

論文96-33A-3-5

# 고유전율 유전체공진기를 이용한 초소형 듀플렉서 필터 개발

## (Development of Duplexer Filters Using High Dielectric Constant Ceramic Resonators)

李圭馥\*,李宗勳\*,金耕培\*\*,李炯揆\*

(Kyu Bok Lee, Zong Hoon Lee, Kyung Bae Kim, and Hyeung Gyu Lee)

### 요 약

본 연구에서는 고유전율( $\epsilon_r > 100, 180$ ) 유전체 공진기를 이용하여 이동통신용 초소형 듀플렉서 필터를 개발하였으며, 본 듀플렉서 필터에 이용된 유전체 공진기는 유전율이 100이상인 경우는 BNT계 재료를 이용하였고, 유전율이 180이상인 공진기는 SCT계 재료를 이용하여 자체 개발된 공진기를 이용하였다. 개발된 듀플렉서 필터는 송신주파수 band가  $836.5(\pm 12.5)$  MHz이고, 수신주파수 band가  $881.5(\pm 12.5)$  MHz에서 band를 이루고 있으며, 각 band에서의 삽입손실이 송신부에서는 1.41dB와 1.46dB, 수신부에서는 3.49dB와 3.65dB로 각각 양호하게 나타났다. 또한 유전율이 180이상인 공진기를 이용한 듀플렉서 필터는 기존의 Murata의 제품보다 그 크기가 8% 정도 작게 개발되었다.

### Abstract

The purpose of this study is to develop the miniaturized duplexer filter for mobile communications using high dielectric constant ( $\epsilon_r > 100, 180$ ) ceramic resonators. Duplexer filter was composed of ceramic resonators which has been developed using BNT system and SCT system, respectively. Developed duplexer filter was formed to have Tx frequency band at  $836.5(\pm 12.5)$  MHz and Rx frequency band at  $881.5(\pm 12.5)$  MHz. Insertion loss at Tx frequency band was 1.41dB and 1.46dB, insertion loss at Rx frequency band was 3.49dB and 3.65dB, respectively. Especially, duplexer filters using dielectric ceramics with  $\epsilon_r = 180$  were 8% smaller than commercially manufactured duplexer filters using dielectric ceramics with  $\epsilon_r = 90$  by Murata.

### I. 서론

고도 정보화 사회에서 필수적인 분야로 부상하고 있는 정보통신 분야의 발전은 전 세계적으로 확산되고 있으며, 이에 따라 이 분야와 관련된 연구 개발이 활발히 진행되고 있다. 특히 정보통신 분야 중 이동통신 분야의 발전은 그 시장만큼이나 연구 개발도 빠르게 진

척되고 있는 상황이며, 우리 나라도 적극적으로 이동통신 분야에 참여하고 있어 그 수요가 크게 증가할 것으로 예상된다. 이러한 이동통신 기술 중 RF 분야는 특히 대외 경쟁력 면이나 기술력 면에서 볼 때 취약한 부분이다. 이동통신 기기의 시스템을 구성하는 RF 부품으로는 전력증폭기, 저잡음증폭기, 전압제어발진기, 온도보상 수정발진기, 고주파 필터, 혼합기 등 여러 부품이 있다.<sup>[1]</sup> 본 연구에서는 이러한 핵심 RF 부품 중에서 고유전율 유전체 공진기를 이용한 초소형 듀플렉서 필터를 개발하는 것이 목표이다.

유전체 공진기를 이용한 듀플렉서 필터의 연구 개발은 1980년대에 와서 고유전율 및 온도특성이 뛰어난 재료가 개발되어 이동 통신 기기 분야에 응용이 가능

\* 正會員, 電子部品綜合技術研究所

(Korea Electronics Technology Institute, KETI)

\*\* 正會員, 大宇電子

(DAEWOO Electronics)

接受日字: 1995年10月6日, 수정완료일: 1996年2月14日

하게 되었고, 현재는 미국의 Motorola社 및 일본의 Murata社, Matsushita社가 세계 시장을 장악하고 있다. 현재 이들 업체들에서 제작한 부품들이 국내의 통신 기기에 널리 사용되고 있다.<sup>[2]</sup>

그러나 국내에서는 소수의 업체, 연구 기관 및 학교에서만 연구 개발이 진행되고 있는 실정이다. 이러한 연구 자체도 재료, 공정, 필터 설계 및 제작에 있어서 균형적으로 연구되어 온 것이 아니라, 일부 기술에만 치우쳐 연구되어 왔다. 또한 원천 기술이라 할 수 있는 재료 및 공정의 특허 획득에는 미흡하였고, 독자적인 필터의 설계 및 제작 기술은 특히 낙후되어 있다.

그러므로, 본 과제에서는 기존에 상품화되어 있는 유전율 90대의 유전체 공진기를 이용한 듀플렉서 필터보다 소형화된 고유전율( $\epsilon_r > 100, 180$ ) 유전체 공진기를 이용한 이동통신용 초소형 듀플렉서 필터를 개발하였으며, 아울러 듀플렉서 필터 test용 jig도 개발하였다. 유전율이 180 이상인 공진기를 이용한 듀플렉서 필터는 기존의 것보다 그 크기가 8%정도 작게 개발되었으며 그 특성도 우수하게 나타났다.

본 연구개발을 통하여 기술 선진국에 비해 낙후된 국내 현황을 한단계 끌어 올리고, 원천 기술의 확보를 통한 관련 응용분야에의 적용으로 이 기술에 대한 활용이 국내 전자 산업에 큰 발판이 되리라고 사료된다.

## II. 설계 및 제작

듀플렉서 필터의 기본 설계 방법은 각 유전율에 따른 유전체 공진기의 공진 특성을 간단한 프로그램(C-언어)을 구성하여 구한 후 이를 바탕으로 Rx (Receiver)단과 Tx(Transmitter)단의 기본 회로를 구성하여 각각 시뮬레이션 및 최적화하였으며, 각단의 손실값과 임피던스 정합을 고려하여 전체적인 듀플렉서 필터를 설계, 구성하였다.

본 연구에서 설계, 제작한 듀플렉서 필터는 7개의 공진기와 SMD 부품으로 구성하였으며 Rx단이 4개, Tx단은 3개의 유전체 공진기로 구성되어 있으며, 개발에 사용한 유전체 공진기는 유전율이 100인 경우는  $Q_0$ 가 1400(at 3GHz)이고, 유전율이 약 180인 경우는  $Q_0$ 가 3000(at 2GHz) 정도로서 자체 개발하여 사용하였다.

듀플렉서 필터의 설계순서는 그림 1에 나타난 것과 같다.

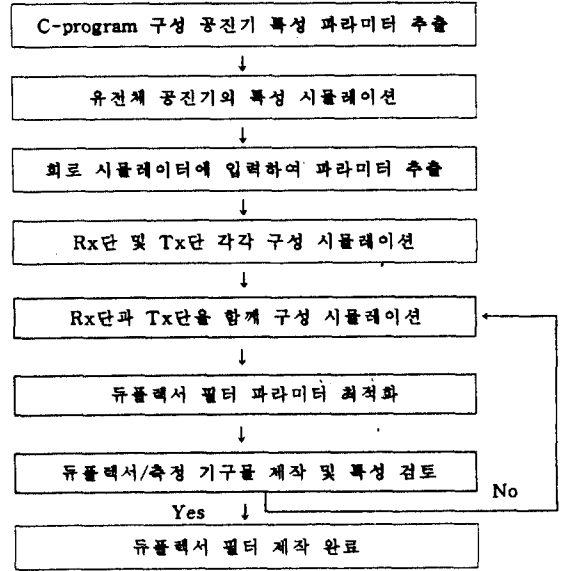


그림 1. 듀플렉서 필터의 설계 흐름도  
Fig. 1. Design flow-chart of duplexer filter.

### 1. 공진기 설계

#### ① 유전체 공진기의 공진특성

UIR(Uniform Impedance Resonator)의 공진특성을 알기 위하여, 먼저 SIR(Step Impedance Resonator)의 공진특성을 알아보기로 한다. UIR은 SIR의 특수한 경우이며 이 때의 조건을 적용시키면 UIR의 특성을 알 수 있다.<sup>[3]</sup>

먼저 본 연구에서 다루고 있는 공진기는  $\lambda/4$  공진기를 채택하였으며, 원통동축형(Cylindrical coaxial type)과 외부도체는 정방형이고 내부도체는 원형인 두 가지 모두를 설계해 보기로 한다. 두 가지 공진기의 형태 및 규격을 그림 2에 나타내었다.

SIR은 길이가  $0 \sim l_1$ 까지 일 때 특성 임피던스가  $Z_1$ 인 부분과 길이가  $l_1 \sim l_2$  일 때 특성 임피던스가  $Z_2$ 인 부분으로 이루어져 있으며, UIR은  $Z_1 = Z_2$  인 특수한 경우이며 앞으로의 경우에도 이러한 관계를 적용하여 UIR의 특성을 구할 수 있다.<sup>[3][4]</sup>

공진기의 특성 파라미터는 아래에 열거한 것과 같은 일반적인 수식으로 부터 구할 수 있다. 공진기의 개방 면에서 본 입력 어드미턴스  $Y_1$ 는 식 (1)과 같다.

$$Y_1 = j Y_2 \frac{Y_2 \tan \beta l_1 \tan \beta l_2 - Y_1}{Y_2 \tan \beta l_1 + Y_1 \tan \beta l_2} \quad (1)$$

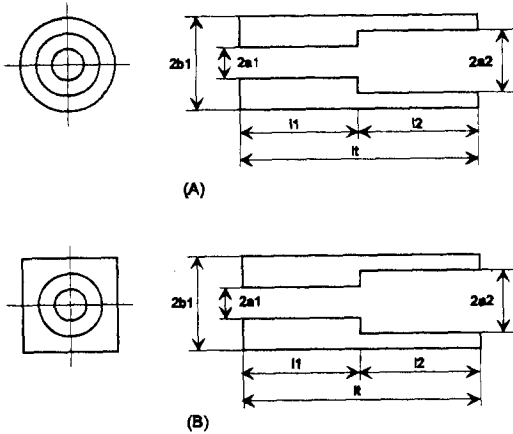


그림 2. 유전체 공진기의 구조 및 치수  
(A) 원형동축형 공진기 (B) 정방형 외부도체 구조를 갖는 공진기

Fig. 2. Structures of Dielectric Resonators.  
(A) Cylindrical Coaxial Dielectric Resonators (B) Rectangular Coaxial Dielectric Resonators

공진조건에 의하여  $Y_1 = 0$  이어야 하므로 식 (2)의 관계가 성립되어야 한다.

$$Y_2 \tan \beta l_1 \tan \beta l_2 - Y_1 = 0$$

$$\tan \beta l_1 \tan \beta l_2 = Y_1 / Y_2 = Z_2 / Z_1 = K \quad (2)$$

여기서

$$\beta = \sqrt{\epsilon_r} \cdot 2\pi / \lambda_0$$

$$Z_1 = 1 / Y_1 = 60 \ln(b_1/a_1) \sqrt{\epsilon_r} \quad (A) \text{ 구조}$$

$$Z_2 = 1 / Y_2 = 60 \ln(b_2/a_2) \sqrt{\epsilon_r} \quad (A) \text{ 구조}$$

$$Z_1 \sqrt{\epsilon_r} = 138 \log_{10}(b_1/a_1) + 6.48 - 2.34A - 0.48B - 0.12C \quad (B) \text{ 구조}$$

$$Z_2 \sqrt{\epsilon_r} = 138 \log_{10}(b_2/a_2) + 6.48 - 2.34A - 0.48B - 0.12C \quad (B) \text{ 구조}$$

$$A = \frac{1 + 0.405\rho^{-4}}{1 - 0.405\rho^{-4}}, B = \frac{1 + 0.163\rho^{-8}}{1 - 0.163\rho^{-8}}$$

$$C = \frac{1 + 0.067\rho^{-12}}{1 - 0.067\rho^{-12}}$$

$\epsilon_r$  : 유전체의 상대 유전 상수

$\lambda_0$  : 자유공간에서의 파장

식 (2)로 부터 SIR의 전체 길이  $l_t$  가 유도된다.

$$l_t = l_1 + l_2 = l_1 + \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \left( \frac{K}{\tan \beta l_1} \right) \quad (3)$$

$0 < K < 1$  인 영역에서  $l_1 = l_2 = \tan^{-1} \sqrt{K} / \beta$  일 때 최소 길이를 갖으며 이 때 최소 공진길이  $l_{tmin}$  은 식 (4)와 같다.

$$l_{tmin} = 2 \tan^{-1} \sqrt{K} / \beta \quad (4)$$

또한 UIR인 경우  $K = 1$  이므로 식 (4)는 식 (5)로 대체될 수 있다.

$$l_{tmin} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r} \cdot 4} \quad (5)$$

② Unloaded-Q

Unloaded Q,  $Q_0$ 는 유전체로 채워진 SIR의 Q값으로 동축형 공진기의 반경을 결정하는데 중요한 파라미터이며 이에 대한 식은 (6)과 같이 나타난다.<sup>[3][4]</sup>

$$Q_0 = \frac{1}{1 + \frac{Q_c}{Q_e} \tan \delta} \quad (6)$$

식 (6)에서  $\tan \delta$ 는 유전체 물질 중 Loss tangent를 나타낸 것이고 그림 2의 (A) 및 (B) 구조의  $Q_c$  값은 식 (7), 식 (8)과 같이 나타난다.

$$Q_c = \frac{2b_1}{\delta} \left[ \frac{A_1 \ln(b_1/a_1) + A_2 B_2 \ln(b_1/a_1)}{A_1(1 + (b_1/a_1)) + A_2 B_2(1 + (b_1/a_2))} + \frac{B_1 \ln(a_2/a_1)}{8\pi \sqrt{\epsilon_r} b_1 / \lambda_0} \right] \quad (7)$$

$$Q_c = \frac{2b_1}{\delta \mu} \left[ \frac{A_1 C_1 Z_1^2 + A_2 B_2 C_2 Z_2^2}{\frac{A_1}{8}(1 + 4b_1 \overline{\text{over}} \pi a_1) + \frac{A_2 B_2}{8}(1 + \frac{b_1}{a_2})} + \frac{4b_1 \sqrt{\epsilon_r}}{\lambda_0} \left( \ln \frac{4b_1}{\pi a_1} + B_1 \frac{\ln(4a_2)}{\pi a_1} \right) \right] \quad (8)$$

$C_i (i=1,2)$  : 선로  $i$ 의 단위길이당 커패시턴스

$Z_i (i=1,2)$  : 선로  $i$ 의 임피던스

$\delta$  : Skin depth

$$A_1 = 2\beta l_1 + 2\beta l_2, \quad A_2 = 2\beta l_2 - 2\beta l_1$$

$$B_1 = \cos^2 \beta l_1, \quad B_2 = \cos^2 \beta l_1 / \sin^2 \beta l_2$$

여기서 UIR 공진기의 경우  $K = 1, l_1 = l_2$  를 적용시켜  $Q_c$  값을 구할 수 있다. 또한 내경과 외경의 비가 같다고 할 때, 원통동축형 공진기와 외부도체가 정방형이고 내부도체가 원형인 공진기의  $Q_c$  를 비교해 보면 후자의 공진기가 더 큰 Q를 갖고 있음을 알 수 있다.

③ 이드미턴스 슬로프 파라미터 (Admittance slope parameter)

대역통과 여파기를 설계하기 위해서는 슬로프 파라미

터 b가 결정되어야 하며 이의 정의로부터 식 (9)가 유도되며 이를 이용하여 b를 구할 수 있다.<sup>[3][14]</sup>

$$b = \frac{\theta_{01} Y_2}{2} \left[ \frac{l_2}{l_1} + \frac{K(1 + \tan^2 \theta_{01})}{K^2 + \tan^2 \theta_{01}} \right]$$

$$= \frac{\theta_{01} Y_2}{2} \left[ \frac{l_2}{l_1} + \frac{K}{K^2 + (1 - K^2) \sin^2 \theta_{01}} \right] \quad (9)$$

$\theta_{01} = \beta l_1 \mid \omega = \omega_o$ ,  $\omega_o$ : 공진기의 각주파수

여기서  $l_1 = l_2$  일 때 최소공진길이 조건이 되며 이 어드미턴스 슬롭 파라미터는 식 (10)과 같이 간소화시킬 수 있다.

$$b = \frac{\theta_{01} Y_2}{2} \cdot 2 = \theta_{01} Y_2 \quad (10)$$

어드미턴스 슬롭 파라미터 b와 공진기의 L, C 값과의 관계는 식 (11)과 같다.

$$C = \frac{b}{\omega_o}, \quad L = \frac{1}{\omega_o b} \quad (11)$$

2. 듀플렉서 필터 설계 및 최적화

위와 같은 수식과 시뮬레이션 결과를 통하여 공진 특성을 알아낼 수 있었으며 이를 바탕으로 수신단과 송신단의 회로를 구성하였다.<sup>[3][15][16][17]</sup> 설계 tool로는 HP사의 MDS(Microwave Design System)와 PC용 Super-star를 이용하여 설계하였다. 표 1은 유전율이 다른 유전체공진기로 구성된 듀플렉서 필터의 각 공진기의 주파수와 길이를 나타낸 것이다.

표 1. 유전율에 따른 각 공진기의 공진주파수 및 길이

Table 1. Frequency and length of dielectric resonators.

		Rx1	Rx2	Rx3	Rx4	Tx1	Tx2	Tx3
공진기의 길이(mm)	$\epsilon_r=100$	8.126	8.161	8.241	8.099	8.104	7.864	8.183
	$\epsilon_r=180$	6.050	6.143	6.157	6.063	6.047	5.869	6.106
공진주파수 (MHz)	$\epsilon_r=100$	923	919	910	926	925.5	953.75	916.5
	$\epsilon_r=180$	924	910	908	922	924.5	952.5	915.5

① 유전율 100인 유전체 공진기를 이용한 듀플렉서 필터 설계

유전율이 100인 공진기로 구성된 듀플렉서 필터의 기본 회로도에는 그림 2에 나타내었으며, 각단의 시뮬레

이션 결과는 그림 3, 4와 같다.

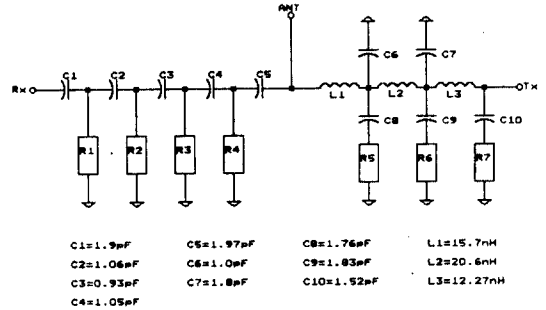


그림 2. 유전율 100인 유전체 공진기를 이용한 듀플렉서 필터의 회로도

Fig. 2. Schematic of duplexer filter using coaxial resonators with dielectric constant 100.

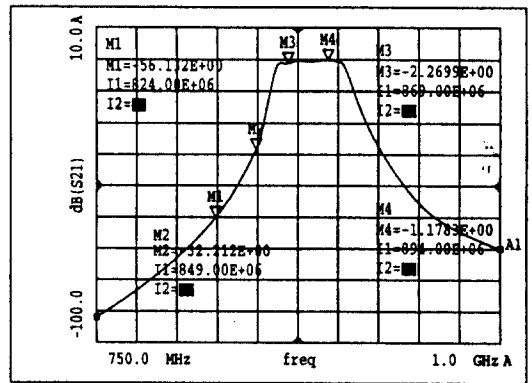


그림 3. 듀플렉서 필터 수신부의 시뮬레이션 결과( $\epsilon_r = 100$ )

Fig. 3. Simulation results of Rx duplexer filter. ( $\epsilon_r = 100$ )

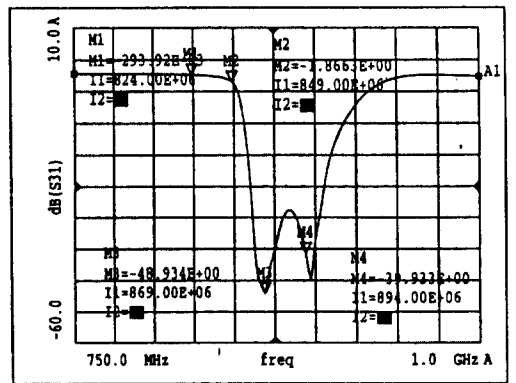


그림 4. 듀플렉서 필터 송신부의 시뮬레이션 결과( $\epsilon_r = 100$ )

Fig. 4. Simulation results of Tx duplexer filter. ( $\epsilon_r = 100$ )

이 시뮬레이션 결과는 필터의 삽입손실 및 감쇄량을 보여주고 있다. 시뮬레이션 상에서 Rx단에서 2.3dB Tx단에서 1.87dB의 삽입손실을 보였고, Rx에서 56.1dB 및 Tx에서 48.9dB의 감쇄량을 갖는 우수한 필터 특성을 보였다.

② 유전율 180인 유전체 공진기를 이용한 듀플렉서 필터 설계

유전율이 180인 공진기로 구성된 듀플렉서 필터의 기본 회로도에는 그림 5와 같으며, Rx단과 Tx단의 시뮬레이션 결과는 그림 6, 7과 같다.

Rx단에서 2.76dB, Tx단에서 0.63dB의 삽입손실과 Rx단 44.3dB 및 Tx단 54.1dB의 감쇄특성을 보였다.

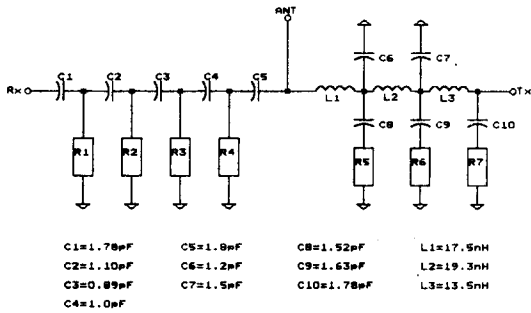


그림 5. 유전율 180인 유전체 공진기를 이용한 듀플렉서 필터의 회로도

Fig. 5. Schematic of duplexer filter using coaxial resonators with dielectric constant 180.

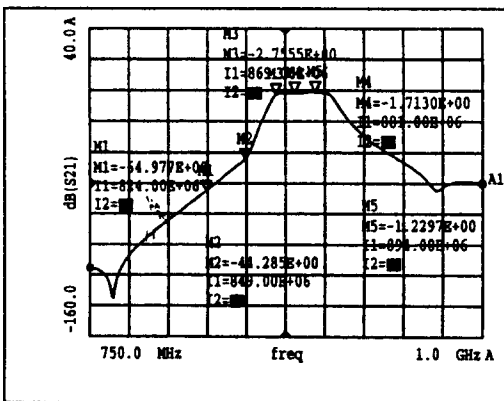


그림 6. 듀플렉서 필터 수신부의 시뮬레이션 결과( $\epsilon_r = 180$ )

Fig. 6. Simulation results of Rx duplexer filter. ( $\epsilon_r = 180$ )

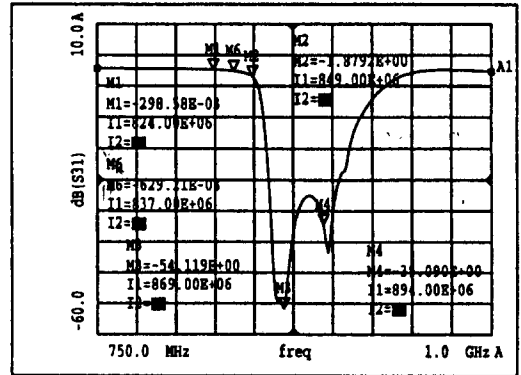


그림 7. 듀플렉서 필터 송신부의 시뮬레이션 결과( $\epsilon_r = 180$ )

Fig. 7. Simulation results of Tx duplexer filter. ( $\epsilon_r = 180$ )

III. 결과 및 고찰

본 연구에서 제작한 듀플렉서 필터의 제작 기관은 0.4mm 두께의 gold 도금된 에폭시 기판을 사용하였으며, 측정 jig용 기판은 1.0mm 두께의 gold 도금된 에폭시 기판을 직접 설계하여 사용하였다.<sup>[31][8]</sup>

제작된 듀플렉서 필터는 Rx단의 경우 4개의 유전체 공진기와 함께 회로 구성을 0.8mm 두께의 세라믹 기판에 은도금 처리한 interdigital 캐패시터를 이용하여 구성하였으며,<sup>[9]</sup> Tx단의 경우 3개의 공진기와 열처리된 인덕터 코일과 칩 캐패시터를 이용하여 구성하였다. Tx단은 향후 세라믹 기판을 이용하여 평판(parallel-plate) 캐패시터를 구성하면 보다 소형화된 듀플렉서 필터를 개발할 수 있으리라 사료된다.

또한 본 연구에서는 듀플렉서 필터의 특성 측정을 위하여 필터를 납땜하지 않고 직접 측정이 가능하며, 양산시에도 적용이 용이한 필터 측정용 jig를 설계, 제작하였다. 제작된 측정용 기구물은 전체적으로 은도금 처리하여 전도성을 높였으며, 간단한 조작으로 측정이 용이하도록 설계, 제작하였다. 필터와 측정 PCB가 직접적으로 접촉이 되는 부분은 필터의 PCB 패턴에 홈집을 주지않도록 상하 도전성 섬유를 이용하여 양산시의 특성 측정 등을 고려하여 설계 제작하였다.

유전율에 따른 듀플렉서 필터의 특성 측정 결과 및 그 크기는 아래의 Table 2와 같다.

표 2. 유전율 100과 180인 유전체공진기를 이용한 듀플렉서 필터의 특성

Table 2. Characteristics of duplexer filters using coaxial resonators with dielectric constant 100 and 180

측정치 항목	유전율 100	유전율 180
- 3-Pole Tx Filter		
· 삽입손실	1.41 dB	1.46 dB
· 감쇄량	35.8 dB	34.1 dB
· 주파수	836.5±12.5 MHz	836.5±12.5 MHz
- 4-Pole Rx Filter		
· 삽입손실	3.49 dB	3.65 dB
· 감쇄량	39.6 dB	39.0 dB
· 주파수	881.5±12.5 MHz	881.5±12.5 MHz
- Duplexer Filter Size	3.6×23×16 mm (1.3cc)	3.6×22×12 mm (0.95cc)

유전율 100인 재료는 BNT계를 이용하였고, 유전율 180인 재료는 SCT인 재료를 이용하였다. 측정장비는 HP8510C Network Analyzer와 HP4191A RF Impedance Analyzer를 이용하여 측정하였다.<sup>[10]</sup>

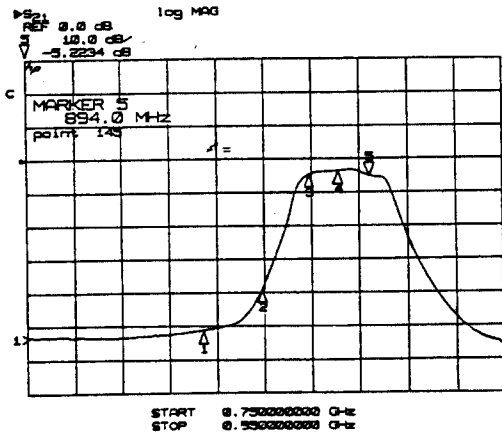


그림 8. 듀플렉서 필터 수신단의 log magnitude(S21) 특성( $\epsilon_r = 100$ )  
Fig. 8. Log magnitude characteristics of Rx duplexer filter. ( $\epsilon_r = 100$ )

유전율( $\epsilon_r = 100, 180$ )에 따른 듀플렉서 필터의 제작 결과 유전율이 100인 경우는 전체적인 전기적 특성면에서는 양호하였으나, 삽입손실 측면에서 볼때 유전율이 100인 경우는 Rx단에서 ripple이 1.6dB max 로써 다소 불안정하였으나, 유전율이 180인 경우는 ripple이 1.03dB max 정도로 매우 우수하게 제작되었다. 유전율이 180인 경우 대체적으로 감쇄량이 적게 측정되었는데 그 이유로는 고유전율 유전체 공진기를

사용할 경우 공진기의 길이가 전체적으로 작아지기 때문에 그에 따른 L과 C성분의 matching이 잘 이루어지지 못한 것과 전체 필터 크기의 축소에 따른 접지면적의 축소에 있다고 사료된다. 그 개선점으로는 공진기 단면적을 축소하는 방법과 PCB 기판 제작시 필터의 뒷 SMD PCB 기판상에 GND 패턴을 확대하는 방법이 있으리라 사료된다.

유전율이 100인 경우 필터의 Rx단과 Tx단에서의 log magnitude 특성 측정 결과는 그림 8, 9에 나타내었으며, 그림 10, 11에는 phase와 S21의 smith chart를 나타내었다.

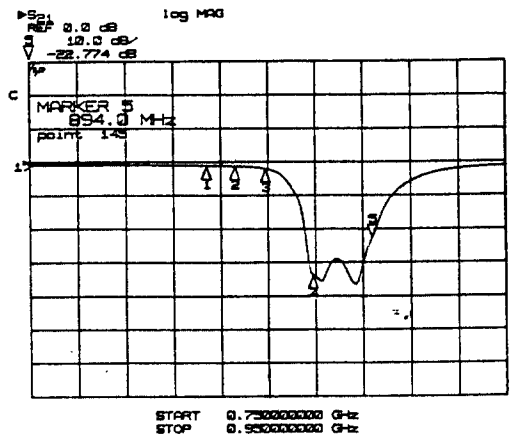


그림 9. 듀플렉서 필터 수신단의 log magnitude(S21) 특성( $\epsilon_r = 100$ )  
Fig. 9. Log magnitude characteristics of Tx duplexer filter. ( $\epsilon_r = 100$ )

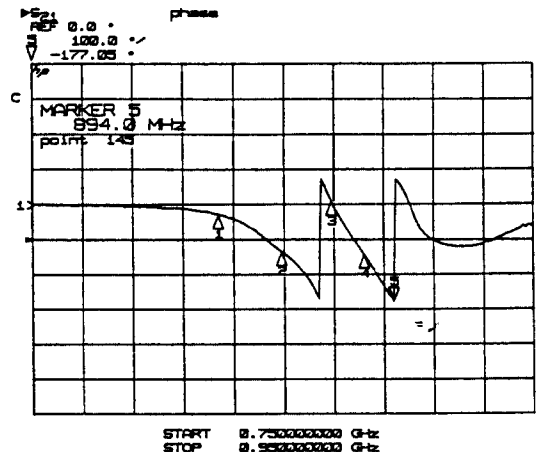


그림 10. 듀플렉서 필터의 phase 특성( $\epsilon_r = 100$ )  
Fig. 10. Phase characteristics of duplexer filter. ( $\epsilon_r = 100$ )

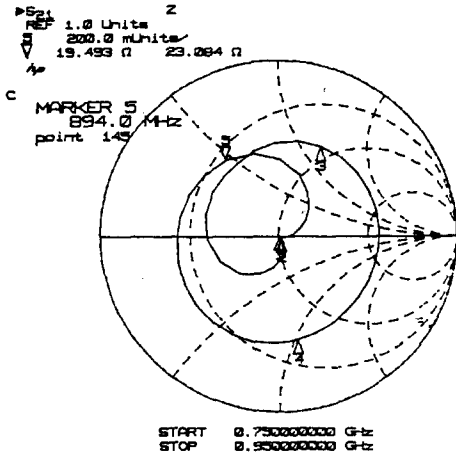


그림 11. 듀플렉서 필터의 smith chart 특성( $\epsilon_r = 100$ )  
 Fig. 11. Smith chart characteristics( $S_{21}$ ) of duplexer filter. ( $\epsilon_r = 100$ )

그림 8에서 볼 때 유전율인 100인 경우 Rx단의 감쇄량은 39.6dB로 양호하였으나 ripple이 1.6dB max로 다소 크게 나타났으며, 특히 894MHz에서는 다소 큰 차이를 보였다. 이것은 듀플렉서 필터에 casing을 하였을 때 이에 따른 L, C값과 case간 impedance의 불일치로 인한 것으로 생각된다. 또한 그림 9의 Tx단의 특성은 삼입손실과 감쇄량을 볼 때 매우 양호하게 나타났다.

그림 10은 filter의 위상차를 나타낸 것으로 M1과 M5에서 다소 불안정하였으나 전체적으로 양호한 특성을 보였으며, 그림 11의 smith chart 특성을 볼 때 50Ω matching이 잘되고 있음을 보여주고 있다.

유전율이 180일 경우 필터의 Rx단과 Tx단에서의 log magnitude 특성 측정 결과는 그림 12, 13에 나타내었으며, 그림 14, 15에는 phase와  $S_{21}$ 의 smith chart를 나타내었다.

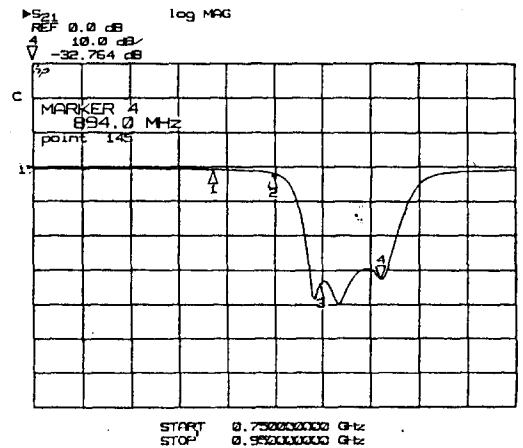


그림 13. 듀플렉서 필터 송신단의 log magnitude 특성( $\epsilon_r = 180$ )  
 Fig. 13. Log magnitude characteristics of Tx duplexer filter. ( $\epsilon_r = 180$ )

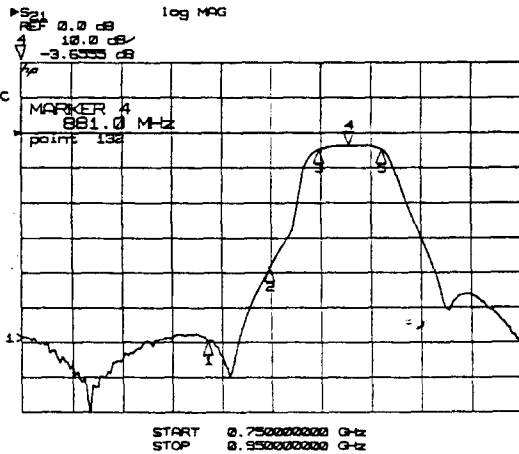


그림 12. 듀플렉서 필터 수신단의 log magnitude 특성( $\epsilon_r = 180$ )  
 Fig. 12. Log magnitude characteristics of Rx duplexer filter. ( $\epsilon_r = 180$ )

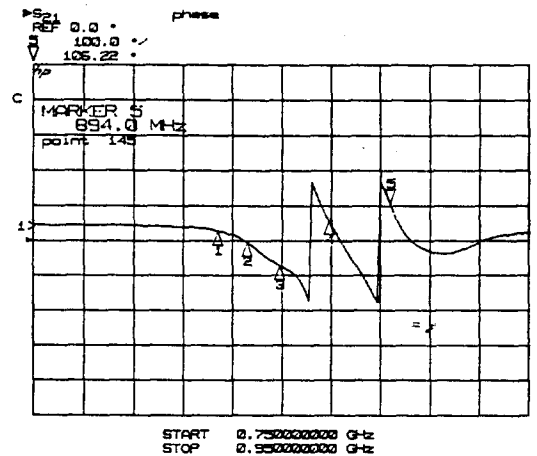


그림 14. 듀플렉서 필터의 phase 특성( $\epsilon_r = 180$ )  
 Fig. 14. Phase characteristics of duplexer filter. ( $\epsilon_r = 180$ )

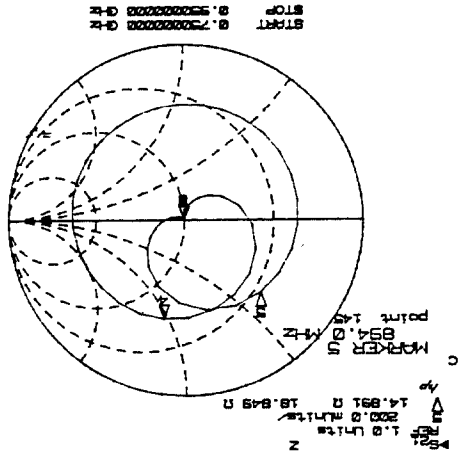
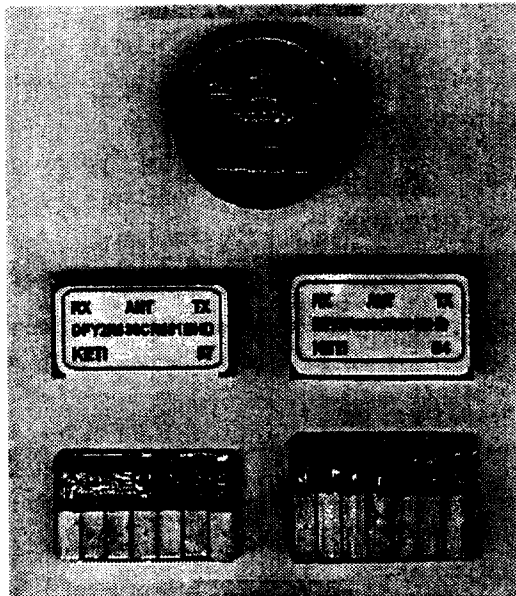


그림 15. 듀플렉서 필터의 smith chart 특성(S21) ( $\epsilon_r = 180$ )  
 Fig. 15. Smith chart characteristics(S21) of duplexer filter. ( $\epsilon_r = 180$ )

호함을 볼 수 있다. 그림 13의 Tx단의 특성은 삽입손실 측면에서는 우수한 결과를 보였으나 감쇄량을 볼때 다소 미흡함을 보였으며 감쇄량을 보다 개선하기 위해서는 PCB 기판상에서의 GND 패턴을 확장하고 유전율의 증가에 따른 공진기의 길이 감소를 공진기 단면적의 축소로 L, C값을 matching 시킴으로써 가능할 것이다.

그림 14에서 나타낸 filter의 위상차는 M1과 M2에서 다소 불안정하였으나 전체적으로 양호한 특성을 보였으며, 그림 15의 smith chart 특성도 50Ω에 잘 matching되고 있음을 보여주고 있다.

그림 16은 각 유전율에 따른 듀플렉서 필터의 시제품을 나타낸 사진으로써 유전율이 높아짐에 따라 전체적인 필터의 크기가 작아짐을 볼 수 있다. 이는 유전율의 증가에 따라 공진기의 길이가 짧아짐으로 인한 전체 필터의 크기 감소 효과이다.



(A) 유전율 180인 경우(좌측)  
 (B) 유전율 100인 경우(우측)

그림 16. 각 유전율에 따른 듀플렉서 필터의 시제품  
 (A) Dielectric constant 180(Left) (B) Dielectric constant 100(Right)  
 Fig. 16. Duplexer filters made by KETI.

그림 12에서 볼때 유전율인 180인 경우 Rx단의 감쇄량이 유전율이 100인 경우보다 다소 작았지만 ripple과 전체적인 impedance matching이 매우 양

#### IV. 결론

본 연구에서는 1cc 이하의 초소형 듀플렉서 필터를 구현하기 위하여 고유전율 재료를 이용하여 유전율 100 및 유전율 180인 유전체 공진기를 제조하여 듀플렉서 필터를 제작하였다. 제작된 듀플렉서 필터는 삽입손실이 송신부에서는 1.41dB와 1.46dB, 수신부에서는 3.49dB와 3.65dB로 각각 양호하게 나타났다.

특히 유전율 180인 유전체로 제작된 필터는 기존 상용화된 소형 듀플렉서 필터보다 8% 가량 소형화 개발되었다. 듀플렉서 필터를 납땜하지 않고 직접 측정하며, 양산시에도 적용이 용이하도록 설계된 특성 평가용 jig도 실제 제작하였다.

본 연구 개발을 통하여 고유전율 유전체 공진기를 이용한 듀플렉서 필터 설계 제작기술 및 측정 평가기술을 확보하였으며, 개발 결과는 아날로그 및 디지털 셀룰러폰 등에 활용할 수 있을 것으로 전망된다.

#### 참고 문헌

[1] 박동철의 5인, "마이크로웨이브 설계이론 연구," pp.2, 한국전자통신연구소 연구보고서, 1993.  
 [2] Z.H.Lee, et al. "Development of Dielectric Materials and Resonators Design for Duplexer Filter," pp.1-3.



KETI-RD-93046, 1993.

[3] Sagawa M., Makimoto M. and Eguchi K. and Fukushima F., "Miniatured antenna duplexers for Portable radio telephone terminals," IEICE Trans. vol. E74, No. 5, May 1991.

[4] A.Okaya, "The Rutile Microwave Resonators," Proc. IRE, 48,1921, 1960.

[5] S.B.Cohn, "Microwave Bandpass Filters Containing High-Q Dielectric Resonators," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., MTT16 [4] 218, 1968.

[6] Sagawa M., Makimoto M. and Yamashita S., "A design method of bandpass filter using dielectric-filled coaxial resonators," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., MTT-33, Feb. 1985.

[7] Theodore S. Saad, "Microwave engineers handbook Volume 1," Artech-House . 1971.

[8] Matsumoto H., Yorita T., Ishikawa Y. and Nishikawa T., "Miniatured Duplexer using Rectangular Coaxial Dielectric Resonators for Cellular Telephone," IEICE Trans., Vol. E 74, No.5, May. 1991.

[9] Gary D. Alley, "Interdigital Capacitors and Their Application to Lumped-Element Microwave Integrated Circuits," IEEE Trans. MTT-18, No.12, Dec. 1970.

[10] Montgomery C.G., Techniques of microwave measurements, M.I.T. Radiation Lab. Series, McGraw-Hill, New York, 1947.

저 자 소 개



李圭馥(正會員)

1964년 12월 26일생. 1989년 2월 인하대학교 응용물리학과(공학사). 1992년 2월 인하대학교 응용물리학과(공학석사).

1992년 3월~현재 전자부품종합기술연구소 ATEL 단말기사업단 전임연구원. 주관심분야 고주파부품 설계, BiCMOS 소자 모델링 및 RF-IC 설계



李宗勳(正會員)

1966년 7월 22일생. 1990년 2월 연세대학교 금속공학과(공학사). 1992년 2월 연세대학교 금속공학과(공학석사). 1992년 3월~현재 전자부품종합기술연구소 부품연구3

팀 전임연구원. 주관심분야 고주파 유전체 세라믹스 설계 및 제조

金耕培(正會員)

1963년 8월 4일생. 1986년 2월 서울대학교 섬유공학과(공학사). 1990년 9월 프랑스 Haute Alsace 대학 물리화학(공학석사). 1994년 3월 프랑스 Haute Alsace대학 재료공학과(공학박사). 1994년 10월~1995년 10월 전자부품종합기술연구소 세라믹 부품연구팀 선임연구원. 1995년 11월~현재 대우전자 전자사업부 시스템개발팀 과장. 주관심분야 고주파 유전체 세라믹스 설계 및 재료 개발



李炯揆(正會員)

1961년 6월 17일생. 1984년 2월 연세대학교 요업공학과(공학사). 1986년 2월 KAIST 재료공학과(공학석사). 1989년 8월 KAIST 재료공학과(공학박사). 1989년 9월~1992년 2월 삼성반도체 선임연구원. 1992년 3월~현재 전자부품종합기술연구소 부품연구3팀 선임연구원. 주관심분야 고주파 유전체 세라믹스 재료 및 공정 개발. 메모리용 유전체 박막분야, FRAM 소재분야