

새로운 PBG 구조를 이용한 저역통과 여파기 성능 개선에 관한 연구

정회원 이승재*, 서철현*

Improvement of Low Pass Filter Using New PBG Structure

Seung-Jae Lee*, Chulhun Seo* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 기존의 광대역 저지대역 특성을 갖는 PBG 구조들의 문제점인 삽사 및 반사손실 그리고 리플특성을 향상시키기 위하여 새로운 PBG 구조를 제안하였다. 제안된 구조는 내부에는 작은 PBG 구조를 제작되었고, 외부는 큰 PBG 구조를 이용하여 중첩시킨 모양으로 되어 있다. 내부에 제안된 PBG 구조는 높은 주파수에서 저지대역을 형성하고 외부에 제안된 PBG 구조는 낮은 주파수에서 저지대역을 형성함으로써 광대역에 걸쳐서 저지대역을 형성하는 특성을 볼수 있었다. 저지대역에서의 삽사손실은 평균 40dB 이상을 형성하였고, 또한 리플특성이 향상되었으며, 삽사손실 및 반사 손실이 향상되어 기존의 광대역 저지대역을 형성하는 PBG 구조보다 더 넓은 통과대역을 사용할 수 있었다.

Key Words : PBG; Low pass filter; Insertion loss; Return loss

ABSTRACT

In this research, we suggested a new PBG cell with wide stopband. In order to improve the characteristics of the insertion loss, return loss, and ripple, we used two overlapped cells. One is small cell which is made in inside and the other is large cell which is made in outside. The inner cell stops the high band and the outer cell stops the low band. As a result, the new PBG cell had a wide stop band. Insertion loss was about 40dB in stopband and the ripple, and the return loss was improved. Also, the passband is broaden by employing new PBG cells.

I. 서론

접지면에 에칭을 함으로써 회로의 성능을 향상시키는 기술이 많이 소개되어 왔다. 이는 부가적인 회로의 연결 없이 성능이 향상되므로 PBG(Photonic Band Gap), DGS(Defected Ground Structure), Aperture 등 많은 연구가 진행되어 왔다. 또한 많은 연구가 이러한 접지면 에칭을 통하여 안테나, 증폭기, 발진기, 필터 등에 이루어졌다^[1-6]. PBG에 있어서의 대표적인 경우는 안테나의 방사패턴 향상을 위해 안테나에서 이용되었고, 전력증폭기의 출력전력

과 효율을 증가시키기 위하여 사용되었다. 또한 반사기 설계, 광대역 감쇠기, 주파수 선택기의 분야에서도 적용이 이루어지고 있다. 본래 PBG 구조는 주기적인 불연속 구조를 갖고 진행파의 일정 대역을 저지하는 저지대역을 형성하는 특징을 갖는다. 이러한 원리는 광학의 브래그(Bragg) 격자에 대한 연구에서 비롯되었지만, PBG 이론은 광범위한 주파수 대역에서도 동일한 특성을 갖고 있어 최근에는 마이크로파와 밀리미터파 대역에도 PBG 구조를 적용하였다. 저역통과 여파기는 보통 스테브 라인을 이용한 저역통과 여파기나 계단형 임피던스 라인을 이용

* 숭실대학교 대학원 정보통신공학과 이동 및 위성통신 연구실 (imnkiwi@empal.com)

논문번호 : 04003-0106, 접수일자 : 2004년 6월 28일

* 본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어 짐.

한 저역통과 여파기의 두가지로 제작되는데 스테르바 라인을 이용한 저역 통과 여파기는 일반적으로 좁은 대역폭을 갖고 회로 설계를 위한 공간이 요구되는 단점을 갖고 있다. 계단형 임피던스 라인을 이용한 저역통과 여파기의 경우 전기적 성능은 다소 좋지 않아 주로 예리한 차단율 요구하지 않는 시스템에서의 적용으로 제한되고 있다. PBG 구조는 일정 저지대역을 형성하고 그 밖의 대역에서는 어느 정도의 통과대역을 형성하고 있으므로 광대역을 요하는 시스템에서는 일정 대역의 저지대역을 갖는 여러개의 여파기의 사용이 요구된다. 또한 PBG 구조를 이용한 여파기도 동작의 한계성을 가지며 각종 저역 통과 여파기의 특성을 이용한 마이크로스트립 회로의 성능개선을 위한 PBG의 적용에서도 제한 요소를 갖게 된다. 따라서 보다 넓은 대역의 저지대역을 형성하는 새로운 구조에 대한 연구가 요구되고 있다. Kelly^[2]의 경우 광대역 저지대역을 형성하는 PBG를 구현하기 위하여 크기가 다른 셀들을 배열하여 광대역에 저지대역을 형성하는 구조를 제안하였다. 그러나 회로의 크기가 커진다는 단점이 있고, KTS PBG^[3]의 경우 크기의 문제를 해결했으나 리플 및 삽입손실, 반사손실이 안 좋아 지는 단점이 있었다. 본 논문에서는 기존의 광대역 저지대역 특성을 갖는 PBG구조들의 문제점인 입사 및 반사손실 그리고 리플특성을 향상시키기 위하여 새로운 PBG구조를 제안하였다. 제안된 구조는 내부에는 작은 PBG구조를 제작되었고, 외부는 큰 PBG구조를 이용하여 중첩시킨 모양으로 되어 있다.

II. PBG의 주파수 특성

기본적으로 PBG 구조는 일정한 주파수 대역을 저지하는 특성을 가지고 있다. 그림 1은 그 기본적인 구조와 주파수 응답특성을 보여주고 있다. 이 회로는 5.8GHz에서 저지특성을 갖는 특성을 가지고 있다. 마이크로 회로로서의 기본적인 PBG 구조는 광학에서 Bragg 격자 구조의 원리를 기초로 하고 있다. Bragg 격자 구조는 서로 다른 굴절률을 주기적으로 갖는 격자구조로 구현된 도파로 위의 반사 격자는 입사 모드의 공간 전파 벡터를 진행파의 역방향 진행파로 결합되도록 변조한다. 입사한 모드는 격자에 의해서 다음과 같이 변조된다^[7].

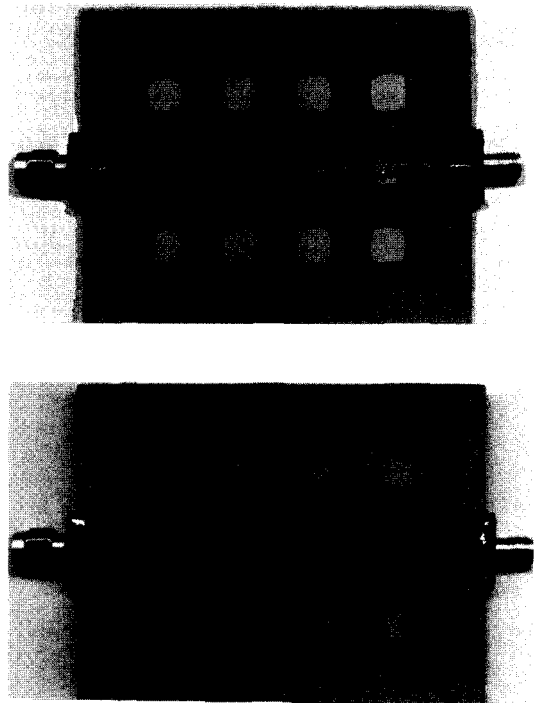
$$\exp(-j\beta z)\cos\left(\frac{2\pi}{\Lambda}z\right) = \frac{1}{2}\left\{\exp\left[-j\left(\beta - \frac{2\pi}{\Lambda}\right)z\right] + \exp\left[-j\left(\beta + \frac{2\pi}{\Lambda}\right)z\right]\right\} \quad (1)$$

여기서 Λ 는 격자의 주기로 PBG 구조에 의해 형성되는 저지대역의 중심 주파수를 결정하는 중요한 역할을 담당한다. 원하는 주파수에서의 저지대역 형성을 위한 위상 정합조건은 다음과 같다.

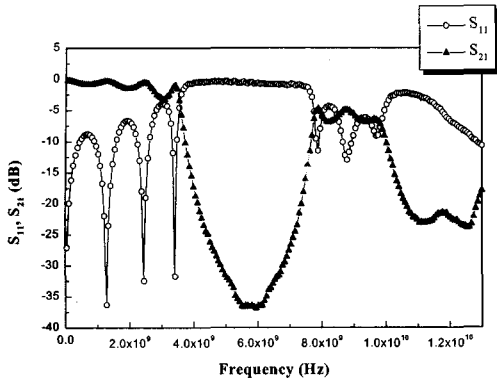
$$-\beta = \beta - \frac{2\pi}{\Lambda} \quad (2)$$

$$\Lambda = \frac{\lambda_g}{2} \quad (3)$$

이러한 정합조건에 만족하는 주파수대역에는 입사되는 신호와 격자에 의해 반사되는 신호의 위상 정합에 의해 신호가 소멸된다. 따라서 그림 1에 제작된 한셀의 크기는 5.8GHz의 $\lambda_g/2$ 인 15.92mm가 되고 에칭된 부분의 크기만 보면 가로 7.96mm, 세로 7.96mm의 크기가 된다.



(a) 기본적인 PBG 구조의 앞면과 뒷면
(a) Top and Bottom of fundamental PBG Structure

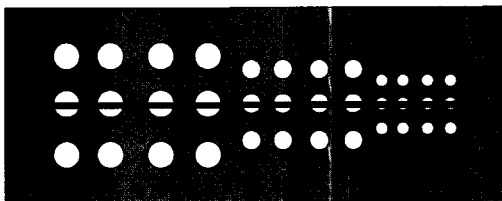


(b) 주파수 특성
(b) Frequency Response

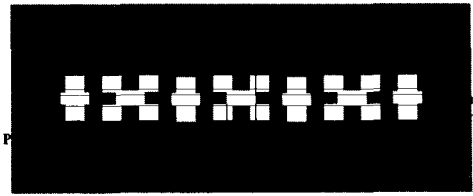
그림 1. 기본적인 PBG 구조의 그림과 주파수특성
Fig 1. Fundamental PBG Structure Figure and Frequency Response

III. PBG의 주파수 특성 분석

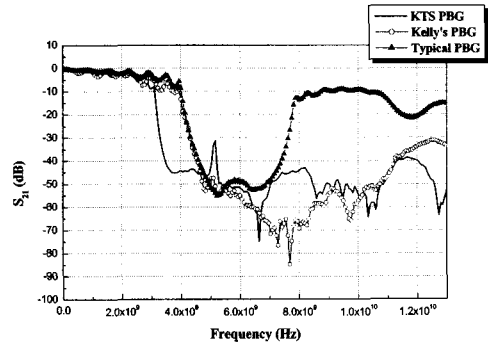
위에서 언급한 일반적인 PBG 구조의 문제점을 해결하고자 다양한 모양의 PBG 구조가 제안되었다. 그림 2.(a)는 Kelly에 의하여 제안된 구조이다⁽²⁾. 구조는 큰 원, 중간크기의 원, 그리고 작은 원 모양으로 에칭을 하였는데 이는 큰 원은 낮은 주파수 대역을 억제하고, 중간크기의 원은 중간 주파수 대역을 억제하고, 마지막의 작은 원은 높은 주파수 대역을 억제함으로써 광대역에 걸쳐 주파수 저지대역을 형성하는 것을 볼 수 있다. 그러나 회로의 크기가 커지는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결한 구조가 그림 2.(b)인 KTS PBG 구조이다⁽³⁾. 이 구조는 회로의 크기가 커지는 문제점을 보완하는 동시에 광대역에 걸쳐 주파수 저지대역을 형성하는 것을 그림 2.(c)의 주파수 응답 곡선을 통해서 알 수 있다. 그러나 이 구조 또한 삽입손실과 반사손실 그리고 리플이 문제점으로 남아 있다.



(a) Kelly의 PBG
(a) Kelly's PBG



(b) KTS의 PBG
(b) KTS's PBG



(c) Kelly의 PBG와 KTS PBG의 주파수특성
(c) Frequency Characteristic of Kelly's PBG and KTS's PBG

그림 2. 광대역 저지대역 특성을 형성하는 PBG구조들과 주파수특성
Fig 2. PBG Structures and Frequency Responses to display Broadband Stopband Characteristic

위에 나온 문제점들을 해결하기 위하여 기본 구조인 그림 3에서 시작하여 셀의 크기와 간격을 변화시키면서 주파수 응답 특성을 살펴보았다. 그림 3에서 보면 H는 에칭부분의 세로 크기를 나타내고, W는 가로의 크기, G는 에칭한 부분들 사이의 간격을 나타낸다. 기본적인 구조는 5.8GHz에서 저지대역 특성을 갖도록 제작되었다. 따라서 H=7.96mm,

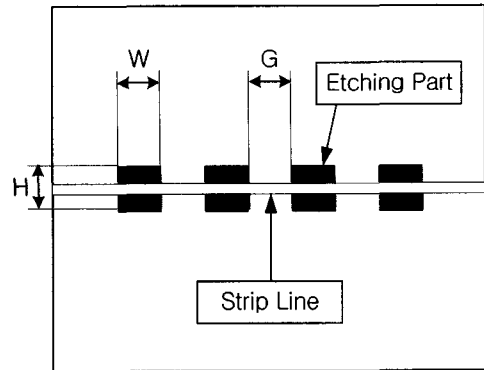


그림 3. 셀의 크기와 간격에 따른 모양의 변화를 보여줄 기본 모양

Fig 3. Fundamental Shape to display the change of shape for size and gap of cell

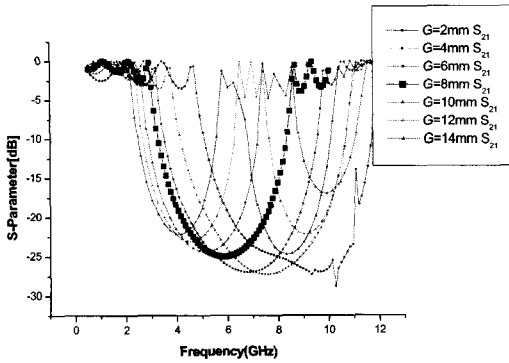


그림 4. G를 변화시켜 가면서 본 주파수특성 (Simulation)

Fig 4. Frequency response for variation of G (Simulation)

$W=7.96\text{mm}$, $G=7.96\text{mm}$ 의 회로도를 기본으로 각각 G와 H를 변화시켜 최적점을 찾고 그 결과를 가지고 W를 변화시켜 PBG 구조의 최적화를 찾게 된다.

먼저 H, W는 7.96mm 의 크기로 고정하고 G의 크기를 키워가면서 변화를 보면 그림 4에서 보는 바와 같이 주파수 응답특성이 5.8GHz 의 $\lambda_g/4$ 길 이인 8mm 에서 그 특성이 가장 우수한 것을 알 수 있다. 따라서 각 셀의 간격 G는 $\lambda_g/4$ 의 간격을 두고 반복되는 구조가 가장 이상적이라는 것을 알 수 있다.

다음으로 $W=7.96\text{mm}$, $G=7.96\text{mm}$ 로 고정을 시키고 H의 길이를 변화시켜가면서 주파수 응답특 성을 보면 그림 5와 같다. 이를 보면 기본구조 상태

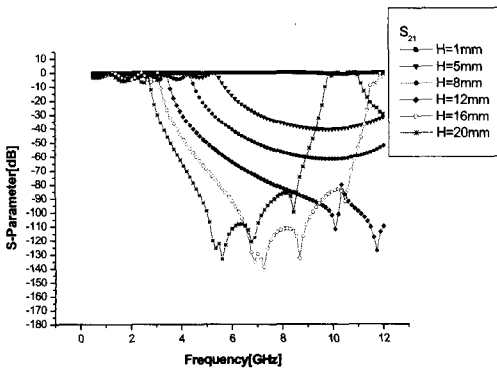


그림 5. H를 변화시켜 가면서 본 주파수특성 (Simulation)

Fig 5. Frequency response for variation of H (Simulation)

에서 $H=16\sim 20\text{mm}$ 사이 일 때 5.8GHz 에서 주파 수 저지 대역이 형성하는 것을 볼 수 있고, 또한 5GHz 부터 우리가 제작할 5.8GHz ($H=20\text{mm}$)그리 고 10GHz 에 이르기까지 길이 H에 의하여 저지대 역 특성을 변화시킬 수 있다는 것을 알 수 있다.

지금까지의 결과를 종합해보면 5.8GHz 에서 우리 가 최적을 요하는 주파수 응답특성을 얻기 위해서는 에칭 간격은 $\lambda_g/4$ ($G=7.96\text{mm}$)가 되어야 하고 H 는 5.8GHz 에서 약 $16\text{mm}\sim 20\text{mm}$ 사이의 크기를 가 져야한다는 두 가지 결론을 얻을 수 있다. 실험을 통하여 H는 5.8GHz 의 약 $\lambda_g/2$ 길이인 16mm 에서 주파수 응답 특성이 가장 우수하다는 것을 알 수 있 었다.

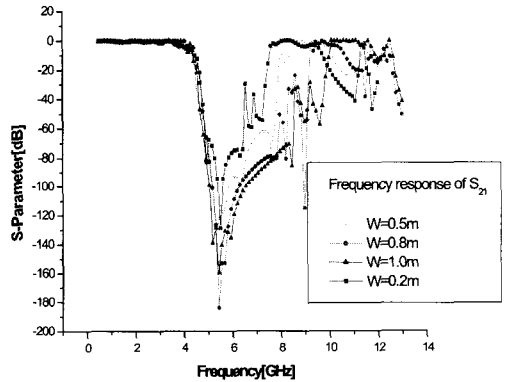


그림 6. G를 변화시켜 가면서 본 주파수특성 (Simulation)

Fig 6. Frequency response for variation of G (Simulation)

마지막으로 $H=16\text{mm}$, $G=7.96\text{mm}$ 로 고정을 시 키고 W를 변화시키면서 주파수 응답특성을 살펴 보 았다. 그림 6에 나온바와 같이 W는 그 크기가 클수 록 넓은 대역에 걸쳐서 주파수 저지대역을 형성하는 것을 볼 수 있다. 그러나 우리가 원하는 특성은 더 넓은 대역에 걸쳐서 주파수 저지대역을 형성해야 하 고 그러기 위해서는 다른 크기의 PBG 구조를 추가 하여야한다. 이는 성능에서는 향상을 가져오지만 Kelly⁽²⁾의 경우와 마찬가지로 회로의 크기가 커진다는 단점이 생긴다. 따라서 우리는 PBG 구조를 중첩 시키는 형식으로 만들기 위하여 $W=0.5\text{mm}$ 의 크기 로 정하였다. $W=0.5\text{mm}$ 보다 크게 되면 PBG 구조 안에 또 다른 PBG 구조를 넣기 힘들게 되고 $W=0.5\text{mm}$ 보다 작게 되면 주파수 저지대역이 좁아

저서 광대역 주파수 저지대역을 형성할 수 없게 되며 제작도 어렵게 된다.

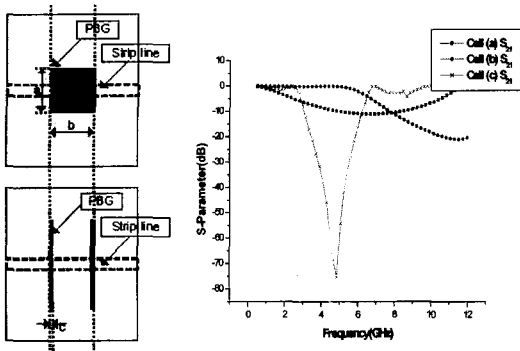


그림 7. 기본 PBG구조와 제안된 PBG구조의 주파수특성(Simulation)

Fig 7. Frequency response of fundamental and proposed PBG structure

위의 결과들을 종합하여보면 $W=0.5mm$, $H=16mm$ (5.8GHz 파장의 약 $\lambda_g/2$), $G=7.96mm$ (5.8GHz 파장의 약 $\lambda_g/4$)가 된다. 이를 설계하여 Simulation 한 결과가 그림 7이다. 기본구조와 비교해 볼 때 저지대역 특성이 강하므로 셀을 적은 수 배열하여도 기존의 PBG 구조보다 좋은 결과를 얻을 수 있다. 따라서 회로의 크기를 줄일 수 있다. 그러나 그림 7에 있는 구조는 광대역 저지대역 특성이 없기 때문에 이를 보완하기 위하여 위에서 말한 바와 같이 셀을 중첩시키는 구조를 제작하여 실험하였다.

그림 8과 그림 9는 초기에 제작된 PBG 구조를 보여주고 있다. 모양이 다른 것처럼 보이나 이는 회로의 크기를 줄이기 위하여 세로 축을 접은 형태의 PBG이다. 그림 8은 하나의 저지대역을 형성하는 구조이고 그림 9는 광대역에 걸쳐 PBG를 형성하는 구조이다. 그림 9에서 보면 실제 KTS PBG⁽³⁾보다 저지대역 특성이 좋지 않은 것을 볼 수 있다. 이는 PBG 구조가 안쪽이 낮은 주파수를 저지시키는 특성을 가지고 있고 바깥쪽 PBG구조가 높은 주파수를 저지시키는 특성을 가지고 있는데, KTS PBG의 경우 7개 정도의 사이즈를 가지고 있지만, 이 구조는 4개정도의 사이즈를 가지고 있어 저지대역 특성이 약하다. 또한 그림 9에 나타난 구조의 특성을 분석해 보면 8GHz에서 저지대역 특성이 약한 것을 볼 수 있다. 따라서 8GHz에서 저지대역을 형성하도록 셀의 크기를 정하고 구조를 결정해야 한다.

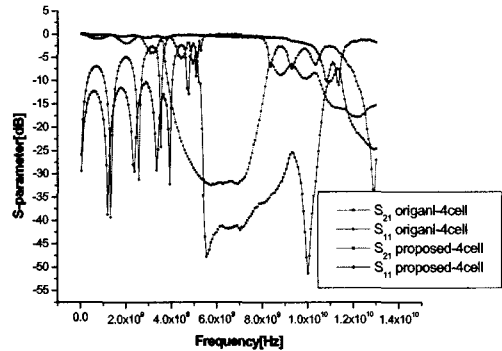
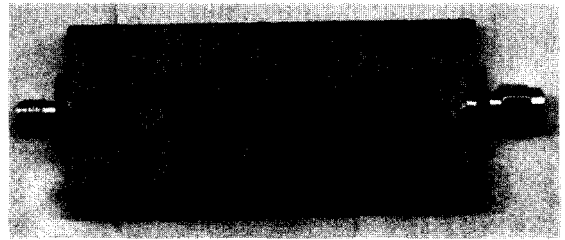


그림 8. 초기에 제작된 적은 반사 손실을 갖는 PBG 구조와 주파수특성

Fig 8. Original low insertion loss PBG structure and frequency response

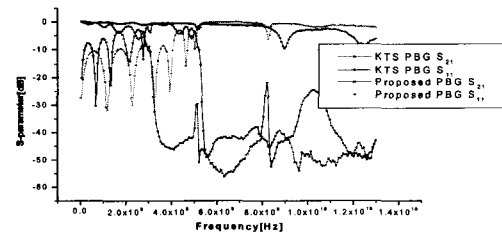
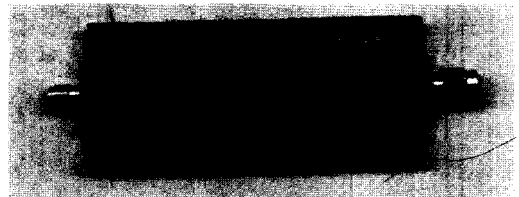


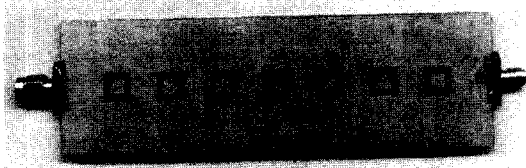
그림 9. 초기에 제작된 광대역 저지특성을 갖는 PBG 구조와 주파수특성

Fig 9. Wide stopband PBG structure and frequency response

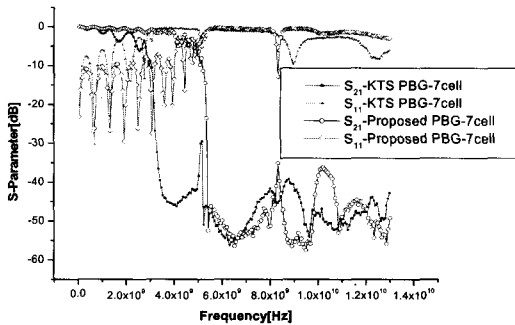
IV. 제안된 PBG 구조의 주파수 특성

실제 제안된 구조는 그림 10과 같다. 바깥쪽의 PBG 구조는 낮은 주파수에서 저지대역을 형성하고

있으며, 인쪽의 PBG 구조는 높은 주파수에서 저지대역을 형성하도록 되어 있다.



(a) 제안된 PBG구조
(a) A proposed PBG structure



(b) 제안된 PBG구조의 주파수특성
(b) Frequency response of the proposed PBG structure

그림 10. 새로 제안된 광대역 저지대역을 형성하는 PBG 구조와 주파수특성

Fig 10. The formed wide stopband of new proposed PBG structure and frequency response

그림 10에서 보는 바와 같이 제안된 PBG 구조는 KTS PBG 구조와 같은 크기가 되도록 7cell을 사용하였으며 저지대역특성도 우수하면서 기존의 KTS PBG의 단점인 입사손실, 반사손실, 그리고 리플특성에서 향상된 것을 볼 수 있다.

IV. 결론

기존의 광대역 저지대역 특성을 갖는 PBG 구조들의 문제점인 입사 및 반사손실 그리고 리플특성을 향상시키기 위하여 본 논문에서 새로운 구조의 PBG를 제안하였다. 회로의 크기를 줄이기 위하여 상하의 PBG구조를 접은 모양으로 되어 있으며, 내부에는 작은 PBG 구조를 제작하였고, 외부에는 큰 PBG 구조를 제작하여 중첩시킨 모양으로 되어 있다. 내부에 제안된 PBG 구조는 높은 주파수에서 저지대역을 형성하고 외부에 제안된 PBG 구조는 낮은 주파수에서 저지대역을 형성함으로써 광대역에 걸쳐서 저지대역을 형성하는 특성이 형성되는 것을 볼 수 있으며 평균적으로 40dB 이상이다. 또한 리플특성

이 향상되었으며, 입사손실 및 반사 손실이 향상되어 기존의 광대역 저지대역을 형성하는 PBG 구조보다 더 넓은 통과대역을 사용할 수 있다.

참고 문헌

- [1] David M. Pozar, "Microwave Engineering", Addison Wesley, 1990.
- [2] I. Rumsey, P. M. Melinda and P. K. Kelly, "Photonic Bandgap Structures Used as Filter in Microstrip Circuits, *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol.8, pp.336-338, 1998.
- [3] T.S. Kim, and C. H. Seo, "A Novel Photonic Bandgap Structure for Lowpass Filter of Wide Stopband", *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, Volume: 10 Issue: 1, Jan. 2000. Page(s): 13 -15.
- [4] Serksun Im, Jaehoon Kim, Chulhun Seo, Naesoo Kim and Youngwan Kim, "Improvement of Microstrip Open Loop Resonator Filter Using Aperture", *IEEE MTT 2002 Symposium*.
- [5] Fei-Ran Yang; Kuang-Ping Ma; Yongxi Qian; Itoh. T., "A uniplanar compact photonic-bandgap(UC-PBG) structure and its applications for microwave circuit" *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, vol.47, Aug 1999, pp. 1509-1514.
- [6] Rui Qiang; Yunyi Wang; Duxin Chen, "A novel microstrip bandpass filter with two cascaded PBG structures", *Antennas and Propagation Society, 2001 IEEE International Sym, 2001*, pp. 510-513, vol.2.
- [7] C. K. Chong et al., "Bragg reflectors," *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 20, no. 3, pp. 393-402, 1992.

이 승 재 (Seung-Jae Lee)
email : inmkiwi@empal.com
제28권 제10호 참조

정희원

서 철 현 (Chulhun Seo)
email : chulhun@e.ssu.ac.kr
제23권 제1호 참조

정희원