 보는바와 같이 고리형압전시편의 특성이 약간만 달라져도 볼트조임형진동자의 특성은 크게 달라지게 된다.

맺는 말

1) 볼트조임형압전진동자의 공진주파수는 조임응력의 증가에 따라 선형적으로 증가한다. 공진주파수의 변화는 주로 텀성률의 변화에 따른다.

2) 볼트조임형진동자의 압전특성은 접착면의 평면도가 높을수록, 고리형압전시편의 특성이 좋을수록 개선된다.

3) 볼트조임형진동자의 최적조임응력은 평면도가 높을수록 낮아지며 보통 6~9MPa의 값을 가진다.

참고 문헌

[1] Ю. В. Тофман; Законы, формулы, задачи физики, Наукова думка, 164~167, 1977.

[2] Fabian Lemke; Journal of the Ceramic Society of Japan, 124, 4, 346, 2016.

주체106(2017)년 12월 5일 원고접수

Study about the Manufacture and the Property of Bolt-Clamping Type Piezoelectric Vibrator

Ju Kwang Ho, Cha Kyong Chol

We investigated the variation of piezoelectric characteristics of bolt-clamping type piezoelectric vibrator along with the variation of clamping stress and determined the optimal clamp stress.

We also found that the characteristics of bolt-clamping type piezoelectric vibrator largely depended upon piezoelectric sample's characteristics and a degree of flatness of adhesion surfaces.

Key words: piezoelectric vibrator, bolt-clamping