

PCS 기지국용 U-슬롯 어레이 안테나 설계

Design of U-slot Array Antenna for PCS Base Station

전 주 성

Joo-Seong Jean

요 약

본 논문에서는 PCS 기지국용 U-슬롯 어레이 안테나 설계가 실행 및 연구되었다. U-슬롯 안테나는 안테나의 부피가 작은 단층 형태이나 기생 패치를 이용하는 설계보다 더 넓은 대역폭을 얻을 수 있으며 probe 급전의 경우에 17 % 이상의 대역폭을 얻을 수 있다. 설계된 U-슬롯 어레이 안테나는 PCS 주파수 대역에서 12 dB 이상의 평균 이득과 안정적인 복사패턴을 가지고 있다. 본 논문에서 U-슬롯 어레이 안테나의 설계를 통하여 PCS 기지국용 안테나로의 이용 가능성을 제시하였다.

Abstract

In this paper, the design of a U-slot array antenna for PCS base station has been implemented and studied. The U-slot antenna is a single layer type with an antenna volume smaller but a bandwidth larger than the designs utilizing parasitic patches, which exceed 17 % bandwidth, for the probe fed case. Designed U-slot array antenna has stable radiation patterns and an average gain above 12 dB across the PCS frequency band. In this paper, through the designing of a U-slot array antenna, we have presented the availability for PCS base station antenna.

I. 서 론

언제 어디서나 누구와도 휴대단말기를 이용하여 음성 및 데이터 전송을 전국민 대상으로 보편적 이동서비스를 제공하겠다는 목표로 출발한 PCS 즉 개인휴대통신 서비스를 시작한지 2년 6개월만에 가입자 1,100만명이라는 세계적으로 경이적인 기록을 남겼다^[1]. PCS를 포함한 이동통신 서비스에서 가장 중요한 것이 통화품질이다. 이동통신 서비스의 통화 품질을 결정하는 것은 수없이 많은 파라미터가 존재하며 그 중 각 기지국에 설치된 안테나의 특성은 통화 품질을 좌우하는 주요 파라미터의 하나이다.

현재 PCS 기지국용 섹터형 안테나는 대부분이 다이폴 어레이 구조이며 극소수가 마이크로스트립 어

레이 구조를 채택하고 있다. 다이폴 어레이 구조는 설계가 용이한 반면 안테나의 전체적인 크기가 커지며 대량생산이 제한되는 단점을 가지고 있다. 반면 마이크로스트립 어레이 구조의 단점 중 하나가 좁은 대역폭 특성이다. 따라서 이러한 단점을 개선하려는 많은 연구가 보고되었다^{[2]~[4]}. 마이크로스트립 안테나의 협대역 특성을 개선하기 위한 방법에는 물리적 구조에 의한 방법, 기생소자를 적층하거나 주위에 배열하는 방법 등 다양한 연구결과들이 보고되었다. 물리적 구조에 의한 방법은 두껍고 낮은 유전율 기판을 사용하므로 표면파와 고차모드의 발생 때문에 사용이 제한된다. 또한 기생소자 적층형 방법은 2개 이상의 패치를 수직으로 적층시켜 이중공진 효과에 의해 20 % 이상의 광대역 특성을 얻

한국통신엔닷컴(주) 정보통신연구소(KT M.com R&D Division)

· 논문 번호 : 20000728-087

· 수정완료일자 : 2000년 12월 12일

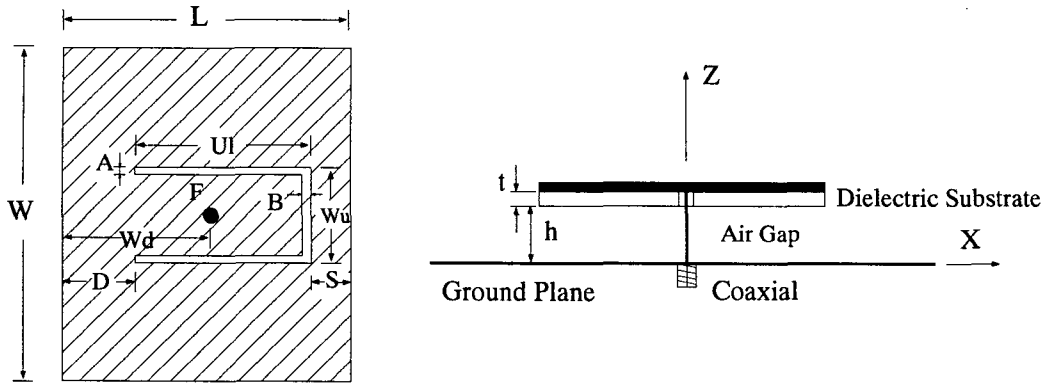


그림 1. U-슬롯 안테나의 구조
Fig. 1. Geometry of a U-slot antenna.

을 수 있지만 안테나의 부피와 제작에서 여러 문제를 야기한다. 또한 기생소자를 주위에 배열하는 방법은 각 소자간 결합특성에 의해 20 %까지 대역폭을 확장할 수 있으나 안테나의 크기 증가와 어레이 구성의 제한은 최대의 단점이다.

최근 이 같은 단점을 타개할 수 있도록 K. F. Lee에 의해서 U-슬롯 안테나가 제안되었다^{[5], [6]}. U-슬롯 안테나는 기생소자를 적층시키거나 주위에 배열하지 않고서도 광대역 특성을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다. K. F. Lee에 의해서 발표된 다수의 문헌을 살펴보면 U-슬롯 안테나는 주로 3~4 GHz 주파수대역에서 30 % 이상의 광대역 임피던스 특성을 가진 것으로 보고되었으며 최근 국내에서도 U-슬롯을 개구-결합 급전방식을 이용한 유사한 연구가 보고되었지만 주파수가 Ku 밴드에서의 결과이다^[7].

본 논문에서는 국내 PCS 3개 사업자들에게 할당된 전 주파수 대역에서 사용할 수 있는 기지국용 U-슬롯 어레이 안테나를 설계하였다. 또한 2 GHz 이하의 주파수 대역에서 U-슬롯 안테나의 주파수 특성을 확인하였다. 연구한 안테나의 설계목표는 PCS 기지국에서 가장 많이 사용되는 수평빔폭 65°의 섹터형 안테나로서 PCS 전 주파수 대역에서 12 dB 이상의 이득을 가진 4개 복사소자로 구성된 선형 어레이 안테나이다.

II. U-슬롯 안테나의 특성 및 설계

U-슬롯 안테나는 사각형 패치 내에 U-슬롯을 구성하므로 U-슬롯 자체의 전류분포에 따른 공진과 사각형 패치의 공진특성이 결합하여 이중공진 특성을 얻는 장점을 가지고 있다. U-슬롯 안테나는 일반적으로 probe 급전 방식을 사용하는데, 이 방식은 임피던스 정합이 쉽고 스푸리어스 복사가 적으나 패치의 도체면에 물리적으로 접합을 시켜야 하며 임피던스 대역폭이 좁은 단점을 가지고 있다^[8]. 패치 내에 U-슬롯이 구성되지 않은 일반적인 마이크로스트립 패치 안테나에서는 기판 두께가 0.03 λ를 초과하면 유도성 리액턴스 성분이 존재한다^[9]. 그러나 U-슬롯 안테나는 전기적으로 두꺼운 probe급전 방식을 사용하는데도 유도성 리액턴스 성분이 존재하지 않는다. 즉 U-슬롯 안테나는 probe급전으로 인하여 발생하는 입력 임피던스의 유도성 리액턴스 성분을 억압시키는 용량성 리액턴스를 유도하므로 임피던스 정합이 쉽게 얻어질 수 있다. 그러나 안테나의 빔폭은 U-슬롯이 없는 사각형 패치보다 좁아지는 특성을 가진다.

그림 1에 U-슬롯 안테나를 도시하였다. U-슬롯 안테나의 가장 큰 장점은 단순한 설계 파라미터와 구조이다. 일반적으로 이중공진 특성의 광대역 안테나는 스미스 차트 상의 임피던스 특성곡선에서 대, 소 루프의 루프가 생성된다. 특히 큰 루프 내의 작은 루프의 위치와 크기가 안테나의 임피던스 대역폭을 결정하므로 매우 중요하다. 스미스 차트 상에

표 1. 각 안테나의 설계 파라미터(단위, mm)

Table 1. Design parameters of antennas(in mm).

	L	W	D	Wd	F	A	B	Wu	S	UI	h	ϵ_r	t
Ant. A	55	71	8.5	32.5	0.5	1.75	3.375	15.5	5.75	40.75	13	2.17	0.508
Ant. B	55	71	8.5	32.5	0.5	1.75	3.375	15.5	5.75	38.75	13	2.17	0.508
Ant. C	55	71	8.5	32.5	0.5	1.75	3.375	15.5	5.75	42.75	13	2.17	0.508
Ant. D	55	71	8.5	32.5	0.5	1.75	3.375	14.5	5.75	42.75	13	2.17	0.508
Ant. E	55	71	8.5	32.5	0.5	1.75	3.375	16.5	5.75	42.75	13	2.17	0.508
Ant. F	54	69.5	8.5	32.5	0.5	1.75	3.375	15.5	5.75	40.75	13	2.17	0.508
Ant. G	56	71	8.5	32.5	0.5	1.75	3.375	15.5	5.75	40.75	13	2.17	0.508
Ant. H	55	71	8.5	31.5	0.5	1.75	3.375	15.5	5.75	40.75	13	2.17	0.508
Ant. I	55	71	8.5	32.5	0.5	1.75	3.125	15.5	5.75	40.75	13	2.17	0.508
Ant. J	55	71	8.5	32.5	0.5	1.75	4	15.5	5.75	40.75	13	2.17	0.508
Ant. K	55	71	8.5	30.5	0.5	1.75	3.375	15.5	5.75	40.75	13	2.17	0.508

표 2. PCS 기지국용 상용 안테나의 규격

Table 2. Specifications for commercial PCS base station antenna.

PCS Frequency[MHz]			이 득	수평빔폭	수직빔폭	VSWR	전후방비	편파
Band	Tx	Rx						
A	1840~1850	1750~1760	12dB	65°	18°	1.5:1	20dB 이상	수직
B	1850~1860	1760~1770						
C	1860~1870	1770~1780						

서 나타나는 작은 루프를 가변시키는 파라미터는 사각형 패치의 폭(W)과 길이(L), U-슬롯의 길이(UI)와 모양, 기판의 두께(t)와 비유전율(ϵ_r), 급전 probe의 위치(Wd)와 직경, 공기층의 높이(h) 등이 있다^[5]. 따라서 안테나의 특성에 영향을 미치는 각 파라미터들을 가변시켜 가장 좋은 임피던스 정합특성을 얻을 수 있는 안테나 모델을 찾기 위해서 표 1에 총 11개 모델의 안테나 파라미터를 정리하였다. 즉 U-슬롯의 길이(UI), 폭(Wu), 두께(B)의 변화 그리고 패치의 크기와 probe 급전위치 변화에 따른 임피던스 정합특성을 고찰하기 위해서 이다.

표 2에 PCS 기지국 상용 안테나 규격을 나타냈다. 국내 PCS 3개 사업자에게 할당된 주파수는 총 120 M 규격은 국내 PCS 기지국에서 가장 많이 사용

되는 표준형 안테나이다. 표 2의 규격을 본 논문에서 설계할 안테나의 목표규격으로 설정하였다. 다만 본 논문에서 설계한 안테나는 proto-type임을 감안하여 VSWR 특성은 2:1로 목표규격을 설정하였다.

그림 2~그림 6은 표 1에 나타낸 다양한 파라미터를 가진 안테나 모델들을 시뮬레이션하여 그 특성들을 나타낸 것이다. 안테나의 시뮬레이션은 Ensemble 6.0을 사용하였다. 그림 2에서 U-슬롯의 길이(UI)를 38.75 mm(Ant. B), 40.75 mm(Ant. A), 42.75 mm(Ant. C)로 각각 가변시켰을 때의 임피던스 특성을 나타냈다. U-슬롯의 길이는 공진 주파수를 변화시킨다. 즉 U-슬롯의 길이가 증가하면 공진 주파수가 낮아지는 특성을 나타냈으며 동일한 패치 크기 조건하에서 U-슬롯의 길이가 40.75 mm(Ant.

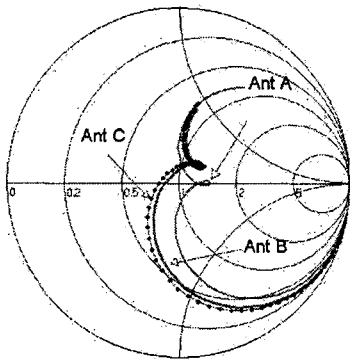


그림 2. U-슬롯 길이(U) 변화에 따른 안테나의 임피던스 궤적

Fig. 2. Impedance loci for antennas with different U-slot length(U).

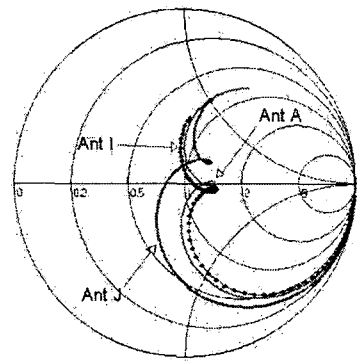


그림 4. U-슬롯의 두께(W) 변화에 따른 안테나의 임피던스 궤적

Fig. 4. Impedance loci for antennas with different U-slot thickness(Wu).

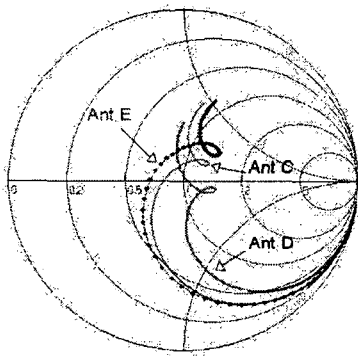


그림 3. U-슬롯의 폭(Wu) 변화에 따른 안테나의 임피던스 궤적

Fig. 3. Impedance loci for antennas with different U-slot width(Wu).

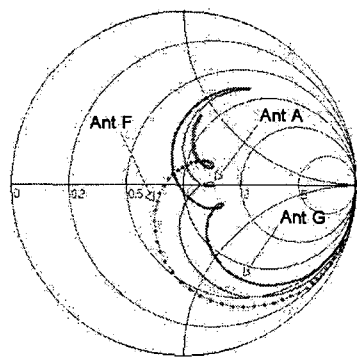


그림 5. 패치 크기에 따른 U-슬롯 안테나의 임피던스 궤적

Fig. 5. Impedance loci for U-slot antennas with different patches.

A)가 PCS 주파수 대역용 안테나로 적합한 것임을 알 수 있다.

그림 3에서 U-슬롯의 폭(Wu)을 14.5 mm(Ant. D), 15.5 mm(Ant. C), 16.5 mm(Ant. E)로 각각 가변시켜 임피던스 특성을 살펴보았다. U-슬롯의 폭이 증가할수록 작은 루프가 시계방향으로 이동하였다. 즉 안테나의 중심 주파수만 이동될 뿐 임피던스 대역폭 자체는 거의 유사한 특성을 나타냈다. 결론적으로 U-슬롯의 폭은 인접하는 두 공진 주파수의 폭을 변화시키는 것으로 예상된다. 그림 4에서 U-슬롯의 두께(B)를 각각 3.125 mm(Ant. I), 3.375 mm(Ant. A),

4mm(Ant. J)로 변화시켰을 때 임피던스 특성을 나타냈다. U-슬롯의 두께가 증가할수록 작은 루프가 시계방향으로 이동하였으며 이러한 경우, 임피던스 대역폭은 거의 유사한 특성을 나타냈다.

사각형 패치의 폭(W)과 길이(L)의 변화에 따라서도 임피던스 특성이 변화하므로 그 결과를 그림 5에 나타냈다. 즉 사각형 패치의 폭과 길이가 71×55 mm(Ant. A), 71×56 mm(Ant. G), 69.5×54 mm(Ant. F)인 치수의 안테나를 시뮬레이션한 결과이다. 안테나 A와 G는 패치의 폭을 고정하고 길이만 가변시켜 임피던스 정합한 결과이며 안테나 F는 패

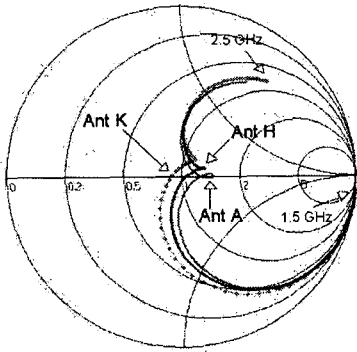


그림 6. Probe 급전위치(Wd)에 따른 안테나의 임피던스 궤적
 Fig. 6. Impedance loci for antennas with different location of probe feed.

치의 폭과 길이를 동시에 가변시켜 임피던스 정합한 결과이다. 그림 5에서 사각형 패치의 크기가 증가할수록 작은 루프가 반시계 방향으로 이동하는 것을 알 수 있으며 패치의 폭보다는 길이의 변화에 민감한 특성을 나타냈다.

그림 6에서 probe 급전위치(Wd)를 31.5 mm(Ant. H), 32.5 mm(Ant. A), 30.5 mm(Ant. K)로 가변시켰을 때의 임피던스 특성을 나타냈다. 급전위치를 수평슬롯에 근접시킬수록 임피던스 궤적이 반시계 방향으로 이동하며 대역폭이 증가하는 것을 알 수 있다.

III. 안테나의 제작 및 측정결과

안테나 제작에 사용된 유전체 기판은 Tarconic社의 비유전율(ϵ_r)이 2.17, 기판두께가 0.508 mm인 TLX 기판을 사용하였다. 앞 절에서 설명한 것과 같이 U-슬롯 안테나의 특성에 영향을 미치는 다수의 파라미터들을 가변시켜 다양한 시뮬레이션을 수행하였다. 따라서 안테나 제작에 필요한 설계 파라미터는 표 1의 안테나 A 모델을 사용하였다. 그림 7이 안테나 A를 설계 파라미터로 제작하여 측정된 결과와 시뮬레이션한 결과를 비교한 것이다. 그림 7에 도시한 결과는 단일소자 안테나의 결과이다. 전압 정재파비 2이하인 조건($VSWR \leq 2$)으로 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 비교한다면 시뮬레이션 결과는 84 MHz(21.1%)이며 측정 결과는 310.1 MHz(17.1%)

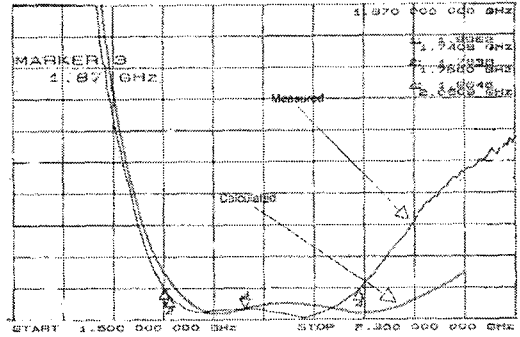


그림 7. 계산 및 측정된 전압 정재파비의 비교
 Fig. 7. Comparison between the calculated and measured VSWR.



그림 8. 제작된 U-슬롯 어레이 안테나
 Fig. 8. Fabricated u-slot array antenna.

이다. 2 GHz 이하의 주파수에서 단일소자 안테나의 임피던스 대역폭 17.1 %는 다른 구조의 안테나에 비교하면 상당히 좋은 특성임을 알 수 있다^[10].

그림 8에서 4개 소자를 선형 배열하여 제작한 U-슬롯 어레이 안테나를 도시하였다. U-슬롯이 구성된 사각형 패치와 접지면과의 공기층 높이는 플라스틱 나사를 이용하였다. 제작된 안테나의 크기는 15×50 cm이며 다이폴 어레이 안테나와 비교 시 15 % 이상 작은 크기이다. 각 안테나 소자들은 semi-rigid 케이블을 이용하여 급전하고 안테나의 뒷면에 부착된 전력 분배기에 결선하였다. 접지면은 가공이 용이하도록 금속재질을 사용하지 않고 접지면이 양면인 PCB 원판을 사용하였다. 따라서 각 안테나 소자의 직하단에서 급전하는 구조를 사용하였다. 제작된 안테나는 단일소자 4개를 선형 배열하였기 때문에 4분기 전력분배기가 필수적이다. 따라서 본 논문에서는 윌킨슨 방식을 이용한 4분기 전력분배기를 제작하였다. 그림 9에 제작된 전력분배기와 삽입손실을 측정한 결과를 도시하였다. 삽입손실은 PCS 주파수 대역에서 -6.1 dB로 이론적인 값 -6 dB에

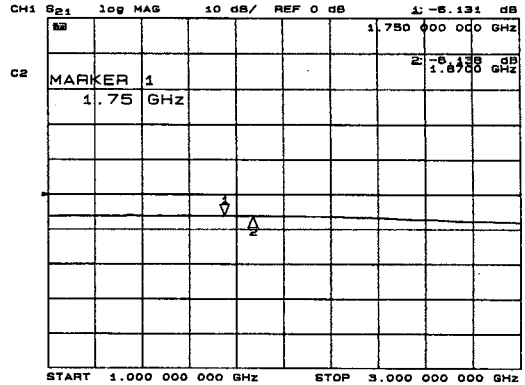
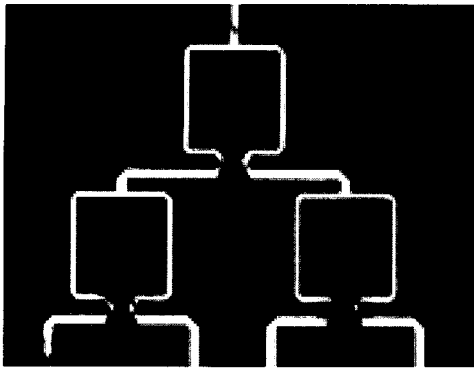
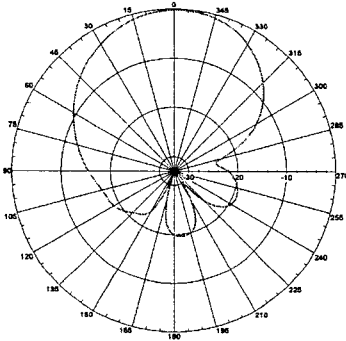
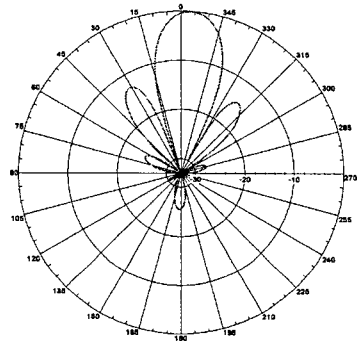


그림 9. 제작된 전력분배기 및 삽입손실
Fig. 9. Fabricated power divider and insertion loss.



(a)



(b)

그림 10. 측정된 복사패턴. (a) H-패턴, (b) E-패턴
Fig. 10. Measured radiation patterns. (a) H-plane, (b) E-plane.

근접한 좋은 특성을 나타냈다.

제작된 안테나의 복사패턴을 주파수 1855 MHz에서 측정하여 그림 10에 나타냈다. 안테나의 수평빔폭 65°, 수직빔폭 17.6°로 측정되었다. 전후방비의 측정기준을 후방 $\pm 60^\circ$ 로 기준한다면 H-패턴에서 18.6 dB, E-패턴에서 27 dB이다. 또한 수직빔의 좌우 사이드로브 레벨은 각각 -13.6 dB와 -14.8 dB이다. 또한 PCS 주파수 대역 내의 타 주파수에서도 거의 유사한 복사특성을 유지하였다.

안테나의 임피던스 대역폭을 확인하기 위해서 그림 11에 측정된 결과를 나타냈다. 단일소자의 임피던스 대역폭 17.1%는 어레이 안테나로 확장하여도

거의 유사한 결과를 나타냈다. 스미스 차트상에 나타난 임피던스 궤적은 큰 루프 내에 다시 작은 루프가 전압 정재파비가 1인 지점에 위치한 것으로 볼 때 이중공진에 의한 광대역 특성임을 확인해 준다.

제작된 어레이 안테나의 이득특성은 PCS 주파수 대역내에서 12.65~13.05 dB이며 단일소자의 경우는 7.81~8.57 dB로 비교적 평탄한 특성을 나타냈다. 다이폴 어레이 구조의 안테나에 비교하면 약 0.5 dB 정도가 높은 수치이다. 이들의 비교특성은 그림 12에 나타냈다. 안테나의 복사패턴과 이득측정은 구형 anechoic chamber에 설치된 (미)NSI社의 근역장 측정장비를 이용하였다.

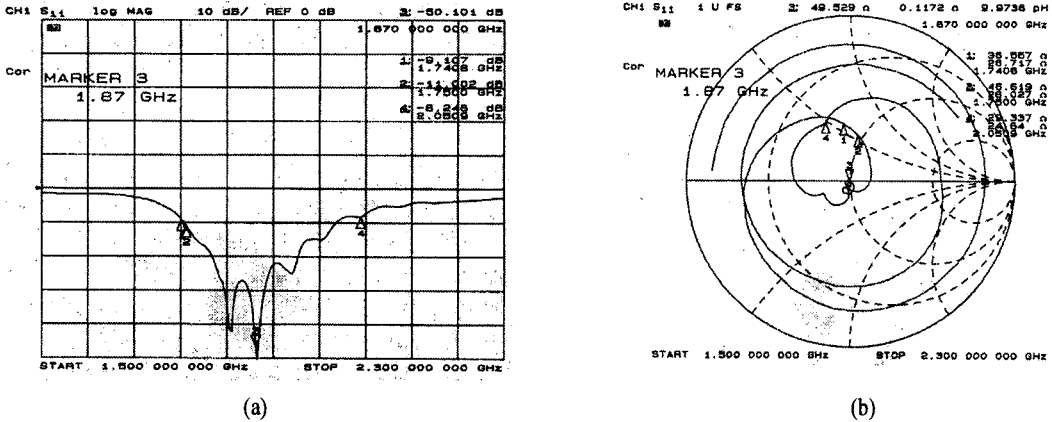


그림 11. 어레이 안테나의 측정결과. (a) 반사손실, (b) 스미스 차트
 Fig. 11. Measured results for an array antenna. (a) return loss, (b) smith chart.

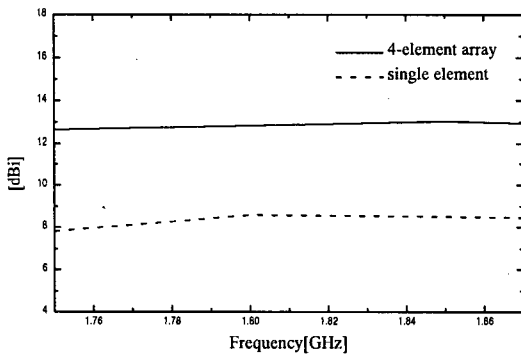


그림 12. 어레이 안테나의 측정이득
 Fig. 12. Measured gain of array antenna.

이상과 같이 제작된 안테나의 특성은 H-패턴에서의 전후방비와 반사손실에서의 주파수 편이는 다소 부족함이 있으나 안테나의 전체적인 설계목표에 대부분 만족하였다.

IV. 결 론

최근 국내에서도 이동통신 환경의 변화에 따라 수많은 이동통신 기지국이 설치되어 도시의 환경문제로 까지 비화되고 있는 실정이다. 따라서 현재와 같이 설치되고 있는 기지국은 머지않아 환경 친화형 기지국으로 점차 바뀌지 않으면 안될 것으로 예상된다. 기지국 안테나를 환경 친화형으로 만들기 위해서는 현재 사용하고 있는 다이폴 어레이 구조

방식보다는 본 논문에서 연구된 U-슬롯 어레이 안테나와 같은 박형 경량의 안테나가 매우 유리한 장점을 지니고 있다. 특히 U-슬롯 안테나는 적층 구조가 아닌 단층 구조이면서 광대역 특성을 가지고 있어 다른 평면형 안테나의 비해서 다양한 용도로 사용이 가능하다.

본 논문에서 설계된 U-슬롯 어레이 안테나는 단층기판을 사용하여 17%의 임피던스 대역폭, 주파수 변화에 따른 0.4 dB 이내의 평탄한 이득특성 등은 기존 마이크로스트립 안테나의 단점을 극복할 수 있는 좋은 대안으로 예상된다. 제작된 안테나는 유전체 기판을 사용하여 U-슬롯이 구성된 사각형 패치를 설계하였으나 금속재질로 교체한다면 안테나의 제작상 문제를 해결할 수 있어 향후 기지국용 안테나로의 많은 이용이 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] 국내 이동통신 가입자 통계, 월간 모바일컴, pp. 113-115, 6월호, 2000.
- [2] K. Hirasawa and M. Haneishi, *Analysis, Design, and Measurement of Small and Low-Profile Antennas*, Artech House, pp. 125-156, 1992.
- [3] H. F. Pues and A. R. Van De Capelle, "An impedance matching technique for increasing the bandwidth of microstrip antennas," *IEEE*

Trans. on Antennas and Propagation, vol. 37, no. 11, pp. 1345-1354, 1989.

- [4] G. Kumar and K. C. Gupta, "Broadband microstrip antennas using additional resonators gap-coupled to the radiating edges," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 32, no. 12, pp. 1375-1379, 1984.
- [5] K. F. Lee, etc., "Experimental and simulation studies of the coaxially fed u-slot rectangular patch antenna," *IEE Proc.-Microw. Antennas Propag.*, vol. 144, no. 5, pp. 354-358, 1997.
- [6] K. F. Lee, K. M. Luk, Y. L. Yung, K. F. Tong, and T. Huynh, "Experimental study of the rectangular patch with a u-shaped slot," *IEEE*

APS Inter. Symp. Dig., pp.10-13, 1996.

- [7] 유명완, 이범선, 개구 결합 급전방식의 Ku밴드 U슬롯 마이크로스트립 안테나 설계 및 제작, 한국전자과학회 논문지 제10권 제4호, pp.636-644, 1999. 8월
- [8] K. F. Lee and W. Chen, *Advanced in Microstrip and Printed Antennas*, John Wiley & Sons, Inc., pp.71-73, 1997.
- [9] R. A. Sainati, *CAD of Microstrip Antennas for Wireless Applications*, Artech House, pp. 138-145, 1996.
- [10] Y. Suzuki and T. Chiba, "Designing method of microstrip antenna considering the bandwidth," *Trans. IEICE*, vol. E67, pp. 488-493, 1984.

전 주 성



1999년 8월: 한국항공대학교 통신
과(공학박사)
1988년 6월~1995년 6월: LG전자
중앙연구소 선임연구원
1995년 6월~1996년 11월: 전자부
품연구원(KETI) 선임연구원
1996년 11월~현재: 한국통신엠닷

컴(주) 차장

[주 관심분야] 이동통신용 안테나 및 DBS용 안테나 설계,
CDMA RF 파라미터 해석