

초광대역(UWB) Coplanar Waveguide 급전 L자 평면형 모노폴 안테나 설계

Design of Ultra Wideband Coplanar Waveguide-Fed L-planar Type Monopole Antennas

김준일 · 이원택 · 장진우 · 지 용

Joon-Il Kim · Won-Taek Lee · Jin-Woo Chang · Yong Jee

요 약

본 논문에서는 집적회로 구성을 위한 초광대역(ultra wideband: UWB) coplanar waveguide(CPW) 급전 L자 평면형 모노폴 안테나 구조를 제시한다. 제안된 CPW 급전 초광대역 L자 평면형 모노폴 안테나는 유전체 기판($\epsilon_r = 3.38$, @10 GHz)을 이용하여 설계 및 제작되었으며 안테나의 50Ω 급전 선로와 방사면이 RFIC 설계에 적합하도록 동일한 평면 위에서 인쇄되었다. 설계된 안테나의 임피던스 대역폭(VSWR ≤ 2)은 3.0 GHz로부터 11.0 GHz였으며 전형적인 모노폴 안테나의 방사 패턴이 측정되었다. 안테나의 임피던스 대역폭에 해당하는 주파수 이득(gain)은 1.4~4.6 dBi로 측정되었고 RFIC 설계에 적합한 초광대역 안테나로 동작하고 있음을 확인할 수 있었다.

Abstract

This paper presents a coplanar waveguide fed L-planar type monopole antenna which covers ultra wideband(UWB) region of 3.1 GHz to 10.6 GHz. The proposed UWB L-planar type monopole antenna is designed and implemented on the organic substrates($\epsilon_r = 3.38$, @10 GHz). The radiation elements, feed line, and ground planes of the antenna are printed on the same conductive layer of the substrates. The bandwidth of the proposed antenna is measured in the range of 3.0 GHz to 11.0 GHz. The measured radiation patterns are symmetrical in E-plane and omni-directional in H-plane. Antenna gains ranges from 1.4 dBi to 4.6 dBi. The proposed UWB antenna shows that the structure is adequate for the design of RFIC.

Key words : UWB, CPW-fed, L-type Planar Antenna

I. 서 론

최근의 고속 스위칭 기술의 발전에 따라 초광대역(UWB) 시스템이 고성능 무선 통신 기술에 있어 많은 관심을 받고 있다. 초광대역 무선 통신 시스템의 구현에 있어서 이에 대응하는 주파수 대역은 미국 연방통신위원회(Federal Communications Commission: FCC)에 의해 3.1 GHz로부터 10.6 GHz까지의 단일

주파수 범위로 규정되었으며 이는 3.4:1의 주파수 비율을 갖는다. 따라서 초광대역 무선 통신 시스템을 구현하기 위한 안테나는 3.1 GHz로부터 10.6 GHz까지의 주파수 대역(VSWR ≤ 2)을 단일 주파수 대역을 통해 포함하여야 하며 이와 같은 안테나 대역폭은 구현된 통신 시스템의 성능에 있어서 주요한 특성을 결정하는 요소가 된다. 모노폴 안테나는 우수한 방사 특성과 간단한 제작 과정 등의 장점으로 인하여

「이 연구는 2006학년도 정보통신부 IT-SoC 프로그램에 의해 지원되었음.」

서강대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Sogang University)

· 논문 번호 : 20061218-155

· 수정완료일자 : 2007년 1월 16일

개발되고 있으며 초광대역 모노폴 안테나의 구현을 위해 다양한 안테나 방사면 구조가 제시되고 있다. 이러한 구조들은 대부분 안테나가 방사면에서 복수 개의 다중 공진을 일으킬 수 있도록 각각의 공진 주파수에 따른 전류 경로(current path)를 형성시켜 주거나^{[1],[2]} 기본 공진으로부터 고조파(harmonics)를 형성시키고, 이들 공진에 의한 주파수 대역들을 겹치게 하는 방법^{[3],[4]} 등을 이용하고 있다. 특히 방사면과 접지면이 동일한 평면에 있는 평면형 모노폴 안테나는 집적화가 가능하며 coplanar waveguide(CPW) 급전 구조를 이용한 안테나는 제작이 비교적 간단하고 구조적 특성상 광대역 임피던스 대역폭을 얻을 수 있다는 장점이 있다^[5]. 본 논문에서는 제안된 CPW 급전 L자 평면형 모노폴 안테나가 급전 선로 끝단에서 연결된 개방형 스텐브(open stub)의 길이를 조정함으로써 UWB 특성을 나타내는 동작 원리를 제시하였으며 초광대역 평면형 모노폴 안테나의 특성을 고찰하였다.

II. 안테나의 구조

그림 1은 본 논문에서 제시하는 CPW 급전 L자 평면형 모노폴 안테나의 구조를 나타낸 것으로 안테나의 전체 크기는 30.0 mm(W)×25.0 mm(L)×0.5 mm(T)이며 상대 유전율이 3.38(@10 GHz), 0.5 oz. 두께의 구리(copper)로 구성된 기판 재질인 RO4003™ 위에 제작되었다. 안테나의 동작 영역을 설정하기 위하여 고안된 구조는 그림 1과 같으며 급전 선로 좌측의 L자형 모노폴 안테나는 표 1에서와 같이 $L_2+L_m+w+L_s$ ($=l_2$)의 길이 합으로 구성되고, 본 논문에서는 그 길이를 20.3 mm로 구성하였다. 급전 선로와 수직한 형태로 된 개방형 스텐브의 길이는 L_m+L_s+w ($=l_1$)로 이루어지며 그 길이는 6.2 mm이다.

그림 1 및 표 1에서 보여주는 구조와 길이를 갖는 L자형 모노폴 안테나는 4.1 GHz와 9.2 GHz에서 두 개의 공진 주파수를 형성한다. 각각의 공진 주파수에 따른 표면 전류 분포(surface current distributions)는 4.1 GHz의 공진 주파수에 대하여 A-B-E-C ($=l_2$)를 따라서 형성되며 9.2 GHz에 대해서는 E-B-A($=l_1$)를 따라서 형성된다^[12]. 공진 주파수에 대한 표면 전류 분포의 전기적 길이는 자유 공간에 대하여

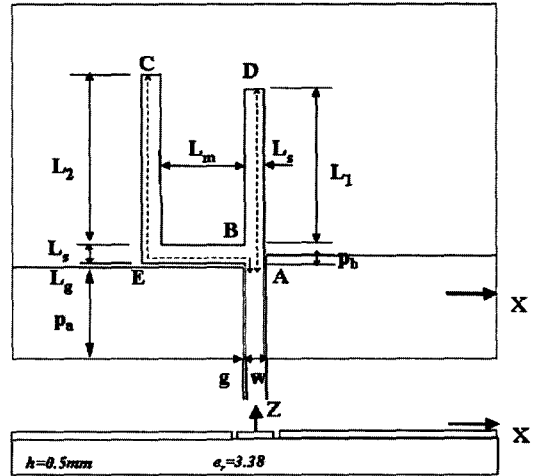


그림 1. 제안된 CPW 급전 L자 평면형 모노폴 안테나의 구조

Fig. 1. The structure of a proposed CPW-fed L-planar type monopole antenna.

표 1. 제안된 CPW 급전 L자형 평면형 모노폴 안테나의 설계값

Table 1. Dimensions of a proposed CPW-fed L-planar type monopole antenna.

설계변수	g	w	P_b	P_a	L_1
길이(mm)	0.1	1.25	1.45	6.45	11.02
설계변수	L_2	L_m	L_s	L_g	h
길이(mm)	12.06	5.43	1.25	0.3	0.5

각각 $0.26 \lambda_0$, $0.24 \lambda_0$ 로 계산되어 동작되는 안테나가 모노폴 안테나임을 알 수 있다^{[13],[14]}. 그림 2는 표 1

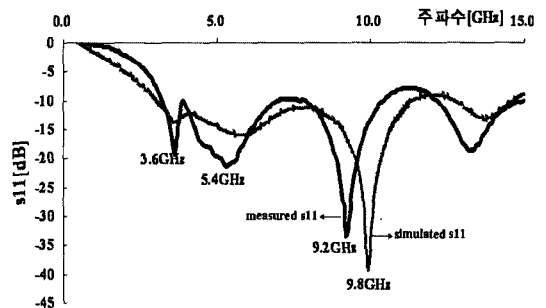


그림 2. 측정 및 모의 실험된 CPW 급전 L자 평면형 모노폴 안테나의 S-parameter

Fig. 2. Measured S-parameters of CPW-fed L-planar type monopole antenna.

에서와 같이 최적화 된 L자 평면형 모노폴 안테나의 주파수 특성을 모의 실험 결과와 측정된 결과를 비교하여 보여준다. 모의 실험은 유한 요소법(Finite Element Method: FEM)을 적용한 고주파 수치 해석 프로그램인 HFSS™(High Frequency Structure Simulator)를 이용하여 설계된 안테나의 주파수에 따른 전자기적 특성을 분석하는 방법을 이용하였다^[12]. 그림 2에 의하면 모의 실험 및 측정에 있어서 모두 세 개의 공진이 발생하고 있음을 알 수 있다. 그 결과에 있어 3.6 GHz와 5.4 GHz의 공진 주파수는 일치하지만, 9 GHz 대역의 공진에 있어서는 모의 실험 과정에서 예측된 공진 주파수는 9.8 GHz에서 형성되었으나 실험 결과를 통해 측정된 공진 주파수는 9.2 GHz로 나타나서 모의 실험과 제작 측정 실험 결과 사이에는 약 600 MHz의 차이가 발생함을 볼 수 있었다. 이러한 차이는 모의 실험과 측정 실험에서 발생할 수 있는 주파수에 따른 유전율의 오차로 판단된다.

III. 초광대역(UWB) 설계 및 실험

3-1 개방형 스텐브(Open Stub)를 이용한 초광대역 L자 평면형 모노폴 안테나 설계

그림 3에서와 같이 L자 평면형 안테나는 4.1 GHz 및 9.2 GHz의 이중 공진 주파수를 형성하게 되며 두 공진 주파수 사이의 주파수 대역에서는 반사 손실(return loss, S_{11})이 -10 dB보다 크게 되어 안테나의 특성을 만족시키지 못하게 된다^[8]. 따라서 두 공진 주파수 대역 사이에서의 동작 특성을 개선시키기 위해 본 연구에서는 그림 1과 같이 CPW 급전 선로의 끝점(A)에 L자 평면형 안테나와 병렬로 개방형 스텐브를 삽입하는 방법을 제시하였다. 이러한 개방형 스텐브를 L자 평면형 안테나에 삽입함으로써 두 공진 주파수 사이의 주파수 대역에서는 VSWR(voltage standing wave ratio) 값이 2 이하로 낮아짐을 볼 수 있었고 그 결과로 초광대역폭(3.1~10.6 GHz)을 포함하는 임피던스 대역폭을 갖는 L자 평면형 모노폴 안테나로서 구성됨을 볼 수 있었다. 이와 같이 급전 선로에 개방형 스텐브를 연결하여 광대역 안테나를 구성하는 방법은 급전 선로와 모노폴 안테나 사이의 전자기적 에너지를 서로 공유시켜 주는 현상을 조절할 수 있어 안테나의 주파수 대역폭에 대한 임피던

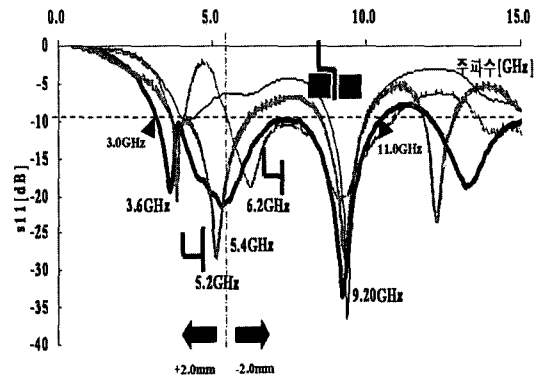


그림 3. 개방형 스텐브 길이에 따른 CPW 급전 L자 평면형 모노폴 안테나의 초광대역폭 특성
Fig. 3. Measured ultra wideband characteristics of the proposed CPW-fed L-planar type monopole antennas depending on the various length of open stubs.

스 매칭 조건들을 향상시킬 수 있기 때문이다^{[9]~[11]}. 그림 3은 개방형 스텐브 길이의 변화에 따른 안테나의 주파수 대역 특성을 측정된 S 파라미터의 변화를 보여주고 있다. S 파라미터 데이터는 Agilent 8722ES VNA(vector network analyzer)를 이용하여 측정되었으며 제작된 안테나는 SMA connector를 통해 VNA와 연결되어 측정되었다.

그림 3에 의하면 UWB 안테나를 구현하기 위해서는 L자 평면형 모노폴 안테나와 병렬로 연결된 개방형 스텐브가 L자형 안테나의 두 공진 주파수 대역 사이에서 공진되는 공진 주파수를 갖는 구조이어야 한다. 본 실험에서는 그 개방형 스텐브의 길이가 5.4 GHz에서 약 $0.23 \lambda_0$ 에 해당하는 길이로 설계될 때 제안된 안테나가 초광대역폭을 갖는 모노폴 안테나로서 최적화됨을 알 수 있었다. 이는 개방형 스텐브에 의한 공진 현상이 L자 평면형 모노폴 안테나가 형성하는 두 개의 공진 주파수 사이에서 발생하도록 설계되어야 하기 때문이다. 그림 3에서는 최적화된 개방형 스텐브의 길이를 조사하기 위하여 일정 길이(2.0 mm)를 증가 또는 감소시킴으로써 제안된 L자 평면형 모노폴 안테나의 주파수 대역폭 특성을 관찰하였다. 측정 결과에 의하면 개방형 스텐브의 길이는 최적화된 길이보다 2.0 mm 짧을 경우, 공진이 약 6.2 GHz에서 발생하며 안테나의 전체 대역폭은 5.4 GHz로부터 11.0 GHz까지 형성되었고 약 4.0 GHz에

표 2. 개방형 스텐브 길이에 따른 공진 주파수 변화
Table 2. The variation of resonant frequencies depending on the lengths of open stubs.

설계 길이[mm]	10	12	14
전기적 길이(λ_0)	0.21 (6.2 GHz)	0.23 (5.4 GHz)	0.24 (5.2 GHz)
f_1 [GHz]	3.8	3.6	3.8
f_2 [GHz]	6.2	5.4	5.2
f_3 [GHz]	9.2	9.2	9.2

서의 특성이 감쇄됨을 볼 수 있었다. 하지만 초광대역폭 특성은 나타나지 않음을 확인할 수 있었다. 또한 그 길이가 최적화된 길이보다 2.0 mm 길게 설계될 경우, 이에 따른 공진 주파수는 약 5.2 GHz에서 발생하며 3.6 GHz부터 안테나의 대역폭이 형성되지만 약 6.0 GHz부터 7.5 GHz의 주파수에서 안테나의 동작 특성이 상쇄되어 두 개의 독립된 이중 주파수 대역 구조를 가지게 됨을 볼 수 있었다. 그림 3에서는 개방형 스텐브의 길이에 따라서 저점의 공진 주파수가 변화하는 것을 볼 수 있는데, 이는 개방형 스텐브가 A-B-E-C(=1/2)의 전류 경로를 갖는 L자 평면형 모노폴의 전자기적 에너지 공유 현상에 영향을 미치고 있기 때문이다^{[9],[10]}. 표 2는 개방형 스텐브의 길이에 따른 공진 주파수의 변화를 보여주고 있다.

그림 3과 표 2에 의하면 CPW 급전 L자 평면형 모노폴 안테나의 초광대역폭 특성을 설계할 수 있는 개방형 스텐브의 길이는 5.4 GHz에 대하여 $0.23 \lambda_0$ 의 길이를 갖도록 최적화되어야 하며 이러한 설계에 따라 안테나의 초광대역폭 특성이 설정될 수 있음을 알 수 있었다.

3-2 접지면(Ground Plane)을 이용한 초광대역 안테나의 임피던스 조건 설계

그림 4는 L자 평면형 모노폴 안테나의 구조에서 급전 선로와 수직하며 접지면과 평행한 부분(E-B-A)과 접지면 사이의 간격(L_g)에 따른 안테나의 임피던스 조건 변화 및 주파수 대역폭 변화를 보이고 있다. 그림 4의 스미스 차트 상에 나타난 안테나 임피던스 궤적(loci)에 따르면 L_g 의 변화에 따라서 안테나의 임피던스 조건이 변화하는 것을 볼 수 있으며, 특히 L_g 가 약 0.3 mm로 설계될 때 안테나에 인가된

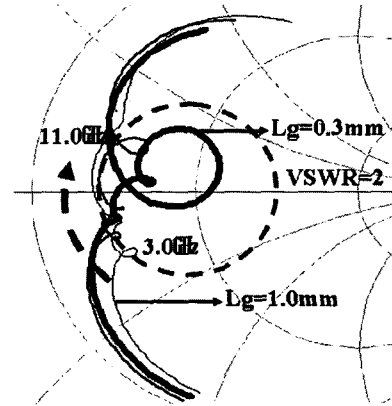


그림 4. L자 평면형 안테나의 수평면과 접지면(Ground plane) 사이 간격(L_g)에 따른 제안된 평면형 모노폴 안테나의 초광대역폭 특성 변화
Fig. 4. Measured ultra wideband characteristics of the proposed planar monopole antennas depending on the spacing between the lateral part of the L-shaped antenna and the ground plane.

인터티브 부하에 의해 VSWR이 2 이하가 되는 현상을 보여주어 안테나 대역폭이 3.0 GHz에서 11.0 GHz로 최적화될 수 있음을 보여주고 있다.

그림 5는 설계된 CPW 급전 L자 평면형 모노폴 안테나에 추가적으로 삽입된 접지면(additive ground) P_b 의 길이의 변화에 따른 안테나의 특성 변화를 나타내고 있으며 P_b 의 길이가 약 1.45 mm일 때 9.2 GHz 대역의 주파수 범위에서 임피던스 매칭 조건이 향상되어 대역폭이 최적화됨을 알 수 있다. 특히 P_b

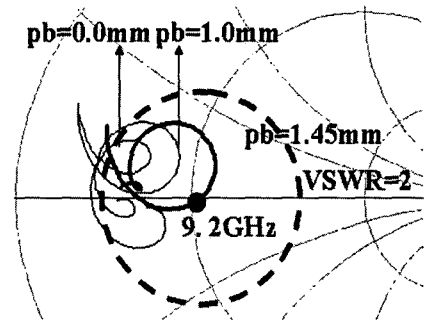


그림 5. 비대칭 접지면 길이(P_b)에 따른 제안된 평면형 모노폴 안테나의 초광대역폭 특성 변화
Fig. 5. Measured ultra wideband characteristics of the proposed planar monopole antennas depending on the additive ground plane(P_b).

의 길이에 의해 제안된 평면형 모노폴 안테나의 급전 선로를 이루는 접지면이 비대칭 구조를 이루게 된다.

IV. 실험 결과

그림 6은 급전 선로로부터 연결된 개방형 스테브에 의하여 이중 공진 주파수를 갖는 L자 평면형 모노폴 안테나가 초광대역(3.0~11.0 GHz) 특성을 갖는 모노폴 안테나로 임피던스 조건(VSWR)이 변화함을 보여주고 있다.

그림 6은 본 연구에서 제안한 CPW 급전 L자 평면형 모노폴 안테나가 2개의 공진 영역을 형성하며 동일한 급전 선로로부터 병렬로 연결된 개방형 스테브가 형성하는 또 다른 공진 주파수에 의해 형성된 주파수 대역이 L자형 안테나에 의한 주파수 대역과 겹치게 됨으로써 안테나의 대역폭을 급격히 증가시킬 수 있음을 보여주고 있다^[3]. 즉, 세 개의 공진 주파수가 서로 그 대역폭을 공유하게 되며 접지면을 이용하여 임피던스 매칭 조건을 향상시킴으로써 공유된 주파수 대역폭을 최적화시켜 초광대역폭의 안테나 특성을 얻을 수 있었다. 그림 7은 HFSSTM를 이용한 모의 실험에 의해서 얻어진 3개의 공진 주파수에 대한 표면 전류 분포를 보여주고 있다.

그림 7에 의하면 3.6 GHz의 공진 주파수에서 L자 평면형 모노폴 안테나 구조에 있어서 A-B-E-C(=I)의 경로에 해당하는 부분 전체에 걸쳐서 균일

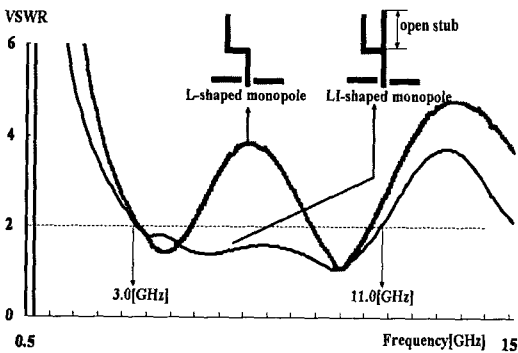


그림 6. 개방형 스테브에 의한 voltage standing wave ratio 변화
Fig. 6. The variation of voltage standing wave ratio as the open stub.

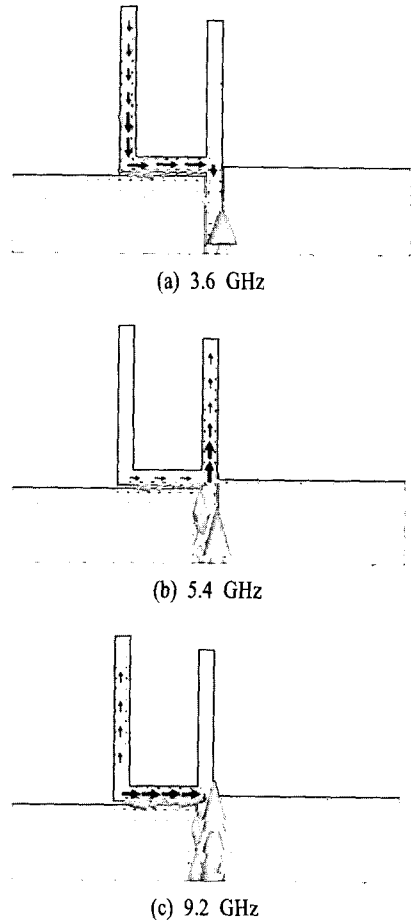


그림 7. 제안된 CPW 급전 L자 평면형 모노폴 안테나의 공진 주파수에서의 표면 전류 분포
Fig. 7. The surface current distributions of the proposed CPW-fed L-planar type monopole antennas.

한 표면 전류 분포가 형성되고 있음을 관찰할 수 있으며 개방형 스테브에는 표면 전류가 흐르고 있지 않음을 볼 수 있다. 또한 9.2 GHz의 공진 주파수에서는 L자형 안테나의 급전 선로와 수직하고 접지면과 평행한 부분(E-B-A)에서 강한 표면 전류가 급전 선로 끝으로 흘러 들어오며 또한 급전 선로와 평행한 부분으로 약한 표면 전류가 흘러 나가는 것을 관찰할 수 있다. 이는 해당 공진 주파수(9.2 GHz)에 해당하는 표면 전류 분포가 L자 평면형 모노폴 안테나의 급전 선로와 수직하고 접지면과 평행한 부분으로부터 형성되며 전자기 분포가 L자 평면형 안테나 전체(A-B-E-C)를 통해 형성되고 있음을 알 수 있

다. 또한 개방형 스테르브에 의해 발생하는 공진 주파수(5.4 GHz)에 대해서는 표면 전류 분포가 스테르브 위(A-B-D)에서 균일하게 분포하며 L자 평면형 모노폴 안테나의 급전 선로와 수직하고 접지면과 평행한 부분으로부터 약한 표면 전류가 급전 선로 끝부분(E-B-A)으로 흘러들어오는 것을 관찰할 수 있어 그림 3에서와 같이 개방형 스테르브의 길이 변화가 L자형 모노폴 안테나의 두 공진 주파수 중 보다 낮은 주파수에서 발생하는 공진에 영향을 미칠 수 있음을 예상할 수 있다.

그림 8은 제안된 CPW 급전 L자 평면형 모노폴 안테나 방사 실험을 통해 측정된 방사 패턴을 보여주고 있다. 측정 실험은 16.0 m(L)×11.0 m(W)×9.5 m(H)

의 실내에서 유효 경로 길이(path length)가 11.0 m인 무반사실(anechoic chamber)에서 실시되었으며, 측정 장비로서는 Agilent E8361A PNA 및 MIDAS ver.5.06 시스템을 이용하였다.

그림 8에서 보이는 방사 패턴에 의하면 측정된 모든 공진 주파수(3.6 GHz, 5.4 GHz, 9.2 GHz)에 대하여 E-plane 상에서는 z축 상에 대칭적인 field를 형성하고 있으며 H-plane 상에서는 omni-directional한 field 특성을 보이고 있으므로 제안된 안테나가 모노폴 안테나로서 동작하고 있음을 알 수 있다. 또한 그림 8에서 3.6 GHz의 공진 주파수에서는 co-polarization과 cross-polarization 및 대각면($\theta=45^\circ$)에 대하여 그 수준 차이가 10 dB 미만으로 측정되었고 주파수가 증가함에 따라서 co-polarization과 cross-polarization 차이가 25 dB 이상으로 증가하고 있다. 이와 같은 현상은 제안된 모노폴 안테나의 급전 선로가 9.0 GHz 대역의 모노폴로서 설계되어 발생하는 현상으로, 그림 3에서 보여주는 측정된 S 파라미터에 있어서도 저주파 대역의 공진이 고주파 대역의 공진에 비해 상대적으로 그 세기가 약함을 알 수 있다. 이와 같은 설계 방법은 저주파 대역의 주파수는 주로 휴대용 단말기 등에 적용되므로 전파 진행 방향이 일정치 않게 되어 co-polarization과 cross-polarization의 수준 차이가 작아도 단말기 등의 동작 특성에 심각한 영향을 주지 않으며 전파 환경이 복잡한 광대역 무선 통신 시스템에 있어서 다중 경로 효과에 의한 fading 현상을 감소시킬 수 있고 안테나를 포함한 무선 통신 시스템의 크기를 작게 설계할 수 있다는 장점이 있다^[9]. 또한 9.2 GHz 대역의 H-plane 상에서, $-y(\phi=-90^\circ)$ 에서의 co-polarization 패턴 왜곡 현상은 9.2 GHz에서의 공진이 L자 평면형 모노폴 안테나 중 급전 선로와 수직인, 접지면과 평행인 부분에 의해 나타나므로 주로 접지면의 구조에 영향을 받아 발생하게 됨을 알 수 있다.

그림 9는 설계된 주파수 대역에 있어서 1.4~4.6[dBi]의 안테나 이득(gain)을 보이고 있다. 이 결과로부터 그림 8의 결과와 함께 제안된 안테나가 초광대역폭 안테나로서 적합함을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문은 초광대역폭(ultra bandwidth: UWB)의 특

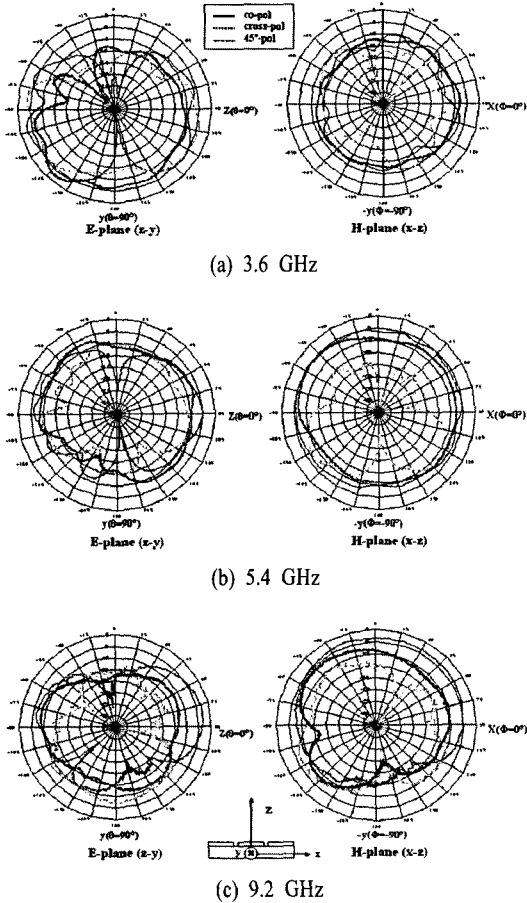


그림 8. 제안된 CPW 급전 L자 평면형 모노폴 안테나의 측정된 방사 패턴

Fig. 8. The measured radiation patterns of the proposed CPW-fed L-planar type monopole antennas.

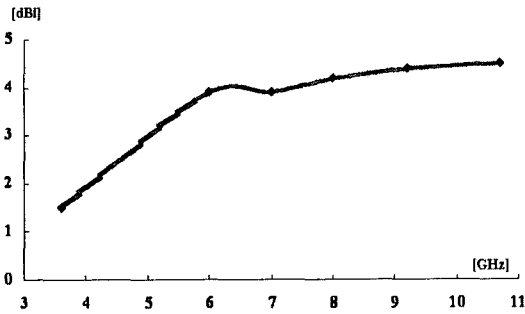


그림 9. 제안된 CPW 급전 L자 평면형 모노폴 안테나의 측정된 이득
 Fig. 9. The measured gains of a proposed CPW-fed L-planar type monopole antenna.

성을 갖는 모노폴 안테나를 설계하기 위한 방법을 제안하였다. 제안된 안테나는 CPW 급전 구조를 가지며 L자 평면형 모노폴 안테나로서 L자형 안테나가 발생시키는 두 개의 공진과 급전 선로부터 L자형 안테나와 병렬로 연결되는 개방형 스텐더에 의한 급전 선과 모노폴 안테나 사이의 전자기적 에너지의 공유 현상을 이용하여 초광대역폭 특성을 갖는 평면형 모노폴 안테나를 설계하고 구현하였다. 제작된 안테나를 측정 한 결과, 그 주파수 대역폭(VSWR ≤ 2)은 3.0 GHz로부터 11.0 GHz로 측정됨으로써 초광대역 안테나의 주파수 대역폭을 포함하였으며 E-plane 상에서 대칭적인 field가 형성되었고, H-plane 상에서 omni-directional한 field가 형성됨을 방사 패턴 측정을 통해 확인할 수 있었다. 또한 설계된 안테나의 전체 주파수 대역폭에 있어서 1.4에서 4.6 dBi의 안테나 이득이 측정됨으로써 설계된 안테나가 초광대역폭을 갖는 안테나로서 적용될 수 있음을 확인하였다.

부 록

본 연구는 정보통신부 소속 전파연구소 및 한국전파진흥원 관련 기관인 전자파측정센터를 통해 측정되었음을 알립니다.

참 고 문 헌

[1] Y. J. Cho, K. H. Kim, D. H. Choi, S. S. Lee, and S. O. Park, "A miniature UWB planar monopole antenna with 5-GHz band-rejection filter and the

time-domain characteristics", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 54, no. 5, pp. 1453-1460, May 2006.

[2] W. S. Lee, D. Z. Kim, K. J. Kim, and J. W. Yu, "Wideband planar monopole antennas with dual band-notched characteristics", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 54, no. 6, pp. 2800-2806, Jun. 2006.

[3] J. Liang, C. C. Chiau, X. Chen, and C. G. Parini, "Study of a printed circular disc monopole antenna for UWB systems", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 53, no. 11, pp. 3500-3504, Nov. 2005.

[4] J. Liang, L. Guo, C. C. Chiau, X. Chen, and C. G. Parini, "Study of CPW-fed circular disc monopole antenna for ultra wideband applications", in *Proc. IEE Microwaves, Antenna and Propagation*, vol. 152, no. 6, pp. 520-526, Dec. 2005.

[5] W. C. Liu, "Wideband dual-frequency double inverted-l CPW-fed monopole antenna for WLAN application", in *Proc. IEE Microwaves, Antenna and Propagation*, vol. 152, no. 6, pp. 520-526, Dec. 2005.

[6] V. Radisic, Y. Qian, and T. Itoh, "Novel architecture for high-efficiency amplifier for wireless applications", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 46, no. 11, pp. 1901-1909, Nov. 1998.

[7] H. M. Chen, Y. F. Lin, "Printed monopole antenna for 2.4/5.2 GHz dual-band operation", in *Proc. IEEE Antennas and Propagat. Soc. Int. Symp.*, vol. 3, pp. 60-63, Jun. 2003.

[8] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, 2nd Ed. New York, Wiley, pp. 172-173, 1998.

[9] W. C. Liu, W. R. Chen, and C. M. Wu, "Printed double s-shaped monopole antenna for wideband and multiband operation of wireless communications", in *Proc. IEE Microwaves, Antenna and Propagation*, vol. 151, no. 6, pp. 473-476, Dec. 2004.

- [10] Y. F. Lin, H. M. Chen, and K. L. Wong, "Parametric study of dual-band operation in a microstrip-fed unipolar monopole antenna", in *Proc. IEEE Microwaves, Antenna and Propagation*, vol. 150, no. 6, pp. 520-526, Dec. 2003.
- [11] J. I. Kim, S. S. Choi, W. T. Lee, and Y. Jee, "Wide band coplanar waveguide-fed monopole antenna", *European Conference on Antenna and Propagation*, 5A5, Nice, France, Nov. 2006.
- [12] Ansoft Corporation, HFSS.[Online]. Available: <http://www.ansoft.co.kr>
- [13] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, Addison Wesley, 1990.
- [14] J. I. Lee, B. M. Lee, and Y. J. Yoon, "CPW Feed wideband u-slot microstrip antenna", *JKEES*, vol. 2, no. 1, pp. 11-15, May 2002.

김 준 일



1996년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
 1998년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
 2003년 9월~현재: 서강대학교 전자공학과 박사과정
 1998년 2월~2003년 6월: (주)삼성

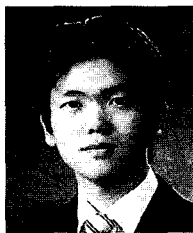
전기 중앙연구소 선임연구원
 [주 관심분야] 초광대역(UWB) 안테나 설계, 능동 안테나 설계, RF System on a Package(SoP)

장 진 우



2006년 2월: 신라대학교 전자공학과 (공학사)
 2006년 3월~현재: 서강대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] LTCC 복합 모듈 설계, 안테나 설계 및 해석

이 원 택



2006년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
 2006년 3월~현재 서강대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] RF System on a Package(SoP), 반도체 패키지

지 용



1978년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
 1981년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
 1987년 2월: 미국 University of Texas, Austin 전기공학과 (공학박사)

1987년 2월: 미국 University of Texas, Austin 전기공학과 연구원
 1987년~1990년: Microelectronics and Computer Technology Corporation MTS 연구원
 1991년~현재: 서강대학교 전자공학과 교수
 [주 관심분야] high speed interconnection line modeling, MCM Design, crosstalk modeling, SoC, SoP, SiP