

# 5 GHz 대역의 무선 LAN용 평면 역-F 안테나 설계 및 제작

## Design and Fabrication of a Planar Inverted-F Antenna for the Wireless LAN using the 5 GHz Band

김 용 진 · 이 상 설

Yong-Jin Kim · Sang-Seol Lee

### 요 약

5 GHz 대역의 무선 랜(LAN)용으로 크기가 작고 가벼우며 가격이 싼 PIFA(Planar Inverted-F Antenna)를 설계한다. 질랜드(Zeland)사의 씨물레이션 툴인 IE3D를 사용하여 안테나를 설계하고 제작된 안테나의 측정결과를 분석한다. 제작된 안테나는 5.25 GHz에서 공진하고 정제파비가 1.5이하일 때 약 580 MHz의 대역폭을 갖는다.

### Abstract

A compact, lightweight and low-cost Planar Inverted-F Antenna(PIFA) for wireless LAN communication in the 5 GHz band is designed. The antenna is designed using the IE3D, the simulation tool of the Zeland Inc.. The characteristics of the implemented antenna are measured and analyzed. The antenna is resonated at the 5.25 GHz and its bandwidth is about 580 MHz under the condition of VSWR $\leq$ 1.5.

Key words : wireless LAN, antenna, PIFA

### I. 서 론

정보통신 기술의 발달에 따라 통신, 방송, 교통, 특히 개인휴대통신 분야에서 전파의 이용이 급증하고 있다. 이와 더불어 네트워크 분야에서도 이동성과 무선화는 이제 필수적 요소로 자리잡고 있다. 유지 및 보수의 어려움 등, 기존 유선 랜(LAN : Local Area Network) 설비의 단점을 보완하기 위하여 1994년에 도입된 무선 랜은 초기 투자비용이 많이 들고 전송속도가 너무 낮아 크게 각광을 받지 못했다. 하지만 최근에는 노트북 컴퓨터, PDA 등 이동성이 중요해지고 전송속도가 크게 향상됨으로 무선 랜에 대한 수요가 가속화되고 있다.

무선 랜 카드용 안테나는 단말기의 이동성을 높이기 위해 소형이고, 비교적 넓은 빔 폭의 복사 패턴을 가져야 한다.

또한 실내환경에서는 다중 경로 페이딩(multipath fading)으로 인해 무선 통신망의 안정성이 떨어진다. 따라서 다중경로 페이딩 현상을 억제하기 위하여 공간 다이버시티(diversity)가 필수적이다<sup>[1]</sup>.

무선 랜 카드는 이동성이 강조되는 노트북에 주로 설치되고, 노트북의 구조적 특성상 평면형 인쇄 기판 안테나가 널리 사용되는 추세이다. 평면형 안테나는 두께가 얇고, 대량 생산이 용이하여 가격이 싸다. 또한 이동 단말기에 쉽게 장착할 수 있고 급전 회로를 안테나와 함께 한 기판 위에 제작할 수 있는 장점을 갖는다.

PIFA는 두께가 얇은 평판 마이크로스트립 안테나의 변형된 구조이므로 단말기에 쉽게 장착할 수 있고 기존 단말기와 달리 돌출부를 제거할 수 있으

「본 연구는 삼성전기(주)의 연구지원에 의해 이루어졌습니다.  
한양대학교 전자전기컴퓨터공학부(Division of Electrical & Computer Engineering, Hanyang University)  
· 논문 번호 : 20020131-009  
· 수정완료일자 : 2002년 3월 28일

므로 휴대의 편리성을 높일 수 있다. 또한 두 개 이상의 PIFA를 이용하면 공간 다이버시티를 쉽게 구현할 수 있다.

현재 무선 랜은 2.4 GHz 대역을 사용한다. 무선 랜에 대한 수요가 증가하면서 고속 데이터 전송 및 주파수 자원의 충분한 확보를 위하여 5 GHz 대역의 사용에 대한 검토가 이루어졌다. 이 논문에서는 5 GHz 대역의 무선 랜 통신 대역폭을 만족하는 PIFA를 설계, 제작하고 그 특성을 측정한다. 전송선로 모델링법을 이용하여 단일패치 마이크로스트립 안테나를 해석하고, PIFA에 그 기본 원리 및 특성을 적용한다. 지정된 성능을 만족하도록 PIFA를 설계하고 최적화한다. 시뮬레이션 결과와 제작된 안테나의 성능 측정 결과를 비교 분석한다.

## II. 기본형 PIFA의 구조 및 해석

PIFA는 대표적 평면형 안테나인 마이크로스트립 안테나를 변형한 형태로서 한쪽면을 단락시켜 물리적 크기를 줄인 형태이다<sup>[2]</sup>. 그림 1은 마이크로스트립 패치 안테나의 기본구조이다. 이 안테나에서 폭  $W$ 는 임피던스에 영향을 주고, 길이  $S$ 는 공진 주파수에 영향을 준다.

그림 1에서  $h$ 와  $\epsilon_r$ 은 각각 유전체 기판의 두께와 비유전율이다. 공진 주파수가  $f_r$ 이고 실효 비유전율이  $\epsilon_e$ 일 때, 패치 안테나의 폭  $W$ 와 길이  $S$

는 다음과 같다<sup>[3],[4]</sup>.

$$W = \frac{c}{2f_r} \left( \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-1/2} \quad (1)$$

$$S = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_e}} - 0.824h \frac{(\epsilon_e + 0.3)(W/h + 0.264)}{(\epsilon_e - 0.258)(W/h + 0.8)} \quad (2)$$

패치의 폭이 식 (1)에 의해서 계산된 폭보다 좁으면 복사효율이 떨어진다. 반대로 계산된 폭보다 넓으면 복사 효율은 좋아지나 고차모드가 발생되어 전자계의 왜곡이 생긴다. 또한 패치 안테나는 협대역 특성을 갖기 때문에 패치의 길이  $S$ 는 원하는 공진 특성을 얻기 위해 중요하다.

사각 패치 안테나는 전송선로 방정식을 이용하여 해석 할 수 있다. 그림 1(b)의 전송선로 모델은 복사 모서리(radiating edge)의 중앙에서 급전하는 사각 패치에 대한 등가회로이다. 즉, 패치는 길이가  $S$ , 특성임피던스가  $Z_0$ , 전파상수가  $\gamma_g$ 인 전송선로로 모델링된다. 각 복사모서리는 길이가  $W$ 이고 폭이  $h$ 인 슬롯으로 모델링된다. 사각 패치의 종단은 그림 1(b)에서 전송선로의 양끝에 연결된 두 개의 어드미턴스로 나타낼 수 있다. 패치의 끝단에 나타나는 어드미턴스의 용량성(capacitive) 성분  $B$ 와 전도성(conductive) 성분  $G_r$ 은 각각 다음과 같다<sup>[5],[6],[8],[9]</sup>.

$$B \approx 0.412 \frac{k_0 \sqrt{\epsilon_e}}{Z_0} \frac{(\epsilon_e + 0.3)(W/h + 0.264)}{(\epsilon_e - 0.258)(W/h + 0.8)}, \quad (3)$$

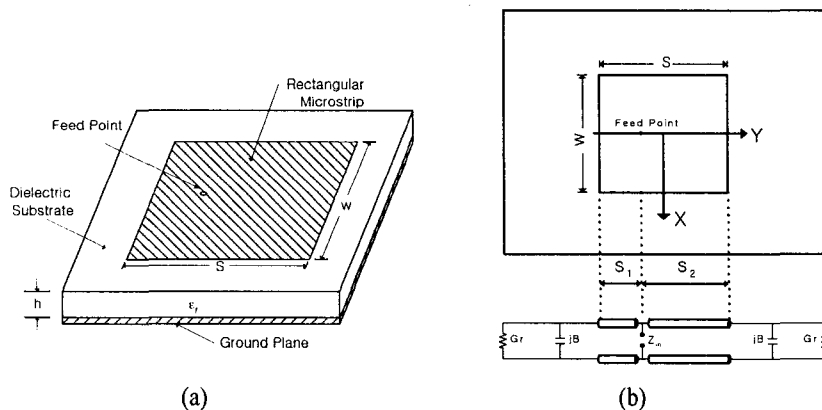


그림 1. (a) 마이크로스트립 패치 안테나, (b) 패치 안테나의 전송선로 모델  
 Fig. 1. (a) Microstrip patch antenna, (b) Transmissionline model of the patch antenna.

$$G_r \approx \begin{cases} \frac{W^2}{90\lambda_0^2}, & W < 0.35\lambda_0 \\ \frac{W}{120\lambda_0} - \frac{1}{60\pi^2}, & 0.35\lambda_0 \leq W \leq 2\lambda_0, \\ \frac{W}{120\lambda_0}, & 2\lambda_0 < W \end{cases} \quad (4)$$

여기서  $Z_0 = \frac{1}{Y_0} \approx \frac{\eta_0}{\sqrt{\epsilon_e}} \frac{h}{W}$  이다.

그림 2는 기본형 PIFA이다. PIFA는 단락판, 사각 평면판, 접지면으로 구성된다. 그림 2에서  $D_1/D_2$ 의 비에 따라 안테나의 공진 주파수가 변한다<sup>[10],[11]</sup>.

그림 3은 기본형 PIFA를 전송선로로 만들링한 것이다. 이 마들의 어드미턴스 행렬은 다음 식으로 주어진다<sup>[2],[6],[7]</sup>.

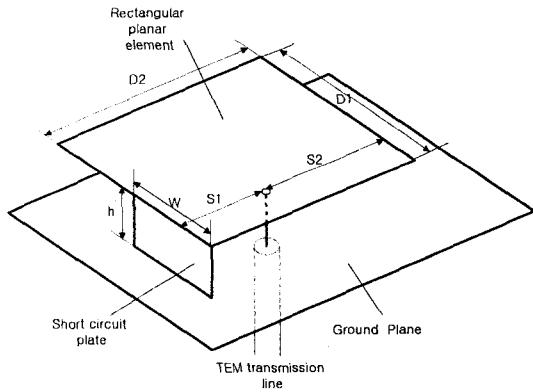


그림 2. 기본형 PIFA  
Fig. 2. Typical PIFA.

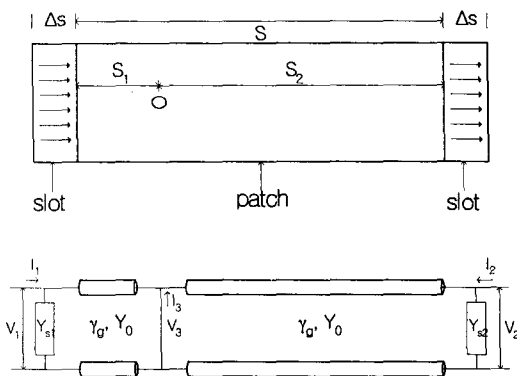


그림 3. PIFA의 전송선로 모델링  
Fig. 3. Transmission line modeling of PIFA.

$$[Y] = \begin{bmatrix} Y_1 + Y_0 \coth(\gamma_g S_1) & 0 & -Y_0 \operatorname{csch}(\gamma_g S_1) \\ 0 & Y_2 + Y_0 \coth(\gamma_g S_2) & -Y_0 \operatorname{csch}(\gamma_g S_2) \\ -Y_0 \operatorname{csch}(\gamma_g S_1) & -Y_0 \operatorname{csch}(\gamma_g S_2) & Y_0 \coth(\gamma_g S_1) + Y_0 \coth(\gamma_g S_2) \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서  $\gamma_g = j\beta_g \approx jk_0 \sqrt{\epsilon_0}$  이다.

3번 포트에서 급전할 때  $V_1 = I_2 = 0$  이다. 따라서 식 (5)는 다음과 같이 된다.

$$Y_{in} = -\frac{Y_0^2 \operatorname{csch}^2(\gamma_g S_2)}{Y_2 + Y_0 \coth(\gamma_g S_2)} - Y_0 [\coth(\gamma_g S_1) + \coth(\gamma_g S_2)] \quad (6)$$

급전점의 위치를 조절하면 식 (6)에 의하여 안테나의 어드미턴스를 쉽게 변경할 수 있다.

### III. PIFA 설계

지정된 PIFA의 설계사양은 표 1과 같다. 중심주파수는 5.25 GHz, VSWR은 1.5이하이고 대역폭은 500 MHz이다. 랜카드 실장용 안테나임을 고려하여 높이는 4 mm 이하로 정한다. 유전체 기판의 비유전율은 시판되고 있는 기판의 특성에 맞추어  $\epsilon_r = 3.75$ 로 선택한다.

안테나의 성능은 질랜드(Zeland)사의 3차원 씨물

표 1. 안테나의 설계사양

Table 1. Design spec. of the antenna.

항 목	사 양
중심주파수	5.25 GHz
대역폭	500 MHz (약 10 %)
VSWR	≤ 1.5
안테나 높이	≤ 4 mm

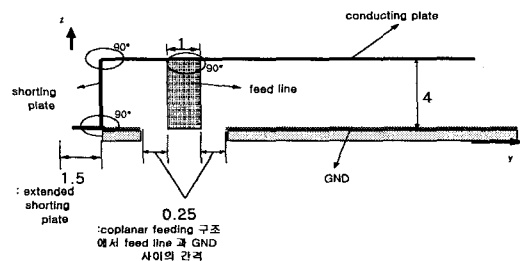


그림 4. 설계된 PIFA의 측면도(단위 : mm)  
Fig. 4. Side view of the designed PIFA.

레이션 툴인 IE3D를 이용하여 시뮬레이션한다. 선택된 값을 기초로 원하는 특성을 만족하도록 설계 파라미터를 변화시키면서 반복 시뮬레이션한다. 그림 4~6은 시뮬레이션을 통해 얻은 PIFA의 최적 구조이고, 그림 7은 안테나의 3차원 모양이다.

표 2는 서로 다른 급전 위치를 갖고 대략 5 GHz ~ 5.25 GHz 근처에서 공진하는 5개의 안테나에 대한 설계 파라미터를 나타낸다. PIFA의 특성은 단락판의 폭과 안테나의 높이, 그리고 급전점의 위치에 영향을 받는다. 일반적으로 단락판의 폭이 넓을수록, 안테나의 높이가 커질수록 대역폭이 증가한다. 그러나 단락판의 폭과 안테나의 높이만을 조정

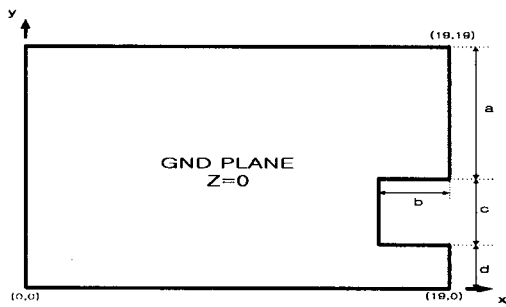


그림 5. 설계된 PIFA의 접지면 (단위 : mm)  
Fig. 5. Ground plane of the designed PIFA.

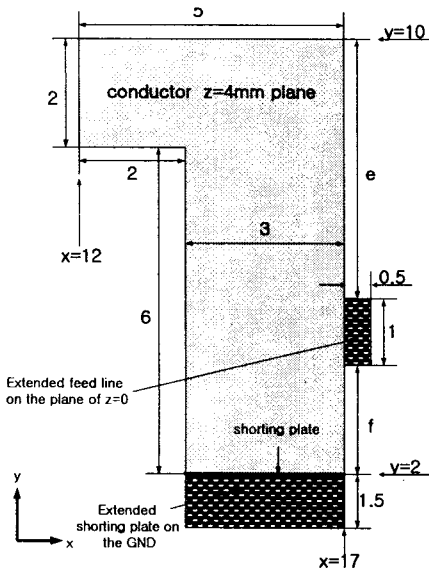


그림 6. 설계된 PIFA의 평면도 (단위 : mm)  
Fig. 6. Top view of the designed PIFA.

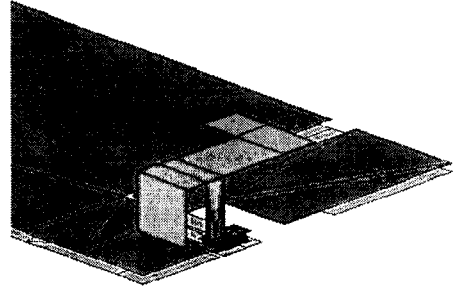


그림 7. 설계된 안테나의 3차원 모양  
Fig. 7. 3-D view of the designed PIFA.

하여 원하는 설계사양을 만족시키지 못한다. 단락판의 폭은 대역폭에 영향을 주기 때문에 공진 주파수를 원하는 대로 조정할 수 없다. 또한 안테나의 높이를 증가시키면 대역폭은 넓어지나 랜 카드 용도로는 제약을 받는다. 그러므로 급전점을 조정하는 동시에 단락판의 폭도 적당히 조정해야 원하는 성능의 안테나를 설계할 수 있다. 표 3과 4는 각각의 안테나에 대한 대역폭 및 주파수 변화에 따른 VSWR을 나타낸다. 급전점이 단락판에서 멀어질수록 공진 주파수는 조금씩 높아지는 경향이 있음을 알 수 있다. 이는 안테나의 전기적 길이가 감소하므로 공진파장은 짧아지고 이로 인하여 공진 주파수가 높아지기 때문이다.

표 2. 안테나의 설계 파라미터

Table 2. Design parameters of the antenna.

Ant. No.	Parameter	a	b	c	d	e	f
1		14.75	4	1.5	2.75	6	1
2		15	4	1.5	2.5	6.25	0.75
3		15.25	4	1.5	2.25	6.5	0.5
4		13.75	4	1.5	3.75	5	2
5		14.5	4	1.5	3	5.7	1.25

표 3. 공진주파수와 대역폭

Table 3. Resonant frequency and bandwidth.

Ant. No.	Resonant Freq. (GHz)	Bandwidth(GHz)
1	5.041	1.2 (4.55~5.75)
2	5.071	1.2 (4.5~5.7)
3	5.036	1.1 (4.6~5.7)
4	5.143	1.05(4.65~5.7)
5	5.25	1.3 (4.5~5.8)

표 4. 주파수에 따른 VSWR의 변화

Table 4. Variation of the VSWR versus frequency.

Ant. No. Freq(GHz)	1	2	3	4	5
4.105	2.166	2.366	2.408	2.639	2.04
4.211	1.859	2.015	2.05	2.221	1.77
4.316	1.637	1.764	1.794	1.927	1.575
4.421	1.474	1.579	1.606	1.714	1.433
4.526	1.352	1.443	1.469	1.558	1.329
4.632	1.261	1.343	1.369	1.444	1.253
4.737	1.194	1.271	1.299	1.359	1.197
4.842	1.146	1.223	1.253	1.299	1.158
4.947	1.114	1.195	1.227	1.258	1.13
5.053	1.099	1.184	1.219	1.234	1.11
5.158	1.099	1.189	1.225	1.226	1.096
5.263	1.116	1.208	1.244	1.232	1.09
5.368	1.147	1.242	1.277	1.255	1.1
5.474	1.195	1.293	1.327	1.295	1.13
5.579	1.262	1.366	1.399	1.355	1.183
5.684	1.354	1.466	1.501	1.439	1.26
5.789	1.477	1.603	1.641	1.551	1.365
5.895	1.643	1.79	1.834	1.698	1.506
6	1.866	2.046	2.101	1.887	1.692

표 2~4의 분석을 통하여 안테나 No. 5가 5.25 GHz 대역에서 가장 우수한 대역폭 및 VSWR 특성을 보인다. 그림 8은 설계된 안테나의 VSWR 특성 곡선이다. 5.25 GHz에서 공진 특성이 우수함을 알 수 있다.

#### IV. 제작 및 측정

표 2에 나타낸 여러 개의 마들(model) 중에서 성

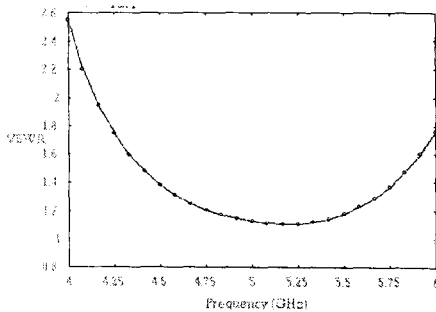


그림 8. 설계된 안테나의 VSWR 특성  
Fig. 8. VSWR of the designed antenna.

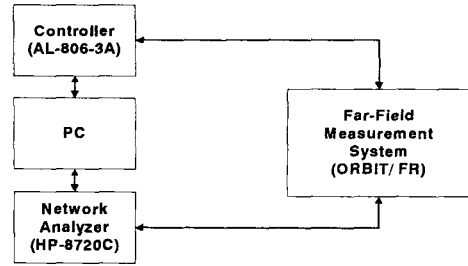


그림 9. 측정 시스템의 블락도  
Fig. 9. Block diagram of the measurement system.

능이 가장 우수한 안테나 No. 5를 제작한다. 그림 9는 측정 시스템의 블락도이다. VSWR은 HP 8720C 네트워크 분석기(network analyzer)로 측정하고, 복사패턴은 ORBIT/FR 원거리 필드 패턴 측정 시스템으로 측정한다.

그림 10은 제작한 안테나의 복사패턴을 측정하기 위한 기준 좌표계를 나타낸다. 측정의 편의상 안테나 단락판에 수직인 x축 방향을  $\theta = 0^\circ$ ,  $\phi = 0^\circ$ 의 방향으로 설정한다.

그림 11은 크기가 19 mm×19 mm인 유전체 기판 위에 실장된 안테나이다. 안테나는 유전체 기판의 뒤쪽에서 동축 케이블로 급전한다. 그림 12는 안테나 A의 VSWR 특성을 나타낸다. 공진 주파수는 5.33 GHz로 설계 공진 주파수인 5.25 GHz에 대하여 1.5%의 오차를 갖는다. VSWR≤1.5일 조건에 대하여 대역폭은 약 530 MHz(5.01 GHz~5.54 GHz)이다. 그림 13 (a), (b)는 안테나의 주변파 복사 패턴이다. E-면 패턴은 대략 110°~155° 방향으로 최대 지향

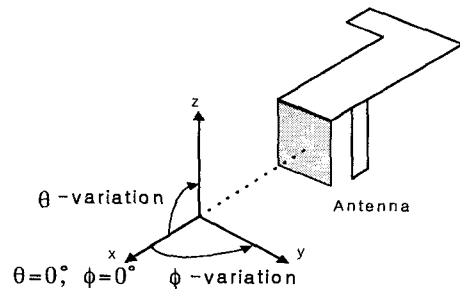


그림 10. 복사패턴의 기준 좌표계  
Fig. 10. Reference coordinate system of the radiation pattern.



그림 11. 안테나 A(19 mm×19 mm 크기의 유전체 기판 위에 실장된 안테나)

Fig. 11. Antenna A(antenna mounted on 19mm×19mm substrate).

성을 갖는다. 즉, 그림 10의 z축으로부터 약 20° ~ 65° 기울어진 방향으로 복사가 가장 강하다. H-면 패턴은 -30° ~ -100° 방향으로 넓은 빔폭을 갖는다. 그림 14 (a), (b)는 교차편파의 복사패턴을 나타낸다. 교차편파의 복사패턴은 주편파가 최대 지향성을 갖는 방향에서 상대적으로 복사가 약해져서 만

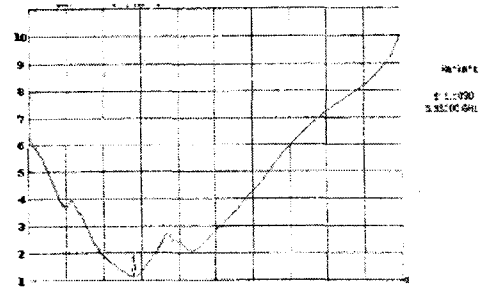
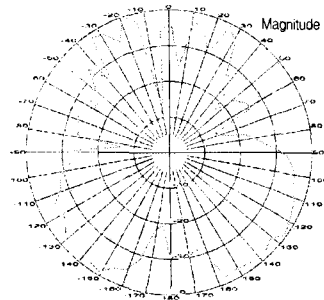


그림 12. 안테나 A의 VSWR 특성

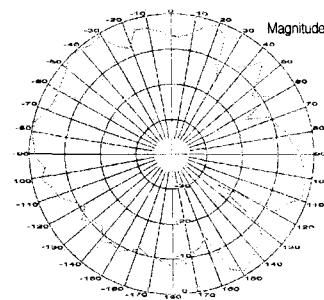
Fig. 12. VSWR of antenna A.

족할 만한 교차편파 특성을 갖는다.

그림 15는 상용 랜 카드 크기(46.4 mm×100 mm)의 기판 위에 한 개의 안테나를 실장한 것이다. 기판의 크기가 다를 뿐 급전 위치 및 방법은 그림 11의 안테나와 동일하다. 그림 16은 안테나 B의 VSWR 특성을 나타낸다. 공진 주파수는 5.805 GHz



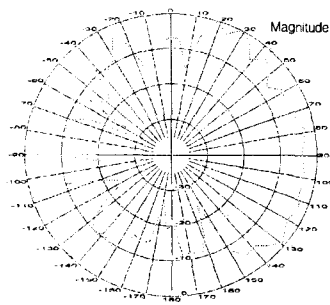
(a)



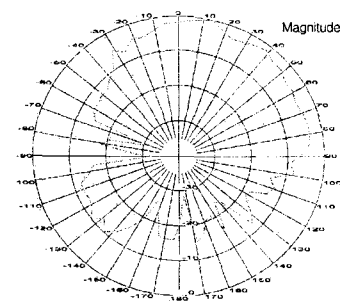
(b)

그림 13. 안테나 A의 주 편파 복사패턴. (a) E-면, (b) H-면

Fig. 13. Co-polarized radiation patterns of the antenna A. (a) E-plane, (b) H-plane.



(a)



(b)

그림 14. 안테나 A의 교차편파 복사패턴. (a) E-면, (b) H-면

Fig. 14. Cross-polarized radiation patterns of the antenna A. (a) E-plane, (b) H-plane.

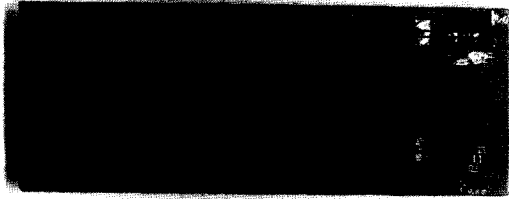


그림 15. 안테나 B(상용 랜 카드 크기의 기판 위에 실장된 안테나)

Fig. 15. Antenna B(antenna mounted on the real sized substrate of the commercial LAN card).

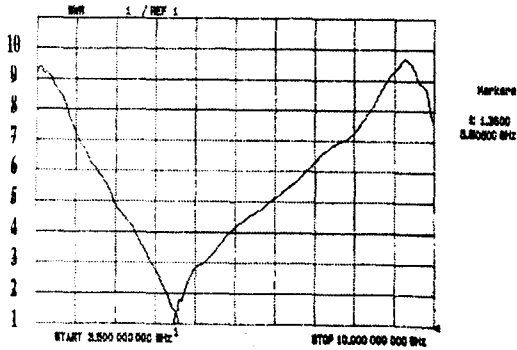


그림 16. 안테나 B의 VSWR 특성

Fig. 16. VSWR of the antenna B.

로서 설계 공진 주파수 5.25 GHz에 비하여 약 555 MHz의 주파수 편이를 가지며 설계주파수에 대해 10.57%의 오차를 갖는다. 이는 설계에 이용한 19 mm×19 mm 크기의 유전체 기판보다 큰 46.4 mm×100 mm의 상용기판 위에 안테나가 실장 됨에 따라 접지면의 크기가 다르므로, 안테나와 접지면의 써셉턴스 성분에 의한 오차로 추정된다. 따라서 원하는 설계 공진 주파수를 얻기 위해서는 써셉턴스 성분을 보정하는 임피던스 정합과정이 필요하다.

그림 17은 공진 주파수가 설계치와 달라진 그림 15의 안테나에 대하여 측정된 써셉턴스를 보정하는 튜닝과정을 거쳐 입력 임피던스를 정합시킨 안테나이다. 튜닝에는 7 pF의 커패시터가 이용된다. 급전은 유전체 기판의 위쪽에서 이루어진다. 그림 18은 안테나 C의 VSWR 특성을 나타낸다. 공진 주파수는 5.25 GHz로서 설계 공진 주파수와 일치한다. 대

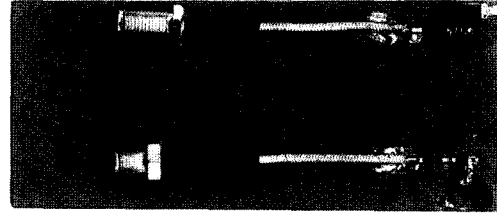


그림 17. 안테나 C(튜닝 후 완성된 안테나)

Fig. 17. Antenna C(completed antenna through the tuning process).

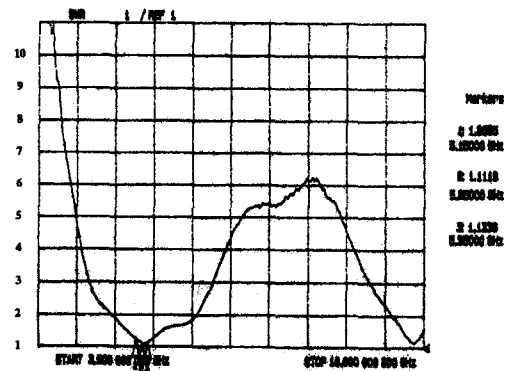


그림 18. 안테나 C의 VSWR 특성

Fig. 18. VSWR of the antenna C.

역폭은 약 580 MHz(5.01 GHz~5.59 GHz)이다. 그림 19 (a), (b)는 주편파 복사패턴을 나타낸다. E-면 패턴의 경우에 최대 복사방향은 15°~45° 방향이다. 여기서 복사방향에 대한 그림 10의 좌표는 하나의 기준 안테나에 맞춰지고 z축으로부터 약 45°~75° 기울어진 방향에서 복사가 가장 강하다.

앞의 안테나 A에 대한 복사 패턴과 비교하여 E-면 패턴에서 최대 복사방향의 변화는 유전체 기판의 위쪽에 위치한 급전부와 공간 다이버서티를 고려하기 위해 실장한 두개의 안테나 복사 패턴이 합성된 결과로 추정된다. 즉, 급전이 기판의 아래쪽에서 이루어지는 그림 11의 안테나에 비하여 최대 복사방향이 그림 10의 xy 수평면쪽으로 더 기울어진다. 그러나 제작된 안테나가 노트북 랜 카드에 실장되는 점을 고려하면 안테나의 최대 복사 방향은 xy 수평면에 가까울수록 좋다.

따라서, 급전부와 다이버서티에 따른 복사패턴의 변화는 긍정적 결과로 생각할 수 있다. 그림 20 (a),

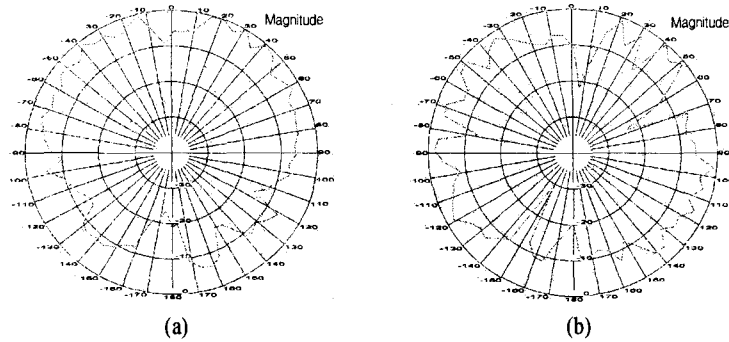


그림 19. 안테나 C의 주편파 복사패턴. (a) E-면, (b) H-면  
 Fig. 19. Co-polarized radiation pattern of the antenna C. (a) E-plane, (b) H-plane

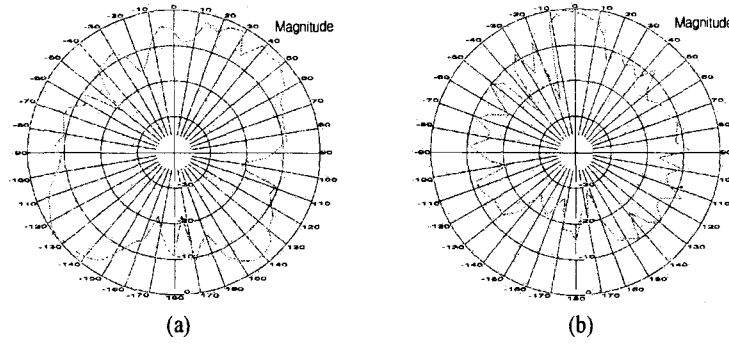


그림 20. 안테나 C의 교차편파 복사패턴. (a) E-면, (b) H-면  
 Fig. 20. Cross-polarized radiation pattern of the antenna C. (a) E-plane, (b) H-plane

(b)는 안테나의 교차편파 특성을 나타낸다. 교차 편파의 E-면 최대 복사 방향은  $-125^{\circ} \sim -140^{\circ}$  이고, H-면의 최대 복사 방향은  $-10^{\circ} \sim 5^{\circ}$  방향이므로 만족할 만한 교차편파 특성을 나타낸다.

### V. 결 론

대부분의 무선 랜 카드는 노트북 및 PDA 등 이동성이 중요한 소형기기에 이용된다. 따라서 랜 카드용 안테나는 소형이면서 현재 이동용 단말기 안테나로 사용되고 있는 헬리컬(helical) 안테나 및  $\lambda/4$  마너폴 안테나와 복사패턴 및 임피던스 특성이 비슷해야 한다.

이 연구에서는 이런 특성을 만족하는 무선 랜 카드용 PIFA를 설계하여 제작하였다. 안테나의 특성을 결정하는 주요 파라미터(급전점, 단락판 폭, 안테나 높이)의 변화에 따른 성능특성 변화를 시뮬레이

션 함으로써 최적의 설계치를 얻었다. 안테나의 높이는 4 mm이고 가로와 세로의 길이는 각각 5 mm와 8 mm이다.

안테나의 성능은 질랜드(Zeland)사의 IE3D로 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션에 이용한 유전체 기판의 크기는 컴퓨터 계산량의 제약 때문에 19 mm × 19 mm로 제한하였다. 19 mm × 19 mm 크기의 기판 위에 안테나를 제작하여 측정한 결과 공진 주파수가 5.33 GHz로 설계치인 5.25 GHz와 비교할 때 약 1.5 %의 오차를 갖는다.

상용 랜 카드 크기인 46.4 mm × 100 mm의 기판 위에 공간 다이버서티를 고려하여 동일한 두 개의 안테나를 실장하고, 공진 주파수가 설계치와 일치하도록 커패시터를 이용하여 튜닝하였다. 튜닝된 안테나의 공진 주파수는 설계치와 일치하고 대역폭은 580 MHz(5.01 GHz ~ 5.59 GHz)이다. 안테나의 주편파 복사패턴은 E-면 패턴의 경우에 안테나 복사



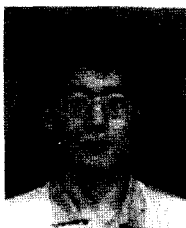
면의 수직방향으로부터 약 45° ~ 75° 기울어진 방향에서 최대 지향성을 갖는다. 노트북에 수평으로 놓이는 랜 카드에 실장되는 안테나로서 비교적 좋은 복사특성을 나타낸다. H-면 패턴은 등방성이 가장 이상적이나 제작된 안테나는 구조적 한계성으로 인하여 완전하게 등방성을 나타내지 못한다. 안테나의 교차편파는 주편파의 최대 복사 방향에서 상대적으로 복사 전계강도가 약한 패턴을 나타내므로 만족할 만한 교차편파 특성을 보인다.

### 참 고 문 헌

[1] 김종규, "이동통신 단말기용 안테나", 전자파 기술, vol. 12, no. 3, pp. 8-10, 2001년 7월.  
 [2] 유재욱, 박병권, 한상철, 임인성, 민경일, 오승엽, "1.9 GHz대 소형 역F 안테나의 설계 및 제작", 한국전자파학회논문지, 제8권, 3호, pp. 297-309, 1997.  
 [3] K. G. Schroeder, "Miniature Slotted-Cylinder Antennas", *Microwaves*, vol. 3, pp. 28-37, Dec. 1964.  
 [4] I. J. Bahl and P. Bhartia, *Microstrip Antennas*, Artech House, Dedham, MA, 1980.  
 [5] A. G. Derneryd, and A. G. Lind, "Extended

Analysis of Rectangular Microstrip Antennas", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. AP-27, pp. 846-849, 1979.  
 [6] A. Derneryd, "A Theoretical Investigation of the Rectangular Microstrip Antenna Element", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. AP-26, pp. 532-535, 1978.  
 [7] E. O. Hammerstad, "Equations for Microstrip Circuit Design", *Proc. 5th European Microwave Conf.*, pp. 268-272, 1975.  
 [8] A. G. Derneryd, "Linearly Polarized Microstrip Antennas", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. AP-24, pp. 846-850, Nov. 1976.  
 [9] J. R. James, P. S. Hall, and C. Wood, *Microstrip Antenna Theory and Design*, IEE Electromagnetic Waves Series, 12, Peter Peregrinus, Stevenage, 1981.  
 [10] K. Tsunoda and T. Taga, "Analysis of Planar Inverted F Antenna Using Spatial Network Method", *IEEE APS Int. Symp. Digest*, Texas, vol. 2, pp. 664-667, May 1990.  
 [11] K. Hirasawa and M. Haneishi, *Analysis, Design and Measurement of small and Low-Profile Antennas*, Artech House, Norwood, USA, 1992.

### 김 용 진



1970년 12월 30일생  
 1994년 2월: 동의대학교 전자통신 공학과 (공학사)  
 1996년 2월: 한양대학교 대학원 전자통신공학과 (공학석사)  
 1998년 3월~현재: 한양대학교 대학원 전자통신공학과 박사과정

[주 관심분야] 안테나, 전자파 해석 및 응용, 마이크로파 회로

### 이 상 설



1937년 5월 30일생  
 1961년: 한양대학교 전기공학과 (공학사)  
 1966년: 한양대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)  
 1977년: 프랑스 그르노블대학교 (공학박사)

1995년~1997년: 한양대학교 공과대학장  
 1996년~1997년: 대한전자공학회 회장  
 1975년~현재: 한양대학교 전자전기공학부 교수  
 [주 관심분야] 안테나 및 전자파 이론