

개구 결합 급전 방식의 Ku 밴드 U 슬롯 마이크로스트립 안테나 설계 및 제작

Aperture-Coupled Wideband U-slot Microstrip Patch Antenna at Ku Band

유명완 · 이범선

Myungwan Lyou · Bomson Lee

요 약

상대 유전율이 2.5인 테프론 기판(31mil)과 상대 유전율이 1.06인 Foam을 이용하여 개구 결합 급전 방식의 Ku 밴드 U 슬롯 마이크로 스트립 안테나를 설계 및 제작하고 반사손실, 동일/교차 편파 방사패턴, 이득 등을 측정하였다. Foam을 사용한 경우 교차편파와 후방방사를 적절한 크기 이내로 제한하는 범위 내에서 38% 정도의 임피던스 대역폭을 보였으며 시뮬레이션 결과와 잘 일치하였다. 동일/교차 편파 방사 패턴도 시뮬레이션 결과와 유사하였다.

Abstract

Experimental and simulation results are presented on the Aperture-Coupled microstrip patch antenna with a U-shaped slot. Experiment and simulation results include impedance bandwidth, copolar and crosspolar-pattern characteristics and gain measurements. Simulation results show the advantages of U-slotted patch antenna comparing with the normal patch antenna. More than 35% impedance bandwidth is obtained with reasonably restricted cross-polar radiation pattern. The U-slotted radiation element fed by aperture-coupling method can be more easily extended to array structure, compared with that fed by coaxial cable.

I. 서 론

일반적으로 마이크로스트립 안테나는 공진체 형태의 안테나로서 협대역 특성을 갖는다^[1]. 현재까지 이러한 단점을 개선하기 위해서 기생소자를 이용한 방식^[2]과 적층방식^[3] 등 여러 기술들이 연구되어 왔으나 이들 방식은 같은 평면 또는 다른 층

으로의 물리적 크기를 증가시켜야만 하는 단점을 갖고 있다. 한편, 최근 K.F Lee 그룹이 U자 모양의 슬롯을 사각형 패치에 넣어 구현함으로써 입력 임피던스 특성이 광대역화 되는 방식을 제안하였다^{[4]-[7]}.

지금까지 제안된 U슬롯안테나는 대부분 동축선으로 급전하는 방식을 취하고 있는데 이는 단일 패치 안테나를 배열화 할 경우 패치면에서 납땜을

경희대학교 전자정보학부
· 논문 번호 : 990414-040
· 수정완료일자 : 1999년 6월 1일

해야 하고 모든 단일 패치마다 동축선으로 연결해야 하는 어려움이 있다^[8]. 이러한 어려움을 해결하고 능동소자들을 이용한 능동배열 안테나로의 개발을 위해 개구 결합 급전 방식을 택하여 U슬롯을 구현하였다. 지난해 국내에서 2.35 GHz에서 U슬롯을 이용하여 6%의 대역폭을 얻는 등의 시도^[9]가 있었으나 결과가 불명확하여 본 논문에서는 Ku 밴드에서 시도하여 보았다. 유전율이 1.06인 폼유전체를 사용한 안테나와 유전율 2.5인 유전체를 사용한 안테나를 각각 설계하였다. 시뮬레이션은 앙상블(Ensemble 5.1)을 이용하였으며 이 두 안테나의 임피던스 대역폭, 방사패턴 및 이득에 대한 각각의 시뮬레이션 결과와 측정결과를 U슬롯이 있을 경우와 없을 경우로 구분하여 비교 분석하였다.

II. U 슬롯 안테나의 설계

개구결합 마이크로 스트립 안테나는 여러 가지 장점을 가지고 있다. 먼저, 패치 방사 소자로서의 직접적인 급전이 필요하지 않기 때문에 급전회로에 대한 불요 방사를 차단할 수 있고, 방사면과 급전면이 분리되어 각 면에 대한 독립적인 최적설계가 가능하다. 방사면에는 낮은 유전물질을 사용하여 많은 방사 대역폭을 얻고, 급전면에는 높은 유전물질을 사용하여 급전회로 크기를 축소시키고 불요선로방사를 줄임과 동시에 새로운 공간확보가 용이하여 능동소자를 집적시킬 수 있다. 또한 배열화할 경우에 동축선 급전방식보다 쉽게 구현할 수 있는 장점이 있다^[10].

그림 1의 Bottom view에서 개구면을 넘어선 마이크로스트립 선로 부분인 스텐드는 길이가 변화함에 따라 고정 주파수에 대하여 리액턴스 성분이 변화하게 되고 개구면의 크기에 따라 선로에서 패치에 전달되는 전력 또한 변화하게 된다. 이런 특성으로 넓은 범위의 입력 임피던스를 제어할 수 있다.

단일 개구면의 크기가 너무 커지면 후방 방사가

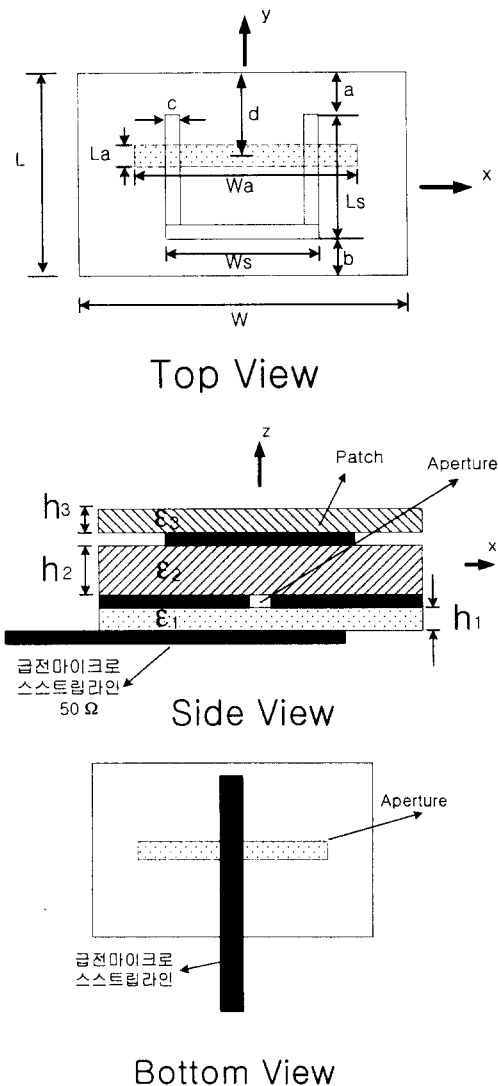


그림 1. 개구결합 급전 U 슬롯 안테나 구조
Fig. 1. Structure of Aperture-coupled microstrip antenna with U-slot.

너무 크게 되어 이득이 감소하는 경향을 보인다.

그림 1은 개구결합 급전 U슬롯 안테나의 구조로서 방사면과 급전면의 2층구조를 보이고 있다. 맨 위 부분은 superstrate로서 안테나를 보호하기 위한 것이다. 유전율 1.06인 폼 유전체를 사용한 안테나의 경우는 폼 유전체 두께가 2mm이며 급전면과 방사면 그리고 보호체로 구성된다. 유전율

2.5인 안테나는 폼 유전체 층과 보호체 층을 사용하지 않고 급전면에 상대유전율 6.15인 유전체, 방사면에 유전율 2.5인 유전체를 사용하여 구현하였다.

각각의 파라미터들을 반복하여 변화시키며 또 다른 공진이 중심주파수의 근접주파수에서 일어나도록 하고 교차편파(Cross-pol)와 후방방사가 최소로 되는 범위내에서 설계하였다.

각 파라미터의 치수는 표 1에 mm단위로 나타내었다. U슬롯 안테나는 그림 1에서 보는 바와 같이 기본 패치에 U자 모양의 슬롯을 넣은 구조를 갖는데 방사하는 면의 모서리(Radiating Edge)의 밑 부분에 위치한 슬롯은 기본 공진 모드를 발생

시키는 전류분포를 교란하여 그 근접 주파수에서 또 다른 공진을 일으키게 한다. 또한 방사하지 않는 면(Non-Radiating Edge)에 있는 두 개의 슬롯은 패치의 정방향(Broadside)으로 발생하는 교차편파를 줄이는 역할을 하는 것으로 판단된다. 이러한 U슬롯의 방사패턴 특성은 패치의 정방향(Broadside)으로부터 약 20° 정도의 범위 내에서는 교차편파가 거의 없어 선형편파를 사용하는 경우에 있어서 동일 편파와 교차편파간에 격리도가 좋아 배열화 하여 높은 이득을 얻을 경우에 더욱 유용하게 사용될 수 있다.

III. 시뮬레이션, 제작 및 측정

표 1. 안테나 파라미터(단위: mm)

Table 1. Dimension of antenna(In mm)

변수	유전율 2.5 (U 없음)	유전율 2.5 (U 있음)	Foam (U 없음)	Foam (U 있음)
W	14.4	14.4	15	17.6
L	6.8	7.4	7.3	8.5
W_s		13.4		8.4
L_s		3.7		5
W_a	0.3	0.3	10.15	15.55
L_a	4.75	5.15	0.5	1.4
a		3		3
b		0.7		0.5
c		0.4		0.7
d	3.38	3.68	3.68	3.97
h_1	0.635	0.635	0.635	0.635
h_2	0.7874	0.7874	2	2
h_3			0.7874	0.7874
ϵ_1	6.15	6.15	6.15	6.15
ϵ_2	2.5	2.5	1.06	1.06
ϵ_3			2.5	2.5

광대역 U슬롯 개구결합 마이크로 스트립 안테나를 설계하기 위해 실제 사용된 기판은 방사면에 유전율이 2.5이고 두께가 0.7874 mm, 손실상수는 0.0019의 특성을 갖는 Taconic사의 TLX-9-0310-ch/ch인 기판과 유전율 1.06을 갖는 폼 유전체를 사용하였고, 급전면은 방사손실을 줄이고 공간확보를 위하여 유전율 6.15, 두께는 0.6334 mm, 손실상수 0.0019의 특성을 가지는 Rogers사의 RT/6006 기판을 사용하였다. 안테나 설계에는 앙상블을 이용하였고 실제 제작해서 반사손실 특성 및 방사패턴을 측정하고, 개선된 특성 정도를 알아보기 위해서 U슬롯을 넣지 않은 기본 마이크로스트립 안테나와 비교 분석하였다.

3-1 Foam을 사용한 U슬롯 안테나

U슬롯의 길이나 폭은 두 개의 공진이 근접 주파수에서 일어나도록 잘 설정되어야 한다. 슬롯의 길이는 증가할수록 주파수를 낮추는 역할을 하고 폭은 두 공진이 근접화 하도록 하는 역할을 한다.

그림 2는 U 슬롯을 넣지 않았을 경우의 단일 패치 안테나의 스미스차트 궤적을 나타내고, 그림 3은 패치면에 U슬롯을 넣었을 경우의 스미스 차트

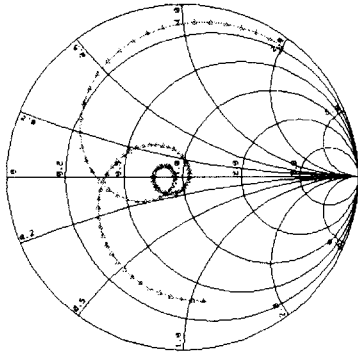


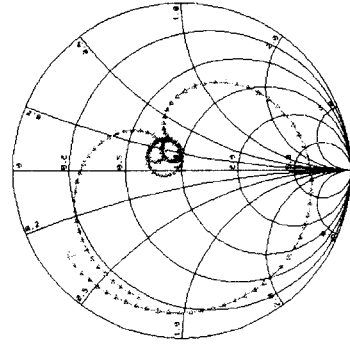
그림 2. Foam을 사용한 단일 패치 안테나의 스미스 차트 궤적(Without U-slot)

Fig. 2. Impedance locus for foam(1.06) antenna without U-slot.

궤적과 방사 패턴을 나타낸다.

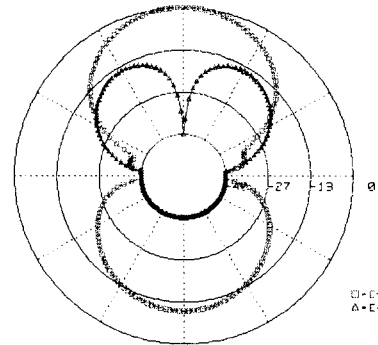
그림 3에서 U 슬롯을 넣었을 경우에 기본 공진 외에 또 다른 2개의 공진이 일어남을 볼 수 있다. 이들을 모두 정합시키는 과정에서 패치의 넓이가 공진 길이에 비해 커지게 되어 교차편파 방향의 전류성분이 증가하게 되고 이로 인해 교차편파가 일반적으로 커지게 된다. 따라서 교차편파를 최소로 줄이는 방향으로 설계가 수행되었다. 그림 3의 방사패턴을 보면 중심 주파수 14 GHz에서 모든 각도에 대해 교차편파가 동일 편파보다 15 dB 이하로 떨어지는 것을 볼 수 있고 후방 방사는 약 10 dB 정도의 차가 남을 볼 수 있다. 주파수 변환에 따라 16 GHz 이상에서는 후방방사가 7 dB 정도로 커지게 되고 Co-Pol과 Cross-Pol의 격리도 또한 16 GHz 이상에서는 10 dB 이하로 감소하였다. 따라서 패턴 대역폭에 대해 고려할 경우 후방방사와 격리도가 10 dB를 기준으로 하면 대역폭은 11.7~15 GHz 정도까지로 볼 수 있겠다. 설계 과정에서 개구(Aperture)를 더 크게 하였을 경우 더 좋은 정합을 얻을 수 있었으나 후방방사가 너무 커지게 되어 후방방사를 최소로 하는 방향으로 설계하였다.

그림 4에서는 U 슬롯이 있는 경우와 없는 경우의 반사 손실을 비교하였다. 표 2에 나타난 것처럼



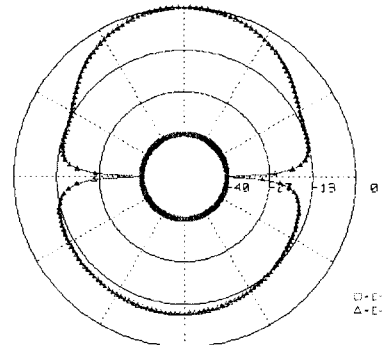
(a)

Far Field Pattern
Freq = 14.0000 GHz, Scan Angle = 0.000



(b)

Far Field Pattern
Freq = 14.0000 GHz, Scan Angle = 90.000



(c)

그림 3. Foam을 사용한 단일 패치 안테나의 (a)스미스 차트 궤적과 (b),(c)방사패턴(With U-slot)

Fig. 3. Impedance locus and radiation patterns for foam(1.06) antenna with U-slot. (a) Impedance Locus, (b) H-plane, (c) E-plane.

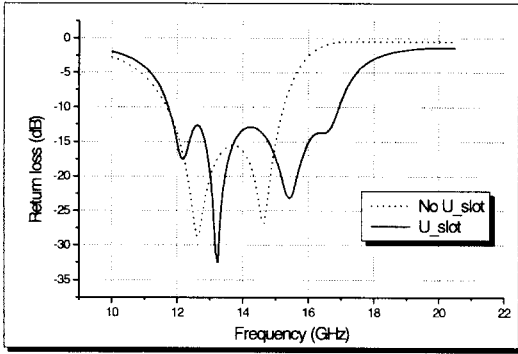


그림 4. 유전율이 1.06인 폼유전체 안테나에 있어서 U슬롯이 있을 경우와 없을 경우의 대역폭 비교

Fig. 4. Comparison of bandwidths of foam(1.06) antenna between with U-slot and without U-slot.

표 2. 유전율이 1.06인 폼유전체 안테나에 있어서 U슬롯이 있을 경우와 없을 경우의 대역폭 비교
Table 2. Comparison of bandwidth of foam(1.06) antenna between with U-slot and without U-slot.

	U슬롯이 없을 경우	U슬롯이 있을 경우	비교
S_{11} (10 dB 대역폭)	11.7~15.2 GHz (25%)	11.7~17 GHz (38%)	52%증가

U 슬롯을 넣음으로써 11.7 GHz~17 GHz까지 38%의 대역폭을 얻었으며 이는 U 슬롯을 넣지 않았을 경우보다 약 50%의 대역폭을 더 증가시키는 것이다.

그림 5, 6, 7에서는 표 1의 최적 설계값으로부터 개구의 폭(W_a), 길이(L_a), 위치(d) 등의 증감에 따르는 반사손실 영향을 나타내었다. 그림 5에서는 길이(L_a)를 증가시킬 경우 대역폭의 낮은 주파수 대에서는 반사손실이 작아지는 반면, 높은 주파수 대에서는 커지는 특성을 보였다. 그림 6에서는 위치(d)를 증가시킴에 따라 대역폭의 낮은 주파수대

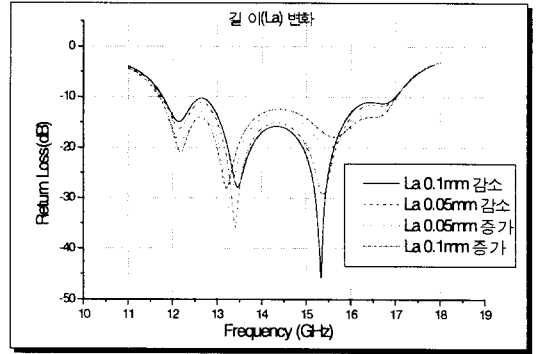


그림 5. 개구의 길이(L_a) 변화에 따른 반사손실 S_{11}
Fig. 5. Return loss(S_{11}) Versus variation of aperture length(L_a).

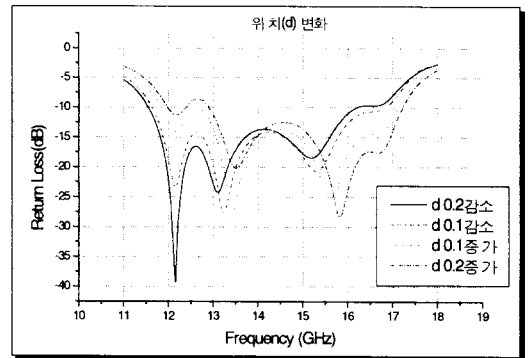


그림 6. 개구의 위치(d) 변화에 따른 반사손실 S_{11}
Fig. 6. Return loss(S_{11}) Versus variation of aperture position (d).

에서는 반사손실이 작아지고 높은 주파수대에서는 커지는 특성을 보였다. 그림 7에서는 폭(W_a)를 증가시킴에 따라 낮은 주파수대에서는 변화를 보이지 않고 높은 주파수에서는 반사손실이 작아지는 특성을 보였다. 전체적인 개구(Aperture) 파라미터의 영향은 대역폭 자체를 변화시키지는 아니하고 단지 일 부분의 특성을 변화시키는 경향을 보였다.

3-2 유전율 2.5인 유전체를 사용한 U슬롯 안테나
두께가 0.7874 mm이고 상대 유전율이 2.5인 테

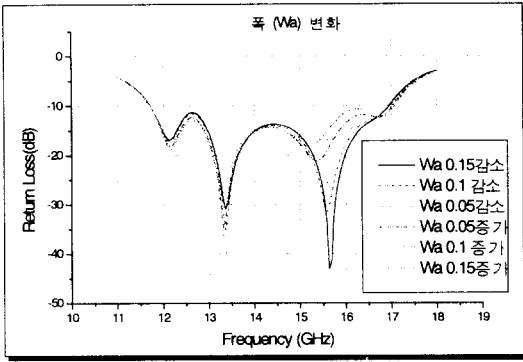


그림 7. 개구의 폭(W_a) 변화에 따른 반사손실 S_{11}
 Fig. 7. Return loss(S_{11}) Versus variation of aperture width(W_a).

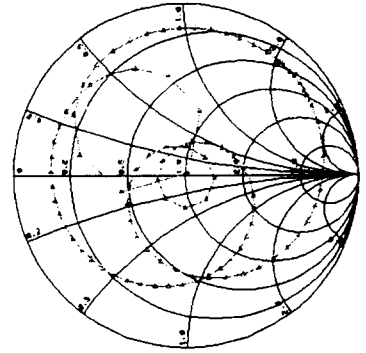


그림 9. 유전율이 2.5인 유전체 안테나의 스미스차트 궤적 (with U-slot)
 Fig. 9. Impedance locus for antenna($\epsilon_r=2.5$) with U-slot.

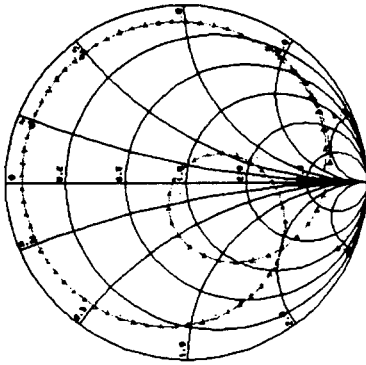


그림 8. 유전율이 2.5인 단일 패치 안테나의 스미스차트 궤적(without U-slot)
 Fig. 8. Impedance locus for antenna($\epsilon_r=2.5$) without U-slot.

프론 기판 상의 패치에 U 슬롯을 넣어 설계하여 보았다.

그림 8은 U 슬롯을 넣지 않았을 경우의 단일 패치 안테나의 스미스차트 궤적을 나타내고, 그림 9는 패치면에 U슬롯을 넣었을 경우의 스미스 차트 궤적을 나타낸다. 그림 9에서 보듯이 또 다른 공진을 얻음으로써 12GHz 정도에서 넓은 대역폭을 얻음과 동시에 15.5GHz 정도에서 또 다른 공진이 일어남을 볼 수 있다. 폼을 유전체로 사용하였을 경우에는 유전율이 낮고 두께도 두꺼워 넓은 대역폭

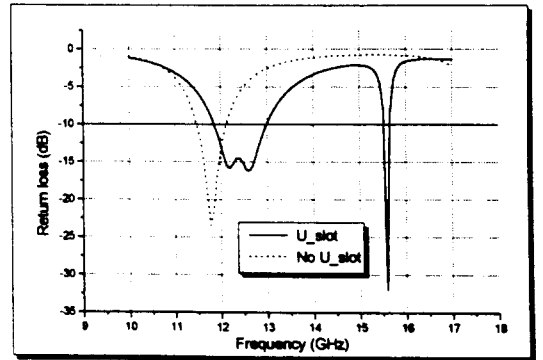


그림 10. 유전율 2.5인 유전체 안테나의 U슬롯이 있을 경우와 없을 경우의 대역폭 비교
 Fig. 10. Comparison of bandwidth of antenna($\epsilon_r=2.5$) between with U-slot and without U-slot.

을 가지므로 높은 주파수의 공진도 잘 정합시켜 대역폭으로 연결시킬 수 있었으나 유전율이 2.5인 유전체 안테나에서는 대역폭으로의 연결이 불가능하였다. 그러나 여전히 9.2%의 대역폭을 얻음으로써 U슬롯이 없을 경우보다 84%증가된 대역폭을 얻었다.(표 3)

그림 10에서는 U 슬롯이 있는 경우와 없는 경우의 반사 손실을 비교하였다.

표 3. 유전율 2.5인 유전체 안테나의 U슬롯이 있을 경우와 없을 경우의 대역폭 비교

Table 3. Comparison of bandwidth of antenna ($\epsilon_r = 2.5$) between with U-slot and without U-slot.

	U슬롯이 없을 경우	U슬롯이 있을 경우	비교
S_{11} (10 dB 대역폭)	11.5~12.1 GHz (5%)	11.9~13 GHz (9.2%)	84% 증가

3-3 측정결과

그림 11은 유전율 2.5인 유전체를 사용한 안테나를 실제 제작하여 네트워크 분석기로 반사손실을 측정한 결과와 시뮬레이션 결과를 비교한 것이다. 실제 제작한 안테나는 10 dB 반사손실 대역폭이 12.1~13.8 GHz(14%)로 나타났으며 이는 시뮬레이션(11.9~13 GHz: 9.2%)보다 64% 정도 증가된 것이다.

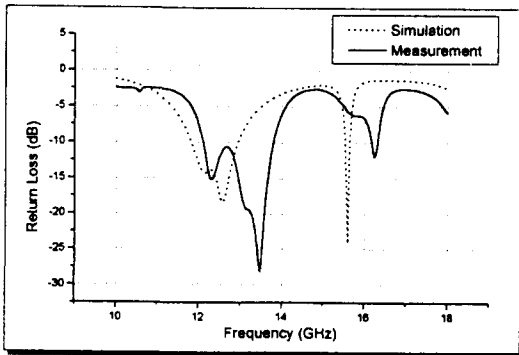


그림 11. 유전율 2.5 안테나의 측정결과와 시뮬레이션 결과 비교 (S_{11})

Fig. 11. Comparison of antenna ($\epsilon_r=2.5$) with U-slot between simulation and measurements.

그림 12는 폼을 사용한 안테나를 실제 제작하여 측정된 결과와 시뮬레이션 결과를 비교한 것이다. 측정결과가 시뮬레이션 결과와 매우 유사함을 볼

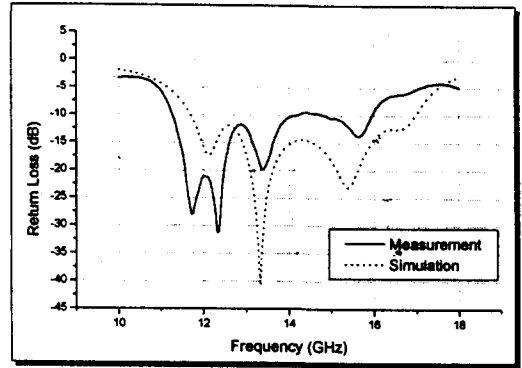


그림 12. 유전체로 폼(1.06)을 사용한 안테나의 측정 결과와 시뮬레이션 결과 비교 (S_{11})

Fig. 12. Comparison of antenna ($\epsilon_r=2.5$) with U-slot between simulation and measurements.

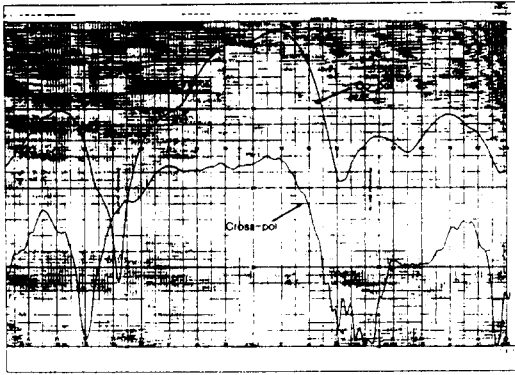
표 4. 시뮬레이션 결과와 측정 결과 비교

Table 4. Comparison simulation with measurements.

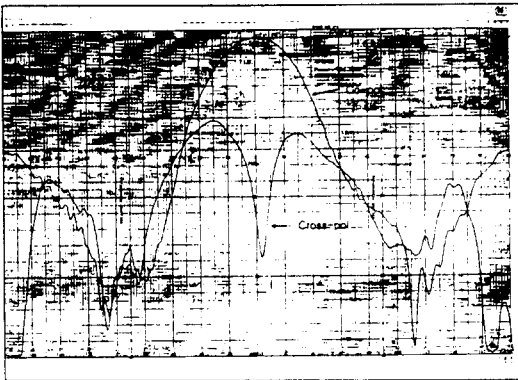
	시뮬레이션결과 (10 dB대역폭)	측정결과 (10 dB대역폭)	비교
유전율 2.5 안테나	11.9~13 GHz (9.2%)	12.1~13.8 GHz (14%)	64% 증가
폼(1.06) 안테나	11.7~17 GHz (38%)	11.3~16 GHz (34%)	10% 감소

수 있다. 실제 제작한 안테나는 10 dB 반사손실 대역폭이 11.3~16 GHz(34%)로 나타났으며 이는 시뮬레이션(11.7~17 GHz: 38%)보다 10% 감소한 것이다.

그림 13은 1.06인 폼(유전율 1.06)을 사용한 안테나를 실제 제작하여 방사패턴을 측정된 결과이다. 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 후방방사가 10 dB 차이가 나며 Co-pol과 Cross-pol의 이격도가 $\phi = 0^\circ$, $\theta = 30^\circ$ 에서 약 12 dB 정도 나고 있다. 주빔(Broadside) 방향을 기준으로 20° 안팎으로는 Cross-pol이 매우 작음을 알 수 있다. 측정된 방사 패턴은 시뮬레이션 결과와 비교적 잘 일치한다.



(a)



(b)

그림 13. 폼(유전율 1.06)을 사용한 안테나의 방사패턴 측정. (a) E-plane, (b) H-plane

Fig. 13. Measurements of radiation patterns.

(a) E-plane, (b) H-plane.

IV. 결 론

지금까지 U 슬롯 안테나에서 대부분 동축선으로 급전하는 방식과는 달리 본 논문에서는 기본 구형 패치에 U자 모양의 슬롯을 넣어 대역폭을 넓히는 기법에 배열화 하기 쉬운 방식인 개구 결합 급전방식을 채택하여 Ku 밴드에서 능동안테나로 적용시킬 수 있는 안테나를 설계 및 제작하였다. 측정결과 폼(유전율 1.06)을 사용한 경우는 34%의 반사손실 대역폭을 얻었으며 유전율 2.5인 테프

론 기판을 사용한 경우 14%의 대역폭을 얻었다.

또한 후방방사를 10 dB 이상 차이가 나도록 하고 교차편파의 크기를 동일편파보다 13 dB 아래로 줄여 설계하였으며, 이득 또한 패치의 길이(L_a)가 0.85λ 정도 되는 영향으로 인하여 10 dB 정도의 결과를 얻었다.

참 고 문 헌

- [1] K. C. Gupta, *Microstrip Antenna Design*, Artech House, 1988.
- [2] Girish Kumar, and Kuldip C. Gupta, "Non-radiation Edges and Four Edges Gap-Coupled Multiple Resonator Broad-Band Microstrip Antenna" *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. AP-33, pp. 173-178, February, 1985.
- [3] S. D. Targonski and R. B. Waterhouse, "An Aperture Coupled Stacked Patch Antenna with 50% Bandwidth", *Proceedings of IEEE AP Symposium*, pp. 18-21, Baltimore, Maryland, July, 1996.
- [4] Huynh, T., and Lee, K. F., "Single-layer single-patch wideband microstrip antenna", *Electron. Lett.*, 1995, 31, (16), pp. 1310-1312
- [5] Lee, K. F., Luk, K. M., Tong, K. F., Yung, Y. L., and Hyunh, T., "Experimental study of a Two-element array of U-slot patches", *Electron. Lett.*, 1996, 32, (5), pp. 418-420
- [6] Lee, K. F., Luk, K. M., Tong, K. F., Shum, S. M., Huynh, T. and Lee, R. Q. "Experimental and simulation studies of the Coaxially fed U-slot rectangular patch antenna". *IEE Proc.-Microw. Antennas Propag.*, 1997, 144, (5), pp. 354-358
- [7] Y. L. Chow, Z. N. Chen, K. F. Lee and K. M. Luk, "A Design Theory on Broadband

Patch Antennas with slot", *IEEE, AP-S Int. Symp. Dig.*, 1998, pp. 1124-1127

[8] Hai Fong Lee, Wei Chen, *Advances in Microstrip and Printed Antennas*, Wiley, 1997.

[9] 김종규의 4명, "광대역 개구결합 급전 U 슬

롯 마이크로스트립 패치 안테나에 대한 실험적 연구", 1998년도 추계 마이크로파 및 전파 학술대회 논문집 vol. 21 no. 2 1998. 9. 26.

[10] J. R. James & P. S. Hall, *Handbook of Microstrip Antennas*, IEE, 1989.

유 명 완



1998년 2월: 호서대학교 정보통신공학과(공학사)

1999년 3월~현재: 경희대학교 전자공학과 대학원 석사 과정(공학석사)

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파

이 범 선



1982년 2월: 서울대학교 전기공학과(공학사)

1991년 8월: 미국 네브래스카 주립대 전자공학과(공학석사)

1995년 5월: 미국 네브래스카 주립대 전자공학과(공학박사)

1995년~1995년 8월: 네브래스카 주립대 포닥(Post Doctor)

1995년 5월 9월~현재: 경희대학교 전자정보학부 조교수
[주 관심분야] 안테나 및 전파전파