

포크 모양의 급전 구조를 갖는 변형된 마름모 슬롯 UWB 안테나 설계 및 제작

하성재¹ · 윤중환^{2*}

A Design and Manufacture of Modified Rhombus Slot UWB antenna with Fork-shaped-Feedline

Sung-Jea Ha¹ · Joong-Han Yoon^{2*}

¹Department of Information & Communication System, Daejeon, 34503, Korea,

^{2*}Department of Electronic Engineering, Silla University, Busan 46958, Korea

요 약

본 논문에서는 포크 모양의 급전 구조를 갖는 변형된 마름모 슬롯 UWB(Ultra Wide Band) 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 초광대역 특성을 얻기 위해서 마름모 형태의 슬롯 구조와 포크 모양의 급전 구조로 설계하였다. 변형된 마름모 구조는 기존 마름모 구조에서 상단과 하단 영역이 제거하여 설계하였다. 제안된 안테나는 $34\text{ mm}(W_1) \times 34\text{ mm}(L_1) \times 1\text{ mm}(t)$ 의 유전율 4.4인 FR-4 유전체 기판 위에 설계되었으며 전체 슬롯 크기는 $30\text{ mm}(W_2) \times 16.75\text{ mm}(L_3+L_4)$ 을 갖도록 설계하였다. 각 파라미터에 대한 시뮬레이션을 진행하여 최적화 수치를 얻었다. 제작 및 측정 결과로부터 제안된 안테나의 반사손실 특성은 3.1 ~ 10.6 GHz UWB 대역에서 -10dB 이하의 값을 갖으며 또한 측정된 이득과 방사패턴 특성 결과를 얻었다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a modified rhombus slot UWB(Ultra Wide Band) antenna with fork-shaped feeding structure. The proposed antenna is modified rhombus slot structure and fork-shaped feeding structure to get ultra-wideband characteristics for UWB communication. Modified rhombus slot structure consists of slot shaped which eliminated upper and lower part of the basic rhombus slot. The antenna is designed on an FR-4 substrate of which the dielectric constant is 4.4, and its overall size is $34\text{ mm}(W_1) \times 34\text{ mm}(L_1) \times 1\text{ mm}(t)$, and its slot antenna size is $30\text{ mm}(W_2) \times 16.75\text{ mm}(L_3+L_4)$. After carrying out the simulation of each parameters, optimized values are obtained. From the fabricated and measured results, return loss of the proposed antenna satisfied Return Loss -10dB in 3.1 ~ 10.6 GHz. And measured results of gain and radiation patterns characteristics displayed for operating bands.

키워드 : 슬롯 안테나, 변형된 마름모 슬롯, 포크 형태의 급전, 초광대역 응용

Key word : Slot Antenna, Modified Rhombus Slot, Fork-shaped-fed, UWB(Ultra-Wide band) Application

Received 11 March 2016, Revised 18 March 2016, Accepted 30 April 2016

* Corresponding Author Joong-Han Yoon(E-mail:jhyoon@silla.ac.kr, Tel:+82-51-999-5875)

Department of Electronic Engineering, Silla University, Busan 46958, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.7.1221>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

기본적으로 평면형 구조를 갖는 슬롯 안테나는 넓은 임피던스 대역폭을 갖으며, 다른 능동형 소자 또는 MMIC와 쉽게 집적화할 수 있다는 장점으로 인해 많은 관심과 연구가 진행되어 왔다[1]. 따라서 광대역 특성을 얻기 위한 다양한 형태의 급전 구조와 슬롯 모양을 갖는 슬롯 안테나에 대한 연구가 지속적으로 이루어져 왔다[2-9]. 특히 포크 형태의 급전구조를 갖는 다양한 모양의 슬롯 안테나에 대한 연구가 진행되어 왔다[6-9].

한편 초광대역 통신은 지그비와 블루투스 등과 함께 단거리에서 저 전력으로 대용량 디지털 데이터를 전송하기 위한 차세대 근거리 무선통신기술로서 각광받고 있다. UWB 무선 통신의 장점으로 정보기기 간 100 ~ 500 Mbps의 무선 전송속도를 가지며, 전송거리도 블루투스에 비해 10배나 긴 1 km내에서 통신이 가능하며, 또한 1/3이하의 저 전력을 사용하면서 기존 무선국에 간섭을 최소화시킬 수 있다[10].

이러한 UWB 통신을 위해서는 UWB 주파수 대역의 신호를 송, 수신 할 수 있는 광대역 특성을 갖는 부품 및 모듈이 반드시 필요하며 이에 따라 UWB 통신 시스템에 적합한 광대역 특성을 지닌 안테나에 개발에 대한 많은 연구 개발이 이루어지고 있다[11-21].

논문에서는 포크 형태의 급전구조를 갖는 변형된 마름모 슬롯 UWB 안테나를 제안하였다. 상용 톨을 사용하여 최적화된 모델과 수치를 얻었으며 제안된 안테나의 표면 전류분포를 분석하여 안테나의 동작 원리를 확인하였다. 시뮬레이션 결과, 제안된 UWB 안테나는 -10dB를 기준으로 UWB 전 대역에서 반사손실이 만족하고 있음을 확인하였으며 이러한 결과를 바탕으로 FR-4 유전체 기판 위에 제안된 안테나를 제작되었다. 제작 후 제안된 안테나의 반사손실, 방사패턴, 전류분포, 이득에 대한 측정 결과를 얻었다.

I 장 서론에 이어 II 장에서는 본론으로 안테나 설계 및 시뮬레이션에 대하여 기술하고, III 장에서는 안테나 제작 및 측정결과를 설명하고 IV 장에서는 결론을 맺었다.

II. 본론

2.1. 제안된 UWB 슬롯 안테나 구조

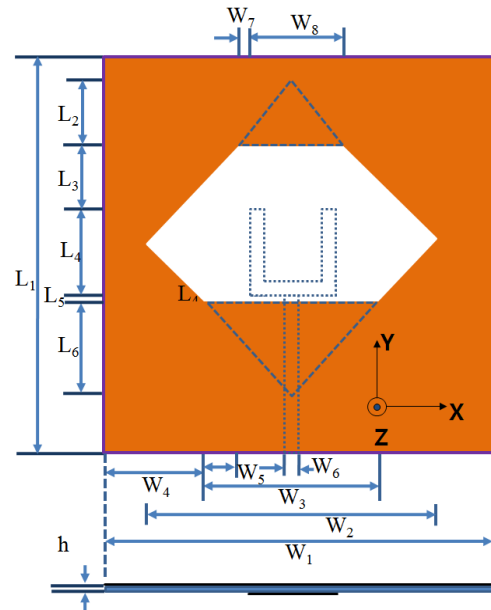


Fig. 1 Configuration of proposed UWB antenna

제안된 안테나는 그림 1과 같은 구조로 설계하였다. 제안된 안테나는 포크 형태의 급전구조와 변형된 마름모 형태의 슬롯 구조를 갖도록 설계하였다. 변형된 마름모 모양의 구조는 기본적인 마름모 형태의 슬롯 구조를 바탕으로 상단과 하단의 일부 슬롯 영역을 제거함으로써 요구되는 UWB 대역 특성에 적합하도록 설계하였다. 또한 제안된 슬롯 안테나는 다른 슬롯 구조 안테나와 마찬가지로 급전구조와 개구면이 서로 반대면에 존재하도록 설계하였다.

안테나 기판의 크기는 34 mm(W_1) × 34 mm(L_1) 이고 유전율(ϵ_r) = 4.4, 두께 1 mm인 FR-4 기판 위에 좌우대칭 구조를 갖도록 하고, 슬롯의 크기는 30 mm(W_2) × 16.75 mm(L_3+L_4)을 갖도록 설계하였다. 전체 시뮬레이션 과정은 3D 설계가 가능한 Ansoft사의 HFSS [22](High Frequency Structural Simulator)를 이용하여 최적의 임피던스 특성 변화 및 최적의 방사특성을 설계하였다.

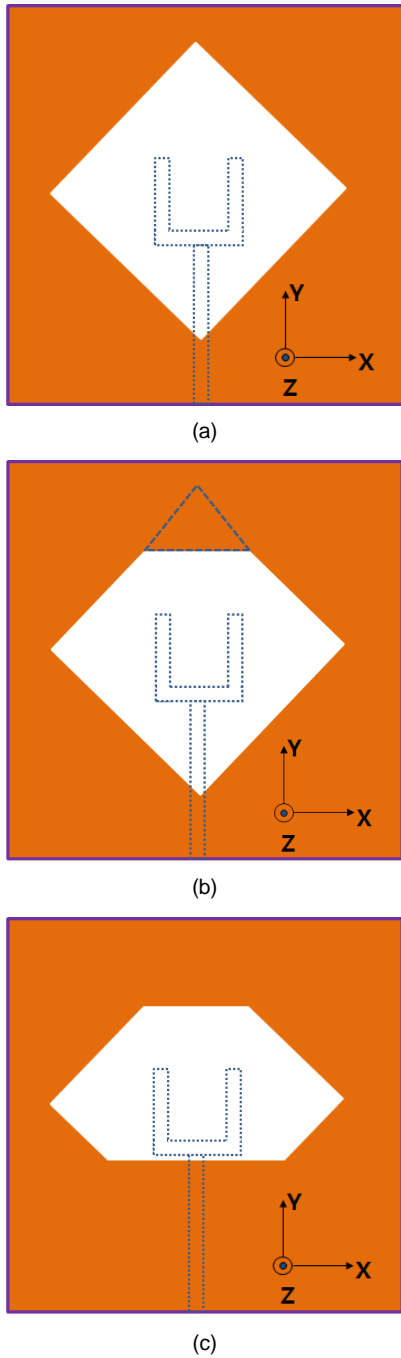


Fig. 2 Proposed antenna design process : (a) Basic rhombus slot with fork-shaped feeding structure, (b) Remove upper part of rhombus slot with fork-shaped feeding structure, (c) Remove lower and upper part of rhombus slot with fork-shaped feeding structure.

2.2. 제안된 안테나의 설계 과정

그림 2는 제안된 안테나의 설계 과정을 나타내었다. 그림 2(a)는 포크 형태의 급전 구조를 갖는 기본 마름모 슬롯 안테나를 나타내고 있다. 그림 2(b)는 기존 마름모 슬롯에서 하단 영역을 제거한 형태를 나타낸 그림이다. 그림 2(c)는 UWB 대역의 반사손실 대역폭(3.1 ~ 10.6 GHz)을 얻기 위해 기존 마름모 슬롯구조에서 상단과 하단 영역을 제거한 형태를 나타낸 그림이다. 제안된 안테나의 최적화된 수치는 표 1에 나타내었다.

Table. 1 Parameters of designed antenna

Parameter	Value [mm]	Parameter	Value [mm]
L_1	34.0 mm	W_1	34.0 mm
L_2	5.0 mm	W_2	30.0 mm
L_3	6.75 mm	W_3	14.0 mm
L_4	10.0 mm	W_4	10.0 mm
L_5	1.5 mm	W_5	2.5 mm
L_6	7.0 mm	W_6	1.5 mm
h	0.5 mm	W_7	0.5 mm
		W_8	9.0 mm

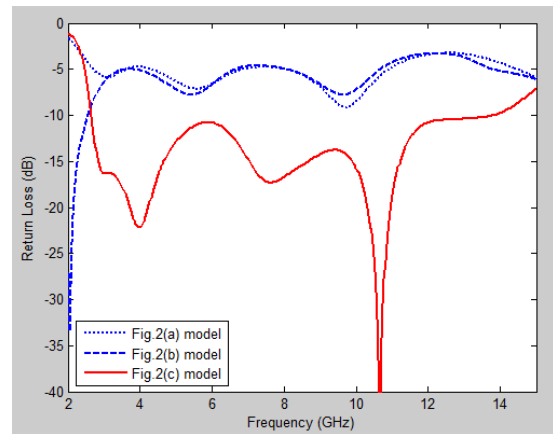


Fig. 3 Return loss characteristics of the proposed antenna design process

그림 3은 그림 2에서 제안된 안테나 설계과정 중 각 단계별 반사손실 특성을 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 그림 2(a)모델에 대한 시뮬레이션 반사손실 결과, UWB 전 대역에서 반사손실 특성이 열화되고 있음을 확인하였다. 그림 2(b)모델에 대한 시뮬레이션 반사

손실 결과는 그림 2(a)의 모델과 비슷한 결과를 얻었다. 그리고 그림 2(c)모델에 대한 시뮬레이션 반사손실 결과, 제안된 안테나의 대역폭은 11.21 GHz (2.65 ~ 13.86 GHz)로 얻어졌으며 요구되는 UWB 대역을 만족하는 것을 확인하였다. 시뮬레이션 결과로부터 제거된 슬롯의 하단 영역($W_3 \times L_6$)이 제안된 변형된 마름모 슬롯 안테나의 임피던스 매칭에 큰 영향을 주는 것을 확인하였다.

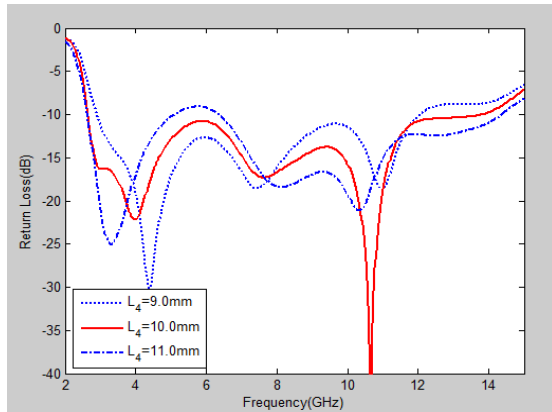


Fig. 4 Return loss characteristic of the effect of the L_4

그림 4는 L_4 길이 변화에 따른 제안된 안테나의 반사손실 특성을 나타내었다. L_4 의 길이는 포크 형태의 급전 구조에서 포크의 길이를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 L_4 의 길이를 9.0 mm부터 11.0 mm까지 변화시키면서 시뮬레이션 결과를 비교하여 나타내었다. L_4 의 길이가 9.0 mm 일 경우, 6 GHz 대역에서 제안된 안테나의 반사손실 특성이 열화되고 있음을 시뮬레이션 결과로부터 알 수 있다. 또한 L_4 의 길이가 11.0 mm 일 경우, 10 GHz 대역에서 제안된 안테나의 반사손실 특성이 열화되고 있음을 확인하였고 따라서 제안된 슬롯 안테나의 안정적인 UWB 대역폭을 얻기 위해서 L_4 의 최적화된 길이를 10.0 mm로 설정하였다.

그림 5는 접지면과 포크 형태의 구조 사이의 갭 길이 변화에 따른 반사손실 특성을 나타내었다. 일반적으로 다른 포크 타입의 급전구조 논문에서 이 갭의 길이는 제안된 안테나의 특성에 큰 영향을 미치고 있음을 확인하였다[8]. 마찬가지로 본 논문에서도 L_5 의 길이 변화에 따라 제안된 슬롯 안테나의 반사손실 특성이 크게 변하고 있음을 확인할 수 있다.

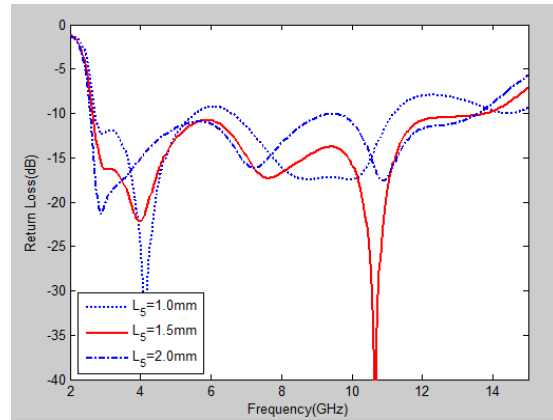


Fig. 5 Return loss characteristic according to the length of L_5

그림 5는 L_5 의 길이를 1.0 mm부터 2.0 mm까지 변화시키면서 시뮬레이션 결과를 비교하여 나타내었다. L_5 의 길이가 1.0 mm 일 경우 UWB 전 대역에 걸쳐 반사손실 특성이 열화되고 있음을 확인하였으며 L_5 의 길이가 2.0 mm 일 경우 9 GHz 대역에서 시뮬레이션 반사손실 특성이 열화되고 있음을 확인하였다. 따라서 안정적인 대역폭을 확보하기 위해서는 L_5 의 길이가 1.5 mm로 설정하는 것이 타당하다고 판단하였다.

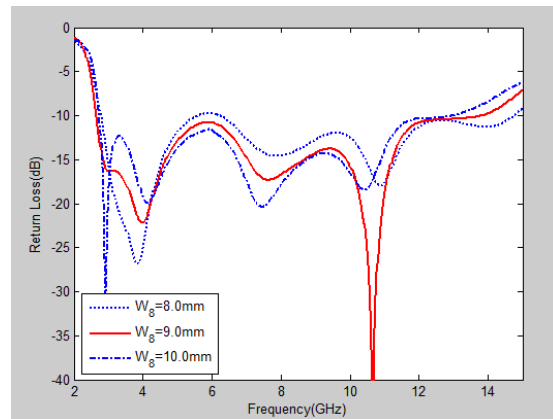


Fig. 6 Return loss characteristic according to the length of W_8

그림 6은 W_8 길이 변화에 따른 제안된 안테나의 반사손실 특성을 나타내었다. W_8 의 길이는 기본 마름모 형태의 슬롯 모양에서 제거된 상단 영역 사이의 y축 길이를 나타낸다. 그림에서 보는바와 같이 W_8 의 길이를

8.0 mm부터 10.0 mm까지 변화시키면서 시뮬레이션 결과를 비교하여 나타내었다. W_8 의 길이가 8.0 mm 일 경우, 6 GHz 대역에서 제안된 안테나의 반사손실 특성이 열화되고 있음을 시뮬레이션 결과로부터 알 수 있다. 또한 W_8 의 길이가 10.0 mm 일 경우, 10 GHz 대역에서 안정적인 대역폭을 확보할 수 없다. 따라서 제안된 슬롯 안테나의 안정적인 UWB 대역폭을 얻기 위해서 W_8 의 최적화된 길이를 9.0 mm로 설정하였다.

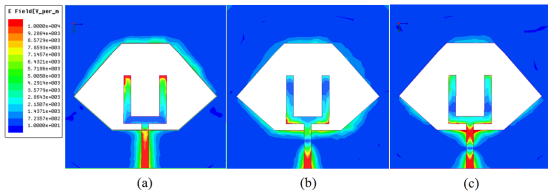


Fig. 7 The current density of proposed antenna (a) 3.1 GHz, (b) 6.1 GHz, and (c) 9.1 GHz

제안된 안테나의 동작 원리를 확인하기 위해 전류밀도를 그림 7에서 나타내었다. 그림 7(a)는 3.1 GHz 주파수에서, 그림 7(b)는 6.1 GHz 주파수에서, 그리고 그림 7(c)는 9.1 GHz 주파수에서 각각 제안된 안테나의 표면 전류분포를 나타내었다. 그림에서도 알 수 있듯이 3.1 GHz 주파수에서는 포크 타입의 급전선로 끝부분에서 강한 전류밀도 분포가 존재하고 있음을 확인하였다. 또한 6.1 GHz 주파수에서는 포크 타입의 급전선로가 분기되는 부분에서 강한 전류밀도가 분포하고 있었으며 주파수가 9.1 GHz 에서는 슬롯의 하단부분과 급전선로가 겹치는 영역에서 강한 전류밀도가 존재하고 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 주파수가 증가함에 따라 공진되는 파장이 짧아지기 때문에 나타나는 결과로 판단된다.

III. 제작 및 측정

제안된 최적화 수치를 사용하여 제안된 안테나를 제작하고 측정하였다. 그림 8은 실제 최적화된 수치로 제작된 안테나이다. 제작된 안테나는 회로망 분석기 (Network Analyzer, Anritsu MS4623B)를 이용하여 반사손실과 VSWR을 측정하였으며 방사패턴은 인천 송도에 위치한 ACE테크놀로지 무반사실에서 측정하였

다. 그림 9는 제안된 안테나의 반사손실에 대한 시뮬레이션 결과와 실제 제작 후 측정 결과를 비교하여 나타내었다. 반사손실 측정 결과 -10dB를 기준으로 10.6 GHz (3.1~ 13.7 GHz) 대역폭 얻어 요구되는 UWB 대역 (3.1 ~ 10.6 GHz)을 만족하는 것을 알 수 있다.

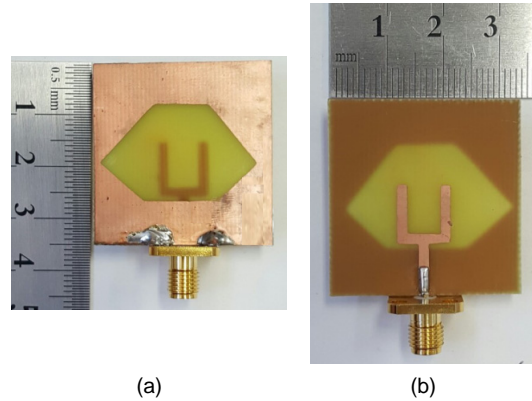


Fig. 8 Fabricated of propose antenna (a) Front view, (b) Back view

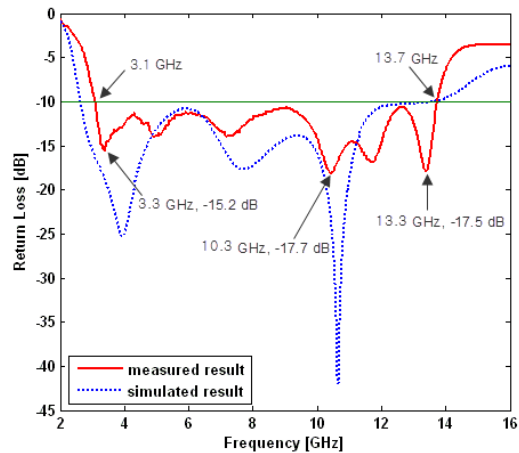


Fig. 9 The simulated and measured return loss results

그림 10, 11, 12는 제작된 안테나의 측정된 방사패턴을 나타내고 있다. 그림 10은 4 GHz 주파수에서, 그림 11는 7 GHz 주파수에서, 그림 12는 10 GHz 주파수에서 방사패턴을 표시하였다. 제안된 안테나의 방사패턴은 4 GHz와 7 GHz에서 전체적으로 H-면, E-면 모두 전방향성 특성을 나타내고 있다. 그러나 10 GHz에서 E-

면의 패턴은 전방향성 특성을 나타내고 있지 못하다. 대부분의 UWB 안테나의 방사패턴은 초광대역에서 일정한 패턴을 유지하기 힘들며 일부 주파수대역에서 전방향성 특성이 열화되는 것을 확인할 수 있다. 그림 13는 측정된 안테나의 이득을 나타내었다. 10.5 GHz에서 최대 8.242 dBi를 얻었으며 6.0 GHz에서 최소 1.533dBi를 얻었다.

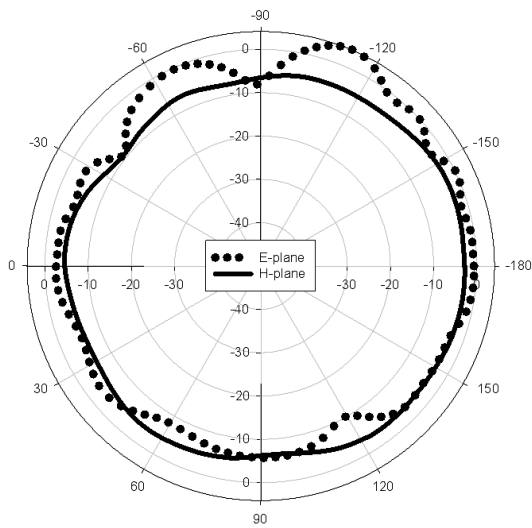


Fig. 10 E-plane and H-plane radiation pattern of 4 GHz

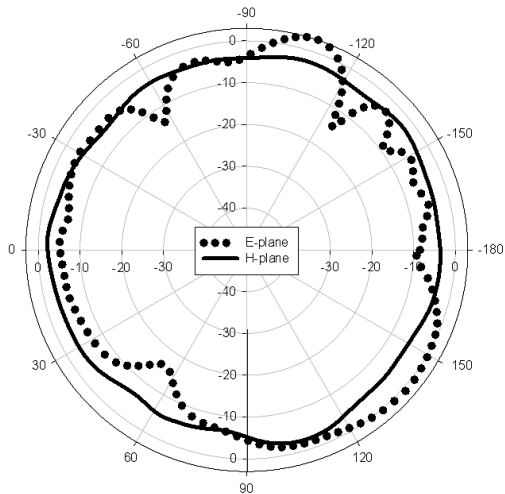


Fig. 11 E-plane and H-plane radiation pattern of 7 GHz

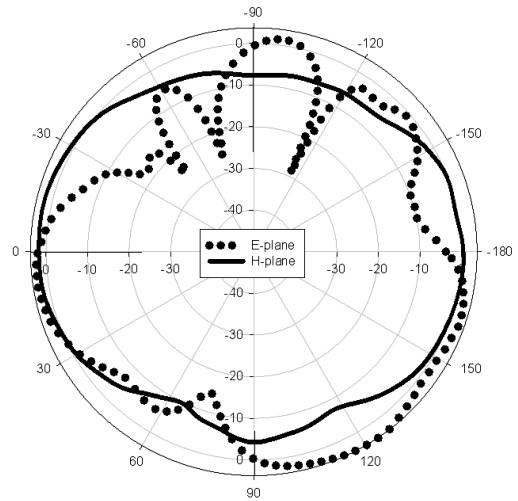


Fig. 12 E-plane and H-plane radiation pattern of 10 GHz

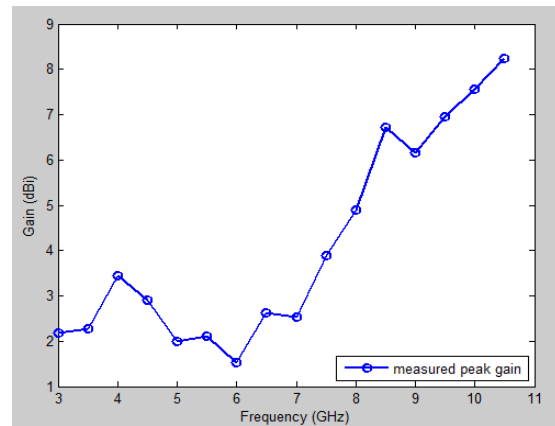


Fig. 13 Measured peak gain of the proposed antenna

IV. 결론

본 논문에서는 포크 모양의 급전구조와 변형된 마름모 구조를 갖는 슬롯 UWB 안테나를 제안하였다. 급전 구조는 포크 모양과 기존 마름모 슬롯 구조를 변형한 형태의 슬롯 구조를 사용하여 UWB 통신에서 요구되는 초광대역 특성을 얻었다. 제안된 슬롯 안테나의 특성에 중요한 영향을 미치는 파라미터를 선택하고 상용 툴을 사용하여 시뮬레이션을 진행하여 최적화된 수치를 얻었다.

또한 제안된 안테나의 표면 전류 밀도를 분석하여 동작원리를 확인하였다. 시뮬레이션을 통해 얻어진 최적화된 수치로 제안된 안테나를 제작하고 네트워크분석기를 이용하여 반사손실 특성을 측정하였다. 반사손실 측정 결과, 3.1~ 13.7 GHz 대역에서 -10dB 이하의 특성을 얻었으며 요구되는 UWB 대역을 만족하고 있음을 확인하였다. 방사패턴은 전체적으로 H-면, E-면 모두 전방향성 특성을 나타내고 있으며 이득의 경우, 10.5 GHz에서 최대 8.242 dBi를 얻었으며 6.0 GHz에서 최소 1.533dBi를 얻었다.

REFERENCE

- [1] J. R. James and P. S. Hall, *Handbook of microstrip antenna*, London: Peter Peregrinus. 1989.
- [2] J. Y. Sze and K. L. Wong, "Bandwidth enhancement of a microstrip line fed printed wide-slot antenna", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 49, no. 7, pp. 1020 - 1024, Jul. 2001.
- [3] Y. W. Jang, "Experimental study of large bandwidth three-offset microstrip-fed slot antenna", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 11, no. 10, pp. 425 - 427, Oct. 2001.
- [4] T. A. Denidni, Q. J. Rao, A.R. Sebak, and L. Talbi, "A broadband high efficiency bow tie slot antenna for WLAN applications", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 43, no. 4, pp. 317 - 320, Nov. 2004.
- [5] G. Sorbello, M. Pavone, and L. Pussello, "Numerical and experimental study of a rectangular slot antenna for UWB communications", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 46, no. 4, pp. 315 - 319, Aug. 2005.
- [6] D. C. Chang, J.C. Liu, and M.Y. Liu, "Improved U-shaped stub rectangular slot antenna with tuning pad for UWB applications", *IET Electronics Letters*, vol. 41, no. 20, pp. 1095 - 1097, Sep. 2005.
- [7] D. S. Javan, O.H. Ghouchani, "Cross slot antenna with U-shaped tuning stub for ultra wideband applications", *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2008 Article numb ID 262981, pp. 1 - 6, 2008.
- [8] J. H. Yoon, Wideband modified bow-tie slot antenna with a U shaped tuning stub, *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 53, no. 1, pp. 23 - 28, Jan. 2011.
- [9] Y. Yang, Y. Z. Yin, B. W. Liu, and S. H. Jing, "A quasi-semicircular wide slot antenna with 3.5/5.5 GHz dual band notched characteristics for ultra-wideband applications", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 54, no. 7, pp. 1602-1605, Jul. 2012.
- [10] Federal Communications Commission, *First report and order, revision of Part 5 of Commission's rule regarding ultra-wideband transmission system FCC 02-48*, Apr. 22, 2002.
- [11] A. Kishk, *Advancement in microstrip antennas with recent application*, Intech, 2013.
- [12] J. H. Lu and C. H. Yeh, "Planar Broadband arc-shaped monopole antenna for UWB system," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 60, no. 7, pp. 3091-3095, Jul. 2012.
- [13] Z. N. Chen, "Development of Ultra-wideband antennas", *The Journal of Korea Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 13, no. 2, pp. 63-72, Jun. 2013.
- [14] K. M. Hanapi, S. K. A. Rahim, B. M. Saad, M. S. Abdull Rani, and M. Z. Abd Aziz, "An Elliptically planar UWB monopole antenna with step slots defective ground structure," *Microwave and Optics Technology Letters*, vol. 56, no. 9, pp. 2084-2088, Sep. 2014.
- [15] M. M. Fakharian and P. Rezaei, "Very compact palmate leaf-shaped CPW-fed monopole antenna for UWB applications," *Microwave and Optics Technology Letters*, vol. 56, no. 7, pp. 1612-1616, Jul. 2014.
- [16] S. M. H. Varkiani, M. Afsahi, and P. Rezaei, "Circular slot CPW-fed monopole antenna for UWB applications," *Microwave and Optics Technology Letters*, vol. 56, no. 8, pp. 1773-1776, Aug. 2014.
- [17] J. H. Yeo and J. I. Lee, "UWB Circular Loop Antenna with Circular Sectors," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 18, no. 12, pp. 2816-2822, Dec. 2014.
- [18] T. W. Kim, K. Choi, and H. Y. Hwang, "An UWB design of plane bow-tie monopole antenna," *The Journal of Korea Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 25, no. 12, pp. 1212-1218, Dec. 2014.
- [19] S. Singhal and K. Singh, "Beveled monopole antenna with slot loaded like ground plane for UWB application," *Microwave and Optics Technology Letters*, vol. 57, no. 6, pp. 1289-129, Jun. 2015.
- [20] S. M. H. Varkiani, M. Afsahi, and P. Rezaei, "Circular slot CPW-fed monopole antenna for UWB applications", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 56, no. 8,

pp. 1773-1776, Aug. 2014.

- [21] K. M. Hanapi, S. K. A. Rahim, B. M. Saad, M. S. A. Rani, and M. Z. A. Aziz, "An elliptically planar UWB monopole F antenna with step slots defective ground structure",

Microwave and Optical Technology Letters, vol. 56, no. 9, pp. 2084-2088, Sep. 2014.

- [22] Ansoft High Frequency Structure Simulator (HFSS) Version 10.0, Ansoft Corporation, 2005.



하성재(Jea-Sung Ha)

2001년 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
2006년 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
2006년~2009년 삼성탈레스(주) 전문연구원
2011년~2014년 ㈜엘아이씨티 기술이사
2014년~현재 한국폴리텍대학 신기술연수센터 정보통신과 조교수
※ 관심분야: RF/MW 시스템, 레이더 시스템



윤중환(Joong-Han Yoong)

1992년 : 인하대학교 전자공학과 (공학사)
1994년 : 인하대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
2003년 : 인하대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
2003년 3월~2004년 8월 : 인하대학교 Post-Doc
2004년 9월~2005년 10월 : 일본 오코하마 국립대학 Post-Doc
2005년 11월~2008년 8월 : 삼성전기 책임연구원
2008년 9월~현재 : 신라대학교 공과대학 전자공학과 교수
※ 관심분야 : 전파 및 안테나