

# 표면 전류 분포를 이용한 T 자형 UWB 평면형 모노폴 안테나 해석

## Analysis of a T-Shaped UWB Printed Monopole Antenna Using Surface Currents

이 동 현 · 박 위 상

Dong-Hyun Lee · Wee-Sang Park

### 요 약

본 논문에서는 T 자형의 방사체를 가지는 초광대역 평면형 모노폴 안테나를 제안하고, 방사체와 그라운드 평면에 흐르는 전류 분포를 분석하였다. 측정된 임피던스 대역폭은 VSWR 2 미만 기준으로 3.1~11 GHz이고, 이는 UWB 대역을 만족한다. 제안된 안테나의 주파수에 따른 표면 전류 분포를 분석하여 제안된 안테나는 두 개의 90도 굽은 비대칭적인 다이폴이 대칭으로 놓여 있는 안테나로 동작함을 설명하였다. 이 안테나의 표면 전류 분포가 방사 패턴에 영향을 미치는 양상이 다이폴의 경우와 유사하며, 그라운드 평면의 길이와 너비는 다이폴의 굽기 길이와 길이에 해당한다. 이러한 해석이 다른 일반적인 평면형 모노폴 안테나에도 적용 가능함을 보였다. 끝으로 그라운드 평면의 모서리를 테이퍼링을 하여 공진 주파수를 낮추는 예과 방사체에 역 U자 슬롯을 추가하여 특정 대역을 저지하는 예를 제시하고 이를 표면 전류를 이용하여 설명하였다.

### Abstract

We propose a T-shaped UWB printed monopole antenna and investigate the effect of the surface currents of the radiator and ground plane. The measured impedance bandwidth of the antenna covers the range of 3.1 to 11 GHz for a  $VSWR \leq 2$ , which satisfies the requirement of the UWB operation. From the analysis of the surface currents, the proposed antenna can be treated as two asymmetric dipoles with the included angle of 90 degrees which lie along z-direction symmetrically. It is observed that the effect of the surface currents on the radiation patterns is similar to that of the corresponding dipole. The length and width of the ground plane correspond the radius and length of the dipole respectively. This approach is also valid to general printed monopole antennas. Finally, we included an antenna example having resonance at a lower frequency by tapering the edges of the ground plane and another example having a bandstop characteristic by inserting an inverted-U slot on the radiator, and explain those antennas using the surface currents.

Key words : UWB Antenna, Printed Monopole Antenna, Asymmetric Dipoles, Surface Current

### I. 서 론

최근 무선 통신 산업의 발달로 이중 대역 혹은 다중 대역에서 동작할 수 있는 안테나의 개발이 절실

히 요구되고 있다. 초광대역(UWB: Ultra Wide Band) 기술은 실내 근거리 통신에서 저전력을 사용하면서 높은 전송율을 제공하기에 점점 더 높은 관심을 끌고 있다. 이에 따라 다중 대역 혹은 초광대역 통신에

포항공과대학교 전자전기공학부(Dept. of Electronic and Electrical Engineering, Pohang University of Science and Technology)

· 논문 번호 : 20050509-053

· 수정완료일자 : 2005년 8월 24일

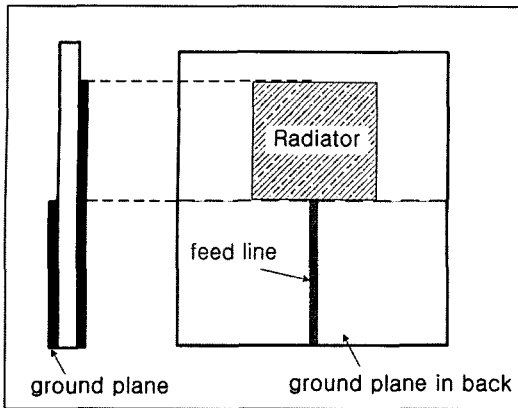


그림 1. 일반적인 평면형 모노폴 안테나의 구조  
Fig. 1. Geometry of a general printed monopole antenna.

적합한 시스템 및 안테나의 개발이 활발하게 진행되고 있다.

평면형 모노폴 안테나(PMA: Printed Monopole Antenna)는 집적화가 쉽고 제작이 용이하기 때문에 최근에 WLAN(Wireless LAN)<sup>[1]~[3]</sup>, 이동통신<sup>[4]</sup>, UWB<sup>[5]~[9]</sup> 등과 같은 무선통신 시스템에 사용되고 있다. 평면형 모노폴 안테나는 그림 1과 같이 급전 선로와 방사체(radiator)가 유전체 위의 동일한 평면에 존재하며, 급전 선로 아래 유한한 그라운드 평면이 존재하는 구조이다. 방사체의 모양에 따라 이중 대역 혹은 초광대역 특성을 나타내는데, 두 개의 T 자형 스트립으로 구성된 방사체<sup>[1]</sup>, 하나의 모노폴과 기생 패치로 구성된 방사체<sup>[2]</sup> 및 높이가 다른 두 개의 모노폴로 구성된 방사체<sup>[3]</sup> 등은 이중 대역 안테나로 보고되었고, 원<sup>[7],[8]</sup>, 타원<sup>[9]</sup> 혹은 테이프링한 특정한 모양의 방사체<sup>[5],[6]</sup>는 UWB 안테나로 보고되었다. 또 급전 방식에 따라 마이크로스트립 라인으로 급전한 경우<sup>[1],[2],[7]~[9]</sup>와 CPW(Coplanar Waveguide)<sup>[3]~[6]</sup>로 급전한 경우가 있다. 최근에는 방사체에 슬랏을 내서 특정 주파수 대역을 저지할 수 있는 UWB 평면형 모노폴 안테나가 소개되었다<sup>[8]</sup>.

유한한 그라운드 평면을 가지는 안테나의 경우 그라운드 평면의 크기를 변화시키면 입력 임피던스, 이득 혹은 방사 패턴 등과 같은 안테나의 성능이 변하지만 그 정도가 크지 않다. 한 예로 평판형 역 F 안테나(PIFA: Planar Inverted-F Antenna)의 경우 그라

운드의 크기가 0.8 파장보다 크면 그라운드 평면의 크기에 따른 공진 주파수가 크게 달라지지 않는다<sup>[10]</sup>. 하지만 평면형 모노폴 안테나는 그라운드 평면의 크기에 따라 안테나의 동작 주파수와 대역폭이 크게 달라지는 것이 보고된다<sup>[11]~[13]</sup>. 따라서 평면형 모노폴 안테나 설계시 그라운드 평면의 크기를 고려해야 하나 기존의 평면형 모노폴 안테나는 방사체의 모양에 따른 특성 연구에만 초점을 두었고, 안테나의 동작 원리를 설명하기보다는 특정 응용에 사용될 수 있는 안테나 설계에만 초점을 두었다.

본 논문에서는 평면형 모노폴 안테나의 동작 원리와 그라운드 평면의 크기에 따른 안테나의 성능 변화를 표면 전류를 이용하여 설명하였다. 이를 위해 T자 모양의 방사체를 가지는 UWB 평면형 모노폴 안테나를 제안하고 주파수에 따른 방사체와 그라운드 평면에 흐르는 표면 전류를 분석하였다. 이와 함께 그라운드 평면의 너비와 길이에 따른 안테나의 성능 변화와 주파수에 따른 표면 전류 분포가 안테나의 방사 패턴에 미치는 영향을 다이폴 안테나와 비교하여 설명하였다. 이러한 표면 전류를 이용한 해석 방법이 일반적인 평면형 모노폴 안테나에도 적용될 수 있음을 보이고, 평면형 모노폴 안테나에서 UWB 특성이 나올 수 있는 방사체의 모양, 그라운드의 역할, 안테나 크기를 줄일 수 있는 방법 및 특정한 대역을 저지할 수 있는 UWB 안테나 등을 표면 전류와 관련하여 설명하였다.

## II. T 자형 UWB 평면형 모노폴 안테나

그림 1의 일반적인 평면형 모노폴 안테나를 초광대역 특성을 보이도록 하기 위해서는 방사체의 모양이 중요하다. 방사체에 흐르는 전류의 방향이 주파수에 따라 급격히 변하지 않는 구조일 때 광대역 특성이 나타나는데, 특히 방사체의 모양이 원, 반원 혹은 타원 등의 형태일 때 초광대역 특성을 얻을 수 있다. 최근에 발표되고 있는 UWB용 평면형 모노폴 안테나의 방사체 구조가 대부분 원, 반원, 타원 혹은 사다리꼴 등과 같은 형태인 이유는 이 때문이다.

본 논문에서 제안한 T 자형 평면형 모노폴 안테나는 그림 1과 같은 평면형 모노폴 안테나의 형태이며 방사체의 모양을 T 자형 패치로 대체한 것으로

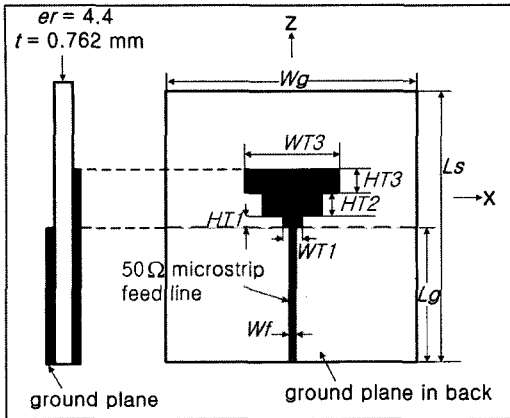


그림 2. 제안한 T 형태의 평면형 모노폴 안테나의 구조

Fig. 2. Geometry of the proposed T-shaped printed monopole antenna.

이를 그림 2에 나타내었다. 안테나의 방사체는 크기가 서로 다른 3개의 사각형 패치로 구성되어 있으며, 이러한 3개의 패치는 방사체 주위에서 급격한 전류 변화를 막아 제안된 안테나가 초광대역의 특성이 나오도록 한다. 특성 임피던스가 50 Ω인 마이크로스트립 라인으로 급전하고 있으며 급전 라인 반대면에 길이가  $L_g$ , 너비가  $W_g$ 인 유한한 그라운드 면이 존재한다. 방사체와 그라운드 면 사이에 유전율이 4.4, 두께가 0.762 mm인 유전체를 사용하였다. 제시한 안테나를 해석 및 설계하기 위해 상용 EM 시뮬레이터인 CST사의 MWS(Microwave Studio)를 이용하였다. 제안한 안테나가 UWB 대역(3.1~10.6 GHz)을 만족하도록 하는 파라미터 값을 시뮬레이션을 통해 찾았으며 이를 표 1에 나타내었다.

표 1에 제시된 파라미터 값으로 설계된 초광대역 안테나의 시뮬레이션 및 측정된 반사 손실을 그림 3

표 1. 제안한 안테나의 파라미터 값

Table 1. Parameters value of the proposed antenna.

Parameter	Value(mm)	Parameter	Value(mm)
$W_s$	70	$W_f$	1.45
$L_g$	20	$L_s$	60
$HT1$	1	$WT1$	2
$HT2$	4	$WT2$	12
$HT3$	4	$WT3$	16

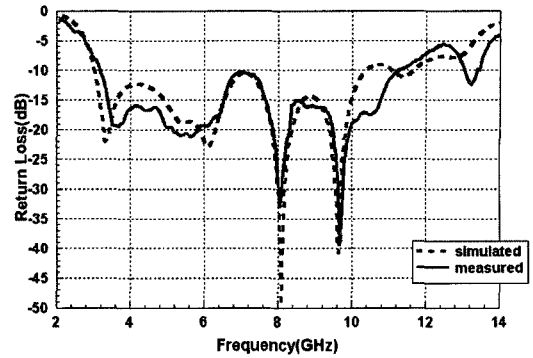


그림 3. 제안한 안테나의 측정 및 시뮬레이션된 반사 손실

Fig. 3. Measured and simulated return loss for the proposed antenna.

에 나타내었다. 시뮬레이션 및 측정된 입력 임피던스 대역폭( $VSWR \leq 2$ )은 각각 3~10.4 GHz와 3.1~11 GHz으로 UWB 대역폭(3.1~10.6 GHz)을 모두 만족함을 알 수 있다. 또 제안된 안테나의 시뮬레이션된 반사 손실과 측정된 반사 손실이 매우 잘 일치함을 볼 수 있다.

### III. 제안한 안테나의 동작 원리 및 특징

제안된 안테나의 동작 원리와 특징을 이해하기 위해 우선 일반적인 다이폴, 90도 굽힌 다이폴, 90도 굽힌 비대칭 다이폴 그리고 2개의 비대칭 다이폴이 대칭적으로 존재하는 제안한 안테나의 전류 분포를 그림 4에 도시화 하였다. 그림 4(b)에서 90도 굽힌 다이폴의 경우 vee 다이폴처럼 동작하며 전류 방향이 90도로 굽은 도체 위로 흐름을 알 수 있다. 전자기적 필드는 도체 사이에서 가장 가까운 거리로 형성되므로, 90도 굽힌 비대칭 다이폴인 경우는 그림 4(c)에서처럼 위쪽 arm과 아래쪽 arm 사이에 전류는 edge 부근을 통해 주로 흐르게 된다. 좌우 대칭으로 연결된 90도 굽은 비대칭 다이폴은 90도 굽은 비대칭 다이폴 위에 흐르는 전류가 구조의 대칭으로 인해 그림 4(d)와 같이 흐르게 된다. 제안하는 안테나의 경우, 방사체와 그라운드 평면은 다른 층에 존재하지만 방사체에 여기된 전자기적 필드는 방사체와 그라운드 평면에 유도 작용(interaction)을 일으켜 급전이 증양에서 일어나는 90도 굽은 비대칭 다이폴이 대칭

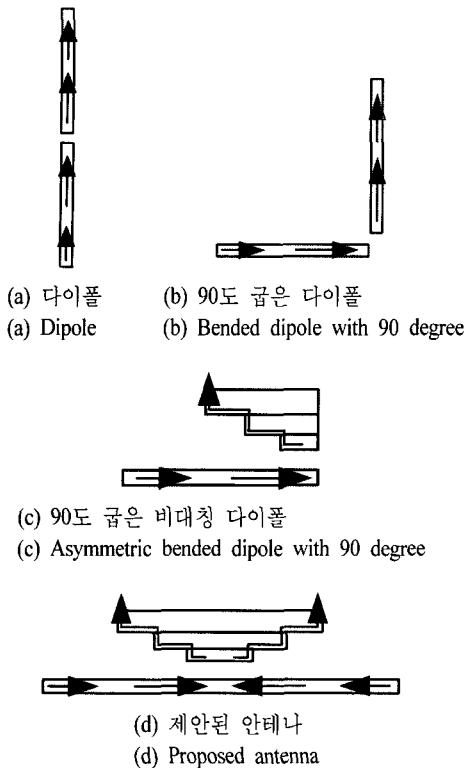


그림 4. 안테나의 구조와 표면 전류  
Fig. 4. Geometries and surface currents of antennas.

적으로 놓여 있는 것으로 생각할 수 있으며 전류는 그림 4(d)와 유사하게 흐를 것을 예상할 수 있다.

그림 5에서 주파수 3.5, 5.5, 7.5 그리고 9.5 GHz에서 방사체와 그라운드 평면에 흐르는 표면 전류를 나타내었다. 그림의 중앙에 급전 선로가 존재하기 때문에 가운데 부분에 전류가 많이 흐른다. 표면 전류는 그림 4(d)와 같이 z축을 기준으로 방사체와 그라운드 평면의 대칭으로 흐르는 것을 볼 수 있고, 대칭적으로 흐르는 전류 분포의 절반을 굽은 선으로 방향과 함께 나타내었다. 3.5 GHz에서 전류는 그라운드 평면의 좌측 상단에서 방사체로 한 방향으로 흐름을 볼 수 있으며, 전류가 흐르는 길이는 약 42 mm( $Wg/2+HT1+HT2+HT3+WT3/2$ )이며 이는 3.5 GHz의 반 파장에 해당한다. 주파수가 높아짐에 따라 그라운드 및 방사체에서 전류의 방향이 바뀌는 현상에 관측된다. 5.5 GHz에서는 그라운드 평면에서 한 번의 전류 방향의 변화가 있으며, 전류의 길이는 5.5 GHz의 약 0.77 파장이다. 7.5 GHz와 9.5 GHz의 전류 길이는 각각 약 0.95 파장, 1.2 파장에 해당하며 9.5

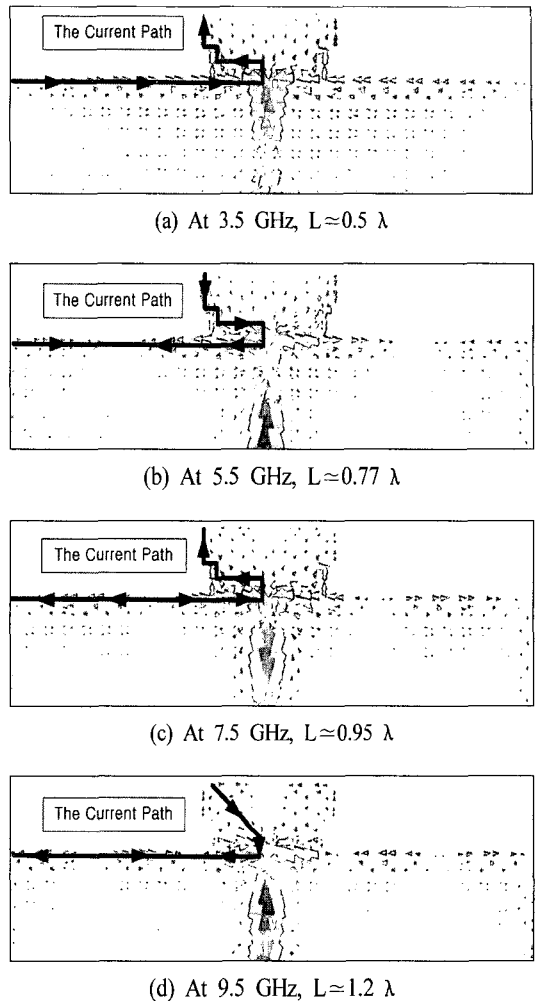


그림 5. 방사체와 그라운드 평면에서의 표면 전류  
Fig. 5. Surface currents on the radiator and ground plane.

GHz에서의 전류는 두 번의 방향이 변함을 볼 수 있다.

위와 같이 z축을 기준으로 좌우 대칭적인 방사체와 그라운드 평면의 절반에 흐르는 전류 모양이 그림 4에서 설명한 90도 굽은 비대칭 다이폴과 유사하다. 또한, 제안된 안테나의 주파수에 따른 전류 분포의 변화와 전류 길이는 다이폴의 그것과 매우 유사하다<sup>[10]</sup>. 따라서 제안된 안테나를 z축을 기준으로 좌우 대칭적인 방사체와 그라운드 평면의 절반을 90도 굽은 비대칭적 다이폴로 생각할 수 있고, 전체적으로 두 개의 90도 굽은 비대칭 다이폴 안테나가 z축을 기준으로 좌우 대칭적으로 존재하며, 두 비대칭적인 arm인 방사체와 그라운드 평면 사이에서 급전

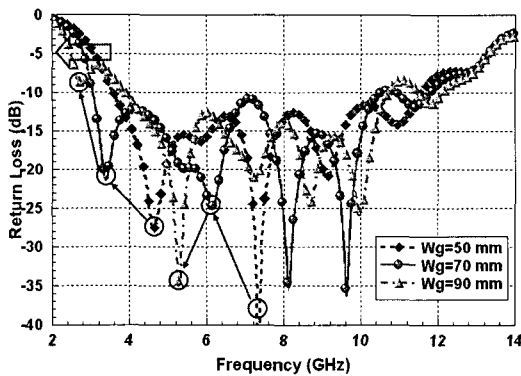


그림 6. 그라운드 너비( $W_g$ )에 따른 안테나의 반사 손실

Fig. 6. Return loss of the antenna as a function of width of the ground plane( $W_g$ ).

되는 구조로 생각할 수 있다.

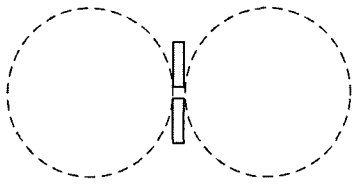
평면형 모노폴 안테나의 반사 손실은 그라운드 평면의 너비와 길이에 영향을 많이 받는다<sup>[2],[3]</sup>. 그림 6에서 제안된 안테나의 그라운드 너비를 50 mm에서 90 mm로 20 mm 간격으로 늘였을 때 안테나의 반사 손실 대역폭을 나타내었다. 제안한 안테나가 매우 넓은 반사 손실 대역폭을 가져 그 변화를 뚜렷하게 관찰할 수는 없는데, 낮은 주파수 대역에서 그 변화를 잘 관찰할 수 있다. 약 3 GHz에서 -5 dB을 기준으로 반사 손실 대역폭을 살펴보면 너비가 클수록 대역폭이 낮아짐을 볼 수 있고, 처음 null이 생기는 위치도 너비가 증가할수록 낮아짐을 볼 수 있다. 이러한 현상은 본 저자가 제안한 이중대역 평면형 모노폴 안테나에서 보다 뚜렷하게 확인할 수 있다<sup>[2]</sup>. 길이가 다른 arm을 가지는 비대칭 다이폴 안테나의 한 쪽 arm의 길이가 길어지면 안테나의 동작 대역 주파수가 낮아지기 때문에 위와 같은 현상이 나타난다. 제안한 안테나는 그라운드의 너비가 70 mm일 때 최적의 반사 손실 특성을 보이도록 방사체를 설계하였기 때문에 그라운드 너비가 70 mm일 때 -10 dB 미만 반사 손실 대역폭이 가장 넓게 나온다.

그라운드 평면의 길이( $L_g$ )가 늘어나는 것은 비대칭적인 다이폴의 한 쪽 arm의 굵기가 두꺼워지는 것으로 생각할 수 있으며, 이는 일반적인 다이폴의 굵기가 두꺼워지는 것과 동일한 효과가 나타난다. 다이폴의 굵기가 두꺼워지면 다이폴 안테나의 대역

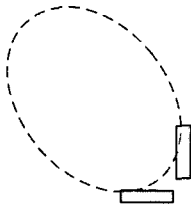
폭이 증가하게 되는데<sup>[11]</sup>, 평면형 모노폴 안테나에서는 등가적으로 다이폴의 두께에 해당하는 그라운드의 길이가 늘어나면 안테나의 대역폭이 증가하는 현상이 관찰됨을 예측할 수 있다. 제안한 T 자형 평면형 모노폴 안테나의 경우 반사 손실 대역폭이 초광대역 특성을 가지므로 그라운드의 길이가 늘어남에 따라 대역폭이 증가하는 것을 뚜렷하게 관찰할 수 없다. 하지만 기존에 발표된 특정 대역폭을 가지는 평면형 모노폴 안테나에서는 그라운드의 길이가 늘어남에 따라 대역폭이 증가되는 것을 뚜렷하게 관찰할 수 있다<sup>[2],[3]</sup>. 제안한 안테나는 그라운드 평면이 구조상 90도 굽어 있는 다이폴의 아래쪽 arm으로 생각할 수 있기 때문에 그라운드 너비는 일반적인 다이폴 한 쪽 arm의 길이에 해당하며 그라운드의 길이는 다이폴의 굵기와 유사한 역할을 하게 되는 것이다.

앞에서 설명한 제안한 안테나의 다이폴과 유사한 전류 분포는 제안된 안테나가 다이폴 안테나와 유사한 방사 패턴을 가지도록 한다. 이를 설명하기 위해 다이폴, 90도 굽은 다이폴, 90도 굽은 비대칭 다이폴 그리고 제안한 안테나의 방사 패턴을 그림 7에 도시화하였다. 일반적으로 90도 굽은 비대칭 다이폴 안테나는 vee 안테나의 한 종류이므로 그림 7(b)와 (c)와 같이 안테나가 놓여 있는 방향으로 지향성이 증가된다<sup>[11]</sup>. 하지만 제안된 안테나는 90도 굽은 비대칭 다이폴이 대칭으로 두 개가 존재하므로 그림 4(d)에서 가로로 흐르는 전류는 반대로 쌍으로 흐르게 되어 상쇄되고 세로로 흐르는 전류만이 방사 패턴에 영향을 주게 된다. 따라서 제안된 안테나는 그림 4(d)와 같이 다이폴과 유사한 방사 패턴이 관측된다.

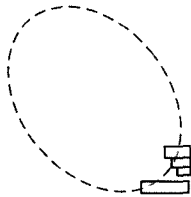
다이폴은 표면 전류의 방향이 변하게 되면 canceling 효과가 발생하여 방사 패턴에 null이 생긴다<sup>[11]</sup>. 제안한 안테나는 표면 전류가 포함되는 평면에서 이와 같은 다이폴과 유사한 방사 패턴 특성이 관찰된다. 제안한 안테나의 표면 전류가 포함되는 면인 x-z면에서의 방사 패턴을 표면 전류 분포를 나타낸 그림 5를 기준으로 그림 8에 나타내었다. 그림 5에서 3.5 GHz에서 표면 전류는 방사체와 그라운드 평면에서 동일한 방향으로 흐르게 되어 그림 8(a)에서 보는 바와 같이 null이 발생하지 않음을 볼 수 있다. 그림 5에서 주파수가 높아짐에 따라 표면 전류의 방향이 바뀌게 되고 이는 방사 패턴에 영향을 미



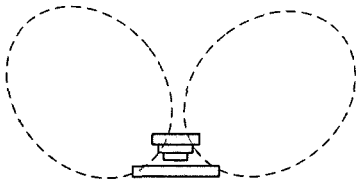
(a) 다이폴  
(a) Dipole



(b) 90도 굽은 다이폴  
(b) Bended dipole with 90 degree



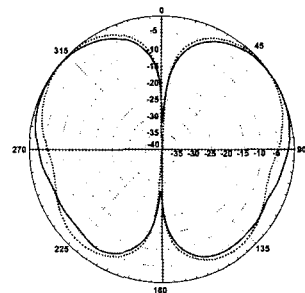
(c) 90도 굽은 비대칭 다이폴  
(c) Asymmetric bended dipole with 90 degree



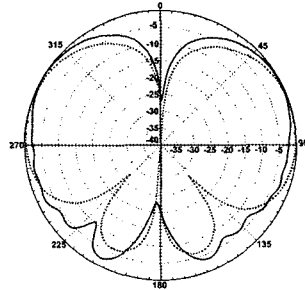
(d) 제안된 안테나  
(d) Proposed antenna

그림 7. 안테나의 구조와 그 방사 패턴  
Fig. 7. Geometries and radiation patterns of antennas.

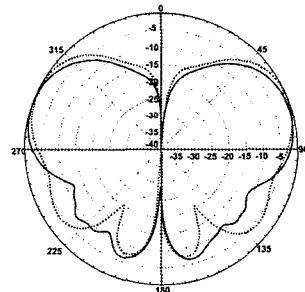
처 그림 8(b)~(d)에서 null이 발생함을 볼 수 있다. 특히 9.5 GHz에서는 전류의 방향이 두 번 변하게 되어 그림 8(d)에서와 같이 0에서 180도 사이에 두 번의 null이 발생함을 볼 수 있다. 그림 8에서 시뮬레이션 결과에서는 null이 정확하게 나타나는데 반해 측정된 방사 패턴에서는 정확한 null이 볼 수 없는데 이는 측정 시에 존재하는 오차에서 기인한다. 이와 같은 표면 전류에 따른 방사 패턴의 null의 발생은 앞에서 설명한 제안한 안테나의 특성이 비대칭적 다



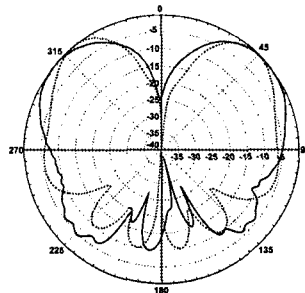
(a) 3.5 GHz



(b) 5.5 GHz



(c) 7.5 GHz



(d) 9.5 GHz

그림 8. x-z 평면에서 측정 및 시뮬레이션된 안테나의 방사 패턴  
Fig. 8. Measured and simulated radiation patterns for the antenna on x-z plane.

———— : measured  $E_{\theta}$   
..... : simulated  $E_{\theta}$

이폴 특성과 유사하다는 설명을 뒷받침해 주는 또 다른 이유이다. 그림 8에서  $\theta$  성분의 방사 패턴이 주로 측정되는데, 이는 그림 5에서 가로(x 방향)로 흐르는 전류는 z축을 기준으로 대칭으로 흘러 상쇄가 되어 세로(z축)로 흐르는 전류만 방사 패턴에 직접적으로 영향을 미치기 때문이다. x-y 평면에서는 일반적인 모노폴 형태의 무지향적인 방사 패턴이 관측된다. 3.5, 5.5, 7.5 그리고 9.5 GHz에서의 최대 이득은 각각 3.32, 3.47, 5.07 그리고 5.53 dBi이다.

#### IV. 일반적인 평면형 모노폴 안테나의 고찰

최근에 발표되고 있는 UWB 및 WLAN용 평면형 모노폴 안테나는 기본적으로 그림 1의 구조에 특정한 형태의 방사체를 지닌다<sup>[1]~[9]</sup>. 참고문헌 [1]~[9]의 안테나는 모두 방사체와 그라운드를 포함하는 평면에서의 방사 패턴이 주파수가 증가함에 따라 null이 관측되며 null이 발생하는 주파수와 각도가 제안한 안테나의 null이 발생하는 주파수와 각도가 거의 일치한다. 이는 그림 1과 같은 구조의 평면형 모노폴 안테나는 주파수에 따른 전류 분포가 3장에서 설명한 제안한 안테나의 주파수에 따른 전류 분포와 유사하기 때문이다. 또 평면형 모노폴 안테나들의 그라운드 평면의 너비와 길이에 따른 안테나 특성이 제안한 안테나의 그것과도 유사하다. 즉, 그라운드 평면의 너비에 따라 안테나의 동작 주파수가 결정되며 그라운드 평면의 길이에 따라 안테나의 대역폭이 달라진다. 따라서 본 논문에서 제안한 안테나 해석 방법이 그림 1의 일반적인 평면형 모노폴 안테나에도 유효하며, 일반적인 평면형 모노폴 안테나 모두 90도 굽은 비대칭 다이폴이 대칭으로 놓여있는 안테나라 생각할 수 있다.

그림 9는 그라운드 부분의 상단 양쪽 부분을 3개의 사각 패치로 테이프링하였을 때 z축을 기준으로 좌측의 그라운드 평면에 흐르는 표면 전류 분포를 나타낸다. 테이프링을 하지 않은 전류 분포인 그림 5에서는 그라운드 평면의 상단에 직선으로 전류가 흐르지만, 테이프링한 전류 분포인 그림 9는 테이프링한 곳으로 전류가 흐르게 되어 그라운드 평면에 흐르는 전류의 길이가 더 길어지게 된다. 테이프링하여 전류 길이가 더 길어진 만큼 안테나의 동작 주

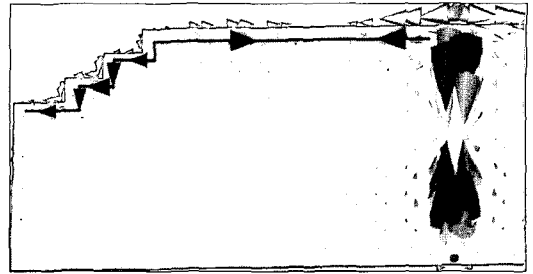


그림 9. 테이프링 된 그라운드 평면에서 전류 분포  
Fig. 9. Currents density on the tapering ground plane.

파수는 더 낮아지게 된다. 따라서 평면형 모노폴 안테나의 그라운드 평면의 상단 양쪽 부분을 테이프링하여 안테나의 크기를 줄일 수 있다. 하지만 제안한 안테나의 경우 초광대역 특성을 가지므로 위와 같은 현상을 뚜렷하게 관찰할 수 없다. 대신 본 저자가 제안한 비교적 좁은 이중 대역을 가지는 평면형 모노폴 안테나<sup>[2]</sup>는 테이프링하였을 때와 하지 않았을 때 안테나의 공진 주파수의 변화를 뚜렷하게 관찰할 수 있다. 이 안테나의 그라운드 평면 상단을 그림 9와 같이 테이프링하였을 때와 하지 않았을 때의 반사 계수를 그림 10에 나타내었다. 그림 10에서 낮은 대역보다는 높은 대역에서 테이프링 효과가 더 두드러지게 나타남을 볼 수 있는데, 이는 안테나의 그라운드 평면의 양쪽 상단 부분에 흐르는 전류가 낮은 대역보다는 높은 대역에서 상대적으로 더 많이 흐르기 때문이다.

최근에는 UWB 통신과 다른 통신과의 간섭 현상

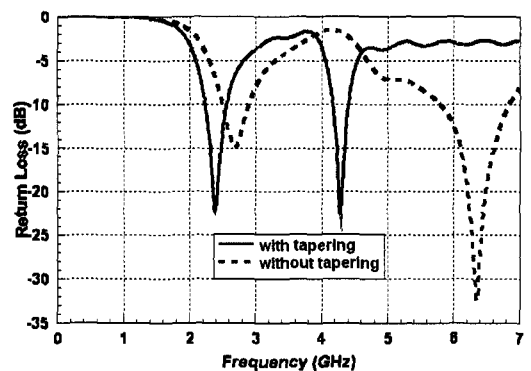


그림 10. 이중 대역 평면형 모노폴 안테나의 반사 손실  
Fig. 10. Return loss of the dual-band printed monopole antenna.

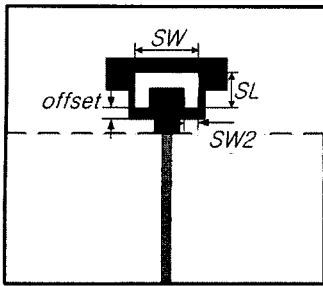


그림 11. 역-U 슬랏을 가지는 제안한 평면형 모노폴 안테나의 구조

Fig. 11. Geometry of the proposed printed monopole antenna with inverted-U slot.

을 제거하기 위해 방사체에 특정한 모양의 슬랏을 내어 초광대역 특성을 만족하면서 특정 대역에서 저지 대역 특성을 나타내는 평면형 모노폴 안테나가 소개되고 있다<sup>[8]</sup>. 제안한 안테나의 방사체에 역(inverted)-U 슬랏을 내어 UWB 대역폭을 만족하면서 저지대역 특성을 가지는 안테나와 그 파라미터를 그림 11에 나타내었다. 그림에서  $SW$ 는 10 mm이고,  $SL$ 은 3 mm인데 이 둘의 합은 7 GHz에서 약  $\lambda/4$ 이다. 그림 12에서 이 안테나의 반사 손실을 나타내었는데, 7 GHz를 중심으로 6.2~7.6 GHz에서 저지 대역 특성이 나타남을 확인할 수 있다. 이러한 안테나의 동작 원리는  $\lambda/4$ 의 길이를 가지는 슬랏으로 인해 공진이 발생하여 특정 대역을 저지시키는 것이다.

그림 11에서 나타낸 파라미터를 변화시키면서 시뮬레이션해 본 결과  $SW$ 와  $SL$ 의 합이 약  $\lambda/4$ 인

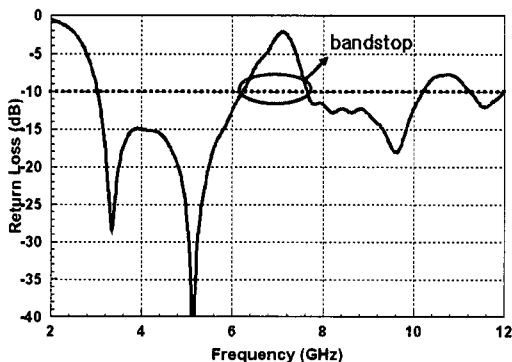


그림 12. 저지 대역 특성을 가지는 제안한 안테나의 반사 손실

Fig. 12. Return loss of the proposed antenna with bandstop characteristic.

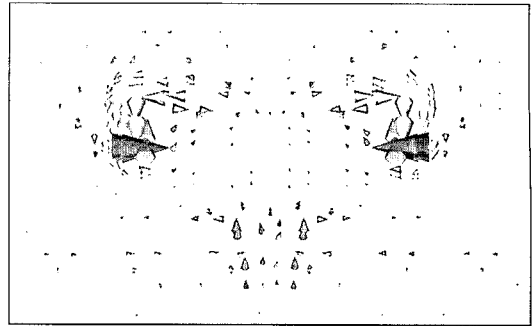


그림 13. 역-U 슬랏을 낸 방사체에서의 전류 분포

Fig. 13. Currents density on the radiator with inverted-U slot.

곳에서 저지대역이 나타났으며,  $offset$ 과  $SW2$ 에 따른 저지대역의 변화는 크지 않았다. 저지대역에서 공진 모드의 발생을 확인하기 위해 저지대역의 중심주파수인 7 GHz에서 전류 분포를 그림 13에 나타내었다. 지면의 제약상 저지 대역 이외의 대역에서 전류 분포를 나타내지 않았는데, 저지 대역 이외의 대역에서는 전류가 슬랏 주위로 전류가 흐르긴 하지만 전체적으로 그림 5와 유사하게 방사체의 edge 부근으로 흐른다. 하지만 그림 13에서와 같이 저지대역에서는 전류가 방사체로 흐르지 않고 슬랏 주위로 감혀 있음을 볼 수 있고, 따라서 저지대역에서 다른 공진 모드를 형성하게 하여 저지대역 특성이 나타나게 된다.

## V. 결 론

본 논문에서는 T 자형 평면형 모노폴 안테나를 제안하고 표면에 흐르는 전류 분포를 분석하였다. 제안한 안테나를 제작 및 측정하였으며 입력 임피던스 대역폭( $VSWR \leq 2$ )이 3.1~11 GHz로 측정되었으며 이는 UWB 대역폭(3.2~10.6 GHz)을 모두 만족한다. 주파수에 따른 방사체와 그라운드 평면에 흐르는 전류 분포를 분석하여 제안된 안테나는 2개의 90도 굽은 비대칭 다이폴이 z축을 기준으로 대칭적으로 놓인 안테나로 동작하며, 전체적으로 다이폴과 특성이 유사함을 밝혔다. 제안한 안테나의 그라운드 평면의 너비와 길이에 따른 안테나의 동작 주파수와 대역폭의 변화를 살펴보고, 이로부터 그라운드 평면의 너비는 다이폴의 한 쪽 arm의 길이에 해당하며



그라운드 평면의 길이는 다이폴의 선의 굵기에 각각 해당함을 설명하였다. 또 제안한 안테나의 주파수에 따른 표면 전류와 방사 패턴의 상관관계를 다이폴의 표면 전류와 방사 패턴과 비교하고, 두 안테나의 표면 전류에 따른 방사 패턴의 상관관계가 매우 유사함을 보였다. 이는 앞서 제시한 제안한 안테나가 z 축을 기준으로 두 개의 90도 굵은 비대칭 다이폴이 대칭적으로 놓여 있는 안테나로 동작함을 뒷받침하는 또 다른 근거이다. 제안된 안테나를 제작하여 주파수에 따른 방사 패턴을 측정하여 시뮬레이션 결과와 비교하였고, 시뮬레이션 결과와 측정 결과는 비교적 잘 일치하였다. 그림 1의 일반적인 평면형 모노폴 안테나의 그라운드 평면의 크기 변화에 따른 안테나 특성 변화와 주파수에 따른 방사 패턴의 변화가 제안한 안테나와 매우 유사함을 설명하였고, 일반적인 평면형 모노폴 안테나들도 90도 굵은 비대칭 다이폴 안테나로 해석할 수 있음을 설명하여 이를 일반화 하였다. 이와 함께 일반적인 평면형 모노폴 안테나의 크기를 줄일 수 있는 테이프링 된 안테나와 저지 대역 특성을 가지는 평면형 모노폴 안테나를 소개하고, 그 원리를 표면 전류를 이용하여 설명하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] Yen-Liang Kuo, Kin-Lu Wong, "Printed double-t monopole antenna for 2.4/5.2 GHz dual-band WLAN operations", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 51, no. 9, Sep. 2003.
- [2] 이동현, 김후, 박위상, "WLAN 표준규격의 전 주파수 대역(2.4/5.2/5.8 GHz)에서 동작하는 평면형 모노폴 안테나", 2004년 전자파기술 하계학술대회논문집, pp. 5-8, 2004년.
- [3] Horng-Dean Chen, Hong-Twu Chen, "A CPW-fed dual-frequency monopole antenna", *IEEE Trans., Antennas Propagat.*, vol. 52, no. 4, Apr. 2003.
- [4] Wen-Chung Liu, Chuan-Chien Huang, "A CPW-fed L-shaped slot planar monopole antenna for tripleband operations", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 44, no. 6, Mar. 2005.
- [5] Seong H. Lee, Jong K. Park, and Jung N. Lee, "A novel CPW-fed ultra-wide band antenna design", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 44, no. 5, Mar. 2005.
- [6] Seong-Youp Suh, W. Stutzman, W. Davis, A. Waltho, and J. Schiffer, "A novel CPW-fed disc antenna", *Antennas and Propagation Society Symposium IEEE*, vol. 3, pp. 2919-2922, Jun. 2004.
- [7] J. Liang, C. C. Chiau, X. Chen, and C. G. Parini, "Printed circular disc monopole antenna for ultra-wideband applications", *Electronics Letters*, vol. 40, no. 20, Sep. 2004.
- [8] 노양운, 정경호, 최재훈, "UNII 밴드에서 대역 저지 특성을 갖는 초광대역 안테나", 한국전자과학기술논문지, 16(2), pp. 194-197, 2005년 2월.
- [9] 김명범, 정중호, 박익모, "변형된 접지면을 이용한 초광대역 프린티드 모노폴 안테나", 한국전자과학기술논문지, 16(3), pp. 260-269, 2005년 3월.
- [10] M. -C. Huynh, W. Stutzman, "Ground plane effects on planar inverted-F antenna(PIFA) performance", *IEE Proc.-Microw. Antenna Propag.*, vol. 150, no. 4, Aug. 2003.
- [11] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, 2nd. New York: Wiley, pp. 165-175, 1998.

이 동 현



2003년 2월: 아주대학교 전자공학  
부 (공학사)

2003년 3월~현재: 포항공과대학교  
전자전기공학과 박사과정

[주 관심분야] 마이크로스트립 안  
테나 설계 및 해석, 안테나 이득  
향상을 위한 주기구조 설계 및

해석, UWB 안테나, RFID 리더 및 태그 안테나

박 위 상



1974년 2월: 서울대학교 공과대학  
전자공학과 (공학사)

1982년 6월: University of Wisconsin  
Madison 전자공학과 (공학석사)

1986년 8월: University of Wisconsin  
Madison 전자공학과 (공학박사)

1976년 7월~1978년 11월: 삼성전  
자공업주식회사, 사원

1984년 1월~1986년 8월: University of Wisconsin-Madison,  
TA 및 RA

1986년 8월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 교수  
[주 관심분야] Design of Microstrip Antennas, Full-Wave  
Analysis of Microstrip Structures, Design of Passive  
Microstrip Devices by Network Modeling, Measurement  
and Simulation of EMI/EMC for Cellular Phones