

논문 2004-41TC-6-10

5GHz대역 무선랜용 소형 광대역 안테나 설계

(The Design of Compact and wideband antenna for wireless LAN at 5GHz band)

박 경 수*, 최 성 열*, 신 필 수**, 고 영 호***

(Kyoung-Su Park, Sung-You Choi, Phil-Soo Shin Name, and Young-Ho Ko)

요 약

무선랜에 대한 수요의 급격한 증가로 HyperLAN(5.1~533GHz, 5.725~5.825GHz)이 전세계적으로 무선랜을 위하여 새롭게 할당되고 있다. 또한 대부분의 이동통신기기는 크기가 작으므로 안테나의 크기는 효과적인 설계를 위해 매우 중요하다. 본 논문에서는 5GHz무선랜을 위해 소형 광대역 안테나를 설계하였다. U슬롯 안테나는 간단한 구조이지만 10~40%의 광대역을 가지고 있으며, 또한 좋은 방사특성을 가지고 있다. 그러나, 일반적으로 U슬롯 안테나의 크기는 크므로 PDA나 노트북과 같은 무선통신기기에 적용하기에 어려움이 있다. 제안된 안테나는 사각패치에 U형 슬롯을 이용하여 광대역 특성을 얻었고, 두 개의 유전체 기판과 스티로폼을 이용함으로써 소형화하였다. U슬롯 안테나의 설계를 위해 유한차분시간영역(FDTD) 법이 적용되었고 MPI 병렬화기법을 이용하여 FDTD법의 분석속도를 향상하였다.

Abstract

According to rapid increment of demand for wireless Local Area Network (LAN), the HyperLAN of 5.1~533GHz and 5.725~5.825GHz is newly allocated for wireless LAN in many regions over the world. Also, because most of mobile communication equipments are small, the size of antenna is important factor of effective design. In this paper, the compacted and wide bandwidth antenna is designed for wireless LAN at 5GHz band. Although the structure of U-shaped slot antenna is simple, It has large bandwidth of 10~40%. Also, the U-slot antenna has good radiation pattern. However, in general, the size of U-slot antenna is large. Therefore, it is difficult to apply to wireless equipment such as PDA and Notebook. This proposed antenna has a wide bandwidth by U-shaped slot in rectangular patch and is compacted by using two layered dielectric substrates and foam. For the design of U-slot antenna, the Finite Difference Time Domain method is applied. Also, the method of MPI parallel program is used for the enhancement of the analyzing speed of the FDTD method.

Keywords : U-Slot, Wide Band, Antenna, FDTD

I. 서 론

현재 무선 LAN의 응용분야 및 이용자 수가 날로 증가추세에 있으며, 무선랜에는 IEEE 802.11b에 따라 2.4~2.4835(83.5MHz)가 이용되어 왔으나 사용자의 급격한 증가로 더 넓은 주파수 대역이 필요함에 따라 IEEE

802.11a의 대역인 Hyper LAN1 (5.1~5.33GHz)과 HyperLAN2(5.725~5.825GHz)가 추가로 이용될 예정이다.

현재 우리나라에서는 HyperLAN2 영역만 무선랜영역으로 할당하고 있으며 추가적으로 더 많은 5GHz대 영역을 할당하려고 하고 있다. 또한 전 세계적으로는 5.15~5.825대역을 각 국가의 사정에 맞추어 나누어 쓰고 있다. 국가간 이동성의 증가로 국제 로밍 기능을 갖춘 무선 LAN 안테나가 필요하며 무선랜 기능을 갖춘 전자제품의 수출시에도 5GHz 무선 랜 사용주파수 전체에서 사용할 수 있는 광대역 무선랜 안테나가 필요하다.

* 학생회원, **정회원, 전북대학교 전자정보공학부 및 전자정보신기술 연구센터
(Division of Electronic & Information Engineering)

** 정회원, (주) 에이스 테크놀로지
(ACE Technology)

접수일자: 2004년3월22일, 수정완료일: 2004년5월12일

패치안테나는 제작이 쉽고 평판형 구조이므로 유용 하지만 좁은 대역폭문제로 사용에 제한을 받는다. 따라서, 대역폭을 넓히기 위하여 다층으로 만들거나, 펀, 슬롯 등을 이용하여 대역폭을 넓히는 방법이 연구되고 있다. 이러한 패치안테나중 사각 패치에 U형태의 슬롯을 설치한 U-슬롯 패치안테나는 매우 단순한 구조이면서도 넓은 대역폭을 가진다. 따라서, 쉽게 제작 및 설계가 가능하며 좋은 방사패턴을 가진다. 하지만, 일반적으로 U-슬롯 안테나는 크기가 커서 단말기나 노트북 등에 장착하는 것이 어렵다.^{[1][2][3]} 따라서 본 논문에서는 U-슬롯 안테나의 간단한 형태를 유지하면서 광대역 특성과 소형화를 그 목적으로 한다.

U-슬롯 안테나의 크기를 줄이기 위하여 고유전체를 이용하거나, 단락 펀(Shorting Pin)을 설치하거나 단락 벽(Shorting Wall)을 이용하는 방법이 이용되고 있다. 하지만 고유전율 기판을 사용할 경우 대역폭이 감소하며 Pin을 넣을 경우나 도체 벽을 설치할 경우 제조과정이 복잡해진다. 본 논문에서는 두 개의 유전체 기판과 스티로폼을 이용해서 U-슬롯 패치 안테나의 간단한 형태와 대역폭을 유지하면서 크기를 축소하였다.^[4]

U-슬롯 패치안테나는 패치의 크기와 슬롯의 형태에 따라서 공진주파수의 변화가 심하다. 따라서 초기 설계 시나 슬롯의 구조를 최적화할 때 넓은 대역의 주파수 특성을 관찰하여야 한다. 시간영역유한차분법(Finite Difference Time Domain method : FDTD)은 시간영역 해석법이므로 한번 해석으로 얻어진 시간특성으로 FFT를 이용하여 한꺼번에 넓은 주파수 특성을 알 수 있다. 하지만, FDTD법은 높은 정밀도를 얻기 위해 셀 크기를 작게 할 경우 해석시간이 기하급수적으로 늘어난다. 본 논문에서는 FDTD법으로 U-슬롯안테나를 해석함에 있어서 병렬화 기법을 이용해 해석속도를 향상 시켰다.^{[5][6][7]}

II. 본 론

1. 제안된 U-Slot 안테나의 구조

U-슬롯 안테나의 기본형은 사각형의 패치에 U형태의 슬롯이 있는 구조이다. 패치의 크기와 U슬롯의 모양, 그리고 안테나의 높이를 조절하여 이중공진을 유도하는데 높이는 보통 0.1파장 이하의 값을 이용한다. 일반적인 U-슬롯 안테나는 높이(H)를 조절하기 위해 스티로폼을 이용하는데 안테나의 크기를 줄이기 위해 유전체 기판을 이용할 때에도 높이는 크게 변화하지 않는

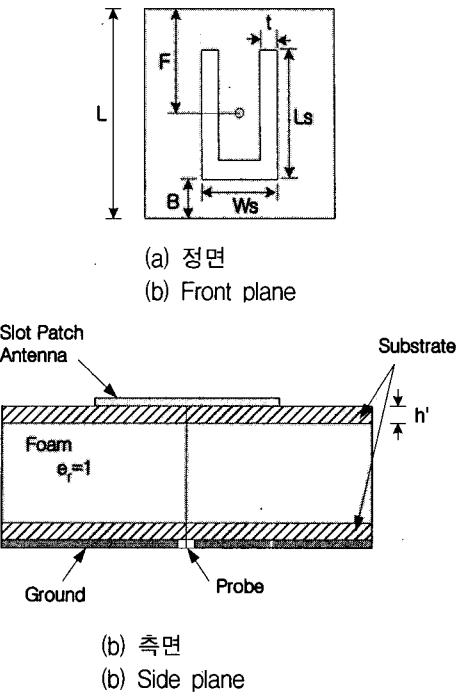


그림 1. U-slot 패치 안테나
Fig. 1. U-slot patch antenna.

다. 본 논문에서 제안된 U-슬롯 안테나는 유전체 기판 두 개와 스티로폼을 이용해 높이 H를 유지하면서 슬롯의 크기만을 축소하였다. 제안된 U-Slot 안테나의 모습은 그림 1과 같다.

제안된 축소형 U-슬롯 안테나는 이동용 기기인 PDA나 노트북 등에 사용될 수 있도록 패치의 목표 치수를 1*1cm로 하였고 일반적인 U-슬롯 안테나보다 좋은 반사손실을 가지도록 사용주파수(5.15GHz - 5.85GHz)에서 -15dB이하의 특성을 가지도록 설계하였다.

2. FDTD법의 적용

U-슬롯 안테나의 공진주파수는 패치와 U-슬롯에 크게 영향을 받는데 본 논문에서 제안된 것처럼 두 개의 유전체 기판을 이용할 경우 설계초기에 원하는 대역에서 공진하도록 패치와 슬롯의 모양을 결정하는 것은 쉽지 않다. 따라서 넓은 주파수 영역에 대해 기판의 크기와 높이, 슬롯의 모양을 바꾸어 가며 초기치를 결정하여야 한다.

FDTD법은 모멘트법이나 유한요소법과 같은 주파수 영역의 해석법과 달리 시간영역의 해석법이므로 한번 해석으로 넓은 주파수 특성을 알 수 있다. 따라서, U-slot과 같은 구조에 유용하게 적용할 수 있다.

가. 기본방정식

K.S.Yee에 의해 제안된 FDTD법은 Maxwell의 미분형에서 유도된 방법으로 균질 및 비균질 유전체나 복잡한 구조에 대해 유용한 해석을 제공한다. 식 (1)은 Maxwell의 두 개의 Curl방정식에 대한 FDTD 차분형이다.^[8]

$$\begin{aligned} H^{n+1/2} &= H^{n-1/2} - \frac{\Delta t}{\mu} \nabla \times E^n \\ E^n &= \frac{(1-\sigma\Delta t/2\epsilon)}{(1+\sigma\Delta t/2\epsilon)} E^{n-1} \\ &\quad + \left(\frac{1}{1+\sigma\Delta t/2\epsilon} \right) \left(\frac{\Delta t}{\epsilon} \right) \nabla \times H^{n-1/2} \end{aligned} \quad (1)$$

나. 완전흡수층(Perfect Matched Layer)

FDTD는 해석 메모리와 시간의 제한으로 일정영역에 대해 한정하여 해석을 하여야 한다. 따라서, 안테나와 같이 방사되는 영역은 흡수경계조건 (Absorbing Boundary Conditions)을 적용하여야 한다. 본 논문에서는 흡수경계조건 중 가장 좋은 흡수능을 가지는 완전흡수층 (Perfect Matched Layer : PML)을 적용하였다. PML은 진행하는 전파파를 각각의 층에 따라 점차적으로 흡수 할 수 있도록 경계의 최외곽에 만든 흡수 매질로 진행파는 흡수하고 반사파는 최소화하여야 한다. 즉, A, B라는 물질이 있을 경우 A에서 B로 전파할 때의 반사상수는 식 (2)과 같이 두 매질의 특성임피던스가 동일할 경우 반사는 일어나지 않는다.^[9]

$$\eta_0 = \eta_m = \sqrt{\frac{\mu_{F_m}^*}{\epsilon_{F_m}^*}} = 1 \quad (2)$$

다. 병렬화기법

FDTD법은 많은 메모리와 계산시간을 요구한다. 따라서 본 논문에서는 FDTD법 적용시 N개의 프로세서로 나눌 수 있도록 MPI 병렬화 기법을 이용해 속도를 개선하였다. 해석영역은 N개의 영역으로 나누어지며 각 영역을 담당하는 N개의 프로세서는 그림 2와 같이 인접한 프로세서에 자기가 계산한 영역의 최외곽 값을 전달하고 다시 인접한 프로세서가 계산한 최외곽 값을 받는다. 따라서 N개의 프로세서는 N개의 영역을 나누어 계산하게 되므로 N배의 속도향상을 얻을 수 있다.

3. 설계과정

U-슬롯 안테나가 원하는 주파수에서 이중공진하기

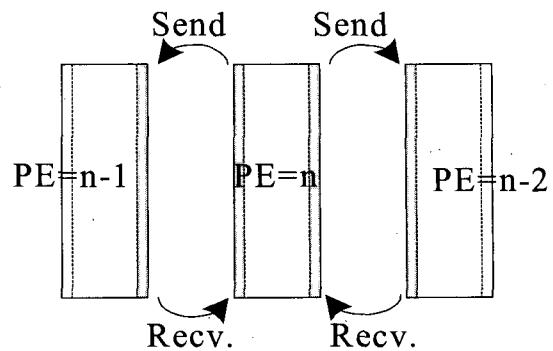


그림 2. FDTD 알고리즘의 병렬화 기법

Fig. 2. Parallel processing of FDTD algorithm.

위에서는 보통 0.1파장의 높이(H)를 가져야 한다. 초기 설계시 0.1파장의 높이에서 여러가지 패치의 크기와 슬롯을 적용해 초기치를 결정하였다.

U-슬롯 안테나가 넓은 주파수 대역과 좋은 반사손실을 가지려면 안테나가 가지는 두 개의 공진주파수가 적절한 위치에 있어야 한다. 따라서 초기설계 후에는 패치의 크기와 슬롯의 형태를 조절하여 두 개의 공진주파수가 비슷한 크기로 사용대역의 양단에 있도록 하여야 한다. 두 개의 이중공진 주파수는 패치의 크기(L), 슬롯의 길이(Ls), 슬롯의 폭(Ws), 급전점의 위치(F), 슬롯의 위치(B), 슬롯의 두께(t) 등에 민감하게 변화한다.

그림 3는 공기로 채워진 U-슬롯 안테나를 FDTD법을 이용해 해석한 결과이다. U-슬롯 안테나가 원하는 주파수에서 넓은 대역폭과 좋은 반사손실을 얻도록 설계하였다.

그림 3(a)과 같이 U-슬롯 안테나의 높이는 이중공진과 밀접한 관계가 있다. 또한, 그림 3(b), (c)와 같이 두 개의 공진 주파수 중 첫 번째 공진 주파수의 위치는 패치의 크기에 크게 영향을 받으며, 두 번째 공진 주파수는 슬롯의 길이(Ls)에 크게 영향을 받는다. 따라서 높이(H)로 이중공진을 유도한 다음 패치의 크기(L)과 슬롯의 길이(Ls)로 원하는 주파수 특성을 얻도록 조절할 수 있다. 슬롯의 폭(Ws)은 두 개의 공진주파수의 위치와도 관계가 있지만, 특히 안테나의 반사손실 특성에 영향을 미친다. 설계시에 먼저 L, Ls, Ws를 결정한 다음 나머지 파라메터인 슬롯의 두께(t), 급전점의 위치(F), 패치의 위치(B)를 조절해 최적의 결과를 얻을 수 있다.

4. 유전체 삽입시 해석 결과

유전체를 삽입하였을 경우 패치의 크기는 크게 줄어드나 높이는 크게 변화하지 않는다. 두 개의 유전체 기판을 이용하여 U-슬롯 안테나의 크기를 축소하는 것을

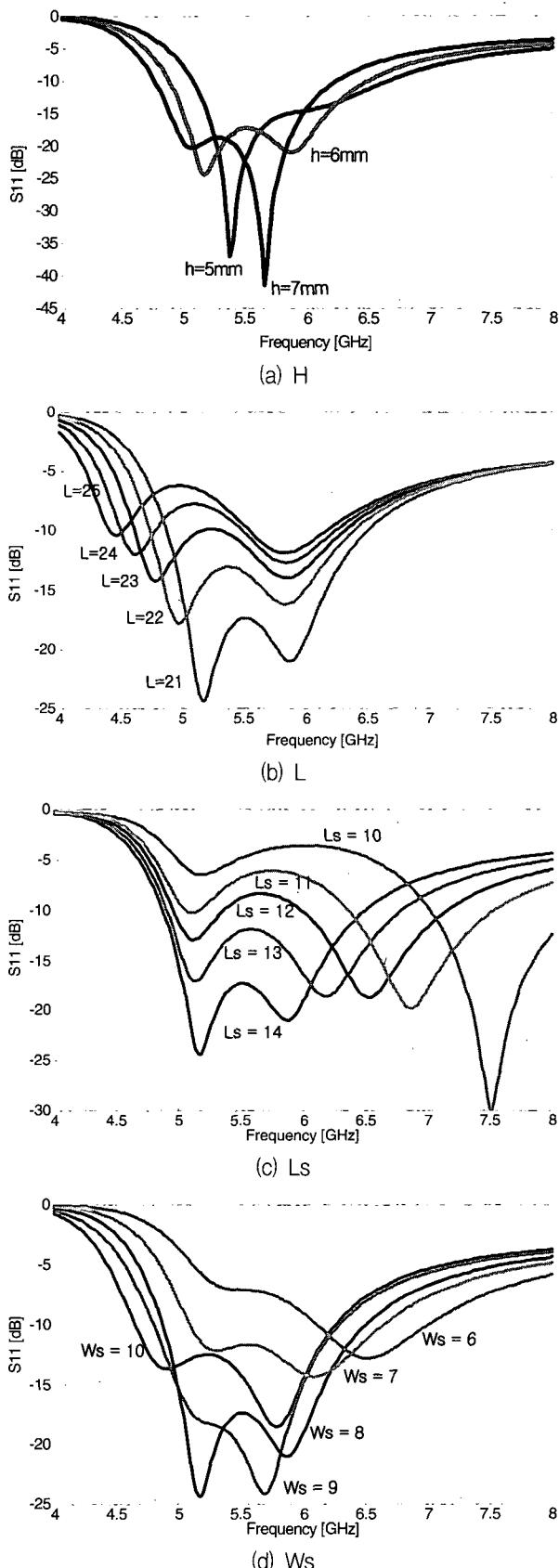


그림 3. 설계 파라미터의 변화
Fig. 3. The variation of parameters.

표 1. 최종설계치 (단위 : mm)

Table 1. The final design value (unit : mm)

Parameter	(i) 기판 미사용시	(ii) 기판사용시 ($\epsilon_r = 4.75$)	(iii) 기판사용시 ($\epsilon_r = 10$)
L	21	13	10
W	21	13	10
Ls	14	8	6.5
Ws	8	6.5	5.5
H	6	3	3
Hp	-	1.6	1.27
대역폭 (-10dB)	4.874–6.5 GHz (1.626GHz)	4.857–6.28 GHz (1.423GHz)	4.871–6.252 GHz (1.381GHz)

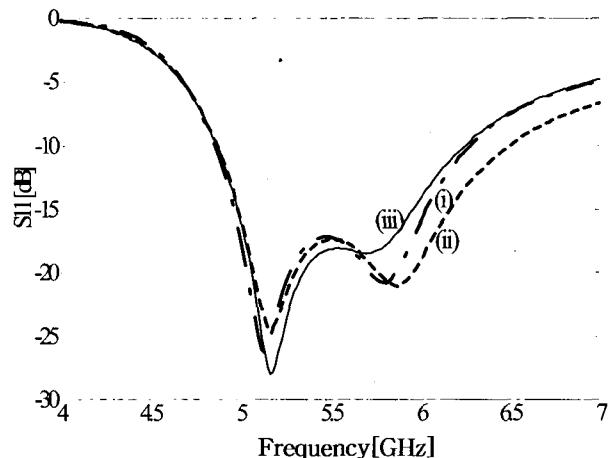


그림 4. 시뮬레이션 결과

(i) 공기 (ii) $\epsilon_r = 4.75$ (iii) $\epsilon_r = 10$

Fig. 4. The simulation results.

보이기 위하여 공기로만 되었을 때와 비유전율 4.75 기판을 이용했을 때, 비유전율 10 기판을 이용했을 때를 비교하였다.

비교를 위하여 3개의 설계치는 모두 사용대역 (5.1GHz~5.85GHz)보다 넓은 5GHz ~ 6GHz에서 -10dB 이상의 반사손실을 가지고 반사손실의 형태도 유사하도록 하였다. 설계된 3개의 안테나의 설계치는 표 1과 같으며 얻어진 반사손실 특성은 그림 4와 같다.

설계된 3개의 안테나는 모두 1.3GHz이상의 대역폭을 가진다. 공기만 사용하여 설계하였을 경우 패치의 크기는 $21*21\text{mm}^2$ 이지만, 유전체 기판 4.75를 이용하였을 경우에는 $13*13\text{mm}^2$, 유전체 기판 10을 이용하였을 경우에는 $10*10\text{mm}^2$ 로 축소 할 수 있다. 또한, 설계된 안테나들

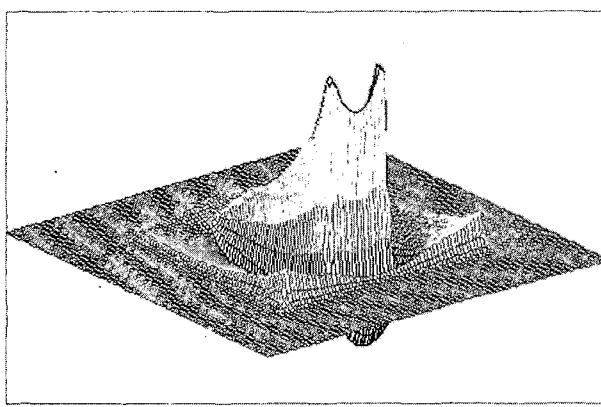
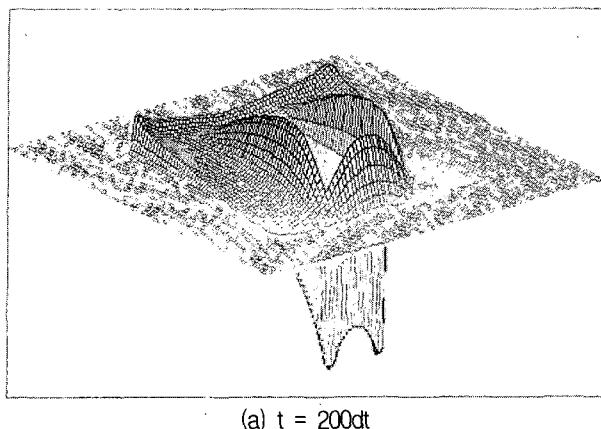


그림 5. 슬롯의 전계패턴

Fig. 5. The electric field of slot.

은 패치의 크기가 축소되었음에도 높이는 거의 6mm를 유지하고 있음을 알 수 있다. 이것은 U-슬롯 안테나가 이중 공진하는 높이는 유전체의 두께에 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 패치의 크기는 유전체가 커질수록 두께가 두꺼워질수록 작아진다.

U-슬롯 안테나는 공진 주파수에서 대부분의 전자파는 슬롯을 통해 방사된다. 그림 5는 5.5GHz에서의 전계 패턴으로 슬롯을 따라 전자파가 대부분 방사되어 나감을 알 수 있다. 또한 이때 슬롯과 패치의 위상은 반대이다.

5. 측정 결과

FDTD로 구해진 설계치를 이용해 얻은 설계치를 이용해 그림 6와 같은 안테나를 제작하고 측정하였다.

가. 제작결과

제작된 U-슬롯 안테나의 모습은 그림 6와 같다.

나. 측정결과

HP 8720D로 측정한 결과는 그림 7과 같다.

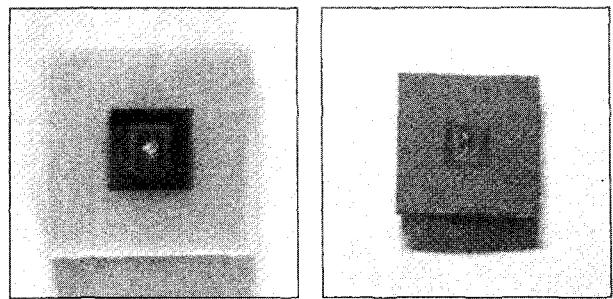


그림 6. 축소된 U-슬롯 안테나

Fig. 6. Compacted U-slot antenna.

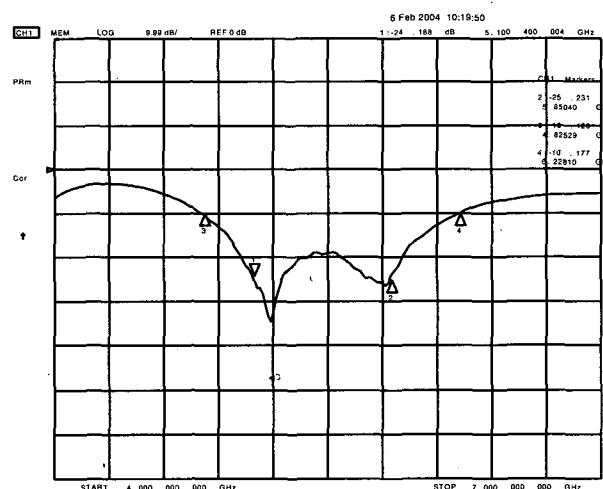
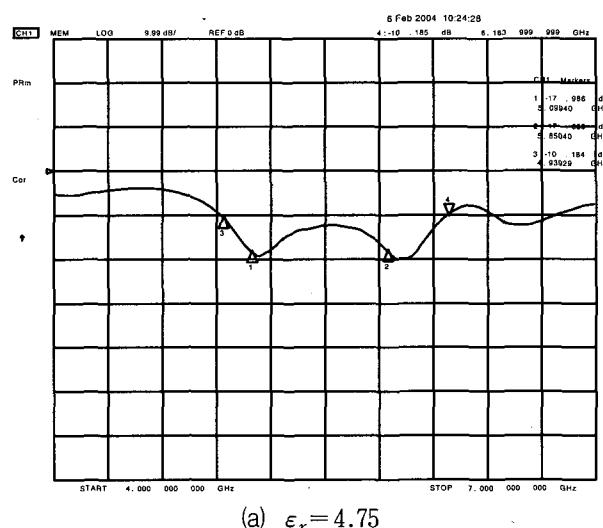


그림 7. 측정결과

Fig. 7. Measurement data

사용 대역 (-10dB)를 기준으로 할 때 유전체 4.75기판을 사용할 경우 4.94-6.21GHz를 유전체 기판 10을 사용할 경우 4.82-6.23GHz의 대역폭을 가진다. 두 결과 모두 FDTD해석 결과와 비슷하다. 특히, 비유전율 10의 기판을 이용한 경우는 5GHz대역 무선랜 주파수 전체대

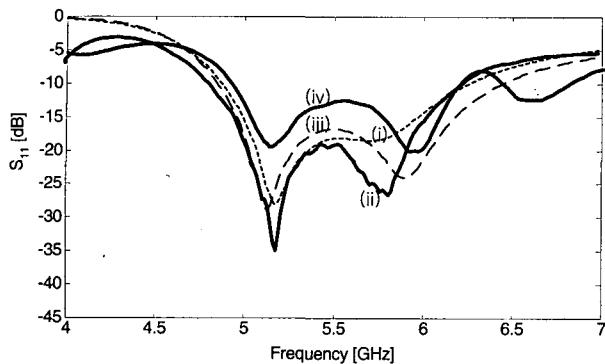


그림 8. 반사손실의 비교

(i) $\epsilon_r = 10$ 일 때 FDTD 결과, (ii) $\epsilon_r = 10$ 일 때
실측치, (iii) $\epsilon_r = 4.75$ 일 때 FDTD 결과,
(iv) $\epsilon_r = 4.75$ 일 때 실측치

Fig. 8. The comparison of return loss.

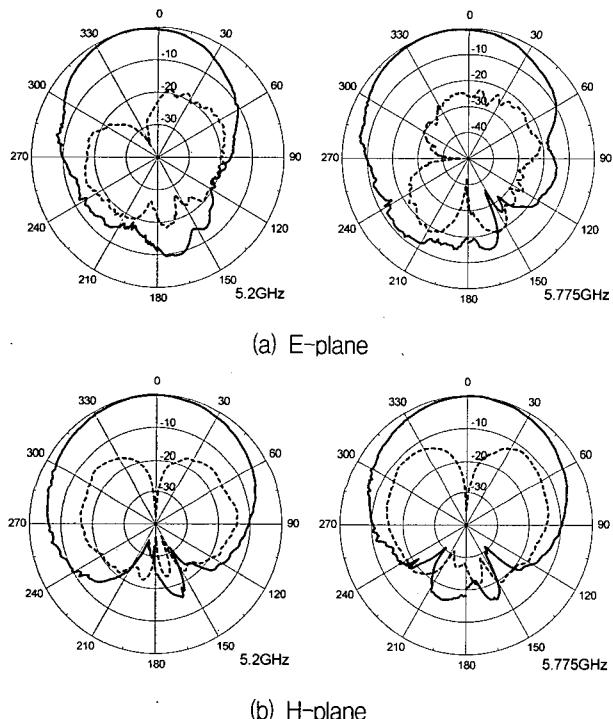


그림 9. 방사패턴

(실선:Co-polarization, 점선:Cross-polarization)

Fig. 9. Radiation pattern

역에서 -15dB 이상의 좋은 반사손실을 가진다. 하지만, 유전체 기판 4.75를 이용한 경우는 사용대역 전체에서 -10dB 이상의 반사손실을 가지지만 FDTD에서 해석한 결과보다 주파수대역과 반사손실에서 값 차이가 발생하였다. 이것은 제작시에 사용한 기판의 손실 특성과 제작오차에 의한 것으로 보인다. 두 측정치를 FDTD결과와 비교하면 그림 8과 같다.

그림 9은 $\epsilon_r = 10$ 일 때의 U-슬롯 안테나의 방사패턴

이다. 방사패턴 5.1-5.825GHz의 사용대역에서 5.28 - 6.05dBi의 이득을 가진다. E 평면에서의 3dB 범폭은 5.2GHz에서 70° , 5.775GHz에서 79° 이고, H 평면에서의 3dB 범폭은 5.2GHz에서 102° 이고 5.775GHz에서 85° 이다.

III. 결 론

5GHz 무선랜 주파수 대역에서 모두 좋은 특성을 가지는 U-슬롯 패치 안테나를 설치하였다. 크기를 축소하고 제작을 간단히 하기 위하여 두 개의 유전체 기판과 스티로폼을 이용하였다. 유전체 기판을 사용하지 않았을 경우와 기판없이 설계하였을 경우를 비교하면 비유전율 4.75, 두께 1.6mm 기판을 이용했을 경우 61%의 축소효과가 있으며, 비유전율 10, 두께 1.27mm을 썼을 경우 77%의 축소효과를 얻었다.

설계를 위해 FDTD법을 이용하였고 해석 결과는 실측치와 거의 유사하였으며 일반적인 U-슬롯 안테나보다 좋은 반사손실 특성을 얻었다. 본 논문에서 설계된 안테나는 그 패치의 크기가 $1*1\text{cm}$ 로 작으며 이득이 좋으므로 PDA나 노트북 등의 무선랜 안테나로 이용될 수 있을 것으로 보인다. 또한 본 논문에서 얻어진 설계 방법은 다른 주파수 대역에서 넓은 대역폭을 얻는데 유용하게 이용될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Huynh T. Lee K.-F "Single-layer single-patch wide band microstrip antenna", *Electronics Letters* , Volume: 31 Issue: 16 , pp. 1310 -1312, 1995.
- [2] Tong K.F. Luk K.M. Lee K.F. "Design of a broadband U-slot patch antenna on a microwave substrate", *Microwave Conference Proceedings*, 1997. APMC '97., 1997 Asia-Pacific , Volume: 1, pp. 221-224, 1997.
- [3] Tong K.F. Luk K.M. Lee K.F. Shum S.M. "Analysis of broadband U-slot microstrip antenna", *Antennas and Propagation Tenth International Conference* , Volume: 1 , pp. 110-113, 1997.
- [4] A.K.Shackelford, K.F Lee,K.M.Luk, "Design of Small-Size Wide-Bandwidth Microstrip-Patch Antennas", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol.45, No.1, February 2003.
- [5] Luk K.M. Tong K.F. Shum S.M. Lee K.F. Lee R.Q. "FDTD analysis of U-slot rectangular

- patch antenna", *Antennas and Propagation Society International Symposium*, 1997. IEEE, 1997 Digest , Volume: 4 , pp. 2111-2114, 1997.
- [6] U.Effing, W.Kumpel, I. wolff, "Parallel FDTD Simulator for MIMD Computers", *John Wiley & Sons Ltd.*, Vol.8, pp. 271-281, May-august 1995.
- [7] K.S.Yee, "Numerical solution of intial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media", *IEEE Trans, Antennas propagations.*, vol.14, may 1966.
- [8] D.M.Sullivan, "An Unsplit Step 3-D PML for Use with the FDTD Method", *IEEE Microwave and guided wave letters*, Vol. 7, No. 7, July 1997.
- [9] D.M.Sullivan, "A Simplified PML for Use with the FDTD Method", *IEEE Microwave and guided wave letters*, Vol. 6, No. 2, February 1996.

저자소개



박 경 수(학생회원)
 1999년 전북대학교 전기공학과
 학사졸업
 2001년 동 대학원 전기학과
 석사졸업
 2001년 1월 ~ 2002년 11월
 (주)효성 중공업연구소
 2003년 8월 ~ 현재 전북대학교 전기공학과 박사과정
 <주관심분야: 전자장해석, 안테나해석 및 설계>



신 필 수(정회원)
 1997년 전북대학교 전기공학과
 학사졸업
 1999년 동 대학원 전기공학과
 석사졸업
 2000년 12월 ~ 현재
 (주)에이스테크놀로지
 선임연구원

<주관심분야: 안테나 해석 및 설계>



최 성 열(학생회원)
 1997년 전북대학교 전기공학과
 학사졸업
 1999년 동 대학원 전기공학과
 석사 졸업
 1999년 ~ 현재 동 대학원
 전기공학과 박사과정
 <주관심분야: 전자장해석, 마이크로웨이브 디바이스>



고 영 호(정회원)
 1981년 전북대학교 전기공학과
 졸업
 1983년 동 대학원 전기공학과
 졸업
 1991년 일본 북해도대학 대학원
 전기공학과 졸업(공박)
 1992년 9월 ~ 현재 전북대학교
 전자정보공학부 부교수
 2002년 12월 ~ 2003년 12월 미 University of California, Davis 방문교수
 <주관심분야: 전자계해석, 안테나 해석 및 설계>