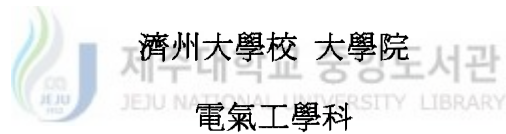


碩士學位論文

새로운 형태의 압전 세라믹 공진자를 이용한 초소형 MF 대역통과 필터에 관한 연구



任 大 寬

1999年 12月

새로운 형태의 압전 세라믹 공진자를 이용한 초소형 MF 대역통과 필터에 관한 연구

指導教授 李 開 明

任 大 寬

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함



任 大 寬의 工學 碩士學位論文을 認准함

審査委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

濟州大學校 大學院

1999年 12月

**A Study on ultra-small size MF bandpass filter using
piezoelectric ceramic resonators of a new type**

Dae - Kwan Lim

(Supervised by professor Gae - Myoung Lee)



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

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING

GRADUATE SCHOOL

CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1999. 12.

목 차

LIST OF FIGURES	iii
LIST OF TABLES	v
SUMMARY	vi
I. 서 론	1
II. 압전 세라믹을 이용한 사다리형 필터 해석	3
1. 압전 세라믹 공진자의 구조 및 분류	3
2. 압전 세라믹 공진자의 전기적인 등가회로	4
3. 사다리형 필터의 구조 및 해석	5
III. 실 험	11
1. 시편의 제작	11
2. 측정	13
1) 시편의 재료특성	13
2) 공진자 외형과 이에 따른 공진특성의 측정	14
3. 필터의 설계	15
IV. 결과 및 고찰	16
1. 밀도 및 비유전율	16
2. 외형에 따른 공진자의 공진특성	16

3. 필터 제작에 사용한 공진자의 공진특성	18
4. 제작된 필터의 응답특성	20
V. 결 론	28
참고문헌	29



LIST OF FIGURES

Fig. 1	Dimension of the specimen	3
Fig. 2	Arrangement of electric dipole	3
Fig. 3	A graphical symbol and an equivalent circuit	4
Fig. 4	Simplification process of an equivalent circuit of the piezoelectric ceramic ladder filter	7
Fig. 5	A filter circuit using image parameter and impedance matching	8
Fig. 6	A filter circuit using ABCD parameter and impedance matching	9
Fig. 7	Fabrication process of piezoelectric ceramics	11
Fig. 8	The profile of calcining and sintering temperature of the specimens	13
Fig. 9	Measurement circuit of fabricated filters	15
Fig. 10	Change of frequency characteristics of the resonators according to adjustment of their g/L ratios	17
Fig. 11	Change of frequency characteristics of the resonators according to adjustment of their t/L ratios	17
Fig. 12	Change of frequency characteristics of the resonators according to adjustment of their W/L ratios	18
Fig. 13	Frequency characteristics of the series and parallel resonator in narrow frequency range	19

Fig. 14	Frequency characteristics of the series and parallel resonator in wide frequency range	20
Fig. 15	Frequency characteristics of the one stage filter in narrow frequency range	21
Fig. 16	Frequency characteristics of the one stage filter in wide frequency range	21
Fig. 17	Frequency characteristics of the one stage filter in wide frequency range	22
Fig. 18	G.D.T. characteristics of the one stage filter	22
Fig. 19	Input/output impedance characteristics of the one stage filter	23
Fig. 20	Frequency characteristics of the two stage filter in narrow frequency range	24
Fig. 21	Frequency characteristic of the two stage filter in wide frequency range	24
Fig. 22	Frequency characteristics of the two stage filter in wide frequency range	25
Fig. 23	Input/output impedance characteristics of the two stage filter	25
Fig. 24	G.D.T. characteristics of the two stage filter	26

LIST OF TABLES

Table 1	Grade and the manufacturers of starting materials	12
Table 2	Shape condition of the resonators and their symbol representation	14
Table 3	Density and dielectric constant of fabricated specimens	16
Table 4	Parameter values of the parallel and series resonators	19
Table 5	Measured and calculated frequency characteristics of the two stage filter	26



SUMMARY

Recently, as personal portable communications into wide use, piezoelectric ceramic IF filters have come small size.

In this paper, a new type piezoelectric ceramic resonator was proposed and fabricated. It has a revolutionary figure that two separated electrodes were deposited on the same plane of a rectangular plate. The plate was poled through the electrodes. And 455[kHz] bandpass-filters which used the resonators were designed and fabricated.

The results of this investigation are as follows:

1. The new type resonators have large Δf , large dynamic ratio and resonance characteristics without spurious.
2. Because of the structural characteristics of the resonator, fabrication of the ultra-small size SMD type filter is possible at low price.
3. The proposed bandpass-filter has the wide bandwidth of over 9% relative bandwidth.
4. The proposed filter has good G.D.T. characteristics in passband.

I. 서론

PZT계 세라믹스의 주된 응용 분야 중의 하나가 필터나 공진자와 같은 전기신호의 주파수 처리에 관계된 기능 소자 분야이다. 이와 같은 분야로의 응용에 있어서 요구되는 중요한 특성 중의 하나가 시편의 동작 주파수가 시간 경과와 온도 변화에 대해 변화가 작아야 한다는 것이다.

PZT계 세라믹스는 Zr과 Ti의 배합 및 불순물을 첨가하는 것에 따라 전기기계 결합계수, 기계적 품질계수, 비유전율 등을 큰 폭으로 변화시킬 수 있고 온도 안정성이 우수하며 경시 변화가 작아 필터와 공진자로의 응용 가능하다.(N. Uchida and T. Ikeda, 1967). 특히 통신기기의 중간주파수 신호의 필터링에 있어서 세라믹 필터는 수정 주파수 소자에는 미치지 못하지만 RLC 소자보다는 동작 주파수의 안정성이 우수하고 소형이며 저가이므로 많은 민수용 전자기기에 광범위하게 사용되고 있다(F. Sauerland and W. Blum, 1968).

최근 이동통신 기기, 무선 전화기, 호출기 등의 통신용 부품의 수요가 비약적으로 확대되고, 이러한 기기의 특성상 이들 부품의 소형화가 지속적으로 요구되고 있으며, 생산공정에서 표면실장 기술의 보급에 따라 부품의 SMD(Surface Mounted Device)화가 요구되고 있다(이 개명, 1997).

MF(Middle Frequency: 30-300kHz) 대역통과 필터의 응용을 위하여 압전세라믹스의 윤곽 및 길이진동 모드가 고려되었다(塩崎 忠 外, 1987). 그러나 이러한 진동모드는 고차진동에 기인한 잡음진동 및 다른 진동모드에 의한 잡음진동이 야기되어 단일 진동특성을 갖는 공진자를 얻기가 어렵다. 또 현재까지 오랜 동안 MF대역 공진자와 필터로의 응용에 채택된 윤곽진동의 경우에는 소형으로 이들 부품을 제작하기가 곤란하다. 최근에 Murata사에 의해 잡음 진동을 억제하기 위한 방법으로 진동의 횡효과를 완전히 억제하고 종효과만을 야기시킨 각판의 적층 구조를 갖는 공

진자와 이를 응용한 사다리형 필터가 개발 되었다(U.S.Patent, 1999). 이렇게 적층된 압전 세라믹스 소자는 소형으로 제작할 수 있고 정전용량을 용이하게 변화 시킬 수 있으나 제작 공정이 복잡하고 가격이 비싼 단점이 있다.

본 연구에서는 소형으로 제작 할 수 있고, 잡음진동이 없는 단일 진동 특성을 갖는 새로운 구조의 공진자를 제안하였다. 이 공진자는 잡음 진동이 없고 dynamic ratio가 큰 공진특성을 가지며, 기판의 한쪽 면에 마주보고 있는 한 쌍의 전극을 통하여 분극되어지고 신호전압이 인가되는 구조적 특성상 초소형으로의 제작이 용이할 뿐만 아니라 제작 공정이 간단한 장점이 있다. 또한 공진자의 반공진 주파수와 공진 주파수의 차 (Δf)가 커서 대역폭이 큰 필터를 제작할 수 있고 SMD형으로 제작하는 것이 용이하다.

본 논문에서는 제안된 새로운 형태의 공진자를 제작하였고, 이 공진자들을 사용하여 MF대역의 사다리형 대역통과 필터를 설계, 제작하였으며 그 주파수 특성을 측정하였다.



II. 압전 세라믹을 이용한 사다리형 필터 해석

1. 압전 세라믹 공진자의 구조 및 분극

Fig. 1에 제안된 공진자의 구조를 나타내었다. 공진자는 압전 세라믹 기판의 한쪽 면에 마주보는 한 쌍의 전극을 가지고 있으며, 두 전극 사이에 직류 고전압을 인가하여 분극하였다. 분극된 기판의 진동자태를 알아보기 위하여 기판내의 분극구조를 시뮬레이션하여 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에서 기판은 지면에 수직인 방향으로 Fig.1의 W 에 해당하는 폭 방향의 길이를 가지고 있다. 시뮬레이션 조건으로서 두 개의 전극사

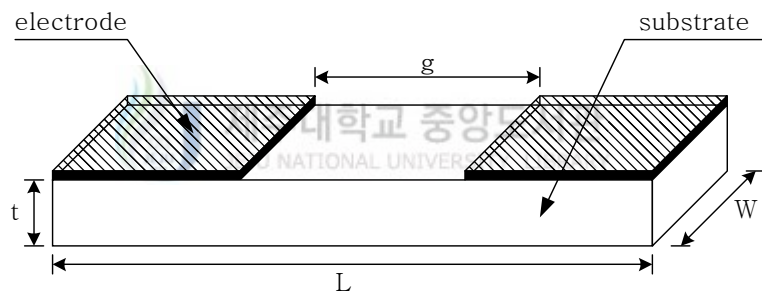


Fig. 1 Dimension of the specimen

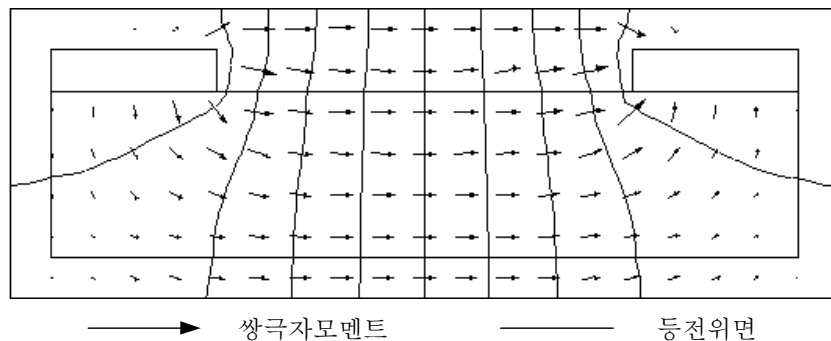


Fig. 2 Arrangement of electric dipole

이에 8[kV]의 직류전압을 인가하였고, 기판의 재질을 비유전율 800, 도전을 $10^{-10} [(\text{cm} \cdot \Omega)^{-1}]$ 인 2성분계 PZT로 설정하였다. 기판 외부에는 비유전율 16, 도전을 $0 [(\text{cm} \cdot \Omega)^{-1}]$ 인 실리콘 oil이 충전되어 있다. 대부분의 쌍극자 배열 방향이 분극 전계 방향인 길이방향으로 전극사이에 배열하고 있으며, 전극에서 상대적으로 거리가 먼 기판의 아랫면에는 길이방향으로 배열된 쌍극자 세기가 약함을 알 수 있다.

2. 압전 세라믹 공진자의 전기적인 등가회로

압전 세라믹스는 형태와 재질에 따라 고유 진동주파수를 갖고 있으며, 외부에서 가해진 전계의 주파수가 이 고유 진동주파수와 일치하게 되면 세라믹 기판은 최대 진폭으로 진동하게 된다. 이러한 압전 세라믹 공진자를 전기적 등가회로로 나타내면 Fig. 4와 같이 나타낼 수 있다. 도식적 기호로 (a)와 같이 표시하고 공진주파수 부근에서 집중정수 등가회로 (Electrical equivalent circuit with lumped parameters)를 이용하면 (b)와 같이 나타낼 수 있다.

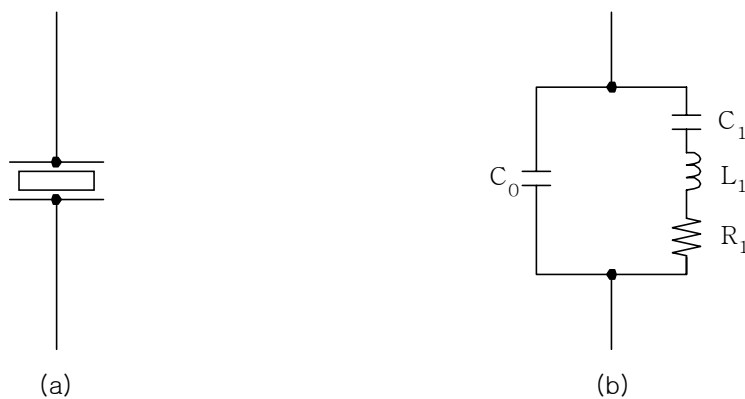


Fig. 3 A graphical symbol and an equivalent circuit

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

여기에서 공진주파수 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.

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



3. 사다리형 필터의 구조 및 해석

압전 세라믹 공진자를 Fig. 4(a)에 나타낸 것과 같이 사다리형으로 배열하면 대역통과 필터특성을 얻을 수 있다. 이때 온전한 대역통과 특성의 필터를 구현하기 위해서는 직렬단에 놓이는 공진자의 공진주파수와, 병렬단에 놓이는 공진자의 반공진주파수를 일치시키거나 근접시켜야만 된다.

Fig. 4(a)에 보여진 각각의 공진자를 임피던스로 표시하면 Fig. 4(b)처럼 나타낼 수 있다. 이때 임피던스 $Z_{s1}(f)$ 와 $Z_{p1}(f)$ 은

$$Z_{s1}(f) = \frac{1}{j2\pi f C_{0s1}} \cdot - \frac{\frac{f^2 - f_{rs1}^2}{f_{as1}^2 - f_{rs1}^2} + j2\pi f C_{0s1} R_{s1}}{\frac{f^2 - f_{rs1}^2}{f_{as1}^2 - f_{rs1}^2} + 1 + j2\pi f C_{0s1} R_{s1}} \quad (4)$$

$$Z_{p1}(f) = \frac{1}{j2\pi f C_{0p1}} \cdot - \frac{\frac{f^2 - f_{rp1}^2}{f_{ap1}^2 - f_{rp1}^2} + j2\pi f C_{0p1} R_{p1}}{\frac{f^2 - f_{rp1}^2}{f_{ap1}^2 - f_{rp1}^2} + 1 + j2\pi f C_{0p1} R_{p1}} \quad (5)$$

와 같이 나타낼 수 있으며, 마찬가지로 방법으로 $Z_{s2}(f)$, $Z_{p2}(f)$ 및 $Z_{sn}(f)$, $Z_{pn}(f)$ 을 구할 수 있다.

임피던스로 표시된 회로를 $ABCD$ 파라미터를 이용하여 Fig. 4(c)처럼 표시하면 각각에 대한 $ABCD$ 파라미터, $A_n(f)$, $B_n(f)$, $C_n(f)$, $D_n(f)$ 은 다음과 같이 직·병렬 임피던스로 표시할 수 있다. 즉,

$$A_n(f) = 1 + \frac{Z_{sn}(f)}{Z_{pn}(f)} \quad (6)$$

$$B_n(f) = Z_{sn}(f) \quad (7)$$

$$C_n(f) = \frac{1}{Z_{pn}}(f) \quad (8)$$

$$D_n(f) = 1 \quad (9)$$

와 같이 나타낼 수 있다.

Fig. 4(c)와 같은 $ABCD$ 파라미터를 가지는 4단자망의 직렬접속을 Fig. 4(d)와 같이 합성 4단자망으로 표시하면 다음 식과 같이 각각의 $ABCD$ 파라미터로 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} A_n & B_n \\ C_n & D_n \end{bmatrix} \quad (10)$$

$ABCD$ 파라미터는 4단자망의 외부에 연결되는 임피던스에 대한 고려 없이 도입된 것이다. 따라서 필터해석이 용이하도록 Fig. 5 회로에서 처럼 외부에 연결되는 임피던스까지 고려하여 영상파라미터로 표시하면,

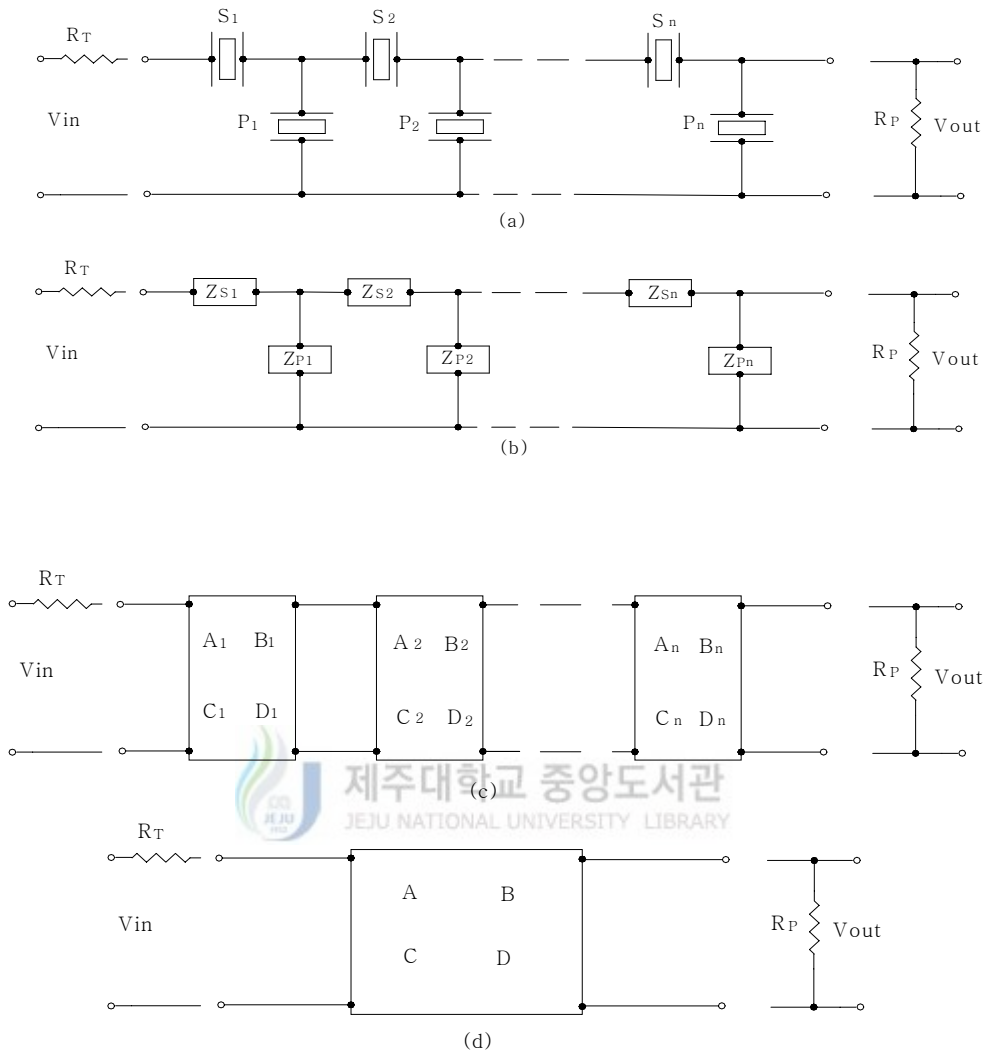


Fig 4. Simplification process of an equivalent circuit of the piezoelectric ceramic ladder filter

영상 파라미터 $Z_T(f)$, $Z_P(f)$, $\theta(f)$ 는,

$$Z_T(f) = \sqrt{\frac{A(f)B(f)}{C(f)D(f)}} \quad (11)$$

$$Z_P(f) = \sqrt{\frac{D(f)B(f)}{C(f)A(f)}} \quad (12)$$

$$\theta(f) = \tanh^{-1} \left(\sqrt{\frac{B(f)C(f)}{A(f)D(f)}} \right) \quad (13)$$

와 같이 나타낼 수 있다.

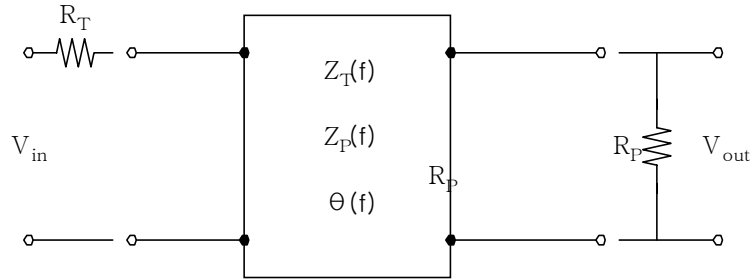


Fig. 5 A filter circuit using image parameter and impedance matching

Fig. 5와 같이 영상 파라미터로 표시되고 정저항으로 입력, 출력단이 매칭된 경우, 필터특성은 다음 식으로 주어진다. 감쇄특성 $\alpha(f)$ 는,

$$\alpha(f) = 20 \log \left| \frac{k(f)e^{\theta(f)}}{k_1(f)k_2(f)\sigma(f)} \right| \text{ [dB]} \quad (14)$$

로 주어지고 위상특성 $\phi(f)$ 는,

$$\phi(f) = \arg \left(\frac{k(f)e^{\theta(f)}}{k_1(f)k_2(f)\sigma(f)} \right) \text{ [radian]} \quad (15)$$

로 주어진다. 여기서,

$$k(f) = \frac{2\sqrt{R_T R_P}}{R_T + R_P} \quad (16)$$

$$k_1(f) = \frac{2\sqrt{R_T Z_T(f)}}{R_T + Z_T(f)} \quad (17)$$

$$k_2(f) = \frac{2\sqrt{R_P Z_P(f)}}{R_P + Z_P(f)} \quad (18)$$

$$\sigma(f) = \frac{1}{1 - \left(\frac{R_T - Z_T(f)}{R_T + Z_T(f)} \right) \left(\frac{R_P - Z_P(f)}{R_P + Z_P(f)} \right) e^{-2\theta(f)}} \quad (19)$$

이다.

세라믹 필터의 통과대역을 통과하는 전기신호는 위상이 지연된다. 주파수에 따라 신호의 지연 정도를 나타내는 파라미터가 군지연시간 (G.D.T: Group Delay Time) 특성이다. 군지연 특성 $g(f)$ 는,

$$g(f) = -\frac{1}{2\pi} \frac{d\phi(f)}{df} \quad (20)$$

로 주어진다(이개명, 1994).

필터 회로가 Fig. 6처럼 $ABCD$ 파라미터로 표시되고 입력, 출력 단자가 저항 R_T , R_P 로 종단되어 있을 때 필터의 입력, 출력 임피던스를 유도하기 위해 $ABCD$ 파라미터로 표시된 4단자망에 대한 기초방정식을 세우면,

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (21)$$

가 되고, 이를 풀어쓰면,

$$E_1 = AE_2 + BI_2 \quad (22)$$

$$I_1 = CE_2 + DI_2 \quad (23)$$

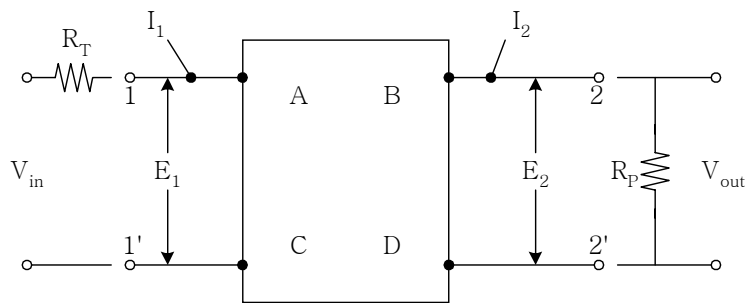


Fig. 6 A filter circuit using ABCD parameter and impedance matching

가 된다. 1-1' 단자에서 본 필터의 입력 임피던스, Z_{in} 은

$$\begin{aligned}
 Z_{in} &= \frac{E_1}{I_1} \\
 &= \frac{AE_2 + BI_2}{CE_2 + DI_2} \\
 &= \frac{A(E_2/I_2) + B}{C(E_2/I_2) + D} \\
 &= \frac{AR_P + B}{CR_P + D} \quad (24)
 \end{aligned}$$

로 구해진다. 또 식 (21)로부터

$$\begin{bmatrix} E_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} E_1 \\ I_1 \end{bmatrix} \quad (25)$$

을 얻을 수 있다. 이 식으로부터 2-2' 단자에서 본 필터의 출력 임피던스, Z_{out} 은 마찬가지로

$$\begin{aligned}
 Z_{out} &= \frac{E_2}{I_2} \\
 &= \frac{DR_T + B}{CR_T + A} \quad (26)
 \end{aligned}$$

로 얻어진다. 이렇게 구한 Z_{in} , Z_{out} 도 주파수의 함수가 된다(이개명, 1996).

III. 실험

압전 세라믹스를 보통소성법으로 제작하였으며, 제작된 시편의 재료특성과 외형에 대한 공진특성을 측정하였고, 래더형 필터를 설계, 제작하였다.

1. 시편의 제작

압전 세라믹스를 보편적인 제작방법인 보통소성법으로 제작하였다. 시편의 제작과정은 Fig. 7과 같다.



Fig. 7 Fabrication process of piezoelectric ceramics

본 실험에서 사용된 원료 분말은 PbO , TiO_2 , ZrO_2 , CoO , Nb_2O_5 , Cr_2O_3 이며 이로부터 산화물 혼합법에 의하여 $Pb(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3$

-0.3[wt%] Cr_2O_3 의 조성을 갖는 2성분계 세라믹스와 $0.33PbTiO_3$ -
 $0.07PbZrO_3$ - $0.6Pb(Co_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ 의 조성을 갖는 3성분계 세라믹스를
 제작였다. 사용된 원료 분말의 순도와 제작회사를 Table 1에 나타내었
 고, 이 원료분말을 각각의 조성에 맞게 전자천평을 사용하여 10^{-3} [g]까
 지 평량하였다.

평량된 분말을 아세톤과 알루미나 ball을 사용하여 20시간 볼밀(ball
 mill)로 습식 혼합한 후 $150[^\circ C]$ 의 온도에서 10시간 건조하였으며 건조
 된 분말을 $850[^\circ C]$ 에서 2시간 하소하였다. 하소된 분말은 건식혼합법으
 로 10시간 분쇄하였으며, 바인더로 5[%]의 PVA액을 5[wt%]첨가하여 과립
 으로 만든 후 사각몰드에 넣고 $800[kg/cm^2]$ 의 압력으로 성형하였다. 성형
 체는 $650[^\circ C]$ 의 온도에서 2시간 유지하여 바인더를 제거 하였고 $250[^\circ C]$
 /h)의 승온속도로 각각의 조성에 알맞는 최적온도까지 승온하여 최고 온
 도에서 2시간 열처리 하였다. 급격한 온도변화를 가하지 않기 위해서
 $450[^\circ C]$ 까지는 $250[^\circ C/h]$ 의 강온속도로 강온하였고 그 이후는 전기로에
 서 자연 냉각 하였다. 각 조성에 따른 하소 및 소성온도의 온도구배 곡선
 을 Fig. 8에 나타내었다. 최종적으로 소성이 끝난 시편을 일정 두께로
 연마하여 은전극을 도포하여 소부하였고, $100[^\circ C]$ 의 실리콘 오일(oil)에
 서 고전계의 직류전압을 가하여 고온분극하였다.

Table 1 Grade and the manufactures of starting materials

Raw material	Purity[%]	Manufacturer
PbO	98	Osaka Hayashi pure Chemical Industries LTD.
TiO_2	97	Osaka Hayashi pure Chemical Industries LTD.
ZrO_2	99.9	Sigma Chemical Co.
CoO	98	Junsei Chemical Co.
Nb_2O_5	99.9	Fluka Cheie
Cr_2O_3	97.5	Osaka Hayashi pure Chemical Industries LTD.

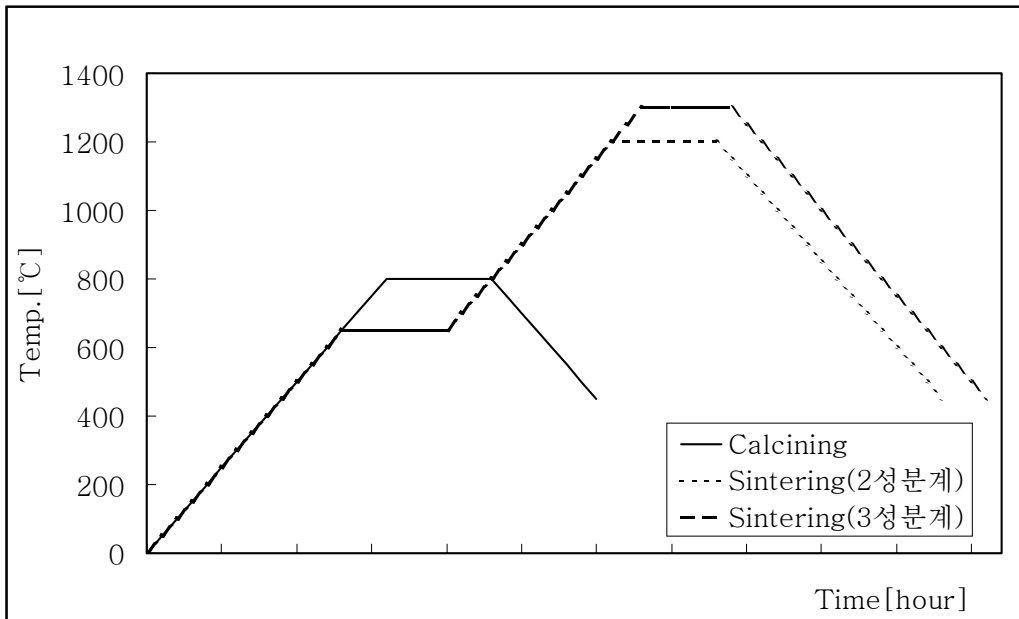


Fig. 8 The profile of calcining and sintering temperature of the specimens



2. 측정

1) 시편의 재료특성

제작된 시편의 치밀성을 파악하기 위한 변수로서, 시편외형과 질량을 측정하여 밀도를 계산하였다. 또한, 래더형 필터의 구성에 있어서 직렬 공진자와 병렬공진자의 용량비 (C_{os}/C_{op})를 최적화 시키기 위한 기초자료로서 시편의 비유전율을 측정하였다. LCR미터로 시편의 비유전율과 $\tan \delta$ 를 측정하여 다음 식을 사용하여 비유전율 ϵ_r 을 계산하였다.

$$\epsilon_r = \frac{C_0 \cdot t}{S \cdot \epsilon_0} \quad (27)$$

여기에서 각각

- C_0 : 시편의 커패시턴스
- S : 시편의 면적
- t : 시편의 두께
- ϵ_0 : 공기중의 비유전율 (8.854×10^{-12} [F/m])

이다.

2) 공진자 외형과 이에 따른 공진특성의 측정

공진자의 공진특성과 잡음 응답은 공진자 외형에 영향을 받기 때문에 시편외형을 여러 가지로 변화시킨 공진자를 제작하여 각각에 대해 공진 특성과 잡음 응답을 조사하였다. Table 2에 제작한 공진자의 기호표시와 각각에 대한 외형치수를 나타내었다.

Table 2 Shape conditions of the resonators and their symbol representation

	시편 기호	L	W	t	g
g/L의 변화	G1	3.3	0.85	0.8	2.6
	G2	3.3	0.85	0.8	1.9
	G3	3.3	0.85	0.8	1.2
t/L의 변화	T1	3.3	0.85	1.8	2.4
	T2	3.3	0.85	1.4	2.4
	T3	3.3	0.85	0.8	2.4
	T4	3.3	0.85	0.4	2.4
W/L의 변화	W1	3.3	3	0.8	2.4
	W2	3.3	2	0.8	2.4
	W3	3.3	1	0.8	2.4

3. 필터의 설계

재료 선정에 있어서 직렬 공진자는 압전성이 크고 안정성이 뛰어난 PZT계 세라믹스로 제작하였다(B. Jaffe, 1971). 저지대역의 감쇄를 크게 하기 위해서는 직렬 공진자와 병렬 공진자의 용량비를 크게 할 필요가 있다. 따라서 직렬 공진자에 비해 병렬 공진자로 사용되는 기판의 비유전율이 상대적으로 크면 필터구성에 큰 잇점이 있다. 병렬 공진자는 조성비에 의해 높은 비유전율을 얻기가 용이한 3성분계 PZT 세라믹스로 제작하였다(T. Kudo, 1969). 필터를 제작하기 전에 필터특성을 알아보기 위해, 설계된 필터의 감쇄특성, G.D.T. 특성등을 Mathcad로 시뮬레이션 하였다. Fig. 9는 제작된 필터의 필터 특성을 측정하기 위해 사용된 측정회로이다.

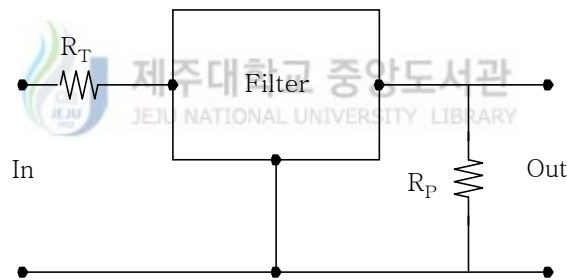


Fig. 9 A measurement circuit of fabricated filters

IV. 결과 및 고찰

1. 밀도 및 비유전율

제작된 시편의 밀도와 비유전율을 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Density and dielectric constant of fabricated specimens

조성	항목	밀도[g/cm ³]	비유전율
$Pb(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3 - 0.3[wt\%]Cr_2O_3$		7.6	907
$0.33PbTiO_3 - 0.07PbZrO_3 - 0.6Pb(Co_{1/3}Nb_{2/3})O_3$		7.2	3133

2. 외형에 따른 공진자의 공진특성

Fig. 10에 g/L의 비에 따른 공진특성을 나타내었다. g/L의 비가 커질수록 즉, 전극사이의 간격이 넓어질수록 점차적으로 스푸리어스가 감소하며, G1시편의 경우는 단일 진동의 공진특성을 나타내고 있다.

Fig. 11에 t/L의 비에 따른 공진특성을 나타내었다. T1 시편에서는 고차진동 등에 기인한 많은 스푸리어스가 발생하였으나 기판의 두께가 얇아질수록 스푸리어스가 크게 감소하고 있음을 보여주고 있다. T4 시편의 경우는 스푸리어스가 전혀 없는 단일 공진 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

Fig.12에 W/L의 비에 따른 공진특성을 나타내었다. W1 시편에서는 기본진동 부근에 기생진동이 야기되고 있으나 W2, W3 시편의 경우는 스푸리어스가 크게 억제되고 있음을 알 수 있다.

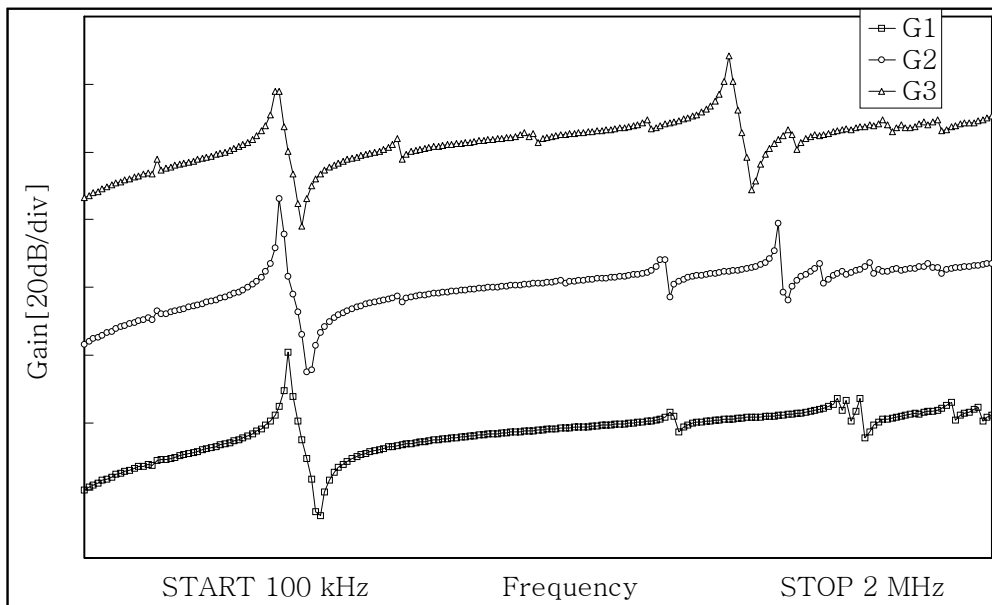


Fig. 10 Change of frequency characteristics of the resonators according to adjustment of their g/L ratios

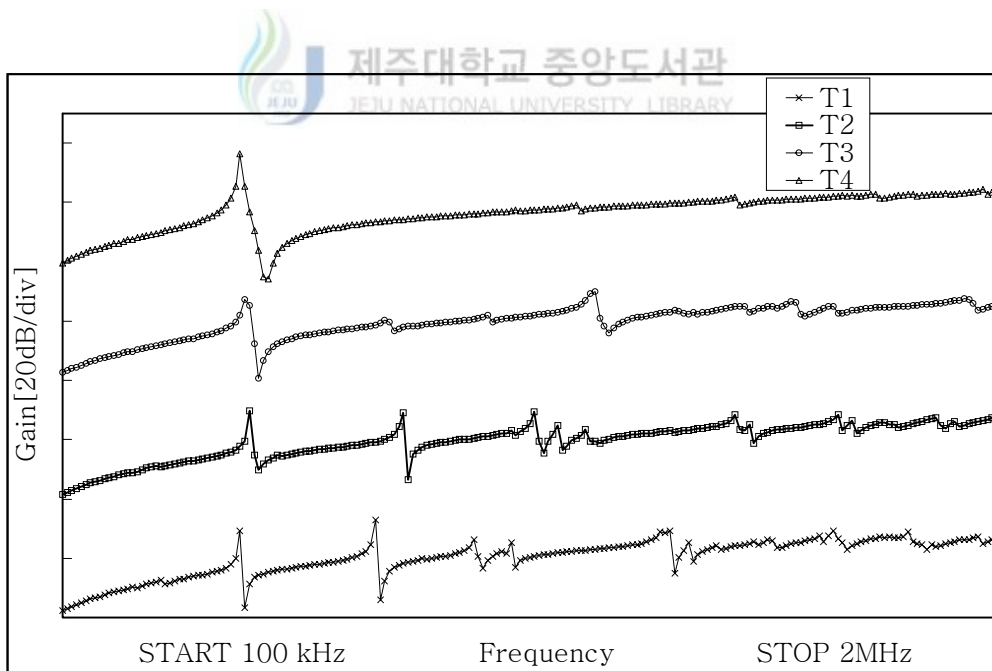


Fig. 11 Change of frequency characteristics of the resonators according to adjustment of their t/L ratios

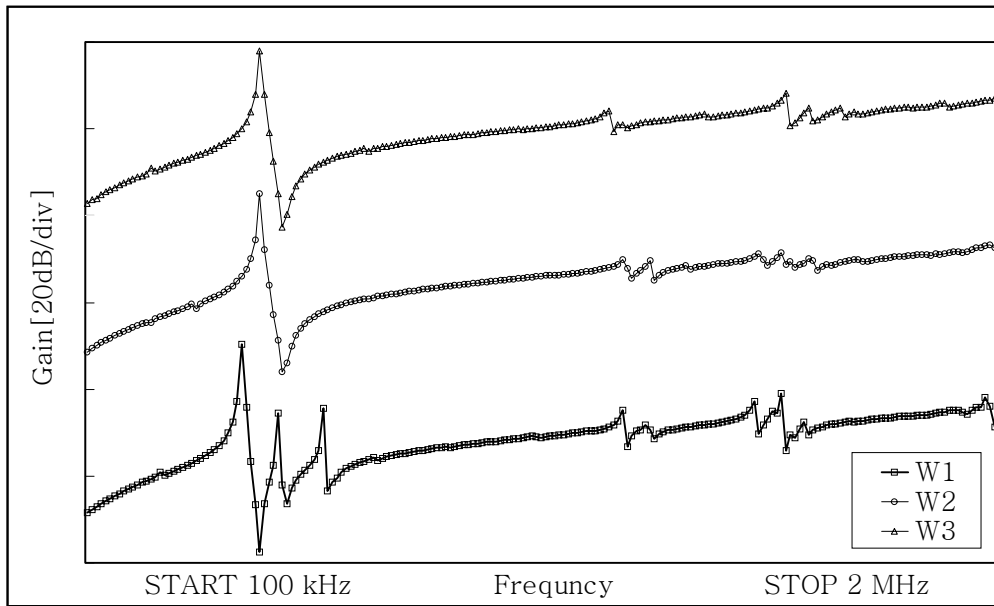


Fig. 12 Change of frequency characteristics of the resonators according to adjustment of their W/L ratios



3. 필터 제작에 사용한 공진자의 공진특성

Table 4에 필터 제작에 사용된 직렬 공진자와 병렬 공진자의 제원을 나타내었으며 Fig. 13과 Fig. 14에 필터 제작에 사용한 직렬 공진자 및 병렬 공진자의 협대역 공진특성과 광대역 공진특성을 나타내었다. 직렬 공진자의 공진 주파수와 병렬 공진자의 반공진 주파수를 필터의 중심주파수인 455[kHz]에 근접시켰다.

Table 4 Parameter values of the parallel and series resonators

	직렬 공진자	병렬 공진자
L[mm]	3.3	3.6
g[mm]	2.4	1.2
W[mm]	1.7	3.5
t[mm]	0.8	0.8
C0[pF]	5	45
fa[kHz]	504.594	455.579
fr[kHz]	454.662	406.044

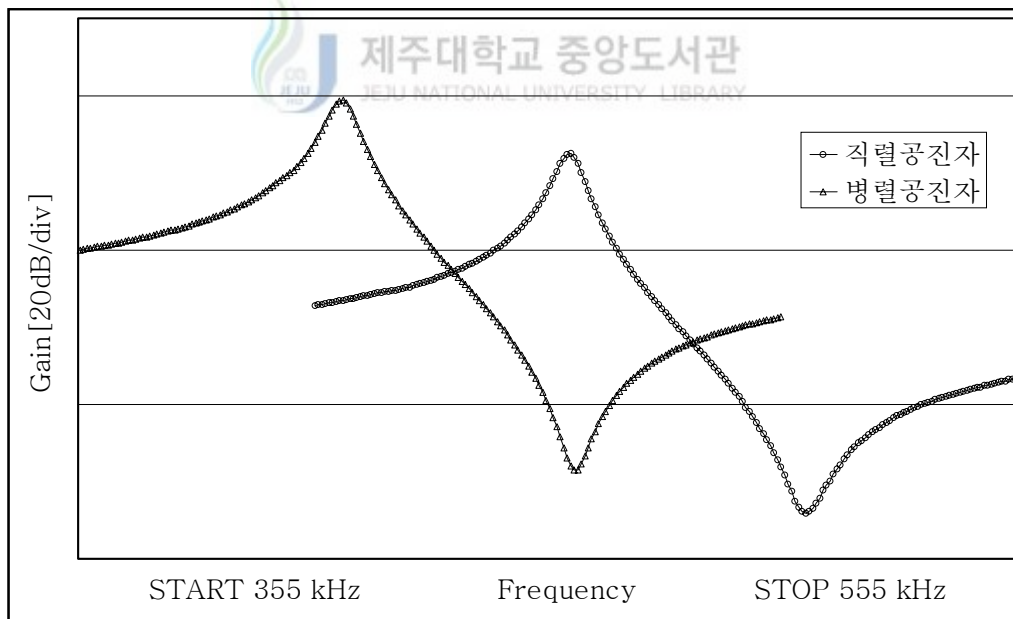


Fig. 13 Frequency characteristics of the series and parallel resonators in narrow frequency range

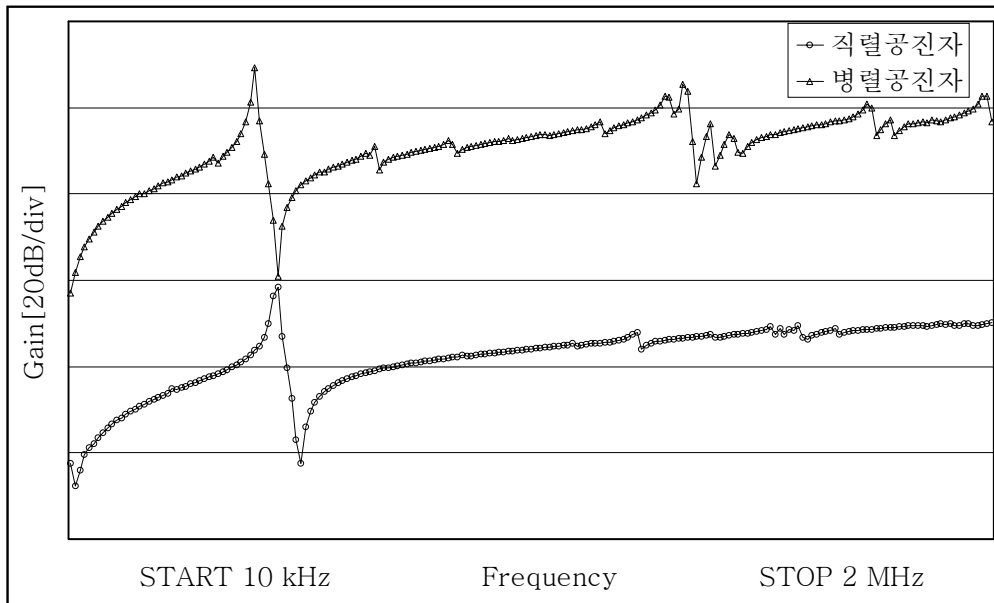


Fig. 14 Frequency characteristics of the series and parallel resonators in wide frequency range



4. 제작된 필터의 응답특성

직렬 공진자 한 개와 병렬 공진자 한 개로 1단 필터를 제작하여 Fig. 9와 같은 측정회로로 필터특성을 측정하였다. 측정시 연결된 입출력 임피던스는 $22[k\Omega]$ 이었다. Fig. 15에 제작된 1단 필터의 협대역 감쇄 특성을 나타내었으며, 1단 필터라는 점을 감안하면 양호한 감쇄특성을 나타낼 수 있다. 시뮬레이션 값보다 실측값이 중심 주파수에서 약간의 삽입손실을 나타내고 있다. Fig. 16와 Fig. 17에 1단 필터의 광대역 감쇄특성을 나타내었다.

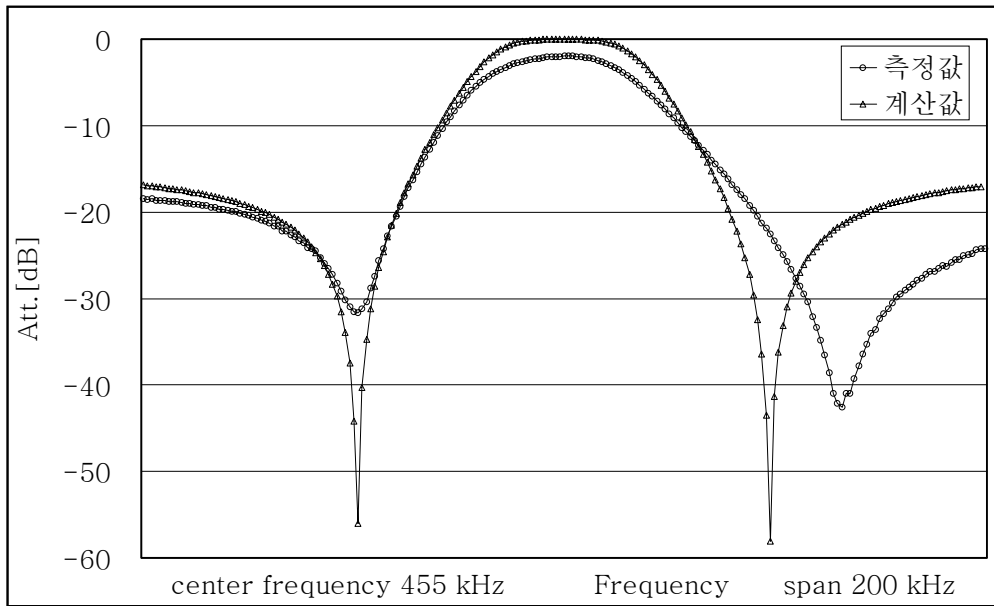


Fig. 15 Frequency characteristics of the one stage filter in narrow frequency range

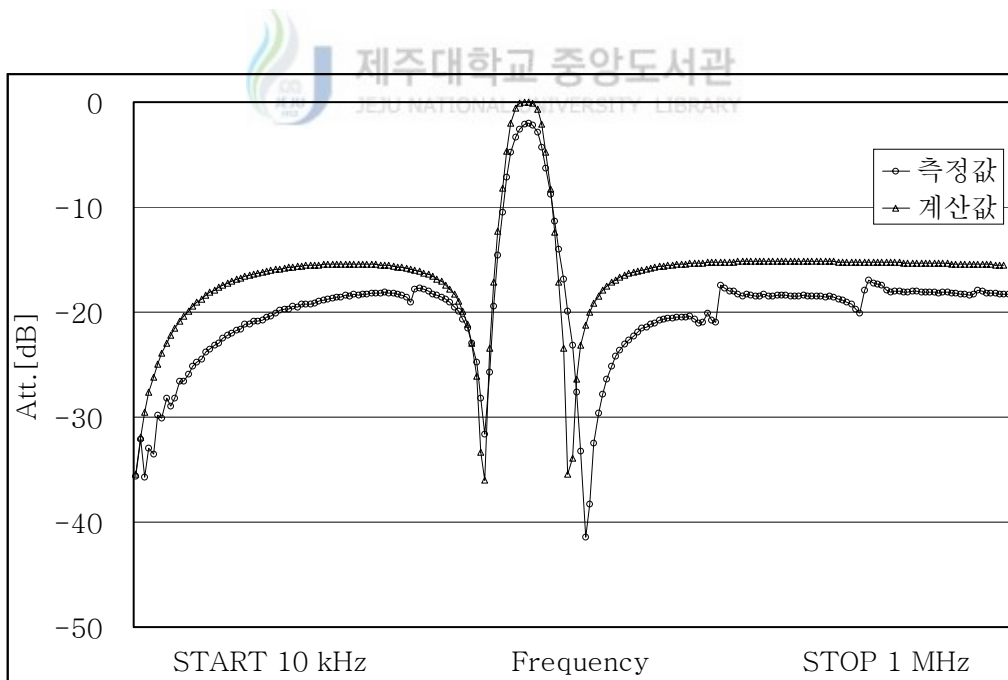


Fig. 16 Frequency characteristics of the one stage filter in wide frequency range

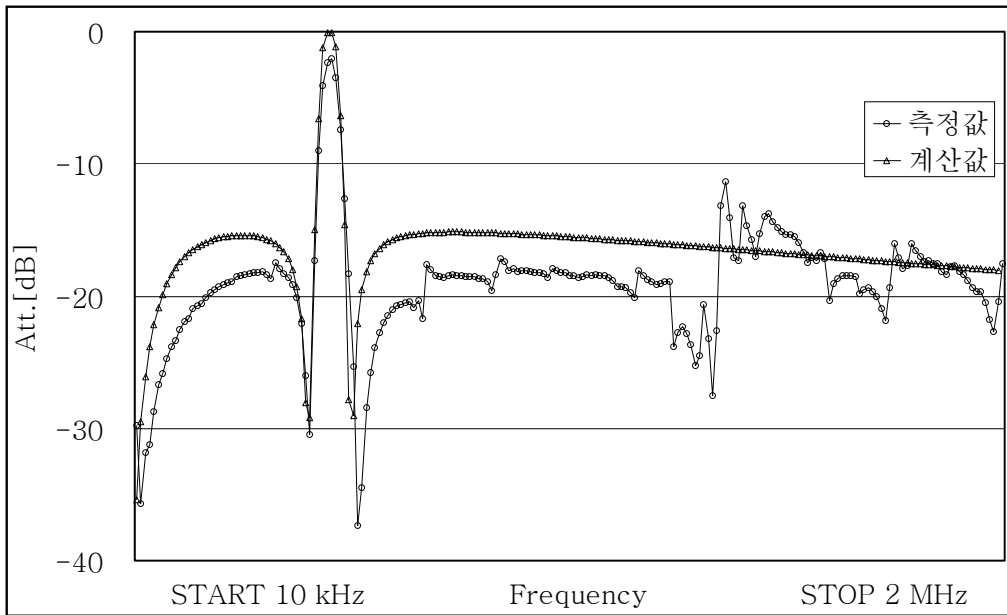


Fig. 17 Frequency characteristics of the one stage filter in wide frequency range

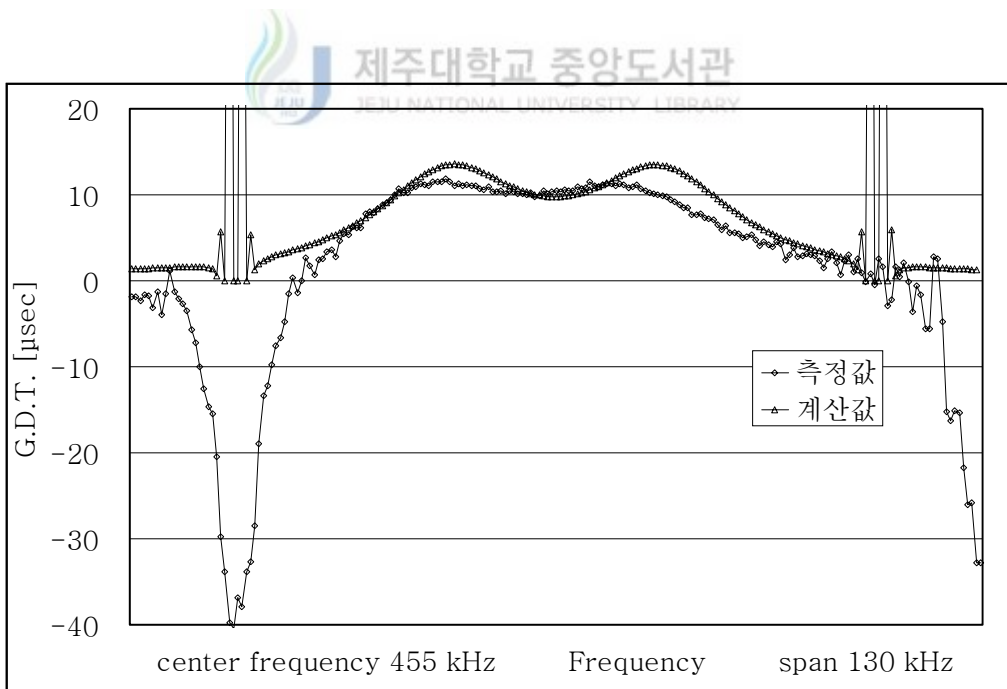


Fig. 18 G.D.T. characteristics of the one stage filter

Fig. 18에 1단 필터의 G.D.T 특성이 나타나 있다. 통과대역 영역에서 지연시간의 변화가 4[μ sec] 미만임을 알 수 있다.

Fig. 19에 1단 필터의 입출력 임피던스를 나타내었다. 통과대역에서 입출력 임피던스의 값이 비슷하게 유지되어야 된다는 점에서 본다면, 중심주파수에서 입출력 임피던스의 값은 일치하며 통과대역에 있어서 큰 차이가 없는 우수한 특성을 나타내고 있다.

일반적으로 같은 특성의 필터를 n단 직렬연결 하면 저지대역의 감쇄가 n배 증가하게 된다. Fig. 20에 앞에서 제작한 1단 필터를 2개 직렬연결한 2단 필터의 협대역 감쇄특성을 나타내었다. 저지대역의 감쇄가 1단 필터에 비해 약 2배정도로 증가하였음을 알 수 있다.

Fig. 21과 Fig. 22에 2단 필터의 광대역 감쇄특성을 나타내었다. 2단 필터인 점을 감안하면 저지대역 감쇄가 크게 나타나고 있으며, 통과대역에 있어서 약간의 삽입손실을 나타내고 있다

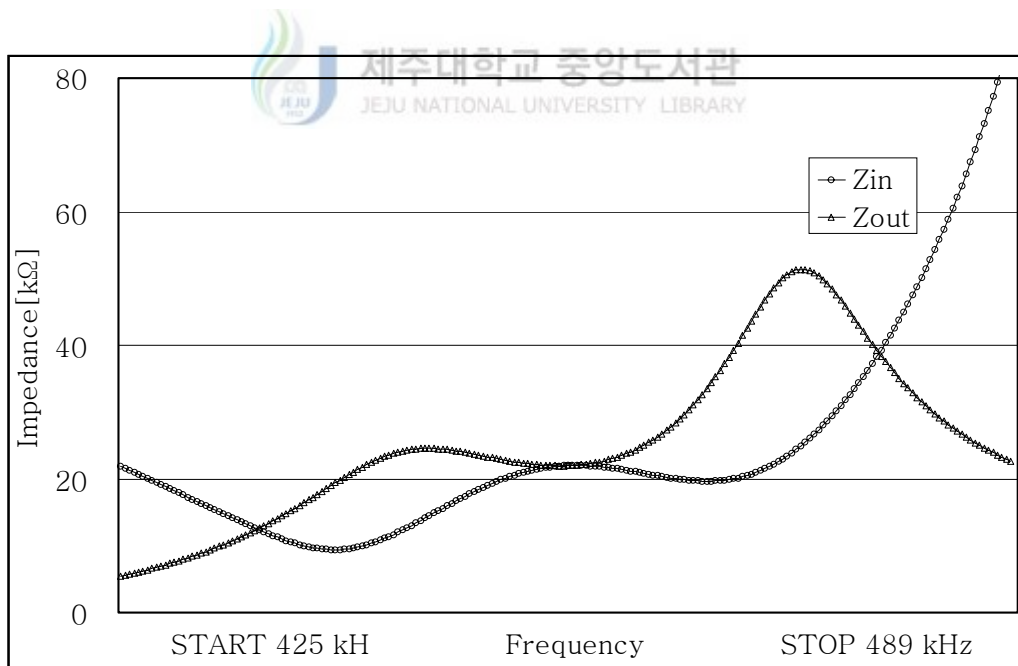


Fig. 19 Input/output impedance characteristics of the one stage filter

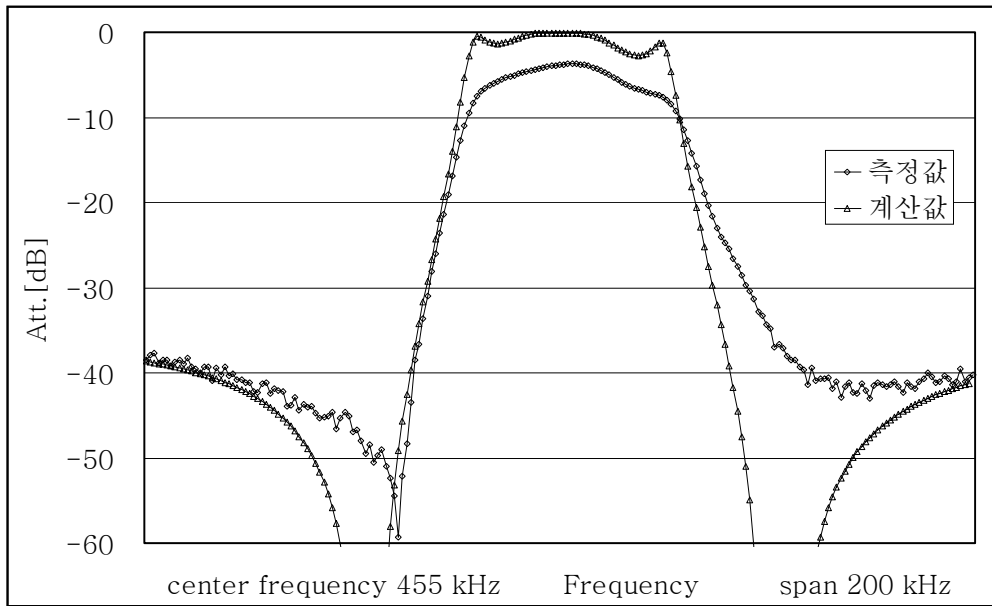


Fig. 20 Frequency characteristics of the two stage filter in narrow frequency range

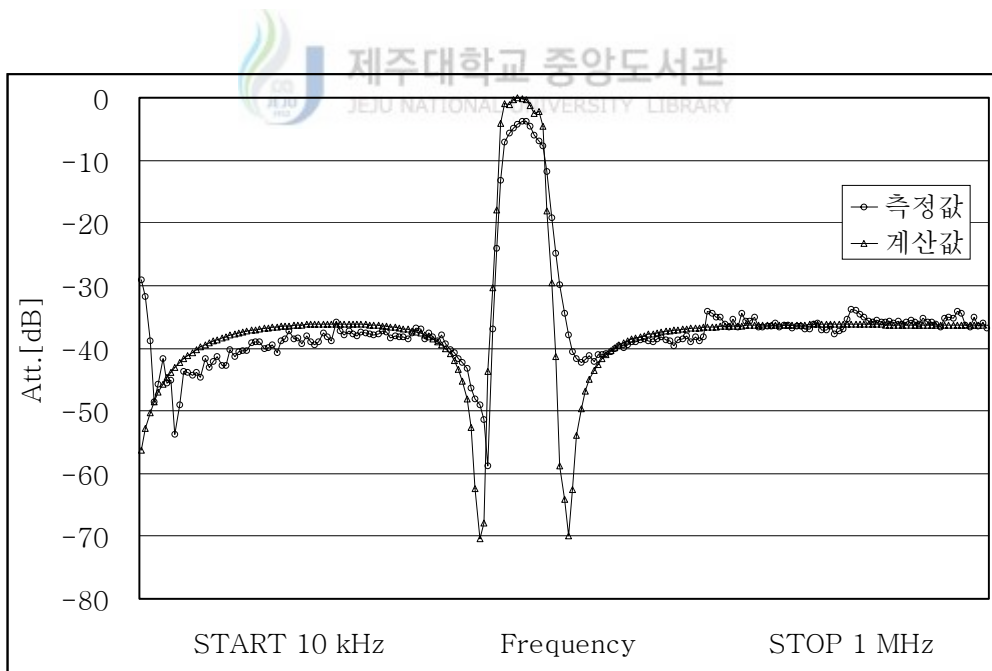


Fig. 21 Frequency characteristics of the two stage filter in wide frequency range

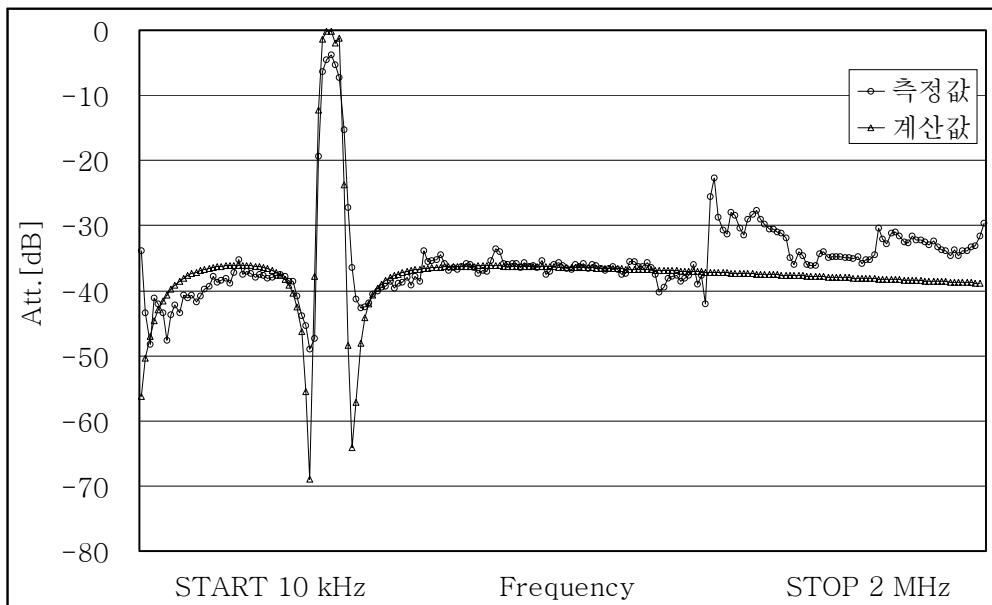


Fig. 22 Frequency characteristics of the two stage filter in wide frequency range

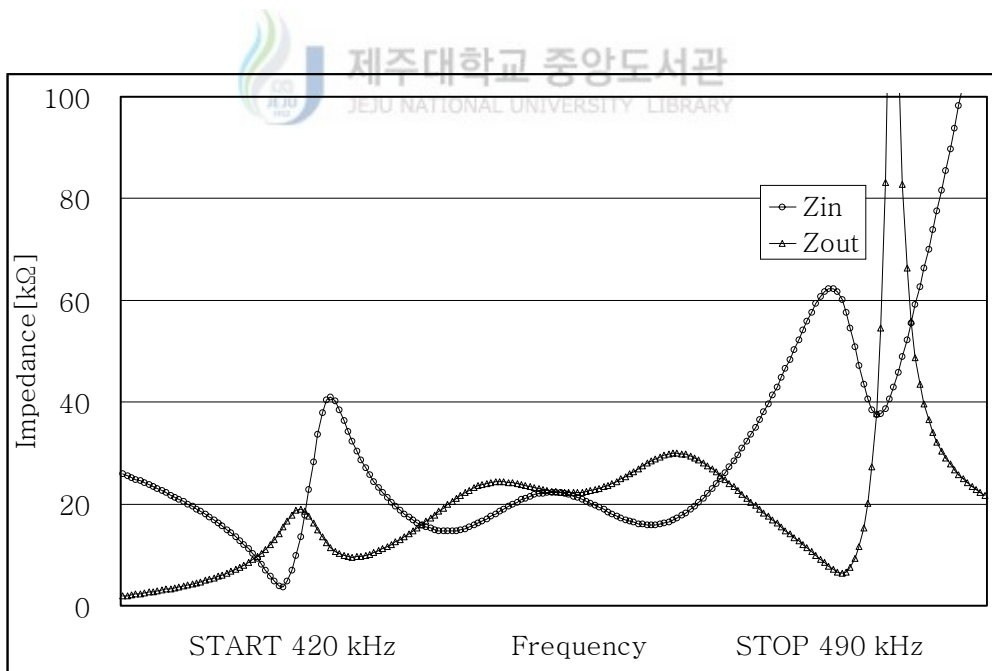


Fig. 23 Input/output impedance characteristics of the two stage filter

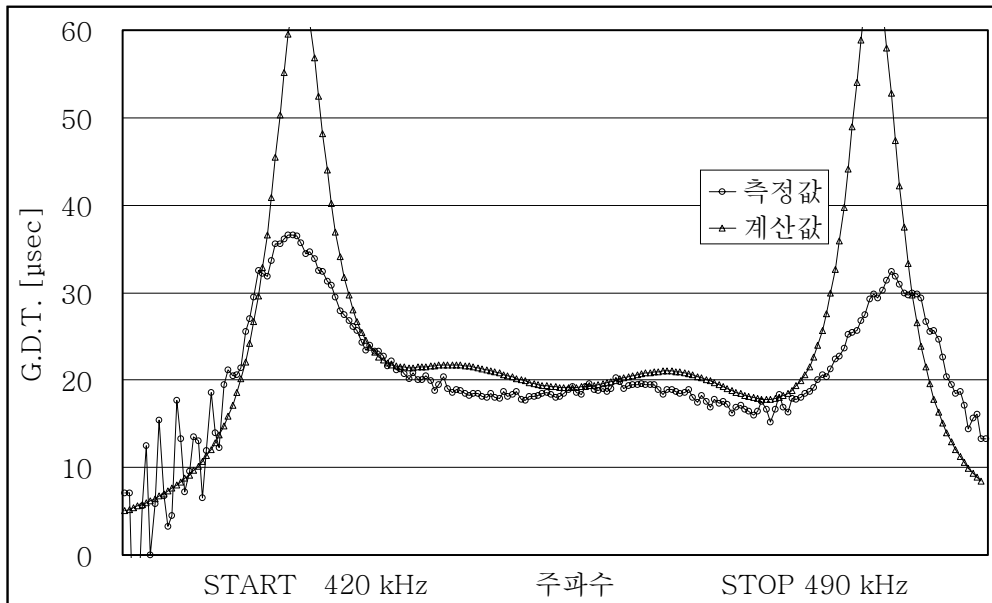


Fig. 24 G.D.T. characteristics of the two stage filter

Table 5 Measured and calculated frequency characteristics of the two stage filter

	Measurement value	Calculation value
Center frequency[kHz]	458.6	455
3dB bandwidth[kHz]	42.5	48.8
Relative bandwidth[%]	9.3	10.7
Insertion loss[db]	4	0

Fig. 23에 2단 필터의 입출력 임피던스를 나타내었다. 통과대역에 있어서 입출력 임피던스의 값이 비슷한 값을 취하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 24에 G.D.T. 특성을 나타내었다. 통과대역의 모든 범위에 있어서 경미한 변화를 나타내고 있다.

Table 5에 제작된 필터의 중심주파수와 3dB 대역폭을 나타내었다. 필

터의 비대역폭이 9.3%로서 공진자의 공진특성에서 예견된 것과 같이 광대역폭을 가지고 있음을 알 수 있다.



V. 결 론

본 논문에서는 보통소성법으로 제작한 $Pb(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3 - 0.3[wt\%] Cr_2O_3$ 조성과 $0.33PbTiO_3 - 0.07PbZrO_3 - 0.6Pb(Co_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ 조성을 가지는 세라믹스 기판을 사용한 래더형 필터의 설계와 제작에 관한 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 압전세라믹스 기판의 한 쪽 면에 두 개의 분리된 전극을 사용해 분극된 공진자를 제작하였다.
2. 제작된 새로운 형태의 공진자는 잡음진동이 없는 공진특성을 나타내며, 큰 Δf 를 가지고 Dynamic ratio가 크게 나타난다.
3. 공진자의 구조적 특성에 의하여 초소형 및 SMD형의 필터 구성이 가능하고 저가로 제작되리라 판단된다.
4. 제작된 필터는 비대역폭이 9% 이상인 넓은 대역폭을 갖는다.
5. 제작된 필터는 통과대역에서 우수한 G.D.T. 특성을 갖는다.

참 고 문 헌

Naoya Uchida and Takuro Ikeda, 1967, Studies on $\text{Pb}(\text{Zr-Ti})\text{O}_3$ Ceramics with Addition of Cr_2O_3 , Japan. J. Appl. Phys., Vol. 6, No. 11, pp. 1293-1298

F. Sauerland and W. Blum, 1968, Ceramic IF filters for consumer products, IEEE Spect., pp. 112-122

이 개명, 1997, 압전 세라믹스 주파수 소자의 개발 동향, 한국전기전자 재료학회지, Vol. 10, No. 2, pp. 172-178

塩崎 忠 外, 1987, 新壓電材料の製造と應用, CMC, pp. 150-163

U. S. Patent, 1999, 5,900,790

이 개명, 1994, Ladder필터를 구성하는 직렬, 병렬 공진자의 조합에 관한 연구, 연구 보고서, 삼성코닝주식회사, pp. 6-13

이 개명, 1996, 에너지 포획형 공진자와 필터의 개발에 관한 연구, 연구 보고서, 삼성코닝주식회사, pp. 23-29

B. Jaffe, 1971, Piezoelectric ceramics, Academic press, pp. 135-145

T. Kudo et al, 1969, Dielectric and piezoelectric properties of $\text{Pb}(\text{Co}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - PbTiO_3 - PbZrO_3 solid solution ceramics, J. Am. Ceram. Soc., Vol. 53, No. 6, pp. 326-328

감 사 의 글

지난 2년 간의 대학원 생활이 이제야 조그만 결실을 맺게 되었습니다. 지금까지 여러 가지로 부족한 저를 항상 넓은 마음으로 관심을 가지고 지도해 주신 이개명 교수님께 먼저 깊은 감사를 드립니다. 그리고 많은 가르침과 조언으로 이끌어 주신 좌종근교수님, 오성보교수님, 김일환교수님, 김세호교수님, 김호찬교수님께 감사를 드립니다.

항상 아낌없는 조언과 뜨거운 우정, 토론으로 서로를 격려해 준 문상호, 안진오 군과 실험과 연구에 있어서 많은 도움을 준 재료 실험실의 한성훈, 이승환, 박미영 학우에게도 고마운 마음을 전합니다.

아쉬울 때마다 찾아가서 귀찮게 해도 항상 밝게 맞아주며 도움을 준 에너지 공학과의 이경진 선생에게도 감사를 드립니다.

늘 격려해 주신 형님 내외분들, 누님 내외분들, 동생과 이 작은 기쁨을 함께 하고자 합니다.

끝으로 오늘이 있기까지 헌신적인 사랑과 희생으로 돌보아 주신 부모님께 이 논문을 드립니다.

1999년 12월

임 대관 올림