

## 초고속 무선통신 설비용 필터의 소형화에 관한 연구

(Miniaturization Technology of the Filter for High-speed Wireless Communication Systems)

황재호\* 문준호

(Jae-Ho Hwang, Junho Moon)

### Abstract

In this paper, a small band pass filter is designed using new probe type for wireless communication system. In order to provide a band pass filter which can be reduced in dimension, can be reduced in height, and can be surface-mounted. The filter was fabricated using TE<sub>016</sub> mode dielectric resonator. The input/output probes are attached to coner portion of the rectangular metal cavity. Results of the manufactured filter(12×12×8 mm) show that the center frequency is 9.953 GHz, the insertion loss is -2.98 dB, the 3dB-bandwidth is 15 MHz, and the lode Q is 663.

### 1. 서론

정보 통신에 있어 정보량의 증대는 통신시스템의 대용량화와 고속화로 발전시키고 있다. 특히 무선통신에 있어서 고속, 광대역은 사용되는 주파수와도 밀접한 관계가 있으며, 보다 높은 주파수의 사용이 검토되고 있다.

한편, 최근 무선통신 사용자들의 이동성에 관한 요구는 단말기의 소형화에 주목 하게 되며 각 무선설비에 사용되는 부품의 소형화에 대한 연구개발이 주요과제로 부상하고 있다.

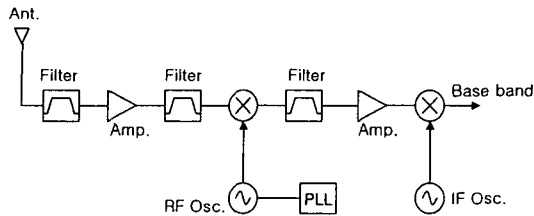


그림 1. 무선통신 시스템의 수신부  
Fig. 1. Receiver of wireless communication system

그림 1은 무선통신 시스템의 수신부를 나타내고 있으며, 안테나로 입력한 신호의 잡음(noise)을 제거하기 위한 필터(filter)가 다수 사용되고 있다. 필터의 삽입손실은 시스템의 성능을 저하시키는 원인이 되므로 수신부에 사용되는 필터에는 높은 Q 값을 갖는 유전체 공진기가 사용되고 있다.[1][2]

그러나 종래의 유전체 필터는 요구되는 특성에

따라 공진기의 수가 증가하며 직선형 입출력 프로브를 사용함에 따라 필터의 크기가 커지게 되어 결국 시스템의 소형화가 곤란하게 된다.[3][4]

한편 필터의 소형화를 위한 유전체 기판상에 유전체 공진기를 부착하고 입출력단을 마이크로 스트립선로를 사용하여 방법은 기판의 영향으로 삽입손실이 증가하는 단점이 있다.

본 논문은 초고속 무선통신 시스템의 소형·경량화에 요구되는 저 손실 소형필터의 구현을 목적으로 10 GHz 대역 무선통신시스템에 사용되는 대역통과 필터(BPF)를 시뮬레이션을 이용하여 설계 제작하고, 측정을 통하여 특성을 검토한다.

특히, 필터의 저 손실 특성을 위해 Q값이 높은 Ba(Co,Nb)O<sub>3</sub>계 세라믹(ceramics) 유전체 공진기를 사용하였으며, TE<sub>016</sub>모드의 공진을 이용하여 금속 캐비티의 도체손실 영향을 줄였다.

소형화를 구현하는 방법으로는 직선형태의 모노폴(monopole)입출력 프로브를 설치하는데 차지하는 캐비티의 양옆의 공간을 줄이도록 정사각형 캐비티의 코너 공간을 적극 활용하였으며, 12×12 mm의 초소형 필터를 제작하였다. 이는 TE<sub>016</sub>모드를 여기 시키는 방법으로 기존의 모노폴 프로브 대신 루프형 프로브(loop type probe)를 사용한 효과라 할 수 있다.

### 2. 본론

#### 2.1. 유전체 공진기

유전체 필터에 요구되는 특성은 필터의 부하

$Q(Q_L)$ 가 높고, 삽입손실이 적어야 한다. 이런 특성을 만족하기 위해 적절한 공진기 재료와 공진 모드의 선택이 필요하다. 고주파용 유전체 공진기에 사용되는 유전체 세라믹스의 조건은 다음과 같다.[5][6]

- (1) 재료의  $Q$ (유전손실의 역수)가 높을 것
- (2) 비유전율( $\epsilon_r$ )이 적절한 값을 가질 것
- (3) 공진 주파수의 온도계수가  $0 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$  부근의 값을 가질 것

한편, 유전율이 큰 재료의 경우 10 GHz 이상의 주파수에서는 유전체 공진기가 작아지게 때문에 주파수조정이 어려울 뿐 아니라 필터의  $Q_L$ 이 작아지게 된다. 또한 비유전율  $\epsilon_r$ 가 작은 재료에서는 유전체 공진기가 커져서 필터 전체의 체적이 크게 되므로 적절한 유전체의 선택이 필요하다.

또한 공진 주파수의 온도계수는  $0 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$  부근이 되는 것과 함께 IC 등의 온도변화에 의한 위상의 변화를 보상하기 위해 필터에 요구되는 온도특성을 포함하여 임의의 조정 할 수 있어야 한다.

이와 같은 점을 고려하여 본 필터의 설계에는 높은  $Q$ 와  $0 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$  부근의 온도 특성을 얻을 수 있는  $\text{Ba}(\text{Co}, \text{Nb})\text{O}_3$ 계 유전체 세라믹( $\epsilon_r=30$ )을 사용하였다.

표 1. 공진모드의 특성

Table 1. Characteristic of resonance modes

구분	$\text{TE}_{016}$	$\text{TM}_{010}$	TEM
$Q$	높다	중간	낮다
체적	크다	중간	작다

표 1은 유전체 필터에 사용되는 대표적인 공진모드의 특성을 나타내고 있다.[7][8]

$\text{TE}_{016}$ 모드는 유전체 공진기와 금속벽이 떨어져 있어 도체손실이 적어져서 필터의 부하 $Q$ 와 유전체 재료의  $Q$ 가 거의 같아진다. 따라서 이와 같은 공진모드를 사용 할 경우 높은  $Q_L$ 을 갖는 필터를 구현 할 수 있다.

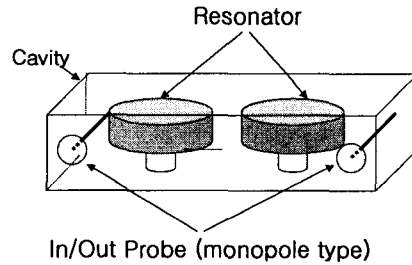
TEM모드는 원통형 유전체 공진기의 외주 및 내주 면에 전극을 형성하므로 도체손실이 커지고 필터의  $Q_L$ 이 적어진다. 그러나 필터의 체적은 열거한 3개의 모드 중 가장 작아진다. 그렇기 때문에 손실특성보다 소형화가 요구되는 단말기 등에 사

용되고 있다.

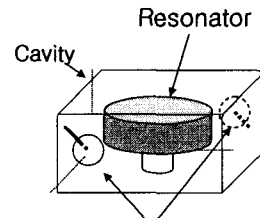
결국, 저 손실특성이 중요한 10 GHz대역 무선통신 시스템용 유전체 필터에는  $Q_L$ 이 높은 공진특성이 필요하므로  $\text{TE}_{016}$ 모드를 사용한 유전체 필터가 가장 적합하다 할 수 있다.

## 2.2. 소형필터의 해석 및 설계

그림 2는  $\text{TE}_{016}$ 모드 공진기를 사용한 소형의 필터의 구성을 나타내고 있다. (a)는 모노폴 형태의 입출력 프로브로써 인접 유전체공진기와 자계(H) 결합을 하고 있으며 결합량은 유전체공진기와외 간격으로 결정된다. (b)는 본 논문에서 제안한 필터의 구성방법으로 금속 캐비티의 코너부에 설치한 프로브는 소형루프안테나와 같이 동작하게 되며 이는 (a)와 마찬가지로 유전체공진기와 자계결합을 하게 된다.



(a) 모노폴 형태 프로브  
(a) Monopole type probe



(b) 루프 형태 프로브  
(a) Loop type probe

그림 2 소형필터의 구성

Fig. 2. Construction of a small filter

그림 3은 그림 2의 (b)와 같은 루프형태의 입출력 프로브를 적용한 소형필터의 해석결과를 나타내고 있다.

소형화를 위해 한개의 유전체 공진기를 사용하며, 금속 캐비티의 내부 치수는  $11 \times 11 \times 6 \text{ mm}$ 로 손실이 없는 도체로 가정한다. 또한 내부의 유전체 공진기는 비유전율  $\epsilon_r$ 이 30인 직경 6.9 mm, 높이 2.2 mm의 원주형으로 한다.

결과에서 주파수 특성을 보면 약 10 GHz대역에서 공진하고 있음을 알 수 있으나, 공진기의 유전체 손실과 캐비티의 도체손을 무시한 결과이므로 정확한 삽입손실특성은 나타나지 않다.

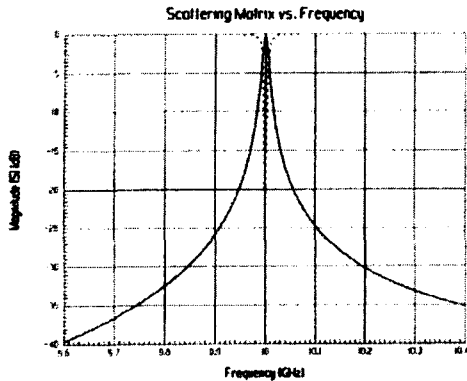


그림 3 소형필터의 주파수특성(해석치)  
Fig. 3. Frequency characteristic of a small filter(simulated)

### 2.3. 소형필터의 제작 및 측정결과

새로운 형태의 입출력 프로브의 적용은 시뮬레이션을 통한 해석에서 가능성이 입증되었고, 이와 같은 구조는 필터를 소형화 하는데 커다란 역할을 할 수 있음을 알았다. 그러나 수신부에 입력한 신호는 필터를 통과하는 과정에서 손실이 증가하게 되므로 사용되는 필터의 손실특성은 매우 중요한 파라미터나, 시뮬레이션에서는 정확한 평가를 할 수 없었으므로 제작을 통해 그 특성을 평가한다.

시뮬레이션 결과를 토대로 소형 유전체 필터를 제작하는데 있어, 금속 캐비티는 순동의 재질로 크기가 12×12×8 mm이며 캐비티의 상부에는 중심주파수의 미세 조절에 필요한 조정나사를 배치했다. 또한 금속 캐비티의 내부에는 직경 6.9 mm, 높이 2.2 mm의 원주형 유전체 공진기와 지지대가 포함되어 있다.

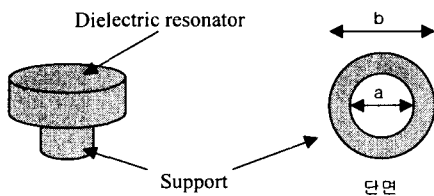


그림 4 지지대의 구성  
Fig. 4. Construction of a dielectric support

그림 4는 유전체공진기와 지지대의 구조를 나타내고 있다. 유전체 공진기로는 Ba(Co,Nb)O<sub>3</sub>계 세라믹을 사용하였으며, 유전체공진기를 캐비티 중앙에 위치시키는 역할을 하는 지지대는 공진 특성의 열화를 방지하기 위하여 내경1.5 mm, 외경3.5 mm의 동공구조를 하고 있으며 외부충격에 대한 파열을 방지하기 위해 강도가 강한 유전체 재료(Forsterite:  $\epsilon_r=6$ )를 사용하였다.

그림 5는 제작된 소형 필터의 중심 주파수 특성을 측정결과로 상온에서의 특성을 나타내고 있다. 중심주파수  $f_0$ 는 9.95358 GHz, 삽입손실은 -1.9 dB, 3 dB대역폭은 14.9 MHz, 부하Q는 664로 저손실 대역통과 필터에서 요구되는 특성을 만족함을 알 수 있다.

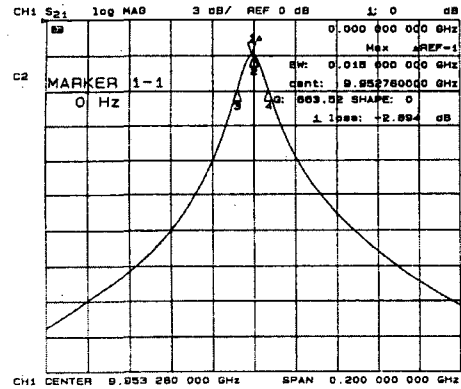


그림 5 소형필터의 주파수특성(측정치)  
Fig. 5. Frequency characteristic of a small filter(measured)

한편, 무선단말기는 외부환경에 노출되어 사용되어 지는 경우가 많다. 따라서 외부환경에 대한 신뢰성이 요구되어 지며, 특히 온도변화에 대한 전기적 특성이 중요시된다.

표 2는 제작된 소형필터의 온도 특성을 측정된 결과로 온도변화(5°C~75°C)에 대한 중심주파수변화와 다른 주요특성을 나타내고 있다.

상온(25°C)에서의 중심주파수는 9.95358 GHz이며, 온도가 각각5°C, 75°C로 변화 하더라도 거의 중심주파수의 변화가 없음을 알 수 있다. 이는 공진 주파수의 온도계수가 0 ppm/°C부근이 되도록 Ba(Co,Nb)O<sub>3</sub>계 유전체 세라믹을 사용한 효과라 할 수 있다. 또한 온도변화에 따른 위상차도 적어 시간지연 현상을 방지할 수 있음을 알 수 있다.

표 2. 온도 특성  
Table 2. Characteristic of temperature

온도	5°C	25°C	75°C
$f_0$ [GHz]	9.95358	9.95358	9.95350
$I.L_{(min)}$ [dB]	-1.78	-1.90	-2.03
$BW_{3dB}$ [MHz]	14.4	14.9	15.4
$Q_L$	685.2	664.2	644.2
$\Delta\theta$ [degree]	-2.1	0	-1.6

### 3. 결론

초고속 무선통신 시스템의 소형경량화에 요구되는 저 손실 소형필터의 구현을 목적으로 10 GHz 대역 통신시스템에 사용되는 대역통과 필터를 시뮬레이션을 이용하여 설계·제작하고, 측정을 통하여 타당성을 확인했다.

필터의 저 손실 특성을 위해  $TE_{016}$ 모드의 Q값이 높은 유전체 공진기를 사용하였으며, 또한 극히 소형의 필터의 구성을 위해 입출력 프로브를 금속 캐비티의 코너부에 배치, 12×12 mm 의 초소형 필터를 제작했다.

공진기의 재료는  $Ba(Co,Nb)O_3$ 계 유전체 세라믹을 사용하였으며, 지지대에 의한 공진 특성의 열화를 방지하기 위해 내경 1.5 mm의 동공 구조를 선택하였다. 이와 같은 지지대의 구조는 외부 충격에 대해 파열되기 쉬우므로 강도가 강한 Forsterite를 재료로 사용하였다.

제작된 소형 필터의 주파수특성을 측정한 결과로 중심주파수  $f_0$ 는 9.95358 GHz, 삽입손실은 -1.9 dB, 3dB대역폭은 14.9 MHz, 부하Q는 664로 저손실 대역통과 필터의 특성을 만족하고 있으며, 같은 구조로 공진기의 배열수를 늘리면 필요로 하는 광대역 특성의 대역통과 필터의 구현도 가능할 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] Kai Chang, "Handbook of Microwave and Optical Components", John Wiley & Sons.
- [2] Y. Kobayashi, "Novel dielectric waveguide components Microwave application of new ceramic materials" *Proc, IEEE*, vol.79, pp.726-740, June 1991.

- [3] Y. Kobayashi and M. Minegishi, "A low-loss bandpass filter using electrically coupled high-Q  $TE_{016}$  dielectric rod resonators", *IEEE Trans. MTT*, vol.36, No.12, December 1988.
- [4] T. Arai and K. Ayusawa, "Dielectric resonator filter for 10Gbit/s optical transmission system", *Oki electric* vol.62, No.1, pp.119-122, January 1995.
- [5] J. K. Plourde and C. L. Ren, "Application of dielectric resonator in microwave components", *IEEE Trans. MTT*, vol.29, pp.754-770 Aug. 1981.
- [6] Y. Takimoto and T. Ihara, "Research activities on millimeter wave indoor communication systems in Japan", *IEEE Trans. MTT-S*, June 1993, pp.673-676.
- [7] 小西, "實用マイクロ波回路設計ガイド", 総合電子出版社, pp.124-138.
- [8] 小林, 福岡, 吉田, "しゃへい形誘電体円柱共振器の共振モード", 電気通信學會誌, J64-B, No.5, pp.433-441, 1981.