

EBG 구조를 이용한 마이크로스트립 안테나의 성능 향상에 관한 연구

윤 성 현*^o

Study on Performance Enhancement of Microstrip Antenna Using EBG Structure

Sung-Hyun Yoon*^o

요 약

본 연구에서는 마이크로스트립 패치 안테나의 접지 면으로 버섯 형태 EBG(Electromagnetic Band Gap)를 사용할 경우의 근거리 장(near field) 원거리 장(far field) 방사 지향성(radiation directivity)의 영향을 연구하였다. 버섯 모양 EBG의 분산 곡선 특성을 이용하여 주어진 버섯모양 EBG의 금지대역(band gap) 2.36-2.85[GHz]를 계산하고, 금지대역 영역에 속하는 주파수로 동작하는 2-층의 버섯 형태 EBG 마이크로스트립 안테나(2.45GHz)를 설계하였다. EBG를 접지 면으로 사용한 마이크로스트립 안테나의 성능향상을 확인하기 위하여 PEC(Perfect Electric Conductor)를 접지 면으로 사용한 동일한 안테나 경우와 성능차이를 비교하였다. EBG를 사용할 경우 유전체와 도체의 경계면에서 발생하는 표면파(Surface Wave)를 효과적으로 억제하여 지향성이 약 2.74dB 정도 향상된 것을 알 수 있었다.

Key Words : EBG, dispersion diagram, surface wave, radiation directivity, FBR

ABSTRACT

In this study, the influence of the near field, far field and radiation directivity of microstrip patch antenna when is used mushroom EBG(Electromagnetic Band Gap) as ground is investigated. Using characteristic of dispersion diagram of mushroom EBG, we calculated forbidden band(2.36GHz-2.85GHz) given mushroom type EBG microstrip antenna(2.45GHz) having 2-layer EBG that is operating within forbidden band. In order to conform performance enhancement of antenna using EBG ground, we have compared with the antenna using PEC(Perfect Electric Conductor) ground. We could know about 2.74dB increment of the radiation directivity, because EBG can suppress surface wave that is generated at interfaces of the dielectrics-conductor.

I. 서 론

이동통신 및 휴대 무선통신 기기의 활성화에 따라 안테나의 소형화 및 고기능화가 중요한 연구 주제가 되고 있으며, 이를 위하여 여러 가지 새로운 구조의

안테나 설계 방안이 제안 되어 왔다^{1,2}. 특히 이 중에서 각광을 받고 있는 분야는 메타 물질(Meta material)인 다양한 형태의 EBG(Electromagnetic Band Gap) 및 고 임피던스 표면(High Impedance Surface)HIS를 갖는 안테나 구조이다. 안테나는 이득

* 본 논문은 2013년도 제 5단계 BB21 사업에 의해 연구되었음

^o First Author and Corresponding Author : 경남정보대학교 정보통신계열, yoon1@eagle.kit.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2013-11-486, 접수일자 : 2013년 11월 8일, 심사일자 : 2013년 12월 30일, 최종논문접수일자 : 2014년 1월 6일

및 반사, 차폐 등의 목적으로 다양한 구조의 금속 접지판을 사용하고 있다. 그러나 이러한 금속체는 표면파의 생성으로 인한 축엽의 생성과 이득을 저하시키는 문제점을 가지고 있으며, 또한 안테나의 크기를 크게 하기 때문에 소형화 및 높이가 낮은(low profile) 구조와 평면 정합(conformal) 구조에 장애를 된다.

본 연구에서는 마이크로스트립 패치 안테나를 제작 시 접지판을 기존의 금속 접지판을 사용하는 대신에 2-층의 버섯 모양의 EBG를 사용하여 안테나의 성능 향상 정도를 분석하여 향후 안테나 설계 및 제작에 활용 방안을 제시하고자한다.

II. 버섯 형태 EBG 구조 및 특성

금속 도체 판을 안테나의 반사판 및 접지 면으로 사용할 경우, 역 위상의 반사파를 발생시키고, 또한 표면파(Surface wave)를 발생시켜서 안테나의 성능을 저하시킨다. 따라서 안테나를 접지 면에 보다 근접시켜서 높이를 낮추면서도, 다른 소자에 방해를 주지 않고, 보다 소형화를 이루고, 보다 효율적인 안테나 개발을 위하여, 마이크로 파 및 밀리미터 파 영역에서 메타물질(Meta material) 특성을 보이는 EBG(Electromagnetic Band Gap) 및 HIS(High Impedance Surface)를 사용

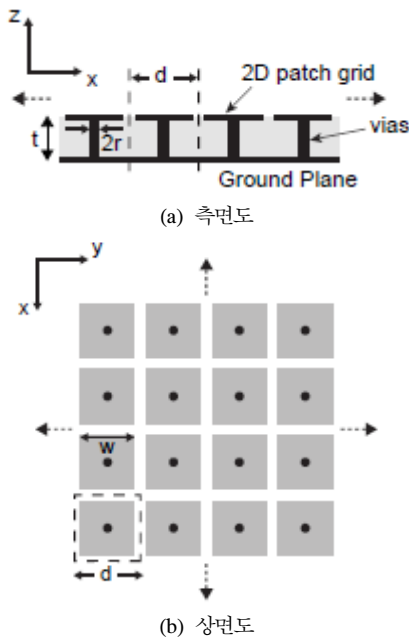


그림 1. EBG 구조의 형태 (a)측면도 (b)상면도
Fig. 1. Geometry of EBG structure (a) side view (b) top view

하는 안테나가 각광을 받고 있다^[2].

EBG 구조의 가장 기본적인 구조는 그림 1과 같이 도체 접지 면을 가지는 유전체 위에 사각형 도체 패치를 에칭한 형태인데, Sievenpiper 구조 혹은 버섯(mushroom) 형태 구조라고 한다^[3].

각 패치는 중심에 via를 사용하여 접지 면과 연결하는데, 이것은 병렬 인덕터를 만들기 위한 것이다. 또한 각 패치는 기판의 평면위에 2차원적으로 주기적으로 배열하는데, 직렬 커패시터를 만들기 위하여 유전체 간격을 유지하면서 배열 시킨다. 따라서 이러한 구조물은 그림 2와 같이 LC 병렬 공진회로 나타낼 수 있다.

이러한 모델의 표면 임피던스 및 공진 주파수는 식 (1)(2)와 같이 표현된다. 즉, 저주파에서는 유도성이고 고주파에서는 용량성이라는 것을 알 수 있다^[4].

$$Z_s = \frac{jwL}{1 - w^2LC} \quad (1)$$

$$w_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2)$$

EBG의 주기적인 배열 중, 하나의 단위 구조물의 분산 곡선(Dispersion Diagram)을 조사함으로써 어떤 특정 주파수 범위에서 표면파의 전파를 금지시키는 금지 대역(Band Gap)이 존재함을 알 수 있다^[5].

이러한 표면파 금지 대역 존재는 표면파의 복사를 억제하여, 배열 안테나에서 상호 결합을 최소화하는데도 매우 효과적인 것으로 알려져 있다. 또한 금속면에서 반사되는 파의 위상은 역 위상($\phi = -180^\circ$)으로 반사되어 그림 3과 같이 접지면 위에 근접되게 안테나를 설치하면 접지 면에서의 반사파 위상과 안테나에서의 복사 파 위상이 서로 역 위상이 되므로 상쇄되어 복사 효율이 나빠진다. 이것은 등가적으로 안테나의 전류와 접지 도체면 에서 영상 전류가 반대 방향으로 상쇄시켜 방사 효율이 떨어지는 결과를 발생시키는 것이다. 이 문제를 해결하기 위하여 안테나를 접지 면에서 $\lambda/4$ 정도의 간격으로 위치시키면 되지만, 안테

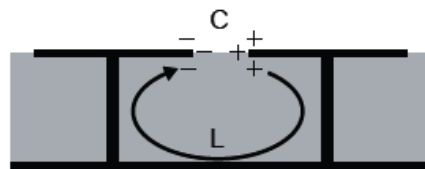


그림 2. EBG 등가 모델
Fig. 2. Equivalent model of EBG

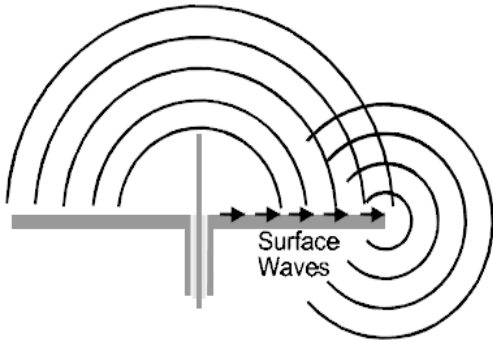


그림 3. 도체판 접지면 위에 놓여진 안테나
Fig. 3. Antenna on the conductor ground

나의 전체 크기가 커지는 단점이 있다.

도체 판의 또 다른 특성은 표면파를 발생시켜, 도체 면 과 자유공간의 경계면에서 전파시킨다는 것이다. 즉, 이 표면파는 마이크로파대 주파수에서 도체면 에서 AC 전류를 형성하므로, 안테나의 접지 면을 형성 하는 도체 판은 유한한 크기이므로 접지면의 끝부분 불연속면에서 그림 4와 같이 방사 파를 형성하고, 이것이 안테나에서 만들어내는 방사 파와 결합하여 지 향성을 떨어뜨린다. 더구나 표면파는 접지면 끝부분에서 복사하므로 접지면의 전방 및 후방 양방향으로 복 사하므로, 전력의 효율도 저하시킨다.

그러나 EBG 구조 체에서 반사되는 파는 위상이 $\phi = 0^\circ$ 의 위상으로 반사하는 주파수가 존재하고, 동위 상 ($|\phi| \leq 90^\circ$)으로 반사되는 특정 주파수 대역폭이 존재한다.

이러한 대역폭을 동위상 반사 대역폭이라 하고, 또

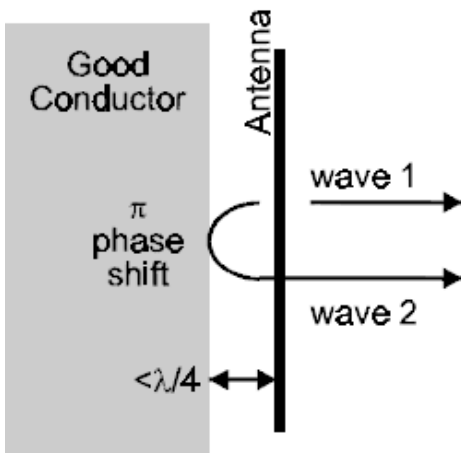


그림 4. 완전 도체면 끝에서 복사되는 표면파
Fig. 4. Surface waves radiating at PEC surface edges

는 AMC(Artificial Magnetic Conductor)라고도 부른다. 따라서 EBG의 AMC 특성을 이용하면 그림 5와 같이 안테나를 EBG 표면에 근접시켜도, 안테나에서 복사되는 전파와 EBG 면에서 복사된 전파가 동위상으로 합성되어 안테나의 복사 효율이 증가한다.

또한 EBG 구조 체는 표면파의 전파를 억제하는 금지 대역이 존재한다. 금지대역의 주파수 신호를 사용할 경우 EBG 표면에 유도된 전류는 흐르지 못하고 표면에 분포된 상태로 존재하므로 그림 6과같이 접지면 후방으로 복사되는 전파가 감소하여 안테나 효율이 좋아진다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 2.45 [GHz]에서 동작하는 Bluetooth 용 마이크로스트립 안테나를, 접지 면으로 도체면(PEC)을 사용한 경우와 Mushroom 형태의 EBG를 사용한 경우의 안테나 성능을 비교하여 분석하고자 한다.

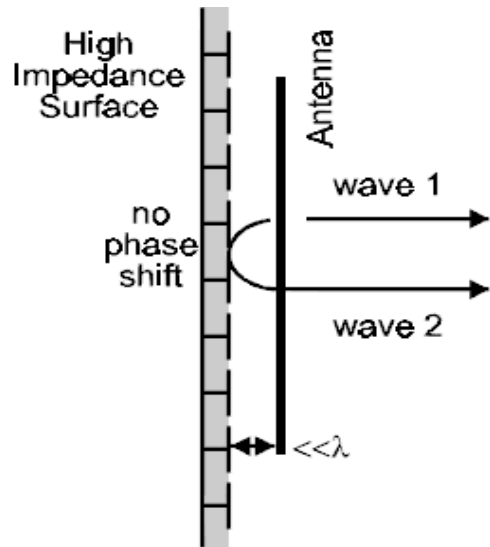


그림 5. EBG 표면에 근접된 안테나
Fig. 5. Antenna at closed EBG surface

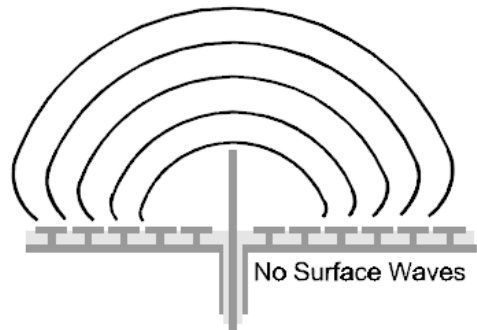


그림 6. EBG 표면에서 표면파 억제
Fig. 6. Surface suppression on EBG surface

III. EBG 구조의 설계

본 연구에서는 Bluetooth용 안테나의 동작 주파수 2.45[GHz]가 EBG의 Band Gap 주파수 대역폭에 포함되는 EBG 구조물을 설계하여, 접지 면으로 사용한 안테나의 성능 개선 정도를 해석하고자한다. EBG의 금지밴드는 유전율, 도체 패치의 크기 및 간격에 의해서 결정된다. 본 연구에서 사용되는 EBG 구조는 그림 1과 같은 버섯 형태를 사용하고, 사용 기판은 FR4 ($\epsilon_r = 4.4$, $t = 1.6mm$) 테프론을 사용한다.

Bluetooth용 운용 주파수 2.45[GHz]는, 식(3) -식(6)를 이용하여 버섯형태 EBG 단위 셀(unit cell)의 제원을 구할 수 있다.

$$L = \mu_0 \times t \quad (3)$$

$$C = \frac{W\epsilon_0(1+\epsilon_r)}{\pi} \cosh^{-1}\left(\frac{2W+g}{g}\right) \quad (4)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (5)$$

$$BW = \frac{\Delta w}{w_0} = \frac{1}{\eta} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (6)$$

여기서 L 는 등가 인덕턴스, μ_0 는 자유공간에서의 투자율, t 는 유전체 두께, C 는 등가 커패시터, W 는 금속 패치의 폭, g 는 금속 패치 사이의 간격, w_0 는 공진 각 주파수, η 는 자유공간의 고유 임피던스를 의미한다. 본 연구에서는 EBG의 단위 셀의 근사적 제원을 상기 식을 이용하여 계산 후 CST MWS의 eigen mode solver를 이용하여 계산하였다.

IV. EBG 구조의 분산 특성 해석

버섯 형태 EBG의 금지 대역을 해석하기 위하여 한 개의 단위 셀의 특성을 해석하면, 전체 주기적인 구조의 전자기적 성질을 해석할 수 있다. 본 연구에서 사용된 단위 셀의 제원은 $t = 1.6mm$, $d = 16mm$, $r = 0.6mm$, $\epsilon_r = 4.4$, $W = 15.1mm$ 로 하였다.

이러한 제원의 EBG에 대한 분산 곡선($k-f$, Dispersion Diagram)을 얻기 위하여, 본 연구에서는 그림 7과 같이 단일 EBG의 두 측면에는 PBC(Periodic Boundary Condition)경계조건, 아랫면은 전계벽(Electric Wall), 윗면에는 공기층을 기판두께

의 약 20배 정도의 높이를 설정한 후 전계벽(Electric Wall) 경계조건을 적용하여 CST의 Eigenmode solver를 이용한다⁶⁾. 고유모드의 해석 시 대칭성에 의하여 Brillouin zone의 $\Gamma \rightarrow X$ 의 해석 모드만을 고려하였다. 즉, $(kd)_y = 0$ 로 고정시키고, 전파 방향에 따른 위상의 변이 $0 \leq (kd)_x \leq \pi$ 를 고려하였다. 그림 8은 이러한 방법을 이용하여 계산된 단위 셀의 분산곡선을 보인 것이다. 그림에서 버섯 형태의 EBG는 관심의 주파수 영역에서 기본 모드인 TM0, TE, TM1, TM2 등 4개 표면파가 존재한다⁷⁾.

즉, 기본모드인 TM0 모드의 차단 주파수인 2.36[GHz]에서 시작하여, TE모드가 light line을 통과하는 주파수 2.85[GHz] 까지가 금지 대역이 되어 대역폭이 0.49[GHz]가 된다.

본 연구에서는 이러한 금지 대역을 가지는 EBG 구조물을 마이크로스트립 안테나의 접지 면으로 사용할

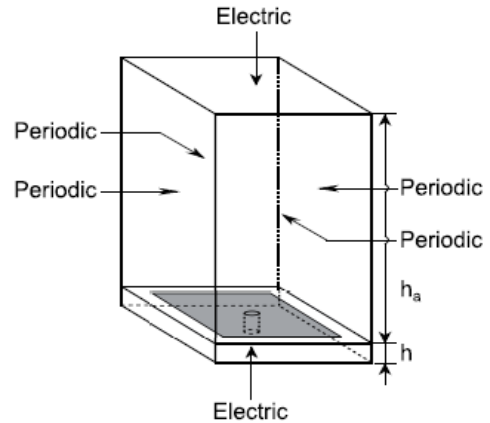


그림 7. 분산 곡선 계산을 위한 단위 셀 설정
Fig. 7. Unit cell setup for dispersion diagram computation

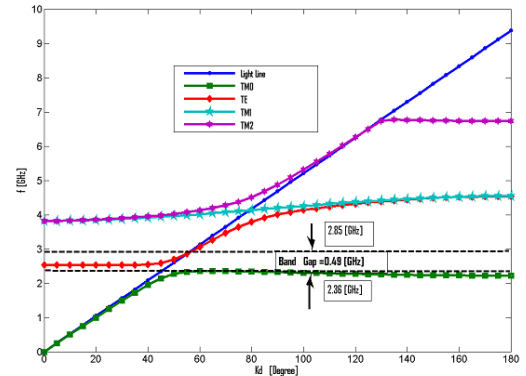


그림 8. $d=16mm$, $W=15.1mm$ 일 때의 EBG의 분산곡선
Fig. 8. EBG dispersion diagram when $d=16mm$, $W=15.1mm$

경우의 안테나의 이득 및 지향성의 성능 개선 정도를 확인하기 위하여, EBG 구조물의 금지 대역 속에 존재하는 2.45[GHz] Bluetooth 용 구형 마이크로스트립 안테나를 기존의 도체판(PEC)을 접지면으로 사용한 동일한 제원의 마이크로스트립 안테나와 비교하였다.

V. 안테나 시뮬레이션 결과 분석 및 검토

그림 9는 PEC를 접지면으로 사용한 경우와 2개 층의 EBG를 접지면으로 사용한 2.45[GHz]용 구형 마이크로스트립 안테나의 구조를 보인 것이다. 두 안테나의 성능 비교를 위하여 동일한 안테나 파라미터를 사용하였다. 즉, 동일한 FR4를 사용한, 기판의 높이, 기판의 크기, 안테나 패치 크기를 사용하였다. 그러나 급전점의 위치는 EBG를 사용한 경우 EBG에서 반사되어 안테나 패치로 오는 표면파의 영향에 의해서 패치에서 분포되는 전계, 자체가 도체를 접지면으로 사용한 안테나와 다르기 때문에 임피던스 정합을 위하여 4.5mm에서 3.5mm로 위치를 변경시켰다. 그림 10은 각각의 경우 S11을 보인 것인데, 공진 주파수는 변함이 없고, 10dB 대역폭이 EBG인 경우가 약간 감소한 것으로 보인다.

그림 11과 12는 각각의 경우 2.45GHz에서의 지향성 복사 패턴을 보인 것인데, $D=6.77\text{dBi}$, $D=9.51\text{dBi}$ 로서 약 2.74dB의 지향성이 개선된 것으로 계산되었다. 이것은 도체를 접지면으로 사용하는 경우 그림4와 같이 기판 끝에서 표면파가 복사를 하여 손실로 작용하지만, EBG를 사용하는 경우 그림5와 같이 표면파의 억제에 의하여 안테나에서 복사하기 때문이라고 사료된다.

그림13은 2.45GHz에서 PEC와 EBG 표면에서의 전계와 자계의 near-field를 보인 것인데, EBG 인 경

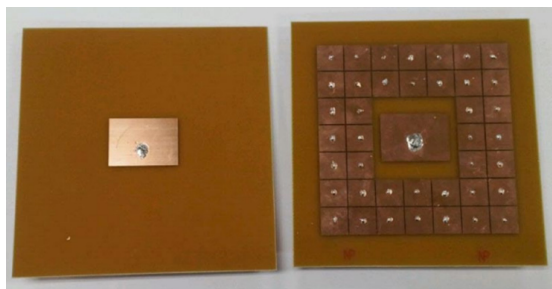


그림 9. 제작된 동축케이블 급전 마이크로스트립 안테나 (a) PEC 안테나 (b)EBG 안테나
Fig. 9. Fabricated coaxial feeder microstrip antenna (a) PEC antenna (b) EBG antenna

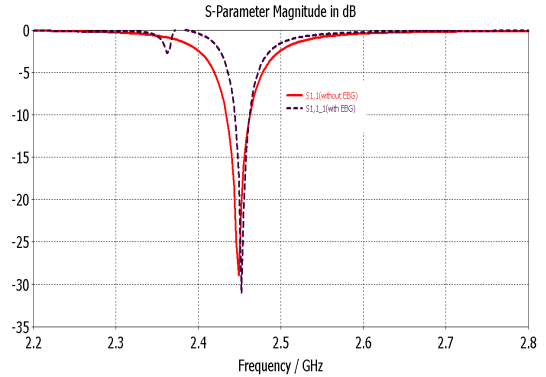


그림 10. PEC 및 EBG 안테나의 S11의 비교
Fig. 10. Comparison S11 of the PEC and EBG antenna

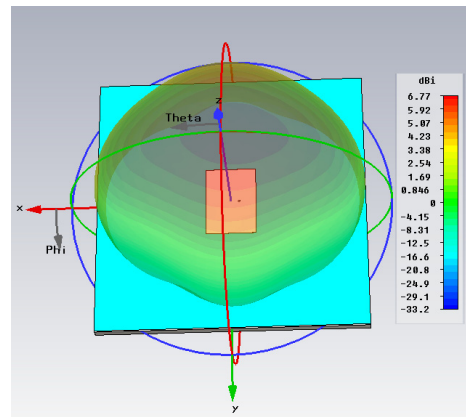


그림 11. PEC 안테나의 복사패턴
Fig. 11. Radiation pattern of PEC antenna

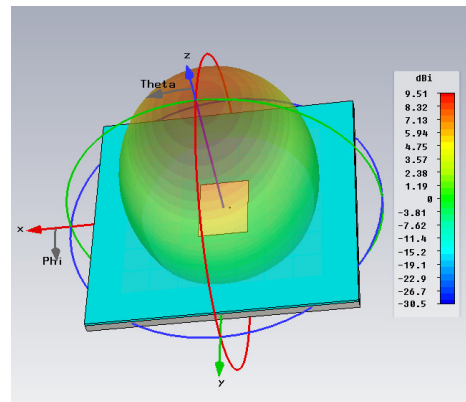


그림 12. EBG를 사용한 경우의 복사패턴
Fig. 12. Radiation pattern of EBG antenna

우 최대 14,496.7V/m, 52.6A/m인 반면, PEC 인 경우 최대 14,272.4V/m, 39.4A/m 이었다. 이러한 차이는 PEC인 경우 패치와 유전체의 경계면에서 발생된 표면파가 안테나의 경계면 끝까지 전파되고, 그 지점에

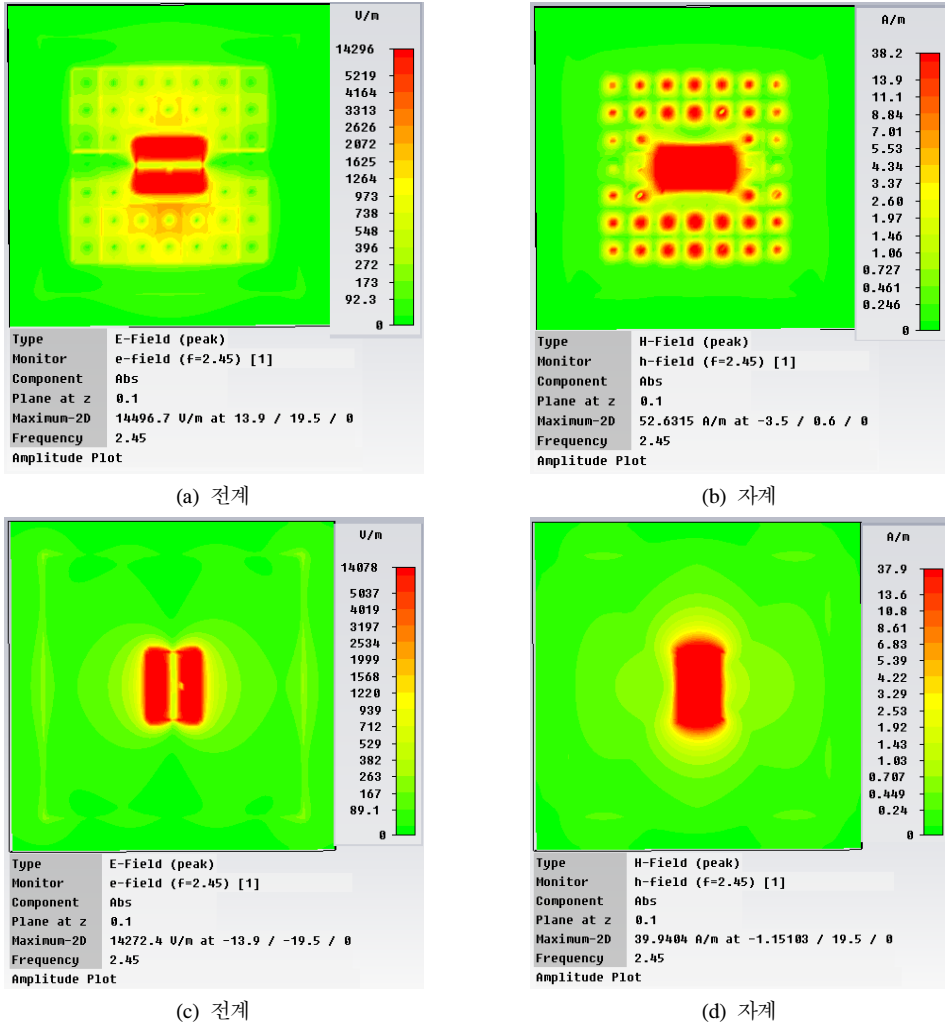


그림 13. 반사판에서의 근접 필드 분포 (a) (b) EBG 반사체 E-field 와 H-field, (c) (d) PEC 반사체 E-field 와 H-field
 Fig. 13. Near-field distribution on reflector (a) (b)E-field and H-field at EBG reflector, (c)(d)E-field and H-field at PEC reflector

서 안테나의 전후방으로 복사되어 전력 손실이 발생하기 때문이다. 그러나 EBG를 사용하는 경우 사용 주파수가 EBG의 금지 대역 내에 존재하므로 표면파가 안테나 끝까지 전파되지 않고 안테나 패치로 되돌아오기 때문이다.

이때, 안테나 패치에 존재하는 전자파와 표면파 사이의 동위상 간섭을 위하여 안테나와 EBG 사이의 간격에 반 파장이 되도록 선택해야한다.

그림 14는 EBG와 PEC를 접지면으로 사용한 경우의 E-plane에서의 E_{θ} 성분의 지향성을 보인 것인데, $\theta = 0^{\circ}$ 에서 지향성이 6.77dBi에서 9.51dBi로 약 2.74dB 증가했고, 3dB 대역폭은 약 117도에서 약 54도로 감소하였다. 그러나 side level이 -10.8dB에서

-20.7dB로 감소하였다. 그림15는 H-plane에서 E_{ϕ} 성분의 지향성을 보인 것이다. 그림에서 EBG인 경우 main lobe의 크기는 0.5dBi, 3dB 대역폭 72도, 측파대 레벨 -20.7dB인 반면, PEC인 경우, main lobe 크기 6.8dBi, 3dB 대역폭 85.9도, 측파대 레벨 -14.5dB였다. 따라서 EBG를 사용할 경우 표면파의 억제에 의해서 마이크로스트립 안테나의 성능이 개선된다는 것을 알 수 있다. 특히 H-plane에서의 성능 개선이 더 뚜렷하다는 것을 알 수 있다.

그림 16은 PEC를 접지면으로 사용할 경우의 E-Plane과 H-Plane에서의 co-polarization과 cross-polarization를 보인 것인데, 측정대상의 접지면이 patch의 크기에 비하여 크기 때문에

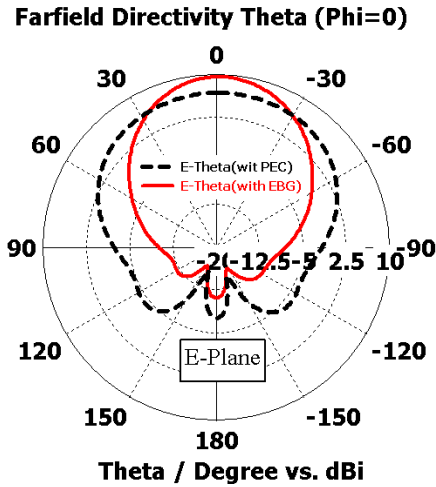


그림 14. E-plane에서 EBG와 PEC에서의 E_{θ}
 Fig. 14. E_{θ} with EBG and PEC on E-plane

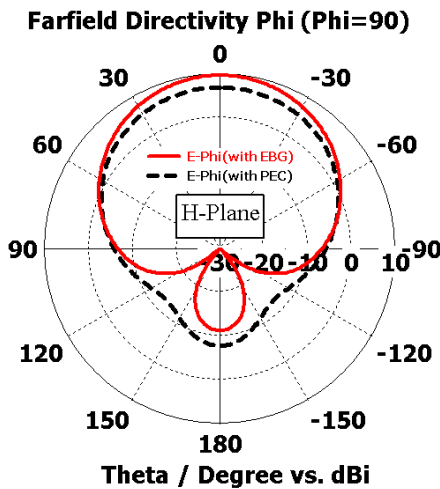
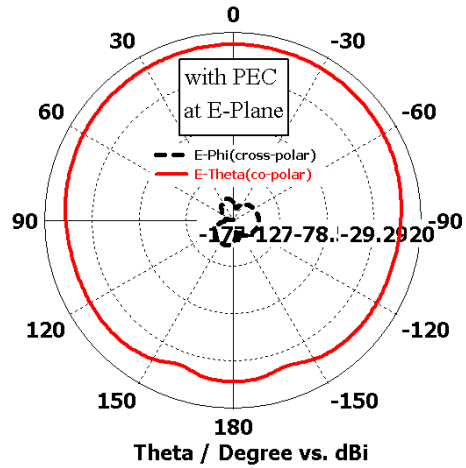


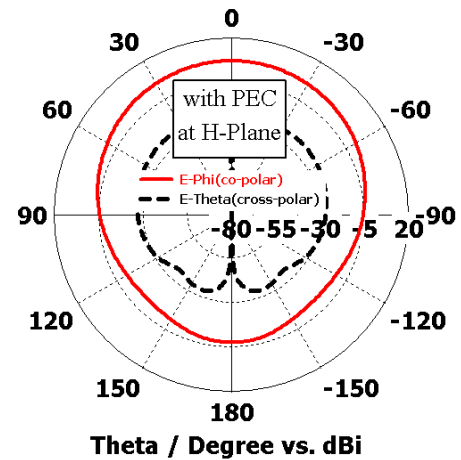
그림 15. H-plane에서 EBG와 PEC에서의 E_{ϕ}
 Fig. 15. E_{ϕ} with EBG and PEC on H-plane

cross-polarization level(XPL)이 비교적 작다는 것을 알 수 있다.

그림 16은 EBG를 접지면으로 사용한 경우의 E-Plane과 H-Plane에서의 co-polarization과 cross-polarization를 보인 것인데, XPL이 개선된 점을 발견하지 못했다. 본 연구에서는 EBG의 층을 2-layer로 하여 계산하였는데, EBG의 층을 증가 했을때 XPL이 개선된다는 것을 알 수 있었는데, 다음의 연구과제에 포함할 내용으로 하였다.



(a) co-polar



b) cross-polar

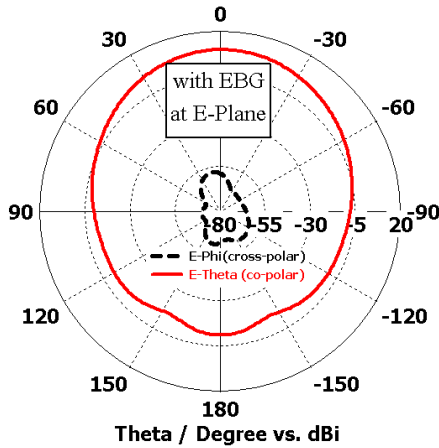
그림 16. PEC 접지면 사용시, a) co-polar, b) cross-polar 지향성 패턴
 Fig. 16. With PEC ground a) co-polar (b) cross-polar directive pattern

VI. 결 론

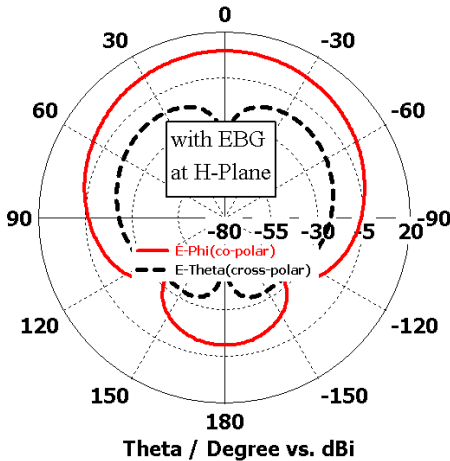
본 연구에서는 버섯 형태 EBG를 마이크로스트립 안테나에 적용하여 안테나의 성능 개선을 확인하고자 하였다.

즉, CST MWS의 Eigenmode Solver를 이용하여 설계된 EBG의 dispersion diagram을 이용하여 금지 대역 계산하고, 금지 대역속에 포함되는 구형 마이크로스트립 안테나를 2-layer의 EBG 셀을 이용하여 설계하였다.

설계된 안테나의 성능 개선 타당성을 확인하기 하



(a) co-polar



(b) cross-polar

그림 17. EBG를 접지면 사용시, a) co-polar, b) cross-polar 지향성 패턴
Fig. 17. With EBG ground a) co-polar (b) cross-polar directive pattern

기위하여, PEC를 접지면으로 사용한 동일한 제원의 마이크로스트립 안테나와 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론에 도달 하였다.

(1) 방사 패턴의 main lobe 방향이 EBG인 경우 -1도인 반면, PEC인 경우 -4도로서 EBG가 거의 대칭적으로 복사한다는 알 수 있었다.

(2) EBG 층 수에 따라서 다르지만, 본 연구에서 실행한 2-layer인 경우 복사 지향성이 6.77dBi에서 9.51dBi로 약2.74dB 증가하여 성능의 개선을 알 수 있었다.

(3) 전 후방비(FRB)를 복사방향의 ± 30 도 각도사이의 최대 복사 전력과 후방 ± 150 도 사이에서의

최대 복사 전력의 차이를 정의할 때에 PEC 인 경우 -10.8dB인 반면, EBG인 경우 -20.7dB로서 약 10dB 정도의 개선됨을 알 수 있었다. 향후의 연구 방향은 본 논문에서 연구한 결과를 이용하여, EBG 구조에서 PMC(Perfect Magnetic Material) 현상이 발생하는 주파수가 금지 대역에 포함될 때의 안테나의 주파수 특성 해석을 연구방향으로 하고 있다.

References

- [1] Korea Radio Promotion Association, "A study of applying method of the high impedance surface for performance enhancemen of antenna characteristic," *KIEES*, Jul. 2007.
- [2] D. R. Smith and N. Kroll, "Negative refractive index in left-handed materials," *Physical Review Lett.*, vol. 85, no. 14, 2000.
- [3] D. Sievenpiper, L. Zhang, R. Broas, N. Alexopoulos, and E. Yablonovitch, "High-impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band," *IEEE Trans. Microw. Theory and Techniques*, vol. 47, no. 11, pp. 2059-2074, Nov. 1999.
- [4] D. Sievenpiper, "High-impedance electromagnetic surfaces," PH.D. dissertation, Dept. elect. Eng. Univ. california at Los Angeles, CA, 1999. pp.434-436, Sept. 2004.
- [5] F. Elek and G. V. Eleftheriades, "Dispersion analysis of the shielded sievenpiper structure using multiconductor transmission-line theory," *IEEE Microw. and Wireless Components Lett.*, vol. 14, no. 9, pp. 434-436, Sept. 2004.
- [6] P. Kovacs and T. Urbanec, "Electromagnetic band gap structures: Practical tips and advice for antenna engineers," *Radio engineering*, vol. 21, no. 1, Apr. 2012.
- [7] R. Shahzad "Characterization of the reflection and dispersion properties of 'Mushroom'-Related Structures and Their Application to Antennas," MS.D, Dept. elect. And Comp Eng. Univ. Toronto, 2012.

윤 성 현 (Sung-Hyun Yoon)



1984년 2월 : 동아대학교 전자
공학과 졸업 (공학학사)

1986년 2월 : 동아 대학교 전자
공학과 졸업(공학석사)

1991년 2월 : 동아대학교 전자
공학과 졸업(공학박사)

1989년 9월~현재 : 경남정보대학
교 정보통신계열 교수

<관심분야> RF 및 안테나