

사각 기판의 외형비가 길이진동을 이용하는 초소형 공진자의 공진특성에 미치는 영향

Effects of three side ratios of the rectangular substrate on the resonant characteristics of the ultra-small size resonator using its length extensional vibration

한성훈*, 김병호*, 이개명**

(Seong-Hun Han*, Byung-Hyo Kim*, Gae-Myoung Lee**)

Abstract

The length extensional vibration mode of a piezoelectric ceramic substrate is used in fabricating the ultra-small size resonators and filters. In general, the three side ratios of the substrate effect the resonant characteristics of the resonator using its length extensional vibration. In this paper, their relationships are studied. We know that changing the ratio of its length to its width makes possible to change the resonant frequency of the width vibration without degrading the length extensional vibration.

Key Words(중요용어) : Piezoelectric resonator, Resonant frequency, Length extensional vibration mode

1. 서 론

PZT계 세라믹스는 공진자나 필터와 같은 전자 부품, 초음파 발생과 수신 기능을 수행하는 변환자, 코일을 이용하지 않는 초소형 초음파 모터 등에 사용되고 있다.

IF 신호의 처리에 관계된 공진자와 필터는 수정 결정이나 압전세라믹스 기판을 이용하고 있다. 수정 결정은 공진주파수의 온도 안정성이 뛰어나지만 시편의 품질계수가 매우 커서 좁은 대역폭을 가지게 되고, 수정 자체도 고가여서 제작비용이 많이 소요되는 단점이 있다^[1]. 이에 반하여 압전세라믹스는 적당한 품질계수를 가지며, 제조단가가 적게 소요되고 공업적으로도 대량생산이 용이하므로 압전세라믹스를 이용한 공진자나 필터가 0.3~30[MHz] 영역에

서 주류를 형성하고 있다^[2].

최근 필터나 공진자와 같은 전기신호의 주파수 처리에 관계된 기능 소자 분야로의 응용에 있어서, 소자의 소형화에 대한 필요성이 강하게 요구되고 있다. 이에 따라 기존에 세라믹 기판의 유평진동 모드를 이용하던 것이 이보다 기판의 크기를 작게 할 수 있는 길이진동 모드를 이용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다^[3]. 길이진동을 이용한 공진자는 400~500[kHz] 대역의 AM용 IF필터의 구현에 적합하다. 길이진동을 이용하는 압전세라믹 공진자의 공진 특성은, 이용하고자 하는 길이진동의 공진특성 이외에 폭진동과 두께진동 및 이들의 고차진동이 합쳐진 매우 복잡한 공진 특성을 갖게 된다. 원하지 않는 잡음응답(spurious response)은 충분히 억제되거나 이용하고자 하는 동작주파수에서 멀리 위치시켜야 한다. 길이진동의 공진 특성뿐만 아니라 잡음응답의 크기와 주파수는 기판의 외형에 의존하여 나타나기 때문에, 최적의 응답을 나타내는 사각기판의

* 제주대학교 대학원

** 제주대학교 전기공학과, 산업기술연구소, 정보통신연구소

외형비의 규명은 매우 중요하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 기관의 외형이 길이진동 모드를 이용한 공진자의 공진특성과 잡음응답에 미치는 영향을 규명하고자 한다. 이러한 목표를 달성하기 위해 사각판의 길이진동에 대한 일본 규격 EMAS-6004^[4]의 표준시편의 외형비를 기준으로 하고 이 비를 변화시키면서 길이진동의 공진 특성과 잡음응답의 변화를 조사하고자 한다.

2. 실험

2.1 시편의 제작

$Pb(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3+0.3[wt\%]Cr_2O_3$ 조성의 세라믹스 기관을 산화물 혼합법으로 제조하였다. 분쇄된 하소분말에 5[wt%] PVA 수용액을 5[wt%] 정도 혼합하여 과립으로 만든 후 1[ton/cm²]으로 press하여 사각형 시편을 제작하였다. 성형체를 650[°C]에서 2시간 동안 유지하여 결합제를 제거하였고, 4[°C/min]의 승온속도로 1200[°C]에서 2시간 유지하여 소결하였다. 기관의 외형이 진동특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 각 변의 크기를 표 1처럼 변화시킨 시편을 제작하였다. EMAS-6004에 의거한 규격시편은 $L/w \geq 4$, $w/t \geq 3$, $L \geq 12$ [mm]로 규정되어 있다(그림 1). 가공된 세라믹 기관 양면에 전면 은전극을 형성하였으며 분극은 100[°C]의 실리콘유 중에서 3.5[kV/mm]의 전계를 가하여 30분간 행하였다.

2.2 측정

제작된 세라믹 기관의 치밀성을 파악하기 위해 밀도를 측정하였고, RLC 미터로 측정된 정전용량으로부터 비유전율을 계산하였다. HP사의 E5100a NETWORK ANALYZER로 공진특성을 측정하였으며 이로부터 전기기계 결합계수(k_{31})와 주파수 상수를 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기관의 재료특성

소결체의 소결밀도는 이론 밀도의 94[%]정도인 7.4[g/cm³]이상이었으며, 비유전율은 1000이었다.

3.2 두께 변화에 따른 공진특성

그림 2에 시편 A1에서 A5의 기본모드 공진특성을 나타내었다. A1에서 A5로 갈수록 즉, 시편의 두께가 얇아 질수록 공진주파수가 낮아지는 경향을 나타낸다. 따라서 그림 3처럼 주파수 상수는 시편의 두께가 얇아질수록 낮아진다. 특히, 기관의 두께가 얇아질수록 정전용량이 증가하므로 공진주파수의 감소보

다 반공진주파수의 감소가 더 크게 나타났다.

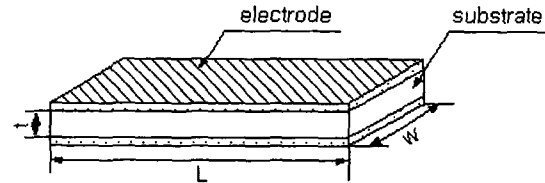


그림 1. 시편의 외형

표 1. 시편의 외형비에 따른 심볼 표시 (단위:mm)

L/w=4				
w/t	L	w	t	시편번호
1	12	3	3	A1
2	12	3	1.5	A2
3	12	3	1	A3
4	12	3	0.75	A4
5	12	3	0.6	A5
w/t=3				
L/w	L	w	t	시편번호
2	4	2	0.67	B20
2.5	5	2	0.67	B25
3	6	2	0.67	B30
3.5	7	2	0.67	B35
4	8	2	0.67	B40
4.5	9	2	0.67	B45
5	10	2	0.67	B50
5.5	11	2	0.67	B55
6	12	2	0.67	B60
L/t=12				
	L	W	t	시편번호
	12	2.4	1	W0
	12	2.7	1	W1
	12	3	1	W2
	12	3.3	1	W3

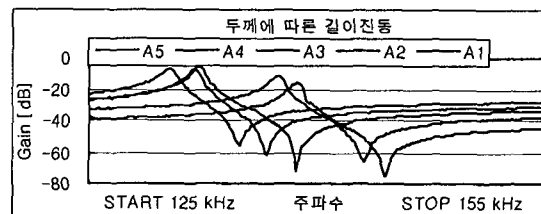


그림 2. 시편의 두께가 길이진동의 주파수특성에 미치는 영향

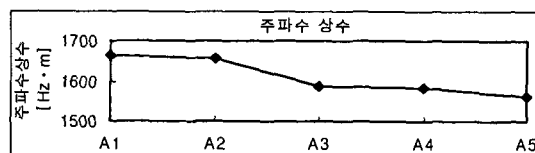


그림 3. 시편의 두께가 길이진동의 주파수상수에 미치는 영향

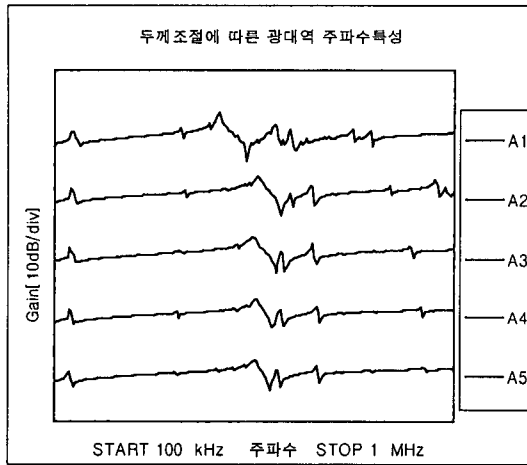


그림 4. 시편의 두께조절에 따른 광대역 주파수특성
 그림 4에 폭진동을 포함한 넓은 주파수영역에서의 A시편들에 대한 주파수특성을 나타내었다. 시편의 두께가 얇아질수록 폭진동의 공진주파수의 피크가 무뎠어지고, 폭진동의 반공진주파수보다 높은 주파수 영역의 잡음진동들의 공진주파수가 점점 높은 주파수영역으로 이동함을 보여준다.

3.3 길이 변화에 따른 공진특성

길이 변화에 따른 전기기계 결합계수의 변화를 그림 5에 나타내었다. B20에서 B40까지 전기기계 결합계수가 거의 선형적으로 증가하고 B40에서 B60까지는 일정한 값을 유지하고 있다.

그림 6에 시편의 길이 조절에 따른 주파수 상수의 변화를 나타내었다. 시편의 길이 조절에 따른 주파수 상수의 변화는 1[%]정도로 이 정도는 측정오차를 고려하면 변화가 없는 것으로 판단된다.

그림 7에 시편의 길이 조절에 따른 길이진동의 주파수 특성의 변화를 나타내었다. 시편의 길이를 조절하면 시편의 전기적인 정전용량이 변화함에도 불구하고 공진특성은 거의 영향을 주지 못함을 알 수 있다.

그림 8에 시편 길이의 조절이 폭진동의 주파수 특성을 포함한 넓은 주파수영역에서의 주파수특성에 미치는 영향을 보여주고 있다. 시편 길이를 변화시키므로 폭진동의 공진주파수는 거의 변화가 없고, 길이진동의 공진주파수는 길이가 커짐에 따라 점차 낮아지고 있음을 보여준다. 폭진동의 반공진주파수보다 높은 주파수영역에서의 잡음특성은 길이에 따라 민감하게 변하는 것으로 보아 길이진동의 고차진동의 공진특성으로 판단된다.

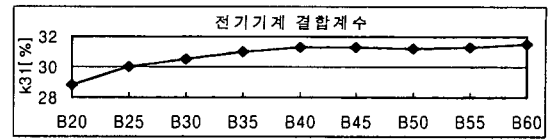


그림 5. 시편의 길이가 길이진동의 전기기계 결합계수에 미치는 영향

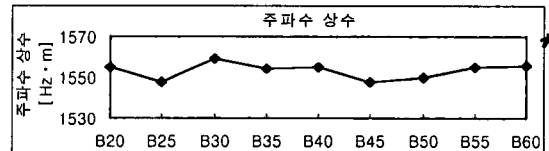


그림 6. 시편의 길이가 길이진동의 주파수상수에 미치는 영향

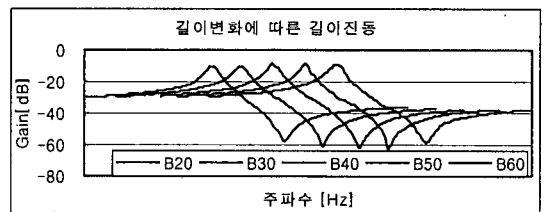


그림 7. 시편의 길이가 길이진동의 주파수특성에 미치는 영향

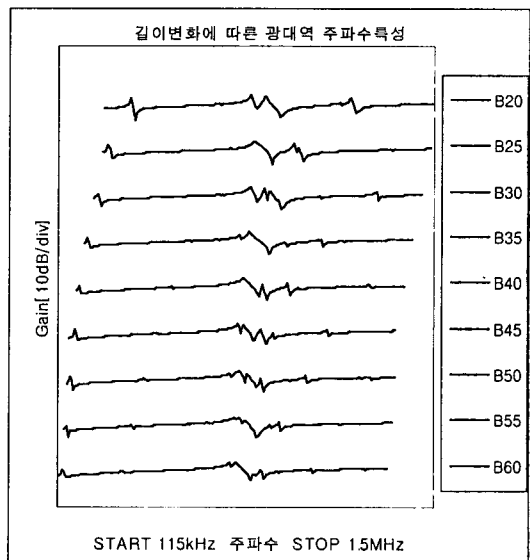


그림 8. 시편의 길이조절에 따른 광대역 주파수특성

3.4 폭 변화에 따른 공진특성

시편의 폭 조절에 따른 길이진동에 대한 주파수상수의 변화를 그림 9에 나타내었다. 폭은 50[%]정도 조절되었는데 주파수상수는 1[%]도 안 바뀌었으므로

폭의 조절에 따른 주파수상수의 변화는 거의 무시할 수 있다.

그림 10에 시편의 폭 조절에 따른 길이진동에 대한 전기기계 결합계수의 변화를 나타내었다. 폭이 증가함에 따라 전기기계 결합계수가 약간씩 감소하고 있다. 이는 폭이 증가함에 따라 전기적인 정전용량이 증가함에 그 한 이유가 있는 것으로 판단된다.

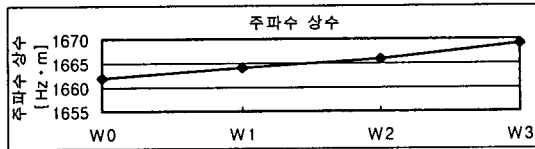


그림 9. 시편의 폭이 길이진동의 주파수상수에 미치는 영향

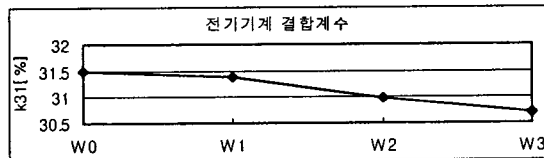


그림 10. 시편의 폭이 길이진동의 전기기계 결합계수에 미치는 영향

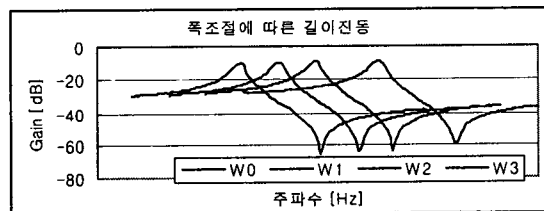


그림 11. 시편의 폭이 길이진동의 주파수특성에 미치는 영향

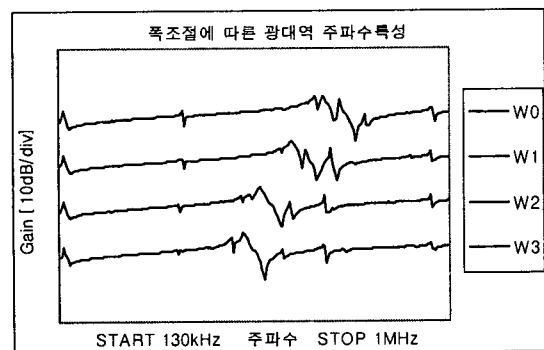


그림 12. 시편의 폭 조절에 따른 광대역 주파수특성
그림 11에는 시편 폭의 조절에 따른 길이진동의 공진·반공진 특성을 보여주고 있다. 폭이 증가함에 따라, 공진 저항이 약간씩 감소함에 따라 공진주파수에서 손실이 약간씩 감소함을 알 수 있다.

그림 12에는 시편의 폭 조절에 따른 넓은 주파수 영역에서의 주파수 특성의 변화를 나타내었다. 길이의 크기는 고정되어 있으므로 길이진동의 공진·반공진주파수는 변화되지 않고 폭진동의 공진·반공진주파수는 폭이 넓어짐에 따라 점차 낮아짐을 보여주고 있다. 따라서 길이에 대한 폭의 비를 작게 함으로써 길이진동의 공진·반공진주파수로부터 폭진동의 공진·반공진주파수를 주파수가 높은 쪽으로 멀리 떨어지게 할 수 있을 것이다.

4. 결 론

$Pb(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3+0.3[wt\%]Cr_2O_3$ 의 조성을 가지는 세라믹스 기판을 제작하였다. 제작된 기판의 외형을 변화시켜 가공된 시편의 주파수 특성을 측정된 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 시편의 두께가 얇아질수록 길이진동에 대한 주파수상수가 작아지고, 공진주파수에서의 손실이 작아진다.
- (2) 시편의 두께가 얇아질수록 길이진동의 공진주파수에서의 피크의 무더짐이 폭진동의 공진주파수에서의 피크의 무더짐보다 덜하다.
- (3) 시편의 길이가 변화하여도 주파수 상수는 거의 변화하지 않으며, 전기기계 결합계수는 시편의 길이가 증가함에 따라 증가하다가 EMAS-6004 규격에 적합한 외형에서부터는 거의 변화가 없다.
- (4) 시편의 폭이 증가할수록 길이진동의 공진주파수에서의 손실이 약간씩 감소하며, 전기기계 결합계수도 약간씩 감소한다.
- (5) 길이에 대한 폭의 비를 작게 함으로써 길이진동의 공진·반공진주파수로부터 폭진동의 공진·반공진주파수를 주파수가 높은 쪽으로 멀리 떨어지게 할 수 있다.

감사의 글

본 논문의 연구는 1997년 정보통신부 우수대학원 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1]. 박창엽, "전기전자용 세라믹스", 반도체출판사, pp. 131-132, 1997.
- [2]. 電子材料工業會, 壓電セラミックスとその応用, 電波新聞社, pp.235-237, 昭和49
- [3]. 塩崎 忠 外, 新・壓電材料の製造と應用, CMC, pp.150-163, 1987.
- [4]. 일본전자재료공업회, EMAS-6004, 昭和57.