

변형된 접지면과 대역 저지 특성을 갖는 단일 평면 타원형 UWB 안테나

Uni-Planar Elliptical UWB Antenna with Band-Notched Characteristic and Modified Ground Plane

박길영 · 신호섭* · 오병철 · 김 남

Gil-Young Park · Ho-Sub Shin* · Byoung-Cheol Oh · Nam Kim

요 약

본 논문에서는 접지면을 변형시킨 대역 저지 특성을 갖는 CPW 급전 타원형 UWB 안테나를 제안하였다. UWB 시스템 전대역(3.1 GHz~10.6 GHz)에서 2 이하의 VSWR을 만족하는 특성을 구현하였고, IEEE 802.11a에 의한 5 GHz 대역(5.15 GHz~5.825 GHz)과의 간섭을 차단하기 위해 복사 소자에 수평 슬롯을 삽입하여 안테나를 제작·측정하였다. 뒷면에 접지면이 없는 단일 평면의 CPW 급전 구조를 사용해 제작이 용이하였고, 초박형, 초소형화가 가능하였다. 측정 결과 UWB 전대역에서 -10 dB 이하의 양호한 반사 손실과 2.1 dB~4.75 dB의 최대 이득을 보였으며 전방향 복사 패턴을 나타내었고, 선형 위상 특성을 보였다.

Abstract

This paper proposes a uni-planar elliptical element UWB antenna with band-notched characteristic and modified ground plane fed by CPW. The antenna achieves VSWR below 2 for UWB band(3.1 GHz~10.6 GHz). In addition, a band-notched characteristic is achieved by inserting a horizontal slot on the radiation element to avoid the interference with 5 GHz(5.15 GHz~5.825 GHz) band limited by IEEE 802.11a. The antenna has a thin profile, compact size, and ease of manufacture by adopting a CPW feed structure without any additional background plane. Measured data show that the proposed antenna has good return loss below -10 dB, about 2.1 dB~4.75 dB maximum gain over the bandwidth, omni-directional radiation patterns, linear phase response.

Key words : UWB(Ultra Wideband), CPW(Co-Planar Waveguide), Band-Notched

I. 서 론

전자기학이 첨단 기술에 다각적으로 응용됨에 따라 전자파 스펙트럼 대부분을 개발하고 이용하게 되어 사용 가능한 주파수 영역은 점점 줄어들어 상대적으로 그 가치는 상승하였고 현재 할당되어 사용 중인 스펙트럼에 간섭을 일으키지 않으면서 동시에 다른 방법으로 사용할 수 있는 신기술의 개발이 절

실히 요구되어지고 있다. 이런 시점에 2002년 2월 미 FCC(Federal Communications Commission)에서 UWB 기술을 상업적으로 사용하도록 승인함에 따라 유한한 전파 자원을 효율적으로 사용할 수 있도록 하고, 현재 폭넓게 보편화되어 사용되어지고 있는 기존의 통신 장비와 혼재하여 사용하게 함으로써 무선 대역폭의 용량을 확장시켜 보다 많은 스펙트럼의 사용 가능성을 얻을 수 있게 한 점에서 많은 관심을 받고

「본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2005-(C1090-0502-0014)).」
충북대학교 전기전자컴퓨터공학부(School of Electrical & Computer Engineering, Chungbuk National University)

*군산대학교 전자정보공학부(School of Electronic & Information Engineering, Kunsan National University)

· 논문 번호 : 20051005-111

· 수정완료일자 : 2005년 12월 12일

있다. UWB 기술이 가지는 가장 큰 장점은 넓은 대역폭으로 인한 100 Mbps~500 Mbps의 빠른 전송 속도로 무선 통신을 가능하게 한다는 점이다. FCC에서는 중심 주파수 20 % 이상의 점유 대역폭을 가지거나, 500 MHz 이상의 대역폭을 차지하는 무선 전송 기술로 UWB를 폭넓게 정의하고 있으며, 3.1 GHz~10.6 GHz의 주파수 대역에서 최대 -41.3 dBm/ MHz의 복사 전력 제한을 두었다. 복사 전력을 낮은 레벨로 제한한 것은 타 시스템과의 간섭을 최소화하며, 허가 없이 사용할 수 있도록 한 것이다^[1].

기존 형태의 안테나를 무선 이동 통신 단말기나 소형 응용기기 탑재해 UWB 통신을 하기에는 적합하지가 않다. 예를 들어, 대수주기 안테나는 안테나 구조의 각각 다른 부분에서 복사가 일어나기 때문에 분산 특성으로 인한 불안정한 임펄스 응답 특성을 갖는다. UWB 통신에 적합한 복사 패턴을 갖는 UWB loop 안테나가 발표되었으나 양호한 복사 패턴을 갖는 반면 임피던스 매칭이 좋지 않고 반향(reflection)이 심한 단점이 있다. 임피던스 매칭 성능을 개선하기 위해 안테나 자체에 전기 저항 성분을 탑재한 양호한 광대역 임피던스 대역폭을 갖는 bow-tie 안테나가 발표되었으나 복사 효율이 낮아지는 단점이 있다^[2]. 최근 UWB 기술에 적합한 다양한 안테나가 보고되고 있으며, 평면 모노폴^[3], 다이폴 안테나^[4]들이 UWB 시스템에 사용하기 좋은 가능성을 보이고 있다. 또한, 주파수 대역 저지 특성을 갖는 안테나^{[5]~[7]}에 관한 연구가 병행되고 있어 원형 모노폴 구조에 2개의 슬릿을 사용한 형태^[8], V 슬롯을 사용한 6각형 모양의 선형 테이퍼 형태^[9], 역 U 슬롯을 사용한 형태^[10] 등이 보고되었다. 이들 안테나들은 UWB 전대역에서 $VSWR \leq 2$ 를 만족하는 광대역 임피던스 매칭 대역폭과, 특정 대역의 대역 저지 특성을 가지며, 최저 매칭 주파수에서 $\lambda/4$ 이하의 전기적 길이를 보인다.

본 논문에서는 먼저, UWB 특성을 만족하는 소형 안테나를 설계하여 기준 안테나로 명명한 후 구조에 대해 기술하고, 기준 안테나에 수평 슬롯을 삽입한 대역 저지 안테나를 제안해 슬롯의 두께, 길이, 위치를 변화시킴에 따라 원하는 주파수 대역을 저지할 수 있음을 보였으며, 절충점을 찾아 WLAN 및 HIPER LAN/2 대역(5.15 GHz~5.825 GHz)을 저지하는

변수를 제안하였다. 또한 기준안테나를 구성하는 타원의 가로:세로 비율을 1.75:1.00에서 0.75:1.00까지 0.25 간격으로 가로 비율을 변화시켜가며 타원 구조에서 원형 구조로 모양 변화에 따른 반사 손실 특성을 알아보고, 축소 이론을 적용해 0.50배에서 2.00배까지 0.25배 간격으로 안테나의 전체 크기를 축소 및 확대함에 따른 반사 손실 특성 변화를 알아보았다. 마지막으로, 제안한 대역 저지 안테나의 XZ면과 YZ면에 대해 주파수에 따른 복사 패턴 변화를 측정하였다. 시뮬레이션을 위해 Computer Simulation Technology사의 Microwave Studio 프로그램을 사용하였다.

II. 기준 안테나 설계 및 동작 특성

본 논문의 안테나 기본 구조는 원형 복사 소자를 사용한 참고문헌 [8]을 바탕으로 변형시킨 구조이고, 제안한 안테나의 타원 구조는 참고문헌 [4]의 평면 타원형 UWB 안테나에서 제시했던 중앙 급전 방식 타원형 다이폴 안테나 구조^[4]의 여러 비율 중 1.75:1.00 비율을 응용하였다. 중앙 급전 구조를 사용하여 0.5 GHz~6 GHz 대역에서 고찰되어진 참고문헌 [4]는 평면형 타원 다이폴 UWB 안테나로서 본 논문에서는 이 타원형 다이폴 구조에 CPW 급전을 적용 후 접지면을 확장 변형시켜 설계하였다. 참고문헌 [4]는 UWB 전대역이 3.1 GHz~10.6 GHz인 것에 반해 상대적으로 작은 대역에서만 연구된 것으로 본 논문에서는 1 GHz~12 GHz(UWB 전대역)의 보다 넓은 대역에서 연구하였고, 참고문헌 [8]에서는 원형 구조의 복사 소자를 사용함에 따라 UWB 전대역에서 -10 dB 이하의 만족하는 반사 손실을 얻기 위해 급전선 끝단 접지면 부위에 추가적으로 TW의 폭을 갖는 꺾은 형태 변화를 주었는데 이는 정교한 각도와 크기를 요구하는 부분으로 판단된다. 또한 참고문헌 [8]의 수직 슬릿은 슬릿 길이 L 뿐만 아니라 X축상의 슬릿의 위치도 설계변수로 고려해야 한다. 제안한 안테나에서는 이 같은 구조를 사용하지 않으면서도 양호한 반사 손실 특성을 얻을 수 있도록 원형 복사 소자대신 타원 복사 소자를 사용하였다. 기판의 비유전율(ϵ)이 각각 4.62와 4.6으로 유사하다고 볼 때 본 논문에서는 평면 안테나의 박막 특징을 최대한 살린 1 mm 기판을 사용하여 참고문헌 [8]에서 사용

된 62 mil(=1.5748 mm) 기판보다 얇게 설계하였다. 이에 따라 가로 : 세로 안테나 크기가 참고문헌 [8]의 28.18 mm : 35.2 mm보다 약간 커졌지만 35 mm : 40.5 mm로 초소형이라고 말할 수 있다. 적용된 CPW 급전 방식은 일반적인 마이크로스트립 안테나와 달리 동일면상에 급전선과 접지면을 함께 놓아 MMIC(Microwave Monolithic Integrated Circuit) 회로와 집적화하기가 쉽고, 능동 소자와의 집적이 용이한 장점이 있다. CPW 급전 형태로는 대칭 또는 비대칭의 용량성 결합형, 유도성 결합형, 뒷면 접지형^[11], 단일평면형의 다양한 종류가 있고, 평면 안테나의 테이퍼된 슬롯 구조는 크게 Vivaldi(exponential taper)^{[12]~[14]}, LTSA(Linear Taper Slotline Antenna)^[15], CWSA(Constant Width Slotline Antenna)의 형태로 구분할 수 있는데, 제안한 안테나의 구조는 타원 복사 소자를 이용한 Vivaldi 형태로 모노폴 구조의 패치 안테나 형태이면서 마주하는 두 개의 타원 복사 소자가 만들어내는 테이퍼된 슬롯 안테나 형태^{[16],[17]}이기도 하다. 테이퍼 슬롯 안테나는 기본적으로 표면 진행파 안테나로 안테나 구조는 표면파가 구조의 종단까지 진행하도록 지원하며 안테나 종단에서 복사가 이루어진다.

표 1. 기준 안테나의 설계 변수 및 변화량
Table 1. Various values and design parameters for reference antenna.

변수	변수 내용	크기 변화량	제안한 크기
B	전체 기판 세로	-	40.5 mm
b	복사 소자 세로	-	20.0 mm
W	급전 선 폭	-	3.0 mm
g	급전 갭 폭	-	0.4 mm
GL	접지면 하반부 변화	9.5 mm~17.5 mm	17.5 mm
FH	복사 소자 높이 변화	0.25 mm~1.25 mm	0.5 mm
GH	접지면 상반부 변화	0 mm~-10.0 mm	-10.0 mm
SS	안테나 전체 크기 변화	0.5배~2.00배	20 mm: 40.5 mm
HL	안테나 가로 크기 변화	0.75배~2.00배	35.0 mm
Ua	복사 소자 가로 크기 변화	0.75배~2.00배	35.0 mm

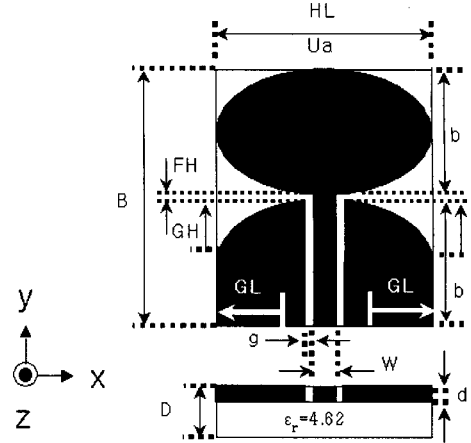


그림 1. 기준 안테나 구조
Fig. 1. Geometry of reference antenna.

제안한 기준 안테나는 가로 HL=35 mm, 세로 B=40.5 mm, 두께 D=1 mm, 비유전율 $\epsilon_r=4.62$, 박막 두께 d=0.036 mm의 FR4 기판을 사용하여 제작하였다. 그림 1에 기준 안테나의 구조를 나타내었고 기타 설계 변수에 대해 표 1에 나타내었다. 제안한 안테나는 시작 주파수 2.5 GHz는 안테나를 제작하여 측정 시 시뮬레이션한 시작 주파수의 요구치에 만족하지 않음을 경험적으로 알아 허용치를 여유있게 설계한 치수이다. 시뮬레이션만을 만족하는 타원의 크기는 가로 : 세로를 28 mm : 16 mm로 제안한 안테나보다 약 20 % 가량 작게 줄일 수도 있다.

먼저, 제안한 안테나는 그림 2(a), 2(b)에서처럼 타원형 다이폴 안테나에 CPW 급전 선로를 구성한 후 접지면의 하반부, 즉 급전면의 타원 모양을 사각형태로 확장 변형시켰다. 이는 CPW 급전 구조상 급전선 양옆의 접지면을 급전면과 평행하게 하여 도파관 형태의 급전조건을 만족시키기 위해서였고, 사각 형태가 타원 형태보다 제작하기가 쉬우며, 무엇보다도 급전면이 타원 형태에서 사각 형태로 변함에 따라 접지 면적이 넓어져 접지 전위가 안정화되어 반사 손실 특성이 안정화되는 특성을 얻을 수 있기 때문이다. 그림 2(c)에 급전면 변화에 따른 반사 손실 특성을 나타내었다. 접지 아래쪽의 급전면 변화는 급전선을 기준으로 최소한의 급전 포트 크기를 제외한 범위에서 양옆으로 접지면을 넓히며 타원 모양을 줄여가는 방향으로 변화시켰다. 그림 2(d)는 접지면의 상반부를 수평에서 타원형으로 변형시킴에 따른 반

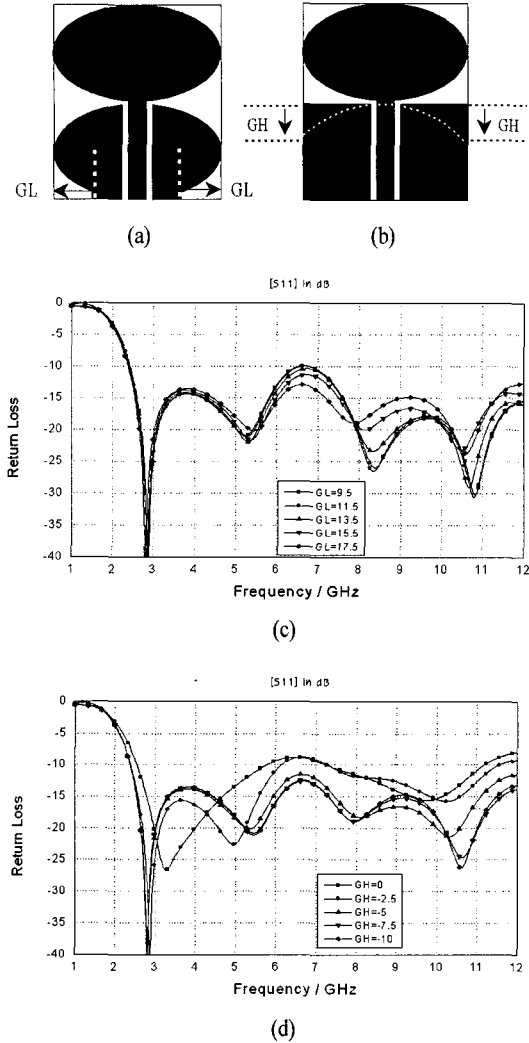


그림 2. (a), (c) 접지면 하반부 및 (b), (d) 접지면 상반부 변화에 따른 각 구조 및 반사 손실
 Fig. 2. Geometry and return loss as a variation of (a), (c) lower and (b), (d) upper side of ground edge.

사 손실 특성 변화이다. 접지 타원의 위쪽면과 복사 소자가 대칭으로 마주하는 면이 완전히 지수함수적으로 테이퍼된 구조를 나타낼 때 양호한 광대역 반사 손실 특성이 나타난다. 그림 2(d)에서 복사 소자와의 대칭된 테이퍼 구조가 없는 수평면 GH=0과 부분적으로 타원형 구조인 GH=-2.5에서는 6 GHz 대역에서 -10 dB 대역폭을 만족하지 못하며 전체적으로 반사 손실 특성이 안정되지 않음을 볼 수 있는데 이로서 복사 슬롯과 접지면이 이루는 대칭된 테이퍼

구조에서 광대역 임피던스 매칭 특성이 나타난다고 말할 수 있다. 급전선 폭, 급전선 갭과 더불어 복사 소자 급전 높이도 안테나 특성에 영향을 끼치는 주요 변수 중의 하나로 복사 소자 급전 높이의 변화에 따른 반사 손실 특성 및 구조를 그림 3에 나타내었다. 복사소자의 급전 높이는 복사 소자와 접지면 사이의 공간 크기를 말하며 급전 높이 변화 시뮬레이션을 통해 FH=0.5 mm로 최적화 하였다. 그림 4는 기준 안테나의 가로:세로 비율 HL : b=1.75 : 1.00인 타원에서 세로 비율 1.00을 고정한 상태로 가로 크기를 2.00, 1.75, 1.50, 1.25, 1.00, 0.75 비율로 순차적으로 변화시켜 구조 및 반사 손실 변화를 나타내었다. 그림 4(b)에서 1.50 : 1.00, 1.75 : 1.00, 2.00 : 1.00 비율이 각각 -10 dB 이하를 만족하는 반사 손실을 보이는데 타원의 가로 크기가 길어질수록 안정된 반사 손실을 나타내고 있지만 설계 시 안테나 크기를 소형화해야 하는 점과 UWB 전대역에서 안정화된 특성을 얻어야 하는 점을 모두 고려하지 않을 수 없다. 따라서 본 논문의 단일 평면 구조에서는 1.75 : 1.00 비율이

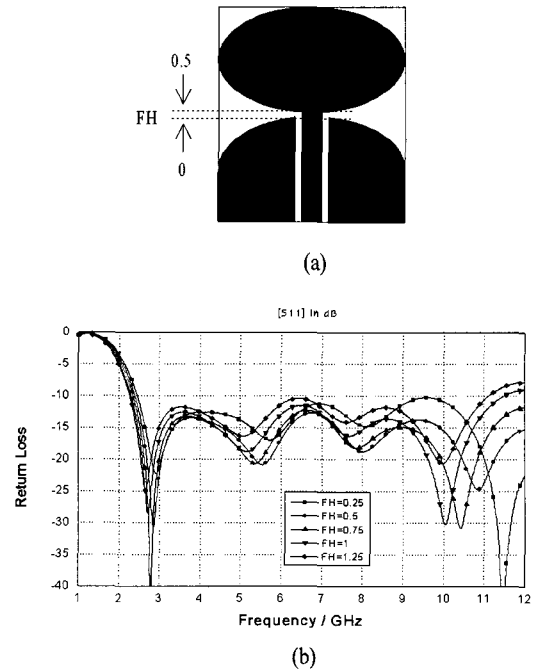
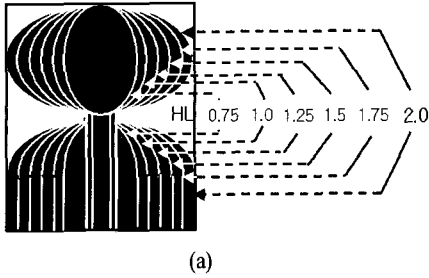
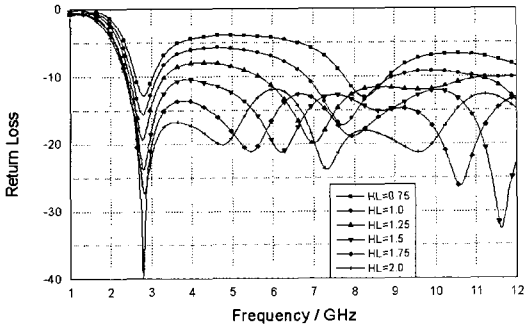


그림 3. 복사 소자의 급전 높이 변화에 따른 (a) 구조 및 (b) 반사 손실
 Fig. 3. (a) Geometry and (b) return loss as a variation of different feed heights for radiation element.



(a)



(b)

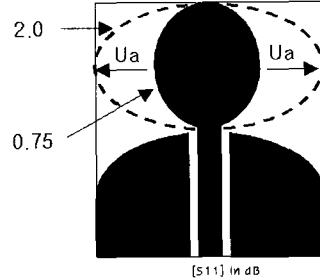
그림 4. 안테나 타원 구조의 가로:세로 비율 변화에 따른 (a) 구조 및 (b) 반사 손실

Fig. 4. (a) Geometry and (b) return loss for various axial ratios of elliptical structure of antenna.

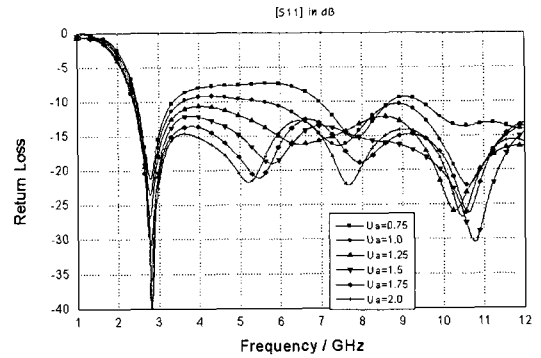
UWB 전대역에서 가장 안정된 반사 손실을 나타내어 최적의 비율로 적용하게 되었다.

그림 5(a), (b)는 기준안테나의 가로:세로 비율 HL : b=1.75 : 1.00 비율에서 접지 구조 변화를 제외하고 복사 소자만의 가로 크기(Ua)를 변화시킴에 따른 구조 및 반사 손실 특성을 각각 나타내었다. 그림 5(b)를 그림 4(b)와 비교해 보면 주파수 변화에 따른 전체적인 변화 패턴은 비슷하게 나타나지만 반사 손실 크기 변화의 폭이 작음을 볼 수 있는데 이는 복사소자만의 임피던스 변화가 접지를 포함한 안테나 전체의 임피던스 변화보다 작기 때문이다.

안테나의 크기가 변화할 때 사용 주파수나 파장도 같이 변화한다면 크기의 변화를 제외한 임피던스, 복사 패턴, 편파 등과 같은 특징들은 일정하게 된다. 예를 들어, 모든 물리적 크기를 1/2로 축소하고 동작주파수를 2배로 하면 안테나의 특성은 변하지 않는다. 본 논문에서는 이 “축소 모델 측정” 이론을 적용하여 안테나 크기 변화에 따른 특성 변화를 알아보았다. 기준 안테나의 전체 가로:세로 크기



(a)



(b)

그림 5. 복사 소자 가로 비율 변화에 따른 (a) 구조 및 (b) 반사 손실

Fig. 5. (a) Geometry and (b) return loss for various axial ratios of radiation element.

66.5 mm : 38.0 mm를 기준으로 전체 크기를 0.75배, 0.50배로 축소하는 변화와 1.25배, 1.50배, 2.00배로 확대시켰을 때의 변화를 시뮬레이션하여 그림 6(a), (b)에 반사 손실 특성 및 구조를 각각 나타내었다.

그림 6(b)에서 안테나의 크기가 축소 또는 확대 되더라도 반사 손실 특성은 모두 -10 dB 이하를 만족함을 볼 수 있는데 이로서 축소모델 이론을 단적으로 검증하였다. 그림 6(b)에서 안테나 크기를 1/2로 축소하였을 때 동작주파수가 2배가됨을 통해 확인할 수 있다. 예를 들어 1배 안테나의 -10 dB 동작주파수가 대략 2.5 GHz라고 할 때 1/2배 안테나는 5 GHz에서 -10 dB 이하의 동작 주파수가 만족됨을 보여주고 있다. 단, 본 논문에서 상측 주파수의 변화가 하측 주파수와 함께 변화하여 전체 사용 주파수가 일정한지는 실험되지 않았다.

Ⅲ. 대역 저지 안테나 설계 및 동작 특성

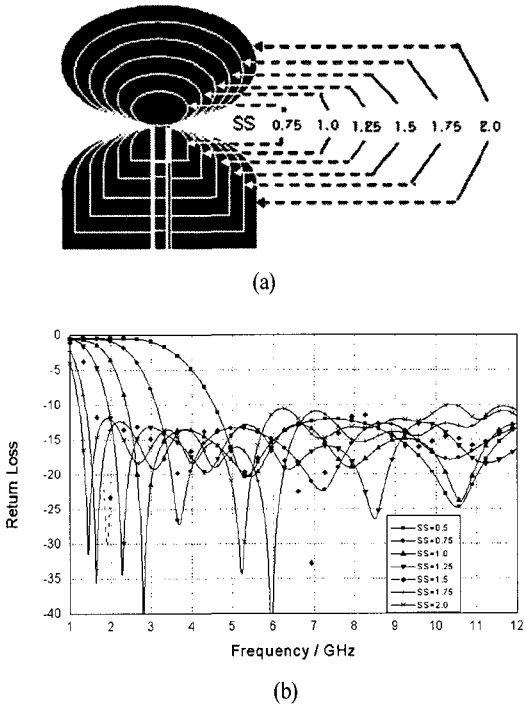


그림 6. 안테나 크기 변화에 따른 (a) 구조 및 (b) 반사 손실
Fig. 6. (a) Geometry and (b) return loss for various antenna size.

서론에서 언급했듯이 주파수 간섭을 막기 위한 방법으로 안테나 자체에 구조적 변화를 가해 대역 저지 특성을 얻을 수 있도록 한 다양한 연구가 발표되었다. 본 논문에서는 대역 저지 특성을 얻기 위해 타원형 복사 소자 내부에 얇은 수평 슬롯을 삽입하였다. 이 수평 슬롯의 구조는 SL(슬롯 길이), Sd(슬롯 두께), Sh(슬롯 높이)의 설계 파라미터로 간단히 정의할 수 있다. 일반적인 모노폴 안테나의 경우 길이 $L_{curr} = \lambda/4$ 에 따른 주파수에서 공진 특성이 나타난다. 슬롯의 경우도 마찬가지로 참고문헌 [6]에서 설명했듯이 저지하고자 하는 주파수에서 전류는 슬롯의 가장자리 주위에 집중되고 내부와 외부에서 서로 반대 방향으로 흐르게 되는데, 이 같은 특징은 안테나를 전송선로 모드처럼 동작하게 하여 저지하고자 하는 주파수 대역의 상부에서 높은 임피던스를 전송하고 안테나 급전점에서는 거의 0에 가깝게 되어 결국 저지하고자 하는 주파수 근처에서 높은 감쇠가 나타난다. 제안한 안테나의 대역 저지 중심 주파수 5.4875 GHz는 WLAN 및 HIPERLAN/2 대역(5.15 GHz

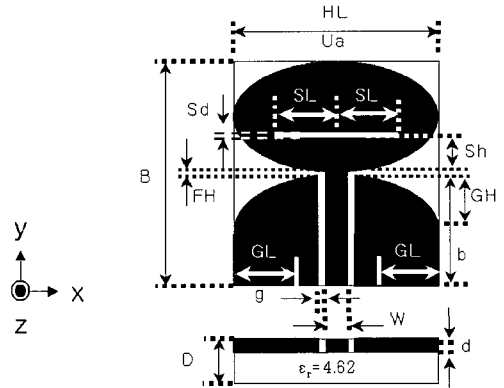


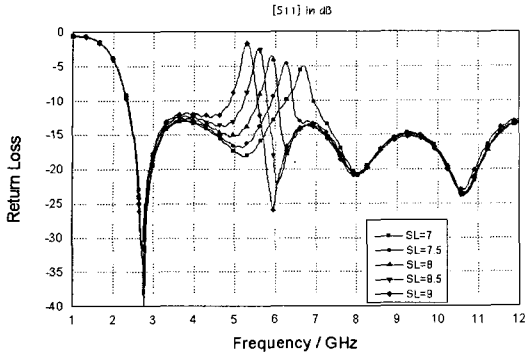
그림 7. 제안한 대역 저지 안테나 구조
Fig. 7. Geometry of proposed band-notched antenna.

표 2. 대역 저지 슬롯의 변수와 치수
Table 2. Value and parameters for band-notched slot.

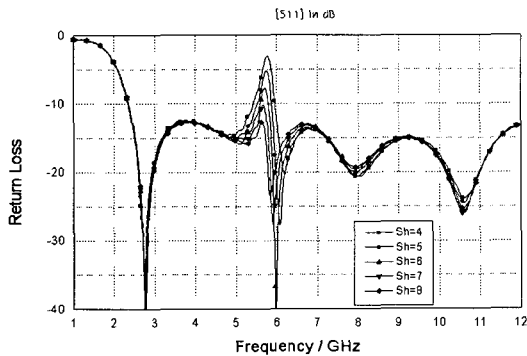
변수	변화량	제안한 크기	고정변수
SL	7.0~9.0	8.5	Sd=0.2, Sh=4.0
Sd	0.2~1.0	0.2	SL=8.5, Sh=4.0
Sh	4.0~8.0	3.5	SL=8.5, Sd=0.2

~5.825 GHz)의 중앙으로 제안한 수평 슬롯의 전체 길이는 5.4875 GHz의 약 $\lambda/3.2$ (17 mm)로 $\lambda/4$ 계산치(13.6 mm)보다 약 29% 길어진 길이이다. 슬롯 길이가 계산치와 차이가 있는 부분은 슬롯 주변의 구조적 차이와 슬롯 설계 변수 Sh, Sd간의 최적화 과정에서 비롯된 것이다. 그림 7은 앞에서 기술한 기준 안테나에 추가적으로 수평 슬롯을 삽입한 대역 저지 안테나의 구조를 나타내었다. 수평 슬롯 변수에 대해 표 2에 나타내었고 기타 변수는 기준 안테나와 동일하다.

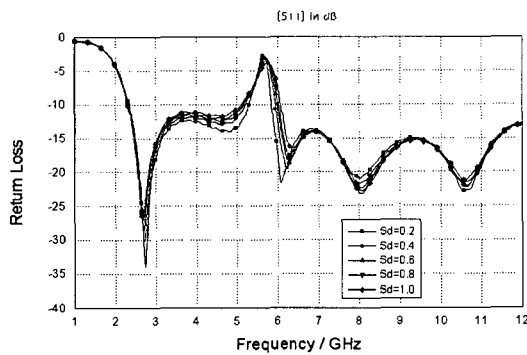
안테나에 대역 저지 특성을 만들기 위해 복사 소자에 슬롯을 삽입할 때 슬롯의 두께, 길이, 위치가 저지하고자 하는 특정 대역을 결정하는 변수로 작용하며 원하는 주파수를 정확히 맞추고자 할 때는 각 변수들의 정교한 절충이 요구된다. 그림 8(a)에서 보듯이 수평 슬롯의 길이가 길어질수록 슬롯의 공진 주파수가 낮아진다. 다시 말해 저지하고자 하는 주파수 대역이 낮아져 저지 그래프가 왼쪽으로 이동하는 것을 알 수 있다. 그림 8(b)에서는 슬롯의 위치가 급전점으로부터 높아짐에 따라 대역 저지 레벨이 감소하고 있다. 이로서 슬롯이 안테나 기본 구조와의 조합에 따라 반사 손실 특성이 변화함을 알 수 있으



(a) 슬롯 길이 변화
(a) Variation of slot lengths



(b) 슬롯 높이 변화
(b) Variation of slot heights



(c) 슬롯 두께 변화
(c) Variation of slot thicknesses

그림 8. 슬롯의 (a) 길이, (b) 높이, (c) 두께 변화에 따른 반사 손실

Fig. 8. Return loss for different slot (a) lengths, (b) heights and (c) thicknesses.

며, 그림 8(c)에서는 슬롯의 두께를 변형시킴에 따라 저지하고자 하는 주파수 대역폭을 변화시킬 수 있음을 나타내었다.

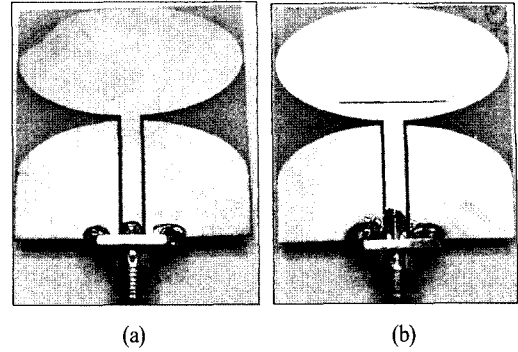


그림 9. 제작한 (a) 기준 안테나 및 (b) 대역 저지 안테나 실물 사진

Fig. 9. Photograph of fabricated (a) reference antenna and (b) band-notched antenna.

IV. 안테나 제작 및 측정

그림 9(a), (b)에 제작한 기준 안테나 및 대역 저지 안테나의 실물 사진을 각각 나타내었다.

안테나 측정은 충북대학교 “EMI/C 및 안테나 실험실”에서 HP8720C network analyzer를 사용하였으며 복사 패턴 측정에 사용된 표준 안테나는 14E-067001(1 GHz~6 GHz)과 NARDA 669(6 GHz~13 GHz) 혼 안테나를 사용하였고 이득 측정은 전달 이득 측정법을 사용하였다.

그림 10과 그림 11에 기준 안테나와 대역 저지 안테나의 전압 정재파비 시뮬레이션 및 측정 결과를 각각 나타내었다. 기준 안테나는 UWB 전대역(3.1 GHz~10.6 GHz)에서 $VSWR \leq 2$ 를 만족함을 볼 수 있으

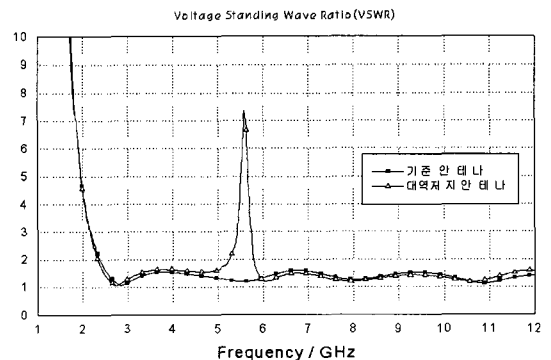
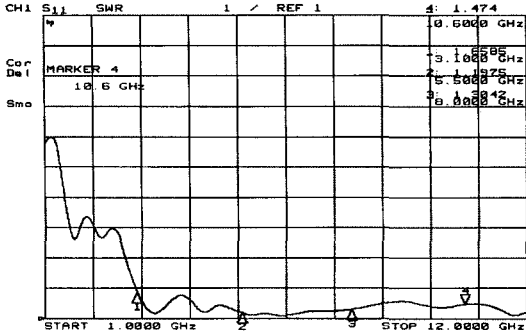
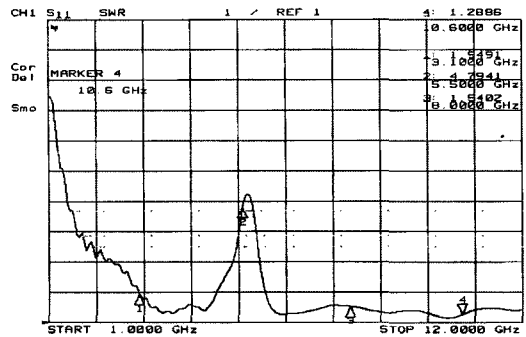


그림 10. 기준 안테나 및 대역 저지 안테나의 전압 정재파비 시뮬레이션 결과

Fig. 10. Simulated results of VSWR for reference and band-notched antenna.



(a) 기준 안테나
(a) Reference antenna



(b) 대역 저지 안테나
(b) Band-notched antenna

그림 11. (a) 기준 안테나 및 (b) 대역 저지 안테나의 전압 정재파비 측정 결과

Fig. 11. Measured result of VSWR for (a) reference antenna and (b) band-notched antenna.

며 대역 저지 안테나에서는 5 GHz 대역의 대역 저지 특성이 나타남을 확인할 수 있다. 그림 10과 11을 비교할 때 측정 결과와 시뮬레이션 결과가 잘 일치함을 볼 수 있다. 단, 그림 11(b)의 5 GHz 대역 저지 특성 측정 결과에서는 시뮬레이션 결과만큼 대역 저지 폭이 얇지 않고 약간 두껍게 나타났는데 이는 실제 제작상의 슬롯 두께가 약간 더 두꺼운 것으로 판단된다. 제작상의 세밀한 가공이 요구되는 부분이다.

그림 12는 기준 안테나와 대역 저지 안테나의 입력 port에 대한 반사 손실(S_{11})의 시뮬레이션 궤적을 스미스 차트 상에 나타내고 있다. 주파수 변화는 1 GHz에서 12 GHz까지로 두 안테나 모두 스미스 차트 중심에서 가까이 원을 그리고 있는데 이 중심 가까이서 돌고 있는 궤적들은 S-parameter의 절대치 입력 임피던스(S_{11})를 나타내는 반경 0.25 이하의 가상

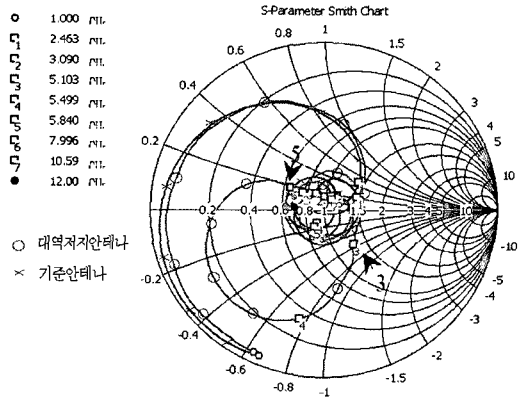


그림 12. 기준 안테나 및 대역 저지 안테나의 스미스 차트 시뮬레이션 결과

Fig. 12. Simulated result of smith chart for reference antenna and band-notched antenna.

원 범위 안에서 여러 번의 원을 그리며 머무르고 있는 것으로 임피던스 정합이 광대역에서 나타나고 있음을 뜻한다. 대역 저지 안테나의 궤적을 보면 point 3(5.1 GHz) 위치에서부터 중심 궤적을 이탈하여 point 5(5.84 GHz) 위치에서 중심 궤적으로 다시 들어가는 중심 이탈 원을 그리고 있다. 이는 기준 안테나에 슬롯을 삽입하여 5 GHz 대역을 차단하고자 한 대역 저지 특성이 나타나고 있는 것으로 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 매우 잘 일치한다. 그림 13에 측정 결과를 나타내었다.

그림 14에 제안한 안테나의 이득을 나타내었다. 이득의 변화량이 시뮬레이션은 2.8 dB~5.6 dB이고 측정치는 2.1 dB~4.75 dB로 3 dB 이내로 나타나고 있다. 8 GHz 이상의 고주파에서 측정치와 시뮬레이

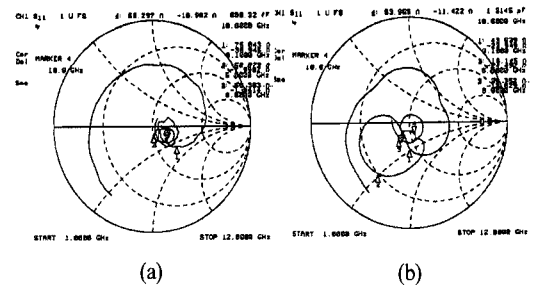


그림 13. (a) 기준 안테나 및 (b) 대역 저지 안테나의 스미스 차트 측정 결과

Fig. 13. Measured result of smith chart for (a) reference antenna and (b) band-notched antenna.

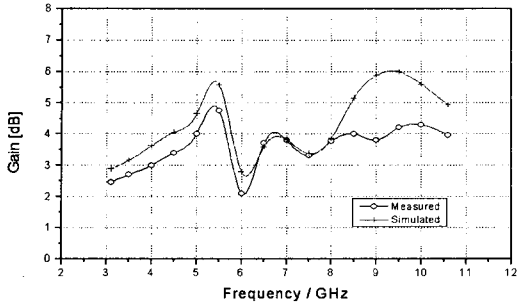


그림 14. 제안한 안테나의 이득
Fig. 14. Gains for proposed antenna.

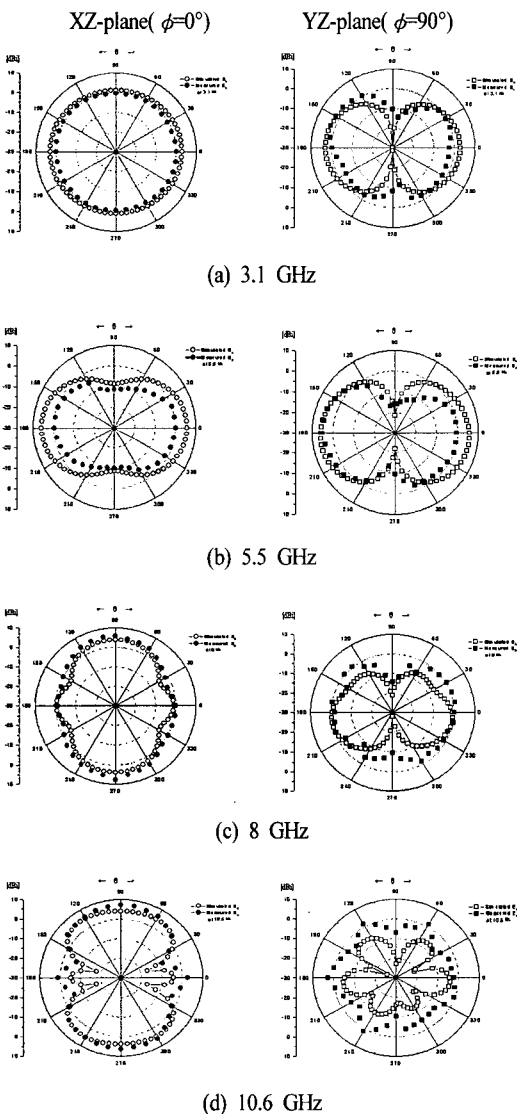


그림 15. 대역 저지 안테나의 복사 패턴
Fig. 15. Radiation patterns for band-notched antenna.

선간의 차이가 많이 나타나는데 측정상의 오류로 추정된다. 그림 15에 XZ 평면(Theta, Phi=0°)과 YZ 평면(Theta, Phi=90°)에서 대역 저지 안테나의 복사 패턴 시뮬레이션 및 측정 결과를 3.1 GHz, 5.5 GHz, 8.0 GHz, 10.6 GHz의 각 주파수별로 나타내었다.

그림 15의 XZ 평면에서 8 GHz와 10.6 GHz에서 θ 각 90°와 270° 방향의 8자형 복사 패턴이 나타나고 있는데 이것은 안테나 좌·우(X축) 방향으로 주 복사가 나타나는 것으로 3.1 GHz, 5.5 GHz에서 보이는 전·후(Z축 방향) 8자 형태의 복사 패턴과는 위상이 90° 바뀐 특성이다. 그림 15의 YZ 평면에 대한 복사 패턴에서 XZ 평면과 같은 큰 위상 변화는 없지만 주파수가 높아지면서 8.0 GHz와 10.6 GHz의 θ 각 30°, 330°와 150°, 210° 방향에서 널(null)이 생기기 시작한다. 10.6 GHz의 시뮬레이션 결과가 측정 결과와 다소 차이가 있는데 측정상의 오류로 보인다. 기타 다른 주파수에서는 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 비교적 잘 일치하고 있다.

그림 16(a), (b)에 기준 안테나와 대역 저지 안테나의 위상 응답 특성 및 군 지연 시간 시뮬레이션 특성을 각각 나타내었다. 시뮬레이션은 CST사 MWS의 프로브 기능을 이용하였다. 안테나를 중심으로 양각(elevation) $\theta=90^\circ$ 도, 방위각(azimuth) $\phi=0^\circ$ 에서 이루어졌다. 두 안테나 모두 평균 1 ns 이하를 보이며 양호한 군 지연 시간 특성을 보인다. 대역 저지 안테나에서는 대역 저지 특성에 따른 5 GHz 대역에서 지연 시간이 나타나고 대역 저지 특성이 종료되는 6 GHz 시작 부분에서 반대쪽으로 지연 시간이 더불어 나타난다. 이는 응답 시간 변화에 따라 빠르게 안정화하는데 필요한 상쇄 시간으로, -10 dB 이하로 매칭이 시작되는 시작 주파수 2.5 GHz 부분에서도 지연 시간이 나타나는 것으로 볼 때 입력 임피던스 매칭에 변화가 있을 때 지연 시간이 나타난다고 말할 수 있다. 나머지 주파수 대역은 임피던스 매칭의 변화가 완만한 부분으로 군 지연 특성 또한 일정하게 안정화되었다. 대역 저지 특성의 원인으로 리플이 있으나 안테나 전체 임피던스 대역폭에 영향을 미치지 않으며 응답 시간에도 크게 영향이 없어 무시할 수 있다.

그림 16(b)는 기준 안테나와 대역 저지 안테나의 위상 응답 특성 시뮬레이션 결과이다. 기준 안테나의 경우 2.5 GHz에서 시작해 12 GHz까지 전체적으로

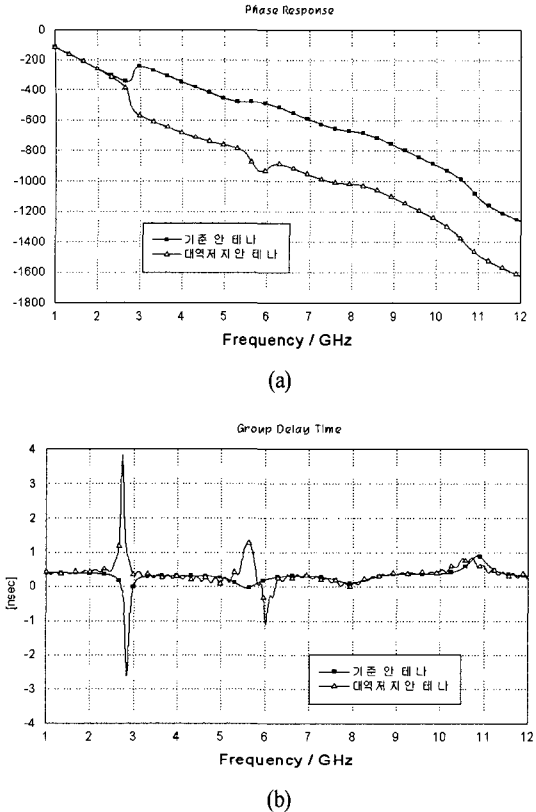


그림 16. (a) 위상 응답 및 (b) 군 지연 시간 시뮬레이션
 Fig. 16. Simulated result of (a) phase response and (b) group delay time.

선형적인 응답 특성이 나타나는 것을 볼 수 있다. 5 GHz 대역의 대역 저지 특성에 따른 비선형 응답을 제외하면 대역 저지 안테나와 기준 안테나는 유사한 특성이 나타남을 볼 수 있다. 기준 안테나가 대역 저지 안테나보다 전체적으로 응답 속도가 빠르게 나타나고 있는데 이것으로 볼 때 대역 저지 특성에 따라 전체 위상 응답 특성에도 영향이 나타남을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 타원형 다이폴 안테나의 급전 방식과 접지 모양을 변형시킨 CPW 급전 평면 모노폴 UWB 안테나를 설계 및 제작하여 측정하였다. 제안한 안테나는 복사 소자와 접지면이 마주하는 부분에서 지수 함수적으로 테이퍼된 슬롯 형태를 이루면서 임피던스 대역폭을 확장시켜 UWB 시스템 전대역(3.1 GHz~10.6 GHz)에서 VSWR 2 이하를 만족하는

특성을 갖는다. 또한, IEEE 802.11a에 의한 WLAN (Wireless LAN) 및 HIPERLAN/2 대역(5.15 GHz~5.825 GHz)과의 간섭을 차단하는 특성을 얻기 위해 복사 소자에 수평 슬롯을 삽입하여 대역 저지 특성을 얻을 수 있었다. 수평 슬롯의 길이, 두께, 위치를 변화시킴에 따라 저지하고자 하는 주파수 대역을 변경할 수 있음을 보였고, 슬롯 변수를 최적화하여 5.15 GHz~5.825 GHz 대역의 간섭을 저지하는 슬롯 변수를 도출하였다. 또한 기준 안테나를 구성하는 타원의 가로 : 세로 비율 중 가로 비율을 변화시켜 타원 구조에서 원형 구조로 모양 변화가 이루어짐에 따른 반사 손실 특성을 기술하였고 그 결과 타원 구조의 가로 : 세로 비율은 1.75 : 1.00이 UWB 시스템에서 최적의 비율임을 알 수 있었다. 또한, 기준 안테나의 전체 크기를 0.5배에서 2.0배까지 0.25배 비율로 축소·확대시킴에 따른 반사 손실 특성 변화로 안테나 축소모델 이론을 단적으로 검증하였다. 제안한 안테나는 기판 뒷면에 접지면이 없는 단일평면 CPW 급전 구조를 사용하여 제작이 용이하였고, 소형화가 가능하였다. 측정 결과 UWB 전대역에서 반사 손실이 -10 dB 이하를 만족하였고, 2.1 dB~4.75 dB의 최대 이득이 나타났으며, 전방향 복사 패턴을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] 장병준, 이운덕, "UWB 통신의 주요 이슈와 향후 기술", 주간기술동향, 통권 1140호, 2004년 7월.
- [2] Qiubo Ye, W. R. Lauber, "Microstrip ultra-wideband dipole antenna simulation by FDTD", *IEEE Antennas and Propagation Society International 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 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] H. G. Schantz, G. Wolenc, and E. M. Myszka,

- "Ultra Wideband Systems and Technologies", *IEEE Conference*, pp. 214-218, Nov. 2003.
- [6] A. Kerkhoff, H. Ling, "Design of a planar monopole antenna for use with ultra-wideband(UWB) having a band-notched characteristic", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 1, pp. 830-833, Jun. 2003.
- [7] Yongjin Kim, Do-Hoon Kwon, "Planar ultra wide band slot antenna with frequency band notch function", *IEEE Antennas and Propagation Society Symposium*, vol. 2, pp. 1788-1791, Jun. 2004.
- [8] 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 Symposium*, vol. 2, pp. 1784-1787, Jun. 2004.
- [9] 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.
- [10] A. Kerkhoff, Hao Ling, "A parametric study of band-notched UWB planar monopole antennas", *IEEE Antennas and Propagation Society Symposium*, vol. 2, pp. 1768-1771, Jun. 2004.
- [11] Taeyoung Yang, W. A. Davis, "Planar half-disk antenna structures for ultra-wideband communications", *IEEE Antennas and Propagation Society Symposium*, vol. 3, pp. 2508-2511, Jun. 2004.
- [12] I. -J. Yoon, Hyungrak Kim, Kihun Chang, Young Joong Yoon, and Young-Hwan Kim, "Ultra wide-band tapered slot antenna with band-stop characteristic", *IEEE Antennas and Propagation Society Symposium*, vol. 2, pp. 1780-1783, Jun. 2004.
- [13] Yo-Shen Lin, Tzyh-Ghuang Ma, Shyh-Kang Jeng, and Chun Hsiung Chen, "Coplanar waveguide-fed dual exponentially tapered slot antennas for ultra-wideband applications", *IEEE Antennas and Propagation Society Symposium*, vol. 3, pp. 2951-2954, Jun. 2004.
- [14] 신경섭, 이흥민, "테이퍼 구조의 UWB용 슬롯 안테나 설계", 한국전자과학회 종합학술발표회 논문집, 14(1), pp. 231-234, 2004년 11월.
- [15] Kwan-Ho Lee, Chi-Chih Chen, F. L. Teixeira, and R. Lee, "Numerical study of a UWB dual-polarized feed design for enhanced tapered chambers", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 1, pp. 265-268, Jun. 2003.
- [16] 김기수, 박동국, "초광대역 CPW 급전 슬롯안테나", 한국전자과학회논문지, 14(7), pp. 663-668, 2003년 7월.
- [17] R. Janaswamy, D. Schaubert, "Analysis of the tapered slot antenna", *IEEE Antennas and Propagation Transactions*, vol. 35, no. 9, pp. 1058-1065, Sep. 1987.

박길영



1999년 2월: 부경대학교 전자공학과 (공학사)
 2005년 8월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, EMI/EMC

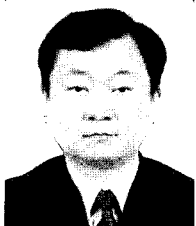
오병철



1997년 2월: 연세대학교 법학과 (법학박사)
 2002년 2월: 진주산업대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
 2004년 3월~현재: 충북대학교 정보통신공학과 석사과정
 2005년 3월~현재: 연세대학교 정경대학 법학부 교수

[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, EMI/EMC 및 전자파 인체보호 규격

신호섭



1995년 8월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학사)
 1998년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 2003년 8월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학박사)
 2002년 1월~2004년 1월: 국제전자

정밀 중앙연구소 연구원

2004년 2월~2005년 2월: 충북대학교 기초과학연구소 전임연구원

2005년 2월~2005년 3월: 충북테크노파크 전략산업기획단 선임연구원

2005년 3월~현재: 군산대학교 공과대학 전자정보공학부 전임강사

[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 전자파 수치해석, 전파전파, EMI/EMC

김남



1981년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1983년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

1988년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)

1992년 8월~1993년 8월: 미 Stanford 대학교 방문교수

2000년 3월~2001년 2월: 미 Caltech 방문교수

1989년~현재: 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수, 컴퓨터 정보통신 연구소

[주 관심분야] 이동통신 및 전파전파, 마이크로파 전송선로 해석, EMI/EMC 및 전자파 인체보호 규격