

논문 2009-46TC-8-9

# Mushroom 형태의 EBG 구조를 집적한 마이크로스트립 패치안테나의 방사 특성 해석

( Analysis of Radiation Characteristics of Microstrip Patch Antennas  
Integrated with Mushroom-like EBG Structures )

곽 은 혁\*, 김 태 영\*, 김 부 균\*\*

( Eun-Hyuk Kwak, Tae-Young Kim, and Boo-Gyoun Kim )

## 요 약

유전상수가 10인 기판에 mushroom 형태를 가지는 EBG 구조를 전 방향과 길이 방향으로 집적한 패치안테나의 방사 특성을 체계적으로 해석하였다. 기판이 두꺼워질수록 표면파가 더 많이 발생하여 EBG 구조가 패치 안테나의 입력 임피던스와 방사 패턴에 미치는 영향이 커지는 것을 볼 수 있었다. 기판 두께가 3.2 mm, 1.6 mm, 0.8 mm 인 경우 EBG 구조와 패치 중심 사이의 거리가 각각  $0.4 \lambda_0$ ,  $0.2 \lambda_0$ ,  $0.1 \lambda_0$  이상 되어야 EBG 구조가 패치안테나의 입력 임피던스에 영향을 거의 주지 않았다. 기판 두께가 3.2 mm, 1.6 mm, 0.8 mm 인 경우 EBG 구조를 각각 2 주기, 2 주기, 3 주기 이상 집적하면 표면파가 억제되어 전방 방사가 향상되었다. EBG 구조를 길이 방향으로 집적한 경우와 전 방향으로 집적한 경우 EBG 구조가 패치안테나의 방사 특성에 미치는 영향은 비슷하였다.

## Abstract

Radiation characteristics of microstrip patch antennas integrated with mushroom-like EBG structures in all directions and length direction on a substrate with the relative dielectric constant of 10 are systematically analyzed. As the substrate thickness increases, the effect of the surface wave on the input impedance and radiation pattern of a patch antenna increases. The effect of EBG structures on the input impedance of a patch antenna is negligible when the distances between EBG structures and the center of a patch antenna are  $0.4 \lambda_0$ ,  $0.2 \lambda_0$  and  $0.1 \lambda_0$  for the substrate thickness of 3.2 mm, 1.6 mm and 0.8 mm, respectively. The forward radiation is improved due to the suppression of surface wave when the periods of EBG structures integrated are larger than 2, 2, 3 periods for the substrate thickness of 3.2 mm, 1.6 mm and 0.8 mm, respectively. The effects of EBG structures on the radiation characteristics of a patch antenna integrated with EBG structures in all directions and length direction are similar.

**Keywords :** Patch antenna, Mushroom-like EBG structure, Radiation characteristics, Surface wave, Bandgap

## I. 서 론

최근 안테나와 초고주파 공학 분야에서 EBG (Electromagnetic Bandgap) 구조를 소자에 집적하여 특

성을 향상시키기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다<sup>[1]</sup>. 현재까지 발표된 EBG 구조 중 대표적인 구조는 UC-EBG 구조와 Mushroom 형태의 EBG 구조이다<sup>[2~3]</sup>. 배열 안테나에 EBG 구조를 집적하여 단위 안테나간의 상호 결합 현상이 억제됨이 보고되었고<sup>[4~5]</sup> PCB 기판에서 발생하는 SSN(Simultaneous Switching Noise) 와 EMI(Electromagnetic Interference)를 줄일 수 있음이 보고되었다<sup>[6~7]</sup>. 또한 안테나의 전방 방사 특성을 향상시킬 수 있었고<sup>[8]</sup>, leaky wave를 이용하여 배열 안테나를 설계할 수 있었고<sup>[9]</sup>, 표면파의 억제를 통해 안테나

\* 학생회원, \*\* 평생회원, 숭실대학교 정보통신전자공학부 (School of Electronic Engineering, Soongsil University)

※ 이 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-200810590130).

접수일자: 2009년6월8일, 수정완료일: 2009년8월13일

의 방사 특성을 향상시킬 수 있었다<sup>[10]</sup>.

EBG 구조를 집적하여 표면파의 억제를 통해 안테나의 방사 특성을 향상시킨 연구는 대부분 EBG 구조를 패치안테나의 전 방향으로 집적하여 단일 패치안테나의 방사 특성을 개선하였다. 그러나 단일 패치안테나는 주로 길이 방향으로 표면파가 진행되는 특성을 고려하여 mushroom 형태의 EBG 구조를 패치안테나의 길이 방향으로 집적하여 패치안테나의 방사 특성을 살펴보았다. 이러한 방사 특성과 EBG 구조를 패치안테나의 전 방향으로 집적한 안테나의 방사 특성을 비교하였다. 그리고 기판 두께에 따라 발생하는 표면파의 크기가 다르기 때문에 여러 가지 기판 두께에 대하여 EBG 구조가 EBG 구조를 집적한 패치안테나의 방사 특성에 미치는 영향을 패치 안테나의 중심에서 EBG 구조까지의 거리와 집적된 EBG 구조의 주기 수에 대하여 살펴보았다.

본 논문의 구조는 다음과 같다. 제 II장에서 5 GHz 대역에서 동작하는 패치안테나에서 발생하는 표면파의 억제를 위해 집적하는 mushroom 형태의 EBG 구조를 설계하는 방법에 대해 간단히 알아본다. 여러 가지 기판 두께에서 무한히 반복되는 EBG 구조의 bandgap과 유한한 주기 수를 가지는 EBG 구조가 집적된 패치안테나의 bandgap을 비교하였다. 제 III장에서 여러 가지 기판 두께에서 EBG 구조와 패치안테나 중심 간의 거리를 변화시켜가며 전 방향으로 EBG 구조를 집적한 패치안테나와 길이 방향으로 EBG 구조를 집적한 패치안테나의 입력 임피던스에 EBG 구조가 미치는 영향을 살펴보았다. 제 IV장에서 여러 가지 기판 두께에서 EBG 구조를 전 방향으로 집적한 패치안테나와 길이 방향으로 집적한 패치안테나에서 표면파를 효율적으로 억제시키기 위한 EBG 구조의 주기 수에 대해 알아보았다. 제 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 표면파를 억제하기 위한 mushroom 형태의 EBG 구조 설계

그림 1(a)와 (b)는 각각 mushroom 형태의 EBG 구조의 단위 셀과 등가 회로를 보인다. Mushroom 형태의 EBG 구조는 LC 병렬 공진 회로로 등가화시킬 수 있다. 본 논문에서 사용한 단위 셀은 정사각형 형태를 가진다. EBG 구조의 구조 파라미터와 물질 파라미터로 표현되는 등가 L과 C는 다음과 같은 수식으로 표현된다<sup>[11]</sup>.

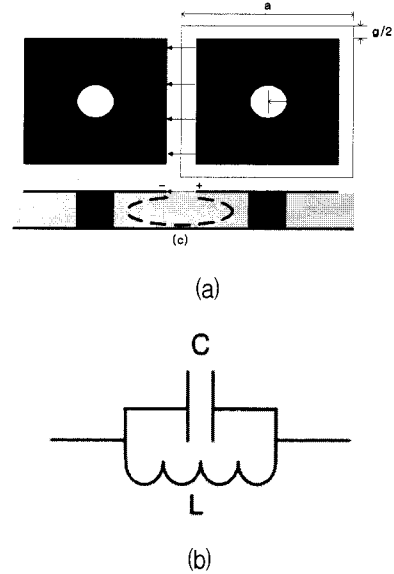


그림 1. (a) mushroom 형태의 EBG 구조의 단위 셀과 (b) 등가 회로

Fig. 1. (a) Schematic diagram of a unit cells of mushroom-like EBG structure and (b) equivalent circuit.

$$C = \frac{2\epsilon_0\epsilon_e a}{\pi} \ln \left( \operatorname{csc} \left( \frac{\pi g}{2a} \right) \right) \quad (1)$$

$$L = \frac{1-\alpha}{1+\alpha} \mu_0 \mu_r h \quad (2)$$

여기서  $a$ 는 EBG 셀의 주기,  $h$ 는 기판의 두께,  $g$ 는 단위 패치 간의 간격,  $\mu_r$ 은 기판의 상대투자상수 (relative permeability),  $\epsilon_e$ 는 유효유전상수,  $\alpha = (r/b)^2$ ,  $b = \sqrt{a^2/\pi}$ ,  $r$ 은 via의 반경이다.

5 GHz 대역에서 표면파를 억제시키기 위한 EBG 구조의 단위 셀 크기는 파장보다 충분히 작은  $\lambda_0/10$ 로 정하였다.  $\lambda_0$ 는 공기 중의 파장으로 60 mm이다. 기판 두께와 관계없이 EBG 구조의 단위 셀 주기와 via의 반경은 각각 6 mm와 0.35 mm로 고정하였고 EBG 구조의 단위 패치 간의 간격을 조절하여 5 GHz 대역에서 표면파를 억제시켰다. 기판 두께가 0.8 mm, 1.6 mm, 3.2 mm 일 때 EBG 구조의 단위 패치 간의 간격은 각각 0.10 mm, 0.50 mm, 1.75 mm이다.

전산모의에 사용한 기판은 유전 상수가 10이고 loss tangent가 0.0035인 Taconic사의 CER-10이며 패치안테나의 동작 주파수는 5 GHz 이고 기판은 정사각형 기판을 사용하였다. 표 1은 여러 가지 기판 두께에서 mushroom 형태의 EBG 구조의 bandgap을 보인다. 표

표 1. 여러 가지 기판 두께에서 mushroom 형태의 EBG 구조의 bandgap.

Table 1. Bandgaps of mushroom-like EBG structures for various substrate thicknesses.

기판 두께 (mm)	EBG 구조가 집적된 안테나의 bandgap (GHz)	EBG 구조만의 bandgap (GHz)
0.8	4.86 ~ 5.10(0.24)	4.17 ~ 5.10(0.93)
1.6	4.89 ~ 5.16(0.27)	4.18 ~ 5.24(1.06)
3.2	4.60 ~ 5.33(0.73)	3.96 ~ 5.20(1.24)

1에서 EBG 구조가 집적된 안테나의 bandgap은 기판 두께가 0.8 mm, 1.6 mm, 3.2 mm 일 때 패치안테나의 중심과 EBG 간의 거리가 각각  $0.1 \lambda_0$ ,  $0.2 \lambda_0$ ,  $0.4 \lambda_0$  에서 길이 방향으로 EBG 구조를 4 주기 집적한 패치안테나의 전방 방사를 Ansoft사의 HFSS(High Frequency Structure Simulator)로 전산모의 하여 주파수 변화에 따른 전방 방사의 이득 변화로 계산한 결과이다. EBG 구조만의 bandgap은 EBG 구조의 단위 셀이 무한히 반복된다고 가정하여 각각의 기판 두께에서 CST (Computer Simulation Technology)사의 MWS (Microwave Studio)를 이용하여 전산모의한 dispersion diagram으로부터 계산된 결과이다.

EBG 구조의 단위 셀이 무한히 반복된다고 가정하여 전산모의한 dispersion diagram으로부터 계산된 bandgap은 유한한 주기 수의 EBG 구조가 집적된 패치안테나의 bandgap과 차이가 발생하였다. EBG 구조가 집적된 안테나의 bandgap은 EBG 구조만의 bandgap의 높은 차단 주파수 근처에서 좁은 범위로 존재함을 볼 수 있다. 기판 두께가 두꺼워질수록 bandgap이 증가함을 볼 수 있다.

### III. 패치안테나의 중심과 EBG 구조간의 거리가 패치안테나의 방사 특성에 미치는 영향

기판 두께에 따라 발생하는 표면파의 크기 차이가 EBG 구조를 집적한 패치안테나의 방사 특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 기판 두께가 각각 3.2 mm, 1.6 mm, 0.8 mm 일 경우에 방사 특성을 전산모의 하였다. EBG 구조가 패치안테나의 패치 중심에서 멀어질수록 EBG 구조가 패치안테나의 입력 임피던스에 미치는 영향은 감소되지만 패치안테나의 크기가 커지게 된다. 따라서 EBG 구조가 패치안테나의 입력 임피던스에 미치

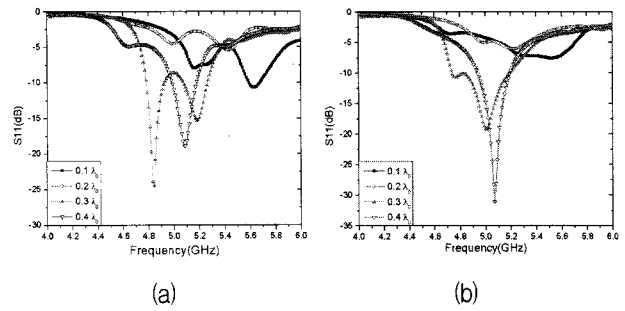


그림 2. 기판 두께가 3.2 mm 인 경우 EBG 구조가 (a) 기판의 전 방향으로, (b) 기판의 길이 방향으로 4 주기 집적된 패치안테나의 중심으로부터 EBG 구조까지의 여러 가지 거리에 대한  $S_{11}$  스펙트럼

Fig. 2.  $S_{11}$  spectrum of a patch antenna integrated with EBG structures of 4 periods (a) in all directions and (b) in length direction for several distances between the center of a patch and EBG structures for the substrate thickness of 3.2 mm.

는 영향이 최소화되는 패치 중심과 EBG 구조간의 거리를 연구하는 것은 매우 중요하다고 생각된다.

전산 모의에 사용한 패치 안테나에 집적된 EBG 구조의 주기 수는 표면파를 충분히 억제시킬 수 있는 4 주기를 사용하였다. 패치 중심으로부터 EBG 구조까지의 거리는  $0.1 \lambda_0$  부터  $0.4 \lambda_0$  까지  $0.1 \lambda_0$  간격으로 변화시키며 EBG 구조가 패치안테나의  $S_{11}$  스펙트럼과 방사 특성에 미치는 영향을 살펴보았다. 패치안테나의 입력 임피던스에 영향을 거의 미치지 않는 거리에서 전 방향과 길이 방향으로 EBG 구조가 집적된 패치안테나의 특성을 일반적인 패치안테나의 특성과 여러 가지 기판 두께에서 비교하였다.

그림 2(a)와 (b)는 기판 두께가 3.2 mm 인 경우 EBG 구조가 각각 전 방향과 길이 방향으로 4 주기 집적된 패치안테나의 패치 중심에서 EBG 구조까지의 여러 가지 거리에 대한  $S_{11}$  스펙트럼을 보인다. 그림 2(a)에서 패치 중심에서 EBG 구조까지의 거리가  $0.1 \lambda_0$ ,  $0.2 \lambda_0$ ,  $0.3 \lambda_0$ 일 때 EBG 구조가 집적되지 않은 일반적인 패치안테나에 비해서 공진 주파수는 각각 13 %, 9 %, 3 % 의 차이가 발생하였다. 거리가  $0.4 \lambda_0$  일 때 공진 주파수의 차이는 1 % 이내로 발생하였고 EBG 구조가 패치안테나의 입력 임피던스에 영향을 작게 주어  $S_{11}$  스펙트럼이 일반적인 패치안테나와 비슷한 형태를 가짐을 볼 수 있다. 그림 2(b)에서 패치 중심에서 EBG 구조까지의 거리가  $0.1 \lambda_0$ ,  $0.2 \lambda_0$ ,  $0.3 \lambda_0$ ,  $0.4 \lambda_0$ 일 때

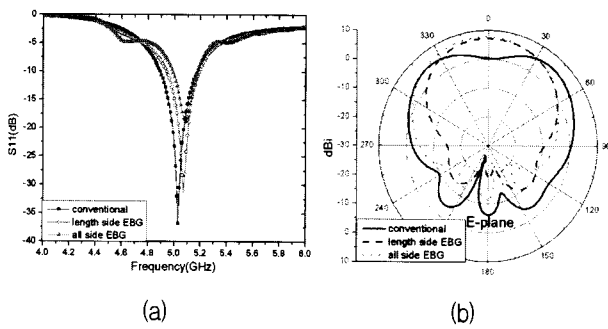


그림 3. 기판 두께가 3.2 mm 인 경우 일반적인 패치안테나와 패치안테나의 중심으로부터 EBG 구조까지의 거리가  $0.4 \lambda_0$  일 때 전 방향과 길이 방향으로 EBG 구조를 집적한 패치안테나의 (a) S<sub>11</sub> 스펙트럼과 (b) E-평면 방사 패턴

Fig. 3. (a) S<sub>11</sub> spectrum and (b) E-plane radiation pattern of a conventional patch antenna, and patch antennas integrated with EBG structures in all directions and length direction when the distance between the center of a patch and EBG structures is  $0.4 \lambda_0$  for the substrate thickness of 3.2 mm.

일반적인 패치안테나에 비해 공진 주파수는 각각 10 %, 5 %, 1 %, 1 % 의 차이가 발생함을 볼 수 있다. 거리가  $0.4 \lambda_0$  일 때 EBG 구조가 입력 임피던스에 영향을 작게 주어 S<sub>11</sub> 스펙트럼이 일반적인 패치안테나와 비슷한 형태를 가졌다. 따라서 기판 두께가 3.2 mm 일 때는 EBG 구조가 패치 안테나의 입력 임피던스에 영향을 주지 않기 위해서는 패치 중심과 EBG 구조간의 거리를  $0.4 \lambda_0$  이상 떨어뜨려야 함을 알 수 있다.

그림 3(a)와 (b)는 각각 기판 두께가 3.2 mm 인 경우 일반적인 패치안테나와 패치안테나의 중심으로부터 EBG 구조까지의 거리가  $0.4 \lambda_0$  일 때 전 방향과 길이 방향으로 EBG 구조를 집적한 패치안테나의 S<sub>11</sub> 스펙트럼과 E-평면 방사 패턴을 보인다. 그림 3(a)에서 10 dB 대역폭은 일반적인 패치안테나가 5.67 % 로 가장 넓었고 EBG 구조가 안테나의 전 방향과 길이 방향으로 4 주기 집적된 경우 각각 3.74 % 와 5.03 % 로 일반적인 패치안테나보다 줄어들었다. 그림 3(b)에서 전 방향으로 EBG 구조가 집적된 패치안테나와 길이 방향으로 EBG 구조를 집적된 패치안테나의 전방 방사는 각각 일반적인 패치안테나보다 7.33 dB 와 6.80 dB 증가하였다. 전 방향으로 EBG 구조가 집적된 패치안테나가 이득이 가장 크게 발생하였으나 차이는 0.53 dB 임을 볼 수 있다.

전 방향으로 EBG 구조가 집적된 패치안테나와 길이

표 2. 기판 두께가 3.2 mm 인 경우 일반적인 패치안테나와 패치안테나의 중심으로부터 EBG 구조까지의 여러 가지 거리에 대하여 전 방향과 길이 방향으로 EBG 구조를 집적한 패치안테나의 방사 특성

Table 2. Radiation characteristics of a conventional patch antenna, and patch antennas with EBG structures in all directions and length direction for several distances between the center of a patch and EBG structures for the substrate thickness of 3.2 mm.

비교		f <sub>0</sub> (GHz)	S <sub>11</sub> (dB)	10dB BW(%)	전방 방사 (dBi)	후방 방사 (dBi)	최대방사 (° / dBi)	
패치에서 EBG 거리	기판상태						E-plane	H-plane
0.1 λ <sub>0</sub>	일반패치	5.00	26.11	5.20	5.24	-6.98	5 / 5.29	-1 / 5.24
	길이방향 EBG	5.03	36.85	5.96	5.81	-13.63	6 / 5.90	-2 / 5.82
	전방향 EBG	5.63	10.68	1.80	4.37	-4.90	19 / 6.04	28 / 5.26
0.2 λ <sub>0</sub>	일반패치	4.98	27.29	5.32	0.77	-4.11	48 / 7.05	-35 / 1.71
	길이방향 EBG	5.05	34.59	5.74	6.80	-19.36	0 / 6.80	0 / 6.80
	전방향 EBG	5.43	5.43	0	4.21	-10.94	25 / 4.54	0 / 4.21
0.3 λ <sub>0</sub>	일반패치	4.98	31.58	6.12	-0.65	-6.14	44 / 4.87	-3 / -0.63
	길이방향 EBG	5.07	31.52	5.72	7.27	-21.80	-2 / 7.28	0 / 7.27
	전방향 EBG	4.84	24.39	2.89	-2.88	-5.33	-49 / 6.28	54 / -2.78
0.4 λ <sub>0</sub>	일반패치	5.03	36.83	5.67	0.35	-6.14	41 / 5.75	0 / 0.35
	길이방향 EBG	5.07	31.01	5.03	7.15	-19.44	-1 / 7.15	0 / 7.15
	전방향 EBG	5.08	18.86	3.74	7.68	-11.43	-6 / 7.76	0 / 7.68

방향으로 EBG 구조가 집적된 패치안테나의 후방 방사는 일반적인 패치안테나에 비해 5.29 dB 와 13.30 dB 감소하여 길이 방향으로 EBG 구조를 집적한 경우에 후방 방사가 가장 많이 감소했다. E-평면 방사 패턴의 최대방사가 발생하는 각도는 일반적인 패치안테나, 전 방향으로 EBG 구조가 집적된 패치안테나, 길이 방향으로 EBG 구조가 집적된 패치안테나에서 각각 41°, -1°, -6° 로 EBG 구조가 집적된 경우 모두 표면파를 억제시켜 최대 방사가 발생하는 각도가 0° 근처로 이동함을 볼 수 있다. 표 2는 기판 두께가 3.2 mm 인 경우 일반적인 패치안테나와 패치의 중심으로부터 EBG 구조까지의 여러 가지 거리에 대하여 전 방향과 길이 방향으로 EBG 구조를 집적한 패치안테나의 방사 특성을 보인다.

그림 4(a)와 (b)는 각각 기판 두께가 1.6 mm 인 경우 EBG 구조가 전 방향과 길이 방향으로 4 주기 집적된 패치안테나의 패치 중심에서 EBG 구조까지의 여러 가지 거리에 대한 S<sub>11</sub> 스펙트럼을 보인다. 그림 4(a)에서 EBG 구조를 기판의 전 방향으로 집적한 경우와 길이 방향으로 집적했을 경우, 패치 중심에서 EBG 구조까지

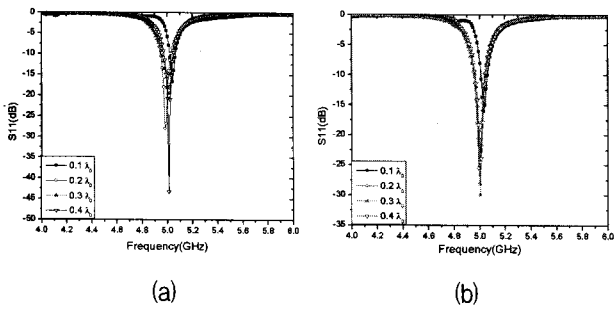


그림 4. 기판 두께가 1.6 mm 인 경우 EBG 구조가 (a) 기판의 전 방향으로, (b) 기판의 길이 방향으로 4 주기 집적된 패치안테나의 중심으로부터 EBG 구조까지의 여러 가지 거리에 대한 S<sub>11</sub> 스펙트럼

Fig. 4. S<sub>11</sub> spectrum of a patch antenna integrated with EBG structures of 4 periods (a) in all directions and (b) in length direction for several distances between the center of a patch and EBG structures for the substrate thickness of 1.6 mm.

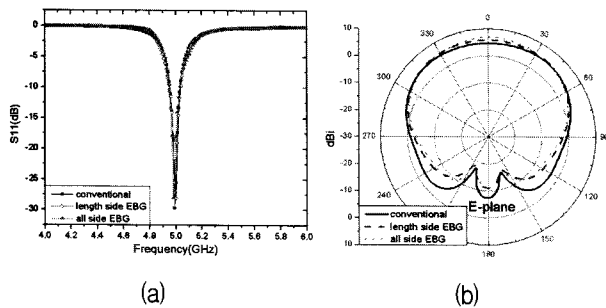


그림 5. 기판 두께가 1.6 mm 인 경우 일반적인 패치안테나와 패치안테나의 중심으로부터 EBG 구조까지의 거리가 0.2 λ<sub>0</sub> 일 때 전 방향과 길이 방향으로 EBG 구조를 집적한 패치안테나의 (a) S<sub>11</sub> 스펙트럼과 (b) E-평면 방사 패턴

Fig. 5. (a) S<sub>11</sub> spectrum and (b) E-plane radiation pattern of a conventional patch antenna, and patch antennas integrated with EBG structures in all directions and length direction when the distance between the center of a patch and EBG structures is 0.2 λ<sub>0</sub> for the substrate thickness of 1.6 mm.

의 거리가 0.1 λ<sub>0</sub> 에서 0.4 λ<sub>0</sub> 까지 증가할 때 일반적인 패치안테나에 비해서 공진 주파수는 모두 1 % 이내의 차이가 발생하였다. 특히, 두 경우 모두 패치 중심에서 EBG 구조까지의 거리가 0.2 λ<sub>0</sub> 이상일 때부터 EBG 구조가 입력 임피던스에 영향을 작게 주어 S<sub>11</sub> 스펙트럼이 일반적인 패치안테나와 비슷한 형태를 가진다. 따라서 기판 두께가 1.6 mm 일 때는 EBG 구조가 패치안테나의 입력 임피던스에 영향을 주지 않기 위해서는 패치

중심과 EBG 구조간의 거리를 0.2 λ<sub>0</sub> 이상 떨어뜨려야 함을 알 수 있다.

그림 5(a)와 (b)는 각각 기판 두께가 1.6 mm 인 경우 일반적인 패치안테나와 패치안테나의 중심으로부터 EBG 구조까지의 거리가 0.2 λ<sub>0</sub> 일 때 기판의 전 방향과 길이 방향으로 EBG 구조를 집적한 패치안테나의 S<sub>11</sub> 스펙트럼과 E-평면 방사 패턴을 보인다. 그림 5(a)에서 10 dB 대역폭은 일반적인 패치안테나, EBG 구조를 각각 안테나의 전 방향과 길이 방향으로 집적한 패치안테나 모두 1.6 % 로 같았다. 그림 5(b)에서 전 방향으로 EBG 구조가 집적된 패치안테나와 길이 방향으로 EBG 구조가 집적된 패치안테나의 전방 방사는 각각 일반적인 패치안테나보다 2.13 dB 와 1.10 dB 증가함을 볼 수 있다. 후방 방사는 EBG 구조를 전 방향으로 집적했을 때와 길이 방향으로 집적했을 때 각각 일반적인 패치안테나에 비해 3.77 dB 와 3.72 dB 감소함을 볼 수 있다. EBG 구조가 집적된 안테나에서 E-평면 방사 패턴의 최대방사가 발생하는 각도는 전 방향으로 집적한 경우 1°로 표면파를 억제시켜 최대 방사가 발생하는 각도가 0° 근처로 이동하였다. EBG 구조를 길이 방향으로 집적한 경우 최대 방사가 발생하는 각도는 23°이나 최대 방사가 발생하는 각도에서의 방사와 전방 방사의 차이 0.05 dB 로 매우 작아 표면파가 억제되었음을 알 수 있다. 표 3은 기판 두께가 1.6 mm 인 경우 일반적인 패치안테나와 패치의 중심으로부터 EBG 구조까지의 여러 가지 거리에 대하여 전 방향과 길이 방향으로 EBG 구조를 집적한 패치안테나의 방사 특성을 보인다.

기판의 두께가 0.8 mm 인 경우, mushroom 형태의 EBG 구조를 기판의 전 방향으로 집적한 경우와 길이 방향으로 집적했을 경우 패치 중심에서 EBG 구조까지의 거리를 0.1 λ<sub>0</sub> 에서 0.4 λ<sub>0</sub> 까지 변화시켰을 때 공진 주파수가 일반적인 패치안테나의 공진 주파수와 모두 1 % 이내의 차이가 발생함을 볼 수 있었다. 특히, 두 경우 모두 패치 중심에서 EBG 구조까지의 거리가 0.1 λ<sub>0</sub> 이상일 때부터 EBG 구조가 입력 임피던스에 영향을 작게 주어 S<sub>11</sub> 스펙트럼이 일반적인 패치안테나와 비슷한 형태를 가졌다.

그림 6(a)와 (b)는 각각 기판 두께가 0.8 mm 인 경우 일반적인 패치안테나와 패치안테나의 중심으로부터 EBG 구조까지의 거리가 0.1 λ<sub>0</sub> 일 때 전 방향과 길이 방향으로 EBG 구조를 집적한 패치안테나의 S<sub>11</sub> 스펙트럼과 E-평면 방사 패턴을 보인다. 그림 6(a)에서 10 dB

표 3. 기판 두께가 1.6 mm 인 경우 일반적인 패치안테나와 패치안테나의 중심으로부터 EBG 구조까지의 여러 가지 거리에 대하여 전 방향과 길이 방향으로 EBG 구조를 집적한 패치안테나의 방사 특성

Table 3. Radiation characteristics of a conventional patch antenna, and patch antennas with EBG structures in all directions and length direction for several distances between the center of a patch and EBG structures for the substrate thickness of 1.6 mm.

비교		fo (GHz)	S11 (dB)	10dB BW(%)	전방 방사 (dBi)	후방 방사 (dBi)	최대방사 (° / dBi)	
패치에서 EBG 거리	기판상태						E-plane	H-plane
0.1 λ <sub>0</sub>	일반패치	5.00	30.93	1.6	5.88	-10.21	3 / 5.89	3 / 5.90
	길이방향 EBG	5.03	16.06	1.1	6.31	-10.74	1 / 6.31	-1 / 6.31
	전방향 EBG	5.04	16.71	0.9	5.87	-7.35	2 / 5.90	0 / 5.87
0.2 λ <sub>0</sub>	일반패치	4.99	29.72	1.6	4.68	-7.45	36 / 5.29	0 / 4.68
	길이방향 EBG	5.00	28.15	1.6	5.78	-11.17	23 / 5.83	0 / 5.78
	전방향 EBG	4.98	27.99	1.6	6.81	-11.22	1 / 6.81	1 / 6.81
0.3 λ <sub>0</sub>	일반패치	4.99	36.72	1.6	2.57	-7.24	40 / 5.94	-21 / 3.03
	길이방향 EBG	5.00	29.89	1.7	5.44	-15.59	25 / 5.95	2 / 5.45
	전방향 EBG	5.01	19.49	1.8	3.85	-18.12	35 / 5.80	-16 / 3.90
0.4 λ <sub>0</sub>	일반패치	5.00	27.36	1.6	1.79	-8.83	36 / 5.72	2 / 1.79
	길이방향 EBG	5.00	24.52	1.7	5.06	-10.44	24 / 5.70	1 / 5.07
	전방향 EBG	5.01	43.24	1.5	3.69	-16.94	30 / 5.90	-18 / 3.87

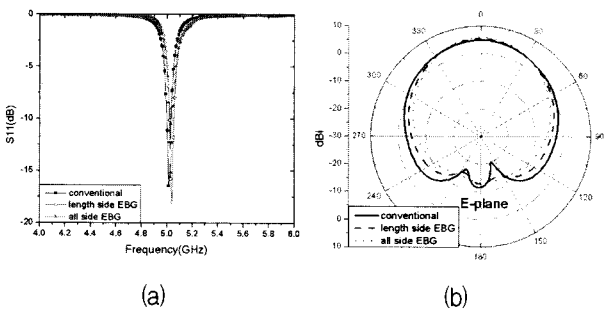


그림 6. 기판 두께가 0.8 mm 인 경우 일반적인 패치안테나와 패치안테나의 중심으로부터 EBG 구조까지의 거리가 0.1 λ<sub>0</sub> 일 때 전 방향과 길이 방향으로 EBG 구조를 집적한 패치안테나의 (a) S<sub>11</sub> 스펙트럼과 (b) E-평면 방사 패턴

Fig. 6. (a) S<sub>11</sub> spectrum and (b) E-plane radiation pattern of a conventional patch antenna, and patch antennas integrated with EBG structures in all directions and length direction when the distance between the center of a patch and EBG structures is 0.1 λ<sub>0</sub> for the substrate thickness of 0.8 mm.

대역폭은 일반적인 패치안테나와 EBG 구조를 안테나의 길이 방향으로 집적한 안테나는 모두 0.7 % 로 같았다. EBG 구조를 안테나의 전 방향으로 집적한 경우는

표 4. 기판 두께가 0.8 mm 인 경우 일반적인 패치안테나와 패치안테나의 중심으로부터 EBG 구조까지의 여러 가지 거리에 대하여 전 방향과 길이 방향으로 EBG 구조를 집적한 패치안테나의 방사 특성

Table 4. Radiation characteristics of a conventional patch antenna, and patch antennas with EBG structures in all directions and length direction for several distances between the center of a patch and EBG structures for the substrate thickness of 0.8 mm.

비교		fo (GHz)	S11 (dB)	10dB BW(%)	전방 방사 (dBi)	후방 방사 (dBi)	최대방사 (° / dBi)	
패치에서 EBG 거리	기판상태						E-plane	H-plane
0.1 λ <sub>0</sub>	일반패치	5.01	16.46	0.7	4.90	-11.55	1 / 4.90	0 / 4.90
	길이방향 EBG	5.04	18.01	0.7	5.36	-12.77	0 / 5.36	-4 / 5.33
	전방향 EBG	5.03	15.15	0.6	5.84	-13.22	1 / 5.84	-1 / 5.84
0.2 λ <sub>0</sub>	일반패치	5.03	18.33	0.7	4.01	-8.58	33 / 4.13	0 / 4.01
	길이방향 EBG	5.03	18.71	0.7	4.56	-10.89	7 / 4.60	-1 / 4.56
	전방향 EBG	5.03	16.55	0.7	5.52	-14.70	2 / 5.53	0 / 5.52
0.3 λ <sub>0</sub>	일반패치	5.03	17.77	0.7	2.42	-9.48	37 / 4.83	-11 / 2.44
	길이방향 EBG	5.03	16.75	0.7	3.06	-11.15	34 / 4.82	-2 / 3.07
	전방향 EBG	5.03	16.93	0.7	2.13	10.07	38 / 5.33	17 / 2.31
0.4 λ <sub>0</sub>	일반패치	5.03	16.48	0.7	1.38	-9.35	34 / 4.77	0 / 1.38
	길이방향 EBG	5.03	15.57	0.7	2.80	-11.49	30 / 4.49	3 / 2.84
	전방향 EBG	5.03	16.62	0.7	1.88	-13.30	33 / 5.16	-9 / 1.93

10 dB 대역폭이 0.6 % 로 일반적인 패치안테나에 비해 줄어들었다. 그림 6(b)에서 EBG 구조가 집적된 패치안테나의 전방 방사는 EBG 구조를 전 방향으로 집적한 경우와 길이 방향으로 집적한 경우 각각 일반적인 패치안테나보다 0.94 dB 와 0.46 dB 증가하여 전방 방사 증가폭에 큰 차이가 없었다. 후방 방사는 EBG 구조를 전 방향으로 집적했을 때와 길이 방향으로 집적했을 때 각각 일반적인 패치안테나에 비해 1.67 dB 와 1.22 dB 감소함을 볼 수 있다.

EBG 구조가 집적된 안테나에서 E-평면 방사 패턴의 최대방사가 발생하는 각도는 전 방향으로 집적한 경우와 길이 방향으로 집적했을 때 각각 1°와 0°로 두 경우 모두 표면파를 억제시켜 최대 방사가 0° 근처에서 발생하였다. 표 4는 기판 두께가 0.8 mm 인 경우 일반적인 패치안테나와 패치의 중심으로부터 EBG 구조까지의 여러 가지 거리에 대하여 전 방향과 길이 방향으로 EBG 구조를 집적한 패치안테나의 방사 특성을 보인다.

### IV. EBG 구조의 주기 수가 패치안테나의 방사 특성에 미치는 영향

EBG 구조를 단일 패치안테나에 집적하면 안테나의 방사 특성을 개선할 수 있지만 안테나의 크기가 커지고 제작 공정이 복잡해지는 단점을 가지고 있다. 기판 두께에 따라 표면파를 효율적으로 억제시키고 기판 크기도 줄일 수 있는 최적화된 EBG 구조의 주기 수를 찾기 위해 기판 두께가 3.2 mm, 1.6 mm, 0.8 mm 일 때 집적된 EBG 구조의 주기 수를 변화시키며 방사 특성을 전산모의 하였다. EBG 구조를 각각 기판의 전 방향과 길이 방향으로 집적한 경우 여러 가지 기판 두께에서 3장에서 구한 패치의 중심과 EBG 구조까지의 최적화된 거리에서 EBG 구조의 주기 수를 1 주기에서 4 주기까지 1 주기씩 증가시켜가며 패치안테나의 방사 특성을 전산모의 하였다.

그림 7(a)와 (b), (c)와 (d)는 각각 기판 두께가 3.2

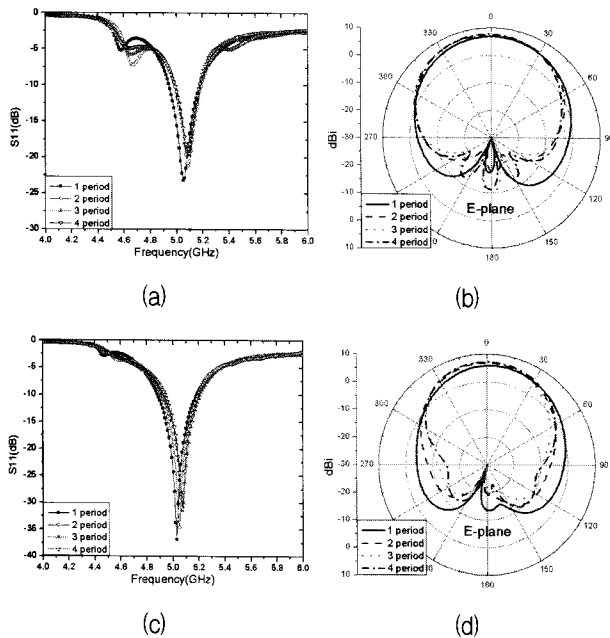


그림 7. 기판 두께가 3.2 mm 인 경우 여러 가지 주기 수의 EBG 구조를 전 방향으로 집적한 패치안테나의 (a) S<sub>11</sub> 스펙트럼과 (b) E-평면의 방사 패턴, 길이 방향으로 집적한 패치안테나의 (c) S<sub>11</sub> 스펙트럼과 (d) E-평면의 방사 패턴

Fig. 7. (a) S<sub>11</sub> spectrum and (b) E-plane radiation pattern of patch antennas integrated with EBG structures in all directions, and (c) S<sub>11</sub> spectrum and (d) E-plane radiation pattern of those in length direction for EBG structures of several periods for the substrate thickness of 3.2 mm.

mm 인 경우 여러 가지 주기 수의 EBG 구조를 각각 전 방향으로 집적했을 때와 길이 방향으로 집적했을 때의 패치안테나의 S<sub>11</sub> 스펙트럼과 E-평면의 방사 패턴을 보인다. EBG 구조를 전 방향으로 집적했을 경우, 그림 7(a)에서 공진 주파수는 EBG 구조의 주기 수와 상관없이 모든 경우 2 % 이내의 차이가 발생하였다. 10 dB 대역폭은 EBG 구조의 주기 수가 1, 2, 3, 4 주기인 경우 각각 4.55 %, 4.13 %, 3.73 %, 3.74 % 이다. EBG 구조의 주기 수가 1, 2, 3, 4 주기일 때 기판 크기는 각각 약 1.0 λ<sub>0</sub>, 1.2 λ<sub>0</sub>, 1.4 λ<sub>0</sub>, 1.6 λ<sub>0</sub> 이고 기판 크기에 따라 표면파의 영향으로 일반적인 패치안테나의 전방 방사는 각각 5.24 dBi, 0.77 dBi, -0.65 dBi, 0.35 dBi 이다<sup>[12]</sup>. EBG 구조 집적 후 일반적인 패치안테나에 비해 전방 방사의 증가 폭은 EBG 구조가 1 주기일 때 1.60 dB 증가했고 EBG 구조가 2, 3, 4 주기일 때 각각 6.57 dB, 7.89 dB, 7.33 dB씩 증가하여 EBG 구조가 2 주기 이상일 때부터 크게 증가했다. 그림 7(b)에서 EBG 구조가 1, 2, 3, 4 주기일 때 전방 방사는 각각 6.84 dBi, 7.34 dBi, 7.24 dBi, 7.68 dBi 로 EBG 구조가 1 주기일 때 가장 작고 4 주기일 때가 가장 컸다. E-평면 방사 패턴의 최대방사가 발생하는 각도는 EBG 구조가 1, 2, 3, 4 주기일 때 각각 -1°, -8°, -9°, -6°로 표면파를 억제시켜 최대 방사가 발생하는 각도가 0° 근처로 이동함을 볼 수 있다.

EBG 구조를 길이 방향으로 집적했을 경우, 그림 7(c)에서 공진 주파수의 변화는 일반적인 패치안테나에 비해 EBG 구조의 주기 수와 상관없이 모든 경우 2 % 이내로 차이가 발생하였다. 10 dB 대역폭은 EBG 구조가 1, 2, 3, 4 주기인 경우 각각 5.96 %, 5.74 %, 5.72 %, 5.03 % 로 EBG 구조의 주기 수가 증가할수록 감소하였다. EBG 구조 집적 후 일반적인 패치안테나에 비해 전방 방사의 증가 폭은 EBG 구조가 1 주기일 때 0.57 dB 증가했고 EBG 구조가 2, 3, 4 주기일 때 각각 6.03 dB, 7.92 dB, 6.80 dB 증가하여 EBG 구조가 2 주기일 때부터 크게 증가했다. 그림 7(d)에서 EBG 구조가 1, 2, 3, 4 주기일 때 전방 방사는 각각 5.81 dBi, 6.80 dBi, 7.27 dBi, 7.15 dBi 로 EBG 구조가 3 주기일 때 가장 좋았다. E-평면 방사 패턴의 최대방사가 발생하는 각도는 EBG 구조가 1, 2, 3, 4 주기일 때 각각 6°, 0°, -2°, -1°로 표면파를 억제시켜 최대 방사가 발생하는 각도가 0° 근처로 이동하였다.

EBG 구조를 전 방향으로 집적했을 경우와 길이 방

향으로 집적했을 경우 모두 표면파를 억제하여 전방 방사를 향상시키기 위해 EBG 구조는 최소한 2 주기 이상 집적해야 하고 3 주기를 집적했을 때 일반적인 패치안테나보다 전방 방사의 증가폭이 가장 크게 발생하였다. EBG 구조가 1, 2, 4 주기일 때 EBG 구조를 전 방향으로 집적했을 경우 길이 방향으로 집적했을 때보다 전방 방사가 각각 1.03 dB, 0.54 dB, 0.53 dB 더 컸고, EBG 구조가 3 주기일 때는 0.03 dB 더 작아서 EBG 구조가 전 방향으로 집적했을 경우와 길이 방향으로 집적한 두 경우 모두 전방 방사가 크게 차이가 나지 않음을 보인다. 또한 EBG 구조의 주기 수가 4 주기일 때 3 주기일 때에 비하여 전방 방사 향상이 크게 개선되지 않음을 볼 수 있다. 표 5는 기판 두께가 3.2 mm 인 경우 여러 가지 주기 수의 EBG 구조를 전 방향과 길이 방향으로 집적한 패치안테나와 일반적인 패치안테나의 방사 특성을 나타낸다.

그림 8(a)와 (b), (c)와 (d)는 각각 기판 두께가 1.6 mm 인 경우 여러 가지 주기 수의 EBG 구조를 각각 전 방향으로 집적했을 때와 길이 방향으로 집적했을 때의 패치안테나의 S<sub>11</sub> 스펙트럼과 E-평면의 방사 패턴을

표 5. 기판 두께가 3.2 mm 인 경우 여러 가지 주기 수의 EBG 구조를 전 방향과 길이 방향으로 집적한 패치안테나 와 일반 패치안테나의 방사 특성

Table 5. Radiation characteristics of a conventional patch antenna, and patch antennas integrated with EBG structures of several periods in all directions and length direction for the substrate thickness of 3.2 mm.

비교 EBG 주기수	기판상태	f <sub>0</sub> (GHz)	S <sub>11</sub> (dB)	10dB BW(%)	전방 방사 (dBi)	후방 방사 (dBi)	최대방사 (° / dBi)	
							E-plane	H-plane
1 주기	일반패치	5.00	26.11	5.20	5.24	-6.98	5 / 5.29	-1 / 5.24
	길이방향 EBG	5.03	36.85	5.96	5.81	-13.63	6 / 5.90	-2 / 5.82
	전방향 EBG	5.05	23.24	4.55	6.84	-17.84	-1 / 6.84	0 / 6.84
2 주기	일반패치	4.98	27.29	5.32	0.77	-4.11	48 / 7.05	-35 / 1.71
	길이방향 EBG	5.05	34.59	5.74	6.80	-19.36	0 / 6.80	0 / 6.80
	전방향 EBG	5.09	21.22	4.13	7.34	-17.78	-8 / 7.41	0 / 7.34
3 주기	일반패치	4.98	31.58	6.12	-0.65	-6.14	44 / 4.87	-3 / -0.63
	길이방향 EBG	5.07	31.52	5.72	7.27	-21.80	-2 / 7.28	0 / 7.27
	전방향 EBG	5.09	19.65	3.73	7.24	-10.20	-9 / 7.34	0 / 7.24
4 주기	일반패치	5.03	36.83	5.67	0.35	-6.14	41 / 5.75	0 / 0.35
	길이방향 EBG	5.07	31.01	5.03	7.15	-19.44	-1 / 7.15	0 / 7.15
	전방향 EBG	5.08	18.86	3.74	7.68	-11.43	-6 / 7.76	0 / 7.68

보인다. EBG 구조를 기판의 전 방향으로 집적했을 경우, 그림 8(a)에서 공진 주파수의 변화는 일반적인 패치안테나에 비해 EBG 구조의 주기 수에 상관없이 모든 경우 1 % 이내의 차이가 발생하였다. 10 dB 대역폭은 EBG 구조의 주기 수에 상관없이 모든 경우 1.6 % 로 차이가 없었다. EBG 구조의 주기 수가 1, 2, 3, 4 주기일 때 기판 크기는 각각 약 0.6 λ<sub>0</sub>, 0.8 λ<sub>0</sub>, 1.0 λ<sub>0</sub>, 1.2 λ<sub>0</sub> 이고 기판 크기에 따라 표면파의 영향으로 일반적인 패치안테나의 전방 방사는 각각 5.54 dBi, 5.22 dBi, 5.88 dBi, 4.68 dBi 이다. EBG 구조 집적 후 일반적인 패치안테나에 비해 전방 방사의 증가 폭은 EBG 구조가 1 주기일 때 0.41 dB 증가했고 EBG 구조가 2, 3, 4 주기일 때 각각 1.19 dB, 0.93 dB, 2.13 dB 증가하여 EBG 구조가 2 주기 이상일 때부터 이득이 향상 되었다. 그림 8(b)에서 EBG 구조가 1, 2, 3, 4 주기일 때 전방 방사는 각각 5.95 dBi, 6.41 dBi, 6.81 dBi, 6.81 dBi 로 EBG 구조가 3, 4 주기일 때가 가장 좋았다. E-평면 방

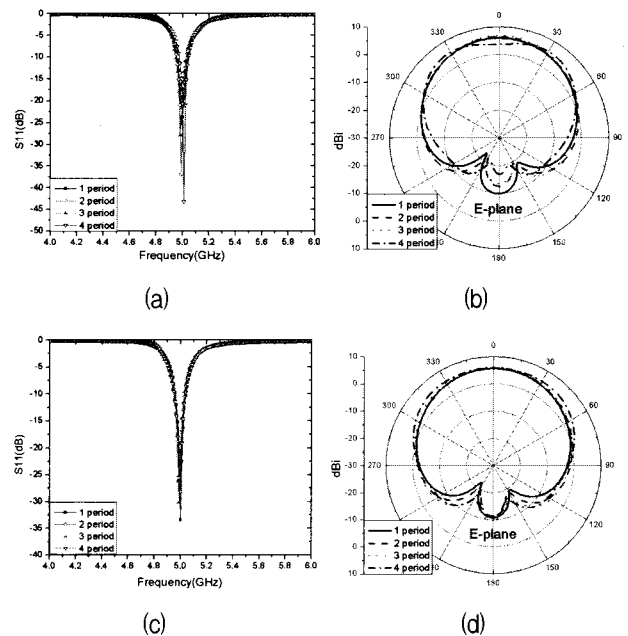


그림 8. 기판 두께가 1.6 mm 인 경우 여러 가지 주기 수의 EBG 구조를 전 방향으로 집적한 패치안테나의 (a) S<sub>11</sub> 스펙트럼과 (b) E-평면의 방사 패턴, 길이 방향으로 집적한 패치안테나의 (c) S<sub>11</sub> 스펙트럼과 (d) E-평면의 방사 패턴

Fig. 8. (a) S<sub>11</sub> spectrum and (b) E-plane radiation pattern of patch antennas integrated with EBG structures in all directions, and (c) S<sub>11</sub> spectrum and (d) E-plane radiation pattern of those in length direction for EBG structures of several periods for the substrate thickness of 1.6 mm.



사 패턴의 최대방사가 발생하는 각도는 EBG 구조가 1, 2, 3, 4 주기일 때 각각  $-1^\circ$ ,  $-8^\circ$ ,  $-9^\circ$ ,  $-6^\circ$ 로 표면파를 억제시켜 최대 방사가 발생하는 각도가  $0^\circ$  근처로 이동하였다.

EBG 구조를 길이 방향으로 집적했을 경우, 그림 8(c)에서 공진 주파수의 변화는 일반적인 패치안테나에 비해 EBG 구조의 주기 수에 상관없이 모든 경우 1% 이내의 차이가 발생하였다. 10 dB 대역폭은 EBG 구조의 주기 수에 상관없이 모든 경우 1.6%로 차이가 없었다. EBG 구조 집적 후 일반적인 패치안테나에 비해 전방 방사 증가 폭은 EBG 구조가 1 주기일 때 0.10 dB 증가하였고 EBG 구조가 2, 3, 4 주기일 때 각각 0.59 dB, 0.29 dB, 1.10 dB 증가하여 EBG 구조가 2 주기 이상일 때부터 비교적 많이 증가했다. 그림 8(d)에서 EBG 구조가 1, 2, 3, 4 주기일 때 전방 방사는 각각 5.64 dBi, 5.81 dBi, 6.17 dBi, 5.78 dBi 로 EBG 구조가 3 주기일 때 가장 좋았다. E-평면 방사 패턴의 최대방사가 발생하는 각도는 EBG 구조가 1 주기에서 3 주기까지 증가할 때 각각  $0^\circ$ 와  $1^\circ$ ,  $0^\circ$ 로 최대 방사가 발생하는 각도가  $0^\circ$  근처에서 일어났다. EBG 구조가 4 주기일 때 일반적인 패치안테나에 비해 최대 방사가 발생하는 각도가  $23^\circ$ 였지만 전방 방사와의 차이가 0.05 dB 의 매우 작은 차이를 보였다.

EBG 구조를 전 방향으로 집적했을 경우와 길이 방향으로 집적했을 경우 모두 표면파를 억제하여 전방 방사를 향상하기 위해 EBG 구조는 최소한 2 주기 이상 집적해야 하고 3 주기 이상에서는 전방 방사 크기가 거의 변화가 없음을 볼 수 있었다. 4 주기를 집적한 경우 3 주기를 집적한 경우에 비하여 전방 방사 증가 폭이 커진 이유는 다음과 같다고 생각된다. 4 주기를 집적한 경우의 기판 크기에서 일반적인 패치안테나에서 발생하는 표면파와 패치에서 직접 방사되는 전자파가 상쇄 간섭이 발생하여 전방 방사가 감소되는 반면에 3 주기를 집적한 경우의 기판 크기에서 일반적인 패치안테나에서 발생하는 표면파와 패치에서 직접 방사되는 전자파가 보강 간섭이 발생하여 전방 방사가 크기 때문이다. 따라서 4 주기인 경우는 표면파 억제에 의하여 전방 방사가 크게 증가되지만 3 주기인 경우는 표면파 억제에 의한 전방 방사 증가가 크게 발생하지 않는다.

EBG 구조가 1, 2, 3, 4 주기일 때 EBG 구조를 전 방향으로 집적했을 경우 길이 방향으로 집적했을 때보다 전방 방사가 각각 0.31 dB, 0.60 dB, 0.64 dB, 1.03 dB

표 6. 기판 두께가 1.6 mm 인 경우 여러 가지 주기 수의 EBG 구조를 전 방향과 길이 방향으로 집적한 패치안테나 와 일반 패치안테나의 방사 특성

Table 6. Radiation characteristics of a conventional patch antenna, and patch antennas integrated with EBG structures of several periods in all directions and length direction for the substrate thickness of 1.6 mm.

비교 EBG 주기 수	기판상태	fo (GHz)	S11 (dB)	10dB BW(%)	전방 방사 (dBi)	후방 방사 (dBi)	최대방사 (° / dBi)	
							E-plane	H-plane
1 주기	일반패치	5.00	40.73	1.6	5.54	-11.34	0/5.54	0/5.54
	길이방향 EBG	5.00	33.47	1.6	5.64	-10.83	0/5.64	-1/5.64
	전방향 EBG	5.00	23.72	1.6	5.95	-9.66	0/5.95	0/5.95
2 주기	일반패치	4.98	30.95	1.6	5.22	-15.10	0/5.22	0/5.22
	길이방향 EBG	4.99	28.38	1.6	5.81	-11.33	1/5.81	0/5.81
	전방향 EBG	4.99	37.06	1.6	6.41	-12.56	0/6.41	0/6.41
3 주기	일반패치	5.00	30.93	1.6	5.88	-10.21	3/5.88	3/5.88
	길이방향 EBG	4.99	30.13	1.6	6.17	-9.73	0/6.17	0/6.17
	전방향 EBG	4.98	27.84	1.6	6.81	-13.31	1/6.81	-2/6.81
4 주기	일반패치	4.99	29.72	1.6	4.68	-7.45	36/5.29	0/4.68
	길이방향 EBG	5.00	28.15	1.6	5.78	-11.17	23/5.83	0/5.78
	전방향 EBG	4.98	27.99	1.6	6.81	-11.22	1/6.81	1/6.81

더 커져서 EBG 구조가 전 방향으로 집적했을 경우와 길이 방향으로 집적한 두 경우 모두 전방 방사가 크게 차이가 나지 않음을 보인다. 표 6은 기판 두께가 1.6 mm 인 경우 여러 가지 주기 수의 EBG 구조를 전 방향과 길이 방향으로 집적한 패치안테나와 일반적인 패치안테나의 방사 특성을 나타낸다.

그림 9(a)와 (b), (c)와 (d)는 각각 기판 두께가 0.8 mm 인 경우 여러 가지 주기 수의 EBG 구조를 각각 전 방향으로 집적했을 때와 길이 방향으로 집적했을 때의 패치안테나의 S11 스펙트럼과 E-평면의 방사 패턴을 보인다. EBG 구조를 기판의 전 방향으로 집적한 경우, 그림 9(a)에서 공진 주파수의 변화는 일반적인 패치안테나에 비해 EBG 구조의 주기 수에 상관없이 모든 경우 1% 이내의 차이가 발생하였다. 10 dB 대역폭은 EBG 구조의 주기 수에 상관없이 0.6%로 차이가 없었다. EBG 구조가 1, 2, 3, 4 주기일 때 기판 크기는 각각 약  $0.4 \lambda_0$ ,  $0.6 \lambda_0$ ,  $0.8 \lambda_0$ ,  $1.0 \lambda_0$  이고 기판 크기에 따라 표면파가 전방 방사에 미치는 영향이 달라 일반적인 패치안테나의 전방 방사는 각각 4.15 dBi, 4.71 dBi, 4.55 dBi, 4.90 dBi 이다. EBG 구조 집적 후 일반적인 패치안테나에 비해 전방 방사의 증가 폭은 EBG 구조가 1,

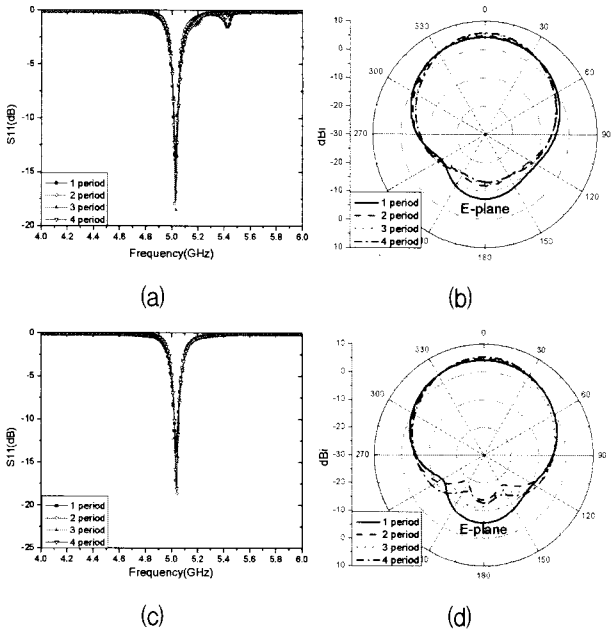


그림 9. 기판 두께가 0.8 mm인 경우 여러 가지 주기 수의 EBG 구조를 전 방향으로 집적한 패치안테나의 (a)  $S_{11}$  스펙트럼과 (b) E-평면의 방사 패턴, 길이 방향으로 집적한 패치안테나의 (c)  $S_{11}$  스펙트럼과 (d) E-평면의 방사 패턴

Fig. 9. (a)  $S_{11}$  spectrum and (b) E-plane radiation pattern of patch antennas integrated with EBG structures in all directions, and (c)  $S_{11}$  spectrum and (d) E-plane radiation pattern of those in length direction for EBG structures of several periods for the substrate thickness of 0.8 mm.

2 주기일 때 각각 0.13 dB, 0.04 dB 증가했고 EBG 구조가 3, 4 주기일 때 각각 0.87 dB, 0.94 dB 증가하여 EBG 구조가 3 주기 이상일 때부터 비교적 많이 증가했다. 그림 9(b)에서 EBG 구조가 1, 2, 3, 4 주기일 때 전방 방사는 각각 4.28 dBi, 4.75 dBi, 5.42 dBi, 5.84 dBi 이다. E-평면 방사 패턴의 최대방사가 발생하는 각도는 EBG 구조가 1, 2, 3, 4 주기일 때 각각  $-1^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $1^\circ$  로 표면파를 억제시켜 최대 방사가 발생하는 각도가  $0^\circ$  근처로 이동하였다.

EBG 구조를 기판의 길이 방향으로 집적한 경우, 그림 9(c)에서 공진 주파수의 변화는 일반적인 패치안테나에 비해 EBG 구조의 주기 수에 상관없이 모든 경우 1% 이내의 차이가 발생하였다. 10 dB 대역폭은 EBG 구조의 주기 수에 상관없이 모든 경우 0.7% 로 차이가 없었다. EBG 구조 집적 후 일반적인 패치안테나에 비해 전방 방사선의 증가 폭은 EBG 구조가 1, 2 주기일 때 각각 0.10 dB, 0.02 dB 증가했고 EBG 구조가 3, 4 주기일 때 각각 0.22 dB, 0.46 dB 증가하여 EBG 구조가 3

표 7. 기판 두께가 0.8 mm 인 경우 여러 가지 주기 수의 EBG 구조를 전 방향과 길이 방향으로 집적한 패치안테나와 일반 패치안테나의 방사 특성

Table 7. Radiation characteristics of a conventional patch antenna, and patch antennas integrated with EBG structures of several periods in all directions and length direction for the substrate thickness of 0.8 mm.

비교 EBG 주기 수	기판상태	$f_0$ (GHz)	$S_{11}$ (dB)	10dB BW(%)	전방 방사 (dBi)	후방 방사 (dBi)	최대방사 ( $^\circ$ / dBi)	
							E-plane	H-plane
1 주기	일반패치	5.03	10.64	0.5	4.15	-5.42	-3/4.16	0/4.15
	길이방향 EBG	5.03	13.76	0.7	4.25	-5.63	-2/4.25	-1/4.25
	전방향 EBG	5.02	13.35	0.6	4.28	-7.30	-1/4.28	0/4.28
2 주기	일반패치	5.03	16.79	0.7	4.71	-11.69	-1/4.71	-1/4.71
	길이방향 EBG	5.04	18.65	0.7	4.73	-13.88	0/4.73	1/4.73
	전방향 EBG	5.02	17.95	0.6	4.75	-11.69	0/4.75	0/4.75
3 주기	일반패치	5.03	18.74	0.7	4.55	-14.89	0/4.55	1/4.55
	길이방향 EBG	5.03	17.08	0.7	4.77	-11.51	-3/4.80	-3/4.79
	전방향 EBG	5.03	18.52	0.6	5.42	-12.54	0/5.42	1/5.42
4 주기	일반패치	5.01	16.46	0.7	4.90	-11.55	1/4.90	0/4.90
	길이방향 EBG	5.04	18.01	0.7	5.36	-12.77	0/5.36	-4/5.38
	전방향 EBG	5.03	15.15	0.6	5.84	-13.22	1/5.84	-1/5.84

주기 이상일 때부터 비교적 많이 증가했다. 그림 9(d)에서 EBG 구조가 1, 2, 3, 4 주기일 때 전방 방사는 각각 4.25 dBi, 4.73 dBi, 4.77 dBi, 5.36 dBi 이다. E-평면 방사 패턴의 최대방사가 발생하는 각도는 EBG 구조가 1, 2, 3, 4 주기일 때 각각  $-2^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $-3^\circ$ ,  $0^\circ$ 로 표면파를 억제시켜 최대 방사가 발생하는 각도가  $0^\circ$  근처로 이동하였다. EBG 구조를 길이 방향으로 집적했을 경우 표면파를 억제하여 전방 방사를 향상하기 위해 EBG 구조는 최소한 3 주기 이상 집적해야 함을 알 수 있다.

EBG 구조가 1, 2, 3, 4 주기일 때 EBG 구조를 전 방향으로 집적했을 경우 길이 방향으로 집적했을 때보다 전방 방사선이 각각 0.03 dB, 0.02 dB, 0.65 dB, 0.48 dB 커져 EBG 구조가 전 방향으로 집적했을 경우와 길이 방향으로 집적한 두 경우 모두 전방 방사선이 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있다. EBG 구조를 전 방향으로 집적했을 경우와 길이 방향으로 집적했을 경우 모두 표면파를 억제하여 전방 방사를 향상시키기 위해 EBG 구조는 최소한 3 주기 이상 집적해야 함을 알 수 있다. 표 7은 기판 두께가 0.8 mm 인 경우 여러 가지 주기 수의 EBG 구조를 전 방향과 길이 방향으로 집적한 패치안테나와 일반적인 패치안테나의 방사 특성을 나타낸다.

## V. 결 론

## 참 고 문 헌

본 논문에서는 단일 패치안테나의 표면파를 억제하고 방사 특성을 개선하기 위해 기판에 mushroom 형태의 EBG 구조가 집적된 패치안테나의 방사 특성을 전산 모의한 결과를 체계적으로 분석하였다. 전산모의에 사용한 기판은 유전 상수가 10이고 loss tangent가 0.0035인 Taconic사의 CER-10이며 패치안테나의 동작 주파수는 5 GHz 이고 기판은 정사각형 기판을 사용하였다.

EBG 구조를 안테나에 집적하기 위해 패치안테나의 중심에서 EBG 구조의 단위 셀까지의 거리에 따른 특성을 여러 가지 기판 두께에 대해 살펴보았다. 기판이 두꺼워질수록 표면파가 더 많이 발생하여 EBG 구조가 입력 임피던스에 미치는 영향이 커져서 안테나의 입력 임피던스에 영향을 많이 주는 것을 볼 수 있었다. 기판 두께가 각각 3.2 mm, 1.6 mm, 0.8 mm 인 경우 EBG 구조와 패치 중심 사이의 거리가 각각  $0.4 \lambda_0$ ,  $0.2 \lambda_0$ ,  $0.1 \lambda_0$  이상 되어야 EBG 구조가 패치안테나의 입력 임피던스에 영향을 거의 주지 않음을 볼 수 있었다. 패치안테나의 입력 임피던스가 영향을 거의 받지 않은 경우에는 EBG 구조를 집적한 안테나와 일반적인 안테나의  $S_{11}$  스펙트럼이 비슷한 형태를 가졌고 동작주파수의 차이가 1% 이내였다.

집적된 EBG 구조의 주기 수에 따른 방사 특성을 살펴본 결과 기판의 두께가 각각 3.2 mm, 1.6 mm, 0.8 mm 일 때 EBG 구조를 전 방향으로 집적한 경우와 길이 방향으로 집적한 경우 모두 각각 2 주기, 2 주기, 3 주기 이상 집적하면 표면파가 억제되어 일반적인 패치안테나보다 전방 방사가 향상되었고, 3 주기 집적한 경우와 4 주기 집적한 경우 전방 방사 증가폭의 변화가 크지 않았다. 또한 EBG 구조가 표면파를 충분히 억제한 경우 최대 방사가 일어나는 각도가 E-평면의  $0^\circ$  근처에서 발생하였다.

EBG 구조를 기판의 전 방향으로 집적했을 때는 기판의 폭 방향으로 발생하는 표면파의 억제로 길이 방향으로 집적했을 때보다 전방 방사의 이득이 향상되었지만 그 차이는 크지 않았다. 기판 두께가 3.2 mm, 1.6 mm, 0.8 mm 일 때 4 주기의 EBG 구조를 집적한 경우, EBG 구조를 전 방향으로 집적한 경우가 길이 방향으로 집적한 경우보다 전방 방사가 각각 0.53 dB, 1.03 dB, 0.48 dB 더 커서 큰 차이가 없음을 볼 수 있었다.

- [1] Y. Rahmat-Samii and H. Mosallaei, "Electromagnetic band-gap structures: Classification, characterization and applications," in *Proc. Inst. Elect. Eng.-ICAP Symp.*, Apr. 2001, pp. 560-564.
- [2] D. Sievenpiper, L. Zhang, R. J. Broas, N. Alexópolous, and E. Yablonovitch, "High-Impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, pp. 2059-2074, Nov. 1999.
- [3] Coccioli, R., Fei-Ran Yang, Kuang-Ping Ma, Itoh, T., "Aperture-coupled patch antenna on UC-PBG substrate," *IEEE Transactions on microwave theory and techniques*, Vol. 47, no. 11, pp. 2123-2130, Nov. 1999.
- [4] F. Yang and Y. Rahmat-Samii, "Microstrip Antennas Integrated With Electromagnetic Band-Gap(EBG) Structures: A Low Mutual Coupling Design for array Applications," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 51, No. 10, Oct. 2003.
- [5] Zeev Iluz, Reuven Shavit, and Reuven Bauer, "Microstrip Antenna Phased Array with Electromagnetic Bandgap Substrate," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 52, No. 6, pp.1446-1453, June 2004.
- [6] Guan Chen, Kathleen L. Melde, "Cavity Resonance Suppression in Power Delivery Systems Using Electromagnetic Band Gap Structures," *IEEE Trans. Advanced packaging*, Vol. 29, No. 1, Feb. 2006.
- [7] Shahparnia, S., Ramahi, O.M., "Electromagnetic Interference (EMI) Reduction from Printed Circuit Boards (PCB) Using Electromagnetic Bandgap Structures," *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, Vol. 46, Issue 4, pp.580 - 587, Nov. 2004.
- [8] F. Yang and Y. Rahmat-Samii, "Reflection Phase Characterizations of the EBG Ground Plane for Low Profile Wire Antenna Applications," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 51, No. 10, Oct. 2003.
- [9] T. Ueda, N. Michishita, M. Akiyama, and T. Itoh, "Dielectric-Resonator-Based Composite Right / Left-Handed Transmission Lines and Their Application to Leaky Wave Antenna", *IEEE Trans. Microw. Theory Propag.*, Vol. 56, No. 10, Oct. 2008.

- [10] R. Gonzalo, P. De Maagt, M. Sorolla, "Enhanced patch-antenna performance by suppressing surface waves using photonic-bandgap substrates", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol 47, Issue 11, pp. 2131 - 2138, Nov. 1999.
- [11] Sergio Clavijo, Rodolfo E. Díaz, and William E. McKinzie, "Design Methodology for Sievenpiper High-Impedance Surfaces: An Artificial Magnetic Conductor for Positive Gain Electrically Small Antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 51, No. 10, OCT. 2003.
- [12] 박재우, 김태영, 김부균, 신종덕, "유한한 정사각형 기관의 크기가 마이크로스트립 패치안테나의 방사 특성에 미치는 영향," *전자공학회논문지*, 제46권, TC편, 제2호 pp. 33-41, 2009년 2월.

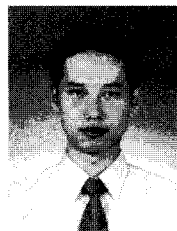
---

 저 자 소 개
 

---



곽 은 혁(학생회원)  
 2009년 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사 졸업.  
 2009년~현재 숭실대학교 전자공학과 석사 과정.  
 <주관심분야 : Microstrip Antennas, EBG>



김 태 영(학생회원)  
 2003년 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사 졸업.  
 2005년 숭실대학교 전자공학과 석사 졸업.  
 2005년~현재 숭실대학교 전자공학과 박사 과정.

<주관심분야 : Microstrip Antennas, EBG, THz signal generation>



김 부 균(평생회원)  
 1979년 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
 1981년 KAIST 전기및전자공학과 (공학석사)  
 1989년 University of Southern California, 전자공학과 (공학박사)

1993년 IBM Almaden 연구소 방문 연구원  
 1997년~1998년 Univ. of California at Santa Barbara 방문 부교수  
 2004년~2006년 산자부 산업기술발전심의회 위원  
 2008년~현재 숭실대학교 IT대학 학장  
 1981년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수  
 <주관심분야 : 위상 배열 안테나, SiP, 광통신 및 광네트워크용 소자>