

EBG(Electromagnetic Band-Gap) 접지면을 갖는 개선된 U-Slotted 패치 안테나의 설계

Design of Improved U-Slotted Patch Antennas with EBG Ground Plane

박 종 환 · 임 성 빈* · 최 학 근

Jong-Hwan Park · Seong-Bin Lim* · Hak-Keun Choi

요 약

이동 통신용 안테나로 PEC(Perfect Electric Conductor) 접지면을 갖는 U-slotted 패치 안테나가 널리 이용되고 있으나, 이동 통신 능력을 확대하기 위하여 대역폭의 개선이 요구되어 왔다. 본 논문에서는 대역폭을 확대하기 위하여 EBG(Electromagnetic Band-Gap) 접지면을 갖는 U-slotted 패치 안테나를 제안하고, 그 복사 특성을 고찰하였다. 본 논문에서 제안한 EBG 접지면을 갖는 U-slotted 패치 안테나의 대역폭이 개선됨을 보이기 위하여 EBG 와 PEC 접지면을 갖는 두 가지 형태의 U-slotted 패치 안테나를 설계 · 제작하고 복사 특성을 측정하였다. 측정 결과, EBG 접지면을 갖는 U-slotted 패치 안테나가 PEC 접지면을 갖는 안테나보다 대역폭이 넓은 것으로 확인되었다.

Abstract

Generally U-slotted patch antenna with PEC(Perfect Electric Conductor) ground plane is used for mobile telecommunication. However the improvement of the bandwidth is required to enlarge the capability of mobile telecommunication. In this paper, U-slotted patch antenna with EBG(Electromagnetic Band-Gap) ground plane is proposed to enlarge the bandwidth and its radiation characteristics are investigated. To conform the bandwidth improvement, two kinds of U-slotted patch antennas with EBG and PEC ground plane are designed, fabricated, and radiation characteristics are measured. It is shown that the proposed antenna is wider than U-slotted patch antenna with PEC ground plane in bandwidth.

Key words : EBG Ground Plane, PEC Ground Plane, U-Slotted Patch Antenna, Mobile Telecommunication

I. 서 론

최근 정보통신의 급성장으로 인해 무선 통신 서비스를 효율적으로 제공하기 위한 광대역 고속 통신의 역할이 중요시 되고 있다. 이러한 광대역 고속 통신의 발전을 위해서는 이동국 간 또는 이동국과 기지국 간의 원활한 신호 전송을 할 수 있는 광대역 소형 안테나의 개발이 필요하다.

이동 통신용 소형 안테나로서 마이크로스트립 패

치 안테나(microstrip patch antenna)는 제작이 용이하고, 소형화가 가능하여 널리 사용되고 있지만, 대역폭이 협소하다는 단점을 가지고 있기 때문에 이를 극복하기 위한 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 대역폭은 유전율이 낮은 기판과 기생 패치를 이용하여 개선할 수 있으며^[1], 이 외에 유전체의 두께 조절, 광대역 매칭 기법, 적층 구조와 슬롯 안테나 및 PEC (Perfect Electric Conductor) 접지면을 갖는 U-slotted 패치 안테나^[2] 구조를 이용하여 개선할 수 있다. 특

단국대학교 전자공학과(Dept. of Electronic Engineering, Dankook University)

*한국항공우주연구원(Korea Aerospace Research Institute)

· 논문 번호 : 20071026-120

· 수정완료일자 : 2008년 1월 25일

히, PEC 접지면을 갖는 U-slotted 패치 안테나는 다른 안테나에 비하여 비교적 넓은 대역 특성을 가지고 있지만, 이동 통신 능력을 극대화하기 위해서는 더 넓은 대역폭이 요구된다.

이를 위하여 본 논문에서는 PEC 접지면 대신에 EBG(Electromagnetic Band-Gap) 접지면을 갖는 U-slotted 패치 안테나를 설계하고 특성을 고찰한다. EBG 접지면은 메타머터리얼(metamaterial) 전송 선로 이론^[3]을 바탕으로 한 구조를 가지며, 이를 이용한 안테나는 동일한 크기의 다른 안테나에 비해 넓은 대역폭을 갖는다는 장점이 있다. 이외에 EBG 구조의 대역 저지 특성을 이용하여 마이크로스트립 패치 안테나 사이의 격리도를 향상시킬 수 있으며^[4], EBG 접지면의 표면파 억제 특성에 기인한 안테나의 사이드로브 감소와 이득의 향상을 가져옴으로써 복사효율을 높이는데 이용되기도 한다^[5]. EBG 접지면의 구조는 원형, 직사각형^[6,7], 육각형^[8] 등의 일반적인 형태에서 최근에는 프랙탈(fractal)^[9] 형태의 구조로도 설계되고 있다.

본 논문에서 제안하고 있는 안테나는 정사각형 형태의 EBG 접지면을 갖는 U-slotted 패치 안테나로서 프로브(probe)를 사용하여 급전한 직사각형의 패치에 U자 형태의 슬롯을 갖는 안테나 소자와 정사각형 패치와 비아(via)를 주기적으로 배열한 EBG 접지면을 기본 구조로 갖는다. 안테나의 설계는 접지면의 패치 길이, 패치 사이의 간격, 접지면과 안테나 소자 사이의 폼 높이 및 프로브 위치에 따른 안테나 특성을 도출하여 그것을 이용한다. 또한, EBG 접지면을 갖는 안테나의 성능을 평가하기 위하여 PEC 접지면을 갖는 안테나를 제작하고, 각각에 대한 측정 결과를 비교하여 나타낸다.

II. EBG 접지면의 구조

EBG 구조 중 마이크로파 대역에서 동작하는 대표적인 구조는 그림 1과 같이 도체판이 부착된 유전체 기판에 일정한 주기를 갖는 정사각형 패치와 접지면과 패치를 연결하는 비아(via)로 이루어져 있으며, 이러한 형태는 버섯과 비슷하다고 하여 mushroom 구조라고도 한다^[4]. EBG 구조는 평평한 접지면에 단위 셀을 주기적으로 배치한 고임피던스 표면

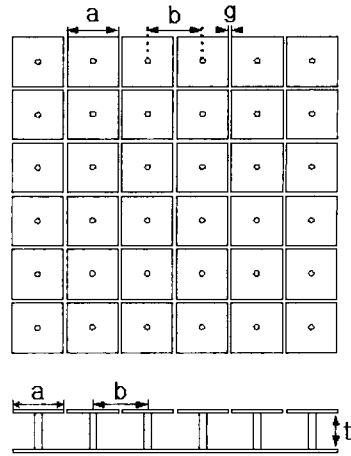


그림 1. EBG 접지면의 기하학적 구조
Fig. 1. Geometry of a EBG plane.

(HIS: High Impedance Surface)의 구조와 같은 형태로 표현할 수 있다. 이와 같은 형태를 갖는 구조에는 EBG 구조 외에, 인공 자기 도체(AMC: Artificial Magnetic Conductor) 구조와 광 밴드갭(PBG: Photonic Band-Gap) 구조 등이 있다^[4]. 고임피던스 표면 구조는 CST(Computer Simulation Technology)와 같은 상용 해석 툴을 사용하여 설계되며, 특히 EBG 구조는 고임피던스 표면의 구조 중 two layer 구조의 설계 근사식이 적용되고 있다^{[4],[8]}.

그림 1은 EBG 접지면의 기하학적 구조를 보여주고 있다. EBG 접지면의 구조는 정사각형의 패치가 배열된 형태로 각각의 패치는 접지면과 금속비어로 연결된다. 그림 1에서 a 는 정사각형 패치의 길이, b 는 단위 셀의 격자 상수, g 는 패치 간의 간격이며, t 는 유전체의 두께이다.

그림 2는 EBG 접지면 구조의 단위 셀과 등가회로를 나타낸다. 그림에서 커패시턴스(C)와 인덕턴스(L)은 EBG 구조와 관계하며, 다음과 같이 나타낼 수 있다^{[4],[8]}.

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

$$L = \mu t \quad (2)$$

여기서 ϵ_0 는 공기의 유전율, ϵ_r 은 유전체의 비유전율이며, μ 은 유전체의 투자율이다.

또한, 병렬 등가회로의 표면 임피던스(Z_s), 공진

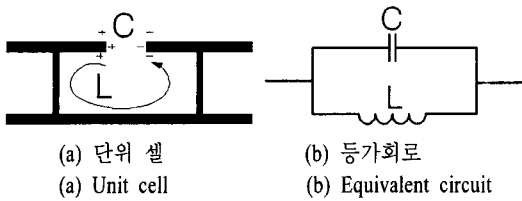


그림 2. EBG 접지면 등가회로
Fig. 2. Equivalent circuit of EBG ground plane.

주파수(ω_0)와 대역폭(BW)은 식 (1)과 (2)를 사용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다^{[4],[8]}.

$$Z_s = \frac{i\omega C}{1 - \omega^2 LC} \quad (3)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (4)$$

$$BW = \frac{\sqrt{LC}}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad (5)$$

여기서 μ_0 는 공기의 투자율이다.

III. 광대역 안테나의 구조 및 설계

그림 3은 설계된 EBG 접지면을 갖는 U-slotted 패치 안테나의 구조를 보여주고 있다. 이는 프로브를 사용하여 급전한 직사각형 패치에 U자 형태의 슬롯을 갖는 안테나의 소자와 정사각형 패치와 비아를 주기적으로 배열한 EBG 접지면을 기본 구조로 한다. 그림에서 접지면의 패치 길이 a , 패치 간의 간격 g , 접지면과 안테나 소자 사이의 폼(foam substrate) 높이 h 및 프로브 위치 probe_position 등을 변화시키면서 반사 손실을 계산하고, 그것을 설계에 이용하였다. 안테나 성능은 CST사의 MWS 2006B를 사용하여 계산하였다.

그림 3에서 U-slotted 패치 안테나는 참고문헌 [2]를 바탕으로 직사각형 패치의 폭(W) 110 mm, 직사각형 패치의 높이(H) 60 mm, U-slot의 폭(X_1) 16 mm, U-slot의 가로 두께(X_2) 7.5 mm, U-slot의 높이(Y_1) 48 mm, U-slot의 세로 두께(Y_2) 4.5 mm, 직사각형 패치와 U-slot의 간격(Y_3) 9 mm로 각각 결정하였다. EBG 접지면은 앞에서 언급한 EBG 접지면의 구조와 참고문헌 [4], [6]을 통해 근사값을 도출한 후, 해석 틀을 사용하여 패치의 길이(a), 패치간의

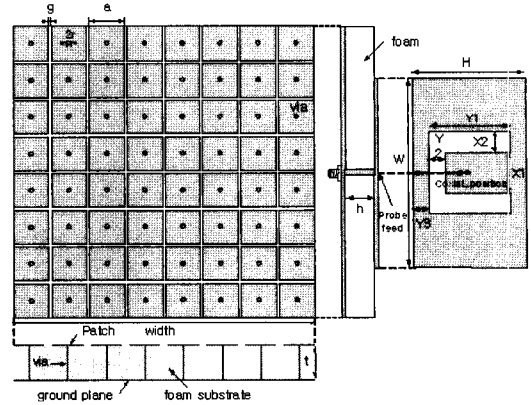
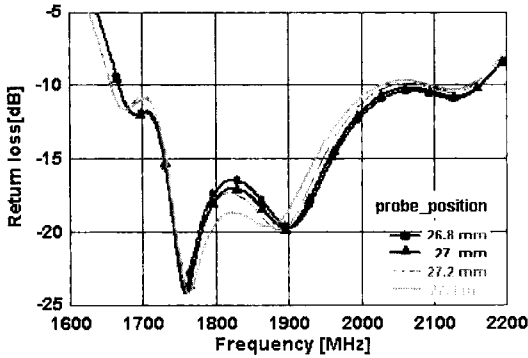


그림 3. EBG 접지면을 갖는 U-slotted 패치 안테나 구조

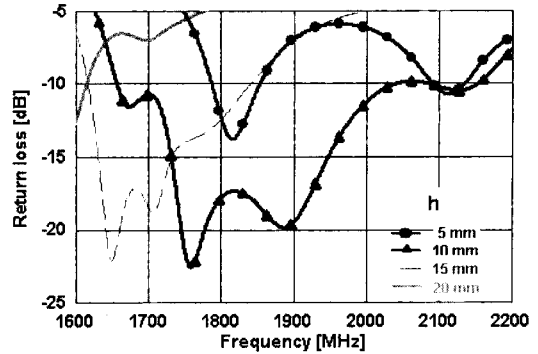
Fig. 3. Geometry of U-slotted patch antenna with EBG ground plane.

간격(g) 등을 결정하고, 접지면의 크기는 패치의 수에 따른 대역 저지 특성을 확인하여 결정하였다.

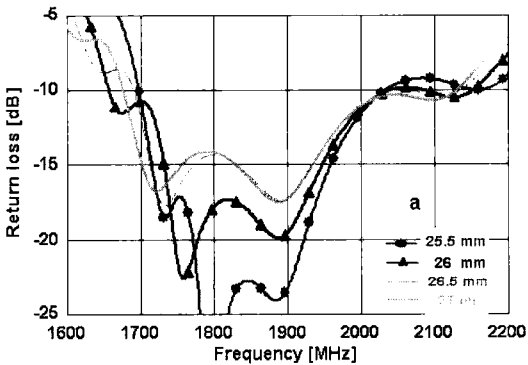
그림 4는 결정된 U-slotted 패치와 구조 파라미터의 변화에 따른 안테나의 반사 손실을 보여주고 있다. 그림 4의 반사 손실 계산에 사용된 구조 파라미터는 우선 참고문헌 [4], [6]을 바탕으로 근사적으로 구하고, 그 다음 시뮬레이션 틀을 이용하여 파라미터 중 하나만 변화시키고, 나머지는 고정시킨 상태에서 반사 손실을 계산하였다. 그림 4(a)는 $a=26$ mm, $g=2.5$ mm, $h=10$ mm로 고정한 후, probe_position에 변화에 따른 반사 손실을 보여주고 있다. 급전 위치가 26.8~27.4 mm 사이에서 비교적 양호한 특성을 갖는다. 그림 4(b)는 probe_position=27.2 mm, $a=26$ mm, $g=2.5$ mm로 고정한 후, 접지면과 복사체 사이의 폼 높이 h 의 변화에 따른 반사 손실을 보여주고 있다. 폼 높이 h 가 10 mm에서 비교적 양호한 특성을 갖는 것으로 알 수 있다. 계산에 사용된 폼은 ϵ_r 이 1.03인 스티로폼(styrofoam)이다. 그림 4(c)는 probe_position=27.2 mm, $h=10$ mm, $g=2.5$ mm로 고정한 후, 접지면에서 정사각형 패치 길이 a 의 변화에 따른 반사 손실을 보여주며, 그림 4(d)는 probe_position 및 h 의 값을 그림 4(c)와 동일하게 놓고 a 를 26 mm로 고정한 후, 접지면의 패치간 간격 g 의 변화에 따른 반사 손실을 보여주고 있다. 이들 파라미터는 안테나의 복사 소자에 큰 영향을 주는 주요 파라미터로서, 패치 길이 a 는 25.5~27 mm에서 패치간의



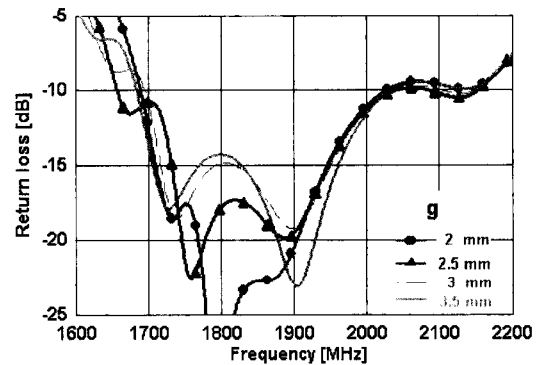
(a) 급전 위치
(a) Probe position



(b) 폼의 높이
(b) Height of foam



(c) 접지면의 패치 길이
(c) Patch length of ground plane



(d) 접지면의 패치 간의 간격
(d) Patch gap of ground plane

그림 4. 구조 파라미터에 따른 반사 손실

Fig. 4. Return loss according to the structural parameters.

간격 g 는 2~3.5 mm 사이에서 양호한 특성을 갖는다.

급전 위치, 접지면의 패치 길이, 패치간의 간격, 및 폼의 높이의 구조 파라미터를 변화시키면서 반사 손실을 확인한 후 가장 넓은 대역폭을 얻을 수 있는 파라미터들을 표 1과 같이 나타내었다.

그림 5는 최종 설계된 안테나의 계산된 VSWR을 보여주고 있다. 정재파 비가 2:1 이하인 영역에서 EBG 접지면을 갖는 안테나가 PEC 접지면을 갖는 안테나에 비하여 약 100 MHz의 넓은 대역폭을 가짐을 알 수 있다.

IV. 제작 및 측정 결과

그림 6은 제작된 EBG 접지면을 갖는 안테나의 사진을 보여준다. 그림 6(a)는 U-slotted 패치 안테나 소

표 1. 제작된 EBG 접지면의 파라미터

Table 1. Parameters of the fabricated EBG ground plane.

파라미터	크기
a	26 mm
g	2.5 mm
h	10 mm
Probe_position	27.2 mm
via의 반지름(r)	1 mm
ϵ_r	4.4
접지면 크기	225.5×225.5×1.67 mm

자를 폴리이미드(polyimide) 필름 기판으로 제작하여 10 mm 두께의 폼 위에 설치한 모습이며, 그림 6(b)는 제작된 EBG 접지면으로 FR-4($\epsilon_r=4.4, h=1.6$ mm)

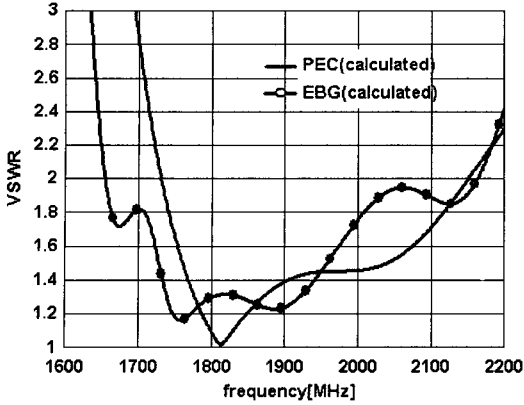


그림 5. 계산된 정재파비
Fig. 5. Calculated VSWR.

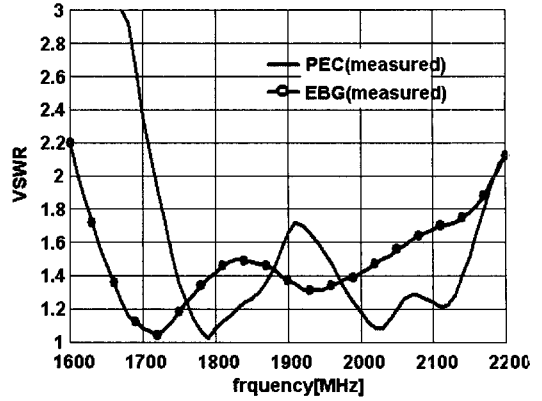
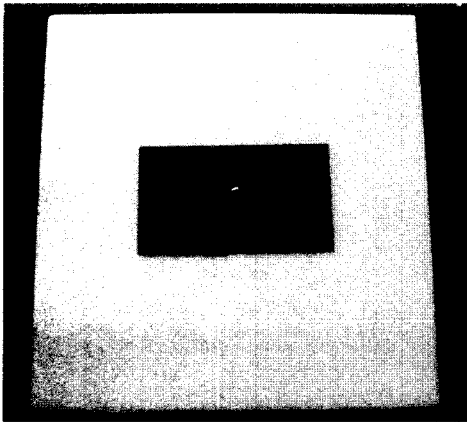


그림 7. 측정된 정재파비
Fig. 7. Measured VSWR.



(a) U-slotted 패치 안테나
(a) U-slotted patch antenna



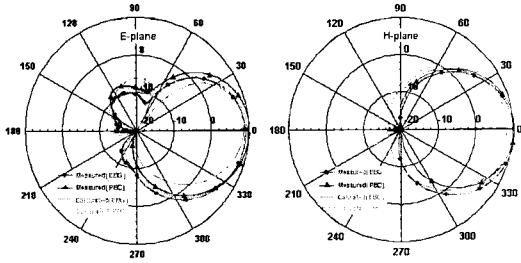
(b) EBG 접지면
(b) EBG ground plane

그림 6. 제작된 안테나
Fig. 6. Fabricated antenna.

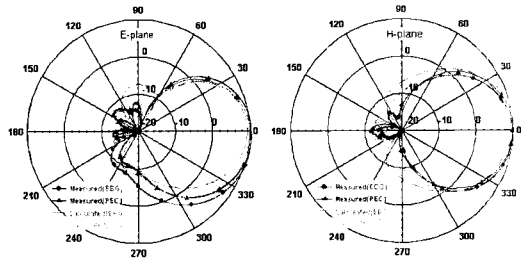
기판을 사용하였고, 직사각형 패치에 비아를 뚫어 아랫면의 기판에 접속하였다. 또한, 제안된 안테나와의 성능 비교를 위해 제작된 PEC 접지면을 갖는 안테나는 동일한 높이를 만들기 위해 접지면을 FR-4 양면 기판을 사용하였다.

그림 7은 제작된 PEC 접지면과 EBG 접지면을 갖는 안테나의 VSWR 측정 결과이다. 그림에서 VSWR이 2:1 이하인 영역은 PEC 접지면의 경우 주파수 범위 1,715~2,185 MHz이며, EBG 접지면의 경우 1,611~2,185 MHz 범위로 나타났으며, 계산된 VSWR과 비교하여 PEC와 EBG 접지면을 갖는 안테나 모두 약 50 MHz 정도의 대역폭이 증가한 것을 확인할 수 있다. 또한, 측정된 결과에서 EBG 접지면을 갖는 안테나의 VSWR은 PEC 접지면을 갖는 안테나보다 약 100 MHz 이상 대역폭이 확대되었음을 알 수 있다.

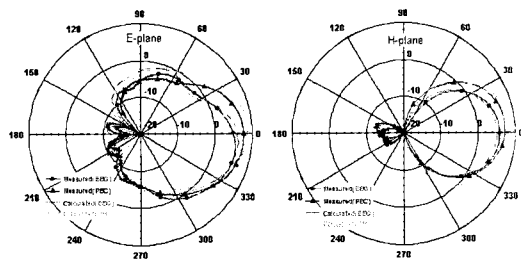
그림 8은 EBG와 PEC 접지면을 갖는 안테나의 복사 패턴을 나타낸다. 그림 8(a)는 주파수 1,750 MHz, (b)는 1,870 MHz, (c)는 2,170 MHz에서의 복사 패턴이다. 그림에서 PEC, EBG 접지면을 갖는 안테나의 측정된 이득은 세 주파수 영역에서 각각 10.4 dBi, 9.7 dBi, 8 dBi(계산값: 9.5 dBi, 10.3 dBi, 8.6 dBi)와 10.2 dBi, 9.5 dBi, 5.8 dBi(계산값: 8.7 dBi, 9.2 dBi, 5.2 dBi)를 보이고 있다. 높은 주파수 2,170 MHz에서 두 안테나의 이득 차이가 나타나고 있다. 이것은 EBG 접지면의 대역 저지 특성이 고주파 영역에까지 충분히 영향을 미치지 못하는 것으로 여겨지며, 이는 설계 시 안테나 설계 주파수를 약간 이동시켜 해결



(a) 1,750 MHz



(b) 1,870 MHz



(c) 2,170 MHz

그림 8. 복사 패턴
Fig. 8. Radiation pattern.

할 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 전체적인 복사 패턴은 전반적으로 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 광대역 안테나 중의 하나로 EBG 접지면을 갖는 U-slotted 패치 안테나를 설계하였다. 설계된 안테나는 프로브를 사용하여 급전한 직사각형의 패치에 U자 형태의 슬롯을 갖는 안테나의 소자와 정사각형 패치와 비아를 주기적으로 배열한 EBG 접지면으로 구성하였다. 안테나는 접지면의 패치 길이, 패치 간의 간격, 접지면과 안테나 소자 사이의 폼 높이 및 프로브 위치 등을 변화시키면서 반사 손

실을 계산하고, 그 결과를 이용하여 설계하였다. 제작된 EBG 접지면 U-slotted 패치 안테나는 같은 크기로 제작된 PEC 접지면 안테나와 비교할 때 복사 패턴은 서로 유사하고, 정재파비는 2:1 이하인 영역에서의 대역폭이 약 100 MHz 이상 개선되었음을 확인하였다.

본 논문에서 보여주고 있는 EBG 접지면을 갖는 U-slotted 패치 안테나는 광대역 특성이 요구되고 있는 분야에 충분히 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 위상혁, 김우태, 홍영표, 육재립, 육종관, "폭이 좁아진 주 패치와 U자 형태의 기생패치를 이용한 소형화된 광대역 패치 안테나 설계", 한국전자과학회논문지, 18(4), pp. 389-497, 2006년 4월.
- [2] Kin-Lu Wong, *Compact and Broadband Microstrip Antennas*, John Wiley & Sons, New York, 2002.
- [3] 성원모, "새로운 Metamaterial 전송 선로 구조 설계", 단국대학교, pp. 4-16, 2006년.
- [4] Nader Engheta, Richard W. Ziolkowski, *Metamaterials: Physics and Engineering Explorations*, Ch. 11-12, IEEE Press, John Wiley & Sons, Inc., May 2006.
- [5] Long Li, Xiao-Jie, Chang-Hong Liang, "Analysis and design of waveguide slot antenna array integrated with electromagnetic band-gap structures", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letter*, vol. 5, pp. 111-115, 2006.
- [6] Fan Yang, Yahya Rahmat-Samii, "Reflection phase characterization of the EBG ground plane for low profile wire antenna application", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 51, no. 10, pp. 2691-2703, Oct. 2003.
- [7] Fan Yang, Yahya Rahmat-Samii, "A low-profile circularly polarized curl antenna over an electromagnetic band-gap(EBG) surface", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 31, no. 4, pp. 264-267, Nov. 2001.
- [8] Dan Sievenpiper, Lijun Zhang, and Jimenez Broas, "High-impedance electromagnetic surface with a

forbidden frequency band", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 47, no. 11, pp. 2059-2074, 1999.

[9] X. L. Bao, M. J. Ammann, "Dual-band GPS patch antenna based on dual-band Fractal EBG technique", *LAPC*, pp. 53-56, Apr. 2006.

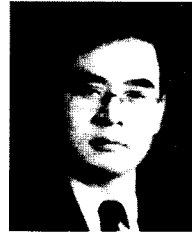
박 종 환



마이크로파 회로

2006년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
2006년 3월~현재: 단국대학교 전자공학과 석사과정
2007년 12월~현재: 극동 하이게인 연구센터 연구원
[주 관심분야] 안테나 및 전파전파,

최 학 근



자공학과 교수

1979년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
1981년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
1988년 8월: 고려대학교 전자공학과 (공학박사)
1991년 3월~현재: 단국대학교 전

자공학과 교수
1989년 3월~현재: (주)하이게인안테나 기술고문
2006년 7월~현재: 단국대학교 공학교육혁신센터장
[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파회로

임 성 빈



연구원 선임연구원

1988년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
1993년 8월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
2007년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학박사)
1994년 3월~현재: 한국항공우주

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파회로