

## PbTiO<sub>3</sub>계 세라믹스를 이용한 3차 진동모드 에너지 트랩형 고주파필터의 전기적 특성

### Electrical Characteristics of 3rd Overtone Mode Energy-trapped High Frequency Filter using PbTiO<sub>3</sub> System Ceramics

오동언\*, 류주현\*, 윤현상\*\*, 박창엽\*, 이수호\*\*\*, 김종선\*\*\*\*, 정희승\*\*\*\*\*  
(Dong-On Oh\*, Ju-Hyun Yoo\*, Hyun-Sang Yoon\*\*, Chang-Yub Park\*, Su-Ho Lee\*\*\*, Jong-Sun Kim\*\*\*\*, and Hoy-Seung Jeong\*\*\*\*\*)

#### Abstract

In this paper, 3rd overtone mode energy-trapped filter using modified PbTiO<sub>3</sub> system ceramics was manufactured to apply for intermediate frequency(IF) SMD type filter with splitted electrode and gap size. To investigate the effects of splitted electrode and gap size on filter characteristics of 3rd overtone mode energy-trapped filter, ceramic wafers were fabricated by etching splitted rectangular electrode size(b×d) of b=0.4, 0.6, 0.8, 1mm, d=0.3, 0.4, 0.5, 0.6mm and gap size(c) c=0.2, 0.3, 0.4, 0.6mm, respectively. And then, SMD type ceramic filter were fabricated with the size of 3.7×3.1mm<sup>2</sup>. SMD type ceramic filter with the size of b=0.8mm, d=0.4mm and gap(c)=0.4mm, which showed insertion loss of 2.951dB, 3dB bandwidth of 54.7kHz and 20dB stop bandwidth of 129.27kHz, was suitable for IF bandpass filter application.

**Key Words** : Third overtone mode, Energy-trapped filter, Intermediate frequency, Bandwidth, SMD

#### 1. 서론

세라믹 필터는 AM, FM radio 및 TV 튜너의 IF(Intermediate Frequency)용으로 많이 사용되고 있으며, 현재 이동통신의 IF 용으로 많은 연구와 개발이 이루어지고 있다. 20~100MHz 범위를 가지는 이동통신의 IF 필터로의 이용시 수백 kHz의 대역폭과 높은 저지대역 특성을 요구하므로 벌크 파 압전세라믹 필터가 높은 선택도, 저 가격 등의

이유로 그 이용이 적당하다[1]. 이중 15MHz 이상의 중심 주파수를 가지는 필터의 제조시 기판의 크기와 강도 등의 어려움으로 1차보다는 3차진동모드를 이용하는 것이 바람직하다. 그러나 기존의 PZT계 세라믹보다 강도면에서 2배이상이고, 3차 두께 진동모드에서 우수한 공진특성을 보이는 PbTiO<sub>3</sub>계를 이용하는 것이 좋다[2]. 본 연구에서는 GSM(global system for mobile communication)용 IF filter로서 중심주파수가 19.6MHz를 갖는 세라믹 필터를 개발하고자 한다. 에너지 트랩현상과 탄성결합을 이용한 단일체 필터의 제조시 중심주파수는 시편의 두께, 전극, 주파수 상수 등에 영향을 받으며 대역폭은 시편의 전기기계 결합계수, 분할전극 등에 영향을 받는다[3-5]. 여기서 부분전극에 의한 정재파(standing wave) 형성시 부분전극의 크기를 크게 하여 공진저항을 감소시키는 것이 바람직하나 압전기판에 대한 부분전극의 크기가 크면 전극에서 여기된 파가 압전기판에서 감쇄없이

\* : 세명대학교 전기공학과  
(제천시 신월동 21-1,  
Fax: 043-648-0868  
E-mail : juhyun57@semyung.ac.kr  
\*\* : 경문대학 전기과  
\*\*\* : 경북대학교 전기공학과  
\*\*\*\* : 삼성전기 중앙연구소  
\*\*\*\*\* : 주성대학 전자신소재과  
2003년 2월 11일 접수, 2003년 3월 11일 1차 심사완료,  
2003년 3월 24일 최종 심사완료

전파되어 기판 모서리에서 반사될 수 있다[6]. 또한, 분할전극 크기 및 간격을 적절히 조절하여 대칭 및 비대칭 모드의 임피던스 변화에 따른 삽입손실, 대역폭, 저지 대역특성 등을 고려하여 적합한 필터 특성을 얻어야 한다. 따라서 본 연구에서는 이전 연구에서 20MHz에서 우수한 공진특성을 보인  $Pb_{0.88}(La_{0.6}Nd_{0.4})_{0.08}(Mn_{1/3}Sb_{2/3})_{0.02}Ti_{0.98}O_3$ 에 0.25wt% CuO을[7] 첨가한 조성을 사용하여 제작하였으며 분할 전극과 간격의 크기를 조절하여 SMD형으로 제작하여 그 특성을 조사함으로써 19.6MHz SMD형 세라믹 필터로서 응용 가능성을 조사하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 Ceramic wafer 제작

본 실험에서 사용한 조성은 다음과 같다.  $Pb_{0.88}(La_{0.6}Nd_{0.4})_{0.08}(Mn_{1/3}Sb_{2/3})_{0.02}Ti_{0.98}O_3 + 0.1wt\% excess PbO + 0.1wt\% MnO_2 + 0.25wt\% CuO$  조성에 따른 시료의 정확한 몰비를  $10^{-4}g$ 까지 평량하였고, 24시간 동안 혼합 분쇄한 후 건조하여 850 °C 에서 2시간 동안 하소하였다. 하소가 끝난 시료에 CuO를 0.25 wt% 첨가하여 재분쇄한 후 PVA(5wt% 수용액)을 8 wt%을 첨가하여 직경 30mm 물더에 3 ton/cm<sup>2</sup>으로 성형하였으며, 승하강 온도 300 °C/h로 하여 1200°C에서 각각 2시간 동안 소결 하였다. 소결된 시편들은 두께 0.385mm로 정밀 가공한 후 전극 질량을  $2.98 \times 10^{-4} g/cm^2$ 로 Ag로 성막하였으며, 70 kV/cm 로 분극한 후 24시간 경과 후 특성을 측정하여 공진특성 및 전기기계 결합계수 특성이 비슷한 wafer를 선별하여 21×18mm<sup>2</sup>로 가공하였다.

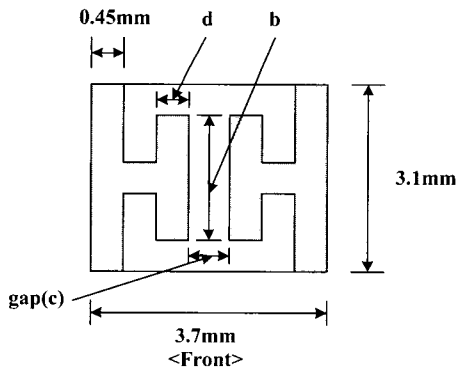


그림 1. 내부 분할전극 패턴.  
Fig. 1. Interior splitted electrode pattern.

### 2.2 SMD형 filter 제작

가공한 wafer를 photo resistor(AS-500)를 사용하여 분할전극의 크기를  $b=0.4, 0.6, 0.8, 1mm$  ( $d=0.4, gap=0.4$ 고정),  $d=0.3, 0.4, 0.5, 0.6mm$  ( $b=0.8, gap=0.4$ 고정), 분할전극 간격을  $c=0.2, 0.3, 0.4, 0.6mm$  ( $b=0.8, d=0.4$ 고정)로 변화를 주어 에칭 하였다. MgTiO<sub>3</sub> 기판인 base와 cap을 접합에폭시폰드(TB2236)을 사용하여 항온항습조에 170°C, 30분 동안 가열가압접합시그를 사용하여 접합하였다. 접합한 시편을 3.7×3.1mm<sup>2</sup> 크기로 절단하여 바렐연마를 하였으며, 24시간 경과후 HP5100A를 사용하여 특성을 측정하였다.

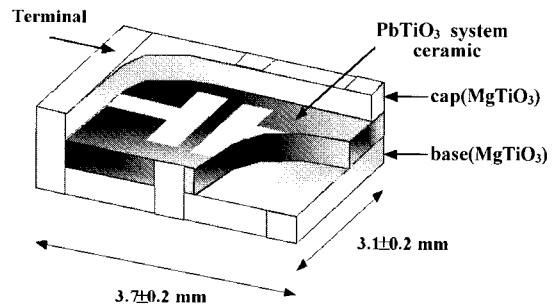


그림 2. SMD형 세라믹 필터의 내부구조.  
Fig. 2. Internal structure of SMD type ceramic filter.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 시편의 물성 및 공진특성

표 1. 시편의 물성.

Table 1. Physical properties of specimen.

Dielectric constant	211
Grain size [ μm ]	1.18
Tc [ °C ]	325
Density [ g/cm <sup>3</sup> ]	7.72
Tetragonality (c/a)	1.028
TcF r (-20~80 °C) [ppm/ °C ]	17
Nt	2573

압전 세라믹스를 이용한 고주파소자의 재료특성 중 전기기계 결합계수, 유전율, 기계적 품질계수, 온도특성, 경시변화 등은 매우 중요하게 고려되어야 할 특성이다. 표 1은 사용된 시편의 재료특성을 보여주고 있으며, 고주파 소자로서의 응용에 적합한 물성을 보였다. 압전 필터로 이용시 dynamic range가 작으면 유도성 부분이 작아져 필터로서의 이용이 어려우므로 높은 dynamic range가 필요하다. 이전 연구에서[7] 20MHz SMD형 공진자로 제작하여 50dB 이상의 Dynamic range를 보여 IF 필터로서 적합한 공진특성을 보였다. 그림 3은 20MHz SMD형 공진자의 임피던스 특성곡선을 보였다.

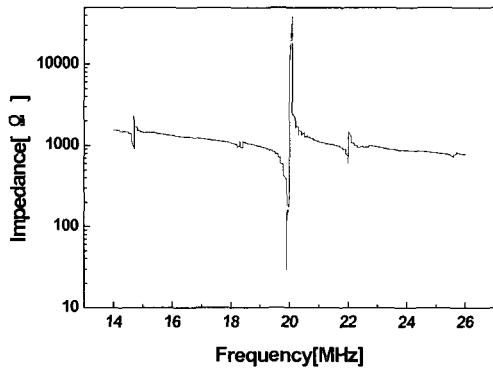


그림 3. 20MHz SMD형 공진자의 임피던스 곡선.  
Fig. 3. Characteristic impedance curve of 20MHz SMD type ceramic resonator.

### 3.2 분할전극 및 간격에 따른 필터 특성

3차 두께 진동모드를 이용한 에너지 트랩형 필터 설계시 분할전극 크기 및 간격을 적절히 조절하여 대칭 및 사대칭 모드의 임피던스 변화에 따른 삽입손실, 대역폭, 저지 대역특성 등을 고려하여 적합한 필터 특성을 얻어야 한다. 또한, 일반적으로 2전극부의 이중모드필터를 설계하는 경우, 대칭모드의 반공진주파수와 사대칭모드의 공진주파수를 일치시키는 구성방법을 갖고 있다. 그림 4와 6은 분할전극 b변화에 따른 필터특성과 전송특성을 나타낸 그림이다. b 크기가 증가함에 따라 대칭 및 사대칭 모드의 공진 주파수가 좌측으로 조금씩 이동함과 동시에 면적증가에 따른 공진 저항의 감소로 삽입손실은 감소하게 되나, b=0.8mm 이후에는 삽입손실이 증가하고, 필터 전송 곡선은 다소

일그러지는 경향을 보였다. 3dB와 20dB 대역폭은 다소 증가하는 경향을 보였으나 b=0.8mm에서 대칭모드의 트랩진동과 ripple, 삽입손실 등을 고려하면 최적의 b 크기임을 알 수 있었다. 그림 5와 7에서 보여진 것처럼 분할전극 d 크기가 증가함에 따라 대칭 모드와 사대칭 모드 공진 주파수 간격이 줄어들고 동시에 공진 저항의 감소로 삽입손실은 감소하는 경향을 보였으며, ripple이 개선되는 효과를 보였다. 삽입손실은 d = 0.5mm 이후 증가하는 경향을 보였는데 이는 사대칭모드의 공진주파수와 대칭모드의 반공진주파수를 일치시켜야 하는 필터설계조건에서 너무 벗어난 상태이기 때문으로 생각된다. 또한, d 크기가 증가함에 따라 3dB와

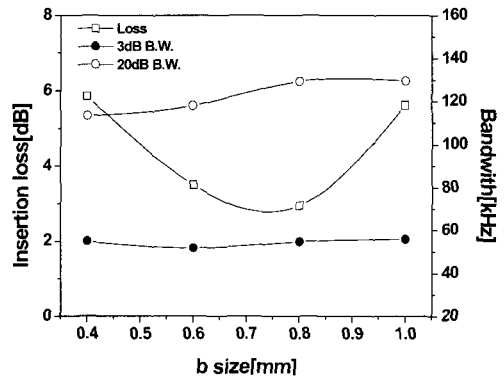


그림 4. 분할전극 b변화에 따른 필터 특성.  
Fig. 4. Filter characteristics with the splitted electrode b size.

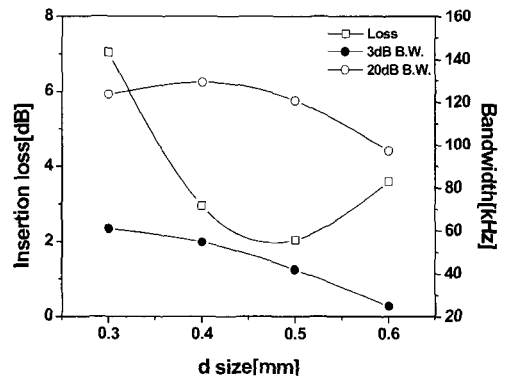


그림 5. 분할전극 d변화에 따른 필터 특성.  
Fig. 5. Filter characteristics with the splitted electrode d size.

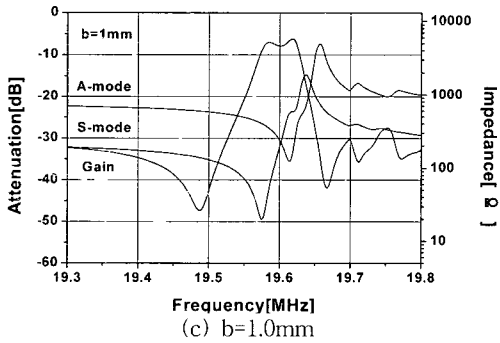
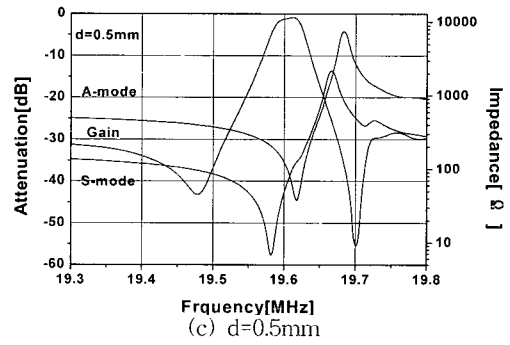
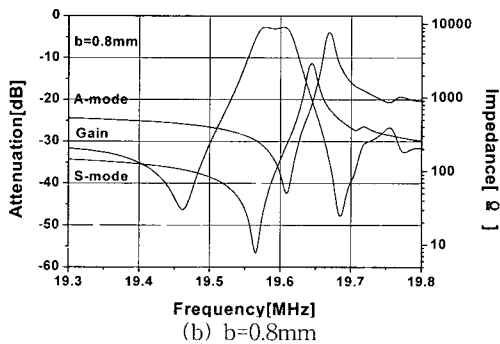
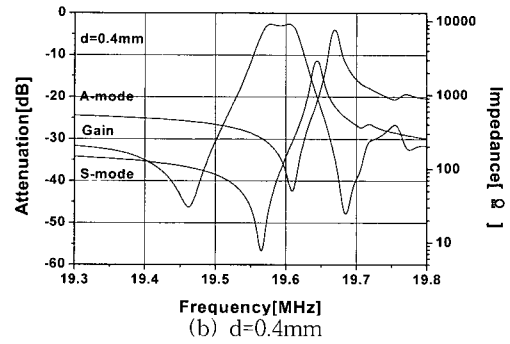
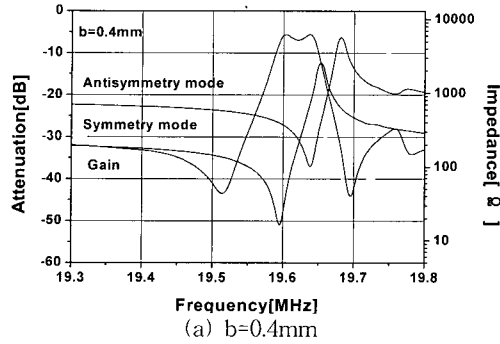


그림 6. 분할전극 b 크기에 따른 전송특성.  
Fig. 6. Transfer curves with the splitted electrode b size.

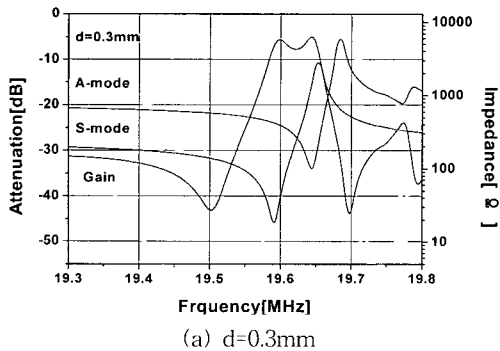


그림 7. 분할전극 d 크기에 따른 전송특성.  
Fig. 7. Transfer curves with the splitted electrode d size.

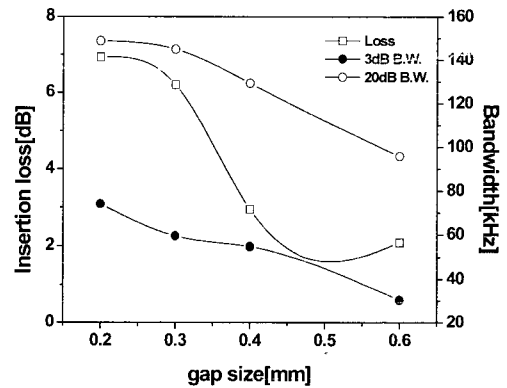


그림 8. 분할전극 간격(c) 변화에 따른 필터 특성.  
Fig. 8. Filter characteristics with the splitted electrode gap(c) size.

20dB 대역폭은 감소하였으며, 삽입손실은  $d=0.5\text{mm}$ 에서 최소를 보였다. 그러나 3dB와 20dB 대역폭을 고려하면  $d=0.4\text{mm}$ 에서 최적의 필터 특성임을 알 수 있었다.

그림 8과 9는 분할전극 간격(c) 변화에 따른 필터 특성과 전송곡선을 나타낸 그림이다. c 변화에 따라 필터특성이 뚜렷하게 변하는 것을 알 수 있으며, 사대칭 모드의 임피던스 곡선이 좌측으로 이동하여 삽입손실은 감소하나 3dB와 20dB 대역폭 또한 감소하는 경향을 보였다. c=0.2에서는 분할전극간 간격이 너무 작아 대칭모드의 정재파를 약화시켜 왜곡된 임피던스 곡선을 보였으나 c 크기가 증가함에 개선된 것으로 생각된다. c=0.4mm가 적절한 gap 간격임을 알 수 있었다. 표 2에 제반 특성을 나타내었다.

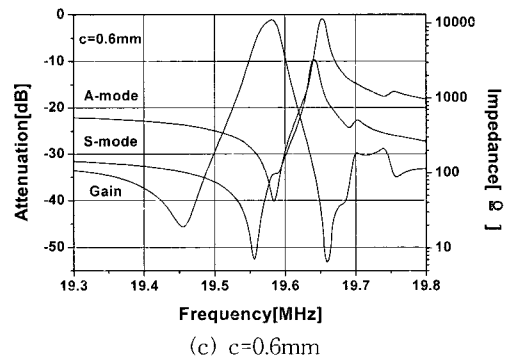
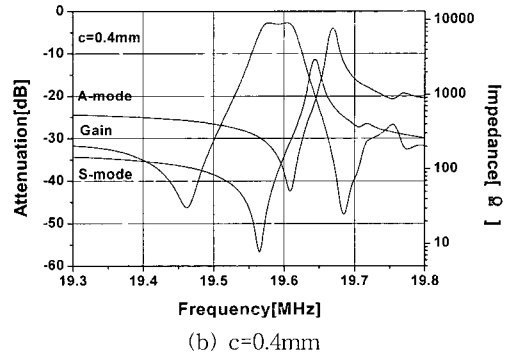
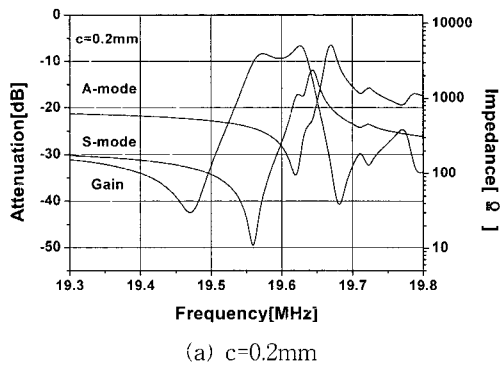


그림 9. 분할전극 간격(c) 변화에 따른 전송특성.  
Fig. 9. Transfer curves with the splitted electrode gap(c) size.

표 2. 분할전극 크기 및 간격에 따른 필터 특성.

Table 2. Filter characteristics with the variations of splitted electrode and gap size.

Varing dot size [mm]			Fc [MHz]	Insertion loss [MHz]	3dB B.W. [kHz]	20dB B.W. [kHz]
b	d	gap(c)				
0.4			19.617	5.850	54.852	113.337
0.6			19.679	3.504	51.819	118.078
0.8	0.4	0.4	19.580	2.951	54.735	129.270
1.0			19.630	5.614	55.890	129.546
	0.3		19.651	7.048	60.926	127.769
	0.4		19.580	2.951	54.735	129.270
	0.5	0.4	19.598	2.042	41.901	120.742
	0.6		19.624	3.596	24.788	97.273
		0.2	19.593	6.933	73.947	148.779
		0.3	19.575	6.208	59.496	144.946
0.8	0.4	0.4	19.580	2.951	54.735	129.270
		0.6	19.577	2.086	30.265	95.811

#### 4. 결론

본 실험에서는  $Pb_{0.88}(La_{0.6}Nd_{0.4})_{0.08}(Mn_{1/3}Sb_{2/3})_{0.02}Ti_{0.98}O_3$ 에 0.25wt% CuO을 첨가한 조성을 사용하여 분할 전극 및 간격의 크기를 조절하여 SMD형으로 제작하여 그 특성을 조사함으로써 20MHz SMD형 세라믹 필터로서 응용 가능성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 분할전극 b 크기가 증가함에 따라 3dB 대역폭, 20dB 대역폭은 다소 증가하였으며, 삽입손실은 감소 후 증가하였다.
- 2) 분할전극 d 크기가 증가함에 따라 3dB 대역폭, 20dB 대역폭은 감소하였으며, 삽입손실은 감소 후 증가하였다.
- 3) 분할전극 간격 c 크기가 증가함에 따라 3dB 대역폭, 20dB 대역폭은 감소하였으나 삽입손실은 감소하였다.
- 4) 이중모드 에너지트랩형필터를 설계하는 조건인 대칭모드의 반공진주파수와 비대칭모드의 공진주파수를 일치시키는 경우 대역폭은 증가하나, 삽입손실이 매우 커졌다.
- 5) 대칭모드의 반공진주파수와 비대칭모드의 공진주파수가 약간 덜 일치한  $b=0.8, d=0.4, c=0.4$ 의 크기를 가지는 SMD형 세라믹 필터에서 삽입손실은 2.951dB, 3dB 및 20dB 대역폭은 54.735kHz, 129.27kHz로 최적의 필터 특성을 보였다.

#### 감사의 글

이 논문은 2000년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2000-042-E00023)

#### 참고 문헌

[1] Y. Yamashita, S. Sakano, and I. Toba, "TE harmonic overtone mode energy-trapped ceramic filter with narrow frequency tolerance", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 36, No. 9B, p. 6096, 1997.

[2] 민석규, 오동연, 윤광희, 류주현, 박창엽, 김종선, "Pb(La,Ce)TiO<sub>3</sub> 계 세라믹스의 길이와 두께비( $l/t$ ) 따른 공진특성", 전기전자재료학회논문지, 14권, 9호, p. 720, 2001.

[3] 권창순, "두께전단모드를 이용한 단일체 세라믹 필터에 관한 연구", 연세대학교 대학원 전기공학과, 1986.

[4] 박창엽, 이개명, "압전세라믹을 이용한 고주파 대역의 단일체 대역통과필터에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 2권, 1호, p. 41, 1989.

[5] 오동연, 류주현, 박창엽, 류성립, 김종선, 정영호, "전극질량 변화에 따른 SMD형 변성 PbTiO<sub>3</sub> 세라믹 공진자의 공진특성", 전기전자재료학회논문지, 16권, 3호, p. 202, 2003.

[6] Y. Yamashita, Y. Oikawa, and M. Sugimoto, "Inharmonic overtone spurious mode suppression by partial mass-loading onto the electrode for energy-trapped-type thickness-extensional-mode piezoelectric ceramic resonator", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 37, No. 9B, p. 5318, 1998

[7] J. H. Yoo, S. K. Min, C. Y. Park, S. J. Suh, H. S. Yoon, J. S. Kim, and S. H. Lee, "Electrical properties of Pb(La,Nd)(Mn,Sb,Ti)O<sub>3</sub> system ceramics for 20MHz ceramic resonator", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 41, No. 11B, p. 7011, 2002.