



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

윤곽진동과 길이진동 공진자를 이용한  
세라믹 Ladder형 필터의  
특성에 관한 연구

濟州大學校 大學院

電氣工學專攻

姜 炯 圭

2010 年 12 月

# 윤곽진동과 길이진동 공진자를 이용한 세라믹 Ladder형 필터의 특성에 관한 연구

指導教授 李 開 明

姜 炯 圭

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2010年 12月

姜炯圭의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 \_\_\_\_\_ ①

委 員 \_\_\_\_\_ ①

委 員 \_\_\_\_\_ ①

濟州大學校 大學院

2010年 12月

# A Ladder-type Ceramic Filter Using Length Extensional and Contour Vibration Resonators

Hyeong-Kyu Kang

(Supervised by professor Gae-Myoung Lee)

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

FACULTY OF APPLIED ENERGY SYSTEM  
GRADUATE SCHOOL  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

2010. 12.

## 목 차

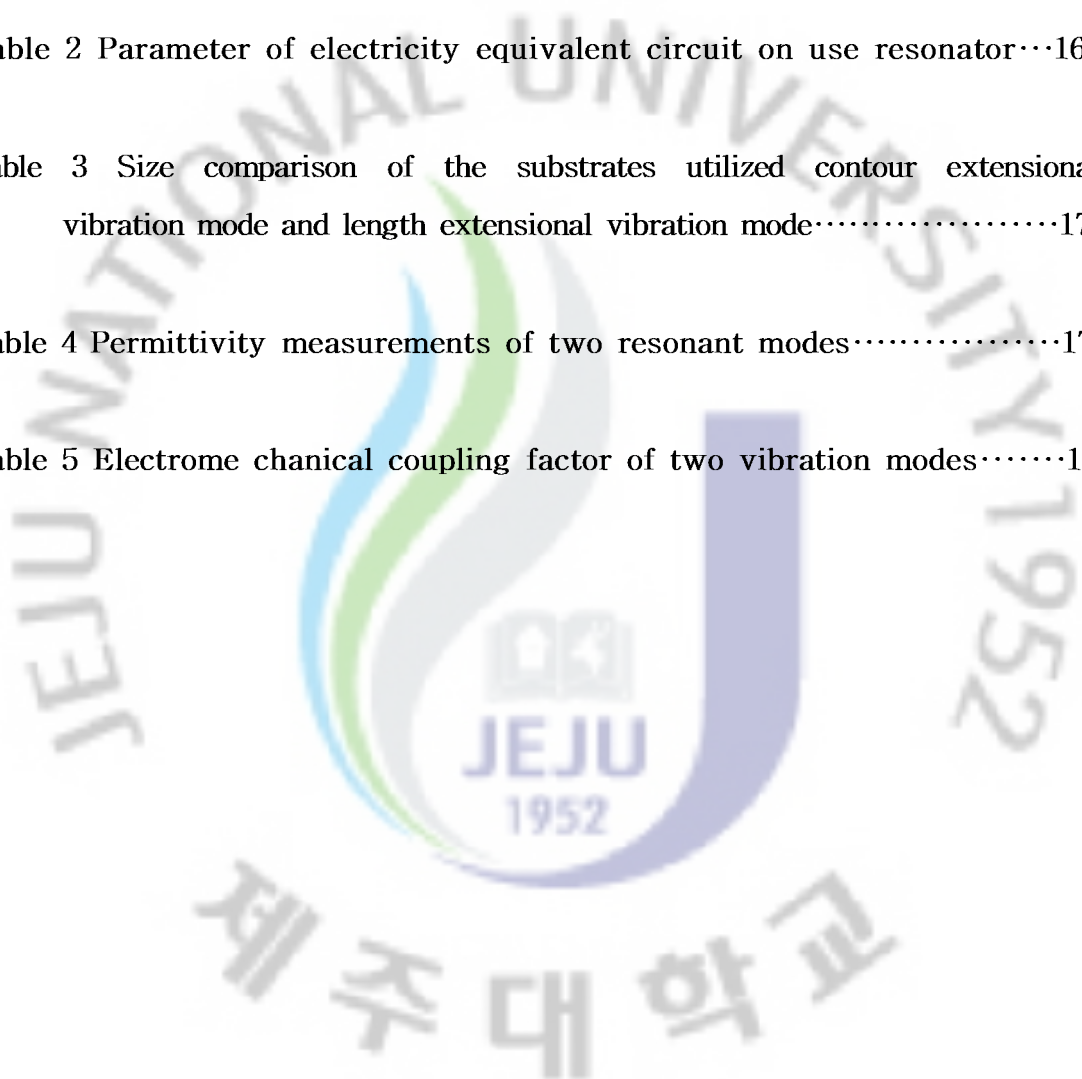
LIST OF FIGURES .....	i
LIST OF TABLES .....	ii
SUMMARY .....	iii
I. 서 론 .....	1
II. Ladder형 필터의 이론적 배경 .....	3
1. 강유전성 결정 .....	3
2. 압전세라믹 공진자의 전기적 등가회로 및 주파수특성 .....	5
3. Ladder형 필터의 해석 .....	7
III. 실험 .....	12
1. 시편제작 .....	12
2. Ladder형 필터의 구성 .....	13
3. 측정 .....	14
IV. 실험결과 및 고찰 .....	16
1. 사용된 공진자의 전기적등가회로 파라미터 값 .....	16
2. 윤곽진동 모드와 길이진동 모드를 이용하는 기관의 크기 비교 .....	16
3. 두 진동모드의 유전율 측정 .....	17
4. 두 진동모드의 전기기계결합계수 .....	18
5. 길이진동 공진자 $S_1, S_2, S_3$ 의 주파수 특성 .....	18
6. 윤곽진동 공진자 $P_1, P_2, P_3$ 의 주파수 특성 .....	20
7. 이중 공진자를 사용하여 구성한 사다리형 필터의 주파수특성 .....	22
V. 결 론 .....	23
참 고 문 헌 .....	24

## LIST OF FIGURES

Fig. 1 Classification of crystal class·····	3
Fig. 2 Lattice structure·····	4
Fig. 3 A symbol and an electrical equivalent circuit of a piezoelectric ceramic resonator·····	5
Fig. 4 Impedance and phase characteristics of a piezoelectric ceramic resonator·····	6
Fig. 5 An equivalent circuit of a piezoelectric ceramic resonator in the frequency band $f_r \leq f \leq f_a$ ·····	6
Fig. 6. Simplification process of an equivalent circuit of the piezoelectric ceramic ladder filter·····	8
Fig. 7 A filter circuit using image parameter and impedance matching···	10
Fig. 8 Fabrication process of piezoelectric ceramics·····	12
Fig. 9 The aspect of the standard piezoelectric ceramic specimen for the length extensional vibration·····	13
Fig. 10 Construction of A Ladder-type ceramic filter·····	14
Fig. 11 Fig. 11 Compare the size of two resonators·····	16
Fig. 12 Frequency response of length vibration resonator( $S_1$ )·····	18
Fig. 13 Frequency response of length vibration resonator( $S_2$ )·····	19
Fig. 14 Frequency response of length vibration resonator( $S_3$ )·····	19
Fig. 15 Frequency response of contour vibration resonator( $P_1$ )·····	20
Fig. 16 Frequency response of contour vibration resonator( $P_2$ )·····	21
Fig. 16 Frequency response of contour vibration resonator( $P_3$ )·····	21
Fig. 17 Composed by using two kinds of resonator, frequency response of A Ladder-type ceramic filter·····	22

## LIST OF TABLES

Table 1 Grade and the manufacturers of starting materials·····	12
Table 2 Parameter of electricity equivalent circuit on use resonator···	16
Table 3 Size comparison of the substrates utilized contour extensional vibration mode and length extensional vibration mode·····	17
Table 4 Permittivity measurements of two resonant modes·····	17
Table 5 Electromechanical coupling factor of two vibration modes·····	18



## Summary

It was investigated about the ladder type filter composed of different kind piezoelectric ceramic resonators, a contour vibration resonator and a length extensional vibration resonator in this paper. Ceramic ladder type filters are usually made using the contour vibration resonators and the contour vibration resonator of the series arm 3 times heavier than the one of the parallel arm in the ladder type filter. In this paper the heavier contour vibration resonator, the series resonator replaced by the length extensional vibration resonator which has the heaviness and size 1/3 compared with a conventional contour vibration resonator.

The composed 3 stage ladder filter has the center frequency 455[kHz], 3dB band width 10[kHz], the insertion loss 13[dB] and the selectivity 20[dB]. This result show the possibility that resonators with length extensional vibration mode can be used to compose the Ladder filter.



## I. 서 론

1947년  $BaTiO_3$ 에서 압전성이 발견된 이후  $BaTiO_3$  압전세라믹 소자에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다. 하지만 응용면에서  $BaTiO_3$ 는 전기결합계수는 크다는 장점이 있으나 공진 주파수의 온도안정성이나 경시변화가 좋지 않아 실용상의 문제점이 되어 왔다. 그 후 PZT( $PbZrO_3 - PbTiO_3$ ) MPB(morphologic phase boundary)조성에서 우수한 압전특성을 보이는 것이 발견되었다. 공진주파수의 온도안정성도 우수하고, 조성을 약간 변화시키든가, 미량의 첨가물을 가함으로써 전기결합계수, 유전율, 기계적 품질계수( $Q_m$ ) 등의 특성을 크게 변화시킬 수 있고, 사용 목적에 따라 많은 재료를 얻을 수 있는 장점이 있어 압전세라믹스의 응용에 적합하다.[1]

PZT계 압전세라믹스는 공진자나 필터와 같은 전자부품, 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. 수정결정은 공진 주파수의 온도 안정성은 뛰어나지만 시편의 품질계수가 매우 커서 좁은 대역폭을 가지게 되고, 수정 자체도 고가여서 제작비용이 많이 소요되는 단점이 있다.[2] 이에 비해 압전세라믹스는 적당한 품질계수를 가지며, 제조단가가 적게 소요되고 공업적으로도 대량생산이 용이하므로 압전세라믹스를 이용한 공진자나 필터가 0.3~30[MHz] 영역에서 주류를 형성 하고 있다.[3]

최근 필터나 공진자와 같은 전기신호의 주파수 처리에 관계된 기능 소자 분야로의 응용에 있어서, 소자의 소형화에 대한 필요성이 강하게 요구되고 있다. 이에 따라 기존의 세라믹 기판의 윤곽진동 모드를 이용하던 것이 이보다 기판의 크기를 작게 할 수 있는 길이진동 모드를 이용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다.[4]

길이진동을 이용하는 공진자는 400~500[KHz]대역의 AM용 IF필터의 구현이 적합하다. 길이진동을 이용하는 압전세라믹 공진자의 공진 특성은 이용하고자 하는 길이진동의 공진 특성 이외에 폭진동과 두께진동 및 이들의 고차진동이 합쳐진 매우 복잡한 공진특성을 갖게 된다. 원하지 않는 잡음응답(spurious response)은 충분히 억제되거나 이용하고자 하는 동작주파수에서 멀리 위치하여야 한다. 길이진동의 공진특성뿐만 아니라 잡음응답의 크기와 주파수는 기판의 외형에 의해 나타나기 때문에, 최적의 응답을 나타내는 사각기판의 외형비의 규명은 매우 중요하다고 할 수

있다. 압전세라믹스의 공진자를 직렬과 병렬로 배열하고 직렬공진자의 공진주파수를 병렬 공진자의 반공진주파수에 일치시키면 대역 통과 특성을 갖는 사다리형 필터가 된다.

압전체 사다리형 필터의 경우 선택도를 크게 하기 위해 병렬단 공진자와 직렬단 공진자의 정진용량의 비를 크게 가져가야 한다. 이 조건을 충족시키기 위해 병렬단 공진자의 두께를 직렬단 공진자의 두께보다 매우 작게 구성을 한다. 이 결과 직렬단 공진자의 크기와 무게가 병렬단 공진자의 크기와 무게에 비해 3~4배 크다.

본 연구에서는 압전세라믹 사다리형 필터를 구성하는 공진자 중에서 기존의 윤곽진동 공진자 대신에 길이진동 공진자를 사용하여 필터를 구성하고 실용화 가능성을 검토하고자 한다.



## II. Ladder형 필터의 이론적 배경

### 1. 강유전성 결정

무기질의 모든 결정은 Fig. 1과 같이 그 대칭관계에 의해 32개의 결정군으로 분류된다. 그중 대칭중심을 갖는 11개 그룹은 압전성이 없고, 나머지 대칭중심을 갖지 못하는 21개 그룹 중에서 전기적으로 부도체인 결정에서 압전특성이 존재한다. 이 중에서 비대칭성이 큰 10개 그룹은 전계나 응력이 가해지지 않는 상태 하에서 자발적으로 분극되어 있는데 이를 초전성 결정이라 한다. 이 중에서 전계에 의해 극성의 방향이 바뀌는 것이 강유전성이며 압전현상은 강유전성 결정에서 현저하게 나타난다.[5]

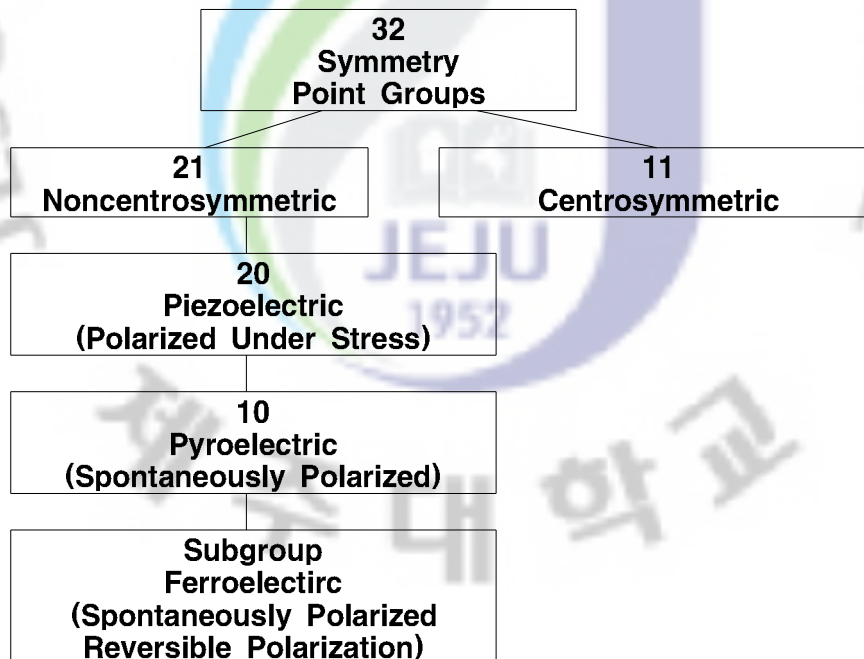


Fig. 1 Classification of crystal class

Fig. 2의 (a)는 등방성 결정 구조이고 (b)는 전기적인 면에서 이방성 결정 구조를 갖고 있기 때문에 외부에 힘을 가하면 각  $\theta$ (arbitrary angle between two crystal

axes)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.[[6]

강유전성 결정은 외부 결정의 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 제거 하여도 자발분극은 원래의 상태로 돌아가지 않는다. 이러한 결정구조를 Perovskite형 구조라 한다.[7]

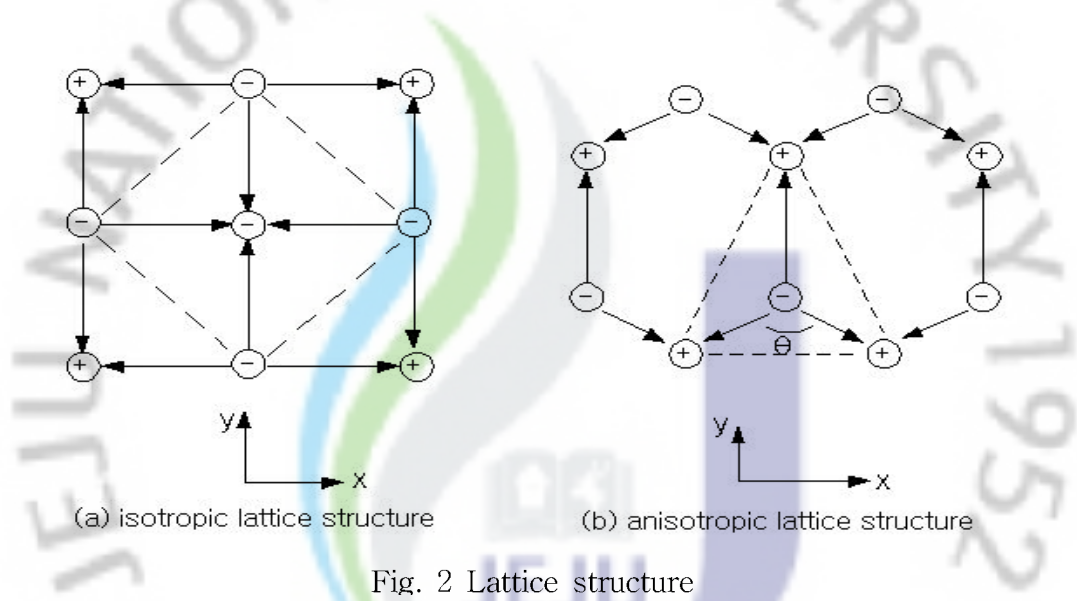


Fig. 2 Lattice structure

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

## 2. 압전세라믹 공진자의 전기적 등가회로 및 주파수특성

압전세라믹스는 형태와 재질에 따라 고유 진동 주파수를 갖고 있으며, 외부에서 가해진 교류전계의 주파수가 이 고유 진동주파수와 일치하게 되면 세라믹 기판은 최대 진폭으로 진동이 일어나며, 공진자로서의 이용이 가능하다. 이것은 세라믹 공진자의 원리이다.

이러한 세라믹 공진자는 거의 대부분 2단자형이며, 이 공진자의 기호는 Fig. 3 (a)와 같고, 공진주파수 부근에서 전기적으로 Fig. 3 (b)와 같은 등가회로로 나타낼 수가 있다. 이 등가회로의 직렬단위  $R_1$ ,  $L_1$ ,  $C_1$  은 세라믹 기판의 기계적인 진동을 전기적으로 등가화 한 부분이다.  $C_0$ 는 시편의 전기적인 정전용량을 의미한다. 여기서  $R_1$ 은 등가 저항,  $C_1$ 은 등가 커패시언스,  $L_1$ 은 등가 질량,  $C_0$ 는 병렬 등가 정전용량이다.

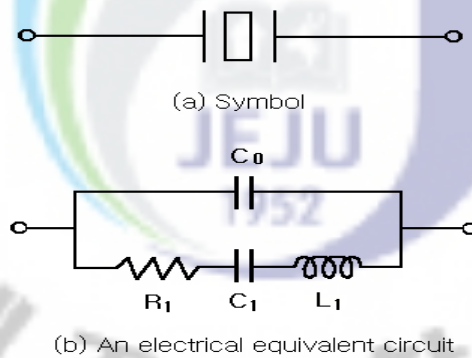


Fig. 3 A symbol and an electrical equivalent circuit of a piezoelectric ceramic resonator

Fig. 4는 주파수의 변화에 따른 세라믹 공진자의 임피던스 및 위상특성을 나타내었다.

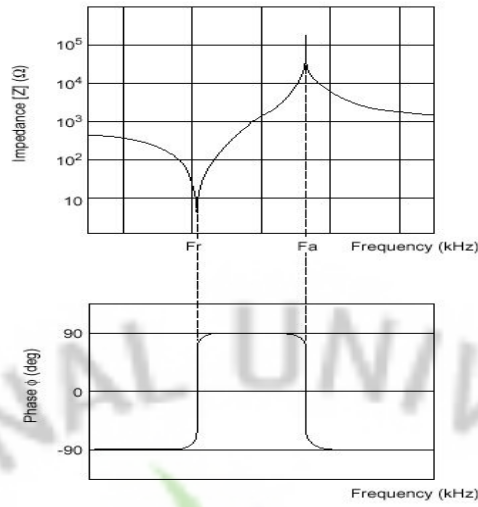


Fig. 4 Impedance and phase characteristics of a piezoelectric ceramic resonator

임피던스가 최소, 최대가 되는 점에서의 주파수를 각각 공진주파수( $f_r$ ), 반공진주파수( $f_a$ )라고 하고 그 사이의 위상은  $90^\circ$  로 전기적으로 인덕턴스의 특성을 갖게 되고 그 밖의 주파수대에서는 위상이  $-90^\circ$  로 커패시턴스 특성을 갖는다. 따라서 세라믹 공진자는 Fig. 5과 같이  $f_r \leq f \leq f_a$ 인 범위에서 손실이 저항  $R_e$ 로 표시되는 인덕터( $L_e$ )로 동작한다.

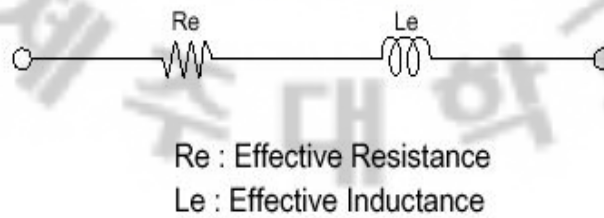


Fig. 5 An equivalent circuit of a piezoelectric ceramic resonator in the frequency band  $f_r \leq f \leq f_a$

그리고 공진주파수( $f_r$ ) 및 반공진주파수( $f_a$ )는 식 (1), 식 (2)로 나타낼 수 있다.

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

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

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

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

### 3. Ladder형 필터의 해석

압전세라믹 공진자를 Fig. 6(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 근접 시켜야만 된다.[8]

Fig. 6(a)에 보여진 각각의 공진자를 임피던스로 표시하면 Fig. 6(b)처럼 나타낼 수 있다. 압전세라믹 공진자를 Fig. 6(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 근접 시켜야만 된다.

Fig. 6(a)에 보여진 각각의 공진자를 임피던스로 표시하면 Fig. 6(b)처럼 나타낼 수 있다.

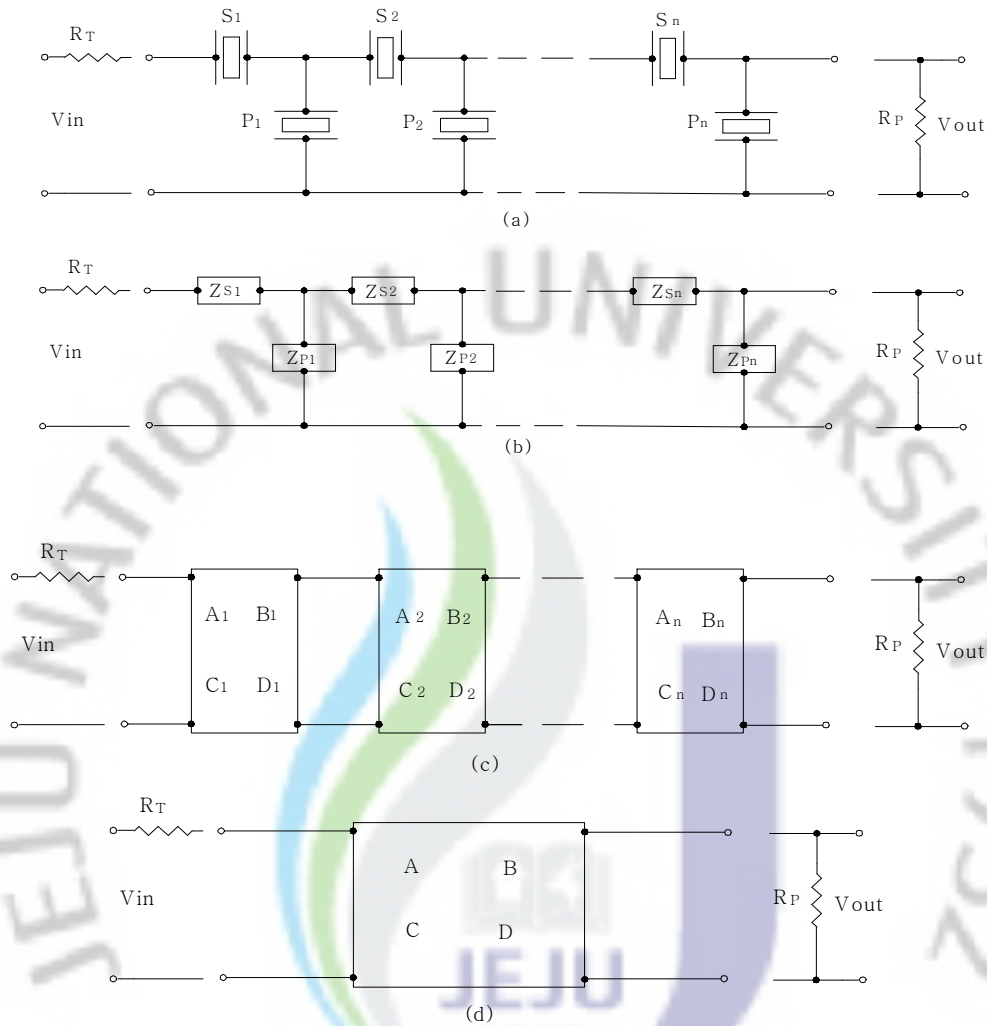


Fig 6. Simplification process of an equivalent circuit of the piezoelectric ceramic ladder filter

Fig 6(b)에서  $Z_{s1}$ 과  $Z_{p1}$ 은 각각,

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



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

와 같이 나타낼 수 있으며, 여기서  $f_{rs}$ 는 직렬단의 공진주파수,  $f_{rp}$ 는 병렬단의 공진주파수를 의미고,  $f_{as}$ 는 직렬단이 반공진주파수,  $f_{ap}$ 는 병렬단의 반공진주파수를 의미한다. 마찬가지로 방법으로  $Z_{s2}(f)$ ,  $Z_{p2}(f)$  및  $Z_{sn}(f)$ ,  $Z_{pn}(f)$ 를 구할 수 있다.

임피던스로 표시된 회로를  $ABCD$  파라미터를 이용하여 Fig. 6(c)처럼 표시하면 각각에 대한  $ABCD$  파라미터,  $A_n(f)$ ,  $B_n(f)$ ,  $C_n(f)$ ,  $D_n(f)$ 는 다음과 같이 직·병렬 임피던스로 표시할 수 있다. 즉,

$$\begin{aligned} A_n(f) &= 1 + \frac{Z_{sn}(f)}{Z_{pn}(f)} \\ B_n(f) &= Z_{sn}(f) \\ C_n(f) &= \frac{1}{Z_{pn}(f)} \\ D_n(f) &= 1 \end{aligned} \quad (6)$$

와 같이 나타낼 수 있다.

Fig. 6(c)와 같은  $ABCD$  파라미터를 가지는 4단자망의 직렬접속을 Fig. 6(d)와 같이 합성 4단자 망으로 표시하면 다음 식과 같이 각각의  $ABCD$  파라미터로 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \cdots \cdots \begin{bmatrix} A_n & B_n \\ C_n & D_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

$ABCD$  파라미터는 4단자망의 외부에 연결되는 임피던스에 대한 고려 없이 도입

된 것이다. 따라서 필터해석이 용이하도록 Fig. 7 회로에서처럼 외부에 연결되는 임피던스까지 고려하여 영상파라미터로 표시하면, 영상 임피던스  $Z_T(f), Z_P(f)$ ,와 영상 전달정수  $\theta(f)$ 는 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_T(f) = \sqrt{\frac{A(f)B(f)}{C(f)D(f)}} \quad (8)$$

$$Z_P(f) = \sqrt{\frac{D(f)B(f)}{C(f)A(f)}} \quad (9)$$

$$\theta(f) = \tanh^{-1} \left( \sqrt{\frac{B(f)C(f)}{A(f)D(f)}} \right) \quad (10)$$

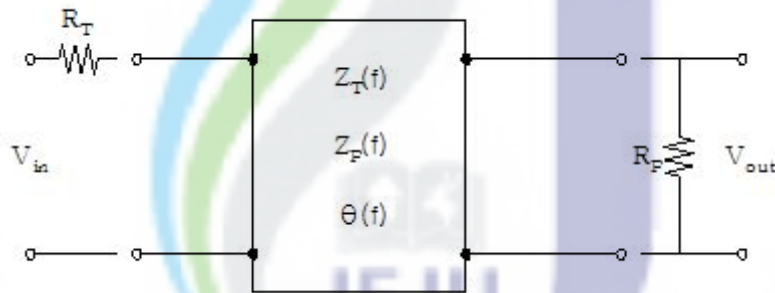


Fig. 7 A filter circuit using image parameter and impedance matching

Fig. 7과 같이 영상 파라미터로 표시된 단위 Ladder형 필터에 전원측 저항  $R_T$ 와 부하측 저항  $R_P$ 를 연결한 경우의 삽입 손실은 다음과 같이 주어진다.

$$IL(f) = 20 \log \left| \frac{k(f)e^{\theta(f)}}{k_1(f)k_2(f)\sigma(f)} \right| [\text{dB}] \quad (11)$$

여기서,  $k(f)$ ,  $k_1(f)$ ,  $k_2(f)$ 는 각각 다음과 같다.

$$k(f) = \frac{2\sqrt{R_T R_P}}{R_T + R_P} : R_T \text{와 } R_P \text{의 부정합률} \quad (12)$$

$$k_1(f) = \frac{2\sqrt{R_T Z_T(f)}}{R_T + Z_T(f)} : R_T \text{와 } R_T(f) \text{의 부정합률} \quad (13)$$

$$k_2(f) = \frac{2\sqrt{R_P Z_P(f)}}{R_P + Z_P(f)} : R_P \text{와 } R_P(f) \text{의 부정합률} \quad (14)$$

$$\sigma(f) = \frac{1}{1 - \left( \frac{R_T - Z_T(f)}{R_T + Z_T(f)} \right) \left( \frac{R_P - Z_P(f)}{R_P + Z_P(f)} \right) e^{-2\theta(f)}} : \text{상호작용율} \quad (15)$$

압전공진자의 기관 특성과 Ladder형 필터의 주파수 특성과의 관련성은 다음과 같다.[9][10]

i) 통과 대역폭(Pass Band Width)에 미치는 요소는  $C_{0P}/C_{0S}$  가 작을수록,  $f_a - f_r = df$ 가 클수록 대역폭이 넓어진다. 여기서  $df$ 는 전기기계 결합계수가 클수록, 분극을 과하게 시킬수록 커진다.

ii) 저지대역(Stop Band) 감쇄량에 미치는 요소는  $C_{0P}/C_{0S}$  가 클수록 감쇄량이 증가한다. 여기서  $C_{0P}$ 를 크게 하려면 병렬 소체의 유전율을 크게 하고 두께를 얇게 하면 된다. 또,  $C_{0S}$ 를 작게 하려면 직렬 소체의 유전율을 작게 하고 두께를 두껍게 하며 부분 분극을 사용한다.

iii) 선택도에 영향을 미치는 요소는  $C_{0P}/C_{0S}$  가 작을수록 주파수가 높아지며, 다만 필터일 경우 조합 방법에 따라 선택도가 달라진다.

### III. 실험

#### 1. 시편 제작

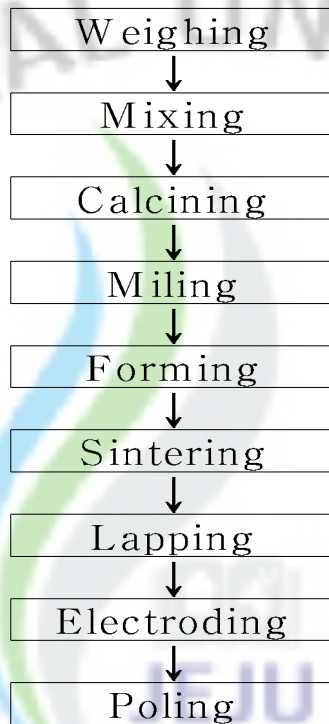


Fig. 8 Fabrication process of piezoelectric ceramics

Table 1 Grade and the manufacturers of starting materials

Raw material	Purity [%]	Manufacturer
PbO	99.5	Hayashi Pure Chemical Industries. LTD.
TiO <sub>2</sub>	99.0	Hayashi Pure Chemical Industries. LTD.
ZrO <sub>2</sub>	99.0	Sigma Chemical Co.

PZT분말을 보통 소성법으로 Fig. 8과 같이 시편을 제작하였고, 제작에 사용된 소원료의 순도와 제조회사를 Table 1에 나타내었다. 소원료의 평량은 전자천평으로 10<sup>-3</sup>[g]까지 하였고, 혼합은 소원료, 불(옥석)과 아세톤을 부피비로 1:1:1이 되도록 배

합하여 nalgene병에 넣고 볼밀로 320[rpm]의 속도로 38시간 습식 혼합하였다. 이 혼합된 원료는 150[°C] 온도에서 8시간 건조시킨 후 알루미늄 도가니에 넣고 850[°C]에서 2시간동안 1차열처리를 하였고, 다시 볼밀로 40시간 건식 분쇄하였다.

분쇄된 시료에 5%의 PVA액을 5[wt%] 첨가하여 사각 몰드에 넣고 1[ton/cm<sup>2</sup>]의 압력으로 성형하였으며, 성형체를 650[°C]에서 2시간동안 유지하여 결합체를 제거하였고, 150[°C/h]의 승온 속도로 1220[°C]에서 2시간 유지한 후 400[°C]까지 150[°C/h]로 강온하고, 그 이후로는 전기로 안에서 자연 냉각시켜 2차 열처리를 하였다.

열처리가 완료된 시편은 Fig. 3과 같은 EMAS-6004 규정[L/w≥4, w/t≥3, L≥12]에 맞도록 1[mm]두께로 연마하여 은전극을 도포하였다. 분극전계의 실험은 시편을 80[°C] 실리콘유 중에서 1.5, 2.5, 3.5 [kV/mm]의 직류전계로 30분간 고온 분극하였다. 분극 처리한 다음 20시간가량 경과 후 시편의 특성을 측정하였다.

## 2. Ladder형 필터의 구성

재료 선정에 있어서 직렬 공진자는 압전성이 크고 안정성이 뛰어난 PZT계 세라믹으로 직접 제작하였고, 병렬공진자는 기성품의 공진자를 이용하여 Ladder형 필터를 구성하였다. 저지대역의 감쇄를 크게 하기 위해서는 직렬 공진자와 병렬 공진자의 용량비를 크게 하였다. .

사다리형 필터의 구성과 임피던스 매칭 조건은 Fig. 10에 나타낸 것과 같이, 입력단과 출력단에는 각각 1500[Ω]의 저항을 직렬과 병렬로 연결하였다.

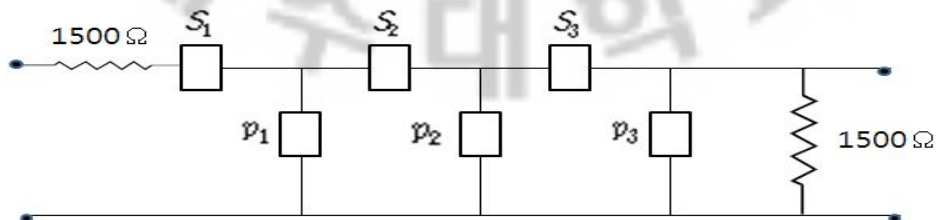


Fig. 9 Construction of, a Ladder-type ceramic filter

### 3. 측정

#### 가. 유전율 측정

LCR 파라미터로 시편의 정전용량을 측정한 후 다음 식을 사용하여 비유전율  $\epsilon_r$ 을 계산하였다.

$$\epsilon_r = \frac{C_0 \cdot t}{S \cdot \epsilon_0} \quad (16)$$

여기서,  $C_0$ ,  $S$ ,  $t$ ,  $\epsilon_0$ 는 각각 다음과 같다.

$C_0$  : 시편의 캐패시턴스 [uF]

$S$  : 시편의 면적 [mm<sup>2</sup>]

$t$  : 시편의 두께 [mm]

$\epsilon_0$  : 공기중의 유전율( $8.854 \times 10^{-12}$ [F/m])

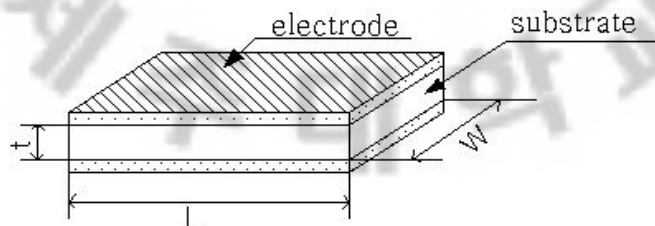


Fig. 10 The aspect of the standard piezoelectric ceramic specimen for the length extensional vibration

나. 전기기계결합계수

전기기계 결합계수  $k_{31}$ 은 압전소자가 전기적인 에너지를 기계적인 에너지로 변환시키는 효율을 나타내는 것이다. 따라서 공진·반공진주파수를 특정함으로써 두 진동모드의 전기기계 결합계수를 구할수 있다.

i) 길이진동 모드의 전기기계결합계수

$$\frac{1}{k_{31}^2} = 0.405 \frac{f_r}{f_a - f_r} + 0.595 \quad (17)$$

ii) 윤곽진동 모드의 전기기계결합계수

$$\frac{k_{31}^2}{1 - k_{31}^2} \approx 2.529 \times \frac{f_r - f_a}{f_s} \quad (18)$$

## IV. 실험결과 및 고찰

### 1. 사용된 공진자의 전기등가회로의 파라미터 값

Table 2 Parameter of electricity equivalent circuit on used resonator

Items Resonator	$C_0$ [nF]	$R_1$ [ $\Omega$ ]	$L_1$ [ $\mu$ H]	$C_1$ [pF]
$S_1$	35.7	5.358	444.8	272.4
$S_2$	46.01	4.849	361.5	335.4
$S_3$	39.43	4.907	405.6	300.9
$P_1$	629.1	1.282	26.1	5.101
$P_2$	643.7	1.216	27.08	4.859
$P_3$	644	1.261	24.25	5.485

사용된 직렬단의 길이진동 공진자 3개와 병렬단의 윤곽진동 공진자 3개의 전기등가회로 파라미터 값은 Network Analyser[HP E5100A]를 이용하여 측정하였으며 그 결과를 Table 2에 나타내었다.

### 2. 윤곽진동모드와 길이진동모드 이용하는 기판의 크기 비교



Fig. 11 Compare the size of two resonators



Table 3 Size comparison of the substrates utilized contour extensional vibration mode and length extensional vibration mode

Items Resonator	Width [mm]	Length [mm]	Thickness [mm <sup>2</sup> ]	Weigh [g]
Length Vibration	3.71	1.31	0.98	0.33
Contour Vibration	4.58	4.62	0.97	0.86

Fig. 11은 윤곽진동 공진자와 길이진동 공진자의 크기를 비교한 그림이다. 왼쪽에 있는 공진자가 윤곽진동을 이용하는 공진자이고, 오른쪽의 공진자가 직접 제작한 길이진동 공진자이다. 그림에서 보듯이 길이진동 공진자가 윤곽진동 공진자에 비해 크기가 1/3배 정도 작다는 것을 알 수 있다. Table 3은 두 공진자의 크기 및 무게를 측정한 값이다. 여기서도 길이진동 공진자가 윤곽진동 공진자 보다 무게가 작음을 알 수 있다.

### 3. 두 진동모드의 유전율 측정

실험에서 사용한 두 진동모드의 유전율을 식 (16)을 이용하여 Table 4에 제시하였다.

Table 4 Permittivity measurements of two resonant modes

Items Resonator	$C_0$ [uF]	s [mm <sup>2</sup> ]	t [mm]	$\epsilon_r$ [F/m]
$S_1$	35.7	4.86	0.98	$8.13 \times 10^{11}$
$S_2$	46.01	5.24	0.99	$9.28 \times 10^{11}$
$S_3$	39.34	5.00	0.98	$8.71 \times 10^{11}$
$P_1$	629.1	21.21	0.35	$1.17 \times 10^{12}$
$P_2$	643.7	21.07	0.35	$1.21 \times 10^{12}$
$P_3$	644	21.16	0.34	$1.17 \times 10^{12}$





## 6. 윤곽진동 공진자 $P_1, P_2, P_3$ 의 주파수 특성

아래의 Fig. 15, Fig. 16, Fig. 17은 기성품의 윤곽진동을 이용한 공진자의 주파수 특성을 나타낸 그래프이다. 이 세 개의 공진자는 중심주파수가 445~455[KHz] 대역이며,  $\Delta f(f_a - f_r)$ 가 15[KHz] 정도인 주파수 특성을 갖는다.

. Ladder형 필터의 설계 시 온전한 대역통과 특성의 필터를 구현하기 위해서는 직렬단에 놓이는 공진자의 공진주파수( $f_r$ )와, 병렬단에 놓이는 공진자의 반공진주파수( $f_a$ )를 일치시키거나 근접 시켜야만 된다.

길이진동의 공진주파수  $f_r$ 과 윤곽진동의 반공진 주파수  $f_a$ 가 정확히 일치하지는 않지만 근사한 값을 갖고 있음을 알 수 있다.

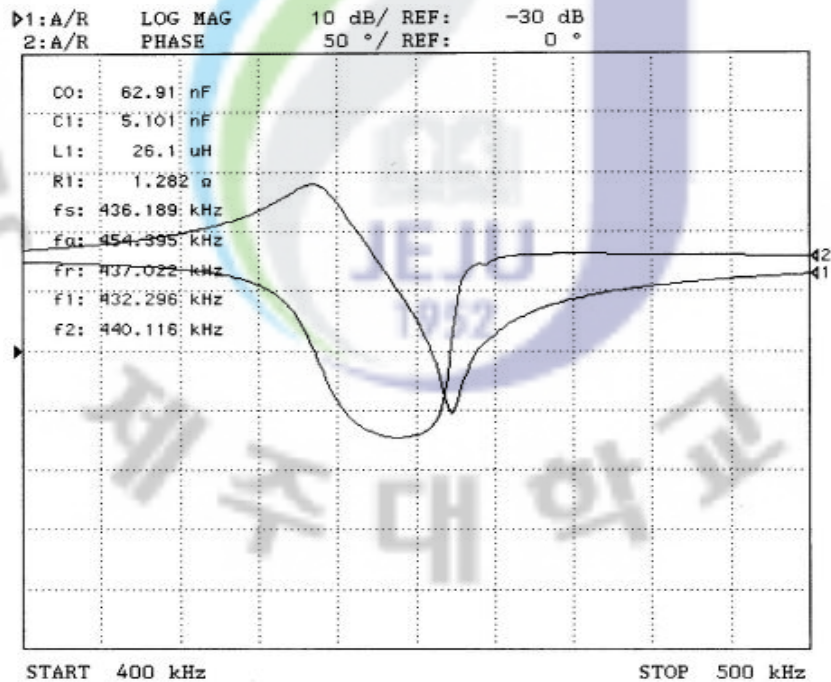


Fig. 15 frequency response of contour vibration resonator( $P_1$ )



## 7. 이중 공진자를 사용하여 구성된 사다리형 필터의 주파수 특성

Fig. 17는 직접 제작한 직렬단의 길이진동 공진자와 기성품을 이용한 병렬단의 유효진동 공진자를 이용하여 구성된 Ladder형 필터의 주파수 특성이다.

이 Ladder형 필터는 중심주파수가 450~460[KHz]이고, 삽입 손실은 13[dB], 선택도는 20[dB], 대역폭이 10[kHz]인 주파수 특성을 갖는다.

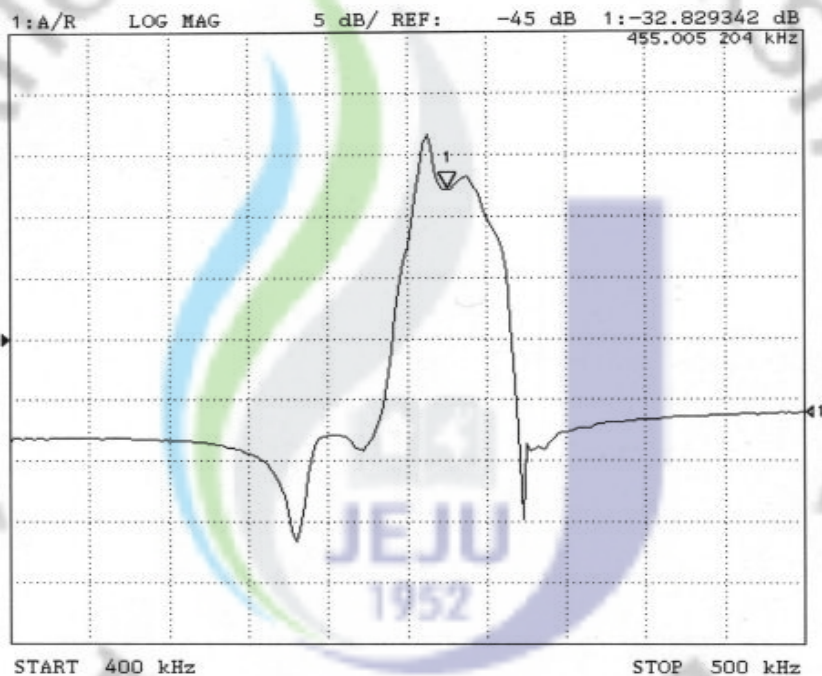


Fig. 18 composed by using two kinds of resonator, frequency response of A Ladder-type ceramic filter

## V. 결 론

본 논문에서는 압전세라믹의 길이진동과 윤곽진동을 이용한 Ladder형 필터의 구성에 관한 연구를 하였다. Ladder형 필터의 직렬단의 공진자는 직접 제작을 하였으며, 병렬단의 공진자는 기성품의 공진자를 이용하였다.

Ladder형 필터의 구성에 있어 중요한 요소는 직렬단의 길이진동 공진자의 공진주파수  $f_r$ 과 병렬단의 윤곽진동 공진자의 반공진주파수  $f_a$ 가 일치하거나 근접하여야 한다. 실험에 사용한 Ladder형 필터의 길이진동 공진자의 공진주파수  $f_r$ 과 윤곽진동 공진자의 반공진주파수  $f_a$ 가 일치하지 않지만 근접하게 위치시켜 필터를 구성하였다.

두 공진자를 이용하여 Ladder형 필터를 구성한 결과 삽입 손실은 13[dB], 선택도는 20[dB], 대역폭이 10[KHz]인 주파수 특성을 갖는 필터를 제작하였다. 필터의 크기는 기존의 윤곽진동 공진자를 길이진동 공진자로 대체함으로써 크기를 1/3배 정도 줄일 수 있었다.

길이진동을 이용한 소자는 과거에는 치수가 작아 제조 공정이 곤란하다는 단점이었으나 오늘날에는 소형화, 경량화에 부합하는 장점이 되었다. 이러한 추세에 의해 최근에는 길이진동모드를 이용하는 455[KHz] 대역의 IF소자가 적층형태로 실용화되고 있다. 적층형태는 제조공정이 복잡하고 단가가 높으므로 단소체의 길이진동모드의 이용한 부품의 개발이 필요 하나 본 논문의 결과는 실제적으로 무겁고 큰 직렬단 공진자 위치에 길이진동 공진자의 대체 가능성을 보여 주었다.

## 참 고 문 헌

- [1] 이개명, 삼성코닝주식회사, Ladder필터를 구성하는 직렬, 병렬 공진자의 조합에 관한 연구, 1994
- [2] 電子材料工業會 監修, 壓電セラミックスとその應用, 電波新聞社
- [3] 振動子.共振器,フィルタ最新技術86年 編集委員會
- [4] 이개명, 삼성코닝주식회사, 에너지 포획형 공진자와 필터의 개발에 관한 연구,1996
- [5] 塩崎忠 外, “新·壓電材料の製造と應用”, CMC, 1987.
- [6] J.Inoue and T. Unami, “Multilayer Ceramic Resonators using the Piezoelectrically Stiffened Length Mode Vibration”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 38, part 1, No. 5B, 1999.
- [7] 日本電子材料工業會標準規格, “壓電セラミックス振動子の試験方法”, EMAS-6004, 1982.
- [8] B. Jaffe et al, 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), 1995
- [9] 대한민국특허 10-1999-0016725
- [10] 대한민국특허 10-1997-0004355



## 감사의 글

대학원 생활을 시작한지가 엇그제 같은데 어느덧 2년이라는 시간이 흘렀습니다. 그 동안 학위 논문이 완성되기까지 많은 관심을 가지고 물심 양면으로 지도와 격려를 아끼지 않으셨던 이개명 지도교수님께 먼저 깊은 감사를 드립니다.

대학원 생활에 늘 관심을 가지고 성원하여 주신 좌종근 교수님을 비롯하여 오성보 교수님, 김일환 교수님께 감사드리며, 또한 좋은 논문이 될 수 있도록 세심히 검토하고 심사하여 주신 김세호 교수님, 김호찬 교수님께도 심심한 사의를 표합니다.

또한, 연구실 양완석 선배님, 최태영 선배님께 감사드리며, 항상 옆에서 큰 힘이 되어준 동기 안진홍, 김대현 원생과 이진재, 이길연 조교 선생님께도 감사드립니다. 그리고 연구실 후배 김진과 강지훈에게도 감사의 뜻을 전합니다.

마지막으로 제 삶에 있어 큰 그늘이 되어 주시는 부모님과 사랑스런 동생에게도 감사를 드리며 본 학위 논문 출간이 기쁨을 함께 누리고자 합니다.

지금까지 저에게 주신 많은 사랑과 감사의 보답으로 이제 막 시작의 길을 걷는 각오로 항상 노력하고 발전해 나갈 것을 약속드립니다. 계속 지켜봐 주십시오. 감사합니다.

2010년 12월

강 형 규 드림