

L자 형태의 급전구조를 갖는 광대역 마이크로스트립 패치 안테나

Broad-Band Microstrip Patch Antenna with an L-Shaped Strip

김종규* · 이호준* · 오환솔**

Jong-Kyu Kim* · Ho-Jun Lee* · Hwan-Sool Oh**

요 약

L자 형태의 스트립 급전 구조는 두꺼운 유전체 기판 (두께 $\approx 0.1 \lambda$)을 갖는 마이크로 스트립 안테나에 있어 적합한 구조이다. L자 형태의 스트립 급전 구조는 방사 패치와 결합하여 캐패시턴스 성분을 발생시켜 스트립 자체에 의해 발생하는 인덕턴스 성분을 억제시킨다. 본 논문에서는 PCS대역(1,750~1,870 MHz)과 IMT-2000대역(1,920~2,170 MHz)의 광대역 주파수(420 MHz)를 모두 만족시킬 수 있는 L자 형태로 급전되는 광대역 마이크로 스트립 패치 안테나를 소개한다. 또한 L자 형태로 급전되는 안테나를 두 개 배열한 형태의 안테나도 소개한다. 이들 두 안테나는 모두 패스밴드에서 안정된 방사패턴을 가지며 임피던스 대역폭은 중심주파수 (1,960 MHz)의 31%(VSWR<1.5, 615 MHz) 이상을 가지고 약 7 dBi의 평균 이득을 갖는다.

Abstract

The L-shaped strip is shown to be an attractive feed for the thick microstrip antenna (thickness around 10 % of the operating wavelength). The L-strip incorporated with the radiating patch introduces a capacitance suppressing some of the inductance introduced by the strip itself. In this paper, a wideband microstrip patch antenna fed by L-strip for the PCS (1,750~1,850 MHz) and IMT-2000 (1,920~2,170 MHz) broad-band is presented. A two-element array fed by L-strip is also proposed. Both the antennas have stable radiation patterns across the passband. The impedance bandwidth is over 31% (VSWR < 1.5, 615 MHz) of the center frequency. Moreover, both the antennas have about 7 dBi average gain.

I. 서 론

최근 들어 이동 통신용 단말기를 통해 더욱더 많은 양의 정보를 송·수신 하고자 하는 욕구가 커짐에 따라 기존의 셀룰러 대역에 비해 훨씬 더 높은 주파수 대역에 대한 관심이 높아지고 있다. 서비스 시작 후 2년 6개월 여 만에 가입자 1000만 명을 넘어선 PCS 즉 개인 휴대 통신 서비스나 향후 서비스에 정인 IMT-2000이 바로 그 예라 할 수 있다^[1]. 이

러한 이동 통신 서비스에 있어 중요시되는 것이 안정된 통화품질이며 각 기지국 및 중계기에 설치된 안테나의 특성은 통화품질을 결정하는 수많은 요소 중 하나이다. 현재 사용되어지고 있는 중계기 및 기지국용 안테나는 주로 다이폴 구조와 마이크로 스트립 구조가 사용되어지고 있다. 그중 마이크로 스트립 구조의 안테나는 제작이 용이하고 대량생산이 가능하며 견고하고 가격도 저렴하며 부피가 작고 가볍다는 장점을 갖는 반면 좁은 대역폭과 낮은 효

「본 연구는 정보통신부 선도기술개발 사업의 일환으로 이루어짐」
 * 전자부품연구원 무선회로연구센터(Korea Electronics Technology Institute)
 ** 건국대학교 전자공학과(Dept. of Electronic Engineering, Konkuk University)
 · 논문 번호 : 20010531-072
 · 수정완료일자 : 2001년 7월 31일

을 갖는 것은 마이크로 스트립 안테나의 단점이라 할 수 있다^[2]. 일반적인 마이크로 스트립 안테나의 대역폭은 3~4% 인데 반해 PCS 서비스와 IMT-2000 서비스를 하나의 시스템에서 처리하기 위해서는 적어도 22% 이상의 대역폭을 갖는 안테나가 필요하게 된다. 이러한 마이크로 스트립 안테나의 협대역 특성을 개선하기 위해 많은 연구가 진행되어져 왔으며 여러 가지 방법들이 제시되었다^[3]. 일반적으로 마이크로 스트립 안테나의 대역폭을 증가시키기 위한 방법으로는 기관의 유전율을 낮추는 방법과 기관의 두께를 증가시키는 방법이 있다. 그러나 실제 기관의 유전율을 낮추는 데에는 한계가 있으며 기관 사용에 따른 제작비용이 증가할 뿐만 아니라 유전손실이 발생하게 된다. 또한 기관의 두께가 두꺼워 질수록 대역폭이 늘어나기는 하나 표면파가 증가하게 되어 효율이 떨어지게 되고 패턴의 왜곡을 일으키게 된다. 그밖에 패치의 형태를 변형시키는 방법 (reactive load, bow-tie 형태), 기생소자를 추가하는 방법 (parasitic patch, shorting pin), 적층형 구조(stacked, air gap을 이용)등을 사용하는 방법이 있다. 한 예로 적층형 구조를 사용할 경우 약 30% 이상의 광대역 특성을 얻을 수 있다는 논문이 보고 된 바 있다^{[4]-[6]}. 그러나 이들 구조는 동일 평면 또는 다른 층으로의 물리적 크기를 증가시켜야 하고 여러 장의 패치를 사용하는 데서 오는 제작비용의 증가와 배열 안테나를 구현 할 때 단일 패치에 비해 튜닝 작업이 복잡하고 어려워지게 되는 단점을 갖고 있다. 최근 들어 마이크로 스트립 안테나의 대역폭을 증가시키기 위해 3차원 급전구조(3D-transition)를 갖는 마이크로 스트립 안테나^[7] 및 패치에 U자 형태의 슬롯이 있는 마이크로 스트립 안테나^{[8],[9]}가 제안된 바 있다. 본 논문에서는 두꺼운 유전체 기관(두께 $\approx 0.1 \lambda$)을 갖는 마이크로스트립 안테나의 급전에 적합한 구조인 L자 형태의 스트립 급전구조를 갖는 안테나와 이 안테나를 두 개 배열한 형태의 안테나를 소개한다. 본 논문에서 제시한 L자 형태의 스트립 급전구조는 방사 패치와 결합하여 캐패시턴스 성분을 발생시켜 스트립 자체에 의해 발생하는 인덕턴스 성분을 억제시킨다^[10]. 또한 L자 형태의 스트립 급전구조를 갖는 안테나는 구조가 간단하고 각종 이동통신을 위한 기지국용 안테

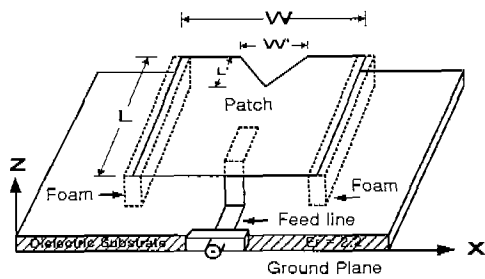
나로서 좋은 특성을 보인다^[11]. 본 논문에서 제시한 안테나의 측정결과와 시뮬레이션 결과는 비교적 일치하였고 PCS대역 (1,750~1,870 MHz)과 IMT-2000대역 (1,920~2,170 MHz)의 광대역 주파수 (420 MHz)를 모두 만족시킬 수 있는 L자 형태로 급전되는 광대역 안테나와 이 안테나를 두 개 배열한 형태의 안테나를 소개한다.

II. L자 형태의 급전구조를 갖는 마이크로스트립 패치 안테나

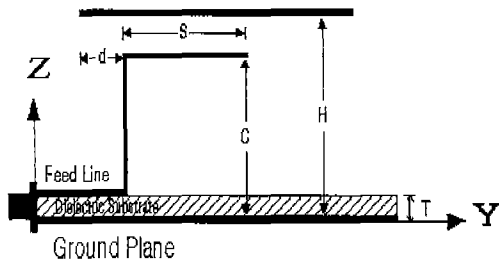
2-1 구조 및 특성

L자 형태의 급전구조를 갖는 마이크로 스트립 패치 안테나의 기본 구조를 그림 1에 보인다. 본 논문에서 제시한 안테나는 접지면과 방사 패치 사이가 넓기 때문에 일반적인 급전 방식을 사용하여 방사 패치와 급전선 간의 전자기적 결합(coupling)을 일으키기 어려운 구조를 가지고 있다. 이러한 구조적인 한계를 패치와 접지면 사이에 L자 형태의 스트립 라인 급전구조를 삽입함으로써 극복하였으며 L자 형태의 스트립 라인 급전구조는 방사 패치와 급전선 간의 전자기적 결합을 용이하게 한다. 또한 L자 형태의 스트립 급전선과 방사 패치와의 전자기적 결합으로 인해 캐패시턴스 성분이 유도되어 일반적인 마이크로 스트립 급전 구조나 동축케이블 급전 구조 자체에서 유도되는 인덕턴스 성분을 억제시켜 광대역 특성을 제공한다. 그림 1에서 L자 형태 스트립 라인의 수평부분(S)은 수직부분(C)에 의해 생기는 인덕턴스 성분을 억제시키는 캐패시턴스 성분을 유도하여 L-C 직렬 공진 소자로 작용하며, R-L-C 병렬 공진 소자인 방사 패치와 전자기적으로 결합하게 된다. 즉, L자 형태의 스트립 라인 급전구조는 인덕턴스 성분에 캐패시턴스 성분이 추가된 공진 소자로 작용하여 방사 패치의 공진과 더불어 광대역 안테나로 동작하게 된다. 그리고 패치의 윗부분을 삼각형태로 잘라내어 패치안테나 자체의 임피던스 값을 변화시켜 주파수 대역을 더욱 넓히는 효과를 보았다. 즉 삼각형으로 잘라낸 부분에서는 임피던스가 증가하게 되어 높은 공진 주파수를, 잘라내지 않은 부분은 임피던스가 낮게 되어 낮은 공

L자 형태의 급전구조를 갖는 광대역 마이크로스트립 패치 안테나



(a) 기본 구조
(a) Basic geometry



(b) 측면도
(b) Side view

그림 1. L자 형태의 급전구조를 갖는 안테나
Fig. 1. L-shaped microstrip patch antenna.

진 주파수를 얻을 수 있다.

2-2 제작과 측정

안테나의 설계 시 시뮬레이션은 Zeland사의 IE3D를 사용하였으며 실제 제작에는 유전율 (ϵ_r) 2.2, 두께 (T) 1.57 mm의 테프론 기판을 사용하였고 L자 형태의 급전선과 방사 패치는 두께 0.3 mm의 동판을 사용하였다. 안테나의 설계시 설정한 설계 목표와 시뮬레이션을 통해 최적화된 안테나의 크기 및 실제 제작된 안테나의 크기를 각각 표 1, 2, 3에 나타내었다.

안테나에 사용된 각각의 파라미터들의 변화에 따른 특성을 살펴보면, 다른 모든 파라미터들이 동일하고 방사 패치와 접지면 사이가 공기 층일 경우 높이 (H)가 높아지면 기판의 유전율을 낮추고 두께를 증가시키는 효과를 가져오므로 공진 주파수는 낮아지고 대역폭은 커진다. 또한 전자기적 결합량이 줄어들면서 스미스차트 상의 궤적은 반 시계 방향으

표 1. 안테나의 설계 목표

Table 1. Antenna design spec.

	PCS	IMT-2000
주파수	1,750 Mhz ~1,870 Mhz	1,920 Mhz ~2,170 Mhz
대역폭	120 Mhz	250 Mhz
VSWR	1.5	1.5
이득	7 dBi	7 dBi

표 2. 시뮬레이션을 통해 최적화된 안테나의 크기

Table 2. Optimized antenna size by IE3D simulation.

구분	크기	구분	크기
L	55 mm	S	15 mm
W	69 mm	C	17 mm
L'	17 mm	H	20 mm
W'	40 mm	d	14 mm

표 3. 실제 제작된 안테나의 크기

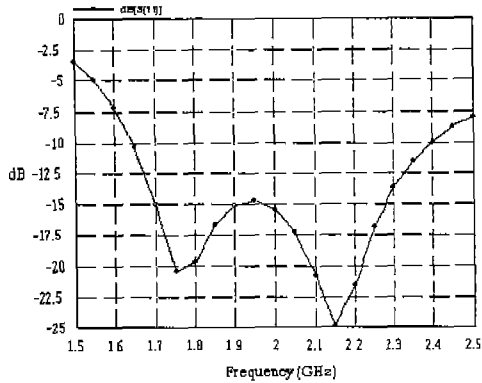
Table 3. Produced antenna size.

구분	크기	구분	크기
L	55 mm	S	18 mm
W	71.5 mm	C	17 mm
L'	18 mm	H	20.5 mm
W'	40.5 mm	d	13 mm

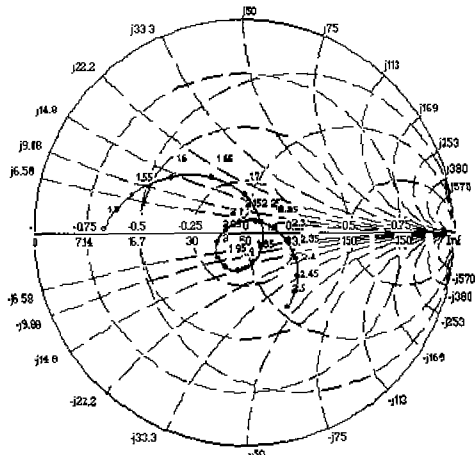
로 회전하게 된다. 급전구조의 수평부분(S)과 수직부분(C)이 길어질수록 스미스차트 상의 궤적은 시계 방향으로 회전하면서 전자기적 결합량은 많아지게 되고, d 부분의 길이가 증가할수록 스미스차트 상의 궤적은 시계방향으로 회전하는 것을 알 수 있다.

이상의 각종 파라미터들의 변화에 따른 특성을 종합하여 최적화시킨 시뮬레이션 결과를 그림 2에 보인다. 시뮬레이션 결과 PCS/IMT-2000의 중심주파수 (1,960 MHz)에서의 대역폭(VSWR<1.5)은 30.61% (600 MHz)로 나왔으며 반사손실과 스미스차트, VSWR을 각 그림 2의 (a), (b), (c)에 나타냈다.

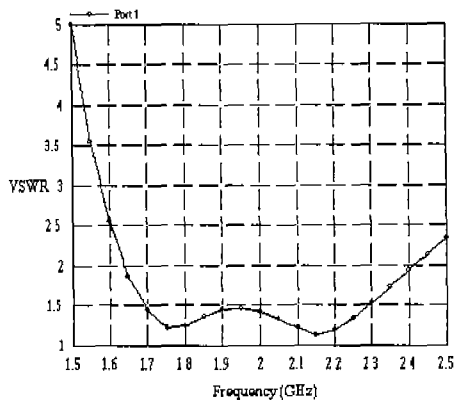
실제 제작된 안테나는 HP사의 8753D VNA(Vector Network Analyzer)를 사용해 그 특성을 측정하였으며 NSI사의 Near Field Measurement System을 이용하여 이득과 방사 패턴을 측정하였다. 그림 3은



(a) 반사손실
(a) Return loss



(b) 스미스차트
(b) Smith chart



(c) 정재파비
(c) VSWR

그림 2. 최적화된 시뮬레이션 결과
Fig. 2. Optimized simulation results.

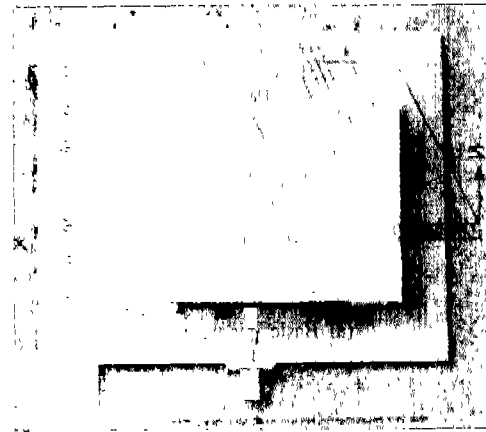
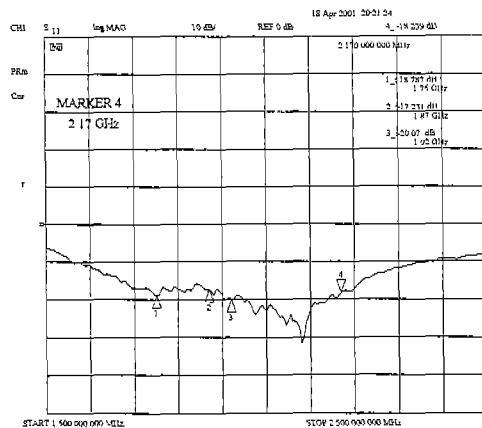


그림 3. L자 형태의 급전구조를 갖는 안테나 사진
Fig. 3. Picture of an Patch Antenna with an L-Shaped strip.

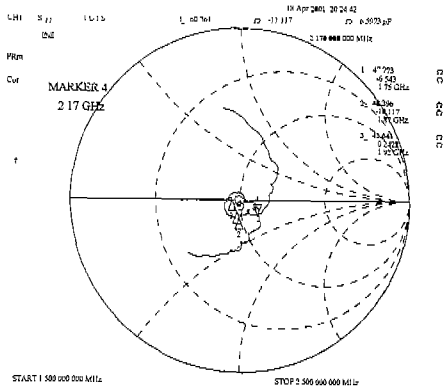
실제 제작된 L자 형태의 단일 패치 안테나를 보여 주고 있다.

VNA로 측정된 반사손실과 스미스차트, VSWR을 각각 그림 4의 (a), (b), (c)에 나타냈다. 그림 5에서는 PCS대역에서 실제 측정된 방사 패턴(수직-수평)과 IMT-2000대역에서 실제 측정된 방사 패턴(수직-수평)을 보여주고 있다. 측정 결과 대역폭은 중심주파수 (1,960 MHz)의 31% (VSWR < 1.5)로 PCS대역과 IMT-2000대역을 모두 만족시키는 광대역의 결과를 얻었다. 측정된 이득은 PCS/IMT-2000의 전

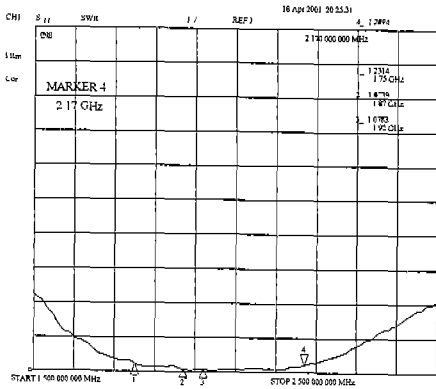


(a) 반사손실
(a) Return loss

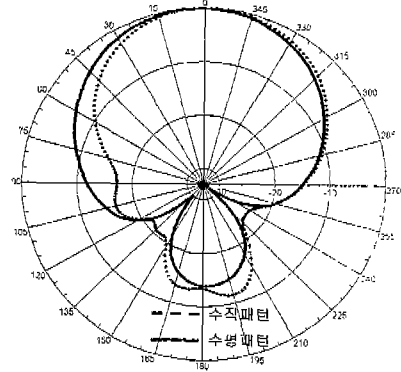
L자 형태의 급전구조를 갖는 광대역 마이크로스트립 패치 안테나



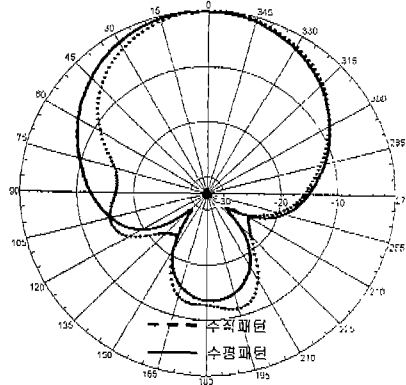
(b) 스미스 차트
(b) Smith chart



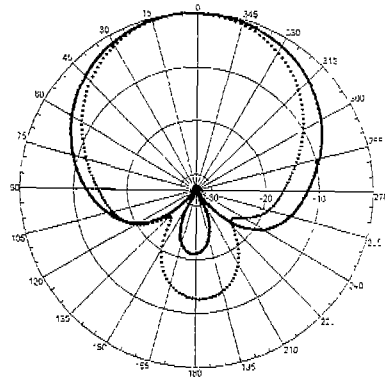
(c) 정재파비
(c) VSWR



(b) 1,870MHz

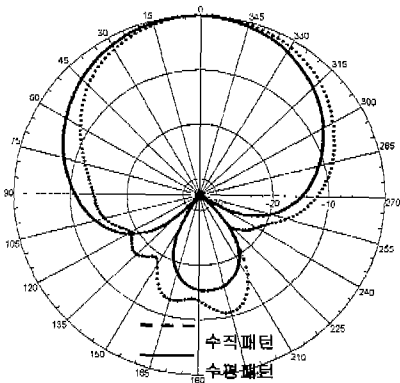


(c) 1,920MHz



(d) 2,170 MHz

그림 4. 단일 안테나 측정 결과
Fig. 4. Measured results of single patch antenna.



(a) 1750 MHz

그림 5. 실제 측정된 방사 패턴
Fig. 5. Measured antenna radiation pattern.

대역에서 7 dBi 이상의 높은 이득을 얻었으며 방사 패턴 또한 PCS/IMT-2000의 전 대역에서 모두 양호한 특성을 보여 상용화 가능한 PCS/IMT-2000 겸용

안테나의 spec.인 대역폭 22 % 이상, 이득 7 dBi 이상을 모두 만족시킴을 알 수 있다.

Ⅲ. L자 형태의 급전구조를 갖는 마이크로 스트립 패치 어레이 안테나

3-1 안테나의 설계 및 제작

단일 패치 안테나는 낮은 지향성을 가지며 방사 패턴은 반파장 다이폴 안테나의 방사패턴과 유사한 $70^\circ \sim 90^\circ$ 의 넓은 빔 폭을 갖는다. 육내 통신에서처럼 넓은 빔 폭을 필요로 하는 경우는 단일 패치 안테나만으로도 충분하지만 레이더나 통신 시스템 등은 좁은 빔 폭으로 동작하기 때문에 단일 패치 안테나를 여러 개 배열하여 지향성과 이득을 향상시킬 필요가 있다. 단일 패치 안테나에서와는 달리 배열 안테나는 인접한 패치들과 전자기적으로 상호작용을 하여 추가적인 방사를 일으키므로 패치와 패치 사이의 간격이 다른 파라미터들 보다 중요시된다. 또한 배열 안테나는 고정된 방사패턴뿐만 아니라 급전시스템의 Phase Shifter를 구성하면 전기적으로 빔의 각도를 조절할 수 있다^[12].

본문에서는 앞 절에서 논의된 L자 형태의 급전구조를 갖는 단일 마이크로 스트립 패치 안테나를 평행 구조로 두 개 배열한 안테나를 소개한다. L자 형태의 급전구조를 갖는 단일 마이크로 스트립 패치 안테나를 평행하게 배열한 안테나의 구조를 그림 6에 보인다.

배열 안테나 설계 시에도 단일 패치 안테나와 동일하게 시뮬레이션은 Zeland사의 IE3D를 사용하였으며 실제 제작에도 단일 패치 안테나와 동일하게 유전율(ϵ_r) 2.2, 두께(T) 1.57 mm의 테프론 기판을 사용하였다. L자 형태의 급전선과 방사 패치는 두께 0.3 mm의 동판을 사용하였다. 안테나 설계 시 각각의 안테나 소자의 물리적인 파라미터는 앞 절에서 서술한 단일 패치 안테나와 동일하다. 시뮬레이션 상의 패치와 패치사이의 간격은 105 mm($\approx 0.69 \lambda$)이며 시뮬레이션을 통해 최적화된 안테나의 크기 및 실제 제작된 안테나의 크기를 각각 표 4, 5에 나타내었다.

시뮬레이션 결과 PCS/IMT-2000의 중심주파수 (1960 MHz)에서의 대역폭 (VSWR<1.5)은 26 % (500

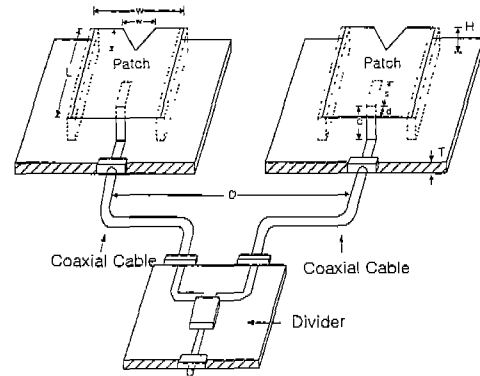


그림 6. L자 형태의 급전구조를 갖는 단일 마이크로 스트립 패치 안테나를 평행하게 배열한 안테나 구조도

Fig. 6. Geometry of the two-elements array antenna with L-shaped strip feed.

표 4. 시뮬레이션을 통해 최적화된 배열 안테나의 크기

Table 4. Optimized array antenna size by IE3D simulation.

구분	크기	구분	크기
L	55 mm	S	15 mm
W	69 mm	C	17 mm
L'	17 mm	H	20 mm
W'	40 mm	d	14 mm
D	105 mm		

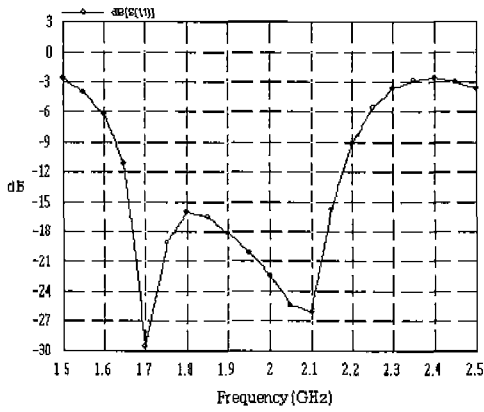
표 5. 실제 제작된 배열 안테나의 크기

Table 5. Produced array antenna size.

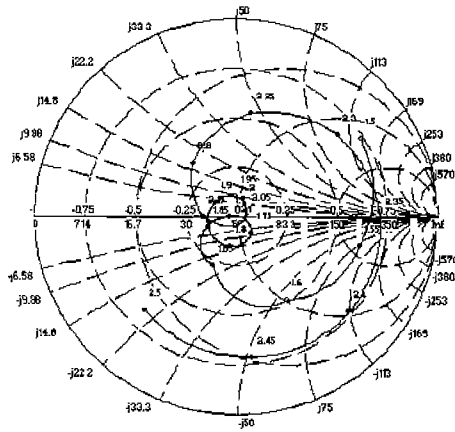
구분	크기	구분	크기
L	55 mm	S	15 mm
W	69 mm	C	17 mm
L'	18 mm	H	20 mm
W'	40.5 mm	d	14 mm
D	105.6 mm		

MHz)로 나왔으며 반사손실과 스미스차트, VSWR을 각각 그림 7의 (a), (b), (c)에 나타냈다. 스미스차트 상에 두 개의 궤적이 나타나는 것을 볼 수 있는데 위쪽의 궤적이 IMT-2000대역의 공진을 일으키고 아래 궤적이 PCS대역의 공진을 일으킴을 알 수

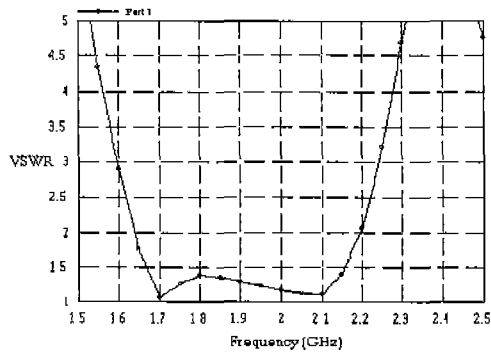
L자 형태의 납전극소를 갖는 광대역 마이크로스트립 패지 안테나



(a) 반사 손실
(a) Return loss

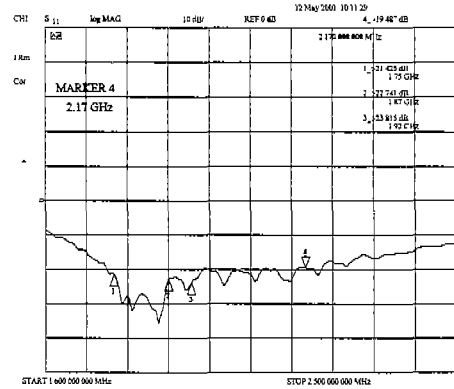


(b) 스미스차트
(b) Smith chart

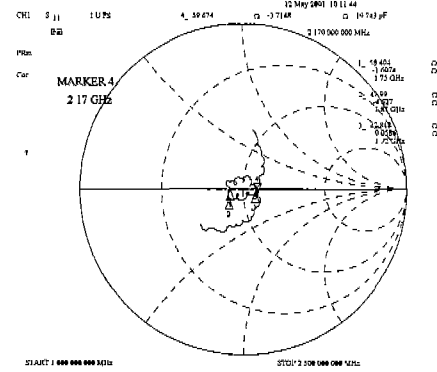


(c) 정재파비
(c) VSWR

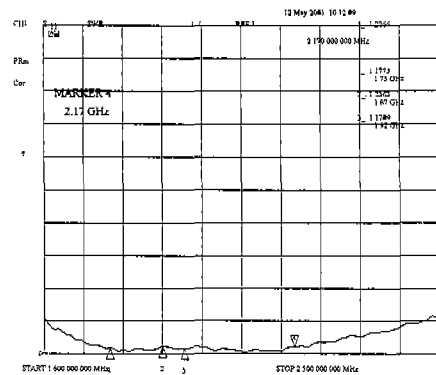
그림 7. 최적화된 배열안테나의 시뮬레이션 결과
Fig. 7. Optimized simulation results.



(a) 반사손실
(a) Return loss



(b) 스미스 차트
(b) Smith chart



(c) 정재파비
(c) VSWR

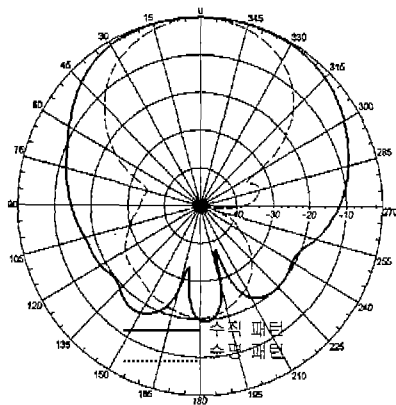
그림 8. 어레이 안테나 측정결과
Fig. 8. Measured results of array antenna.



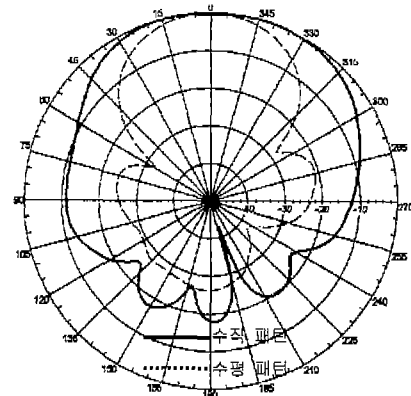
그림 9. 제작된 안테나의 실제 사진
Fig. 9. Pototype array antenna.

있다. 실제 제작된 배열 안테나는 단일 패치 안테나와 동일하게 HP사의 8753D VNA를 사용해 그 특성을 측정하였으며 NSI사의 Near Field Measurement System을 이용하여 이득과 방사 패턴을 측정하였다. VNA를 사용하여 측정된 반사손실과 스미스차트, VSWR을 각각 그림 8의 (a), (b), (c)에 나타냈다. 또한 그림 9에 제작된 안테나의 실제 사진을 보여주고 있다. 배열 안테나 제작 시 두 패치 안테나를 combine하는 combiner는 Anaren사의 4A1305 power divider를 사용하였다.

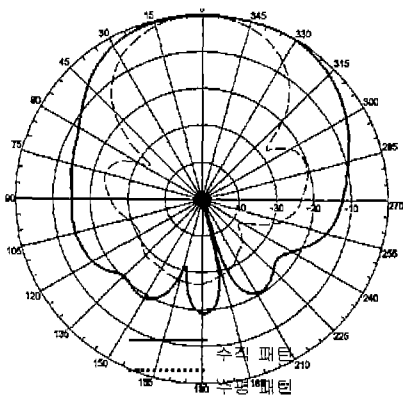
측정 결과 대역폭은 중심주파수 (1960 MHz)의



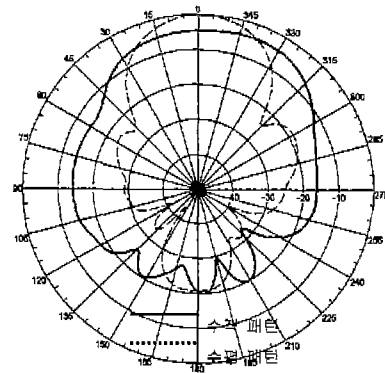
(a) 1,750 MHz



(b) 1,870 MHz



(c) 1,920 MHz



(d) 2,170 MHz

그림 10. 실제 측정된 방사 패턴
Fig. 10. Measured array antenna radiation pattern.

33% ($VSWR < 1.5$)로 PCS대역과 IMT-2000대역을 모두 만족시키는 광대역의 결과를 얻었다. 측정된 이득은 PCS/IMT-2000의 전 대역에서 7 dBi 이상의 높은 이득을 얻었으며 방사패턴 또한 PCS/IMT-2000의 전 대역에서 모두 양호한 특성을 보여 상용화 가능한 PCS/IMT-2000 겸용 안테나의 spec.인 대역폭 22%이상, 이득 7 dBi 이상을 모두 만족시킴을 알 수 있었다. 그림 10은 PCS대역과 IMT-2000대역에서 실제 측정된 방사 패턴(E/H-plane)을 보여주고 있다. 그림 8에서 보여지듯 PCS와 IMT-2000 전 대역에 걸쳐 안정된 방사 패턴을 가지며 빔 폭도 $34^\circ \sim 39^\circ$ 로 일반적인 구조의 패치 안테나에 비해 좁음을 알 수 있다. 측정된 배열 안테나의 최대 이득은 주파수 2,170 MHz에서 약 7.88 dBi 이고 주파수 1,870 MHz에서는 최저 이득 7.41 dBi를 얻었다.

VI. 결 론

지금까지 본 논문에서 PCS 대역(1750~1870 MHz)과 IMT-2000대역 (1920~2170 MHz)의 광대역 주파수(420 MHz)를 모두 만족시킬 수 있는 L자 형태로 급전되는 광대역 마이크로 스트립 패치 안테나의 특성과 이를 두 개 어레이한 안테나의 광대역 특성에 대해서 살펴보았다. 안테나 설계 시 시뮬레이션 결과대로 제작한 안테나의 특성보다 시뮬레이션의 결과로 제작한 안테나의 각종 파라미터들을 변화시켜가며 튜닝을 했을 때의 특성이 더 양호한 것을 알 수 있었으며 이로 인해 시뮬레이션 결과와 제작 결과가 약간의 차이가 있었다. 그러나 이들 안테나는 모두 페스밴드에서 안정된 방사패턴을 가지며 임피던스 대역폭은 중심주파수 (1,960 MHz)의 31% ($VSWR < 1.5$, 615 MHz)이상을 가지고 약 7 dBi의 평균 이득을 가져 상용화 가능한 안테나의 spec.을 모두 만족시킴을 알 수 있다. 본 논문에서 제시한 안테나는 제 3세대 이동통신인 IMT-2000의 서비스 상용화를 앞두고 있는 시점에서 기존의 PCS 대역과 IMT-2000 대역에서 동시에 사용 가능한 안테나로서 많은 활용가치가 있으리라 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 국내 이동통신 가입자 통계, 월간 모바일컴, pp.113-115, 6월호, 2000.
- [2] Ramesh. Garg, Prakash. Blartia, Inder. Bahl, Apisak. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Atrech House, pp. 2-3.
- [3] D. M. Pozar, *Microstrip Antennas*, *Proc. IEEE*, vol. 80, pp.79-91, Jan. 1992.
- [4] R. B. Waterhouse, "Broadband stacked shorted patch", *Electronics Letters*, vol. 35, no. 2, pp. 98-100, 21st January 1999.
- [5] S. D. Targonski, . R. B. Waterhouse, . D. M. Pozar, "Wideband aperture coupled stacked patch antenna using thick substrates", *Electronics Letters*, vol. 32, Issue: 21, pp. 1941-1942, 10 Oct. 1996.
- [6] S. D. Targonski, . R. B. Waterhouse, D. M. Pozar. "Design of wide-band aperture-stacked patch micro strip", *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol 46, Issue. 9, pp. 1245- 1251. Sept. 1998.
- [7] Naftall Herscovici, "A wide-band single-layer patch antenna", *IEEE AP-S*, Atlanta, Georgia, pp. 1108 -1111, June 1998.
- [8] K. F. Lee, K. M. Luk, F. Tong, S. M. Shum, T. Huynh, and R. O. Lee, "Experimental and simulation studies of the coaxially fed U-slot rectangular patch antenna", *IEEE Proc*, vol. 144, pp. 354-358, Oct. 1997.
- [9] Y. L. Chow, Z. N. Chen, K. F. Lee and K. M. Luk., "A design theory on broadband patch antenna with slot", *IEEE Antennas & Propagation Symposium*, pp. 1124-1127, 1998.
- [10] C. L. Mak, K. M. Luk, K. F. Lee, and Y. L. Chow, "Experimental study of a microstrip patch antenna with an L-shaped probe", *IEEE Transactions On Antennas And Propagation*, vol. 48, no. 5, May 2000.
- [11] Y. X. Guo, K. M. Luk, and K. F. Lee, "Analysis and design of L-probe proximity fed patch antenna", *IEEE Transactions On Antennas and Propagation*, vol. 49, no. 2, Feb. 2001.

[12] Jean-François Zürcher, and Fred E. Gardiol,
Broadband Patch Antennas, Artech House, pp. 139.

김 종 규



1957년 9월 15일생
1989년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학석사)
1992년 3월~현재: 전자부품연구원
무선회로연구센터 책임연구원
[주 관심분야] 고주파부품 설계 및 안테나 개발 등

이 호 준



1971년생
1998년 2월: 서울산업대학교 전자공학과 (공학사)
2000년 8월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
2001년 3월~현재: 광운대학교 전파공학과 박사과정
2000년 6월~현재: 전자부품연구원 무선회로연구센터 전임연구원
[주 관심분야] 초고주파 회로설계, 전자파 수치해석 및 안테나 개발 등

오 환 술

1951년 10월생
1975년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1979년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1984년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
1979년 9월~현재: 건국대학교 전자공학과 교수
[주 관심분야] 레이저 다이오드 및 광통신용 부품 개발 등