

## 무선통신용 초소형 대역통과 필터의 설계

(Design of the Small BPF for Wireless Communication Systems)

황재호\*

(Jae-Ho Hwang)

### 요 약

본 논문은 무선통신 시스템에 사용되는 저 손실 소형 대역통과 필터를 새로운 프로브 구조를 적용하여 설계 제작하였다. 필터의 저 손실 특성을 위해 Q값이 높은 Ba(Co, Nb)O<sub>3</sub>계 세라믹 유전체 공진기를 사용하였으며, TE<sub>018</sub> 모드의 공진을 이용하여 금속 캐비티의 도체손실 영향을 줄였다. 소형화를 구현하는 방법으로는 캐비티의 양옆의 공간을 줄이도록 정사각형 캐비티의 코너 공간을 적극 활용하였으며, 12×12×8[mm]의 초소형 필터를 제작하였다. 제작된 소형 필터의 주파수특성을 측정한 결과, 중심주파수 f<sub>0</sub>는 9.95358[GHz], 삽입손실은 -1.9[dB], 3[dB] 대역폭은 14.9[MHz], 부하Q는 664로 저손실 대역통과 필터의 특성을 만족하고 있다.

### Abstract

In this paper, a small BPF(band pass filter) is designed using new probe type for wireless communication system. The dielectric resonator is used high Q ceramics for low loss characteristic. 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>018</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 9.95358[GHz], the insertion loss is -1.9[dB], the 3[dB]\_bandwidth is 14.9[MHz], and the load Q is 664.

Key Words : BPF, resonator, TE<sub>018</sub> mode, input/output probes, insertion loss, load Q

### 1. 서 론

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 무선 설비에 사용되는 부품의 소형화에 대한 연구개발이 주요과제로 부상하고 있다[1][2].

그림 1은 무선통신 시스템의 수신부를 나타내고 있으며, 안테나로 입력한 신호의 잡음을 제거하기 위해 다수의 필터가 사용되고 있다. 필터의 삽입손실은 시

\* 주저자 : 경주대학교 컴퓨터멀티미디어공학부 조교수  
Tel : 054-770-5165, Fax : 054-748-2895

E-mail : jhhwang@gju.ac.kr  
접수일자 : 2005년 6월 13일  
1차심사 : 2005년 6월 24일  
심사완료 : 2005년 7월 11일

시스템의 성능을 저하시키는 원인이 되므로 수신부에 사용되는 필터에는 높은 Q값을 갖는 유전체 공진기가 사용되고 있다[3][4]. 그러나 종래의 유전체 필터는 요구되는 특성에 따라 공진기의 수가 증가하며 직선형 입출력 프로브를 사용함에 따라 필터의 크기가 커지게 되어 결국 시스템의 소형화가 곤란하게 된다[5][6].

한편 필터의 소형화를 위한 유전체 기판상에 유전체 공진기를 부착하고 입출력단을 마이크로 스트립 선로를 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 필터를 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 유전체 공진기를 사용하였으며, TE<sub>016</sub>모드의 공진을 이용하여 금속 캐비티의 도체손실 영향을 줄였다.

소형화를 구현하는 방법으로는 직선형태의 모노폴 입출력 프로브를 설치하는데 차지하는 캐비티의 양옆의 공간을 줄이도록 정사각형 캐비티의 코너 공간을 적극 활용하였으며, 12×12×8[mm]의 초소형 필터를 제작하였다. 이는 TE<sub>016</sub>모드를 여기 시키는 방법으로 기존의 모노폴 프로브 대신 루프형 프로브를 사용한 효과라 할 수 있다.

## 2. 공진기 및 필터의 설계

### 2.1 유전체 공진기

유전체 필터에 요구되는 특성은 필터의 부하 Q(Q<sub>L</sub>)가 높고, 삽입손실이 적어야한다. 이런 특성을 만족하기 위해 적절한 공진기 재료와 공진 모드의 선택이 필요하다. 고주파용 유전체 공진기에 사용되는 유전체 세라믹스의 조건은 다음과 같다[7][8].

- (1) 재료의 Q(유전손실의 역수)가 높을 것
- (2) 비유전율( $\epsilon_r$ )이 적절한 값을 가질 것
- (3) 공진 주파수의 온도계수가 0[ppm/°C]부근의 값을 가질 것

한편 유전율이 큰 재료의 경우 10[GHz]이상의 주파수에서는 유전체 공진기가 작아지게 때문에 주파수조정이 어려울 뿐 아니라 필터의 Q<sub>L</sub>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[ppm/°C]부근이 되는 것과 함께 IC등의 온도변화에 의한 위상의 변화를 보상하기 위해 필터에 요구되는 온도특성을 포함하여 임의의 조정 할 수 있어야한다.

이와 같은 점을 고려하여 본 필터의 설계에는 높은 Q와 0[ppm/°C] 부근의 온도 특성을 얻을 수 있는 Ba(Co, Nb)O<sub>3</sub>계 유전체 세라믹( $\epsilon_r=30$ )을 사용하였다.

표 1. 공진모드의 특성

Table 1. Characteristic of resonance modes

구 분	TE <sub>016</sub>	TM <sub>010</sub>	TEM
Q	높다	중간	낮다
체적	크다	중간	작다

표 1은 유전체 필터에 사용되는 대표적인 공진 모드의 특성을 나타내고 있다[9][10].

TE<sub>016</sub>모드는 유전체 공진기와 금속벽이 떨어져 있어 도체손실이 적어져서 필터의 부하Q와 유전체 재료의 Q가 거의 같아진다. 따라서 이와 같은 공진 모드를 사용 할 경우 높은 Q<sub>L</sub>을 갖는 필터를 구현 할 수 있다.

TEM모드는 원통형 유전체 공진기의 외주 및 내주 면에 전극을 형성하므로 도체손실이 커지고 필터의 Q<sub>L</sub>이 적어진다. 그러나 필터의 체적은 열거한 3개의 모드 중 가장 작아진다. 그렇기 때문에 손실특성보다 소형화가 요구되는 단말기 등에 사용되고 있다.

결국 저 손실특성이 중요한 10[GHz]대역 무선통신 시스템용 유전체 필터에는 Q<sub>L</sub>이 높은 공진특성이 필요하므로 TE<sub>016</sub>모드를 사용한 유전체 필터가 가장 적합하다 할 수 있다.

### 2.2 소형필터의 해석 및 설계

그림 1은 TE<sub>016</sub>모드 공진기를 사용한 소형의 필터의 구성을 나타내고 있다. (a)는 모노폴 형태의 입출

무선통신용 초소형 대역통과 필터의 설계

력 프로브로써 모노폴에 전류를 인가하게 되면 그 주위에는 자계(H)가 유기되어 인접한 유전체 공진기를 여기 시키게 된다. 이때 자계 결합량은 프로브와 유전체 공진기와의 간격으로 결정된다. 따라서 적은 결합량이 필요할 경우 유전체 공진기와 프로브 사이에는 많은 공간이 필요하게 되며 결국 필터의 전체 크기가 커지게 된다. (b)는 본 논문에서 제안한 필터의 구성방법으로 금속 캐비티의 코너부에 설치한 프로브는 소형루프안테나와 같이 동작하게 되며 이는 (a)와 마찬가지로 유전체공진기와 자계결합을 하게 된다. 코너부에는 활용가능한 공간이 많아 적은 결합을 요하는 구조도 충분히 대응할 수 있다.

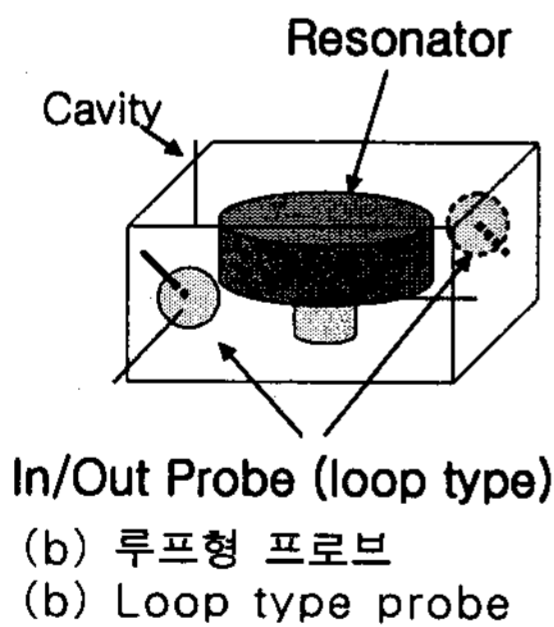
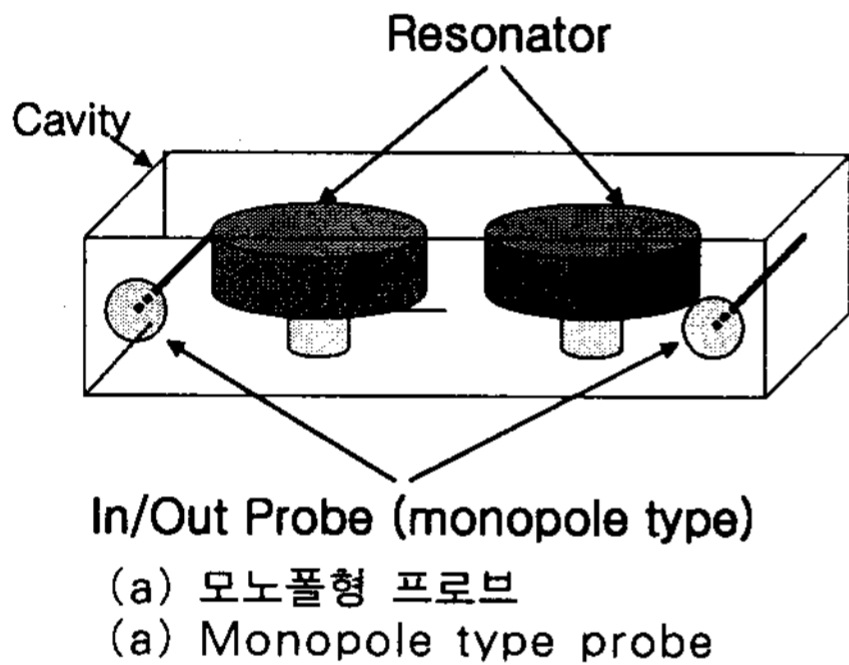


그림 1. 소형필터의 구성  
Fig. 1. Construction of a small filter

그림 2는 그림 1의 (b)와 같은 루프형태의 입출력 프로브를 적용한 소형필터의 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다.

이때 캐비티 내부에는 한 개의 유전체 공진기를 사용하며, 금속 캐비티의 내부 치수는 11×11×6[mm]로 손실이 없는 도체로 가정한다. 또한 유전체 공진

기는 비유전율 $\epsilon_r$ 이 30인 직경 6.9[mm], 높이 2.2[mm]의 원주형으로 하며 지지대의 영향은 무시한다. 결과를 보면 중심주파수  $f_0$ 는 약 10[GHz]이며, 삽입손실은 거의 0[dB], 3[dB] 대역폭은 10[MHz]이하로 나타나 부하Q는 1000이상이 되는 이상적인 특성을 나타내고 있으나 이는 공진기의 유전체 손실과 캐비티의 도체손을 무시한 결과이므로 정확한 공진 특성이라 할 수는 없다.

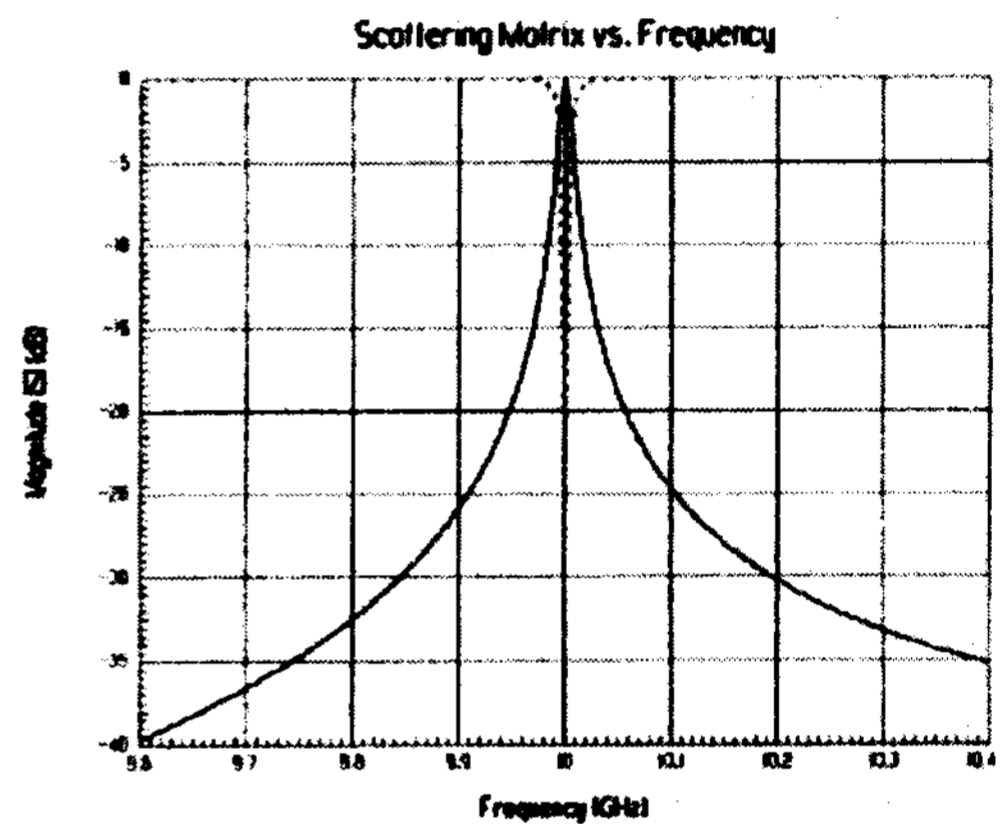


그림 2. 소형필터의 주파수특성(해석치)  
Fig. 2. Frequency characteristic of a small filter(simulated)

2.3 소형필터의 제작 및 측정결과

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

시뮬레이션 결과를 토대로 소형 유전체 필터를 제작하는데 있어, 금속 캐비티는 순동의 재질로 크기가 12×12×8[mm]이며 캐비티의 상부에는 중심주파수의 미세 조정에 필요한 조정나사를 배치했다. 또한 금속 캐비티의 내부에는 직경 6.9[mm], 높이 2.2[mm]의 원주형 유전체 공진기와 지지대가 포함 되어있다.

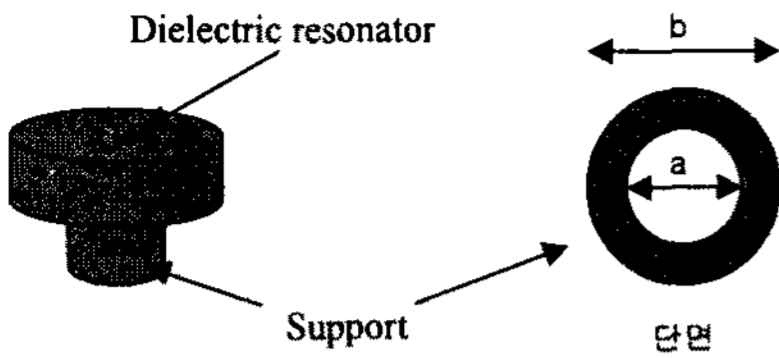


그림 3. 지지대의 구성  
Fig. 3. Construction of a dielectric support

그림 3는 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 내경 1.5[mm], 외경 3.5[mm]의 동공 구조를 하고 있으며 외부충격에 대한 파열을 방지하기 위해 강도가 강한 유전체 재료(Forsterite: ε<sub>r</sub>=6)를 사용하였다.

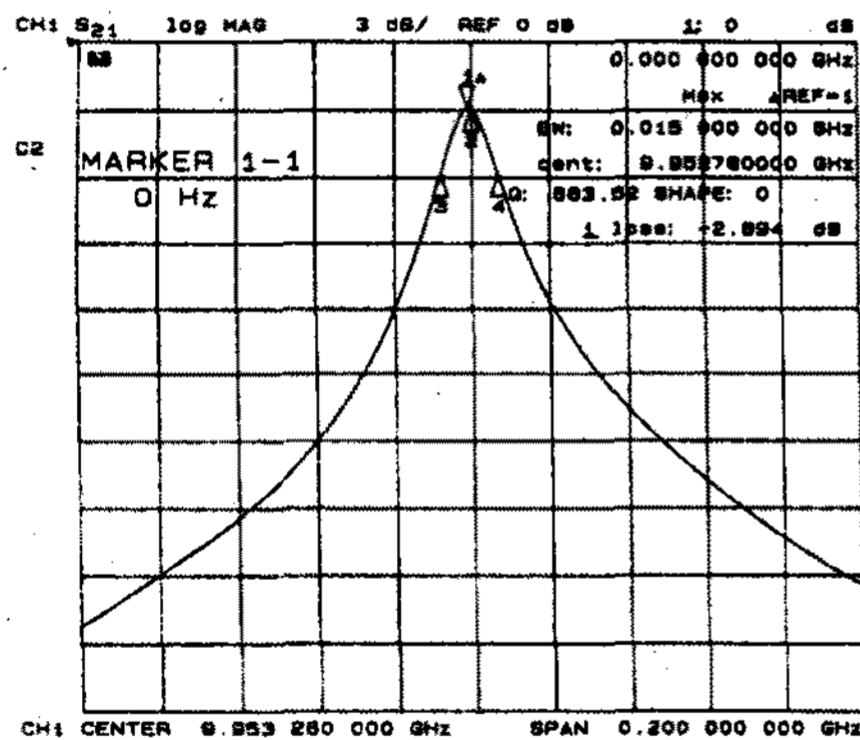


그림 4. 소형필터의 주파수특성(측정치)  
Fig. 4. Frequency characteristic of a small filter(measured)

그림 4는 제작된 소형 필터의 중심 주파수 특성을 측정결과로 상온에서의 특성을 나타내고 있다. 중심 주파수  $f_0$ 는 9.95358[GHz], 삽입손실은 -1.9[dB], 3[dB]대역폭은 14.9[MHz], 부하Q는 664로 저손실 대역통과 필터에서 요구되는 특성을 만족함을 알 수 있다.

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 측정한 결과로 온도변화(5~75[°C])에 대한 중심주파수변화와 다른 주요특성을 나타내고 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 <sub>3dB</sub> [MHz]	14.4	14.9	15.4
Q <sub>L</sub>	685.2	664.2	644.2
$\Delta\theta$ [degree]	-2.1	0	-1.6

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

## 2.4 스퓨리어스 특성 평가 및 개선

그림 5는 제작된 소형 필터의 스퓨리어스 특성을 측정한 결과로 12.3[GHz]에 첫 번째 불요 공진이 발생하며 중심주파수의 1.5배가 되는 곳에 두 번째 불요 공진이 발생한다. 이와 같이 중심주파수로부터 충분히 떨어져서 발생하는 공진은 시스템에 문제가 되지 않으나 12.3[GHz]대역의 공진은 그 크기에 따라 시스템에 영향을 미칠 수 있다.

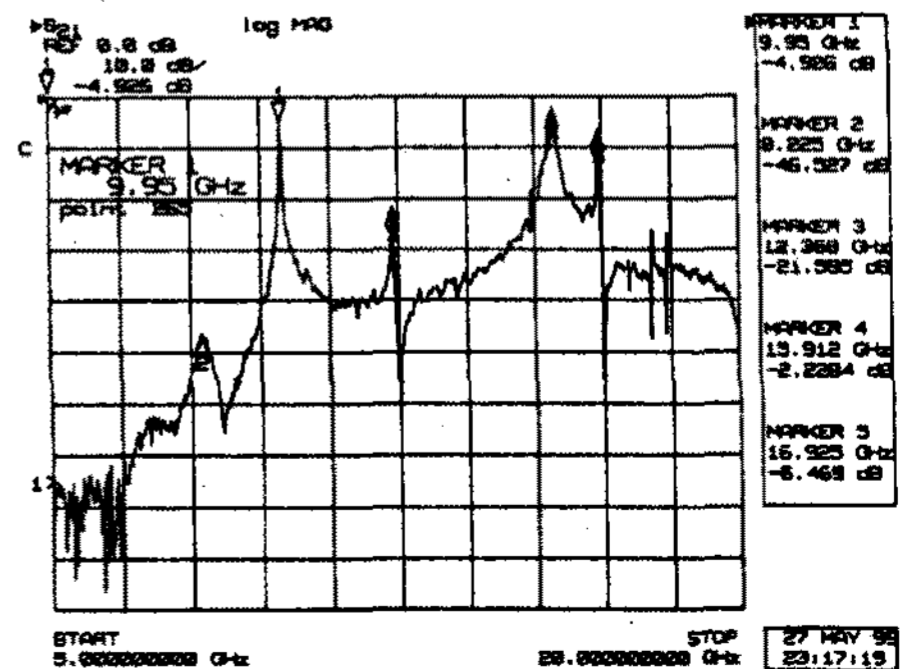


그림 5. 스퓨리어스 특성(측정치)  
Fig. 5. Spurious characteristic (measured)

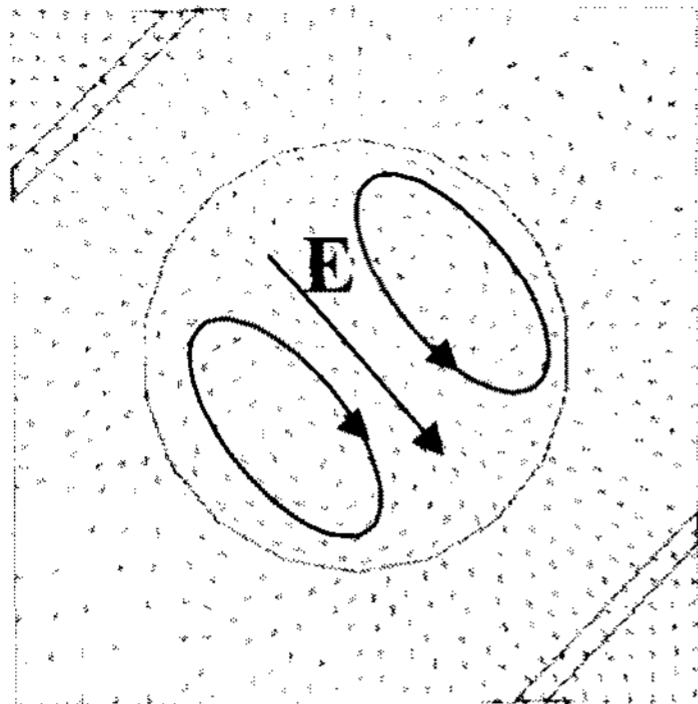


그림 6. EH<sub>116</sub> 모드 공진  
Fig. 6. EH<sub>116</sub> Mode resonate

TE<sub>016</sub>모드 공진이 나타나는 중심주파수 부근에 나타나는 불요공진은 EH<sub>116</sub> 모드로 중심부에 강한 전계가 분포하는 형태라 할 수 있다. 그림 6은 원주형 공진기에 발생하는 EH<sub>116</sub> 모드를 시뮬레이션으로 확인한 결과이다.

그림 7은 EH<sub>116</sub> 모드와 같이 중심부에 강한 전계가 분포하는 경우, 전계의 크기를 저감시키는 방법인 링(Ring)형 공진기의 구조를 나타내고 있다[7]. 직경 6.9[mm], 높이 2.2[mm]의 원주형 유전체 공진기에 직경 2.0[mm]의 구멍이 형성되어 있다. 공진기로 사용되는 유전체의 유전율은 30이며, 지지대는 내경 1.5[mm], 외경 3.5[mm]의 동공구조를 하고 있으며 강도가 강한 유전체 재료(Forsterite) 채택을 전제로 하여  $\epsilon_r$ 은 6으로 한다.

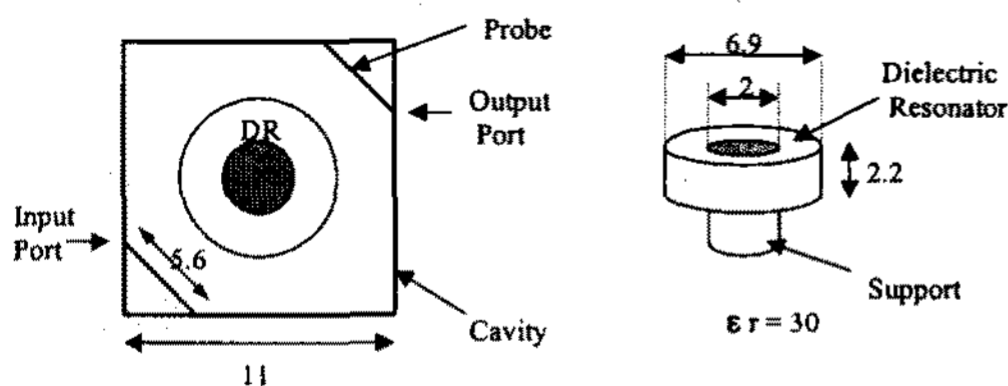


그림 7. 링형 공진기의 구성  
Fig. 7. Construction of ring type resonator

그림 8는 동일한 유전율의 로드형(Rod type) 공진기와 링형(Ring type) 공진기의 스푸리어스 특성을 시뮬레이션한 결과를 나타내고 있다. 양쪽 모두 중심주파수는 10[GHz]로 공진기 구조 변화에 따른 변동은 나타나지 않았다. 한편 첫 번째 발생하는 불

요공진을 살펴보면 로드형 공진기의 경우 12.3[GHz] 대역에 나타나 있지만 링형 공진기에서는 14.3[GHz] 대역에 나타나고 있어 약 2[GHz] 정도 천이시킬 수 있었다.

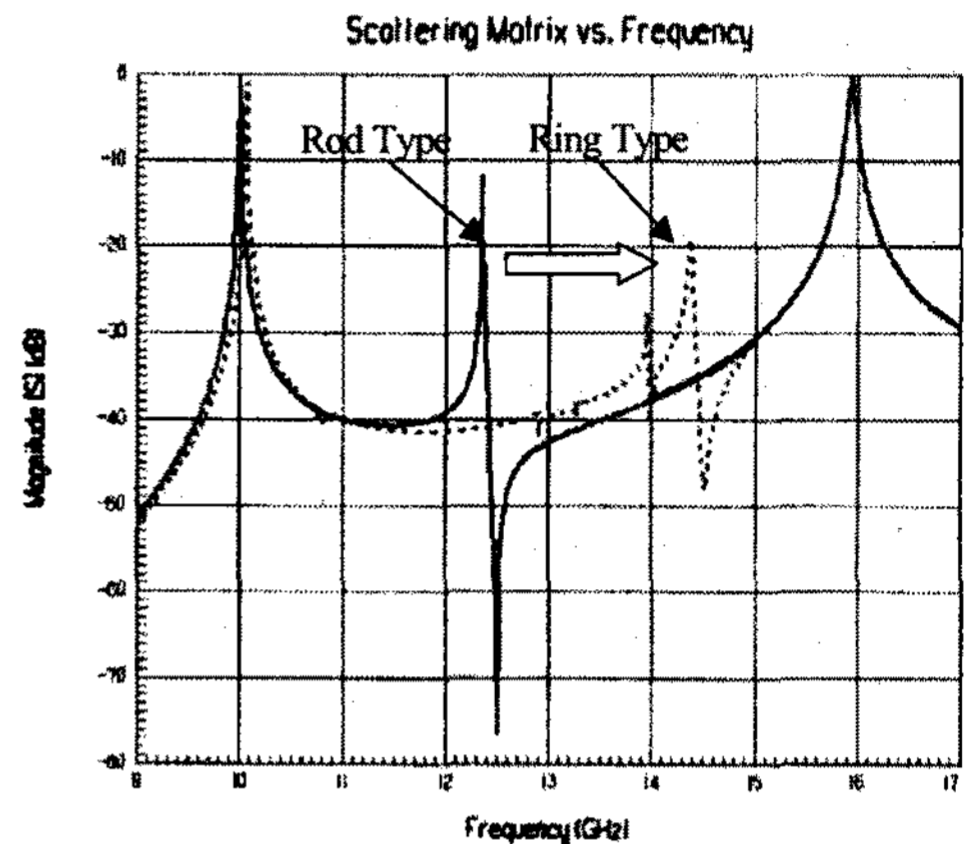


그림 8. 링형 공진기 효과  
Fig. 8. Effective of ring type resonator

### 3. 결 론

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<sub>016</sub>모드의 Q값이 높은 유전체 공진기를 사용하였으며, 또한 극히 소형의 필터의 구성을 위해 입출력 프로브를 금속 캐비티의 코너부에 배치, 12×12×8[mm]의 초소형 필터를 제작했다.

공진기의 재료는 Ba(Co, Nb)O<sub>3</sub>계 유전체 세라믹을 사용하였으며, 지지대에 의한 공진 특성의 열화를 방지하기 위해 내경 1.5[mm]의 동공 구조를 선택하였다. 이와 같은 지지대의 구조는 외부 충격에 대해 파열되기 쉬우므로 강도가 강한 유전체 재료를 사용하였다.

제작된 소형 필터의 주파수특성을 측정한 결과, 저손실 대역통과 필터의 특성을 만족하고 있으며 같은 구조로 공진기의 배열수를 늘리면 필요로 하는

광대역 특성의 대역통과 필터의 구현도 가능할 것으로 기대된다.

한편 필터의 용도에 따라 중심주파수 부근의 불요공진이 문제가 될 수 있으나, 이러한 경우에는 링형 공진기 구조를 적용하여 중심주파수로부터 충분히 천이 시킬 수 있음을 확인하였다.

본 연구는 경주대학교 2005년도 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

### References

[1] Y. Ishikawa, J. Hattori, M. Andoh and T. Nishikawa, "800(MHz) high power duplexer using TM dual mode dielectric resonators", IEEE, vol.79, pp.726-740, June 1991.

[2] Jae-Ho Hwang, "Design of band pass filter using the triple-mode resonators", KEES, vol.12, No.6, pp.899- 905, 2001.

[3] Kai Chang, "Handbook of Microwave and Optical Components", John Wiley & Sons.

[4] Y.Kobayashi, "Novel dielectric waveguide components Microwave application of new ceramic materials", Proc, IEEE, vol.79, pp.726-740, June 1991.

[5] Y. Kobayashi and M. Minegishi, "A low-loss band pass

filter using electrically coupled high-Q TE<sub>016</sub> dielectric rod resonators", IEEE Trans. MTT, vol.36, No.12, December 1988.

[6] 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.

[7] J. K. Plourde and C. L. Ren, "Application of dielectric resonator in microwave components", IEEE Trans. MTT, vol.29, pp.754-770 Aug. 1981.

[8] Y. Takimoto and T. Ihara, "Research activities on millimeter wave indoor communication systems in Japan", IEEE Trans. MTT-S, June 1993, pp.673-676.

[9] 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.

[10] 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.

### ◇ 저자소개 ◇

#### 황재호 (黃載皓)

1962년 11월 1일생. 1987년 광운대학교 전자통신공학과 졸업. 1992년 한양대학교 전자통신공학과 졸업(석사). 1998년 東北大學(일본) 전기통신공학 졸업(박사). 1997~1998년 東北大學 조수, 1998~2000년 NEC-TOKIN주임연구원. 2000~2001년 삼성전자 책임연구원. 2001년~현재 경주대학교 컴퓨터멀티미디어공학부 조교수.