

# 광 밴드 갭(Photonic Band Gap) 구조를 응용한 원형 마이크로스트립 패치 안테나

## A Circular Micro-Strip Patch Antenna Using a PBG

이봉걸 · 정천석 · 우종운 · 안상철

Bong-Geol Lee · Chun-Suk Jung · Jong-Woon Woo · Sang-Chul Ahn

### 요 약

원형 마이크로스트립 안테나를 기본 구조로 하고 단점인 표면파의 영향을 개선하기 위해 접지면에 광 밴드 갭 구조를 취하여 대역폭을 늘리고 안테나의 후방 방사를 줄였다. 또한 광 밴드 갭의 형태를 각기 달리하여 그에 따른 안테나 특성의 변화를 관찰하였다. 끝으로 유전체 사이에 비유전율이 유전체보다 낮은 공기층을 삽입하여 전체적인 비유전율을 낮게 만들어 작은 크기로 높은 응답 주파수 특성을 보였다.

### Abstract

Studied antenna's basic structure was circular micro-strip patch antenna. Bandwidth was broaden and back-radiation pattern was decreased because studied antenna had PBG on a ground for improvement in its defect which is skin-effects. And character of antenna according to different shape of PBG was observed. Finally, air-gap whose dielectric constant is lower than substrates was added between substrates so respond frequency was higher despite small size antenna.

Key words : PBG, Circular Micro-Strip Antenna, Skin Effect, Multi-Layer

### I. 서 론

기술의 발달과 더불어 무선통신에 쓰이는 각종 소자들이 점차 급속도로 소형, 경량화 되었으나 안테나는 그만큼 추세에 따라 가지 못하였다. 최근 안테나에 관한 여러 기술들이 등장함에 따라 안테나 기술도 점차 급격히 발달하기 이르렀다.

안테나의 크기를 줄이기 위한 방법으로 마이크로 스트립 패치 안테나 기술이 주로 사용되어져 왔다. 이러한 마이크로스트립을 이용한 안테나는 비용 절감 등 여러 이점이 있으나 패치 안테나에서 복사되는 전자기파의 일부가 표면파 형태로 기판에 전파되어 복사효율을 낮게 만든다.

위와 같은 여러 문제점을 극복하기 위해 최근에 광밴드갭(PBG) 구조를 이용한 방법이 제시되고 있는데 광밴드갭 구조는 특정 주파수의 전파를 차단하는 특징을 가지고 있다. 이런 이유로 패치 안테나의 표면파를 차단할 수 있어 안테나의 성능을 향상시킬 수 있다. PBG 구조를 취함으로써 그 자체가 병렬 공진 회로가 되어 표면파를 차단하는 역할을 하게 될 것이다.

광밴드갭 구조는 몇 개의 다른 형태를 가지는데 유전체에 구멍을 뚫어 주기적인 격자를 만드는 방법, 사각형의 금속 패드를 접지면과 via를 뚫어 연결하는 방법<sup>[1]</sup>, 방사하는 패치에 주기적인 금속 패턴을 프린트하는 방법, 접지면에 원형 슬롯을 주기적으로

「이 논문은 2004년 울산대학교의 연구비에 의하여 연구되었음.」

울산대학교 전자공학과(School of Electrical Engineering, University of Ulsan)

· 논문 번호 : 20050720-078

· 수정완료일자 : 2005년 11월 8일

에칭하는 방법 등이 있다. 본 논문에서는 probe 급전된 원형의 마이크로스트립 안테나를 기본으로 하며 접지면에 원형 슬롯을 주기적으로 에칭하는 방법을 사용해 안테나의 성능을 개선하고자 한다. 또한 다층 구조로 기판의 비유전율과 높이를 변화시켜 안테나의 특성을 개선하고자 한다.

## II. 안테나의 구조

그림 1은 일반적인 원형 패치 안테나이다. 원형 마이크로스트립 패치 안테나는 정사각형 패치 안테나와 유사한 특징을 가지고 있으나 구조적 차이로 인해 공진 주파수 등을 구하는 방법이 다르다. 이런 원형 패치 안테나는 그 공진 주파수를 구하기 위해서는 아래와 같이 구하면 된다<sup>[2]</sup>.

$$f_r = \frac{k_{n,m} c}{2\pi a \sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

$$a_e = a \left[ 1 + \frac{2h}{\pi a \epsilon_r} \left( \ln \frac{\pi a}{2h} + 1.7726 \right) \right]^{1/2} \quad (2)$$

위 식에서  $k_{n,m}(=ka)$ 는 그 값을 1.88354로 대입하면 된다.

위와 같은 원형 패치 안테나는 그 패치면에서 복사되는 전자기파의 일부가 기판이 유한한 크기를 가지는 특징으로 인해 기판과 공기에 전파된다. 이로 말미암아 안테나의 성능을 떨어뜨리게 된다.

이러한 표면파의 영향을 줄이기 위해 표면파의 억제에 필요하게 되는데 그런 방법 중의 하나로 그림 2처럼 접지면에 주기적인 격자 모양의 PBG 구조를 취함으로써 규칙적인 격자 중심에 의해 산란되는 전자기파들 사이에 간섭의 중첩으로 인해 안테나의 접지면의 격자 크기와 비슷한 공진 주파수를 가지는 전자기파가 내부에 흐를 수 없게 된다. 즉, 안테나 자체에서 흡수(표면파의 전파)가 없는 이상 완전히 반사될 수밖에 없는 것이다.

위의 설명에서 알 수 있듯이 격자 사이의 간격이 이러한 구조에서 중요한 것을 알 수 있는데 이들 격자 사이의 간격을 아래에 주어진 식을 이용하여 구할 수 있다<sup>[1]</sup>.

$$f_0 = \frac{c}{2S\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3)$$

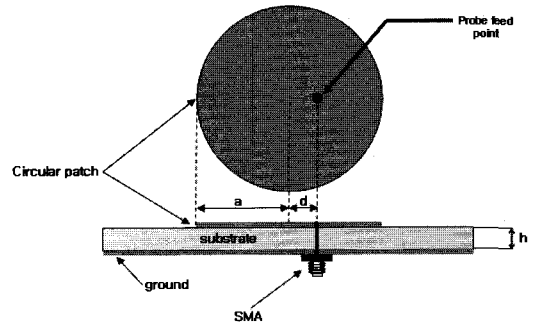
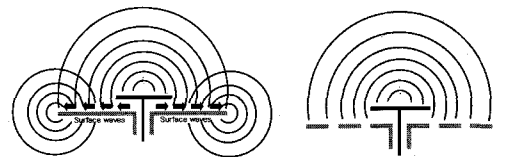


그림 1. 단일 유전체 원형 패치 안테나  
Fig. 1. Single-layered circular patch antenna.



(a) 일반 접지면을 가진 안테나  
(b) PBG 접지면을 가진 안테나  
(a) A antenna with a regular ground  
(b) A antenna with PBG ground

그림 2. 안테나의 방사와 표면파  
Fig. 2. Propagation of antennas and surface waves.

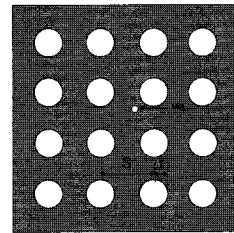


그림 3. 원형 PBG 접지면  
Fig. 3. Circular PBG ground.

여기서  $f_0$ 는 유전체에서 전자기파의 전파를 금지시키는 저지대역 주파수이고  $c$ 는 자유공간에서의 빛의 속도,  $S$ 는 격자 사이의 거리, 그리고  $\epsilon_{eff}$ 는 유효 비유전율이다. 여기서 유효 비유전율을 구하는 식은 아래와 같다<sup>[3]</sup>.

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \left[ \frac{\epsilon_r - 1}{2} \right] \left[ 1 + \frac{10h}{w} \right]^{-1/2} \quad (4)$$

( $w/h > 1.3$ )

여기서  $\epsilon_r$ 는 비 유전율이고,  $h$ 는 유전체의 높이,  $w$

는 도체의 지름 즉, 본 논문에서는 원형 패치의 지름이다.

이렇게 구한 값들을 식 (3)에 대입하면 격자 사이의 거리  $S$ 를 구할 수 있고, 또 격자의 반지름은  $r = 0.25 S$ 일 때가 가장 좋은 값을 얻을 수 있다<sup>[1]</sup>.

그리고 위의 PBG 구조는 그림 3처럼 격자가 원형인데 이를 그림 4처럼 정사각형의 격자로 바꾸어서 그 특징을 살펴볼 것이다.

위와 같은 방법으로 안테나의 표면파를 억제하여 안테나의 성능을 좋게 할 수도 있고, 또한 단일 기판인 유전체를 다층으로 만들어 높이 및 유효 비유전율을 변화시켜 안테나의 성능을 개선하고자 한다. 본 논문에서는 그림 5와 같이 같은 두 유전체 사이에 공기층을 뒀으로써 그 특성을 살펴보려고 한다. 이 때의 유효 비유전율은 단일 기판에서와는 달리 그

값을 알 수 없다. 왜냐하면 단일 기판은 유전체가 하나뿐이므로 유전체의 비유전율을 사용하여 구하면 되나 그림 5와 같은 구조에서는 유전체가 2개 이상 쓰였으므로 비유전율을 쉽게 알 수 없다. 또한 본 논문의 안테나의 구조는 마이크로스트립 선로 구조이므로 신호가 유전체 내부뿐만 아니라 공기로도 일부 휘어 전계가 형성되고, 그 선로에서 나온 전계가 유전체를 통해 접지면으로 바로 가는 TEM 전송이 아닌 quasi-TEM이므로 비유전율을 쓰지 않고 유효 비유전율을 써서 fringing field까지 고려하여 계산하여야 한다. 그래서 다층 기판의 유효 비유전율을 구하기 위해 다층 기판을 하나의 기판으로 가정하고 시뮬레이션을 통해 본 논문에서 제시한 구조에서의 유효 비유전율을 구하였다.

먼저 실험값을 대입하여 시뮬레이션을 통해 나타나는 공진 주파수를 구하고 식 (1)에 식 (2)를 대입하여 유효 비유전율을 구하였다.

### III. 안테나의 설계

안테나의 성능을 비교하기 위한 기준 안테나로써 그림 1과 같은 패치 안테나를 만들기 위해 유전상수가 3.5이고 높이가 0.5 mm인 RF-35 0.200 기판을 사용하여 안테나를 제작하였다. 100 mm×100 mm의 크기를 가지는 기판에서 안테나의 공진 주파수는 4.8 GHz로 정하였다.

본 논문에서의 안테나의 공진 주파수는 특별히 배정된 대역이 아니라 임의로 선택하여 안테나의 특성을 관찰하고자 한 것이므로 만약 ISM band 등에서 사용하고자 한다면 안테나의 크기를 적절히 조절하면 사용 가능하다.

4.8 GHz의 공진 주파수를 가지기 위한 계산된 원형 패치의 반지름 값은  $a = 10$  mm가 되었다.

그러나 시뮬레이션으로 구한 공진 주파수는 4.696 GHz로 계산값과 약간의 차이를 보였다. 그 이유는 계산된 안테나는 무한한 접지면이란 가정에서 구한 것이고 시뮬레이션 한 것은 유한한 접지면에서의 값이기 때문일 것이다.

위에서 설계된 안테나에 위의 주파수를 기초로 PBG 접지면의 구조를 취하였는데 그 설계변수는  $S = 19.3$  mm,  $r = 4.83$  mm이었다. 일반적으로 기판의 두

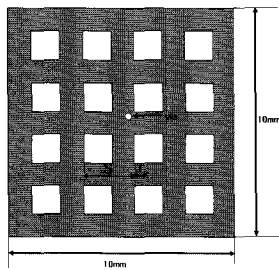


그림 4. 정사각형 PBG 접지면  
Fig. 4. Rectangular PBG ground.

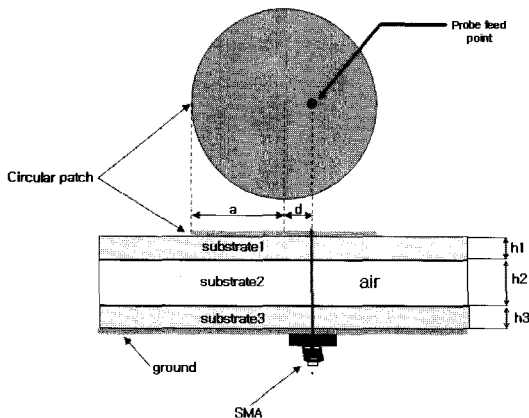


그림 5. 공기층을 삽입하고 유전체를 하나 더 추가한 원형 패치  
Fig. 5. A circular patch antenna to which air gap and one layer are added.

께가 두꺼울수록 표면파의 영향을 많이 받는데 기준 안테나는 두께가 얇으므로 표면파의 영향을 많이 받지 않을 것으로 사료된다. 그래서 두께를 높이기 위해 공기층을 중간에 삽입하여 그림 4처럼 안테나를 설계하여 공기층의 높이의 변화에 따라 그 특성을 살펴보고자 한다.

먼저 PBG 구조가 없는 일반 접지면에서 공기층의 높이  $h_2=1$  mm인 안테나를 설계하였는데 그 공진 주파수가 6.22 GHz로 나왔다. 이 공진 주파수를 기초로 PBG 접지면의 구조를 취하였는데 그 설계 변수 값이  $S=19.86$  mm,  $r=4.97$  mm이었다.

마찬가지로 공기층의 높이가  $h_2=2$  mm인 안테나도 위와 같은 방법으로 구한 결과 6.57 GHz의 공진 주파수에  $S=21.16$  mm,  $r=5.29$  mm가 나왔다.

#### IV. 안테나의 시뮬레이션

제작하려는 안테나는 변화 가능한 구성 요소를 몇가지 가지고 있다.

이를 분석하기 위해 Ahnsoft사의 Ensemble 8.0을 사용하여 위에서 구한 변수 값을 변화시켜가면서 안테나의 특성을 살펴보았다. 아래에서 사용되는 대역폭이란 VSWR이 2 이하인 값을 기준으로 나타낸 것이다.

##### 4-1 급전점의 위치 변화

본 논문에서 안테나의 급전 방식은 probe 급전을 하였는데 급전점의 위치 변화는 도체의 길이 방향에 대한 크기를 변화시키는 것과 유사한 개념이다. 도체의 길이 방향의 크기가 변하면 안테나의 입력 임피던스 및 공진 주파수가 변하게 된다. 또한 급전점의 위치를 변화시키게 되면 안테나의 입력 임피던스에 가장 큰 영향을 주게 되는데 결국 적절한 급전점을 찾는 것이 probe 급전의 중요한 사항이 된다. 이는 안테나의 입력 임피던스가 50 Ω인 점을 찾게 되는 것이다. 급전점의 위치는 원형 패치의 중심점에서 차례로 위치를 변화시켜 찾아보았는데 원점에서 약 2.5 mm 떨어진 지점이 입력 임피던스가 50 Ω에 근접하고 반사계수( $S_{11}$ )의 특성도 좋았다. 결과적으로 원의 중심으로 갈수록 입력 임피던스는 줄어들고 바깥쪽으로 갈수록 커지는 것을 확인하였다.

##### 4-2 공기층의 높이 변화

먼저 공기층이 없고 그림 1과 같이 단일 substrate 인 경우와 그림 5와 같이 공기층을 삽입하고 substrate를 하나 더 추가했을 때를 공기층의 높이에 따른 변화를 관찰하였다.

이에 앞서 공기층을 삽입하게 되면 substrate의 높이가 커지게 되므로 주파수가 높아지고 대역폭이 늘어날 것으로 사료된다.

표 1은 시뮬레이션한 결과치이다.

표 1에서 알 수 있듯이 공기층의 유무와 그 높이에 따라 대역폭과 이득이 상당히 개선됨을 관찰할 수 있다.

##### 4-3 접지면의 PBG 유무

일반 접지면과 PBG가 있는 접지면에서의 각각의 안테나를 비교하기 위한 실험을 수행하였다. 여기서는 PBG의 형태가 원형일 때를 기준으로 비교하였는데 표 1에 그 시뮬레이션 조건과 결과 값을 나타내었다.

표 1에서 알 수 있듯이 PBG 접지면을 사용할 경우 대역폭이 증가되고 공진 주파수가 조금 상승했음을 관찰할 수 있다.

이는 PBG 구조 자체가 LC 병렬회로로 모델링 할 수 있기 때문인데 이러한 구조에서 주파수는  $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ , 대역폭은  $\sqrt{L/C}$ 에 비례하여 영향을 받기 때문이다.

여기서 공진 주파수는 PBG의 인덕턴스나 캐패시턴스 값의 변화량보다 공기층의 높이에 따른 비유전율의 차이가 공진 주파수에 영향을 더 크게 미치기 때문이다. 이는 비유전율값 1을 가지는 공기가 그보

표 1. 공기층의 높이를 변화시켰을 때 안테나의 특성  
Table 1. The antenna's characteristic when height of a air gap is changed.

구 분	공진 주파수 (GHz)	대역폭 (MHz, %)	최대 이득 (dBi)
단일 substrate	4.66	36(0.77 %)	6.26
공기층의 높이 1 mm	6.22	330(5.31 %)	8.08
공기층의 높이 2 mm	6.57	630(9.59 %)	8.46

다 큰 비유전을 값을 가지는 유전체와 결합되었을 때 결합된 전체 비유전율의 값은 공기층의 높이에 비례하여 감소한다. 안테나의 공진 주파수는 비유전율값이 감소하면 증가하므로 표에서 보여지는 것처럼 주파수의 증가를 확인할 수 있다.

그리고 대역폭의 변화는 위에서 언급한 것처럼 LC 병렬회로에서는  $\sqrt{L/C}$ 에 비례하여 영향을 받는 것으로 설명이 가능하다. PBG에서 인덕턴스나 캐패시턴스값은 PBG 격자간의 거리에서 기인하는데 그 거리가 가까우면 gap 사이의 자기적 결합이 강해져서 캐패시턴스 값의 변화보다 인덕턴스 값이 더 증가한다. 설계한 안테나에서 공기층의 높이가 높아질수록 PBG 격자 사이의 거리가 더 가까운데 이 때문에 결과적으로  $\sqrt{L/C}$  값이 증가하고 또 이에 따라 그 값이 비례하여 대역폭이 증가했다.

#### 4.4 PBG의 형태

표 3은 PBG의 형태가 원형일 때와 사각형일 때를 비교하여 그 시뮬레이션 조건과 결과 값을 나타내었다.

표 3에서 알 수 있듯이 접지면에 PBG 구조를 취함으로써 안테나의 대역폭이 증가되었음을 관찰할 수 있고 빔폭이 늘어 이득이 줄어든 것을 볼 수 있다. 미세한 차이이지만 일반 안테나에 비해 PBG를 가진 안테나가 HPBW(반전력 빔폭)이 넓으므로 이득이 줄어든 것을 표 4에서 확인할 수 있다.

이렇게 모양에 따라 대역폭이 차이를 보이는 이유는, 일단 동일한 구조가 여러 번 반복되어야 하는

표 3. 접지면의 PBG 형태에 따른 안테나의 특성  
Table 3. The antenna's characteristic about shape of PBG on a ground plane.

구 분		공진 주파수 (GHz)	대역폭 (MHz, %)	최대 이득 (dBi)
단일유전체	원형	4.67	44.3(0.95 %)	6.3
	정사각형	4.67	58(1.24 %)	5.76
공기층 1 mm	원형	6.26	400(6.39 %)	8.0
	정사각형	6.29	480(7.63 %)	7.66
공기층 2 mm	원형	6.635	870(13.11 %)	8.22
	정사각형	6.77	1,110(16.40 %)	7.88

표 4. 각각의 안테나에서의 HPBW  
Table 4. HPBW(Half Power Beam Width) of each antenna.

구 분	일반접지면	원형 PBG	정사각형 PBG
단일유전체	92°	123°	147°
공기층 1 mm	76°	76.5°	77.5°
공기층 2 mm	68°	69°	70.5°

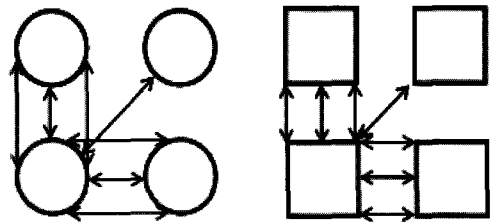


그림 6. 원형과 정사각형모양의 거리 비교  
Fig. 6. The distance comparison between circles and squares.

PBG 구조의 특성상 원형보다는 정사각형 모양의 구조가 그림 6에서 보듯 더 많은 부분에서 그 간격이 일정하기 때문이다.

#### V. 제작 및 측정

앞에서 시뮬레이션 한 안테나 중에서 공기층이 2 mm이며 PBG 접지면을 가지는 안테나를 금속 피막에칭법으로 제작하였다.

그림 10은 실제 제작한 안테나이다.

표 2. 접지면의 PBG 유무에 따른 안테나의 특성  
Table 2. The antenna's characteristic about existence and nonexistence of PBG on a ground plane.

구 분		공진 주파수 (GHz)	대역폭 (MHz, %)	최대 이득 (dBi)
단일유전체	일반	4.66	36(0.77 %)	6.26
	PBG(원형)	4.67	44.3(0.95 %)	6.3
공기층 1 mm	일반	6.22	330(5.31 %)	8.08
	PBG(원형)	6.26	400(6.39 %)	8.0
공기층 2 mm	일반	6.57	630(9.59 %)	8.46
	PBG(원형)	6.635	870(13.11 %)	8.218

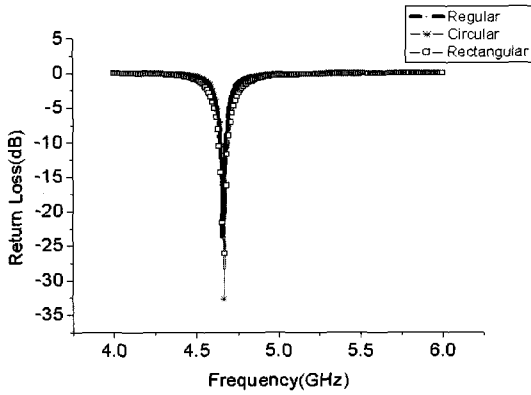


그림 7. 공기층이 없을 때 반사 손실  
Fig. 7. Return loss when air gap isn't existing.

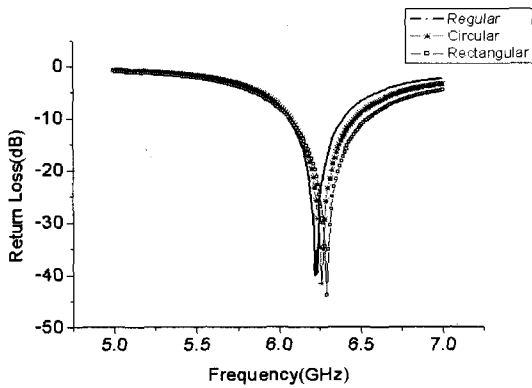


그림 8. 공기층의 높이가 1 mm일 때 반사 손실  
Fig. 8. Return loss when height of air gap is 1 mm.

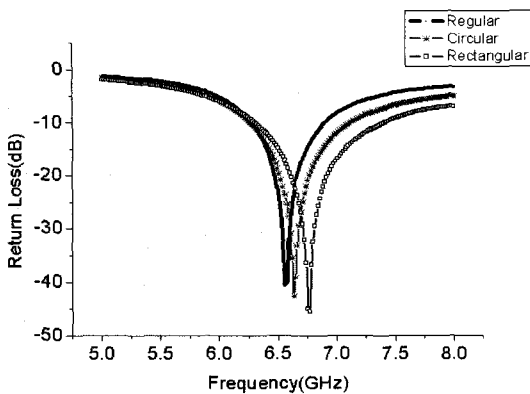


그림 9. 공기층의 높이가 2 mm일 때 반사 손실  
Fig. 9. Return loss when height of air gap is 2 mm.

제작한 안테나를 Anritsu 37937A VNA(Vector Network Analyzer)를 사용해 그 특성을 살펴보았다.

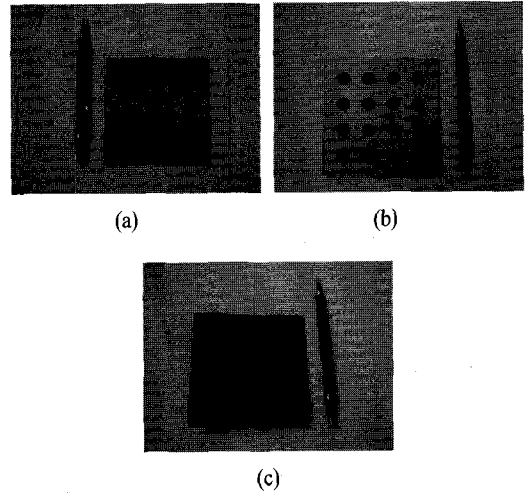


그림 10. (a) 정사각형 PBG 접지면, (b) 원형 PBG 접지면, (c) 방사면  
Fig. 10. (a) Rectangular PBG ground plane, (b) circular PBG ground plane, (c) radiation plane.

그림 11과 그림 12는 제작한 안테나에 대한 return loss의 측정치를 시뮬레이션 한 값과 비교한 것이다. 원형 PBG 접지면을 가진 안테나는 공진 주파수 6.56 GHz, 대역폭이 740 MHz가 나왔고 사각형 PBG 접지면을 가진 안테나는 공진 주파수 6.71 GHz, 대역폭은 1,010 MHz가 나왔다.

그래프에서 보듯 시뮬레이션 한 값보다 공진 주파수가 약간 낮아진 것을 볼 수 있는데 그것은 제작한 안테나의 공기층의 높이가 설계치보다 낮아져서 공진 주파수가 떨어진 것으로 사료되나 이는 설계한

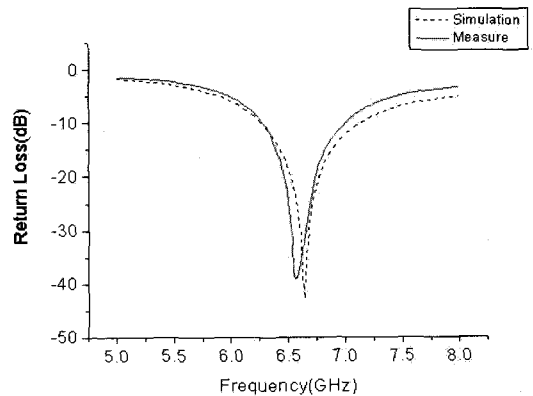


그림 11. 측정된 안테나의 반사 손실(원형)  
Fig. 11. The measured return loss of circular patch antenna against the simulated return loss.

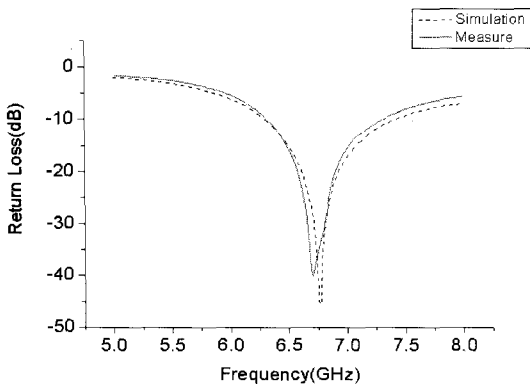


그림 12. 측정된 안테나의 반사 손실(사각형)  
 Fig. 12. The measured return loss of rectangular patch antenna against the simulated return loss.

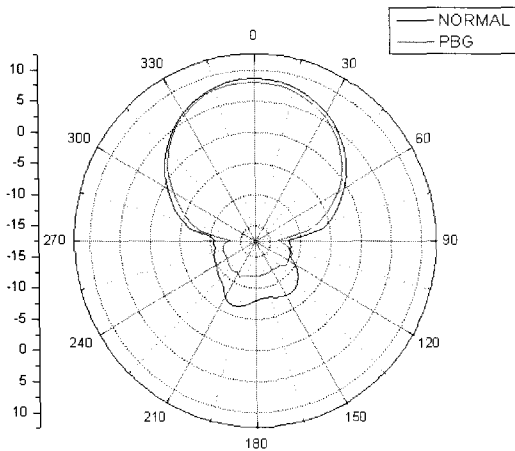


그림 13. 측정된 개의 다른 접지면을 가진 안테나의 방사 패턴  
 Fig. 13. Radiation patterns of patch antennas on two ground planes.

안테나의 특성과 거의 유사했다.

그림 13은 실제 측정된 방사 패턴이다. 송신 안테나와 1 m 거리에서 5°씩 회전하여 측정하였는데 사각형의 PBG를 가진 안테나와 일반 접지면을 가진 기준 안테나와 비교한 그림이다. 방사 패턴에서 알 수 있듯 PBG를 가진 안테나가 일반 안테나보다 후

방복사가 줄어드는 것을 볼 수 있는데 이는 PBG가 표면파를 차단하여 그림 13과 같은 특성이 나타난 것으로 사료된다.

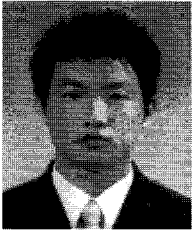
## VI. 결 론

본 논문에서는 안테나의 접지면에 PBG 구조를 취함으로써 그 자체가 병렬 공진 회로가 되어 안테나의 성능을 저하시키는 표면파를 차단하는 역할을 하게 함으로써 안테나의 후방 복사를 줄여 안테나의 특성이 개선되었다. 그리고 유전체 사이에 공기층을 두고 그 높이를 적절히 조절하여 일반적인 단일 유전체 마이크로스트립 패치 안테나보다 더 나은 대역 특성을 보였으며 또한 접지면의 격자를 기존의 원형에서 사각형의 형태로 제작하여 그 특성을 개선하였다.

## 참 고 문 헌

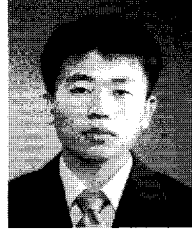
- [1] V. Radisic, Y. Qian, R. Coccioli, and T. Itoh, "Novel 2-D photonic bandgap structure for microstrip lines", *IEEE Microwave Guided, Wave Lett* 8, pp. 69-71, 1998.
- [2] I. J. Bahl, P. Bhartia, *Microstrip Antenna*, pp. 85-138.
- [3] Matthew N. O. Sadiku, *Elements of Electromagnetics*, Oxford University, pp. 572-579.
- [4] Wenmei Zhang, "Microstrip patch antenna array on ground with circular PBG", *Microwave and Optical Technology Lett.*, pp. 127-130, Apr. 2004.
- [5] 기철식, 박익모, "포토닉 밴드갭 구조를 이용한 두껍고 유전상수가 높은 패치 안테나의 성능 향상", *한국전자과학회논문지*, 13(1), pp. 1-6, 2002년 1월.
- [6] Ramon Gonzalo, Peter de Maagt, and Mario Sorolla, "Enhanced patch-antenna performance by suppressing surface waves using photonic-bandgap substrates", *IEEE Microwave Theory and Techniques Lett.*, Nov. 1999.

이 봉 결



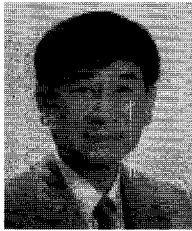
2004년 2월: 울산대학교 전기전자  
자동화공학부 (공학사)  
2004년 3월~현재: 울산대학교 전  
기전자정보시스템공학부 석사과  
정  
[주 관심분야] Active-RFID, 안테나,  
EMC

우 중 운



2002년 2월: 울산대학교 전자공학  
과 (공학사)  
2004년 3월~현재: 울산대학교 전  
기전자정보시스템공학부 석사과  
정  
[주 관심분야] RF 회로설계, 안테  
나, EMC

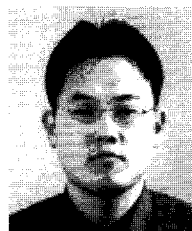
정 천 석



1969년 2월: 한국항공대학교 항공  
전자공학과 (공학사)  
1980년 2월: 부산대학교 전자공학  
과 (공학석사)  
1988년 2월: 고려대학교 전자공학  
과 (공학박사)  
1995년 11월~현재: 울산대학교 전

기전자정보시스템공학부 교수  
[주 관심분야] 안테나 및 EMC

안 상 철



2003년 2월: 울산대학교 전자공학  
과 (공학사)  
2005년 2월: 울산대학교 전기전자  
정보시스템공학부 (공학석사)  
2005년 3월~현재: 울산대학교 전  
기전자정보시스템공학부 박사과  
정

[주 관심분야] RF 소자 및 안테나, EMC