

논문 2008-45TC-4-6

# Mushroom 형태의 EBG 구조가 집적된 마이크로스트립 패치 안테나의 방사 특성 해석

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

김 상 우\*, 김 부 균\*\*, 신 종 덕\*\*

( SangWoo Kim, Boo-Gyoun Kim, and Jong-Dug Shin )

## 요 약

패치 안테나 주위에 mushroom 형태를 가지는 EBG 구조를 길이 방향, 폭 방향과 모든 방향으로 집적한 경우 구조 파라미터에 따른 패치 안테나의 방사 특성을 연구하였다. EBG 구조가 길이 방향을 따라 집적된 경우가 가장 방사 특성이 좋음을 볼 수 있었다. EBG 패치 edge에서 패치 안테나의 피드까지의 거리가 같은 경우가 패치 안테나의 중심까지의 거리가 같은 경우와 비교하여 E-평면 방사패턴이 대칭적이고 전방방사 크기가 커지고 후방방사 크기가 작아짐을 볼 수 있었다. 사용하는 EBG 구조의 주기 수가 4주기 이상이 되게 되면 방사특성 변화는 거의 발생하지 않음을 볼 수 있었다.

## Abstract

Radiation characteristics of microstrip patch antennas integrated with mushroom-like EBG structures in length direction, width direction and all directions are analyzed. Patch antennas integrated with EBG structures in length direction shows the best radiation characteristics among the cases integrated in three directions. The case for the feed point of a patch antenna located in the center of both EBG structures integrated with a patch antenna shows better symmetric E-plane radiation pattern, higher forward radiation intensity, and lower backward radiation intensity compared to the case for the center of a patch antenna located in the center of both EBG structures. The variation of the radiation characteristics of patch antennas integrated with EBG structures more than 4 periods versus number of periods of EBG structures integrated is very small.

**Keywords :** Patch antenna, EBG structure, Radiation characteristics, Surface wave, Bandwidth

## I. 서 론

마이크로스트립 패치 안테나는 높이가 낮고(low-profile), 무게가 가볍고, 면 구조를 가지며, 저렴하게 제작할 수 있기 때문에 널리 사용되고 있으나 대역폭이 좁고 효율

이 낮다는 단점을 가진다.<sup>[1]</sup> 소형의 안테나를 제작할 경우와 안테나를 RF front-end 와 집적화시키고자 하는 경우에는 패치 안테나에 사용되는 기판의 유전상수는 커야한다. 또한 안테나의 대역폭을 쉽게 확장시킬 수 있는 방법은 기판의 두께를 증가시키는 것이다. 그러나 기판의 유전율이 커지고 두께가 증가하게 되면 표면파 발생이 증가하게 되어 안테나의 효율이 저하되는 단점이 있고 패치에서 방사되는 전자파와 기판 경계에서 회절되는 표면파와의 간섭현상이 발생하여 안테나의 방사 패턴에 좋지 않은 영향을 미치고 후방방사를 증가시킨다.

최근에 전자파의 전파를 효율적으로 제어할 수 있는 EBG (Electromagnetic Bandgap) 구조의 소자 및 시스템에 응용이 마이크로파 및 안테나 공학 분야에서 큰

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

※ 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-11342-0)와 송실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음.

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT 원천기술개발사업사업의 일환으로 수행하였음.

[2007-F- ]041-02, 지능형 안테나 기술 개발]

접수일자: 2008년1월17일, 수정완료일: 2008년4월18일

관심의 대상이 되고 있다. EBG 구조는 단위 구조가 반복되는 주기 구조물로서 이러한 구조물에서는 특정 주파수 대역의 전자파의 전파가 허용되지 않는다. 이러한 EBG 구조를 마이크로파 공학에 사용하기 위하여 여러 가지 구조가 제안되었고 여러 가지 소자에 적용하여 소자의 특성이 향상됨을 보였다.<sup>[2]</sup> EBG 구조를 이용해 안테나의 전력 이득 향상과 방사특성 개선<sup>[3~4]</sup>, 고차 harmonic 주파수가 제거된 전력증폭기<sup>[5]</sup>, 낮은 손실을 갖는 slow-wave 마이크로스트립 구조<sup>[6]</sup> 등이 제안되었으며 EBG 구조를 채용한 새로운 마이크로 및 밀리미터 파 소자의 개발도 기대되고 있다. 현재 까지 발표된 EBG 구조 중 대표적인 구조는 크기가 컴팩트하고 여러 가지 좋은 특성을 가지는 mushroom 형태를 가지는 EBG 구조이다.<sup>[7]</sup>

본 연구에서는 패치 안테나 주위에 mushroom 형태를 가지는 EBG 구조를 길이 방향, 폭 방향과 모든 방향으로 집적한 경우 구조 파라미터에 따른 패치 안테나의 방사 특성을 HFSS(High Frequency Structure Simulator)를 사용하여 연구하였다. EBG 구조가 길이 방향을 따라 집적된 경우가 가장 방사 특성이 좋음을 볼 수 있었다. EBG 패치 edge에서 패치 안테나의 피드까지의 거리가 같은 경우가 패치 안테나의 중심까지의 거리가 같은 경우와 비교하여 E-평면 방사패턴이 대칭적이고 전방방사 크기가 커지고 후방방사 크기가 작아짐을 볼 수 있었다. 사용하는 EBG 구조의 주기 수가 4 주기 이상이 되게 되면 방사패턴의 변화는 거의 발생하지 않음을 볼 수 있었다.

## II. EBG 단위 셀의 구조와 dispersion diagram

본 연구에 사용한 EBG 구조를 그림 1에 보인다. 사용된 단위 셀(unit cell)의 패치 폭을  $w$ , 갭의 폭을  $g$ , 기판 두께를  $h$ , 기판의 비유전상수를  $\epsilon_r$ 이라고 하면 단위 셀의  $C$  와  $L$ 은 다음 식으로 표현된다.<sup>[7]</sup>

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

여기서  $a = w + g$  이고

$$L = \mu h. \quad (2)$$

패치와 갭의 폭이 각각 2 mm 와 1 mm 이고 기판의 유전상수와 두께가 각각 10.2 이고 1.9 mm 일 때 식 (1)과 (2)를 이용하여 계산한 밴드갭(bandgap)의 중

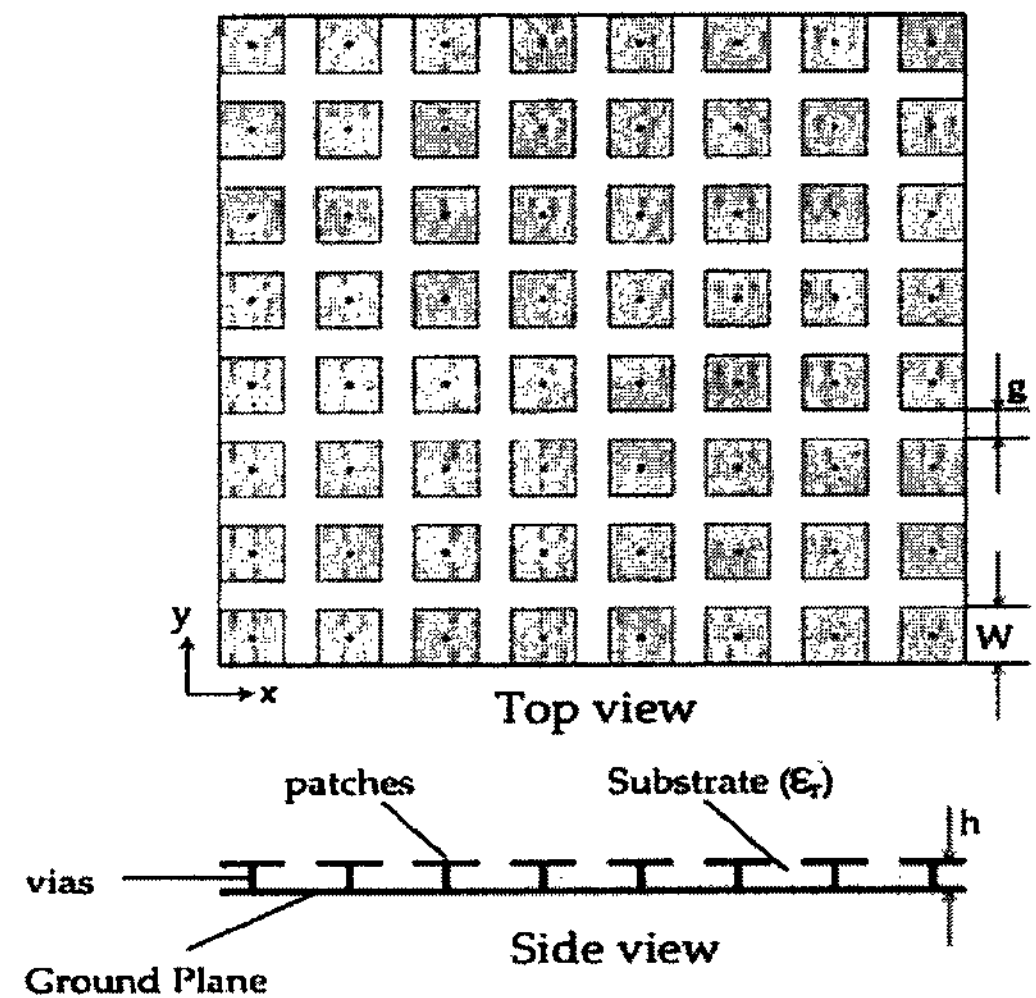


그림 1. Mushroom 형태의 EBG 구조  
Fig. 1. Mushroom-like EBG Structure.

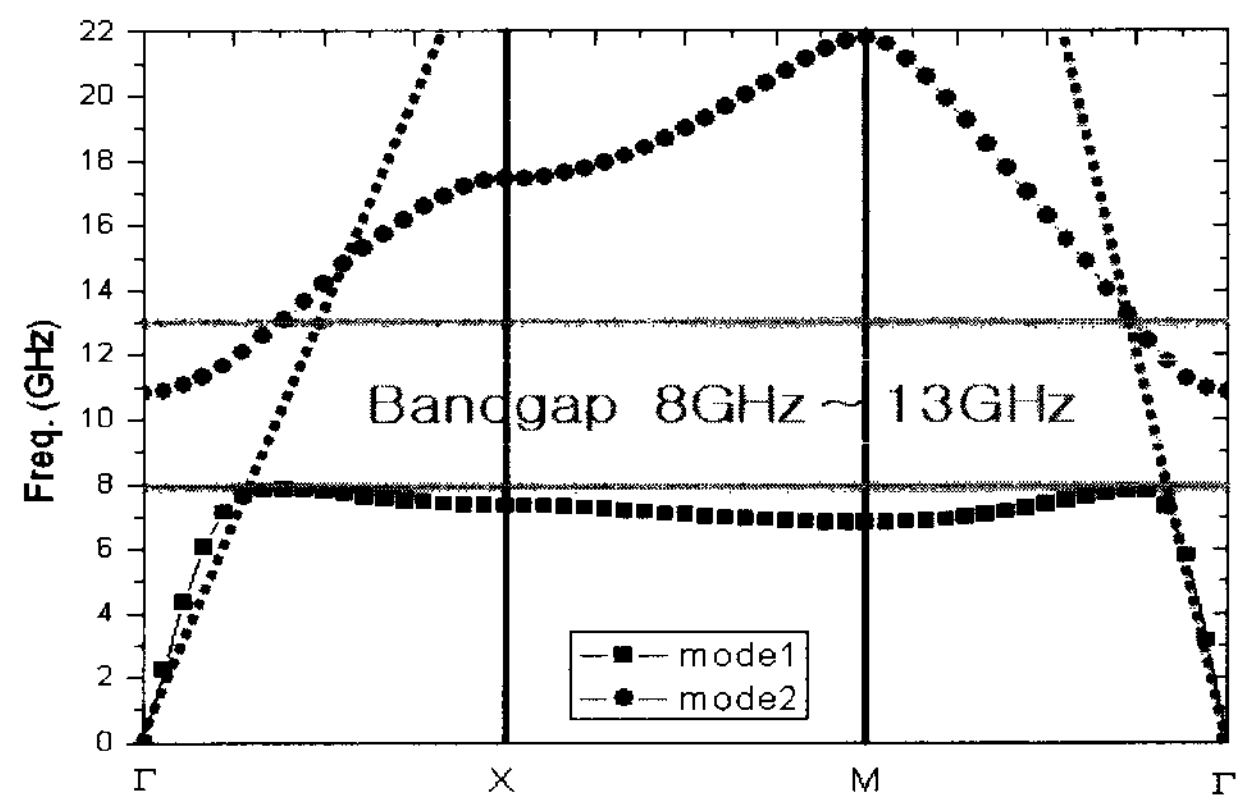


그림 2.  $w=2$  mm,  $g=1$  mm,  $h=1.9$  mm 이고  $\epsilon_r=10.2$  인 EBG 단위 셀의 dispersion diagram  
Fig. 2. Dispersion diagram of a EBG structure with a unit cell for  $w=2$  mm,  $g=1$  mm, and  $\epsilon_r=10.2$ .

심주파수와 대역폭은 각각 9.77 GHz 와 약 4 GHz 이다. 단위 셀이 위와 같은 파라미터를 가질 때 좀 더 정확한 밴드갭의 대역폭을 구하기 위하여 CST-MWS (MicroWave Studio)를 사용하여 그림 2와 같은 dispersion diagram을 얻었다.

그림 2로부터 밴드갭의 대역폭은 약 8 GHz 에서 13 GHz 임을 알 수 있었다. 따라서 위와 같은 파라미터를 가지는 EBG 구조에서는 우리가 설계하고자하는 패치 안테나의 동작 주파수 10 GHz 가 밴드갭 안에 존재함을 확인 할 수 있었다.

## III. Mushroom EBG 구조가 패치 안테나의 방사 특성에 미치는 영향

유한한 기판의 크기를 가지는 패치안테나의 기판의

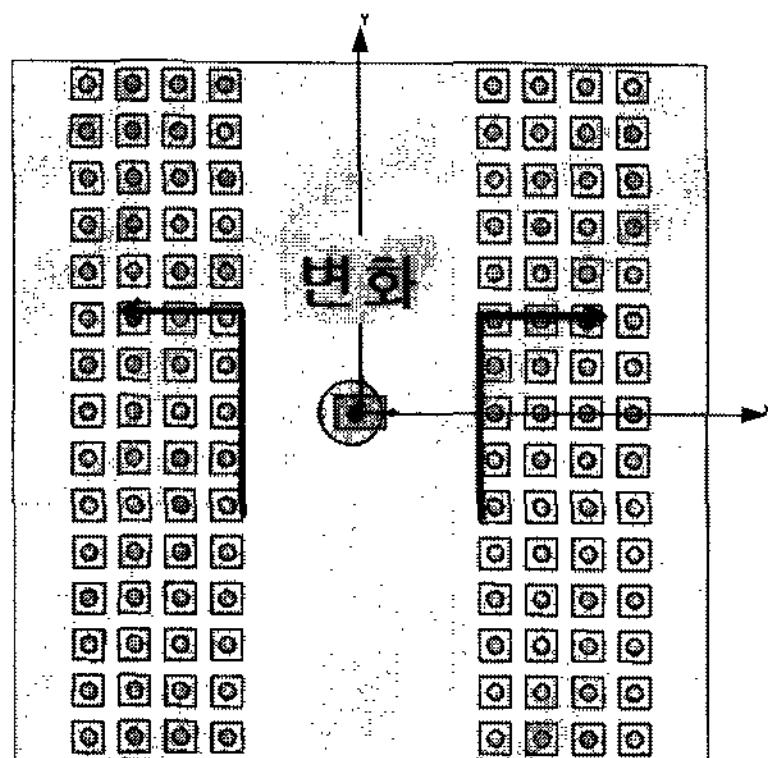
폭을 고정시키고 기판의 길이를 변화시키면 방사패턴 특성이 크게 변화하나, 길이를 고정시키고 폭을 변화시키면 방사패턴 특성이 거의 변화하지 않는다. 이러한 기판 크기에 따른 방사패턴 특성의 변화는 패치에서 직접 방사되는 전자파와 패치에서 기판을 따라 전파하다 경계에서 회절되는 표면파와의 간섭에 의한 것이라 생각된다. 이러한 표면파는 안테나의 공진 방향인 길이 방향을 따라 주로 전파되는 것을 볼 수 있었다.<sup>[8]</sup> 이번 장에서는 2장에서 설계한 단위 셀을 가지는 mushroom EBG 구조가 패치 안테나의 방사 특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 EBG 구조를 패치 안테나의 길이 방향, 폭 방향과 모든 방향으로 집적하여 여러 가지 구조 변수를 바꾸어 가며 전산모의를 수행하였다. 사용된 기판의 길이와 폭은  $1.5\lambda_0 * 1.5\lambda_0$  (여기서  $\lambda_0$ 는 10 GHz의 공기 중의 파장으로 30 mm) 이다.

1. 기판의 길이 방향으로 집적된 EBG 구조를

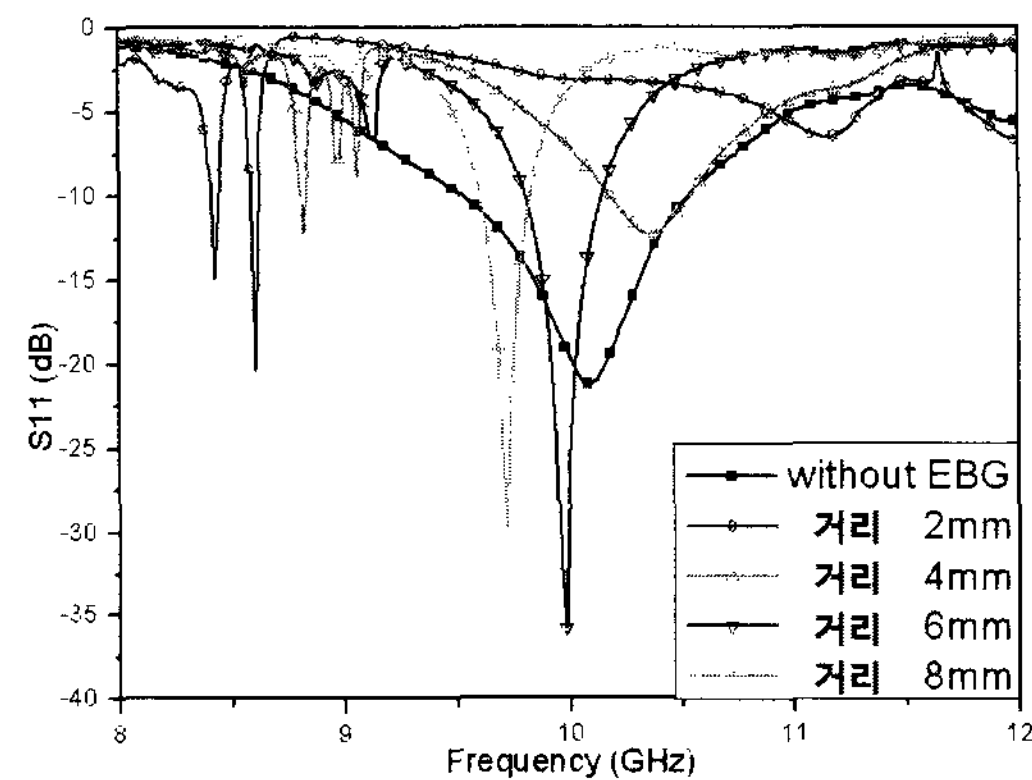
가지는 패치 안테나의 방사특성

가. 기판의 길이 방향으로 집적된 EBG 구조와 패치 안테나의 거리에 따른 방사특성

패치 안테나에서 길이 방향을 따라 전파되는 표면파를 억제하기 위해 그림 3(a)와 같이 패치안테나의 길이 방향을 따라 4 주기의 EBG 구조를 양쪽으로 집적하였다. EBG 구조가 패치 안테나의 공진 주파수와 대역폭에 미치는 영향을 알아보기 위하여 패치 안테나 edge에서 EBG 패치 edge까지의 거리를 변경해 가면서 안테나의 방사특성을 확인해 보았다.



(a)



(b)

표 1. 패치 안테나 edge에서 길이 방향을 따라 집적된 EBG 패치의 edge까지의 거리에 따른 공진 주파수, 반사손실과 대역폭

Table 1. Resonance frequency, return loss, and bandwidth for various distances from the patch antenna edge to the EBG patch edge.

패치 edge에서 EBG edge까지의 거리 변화 (mm)	공진 주파수 (GHz)	S <sub>11</sub> (dB)	10 dB BW (%)
without EBG	10.08	-21.2	9.9
2	11.14	-6.5	0
4	10.36	-12.3	3.38
6	9.98	-35.8	3.4
8	9.72	-29.8	2.5

그림 3(b)는 패치 안테나 edge에서 EBG 패치 edge까지의 여러 가지 거리에 대하여 전산모의한 안테나의 반사손실 스펙트럼을 보여준다. 표 1은 여러 가지 거리에서의 공진 주파수, 공진 주파수에서의 반사손실과 10 dB 대역폭을 정리한 결과를 보인다. 거리가 증가할수록 공진 주파수가 감소함을 볼 수 있었다. 패치 안테나 edge에서 EBG 패치 edge까지의 거리가 6 mm 정도가 될 때 공진 주파수가 EBG 구조를 집적하지 않는 패치 안테나의 공진 주파수와 오차가 3 % 이내임을 볼 수 있었다. 또한 EBG 구조를 집적하지 않았을 경우의 10 dB대역폭은 약 10 %이었으나 EBG 구조를 집적했을 경우 약 3.4 % 정도로 대역폭이 작아짐을 알 수 있었다. 그 이유는 EBG 구조를 캐비티로 볼 수 있기 때문에 Q값이 증가하게 되어 대역폭이 감소하게 되었다고 생각되어진다.

그림 3. (a) 패치안테나의 길이 방향을 따라 집적된 4주기의 EBG 구조, (b) 패치안테나 edge에서 EBG 패치 edge까지의 거리에 따른 반사손실 스펙트럼

Fig. 3. (a) A patch antenna integrated with EBG structures of 4 periods in length direction, (b) return loss spectrum for various distances from the patch antenna edge to the EBG patch edge.

나. 패치 안테나의 중심과 피드 중심이 EBG 패치의 중심에 있을 때의 방사특성 비교

패치 안테나의 중심과 패치 안테나의 피드 중심이 EBG 패치의 중심에 있을 때 발생하는 방사특성을 비교하였다. EBG 패치 edge로부터 패치 안테나의 중심까지의 거리 (7.7 mm)와, 패치 안테나의 피드 중심까지의 거리 (8.35 mm)는 EBG 구조가 공진 주파수에 영향을 주지 않는 거리로 설정하였다. 그림 4(a)와 (b)는 각각 4주기의 EBG 구조가 패치 안테나의 중심과 피드의 중심으로부터 길이 방향을 따라 같은 거리에 집적된 구조를 보인다. 그림 5(a), (b) 와 (c)는 각각 EBG 구조가 집적되지 않은 경우, EBG 구조가 안테나 중심, EBG 구조가 피드 중심에 있는 경우의 반사손실 스펙트럼, E-평면 방사패턴과 H-평면 방사패턴을 보인다.

그림 5(a)를 보면 세 가지 경우의 공진 주파수는 거의 같음을 볼 수 있었다. 또한 대역폭은 EBG 구조가 집적되지 않은 경우가 EBG 구조가 집적된 경우보다 큼을 볼 수 있었다. 그림 5(b)는 세 가지 경우의 E-평면 방사 패턴을 보여준다. EBG 구조가 집적된 경우가 EBG 구조가 집적되지 않은 경우보다 방사 패턴 특성이 좋아짐을 볼 수 있었다. EBG 구조가 집적된 경우에는 패치 안테나의 피드에서 EBG 패치 edge까지의 거리가 같은 경우가 패치 안테나의 중심에서 EBG 패치 edge까지의 거리가 같은 경우에 비하여 방사 패턴 특성이 대칭적이며 전방방사 크기는 크고 후방방사 크기는 작음을 볼 수 있었다. 그림 5(c)는 세 가지 경우의 H-

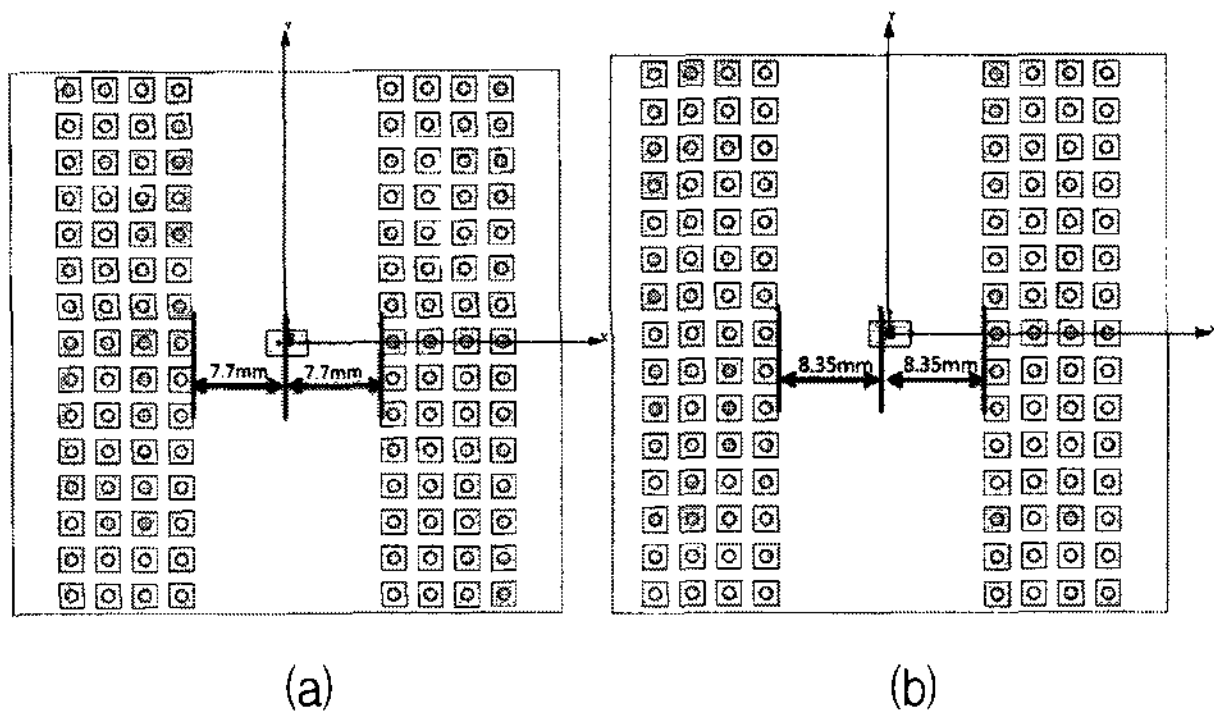
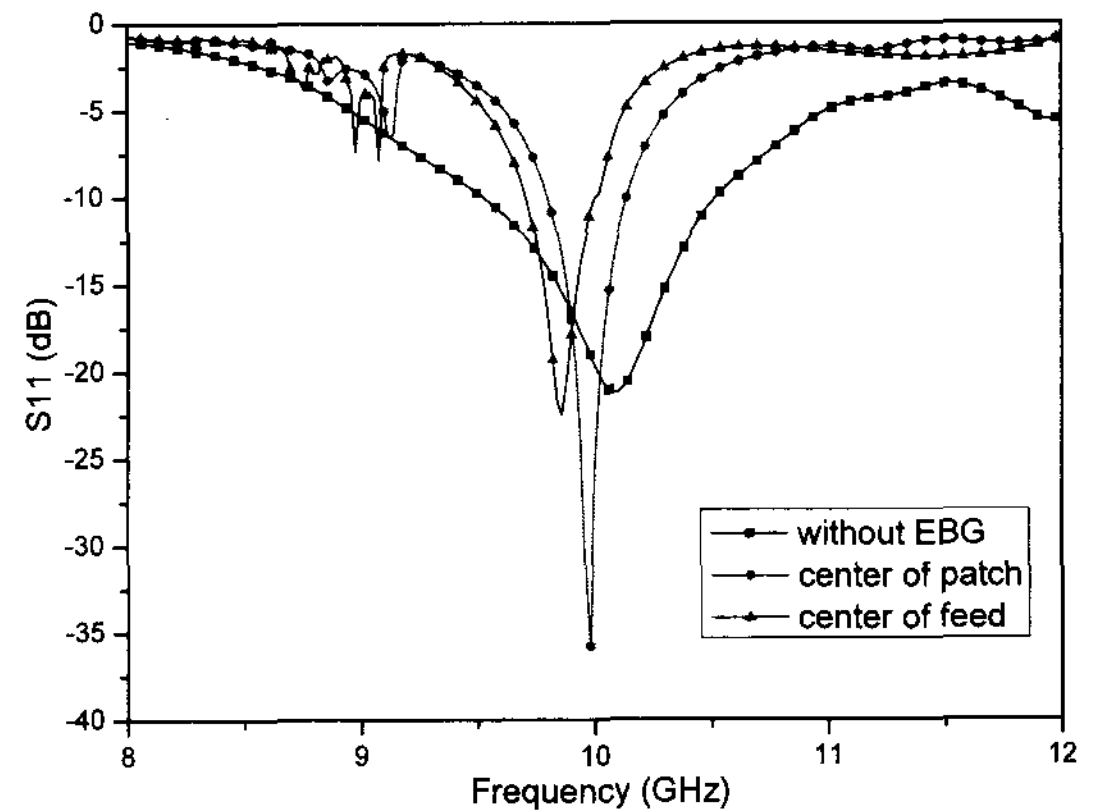
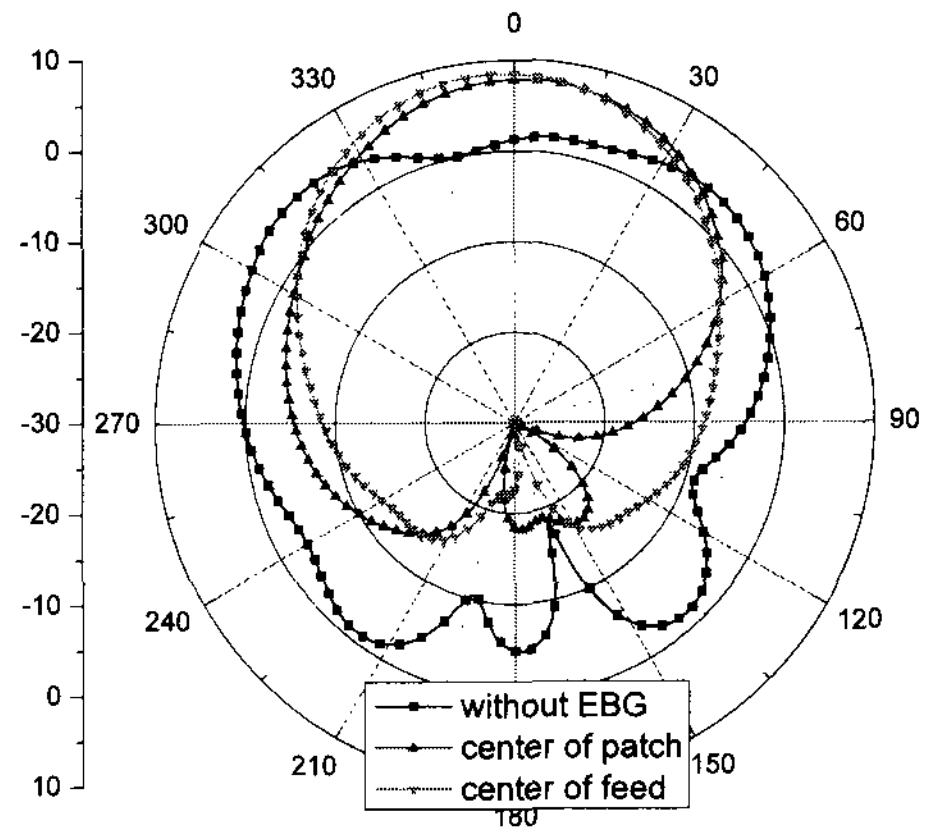


그림 4. 기판의 길이 방향으로 4주기의 EBG 구조를 집적했을 때 (a) 패치 안테나의 중심이 있을 경우의 구조, (b) 피드가 중심일 경우의 구조

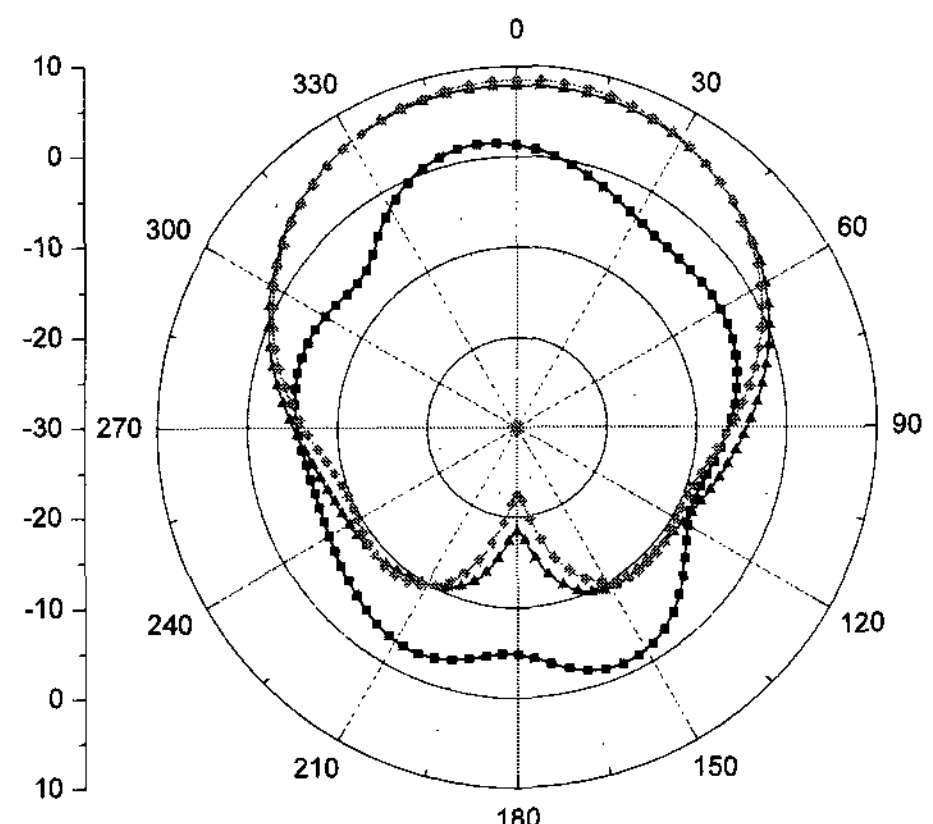
Fig. 4. Geometry of Integrated with EBG structures of 4 periods in length direction for (a) the case for the center of a patch antenna located in the center of both EBG structures, (b) the case for the feed point of a patch antenna located in the center of both EBG structures.



(a)



(b)



(c)

그림 5. EBG 구조가 집적되지 않는 경우, EBG 구조가 안테나 중심, EBG 구조가 피드 중심에 있는 경우의 (a) 반사손실 스펙트럼, (b) E-평면 방사패턴, (c) H-평면 방사패턴

Fig. 5. (a) return loss spectrum, (b) E-plane radiation pattern, and (c) H-plane radiation pattern for the case without EBG structures, the case for the center of a patch antenna and the case of the feed point of a patch antenna located in the center of both EBG structures integrated.



표 2. EBG 구조가 없는 경우, 기판의 길이방향으로 4주기의 EBG 구조를 집적한 경우 패치 안테나 중심과 피드중심이 EBG 패치의 중심에 있을 때의 공진 주파수, 반사손실, 대역폭, 전방방사와 후방방사의 크기

Table 2. Resonance frequency, return loss, bandwidth, and intensity of forward and backward radiations for the case without EBG structures, the case for the center of a patch antenna and the case of the feed point of a patch antenna located in the center of both EBG structures integrated.

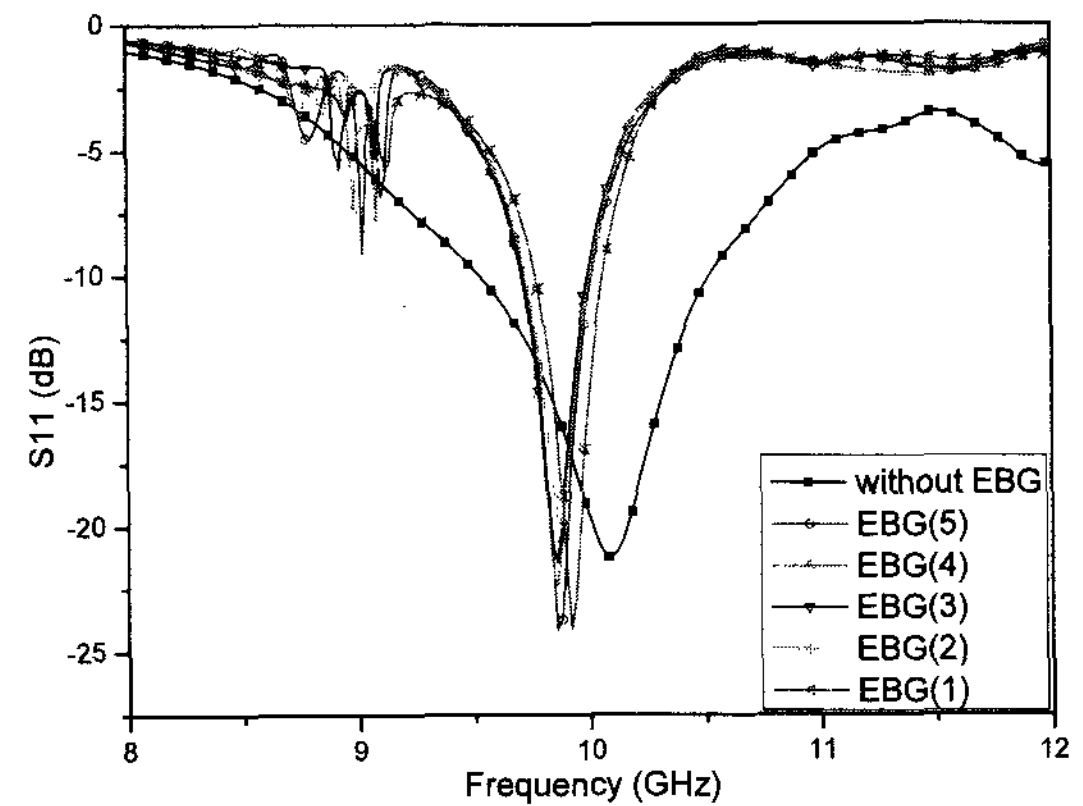
기판의 길이방향에 4주기 EBG 구조 (w=2 mm, g=1 mm)	공진 주파수 (GHz)	S <sub>11</sub> (dB)	10 dB 대역폭 (%)	전방 방사 (dBi)	후방 방사 (dBi)
Without EBG	10.08	-21.2	9.9	1.3	-4.9
패치 안테나의 중심이 EBG 패치의 중심에 있을 때	9.98	-35.8	3.4	7.8	-18.5
패치 안테나의 피드가 EBG 패치의 중심에 있을 때	9.86	-22.4	3.5	8.4	-22.7

평면 방사 패턴을 보여준다. EBG 구조가 집적된 경우가 EBG 구조가 집적되지 않은 경우보다 방사패턴 특성이 좋아짐을 볼 수 있었다. 패치 안테나의 피드에서 EBG 패치 edge까지의 거리가 같은 경우와 패치 안테나의 중심에서 EBG 패치 edge까지의 거리가 같은 경우의 방사 패턴 특성은 거의 같음을 볼 수 있었다.

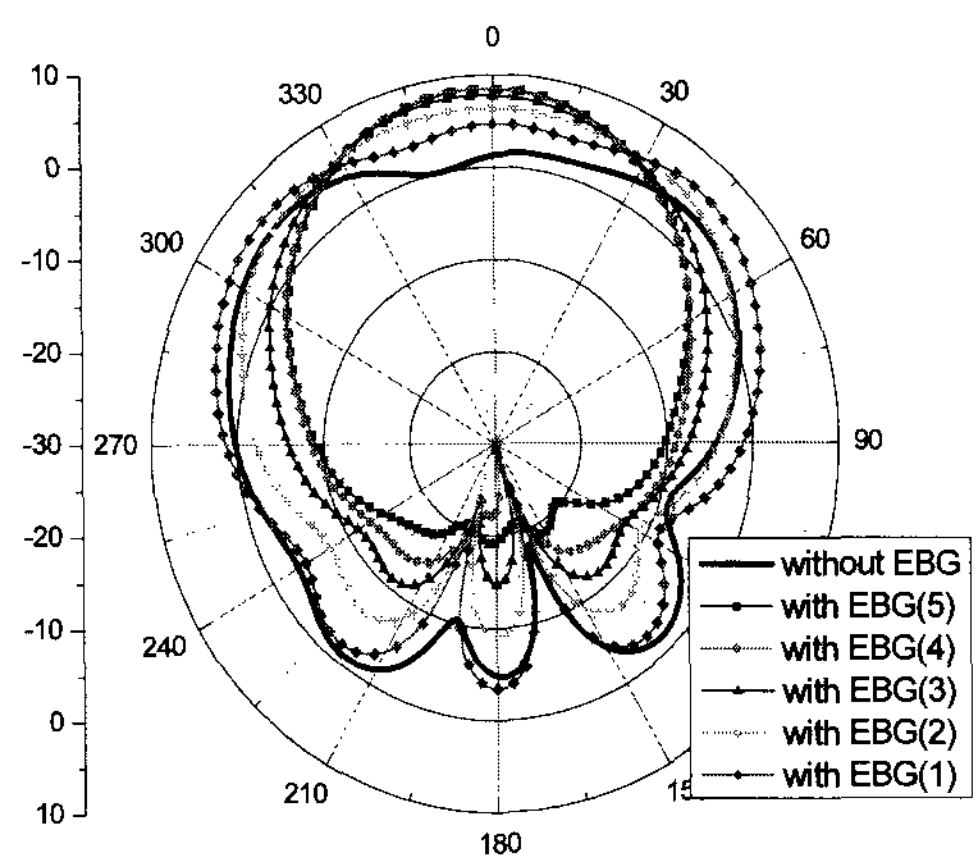
표 2는 세 가지 경우에서 발생하는 공진 주파수, 반사손실, 전방 방사 와 후방 방사 크기를 정리한 결과를 보인다. EBG 구조를 집적한 2 가지 경우가 EBG 구조가 집적되지 않은 경우에 비하여 전방 방사는 6.5 dBi 와 7.1 dBi 증가됨을 볼 수 있었고 후방 방사는 13.6 dBi 와 17.8 dBi 감소됨을 볼 수 있었다. EBG 구조가 집적된 2 가지 경우에는 패치 안테나의 피드에서 EBG 패치 edge까지의 거리가 같은 경우가 패치 안테나의 중심에서 EBG 패치 edge까지의 거리가 같은 경우에 비하여 전방 방사는 약 0.6 dBi 크고 후방 방사는 4.2 dBi 감소됨을 볼 수 있었다. 따라서 패치 안테나의 피드에서 EBG 패치 edge까지의 거리가 같은 경우가 패치 안테나의 중심에서 EBG 패치 edge까지의 거리가 같은 경우에 비하여 방사 특성이 좋아짐을 볼 수 있었다.

다. 기판의 길이방향으로 집적된 EBG 구조의 주기 수에 따른 방사특성

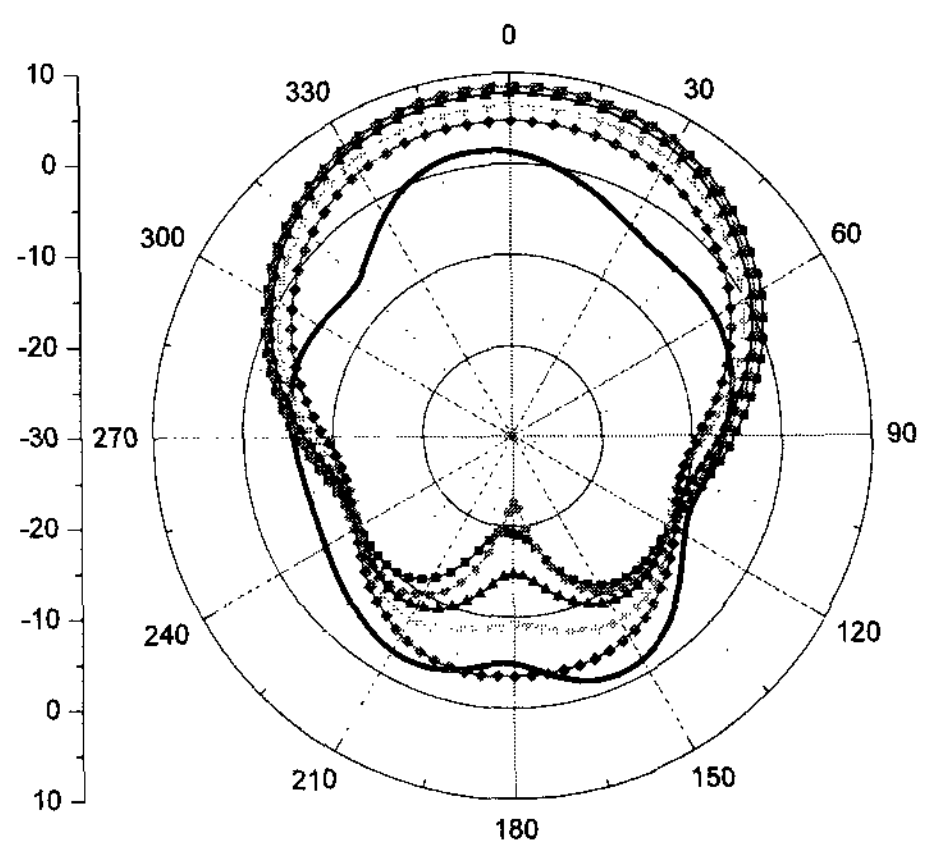
패치 안테나 피드에서 EBG 패치 edge까지의 거리를



(a)



(b)



(c)

그림 6. 기판의 길이 방향으로 집적한 EBG 구조의 주기의 수에 따른 (a) 반사손실 스펙트럼, (b) E-평면 방사패턴, (c) H-평면 방사패턴

Fig. 6. (a) return loss spectrum, (b) E-plane radiation pattern, and (c) H-plane radiation pattern of a patch antenna integrated with EBG structures in length direction for various numbers of periods of EBG structures.

8.35 mm(약  $\lambda_0/3.6$ ) 로 설정하였다. EBG 구조를 1 주기부터 5 주기까지 증가시키면서 패치 안테나의 반사 손실 스펙트럼과 방사패턴 특성에 대하여 연구하였다. 그림 6(a)는 EBG 구조의 주기 수에 따른 반사 손실 스펙트럼을 보인다. EBG 구조 주기 수에 관계없이 반사 손실 스펙트럼이 거의 같음을 볼 수 있었다. 그림 6(b)와 (c)는 각각 EBG 구조의 주기 수에 따른 E-평면 방사패턴과 H-평면 방사패턴을 보인다. 패치 안테나에서 발생하는 표면파는 길이 방향으로 주로 전파되기 때문에 EBG 구조의 주기 수에 따라 E-평면 방사패턴은 크게 변화하나 H-평면 방사패턴의 변화는 상대적으로 작음을 볼 수 있었다.

표 3은 EBG 구조의 주기 수에 따른 공진 주파수, 공진 주파수에서의 반사손실, 대역폭, 전방방사, 후방방사 및 표면방사의 크기를 정리한 결과를 보인다. 패치 안테나의 피드와 EBG 패치 사이의 거리가 충분히 크기 때문에 EBG 구조 주기 수에 관계없이 공진 주파수와 10 dB 대역폭이 거의 같음을 볼 수 있었다. EBG 구조의 주기 수가 늘어날수록 표면파의 진행이 억제되어 전방방사 크기가 커지고 후방방사 크기는 작아짐을 볼 수 있었다. 또한 길이 방향으로의 표면방사 크기도 작아짐을 볼 수 있었다. EBG 구조 주기 수가 5개인 경우는 방사특성이 주기 수가 4개인 경우와 거의 같음을 볼 수 있었다. 따라서 패치 안테나의 방사특성을 좋게 하기위

표 3. 기판의 길이 방향으로 집적한 EBG 구조의 주기 수에 따른 공진 주파수, 반사손실, 대역폭, 전방방사, 후방방사 및 표면방사의 크기

Table 3. Resonance frequency, bandwidth, and the intensities of forward, backward, and surface radiation of a patch antenna integrated with EBG structures in length direction for various numbers of periods of EBG structures.

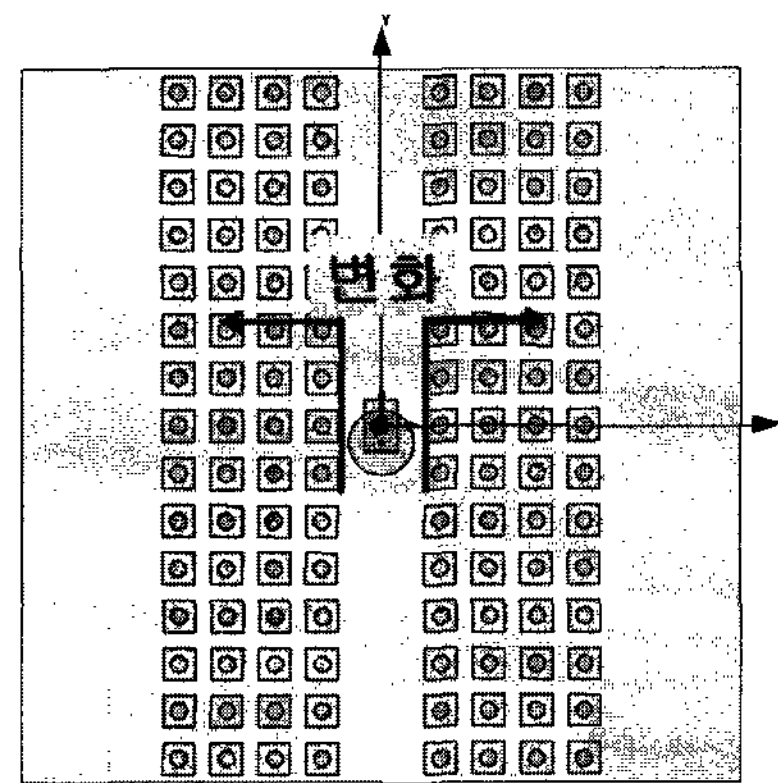
	$f_0$ (GHz)	S11 (dB)	10dB BW (%)	전방 방사 (dBi)	후방 방사 (dBi)	표면방사 (dBi)			
						길이 방향	폭 방향		
without EBG	10.08	-21.2	9.9	1.3	-4.9	-4.3	0.2	-6.4	-5.5
1 period with EBG	9.92	-24.1	3.5	4.7	-3.5	-1.1	1.1	-9.4	-9.1
2 periods with EBG	9.88	-19.8	3.5	6.3	-9.2	-3.9	-2.2	-8.6	-7.9
3 periods with EBG	9.86	-21.4	3.5	7.7	-14.8	-7.4	-5.9	-6.9	-6.9
4 periods with EBG	9.86	-22.4	3.5	8.4	-22.7	-8.9	-8.6	-6.2	-6.3
5 periods with EBG	9.86	-24.1	3.5	8.5	-19.8	-9.2	-10.3	-6.1	-5.2

하여 기판의 길이 방향을 따라 집적되는 EBG 구조의 주기 수는 4주기 정도가 적당함을 알 수 있었다.

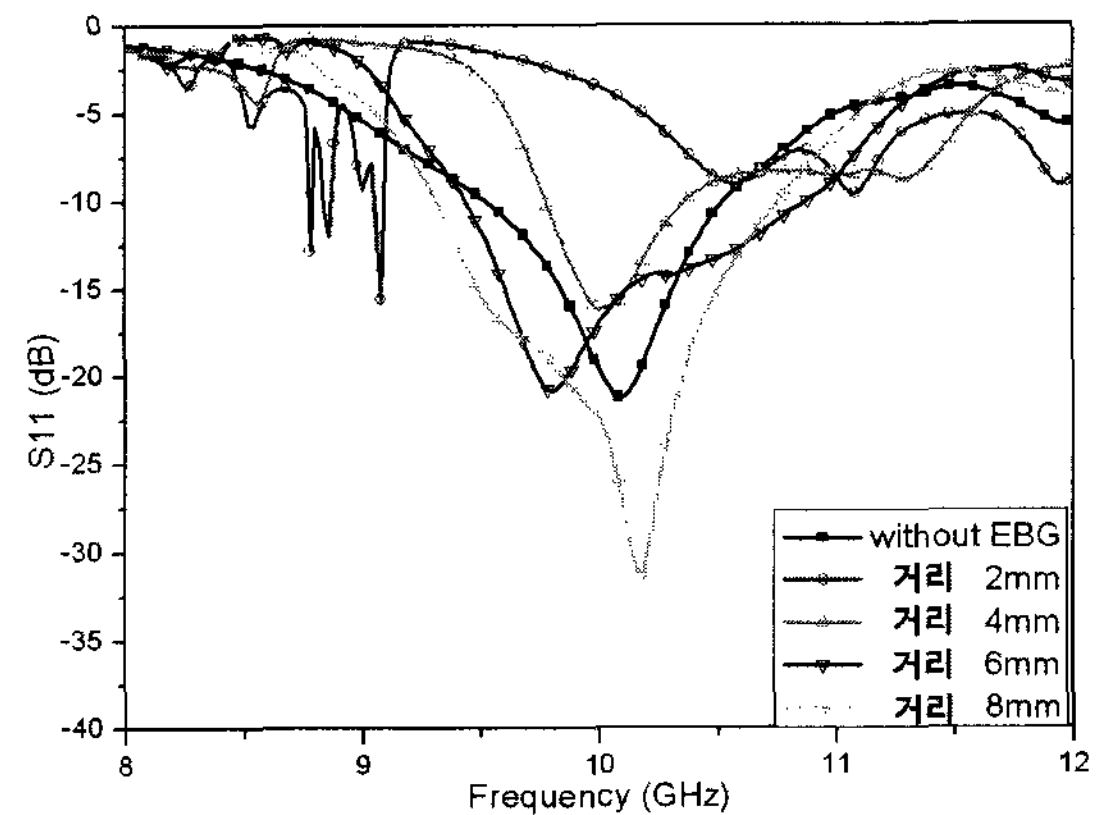
2. 기판의 폭 방향으로 집적된 EBG 구조를 가지는 패치 안테나의 방사특성

가. 기판의 폭 방향으로 집적된 EBG 구조와 패치 안테나의 거리에 따른 방사특성

기판의 폭 방향으로 EBG 구조를 집적하였을 때 발생하는 패치 안테나의 방사특성의 변화를 알아보기 위해 그림 7(a)와 같이 패치 안테나의 edge에서 EBG 패치 edge까지의 거리를 변화시켜 가며 안테나의 특성을 전산모의 하였다. 그림 7(b)는 거리에 따른 반사손실 스펙트럼을 보이며 표 4는 거리에 따른 공진 주파수, 공진 주파수에서의 반사손실과 10 dB 대역폭을 정리한 결과를 보인다. 패치 안테나 edge에서 EBG 패치 edge



(a)



(b)

그림 7. (a) 패치안테나의 폭 방향으로 집적된 4주기의 EBG 구조, (b) 패치안테나 edge에서 EBG 패치 edge 까지의 거리에 따른 반사손실 스펙트럼

Fig. 7. (a) A patch antenna integrated with EBG structures of 4 periods in width direction, (b) return loss spectrum for various distances from the patch antenna edge to the EBG patch edge.

표 4. 폭 방향으로 집적된 EBG 구조의 거리에 따른 공진 주파수, 반사손실과 대역폭

Table 4. Resonant frequency, return loss, and bandwidth for various distances from the patch antenna edge to the EBG patch edge.

EBG 거리 변화 (mm)	공진 주파수 (GHz)	S <sub>11</sub> (dB)	10 dB BW (%)
without EBG	10.08	-21.2	9.9
2	10.58	-9.0	0
4	10	-16.2	6
6	9.8	-20.8	14.3
8	10.18	-31.2	13.7

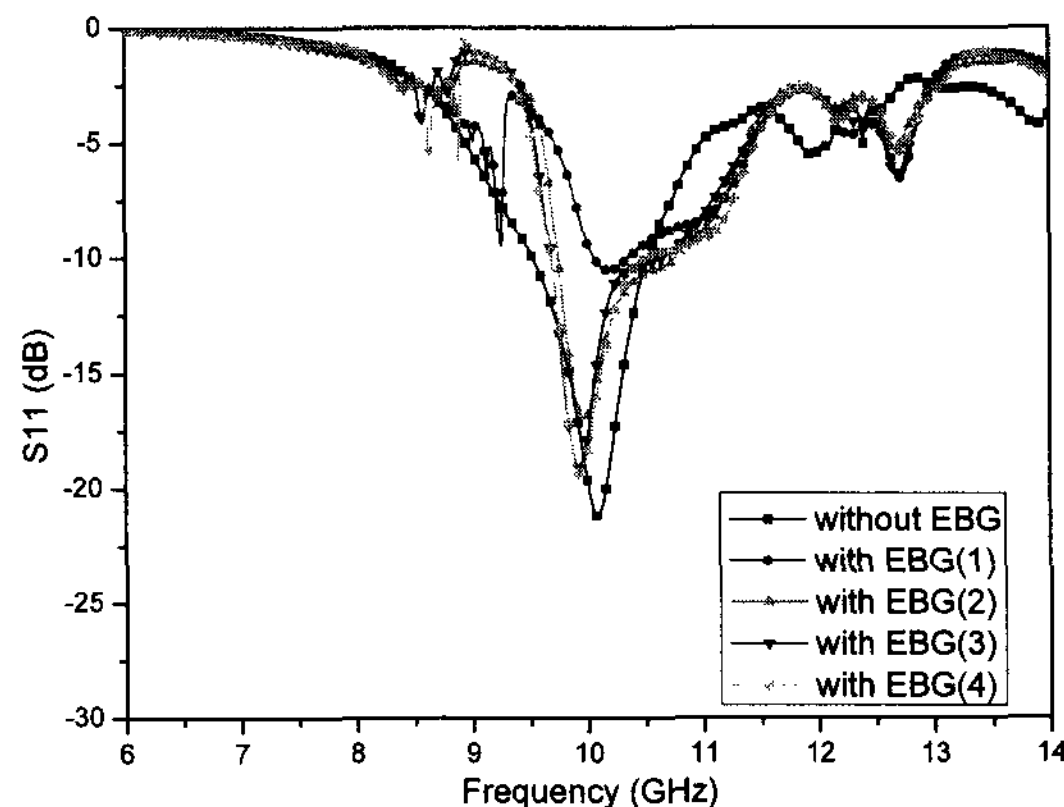
까지의 거리가 4 mm 이상이 될 때 공진 주파수가 EBG 구조가 집적되지 않은 패치 안테나의 공진 주파수와 오차가 3% 이내임을 볼 수 있었다. 또한 EBG 구조를 집적하였을 경우가 집적하지 않았을 경우보다 10 dB 대역폭이 증가함을 볼 수 있었다.

나. 기판의 폭 방향으로 집적된 EBG 구조의 주기 수에 따른 방사특성

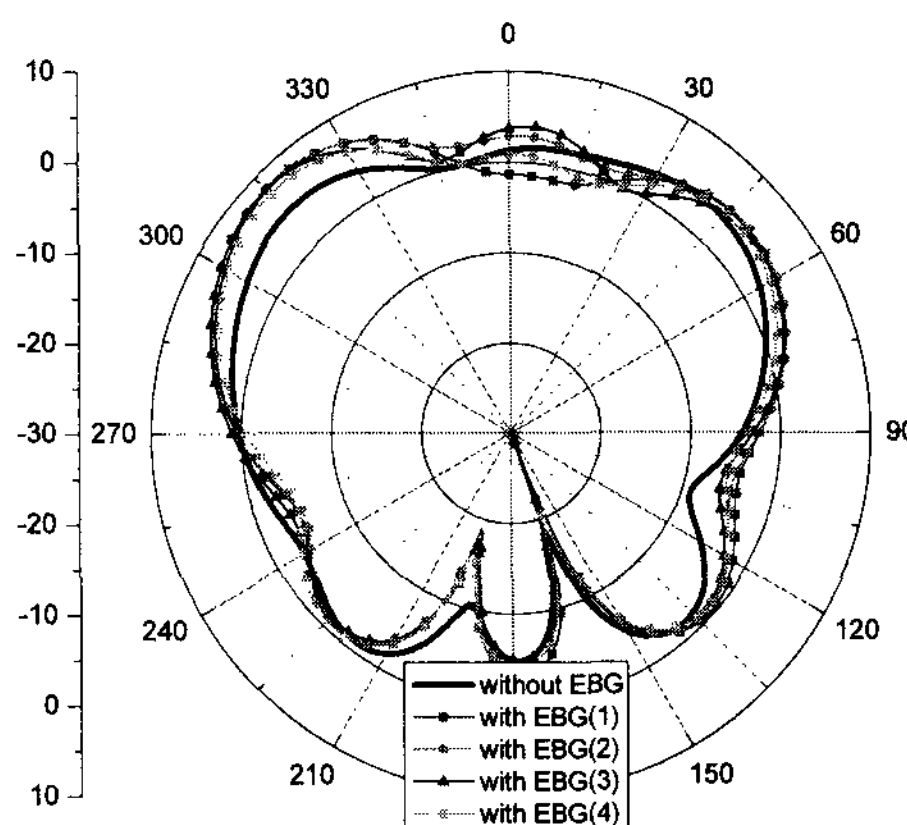
패치 안테나의 edge에서 EBG 패치 edge까지의 거리를 6 mm 로 놓은 상태에서 패치 안테나의 폭 방향으로 집적된 EBG 구조를 1주기부터 4주기까지 변화시켜가며 방사특성을 전산모의 하였다. 그림 8(a)는 EBG 구조의 주기 수에 따른 반사손실 스펙트럼을 보인다. 주기 수가 달라져도 반사손실 스펙트럼은 거의 변화하지 않음을 볼 수 있었다.

그림 8(b)와 (c)는 각각 EBG 구조의 주기 수에 따른 E-평면 방사패턴과 H-평면 방사패턴을 보인다. 길이 방향으로 집적시킨 경우와 비교했을 때 EBG 구조가 집적된 경우와 EBG 구조가 집적되지 않은 경우의 방사패턴의 변화가 거의 발생하지 않음을 볼 수 있었다. 또한 주기 수에 따른 E-평면 방사패턴과 H-평면 방사패턴의 변화도 거의 발생하지 않음을 볼 수 있었다.

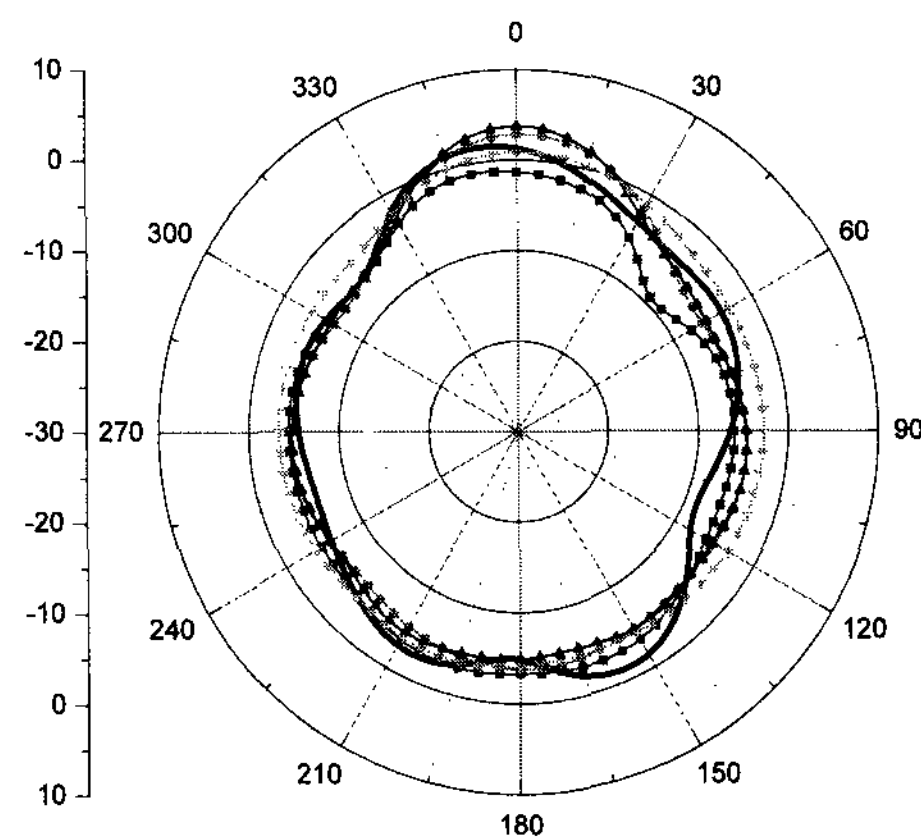
표 5는 EBG 구조의 주기 수에 따른 공진 주파수, 공진 주파수에서의 반사손실, 대역폭, 전방방사, 후방방사 및 표면방사의 크기를 정리한 결과를 보인다. 패치 안테나의 edge와 EBG 패치 edge 사이의 거리가 충분히 크기 때문에 EBG 구조 주기 수에 관계없이 공진 주파수가 거의 달라지지 않음을 볼 수 있었다. 또한 길이 방향으로 집적된 구조와는 달리 주기 수의 변화에 따른 전방방사, 후방방사 및 표면방사의 크기도 거의 변화하지 않음을 볼 수 있었다. 그 이유는 패치 안테나에서 발생하는 표면파가 주로 길이 방향을 따라 전파되기 때문이라고 생각된다.



(a)



(b)



(c)

그림 8. 기판의 폭 방향으로 집적한 EBG 구조의 주기 수에 따른 (a) 반사손실 스펙트럼, (b) E-평면 방사패턴, (c) H-평면 방사패턴

Fig. 8. (a) return loss spectrum, (b) E-plane radiation pattern, and (c) H-plane radiation pattern of a patch antenna integrated with EBG structures in width direction for various numbers of periods of EBG structures.

표 5. 기판의 폭 방향으로 집적한 EBG 구조의 주기 수에 따른 공진주파수, 반사손실, 대역폭, 전방 방사, 후방방사 및 표면방사의 크기

Table 5. Resonance frequency, bandwidth, and the intensities of forward, backward, and surface radiation of a patch antenna integrated with EBG structures in width direction for various numbers of periods of EBG structures.

	$f_0$ (GHz)	S11 (dB)	10dB BW (%)	전방 방사 (dBi)	후방 방사 (dBi)	표면방사 (dBi)			
						길이 방향	폭 방향		
without EBG	10.08	-21.2	9.9	1.3	-4.9	-4.3	0.2	-6.4	-5.5
1 period with EBG	9.88	-23.5	13.1	-1.3	-3.3	-6.1	-4.4	-2.3	0.4
2 periods with EBG	9.86	-18.9	13.1	2.7	-3.8	-4.7	-4.7	-2.3	0.4
3 periods with EBG	9.82	-24.6	14.1	3.6	-4.9	-4.7	-4.8	-3.0	0.9
4 periods with EBG	9.8	-20.8	14.3	0.7	-4.2	-2.7	-3.4	-3.7	0.6

3. 기판의 모든 방향으로 집적된 EBG 구조를 가지는 패치 안테나의 방사특성

길이와 폭 방향으로 EBG 구조를 집적시키면서 EBG 구조가 집적되지 않은 경우의 공진 주파수와 거의 같은 공진 주파수를 가지기 위하여 그림 9와 같이 패치 안테나의 피드에서 길이 방향으로 9.5 mm 떨어

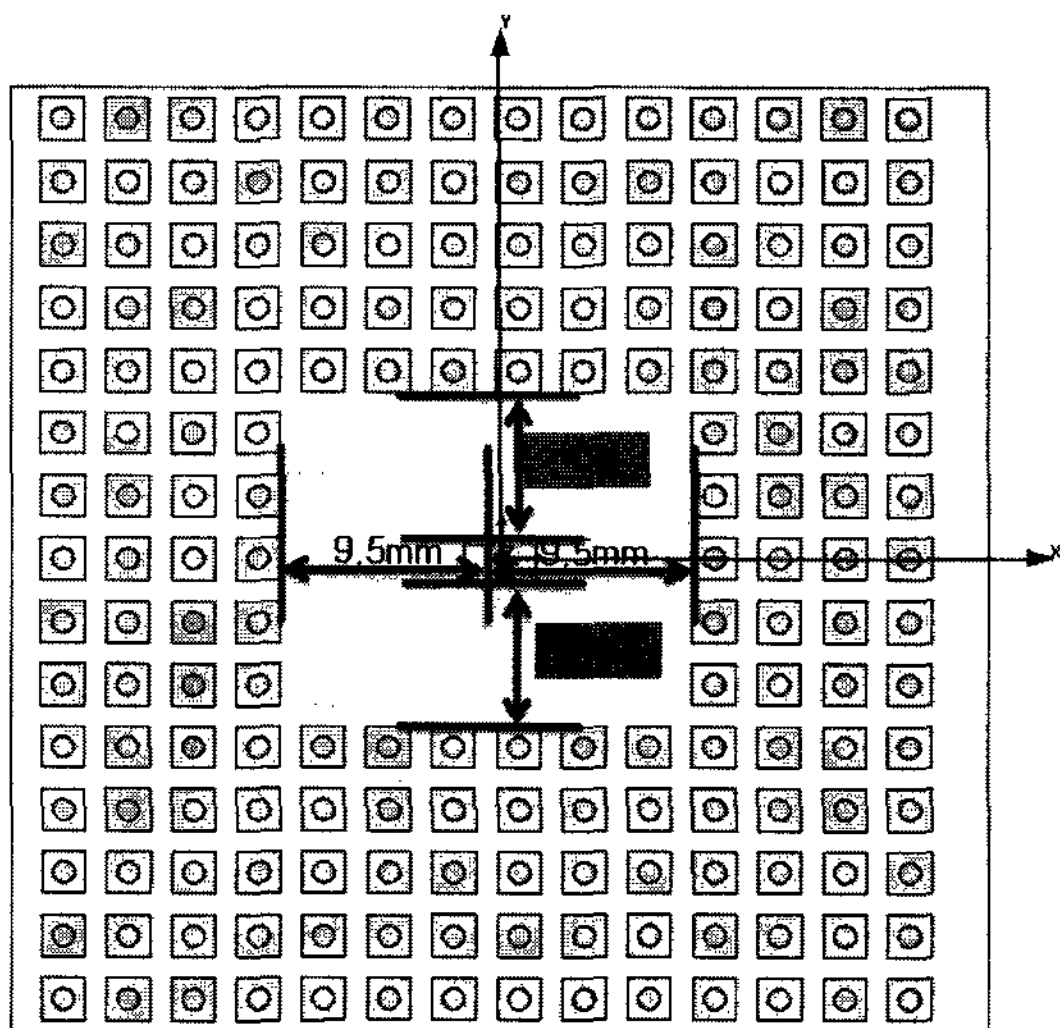


그림 9. 기판의 길이 방향으로 4주기 EBG 구조가 집적되고 폭 방향으로 집적된 EBG 구조의 주기에 따른 구조를 가지는 패치 안테나

Fig. 9. Geometry of the patch antenna integrated with EBG structures of 4 periods in length direction and EBG structures of 5 periods in width direction.

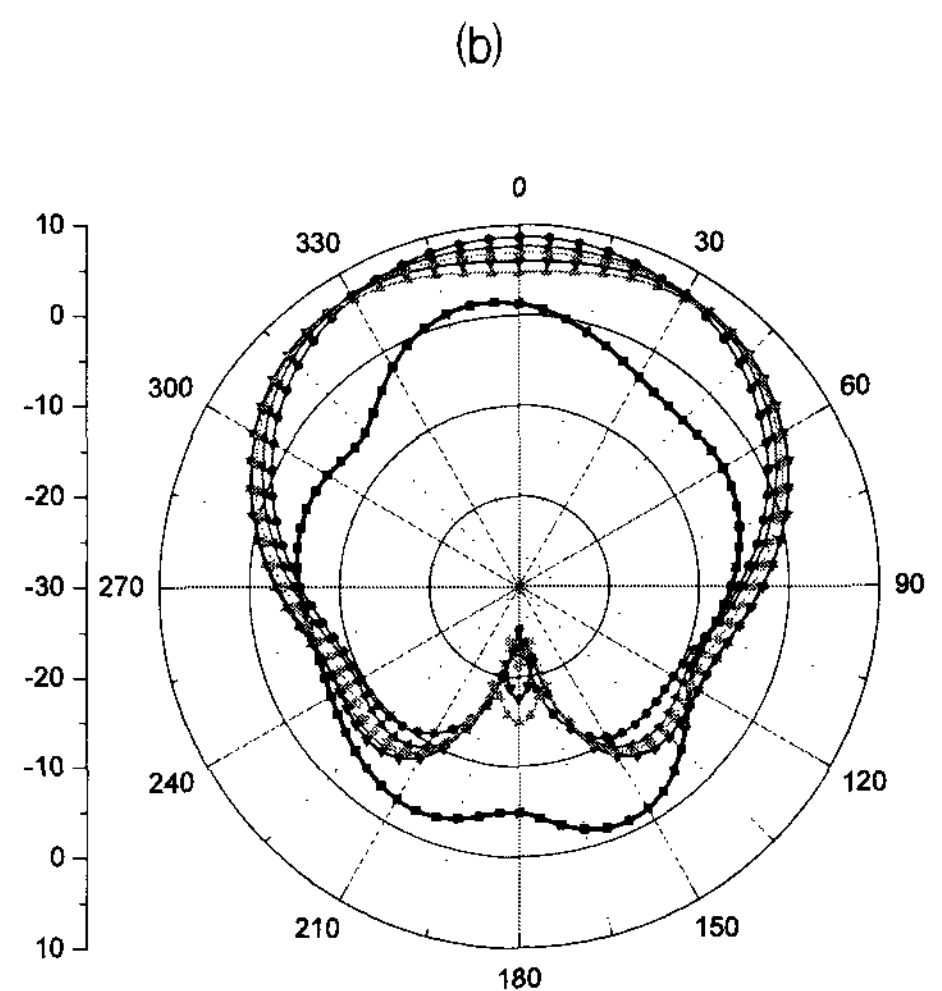
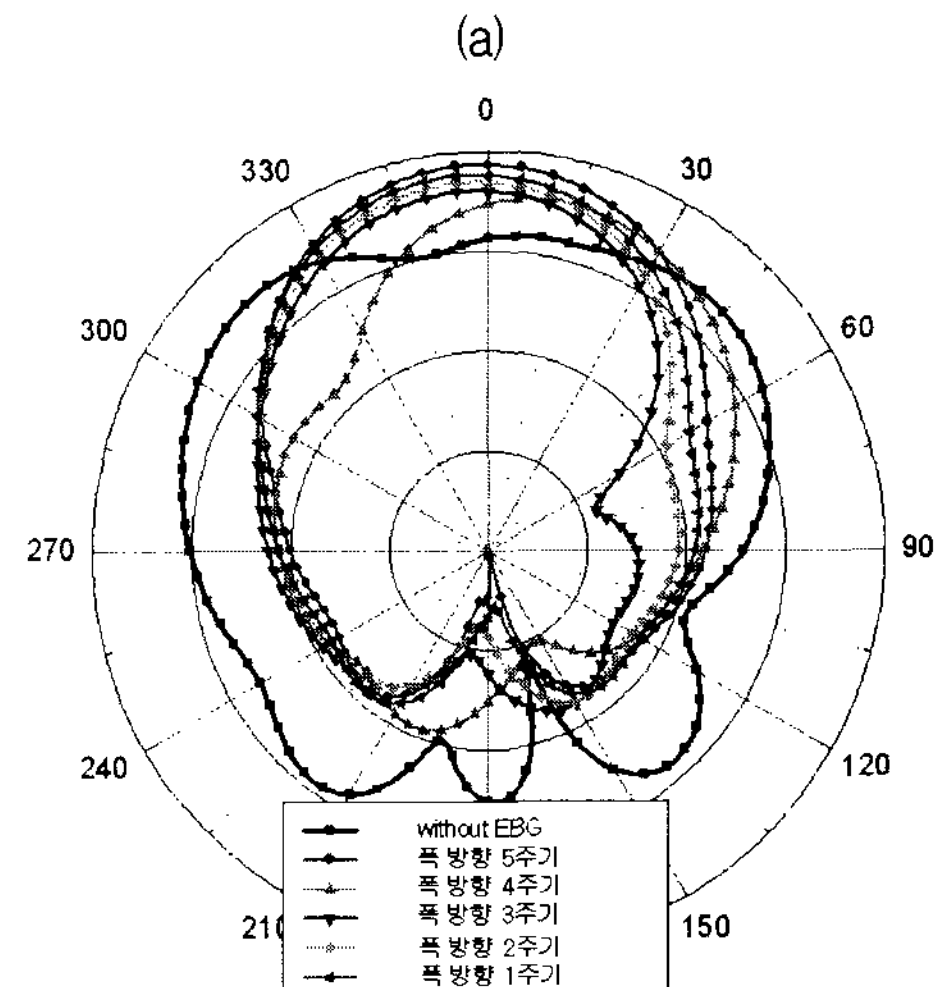
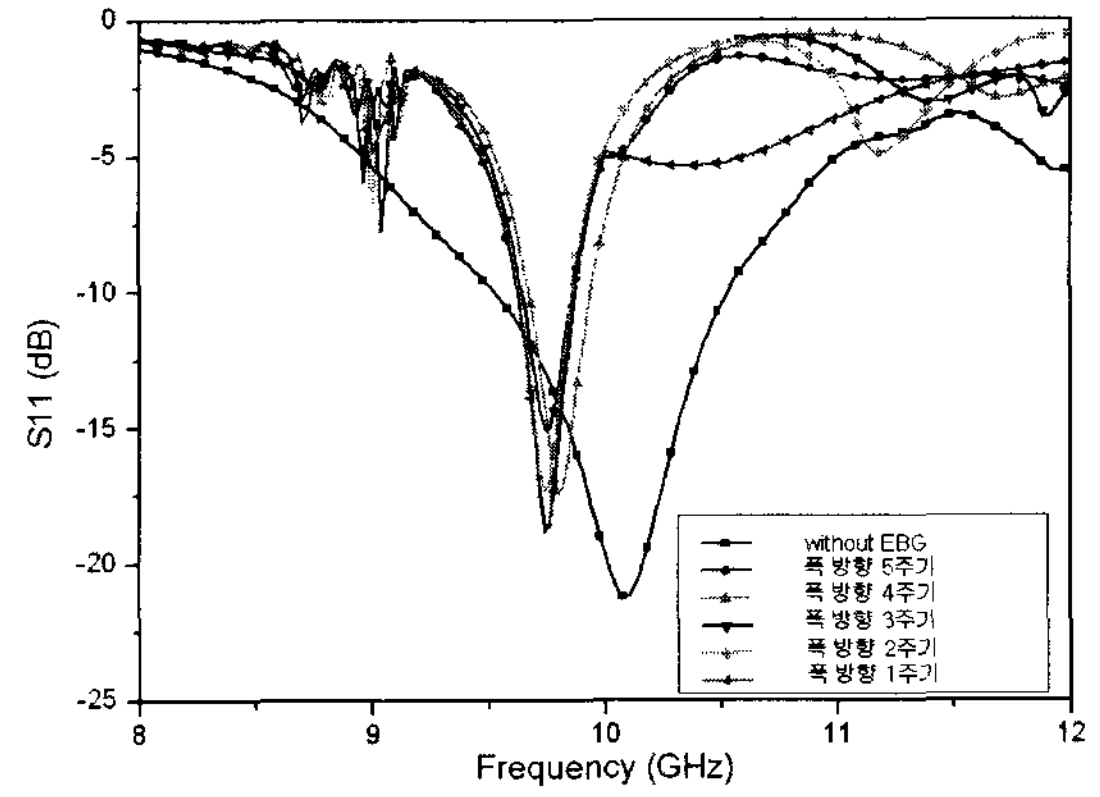


그림 10. 기판의 길이 방향으로 4주기 EBG 구조가 집적되고 폭 방향으로 집적된 EBG 구조의 주기에 따른 (a) 반사손실 스펙트럼, (b) E-평면 방사패턴, (c) H-평면 방사패턴

Fig. 10. (a) return loss spectrum, (b) E-plane radiation pattern, and (c) H-plane radiation pattern of a patch antenna integrated with EBG structures of 4 periods in length direction and for various numbers of periods of EBG structures in width direction.



표 6. 기판의 길이 방향으로 4주기 EBG 구조가 집적되고 폭 방향으로 집적된 EBG 구조의 주기에 따른 공진주파수, 반사손실, 대역폭, 전방방사, 후방방사 및 표면방사의 크기

Table 6. Resonant frequency, return loss, bandwidth, and the intensities of forward, backward, and surface radiation of a patch antenna integrated with EBG structures of 4 periods in length direction and for various numbers of periods of EBG structures in width direction.

피드에서 길이방향 EBG 패치 edge 까지의 거리 (mm)	폭방향 EBG 구조 주기 수 (개)	f <sub>0</sub> (GHz)	S11 (dB)	10 dB BW (%)	전방 방사 (dBi)	후방 방사 (dBi)	표면방사 (dBi)			
							길이 방향	폭 방향		
without EBG		10.08	-21.2	9.9	1.3	-4.9	-4.3	0.9	-6.4	-5.5
9.5	without EBG	9.76	-18.6	2.7	8.6	-25.3	-8.0	-9.9	-5.6	-5.7
9.5	5	9.8	-17.4	2.7	4.7	-14.9	-8.4	-8.7	-2.9	-2.9
9.5	4	9.76	-15.0	2.7	5.9	-17.6	-15.1	-7.7	-2.9	-3.1
9.5	3	9.74	-17.3	2.7	6.8	-21.3	-10.8	-8.7	-4.1	-3.8
9.5	2	9.74	-18.8	2.7	7.6	-23.4	-9.2	-8.8	-4.9	-4.8

진 위치에서부터 4 주기의 EBG 구조를 집적하였다. 또한 폭 방향으로 패치 안테나의 edge에서 거리가 7 mm 떨어진 위치에서부터 5주기의 EBG 구조를 집적하였다. 폭 방향으로 집적된 EBG 구조를 한 주기씩 없애가면서 (패치 안테나의 edge에서 폭 방향으로 집적된 EBG 구조의 패치 edge 까지의 거리를 3 mm 씩 증가시켜가며) 반사손실 스펙트럼과 방사패턴 특성을 산모의 하였다.

그림 10(a)는 폭 방향으로 집적된 EBG 구조의 주기에 따른 반사 스펙트럼을 보인다. 주기에 관계없이 반사 스펙트럼이 거의 같음을 볼 수 있었다. 그림 10(b)와 (c)는 각각 폭 방향으로 집적된 EBG 구조의 주기에 따른 E-평면 방사패턴과 H-평면 방사패턴을 보인다. 폭 방향으로 집적된 EBG 구조의 주기 수가 증가할수록 E-평면 방사패턴의 대칭성이 좋아짐을 볼 수 있었다. 그러나 H-평면 방사패턴은 집적된 EBG 구조의 주기에 관계없이 거의 일정함을 볼 수 있었다.

표 6은 기판의 모든 방향으로 EBG 구조가 집적된 경우 폭 방향으로 집적된 EBG 구조의 주기 수에 따른 공진 주파수, 공진 주파수에서의 반사손실, 대역폭, 전방방사, 후방방사 및 표면방사의 크기를 정리한 결과를

보인다. 패치 안테나의 피드와 EBG 패치 사이의 거리가 충분히 크기 때문에 EBG 구조 주기 수에 관계없이 공진 주파수와 대역폭이 거의 같음을 볼 수 있었다. 폭 방향으로 집적된 EBG 구조의 주기 수가 작아질수록 전방방사 크기가 증가하고 후방방사 크기는 작아지며 E-평면 방사패턴이 대칭적이 됨을 볼 수 있었다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 마이크로스트립 패치 안테나 주위에 mushroom 형태의 EBG 구조를 집적한 경우 구조 파라미터에 따른 반사손실 및 방사특성에 대하여 연구하였다. 기판의 길이 방향으로 EBG 구조를 집적하였을 때 패치 안테나 edge에서 EBG 패치 edge까지의 거리가 6 mm 정도가 될 때 공진 주파수가 EBG 구조가 집적되지 않은 패치 안테나의 공진 주파수와 오차가 3% 이내 임을 볼 수 있었다. 또한 EBG 구조를 집적하지 않았을 경우의 10 dB대역폭은 약 10 %이었으나 EBG 구조를 집적했을 경우 약 3.4 % 정도로 대역폭이 작아짐을 볼 수 있었다. EBG 패치 edge에서 패치 안테나의 피드까지의 거리가 같은 경우가 패치 안테나의 중심까지의 거리가 같은 경우와 비교하여 E-평면 방사패턴이 대칭적이고 전방방사 크기가 커지고 후방방사 크기가 작아짐을 볼 수 있었다. 사용하는 EBG 구조의 주기 수가 4주기 이상이 되게 되면 방사패턴의 변화는 거의 발생하지 않음을 볼 수 있었다. 또한 패치 안테나에서 표면을 따라 전파되는 표면파가 주로 길이 방향으로 전파되기 때문에 EBG 구조의 주기 수에 따라 E-평면 방사패턴은 크게 변화하나 H-평면 방사패턴은 거의 변화하지 않음을 볼 수 있었다.

기판의 폭 방향으로 EBG 구조를 집적한 경우에는 패치 안테나 edge에서 EBG 패치 edge까지의 거리가 4 mm 이상이 될 때 공진 주파수가 EBG 구조가 집적되지 않은 패치 안테나의 공진 주파수와 오차가 3% 이내 임을 볼 수 있었다. 기판의 길이 방향으로 EBG 구조를 집적시킨 경우와 비교하면 EBG 구조의 주기의 수가 안테나의 방사특성에 미치는 영향은 작음을 볼 수 있었다.

기판의 모든 방향으로 EBG 구조를 집적한 경우에는 폭 방향으로 집적된 EBG 구조의 주기 수가 작아짐에 따라 E-평면 방사패턴의 대칭성이 좋아지며 전방방사 크기가 커지고 후방방사 크기가 작아짐을 볼 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, and A. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*, 2nd edition, Boston·London, Artech House, 2000.
- [2] 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.
- [3] 기철식, 박익모, 한해욱, 이정일, 임한조, "포토닉 밴드갭 구조를 이용한 두껍고 유전상수가 높은 패치 안테나의 성능 향상", 한국전자과학기술논문지, 제 13권 제 1호, pp. 1-6, 2002년 1월
- [4] C.-S. Kee, J.-E. Kim, H.Y. Pa가, S. J. Kim, H. C. Hong, Y. S. Kwon, N. H. Myung, S. Y. Shin, and H. Lim, "Essential parameter in the formation of photonic bandgaps", *Phys. Rev. E*, vol. 59, no 4, pp. 4695-4698, April. 1999.
- [5] V. Radisic, Y. Qian, and T. Itoh, "Broadband Power Amplifier Integrated with Slot Antenna and Novel Harmonic Tuning Structure", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 1895-1898, June 1998.
- [6] V. Radisic, Y. Qian, R. Coccioli, and T. Itoh, "Novel 2-D photonic bandgap structure for microstrip lines", *IEEE Trans. Microwave Symp. Dig.*, pp 1895-1898, June 1998.
- [7] Dan Sievenpiper, Lijun Zhang, Eli Yablonovitch, "High Impedance Electromagnetic Surfaces with a Forbidden Frequency Band", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol 47, No 11, pp. 2059-2074, November 1999.
- [8] 김상우, 김태영, 김부균, 신종덕, 김세윤 "기판의 크기가 마이크로스트립 패치 안테나의 방사특성에 미치는 효과", 전자공학회 논문지, 제44권 TC편 제 11호, pp. 33-41, 2007년 11월.

## 저 자 소 개

김 상 우(학생회원)  
대한전자공학회 논문지  
제 44권 TC편 제 11호 참조  
현재 숭실대학교 대학원 전자공학과 석사졸업

신 종 덕(평생회원)  
대한전자공학회 논문지  
제 44권 TC편 제 11호 참조  
현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수

김 부 균(평생회원)  
대한전자공학회 논문지  
제 44권 TC편 제 11호 참조  
현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수