CPW 급전 단일 평면 부채꼴형 UWB 안테나 설계 및 제작

Sectorial Form UWB Antenna with a CPW-fed Uni-Planar

김 남 · 손 귀 범* · 박 상 명

Nam Kim · Gui-Bum Son* · Sang-Myeong Park

요 약

본 논문에서는 단일 평면 구조를 가지는 CPW 급전 부채꼴형 UWB 안테나를 제안하였다. 방사 소자와 접지면이 마주 하는 부분은 지수 함수적으로 테이퍼 된 슬롯 형태를 이루도록 설계되었으며, 사각형 보우타이 구조 다이폴 안테나를 변형하여 다중 공진 모드를 형성하도록 함으로써 임피던스 대역폭을 확장시켜 3.1～10.6 GHz에서 2 이하의 VSWR을 만족하는 특성을 구현하였다. 측정 결과 UWB 시스템 전 대역에서 −10 dB 이하의 반사 손실을 만족하며, XZ 평면(Theta, Phi=90°)에서 40.1～89.9°의 반전력 빔 폭과 전 대역에서 0.9～3.1 dB의 최대 이득을 나타내었다. 제안된 안테나는 기판 뒷면에 접지면이 없는 CPW 급전 구조를 사용하여 제작이 용이하고, 소형화가 가능하다.

Abstract

In this paper, we suggested a CPW-fed UWB antenna with uni-planar sectoral structure. The area where radiation device face ground is designed to have the shape of tapered slot based on exponential function. We modified a rectangular bow-tie dipole structure antenna and thus formed a multi-resonant mode. From this, we expanded the impedance bandwidth and made a feature satisfying VSWR of less than 2 between 3.1～10.6 GHz. The test result showed that the return loss less than −10 dB was met in the full-band UWB system and maximum gain of 0.9～3.1 dB was made with the half-power beamwidth of 40.1～89.9° on XY plane(Theta, Phi=90°) and the full band. By using CPW-fed structure with no ground on the back of the substrate, the suggested antenna is easy to design and its miniaturization is also possible.

Key words : UWB(Ultra Wideband), CPW(Coplanar Waveguide)

Ⅰ. 서 론

2002년 FCC(Federal Communications Commission)는 기존의 협대역 시스템이나 W-CDMA와 같은 광대역 시스템과의 구분을 위해 중심 주파수 20 % 이상의 점유 대역폭을 차지하는 시스템 혹은 500 MHz 이상의 점유 대역폭을 가지는 무선 전송 기술을 UWB(Ultra Wide Band)라고 정의하고 있으며, 3.1～10.6 GHz의 주파수 대역에서 최대 −41.3 dBm /MHz의 방사 전력 제한을 두었다. 방사 전력을 낮은 레벨로 제한한 것은 타 시스템과의 간섭을 최소화하며, 허가없이 사용할 수 있도록 한 것이다[1].

이러한 UWB 기술을 실현하기 위해 기존 형태의 안테나를 무선 이동 통신 단말기나 소형 응용 기기에 탑재하는 것은 적합하지가 않다. 예를 들어 대수 주기 안테나는 안테나 구조의 각각 다른 부분에서 방

「이 논문은 2006학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.」

충북대학교 정보통신공학과(Division of Information & Communication, Chungbuk National University)

*(주)래트론(Lattron)

· 논 문 번 호 : 20061031-136

· 수정완료일자 : 2007년 2월 14일

사가 일어나기 때문에 분산 특성으로 인한 불안정한 임펄스 응답 특성을 갖는다. 또한 UWB 통신에 적합한 방사 패턴을 갖는 UWB loop 안테나가 발표되었으나, 양호한 방사 패턴을 갖는 반면 임피던스 매칭이 좋지 않고 반향(reflection)이 심한 단점이 있다. 이에 임피던스 매칭 성능을 개선하기 위해 안테나 자체에 전기 저항 성분을 탑재한 양호한 광대역 임피던스 대역폭을 갖는 보우타이 안테나가 발표되었으나 방사 효율이 낮아지는 단점이 있다[2]. 최근에는 UWB 기술에 적합한 다양한 안테나가 보고되고 있으며, 평면 모노폴[3], 다이폴 안테나[4]들이 UWB 시스템에 사용하기 좋은 가능성을 보이고 있다. 또한, 원형 모노폴 구조에 2개의 슬릿을 사용한 형태[5], V 슬롯을 사용한 6각형 모양의 선형 테이퍼 형태[6], 역 U 슬롯을 사용한 형태[7] 등이 보고되었다.

UWB는 기존 무선 랜에 비해 5~10배 가량 빠른 100~500 Mbps의 무선 전송 속도를 가지며, 1/3 이하의 저전력을 사용한다는 장점으로 인해 향후 홈 네트워크 완성 및 유비쿼터스 시장을 선점할 수 있는 차세대 전송 기술로 각광을 받고 있다. 이러한 UWB 안테나는 광대역에서 저전력으로 동작하므로 기본적으로 넓은 주파수 범위에서 양호한 임피던스 매칭 및 방사 패턴을 유지하여야 하며, 저가로 제작하기 쉽고, 통신 응답이 안정적이어야 한다. 또한 UWB 전대역에 걸쳐 신호의 분산을 최소화하고 양호한 방사 패턴을 얻기 위해 선형 위상 응답을 가져야 하며, 소형화 추세에 있는 무선 통신 시스템의 요구 조건을 맞추기 위해서는 무엇보다도 안테나의 소형화가 이루어져야 한다.

따라서 본 논문에서는 UWB 전대역에서 2 이하의 VSWR을 만족하며 −10 dB 이하의 양호한 방사 패턴을 갖는 단일 평면 구조를 가지는 CPW 급전 부채꼴형 UWB 안테나를 구현하였다. 안테나 특성의 최적화를 위하여 안테나의 두께, 길이, 위치를 변화시켜 보았으며, 전체 크기 변화에 따른 반사 손실 특성을 확인하였다. 또한 제안한 안테나의 XY면과 XZ면에 대하여 주파수에 따른 방사 패턴 변화를 비교해 보았다.

Ⅱ. 안테나 구조 및 동작 특성

2-1 CPW 구조의 특성

크기, 무게, 가격, 성능, 설치의 용이성, 공기 저항이 문제가 되는 고성능 항공기, 우주선, 위성과 미사일 또는 이동 통신 분야 등에서는 두께가 얇은 안테나가 요구되고 있으며 이러한 요건을 만족하기 위하여 마이크로스트립 안테나가 사용되고 있다. 이러한 마이크로스트립 기판을 설계할 때 일반적으로 PCB 윗면에도 접지판을 넓게 깔아서 접지 전위를 안정시키고자 하는 경우가 많다. 이 경우 마이크로스트립 선로에서 일정거리 떨어진 위치에 접지판을 그리게 될 것이다. 윗면의 접지판과 선로간의 거리가 짧아지게 되면 실질적으로 이 선로는 완전한 마이크로스트립이라기보다는 접지판을 장착한 CPW(Coplanar Waveguide)와 비슷한 형태가 될 것이며, 특히 선로와 윗면 접지판과 중심 금속간의 거리가 중심 금속의 폭보다 작아지는 경우에는 마이크로스트립에 접지판을 장착한 CPW에 가까운 특성을 보이게 될 것이다[8].

CPW는 선로와 평행한 면에 일정거리의 GND가 존재하는 선로로써 신호선과 그라운드가 한 면에 있기 때문에 via를 구현하기 쉬우며, 무엇보다도 CPW 한 면에 공존하는 신호선과 그라운드 사이에 수직으로 field가 걸리기 때문에 microstrip과 달리 완전한 TEM 모드를 구현할 수 있어서 고주파가 될수록 microstrip보다 CPW의 전송 특성이 좋아진다. 특히 신호선과 그라운드가 동일 평면상으로 전계를 이루어 보다 그럴듯한 TEM mode를 이룰 수 있다는 장점을 지닌다.

이밖에도 CPW 급전 방식은 동일면상에 급전선과 접지면을 함께 놓으므로 MMIC 회로와 집적화가 쉽고, 능동 소자와의 집적이 용이하다는 장점을 지닌다. 본 논문 역시 접지면이 없는 CPW 구조를 구현하였으며, 이와 같은 구조를 이용하여 시뮬레이션상으로는 기존의 접지면을 이용한 안테나[9]보다 1.5배 소형화되는 효과를 확인할 수 있었다.

2-2 안테나 구조

본 논문에서 제안한 안테나의 기본 형태가 된 부채꼴형 구조는 time domain corporation의 평면 타원형 UWB 안테나[4]에서 제시했던 중앙 급전 방식 타

원형 다이폴 안테나의 구조 중 상타원 형태를 모델로 하였으며, 사다리꼴 모양의 모노폴 안테나 구조를 적용하여 설계하였다.

설계된 안테나는 지수 함수적으로 테이퍼 된 vivaldi 형태로 부채꼴 형태의 다이폴 구조를 기반으로 한 패치 안테나 형태이지만 두 개의 사각 패치를 마주하는 부분을 이용하여 테이퍼 된 슬롯 안테나 형태로 급전선을 기준으로 좌·우 대칭을 이루고 있다. 표면 진행파 안테나 종단에서 복사가 이루어지며, 기판과 평행한 대칭성 복사 패턴(E-plane)을 만들 수 있고, 평면 구조에도 수직인 대칭성 복사 패턴(H-plane)을 만들 수 있다. 그러므로 이와 같은 형태는 양호한 전계 평면과 자계 평면을 만들 수 있다는 장점을 지닌다.

또한 기존 UWB 안테나의 경우, 광대역 특성을 얻기 위해 한정된 크기의 기판에서 패치 모양을 변화시켰으나 이 방법에는 한계가 따르므로 본 논문에서는 패치면과 피드 라인 중간에 다른 크기의 사각 패치인 사각 스텝(step)을 위치시켜 임피던스 매칭에 의한 광대역 방법을 사용하였다. 즉, 그림 1에서 보는 바와 같이 패치면 바로 아랫단에 2개의 사각 스텝을 달아 임피던스 매칭을 유도하였다.

전체 크기는 FDTD 방법을 사용한 UWB 다이폴 안테나 실험[2]에서 제시한 가로:세로=66.5:38.0 mm를 기준으로 가로:세로 크기의 변화를 통하여 VSWR ≤2의 결과를 만족하는 값으로 설계되었다. 시뮬레이션 수행시에는 가로:세로=30:30 mm일 때도 VSWR ≤2의 결과를 만족함을 확인할 수 있었으나 실제 제작된 안테나는 UWB 대역을 만족하지 못함을 확인하여 본 논문에서는 가로:세로=90:90 mm 크기의 안테나를 제안하였다.

그림 1은 제안된 안테나의 구조를 나타낸다. 안테나 입력 임피던스 매칭에 영향을 끼치는 변수로 기판 두께와 비유전율, 박막 두께를 우선적으로 고려한 후 타원 중앙에 폭 W=2.9 mm의 급전선과 급전선 양옆으로 접지면과 사이 공간 g=0.4 mm를 삽입하여 입력 임피던스 50 [Ω]을 갖는 전송 선로를 구성하였다. 전체 크기를 축소, 확대시킴에 따라 안테나의 반

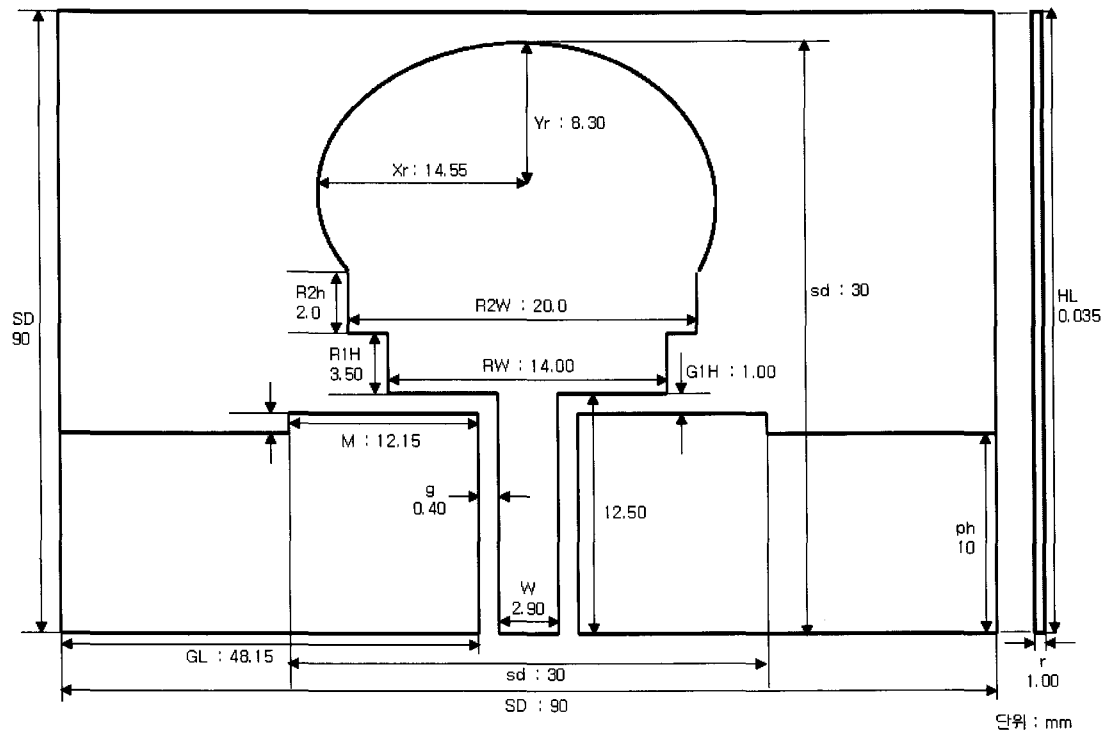


그림 1. 부채꼴형 다이폴 구조에 CPW 급전을 적용한 후 접지면을 변화시킨 안테나 구조
Fig. 1. Geometry of the antenna with change of ground shapes by CPW on the disc sector dipole structure.

사 손실 특성은 일정하게 유지하면서 −10 dB 이하를 만족하는 안테나의 모델 이론을 검증하였다.

2-3 동작 특성

사각형 다이폴 안테나에 CPW 급전 선로를 구성한 후 접지의 아래쪽면, 즉 방사 소자와 마주 하지 않는 반대쪽 급전면의 사각 형태의 높이를 변형시켰으며 이에 대한 결과는 그림 2와 같다.

이와 같은 변화를 살펴보는 이유는 CPW 급전 특성상 양 옆의 접지면을 급전면과 평행하게 해줌으로써 도파관 형태의 급전 조건을 만족시키기 위해서였다. 또한 이러한 형태는 실제 안테나 제작시 사각 형태로 제작을 용이하게 해주며, 에칭 소요를 감소시켜주는 효과가 있다. 시뮬레이션 결과 11.5 mm에서 최적화가 이루어짐을 알 수 있었다.

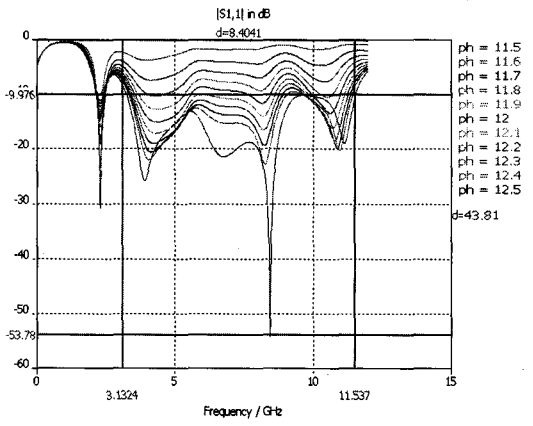


그림 2. 접지 아래쪽(급전면) 변화에 따른 반사 손실
Fig. 2. Return loss for different size of lower side of ground edge(feeding point side).

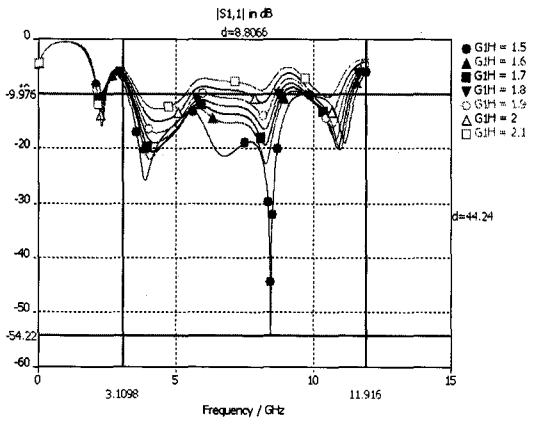


그림 3. 방사 소자 급전 높이 변화에 따른 반사 손실
Fig. 3. Return loss for different feed heights of radiation.

또한 급전 높이가 반사 손실에 큰 영향을 줄 수 있을 것으로 판단됨에 따라 이를 안테나 특성에 영향을 끼치는 주요 변수의 하나로 지정하고 1.5 mm에서 2.1 mm까지 변화시켜 보았다. 이때 방사 소자의 급전 높이는 방사 소자와 접지면 사이의 공간 크기를 나타낸다. 시뮬레이션 결과 급전 높이는 1.0 mm에서 최적화되었다.

그림 4는 피드 너비에 따른 반사 손실 특성을 보여준다. 설계된 안테나의 피드 너비를 0.25 mm에서 1.50 mm까지 시뮬레이션한 결과, 위에서 살펴본 안테나 방사소자 크기 변화 결과와 마찬가지로 전체적인 변화 패턴은 비슷하다는 것을 알 수 있었다. 그러나 피드의 너비가 0.50 mm 이상인 경우는 3~8 GHz, 9~10 GHz 두 대역에서 −10 dB 이하의 결과를 만족하지 않았다.

본 논문에서는 위와 같은 parameter sweeping 과정을 통하여 안테나 특성 변수에 대한 최적값을 찾았으며 최적화 된 값을 바탕으로 하여 안테나에 적용된 파라미터는 표 1과 같다.

제안된 안테나를 시뮬레이션해 본 결과 그림 5와 같이 약 3.1~11.5 GHz 범위의 반사 손실을 보이고 있으며, VSWR 결과 또한 그와 같은 3.1~11.5 GHz

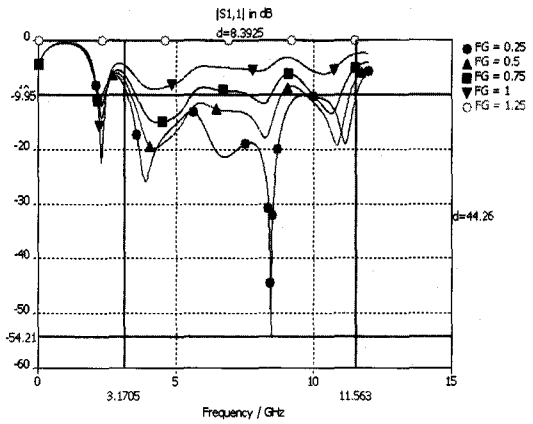
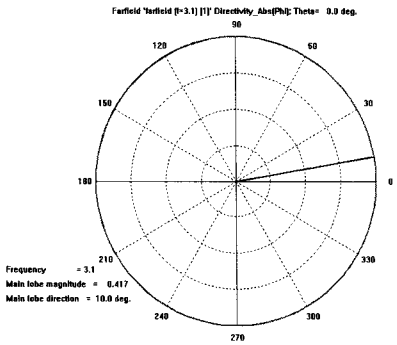
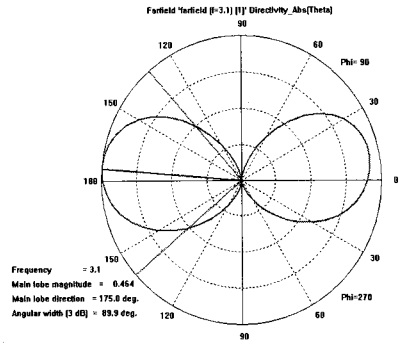


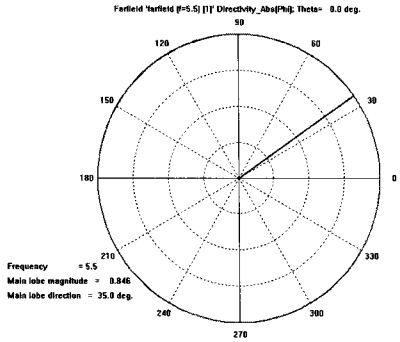
그림 4. 안테나의 피드 너비 크기 변화에 따른 반사 손실
Fig. 4. Return loss for various size of feed width.



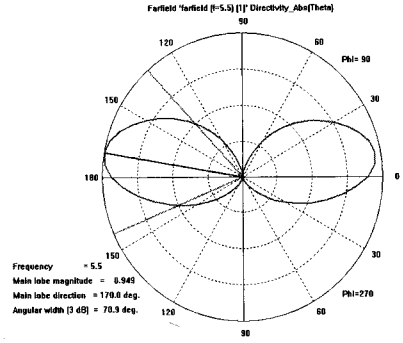
(a) XY(Theta/Phi=0°), 3.1 GHz



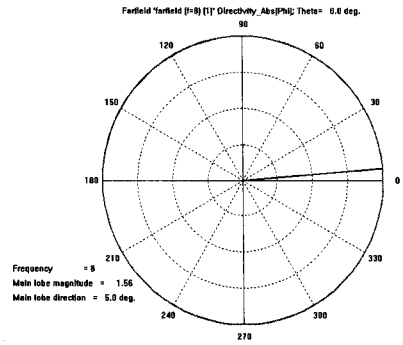
(b) XZ(Theta/Phi=90°), 3.1 GHz



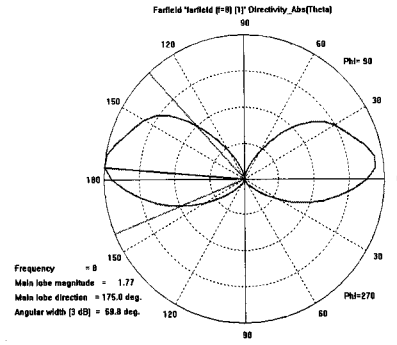
(a) XY(Theta/Phi=0°), 5.5 GHz



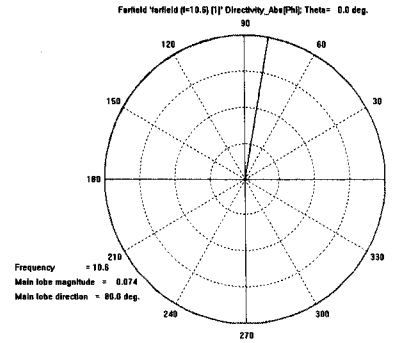
(b) XZ(Theta/Phi=90°), 5.5 GHz



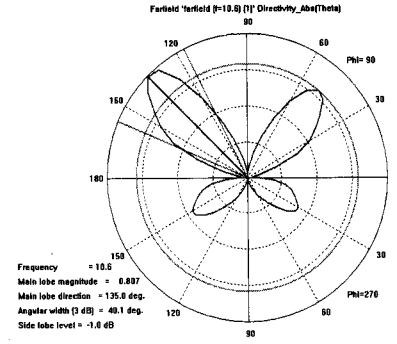
(a) XY(Theta/Phi=0°), 8.0 GHz



(b) XZ(Theta/Phi=90°), 8.0 GHz



(a) XY(Theta/Phi=0°), 10.6 GHz



(b) XZ(Theta/Phi=90°), 10.6 GHz

그림 6. 제안한 안테나의 (a) XY 평면과 (b) XZ 평면 시뮬레이션 방사 패턴 측정 비교
Fig. 6. Comparison of simulated radiation patterns between (a) XY plane and (b) XZ plane for proposed antenna.

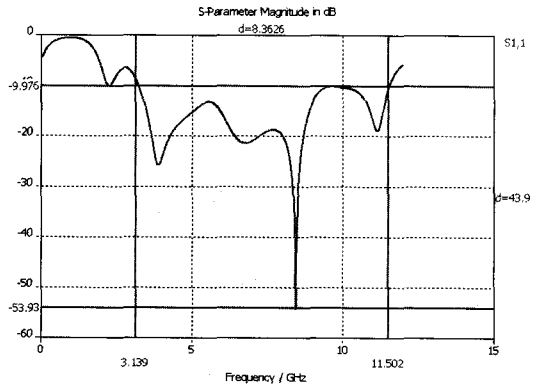


그림 5. 제안한 안테나의 반사 손실 시뮬레이션
Fig. 5. Simulation on return loss of proposed antenna.

대역에서 2.0 이하의 값을 만족하는 결과를 나타냄을 알 수 있었다. 그림 6은 제안된 안테나의 방사 패턴을 시뮬레이션한 결과이다. 그 결과 X-Z 평면(Theta, Phi=90°)에서 반전력 빔 폭(3 dB)은 (3.1 GHz－89.9°), (5.0 GHz－70.9°), (8.0 GHz－69.8°), (10.6 GHz－40.1°)였으며, 전대역에서 0.9～3.1 dB의 최대 이득을 보이고 있다.

이와 같은 시뮬레이션 결과는 UWB 주파수 대역인 3.1～10.6 GHz 대역 중 10.6 GHz를 11.5 GHz로 약 0.9 GHz 정도를 증가시켜 줌으로써 대역폭 증가 효과도 있음을 알 수 있었다.

표 1. 제안한 안테나의 설계 파라미터
Table 1. Design parameters for proposed antenna.

변수	파라미터	값
W	급전선 폭	2.9 mm
g	급전 갭 폭	0.4 mm
GL	접지 아래쪽 면(가로)	48.15 mm
FG	방사 소자 높이	1.0 mm
M	접지 위쪽 면 너비	12.15 mm
GH1	접지 위쪽 면 높이	1.0 mm
ph	접지 아래쪽 면 높이	10 mm
RW	방사 소자 하단 너비	14 mm
R1H	방사 소자 하단 높이	3.5 mm
R2W	방사 소자 중간 너비	20 mm
R2h	방사 소자 중간 높이	2.0 mm
Xr	X축 반지름	14.55 mm
Yr	Y축 반지름	8.30 mm
sd	실제 안테나 크기	30.0 mm : 30.0 mm
SD	안테나 전체 크기	90.0 mm : 90.0 mm

Ⅲ. 안테나 제작 및 측정

그림 7은 제작한 안테나의 실제 모습을 보여주고 있다. 제작된 안테나는 가로:세로=90:90 mm였으며, 사용된 기판은 비유전율(ε_r) 4.62, 박막 두께 0.035 mm인 FR-4 에폭시 기판이었다. 안테나의 반사 손실은 E4407B 스펙트럼 분석기를 사용하여 측정하였으며, 방사 패턴 및 이득은 MTG 혼 안테나(1～3.5 GHz, 5.1～8.2 GHz, 8.5～9.5 GHz, 9.6～11 GHz)를 사

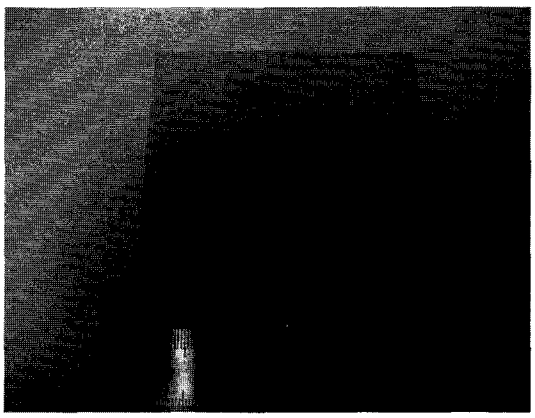


그림 7. 제작된 안테나의 사진
Fig. 7. Photograph of the fabricated antenna.

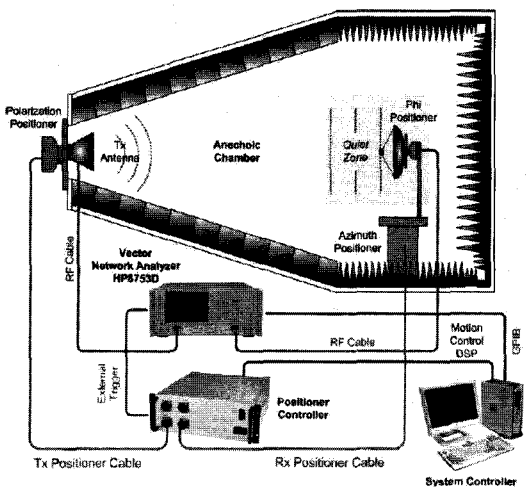


그림 8. 챔버 구조
Fig. 8. Configuration of chamber.

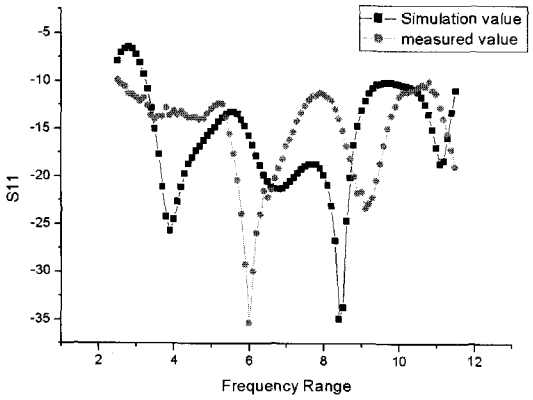


그림 9. 제안한 안테나의 반사 손실 시뮬레이션 값과 측정값

Fig. 9. Simulation and measure value on return loss of proposed antenna.

용하였다. 그림 8은 안테나의 방사 패턴과 이득을 측정한 챔버의 구조도를 나타낸다.

측정 결과 −10 dB 이하를 만족하기 시작하는 주파수는 3.1～10.6 GHz로 약 3.1～11.5 GHz 범위의 반사 손실을 보이는 시뮬레이션 결과보다 0.9 GHz의 차이를 제외하면 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 비교적 잘 일치하고 있으며, 두 결과 모두 UWB 시스템 전대역에서 −10 dB 이하의 양호한 반사 손실을 나타내고 있음을 확인해 볼 수 있다. 이와 같은 결과는 3.1～10.6 GHz의 주파수 대역을 갖는 UWB 시스템에서 사용 가능한 조건을 만족하고 있음을 보이고 있다.

그림 10은 제작된 안테나의 방사 패턴 측정 결과를 나타낸다. 그 결과 좌, 우 8자 형태의 방사 패턴과는 위상이 90° 바뀐 특성을 보이는 10.6 GHz를 제외하고 3.1 GHz, 5.5 GHz, 8.0 GHz에서는 거의 전방향 방사 패턴을 보이고 있음을 확인할 수 있다. 이와 같은 결과는 UWB 시스템의 장점인 광대역(3.1～10.6 GHz) 통신 측면에서 볼 때 각각의 개별 주파수에 따른 방사 패턴을 고려하는 것이 아니라 UWB 전대역의 주파수를 모아놓은 폐곡면의 방사 패턴을 고려하기 때문이라 생각된다. 측정 결과의 최대 이득은 X-Y 평면(Theta, Phi=0°)에서 0.23～2.57 dB로 확인되었다.

일반적으로 패치 안테나의 패치 모양은 사각형이 대부분이었다. 그러나 본 논문에서는 전통적인 사각 패치 모양이 아닌 변형된 부채꼴 형태로 설계함으로써 부채꼴 형태가 전류의 흐름을 더욱 원활하게 만들어 광대역 특성을 나타내는 것으로 생각된다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 단일 평면 구조로 CPW 부채꼴형 UWB 안테나를 설계 및 제작하여 특성을 기술하였다. 제안한 안테나는 방사 소자와 접지면이 마주하는 부분이 지수 함수적으로 테이퍼 된 슬롯 형태를 이루도록 설계되었다. 또한 사각형 보우타이 구조의 다이폴 안테나를 변형시켜 다중 공진 모드를 형성시킴으로써 임피던스 대역폭을 확장시켜 UWB 시스템 전대역(3.1～10.6 GHz)에서 VSWR≤2를 만족하는 광대역 안테나를 설계하였다.

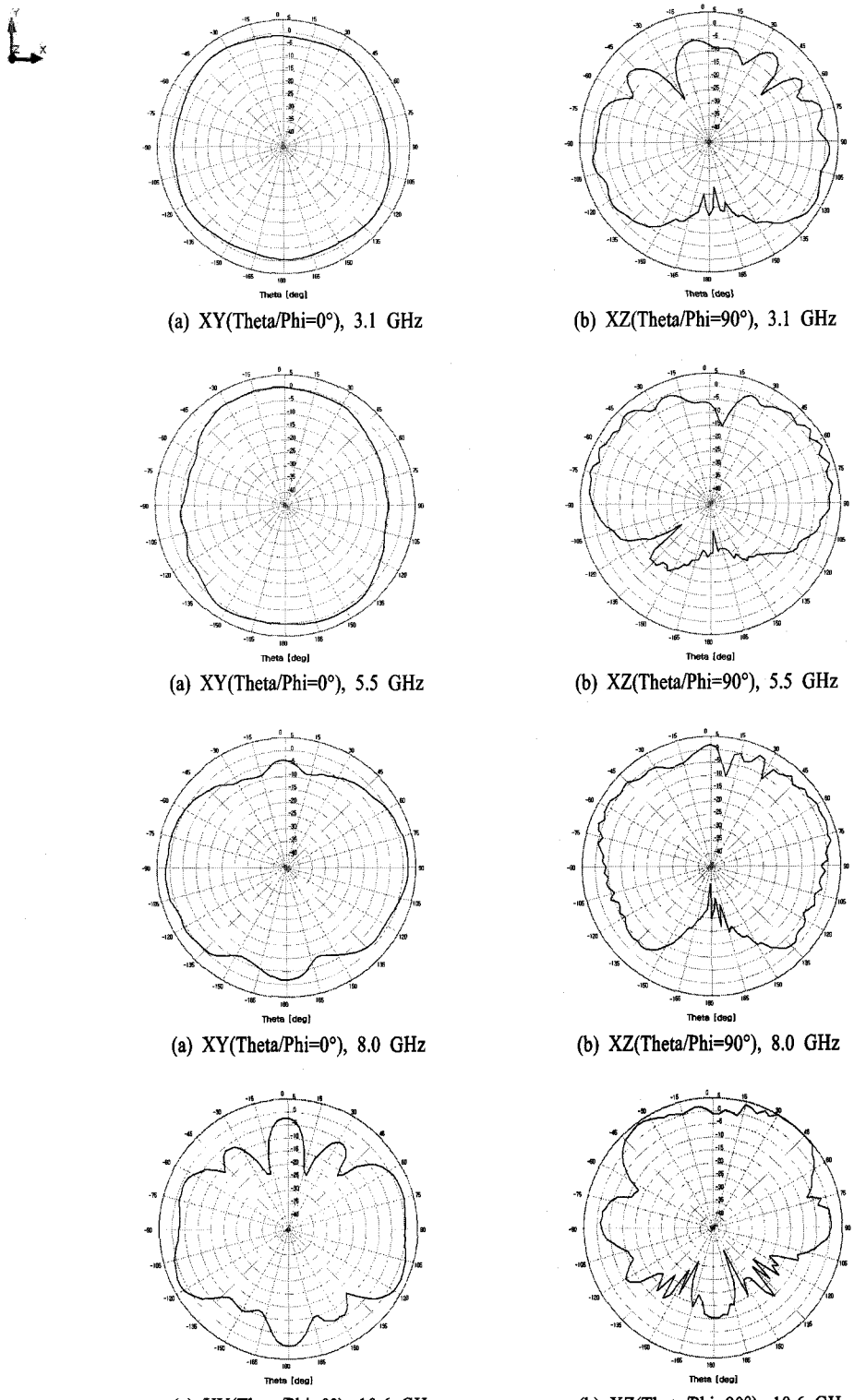
설계된 안테나는 기판 뒷면에 접지면이 없는 CPW 급전 구조를 사용하여 제작이 용이하였다. 측정 결과 UWB 전대역에서 VSWR≤2를 만족하였고, 반사 손실은 −10 dB 이하를 만족하였다. 또한 X-Z 평면(Theta, Phi=90°)에서 반전력 빔 폭은 각 주파수 대역별로 40.1～89.9°였으며, 전대역에서 0.9～3.1 dB의 최대 이득 특성과 전방향 방사 패턴을 보였다. 따라서 본 논문에서는 3.1～10.6 GHz의 주파수 대역을 갖는 UWB 시스템에서 사용 가능한 안테나를 구현할 수 있었다.

그러나 시뮬레이션 상에서는 안테나의 가로:세로의 비율을 30:30 mm로 하였을 때 제안된 안테나의 특성을 만족하였으나 실제로는 90:90 mm로 기판의 크기와 그라운드 하단의 크기를 확대시켰을 때가 안테나의 특성을 만족시키는 최적의 비율임을 확인함에 따라 시뮬레이션 상의 소형화를 실제로도 구현하기 위한 연구를 진행 중에 있다.

참 고 문 헌

[1] 장병준, 이윤덕, "UWB 통신의 주요 이슈와 향후 기술", 주간기술동향, 통권 1140호, 2004년 7월.

[2] Quibo Ye, W. R. Lauber, "Microstrip ultra-wide-band dipole antenna simulation by FDTD", *IEEE Antennas and Propagation Society International*



(a) XY(Theta/Phi=0°), 3.1 GHz

(b) XZ(Theta/Phi=90°), 3.1 GHz

(a) XY(Theta/Phi=0°), 5.5 GHz

(b) XZ(Theta/Phi=90°), 5.5 GHz

(a) XY(Theta/Phi=0°), 8.0 GHz

(b) XZ(Theta/Phi=90°), 8.0 GHz

(a) XY(Theta/Phi=0°), 10.6 GHz

(b) XZ(Theta/Phi=90°), 10.6 GHz

그림 10. 제안한 안테나의 (a) XY 평면과 (b) XZ 평면 방사 패턴 측정 결과 비교

Fig. 10. Comparison of measured radiation patterns between (a) XY plane and (b) XZ plane for proposed antenna.

Symposium, vol. 3, pp. 620-623, Jun. 2003.

[3] Seong-Youp Suh, W. Stutzman, W. Davis, A. Waltho, and J. Schiffer, "A novel CPW-fed disc antenna", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 3, pp. 2919-2922, Jun. 2004.

[4] H. G. Schantz, "Planar elliptical element ultra-wideband dipole antennas", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 3, pp. 44-47, Jun. 2002.

[5] Hyungkuk Yoon, Hyungrak Kim, Kihun Chang, Young Joong Yoon, and Young-Hwan Kim "A study on the UWB antenna with band-rejection characteristic", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 2, pp. 1784-1787, Jun. 2004.

[6] Y. Kim, D. H. Kwon, "CPW-fed planar ultra wide band antenna having a frequency band notch function", *Electronics Letters*, vol. 40, no. 7, pp. 403-405, Apr. 2004.

[7] A. Kerkhoff, Hao Ling, "A parametric study of band-notched UWB planar monopole antennas", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 2, pp. 1768-1771, Jun. 2004.

[8] RF designhouse(http://www.rfdh.com/rfdb/cpwg.hw)

[9] 이동현, 박위상, "표면 전류 분포를 이용한 T자형 UWB 평면형 모노폴 안테나 해석", 한국전자파학회논문지, 16(9), pp. 883-892, 2005년 9월.

[10] D. M. Pozar, "Microstrip Antennas", *Proc. IEEE*, vol. 80, no. 1, pp. 79-81, Jan. 1992.

[11] 박길영, 신호섭, 오병철, 김남, "변형된 접지면과 대역 저지 특성을 갖는 단일 평면 타원형 UWB 안테나", 한국전자파학회논문지, 16(12), pp. 1194-1205, 2005년 12월.

[12] 이효경, 이정남, 장화열, 박종권, "반원 형태의 UWB 안테나 설계", 한국전자파학회논문지, 16(9), pp. 932-940, 2005년 9월.

[13] 이정남, 이성훈, 박정남, "사다리꼴 모양의 UWB 안테나 설계", 한국전자파학회논문지, 16(3), pp. 235-245, 2005년 3월.

[14] 김기수, 박동국, "초광대역 CPW 급전 슬롯안테나", 한국전자파학회논문지, 14(7), pp. 663-668, 2003년 7월.

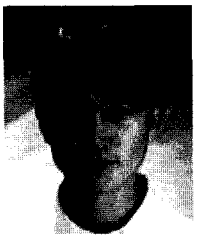
[15] 김명석, 신경섭, 김영두, 이홍민, "CPW 급전 광대역 슬롯 안테나 설계", 한국전자파학회논문지, 15(2), pp. 212-216, 2004년 2월.

[16] 고지환, 신인호, 이영순, 조영기, "UWB 통신용 광대역 소형 안테나 설계", 한국전자파학회논문지, 16(11), pp. 1087-1098, 2005년 11월.

김 남

1981년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1983년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1988년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
1992년 8월~1993년 8월: 미국 Stanford 대학교 방문교수
2001년 3월~2002년 2월: 미국 California Technology Institute (Caltech) 방문교수
1989년~현재: 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수
1999년~현재: 충북대학교 컴퓨터 정보통신연구소 연구원
[주 관심분야] 이동통신 및 전파전파, 마이크로파 전송선로 해석, EMI/EMC 및 전자파 인체보호 규격

손 귀 범



2000년 8월: 홍익대학교 컴퓨터 정보통신공학과 (공학사)
2006년 8월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)
[주 관심분야] 초광대역 안테나 설계, 전자파 응용

박 상 명

2005년 2월: 충북대학교 전기전자 컴퓨터공학부 (공학사)
2005년 9월~현재: 충북대학교 정보통신공학과 석사과정
[주 관심분야] EMF, EMI/EMC, SAR 계산 및 측정, 안테나 설계