

# 래디얼 스텐브를 통해 구현된 이중 모드 공진기를 이용한 대역 통과 필터

## Bandpass Filter Using Dual-mode Resonator with Radial Stub

윤 태 순\*  
(Tae-Soon Yun)

### 요 약

본 논문에서는 래디얼 스텐브를 이용하여 이중 모드 공진기를 구현하여 이를 통하여 5.8 GHz ITS 시스템에 응용 가능한 대역 통과 필터를 제안하였다. 이중 모드 공진기를 구성하는 개방형 스텐브를 래디얼 스텐브로 대체함으로써 이중 모드 공진기의 크기는 약 39.6% 감소하였고 두 개의 60° 래디얼 스텐브를 통해 약 6.9Ω의 낮은 임피던스를 갖는 스텐브가 구현되어 이중 모드 공진기를 이용한 필터의 저지 대역 특성이 19.4 dB에서 29.1 dB로 개선되었다. 제안된 이중 모드 공진기를 이용하여 제작된 필터는 중심 주파수 5.72 GHz에서 4.1%의 대역폭을 가졌으며, 1.79 dB와 19.4 dB의 삽입 손실과 반사 손실 특성을 나타내었다.

### Abstract

In this paper, the bandpass filter for ITS system of 5.8 GHz is proposed by using the dual-mode resonator with the radial stub. As alternating the open stub with the radial stub, the size of the dual mode resonator can be reduced about 39.6% and the out-of-band characteristics of the bandpass filter using dual mode resonator can be enhanced from 19.4 dB to 29.1 dB by using the stub of 6.9Ω i.e. realized by parallel two radial stubs with 60° angle. The fabricated bandpass filter using the dual mode resonator has the center frequency of 5.72 GHz with the fractional bandwidth of 4.1%. Also, the filter has the insertion loss and return loss of 1.79 dB and 19.4 dB, respectively.

**Key words** : Dual-mode resonator, bandpass filter, radial-stub, inverter, transmission zero

## 1. 서 론

이중 모드 (dual-mode) 공진기는 <그림 1>과 같이 마이크로스트립 (microstrip) 선로, 코플래너 웨이브 가이드 (CPW: coplanar waveguide) 구조 등과 같은 기본적인 전송 선로의 반파장 공진기의 가운데 개

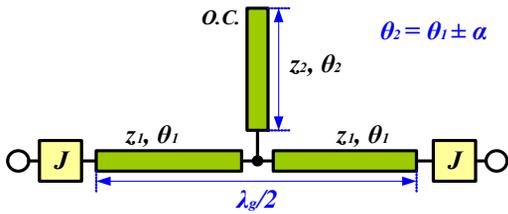
방형 스텐브 (open-stub)를 연결하여 두 개의 공진 주파수를 발생시키는 것으로 동일한 면적으로 두 개의 공진 주파수를 만들어 크기를 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있어 최근 활발히 연구되고 있다 [1-4]. 특히, 이중 모드 공진기는 공진기 가운데 연결된 개방형 스텐브로 인하여 발생된 2차적인 공진

\* 주저자 및 교신저자 : 호남대학교 이동통신공학과 전임강사

† 논문접수일 : 2011년 1월 11일

‡ 논문심사일 : 2011년 4월 14일

† 게재확정일 : 2011년 4월 15일



〈그림 1〉 이중 모드 공진기의 기본 구조  
 〈Fig. 1〉 Basic structure of the dual-mode resonator

주파수 근처에 전송 선로 영점 (transmission zero)을 가지게 되어 이중 모드 공진기를 이용하여 필터를 설계, 제작하였을 때 필터의 기울기 특성 (skirt characteristics)을 크게 개선할 수 있게 된다 [4, 5].

한편, 래디얼 스테브 (radial stub)는 일반적으로 증폭기의 정합 회로 (matching circuit)에 많이 응용되며 최근에는 필터, 안테나에 응용되어 다양한 회로로 응용 분야를 확대하고 있다 [6, 7]. 래디얼 스테브는 λ/4 개방형 스테브로 등가되어 사용될 수 있는데, 일반적으로 래디얼 스테브의 각을 넓힐수록 λ/4 개방형 스테브보다 더 작은 크기로 구현할 수 있다.

본 논문에서는 개방형 스테브 대신 래디얼 스테브를 이용하여 이중 모드 공진기를 구현하고, 이러한 이중 모드 공진기를 이용한 대역 통과 필터를 제안함으로써 ITS 시스템에 응용 가능한 필터의 소형화를 구현하고자 한다.

## II. 래디얼 스테브를 통해 구현된 이중 모드 공진기

### 1. 이중 모드 공진기의 구조 및 특성

이중 모드 공진기의 기본 구조는 <그림 1>에 나타난 바와 같다 [4]. 그림에서  $\theta_1$ 은 반파장 공진기의 절반의 길이를 나타내며 전기적으로는  $90^\circ$ 의 길이보다  $\alpha$ 만큼 길거나 짧게 되는데,  $\alpha$ 의 길이에 의해 이중 모드 공진기의 2차적인 공진 주파수의 위치가 결정되므로, 이에 의해 이중 모드 공진기를 이용한 필터의 대역폭과 전송 선로 영점이 결정되게 된다. 또한,  $\alpha$ 의 길이가 양의 값을 갖게 되면 2차적

인 공진 주파수와 전송 선로 영점은 반파장 공진기의 공진 주파수보다 아래에서 발생하게 되고,  $\alpha$ 의 길이가 음의 길이를 가지면 반파장 공진기의 공진 주파수보다 큰 2차 공진 주파수를 얻을 수 있다 [5].

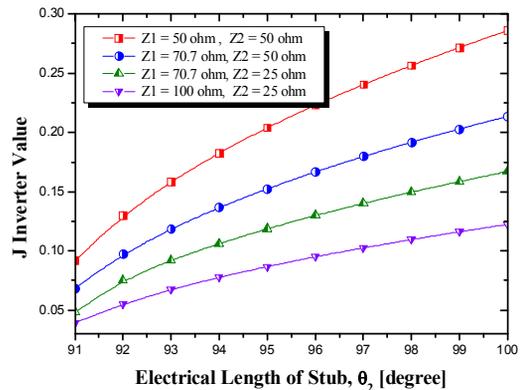
대역 통과 필터를 위해 이중 모드 공진기를 사용하기 위해서는 공진기 양단에 최적화된 인버터 값이 필요하다. 이중 모드 공진기를 위한 인버터 값은 <그림 1>의 이중 모드 공진기의 임피던스,  $z_1$ , 이중 모드를 구현하는 개방형 스테브의 임피던스,  $z_2$ , 개방형 스테브의 전기적 길이  $\theta_2$ 에 의해 구해지는 공진기의 전달 함수를 통해 최적화될 수 있는데, 이중 모드 공진기의 전달 함수의 아래의 식과 같다 [4,5].

$$S_{21} = \frac{2}{A+B+C+D} = \frac{1}{a + j(b'J^2/2 + c'/2J^2)} \quad (1)$$

$$|S_{21}| = \frac{1}{\sqrt{a^2 + (b'J^2/2 + c'/2J^2)^2}} \quad (2)$$

또한, 이중 모드 공진기를 이용하여 대역 통과 필터를 구현하였을 때, 공진기의 임피던스와 개방형 스테브의 임피던스 차이가 클수록 필터의 삽입 손실 및 기울기 특성이 개선될 수 있으므로 [4], 본 논문에서는 최적화된 인버터 값을 위해 여러 가지 임피던스 비로써 인버터 값을 조사하여 <그림 2>에 나타내었다.

<그림 2>는 이중 모드 공진기의 전달 함수를 통해 개방형 스테브의 전기적 길이에 따른 최적화된



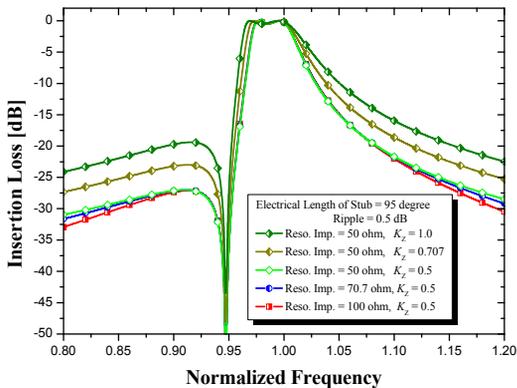
〈그림 2〉 다양한 임피던스 비에 따른 최적화된 인버터 값  
 〈Fig. 2〉 Optimized inverter values as various ratio of the impedance

인버터 값을 구한 것이다. 이 때, 인버터 값은 개방형 스테브의 임피던스를 특성 임피던스로 고정하고 공진기의 임피던스를 변화시켰을 때, 0.5 dB의 리플 특성을 갖도록 설정되었다. 그림에서 공진기와 스테브의 임피던스 차이가 클수록 작은 인버터 값을 필요로 하는 것을 확인할 수 있다.

공진기의 임피던스와 개방형 스테브의 임피던스 비 ( $K_Z = Z_{stub}/Z_{reso.}$ )에 따른 필터의 특성을 보다 정확히 살펴보기 위해  $\alpha$ 의 길이를  $+5^\circ$  즉, 개방형 스테브의 전기적 길이를  $95^\circ$ 로 하고 0.5 dB의 리플 특성을 갖도록 인버터 값을 최적화하여 이중 모드 공진기를 갖는 필터의 특성을 모의 실험한 결과를 <그림 3>에 나타내었다.

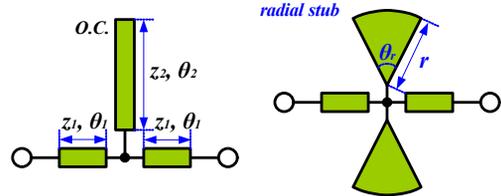
<그림 3>으로부터 임피던스 비,  $K_Z$ 가 작아질수록, 즉 공진기와 스테브의 임피던스의 차이가 커질수록 필터의 기울기 특성 및 저지 대역 특성이 개선되는 것을 확인할 수 있지만, 공진기의 임피던스가 커지더라도 임피던스 비,  $K_Z$ 가 동일하다면 필터의 특성은 큰 변화가 없는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 최적의 필터 특성을 위해 공진기의 임피던스를 가능한 크게 하고 개방형 스테브의 임피던스를 가능한 작게 하여 임피던스 비,  $K_Z$ 를 작게 설계하고자 하였다.

그러나, 개방형 스테브의 임피던스를 작게 하였을 때, 선로의 넓은 폭으로 인하여 구현이 용이하지 않으며 임피던스 비가 작아질수록 선로 간의 불연속으로 인해 필터의 특성도 나빠지게 된다. 이를 해결



<그림 3> 임피던스 비에 따른 여파기 특성  
<Fig. 3> Characteristics of filters as the ratio of the impedance

하기 방안으로 <그림 4>와 같이 개방형 스테브를 래디얼 스테브로 대체하여 낮은 임피던스를 갖는 개방형 스테브를 구현하였다.

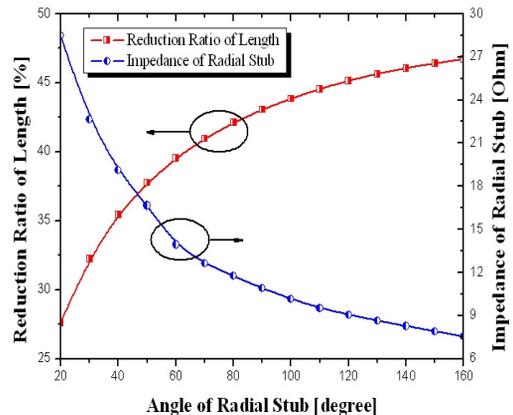


<그림 4> 래디얼 스테브로 구현된 이중 모드 공진기  
<Fig. 4> Dual-mode resonator using the radial stub

## 2. 래디얼 스테브로 등가된 개방형 스테브

본 논문에서는 이중 모드 공진기의 개방형 스테브를 <그림 4>와 같이 래디얼 스테브로 대체하였는데, 래디얼 스테브의 각도,  $\theta_r$ 이 클수록 원하는 주파수를 만족하는 래디얼 스테브의 길이,  $r$ 은 짧아지게 된다. 이에 대한 모의 실험 결과를 <그림 5>에 나타내었다.

<그림 5>는 EM 설계를 통해 개방형 스테브를 래디얼 스테브로 대체하였을 때, 동일한 전기적 길이를 만족하는 래디얼 스테브와 개방형 스테브의 길이를 비교하여 래디얼 스테브의 각도에 따른 길이 감소율을 나타내었다. 래디얼 스테브의 각도에 따라 길이 감소율은 지수 함수적으로 증가하는데, 래



<그림 5> 래디얼 스테브의 각도에 따른 감소율 및 등가 임피던스  
<Fig. 5> Reduction ratio and equivalent impedance as the angle of the radial stub

디얼 스테르브의 각도가 60°일 때 길이는 개방형 스테르브에 비해 약 39.6% 정도 감소하고, 각도가 160°가 되면 감소율은 46.7% 정도 됨을 알 수 있다. 또한, 래디얼 스테르브의 각도에 따른 래디얼 스테르브의 등가 임피던스를 구하면 등가 임피던스는 지수 함수적으로 감소하게 되는데, 래디얼 스테르브의 각도가 60°일 때 등가 임피던스는 약 13.9Ω을 가지고, 각도가 160°가 되면 임피던스는 약 7.5Ω으로 감소되는 것을 알 수 있다. 이를 통해 개방형 스테르브를 래디얼 스테르브로 대체하여 이중 모드 공진기를 구현하였을 때, 이중 모드 공진기의 크기를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 이중 모드 공진기를 구성하는 스테르브의 낮은 임피던스를 구현하여 이중 모드 공진기를 통한 필터를 특성을 개선할 수 있게 된다.

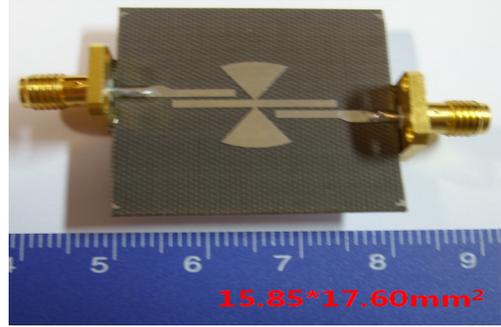
### Ⅲ. 이중 모드 공진기를 이용한 대역 통과 필터의 설계, 제작 및 측정

본 논문에서 사용된 이중 모드 공진기는 5.8 GHz의 중심 주파수에서 5%의 대역폭의 필터 특성을 만족하도록 설계되었다. 설계 사양에 맞는 대역폭을 위해 개방형 스테르브의 전기적 길이는  $0.27 \lambda_g$ 로 유전율 2.5, 두께 0.54 mm, 유전체 손실 0.0023를 가지는 테프론 기판 위에 설계되었다.

$0.27 \lambda_g$ 의 전기적 길이를 갖는 개방형 스테르브는 길이,  $r$ 과 각도,  $\theta$ 이 각각 7.4 mm와 60°인 래디얼 스테르브로 대체하여 구현하였는데, 스테르브의 더 낮은 임피던스를 구현하기 위해 두 개의 래디얼 스테르브를 <그림 4>와 같이 병렬로 배치하여 6.9Ω의 등가 임피던스를 얻었다. 공진기의 임피던스를 70.7Ω으로 하여 임피던스 비,  $K_2$ 를 약 0.1로 하였을 때, 0.1 dB의 리플을 위해 최적화된 인버터 값은 0.0687이다.

두 개의 래디얼 스테르브를 사용함으로써 인버터를  $\lambda_g/4$  결합 선로로 구현하게 되면 입, 출력부와 래디얼 스테르브 간의 기생 결합으로 인하여 원하는 필터 특성을 얻기 어려우므로 인버터는 75°의 전기적 길이를 갖는 결합 선로로 구현하였다.

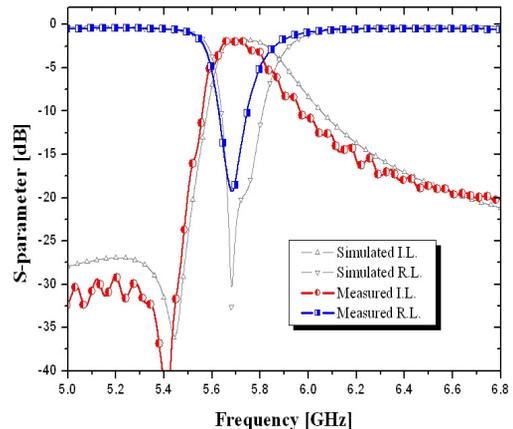
래디얼 스테르브를 이용한 이중 모드 공진기에 결합 선로를 연결하여 Ansoft사의 HFSS를 통해 설계



<그림 6> 제작된 래디얼 스테르브로 구현된 이중 모드 공진기를 이용한 대역 통과 필터  
<Fig. 6> Realized bandpass filter using dual-mode resonator with radial stub

된 필터는 중심 주파수 5.74 GHz에서 4.7%의 대역폭을 가졌으며, 1.79 dB와 20.2 dB의 삽입 손실과 반사 손실 값을 나타내었다.

설계된 이중 모드 공진기를 이용한 대역 통과 필터는 <그림 6>과 같이 테프론 기판 위에 15.85 \* 17.60 mm<sup>2</sup>의 크기로 제작되었고, VNA (vector network analyzer)로 측정된 필터는 <그림 7>과 같이 중심 주파수 5.72 GHz에서 4.1%의 대역폭을 가졌으며, 1.79 dB와 19.4 dB의 삽입 손실과 반사 손실 값을 나타내었다.



<그림 7> 래디얼 스테르브로 구현된 이중 모드 공진기를 이용한 대역 통과 필터의 설계 및 측정 결과  
<Fig. 7> Simulated and measured results of the bandpass filter using dual-mode resonator with radial stub

#### IV. 결 론

본 논문에서 제안한 라디얼 스테르브로 구현된 이중 모드 공진기를 이용한 대역 통과 필터는 일반적인 전송 선로를 이용한 대역 통과 필터에 비해 공진기 개수를 줄일 수 있어 소형의 필터 구현에 적합할 뿐 아니라 라디얼 스테르브를 사용함으로써 개방형 스테르브를 이용하였을 때보다 소형으로 필터를 구현할 수 있게 된다. 또한, 이중 모드 공진기를 구현하기 위한 개방형 스테르브로 인하여 전송 선로 영점을 가짐으로 필터의 기울기 특성이 전송 선로를 이용한 대역 통과 필터보다 우수하게 된다. 한편, 라디얼 스테르브로 구현된 이중 모드 공진기를 이용한 대역 통과 필터는 개방형 스테르브를 라디얼 스테르브로 등가 구현함으로써 라디얼 스테르브의 특성에 의해서 라디얼 스테르브의 각도를 조절함으로써 하모닉 주파수를 가변할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 라디얼 스테르브로 구현된 이중 모드 공진기를 이용한 대역 통과 필터는 ITS 시스템 뿐 아니라 많은 초고주파 통신 시스템에 응용될 수 있을 것이다.

#### 참 고 문 헌

[1] J. R. Lee, J. H. Cho and S. W. Yun, "New compact bandpass filter using microstrip  $\lambda/4$  resonators with open stub inverter," *IEEE Microw. Guided. Wave Lett.*, vol. 10, no. 12, pp.526-527, Dec. 2000.

[2] L. Zhu and W. Menzel, "Compact microstrip

bandpass filter with two transmission zeros using a stub-tapped half-wavelength line resonator," *IEEE Microw. Wireless Comp. Lett.*, vol. 13, no. 1, pp.16-18, Jan. 2003.

[3] W. H. Tu, "Compact Double-mode Cross-coupled Microstrip Bandpass Filter with Tunable Transmission zero," *IET Microw. Antennas Propag.*, vol. 2, no. 4, pp.373-377, Jun. 2008.

[4] T. S. Yun, H. Nam, B. Lee, J. J. Choi, J. Y. Kim and J. C. Lee, "Harmonic rejected compact bandpass filter using dual-mode microstrip resonator with additional open stub," *Microw. Optical Tech. Lett.*, vol. 52, no. 10, pp.2288-2291, Oct. 2010.

[5] T. S. Yun, S. K. Noh, H. J. Kim, E. K. Oh, H. M. Son and J. C. Lee, "Compact dualband bandpass filter with two transmission zeros using dual-mode microstrip resonator and tapped-line geometry," *Microw. Optical Tech. Lett.*, vol. 53, no. 1, pp.108-111 Jan. 2011.

[6] I. Sakagami, Y. Hao, M. Mohemaiti and A. Tokunou, "On a transmission-line butterworth lowpass filter using radial stubs," *Int. Symp. of Circuits and Systems, ISCAS 2002*, vol. 3, pp.867-870, May 2002.

[7] H. R. Bae, S. O. So, C. S. Cho, J. W. Lee and J. Kim, "A crooked u-slot dual-band antenna with radial stub feeding," *IEEE Ant. Wireless Propagation Lett.*, vol. 8, pp.1345-1348, Dec. 2009.

#### 저자소개



윤 태 순 (Yun, Tae-Soon)

2010년 3월 ~ 현재 : 호남대학교 이동통신공학과 전임강사  
 2008년 10월 ~ 2010년 2월 : 광운대학교 BK 사업단 연구교수  
 2007년 10월 ~ 2008년 9월 : The SUNY at Buffalo Post. Doc.  
 2006년 9월 ~ 2007년 8월 : 광운대학교 BK 사업단 Post. Doc.  
 2006년 8월 : 광운대학교 전자공학과 공학박사 졸업  
 2002년 2월 : 광운대학교 전자공학과 공학석사 졸업  
 2000년 2월 : 국민대학교 전자공학과 공학사 졸업