

# 초광대역 마이크로스트립 안테나의 설계와 제작에 관한 연구

† 함민수\* · 최병하\*\*

\*목포해양대학교 해양전자·통신공학부, \*\*목포해양대학교 해양전자·통신공학부 교수

## A study on the Design and Fabrication of Microstrip Array Antenna for Ultra Wideband Applications

† Min-Su Ham\* · Byung-Ha Choi\*\*

\*Graduate school of National Mokpo Maritime University, 530-729, Korea

**요약** : 본 논문에서는 UWB(ultra wideband) 무선통신 응용을 위해 3GHz의 광대역 무지향성 마이크로스트립 패치 배열 안테나를 구현하였다. 7.2~10.2GHz의 광대역의 밴드를 만족시키기 위해 다중공진 안테나가 설계되었고, 각 공진주파수는 600MHz의 간격을 가지고 7.5, 8.1, 8.7, 9.3, 그리고 9.9GHz의 5개 중심주파수로 분리하였고 광대역 특성을 위해, 각 중심주파수에서 U-slot 안테나가 각각 설계되었다. 설계된 5개의 U-slot 안테나는 3GHz의 대역폭의 다중공진을 위해 병렬로 연결되었고, 임피던스 정합 과정은 7.5GHz 패치안테나와 8.1GHz 패치안테나의 중심주파수인 7.8GHz를 적용하여 전송 선로를 구한 후 같은 방법으로 전송 선로 임피던스 정합을 하여 광대역 매칭 회로가 되도록 설계하였다. 안테나 제작에 이용된 PCB 기판의 비유전율, 기판높이, 손실은 각각  $\epsilon_r = 4.8$ ,  $h = 0.6$  그리고 손실탄젠트는 0.0009였다. 제작된 안테나의 방사패턴과 이득은 5개의 중심주파수에서 1.46~4.08dBi의 이득을 나타내었다.

**핵심어** : UWB, 마이크로스트립안테나, U-slot, 다중공진, 배열안테나

**Abstract** : In this paper, the ultra-wideband, microstrip patch antenna with the bandwidth of 3 GHz was implemented for ultra-wideband (UWB) wireless communication applications. In order to cover the very wide bandwidth of 3 GHz, a multi-resonance antenna was designed, each resonance frequency was separated into five frequency bend, 7.5, 8.1, 8.7, 9.3, and 9.9GHz with the interval of 600MHz BW. And for wideband characteristics of each antenna, U-slot antennas were designed at each center frequency. Designed five U-slot antennas were connected in series for multi-resonance of 3GHz BW and wideband matching was also designed for impedance matching transmission line calculated. The relative dielectric constant, the height, the loss tangent of the PCB substrate were  $\epsilon_r = 4.8$ ,  $h = 0.6$  and loss tangent = 0.0009 respectively. The implemented antenna's radiation patterns and gain were directivity characteristics and 1.46~4.08dBi at the five separated center frequency.

**Key words** : UWB(ultra-wideband), Microstrip antenna, U-slot, Multi-resonance, Array antenna

## 1. 서 론

최근 한정된 주파수 자원의 효과적인 사용을 위해 기존의 이동통신, 위성통신, 방송 등과 같은 협대역 및 광대역 시스템과 상호 간섭 없이 주파수를 공유할 수 있는 Ultra Wide Band (UWB) 무선 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. UWB 기술은 기존의 무선 시스템과 비교하여 매우 넓은 대역폭에 걸쳐 상대적으로 매우 낮은 스펙트럼 전력 밀도가 분포함으로써 허가 없이 사용이 가능한 새로운 무선 기술로 급부상하고 있다.

미국 FCC (Federal Communication Community)에서 UWB 시스템을 3.1 GHz 이상 10.6 GHz 미만 주파수 대역에서 제한된 용도로 사용할 수 있도록 허가한 이후 IEEE 산하 802.15.3 working group에서는 무선 개인 통신 방식으로 UWB 시스템

을 사용하기 위한 표준화 작업이 진행 중이며 전 세계적으로 그에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다.<sup>[1][2]</sup>

그리고 UWB 무선기술은 무선방송파를 사용하지 않고 저대역에서 수 GHz 이상의 매우 넓은 주파수 대역을 사용하여 통신이나 레이더 등에 응용되고 있는 새로운 무선기술이다. 특히 이 기술은 수 나노 또는 수 피코초 정도의 매우 좁은 펄스를 사용함으로써 잡음과 같은 정도의 매우 작은 전력으로 이동통신, 방송, 위성통신 등의 기존 통신 시스템과 상호 간섭의 영향이 없이 주파수를 공유하여 사용할 수 있으므로 주파수에 대한 제약을 받지 않고 사용이 가능한 새로운 통신 시스템으로 주목받고 있다.<sup>[3]</sup> 본 논문은 UWB high band 전 대역에 평탄한 대역특성을 얻기 위해 600MHz 간격으로 분할 마이크로스트립 패치안테나를 설계하였고 설계된 단일 패치안테나에 U-slot을 삽입하여 광대역특성을 갖도록 설계하였다. 그리

† 교신저자 : 함민수(학생회원), lovemaiself@mmu.ac.kr 010)8590-3049

\*\* 종신회원, antenna@mmu.ac.kr 061)240-7117

고 이 5개의 중심주파수의 패치안테나를 인접 패치 안테나와 의 중심주파수를 이용하여 임피던스정합을 하며 다중 공진 특성의 배열 안테나를 설계하였다. 이러한 시스템에서 사용될 안테나는 UWB 시스템에서 요구하는 광대역의 대역폭 및 균 지연 특성 등의 성능을 만족시키며 단말 등에 장착이 가능하도록 소형, 경량으로 제작하였다.

## 2. 안테나의 설계

연구의 목표는 UWB high band(7.2GHz에서 10.2 GHz)에서 사용하기 적합한 초광대역 특성을 갖는 마이크로스트립 안테나의 설계와 구현이다. 이러한 안테나를 구현하기 위하여 각 단계마다 이론적 근거에 의한 수식을 이용하여 초기 규격을 계산하고, 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 CST Microwave Studio 5.0을 이용하여 최적화하였다. 먼저 단일 직사각형 패치안테나와 단일 U-slot 패치 안테나를 최적화한 후 이를 직선 배열하여 주파수 특성 분석을 한 후 평면상에 배열하여 필요한 지향특성을 얻도록 하였다.

### 2.1 단일 패치 안테나

마이크로스트립 안테나 이론식을 근거로 사각형 패치의 길이와 폭을 구하고, 회로 시뮬레이션 프로그램인 CST Microwave Studio 5.0을 이용하여 최적화된 단일 패치 안테나를 설계하였다. Fig. 1은 마이크로스트립 안테나의 기본 구조이며 Table 1은 각각의 주파수대의 최적화된 패치의 길이와 폭을 나타낸 것으로 각 중심주파수별로 설계하여 반사손실과 입력 임피던스를 확인하였다.

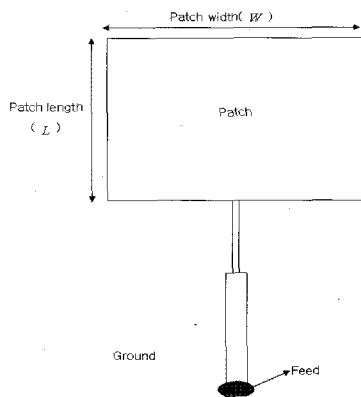


Fig. 1 Geometry of a microstrip antenna.

Table 1 Design of microstrip antenna. (unit, mm)

주파수 (GHz)	패치 폭 (W)	패치 설계길이 (L)	패치 실효길이 (L <sub>eff</sub> )	패치 확장길이 (ΔL)	실효유전율 (ε <sub>eff</sub> )
7.5	11.74	9.0	9.94	0.27	4.39
8.1	10.87	8.30	8.85	0.27	4.37
8.7	10.12	7.71	8.26	0.27	4.35
9.3	9.47	7.20	7.74	0.27	4.33
9.9	8.89	6.75	7.30	0.27	4.31

### 2.2 U-slot 패치 안테나

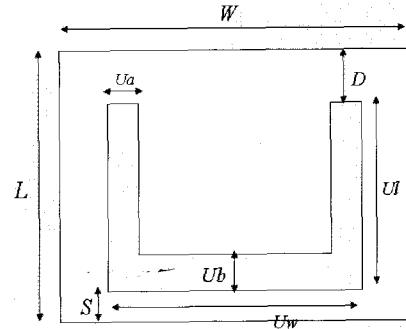


Fig. 2 Geometry of a U-slot antenna

U-slot 안테나는 기생소자를 적층시키거나 주위에 배열하지 않고서도 광대역 특성을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.<sup>[4]</sup> 사각형 패치 내에 U-slot을 구성하므로 U-slot 자체의 전류분포에 따른 공진과 사각형 패치의 공진 특성이 결합하여 이중 공진 특성을 얻는 장점을 가지고 있다.<sup>[5]</sup> U-slot 안테나의 가장 큰 장점은 단순한 설계 파라미터와 구조이다 안테나의 특성에 영향을 미치는 각 파라미터들을 가변시켜 가장 좋은 임피던스 정합특성을 얻을 수 있는 안테나 모델을 찾기 위해서 U-slot의 길이(U), 폭(Uw), 길이의 폭(Ua), 폭의 두께(Ub)의 변화에 따른 광대역 특성을 확인하였다.

Fig. 2는 U-slot 안테나를 도시한 것이다.

U-slot 안테나의 가장 큰 장점은 단순한 설계 파라미터와 구조이다. 일반적으로 이중 공진 특성의 광대역 안테나는 스미스 차트 상의 임피던스 특성 궤적에서 대, 소 두 개의 루프가 생성된다. 특히 큰 루프내의 작은 루프의 위치와 크기가 안테나의 임피던스 대역폭을 결정하므로 매우 중요하다. 스미스 차트 상에서 나타나는 작은 루프를 가변시키는 파라미터는 사각형 패치의 폭(W)과 길이(L), U-Slot의 길이(U)와 모양, 기판의 두께(t)와 비유전율(ε<sub>r</sub>), 공기층의 높이(h) 등이 있다. 따라서 안테나의 특성에 영향을 미치는 각 파라미터들을 가변시켜 가장 좋은 임피던스 정합특성을 얻을 수 있는 안테나 모델을 찾기 위해서 U-Slot의 길이(U), 폭(Uw), 길이의 폭(Ua), 폭의 두께(Ub)의 변화에 따른 광대역 특성을 확인하였다.

최적의 7.5 GHz U-slot 마이크로스트립 안테나를 설계하기 위한 각 변수를 다음의 Table 2와 같이 결정하였다.

U-slot 길이(U)가 감소하면 대역폭이 줄어들고, 증가하면 반사손실이 좋아지면서 광대역특성이 나타난다. 또한 U-Slot 폭(Uw)이 증가함에 따라 대역폭이 감소하고, 반사손실 특성이 좋아짐을 알 수 있다. 따라서 U와 Uw는 안테나 특성에 영향을 미치는 중요한 변수임을 알 수 있다.

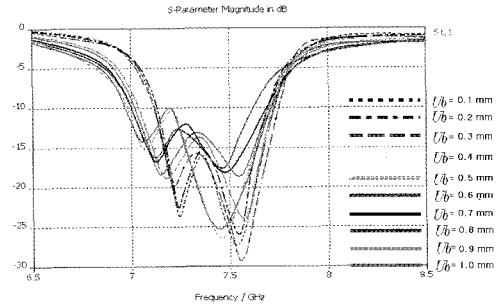
U-slot의 길이는 공진주파수를 변화시킨다. 즉 U-slot의 길이가 증가하면 공진주파수가 낮아지는 특성을 나타냈으며, 동일한 패치 크기 조건하에서 U-slot의 길이를 3 mm에서 5.25 mm 까지 0.25 mm의 간격으로 가변시켜 공진주파수, 대역폭, 반사손실을 확인하였다. U-slot의 길이가 5 mm일 때 광대역 안테

나로 적합한 것임을 알 수 있다.

Table 2 Design parameters of 7.5 GHz U-slot patch antenna. (unit, mm)

	$L$	$W$	$t$	$\epsilon_r$	$S$	$Ul$	$Uw$	$Ua$	$Ub$
A	9.0	11.74	0.035	4.8	2	3.0	4.0	0.1	0.1
B	9.0	11.74	0.035	4.8	2	3.25	4.25	0.2	0.2
C	9.0	11.74	0.035	4.8	2	3.5	4.5	0.3	0.3
D	9.0	11.74	0.035	4.8	2	3.75	4.75	0.4	0.4
E	9.0	11.74	0.035	4.8	2	4.0	5.0	0.5	0.5
F	9.0	11.74	0.035	4.8	2	4.25	5.25	0.6	0.6
G	9.0	11.74	0.035	4.8	2	4.5	5.5	0.7	0.7
H	9.0	11.74	0.035	4.8	2	4.75	5.75	0.8	0.8
I	9.0	11.74	0.035	4.8	2	5	6.0	0.9	0.9
J	9.0	11.74	0.035	4.8	2	5.25	6.25	1.0	1.0

한 개의 파라미터를 위의 조건으로 가변한 것의 결과를 Fig. 3에서 나타낸다. U-slot의 길이 ( $Ul$ )를 다른 파라미터는 고정시키고 가변하여 최적의 결과를 얻을 수 있었고, 같은 방식으로 폭( $Uw$ ), 길이의 폭( $Ua$ ), 폭의 두께( $Ub$ )의 파라미터도 최적화 시켰다.



(d)  $Ub$

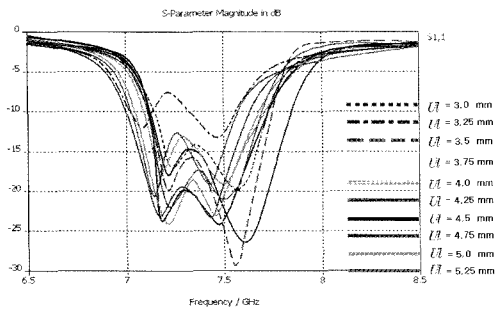
Fig. 3 S11 characteristics due to U-slot design parameters in 7.5GHz.

7.5GHz. 패치안테나에 U-slot을 삽입하여 최적의 결과를 얻는 과정을 같은 방식으로 8.1, 8.7, 9.3, 9.9GHz 패치안테나에 적용하여 광대역화 시킬 수 있었다.

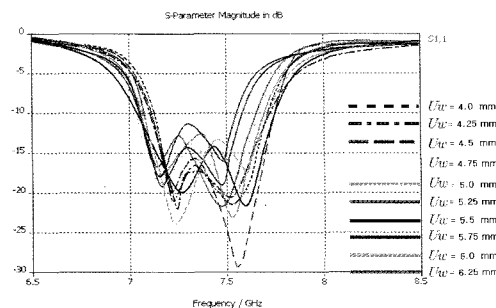
Table 3은 최적화된 파라미터 값을 나타낸다.

Table 3 Optimized U-slot microstrip antenna.

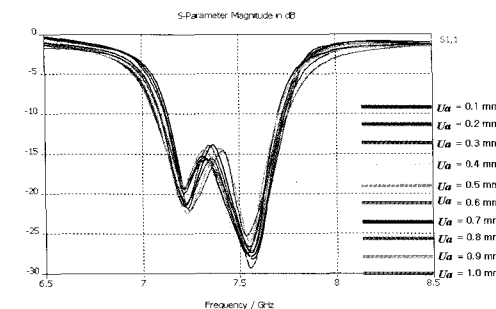
파라미터 주파수 (GHz.)	$L$	$W$	$t$	$\epsilon_r$	$S$	$Ul$	$Uw$	$Ua$	$Ub$
7.5	9.0	11.74	0.035	4.8	2	3.5	4.25	0.1	0.1
8.1	8.30	10.87	0.035	4.8	2	3.25	4.25	0.2	0.2
8.7	7.71	10.12	0.035	4.8	2	3.5	4.5	0.3	0.3
9.3	7.20	9.47	0.035	4.8	2	3.75	4.75	0.4	0.4
9.9	6.75	8.89	0.035	4.8	2	4.0	5.0	0.5	0.5



(a)  $Ul$



(b)  $Uw$



(c)  $Ua$

### 2.3 다중공진 배열안테나의 설계

UWB high band(7.2~10.2GHz)를 만족하기 위해서 단일 패치안테나를 중심주파수 7.5GHz부터 9.9GHz까지 5개의 대역으로 분할하여 설계하고, 패치 안테나의 단점인 협대역 특성을 보완하기 위해 각각의 패치안테나에 U-slot을 삽입하여 대역을 확장하였다. 7.5GHz부터 9.9GHz의 패치안테나를 다중 공진 특성을 얻기 위해 병렬로 배열하였다.

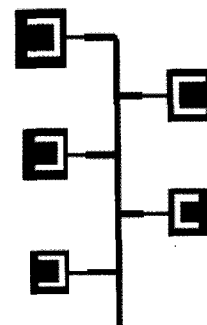


Fig. 4 Multiple resonance array antenna.

최종적으로 각 중심주파수의 U-slot 마이크로스트립 안테나를 3D 시뮬레이션 프로그램이 가능한 Microwave Studio 5.0을 사용하여 평면상에서 배열하였다.

Fig. 4는 다중공진 배열안테나를 평면상에 구현한 것이다. 7.5~9.9GHz의 다중공진 안테나를 배열하였고, 임피던스 정합 과정은 7.5GHz 패치안테나와 8.1GHz 패치안테나의 중심주파수인 7.8GHz를 적용하여 전송 선로를 구하였고, 같은 방법으로 급전점까지 손실을 최소화 하여 임피던스 부정합을 해결하였다.

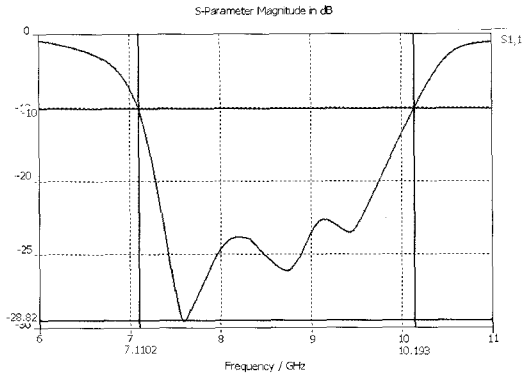


Fig. 5 Return loss of multi resonance antenna.

Fig. 5는 다중공진 배열안테나의 입력 반사손실을 나타낸 것이다.

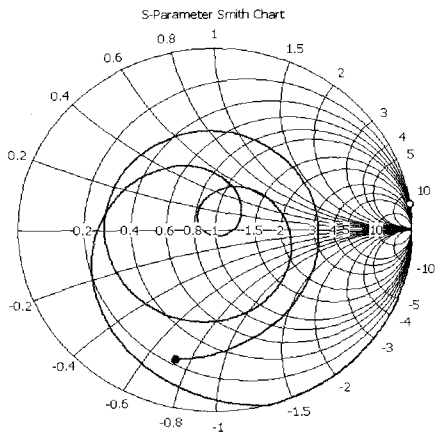


Fig. 6 Input impedance of cylindrical antenna.

그림 6은 마이크로스트립 안테나의 입력임피던스를 보여주고 있다. 주파수 범위는 7.11~10.193GHz 까지 매우 넓게 나타나고 있다.

#### 2.4 안테나의 제작과 특성 실험 분석

시뮬레이션에 의해 최적화하여 설계한 초광대역 다중공진 배열 마이크로스트립 패치 안테나는 비유전율이 4.8, 기판의 두께가 0.6mm인 타코닉사의 RF-35기판을 사용하여 제작하였다.

급전방식은 마이크로스트립 라인에 의해 급전하는 마이크로스트립 라인 급전방식으로 제작하였고, 전파무향실에서 지

향성과 이득을 측정하였다. 그리고 Anritsu사의 37169A VNA(Vector Network Analyzer)를 사용하여 반사손실과 입력임피던스를 측정하였다.

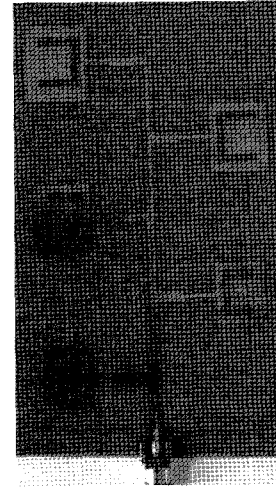


Fig. 7 Fabricated multi resonance array antenna.

Fig. 7은 실제 제작된 안테나의 모습이다.

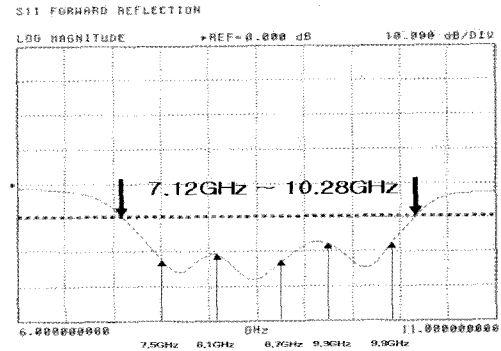


Fig. 8 Measured return loss

Fig. 8에서 반사손실이 -10dB인 주파수 범위는 7.12GHz부터 10.28GHz까지의 대역이고, 설계 주파수의 하한인 7.2GHz에서는 약 -13dB, 상한인 10.2GHz에서는 -15dB정도가 되었다.

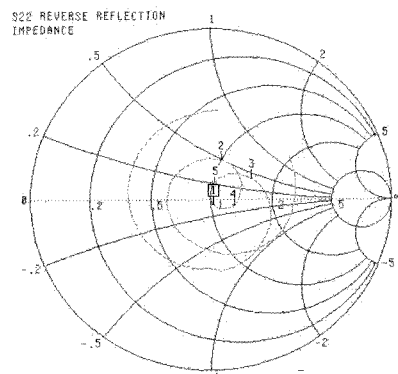


Fig. 9 Measured input impedance

Fig. 9는 각 중심주파수에서의 입력임피던스를 나타내고 있고, 설계하였던 5개의 중심주파수의 시뮬레이션 결과와는 다소 차이가 있지만 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다.

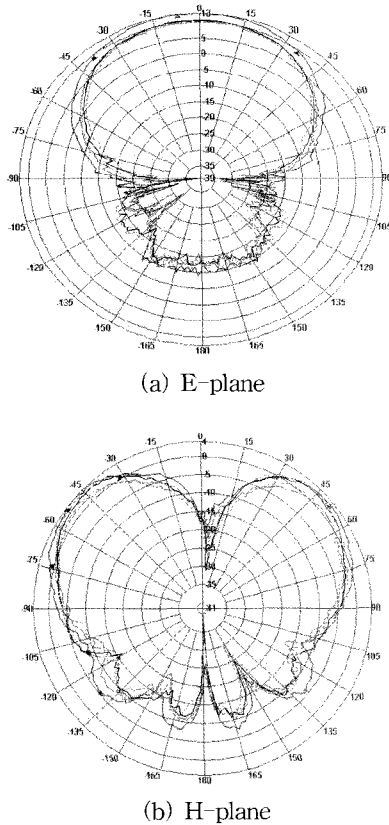


Fig. 10 Measured radiation pattern

Fig. 10은 전파무향실에서 측정된 안테나의 지향특성이다.

Table 4 Fabricated polarization of the multi resonance antenna.

	Frequency (GHz)	Antenna Gain (dBi)	Half Power Beam Width (deg)	Main lobe direction (deg)
Radiation Pattern of E-plan	7.5	12.51	74.09	-7.04
	8.1	10.28	74.06	1.01
	8.7	10.00	72.28	-3.02
	9.3	10.27	71.84	3.02
	9.9	9.68	71.33	5.03
Radiation Pattern of H-plan	7.5	4.08	-53.22	42.47
	8.1	1.46	-51.29	47.37
	8.7	2.41	10.27	38.30
	9.3	2.94	-47.26	40.93
	9.9	3.64	-49.27	40.58

Table 4는 제작된 안테나의 지향성과 이득을 나타낸 것이다. 최적화된 예측치를 사용하여 제작한 다중공진 안테나의 지향성을 측정된 결과 수평면내 지향성의 평균 이득은 10.548dBi이고, 수직면내 지향성의 평균 이득은 2.906dBi이었다.

### 3. 결론

본 논문에서는 UWB 주파수 중에서 고역 대역인 7.2~10.2 GHz범위에서 사용할 수 있는 초광대역 마이크로스트립 패치 어레이 안테나로 설계하였다. 설계방법과 순서는 사각형 패치에 U자형 슬롯을 만들어 주파수특성을 광대역화 하였고, 각기 공진점을 다르게 5개의 패치를 설계한 후 이들을 배열하여 이득과 특성을 최적화 하였다.

안테나는 비유전율이 4.8 기판의 두께가 0.6mm인 타코닉사의 RF-35기판을 사용하였고, 기본 계산식에서 구한 수치를 기초자료로 활용하여 회로 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 최적화하였다. 최적화된 데이터를 사용하여 3D 설계가 가능한 CST Microwave Studio 5.0에서 안테나의 제반 특성을 예측하였고, 사진식각법으로 제작한 안테나의 특성을 측정된 결과는 다음과 같다. 주파수 특성은 반사손실이 -10dB인 주파수 범위가 7.12~10.28GHz로서 목표한 주파수 범위보다 훨씬 넓게 얻어졌다. 상측과 하측에서 0.1GHz의 대역이 더 나타나는 우수한 결과로서 하한인 7.2GHz에서는 약 -13dB, 상한인 10.2GHz에서는 -15dB정도가 되었다.

따라서 이 연구의 결과는 UWB용 뿐만 아니라 여러 가지의 무선통신의 기지국 등에서 활용될 수 있으며, 밀리미터파대에서 그 활용이 훨씬 다양하게 이루어질 것이다. 특히 밀리미터파대 응용분야로는 점대점(P2P) 고정 무선전송 백본망을 구축해 대학 캠퍼스내 통신, 빌딩간 사내통신, 도서통신용 및 고속무선 LAN, ITS(지능형교통시스템) 노변통신으로 사용되며, 또한 광케이블 포설이 어려운 산악지역 등의 이동통신 기지국과 제어국간을 연결하는 무선통신망 구축에도 유용하게 활용될 것으로 보인다.

### 참고 문헌

- [1] Balanis, C. A., (1998), "Antenna Theory Analysis and Design" ohm Wiley & Song INC.,
- [2] Pozar, D. M. and Schaubert, D. H. (1995), "Microstrip antennas, IEEE Press", New York.
- [3] Stutzman, W. L., and Thiele, G. A. (2004), "Antenna Theory and Design", JOHN WILEY & SONS, New York, pp. 88-89.
- [4] Bhalla, R. and Shafai, L. (2001), "Resonance Behavior of Single U-slot and Dual U-slot Antenna", *IEEE AP-S Symp*, Boston, Massachusetts., vol. 2, pp. 700-703, July 8-13.
- [5] Rosa, J., Nunes, R., Moleiro, A., and Peixeiro, C. (2000), "Dual-band micro-strip patch antenna element with double U slots for GSM", *IEEE Antennas Propagat Symp*, 1596-1599.

원고접수일 : 2007년 7월 23일

원고채택일 : 2007년 8월 22일