보우-타이 모노폴 UWB 안테나의 소형화 및 대역 저지 특성

A Miniaturized and Band Rejection Characteristic of Bow-Tie Monopole UWB Antenna

최 형 석 · 최 경 · 황 희 용

Hyung-Seok Choi · Kyoung Choi · Hee-Yong Hwang

요 약

본 논문에서는 대역 저지 특성을 갖는 소형화된 보우-타이 모노폴 UWB 안테나를 제안하였다. 기존의 보우-타이 모노폴 안테나에 완전 자계벽(PMW) 조건을 적용하여 안테나의 물리적 크기를 소형화하였다. 임피던스 정합을 위해 접지면의 굴곡각을 조절하였고, 테이퍼 형태의 급전 선로를 적용하였으며, 패치면의 모서리를 잘라 내었다. UWB 대역 내에 존재하는 타 대역의 간섭을 저지하기 위해 패치면에 $\lambda/4$ 슬롯 공진기를 삽입하였다. 제작된 안테나는 비유전율 6.15를 갖는 Taconic RF60-A 기판을 사용하였다. 제안된 안테나의 크기는 $30.0 \times 39.7 \text{ mm}^2$ 로 기존 보우-타이 모노폴 안테나의 약 45 %가 줄어들었다. UWB 전체 대역에서 -10 dB 이하의 반사 손실 특성과 5 GHz WLAN 대역의 저지 특성을 나타내었다. $-1 \sim 5 \text{ dBi}$ 의 최대 이득 및 1.0 ns 이내의 군지연 변화 특성과 x-y평면의 방사 패턴에서 지향성을 나타냈다.

Abstract

In this paper, a miniaturized bow-tie monopole UWB antenna with band rejection characteristic is proposed. To miniaturize the proposed antenna, a perfect magnetic wall(PMW) condition is applied to primitive bow-tie monopole antenna. An uneven ground patch, a tapered feeding structure and a edge-chopped main patch are adapted for impedance matching. A quater-lambda slot resonator is inserted at main patch to prevent interference in UWB band from another band. The proposed antenna is fabricated on Taconic RF60-A substrate with relative permittivity of 6.15. The size of the proposed antenna is $30.0 \times 39.7 \text{ mm}^2$, which is only 45 % of the conventional bow-tie monopole antenna. The proposed antenna covers full UWB band with return losses less than -10 dB and has band stop characteristic in 5 GHz WLAN band. The maximum gains are within $-1.0 \sim 5.0 \text{ dBi}$, the group delay variations are within 1.0 ns and the radiation patterns show directivity characteristics in x-y plane.

Key words : UWB Antenna, Bow-tie Monopole, Miniaturization, Band Rejection

I. 서 론

UWB(Ultra-Wideband) 기술은 반송파 주파수의 20 % 이상의 대역폭을 사용하여 통신하는 방식으로 반경 10 m 이내의 근거리에서 0.5~1 Gbps의 초고속

무선 전송이 가능한 WPAN(Wireless Personal Area Network) 기술 중 하나다. UWB 통신 시스템은 사무실이나 가정에서 무선으로 HDMI와 같은 고화질·비 압축 멀티미디어 데이터 정보를 전송하게 함으로써 가전기기의 배치는 물론 자료 전송의 편리함을

강원대학교 IT대학 전기전자공학부(Dept. of Electrical and Electronics Engineering, College of IT, Kangwon National University)

· Manuscript received November 25, 2011 ; Revised March 5, 2012 ; Accepted March 9, 2012. (ID No. 20111125-04S)

· Corresponding Author : Hee-Yong Hwang (e-mail : hyhwang@kangwon.ac.kr)

제공해 주기 때문에 많은 연구가 진행되고 있다^{[1],[2]}. 이러한 UWB 통신 시스템에 사용되는 안테나는 동작 대역인 3.1~10.6 GHz를 만족하는 광대역 안테나가 필수이며, 파장이 약 28~96 mm이므로 소형의 안테나가 요구된다. 또한, 주파수 대역별로 안정된 방사 패턴, 일정한 근지연 특성과 UWB 대역 내에 포함되는 타 대역의 간섭을 제거하는 기능을 갖는 안테나들이 제안되고 있다^{[2],[3]}. 상기의 조건들을 만족하며, 시스템 내부에 실장하기 용이한 장점을 갖는 평판 형태의 보우-타이 안테나^{[4],[5]}, 타원형 안테나^[6], 비발디 안테나^[7], 프랙탈 안테나^[8] 등 다양한 구조의 UWB 안테나들이 제안되고 있으며, 특히 평판형 보우-타이 안테나는 간단한 설계 구조와 광대역 특성, 제작하기에 저렴한 가격 등의 장점이 있다^[5]. 그러나 전류가 모서리에서 갑자기 중단되어 대역폭을 제한하여^[9] UWB 전체 대역에서 사용하기엔 부족하다. 이러한 단점을 보완하기 위해 급전 구조를 바꾸거나^[4], 계단형 패치면을 이용한 구조가 제안되었다^[5]. 그러나 이러한 구조들은 UWB 전체 대역을 만족하지 못하거나 패치 구조의 변수들이 많아 설계가 복잡한 단점이 있다.

본 논문에서는 기존에 연구되었던 보우-타이 모노폴 안테나의 접지면에 굴곡각을 적용하여 UWB 전체 대역에서 사용 가능하게 한 역삼각형 모노폴 안테나^[13]에 존재하는 대칭적인 자계 분포를 이용하여 안테나를 소형화 하였다. 또한, 굴곡각을 이용하여 임피던스 정합을 이루었고, 5 GHz WLAN 대역을 제거하기 위해 패치면에 $\lambda/4$ 공진 슬롯을 삽입하였다. 설계 및 제작된 안테나는 유전체 두께 0.64 mm, 도체 두께 0.035 mm, 손실 탄젠트 0.0025, 비유전율 6.15의 Taconic 社의 RF-60A 기판을 사용하였으며, 본 논문에 제시된 모든 모의 실험 결과는 Ansoft 社의 HFSSTM를 이용하였다.

II. 본 론

2-1 자계벽 조건을 이용한 안테나의 소형화

무선 통신 시스템의 소형화로 인해 다양한 안테나의 소형화 방안이 제안되고 있으며, 평판형 안테나의 경우 패치면을 구부리거나 slit을 추가한 구조, 패

치면과 접지면 사이의 공간을 활용하는 perturbation 효과를 이용한 방법들^[10]과 메타 물질을 이용한 소형화^[11]이 제안되었으나, 동작 대역폭이 좁아 UWB 안테나에 적용하기에는 부적합하다. 그러나 완전 자계벽(PMW) 조건을 이용하여 UWB 안테나의 소형화를 구현한 선례^[12]가 있어 이를 참조하였다.

완전 자계벽은 완전 전계벽(PEC)과 쌍대 관계로, 완전 전계벽이 적용된 혼한 형태로는 모노폴 안테나가 있다. 모노폴 안테나는 다이폴 안테나에 완전 전계벽(PEC) 조건을 이용하여 대칭면을 단락(short)시켜 소형화한 형태이다. 이와 쌍대 관계인 완전 자계벽 조건은 대칭면을 개방(open)하여 소형화가 가능하며, 대칭면이 되기 위한 조건을 식 (1)에 나타내었다. 식 (1)은 대칭면을 기준으로 자계가 수직 방향 성분만 존재하고 접선 방향 성분이 0이 되어야 함을 의미한다.

$$\hat{n} \cdot \vec{D} = 0, \quad \hat{n} \times \vec{H} = 0 \quad (1)$$

기존에 연구되었던 CPW 급전 방식의 역삼각형 모노폴(보우-타이 모노폴) UWB 안테나^[13]와 자계벽 조건을 적용하여 대칭면을 개방한 구조의 자계 분포를 그림 1에 나타내었다. 대칭면을 기준으로 자계 분포가 수직 방향 성분만 존재하고, 접선 방향 성분이 0이므로 식 (1)을 만족하여, 대칭면을 자계벽으로 볼 수 있다.

그림 2에 그림 1 구조의 반사 손실 특성을 나타내었다. 대칭면을 개방할 경우, 안테나의 임피던스가

그림 1. 3 GHz에서의 자계 분포

Fig. 1. Magnetic field distribution at 3 GHz.

그림 2. 그림 1의 반사 손실 특성들
Fig. 2. Return losses of Fig. 1.

그림 3. 소형화된 안테나 구조
Fig. 3. Miniaturized antenna structure.

급격히 변화함을 보인다. 그림 1(b)와 같이 소형화할 경우, 급전선의 임피던스를 50 Ω 으로 유지하기 위해서는 패치면과 접지면 사이의 간격이 매우 좁아지기 때문에 현실적으로 구현하기가 불가능하다. 그러므로 그림 3에 나타난 것과 같이 접지면을 패치면의 반대편에 배치하여 Microstrip의 형태로 구조를 변경하였다. 또한, 변화된 임피던스를 정합하기 위해 접지면의 굴곡각을 조정하였으며, 급전선에 50 Ω 에서 80 Ω 으로 변환하는 삼각형 테이퍼를 적용하였다. 이러한 형태는 참고문헌 [15]와 유사하나, 추가적인 임피던스 정합을 위해 패치면의 모서리 부분을 잘라내어 반사 손실 특성을 향상시켰다. 패치면의 높이 H_p 는 참고문헌 [13]의 값에서 미세 조정하였다. 또한, 개방면과 좌측 패치·접지면 사이의 간격은 약 1

(a) α 각에 따른 반사 손실 특성들
(a) Return losses according to α

(b) β 각에 따른 반사 손실 특성들
(b) Return losses according to β

그림 4. 변수들에 따른 안테나의 반사 손실 특성들
Fig. 4. Return losses according to parameters.

mm 이상 띄어 놓아야 성능이 안정됨을 보인다.

그림 4는 α 와 β 각에 따른 반사 손실 특성 변화를 나타내었다. α 와 β 각에 의해 접지면과 패치면 사이의 각이 결정되며, 이에 따른 안테나의 입력 임피던스 및 반사 손실 특성이 변화하게 된다. α 각이 증가함에 따라 6 GHz를 기준으로 높은 주파수 대역에서는 반사 손실 특성이 나빠지며, 낮은 주파수 대역의 반사 손실 특성을 개선됨을 보인다. 반대로 α 각이 감소함에 따라 6 GHz를 기준으로 높은 주파수 대역에서는 반사 손실 특성이 개선되며, 낮은 주파수 대역에서는 반사 손실 특성이 나빠짐을 보인다. 또한, β 각에 따라 전체 대역의 반사 손실 특성이 미세하게 변화함을 보인다. 상기의 결과를 통해 α, β 각에 따라 동작 대역폭이 변화하며, β 각에 비해 α 각이 동작 대역폭에 많은 영향을 끼침을 알 수

표 1. 소형화된 안테나의 설계 변수들

Table 1. Design parameters for miniaturized antenna.

변수	값(mm)	변수	값(mm)	변수	값(mm)
W	30.0	W_{gnd}	26.5	α	35.8°
H	39.7	H_{gnd}	18.0	β	33.0°
W_p	17.3	W_{add}	7.2	θ_T	31.3°
H_p	19.7	H_{add}	6.5	T	2.3 mm

그림 5. 대역 저지 슬롯이 추가된 안테나

Fig. 5. Antenna with band-notch slot.

있다. 그 외의 변수인 H_{add} 의 변화와 패치면과 접지면의 간격 변화에 대해서는 논문의 간결함을 위해 논의를 생략하였다. 상기의 과정을 통해 찾아낸 최적화된 설계 변수들을 표 1에 제시하였다.

2.2 소형화된 안테나의 대역 저지 특성 구현

그림 5(a)는 그림 3의 소형화된 안테나 구조에 대역 저지 특성을 구현하기 위해 패치면에 $\lambda/4$ 슬롯 라인 공진기를 추가한 형태이다. 본 논문에서 제안하는 구조가 대칭이므로 $\lambda/2$ 슬롯 라인 공진기의 길이에 반을 나누어 $\lambda/4$ 슬롯 라인 공진기의 길이를 구하였다.

$\lambda/2$ 슬롯 라인 공진기의 길이 L 은 식 (2)^[14]를 참조하여 얻었으며, 대역 저지 주파수 f_0 를 5.5 GHz로 설정하였다. 식 (2)를 통해 구한 L 값은 14.4 mm였으며, 모의 실험 도구를 이용하여 W_{slot} 는 7.6 mm의 최적화된 값을 찾았다.

$$L = \frac{c}{2f_0} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2)$$

(a) H_{slot} 에 따른 반사 손실 특성들

(a) Return losses according to H_{slot}

(b) G_{slot} 에 따른 반사 손실 특성들

(b) Return losses according to G_{slot} .

그림 6. 슬롯 변수들에 따른 반사 손실 특성

Fig. 6. Return losses according to slot parameters.

슬롯 라인 공진기의 위치와 두께에 따른 반사 손실 특성 변화를 그림 6에 나타내었다. 슬롯의 위치 H_{slot} 이 높아질수록 저지 대역폭은 좁아지며, 슬롯 넓이 G_{slot} 가 넓어짐에 따라 저지 대역폭이 늘어남을 보이고 있다. 상기의 결과를 바탕으로 모의 실험 도구를 이용하여 G_{slot} , H_{slot} 의 최적화된 값을 찾았으며, 각각 0.3 mm, 17.3 mm이다.

2.3 제작 및 측정 결과

최적화된 설계 변수를 적용하여 제작된 안테나를 그림 5(b)에, 측정 및 모의 실험 결과를 비교하여 그림 7에 나타내었다. 안테나의 반사 손실, 방사 패턴 및 균지연 특성은 Anritsu 社の 37397C VNA를 이용하여 전자파 무반사실에서 측정하였다. 모의 실험 결과와 제작 및 측정 결과가 유사함을 보이며 5~6

그림 7. 모의 실험과 측정 결과의 반사 손실 특성
Fig. 7. Simulated and measured return loss.

그림 8. 측정된 최대 이득 및 군지연 특성
Fig. 8. Measured maximum gain and group delay.

그림 9. 측정된 방사 패턴
Fig. 9. Measured radiation pattern.

GHz 대역의 반사 손실 특성이 -10 dB 이상으로 대역 저지 특성을 보이고 있으며, 그 외의 대역에서는 -10 dB 이하를 만족함을 보인다.

제한된 안테나의 이득과 군지연 특성을 그림 8에 나타내었다. 저지 대역을 제외한 전체 대역에서 최대 이득은 $-1 \sim 5$ dBi이며, 군지연 시간의 차이는 1 ns 이내에 있음을 보인다. 또한, 저지 대역에서는 -5 dBi의 최대 이득과 1.0 ns 이상의 군지연 특성을 나타낸다.

그림 9에는 제안된 안테나의 방사 패턴을 나타내었다. 전 대역에서 일정한 형태의 방사 패턴을 보이고 있으며, 슬롯 라인 공진기를 이용하여 5 GHz WLAN 대역을 저지한 안테나의 경우 5.2 GHz에서의 안테나 이득은 2 dBi에서 -5 dBi로 -7 dB만큼 줄어들었다. 대칭면을 개방시킴으로 인해 H-plane (x-y)의 방사 패턴에서 개방면의 반대 방향으로 지향성이 존재함을 보인다.

III. 결 론

본 논문에서는 기존에 연구되었던 역삼각형 모노폴 안테나에 자계벽 조건을 이용하여 물리적 크기를 소형화하였으며, 굴곡각을 조정하여 전체 UWB 대역에서 동작 가능하도록 설계하였고, 5 GHz WLAN 대역을 제거하기 위해 패치면에 $\lambda/4$ 슬롯 라인 공진기를 삽입하였다. 설계 및 제작된 안테나는 기존에 연구되었던 50.0×43.7 mm²의 크기에서 30×39.7 mm²으로 약 45 %를 소형화하였다. 측정된 반사 손실 특성은 동작 대역인 $3.1 \sim 10.6$ GHz에서 -10 dB 이하, $-1 \sim 5$ dBi의 최대 이득, 1.0 ns 이내의 군지연 특성을 보였다. 또한, 저지 대역에서는 최대 -3 dB의 반사 손실 특성, -5 dBi의 최대 이득, 1.0 ns 이상의 군지연 특성을 나타낸다. 또한, 대칭면을 개방함에 따라 x-y평면의 방사 패턴의 형태가 지향성을 갖는다.

본 논문에서 제안된 안테나는 접지면의 굴곡각 α 와 β 에 의해 대역폭 조절이 가능하여 패치면의 형태를 변화시키지 않고도 안테나의 특성을 다양하게 변화시킬 수 있는 장점이 있다. 또한, 동작 대역 내에서 이득이 -1 dBi 이상, 군지연이 1.0 ns 이내로 상용 시스템에 적용이 가능하다.

참 고 문 헌

- [1] 김창주, "주파수 자원 공유 기술", 전자파기술, 18 (2), pp. 29-34, 2007년 4월.
- [2] 김태근, 민경식, "대칭 미앤더 급전 선로를 이용한 사다리꼴 평면 UWB 안테나 설계", 한국전자과학회논문지, 20(8), pp. 739-745, 2009년 8월.
- [3] D. -O. Kim, C. -Y. Kim, "CPW-fed ultra-wideband antenna with triple-band notch function", *Electron. Lett.*, 46(18), pp. 1246-1248, 2010.
- [4] K. Kiminami, A. Hirata, "Double-sided printed bow-tie antenna for UWB communications", *IEEE Lett. Antennas Propag.*, vol. 3, pp. 152-153, 2004.
- [5] A. Dadgarpour, G. Dadashzadeh, M. N-Moghadasi, and F. Jolani, "Design and optimization of compact balanced antipodal staircase bow-tie antenna", *IEEE Lett. Antennas Propag.*, vol. 8, pp. 1135-1138, 2009.
- [6] J. W. Jang, H. -Y. Hwang, "Design of a miniaturized quarter-circular-slot UWB antenna", *Microwave Journal*, 2008.
- [7] A. Z. Hood, T. Karacolak, and E. Topsakal, "A small antipodal vivaldi antenna for ultrawide-band applications", *IEEE Lett. Antennas Propag.*, vol. 7, pp. 656- 660, 2008.
- [8] H. Oraizi, S. Hedayati, "Miniaturized UWB monopole microstrip antenna design by the combination

of Giuseppe Peano and Sierpinski Carpet Fractals", *IEEE Lett. Antennas Propag.*, vol. 10, pp. 67-70, 2011.

- [9] Warren L. Stutzman, 안테나 이론과 설계, *Second Edition*, Wiley, pp. 316-317, 2007년.
- [10] 김완기, 우종명, "구조 변형에 의한 마이크로 스트립 안테나의 소형화", 한국전자과학회지전자파기술, 16(2), pp. 22-31, 2005년 4월.
- [11] 장영수, 최재혁, 임성준, "메타 물질을 이용하여 소형화와 주파수 가변이 가능한 영차 공진 안테나", 한국전자과학회논문지, 21(8), pp. 900-904, 2010년 8월.
- [12] 장준원, 최경, 황희용, "소형화된 반원형-슬롯 UWB 안테나의 설계", 한국전자과학회논문지, 19 (3), pp. 329-335, 2008월 3월.
- [13] 최형석, 최경, 황희용, "대역 저지 슬롯이 추가된 역삼각형 모노폴 UWB 안테나의 설계", 한국전자과학회논문지, 22(5), pp. 516-521, 2011년 5월.
- [14] Tharaka Dissanayake, "Prediction of the notch frequency of slot loaded printed UWB Antennas", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 55, no. 11, pp. 3320-3325, 2007.
- [15] 최형석, 최경, 황희용, "Bow-tie 모노폴 UWB 안테나의 소형화", 정보통신설비 학술대회 논문집, pp. 77-79, 2011년 8월.

최 형 석

2011년 2월: 강원대학교 IT 특성화 대학 전기전자공학부 (공학사)
2011년 3월~현재: 강원대학교 IT 특성화대학 전기전자공학과 석사과정
[주 관심분야] Antenna 설계

최 경

Microwave

1988년 8월: 서울대학교 전기공학 과 (공학박사)
1993년 7월~1994년 7월: Rensselaer Polytechnic Institute 교환교수
1994년 7월~현재: 강원대학교 전기 전자공학부 전자공학전공 교수
[주 관심분야] 전자기기 수치 해석,

황 희 용

Millimeter Wave 분야의 부 품 및 시스템

2000년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학박사)
2001년 3월~2002년 4월: 메릴랜드 주립대 연구학자
2003년 2월~현재: 강원대학교 IT 대학 전기전자공학과 교수
[주 관심분야] RF, Microwave, Millimeter Wave 분야의 부 품 및 시스템