

이동통신용 광대역 U-슬롯 패치 안테나 설계

Design of Wide Band U-slot Patch Antennas for Mobile Communications

전 주 성

Joo-Seong Jeon

요 약

본 논문에서는 급전구조에 따른 U-슬롯 안테나의 특성들을 계산하였으며 측정결과와 비교하였다. probe 급전의 경우 13 %(255.1 MHz), L-스트립 급전의 경우 30.7 %(602.1 MHz)의 임피던스 대역폭을 각각 얻었다. 설계된 L-스트립 급전은 U-슬롯 안테나의 대역폭을 확장할 수 있음을 알 수 있었다. 게다가 설계된 L-스트립 급전 U-슬롯 안테나는 국내 PCS와 IMT-2000 밴드의 이중 대역용으로 사용될 수 있음을 확인하였다.

Abstract

In this paper, the characteristics of u-slot antennas are computed by changing the feed structure, and compared with the measured results. The impedance bandwidths of 13 %(255.1 MHz) and 30.7 %(602.1 MHz) are obtained for probe feed and L-strip feed, respectively. It is known that the designed L-strip feed can be used for increasing the bandwidth of u-slot antennas. In addition, it is shown that the designed L-strip fed u-slot antenna can be used for domestic PCS and IMT-2000 dual band applications.

I. 서 론

2세대 디지털 이동통신 서비스를 시작한 이래로 가입자는 폭발적인 증가로 이어지고 있으며 이동통신 기술 또한 급속도로 발전을 거듭하고 있다. 또한 국내외적으로 3세대 이동통신 서비스인 IMT-2000 서비스 사업자 선정이 완료되고 있는 상황이다. 국내에서도 기존의 이동통신 서비스 사업자 위주로 차세대 이동통신 사업자가 선정되었다. 따라서 기존 이동통신 서비스 사업자들이 차세대 이동통신 네트워크를 설계할 때 가장 현안으로 대두된 것 중의 하나가 도심에서의 기존 기지국 시설의 재활용이다. 즉 도심 내에서의 기지국 설치공간의 제한과 기지국 난립에 따른 환경영향, 안테나 설치비용 등을 고려

할 때 2세대와 3세대 이동통신 겸용의 안테나 개발은 시급하다고 볼 수 있다.

기지국용 안테나 형상에 적합한 마이크로스트립 안테나는 주파수 대역폭이 좁은 단점을 갖고 있다. 따라서 최근의 마이크로스트립 안테나에 관한 연구의 대부분은 주파수 대역폭 특성을 개선할 수 있는 방법에 주안점을 두고 있다. 기생소자를 적층하지 않고서도 비교적 넓은 주파수 대역폭을 얻을 수 있는 U-슬롯 안테나는 4.5 GHz에서 29.5 %, 4.46 GHz에서 26.4 %, 3~4 GHz에서 32.4 %의 대역폭을 가진 것으로 보고되었다^{[1]-[3]}. 또한 마이크로스트립 안테나의 probe 급전구조를 개선하여 광대역 특성을 얻을 수 있는 L-스트립 급전에 관한 연구가 K. F. Lee에 의해서 최초로 제안되었는데, 4.5 GHz에서

KTF(주) TCS팀(KTF TCS Team)

· 논문 번호 : 20010514-065

· 수정완료일자 : 2001년 8월 7일

35 %의 대역폭을 얻었으며 적층 패치에 의한 대역 폭 확장기술 등도 보고되었다^{[4]-[6]}.

본 논문에서는 U-슬롯 패치 안테나의 급전구조를 변화시켜 그에 따른 안테나의 제반특성을 고찰하였다. 즉 probe급전과 L-스트립 급전에 따른 U-슬롯 안테나 특성들을 각각 고찰하였다. 설계된 안테나는 PCS와 IMT-2000용 이중 대역에서 사용할 수 있도록 420 MHz 이상의 광대역 특성구현에 주안점을 두었다.

본 논문의 L-스트립 급전 U-슬롯 안테나는 K. F. Lee가 제안한 급전구조를 개선하여 에어-마이크로 스트립(air-microstrip) 급전선으로 안테나를 설계하였다. 따라서 제작공정이 단순화되어 안테나를 대량으로 제작할 때도 균일한 특성을 재현할 수 있을 뿐만 아니라 대출력을 사용하는 이동통신 기지국에서도 적용이 가능하다. 또한 연구된 안테나는 유전체 기판을 사용하지 않는 구조로 제작하여 그 특성을 확인함으로써 향후 산업적인 이용이 가능할 것으로 예상된다.

II. 급전구조에 따른 U-슬롯 안테나의 설계

2-1 Probe급전에 의한 U-슬롯 안테나

Probe급전에 의한 U-슬롯 안테나의 구조는 그림 1과 같다. Probe 급전은 단순한 구조 때문에 가장 널리 쓰이는 급전방식이다. 이 방식은 패치의 도체면에 물리적으로 접합을 시키므로 임피던스 정합은 쉬우나 임피던스 대역폭이 좁은 단점을 가지고 있다^[7]. 일반적으로 probe 급전구조는 어레이 구성이 용이하지 못한 점, 두꺼운 기판을 사용하는 경우 probe가 길어져 유도성 리액턴스가 증가한다는 점, 그리고 표면파 발생으로 인하여 안테나 복사특성이

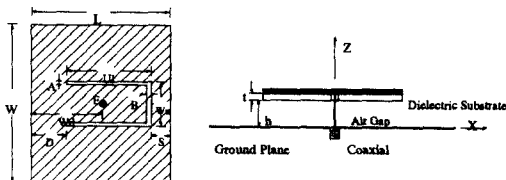


그림 1. Probe 급전 U-슬롯 안테나
Fig. 1. Probe-fed u-slot antenna.

나빠지는 단점을 갖는다.

U-슬롯 안테나는 사각형 패치 내에 U-슬롯을 낸 구조이므로 U-슬롯 자체의 공진과 사각형 패치의 공진특성이 서로 결합하여 광대역 특성을 가진다고 보고되었다^[4]. 일반적으로 마이크로스트립 패치 안테나에서는 기판두께가 일정 이상을 초과하면 유도성 리액턴스 성분이 존재하여 임피던스 정합이 쉽지 않다. 그러나 U-슬롯 안테나는 전기적으로 두꺼운 구조를 가져도 probe 직경을 증가시키면 유도성 리액턴스 성분을 억압시킬 수 있다. 즉 U-슬롯 안테나의 probe로 인하여 발생하는 입력 임피던스의 유도성 리액턴스 성분은 probe의 직경을 증가시킴으로써 용량성 리액턴스 성분을 증가시킬 수 있으므로 입력 임피던스를 50 Ω에 근접시킬 수 있다^[8].

그림 2는 probe 직경(F)을 변화시키면서 U-슬롯 안테나의 임피던스를 계산한 결과이다. 시뮬레이션은 MOM(methods of moment) 방법에 기초한 상용 시뮬레이터인 IE3D를 사용하였다^[9]. 기판의 비유전율(ϵ_r)은 2.17, 기판의 두께(t)는 0.508 mm, probe 높이(h)는 14.5 mm, 패치의 폭(W)은 71 mm, 길이(L)는 55 mm, 급전점의 위치(Wa)는 32.5 mm이며 U-슬롯의 길이(U)는 40.75mm, U-슬롯의 폭(Wu)은 15.5 mm이며 두께(A, B)는 각각 1.75 mm, 3.375 mm이다. 이 같은 파라미터들을 고정한 상태에서 probe 직경(F)

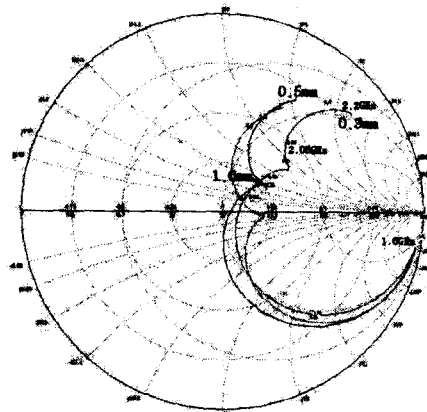


그림 2. probe 직경(F)에 따른 U-슬롯 안테나의 임피던스 궤적
Fig. 2. Impedance loci of u-slot antennas as a function of probe diameter(F).

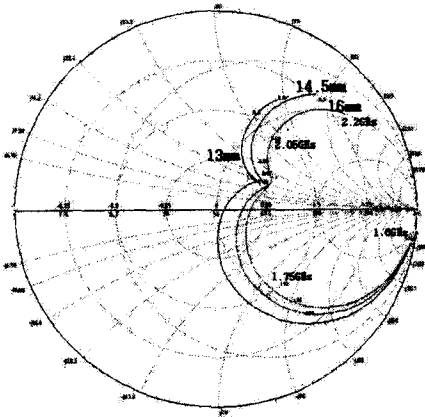


그림 3. probe 높이(h)에 따른 U-슬롯 안테나의 임피던스 궤적
 Fig. 3. Impedance loci of u-slot antennas with respect to a probe height(h).

을 0.3 mm, 0.5 mm, 1.0 mm로 가변시켰다.

probe 직경이 작으면 유도성 리액턴스 성분 때문에 임피던스 궤적이 스미스 차트의 상단부에 위치하게 된다. 그러나 probe 직경이 증가할수록 용량성 리액턴스 성분이 증가하므로 임피던스 궤적을 50Ω 부근으로 이동시킬 수 있다.

그림 3은 probe 높이(h) 변화에 따른 U-슬롯 안테나의 임피던스 특성을 나타냈다. probe 직경(F)을 0.5 mm로 하고 다른 파라미터들은 앞에서 언급한 그림 2의 시뮬레이션 조건과 같은 상황에서 probe 높이를 13, 14.5, 16 mm로 각각 가변시키면서 시뮬레이션하였다. 그 결과, probe 높이(h)가 높아지면 임피던스 궤적의 작은 루프 방향이 오른쪽으로 이동하므로 대역폭이 좁아진다. 그러므로 그림 3의 경우는 probe 높이가 13 mm일 때 가장 넓은 대역폭을 갖는다.

U-슬롯 안테나의 특성에 영향을 미칠 수 있는 또 하나의 파라미터는 U-슬롯 수직두께(B)이며, 수직두께(B) 변화에 따른 시뮬레이션 결과를 그림 4에 나타냈다. 시뮬레이션 조건은 probe 직경(F)과 높이(h)를 각각 0.5 mm, 14.5 mm로 고정하고 기타 파라미터들은 그림 2의 조건과 동일하다. 그리고 U-슬롯의 길이(U)는 40.75 mm로 고정시킨 상태에서 U-슬롯의 수직두께(B)만 1.375, 3.375, 5.375 mm로 각각 변화시켰다. 그림 4에서 U-슬롯의 수직두께를 증가시키면

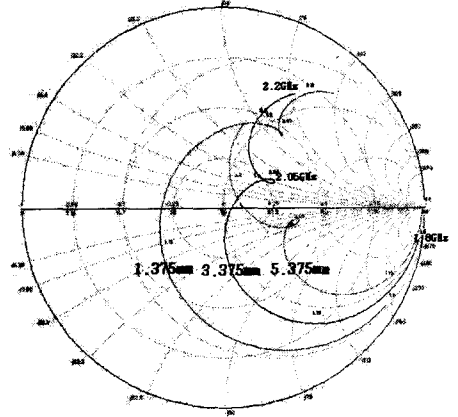


그림 4. U-슬롯 수직두께(B)에 따른 U-슬롯 안테나의 임피던스 궤적
 Fig. 4. Impedance loci for antennas with different u-slot vertical thickness(B).

임피던스 궤적 내의 작은 루프가 스미스 차트 중심으로 이동하여 대역폭이 넓어지는 것을 알 수 있다.

이상과 같이 probe 급전형 U-슬롯 안테나를 설계하기 위해서는 probe의 직경과 높이, U-슬롯의 수직두께 등을 적절하게 최적화하는 노력이 필요할 것으로 예상된다.

2-2 L-스트립 급전에 의한 U-슬롯 안테나

Probe 급전에 의한 U-슬롯 안테나는 구조가 단순한 장점은 있으나 probe 높이와 직경은 안테나를 제작할 때에 현실적으로 문제가 되며 probe 길이에 의한 유도성 리액턴스 성분 때문에 안테나 주파수 대역특성이 저하된다^[7]. 앞 절의 시뮬레이션 결과를 보면 안테나의 주파수 대역폭($VSWR \leq 2$)이 330 (350 MHz로 PCS와 IMT-2000 이중 대역에서 사용하기에는 곤란하다. 따라서 본 논문에서는 U-슬롯 안테나에 L-스트립 광대역 급전구조를 채택하여 PCS와 IMT-2000 이중 대역에서 사용할 수 있도록 안테나를 설계하였다.

그림 5에 L-스트립 급전형 U-슬롯 안테나의 구조가 도시되었다. L-스트립의 수평부분은 L-스트립의 수직부분에 의해서 야기되는 유도성 리액턴스 성분을 억압시킬 수 있도록 용량성 리액턴스 성분을 제

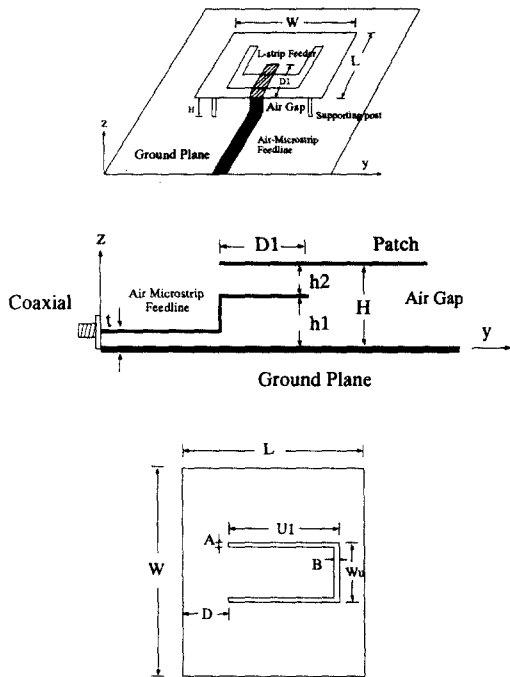


그림 5. L-스트립 U-슬롯 안테나
Fig. 5. L-strip-fed u-slot antenna.

공한다. 따라서 L-스트립 급전구조는 L-C공진소자처럼 동작하면서 패치의 병렬 R-L-C공진소자와 직렬로 연결되어 이중공진을 가능케 하여 안테나가 광대역에서 동작할 수 있도록 한다^[6]. L-스트립 급전에 의한 U-슬롯 안테나는 앞 절의 probe 급전에 의한 U-슬롯 안테나와는 달리 유전체 기판을 사용하지 않고 0.3 mm의 얇은 금속판을 사용하여 에어-마이크로스트립 급전선 구조로 설계하였다.

Probe급전과는 달리 L-스트립 급전에 의한 U-슬롯 안테나는 에어 갭의 높이(H), L-스트립의 수평부분 길이(D_1)와 높이(h_1)에 의해서 안테나의 주파수 대역폭이 민감하게 동작하였다.

그림 6은 에어 갭의 높이(H) 변화에 따른 U-슬롯 안테나의 임피던스 궤적을 나타내었다. 패치의 폭(W)은 65.8 mm, 길이(L)는 51.8 mm, U-슬롯의 길이(U)는 42.75 mm, U-슬롯의 폭(W_u)은 17.5 mm이며 두께(A, B)는 각각 1.75 mm, 3.375 mm, L-스트립의 길이(D_1)와 높이(h_1)는 26.5 mm, 13 mm인 조건에서 에어 갭의 높이(H)를 23.5, 25.5, 27.5 mm로 각각 가변시켜 시뮬레이션하였다. 에어 갭의 높이가 높으면

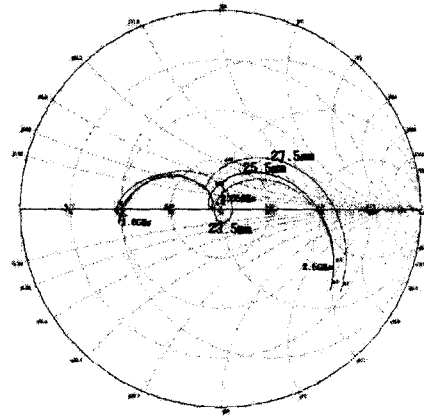


그림 6. 에어 갭(H)에 따른 U-슬롯 안테나의 임피던스 궤적
Fig. 6. Impedance loci of u-slot antennas with different air gap(H).

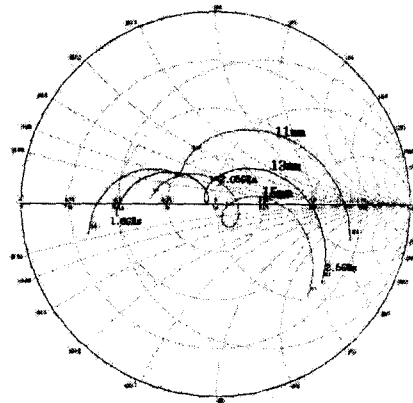


그림 7. L-스트립의 높이(h_1)에 따른 U-슬롯 안테나의 임피던스 궤적
Fig. 7. Impedance loci of u-slot antennas with different L-strip height(h_1).

대역폭이 좁아지며 임피던스 궤적이 스미스 차트의 상단부에 위치하게 되나, 높이가 낮으면 대역폭도 넓어지면서 임피던스 궤적이 50 Ω 에 근접하는 것으로 나타났다.

L-스트립의 높이(h_1) 변화에 따른 안테나 임피던스의 시뮬레이션 결과를 그림 7에 나타냈다. 시뮬레이션 조건은 에어 갭의 높이(H)가 25.5 mm이며 기타 다른 파라미터들은 그림 6과 동일한 조건에서 L-

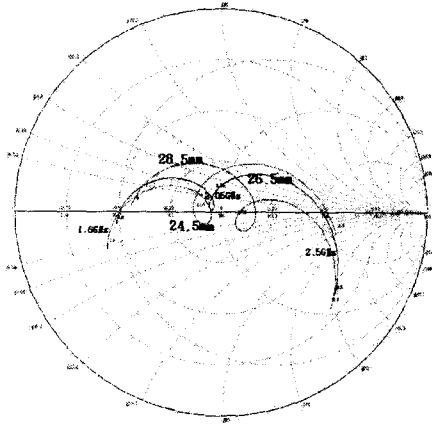


그림 8. L-스트립의 길이(D_l)에 따른 U-슬롯 안테나의 임피던스 궤적
Fig. 8. Impedance loci for u-slot antennas with different L-strip length(D_l).

스트립의 높이(h)를 11, 13, 15 mm로 각각 변화시켰다. 높이가 낮으면 임피던스 궤적이 스미스 차트의 상단부에 위치하게 되어 대역폭이 좁아지나 높이가 적절하게 높아지면 대역폭도 넓어지는 것을 알 수 있다. L-스트립의 높이가 커질수록 임피던스 궤적이 50Ω 부근에서 약간씩 하향 이동하는 특성을 나타냈다.

L-스트립의 길이(D_l)를 변화시켜도 U-슬롯 안테나의 임피던스 대역폭이 변화하는데 그 결과를 그림 8에 나타냈다. 시뮬레이션 조건은 에어 갭의 높이(H)가 25.5 mm이며 기타 다른 파라미터들은 그림 6과 동일한 조건에서 L-스트립의 길이(D_l)를 24.5, 26.5, 28.5 mm로 변화시켰다. 임피던스 궤적이 50Ω 부근에서 좌우로 이동하는 특성을 나타냄으로 임피던스 정합을 위해서는 이러한 특성을 주목해서 설계할 필요가 있을 것으로 생각된다.

마지막으로 U-슬롯 수직두께(B)를 증가시키면서 안테나 특성을 살펴보았다. probe 급전에 의한 U-슬롯 안테나의 경우는 그림 4에서 도시한 바와 같이 임피던스 궤적 내의 작은 루프가 스미스 차트 중심으로 이동하는 특성을 나타냈다. 그러나 L-스트립 급전구조에서는 수직두께(B)를 1.375, 3.375, 5.375 mm

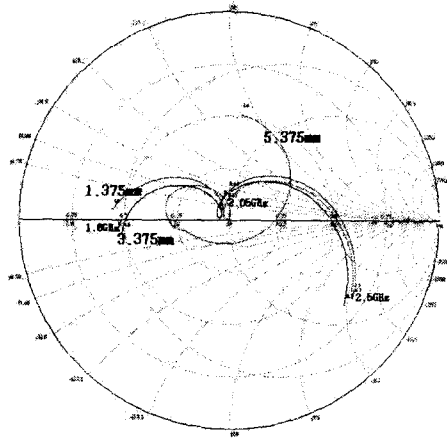


그림 9. U-슬롯의 수직두께(B)에 따른 안테나의 임피던스 궤적
Fig. 9. Impedance loci for antennas as a function of u-slot vertical thickness(B).

로 변화시켰으나 입력 임피던스 특성이 거의 변화가 없다는 것을 그림 9에서 알 수 있다.

Ⅲ. 급전구조에 따른 U-슬롯 안테나의 측정결과

그림 10 및 11에 제작된 probe 급전 U-슬롯 안테나와 L-스트립 급전 U-슬롯 안테나를 각각 도시하였다. probe 급전에 의한 U-슬롯 안테나 제작에 사

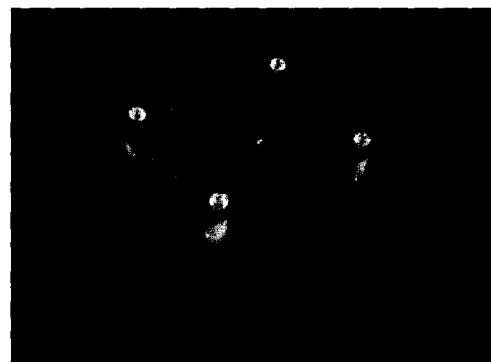


그림 10. 제작된 probe 급전 U-슬롯 안테나
Fig. 10. Fabricated probe-fed u-slot antenna.

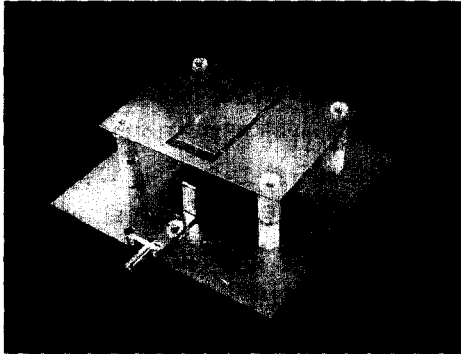
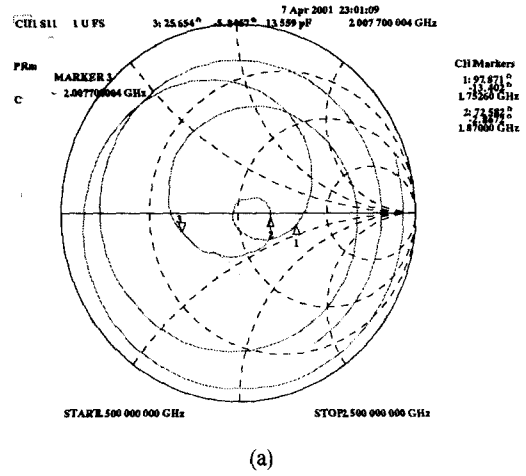


그림 11. 제작된 L-스트립 급전 U-슬롯 안테나
Fig. 11. Fabricated L-strip-fed u-slot antenna.



(a)

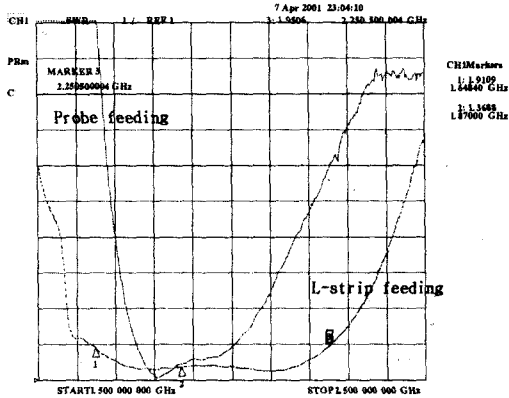
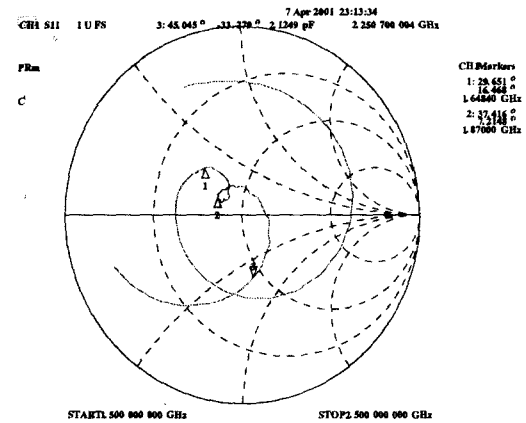


그림 12. U-슬롯 안테나의 측정된 VSWR
Fig. 12. Measured VSWR of the u-slot antennas.

용된 유전체 기판은 비유전율(ϵ_r)이 2.17, 기판두께가 0.508 mm인 기판을 사용하였으며 L-스트립 급전 U-슬롯 안테나는 두께 0.3 mm 황동판을 절삭가공하였다.

제작된 probe 급전 U-슬롯 안테나와 L-스트립 급전 U-슬롯 안테나의 VSWR 특성을 그림 12에 비교하였다. PCS와 IMT-2000 주파수대역의 중심주파수인 1,960 MHz를 기준으로할 때 probe 급전 U-슬롯 안테나의 임피던스 대역폭(VSWR ≤ 2)은 13% (255.1 MHz), L-스트립 급전 U-슬롯 안테나는 30.7% (602.1 MHz)의 결과를 얻었다.

그림 13은 제작된 안테나의 임피던스 특성이다. L-스트립 급전 U-슬롯 안테나의 임피던스 궤적은



(b)

그림 13. 측정된 임피던스 궤적. (a) probe 급전, (b) L-스트립 급전

Fig. 13. Measured impedance loci. (a) probe-fed, (b) L-strip-fed.

큰 루프 내에 다시 작은 루프가 50 Ω 부근에서 위치한 것으로 볼 때 안테나가 이중공진에 의해 광대역 특성을 확인해 준다.

제작된 안테나의 복사패턴을 주파수 1,870 MHz에서 측정하여 그림 14에 나타냈다. probe 급전 U-슬롯 안테나는 수평빔폭 38°, 수직빔폭 37°이며, L-스트립 급전 U-슬롯 안테나는 수평빔폭과 수직빔폭이 동일하게 47.5°로 나타났다. 복사패턴을 측정한 결과 U-슬롯 안테나는 일반적인 마이크로스트립 패치 안

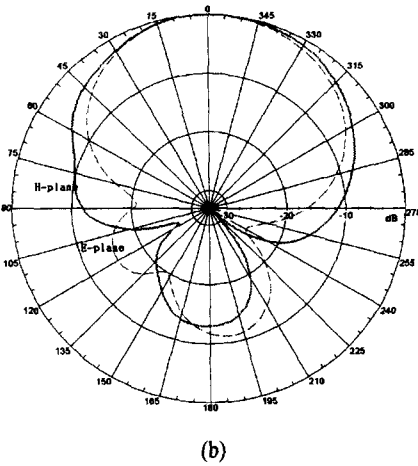
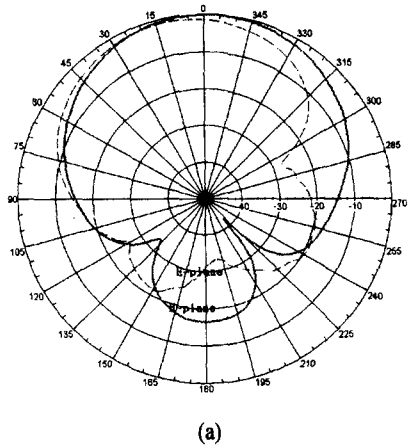


그림 14. 측정된 복사패턴. (a) probe 급전, (b) L-스트립 급전
 Fig. 14. Measured radiation patterns. (a) probe-fed, (b) L-strip-fed.

테나에 비해서 빔폭이 상대적으로 좁은 특성을 가진 것으로 확인되었다.

제작된 probe 급전 U-슬롯 안테나와 L-스트립 급전 U-슬롯 안테나의 이득특성은 PCS 주파수 대역내에서 7.2~8.5 dBi이며 두 안테나의 이득특성에서의 큰 차이는 나타나지 않았다.

IV. 결 론

본 논문에서는 급전구조에 따른 U-슬롯 안테나의 주파수 대역폭 특성을 고찰하였다. 13 % 대역폭의

probe 급전 U-슬롯 안테나에 비해서 L-스트립 급전 U-슬롯 안테나는 30.7 % (602.1 MHz)의 주파수 대역폭을 얻을 수 있어 PCS와 IMT-2000용 이중 대역 안테나로의 이용가능성을 확인하였다. 본 논문에서 연구한 L-스트립 급전 U-슬롯 안테나는 두께 0.3 mm의 얇은 황동재질로 제작하여 안테나의 여러 특성들을 확인함으로써 향후 산업화가 가능할 것으로 예상된다. 다만 안테나의 복사특성이 다른 마이크로 스트립 안테나에 비해서 약간 상이한 특성은 L-스트립 급전 U-슬롯 안테나의 다른 많은 장점으로 보상을 받기에 충분할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

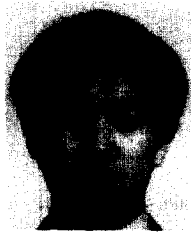
- [1] K. F. Lee, K. M. Luk, K. F. Tong, Y. L. Yung and T. Huynh, "Experimental study of a two-element array of u-slot patches", *Electronics Letters*, vol. 32, no. 5, pp. 418-420, 1996.
- [2] K. F. Lee, etc., "Experimental and simulation studies of the coaxially fed u-slot rectangular patch antenna", *IEE Proc.-Microw. Antennas Propag.*, vol. 144, no. 5, pp. 354-358, 1997.
- [3] 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.
- [4] Y. X. Guo, K. M. Luk, K. F. Lee, and Y. L. Chow, "A u-slot patch antenna with an L-shaped probe", *Asia Pacific Microw. Conf. Dig.*, pp. 1317-1319, 1998.
- [5] 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 Trans. Antennas and Propag.* vol. 48, no. 48, pp. 777-783, 2000.
- [6] 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.
- [7] K. F. Lee and W. Chen, *Advanced in Microstrip and Printed Antennas*, John Wiley & Sons, Inc.,

pp. 71-73, 1997.

[8] 전주성, "PCS 기지국용 U-슬롯 어레이 안테나 설계," 한국전자과학회 논문지 제11권 제8호, pp. 117-124, 2000. 11월.

[9] IE3D, Zealand Software, Inc.

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 RF 파라미터 분석