

PBG구조를 이용한 저역통과 필터의 설계

김 장 권, *조 영 빈

대림대학 정보통신학과, *경희대학교 전자공학과

전화 : 전화 031-467-4873 / 핸드폰 011-765-4929

Lowpass Filter Design for eliminate the harmonic signals using Photonic bandgap structure

*Jang-Kwon Kim, **Young-Bin Cho

Div. of Electronics, Information & Communication, Daelim College,

Dept. of Electronic Engineering, Kyunghee University

E-mail : jkkim@daelim.ac.kr

Abstract

The goal of this study is to realize the PBG lowpass filter using novel PBG structure modification both upper layer and ground layer. It has been designed three aperture slots of ground layer for PBG structure which the center slot shape of ground is two type, rectangular and dumbbell. This PBG LPF has the character of the broader stopband and smaller size than typical LPF. The measurement results have matched the simulated ones. It has the cutoff frequency of each 4.465GHz and 3.52GHz and at least -20dB of the signal suppression at the stopband.

I. 서 론

PBG(Potonic Band Gap)구조는 설계에 따라 특정 주파수 대역을 저지시키는 특정구조로서[1,2] 무선회로 부품의 크기의 소형화와 넓은 저지대역 특성과 감쇠특성 등을 고려한 저역통과 필터, 대역통과 필터, 임피던스 매칭 회로 등의 연구[3-5]가 이뤄지고 있으며, 능동 안테나에서는 전력증폭기 출력단에서 발생하는 고조파들이 안테나로 방사하는 것을 PBG구조를 이용하여 제거하기도 한다[6].

PBG는 평면회로(마이크로스트립라인이나 CPW)에 적용되면서 낮은 손실을 가지며 구조를 최소화하기 위한 방향으로 연구되어 왔고, 근래에는 접지면 상에 일정한 식각구조를 이용하는 연구가 진행중이다[4,5]. 기존의 연구들은 일정한 식각구조를 LC 병렬 등가회로로 등가화하여 분석하는 방향을 이용하며 최근 방사손실에 대해서 방사저항을 고려함으로써 좀더 근접한 등가회로로 분석되었다[1,6].

본 논문은 기존의 PBG구조에 대한 연구를 고찰하고 새로운 PBG구조에 대한 등가회로를 구성하여 최적화 과정을 거친 후 PBG구조에 대한 저역통과 필터 회로를 설계한다. 최적화 과정을 통해서 원하는 주파수 특성을 얻기 위한 필드 모의실험을 통해서 최종적인 PBG 구조의 검증을 거침으로써 원하는 저지대역 특성을 얻을 수 있다.

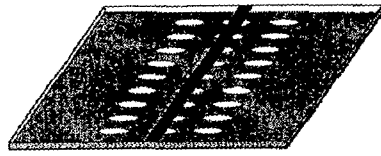
II. PBG 구조

2-1 PBG 필터의 구조

PBG구조는 특정한 주파수 대역에서 전자기파의 전파를 효과적으로 차단하는 1, 2, 혹은 3차원의 다층의 기판으로 구성된 주기적인 구조로서 다층의 기판의 주기적인 천공이나 여러 가지 적절한 2, 3차원의 주기적인 도체나 유전체 구조를 배열시킴으로써 형성시킬 수 있다.

이 구조의 장점은 전파의 광대역 저지대역 특성을 갖고 있으므로 여러 가지 마이크로파/ 밀리미터파 회로나 안테나에 사용될 수 있다. 앞으로 PBG구조의 잠재적인 응용 부분으로는 안테나의 이득 개선, 안테나 크기의 소형화, 접지면, 공동(cavities), 도파관 구조 등에 사용될 것으로 전망된다[4].

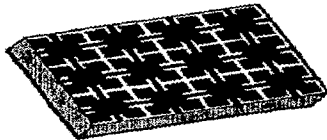
PBG구조는 일반적으로 그림 1과 같이 네가지 형태로 나누어 볼 수 있다. 미세가공에 의해 접지면에 개구면을 1, 2차원 주기 배열로 형성시키는 방법(그림1.a), 전송선로 자체에 특이한 형상의 도체를 주기 배열시키는 방법(그림1.b), 접지면에 도체를 식각하여 주기적 구조를 배열시키는 방법(그림1.c), 그리고 전송선로와 접지면에 동시에 적절한 변형을 가하는 방법(그림1.d) 등을 들 수 있다.



(a) 접지면에 개구면을 1, 2차원 주기 배열로 형성시키는 방법



(b) 전송선로 자체에 특이한 형상의 도체를 주기 배열시키는 방법



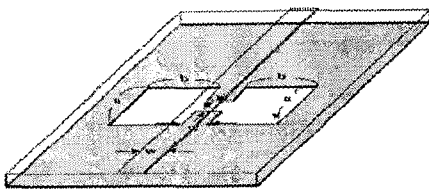
(c) 접지면에 도체를 식각하여 주기적 구조를 배열시키는 방법



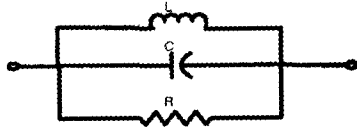
(d) 전송선로와 접지면에 동시에 적절한 변형을 가하는 방법

그림 1. PBG구조의 일반적인 형태

2-1 PBG 구조의 등가화



(a) 접지면 식각을 이용한 간단한 PBG구조



(b) 등가회로

그림 2. 간단한 PBG구조와 등가회로

PBG구조 중에서 가장 간단한 형태로, 그림 2는 (a)는 접지면에 직사각형 개구면으로 식각되어 있고, 상판은

Z0인 마이크로스트립 라인이 존재하는 PBG구조이며, (b)에서는 접지면에 식각된 개구면을 관통하는 추가적 쇄교 자속으로 인한 inductance L [1], 식각된 구조에서 누설전력을 방사저항 R로서 고려하여 직렬로 연결된 병렬 RLC회로 형태로 등가회로를 나타낸다.

등가회로의 파라미터를 구하기 위해서는 Low pass filter prototype의 적렬 L이 임피던스와 주파수 scaling을 거쳐 Bandstop filter의 병렬 LC로 변환되는데 여기에서 두 회로의 등가임피던스와 EM시뮬레이션의 S₂₁의 3dB 차단주파수를 이용하여 LC값을 결정하며, 방사저항(R)은 결정된 LC값과 EM 시뮬레이션에서 적절히 샘플링한 S₁₁(ω)(보통 ω=ω₀ 이용)을 이용하여 결정한다.

C, L 그리고 R의 식은 다음과 같다.

$$C = \frac{w_c}{Z_0 g_1} \cdot \frac{1}{w_0 - w_c} \quad (1)$$

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 \cdot C} \quad (2)$$

$$R = \frac{2Z_0}{\sqrt{\frac{1}{|S_{11}(\omega_0)|^2} - (2Z_0(\omega_0 C - \frac{1}{\omega_0 L}))^2 - 1}} \quad (3)$$

여기서 f₀는 저지대역의 중심주파수, f_c는 S₂₁의 3dB 주파수, 그리고 g₁은 Low pass filter prototype을 나타낸다.

III. 저역통과 필터 설계

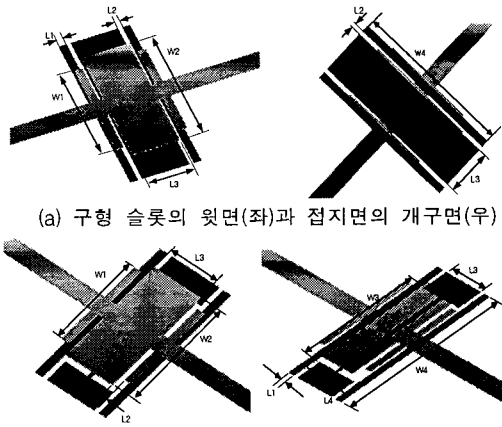
3-1 저역통과 필터의 구조

저역통과 필터는 주로 병렬 스테브 및 계단형 임피던스 라인으로 구현되지만, 스테브 라인을 이용한 필터는 회로설계를 위해 많은 공간이 소비되고 좁은 대역을 가지며, 또한 저지대역 내에 스퓨리어스 통과대역을 존재하는 단점을 갖고 있다.

이러한 문제점으로 인해 일정 대역의 저지대역을 형성하는 PBG 원리를 이용한 필터의 구현이 새로운 방법으로 제안되고 있다. 하지만, PBG구조를 이용한 필터 또한 효과적인 저지대역 형성을 위해 주기적인 구조로 공간 소비가 많아지는 단점을 갖게 된다.

이러한 단점을 보완하기 위해 본 논문에서는 전송선로와 접지면을 동시에 변형을 가하는 PBG구조를 고안하여 그림 3과 같은 형태의 저역통과 필터를 제안한다.

PBG구조의 장점인 저지대역 특성을 개선시키고, 차단주파수의 조절을 용이하게 하기 위해서 그림 3의 a와 b와 같이 접지면의 형태를 구형 슬롯과 아령형 슬롯의 두 가지 격자 형태로 나누어 실험하였다.



(a) 구형 슬롯의 윗면(좌)과 접지면의 개구면(우)

(b) 아령형 슬롯의 윗면(좌)과 접지면의 개구면(우)
그림 3. 제안된 PBG 구조 격자의 두 가지 형태

이 구조는 전송선로의 스텐브 라인과 접지면의 식각되는 부분이 겹쳐지는 형태를 갖는 구조이고, 특정 주파수 대역의 저지특성을 결정하는 주요 요소인 마이크로스트립 선로와 접지면의 식각되는 부분의 인덕턴스와 캐패시턴스 조절을 위하여 격자내의 스텐브 라인과 식각되는 부분의 치수를 적절히 선정하는 것이 중요하다.

EM 시뮬레이션을 통해서 전송선로의 스텐브 라인의 길이를 조절하면서 접지면의 식각되는 부분이 크고, 간격이 좁을수록 넓은 저지대역 특성이 나타나는 결과를 얻었고 제안된 PBG구조 격자내의 각 치수는 표 1과 같다.

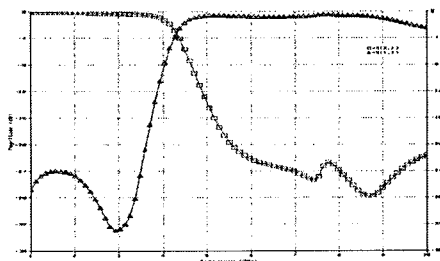
표 1. 격자내의 각 치수 (단위:mm)

	W1	W2	W3	W4	L1	L2	L3	L4
치수	12.211	14.771	2.211	20	1	1.5	6	0.5

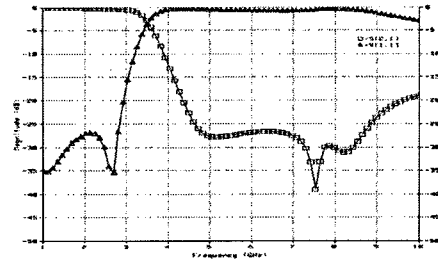
3-2 모의 실험

본 논문에서는 PBG구조의 저역통과 필터의 제작에 앞서 Ensemble을 이용하여 모의실험을 시행하였다.

모의실험은 Teflon($\epsilon_r=2.5$) 31mils 유전체 기판을 사용하였고, 그림 3의 a)형인 구형 슬롯형태와 b)형인 아령형 슬롯형태로 나누어 실험하였다.



(a) 구형 슬롯형 LPF의 모의실험결과



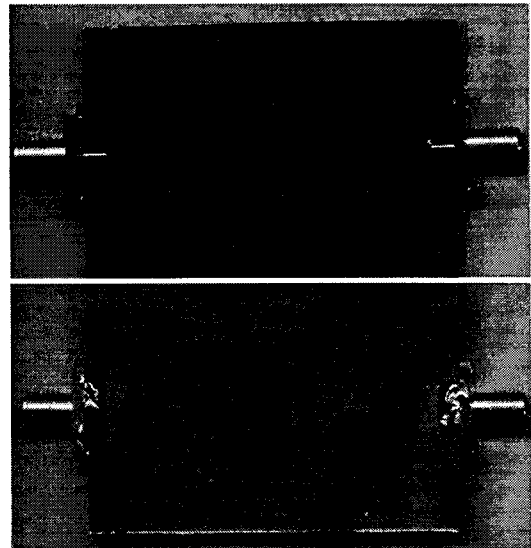
(b) 아령형 슬롯형 LPF의 모의실험결과
그림 4. 제안된 저역통과 필터의 모의실험결과

그림 4는 구형 슬롯 격자 형태와 아령형 슬롯 형태의 저역통과 필터의 모의실험 결과이다. 그림 4(a)에서 보는 바와 같이 4.465GHz에서 차단주파수가 형성되고 10GHz대역에 걸쳐서 S21이 24dB이상의 감쇠특성을 나타내고 있으며, 그림 4(b)에서는 3.52GHz의 차단주파수가 형성되고 27dB이상의 감쇠특성을 나타내고 있다. 또한 두 격자 형태의 저역통과 필터 스퓨리어스 모드가 제거된 형태로 6GHz이상의 넓은 저지대역을 형성하고 있다. 아령형 슬롯 형태의 경우 삽입된 슬롯으로 차단주파수를 튜닝할 수 있는 장점을 제공할 수 있다.

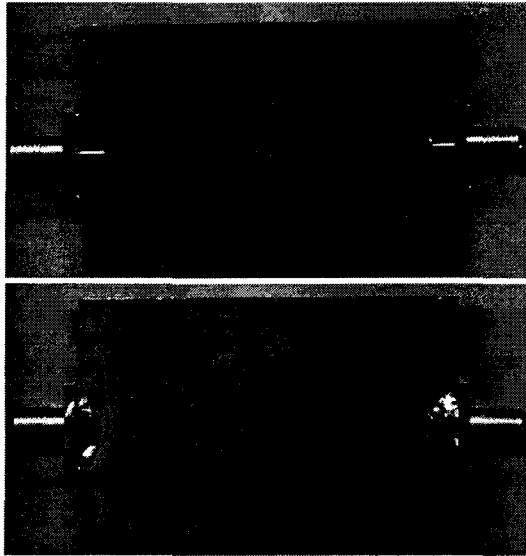
IV. 제작 및 측정결과

본 논문에서 제안한 PBG 구조를 이용한 저역통과 필터를 실제 제작하여 측정하였다.

그림 5는 Teflon($\epsilon_r=2.5$) 31mils 유전체 기판을 사용하여 실제 제작된 모형이다.



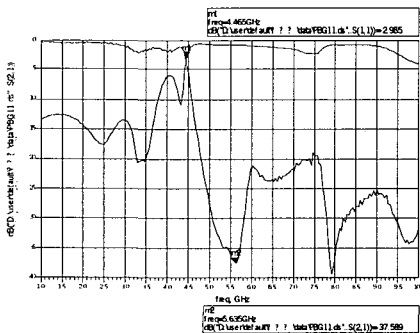
(a) 구형 슬롯 격자구조



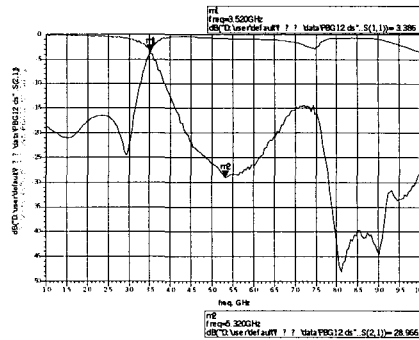
(b) 아령형 슬롯 격자구조
그림 5. 제작된 저역통과 필터

그림 6a는 구형 슬롯 격자 구조를 가지는 저역통과 필터의 측정 결과로써 차단 주파수가 4.465GHz, 저지대역 특성이 25dB이상, 넓은 저지대역을 형성하고 있으며, 그림 6b는 아령형 슬롯 격자 구조를 가지는 저역통과 필터의 측정 결과로써 차단 주파수는 3.52GHz, 저지대역 특성이 25dB이상, 넓은 저지대역을 형성하고 있다. 구형 슬롯 격자 구조보다 아령형 슬롯 격자 구조를 가지는 저역통과 필터가 동일한 크기에서 더 낮은 차단 주파수를 얻을 수 있었다.

모의실험 결과와 비교해 보면 저역통과 필터의 차단 주파수는 거의 일치함을 알 수 있으나 저지대역 특성은 약간의 차이가 발생했다. 이는 테스트 회로 제작에 있어서의 오차 및 측정시의 오류로 생각된다.



(a) 구형 슬롯 저역통과 필터 측정 결과



(b) 아령형 슬롯 저역통과 필터 측정 결과
그림 6. 저역통과 필터의 측정 결과

V. 결론

본 논문에서는 전송선로와 접지면을 동시에 변형을 가하는 방법으로 새로운 형태의 PBG 구조를 고안하여 저역통과 필터를 설계, 제작하였다. 제한된 PBG 구조를 이용한 저역통과 필터는 접지면의 식각되는 부분에 따라 구형 슬롯구조와 아령형 슬롯구조로 나누어 실험되었으며, 측정 결과는 각각 차단주파수가 4.465GHz, 3.52GHz이고, 감쇠특성은 -24dB이상, -27dB이상의 넓은 저지대역을 갖는 결과를 얻었다. 모의실험 결과와 비교해 차단주파수는 거의 일치하였으나 저지대역 특성에서 약간의 차이가 발생했다. 이는 제작상 및 측정상의 오류로 생각된다. 본 실험에서 제한한 PBG 구조를 매우 작은 크기(1.1cm×2cm)로 전송선로 자체에 삽입하면 응용회로의 소형화에 큰 효과를 거둘 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] C. S. Kee, J. E. Kim, H. Y. Park, S. J. Kim, H. C. Song, Y. S. Kwon, N. H. Myung, S. Y. Shin, and H. Lim, Phys. Rev. E 59, 4695, April, 1999.
- [2] Vesna Radisic, Yongxi Qian, Tatsuo Itoh, "Broad-Band Power Amplifier Using Dielectric Photonic Bandgap Structure," IEEE Microwave and Guided Wave Letters, vol. 8, no. 1, Jan. 1998, pp. 13-14
- [3] Fei-Ran Yang, Roberto Coccioli, Yongxi Qian, Tatsuo Itoh, "Planar PBG Structures: Basic Properties and Applications," IEICE Trans. Electron., vol. E38-C, no. 5, may, 2000, pp. 687-696
- [4] Vesna Radisic, Yongxi Qian, Roberto Coccioli, Tatsuo Itoh, "Novel 2-D Photonic Bandgap Structure for Microstrip Lines," IEEE Microwave and Guided Wave Letters, vol. 8, no. 2, Feb., 1998, pp. 69-71
- [5] Jong-Im Park, Chul-Soo Kim, Jun-Seok Park, Yongxi Qian, Dal Ahn, Tatsuo Itoh, "Modeling of a Photonic Bandgap and its Application for the Low-Pass Filter Design," IEEE ASIA Pacific Microwave Conference, Volume 2, 1999, pp.331-334.
- [6] Yasushi Horii, Makoto Tsutsumi, "Harmonic Control by Photonic Bandgap on Microstrip Patch Antenna," IEEE MGWL, Vol.9, No.1, Jan. 1999