

PCS 및 IMT-2000 이중 대역용 삼각형 U-슬롯 패치 안테나

Triangular U-slot Patch Antenna for PCS & IMT-2000 Dual Band

전 주 성

Joo-Seong Jeon

요 약

본 논문에서는 PCS와 IMT-2000 이중대역용 삼각형 U-슬롯 패치 안테나를 연구하였다. 삼각형 U-슬롯 패치 안테나의 주파수 대역폭은 L-스트립 급전구조에 의해서 증가시킬 수 있었다. 제작된 단일소자의 주파수 대역폭 ($VSWR \leq 2$)은 590 MHz(30.18 %)이다. PCS와 IMT-2000 주파수대역에서 $VSWR$ 1.65 이하의 좋은 특성을 확인하였다. 따라서 L-스트립 급전구조의 광대역 특성을 실험적으로 확인하였다.

Abstract

In this paper, the triangular u-slot patch antenna for the PCS & IMT-2000 dual band are studied. The frequency bandwidth of a triangular u-slot patch antenna can be increased by L-strip fed structure. The impedance bandwidth($VSWR \leq 2$) of the fabricated single element is 590 MHz(30.18 %). Using the frequency bandwidth of PCS & IMT-2000, we confirm $VSWR$ below 1.65, which is a good characteristic. Thus the wideband characteristic of the L-strip fed structure is confirmed experimentally.

I. 서 론

차세대 이동통신 서비스인 IMT-2000은 현재 사용중인 음성 위주 이동통신 서비스의 한계를 벗어나 무선 멀티미디어 서비스까지 가능한 기술로 발전할 예정이다. 이에 따라 차세대용 단말기나 기지국 통신시스템 등을 구현하기 위한 무선접속 방식, 전력제어 등과 무선 네트워킹 등에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 기존에 제공되는 2세대 서비스와 3세대 신규 서비스를 하나로 통합할 수 있는 안테나 기술은 상대적으로 비중이 많지 않은 듯싶다. 그러나 이는 2세대와 3세대 이동통신의 활성화를 위해서도 필수적인 요소이며 도시에 있는 기

지국 설치공간의 포화상태를 해결하기 위해서도 필수적이다.

현재 사용중인 이동통신 기지국용 안테나의 대부분이 다이폴 어레이 구조이다. 다이폴 어레이 구조는 설계가 용이한 반면 안테나의 주파수 대역폭이 제한되어 PCS와 IMT-2000 이중 대역용으로는 부적합하다. 그러므로 이러한 문제점 개선을 위한 많은 연구가 진행되었다^[1]. 특히 마이크로스트립 안테나의 주파수 특성개선을 위한 연구는 기생소자를 적층하거나 주위에 배열하는 방법 등으로 20 % 이상의 광대역 특성을 얻을 수 있지만 마이크로스트립 안테나의 low profile 장점과 부합되는 한계점을 가지고 있다.

KTF(주) TCS팀(KTF TCS Team)

· 논문 번호 : 20010626-084

· 수정완료일자 : 2001년 7월 27일

최근 이 같은 단점을 보완하기 위해서 K. F. Lee 에 의해서 사각형 U-슬롯 패치 안테나가 제안되었다^{[2],[3]}. 사각형 U-슬롯 패치 안테나는 적층구조를 가지고 있지 않으면서도 비교적 광대역 특성을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다. K. F. Lee에 의해서 발표된 사각형 U-슬롯 패치 안테나에 관한 문헌을 살펴보면 900 MHz 주파수대역 혹은 4 GHz 부근의 주파수에서 약 30~40% 정도의 광대역 특성을 가진 것으로 보고되었다. 또한 사각형 패치보다 효율 가치면에서 다소 유리한 삼각형 U-슬롯 패치 안테나에 관한 연구는 K. L. Wong에 의해서 보고되었다^[4]. coaxial 급전구조를 가지고 있으며 1,677 MHz 주파수 대역에서 18.3%, 1,709 MHz 주파수 대역에서 17.8% 대역폭을 가진 것으로 보고되었다.

본 논문에서는 구조적인 측면에서 사각형 패치보다 많은 장점을 가진 삼각형 패치 안테나를 설계하였다. 보고된 삼각형 U-슬롯 패치 안테나를 광대역 특성으로 개선하여 PCS와 IMT-2000 이중대역, 즉 420 MHz 이상의 주파수 대역에서 사용할 수 있는 안테나를 설계하였다. 연구한 안테나는 유전체 기판을 사용하지 않으면서도 안테나의 제작이 비교적 용이한 구조로 설계하였다. 단일소자의 특성을 확인한 후 2-소자 어레이 안테나를 설계 및 제작하였다. 제작된 2-소자 어레이 안테나 특성을 측정하여 PCS와 IMT-2000 이중대역용 기지국 안테나로의 이용 가능성을 확인하였다.

II. 삼각형 U-슬롯 패치 안테나의 특성 및 설계

일반적으로 삼각형 패치 안테나는 사각형 패치 안테나에 비해서 크기가 작으면서도 복사특성은 유사하므로 어레이 안테나를 설계할 때 인접하는 복사소자들 간의 커플링을 경감시킬 수 있는 장점을 가지고 있다^[5].

삼각형 패치에 가장 쉽게 급전할 수 있는 방법은 coaxial 급전이다. coaxial 급전은 급전위치를 가변함에 따라 입력 임피던스를 쉽게 정합시킬 수 있다. 그러나 coaxial 급전은 어레이 설계가 어렵다. 또한 두꺼운 기판을 사용하는 경우 probe가 길어져 유도성 리액턴스가 증가하며 표면파 발생으로 인하여

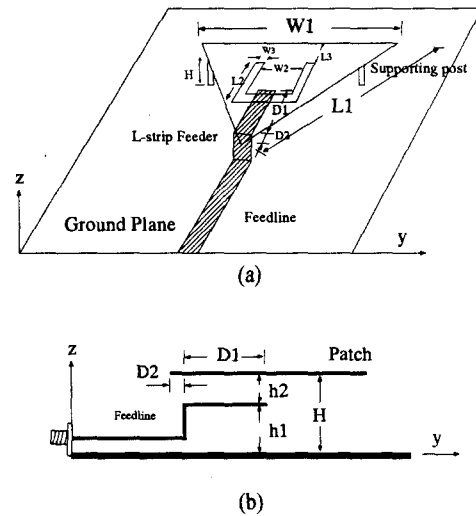


그림 1. 삼각형 U-슬롯 안테나의 구조.

(a) 3차원 구조, (b) 측면도

Fig. 1. Geometry of a triangular u-slot antenna.

(a) 3-D structure, (b) side view.

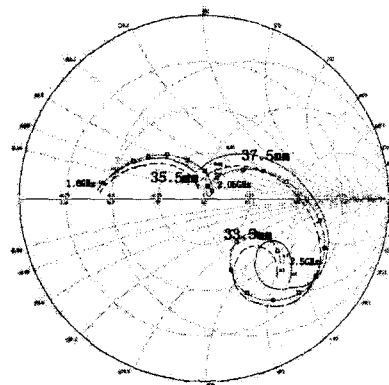


그림 2. 높이(H)에 따른 삼각형 U-슬롯 안테나의 임피던스 궤적

Fig. 2. Impedance loci for triangular u-slot antennas as a function of height(H).

안테나의 복사특성이 나빠지며 대역폭이 좁아지는 단점을 갖는다. 주파수 특성을 개선하기 위해서 annular 슬롯을 probe에 구성하여 유도성 리액턴스 성분을 보상하는 방법 등이 보고되었지만 획기적으로 주파수 대역폭을 확장하는 방법으로는 한계가 있다^[6]. 최근 이 같은 단점을 타개하기 위한 기술들이 보고되었으며 그중의 하나가 L-스트립 급전방법

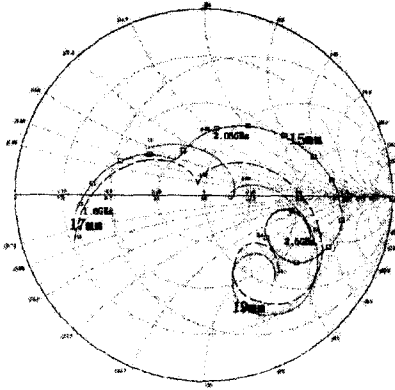


그림 3. L-스트립의 높이(h_1)에 따른 삼각형 U-슬롯 안테나의 임피던스 궤적

Fig. 3. Impedance loci for triangular u-slot antennas as a function of L-strip height(h_1).

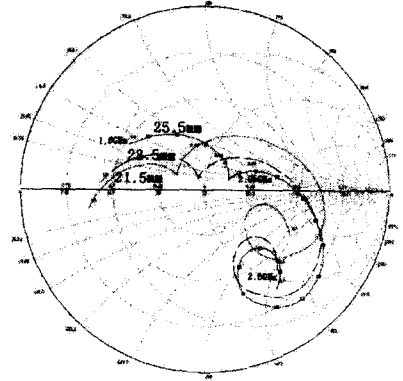


그림 4. L-스트립의 길이(D_1)에 따른 삼각형 U-슬롯 안테나의 임피던스 궤적

Fig. 4. Impedance loci for triangular u-slot antennas as a function of L-strip length(D_1).

이다^{[2],[3]}. L-스트립의 수평 급전부분은 L-스트립의 수직 급전부분에 의해서 발생하는 유도성 리액턴스 성분을 억압시킬 수 있도록 용량성 리액턴스 성분을 마련한다. 따라서 L-스트립 급전구조는 L-C공진 소자처럼 동작하며 삼각형 패치의 병렬 R-L-C공진 소자와 직렬로 연결되어 이중공진에 의한 광대역 안테나로 동작된다. 그러므로 본 논문에서는 그림 1 과 같이 L-스트립 급전방법에 의한 삼각형 U-슬롯 패치 안테나를 설계하였다.

그림 2는 삼각형 U-슬롯 패치의 높이(H) 변화에 따른 U-슬롯 안테나의 임피던스 특성을 시뮬레이션 한 결과이다. 삼각형 패치의 폭(W_1)과 길이(L_1)는 65.8 mm의 정삼각형이며 U-슬롯의 길이(L_2)는 27.5 mm, U-슬롯의 폭(W_2)은 8 mm, U-슬롯의 두께(W_3)는 1mm, L-스트립의 길이와 U-슬롯 패치가 교차되는 길이(D_1, D_2)는 각각 23.5 mm와 1 mm, L-스트립의 높이(h_1)는 17 mm, U-슬롯과 삼각형 패치 면과의 간격(L_3)은 8.4 mm, L-스트립과 U-슬롯 패치와의 높이(h_2)는 18.5 mm 인 조건에서 삼각형 U-슬롯 패치의 높이(H)를 각각 33.5($0.218 \lambda_0$), 35.5($0.231 \lambda_0$), 37.5($0.244 \lambda_0$) mm로 변화시켜 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션에 사용된 툴은 IE3D이다^[7].

시뮬레이션 결과에서 높이가 낮을수록 임피던스 궤적의 작은 루프가 스미스 차트의 하단부로 이동 하게 되며 임피던스 대역폭이 넓어지는 것으로 나

타났다.

그림 3에서 L-스트립의 높이(h_1) 변화에 따른 임피던스 특성을 시뮬레이션한 결과를 나타냈다. 시뮬레이션 조건은 삼각형 U-슬롯 패치의 높이(H)는 변화시키지 않고 고정한 상태에서 L-스트립의 높이(h_1)를 각각 15, 17, 19 mm로 변화시켰다. L-스트립 높이를 제외한 다른 파라미터들은 그림 2와 동일한 조건이다. L-스트립의 높이(h_1)를 증가시키면 임피던스 궤적이 스미스 차트의 하단부로 차츰 이동하며 대역폭도 함께 증가하는 특성을 나타냈다. 이러한 결과는 L-스트립의 높이(h_1)에 따라 삼각형 패치와의 커플링되는 값이 변화되는 것을 의미한다.

L-스트립의 길이(D_1)를 변화시키면 삼각형 U-슬롯 패치와 L-스트립 급전선과의 커플링되는 조건이 바뀌므로 안테나의 임피던스 특성이 변화된다. 그림 4에서 그 특성을 나타냈다. 시뮬레이션 조건은 삼각형 U-슬롯 패치의 높이(H)는 변화시키지 않고 고정한 상태이며 다른 파라미터들은 그림 2와 동일한 조건이다. 사각형 패치의 경우는 대략 급전선의 길이가 패치의 중간지점($\approx L/2$)에 위치할 때 최대 커플링 발생조건이 된다^[8]. 그러나 구조적으로 삼각형 패치는 사각형 패치와는 상이하므로 이러한 조건은 성립될 수 없다. 따라서 L-스트립의 길이(D_1)를 최적화하기 위해 반복 시뮬레이션을 통하여 L-스트립의 길이가 21.5($0.14 \lambda_0$), 23.5($0.153 \lambda_0$), 25.5(0.166

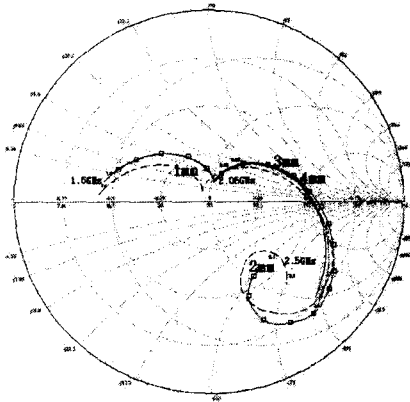


그림 5: U-슬롯 두께(W_3)에 따른 안테나의 임피던스 궤적
 Fig. 5. Impedance loci for antennas as a function of u-slot thickness(W_3).

λ_0 mm 근처에서 비교적 좋은 특성임을 확인하였다. L-스트립의 길이가 길어질수록 임피던스 궤적은 스미스 차트의 오른쪽으로 이동하였다. 그 중 23.5($0.153 \lambda_0$) mm일 때 50Ω 에 가장 가깝게 근접시킬 수 있는 것을 확인하였다.

U-슬롯 두께(W_3)를 변화시켰을 때 안테나의 임피던스 특성이 어떻게 변화하는지를 그림 5에 나타냈다. 두께를 각각 1~4 mm 까지 변화시켰으나 특성에서 큰 변화는 나타나지 않았다.

삼각형 패치의 경우는 급전선의 길이와 패치의 폭에 따라서 커플링되는 값이 가장 민감하게 변화된다^[8]. 그러나 삼각형 U-슬롯 안테나의 특성에서 가장 민감하게 작용하는 것은 L-스트립의 높이(h_1)와 L-스트립 길이(D_1) 그리고 패치의 폭(W_1)의 변화이다. 이것은 삼각형 패치와 L-스트립 급전선과의 커플링되는 값이 이들 파라미터에 의해서 크게 좌우됨을 의미한다.

또한 삼각형 U-슬롯의 특성상 두개의 공진 모우드가 나타나는데 고차 공진 모우드는 U-슬롯 길이(L_2)에 의해서, 저차 공진 모우드는 U-슬롯의 기타 다른 파라미터 들에 의해서 민감하게 변화된다^[4].

III. 안테나의 제작 및 측정결과

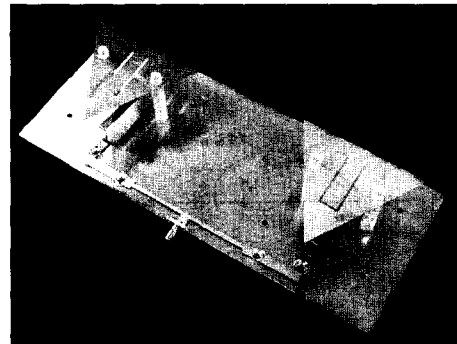
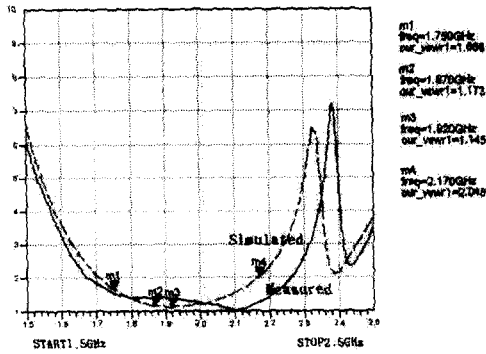


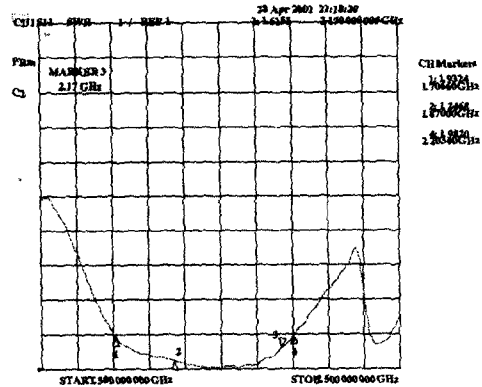
그림 6. 제작된 삼각형 U-슬롯 안테나
 Fig. 6. Fabricated triangular u-slot antenna.

앞장의 시뮬레이션 결과들을 토대로 안테나를 제작하였다. 먼저 단일소자를 제작하여 안테나의 여러 특성들을 확인한 후, 2-소자 어레이 안테나를 설계 및 제작하였다. 제작된 단일소자의 각 파라미터는 다음과 같다. 삼각형 패치의 폭(W_1)과 길이(L_1)는 65.8 mm, U-슬롯의 길이(L_2)는 27.5 mm, U-슬롯의 폭(W_2)은 8 mm, U-슬롯의 두께(W_3)는 1 mm, L-스트립의 길이와 U-슬롯 패치가 교차되는 길이(D_1, D_2)는 각각 23.5($0.153 \lambda_0$) mm와 1 mm, L-스트립의 높이(h_1)는 17 mm, L-스트립과 U-슬롯 패치와의 높이(h_2)는 18.5 mm, 삼각형 U-슬롯 패치의 높이(H)는 35.5($0.231 \lambda_0$) mm 이다. 단일소자의 설계목표는 최소 420 MHz 이상의 대역폭에서 $VSWR \leq 2$ 의 조건과 6 dBi 이상의 이득을 만족하는 조건이다.

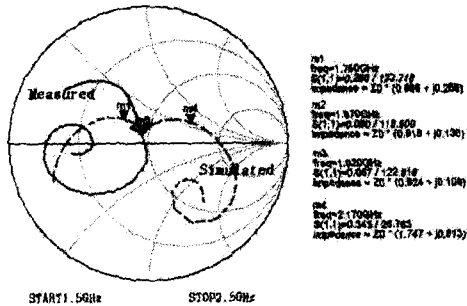
그림 6에서 제작된 2-소자 어레이 안테나를 도시하였다. 패치는 0.3 mm, 접지면은 1 mm 두께의 황동판을 절삭가공 하였으며 U-슬롯은 안테나의 공진 주파수와 관련됨에 따라 wire-cutting 정밀가공으로 제작오차를 방지하였다. 급전 네트워크는 유전체 기판을 사용하지 않는 에어-마이크로스트립(air-microstrip) 구조로 설계하여 제작공정을 단순화 시켰다. 단일소자 안테나를 시뮬레이션한 결과와 측정된 결과를 그림 7에서 비교하였다. $VSWR \leq 2$ 인 조건으로 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 주파수 대역폭으로 비교한다면 시뮬레이션 결과는 470 MHz (24 %)이며 측정 결과는 590 MHz(30.18 %) 이다. 그림 7에 나타난 측정 결과와 시뮬레이션 결과에서 두 곡선의 유형은 비교적 일치하였으나 측정된 결과가



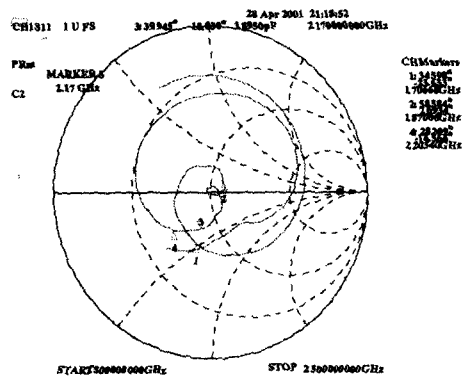
(a)



(a)



(b)



(b)

그림 7. 단일소자 측정결과.

(a) VSWR, (b) 스미스 차트

Fig. 7. Measured results of the single element.

(a) VSWR, (b) smith chart.

더 넓은 대역폭을 가지는 것으로 확인되었다. 두 결과에서의 차이는 급전 커넥터 부분이 시뮬레이션 툴인 IE3D에 표현되지 않았기 때문으로 생각된다. K. L. Wong에 의한 삼각형 U-슬롯 안테나에 관한 연구는 coaxial 급전구조이며 주파수 대역폭은 1,677 MHz에서 18.3 %, 1,709 MHz에서 17.8 %로 보고되었다^[4]. 따라서 마이크로스트립 안테나의 급전구조는 주파수 특성을 좌우하는 중요한 파라미터임을 알 수 있다. 마이크로스트립 안테나의 주파수 특성을 개선하기 위해서는 필수적으로 L-스트립과 같은 급전구조의 개선이 필수적으로 동반되어야 할 것으로 생각된다.

2-소자 어레이 안테나의 급전 네트워크는 대칭형 T-junction 분배기를 사용하여 단일소자에 균등하게

그림 8. 2-소자 어레이 안테나의 측정결과.

(a) VSWR, (b) 스미스 차트

Fig. 8. Measured results of the 2-element array antenna. (a) VSWR, (b) smith chart.

전력이 분배될 수 있도록 설계하였다. 제작된 2-소자 어레이 안테나의 특성을 그림 8에 나타냈다. 측정결과, PCS와 IMT-2000 주파수 대역 내에서 $VSWR \leq 1.65$ 의 양호한 특성을 확인하였다. $VSWR \leq 2$ 조건일 때 496.8 MHz(25.4%)로 단일소자의 경우에 비해서 다소 대역폭이 축소되는 결과를 얻었다. 이것은 T-junction 분배기 등에 의한 임피던스 부정합의 영향으로 생각된다.

제작된 안테나의 복사패턴을 1,870 MHz에서 측정하여 그림 9에 나타냈다. 단일소자의 복사특성은 수평빔폭 45.3°, 수직빔폭 44.9°이며 2-소자 어레이는 수평빔폭 31.9°, 수직빔폭 42.8°이다.

제작된 안테나의 이득특성을 PCS와 IMT-2000

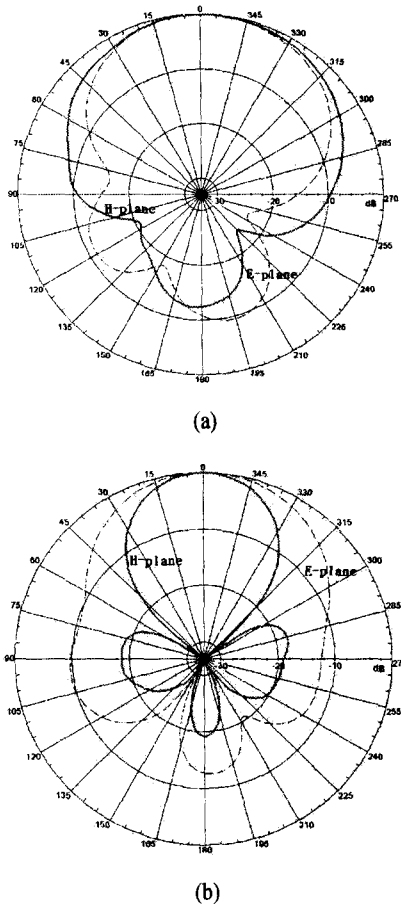


그림 9. 측정된 복사패턴.
 (a) 단일소자, (b) 2-소자 어레이 안테나
 Fig. 9. Measured radiation patterns.
 (a) single element, (b) 2-element array.

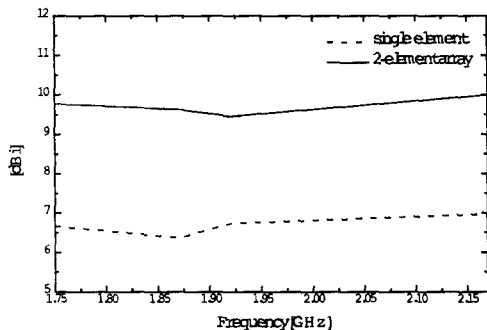


그림 10. 측정 이득
 Fig. 10. Measured gain.

주파수 대역을 중심으로 측정하여 그림 10에 나타났다. 단일소자 안테나의 경우, 6.37~6.99 dBi로 안테나의 설계목표를 만족하는 것으로 확인되었다. 2-소자 어레이 안테나의 이득은 9.45~9.99 dBi로 비교적 평탄한 특성을 나타냈으며 두 안테나의 최대이득은 동일하게 2.17 GHz에서 나타났다. 단일소자와 2-소자 어레이 안테나의 이득에서 3dBi 이상의 차이가 발생하는 이유는 측정장비의 오차로 생각된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 PCS와 IMT-2000 이중대역에서 사용할 수 있는 삼각형 U-슬롯 패치 안테나를 연구하였다. 기존에 보고되었던 삼각형 U-슬롯 안테나의 주파수 대역폭이 18.3 %로 나타났으나 본 논문에서는 안테나의 급전구조를 개선하여 30.18 %의 광대역 특성을 확인하였다.

삼각형 패치 안테나는 사각형 패치에 비해서 크기가 작으면서도 복사특성은 유사하므로 어레이 안테나 설계에서 좋은 장점으로 부각될 수 있다. 특히 본 논문의 안테나는 급전 네트워크를 에어-마이크로 스트립 구조로 설계하여 제작공정을 단순화 시켰을 뿐만 아니라 기지국용 안테나와 같이 200 Watt 이상의 대출력을 사용하는 경우에도 적용이 가능하다.

따라서 본 논문에서 연구한 결과는 PCS 및 IMT-2000 이중대역 서비스용 기지국 안테나 설계에 이용될 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] K. C. Gupta and A. Benalla, *Microstrip Antenna Design*, Artech House, pp. 263-300, 1988.
- [2] K. F. Lee, et al., "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.
- [3] C. L. Mak, K. M. Luk and K. F. Lee, "Microstrip line-fed L-strip patch antenna", *IEE Pro.-Microw. Antennas Propag.*, vol. 146, no. 4, pp. 282-284, 1999.

- [4] K. L. Wong and W. H. Hsu, "Broadband triangular microstrip antenna with U-shaped slot", *Electronics Letters*, vol. 33, no. 25, pp. 2085-2087, 1997.
- [5] R. Garg, P. Bhartia and I. Bahl, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Artech House, pp. 425-436, 2001.
- [6] P. S. Hall, et al., "Probe compensation in thick microstrip patches", *Electronics Letters*, vol. 23, pp. 606-607, 1987.
- [7] IE3D, Zealand Software, Inc.
- [8] R. A. Sainati, *CAD of Microstrip Antennas for Wireless Applications*, Artech House, pp. 85-89, 1996.

전 주 성



1999년 8월: 한국항공대학교 항공
통신정보공학과(공학박사)
1988년 6월~1995년 6월: LG전자
중앙연구소 선임연구원
1995년 6월~1996년 11월: 전자부
품연구원(KETI) 선임연구원
1996년 11월~현재: KTF(주) 차장
[주 관심분야] 이동통신용 안테나

설계, CDMA 파라미터 RF분석