

보조 도선과 Annular Gap을 추가한 PCS 대역 마이크로스트립 패치 안테나* 설계

The Design of a PCS Band Microstrip Patch Antenna with Auxiliary Wire and Annular Gap

최경식 · 윤종섭 · 류미라 · 이원희 · 허 정

Kyoung-Sik Choi · Jong-Soeb Yoon · Mi-Ra Ryu · Won-Hui Lee · Jung Hur

요 약

본 논문에서는 마이크로스트립 패치 안테나의 단점인 협대역을 개선하기 위해 안테나를 설계, 분석하였다. Probe 급전 방식의 안테나에서 reactance 성분을 줄이기 위해 capacitive gap을 추가하였다. 단일패치와 보조 도선을 사용하여 이중공진모드를 형성하였다. 이로 인해 대역폭이 증가되었고, 이득도 향상되었다. 이를 실험적으로 검증하기 위해 PCS 주파수 대역의 안테나를 설계, 제작하였다. 제작된 PCS 주파수 대역 안테나의 측정 결과는 VSWR<1.5에서 대역폭이 190 MHz이고, 이득은 8.6 dBi이다.

Abstract

In this paper, we designed microstrip patch antenna to enhance the weak point of general microstrip patch antenna that has narrow bandwidth and analyzed that. To reduce reactance in probe feed antenna, capacitive gap added to the patch. Using single patch and auxiliary wire, makes dual frequency resonant. So bandwidth is improved and gain also becomes higher. To verify with experiment, PCS band antenna is designed, fabricated. For PCS band antenna, bandwidth is 180 MHz in VSWR<1.5 and gain is 8.6 dBi.

I. 서 론

우리나라에 무선통신 서비스가 시작된 이후, 현재 셀룰라 및 PCS를 이용하는 가입자가 기하급수적으로 증가하고 있다. 이렇듯 무선통신은 날이 발 전하고 있다. 이러한 무선통신에서 반드시 필요한 부분이 안테나이다. 단말기와 기지국뿐만 아니라, 단말기와 기지국을 중계해 주는 중계국, 전파 환경이 열악한 지하나 산지 등에도 안테나는 꼭 필요하다. 이러한 중계국이나 기지국에는 마이크로스트립 안테나가 많이 사용되고 있다.

마이크로스트립 안테나는 주파수 대역폭이 좁고, 효율이 낮다는 단점이 있지만, 안테나의 패치 상에 급전부를 구성할 수 있으며 얇고, 가볍고, 소형화가 가능하며, 인쇄회로 기법으로 손쉽게 제작할 수 있고, 가격도 저렴하다는 장점이 있어서 많이 이용되고 있다.

많은 장점을 갖는 마이크로스트립 안테나의 가장 큰 문제점인 좁은 대역폭은 다각적인 연구로 인해서, 현재는 광대역 특성을 갖는 여러 형태의 마이크로스트립 안테나가 설계되고 있다^[1]. 특히 슬롯으로 급전하며, 여러 패치를 적층시키는 형태의 안테나가

*실용신안 등록

건국대학교 전자·정보통신공학과(Dept. of Electronics, Information & Communication Eng., Konkuk University)

· 논문 번호 : 20000918-104

· 수정완료일자 : 2001년 1월 11일

광대역 특성을 보이고 있기 때문에 많이 연구하고 있으며, 지금까지 가장 넓은 대역폭은 약 70%까지 얻었다^[2].

이러한 마이크로스트립 안테나를 해석하는데는 여러 가지 방법들이 있다. 비교적 간단한 해석방법인 전송선로 모델(transmission line model), 공동 모델(cavity model)과 더 정확한 해석 방법인 모멘트법(moment method), 유한 요소법(FEM), 유한 차분 시간 영역법(FDTD)등의 수치해석 방법이 있다. 또한 현재는 위와 같은 복잡한 수치해석 방법을 컴퓨터로 시뮬레이션해 주는 툴들이 개발되어 이용되고 있다. 본 논문에서는 안소프트사의 Ensemble을 이용하여 안테나를 해석하였다.

본 논문에서는 기존의 광대역 특성을 얻는 적층형의 안테나가 아닌, 단일 패치의 마이크로스트립 안테나를 설계하였다. 급전은 복사계와 급전계가 완전히 분리되는 방식인 프로브 급전을 사용하였다. 또한 안테나의 이득과 복사특성, 대역폭을 개선하기 위하여 보조 도선과 annular gap을 추가하였다^[3].

II. 안테나의 기본 구조

2-1 설계 · 제작한 안테나의 구조

설계한 마이크로스트립 패치 안테나의 기본 구조는 그림 1과 같다. 유전체 기판 위에 도체 패치가 있

고, 도체 패치의 일정한 지점에 급전점이 있으며, 급전점 주위에 capacitive gap이 존재한다. 유전체 기판 아래쪽은 공기층이 있으며, 동축선로가 접지면과 수직을 이루고 있다. 또한 도체 패치 위쪽에는 일정한 길이와 각도를 이루는 보조 도선이 급전점을 통하여 급전선과 연결되어 있다. 따라서 신호가 급전점에 인가되면 급전선을 통하여 패치뿐만 아니라 보조 도선에도 전류가 흐르게 된다. 이때 두 부분의 전류들에 의한 전파 복사가 공간에서 합성되도록 하면 이득은 증가하고 대역폭은 넓어지게 된다.

2-2 대역폭 개선 방법

전형적인 마이크로스트립 안테나의 경우는 5 % 미만의 대역폭을 갖고 있다. 일반적으로 이러한 대역폭을 개선하는 방법을 간단히 소개한다.

첫 번째 방법은 유전체 기판의 두께를 증가시킴으로써 넓은 대역폭을 갖게 할 수 있다. 그러나 유전체의 높이가 증가하면, 표면파(surface wave)가 생기게 되므로 유전율을 낮춰서 표면파를 최소화 할 수 있다. 그래서 본 논문에서는 공기층을 삽입해서 유효 유전율을 공기와 가깝게 하였다.

두 번째로는 annular gap을 이용한 방법이다.

급전선으로 급전한 경우 급전선의 길이 자체가 강한 임피던스 성분을 갖게 된다. 따라서 캐패시턴스 성분을 보상해 주어야 임피던스의 허수성분이

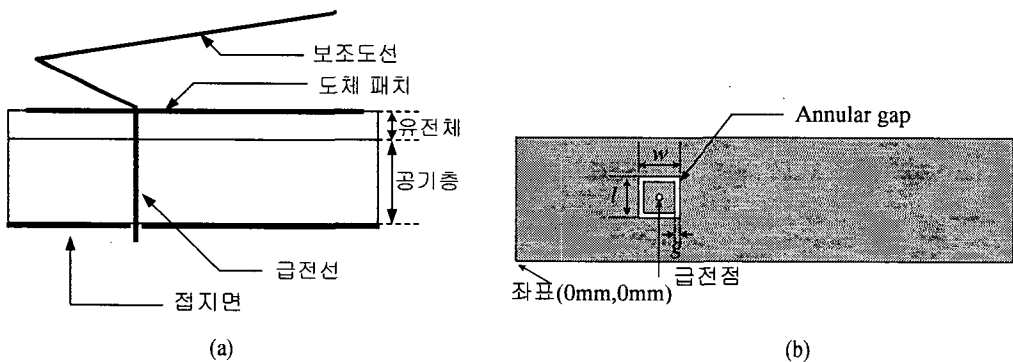


그림 1. 보조 도선과 annular cap을 추가한 마이크로스트립 패치 안테나의 기본구조

(a) 측면도, (b) 평면도

Fig. 1. Microstrip patch antenna with auxiliary wire and annular gap.

(a) Side view, (b) Top view

zero가 되어 원하는 주파수에서 공진하게 된다. 그래서 캐패시터를 직접 연결하는 것과 등가화 될 수 있는 방법으로 급전점 주위에 고리모양의 틈을 만들어줌으로써 용량성 커플링을 일으켜 원하는 주파수에서 공진하도록 한다.

본 논문에서 제시한 마이크로스트립 안테나의 입력 임피던스는 다음과 같이 주어진다.

$$Z_{in} = Z_{patch} + jX_L \quad (1)$$

여기에서 Z_{patch} 는 기본 공진모드에서 패치의 병렬 RLC 모델에 대한 임피던스이고, X_L 는 급전선의 인덕턴스 성분이다. 이러한 인덕턴스를 없애기 위해서 필요한 캐패시턴스 성분은

$$C_m = \frac{1}{\omega_r^2 L_p} = -X_L \quad (2)$$

이다. 여기서 ω_r 은 공진 주파수이고, L_p 는 급전선의 인덕턴스 성분이다.

급전선의 임피던스는 다음과 같다^{[4]~[6]}.

$$\begin{aligned} Z_p &= R_p + jX_p \\ &= \frac{w\mu_0 h}{4} + j \frac{\mu_0 h}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{2\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r} \pi d} \right) - 0.5772 \right] \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 λ_0 는 파장, h 는 기판의 두께, d 는 프로브의 직경이며, ϵ_r 은 기판의 유전 상수이다.

Annular gap의 캐패시턴스 성분은 다음과 같다.

$$C_m = \sqrt{\pi} \left(\frac{w}{l} \right) \epsilon_0 (\epsilon_r + 1) (w + l) \quad (4)$$

여기서 $w = w - 2g$ 이고, w 는 annular gap의 바깥쪽 폭, l 은 바깥쪽 길이, g 는 gap의 폭이다.

세 번째로는 근접하는 두 개의 공진주파수를 만드는 방법이다. 본 논문에서는 단일패치와 보조 도선을 사용해서 각각의 공진주파수를 만들었다.

2-3 이득을 향상시키는 방법

공급 전원이 급전선에 인가되면, 급전선을 통하여 전류가 흐르게 되고, 전류는 다시 유전체 기판 위에 놓여 있는 도체 패치에 분포하게 된다. 이와

동시에 전류는 보조 도선의 하단부를 지나 보조 도선의 상단부까지 흐르게 된다. 도체 패치에 전류가 분포하고 보조 도선에 전류가 밀집되므로 복사되는 전계가 복사공간의 중앙쪽으로 강해지게 된다. 이로 인해 제시한 구조의 안테나는 높은 이득을 가지게 된다.

III. PCS 주파수 대역 안테나 설계 및 측정 결과

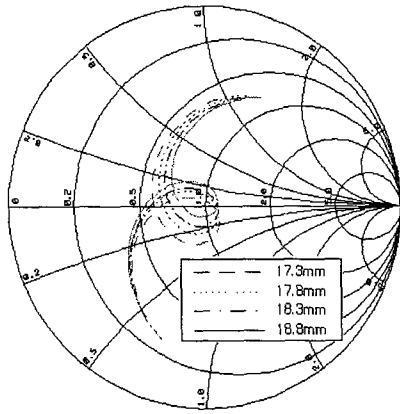
PCS 대역(1.75~1.87 GHz)의 중계기용 안테나로 마이크로스트립 안테나가 많이 사용되고 있다. 상용화된 중계기용 안테나의 경우, VSWR 1.5를 요구하고 있으며 이득은 6 dBi가 넘어야 한다. 본 논문에서 설계하려는 안테나의 목표는 대역폭 120 MHz (VSWR 1.5:1)이고, 이득은 7 dBi 이상이며, 수직편파를 갖도록 하였다.

3-1 프로브 길이 및 직경 변화에 대한 영향

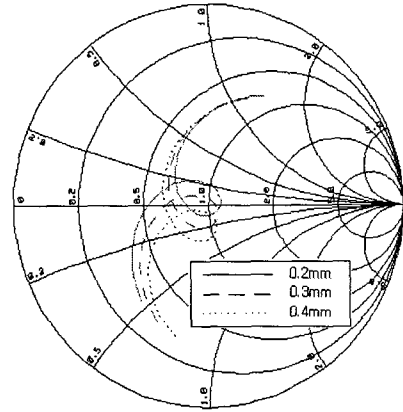
급전선의 길이가 길어지게 되면, 유도성 리액턴스가 과도하게 흐르게 되며 입력 임피던스는 스미스차트 상에서 윗부분에 존재한다. 또한 급전선의 직경의 변화에 의해서도 리액턴스가 영향을 받게 된다. 따라서 급전선의 길이, 직경을 최적화시켰을 때 좋은 특성을 얻을 것이다. 그래서 각 파라미터를 변화시키면서 시뮬레이션을 하였다.

기판은 유전율이 2.5, 두께가 0.76 mm인 테프론 기판을 사용하였다. 패치의 길이는 51 mm, 폭은 10 mm, annular gap의 폭은 0.2 mm, 길이는 4 mm, 급전점의 위치는 좌표상(20.8 mm, 5 mm)이다. 이 조건은 공통된 사항이며, 길이에 대한 변화에서는 프로브의 직경을 0.8 mm로 고정하고 급전선의 길이 17.3, 17.8, 18.3, 18.8 mm에 대해서 시뮬레이션을 하였다. 또한 프로브 직경의 경우는 가장 좋은 특성을 보이는 급전선의 길이인 18.8 mm에서 직경을 0.6, 0.8, 1.0 mm로 변화시켜 시뮬레이션 하였다.

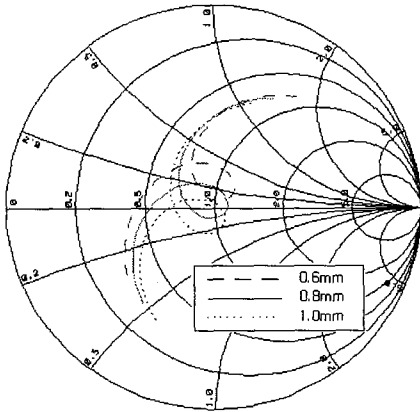
프로브의 길이가 증가할수록 유도성 리액턴스 성분이 증가하였고, 입력 임피던스도 50 Ω 부근에서 잘 매칭이 되었고, 임피던스 궤적은 길이가 증가할수록 줄어들었다. 그리고 프로브 직경이 증가할수록



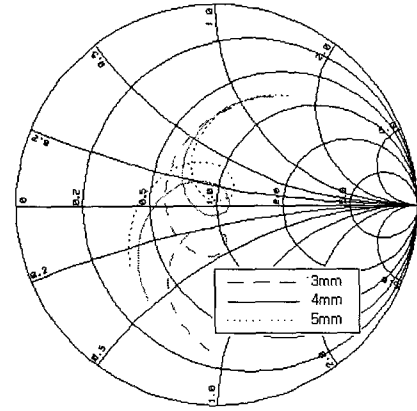
(a)



(a)



(b)



(b)

그림 2. Probe 파라미터 변화에 따른 안테나 특성.

(a) 길이 변화, (b) 직경 변화

Fig. 2. Antenna characteristic according to probe parameter.

(a) Length variation, (b) Diameter variation

유도성 리액턴스 줄어들고, 용량성 리액턴스 성분이 커지는 것을 알 수 있었다.

3-2 Annular gap의 길이, 폭 변화에 대한 영향

Annular gap의 폭을 증가시키면 직렬 캐패시턴스 성분이 커지므로 안테나 특성이 변하게 된다. Annular gap의 길이가 변하면, 직렬 캐패시턴스의 양이 변할 것이라 생각하여, 길이에 대한 시뮬레이션도 같이 하였다.

그림 3. Annular gap 파라미터 변화에 따른 안테나 특성. (a) 폭의 변화, (b) 길이 변화

Fig. 3. Antenna characteristic according to annular gap. (a) Width variation, (b) Length variation

패치의 길이는 51 mm, 폭은 10 mm, probe 길이는 18.8 mm, 지름은 0.8 mm, 급전점의 위치 좌표는 (20.8 mm, 5 mm)이다.

Annular gap의 폭의 변화를 시뮬레이션 할 때는 annular gap의 길이를 4 mm로 고정하였고, gap의 폭을 0.2, 0.3, 0.4 mm로 변화시켰다. 길이 변화를 시뮬레이션할 때는 gap의 폭이 0.2 mm일 때, 길이를 3, 4, 5 mm로 변화시켰다. Annular gap의 폭을 초기에 0.2 mm로 정한 이유는 실제로 에칭 작업이 가능한 폭이기 때문이다.

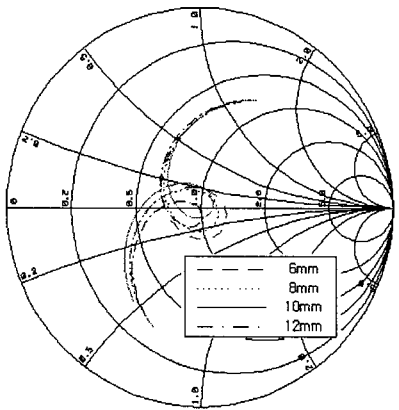
시뮬레이션 결과, 폭이 커지면 캐패시턴스 성분

이 감소하여 공진주파수가 내려가는 것을 알 수 있으며, 길이가 커지면 인덕턴스 성분이 증가하여 공진 주파수가 올라가는 것을 알 수 있다.

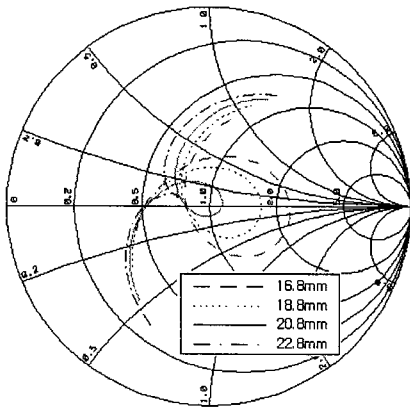
3-3 패치 폭 변화에 대한 영향

도체 패치의 폭이 변할 경우, 안테나의 입력 임피던스에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통해 그림 4(a)에 나타내었다.

패치의 길이는 51 mm, probe 길이는 18.8 mm, 지름은 0.8 mm, 급전점의 위치는 좌표상(20.8 mm, 5



(a)



(b)

그림 4. 패치 폭과 probe 위치에 따른 안테나 특성.

(a) 패치 폭의 변화, (b) 급전 위치 변화

Fig. 4. Antenna characteristic according to patch width and probe position. (a) Patch width variation, (b) Probe position variation.

mm)이다. Annular gap의 폭은 0.2 mm, annular gap의 길이는 4 mm이다. 패치의 폭은 6, 8, 10, 12 mm에 대하여 시뮬레이션 하였다.

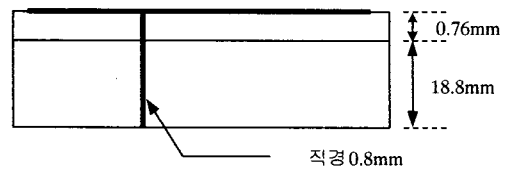
도체 패치의 폭이 증가할수록 입력 임피던스는 낮아지게 되는데, 이로 인해 패치의 폭이 증가할수록 임피던스 매칭은 50 Ω 부근에서 더 잘 이루어졌다. 그러나 폭이 증가할수록 임피던스 궤적이 줄어들기 때문에 반사계수가 작은 곳에서의 주파수 대역폭은 넓어지지만, 반사계수가 높은 곳에서는 주파수 대역폭이 감소하는 특성을 보였다.

3-4 급전점 위치 변화에 대한 영향

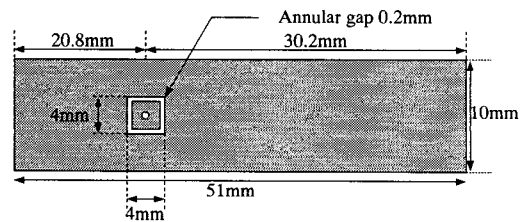
프로브 급전의 경우, 임피던스가 50 Ω이기 때문에 패치 상에서 입력 임피던스가 50 Ω인 지점을 찾아야 한다. 그래서 급전점의 위치를 16.8 mm에서 22.8 mm까지 변화시키면서 매칭되는 지점을 찾아 보았다. 급전점의 위치가 22.8 mm로 갈수록 궤적이 커짐을 알 수 있다.

3-5 최적화된 시뮬레이션 및 측정 결과

지금까지 안테나의 각 파라미터에 대해서 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션 결과로부터 가장 최적화된 조건을 얻었으며 그림 5에 나타내었다.



(a)



(b)

그림 5. 최적화된 안테나. (a) 측면도, (b) 평면도

Fig. 5. Optimized antenna. (a) Side view, (b) Top view.

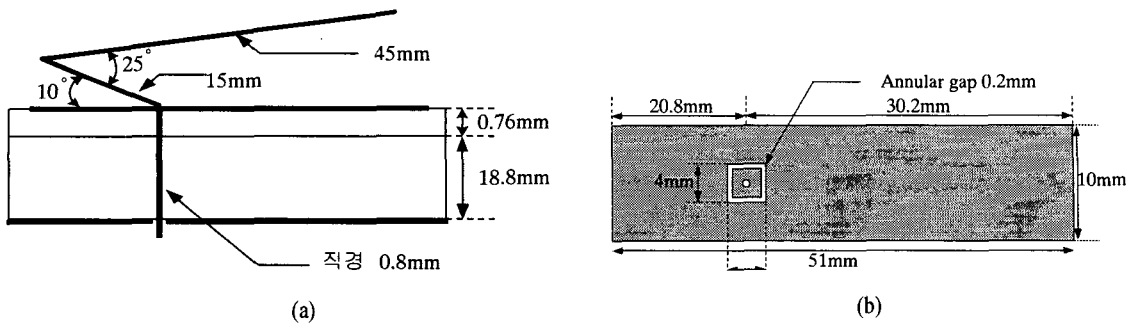


그림 6. 보조 도선 달린 최적화된 안테나. (a) 측면도, (b) 평면도
 Fig. 6. Optimized antenna with auxiliary wire. (a) Side view, (b) Top view

이 조건을 적용하여 안테나를 시뮬레이션 하였으며, 그 결과는 그림 6과 같다. 최적화된 안테나의 그림이 제시된 구조인 그림 1과 다른 이유는 Ensemble로 3차원 구조의 시뮬레이션이 불가능하기 때문이다. 그래서 보조 도선을 포함하지 못하고 시뮬레이션 하였다.

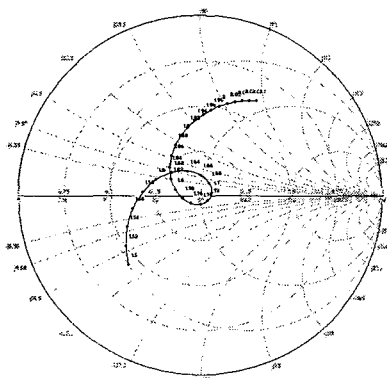
최적화된 안테나의 시뮬레이션 결과는 공진주파수는 1.74 GHz이며, $VSWR < 2$ 에서 대역폭은 300 MHz이고, $VSWR < 1.5$ 에서의 대역폭은 185 MHz를 얻었다. 입력 임피던스는 50 Ω 근처에서 매칭되었고, 이득은 6.95 dBi이다.

안테나는 보조 도선이 있는 것과 없는 것, 두 가지를 제작하여 측정하였다.

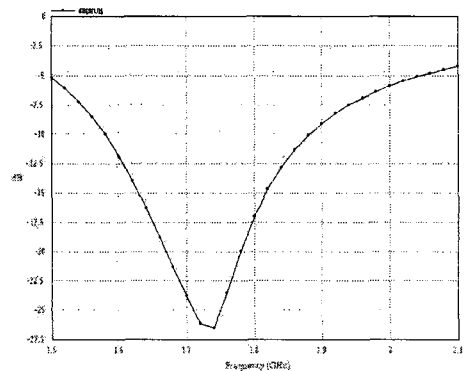
보조 도선이 없는 경우의 결과는 그림 7과 같다.

표 1. 안테나 측정 결과

구 분	보조 도선 없는 안테나	보조 도선 포함한 안테나
설계 중심주파수	1.81 GHz	1.81 GHz
대역폭 (VSWR < 2)	294 MHz	235 MHz
대역폭 (VSWR < 1.5)	100 MHz	180 MHz
이 득	7.9 dBi	8.6 dBi
FBR	19 dB	20 dB



(a)



(b)

그림 7. 시뮬레이션 결과. (a) 입력 임피던스, (b) 반사계수
 Fig. 7. Simulation results. (a) Input impedance, (b) Return loss

VSWR<2에서 대역폭이 294 MHz로서, 송수신 주파수 대역을 모두 포함하지만, VSWR<1.5에서는 기저국의 송신대역을 포함하지 못하고 있다.

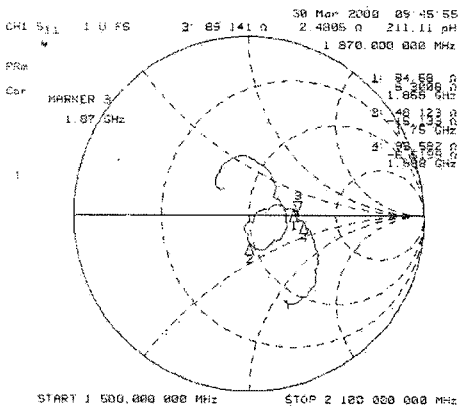
측정 결과 안테나의 이득은 7.9 dBi였다.

보조 도선을 추가해서 제작한 안테나의 측정 결과는 그림 8과 같다. VSWR<2에서는 235 MHz로 보조 도선이 없는 경우보다 59 MHz 줄었지만, VSWR<1.5에서는 180 MHz, VSWR<1.2에서는 140

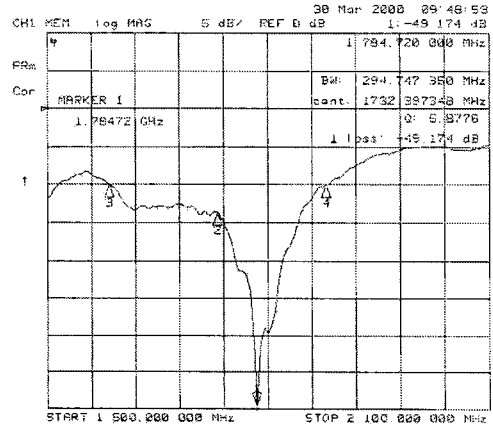
MHz로서 설계 목표를 충족시켰다. 이는 현재 상용되고 있는 PCS 대역 안테나 기준인 VSWR<1.5이하보다 좋은 결과이다. 또한 안테나의 이득도 시뮬레이션 결과보다 더 높은 8.6 dBi로 측정되었다.

지금까지 살펴본 보조 도선을 추가한 안테나와 추가하지 않은 안테나의 측정결과를 정리하면 표 1과 같다.

복사패턴은 일반적으로 마이크로스트립 패치안



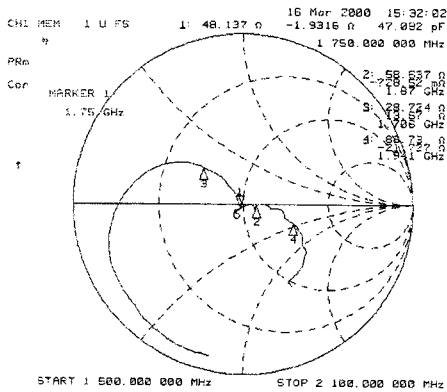
(a)



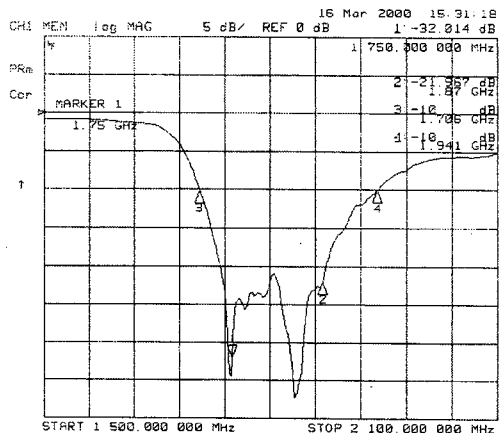
(b)

그림 8. 측정 결과(보조 도선 없는 경우). (a) 입력 임피던스, (b) 반사계수

Fig. 8. Measured results(without auxiliary wire). (a) Input impedance, (b) Return loss



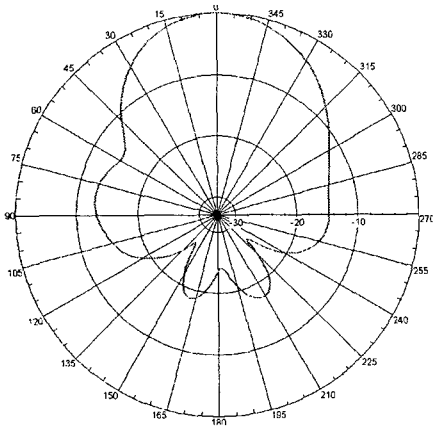
(a)



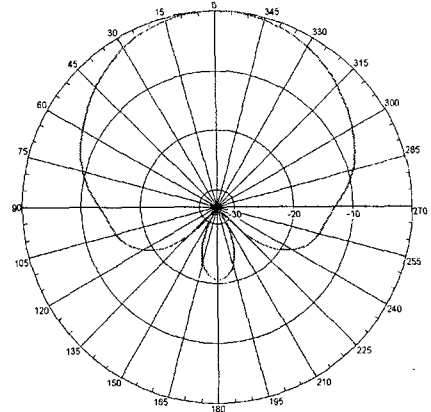
(b)

그림 9. 측정 결과(보조 도선 있는 경우). (a) 입력 임피던스, (b) 반사계수

Fig. 9. Measured results(with auxiliary wire). (a) Input impedance, (b) Return loss



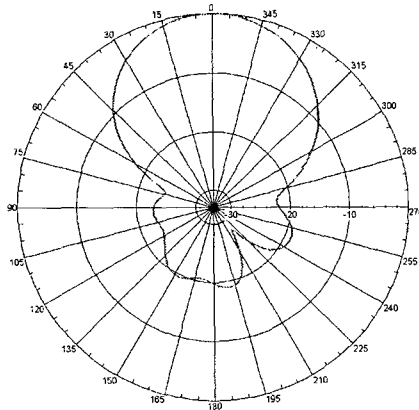
(a)



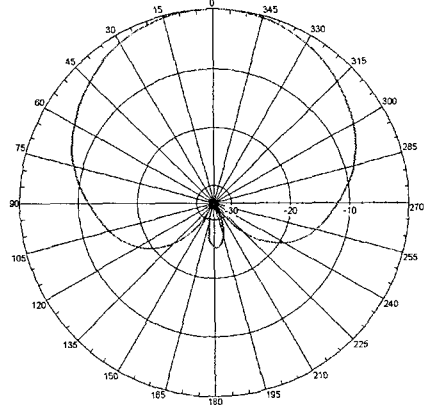
(b)

그림 10. 복사 패턴(보조 도선 없는 경우). (a) E-plane, (b) H-plane

Fig. 10. Radiation pattern(without auxiliary wire). (a) E-plane, (b) H-plane



(a)



(b)

그림 11. 복사 패턴(보조 도선 있는 경우). (a) E-plane, (b) H-plane

Fig. 11. Radiation pattern(with auxiliary wire). (a) E-plane, (b) H-plane

테너의 broadside 방향으로 잘 나타나고 있다. 보조 도선이 없는 경우, Far-field에서의 전계를 안테나의 긴 변이 수직인 상태에서 측정한 E-plane 패턴에서 side lobe는 -13 dB, FBR(Front to Back Ratio)은 19 dB의 값을 가지며, 안테나의 긴 변을 수평으로 놓고 측정한 H-plane 복사패턴에서는 side lobe가 없으며, FBR은 21 dB의 값을 가진다. 보조 도선을 추가한 경우는, 수직 절단면에서 잘라서 본 패턴에서

side lobe는 훨씬 줄어들어 -19 dB이며, FBR은 20 dB의 값을 갖는다. 수평 절단면에서는 side lobe가 없으며, FBR은 25 dB이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 마이크로스트립 안테나의 단점인 좁은 대역폭을 개선할 수 있는 방법을 제시하였다.

프로브 급전방식을 사용하는 마이크로스트립 안테나에서 유도성 리액턴스 성분을 제거하기 위해 흔히 사용하는 annular gap과 이중 공진을 위해서 급전점에 보조 도선을 추가함으로써 대역폭이 증가한다는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 패치와 보조 도선이 서로 상호 작용하여 안테나의 이득도 함께 증가하는 것을 확인하였다.

본 논문에서 제시한 안테나 구조를 적절하게 수정·보완한다면 WLL 대역은 물론, 미래 이동통신의 핵심인 IMT-2000 주파수 대역까지 다 사용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] S. H. David, "A survey of broadband microstrip patch antennas", *Microwave J.*, pp. 60-84, Sept., 1996.
 [2] S. D. Targonski, R. B. Waterhouse, and D. M.

Pozar, "Design of wideband aperture stacked patch microstrip antennas," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 46, no. 9, pp. 1245-1251, Sept., 1998.

[3] 허정, 윤중섭, "보조 도선을 추가한 마이크로스트립 패치 안테나", 실용신안 등록출원서, 8월 1999년.
 [4] R. A. Sainai, *CAD of Microstrip Antennas for Wireless Applications*, Artech House, pp. 60-145, 1996.
 [5] R. Bernard, R. Tchanguiz and A. Papiernik, "Capacitors provide input matching of microstrip antennas", *Microwave & RF*, vol. 33, no. 7, pp. 103-106, July, 1994.
 [6] 류미라, "Annular gap을 이용한 마이크로스트립 패치 안테나의 대역폭 개선", 건국대학교 석사학위논문, pp. 32-36, 2월 2000년.

최 경 식



1999년 2월: 건국대학교 전자공학과(공학사)
 1999년 3월~ 현재: 건국대학교 대학원 전자·정보통신공학과 석사과정
 2000년 10월~현재: Mobisys Telecom 연구원

[주 관심분야] 마이크로스트립 안테나 설계 및 마이크로파 회로 설계, 이동통신 시스템 등

이 원 희



1998년 2월: 영동대학교 전자공학과(공학사)
 2000년 2월: 건국대학교 대학원 전자·정보통신공학과(공학석사)
 2000년~현재: 건국대학교 대학원 전자·정보통신공학과 박사과정

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파 회로 설계, 마이크로파 소자 등

윤 중 섭



1995년 2월: 건국대학교 전자공학과(공학사)
 2000년 8월: 건국대학교 대학원 전자·정보통신공학과 석사과정
 2000년 8월~현재: 해리컴 연구원

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 선형전력증폭기, 고전력증폭기

등

류 미 라



1996년 2월: 충주산업대학교 전자통신과(공학사)
 2000년 2월: 건국대학교 전자공학과(공학석사)
 2000년 2월~현재: 건국대학교 전자·정보통신공학과 박사과정

[주 관심분야] 초고주파 안테나 해석 및 설계, 초고주파 회로 설계, 전파전파

허 정



1981년: 서울대학교 전자공학과
(공학사)

1983년: 서울대학교 대학원 전자공
학과(공학석사)

1991년: 서울대학교 대학원 전자공
학과(공학박사)

현 재: 건국대학교 전자·정보통신

공학과 교수

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파 회로설계,
마이크로파 소자 등