

다차원 패턴기술을 이용한 광대역 마이크로스트립 안테나 설계

이호준 · 박규호

전자부품연구원 무선통신연구센터

Design of Wideband Microstrip Antenna using Multi-dimensional Pattern Technology

Ho-Jun Lee and Kyu-Ho Park

Wireless Communication Research Center, Korea Electronics Technology Institute(KETI)

초 록: 본 논문은 wireless LAN 주파수 대역(5725~5825 MHz)에서의 다차원패턴기술(Photonic Band Gap : PBG)을 이용한 Yagi-Uda 안테나와 결합하여 광대역 마이크로스트립 패치 안테나를 구현하였으며, PBG Cell을 이용한 안테나와 이용하지 않은 안테나를 비교 분석하였다. PBG 구조를 적용한 안테나에서의 대역폭이 약 30 MHz 정도 더 넓게 나왔으며, 안테나의 이득 또한 1dB정도 더 높게 나왔는데 이는 Ground 면에 2차원적인 다차원 패턴 구조를 적용하여 안테나 표면을 따라 전파하는 전자파의 전송이 억제되도록 표면파의 발생을 효과적으로 차단했기 때문으로 분석된다.

Abstract: This paper demonstrates the detailed study of a microstrip Yagi-Uda antenna with and without PBG structure at wireless LAN(5725~5825 MHz) frequency band. The impedance bandwidth of the antenna with the PBG holes is greater than (about 30 MHz) that of its counter part without PBG holes. The measured gains of the antenna at the frequency band are 7 dB and 6 dB respectively for antenna with and without PBG. The improvement of gain of about 1dB is likely due to the suppression of surface wave.

Keywords: PBG(photonic band gap), Yagi-Uda, Surface Wave, Microstrip

1. 서 론

최근 전자기파의 전파를 효과적으로 제어할 수 있는 새로운 방법, 소위 포토닉 밴드갭(photonic bandgap; PBG)구조¹⁾를 이용한 전자기파의 제어가 마이크로파에서 큰 관심의 대상이 되고 있다. 포토닉 밴드갭(PBG)은 전자기파의 전파가 허용되지 않는 특정 주파수 영역을 뜻한다. PBG 구조는 광학 분야[광자결정(photonic crystal)]에서 처음으로 1987년 Yablomitch와 John이 각각 독자적으로 빛에 대해서도 동일한 띠허격 개념이 적용될 수 있

다고 발표^{1,2)}함으로써 알려지게 되었으며, 현재는 마이크로파 분야에까지 그 활용 분야가 증가하고 있다. 원래 광학 분야 응용에서는 유전율(permittivity), 투자율(permeability) 등에 의한 매질의 주기적인 굴절을 변화가 PBG 현상을 나타내는 것에 주목하여 광학 결정상에 주기적으로 배치된 구멍 등을 이용하여 매질의 유전율을 변화시키는 방식으로 PBG 특성을 구현하는 연구가 대부분이었다. 마이크로파 분야에서의 응용은 안테나에서 전력 이득 향상³⁾과 beam pattern 개선⁴⁾ 등을 목적으로 이용하거나, 낮은 손실을 가지면 구조를 최소화시키기 위한 slow-wave 마이크로스트립 구조⁵⁾, 넓은 주파수 대역에서 power added efficiency를 개선시

*Corresponding author
E-mail: hjlee@keti.re.kr

키기 위한 전력증폭기⁶⁾, 그리고 광대역이나 결함 모드(defect-mode)를 이용한 여파기⁷⁾, 등으로 활용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있으며 PBG 구조를 응용한 새로운 마이크로 및 밀리미터파 소자의 개발도 기대되고 있다. 마이크로 스트립 선로에 PBG 구조를 구현하는 방법으로는 마이크로 스트립 선로 주위의 유전체 기판에 구멍을 뚫는 방법⁸⁾, 마이크로 스트립 선로의 접지면을 2차원적으로 식각하는 방법⁹⁾, 마이크로 스트립 선로 자체에 변화를 주는 방법¹⁰⁾, 마이크로 스트립 선로 자체 및 접지면 모두에 변화를 주는 방법¹¹⁾ 등이 있다. PBG 구조를 안테나에 적용했을 경우의 장단점을 구체적으로 살펴보면 이득 향상과 beam pattern 개선 및 대역폭 향상과 효과적인 표면파(surface wave)를 제거할 수 있으며, 단점으로는 PBG cell로 인한 제작상의 복잡함과 안테나의 전체적인 크기가 커지는 단점이 있다. 본 논문에서는 마이크로 스트립 선로의 접지면(ground)에 2차원적으로 식각한 PBG cell을 적용하여 동일한 크기의 안테나에서 대역폭을 향상시킬 수 있는 안테나를 제작하여 보았다. 안테나의 급전방식으로는 aperture-coupled 마이크로스트립 구조를 적용한 Yagi-Uda 안테나를 마이크로스트립라인에 구현 제작하였다.

2. 안테나 구조 및 특성

본 논문에서는 Yagi-Uda 안테나와 aperture-coupled 마이크로스트립 급전구조를 이용하여 제작한 안테나(Fig. 1)로서 일반적인 마이크로스트립 안테나의 patch부분에는 Yagi-Uda 안테나의 형상을 이용하였으며, 급전부분에는 aperture-coupled 급

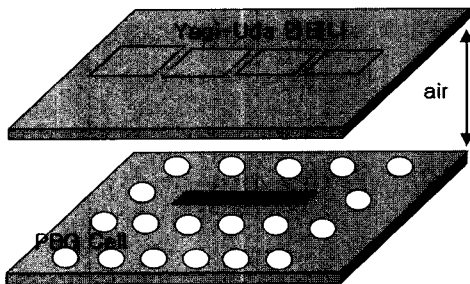


Fig. 1. Antenna layout.

전구조의 접지면에 2차원적인 PBG cell을 이용하여 마이크로스트립 안테나를 제작하였다.

2.1 Yagi-Uda 안테나

Fig. 2와 같은 안테나는 1920년대 초에 Yagi와 Uda에 의해 완성된 Yagi-Uda 안테나로 주로 가정용 TV 안테나로 일반 대중에게 널리 알려져 사용되고 있으며, 하나는 급전 전송선로에 의해 직접 에너지를 공급받는 반면에, 다른 것 들은 상호 결합에 의해 전류가 유기되는 기생 방사체로서 작동한다. Yagi-Uda 배열 안테나는 무게가 가볍고, 만들기 쉽고, 적은 비용 그리고 많은 응용에 있어 비교적 원하는 특성을 제공해 주기 때문에 많이 사용하고 있지만, 적은 수의 소자를 사용한(5-6개) 설계는 간단하다. 높은 지향성을 갖도록 하기 위해 많은 수의 소자를 사용한다면 그 설계는 아주 엄격해 진다. Yagi-Uda 배열 안테나의 특성을 3가지로 분류해보면 반사기(Reflector) 간격과 크기는 전방 이득에는 영향을 미치지 않으며, 후방 이득(전후방 비율)과 입력 임피던스에 큰 영향을 미치

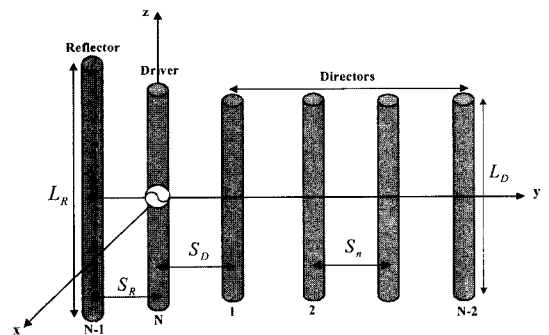
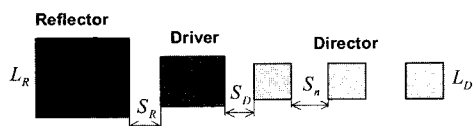


Fig. 2. Yagi-Uda antenna configuration.



며, 이들은 이득에 크게 영향을 미치지 않고 안테나 파라미터를 최적화하고 제어하는데 사용될 수 있다. 급전기(구동소자, Driver) 길이와 반경은 전방 이득에는 영향을 작게 미치지만, 후방 이득과 입력 임피던스에는 큰 영향을 미친다. 도파기(director)의 크기와 간격은 전방 이득, 후방 이득, 입력 임피던스에 큰 영향을 미치며, 배열 안테나의 가장 중요한 요소로 여겨진다. 이득과 관련된 패턴 모양은 대부분 도파기에 의해 좌우되며, 도파기 간격과 도파기 길이는 서로 밀접한 관계에 있지만 좀더 민감한 파라미터가 도파기 길이이고, 이것은 중앙지대 길이가 증가함에 따라 더 중요해진다.

2.2 Aperture-Coupled 급전방식

일반적인 마이크로스트립 안테나는 단일 유전체 위에 방사소자가 있으며 방사소자의 급전을 위해 마이크로스트립 급전선로(microstrip feed) (Fig. 3-a)나 동축선로 급전(coaxial probe feed) (Fig. 3-b)을 많이 사용하며, 가장 쉬운 방법은 패치의 모서리에 직접 마이크로스트립 급전선로를 연결시키는 방법이다. 그러나 이 방법은 정확한 입력 임피던스 정합을 만들기가 어려우며 방사소자와 급전선로가 동일한 유전체위에 구성되기 때문에 동시에 효율적인 방사와 손실없는 에너지 전달 조건을 만족시킬 수 없다. 급전선로에 의한 기생방사는 안테나의 방사특성을 저하시키며 높은 Q(a)값은 안테나의 대역폭특성을 나쁘게 만든다. 또한 높은 유전율을 갖는 기판에서 요구되는 큰 입력임피던스 변화는 깊은 삽입(inset)이 필요하며, 이것은 교차편파(cross-polarization)와 방사패턴 형태에 영향을 미친다. 동축선로를 사용해 급전하는 방법은

동축선로의 내부 도체를 방사소자와 직접 연결하고 외부 도체를 접지면에 연결하여 급전하는 방법이다. 그리고 동축선로 급전은 공정이 어려운 반면 정확히 급전을 가능하게 하고 동축선로상의 방사손실을 줄일 수 있다. 이 방법은 급전 위치에 따라 입력 임피던스를 조절할 수 있지만 임피던스 정합회로와 같은 마이크로스트립 회로를 구성하기가 어렵다. Aperture-coupled 마이크로스트립 안테나의 급전방식(Fig. 3-c)은 접지면을 기준으로 하층의 유전체에 마이크로스트립 급전선로가 있으며, 접지면에 있는 작은 aperture를 통하여 전자기적으로 상층의 유전체에 있는 방사소자와 결합시켜 안테나를 급전한다. 이러한 급전 방식은 접지면에 의해 방사소자와 급전선로가 서로 격리되어 있기 때문에 방사소자와 급전선로의 독립적인 설계가 가능하다. 방사소자가 위치한 곳에 사용되는 유전체는 유전율이 낮고 두께가 두꺼운 유전체를 사용하여 안테나의 방사효율과 대역폭특성을 개선시킬 수 있으며, 급전선로가 위치한 곳에 사용되는 유전체는 유전율이 높고 두께가 얇은 유전체를 사용하여 급전선로에 의한 불필요한 방사나 손실을 줄이고 임피던스 정합회로나 능동 마이크로 웨이브 회로를 쉽게 집적화 할 수 있다. 때문에 aperture-coupled 마이크로스트립 안테나는 Pozar¹²⁾가 제안한 이후로 많은 사람들에 의해 연구되어졌다. 본 논문에서는 이러한 두 가지 특성을 결합하여 aperture-coupled 급전방식을 취한 마이크로스트립 라인에 Yagi-Uda 안테나를 제작하였으며, PBG cell은 접지면에 2차원적으로 식각하여 안테나를 구현하였다.

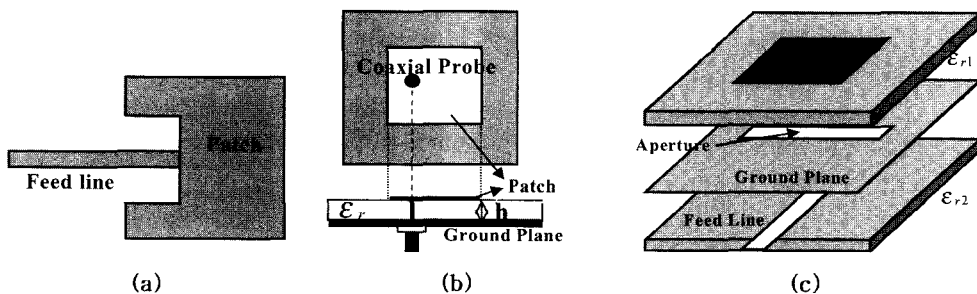


Fig. 3. Typical feeds for microstrip antennas. (a) Microstrip line feed, (b) Coaxial probe feed, (c) Aperture-coupled feed.

3. 설계 제작과 측정

안테나의 설계 및 시뮬레이션은 Ansoft사의 Ensemble Tool을 이용하였으며, 기판의 재질은 유전율 10.2, 두께 50 mil(1.27 mm)의 테프론 기판을 사용하여 안테나를 설계 제작하였다. 먼저 급전방식에서 aperture는 안테나의 사용주파수 대역에서 공진이 일어나지 않도록 적절한 크기를 가져야 한다. 만일 aperture에 의해 공진이 일어나게 되면 방사소자의 공진과 더불어 또 다른 공진이 일어나게 되어 임피던스 대역폭을 늘일수 있지만 aperture에 의한 공진은 후방 방사를 일으키게 되어 방사특성을 저하시키게 된다. Aperture에 의한 공진을 측정할수 있는 방법으로는 Network Analyzer를 이용하여 손쉽게 확인할수 있다. 적절한 aperture의 길이와 폭은 각각 $0.1\sim 0.2\lambda_g$ 와 $0.01\sim 0.02\lambda_g$ 이며¹²⁾, λ_g 는 guided wavelength이다. Aperture의 길이와 폭이 늘어나게 되면 입력저항은 커지고 공진 주파수는 낮아지게 된다. 이것은 aperture의 길이와 폭이 늘어남에 따라 급전선로와 방사소자간의 결합이 더 커지는 것을 나타내며, 반대로 aperture의 길이와 폭이 줄어들면 급전선로와 방사소자간의 결합은 작아진다. 공진 주파수는 주로 방사소자의 길이에 의해 결정되지만 aperture의 길이와 폭의 변화에 의해서도 영향을 받는다. 같은 면적이 변할 때 길이 변화가 폭 변화보다 입력 저항과 공진 주파수에 미치는 영향이 더 크다. 여러 가지 실험을 통하여 최적화 된 aperture의 길이와 폭의 크기를 Table 1에 나타내었다. Yagi-Uda 배열 안테나에서 기생 소자들은 그 길이가 어느정도 급전소자 보다 작아야 한다. 전형적으로 구동 소자들은 길이가 $\lambda_g/2$ (보통 $0.45\sim 0.49\lambda_g$) 보다 약간 작은 길이에서 공진된다. 반면에 도파기의 길이는 약 0.4에서 $0.45\lambda_g$ 가 될 것이다. 반사기의 길이는 급전기의 길이보다 약간 더 크며 구동 소자와 반사기 사이의 간격은 구동 소자와 가장 가까이 있는 도파기 사이의 간격 보

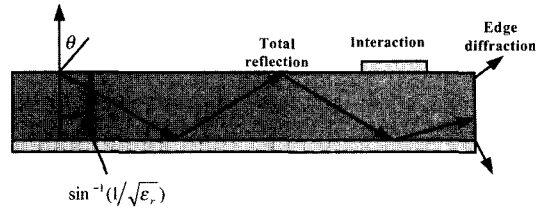


Fig. 4. Surface waves.

다 조금 작으며, $0.25\lambda_g$ 에서 거의 최적의 상태로 된다는 것을 알 수 있다. 실제로 반사기의 주요 역할은 여기된 소자 바로 다음의 첫 번째 소자에 의해 행해지며, 만약 한 개 이상의 소자들이 반사기로 사용된다면 Yagi-Uda 안테나 성능에 별 영향을 미치지 못한다. 그러나 만약 더욱 많은 도파기가 배열 안테나에 더해진다면 상당히 개선된 성능 향상이 이루어질수 있지만 실제로 더 많은 도파기를 추가하면, 더욱 많은 소자들에 유도되는 전류의 크기가 점차로 줄어들기 때문에 제한요인이 된다. 제작된 안테나에서의 각각의 소자들은 정사각형(square patch)으로 구현을 하였으며, 먼저 급전구조에서 patch와 ground 부분은 같은 재질, 같은 유전율의 기판을 사용하였으며, 가장 손쉬운 방법인 마이크로 스트립 선로의 접지면을 2차원적으로 식각하는 방법으로 원형구조의 PBG cell을 삽입하였다. 여기서 PBG cell의 사용크기는 지름 $0.15\lambda_g$, cell과 cell사이의 간격은 $0.35\lambda_g$ 로 유지를 하였다. 여기서 다차원 패턴의 구조를 표면파가 전파되는 안테나 부위에 다차원 패턴 구조를 도입하고 안테나의 동작 주파수가 다차원 패턴 구조의 저지 대역에 포함되도록 하면 안테나 표면을 따라 전파하는 전자파의 전송이 억제되므로 표면파의 발생을 효과적으로 차단할 수 있다. Yagi-Uda 안테나에 해당하는 각각의 소자크기 및 소자들사이의 간격은 여러 가지 simulation결과를 바탕으로 최적의 값을 도출하였으며(Table 1, Fig. 5, 6), 구동소자(급전기, (Driver))의 크기는 $0.45\lambda_g$, 반사기의 크기는 (L_R)

Table 1. Dimension of antenna

	L_R	L_D	S_R	S_D	S_n	Aperture길이	Aperture폭
PBG Antenna	$0.51\lambda_g$	$0.35\lambda_g$	$0.25\lambda_g$	$0.225\lambda_g$	$0.3\lambda_g$	$0.48\lambda_g$	$0.035\lambda_g$
Without PBG Antenna	$0.5\lambda_g$	$0.35\lambda_g$	$0.27\lambda_g$	$0.23\lambda_g$	$0.3\lambda_g$	$0.51\lambda_g$	$0.04\lambda_g$

(λ_g : guided wavelength)

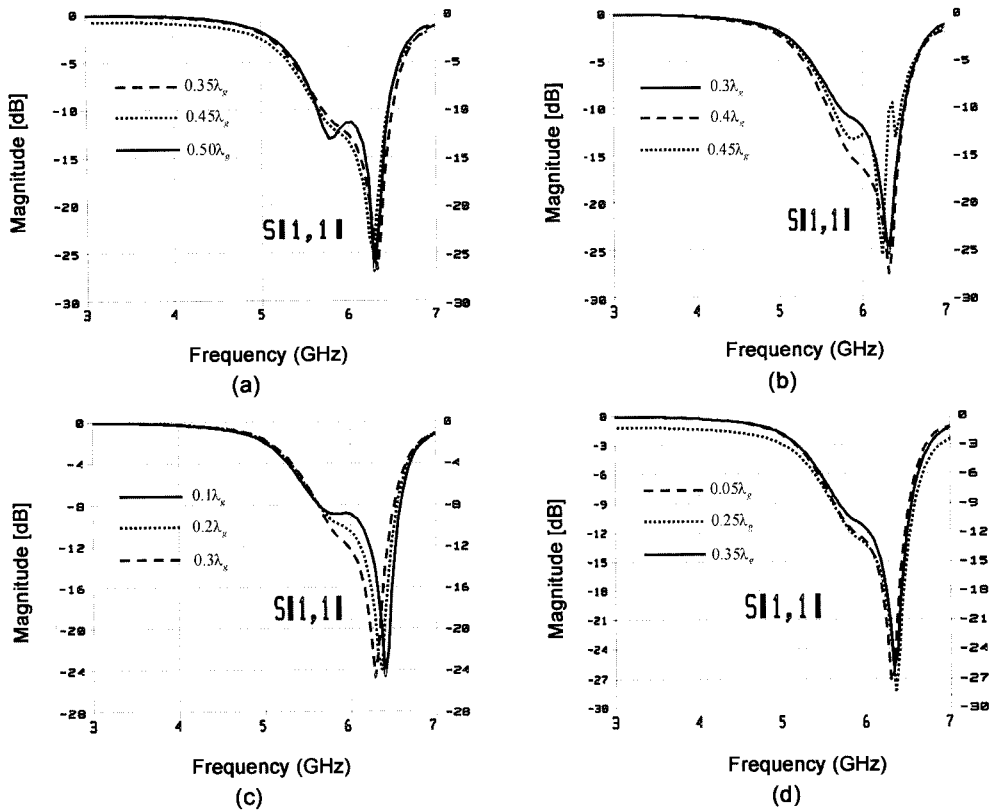


Fig. 5. Parameters sweep. (a) Separation between the directors, (b) Lengths of the directors, (c) Separation between the driven element and the reflector, (d) Separation between the driven element and the director.

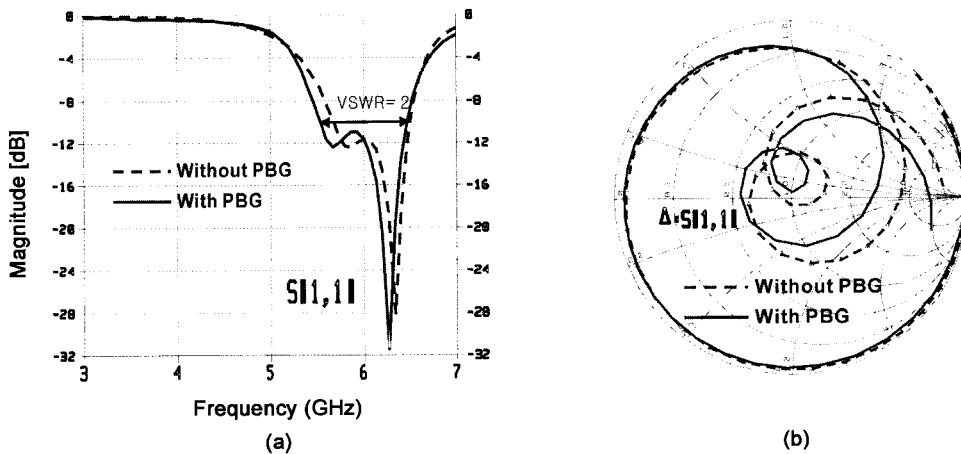


Fig. 6. Simulation result. (a) Return loss(S11), (b) Smith chart.

는 $0.5\lambda_g$, 구동소자와 반사기 사이의 간격은 (S_R)은 $0.25\lambda_g$, 도파기의 크기 (L_D)는 각각 $0.35\lambda_g$ 이며 구동소자와 도파기 사이의 간격(S_D)은 $0.225\lambda_g$ 로 하

였으며 도파기사이의 간격(S_n)은 $0.3\lambda_g$ 로 하여 각각의 안테나를 제작하였다. 접지면과 패치 사이에 3 mm의 공기층을 두었으며 이는 마이크로스트립

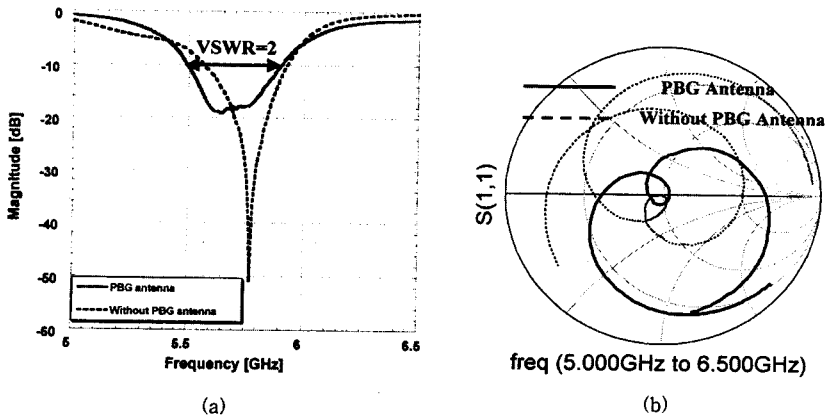


Fig. 7. Measured result. (a) Return loss(S11), (b) Smith chart.

안테나에서 패치의 높이가 높아지면 상층기관의 상대 유전율을 낮추고 두께를 증가시키는 효과를 초래하여 공진 주파수는 낮아지고 대역폭을 증가시키는 효과가 있으며, 이러한 방법에 의해 높이를 $\lambda/4$ 까지 증가시켜 임피던스 대역폭을 연속적으로 넓힐 수 있으나 정합(impedance matching) 하는데 어려움이 발생한다. 또한 공기층의 삽입은 높이가 높아질수록 이득이 증가하다가 어느 일정한 높이가 되면 이득이 감소하는 것을 볼 수가 있는데 이것은 표면파(surface wave)의 영향에 따른 것으로 마이크로스트립 안테나에 공급되어진 전력은 공간으로 방사되어지는 방사전력과 표면파의 형태로 기관 층에 결합되어지는 표면파 전력으로 구분되며 표면파 전력이 증가할수록 안테나의 효율을 저하시킨다.

제작된 안테나는 HP 8510C VNA(Vector Network Analyzer)로 그 특성을 측정하였다. 각각의 안테나에 대해 측정된 반사손실(Return Loss) 및 Smith chart를 Fig. 7에서 보여주고 있다. 제작 측정된 결과 PBG cell을 이용한 안테나의 경우 중심 주파수(5775 MHz)에서 400 MHz의 대역폭과 7dB의 이득을 얻었으며, PBG cell을 이용하지 않은 안테나에서는 중심주파수의 370 MHz의 대역폭과 6dB의 이득을 얻었다. Fig. 8은 제작한 안테나의 제품사진을 보여주고 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 다차원 패턴기술 즉 광학 밴드갭

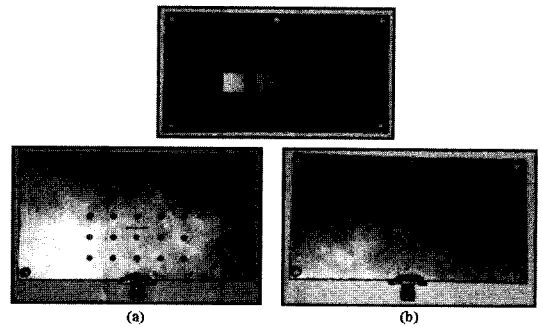


Fig. 8. Photographs of antenna. (a) With PBG antenna, (b) Without PBG antenna.

(photonic band gap : PBG) 구조를 이용한 안테나와 PBG 구조를 이용하지 않은 안테나를 각각 aperture-coupled 급전구조의 Yagi-Uda 안테나와 결합하여 무선 LAN 주파수 대역에서의 특성을 비교 분석하였다. PBG 구조를 적용한 안테나에서의 대역폭이 약 30 MHz 정도 더 넓게 나왔으며, 안테나의 이득 또한 1dB정도 더 높게 나왔는데 이는 ground 면에 2차원적인 다차원 패턴 구조를 적용하여 안테나 표면을 따라 전파하는 전자파의 전송이 억제되도록 표면파의 발생을 효과적으로 차단했기 때문으로 분석된다. 그러나 PBG cell을 적용하였을 경우 좀더 정확하고 정밀한 안테나 제작이 요구되므로 안테나 제작에 있어서는 다소 어려움이 야기된다.

참고문헌

1. E. Yablonovitch, "Inhibited spontaneous emission in solid state physics and electronics," *Phys. Rev. Lett.* Vol. 58, pp. 2059, 1987.
2. S. John, "Strong Localization of Photons in Certain Disordered Dielectric Superlattices," *Phys. Rev. Lett.* Vol.58, pp. 2486, 1987.
3. 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.
4. T. J. Ellis and G. M. Rebeiz, "MM-wave tapered slot antenna on micromashed photonic bandgap dielectrics," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 1157-1160, June, 1996.
5. F. R. Yang, Y. Qian, R. Coccioli, and T. Itoh, "A novel low-loss slow-wave microstrip structure," *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, Vol. 8, no. 11, pp. 372-374, Nov., 1998.
6. V. Radisic, Y. Qian, R. Coccioli, and T. Itoh, "Broadband power amplifier using dielectric photonic bandgap structure," *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, Vol. 8, no. 1, pp. 13-14, Jan., 1998.
7. S. Fan, J. N. Winn, A. Devenyi, J. C. Chen, R. D. Meade, and J. D. Joannopoulos, "Guided and defect modes in periodic waveguides," *J. Opt. Soc. Am. B.*, Vol. 12, no. 7, pp. 1267-1272, July, 1995.
8. H. Contopanagos, L. Zhang, and N. G. Alexopoulos, "Thin Frequency-Selective Lattices Integrated in Novel Compact MIC, MMIC, and PCA Architectures," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, Vol. MTT-46, pp. 1936-1948, 1998.
9. V. Radisic, Y. Qian, R. Coccioli and T. Itoh., "Novel 2-D Photonic Bandgap Structures for Microstrip Lines," *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, Vol. 8, pp. 69-71, 1998.
10. W. R. Deal, Y. Qian, and T. Itoh, "Microstrip Patch Antenna Using Novel Photonic Bandgap Structures," *Microwave J.*, Vol. 42, pp. 66-76, Jan. 1999.
11. R. Coccioli, F. Yang, K. Ma and T. Itoh., "Aperture-Coupled Patch Antenna on UC-PBG Substrate," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, Vol. MTT-47, pp. 2123-2130, 1999.
12. D. M. Pozar., "A Microstrip Antenna Aperture Coupled to a Microstripline," *Electron. Lett.*, Vol. 21, pp. 49-50, Jan. 1985.