

논문 2006-43TC-5-18

# 소형 포토닉 밴드갭 구조를 이용한 마이크로스트립 안테나의 성능 향상

( Improved Performance of Microstrip Antenna using the Compact Photonic Band-gap Structures )

김 영 두\*, 이 홍 민\*\*

( Young Do Kim and Hong Min Lee )

## 요 약

본 논문에서는 Mushroom 형태 PBG 구조의 소형화 특성 개선을 위한 새로운 주기 구조를 제안하였다. 이러한 기술적 방법은 기존 유전체 기판의 두께와 전체적인 상부 패치의 크기 증가 없이 단위 주기 구조의 등가 커패시턴스 증가를 위한 구조 변형에 기반을 두고 있다. 또한 소형화된 PBG 구조의 부설에 의해 안테나의 표면파 억제와 표면파 억제에 의한 새로운 구조를 제안하였다. 기존 패치 안테나와 소형 Mushroom PBG 구조가 부설된 패치 안테나의 방사 패턴과 이득 비교를 통해서 표면파 억제가 효과적으로 이루어졌음을 확인할 수 있었다. 5.37GHz의 기본 동작 모드에서 Mushroom PBG 구조가 없는 패치 안테나의 이득은 6.43dBi, 기본 Mushroom PBG 구조와 바람개비 Mushroom 구조가 부설된 패치 안테나의 경우 각각 7.24dBi와 7.53dBi의 이득을 나타내었다. 소형 Mushroom PBG 부설에 의해 안테나의 후방 방사 특성이 개선으로 전체적인 안테나의 효율도 증가하였다.

## Abstract

In this paper, we propose a new Mushroom-like PBG concepts for designing with forbidden frequency band-gap at low frequency. These design rules are based on enhancing the capacitance per unit area using modified top-patch of mushroom PBG with no increase on the overall thickness of the substrate board. Also, in this paper, a new approach to suppress the surface wave from antenna is proposed by embedding compact mushroom PBG in the substrate. Comparisons between the results from a conventional patch antenna to a patch antenna on a PBG substrate show that the reduction in the surface wave level is remarkable. This can be observed in the radiation pattern and the maximum gain. The maximum gain for reference patch antenna is 6.43dBi at 5.37GHz, while the maximum gain of the patch antenna with normal mushroom and vane mushroom PBG is 7.24dBi and 7.53dBi at 5.14GHz. The back radiation is also considerably reduced; this will lead, of course, to an increase in the antenna efficiency.

**Keywords:** patch antenna, PBG, Mushroom PBG, stop band

## I. 서 론

모든 물질은 주기적 전위(potential)를 갖는 원자와 분자로 구성되며 전자의 이동 및 전파(propagation)는 이러한 전위에 영향을 받는다. 주기적 전위에 의한 에

너지 밴드갭(band-gap)이 충분히 클 때 주기적 전위 배열은 전자의 전파를 억제하거나 제어하는데 이용될 수 있으며, 광학 및 레이저 물리학 분야에서는 유전율이 주기적으로 변화하는 1차원 유전체 배열 구조를 이용하여 전자기파의 전파 특성을 제어하였다<sup>[1][2]</sup>. 최근 2차원 및 3차원 유전체의 주기적인 배열 구조에서도 전자기파가 전달될 수 없는 에너지 영역이 존재한다는 사실이 증명되면서 이를 이용한 마이크로파 대역의 소자 및 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[3][4]</sup>.

이와 같이 PBG(Photonic Band-Gap) 구조는 인위적

\* 학생회원, \*\* 정회원, 경기대학교 전자공학과  
(Department of Electronics Engineering, Kyonggi Univ.)

※ 본 연구는 2004학년도 경기대학교 학술 연구비(일반연구과제)지원에 의하여 수행되었음

접수일자: 2006년1월11일, 수정완료일: 2006년5월15일

으로 주기적 불연속 지점을 형성하여, 진행하는 전자파의 특정 주파수 대역을 감쇄시키는 특성을 가지고 있다. 저지 대역의 주파수 특성은 브래그 법칙(Bragg's law)을 만족하는 다중 반사면을 증가시키거나, 매질의 굴절율, 혹은 전자파의 임피던스를 변화시켜 저지대역의 중심 주파수와 대역폭 등을 조절할 수 있었다<sup>[6]</sup>. 주기적 구조를 물리적으로 구현하기 위해 DGS(Defected Ground Structure) 형태로 접지면에 일정 주기의 패턴을 식각하거나<sup>[6]</sup>, 기판에 구멍을 뚫고, 마이크로 스트립 선로와 같은 전송 선로에 인위적 불연속 지점을 형성하는 기법이 일반적으로 사용되었다<sup>[7]</sup>. 이러한 주기 구조에서는 특정 주파수의 저지 대역 형성을 위해 단위 주기 구조의 전기적 길이가 저지대역의 중심 주파수의  $\lambda/2$ 를 요구한다. 저지 대역 중심주파수와 단위 주기 구조 사이의 의존성에 기인한 PBG 구조의 물리적 크기 증가는 다른 초고주파 회로와 집적도를 고려할 때 PBG 구조의 활용을 제한하는 문제점으로 지적되어왔다<sup>[8]</sup>.

따라서 많은 연구 역량이 PBG 단위 주기 구조의 소형화 특성 개선에 집중 되어 광범위한 연구 개발이 진행되었다. Sievenpiper는 커패시터 로딩 방법에 의해 밴드갭 중심 주파수를 낮출 수 있는 Mushroom 형태의 PBG 구조를 제안하였고<sup>[9]</sup>, F. R. Yang은 평면 구조에 등가적인 인덕턴스와 커패시턴스를 증가시키기 위해 UC-PBG(Uniplanar Compact-PBG) 구조의 소형화 특성을 개선한 새로운 구조를 제안하였다<sup>[10]</sup>. 이후, Li Yang은 접합 계면의 커패시턴스를 극대화하기 위해 Mushroom 형태의 PBG 구조를 변형한 포크(fork) 형태의 EBG(Electromagnetic Band-Gap)를 설계하여 배열 안테나의 커플링 제어나 위상 변위기 역할을 통한 주빔 제어등에 응용하였다<sup>[11]</sup>. 이와 같이 PBG 주기 구조를 이용하여 안테나의 고조파 및 표면파 제거를 통한 효율 개선, HIG(Hige Impedance Ground) 구현을 통한 커플링 제어 및 안테나의 전력 이득 개선, 저속파(slow-wave)를 이용한 회로설계, FSS(Frequency Selective Surface)를 이용한 광대역 흡수체 및 결함 모드를 이용한 전력 증폭기와 여파기 등에서 성능 개선, SAR(Specific Absorption Rate) 문제 등 광범위한 분야에서 응용되고 있다.

그러나 PBG 구조는 저지대역의 폭과 감쇄량이 증가하는 만큼 물리적인 크기가 증가하고 통과 대역의 리플 크기가 커지는 단점을 가지고 있다<sup>[12]</sup>. 또한 상대적으로 낮은 주파수 대역의 저지 대역을 구현하기 위해서는 단위 PBG 셀의 크기가 커지는 단점이 존재했다. 즉, 주기

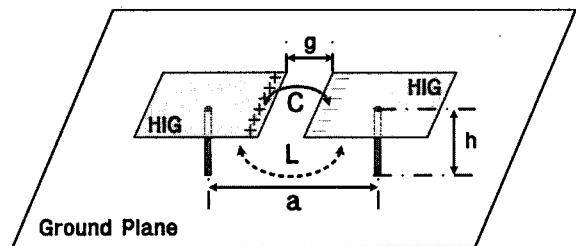
적 PBG 셀의 크기와 단위 셀의 크기 비인 Filling factor에 의해  $-20dB$  저지대역폭과 저지대역의 차단 특성이 결정되었고, 주기적 단위 셀의 수를 증가시킴으로서 저지대역 특성을 개선할 수 있었다. 그러나, L-band(1-2GHz)와 C-band(4-8GHz) 주파수대역에서 PBG 구조를 회로 설계에 응용하기 위해서는 소형화 측면에서 PBG 단위 셀의 크기 문제가 대두되게 되었다.

따라서 본 논문에서는 일반적인 Mushroom 형태 PBG 주기 구조의 저지 대역 특성을 분석하여 새로운 소형 PBG 구조의 특성을 고찰하고, 이를 안테나의 전후방비 개선을 통한 안테나 성능 개선에 활용하였다.

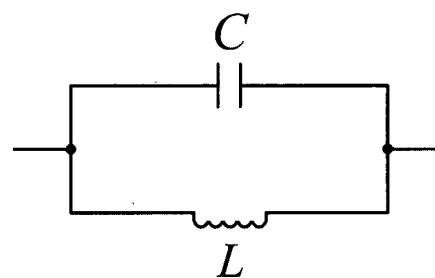
## II. 본 론

2-1 Mushroom 형태 PBG 구조의 전송 선로 모델  
기존 Mushroom 형태의 PBG 구조와 등가회로를 그림 1에 나타내었다. 단일 Mushroom PBG 구조는 길이와 폭  $L$ 을 갖는 정사각형의 사각 패치가 높이  $h$ 인 비아홀을 통해 접지면과 연결되어 있으며, 이웃한 주기 PBG 단위 셀과 간격  $g$ 를 유지하고 있다.

이와 같은 PBG 구조의 등가 회로에서 상부 패치 중심에 위치한 비아홀에 기인한 등가 인덕턴스는 식 (1)와 같이 비아홀의 높이( $h$ )와 직경( $D$ )에 대한 함수로 표현할 수 있다<sup>[13]</sup>.



(a) Mushroom PBG 주기 구조



(b) 등가 회로

그림 1. Mushroom 형태 PBG 구조와 등가 회로  
Fig. 1. Mushroom-type PBG structure and equivalent circuit.

$$L = 2 \times 10^{-7} h \left( \ln \left( \frac{4h}{D} \right) + 0.5 \left( \frac{D}{h} \right) - 0.75 \right) \quad (1)$$

Mushroom 형태 PBG 구조의 정성적인 정보를 제공하기 위해 Sievenpiper에 의해 제시된 간략화된 근사식은 식 (2)와 (3)에서와 같이 접지면과 연결된 비아홀과 상부 패치 사이의 커플링에 기인한 병렬 공진 구조의 등가 인덕턴스  $L$ 과 커패시턴스  $C$ 로 모델링 하였다<sup>[14]</sup>.

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

$$C = \epsilon_0 (1 + \epsilon_r) \left( \frac{a-g}{\pi} \right) \cosh^{-1} (a/g) \quad (3)$$

여기서,  $\epsilon_r$ 과  $\mu$ 는 PBG 주기 구조를 구성하는 유전체의 비유전율과 투자율을 나타낸다. 저지 대역의 중심 주파수를 위한 근사식은 식 (4)과 같으며,  $-20dB$  저지 대역폭은 서셉턴스 파라미터( $\sqrt{C/L}$ )와 비례 관계에 의해 주기 구조의 광대역 특성과 협대역 특성이 결정된다.

$$\omega_o = \sqrt{\frac{1}{LC}} = \frac{c}{\sqrt{1+\epsilon_r}} \sqrt{\frac{\pi}{(a-g)h \cosh^{-1} \left( \frac{a}{g} \right)}} \quad (4)$$

Mushroom 형태 PBG 주기 구조의 차단 주파수와 저지 대역폭을 결정하는 설계 변수는 상부 패치의 크기 ( $L$ ), 비아홀의 높이( $h$ ), 유전체의 비유전율( $\epsilon_r$ )와 단위 주기 사이의 간격( $g$ )에 의해 결정됨으로써 주기 구조의 반복 횟수와 저지 대역 특성에 대한 의존성이 감소시킬 수 있다. 통과 대역의 리플, 저지대역의 반사 손실과 저지 대역폭이 주기 구조의 반복 횟수에 상호 독립적인 영향을 준다는 사실은 PBG 구조의 소형화와 등가 회로의 인덕턴스와 커패시턴스 증가를 위한 구조 변형을 용이하게 함으로써 설계의 융통성을 제공해 준다.

이와 같은 Mushroom 형태의 PBG 주기 구조는 이웃한 단위 셀 사이의 갭 커패시터에 의해 커플링되는 리액티브 로딩 배열 구조로 등가화 될 수 있다. 즉, 반파장 마이크로 스트립 공진기로 모델링 되는 상부 패치는 접지면과 연결된 비아홀에 의해 단위 셀 구조는 리액티브 로딩에 의해 반파장보다 낮은 공진 주파수를 갖게 된다.  $Z_p$ 는 공진기의 리액턴스 이고,  $X_C$ 는 이웃한 공진기 사이의 커플링 커패시터를 나타내는 커패시티브 리액턴스이다.

무한 주기 장하 선로의 이상적인 2포트 종속 연결 구성의 등가 회로를 그림 2에 나타내었다. 단위 공진기

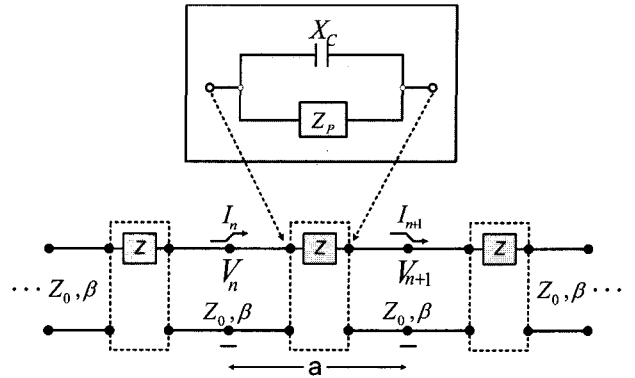


그림 2. Mushroom PBG 주기 구조의 등가 회로  
Fig. 2. Equivalent circuit of Mushroom PBG periodic structure.

부분의 등가 임피던스  $Z_p$ 와 커플링 커패시터  $X_C$ 에 대한 값이 설계 변수에 의해 구해지면 집중 소자 임피던스  $Z$ 는 주기  $a$ 에서  $Z_p$ 와  $X_C$ 의 병렬 회로의 합성으로 구해진다.

단위 공진기의 등가 임피던스( $Z$ )가 무한 주기 선로의 이상적인 2포트에 종속 연결 되었을 때,  $ABCD$  파라미터를 이용한 단위 주기 구조 양단의 전압과 전류 관계식은 식 (5)와 같다.

$$\begin{bmatrix} V_n \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{n+1} \\ I_{n+1} \end{bmatrix} \quad (5)$$

단위 주기 구조 양단의 전압과 전류 관계식에서  $ABCD$  행렬은 양단의  $a/2$  전송 선로와 직렬연결 임피던스( $Z$ )의 행렬곱으로 식 (6)과 같이 정의 된다.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \left( \frac{\beta a}{2} \right) & jZ_0 \sin \left( \frac{\beta a}{2} \right) \\ j \frac{1}{Z_0} \sin \left( \frac{\beta a}{2} \right) & \cos \left( \frac{\beta a}{2} \right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

무손실( $\alpha = 0$ ) 무한 주기 선로의  $n$ 번째 포트와  $n+1$  포트에서 전압과 전류 변화는 전파 요소  $e^{-\gamma a}$ 만 다르게 되므로, 식 (5)는 식 (7)와 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{bmatrix} A - e^{\gamma a} & B \\ C & D - e^{\gamma a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{n+1} \\ I_{n+1} \end{bmatrix} = 0 \quad (7)$$

윗 식의 고유 함수(eigen function)가 non-trivial 해를 가지려면 행렬의 행렬식이 '0'이 되어야 한다. 이를 전개하면 식 (8)과 같다.

$$\cosh(\gamma a) = \frac{A+D}{2} = \cos(\beta a) + j \frac{Z}{2Z_0} \sin(\beta a) \quad (8)$$

식 (8)에서 무한 주기 구조의 전파 상수  $\gamma = \alpha + j\beta$ 를 풀어서 정리하면 식 (9)와 같다.

$$\begin{aligned} \cosh(\alpha a) \cos(\beta a) + j \sin(\alpha a) \sin(\beta a) \\ = \cos(\beta a) + j \frac{Z}{2Z_0} \sin(\beta a) \end{aligned} \quad (9)$$

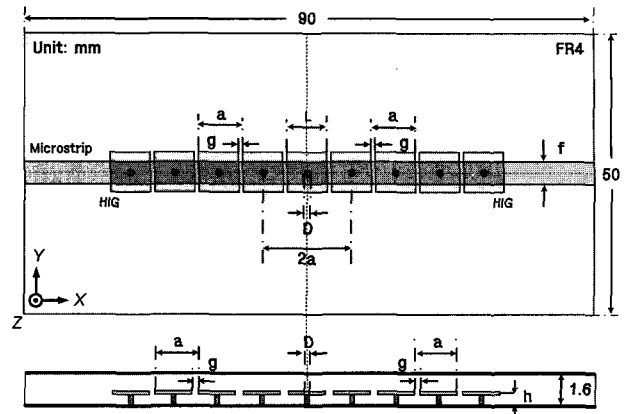
임피던스  $Z$ 는 항상 허수(imaginary: 무 손실 공간기)로 가정이고, 식 (9)의 우변항은 항상 실수부만을 갖기 때문에  $\alpha = 0$  또는  $\beta = 0, n\pi/2$  인 조건을 만족해야 한다.  $\alpha = 0$ 일 경우는 무한 주기 구조 선로의 통과 대역을 정의하는 무감쇠 진행파를 나타내며, 식 (10)와 같이 간소화 된다.

$$\cos(\beta a) = \cos(\beta a) + j \frac{Z}{2Z_0} \sin(\beta a) \quad (10)$$

윗 식에서  $\beta = 0, n\pi/2$ 인 조건에서는 무손실 무한 주기 구조의 저지 대역(stop-band) 정의하며, 진행되는 선로의 진행방향으로 입사된 전력은 입력 포트 방향으로 반사하게 된다.

2-2 Mushroom 형태 PBG 구조의 저지 대역 특성  
기본적인 Mushroom 형태 PBG 구조의 설계 파라미터 변화에 대한 저지 대역의 전기적인 특성 분석을 위해 높이가 1.6mm인 FR-4( $\epsilon_r = 4.4$ ) 기판의 마이크로 스트립 전송선로 상에서 모의실험을 위한 주기 구조를 그림 3에 나타내었다. Mushroom 형태 PBG를 구성하는 비아홀의 높이( $h$ )와 반경( $D$ )은 각각 0.8mm와 0.25mm이고, 수직 비아와 결선된 상부 패치의 크기( $L$ )는 6mm, 이웃한 PBG간 이격거리( $g$ )는 0.3mm로 설계되었다. 저지대역 특성을 위한 단위 주기구조의 개수  $N=9$ 이고, 전체 유한 접지면의 크기는  $90 \times 50mm$ 이다.

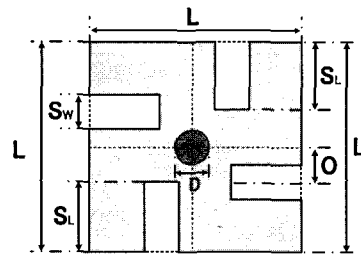
기존 Mushroom 형태 PBG 구조의 소형화 특성 개선을 위해 상부 패치에 대칭적인 4개의 슬릿을 부설한 바람개비 형태의 새로운 PBG 구조를 그림 4에 나타내었다. 비아홀 높이( $h$ )와 반경( $D$ )은 각각 0.8mm와 0.5mm로 설계되었고, 수직 비아와 결선된 상부 패치



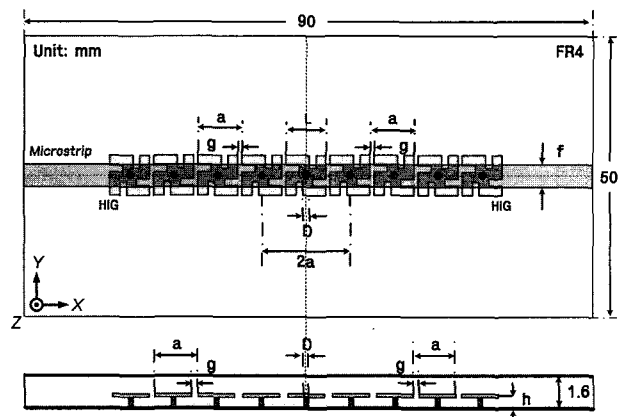
$L = 6mm, h = 0.8mm, g = 0.3mm, a = 6.3mm, D = 0.25mm, \epsilon_r = 4.4$

그림 3. Mushroom 형태 PBG 구조의 저지 대역 특성을 위한 주기구조( $N=9$ )

Fig. 3. Periodic structures for stop-band characteristic of Mushroom-type PBG structures( $N=9$ ).



(a) 단위 Mushroom 구조

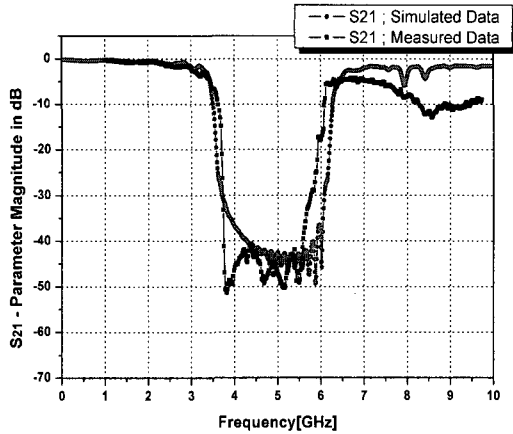


(b) 주기 구조

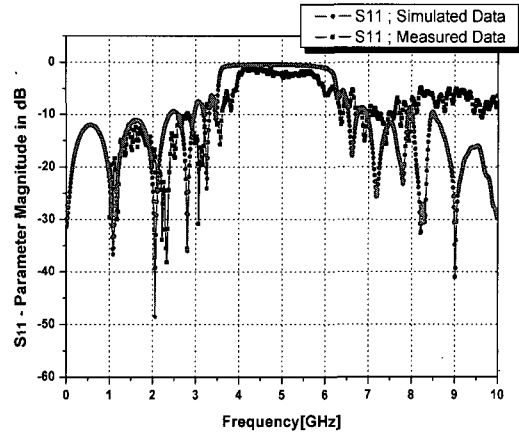
$L = 6mm, O = 1mm, D = 0.5mm, S_L \times S_W = 1 \times 2$   
 $L = 6mm, h = 0.8mm, g = 0.3mm, a = 6.3mm, D = 0.5mm, \epsilon_r = 4.4$

그림 4. 바람개비 형태의 Mushroom PBG 구조( $N=9$ )  
Fig. 4. Configuration of the Vane-like Mushroom structure.

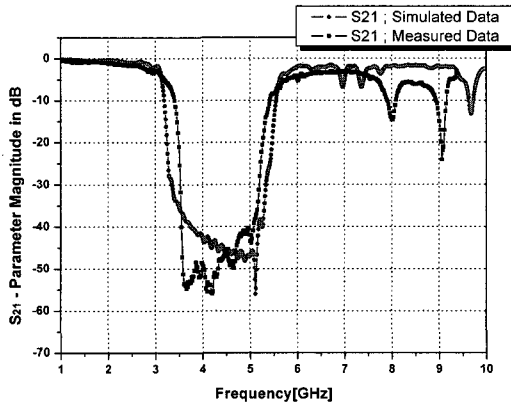
의 크기( $L$ )는 6mm, 이웃한 PBG 이격거리( $g$ )는 0.3mm로 기존 Mushroom 형태 PBG 구조와 동일하



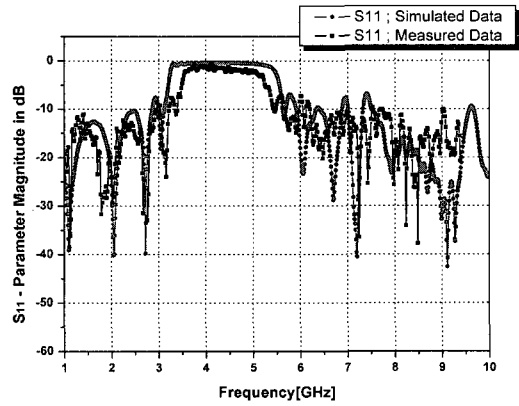
(a) 기본 Mushroom PBG 구조의  $S_{21}$  파라미터



(b) 기본 Mushroom PBG 구조의  $S_{11}$  파라미터



(c) 바람개비Mushroom PBG 구조의  $S_{21}$  파라미터



(d) 바람개비Mushroom PBG 구조의  $S_{11}$  파라미터

그림 5. 기본 Mushroom 구조와 바람개비 Mushroom PBG 구조의 저지 대역 특성  
Fig. 5. The Stop-band characteristic of normal Mushroom and Vane-type Mushroom PBG structures.

게 설정하여,  $-20dB$  저지 대역을 구성하는 하위 주파수( $f_{Low(-20dB)}$ )와  $-20dB$  대역폭의 변화를 분석하였다.

단위 주기 구조의 소형화를 위해 설계 파라미터 분석에서 얻어진 최적의 설계 변수인 4개 슬릿 ( $S_L \times S_W = 1 \times 2mm$ ) 중심은 기존  $6mm$ 의 Mushroom 형태 PBG 구조의 상부 패치 중심에서  $1mm$  만큼 오프셋 되어 부설되었다.

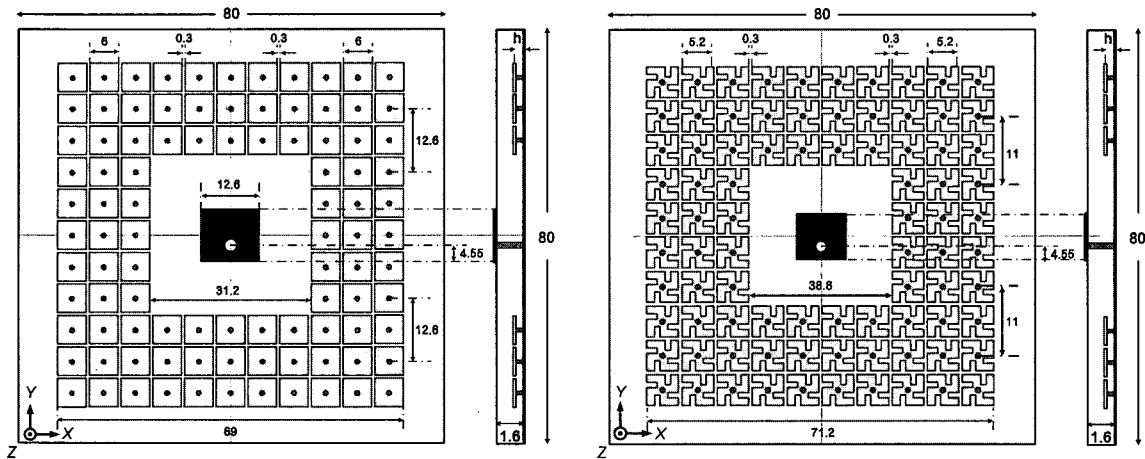
기본 Mushroom 형태 PBG 구조와 바람개비 형태의 PBG 주기 구조의 모의 실험된 값과 측정된 저지대역 특성을 그림 5와 표 1에 각각 나타내었다.  $50\Omega$  마이크로 스트립 전송선로 상에서 9개 주기의 Mushroom 형태 PBG 구조에서 모의 실험된 저지 대역 특성은 중심 주파수  $4.87GHz$ 와  $-20dB$  저지대역폭이  $2.65GHz$ , 낮은 통과 대역의 첫 번째 Null 지점과 피크지점의 반사 손실값이  $-10.99dB$ 와  $-6.08dB$ 값을 나타내었다. 제작된 PBG 구조에서 중심 주파수는  $4.79GHz$ 로 모

의 실험된 결과에 비해 약  $80MHz$  감소하였고,  $-20dB$  저지대역폭은  $2.25GHz$ 로  $400MHz$  감소하는 협대역 특성을 나타내었다.

바람개비(Vane) 형태의 Mushroom 형태 PBG 구조에서 모의 실험된 저지 대역 특성은  $4.35GHz$ 의 저지 대역 중심 주파수와  $2.24GHz$ 의  $-20dB$  저지 대역폭을 나타내었다. 동일한 실험 환경에서 기본 Mushroom 형태 PBG 구조의 저지 대역 중심 주파수보다  $520MHz$  정도 감소하였고, 낮은 통과 대역의 첫 번째 Null 지점과 피크지점의 반사 손실값은  $-18.17dB$ 와  $-7.56dB$  값을 나타내었다. 측정된 바람개비 Mushroom PBG 구조의  $-20dB$  저지 대역폭이  $1.76GHz$ 로 약  $480MHz$  정도 감소됨에 따라 대역폭의 기준이 되는 하위 주파수( $f_L$ )가  $3.5GHz$ 로 측정되어 모의 실험된 저지 대역의 중심 주파수  $4.35GHz$ 와 유사한 결과를 나타내었다.

표 1. 기본 Mushroom 구조와 바람개비 Mushroom PBG 구조의 저지 대역 특성  
Table 1. The stop-band characteristics of normal Mushroom and vane Mushroom PBG structures.

Type	Stop-band 20-dB Isolation		20-dB Isolation Bandwidth (GHz)	1'st Null and Peak RL(dB)	
	$f_0$ (GHz)	$S_{21(max)}$ (dB)		Null(dB)	Peak RL(dB)
Normal (Simulated)	4.87	-49.07	2.65 (3.55-6.20)	-10.99	-6.08
Normal (Measured)	4.79	-51.52	2.25 (3.67-5.92)	-9.19	-5.44
Vane-Type (Simulated)	4.35	-56.04	2.24 (3.23-5.47)	-18.17	-7.56
Vane-Type (Measured)	4.38	-56.41	1.76 (3.50-5.26)	-11.15	-7.55



(a) Normal Mushroom PBG 구조를 갖는 패치 안테나 (b) Vane Mushroom PBG 구조를 갖는 패치 안테나

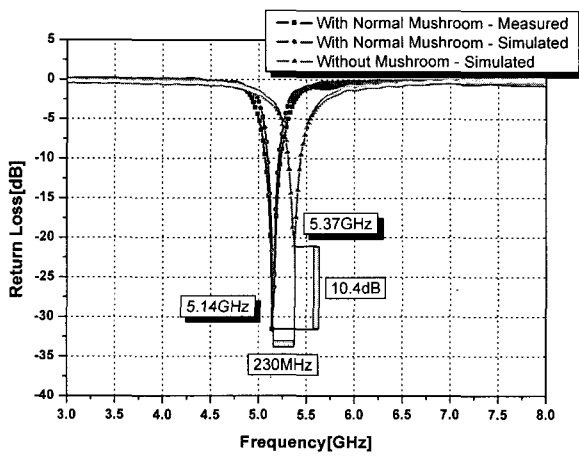
그림 6. Mushroom 형태 PBG 구조를 갖는 패치 안테나  
Fig. 6. The patch antenna with Mushroom PBG structures.

2-3 안테나의 전기적인 특성 개선을 위한 PBG 구조의 응용

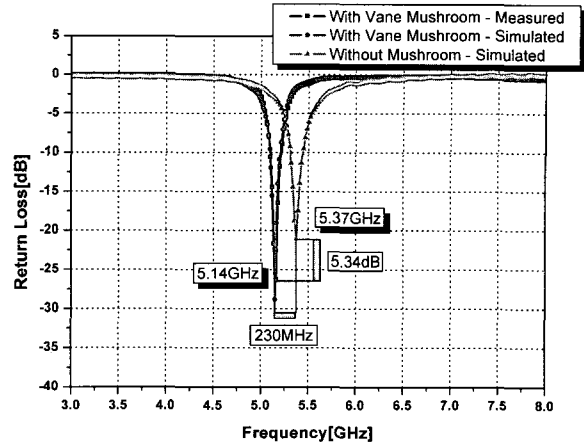
PBG 주기 구조를 활용한 패치 안테나 후방 방사 억제와 주빔의 이득 향상을 위한 안테나 구조를 그림 6에 나타내었다. 부설된 PBG 주기 구조의 저지 대역이 패치 안테나의 공진 주파수를 포함하는 대역으로 설정되기 위해 기본 Mushroom 주기 구조의 상부 패치 크기는 6mm, 바람개비 형태의 상부 패치 크기는 5.2mm로 설계 되었다. Mushroom 주기 구조의 높이(h)와 이웃한 주기 구조 사이의 간격(g)은 각각 0.8mm와 0.3mm로 고정되었으며, 유한 접지면의 크기는 80×80mm로 설계되었다. 유전체 기판의 높이가 1.6mm인 FR-4( $\epsilon_r = 4.4$ ) 기판에 동축 급전을 갖는

패치 안테나 크기가 12.6×12.6mm일 때 기본 저차 모드 공진 주파수는 5.34GHz를 나타내었다. 안테나 주변부를 감싸는 전체 PBG 주기 구조는 11×11 배열을 가지며, 안테나 고유 모드 형성에 영향을 미치는 주변 영역을 제거하기 위해 전체 주기 구조 중심에 4×4 배열의 주기 구조는 제거되었다.

PBG 주기 구조 부설에 따른 반사손실 변화를 그림 7에 각각 나타내었다. Mushroom 형태 PBG 구조가 없는 경우 5.37GHz의 공진 주파수는 PBG 주기 구조의 부설에 따라 5.14GHz까지 약 230MHz 감소하였다. 특히 측정된 반사 손실값은 Mushroom 형태 PBG 주기 구조가 없는 경우에 비해 10.4dB 낮게 측정되어 PBG 주기 구조가 안테나 정합 특성을 개선함을 확인 할 수



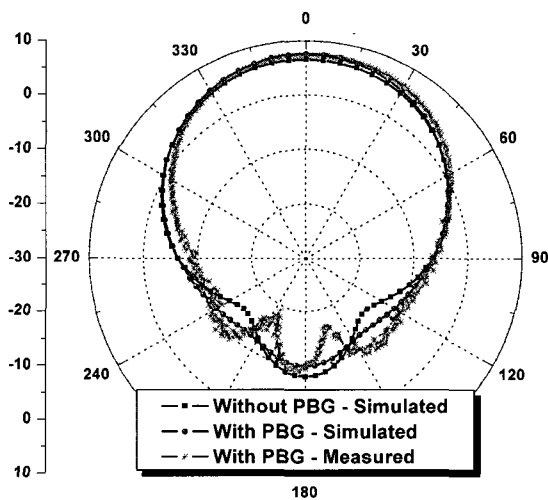
(a) Normal Mushroom PBG 부설에 따른 반사 손실



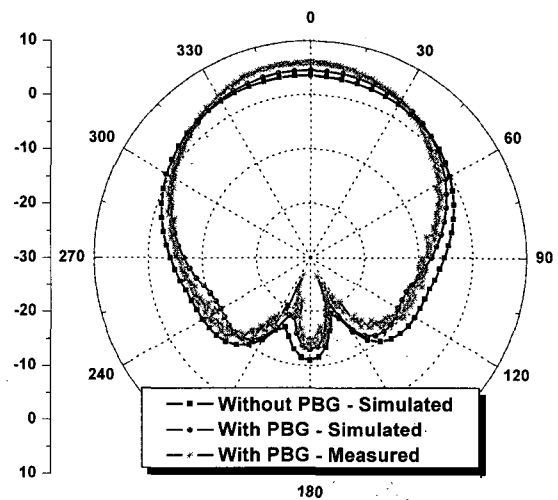
(b) Vane Mushroom PBG 부설에 따른 반사 손실

그림 7. Mushroom 형태 PBG 주기 구조 부설에 따른 반사 손실

Fig. 7. The return loss of patch antenna with/without Mushroom PBG structures.



(a)  $\phi = 0^\circ$



(b)  $\phi = 90^\circ$

그림 8. 기본 Mushroom PBG 부설에 따른 방사 패턴

Fig. 8. The radiation pattern of patch antenna with normal Mushroom PBG.

있었다. 패치 안테나 주변부에 바람개비 형태의 Mushroom PBG 구조가 삽입된 경우 Mushroom 형태 PBG 구조가 없을 때 5.37GHz의 공진 주파수는 PBG 주기 구조의 부설에 따라 5.14GHz까지 약 230MHz 감소하였고, 반사 손실값은 5.34dB 낮아졌다. 따라서 PBG 주기 구조 부설에 따라 공진 주파수의 감소는 안테나 소형화 특성을 개선하고, 반사 손실값의 감소는 안테나 정합 특성을 개선함을 확인 할 수 있었다.

기본 Mushroom 형태 PBG 주기 구조와 바람개비 형태의 PBG 주기 구조 부설에 따른 방사 패턴을 그림 83

과 9에 각각 나타내었다. Mushroom 형태 PBG 주기 구조가 부설되지 않은 경우 6.43dBi의 이득은 측정값 기준으로 기본 Mushroom 형태 PBG 구조가 부설된 경우 7.24dBi, 바람개비 형태의 PBG 주기 구조가 부설된 경우 7.53dBi로 각각 증가 하였다. 특히 측정된 후방 방사는 -13.42dB와 -19.48dB로 Mushroom 형태 PBG 주기 구조가 없는 안테나에 비해 약 5.56dB와 11.62dB만큼 개선되었다. 표 2에서는 PBG 주기 구조 부설에 따른 패치 안테나의 전기적 특성 변화를 정리하였다.

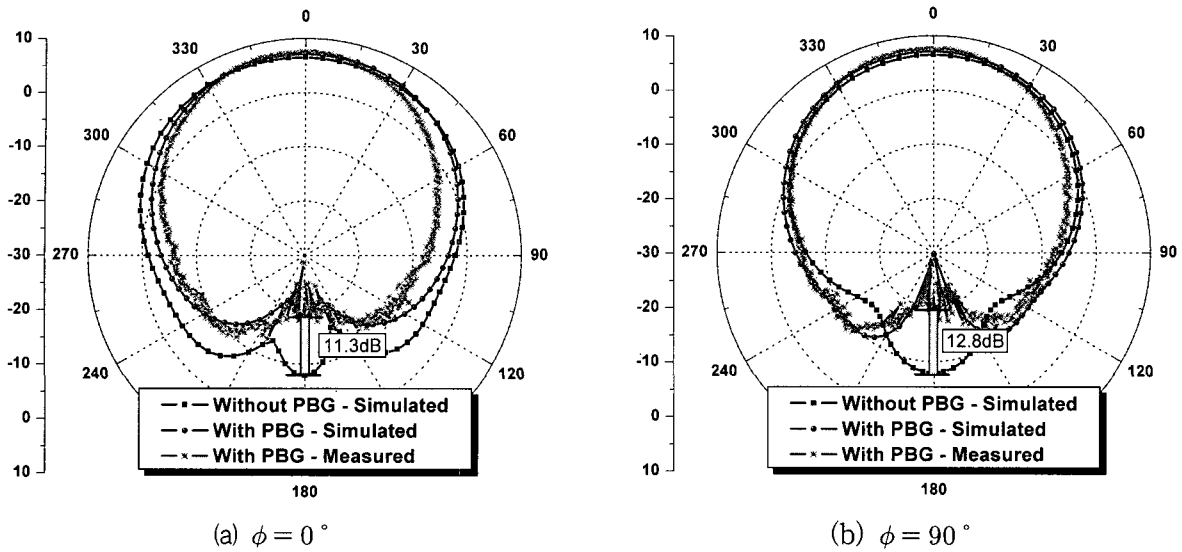


그림 9. 바람개비 Mushroom PBG 부설에 따른 방사 패턴  
 Fig. 9. The radiation pattern of pthch antenna with vane Mushroom PBG.

표 2. PBG 주기 구조 부설에 따른 패치 안테나의 전기적 특성  
 Table 2. The electrical characteristics of patch antenna with/without PBG periodic structures.

Type	$f_0$ (GHz)	Return Loss (dB)	Directivity (dBi)	Side Lobe (dB)	Side Lobe Suppression(dB)	
Reference	5.37	-21.14	6.43	-7.86		
With Normal Mushroom	Simulated	5.14	-26.39	7.48	-9.95	2.09 ↑
	Measured	5.14	-31.64	7.24	-10.43	2.57 ↑
With Vane Mushroom	Simulated	5.14	-28.83	7.21	-18.21	10.35 ↑
	Measured	5.14	-26.39	7.53	-19.48	11.62 ↑

### III. 결 론

본 논문에서는 Mushroom 형태 PBG 주기 구조의 소형화 특성을 개선한 새로운 주기 구조와 저지 대역의 성능 개선을 위한 기술적 방법을 제안하였다. 기존 Mushroom 형태의 주기 구조에 비해 단위 주기 구조의 물리적 크기를 감소시키기 위해 등가회로의 인덕턴스와 커패시턴스를 증가시킬 수 있는 구조로 변형되어 설계되었다.

본 논문에서는 새롭게 제시된 소형화된 PBG 구조를 활용해 패치 안테나 후방 방사 억제와 주빔의 이득 향상을 위한 안테나 구조에서는 Mushroom PBG 구조가 없는 경우 5.37GHz의 공진 주파수는 PBG 주기 구조의 부설에 따라 5.14GHz까지 약 230MHz 감소함과 동시에 안테나 정합 특성을 개선함을 확인 할 수 있었

다. PBG 주기 구조 부설에 따른 방사 패턴에서는 기본 Mushroom 형태의 PBG 주기 구조가 부설된 경우와 바람개비 형태의 PBG 주기 구조가 부설된 경우에 측정된 후방방사가 -13.42dB와 -19.48dB로 Mushroom 형태의 PBG 주기 구조가 없는 안테나 구조에 비해, 약 5.56dB와 11.62dB만큼 개선되었다.

### 참 고 문 헌

[1] J. N. Winn, Y. Fink, S. Fan, and J. D. Joannopoulos, "Omnidirectional reflection form a one-dimensional photonic crystal," *Opt. Lett.*, vol. 23, no. 20, pp. 1573-1575, Oct. 15, 1998.  
 [2] E. Yablonovitch, "Photonic crystals", *J. Modern Opt.*, vol. 41, no. 2, pp. 173-194, 1994.  
 [3] M. P. Kesler et al., "Antenna design with the



use of photonic bandgap materials as all-dielectric planar reflectors," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 11, no. 4, pp. 169-174, Mar. 20, 1996.

[4] E. Yablonovitch, T. J. Gmitter, and K. M. Leung, "Photonic band gap: the face-centered cubic case employing nonspherical atoms," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 67, no. 17, pp. 2295-2298, 1991.

[5] D. F. Sievenpiper, E. Yablonovitch, J. N. Winn, S. Fan, P. R. Villeneuve, and J. D. Joannopoulos, "3D metallo-dielectric photonic crystals with strong capacitive coupling between metallic islands," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 80, no. 13, pp. 2829-2832, Mar. 1998.

[6] M. Kahrizi, T. K. Sarkar, and Z. A. Maricevie, "Dynamic analysis of a microstrip line over a perforated ground plane," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 42, pp. 820-825, May, 1994.

[7] Quan Xue, Kam Man Shum, Chi Hou Chan, "Novel 1-D Microstrip PBG Cells," *IEEE Microwave and Guided Letters*, vol. 10, no. 10, pp. 403-405, Oct. 2000.

[8] Dunbao Yan, Chao Wang, Qiang Gao, and Naichang Yuan, "A Novel Compact Interembedded AMC Structure for Integrated Circuits and Antenna Arrays", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 45, no. 4, pp. 303-305, May. 20, 2005.

[9] D. Sievenpiper, L. Zhang, R. F. J. Broas, N. G. Alexopolus, and E. Yablonovitch, "High-impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band," *IEEE Trans. Microwave Theory Technology*, vol. 47, no. 11, pp. 2059-2074, Nov. 1999.

[10] Fei-Ran Yang, Kuang-Ping Ma, Yongxi Qian, Tatsuo Itoh, "A Uniplanar Compact Photonic-Bandgap(UC-PBG) Structure and Its Application for Microwave Circuits," *IEEE Trans. Microwave Theory Technology*, vol. 47, no. 8, pp. 1509-1514, Aug. 1999.

[11] Li Yang, Mingyan Fan, Fanglu Chen, Jingzhao She, Zhenghe Feng, "A Novel Compact Electromagnetic-Bandgap(EBG) Structure and Its Application for Microwave Circuits," *IEEE Trans. Microwave Theory Technology*, vol. 53, no. 1, pp. 183-190, Jan. 2005.

[12] Nemai. C. Karmakar, Mohammad. N. Mollah., "Investigations into nonuniform photonic-bandgap microstrip low-pass filters," *IEEE Trans. Microwave Theory Technology*, vol. 51, no. 2, pp. 564-572, Feb. 2003.

[13] I. J. Bahl and P. Bhartia, *Microwave solid state circuit design*, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1988.

[14] D. Sievenpiper, "High-impedance electromagnetic surfaces," Ph. D. dissertation, Dept. Elect. Eng., Univ. California at Los Angeles, Los Angeles, CA, 1999.

저 자 소 개



김 영 두(학생회원)  
 2000년 경기대학교  
 전자공학과 학사 졸업  
 2002년 경기대학교  
 전자공학과 석사 졸업  
 2005년 경기대학교  
 전자공학과 박사 졸업

<주관심분야 : 안테나 설계 및 해석, RF 수동소자, PBG 구조해석>



이 흥 민(정회원)  
 1972년 연세대학교  
 전자공학과 학사 졸업  
 1974년 연세대학교  
 전자공학과 석사 졸업  
 1990년 연세대학교  
 전자공학과 박사 졸업

1991년~현재 경기대학교 전자공학과 교수  
 <주관심분야 : 안테나 설계 및 해석, 전파전파, RF 수동소자>