

碩士學位論文

사각기판의 외형비가 길이진동을 이용하는
초소형 공진자의 공진특성에 미치는 영향

指導教授 李 開 明



濟州大學校 産業大學院

電子電氣工學科

金 柄 孝

2000

사각기판의 외형비가 길이진동을 이용하는 초소형 공진자의 공진특성에 미치는 영향

指導教授 李 開 明

이 論文을 工學碩士學位 論文으로 提出함.

2000年 6月 日

濟州大學校 産業大學院

電子電氣工學科(電氣工學)



金 柄 孝

金柄孝의 工學碩士學位 論文을 認准함.

2000年 6月 日

委員長 김 일 환



委員 노 宗 根



委員 이 기 영



목 차

LIST OF FIGURES	iii
LIST OF TABLES	v
SUMMARY	vi
I. 서 론	1
II. 압전세라믹스의 이론적 고찰	3
1. 일반적인 특성	3
2. PZT계 압전세라믹스	5
3. 압전세라믹 공진자의 전기적인 등가회로 및 주파수특성	6
III. 실 험	8
1. 시편의 제작	8
2. 측 정	11
가. 밀도 측정	11
나. 유전율 측정	11
다. 공진과 반공진특성 측정	12
라. 주파수상수	12
IV. 결과 및 고찰	13
1. 시편의 소결밀도와 비유전율	13
2. 두께 변화에 따른 공진특성	13
3. 길이 변화에 따른 공진특성	15



4. 폭 변화에 따른 공진특성	18
V. 결 론	21
참고문헌	22



LIST OF FIGURES

Fig. 1 Lattice structure	
(a) isotropic lattice structure	4
(b) anisotropic lattice structure	4
Fig. 2 The lattice structure of BaTiO_3	4
Fig. 3 PbZrO_3 - PbTiO_3 sub-solidus phase diagram	5
Fig. 4 An equivalent circuit and the frequency characteristics of a piezo- -electric ceramic vibrator	6
Fig. 5 Fabrication process of piezoelectric ceramics	8
Fig. 6 The aspect of the standard piezoelectric ceramic specimen for the length extensional vibration	11
Fig. 7 Effects of thickness of the specimens on the frequency character- istics of their length extensional vibrations	13
Fig. 8 Effects of thickness of the specimens on frequency constants of their length extensional vibration	14
Fig. 9 Changes of frequency characteristics in wide frequency range according to thickness variations of the specimens	14

Fig. 10	Effects of length of the specimens on the electro-mechanical coupling factors of their length extensional vibrations	15
Fig. 11	Effects of length of the specimens on the frequency constants of their length extensional vibration	16
Fig. 12	Effects of length of the specimens on the frequency characteristics of their length extensional vibrations	16
Fig. 13	Changes of frequency characteristics in wide frequency range according to the length variations of the specimens	17
Fig. 14	Effects of the width of the specimens on the frequency constants of their length extensional vibrations	18
Fig. 15	Effects of the width of the specimens on the electro-mechanical coupling factors of their length extensional vibrations	18
Fig. 16	Effects of the width of the specimens on the frequency characteristics of their length extensional vibrations	19
Fig. 17	Changes of frequency characteristics in wide frequency range according to width variations of the specimens	20

LIST OF TABLES

Table 1	Grade and the manufacturers of starting materials	9
Table 2	The symbol signs of the specimens according to their aspect ratios	10



Effects of Three Side Ratios of the Rectangular Substrate on the Resonant Characteristics of the Ultra-Small Size Resonator Using Its Length Extensional Vibration

Byung-Hyo Kim

Department of Electronic and Electrical Engineering
Graduate School of Industry
Cheju National University

Supervised by professor Gae-Myoung Lee



Summary

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. As the thickness of a piezoelectric ceramic substrate is thinned, its loss in the resonant frequency is decreased.

I. 서 론

1947년 BaTiO₃에서 압전성이 발견된 이후 BaTiO₃ 압전세라믹 소자에 대한 많은 연구가 진행되었지만, 응용면에서 BaTiO₃는 전기기계결합계수는 크다는 장점은 있으나 공진 주파수의 온도안정성이나 경시변화가 좋지 않아 실용상의 문제점이 되어 왔다. 그후 PZT (PbZrO₃-PbTiO₃)의 MPB (morphotropic phase boundary) 조성에서 우수한 압전특성을 보이는 것이 발견되었고, 공진 주파수의 온도안정성도 좋기 때문에 조성을 약간 변화시키든가, 미량의 첨가물을 가함으로써 전기기계결합계수, 유전율, 기계적 품질계수(Q_M) 등의 특성을 크게 변화시킬 수 있고, 사용 목적에 따라 많은 재료를 얻을 수 있는 장점이 있어 압전세라믹스의 응용에 적합하다(B. Jaffe et al, 1955).

PZT계 압전세라믹스는 공진자나 필터와 같은 전자부품, 초음파 발생과 수신의 기능을 수행하는 변환자, 코일을 이용하지 않는 초소형 초음파 모터 등에 사용되고 있다.

IF 신호의 처리에 관계된 공진자와 필터는 수정 결정이나 압전세라믹스 기판을 이용하고 있다. 수정결정은 공진 주파수의 온도 안정성은 뛰어나지만 시편의 품질계수가 매우 커서 좁은 대역폭을 가지게 되고, 수정 자체도 고가여서 제작비용이 많이 소요되는 단점이 있다(박창엽, 1997). 이에 비해 압전세라믹스는 적당한 품질계수를 가지며, 제조단가가 적게 소요되고 공업적으로도 대량생산이 용이하므로 압전세라믹스를 이용한 공진자나 필터가 0.3~30[MHz] 영역에서 주류를 형성하고 있다(電子材料工業會, 1974).

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 이

보다 기판의 크기를 작게 할 수 있는 길이진동 모드를 이용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다(塩崎忠 外, 1987). 길이진동을 이용한 공진자는 400~500[kHz] 대역의 AM용 IF필터의 구현에 적합하다. 길이진동을 이용하는 압전세라믹 공진자의 공진 특성은 이용하고자 하는 길이진동의 공진 특성 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 외형비의 규명은 매우 중요하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 사각판의 길이진동에 대한 일본 EMAS-6004(일본전자재료공업회, 1982) 규격의 표준시편 외형비를 기준으로 하여 그 부근에서 외형비를 변화시킨 시편을 제작하고, 제작된 시편의 길이진동에 대한 공진 특성과 잡음응답특성을 조사한다. 그리하여 사각기판의 외형비가 길이진동 모드를 이용한 공진자의 공진 특성과 잡음응답에 미치는 영향을 규명하고자 한다.

II. 압전세라믹스의 이론적 고찰

1. 일반적인 특성

모든 결정은 그 대칭관계에 의해 32개의 결정군으로 분류된다. 그 중 대칭 중심을 갖는 12개 그룹은 압전성이 없고, 나머지 20개 그룹 중에서 전기적으로 부도체인 결정에서 압전 특성이 존재한다. 이 중에서 비 대칭성이 큰 10개 그룹은 전계나 응력이 가해지지 않은 상태 하에서 자발적으로 분극되어 있는데 이를 초전성 결정이라 한다. 이 중에서 전계에 의해 극성의 방향이 바뀌는 것이 강유전성이며 압전현상은 강유전성 결정에서 현저하게 나타난다.

Fig. 1의 (a)는 등방성 결정구조이고 (b)는 전기적인 면에서 이방성 결정 구조를 갖고 있기 때문에 외부에 힘을 가하면 각 θ 가 변하고 따라서 분극의 크기가 변하게 되어 전계가 발생하는데 이를 정효과라 하고 역으로 결정의 외부에 전계를 가하면 분극치가 변하며 이에 따라 응력이 생기는데 이를 역효과라 하며 이 두 효과를 압전효과라 한다.

강유전성 결정은 외부 전계가 존재하지 않아도 스스로 전기쌍극자 (electric dipole)을 갖고 있다. 결정의 양전하 중심과 음전하 중심이 일치하지 않음으로 인해 생기는 자발분극을 갖고 있으며, 외부에서 강한 직류 전계를 가하면 이 자발분극의 방향을 한 방향으로 배열시킬 수 있고 전계를 제거하여도 자발분극은 원래의 상태로 돌아가지 않는다. 이러한 결정구조를 Perovskite형 구조라 하며 Fig. 2에 대표적인 강유전체 재료인 BaTiO_3 인 경우를 예로 보여 주고 있다.

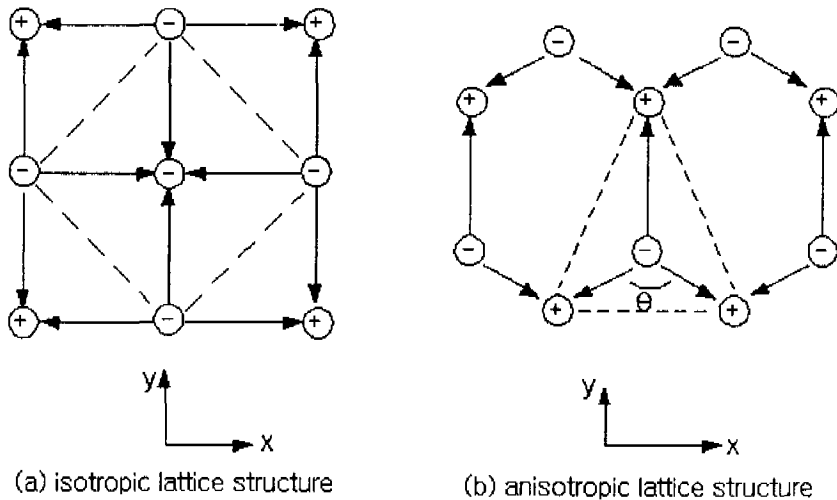


Fig. 1 Lattice structure

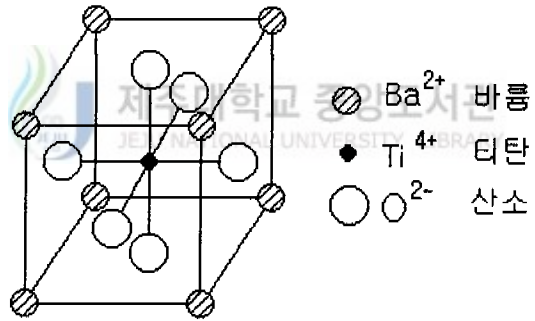


Fig. 2 The lattice structure of BaTiO₃

압전세라믹스는 다결정체로서 미세구조상 입자(grain) 하나 하나에 자발 분극이 배열되어 있으나 전체적으로는 각 입자의 분극방향이 무작위 (random)방향으로 분포되어 있어 압전성이 존재하지 않는다. 그러나 이들 재료에 전계를 가하여 분극을 시키면 이방성을 가지게 되어 극성의 방향을 전계 방향으로 정렬시킴으로써 비로소 압전현상이 나타나게 된다

2. PZT계 압전세라믹스

Pb(Zr,Ti)O₃계 고용체 자기는 정방정계의 *PbTiO₃*와 사방정계의 *PbZrO₃*와의 고용체이다. 이 세라믹에는 Zr과 Ti의 비율에 따라 강 유전상과 반 강 유전상이 존재한다. 강 유전상인 영역에서도 Zr과 Ti의 특정한 비율을 경계로 하여 결정계가 변화한다. 이 결정계가 변하는 경계를 모포트로픽 상경계 (morphotropic phase boundary : MPB)라 하며, 온도에 의하지 않고 조성에 의해 결정계가 변하는 것을 모포트로픽 전이라 한다(B. Jaffe et al, 1971).

Fig. 3에 *PbTiO₃-PbZrO₃*계의 상도를 나타내었다. Pb(Zr,Ti)O₃를 화학식으로 Pb(Zr_xTi_{1-x})O₃로 나타낼 수 있으며, 상온에서 모포트로픽 상경계는 x

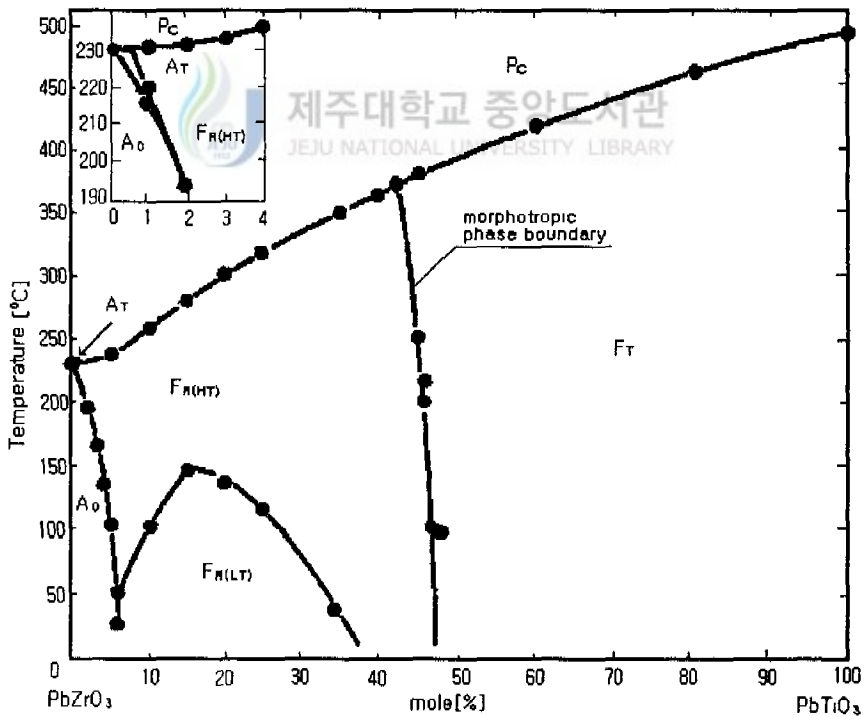


Fig. 3 *PbZrO₃-PbTiO₃* sub-solidus phase diagram

= 0.53인 부근이고 이 상경계보다 $PbZrO_3$ 의 양이 많은 영역에서는 능면체 정계가 되고 $PbTiO_3$ 의 양이 많은 영역에서는 정방정계가 된다. 이 상경계는 온도가 상승함에 따라 약간 $PbZrO_3$ 측으로 기울어지고 있다. 정방정계와 능면체정계의 상경계 근방에서 유전성 및 압전성이 가장 크게 된다.

또 $Pb(Zr,Ti)O_3$ 계 고용체 자기에 불순물을 첨가, 치환하는 방법으로 압전성, 공진 주파수의 온도안정성, 경시변화 등 재료특성을 향상시키고 있다.

3. 압전세라믹 공진자의 전기적인 등가회로 및 주파수특성

압전 세라믹스는 형태와 재질에 따라 고유 진동주파수를 갖고 있으며, 외부에서 가해진 교류전계의 주파수가 이 고유 진동주파수와 일치하게 되면 세라믹 기판은 최대 진폭으로 진동이 일어나며, 공진자로서의 이용이 가능하다. 이것이 세라믹 공진자의 원리이다.

이러한 압전 세라믹 공진자를 전기적인 등가회로로 나타내면 Fig. 4와 같이 나타낼 수 있다. 공진 주파수 부근에서 집중정수 등가회로 (Electrical equivalent circuit with lumped parameters)를 이용하면 Fig. 4(a)와 같이

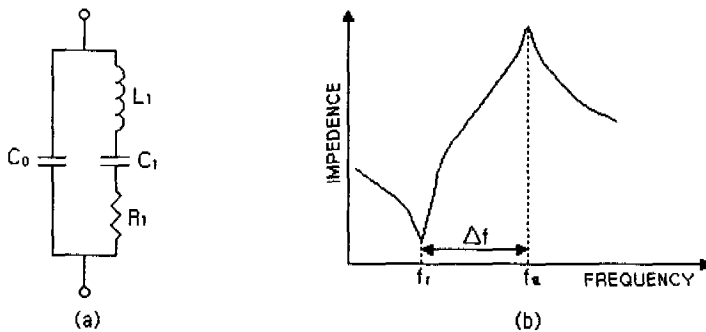


Fig. 4 An equivalent circuit and the frequency characteristics of a piezoelectric ceramic vibrator

나타낼 수 있고, 임피던스-주파수 특성곡선은 Fig. 4(b)와 같다.

R_1, L_1, C_1 으로 이루어진 직렬단은 기판의 기계적 진동을 전기적인 회로로 등가화한 부분이고, 이에 대해 병렬로 결합된 C_0 는 1[kHz]의 주파수에서 측정된 기판의 전기적 정전용량이다.

공진 주파수 f_r 과 반공진 주파수 f_a 는 다음과 같이 주어진다.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} \quad (1)$$

$$f_a = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} \sqrt{1 + \frac{C_1}{C_0}} \quad (2)$$

이때 공진자의 임피던스 $Z(f)$ 는 다음과 같이 주파수 f 의 함수로 나타낼 수 있다.

$$Z(f) = \frac{1}{j2\pi f C_0} \cdot \left(-\frac{\frac{f^2 - f_r^2}{f_a^2 - f_r^2} + j2\pi f C_0 R_1}{\frac{f^2 - f_r^2}{f_a^2 - f_r^2} + 1 + j2\pi f C_0 R_1} \right) \quad (3)$$

III. 실험

1. 시편의 제작

시편의 제작과정은 Fig. 5와 같다.



Fig. 5 Fabrication process of piezoelectric ceramics

$\text{Pb}(\text{Zr}_{0.53}\text{Ti}_{0.47})\text{O}_3+0.3[\text{wt}\%]\text{Cr}_2\text{O}_3$ 의 조성을 가지는 세라믹스 기판을 산화물 혼합법으로 제조하였다. 이때 제작에 사용된 소원료의 순도와 제작회사를 Table 1에 나타내었다. 소원료의 평량은 전자 천평으로 $10^{-3}[\text{g}]$ 까지 정확히 측정하였으며, 혼합(mixing)은 소원료와 불(옥석), 아세톤을 중량비로 1:1:1이 되도록 배합하여 날젠(nalgene)병에 넣고 볼밀(ball mill)로 180[rpm]의 속도로 20시간 습식 혼합하였다. 이 혼합된 원료는

Table 1 Grade and the manufacturers of starting materials

Raw material	Purity [%]	Manufacturer
PbO	98.0	Hayashi Pure Chemical Industries. LTD.
TiO ₂	97.0	Hayashi Pure Chemical Industries. LTD.
ZrO ₂	99.9	Sigma Chemical Co.
Cr ₂ O ₃	97.5	Osaka Hayashi Pure Chemical Industries LTD.

150[°C]온도에서 10시간 건조시킨 후 알루미나 도가니에 넣고 850[°C]에서 2시간 1차 열처리(calcining) 시켰으며, 1차 열처리된 시료를 다시 불 밀로 10시간 건식 분쇄하였다. 분쇄된 시료에 5%의 PVA액을 5[wt%] 첨가하여 사각 몰드에 넣고 Press를 이용해 1 [ton/cm²]의 압력으로 성형하였으며, 성형체를 650[°C]에서 2시간 동안 유지하여 결합제를 제거하였고, 250[°C/h]의 승온속도로 1200[°C]에서 2시간 유지한 후 400°C이후로는 전기로안에서 자연 냉각시켜 2차 열처리(sintering)를 행하였다. 기판의 외형이 진동특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 각 변의 크기를 EMAS-6004규정에 따라 L/w=4, w/t=3, L=12 [mm]부근에서 변화시켜서 Table 2처럼 외형비를 갖는 시편을 제작하였다. 가공된 세라믹 기판 양면에 전면 은전극을 형성하였으며 분극은 100[°C]의 silicone oil 내에서 3.5[kV/mm]의 전계를 가하여 30분간 행하였고 분극 후 24시간이 경과된 시편의 윗면과 아랫면을 단락시킨 상태에서 200[°C]에서 1시간 동안 열 에이징 처리를 하였다. 제작된 시편의 외형을 Fig. 6에 나타내었다.

Table 2 The symbol signs of the specimens according to their aspect ratios (unit : mm)

L/w=4				
w/t	L	w	t	symbols
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	symbols
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	symbols
	12	2.4	1	W0
	12	2.7	1	W1
	12	3	1	W2
	12	3.3	1	W3

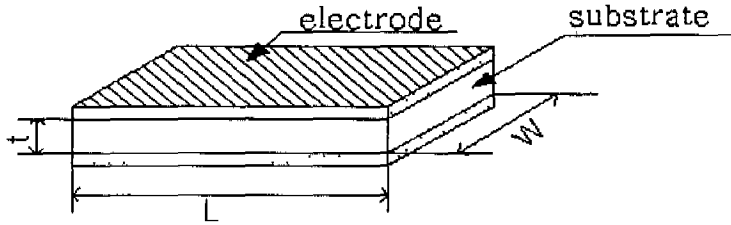
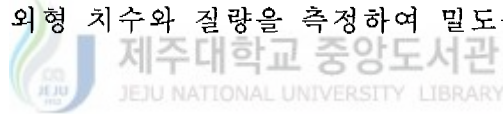


Fig. 6 The aspect of the standard piezoelectric ceramic specimen for the length extensional vibration

2. 측 정

가. 밀도 측정

제작된 시편의 외형 치수와 질량을 측정하여 밀도를 계산하였다.



나. 유전을 측정

LCR미터로 시편의 정전용량을 측정한 후 다음 식을 이용하여 비유전율을 계산하였다.

$$\epsilon_s = \frac{Ct}{\epsilon_0 S} \quad (4)$$

여기서, ϵ_s 는 비유전율, ϵ_0 는 공기의 유전율($8.854 \times 10^{-12} \text{F/m}$), C 는 시편의 정전용량(F), $S(=WL)$ 는 시편의 면적(mm^2), t 는 시편의 두께(mm)이다.

다. 공진과 반공진 특성 측정

전기기계 결합계수 k_{31} 은 제작된 규격시편의 주파수 특성을 측정하여 공진 주파수와 반공진 주파수를 구한 후 다음 식을 사용하여 산출하였다(尾上, 1964).

$$\frac{1}{k_{31}^2} = 0.405 \frac{f_r}{f_a - f_r} + 0.595 \quad (5)$$

여기서, f_a 는 반공진 주파수, f_r 은 공진 주파수이다.

라. 주파수상수

길이진동 모드의 경우에 있어서는 공진 주파수 f_r 은 재료특성인 주파수상수 N_l 과 시편의 길이 l 에 의해서 결정되며 다음과 같은 관계가 있다.

$$f_r l = N_l \quad (6)$$

IV. 결과 및 고찰

1. 시편의 소결밀도와 비유전율

제작된 시편의 소결밀도는 이론 밀도의 94[%]정도인 $7.4[\text{g}/\text{cm}^3]$ 이상이고 비유전율은 평균 1000이다.

2. 두께 변화에 따른 공진 특성

Fig. 7에 시편 A1에서 A5의 기본모드 공진 특성을 나타내었다. A1에서 A5로 갈수록 즉, 시편의 두께가 얇아 질수록 공진 주파수가 낮아지는 경향을 나타낸다. 따라서 Fig. 8처럼 주파수 상수는 시편의 두께가 얇아질수록 낮아진다. 특히, 기관의 두께가 얇아질수록 정전용량이 증가하므로 공진 주파수의 감소보다 반공진 주파수의 감소가 더 크게 나타났다.

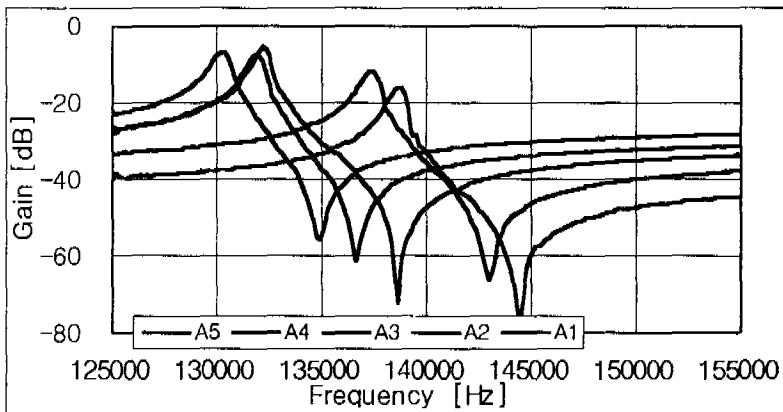


Fig. 7 Effects of thickness of the specimens on the frequency characteristics of their length extensional vibrations

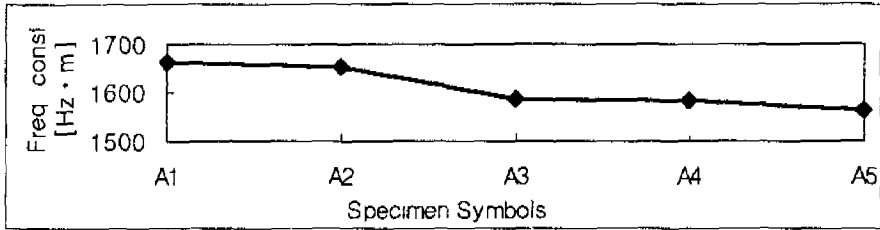


Fig. 8 Effects of thickness of the specimens on the frequency constants of their length extensional vibration

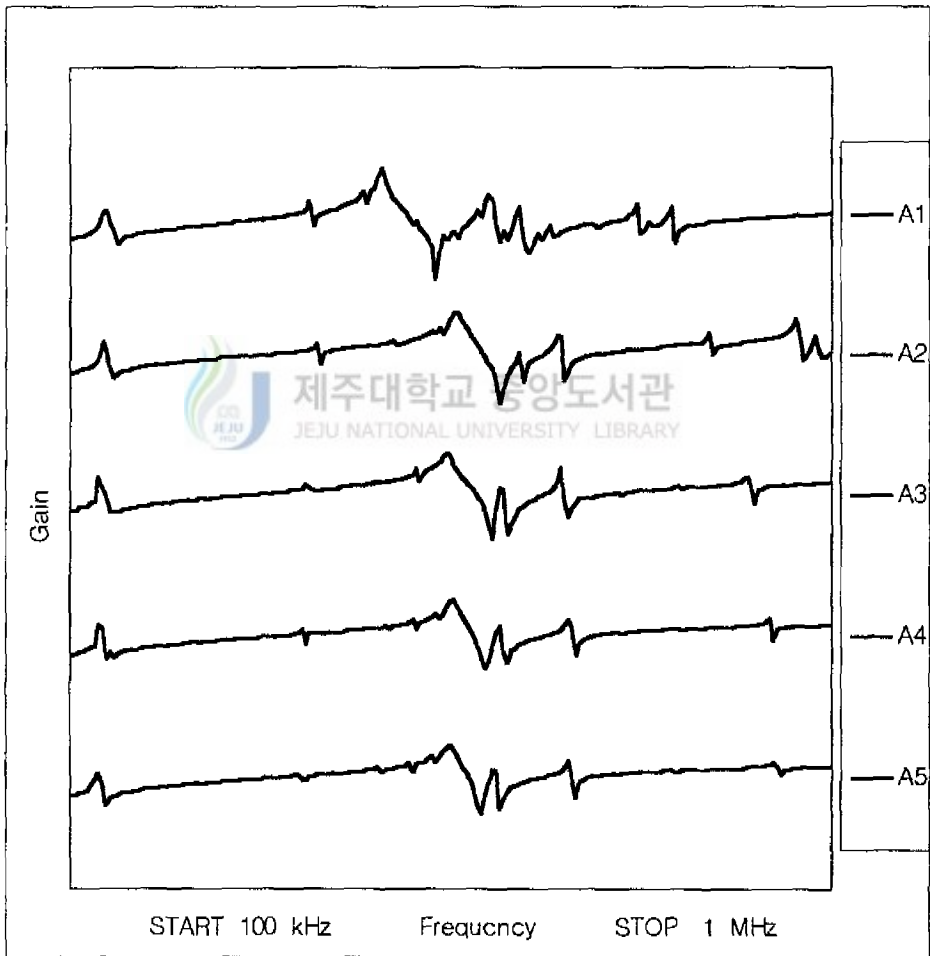


Fig. 9 Changes of frequency characteristics in wide frequency range according to thickness variations of the specimens

Fig. 9에 폭 진동을 포함한 넓은 주파수영역에서의 A시편들에 대한 주파수특성을 나타내었다. 시편의 두께가 얇아질수록 폭 진동의 공진 주파수의 피크가 부더지고, 폭 진동의 반공진 주파수보다 높은 주파수영역의 잡음진동들의 공진 주파수가 점점 높은 주파수영역으로 이동함을 보여준다.

3. 길이 변화에 따른 공진 특성

길이 변화에 따른 전기기계 결합계수의 변화를 Fig. 10에 나타내었다. B20에서 B40까지 전기기계 결합계수가 거의 선형적으로 증가하다가 B40에서 B60까지는 일정한 값을 유지하고 있다.

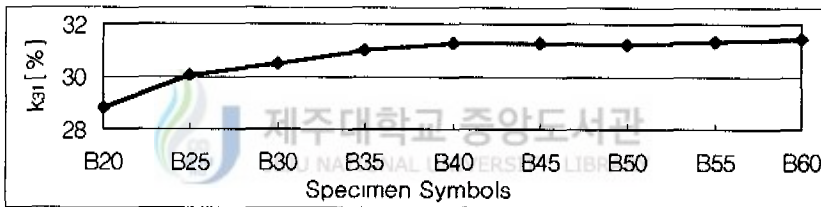


Fig. 10 Effects of length of the specimens on the electro-mechanical coupling factors of their length extensional vibrations

Fig. 11에 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.

Fig. 12는 시편의 길이 조절에 따른 각 시편의 길이진동에 대한 주파수 특성변화를 비교하기 위하여 그 기본진동을 차례대로 좌우로 펼친 그림이다. 시편의 길이를 조절하면 시편의 전기적인 정전용량이 변화함에도 불구하고 공진 특성은 거의 영향을 주지 못함을 알 수 있다.

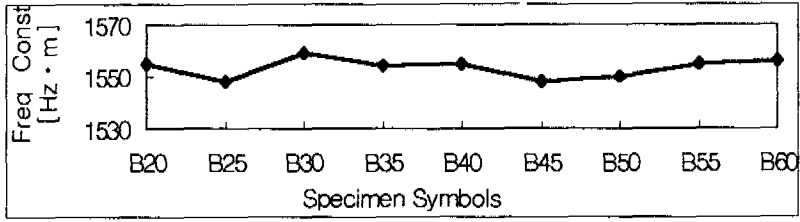


Fig. 11 Effects of length of the specimens on the frequency constants of their length extensional vibrations

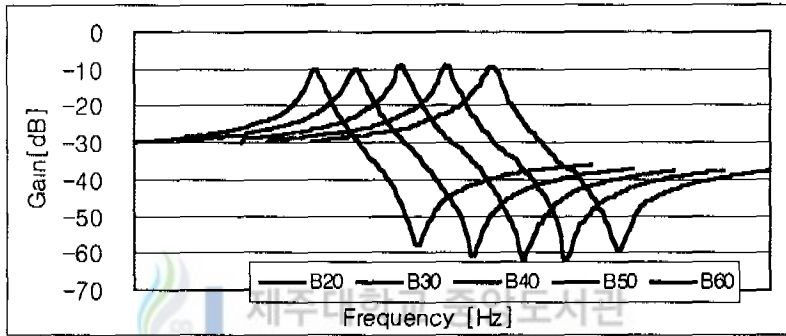


Fig. 12 Effects of length of the specimens on the frequency characteristics of their length extensional vibrations

Fig. 13에 시편 길이의 조절이 폭 진동의 주파수 특성을 포함한 넓은 주파수영역에서의 주파수 특성에 미치는 영향을 보여주고 있다. 시편 길이를 변화시켰으므로 폭 진동의 공진 주파수는 거의 변화가 없고, 길이진동의 공진 주파수는 길이가 커짐에 따라 점차 낮아지고 있음을 보여준다. 폭 진동의 반공진 주파수보다 높은 주파수영역에서의 감쇠특성은 길이에 따라 민감하게 변하는 것으로 보아 길이진동의 고차진동의 공진 특성으로 판단된다.

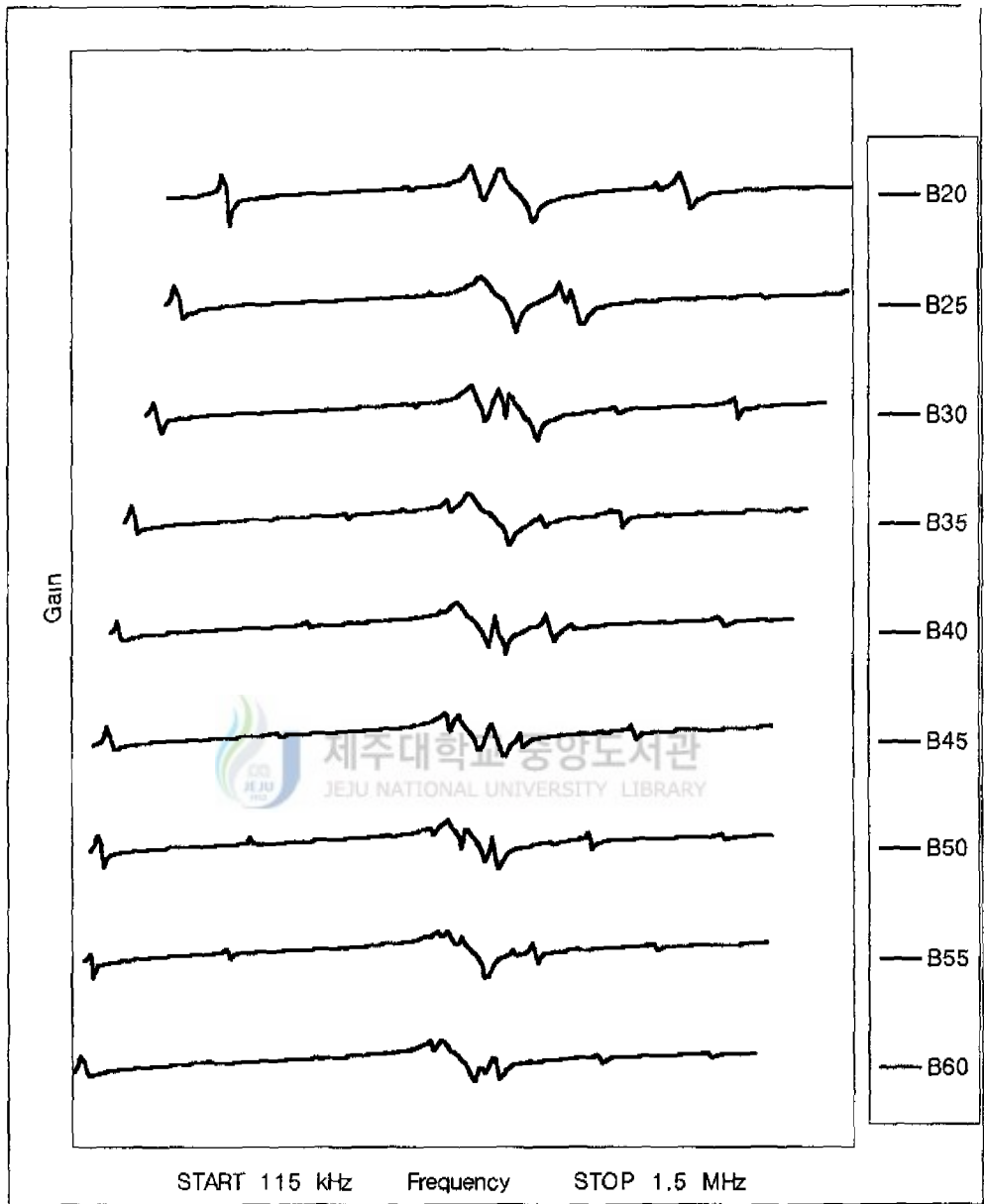


Fig. 13 Changes of frequency characteristics in wide frequency range according to length variations of the specimens

4. 폭 변화에 따른 공진 특성

시편의 폭 조절에 따른 길이진동에 대한 주파수상수의 변화를 Fig. 14에 나타내었다. 폭은 50[%]정도 조절되었는데 주파수상수는 1[%]도 안 바뀌었으므로 폭의 조절에 따른 주파수상수의 변화는 거의 무시할 수 있다.

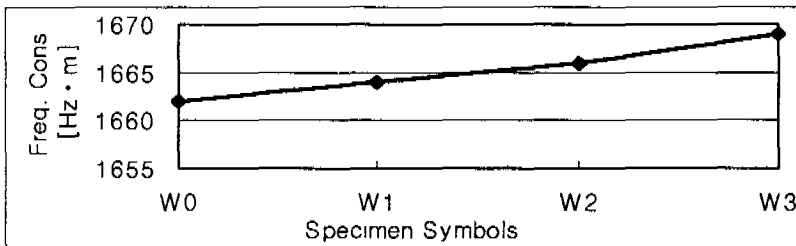


Fig. 14 Effects of the width of the specimens on the frequency constants of their length extensional vibrations



Fig. 15에 시편의 폭 조절에 따른 길이진동에 대한 전기기계 결합계수의 변화를 나타내었다. 폭이 증가함에 따라 전기기계 결합계수가 약간씩 감소

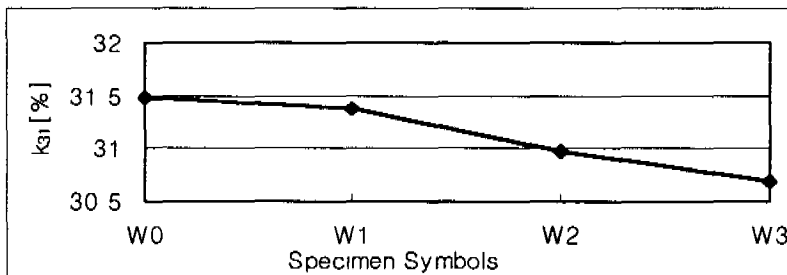


Fig. 15 Effects of the width of the specimens on the electro-mechanical coupling factors of their length extensional vibrations

하고 있다. 이는 폭이 증가함에 따라 전기적인 정전용량이 증가함에 그 한 이유가 있는 것으로 판단된다.

Fig. 16은 시편의 폭 조절에 따른 길이진동의 공진과 반공진 특성을 비교하기 위하여 기본진동에 대해서 차례대로 좌우로 펼친 그림이다. 폭이 증가함에 따라, 공진 저항이 약간씩 감소함에 따라 공진 주파수에서 손실이 약간씩 감소함을 알 수 있다.

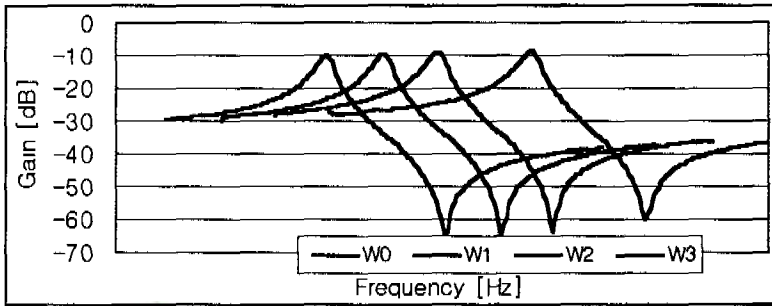


Fig. 16 Effects of the width of the specimens on the frequency characteristics of their length extensional vibrations

Fig. 17에는 시편의 폭 조절에 따른 넓은 주파수영역에서의 주파수 특성의 변화를 나타내었다. 길이의 크기는 고정되어 있으므로 길이진동의 공진과 반공진 주파수는 변화되지 않고 폭 진동의 공진과 반공진 주파수는 폭이 넓어짐에 따라 점차 낮아짐을 보여주고 있다. 따라서 길이에 대한 폭의 비를 작게 함으로써 길이진동의 공진과 반공진 주파수로부터 폭 진동의 공진과 반공진 주파수를 주파수가 높은 쪽으로 멀리 떨어지게 할 수 있을 것이다.

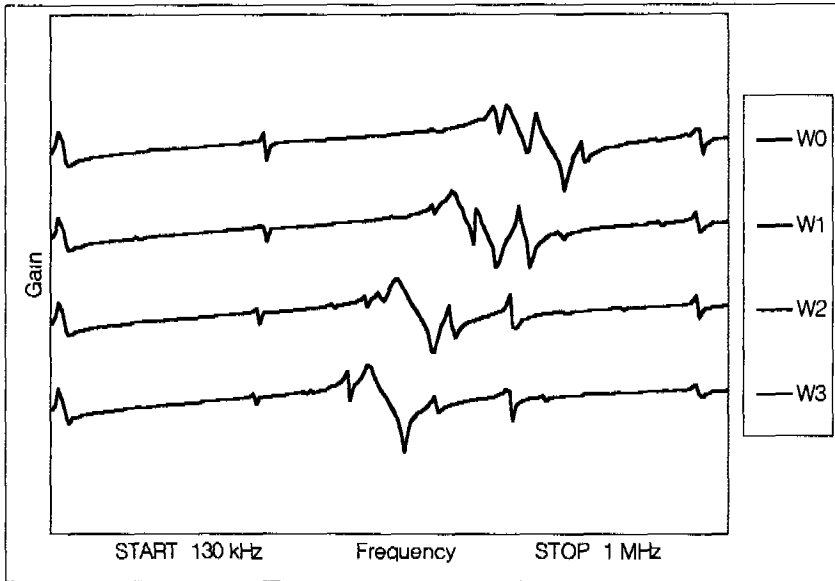


Fig. 17 Changes of frequency characteristics in wide frequency range according to width variations of the specimens

IV. 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 측정 한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 시편의 두께가 얇아질수록 길이진동에 대한 주파수상수가 작아지고, 공진 주파수에서의 손실이 작아진다.
- (2) 시편의 두께가 얇아질수록 길이진동의 공진 주파수에서의 피크의 무더짐이 폭 진동의 공진 주파수에서의 피크의 무더짐보다 덜하다.
- (3) 시편의 길이가 변화하여도 주파수 상수는 거의 변화하지 않으며, 전기기계 결합계수는 시편의 길이가 증가함에 따라 증가하다가 일본 EMAS-6004 규격에 적합한 외형에서부터는 거의 변화가 없다.
- (4) 시편의 폭이 증가할 수록 길이진동의 공진 주파수에서의 손실이 약간씩 감소하며, 전기기계 결합계수도 약간씩 감소한다.
- (5) 길이에 대한 폭의 비를 작게 함으로써 길이진동의 공진과 반공진 주파수로부터 폭 진동의 공진과 반공진 주파수를 주파수가 높은 쪽으로 멀리 떨어지게 할 수 있다.

참고문헌

B. Jaffe et al, 1955, Properties of piezoelectric ceramics in the solid-solution series lead titanate-lead zirconate-lead oxide; Tin oxide and lead titanate-lead hafnate, J. Res. Natl. Bur. Standards, 55 (5), pp. 239-254.

박창엽, 1997, 전기전자용 세라믹스, 반도출판사, pp. 131 -132.

電子材料工業會, 1974, 壓電セラミックスとその応用, 電波新聞社, pp.235 -237.

塩崎忠 外, 1987, 新・壓電材料の製造と應用, CMC, pp.150-163.

일본전자재료공업회, 1982, EMAS-6004.

B. Jaffe, W. R. Cook and H. Jaffe, 1971, Piezoelectric ceramics, Academic Press, pp. 135-139.

尾上, 1964. 5., 日本音響學會講演論文集, 十文字, p.11.

감사의 글

대학을 졸업하면서 많은 관심을 가졌던 대학원에 들어 온지가 엇그제 같은데 벌써 2년 반이란 시간이 흘러 학위 논문을 작성하게 되었습니다.

이 논문이 완성되기까지 많은 분들의 도움이 있었기에 이 지면을 빌어 감사의 말씀을 드립니다.

본 학위 논문이 완성되기까지 물심 양면으로 많은 도움을 주시고 관심을 가져 지도와 격려를 아끼지 않으셨던 이개명 지도 교수님께 먼저 깊은 감사를 드립니다.

그리고 저의 대학원 생활에 많은 용기를 주시고 저의 논문에 관심을 가져주신 좌종근 교수님, 오성보 교수님, 김세호 교수님, 김일환 교수님, 김호찬 교수님에게도 지면을 통하여 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

아울러 이번 논문이 완성되기까지 실험에서 측정과 논문이 완성에 이르기까지 가장 수고를 많이 해준 재료 연구실의 한성훈 원생과 현덕수 원생 그리고 (주)코아텍에서 근무하는 임대관 선생과 (주)신홍에서 근무하는 안진오 선생에게도 고마운 마음을 전합니다.

또한, 오늘이 있기까지 헌신적으로 내조해준 사랑하는 나의 아내 강영희, 그리고 사랑하는 두 아들 정환, 수환에게 본 논문의 출간의 기쁨을 함께 나누고자 합니다.

그리고 나의 대학원 생활을 사랑과 희생으로 보살펴 주신 어머니와 격려를 아끼지 않은 두 동생 내외에게도 감사의 말씀을 드립니다.

끝으로 이 논문을 아버님 영전에 바칩니다.

2000년 6월 일
김 병 효 드림