

## 전파천문학 기기용 BPF의, 개발에 관한 연구

이제현, 김동일, 제승훈, 송영만

한국해양대학교 전파공학과

### A Study of Developing Band Pass Filter for Radio Astronomy Equipments

*Je Hun. Lee · Dong Il. Kim · Seung Hun. Che · Young Man. Song*

*Department of Radio Science & Engineering, Korea Maritime University*

**요 약 :** 전파천문학에 사용되는 전파망원경 및 수신기의 사용 주파수 대역은 가장 우수한 각 분해능을 제공하는 10.5 GHz ~ 10.7 GHz이다. 위 기기들은 우주로부터 오는 미약한 신호를 수신해야 하므로 고성능 대역통과 필터의 개발이 요구되고 있다. 이에 본 논문에서는 전파천문학 기기용 대역통과 필터를 개발하였다. 사용 주파수대역이 10.5 GHz ~ 10.7 GHz의 초극초단파 대역이므로 양호한 통과 특성과 대역 외에서의 불필요한 신호에 대한 억압 특성을 얻기 위해 마이크로스트립 선로를 이용하여 필터를 설계하였다. 설계된 대역통과 필터의 중심 주파수는 10.6 GHz로 하였으며, 통과 대역이 중심주파수의 5%인 대역통과 필터이다. ADS Tool을 이용한 시뮬레이션 결과를 토대로 제작한 대역통과 필터는 시뮬레이션으로 설계한 특성과 거의 일치하였기 때문에 제작된 대역통과 필터는 전파천문학 기기용 대역통과 필터로서 적합하다고 판단된다.

**핵심용어 :** 마이크로스트립 선로, 공진기, 대역통과 필터, 전파 천문학

**ABSTRACT :** *The frequency band 10.5 GHz ~ 10.7 GHz provides some of the best angular resolutions that using many large and accurate radio telescopes. Developing high-performanced Bandpass Filter is needed for these equipments receive low power signals from the space. In this paper, Bandpass Filter for Radio Astronomy equipments is proposed. It is designed by Microstrip Line for good pass characteristic and suppressing unwanted signals. Center frequency is 10.6 GHz and band width is 5% of Center frequency. Manufactured Bandpass Filter is suitable for Radio Astronomy Equipments. Because the measured results agree well with the simulation results.*

**KEY WORDS :** *Microstrip line, Resonator, Bandpass filter, Radio Astronomy*

### 1. 서 론

여러 연구 결과에 의해 10.5 GHz~ 10.7 GHz 대역은 신뢰할 수 있는 관측 정보를 제공하는 주파수 대역이며, 각 분해능이 가장 우수한 것으로 밝혀졌다. ITU Radio Regulation에서 10.5 GHz~ 10.7 GHz의 대역을 전파천문학 및 우주연구, 지구탐사 위성 (고정, 이동) 등의 분야에 분배하고 있다.

실제 전파천문학 기기들은 도파관이나 초저온 상태를 유지하는 완전도체에 준하는 기관상에 회로를 제작하여 -72 dB의 정확도를 갖추어야 하지만, 학생의 입장에서 도파관과 완전도체는 가격이 비싸고 제작 환경을 갖추기가 힘들기 때문에 본 논문에서는 유전체 기관을 사용하여 10.5 GHz ~ 10.7 GHz에서

통과 특성이 양호하고, ITU-RR에서 권고하는 대역 외 방사까지 통과시킬 수 있도록 대역폭이 5%인 대역통과 필터를 마이크로스트립 선로로 구현하였다.[1][2] 또한, 본 논문에서는 전파천문학 기기의 사용 주파수가 장비마다 차이가 나지만 기기들의 대부분이 10.5 GHz~ 10.7 GHz의 주파수를 사용하며 특히 전파망원경과 같은 대형 기기들이 사용하는 주파수가 10.6 GHz이기 때문에 중심주파수를 그에 맞추어 대역통과 필터를 제작하였다. 제안된 필터의 Network Analyzer 측정 결과와 시뮬레이션 결과가 거의 일치하였기에 제안한 대역통과 필터의 모델은 전파천문학 기기용 대역통과 필터의 모델로 적합할 것이라 판단된다.

## II. 대역통과 필터의 설계

본 논문에서 제안하는 전파천문학 기기용 대역통과 필터를 제작하기 위한 초기 연구 단계에서 필터의 모델은 그림 1과 같이 간단한 구조로 이루어져 있었다.

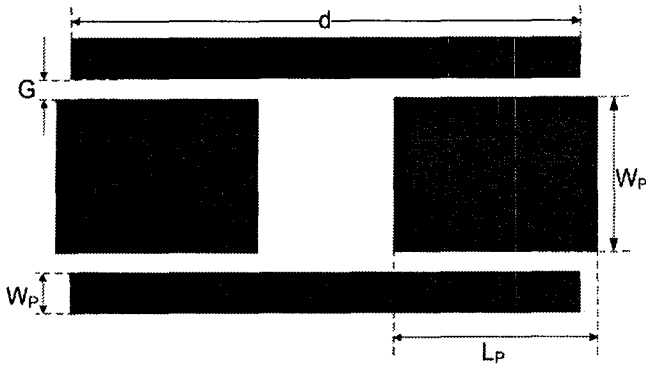


그림 1. 10 GHz BPF의 초기 모델

Fig. 1 Prototype 10 GHz BPF

그림 1에서 보는 바와 같이 초기 모델은 포트와 연결되는 중앙의 마이크로스트립 라인과 10 GHz에서 반 파장 공진하는 상하로 이루어진 구조이며, 중앙의 마이크로스트립 선로와 상하로 놓여진 길이 d의 마이크로스트립 선로는 인접한 마이크로스트립 선로를 통해 결합(coupling)되며, 이 경우 갭(gap) G가 각각의 반파장 공진기의 종단에 높은 임피던스를 발생시킨다. 또한 중앙의 두 선로의 길이  $L_p$ 와 d의 길이를 가지는 상하 두 선로가 겹치는 길이 및 각각의 선로의 폭은 시뮬레이션 결과 그래프의 이득 수준에 관여하고, 갭과 중앙의 두 선로의 길이는 대역폭 및 전체 이득 수준에 기여하고 있다.

그림 2에서 알 수 있듯이 초기 모델은 스키투 특성이 좋지 않으므로 전체적인 스키투 특성 개선과 중심 주파수의 보정, 그리고 대역폭의 조절이 필요하였다. 또한, 상하로 위치한 두 마이크로스트립 선로가 중심 주파수의 반 파장 길이이므로 대역통과 필터의 크기가 상당히 크기 때문에 축소할 필요가 있었다.

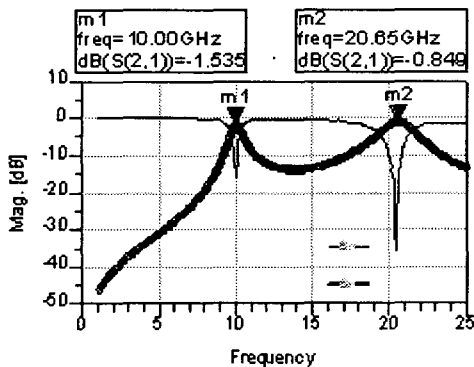


그림 2. 초기 모델의 시뮬레이션 결과

Fig. 2 Simulation result of Prototype

위와 같이 산재한 문제점을 개선하기 위해 상하로 위치한 두 마이크로스트립 선로를 10 GHz에 공진하는 길이로 맞추고 그 양 끝단에 크기 축소 및 대역폭 조절과 고조파 억제를 위해서 각각 두 개의  $\lambda/4$  Open stub를 달아서 Open loop resonator[3][4]를 구성하였다.

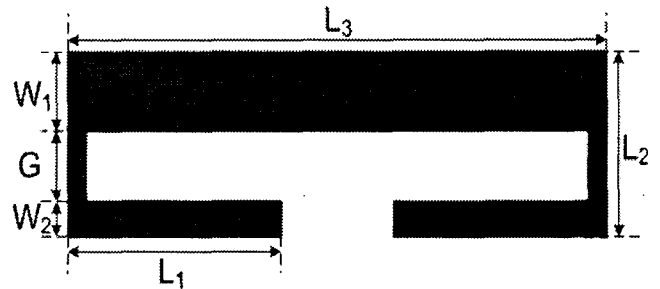


그림 3. Open loop resonator

Fig. 3 Open loop resonator

그림 3의 Open loop resonator에서 공진기 전체 둘레가 되는  $L_R(=2L_1+2L_2+L_3)$ 이 대역통과 필터의 공진 주파수의 반파장이 되며  $L_0(=L_1+L_2-W_1)$ 가 BPF의 초기 모델에서 첫 번째 하모닉 성분을 제거하는 길이 즉 첫 번째 하모닉 성분의 중심 주파수에 공진하는 길이로 맞추고 선로 폭  $W_1$ 은 포트 폭의 1/2이 되도록 하고 오픈 스텐브의 폭은 전체 이득을 생각하여 튜닝을 하였다.

실제 개방 선로는 아래 그림과 같이 등가적으로 표현된다.

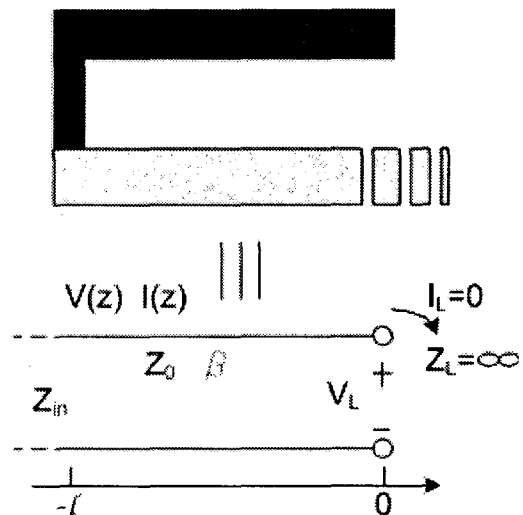


그림 4. 오픈 스텐브와 등가회로

Fig. 4 Open Stub and Equivalent circuit

그림 4에 나타난 오픈 스텐브를 해석하기 위해 아래의 수식을

사용하였다.

$$V(z) = V_0^+ [e^{-j\beta z} + \Gamma_L e^{j\beta z}] \dots \dots \dots (\text{식 1})$$

$$I(z) = \frac{V_0^+}{Z_0} [e^{-j\beta z} - \Gamma_L e^{j\beta z}] \dots \dots \dots (\text{식 2})$$

식 1, 2로부터 오픈 스테르브의 전압 및 전류는 다음 식 3, 4와 같이 표현된다.

$$V(z) = 2V_0^+ \cos\beta z \dots \dots \dots (\text{식 3})$$

$$I(z) = \frac{-2jV_0^+}{Z_0} \sin\beta z \dots \dots \dots (\text{식 4})$$

여기서  $Z_L = \infty$ 로 두면, 그림 4와 같이 오픈 스테르브 상의 입력 임피던스는 다음 식과 같이 표현된다.

$$Z_{in} = -jZ_0 \cot\beta l \dots \dots \dots (\text{식 5})$$

식 5는 아래 그림 5의 병렬 커패시터로 표현할 수 있다.

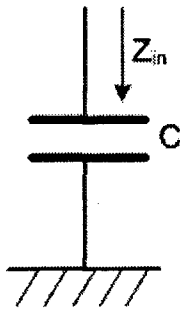


그림 5. 병렬 커패시터  
Fig. 5 Parallel capacitor

그림 5에서  $Z_{in}$ 과  $C$ 는 아래의 수식으로 표현된다.

$$Z_{in} = \frac{-j}{\omega C} = -jZ_0 \cot\beta l \dots \dots \dots (\text{식 6})$$

$$C = \frac{1}{\omega Z_0 \cot\beta l} \dots \dots \dots (\text{식 7})$$

이러한 오픈 스테르브를 이용하여 첫 번째 하모닉 성분을 차단하고 또한 오픈 스테르브 자체를 공진 길이로 이용하여 그림 6의 Open loop resonator를 구성하였다.

Open loop resonator의 물리적 길이를  $d$ , 전파상수를  $\beta$ 라 하고, 회로의 전기적 길이를  $\theta$ 라고 하면, 그림 6의 Open loop resonator는 다음 식 8의 ABCD 파라미터로 표현된다.

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{pmatrix} \dots \dots \dots (\text{식 8})$$

$$A = \cos\theta_a - \frac{1}{2}\omega C_L Z_a \sin\theta_a$$

$$B = jZ_a \sin\theta_a$$

$$C = j\left(\omega C_L \cos\theta_a + \frac{1}{Z_a} \sin\theta_a - \frac{1}{4}\omega^2 C_L^2 Z_a \sin\theta_a\right)$$

$$D = \cos\theta_a - \frac{1}{2}\omega C_L Z_a \sin\theta_a$$

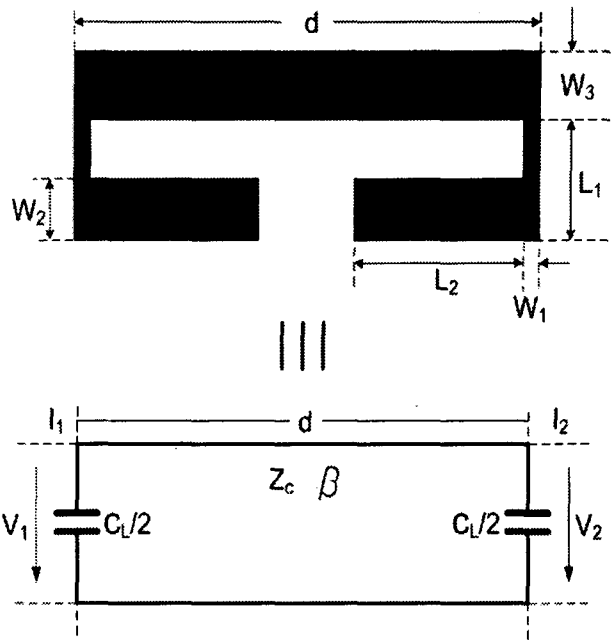


그림 6. OLR와 등가회로  
Fig. 6 OLR and equivalent circuit

위에서 제시한 Open loop resonator 모델을 사용한 10.6 GHz에서 정합하는 대역통과 필터의 레이아웃을 아래의 그림 7에 나타내었다.

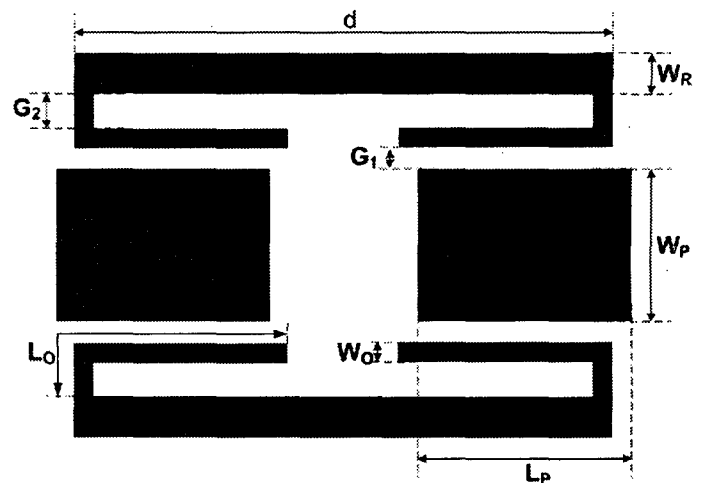


그림 7. OLR을 이용한 BPF의 Layout  
Fig. 7 Layout of BPF using OLR

### III. 시뮬레이션 및 제작

그림 7의 레이아웃과 같은 BPF를 비유전율이 3.5이고 기판두께가 0.76 mm이며 금속 층의 높이가 0.034 um인 Teflon 기판에 구현하여 ADS Tool을 사용하여 시뮬레이션 하였고, 시뮬레이션에 정확도를 위해 Moment 법을 사용한 ADS의 기능으로

Open loop resonator를 이용한 대역통과 필터를 설계하였다.

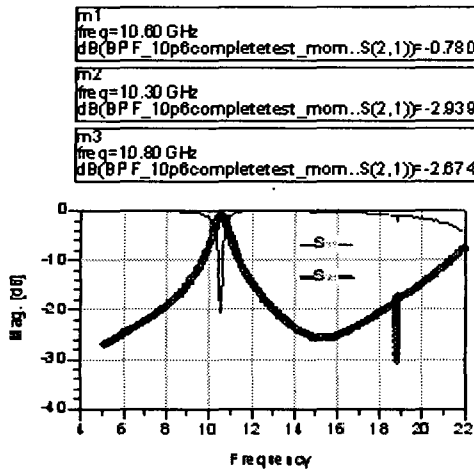


그림 8. OLR을 이용한 BPF의 시뮬레이션 결과  
Fig. 8 Simulation result of BPF using OLR

그림 8의 시뮬레이션 결과와 같이 Open loop Resonator를 사용한 대역통과 필터는 공진이 10.6 GHz에서 일어나고 있음을 알 수 있다. 또한 전체적인 스킵트 특성이 개선되었고 통과 대역에서의 삽입손실이 줄었으며 ITU-RR과 ESF에서 권고하는 500 MHz 이상의 대역폭을 가지고 있음을 알 수 있다.

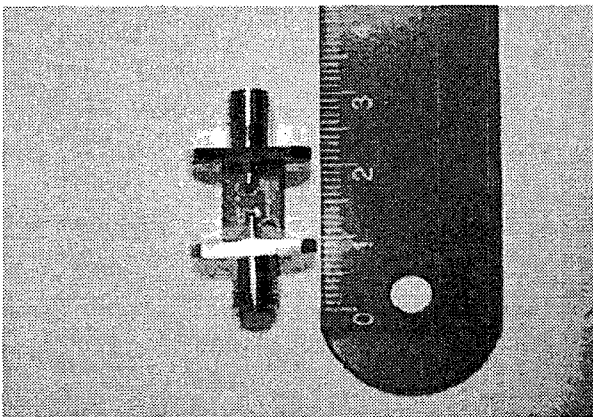


그림 9. 전파천문학 기기용 BPF  
Fig. 9 BPF for RA Equipments

또한, 회로의 크기 또한 작아져 Prototype BPF Model의 문제점들이 많이 개선되었음을 알 수 있다. 시뮬레이션 결과 값을 토대로 실제 제작을 하기 위해 레이아웃을 뜨고 에칭 과정을 거쳐 대역통과 필터를 제작하여 그림 9에 제작한 대역통과 필터를 나타내었다. 제작한 대역통과 필터의 크기는 그림에서 보는 바와 같이 가로가 7 mm이고, 세로가 5 mm이었다.

그리고 제작한 전파천문학용 대역통과 필터를 Network Analyzer로 측정한 데이터를 Origin Graph Tool을 사용해 그림 10에 나타내었다.

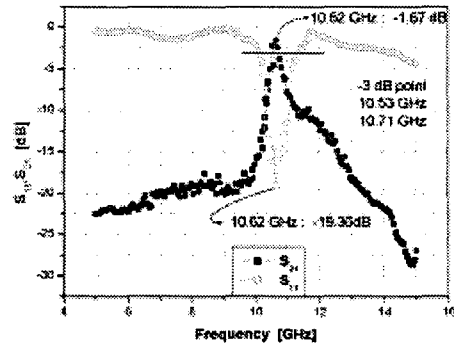


그림 10. 제작한 BPF의 측정 결과  
Fig. 10 Result of the fabricated BPF

측정 결과 제작한 대역통과 필터는 10.62 GHz에서 -1.67 dB로 삽입 손실이 가장 작았고 -3 dB가 되는 주파수가 10.53 GHz와 10.71 GHz로 약 200 MHz의 대역폭을 가진다. 위 측정치는 시뮬레이션 결과 값보다 다소 하향되어 있지만, 전체적인 특성이 시뮬레이션과 거의 일치한다고 볼 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서 제안하는 Open Loop resonator를 이용한 대역통과 필터의 시뮬레이션 결과는 ITU-RR allocations에서 권고하는 전파천문학 기기 및 우주 연구용 주파수 대역인 10.5 GHz ~ 10.7 GHz를 만족 하며, 통과 대역에서 삽입 손실이 적고 저지 대역이 -30 dB로 양호한 편이었다. 또한, ITU-RR 및 European Science Foundation 산하의 Committee on Radio Astronomy Frequencies에서 권고하는 대역 외 통과 주파수를 커버할 수 있는 중심주파수의 5%인 500 MHz 정도의 대역폭을 가지므로 전파천문학 및 우주 연구에 사용되는 기기의 대역통과 필터로 적합하다고 판단된다.

물론 실제 제작상 에칭에서의 선로 손실 및 접지로 인한 임피던스 부정합, 그리고 Network Analyzer의 Calibration상의 오차로 인한 Reference 레벨이 12 GHz 이후에서 떨어지는 현상으로 인해 시뮬레이션 결과와 다소 차이가 나지만 그 편차가 그리 크지 않은 1 dB 정도이며 전체 스킵트 특성이 거의 비슷하기 때문에 본 논문에서 제안하는 대역통과 필터의 모델은 전파천문학 기기용 대역통과 필터의 모델로 적합하다고 판단된다.

하지만 실제 전파천문학 기기용 대역통과 필터는 -72 dB 정도의 우수한 특성을 요구하므로 본 논문의 모델은 아직도 많은 보완 작업이 필요할 것으로 판단되며, 제안한 모델을 초저온 완전도체 기판상에 제작할 때 성능 및 특성의 향상이 기대되므로 제안한 모델은 연구할 가치가 충분하다고 생각한다.

현재, 단일 회로로 구성된 필터를 제안하였지만 실제 전파망원

경에 사용되는 대역통과 필터는 초저온 완전도체상에 8 pole 혹은 15 pole 정도로 크기에 제한을 두지 않은 필터를 사용하므로 향후 본 논문에서 제안한 필터를 다단으로 연결할 시 성능향상이 기대되므로 추후 다단 필터를 구현하여 성능향상에 더욱 주력할 생각이다.

## 참 고 문 헌

- [1] ITU-RR allocations (+footness) for 10.5 GHz ~ 11.7 GHz bands.
- [2] Threat to the Radio Astronomy Service, Committee on Radio Astronomy Frequencies of the European Science Foundation
- [3] Jia-Sheng Hong, Lancaster, M.J., "Theory and experiment of novel microstrip slow-wave open loop resonator filters", IEEE Trans. MTT on vol 45, pp.2358-2365, 1997.
- [4] Jia-Sheng Hong; Lancaster, M.J., "Aperture-coupled microstrip open loop resonators and their applications to the design of novel microstrip bandpass filters", IEEE Trans. MTT on vol 47, pp.1848-1855, 1999.