

패치 안테나의 성능 향상을 위한 PBG 구조 설계

°서지영, 이범선
경희대학교 전파공학과

°kkcold@yahoo.co.kr, bomson@khu.ac.kr

Design of PBG Structures for Performance Enhancement of Patch Antennas

Jiyoung Seo · Bomson Lee
Department of Radio Engineering, Kyunghee University

요 약

본 논문에서는 EM 시뮬레이션을 이용하여 PCS 대역을 저지하는 PBG 구조를 설계하고, 설계된 PBG 구조를 패치 안테나 주변에 삽입함으로써 표면파가 억제되는 것을 방사패턴을 통해 확인하였다. 이러한 PBG 구조를 표면으로 이용했을 때 wire 안테나의 반사손실이 향상되는 결과를 확인하였다.

I. 서 론

마이크로스트립 안테나는 협대역 특성과 낮은 이득을 가지고 있으며 표면파로 인한 방사손실이 크다. 기판 두께가 크고 유전율이 높은 마이크로스트립 패치 안테나는 표면파가 여기되어 기판의 가장자리나 표면이 불연속인 곳에서 전파가 산란되는 현상이 더 강하다. 이러한 표면파는 원하지 않는 에너지 손실과 안테나의 방사 효율 저하를 가져온다.

최근 이러한 표면파를 억제하는 PBG(Photonic Bandgap) 구조에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1],[2],[3],[4]. PBG 구조는 주기적인 구조를 가지므로써 높은 표면 임피던스 특성을 나타낸다. 이러한 주기적인 구조는 그 구조를 통과하는 전파에 대해 특정 주파수 대역에서 통과 또는 저지특성을 갖는다[4].

본 논문에서는 문헌 [3]에서 제시하는 PBG 구조를 이용하여 주어진 저지 중심 주파수와 저지대역을 설계할 수 있는 방법을 제시하며 이를 근거로 PCS 대역을 저지할 수 있는 PBG 구조를 설계한다. 설계된 PBG 구조를 이용하여 마이크로스트립 패치 안테나의 표면파 억제와 안테나 이득 향상 여부를 확인한다.

II. 본 론

II-1 PBG 구조 설계

그림 1의 전체 공간은 $35 \times 35 \text{mm}^2$ 의 자유공간으로 설정되어 있으며 평면파는 평면파 입사면에서 발생하여 +x 축 방향으로 진행한다. 입사 전계는 표면의 법선 방향인 z 축 방향(E_n)

또는 표면의 접선 방향인 y축 방향(E_t)으로 설정하였다. 수신전력을 측정하기 위한 Probe의 방향은 입사 전계와 같게 하였으며 Probe의 위치는 표면으로부터 2.9mm 위에, 그리고 가장자리 효과를 피하기 위해 edge에서 5mm 떨어진 곳에 설정하였다. EM 시뮬레이터는 CST사의 MWS Version 3.0을 이용하였다.

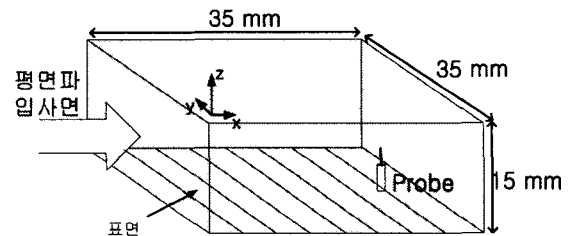


그림 1. 시뮬레이션 공간

그림 2(a)는 문헌 [3]에서 제안한 PBG 구조이며, 그림2(b)는 PBG 표면을 포함한 시뮬레이션 공간이다. 그림2(c)는 그림 2(b)를 측면에서 보여준다. PBG 표면의 사이즈는 $30.75 \times 30.75 \text{mm}^2$ 이며, 전체 시뮬레이션 공간은 그림1과 같다. 그림 2의 PBG 구조에서 정사각형의 도체로 이루어진 사각 패치는 접지면과 금속핀으로 연결되어 있다. 문헌 [3]에서 제시된 PBG 구조는 금속핀의 폭이 0.36mm , $a = 2.4 \text{mm}$, $b = 2.55 \text{mm}$, $d = 1.6 \text{mm}$, $\epsilon_r = 2.2$, $\mu_r = 1$ 이다.

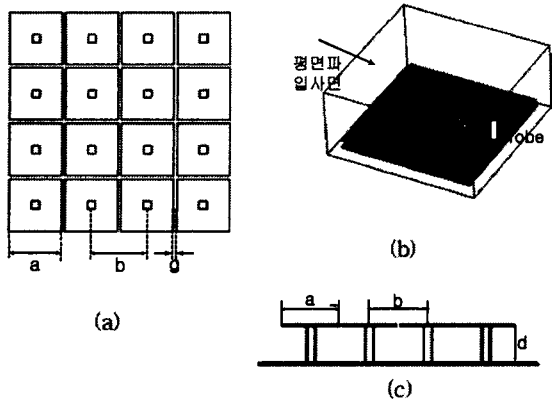


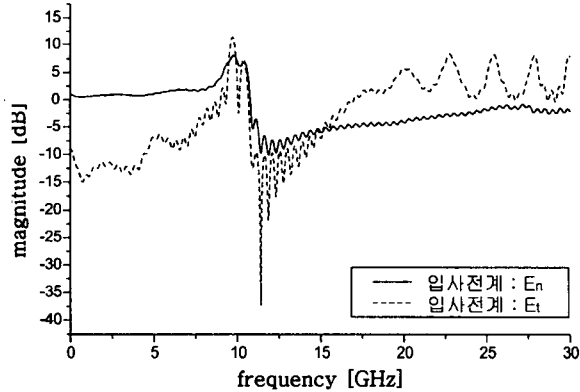
그림 2. 문헌 [3]에서 제안된 PBG 구조

그림 3은 입사전계기 PBG 표면에 대해 각각 수직방향 (E_n) 이거나 수평방향 (E_t) 일 경우의 주파수에 따른 Probe의 수신전력이다. 두 경우 모두가 11-14 GHz대에서 저지대역 특성을 갖는 데 입사전계가 수평일 때 파의 저지 정도가 더 큰 결과를 보였다. PBG 구조에서의 커패시턴스 성분과 인덕턴스 성분 및 공진 주파수를 식(1)과 같이 근사적으로 표현할 수 있다[5].

$$C = \frac{a\epsilon_r(1+\epsilon_r)}{\pi} \cosh^{-1}\left(\frac{b}{b-a}\right), L = \mu d, \quad (1)$$

$$\omega_c = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{c}{\sqrt{1+\epsilon_r}} \sqrt{\frac{\pi}{ad \cosh^{-1}\frac{b}{b-a}}}$$

식(1)을 문헌 [3]에서 제시한 PBG 구조에 적용하면 $C = 0.076308 [\mu F]$, $L = 2.0106 [nH]$, $f_c = 12.849 [GHz]$ 을 얻는다. 그림 3과 비교했을 때 중심 주파수가 유사함을 볼 수 있다.



$a = 2.4mm, b = 2.55mm, d = 1.6mm, \epsilon_r = 2.2, \mu_r = 1$

그림 3. PBG 표면에서의 Probe 수신 전력

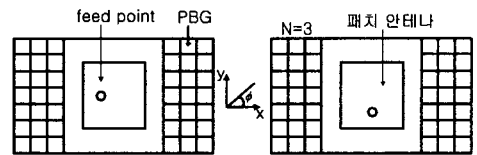
PBG 구조의 등가회로는 집중소자 병렬회로로 나타낼 수 있는 데[3], 이 경우 회로의 등가 어드미턴스(Y), 대역폭(BW)을 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$Y = j\sqrt{\frac{C}{L}}\left(\frac{\omega}{\omega_c} - \frac{\omega_c}{\omega}\right), BW \propto \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2)$$

식(2)에서 $(\omega/\omega_c - \omega_c/\omega)$ 는 주파수 변수(frequency variable)이라고 하는 데 모든 공진 회로에서 같은 형태를 갖는다. $\sqrt{\frac{C}{L}}$ 는 susceptance slope parameter로서 이것이 작을 경우 주파수가 공진 주파수에서 벗어나더라도 서셉턴스가 완만히 변해 광대역 특성을 갖고, 클 경우 협대역 특성을 갖는다. L과 C의 곱과 C와 L의 비를 이용해서 필요한 저지주파수와 대역폭을 일반적으로 얻을 수 있다.

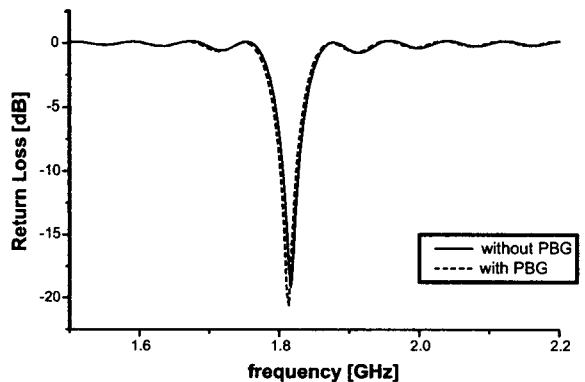
II-2. PBG 구조를 이용한 패치 안테나의 표면과 저지

그림 4(a) 와 (b)는 각각 패치 안테나의 이득 향상 여부를 보기 위한 E Plane 과 H Plane 상의 PBG 구조를 보여준다. 설계된 패치 안테나는 1.78 GHz에서 공진하며 크기는 $36 \times 36mm^2$ 이다. 1.78 GHz를 포함하는 PCS 대역 저지 PBG 구조는 $a = 15mm, g = 0.19mm, d = 1.6mm, \epsilon_r = 4.7$ 로 설계되었다. 패치 안테나와 PBG 구조 사이 간격은 S_{11} 이 교란받지 않을 정도의 거리인 15mm이다. 설계된 PBG 구조 크기를 식(1)에 적용하면 $L = 2.0106 [nH], C = 1.2220 [\mu F], f_c = 3.2098 [GHz]$ 로써 시뮬레이션 결과에서의 중심 주파수와 차이가 있음을 알 수 있었다. 이 차이는 등가회로가 근사적인 것에 기인한 것으로 사료된다. 그림 5(a)와 (b)는 각각 그림 4(a)와 (b)의 구조를 시뮬레이션 한 결과로 주파수에 따른 반사손실을 나타낸다.

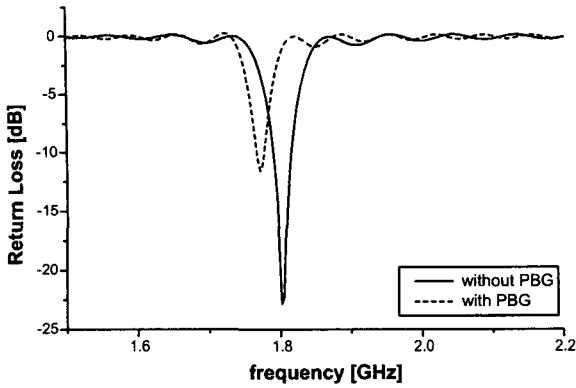


(a)E Plane 상의 PBG 구조 (b)H Plane 상의 PBG 구조

그림 4. 패치 안테나의 이득 향상을 위한 PBG 구조



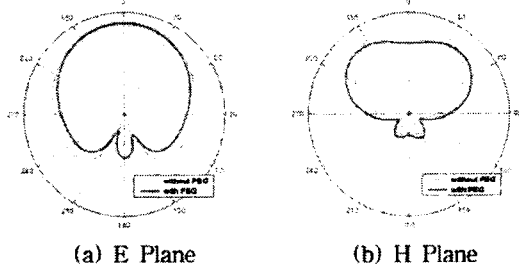
(a) E Plane



(b) H Plane

그림 5. 패치 안테나 주위의 PBG 구조 유무에 따른 반사손실

그림 6(a)와 (b)는 각각 그림 4를 바탕으로 PBG 구조의 유무에 따른 E Plane과 H Plane에서의 Co-pol 방사 패턴이다. 표 1에서는 그림 6에 대한 구체적 방사특성을 요약, 정리하였다. PBG 구조가 E Plane상에 있을 경우에는 없을 경우에 비해서 이득 관련 특성이 상당히 개선되었으나 H Plane 상에 있을 경우에는 좋은 결과를 얻지 못했다.



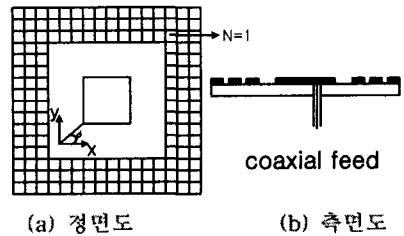
(a) E Plane (b) H Plane
그림 6. 그림 4에 대한 방사 패턴 (Co-pol)

표 1. 그림 6의 방사 특성

구분	Gain [dB]		3 dB Beamwidth [deg]		Front-back ratio [dB]	
	without PBG	with PBG	without PBG	with PBG	without PBG	with PBG
H Plane	5.2	3.1	89.6	140.8	13.8	9.4
E Plane	5.0	5.7	98.7	77.6	15.3	20.1

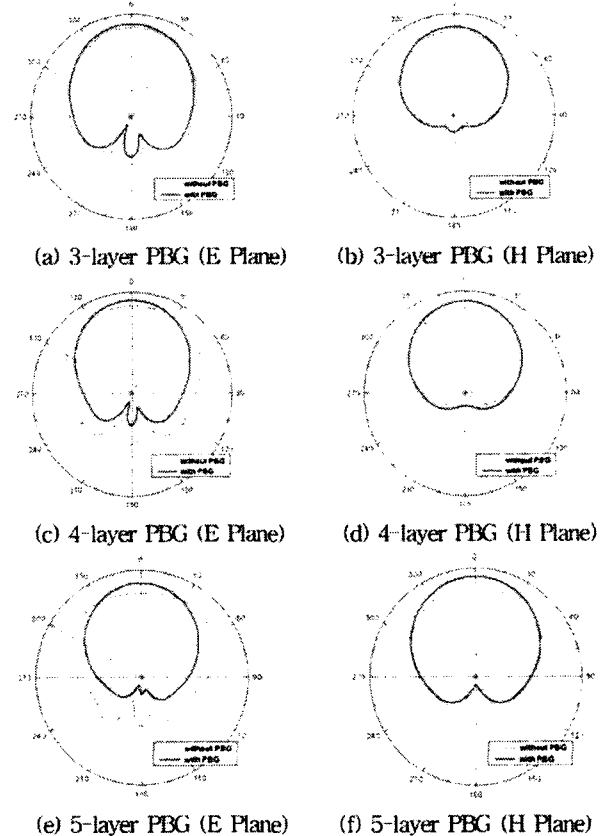
II-3. PBG 격자 증가에 따른 방사패턴

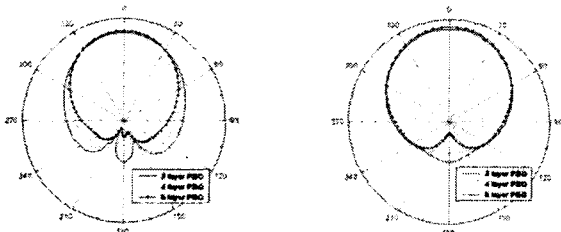
그림 7은 패치 안테나 주변에 PBG 구조를 둘러쌓아줌으로써 표면으로 타고 흐르는 표면파를 저지하기 위한 구조이다. 패치 안테나의 크기는 그림 4와 같이 $36 \times 36 \text{mm}^2$ 이고, 이 안테나는 PCS 대역 1.78 GHz 로 설계된 것이다. 패치 안테나와 PBG 구조 간의 간격은 S_{11} 이 교란받지 않을 정도의 거리인 15mm 이며 동축 케이블로 그림 7(b)와 같이 급전하였다.



(a) 평면도 (b) 측면도
 $a = 15 \text{ mm}, g = 0.19 \text{ mm}, d = 1.6 \text{ mm}, \epsilon_r = 4.7$
그림 7. 패치 안테나의 표면과 저지를 위한 구조

그림 8은 그림 7과 같은 구조에서 패치 안테나 주변에 PBG layer를 증가(N=3, 4, 5)시켰을 때 각각의 경우에 따른 방사패턴을 나타낸 그림이다. 그림 8(a), (b), (c), (d), (e), (f)의 경우 PBG layer가 있는 경우와 없는 경우의 Co-pol을 비교했으며 (g), (h)의 경우 PBG layer 증가에 따른 방사패턴을 비교하였다. PBG layer가 증가할 수록 E Plane에서의 이득과 전후방비가 PBG layer가 없을 때에 비하여 증가함을 알 수 있다. 표 2는 PBG layer 증가에 따른 E, H Plane의 이득, 3 dB 대역폭, 전후방비를 나타낸 것이다. 이 표에서 보면, PBG layer가 증가할수록 3 dB 대역폭은 좁아지고 이득이 증가하는 것을 볼 수 있다. 반면 PBG가 없는 경우에는 3 dB 대역폭이 매우 넓으며 이득은 PBG가 있는 것에 비해 작은 것을 확인할 수 있다.





(g) E Plane
E Plane($\phi = 0^\circ$)
(h) H Plane
H Plane($\phi = 90^\circ$)
그림 8. PBG layer 증가에 따른 방사패턴 (Co-pol)

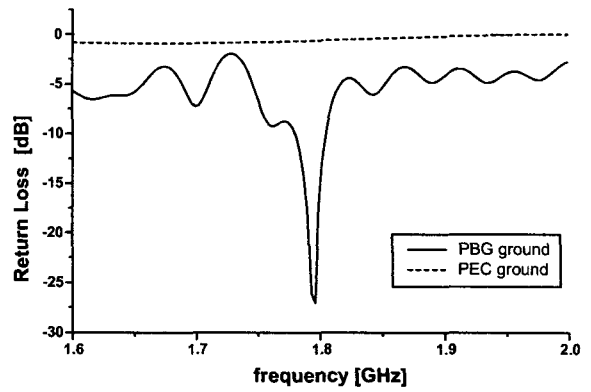


그림 10. 표면 종류에 따른 wire 안테나의 반사손실

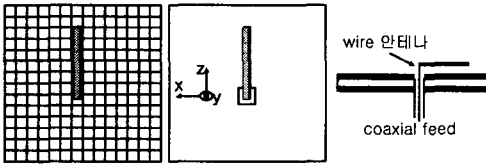
표 2. 그림 8의 방사 특성

PBG layer	Plane	Gain [dB]		3 dB Beamwidth [deg]		Front-back ratio [dB]	
		without PBG	with PBG	without PBG	with PBG	without PBG	with PBG
3	E	5.4	6.5	76.8	68.3	15.5	19.4
	H	5.4	6.5	84.0	73.1	15.5	19.4
4	E	5.0	7.1	105.6	61.7	10.8	23.1
	H	5.0	7.1	86.9	69.8	10.8	24.1
5	E	4.8	7.4	126.0	57.8	13.5	30.5
	H	4.8	7.4	104.3	69.3	14.0	30.6

III. 결 론

본 논문에서는 EM 시뮬레이터를 이용하여 PCS 대역을 저지하는 PBG 구조를 설계했으며 설계된 PBG 구조를 이용하여 패치 안테나의 방사패턴의 향상 여부를 시뮬레이션하였다. 패치 안테나 주변으로 PBG 격자를 증가시킬수록 이득이 향상되는 결과를 보였으며 PBG 구조를 표면으로 이용할 때 wire 안테나의 반사손실 특성이 향상되는 것을 확인했다.

II-3. PBG 구조를 이용한 접지면



(a) PBG 접지면 (b) PEC 접지면 (c) 측면도
그림 9. 두 가지의 다른 표면에서의 wire 안테나

그림 9(a), (b)는 각각 wire 안테나의 표면으로 PBG, PEC일 경우의 반사손실을 알아보기 위한 구조이며, (c)는 이러한 구조의 측면을 보여준다. wire 안테나는 표면과 평행하게 놓여져 있으며 표면으로부터 3mm 위에 있다. 안테나의 길이는 PCS 주파수 대역의 중간 주파수인 1.81 GHz에서의 $\lambda/4$ 인 약 40 mm로 설정하였다. 설계된 PBG 구조는 $a = 15 \text{ mm}$, $g = 0.19 \text{ mm}$, $d = 1.6 \text{ mm}$, $\epsilon_r = 4.7$ 이며 표면의 크기는 $166.9 \times 166.9 \text{ mm}^2$ 이다. 그림 10은 그림 9의 두 가지 표면 종류에 따른 wire 안테나의 반사손실을 보여준다. PBG 표면일 때는 1.795 GHz에서 공진하며, PEC 일 때는 모든 주파수에서 반사되는 것을 볼 수 있다. 이는 PEC 표면인 경우 반사계수가 -1 이어서 방사전계가 상쇄되기 때문이며 PBG 표면인 경우는 특정 주파수 대역에서 PMC 표면에서와 같이 반사계수가 1에 유사하게 되기 때문인 것으로 판단된다[3].

[참고 문헌]

- [1] R.Zhang, D.G.Fang, K.L.Wu and W.X.Sheng "Study on the Elimination of Surface Wave by Metal Fence". Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetics CEEM 2000, Shanghai, China, May 3-7, 2000
- [2] Woonphil Kim, Bomson Lee, "Modelling and design of 2D U-C PBG structure using transmission line theory" Antennas and Propagation Society International Sym, 2002, IEEE, Vol. 3, June, 2002
- [3] Dan Sievenpiper, Lijun Zhang, Romulo F. Jimenez Broas, Nicholas G. Alexopolous, and Eli Yablonovitch, "High Impedance Electromagnetic Surface with a forbidden frequency band" IEEE Trans. Microwave theory Tech. Vol.47, NO. 11, pp. 2050 -2074, Nov. 1999.
- [4] Robert E. Collin, Foundations For Microwave Engineering, McGraw-Hill, Inc.1992
- [5] 기철식, 박익모, 한해욱, 이정일, 임한조, "포토닉 밴드갭 구조를 이용한 두껍고 유전상수가 높은 패치 안테나의 성능 향상", 한국 전자파학회 논문집, Vol. 13, No. 1, pp. 1-5, Jan. 2002
- [6] Constantine A. Balanis. Antenna Theory, Jone Wiley & Sons, INC.1997