

碩士學位論文

Hook-up 회로를 이용한 압전 세라믹  
공진자의 발진특성에 관한 연구

110.491

濟州大學校 大學院

電氣工學科

韓 性 勳

2000年 12月

# Hook-up 회로를 이용한 압전 세라믹 공진자의 발진특성에 관한 연구

指導教授 李 開 明


韓 性 勳


이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2000年 12月

韓性勳의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 金 豪 贊 

委 員 金 一 煥 

委 員 李 開 明 

濟州大學校 大學院

2000年 12月

**A Study on Oscillation Characteristics of Piezoelectric  
Ceramic Resonator Using Hook-up Circuit**

**Seong-Hun Han**

**(Supervised by professor Gae-Myoung Lee)**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF ELECTRONIC AND ELECTRICAL ENGINEERING  
GRADUATE SCHOOL  
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY**

**2000. 12.**

## 목 차

LIST OF FIGURES .....	iii
LIST OF TABLES .....	v
SUMMARY .....	vi
I. 서 론 .....	1
II. 세라믹 공진자와 발진원리 .....	3
1. 세라믹 공진자 .....	3
1) 등가회로 .....	3
2) 주파수영역과 진동모드 .....	6
2. 발진원리 .....	6
1) 귀환형 발진회로의 동작원리 .....	6
2) 3소자형 발진회로 .....	7
3) Hook-up 회로 .....	10
III. 실 험 .....	13
1. 시편의 제작 .....	13
2. 측정 .....	15

1) 시편의 밀도 .....	15
2) 공진자의 공진특성 측정 .....	15
3) 발진주파수 측정 .....	15
4) 공진자의 공진주파수 및 발진주파수의 온도안정성 .....	15
<b>IV. 결과 및 고찰</b> .....	17
1. 시편의 제 정수 .....	17
2. 세라믹 공진자의 공진특성 .....	17
3. 세라믹 발진자의 발진특성 .....	18
4. 공진주파수 및 발진주파수의 온도안정성 .....	21
<b>V. 결 론</b> .....	24
<b>참고문헌</b> .....	25

## LIST OF FIGURES

Fig.1 A symbol and an electrical equivalent circuit of a piezoelectric ceramic resonator .....	3
Fig.2 Impedance and phase characteristics of a piezoelectric ceramic resonator .....	4
Fig.3 An equivalent circuit of a piezoelectric ceramic resonator in the frequency band $f_r \leq f \leq f_a$ .....	4
Fig.4 Usable vibration modes according to the frequency range ...	5
Fig.5 A block diagram of an oscillator with a feedback network ..	7
Fig.6 A basic oscillator using a transistor and three passive elements .....	8
Fig.7 The AC equivalent circuit of Fig. 6 .....	8
Fig.8 Hook-up circuit using CMOS inverter .....	11
Fig.9 Measuring circuit of loop gain and phase shift .....	12
Fig.10 Fabrication process of piezoelectric ceramics .....	13
Fig.11 The shape of specimen .....	14
Fig.12 Measuring system of temperature stability of frequency characteristics .....	16
Fig.13 Characteristics of the fundamental vibration modes according to thickness changes of specimens .....	17
Fig.14 Changes of frequency characteristics in wide frequency range according to thickness changes of specimens .....	18

Fig.15 Oscillation characteristics in network analyzer .....	19
Fig.16 Oscillation characteristics in oscilloscope .....	20
Fig.17 Temperature stability of resonant frequency and oscillating frequency .....	22

## LIST OF TABLES

Table 1 Oscillation circuits according to reactances .....	10
Table 2 Grade and the manufacturers of starting materials .....	14
Table 3 Classification of fabricated specimens .....	15
Table 4 Constants of fabricated specimens .....	17
Table 5 The temperature coefficient of resonant and oscillating frequency .....	22
Table 6 The comparison of oscillating frequency .....	23



## SUMMARY

Ceramic resonators are piezoelectric ceramic devices which are designed to oscillate at certain frequencies. They are typically used as the clock signal source in the electronic products such as TV, VTR, telephone and microcomputer.

In this paper, Colpitts oscillator circuit, which is composed of an inverting amplifying circuit using CMOS inverter and of a  $\pi$  - shaped feedback circuit using two capacitor and one inductor replaced by ceramic resonator, was designed and realized. In order to be oscillated at 455kHz, ceramic resonators utilized contour vibration mode were fabricated. And the resonators with different thickness were fabricated and their equivalent parameters were measured to investigate effects of changes of capacitance of the substrate on oscillation characteristics.

The results of this investigation are as following;

- 1) As the thickness of specimens is thinned, the all resonators used have small  $\Delta f (=f_a - f_n)$  and their harmonic vibration modes become more distant from the fundamental vibration mode.
- 2) We designed the oscillation circuit operating at 455kHz and then showed that Barkhausen's condition was satisfied in used all resonators.
- 3) As the thickness of resonators is thinned, temperature coefficient of resonant frequency and oscillating frequency increase and

temperature coefficient of oscillating frequency has less an half than that of resonant frequency.

- 4) The difference between the measurement values and the evaluation values of the oscillating frequency has 0.35% below, and its measurement values are always smaller values than its evaluation values.

## I. 서론

1947년 미국의 Roberts가  $BaTiO_3$  세라믹스에서 압전성을 발견하면서  $BaTiO_3$ 를 이용한 초음파 기기, 공진자, 필터 등의 압전세라믹 소자에 대한 많은 연구가 진행되었지만 공진주파수의 온도안정성이나 경시변화가 좋지 않아 실용상의 문제가 되어왔다. 그후 1950년 B. Jaffe에 의해 온도, 습도의 변화와 시간 경과에 대해 안정된 재료 특성을 갖으며 압전성이 우수한  $Pb(Zr, Ti)O_3$ 계 압전세라믹스가 발견됨에 따라  $BaTiO_3$  세라믹스로는 응용이 어려웠던 세라믹 필터나 공진자, 디스크리미네이터 등의 주파수 특성 제어 소자가 본격적으로 개발되기 시작했다(B. Jaffe et al, 1955).

이러한 압전세라믹스의 기계적 공진현상을 이용하는 소자중에서 세라믹 공진자(ceramic resonator)는 100kHz~100MHz 주파수대역의 발진회로에 사용되는 매우 안정된 소자이다. 발진이란 일정 진폭, 일정 주파수의 전기진동을 계속해서 발생하는 현상으로서, 이러한 전기진동을 계속해서 발생하는 회로를 발진회로 또는 발진기(oscillator)라고 한다(이병식, 1988).

세라믹 공진자를 사용하는 발진회로는 기존의  $LC$ ,  $CR$  발진회로에 비해 소형, 경량, 저가, 무조정화가 가능하고 수정 공진자보다는 못하지만 주파수의 온도안정성이 우수하다는 등의 장점이 있다. 또한 세라믹 공진자를 발진자로 사용하면 발진상승시간이 빨라 단일 칩 마이크로 프로세서, 리모트 콘트롤, 라디오, TV, VTR, 전화기의 Tone Dialer 등의 기준 신호 발생원으로 적당할 뿐만 아니라 VCO(voltage controlled oscillator)로도 사용이 가능하다(이개명, 1997). 이렇듯 세라믹 공진자를 이용한 발진자는 거의 모든 전자제품에 사용되고 있고 그 수요 또한 계속 증가하고 있는 추세에 있다. 그러나 지금까지 세라믹 공진자를 이용한 발진회로에 대한 연구가 체계적으로 진행되지 못하고 있다.

따라서, 본 논문에서는 세라믹 발진자의 동작원리를 정리하고 발진회로

를 구성하여 발진특성을 측정하고자 한다. 기본 조성을  $Pb(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3$ 로 하고 온도안정성과 경시변화특성을 향상시키기 위해 안정화제인  $Cr_2O_3$ 가 0.3[wt%]첨가된 압전세라믹 기판을 제작하였다(N.Uchida and T.Ikeda, 1967). 세라믹 공진자(ceramic resonator)는 어떠한 진동모드를 이용하느냐에 따라 구현하고자 하는 주파수대가 결정되는데, 윤곽진동모드(contour vibration mode)를 이용하여 발진주파수가 455kHz인 세라믹 발진회로를 소비전력이 작고 안정된 주파수특성을 얻을 수 있는 CMOS 인버터(TC4069UBP)로 구성했다(吉田式, 1990). 그리고 세라믹 공진자의 두께를 변화시켜 공진자의 정전용량을 변화시키고, 이 정전용량의 변화가 발진주파수에 미치는 영향을 조사하였다.

## II. 세라믹 공진자와 발진 원리

### 1. 세라믹 공진자

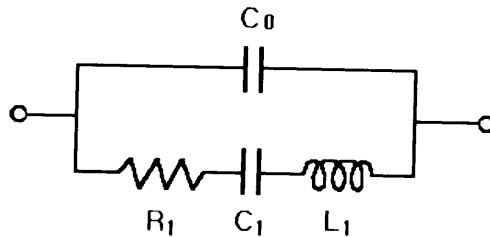
#### 1) 등가회로

세라믹 공진자는 거의 대부분 2단자형이며, 이 공진자의 기호는 Fig.1 (a)와 같고, 공진주파수 부근에서 전기적으로 Fig.1 (b)와 같은 등가회로로 나타낼 수 있다(IRE, 1957).

이 등가회로에서 직렬단의  $R_1, L_1, C_1$  은 세라믹 기판의 기계적인 진동을 전기적으로 등가화 한 부분이고  $C_0$ 는 시편의 전기적인 정전용량을 나타낸다. 여기서  $R_1$ 은 등가 저항,  $C_1$ 은 등가 compliance,  $L_1$ 은 등가 질량,  $C_0$ 는 병렬 등가 정전용량이다. Fig.2에 주파수의 변화에 따른 세라믹 공진자의 임피던스 및 위상특성을 나타내었다. 임피던스가 최소, 최대가 되는 점에서의 주파수를 각각 공진주파수( $f_r$ ), 반공진주파수( $f_a$ )라고 하고



(a) Symbol



(b) An electrical equivalent circuit

Fig.1 A symbol and an electrical equivalent circuit of a piezoelectric ceramic resonator

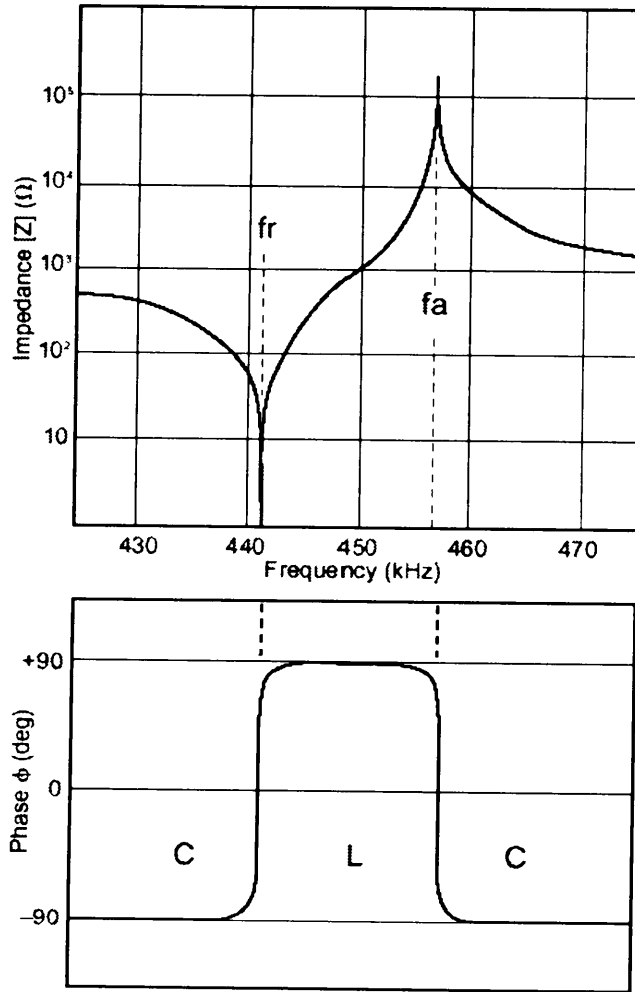


Fig.2 Impedance and phase characteristics of a piezoelectric ceramic resonator

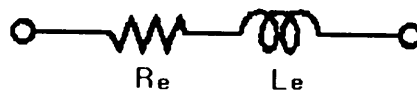


Fig.3 An equivalent circuit of a piezoelectric ceramic resonator in the frequency band  $f_r \leq f \leq f_a$

그 사이의 위상은  $90^\circ$ 로 전기적으로 인덕턴스의 특성을 갖는다. 따라서 세라믹 공진자는 Fig.3과 같이  $f_r \leq f \leq f_a$ 인 범위에서 손실이  $R_e$ 인 인덕터 ( $L_e$ )로 동작한다. 그리고, 공진주파수( $f_r$ ) 및 반공진주파수( $f_a$ )는 (1), (2)식으로 나타낼 수 있다.

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

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


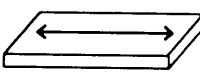
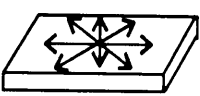
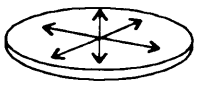
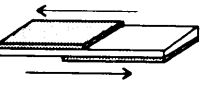
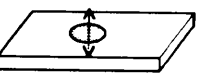
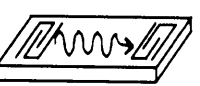
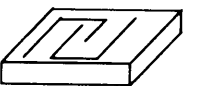
Vibration mode	shape	1k	10k	100k	1M	10M	100M	1G	Application
Flexure Vibration									piezo buzzer
Lengthwise Vibration									kHz filter kHz resonator
Area Vibration									kHz filter kHz resonator
Radius Vibration									
Thickness Shear Vibration									MHz filter MHz resonator
Thickness Trapped Vibration									MHz filter MHz resonator
Surface Acoustic Wave									SAW filter SAW resonator
BGS Wave									SH trap SH resonator SH filter

Fig.4 Usable vibration modes according to the frequency range

## 2) 주파수영역과 진동모드

세라믹 공진자의 고유진동 주파수는 재료의 압전상수와 치수 등에 의해 결정되는데 각 주파수영역에 따라 이용되는 진동모드가 다르다. 이런 관계를 Fig.4에 나타내었고, 본 논문에서 윤곽진동모드(contour vibration mode)를 이용하여 455kHz 공진자를 제작하였다. 윤곽진동모드는 200kHz~1.2MHz까지의 공진자 구현이 가능하며, 공진자의 동작주파수는 소자의 길이에 반비례한다.

## 2. 발진 원리

일반적인 전기적 발진은 인덕턴스(L)와 커패시턴스(C)의 상호작용에 의하여 이루어지며 이때 발생하는 전기적 신호의 주파수는 인덕턴스와 커패시턴스에 의하여 결정된다. 그러나 모든 전기적 회로에는 저항성분이 있으므로 이러한 발진은 시간의 경과함에 따라 소멸하며 전기적 신호로 이용하기 위해서는 이 신호를 계속해서 유지시켜 주어야 하며, 다음과 같은 발진유지 방법이 있다(정준환, 1997),(전금경, 1993).

- 정귀환에 의한 발진
- 부성저항에 의한 발진
- 전달시간 또는 위상지연을 이용한 발진

### (1) 귀환형 발진회로의 동작원리

세라믹(또는 수정) 발진자 나 LC 발진회로는 정귀환을 이용한 방법을 많이 사용하고, Fig.5처럼 발진회로는 증폭회로와 귀환회로로 나뉘는데 입력신호와 출력신호의 위상차가 없을 경우 회로 전체의 이득  $G$ 는 다음과 같다.



$$G = \frac{\alpha}{1 - \alpha\beta} \quad (3)$$

여기서  $\alpha$ 는 증폭기의 이득이고  $\beta$ 는 귀환회로의 이득이다. (3)식은  $\alpha\beta=1$ 일 때  $G$ 는  $\infty$ 가 되는데 이것은 외부 입력이 없어도 귀환신호에 의해 출력신호가 나타나 발진이 일어남을 뜻한다. 따라서 발진이 되려면 다음과 같은 Barkhausen의 발진조건을 만족해야 한다.

진폭조건 : Loop Gain  $G = \alpha \cdot \beta \geq 1$

위상조건 :  $\theta = \theta_1 + \theta_2 = 360^\circ \times n \quad (n = 1, 2, \dots)$

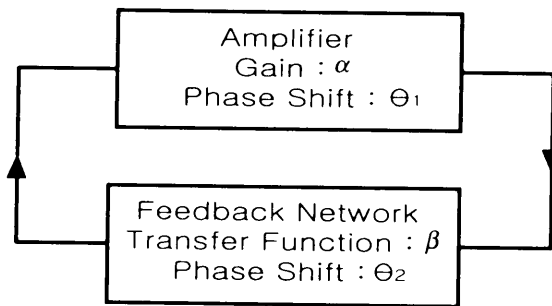


Fig.5 A block diagram of an oscillator with a feedback network

## (2) 3소자형 발진회로

LC에 의한 정귀환 발진회로는 3개의 소자를 이용한 콜피츠발진기와 하틀리발진기가 대표적인데 이들의 발진주파수를 구하기 위해 트랜지스터를 이용하여 증폭 및 귀환회로를 구성하게 되면 Fig.6과 같고 이것을 교류등가회로로 나타내면 Fig.7과 같다.

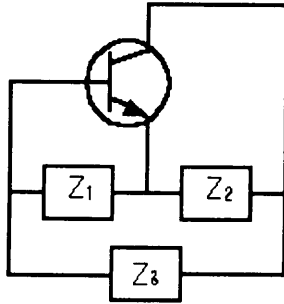


Fig.6 A basic oscillator using a transistor and three passive elements

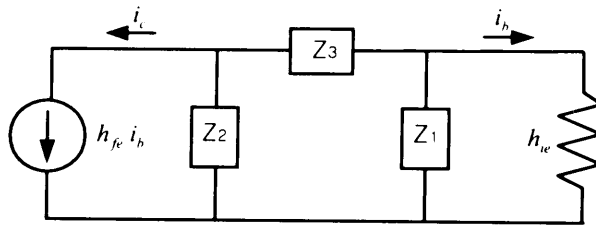


Fig.7 The AC equivalent circuit of Fig.6

여기서, 트랜지스터의 전류증폭율은  $A$ , 귀환회로의 전류귀환율은  $\beta$ 이다.

$$A = h_{fe} \quad (4)$$

이므로  $\beta$ 를 구하기 위해  $i_b$ 를 구하면 (5)식과 같다.

$$i_b = -i_c \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3 + \frac{h_{ie}Z_1}{h_{ie} + Z_1}} \times \frac{Z_1}{h_{ie} + Z_1} \quad (5)$$

$$\beta = \frac{i_b}{i_c} = \frac{-Z_1 Z_2}{(Z_2 + Z_3) + (h_{ie} + Z_1) + h_{ie} Z_1} \quad (6)$$

$$= \frac{-Z_1 Z_2}{Z_1(Z_2 + Z_3) + h_{ie}(Z_1 + Z_2 + Z_3)}$$

Barkhausen의 발진조건에서 Loop Gain은 전류증폭율과 전류귀환율의 곱으로 나타나낼 수 있다.

$$A\beta = \frac{-h_{fe} Z_1 Z_2}{Z_1(Z_2 + Z_3) + h_{ie}(Z_1 + Z_2 + Z_3)} = 1 \quad (7)$$

여기서,  $Z_1, Z_2, Z_3$ 를 순리액턴스  $X_1, X_2, X_3$ 로 대치하면 (8)식과 같다.

$$A\beta = \frac{h_{fe} X_1 X_2}{-X_1(X_2 + X_3) + jh_{ie}(X_1 + X_2 + X_3)} = 1 \quad (8)$$

입력신호와 출력신호가 동상 즉, 정귀환이 되기 위해서는 허수부가 0이 되어야한다.

$$X_1 + X_2 + X_3 = 0 \quad (9)$$

(9)식을 (8)식에 대입하면 다음과 같다.

$$A\beta = \frac{h_{fe} X_2}{X_1} = 1 \quad (10)$$

$$A = \frac{1}{\beta} = \frac{X_1}{X_2} \quad (11)$$

(9), (11)식에서 입력측과 출력측의 리액턴스가 같아야 하며( $X_1 = X_2$ ),  $X_3$ 는 그것과 다른 리액턴스이어야 한다. 따라서 발진회로를 구성하기 위해서는 Table 1과 같은 형태로 구성해야 하며 (9)식의 위상조건을 이용

Table 1 Oscillation circuits according to reactances

Oscillation circuits	Elements			Oscillating Frequency
	Z <sub>1</sub> (Input)	Z <sub>2</sub> (Output)	Z <sub>3</sub>	
Colpitts	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	L	$f_{osc} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}}}$
Hartley	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	C	$f_{osc} = \frac{1}{2\pi\sqrt{C(L_1 + L_2)}}$

하면 발진주파수를 구할 수 있다.

### (3) Hook-up 회로

세라믹 발진자를 이용하는 경우는 공진주파수와 반공진주파수의 사이에서 인덕터가 되는 성질을 이용하여 LC회로의 L대신에 세라믹 발진자를 넣어 발진회로를 구성하는데 하틀리 발진회로보다는 회로구성이 쉬운 콜피츠 발진회로를 많이 사용하고 있다. 세라믹 발진자를 이용한 콜피츠 발진회로에는 CMOS 인버터를 사용하는 방법을 많이 사용한다(전자기술, 1999).

Fig.8에 위상을 반전시키는 CMOS 인버터에 의한 Hook-up회로를 나타내었다. 여기서, R<sub>f</sub>는 귀환저항으로서 CMOS 인버터를 반전증폭기로 동작시키기 위한 바이어스 저항으로 R<sub>f</sub>가 과대하면 입력측에 있어서 절연저항이 어떤 요인으로 저하되었을 경우 발진 정지를 일으키기 쉽고, R<sub>f</sub>가 너무 적으면 증폭기의 증폭도가 저하된다. 보통 IC에 내장되어 있는 경우를 제외하고 1 MΩ정도인 것을 사용한다. 부하용량 C<sub>L1</sub>, C<sub>L2</sub>는 발진회로의 안정된 발진주파수를 정하는 중요한 파라미터이다. 회로에서 세라믹 공진자와 부하용량이 병렬로 결합되어 있으므로 Fig.1의 세라믹 공

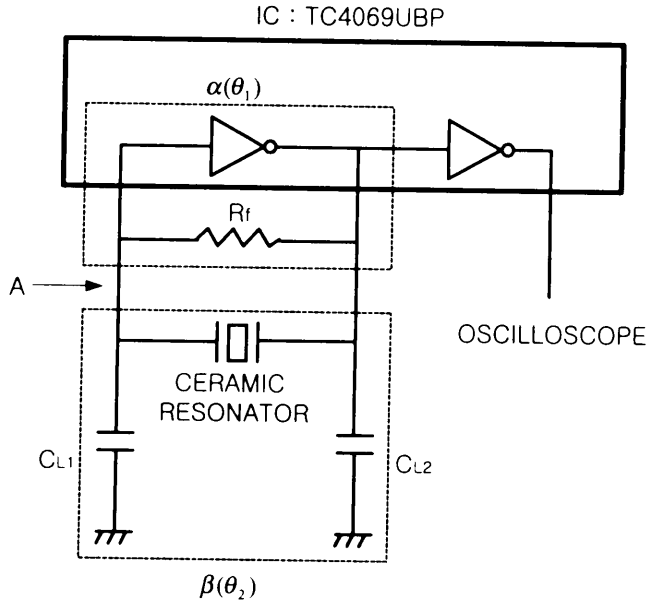


Fig.8 Hook-up circuit using CMOS inverter

진자의 등가회로 상수와 입력부하용량  $C_{L1}$  , 출력부하용량  $C_{L2}$ 로부터 (12)식과 같은 발진주파수를 구할 수 있다.

$$f_{osci} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1 \frac{C_0 + C_L}{C_0 + C_L + C_1}}} = f_r \sqrt{1 + \frac{C_1}{C_0 + C_L}} \quad (12)$$

여기서,  $C_L$ 은  $C_L = \frac{C_{L1} C_{L2}}{C_{L1} + C_{L2}}$  이다.

Fig.8에서 MOS형의 IC는 입력 임피던스가 매우 크고 발진회로중 증폭기의 전압증폭율이 입력측 부하에 영향을 주지 않으므로 A점을 잘라내어 Fig.9와 같은 Open loop법으로 Loop gain  $G$ 와 Phase  $\theta$ 를 측정할 수 있다(진동자·공진기·필터 최신기술 편집 위원회, 1986).

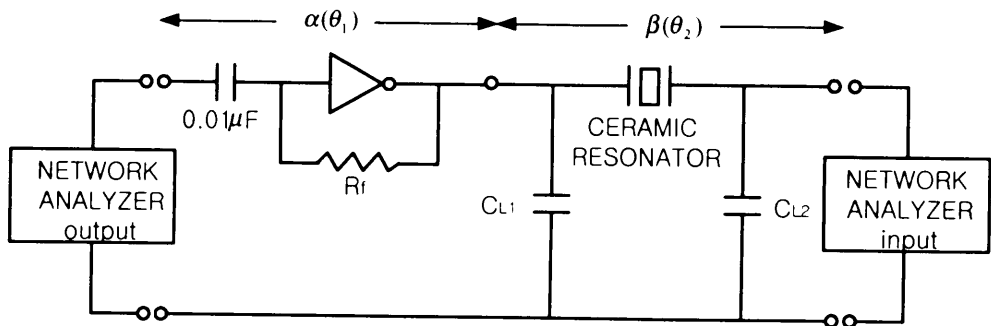


Fig.9 Measuring circuit of loop gain and phase shift

Fig. 9에서 입력전압을  $V_1$ , 출력전압을  $V_2$ 라 하면

$$V_2 = V_1 \times \alpha \times \beta \quad (13)$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \alpha \times \beta \quad (14)$$

인 관계가 성립한다. Gain은  $20 \log \frac{V_2}{V_1} = 20 \log \alpha \beta$ 로 쓸 수 있다.

Barkhausen의 발진조건에서 진폭조건이  $\alpha \beta \geq 1$ 이므로

$$20 \log \frac{V_2}{V_1} = 20 \log \alpha \beta \geq 0 [dB] \quad (15)$$

인 관계가 성립한다. 이것은 입력신호와 출력신호의 위상차가 없을 때 Loop gain이  $0 [dB]$  이상이면 발진되는 것을 의미한다.

### III. 실험

#### 1. 시편의 제작

본 논문에 사용된 압전세라믹 기판을 보통소성법으로 제작하였고, 제작 과정은 Fig.10과 같다.

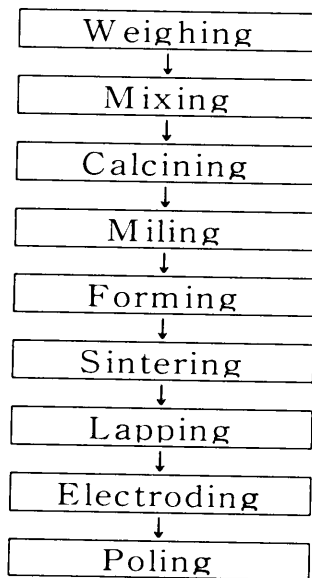


Fig.10 Fabrication process of piezoelectric ceramics

$Pb(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3 + 0.3[wt\%]Cr_2O_3$ 의 조성을 가지는 세라믹스 기판을 산화물 혼합법으로 제조하였다. 이때 제작에 사용된 소원료의 순도와 제작회사를 Table 2에 나타내었다. 소원료의 평량은 전자 천평으로  $10^{-3}$  g까지 정확히 측정하였으며, 혼합(mixing)은 소원료와 볼(옥석), 아세톤을 중량비로 1:1:1이 되도록 배합하여 날젠(nalgene)병에 넣고 볼밀(ball mill)로 130rpm의 속도로 20시간 습식 혼합하였다. 이 혼합된 원료는  $150^{\circ}C$  온도에서 10시간 건조시킨 후 알루미늄 도가니에 넣고

Table 2 Grade and the manufacturers of starting materials

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

850°C에서 2시간 1차 열처리(calcining) 시켰다. 고온에서 열처리를 하면 PbO가 휘발하게 되는데 이를 보상하고 시편의 치밀화를 촉진시키기 위해 5wt%의 PbO를 과잉 첨가하여 2차 혼합, 건조하였다. 분쇄된 시료에 5%의 PVA액을 5wt%첨가하고 조립한 다음 원형 몰드에 넣고 Press를 이용해 각각 1 ton/cm<sup>2</sup> 과 2 ton/cm<sup>2</sup> 의 압력으로 성형하였으며, 성형체를 650°C에서 2시간 동안 유지하여 결합제를 제거하였고, 200°C/h의 승온속도로 1200°C에서 2시간 유지한 후 400°C이후로는 전기로안에서 자연 냉각시켜 2차열처리(sintering)를 행하였다. 2차 열처리된 시편의 두께를 0.4, 0.6, 0.8mm로 연마한 다음 은전극을 바르고 3.5kV/mm로 분극시켰다. 분극된 시편은 4.4×4.4mm<sup>2</sup>의 크기로 가공하였다. 분극은 80°C 실리콘유 속에서 행하였다. 시편의 외형은 Fig. 11과 같고 시편의 기호는 Table 3과 같다.

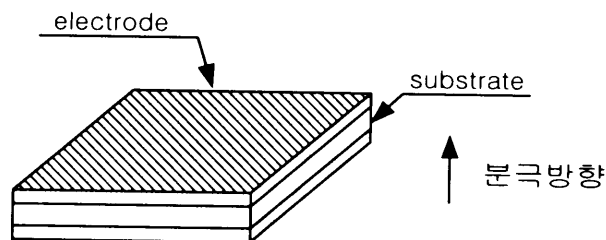


Fig.11 The shape of specimen



Table 3 Classification of fabricated specimens

가로×세로 (mm <sup>2</sup> )	두께(mm)	시편기호
4.4 × 4.4	0.8	A
	0.6	B
	0.4	C

## 2. 측정

### 1) 시편의 밀도

제작된 시편의 길이와 두께 및 질량을 측정하여 밀도를 계산하였다.

### 2) 공진자의 공진특성 측정

Network analyzer로 시편의 기본진동에 대한 공진특성과 잡음진동을 포함한 광대역 특성을 측정하였고, 측정 상수는 공진주파수( $f_r$ ), 반공진주파수( $f_a$ ), 등가 저항( $R_1$ ), 등가 질량( $L_1$ ), 등가 compliance( $C_1$ ), 병렬 등가 정전용량( $C_0$ )이다.

### 3) 발진주파수 측정

발진주파수는 Oscilloscope와 Network analyzer를 사용하여 측정하였으며 측정회로는 Fig.8, Fig.9와 같다.

### 4) 공진자의 공진주파수 및 발진주파수의 온도안정성

공진자의 공진주파수 및 발진주파수의 온도안정성을 살펴보기 위해  
 항온 항습조와 Network analyzer를 사용하여 -20[°C]~ 80[°C]의 온도  
 범위에서 2~3[°C/min]의 속도로 상승시키면서 10[°C]간격으로 이들  
 값의 변화를 Fig.12를 이용하여 측정하였다. (16)식을 이용하여 30°C 일  
 때의 공진 및 발진주파수를 기준으로 하여 온도변화를 나타내었다.

$$t_c = \frac{f(n^\circ\text{C}) - f(30^\circ\text{C})}{f(30^\circ\text{C})} \times 100 [\%] \quad (16)$$

여기서,  $f(n^\circ\text{C})$  : 각 온도에서의 공진주파수 또는 발진주파수 (kHz)

$f(30^\circ\text{C})$  : 30°C 일 때의 공진주파수 또는 발진주파수 (kHz)

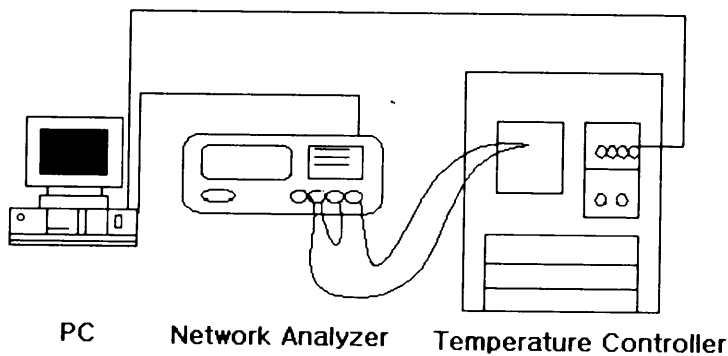


Fig.12 Measuring system of temperature stability  
 of frequency characteristics

## IV. 결과 및 고찰

### 1. 시편의 제 정수

제작된 시편의 제 정수는 Table 4에 나타내었다.

Table 4 Constants of fabricated specimens

시편기호	$f_r$ (kHz)	$f_a$ (kHz)	$R_1$ ( $\Omega$ )	$L_1$ (mH)	$C_1$ (pF)	$C_0$ (pF)	밀도
A	435.835	469.048	11.948	7.129	18.72	118.3	7.3 (g/Cm <sup>3</sup> )
B	434.571	465.541	11.358	5.568	24.10	163.3	
C	434.043	459.244	11.405	4.657	28.77	251.6	

### 2. 세라믹 공진자의 공진특성

Fig.13에 시편의 기본 진동특성을 나타내었다. 각 특성곡선의 상호 비교를 위해 세로 축, Gain축 상에서 평행이동하여 나타내었다. 시편의 공진주파수를 일정하게 하고 시편의 두께변화에 의한 정전용량을 변화시켰

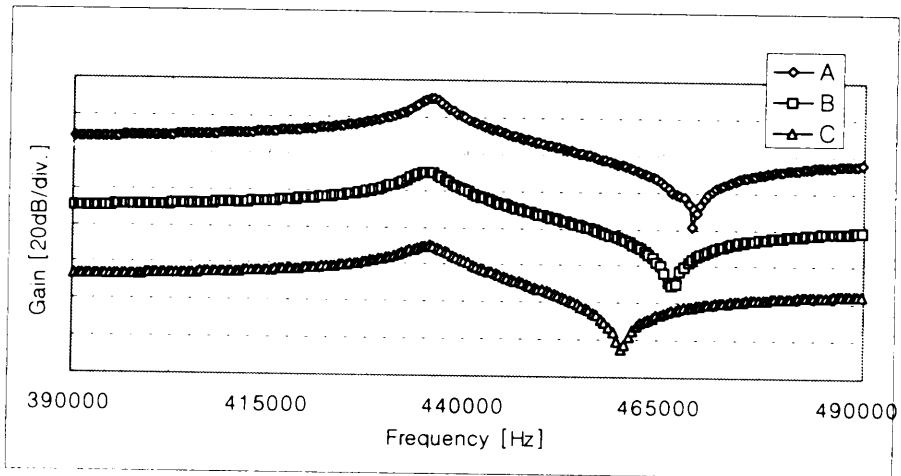


Fig.13 Characteristics of the fundamental vibration modes according to thickness changes of specimens

다. 두께가 얇아질수록 반공진주파수가 낮아지면서 대역폭이 작아짐을 알 수 있다.

Fig.14에 시편의 광대역 특성을 나타내었다. 각 특성곡선의 상호 비교를 위해 세로 축, Gain축 상에서 평행이동하여 나타내었다. A 시편에서는 고차진동에 기인한 많은 스퓨리어스가 발생하였고, 두께가 얇아질수록 잡음진동은 감소하고 점점 높은 주파수영역을 이동함을 알 수 있다.

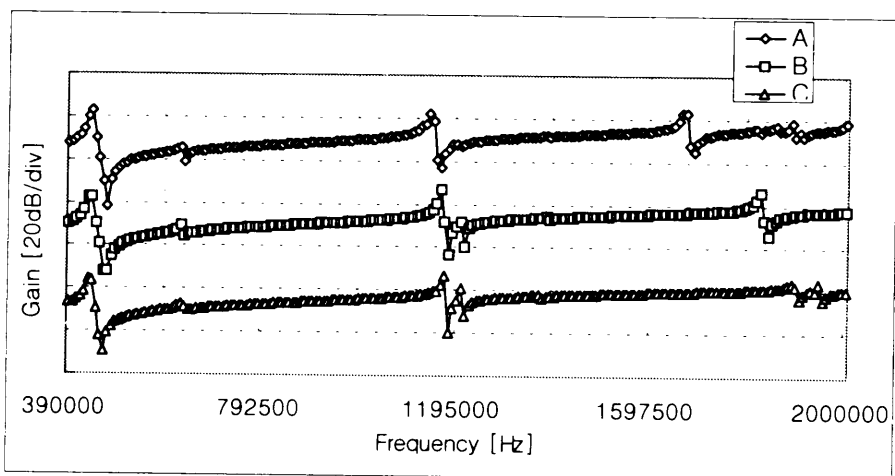


Fig.14 Changes of frequency characteristics in wide frequency range according to thickness changes of specimens

### 3. 세라믹 발진자의 발진특성

Barkhausen의 발진조건에 따라 0인 위상에서 0[dB]이상이면 발진한다. 측정회로의 부하용량  $C_L$  ( $C_{L1} = C_{L2} = 100\text{pF}$ )을  $50\text{pF}$ 으로 하여 455kHz대에서의 발진특성을 Fig.15, Fig.16처럼 Network analyser와 Oscilloscope로 확인한 결과 A, B, C 발진주파수는 458.2kHz, 457.0kHz, 454.0kHz였고 Oscilloscope의 출력전압은 약 5.094V였다. 공진자의 등가회로에서  $C_0$ 값의 증가로 인해 발진주파수가 낮아지는 것을 알 수 있었다.

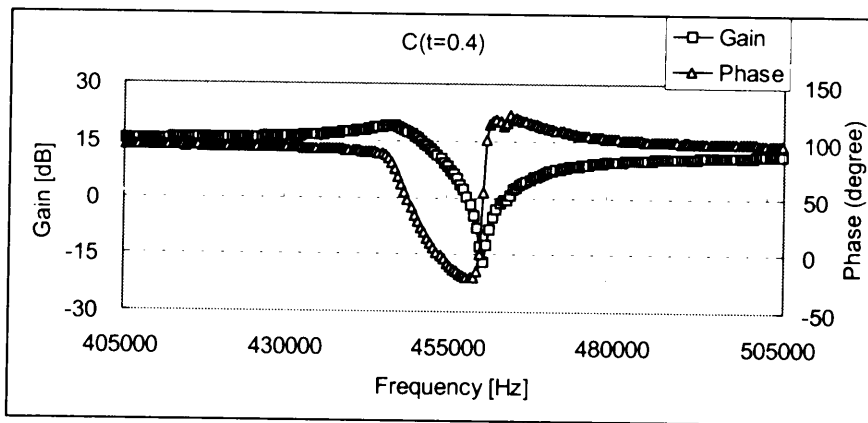
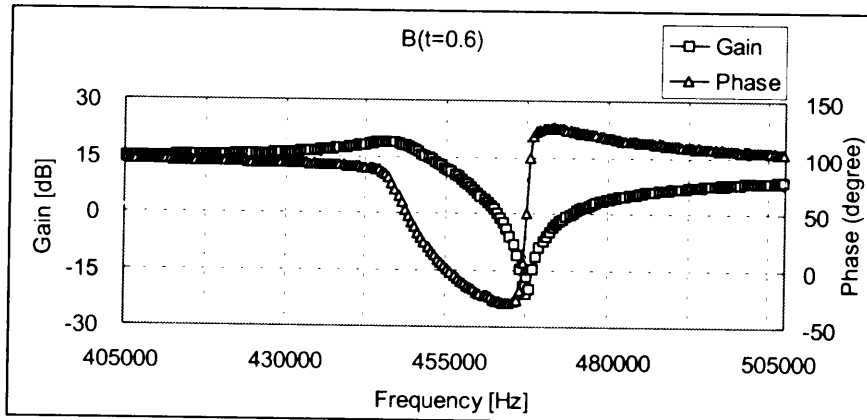
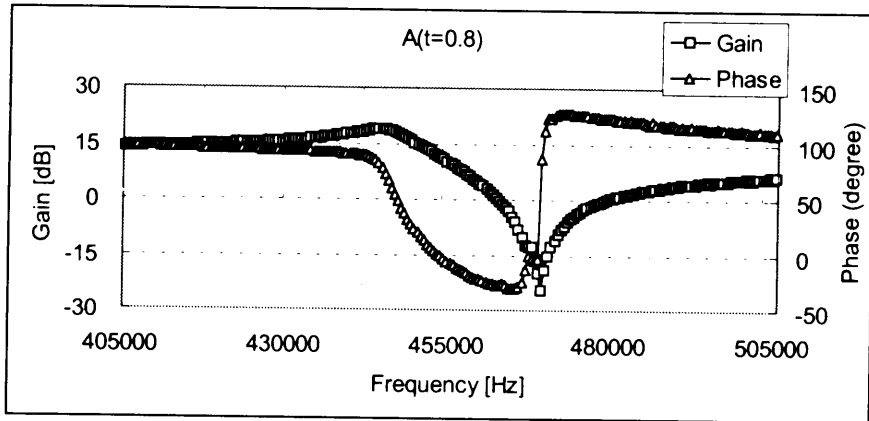


Fig.15 Oscillation characteristics in network analyzer

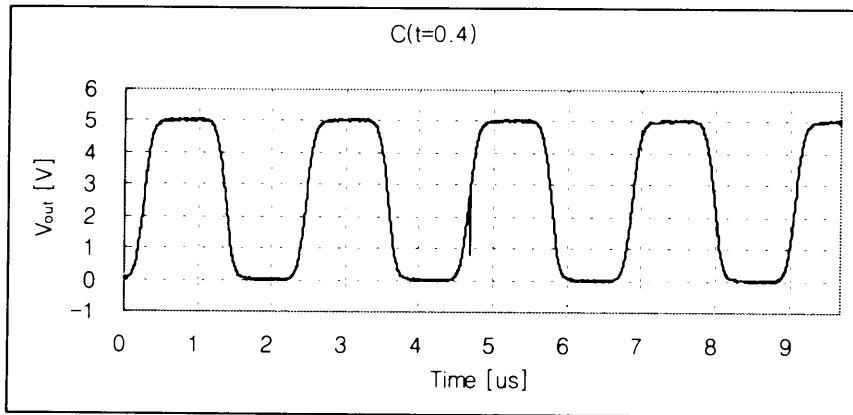
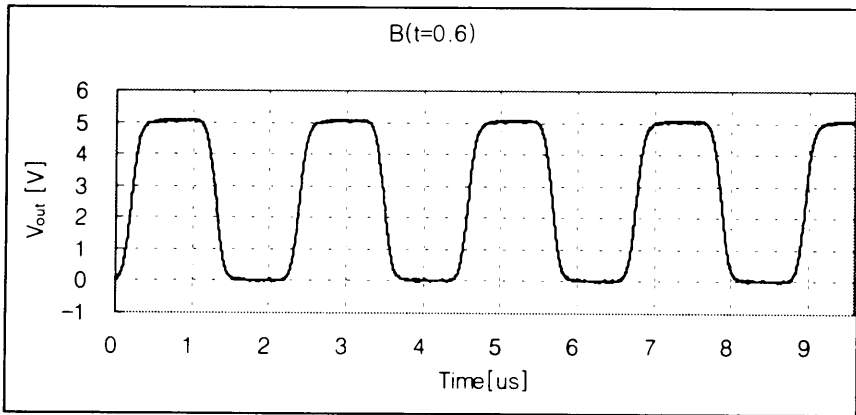
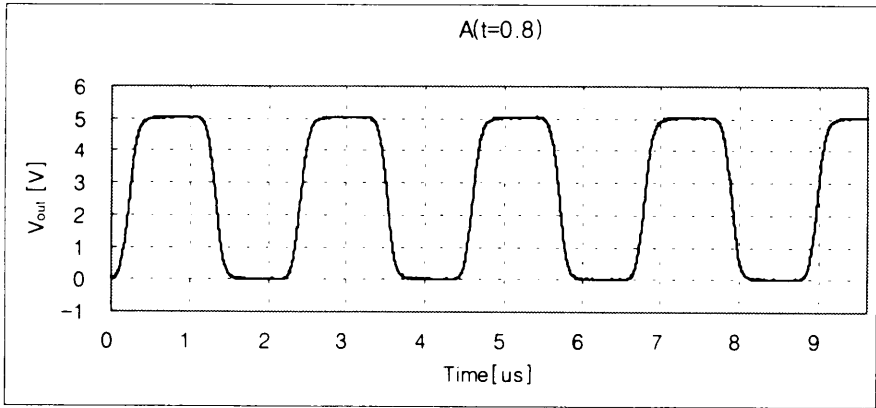
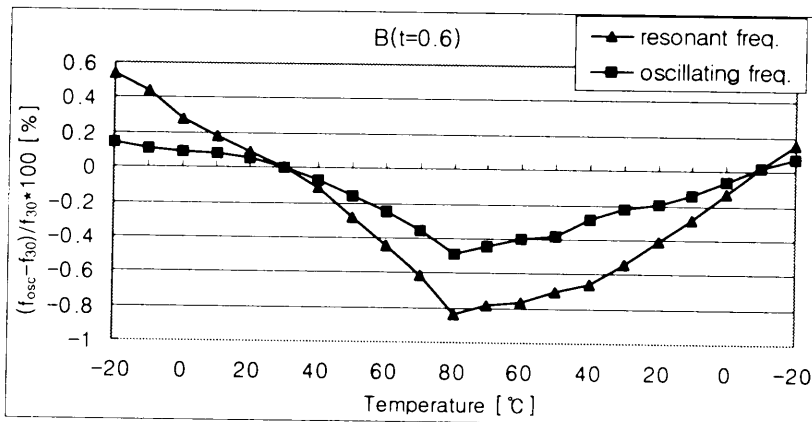
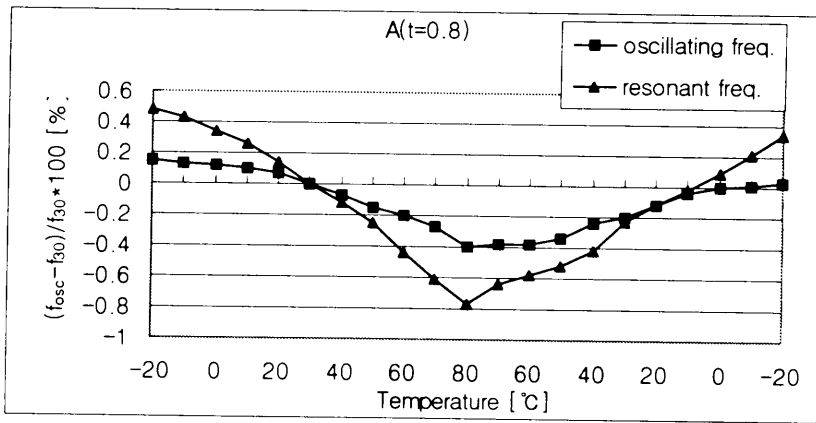


Fig.16 Oscillation characteristics in oscilloscope

#### 4. 공진주파수 및 발진주파수의 온도안정성

온도변화에 따른 공진주파수와 발진주파수의 변화를 30°C일 때의 공진 또는 발진주파수를 기준으로 하여 Fig.17에 나타내었다. 대체로 온도가 증가할수록 공진 및 발진주파수가 낮아짐을 보였고 두께가 얇아질수록 즉, 정전용량( $C_0$ )이 클수록 온도변화에 따라 발진주파수의 변화가 심한 것을 알 수 있다. 또 온도변화에 따른 공진주파수의 변동이 발진주파수의 변동보다 훨씬 큼을 보여준다.



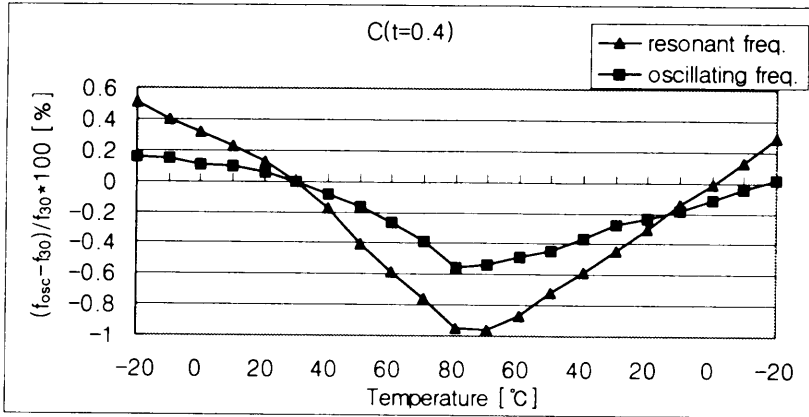


Fig.17 Temperature stability of resonant frequency  
oscillating frequency

Table 5에 공진자의 공진주파수 및 이 공진자를 사용한 발진회로의 발진주파수에 대한 온도계수를 나타내었다. Fig.17의 설명에서 언급한 것처럼 공진자의 두께가 줄어들수록 즉 공진자의  $C_0$  값이 증가할수록 공진주파수와 발진주파수의 온도계수가 증가하였고, 발진주파수에 대한 온도계수가 공진주파수에 대한 온도계수의 절반보다 작음을 알 수 있었다.

Table 5 The temperature coefficient of resonant and oscillating frequency

시편기호	공진주파수의 온도계수(ppm/°C)	발진주파수의 온도계수(ppm/°C)
A	125	54
B	138	56
C	146	72

## 5. 발진주파수의 측정값과 계산값

Table 6에 발진주파수의 측정값과 (12)식을 이용한 계산값을 비교하였다. 공진자의 두께를 변화시킨 세 경우 모두 계산값이 측정값보다 큼을



보여주고 있으며 두 값의 오차는 0.35%미만이다.

Table 6 The comparison of oscillating frequency

시편기호	측정값(kHz)	계산값(kHz)	오차(%)
A	458.2	459.435	0.27
B	457.0	458.464	0.32
C	454.0	454.273	0.06

## V. 결 론

$Pb(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3 + 0.3[wt\%]Cr_2O_3$ 의 조성을 갖는 압전세라믹스 기판을 이용하여 두께가 다른 세 종류의 공진자를 제작하고 이 공진자로 455kHz의 세라믹 발진회로를 구성하고 발진특성을 측정하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 공진자는 기판의 두께가 얇을수록  $\Delta f (= f_a - f_r)$ 가 줄어들고, 주파수축 상에서 기본진동과 고차진동의 사이가 멀어짐을 보여 주었다.
- 2) 세 종류의 공진자가 사용된 455kHz 발진회로를 구성하여, Barkhausen의 발진조건이 모두 만족함을 확인하였다.
- 3) 공진자의 두께가 감소함에 따라 즉  $C_0$ 값이 증가함에 따라 공진주파수와 발진주파수의 온도계수가 증가하였으며 발진주파수의 온도계수가 공진주파수의 온도계수보다  $\frac{1}{2}$  이하의 값을 가졌다.
- 4) 발진주파수의 측정값과 계산값의 오차는 0.35%미만이었고, 세 경우 모두 측정값이 계산값보다 작았다.

## 참 고 문 헌

- B. Jaffe et al, 1955, Properties of piezoelectric ceramics in the solid-solution series lead zirconate-lead oxide; Tin oxide and lead titanate-lead hafnate, J. Res. Natl. Bur. Standards, 55 (5), pp. 239-254.
- 이병식, 1988, 아날로그 회로(Ⅱ), pp. 10-17.
- 이개명, 1997, 압전 세라믹스 주파수 소자의 개발 동향, 한국전기전자재료 학회지, Vol. 10, No. 2, pp. 172-178.
- N.Uchida and T.Ikeda, 1967, Studies on  $Pb(Zr-Ti)O_3$  Ceramics with Addition of  $Cr_2O_3$ , Japan. J. Appl. Phys., Vol. 6, No. 11, pp. 1293-1298.
- 吉田式, 1990, 高周波回路設計 노하우, 機電研究社, pp. 99-140.
- 정준환, 1997, 고주파용 세라믹레조네이터의 수요와 개발, 월간세라믹스, 통권 108호. 5월, p. 81.
- 전금경, 1993, 최신 전자부품의 활용기술, 도서출판 세화, pp. 116-129.
- 전자기술, 1999, 세라믹 발진회로의 기초와 응용, Vol. 12., No. 12, pp. 56-66.
- 振動子・共振器・フィルタ最新技術 '86年版 編集委員會, 振動子・共振器・フィルタ最新技術 '86年版, 1985, 総合技術出版, pp.101-116.

## 감 사 의 글

2년이라는 대학원생활이 너무 빨리 지나간 것 같습니다. 부족한 저에게 무사히 석사과정을 마칠 수 있도록 도와주신 분들께 감사의 글을 전합니다.

본 논문이 있기까지 지도뿐만 아니라 세상을 넓게 볼 수 있도록 안목을 길러주신 이개명 교수님 감사합니다. 그리고 저에게 많은 관심과 가르침을 주신 좌종근 교수님, 오성보 교수님, 김일환 교수님, 김세호 교수님, 김호찬 교수님 감사합니다.

대학원 생활동안 많은 도움을 주고, 함께 의지할 수 있었던 홍문석, 진충민, 김용현 원생 그리고 전기물성 및 소자설계 연구실의 현원석, 김동오, 김병효, 고석범, 오형철 선배님들과 덕수, 미영, 승환, 여숙에게도 고마움을 전합니다.

본 논문에 대해 많은 조언을 해준 임대관 선배, 대학원 생활을 즐겁게 보낼 수 있도록 도와준 문상호, 안진오, 장승필 선배님 감사합니다.

많은 관심을 가져 주었던 종훈 형, 현정, 명훈에게도 감사의 마음을 전합니다.

끝으로 저를 위해 헌신적이고 사랑을 아끼지 않으셨던 부모님께 이 논문을 바칩니다.

2000년 12월  
한 성 훈 올림