

개방 종단된 계단형 슬롯을 사용한 UWB용 안테나의 소형화

Miniaturization of UWB Antenna Using Open Ended Stepped Slot

이 기 용¹ · 이 영 순^{2*}

¹국방기술품질원 대구센터1팀

²금오공과대학교 전자공학부

Ki-yong Lee¹ · Young-soon Lee^{2*}

¹1st Daegu Team, Defense Agency for Technology and Quality, Daegu, 42037, Korea

²Department of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongsangbuk-do, 39177, Korea

[요 약]

기존의 UWB용 계단형 슬롯 안테나의 크기를 절반으로 줄이기 위해 개방 종단된 계단형 슬롯 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 방사부로서 접지면에 에칭된 계단형 슬롯과 윗면의 광대역 임피던스 정합을 위한 사각형 패치를 가진 마이크로스트립 급전선으로 구성된다. 제안된 안테나는 유전상수(ϵ_r)가 4.3, 두께가 1.6 mm, 크기가 $28.5 \times 32 \text{ mm}^2$ 인 FR4 기판에 설계 및 제작 되었다. 제안된 안테나의 제작 및 측정 결과, 임피던스 대역폭($|S_{11}| \leq -10\text{dB}$)이 7.99 GHz (3.01~11 GHz)로 UWB 대역 (3.1 ~ 10.6 GHz)을 충분히 만족하였다. 특히 제안된 안테나의 크기가 기존의 안테나에 비해 절반으로 줄어들었음에도 불구하고, 사용하고자 하는 전 대역에서 안정되고 우수한 무지향성 방사패턴을 얻을 수 있었으며 2.18 ~ 4.93 dBi의 높은 이득 또한 얻을 수 있었다.

[Abstract]

In order to reduce the size of the previous stepped slot antenna for UWB applications(3.1 ~ 10.6 GHz) to half, an open ended stepped slot antenna is proposed. The proposed antenna consists of a stepped slot etched on the ground plane as radiation part and a microstrip feed-line with rectangular patch on the top plane for wideband impedance matching. The proposed antenna is designed and fabricated on the FR4 substrate with dielectric constant of 4.3, thickness of 1.6 mm and size of $28.5 \times 32 \text{ mm}^2$. The measured impedance bandwidth ($|S_{11}| \leq -10\text{dB}$) of the fabricated antenna is 7.99 GHz(3.01~11 GHz) which is sufficient to cover UWB band (3.1 ~ 10.6 GHz). In particular, it has been observed that antenna has a good omnidirectional radiation patterns and high gain over the entire frequency band of interest even though the size of the proposed antenna is reduced to half when compared with the previous antenna.

Key words : UWB, Microstrip-fed, Open ended stepped slot, Multiple resonance, Omni-directional radiation pattern.

<https://doi.org/10.12673/jant.2017.21.4.353>



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.

Received 5 July 2016; Revised 20 July 2017

Accepted (Publication) 21 August 2017 (30 August 2017)

*Corresponding Author; Young-soon Lee

Tel: +82-54-478-7501

E-mail: yslee@kumoh.ac.kr

I. 서론

인터넷 및 휴대용 단말기로 대표되는 정보통신 기술은 우리의 생활을 바꾸어 놓고 있다. 이러한 정보통신 기술은 새로운 무선 서비스 기술을 제공하기 위해 발전을 거듭하고 있다. 또한 한정된 주파수의 효율적인 사용을 위해 기존의 이동통신, 위성통신 등과 같은 시스템을 상호 간섭 없이 사용할 수 있는 무선 기술에 대한 관심이 높아지는 추세이다. 또한 기기가 소형화됨에 따라 탑재되는 안테나의 크기도 소형화 되고 있으며 그에 따라 추가적으로 안테나 실장에 가용 할 수 있는 공간이 줄어들고 있다. 결론적으로 소형화와 성능을 동시에 만족하는 안테나의 개발이 중요한 연구로 대두되고 있다.

미국의 연방통신위원회(FCC; federal communication commission)는 UWB 통신 시스템을 중심 주파수의 20% 이상의 점유 대역폭 및 500 MHz 이상의 점유 대역폭을 갖는 무선 통신 기술로 규정하였고, 기존의 무선 통신 기술 중에서도 500 MHz 이상의 대역폭을 가지면 UWB 무선 기술로 구분이 가능해진다. 일반적인 UWB 무선 기술의 상용 주파수 대역폭은 3.1 ~ 10.6 GHz의 매우 넓은 대역폭을 차지하고, 기존의 통신 방식에 비해 넓은 대역에서 낮은 전력으로 초고속 근거리 통신을 가능 하게 하는 무선 통신 기술 이다[1].

UWB 무선 통신을 위한 광대역 안테나들 중에서 소형이며 무지향성 특성을 갖는 안테나에는 모노폴, 다이폴 및 루프 안테나 등이 있다. 높은 이득을 갖는 지향성 안테나에는 혼 안테나, 스파이럴 안테나, 대수-주기 다이폴 배열 안테나 등이 사용된다[2],[3]. 그 중에서도 슬롯 안테나는 마이크로스트립 급전 구조를 사용하여 단순 직사각형 슬롯을 이용하는 방법에 대한 이론과 실험적으로 과거부터 많이 연구되어 왔다. 그러나 대부분 협대역 동작과 슬롯의 1차 공진에만 초점을 맞추었다[4]. 추가적으로 간단한 디자인, 저 적층(low profile) 평면형 구조, 넓은 대역폭 등의 이점을 가지며 [5] 그에 따른 설계 방법은 여러 가지가 있다[6]-[9]. 참고문헌 [6]에서는 좁은 슬롯과 슬롯 루프의 결합으로 이중대역을 만족한다. 또한 참고문헌 [7]에서 L-형의 스트립은 광대역 특성을 만족하기 위해 슬롯에 추가되었다. 슬롯 끝에 2개의 가상 단락을 사용하여 2.4GHz의 넓은 임피던스 대역폭을 확보했다 [8]. 슬롯을 방사체로 사용하는 다른 방법으로는 접지면에서 슬롯을 잘라 마이크로스트립 라인을 수정함으로 넓은 대역폭을 얻을 수 있다. 이러한 슬롯 안테나의 구조들은 비교적 복잡하며 참고문헌 [9]에서는 구조가 단순하면서도 광대역의 임피던스 대역폭을 가질 수 있도록 접지면에 대칭된 계단형 슬롯 안테나를 제안하였다. 그러나 여전히 상업화를 위한 UWB 안테나의 소형화는 요구되고 있다.

본 논문에서는 참고문헌 [9]의 UWB용 계단형 슬롯 안테나의 구조를 절반의 크기로 소형화 하기 위해, 반파장 공진형 슬롯이 접지면의 가장자리에서 절단된 형태인 개방 중단 모노폴 슬롯 [10]에 근거한 한 쪽 끝이 개방된 계단형 슬롯 안테나를

설계하고자 한다. 급전 구조는 광대역 정합을 위해 참고문헌 [9]에서와 같이 마이크로스트립 패치 형태로 하였다. 그 결과 급전부인 마이크로스트립 패치 부분과 방사부인 접지면의 슬롯의 전자기적 결합에 의해 안테나의 특성이 주되게 결정된다. 이와 같은 설계에 대한 논의와 설계 파라미터에 따른 변화를 II장에서 제시하였으며, III장 및 IV장에서는 측정 결과 및 결론에 대해 각각 제시하였다. 본 논문에서의 안테나 모의실험 설계는 CST사의 MWS를 사용하였다.

II. 안테나 구조 및 설계

본 논문에서 제안 하고자하는 한 쪽 끝이 개방된 계단형 슬롯 안테나를 그림 1에 제시하였다. 그림 1의 윗면에서 보이는 것과 같이 WM1과 LM1은 각각 급전선의 폭과 길이이며, WM2와 LM2는 정합을 위한 스텔브의 폭과 길이이다. WM3와 LM3는 각각 마이크로스트립 패치의 가로 폭과 세로 폭에 해당된다. 또한 그림 1의 아랫면의 왼쪽에서부터 S3, S2, S1 세 개의 계단 형태의 사각형 슬롯이 있는데 여기서 W와 L은 각각 슬롯의 폭과 길이를 의미한다. 모의실험에서 사용된 유전체 기판은 유전상수(ϵ_r)가 4.3, 두께가 1.6 mm, 특히 기판 크기는 참고문헌 [9]에서의 57 mm × 32 mm의 절반 크기인 28.5 mm × 32 mm의 FR4 기판을 사용하였다. 이와 같이 제안된 안테나 구조의 최적의 설계를 위하여 몇 가지 중요한 설계 파라미터 변화에 따른 공진주파수 및 반사계수의 변화들을 분석하여 아래의 그림들에 제시하였다.

그림 2에서는 먼저 접지면의 슬롯 중 가장 왼쪽에 위치한 S3 슬롯의 높이 S3W 파라미터의 변화에 따른 경향을 제시하였다. SW3의 길이를 11 mm에서 13 mm 까지 1 mm 간격으로 증가시키며 주파수 변화 및 반사계수의 크기를 비교하였을 때, 낮은 주파수 대역(2.88 ~ 6 GHz) 쪽의 공진주파수 변화는 거의 없으며 반사계수 크기의 변화만 볼 수 있다. 하지만 높은 주파수 대역(6 ~ 11 GHz)에서 공진주파수 및 반사계수의 크기에 영향을 미치는 것을 확인 할 수 있다.

그림 3에서도 마찬가지로 접지면에 위치한 세 개의 슬롯 중 가장 끝 S1 슬롯의 높이 S1W 파라미터의 변화에 따른 경향을 제시하였다. S1W의 높이를 4 mm에서 6 mm까지 1 mm

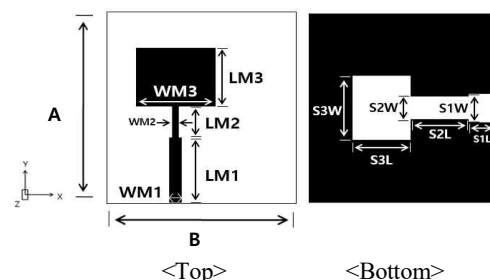


그림 1. 제안된 안테나.

Fig. 1. The proposed antenna.

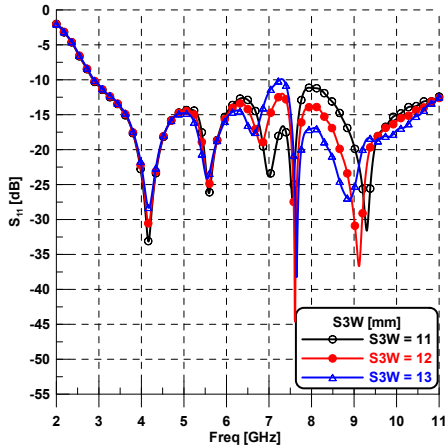


그림 2. S3W의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수.
 Fig. 2. Simulated return losses for different values of parameter S3W.

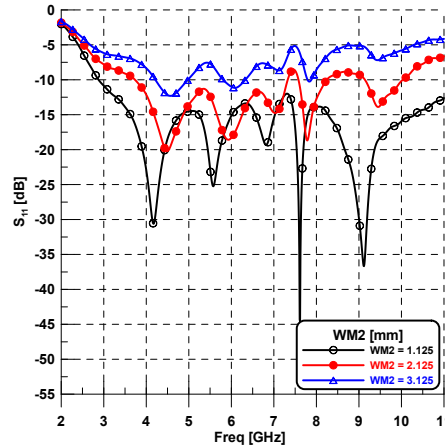


그림 5. WM2의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수.
 Fig. 5. Simulated return losses for different values of parameter WM2.

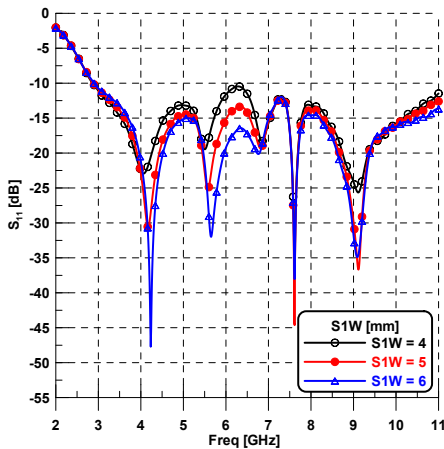


그림 3. S1W의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수.
 Fig. 3. Simulated return losses for different values of parameter S1W.

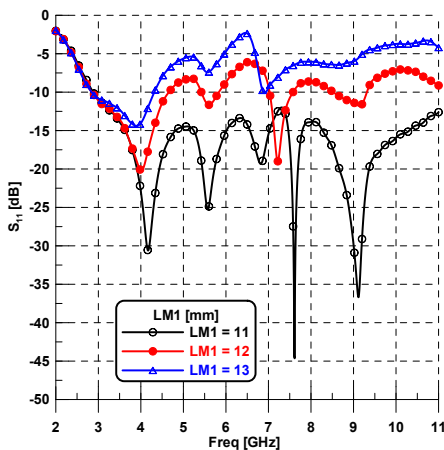


그림 4. LM1의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수.
 Fig. 4. Simulated return losses for different values of parameter LM1.

간격으로 증가시키며 주파수 변화 및 반사계수 크기를 비교 하였을 때, 앞에서 언급된 SW3 파라미터와는 반대의 경향을 보이는 것을 확인 할 수 있다. 높은 주파수 대역에서 공진주파수의 변화는 거의 없고 반사계수 크기의 변화만 관찰된다. 하지만 낮은 주파수 대역에서는 공진주파수 및 반사계수의 크기에 영향을 미치는 것을 확인 할 수 있다. 다른 파라미터 들도 있지만 앞서 설명한 두 파라미터들의 조합으로 낮은 주파수 대역과 높은 주파수 대역을 만족시켜 UWB 전체 특성을 만족할 수 있는 파라미터라 사료된다.

그림 4에서는 급전선의 길이 LM1의 변화에 따른 경향을 제시하였다. LM1의 길이를 11 mm에서 13 mm까지 1 mm 간격으로 증가시키며 주파수 변화 및 반사계수의 크기를 비교 하였을 때, LM1의 길이가 증가할수록 7.5 GHz 대역의 공진 주파수의 변화가 있으며 전체적인 반사계수의 크기 변화가 확연하게 보인다. 급전선 LM1의 길이가 11 mm 일 때 원하는 대역을 만족하는 것을 확인 할 수 있다.

마지막으로 급전선과 마이크로스트립 패치 사이의 변환기의 폭 WM2의 변화에 따른 경향을 제시하였다. WM2를 1 mm에서 1.125 mm 까지 0.125 mm 간격으로 미세하게 증가시키며 주파수 변화 및 반사계수의 크기를 비교하였을 때, WM2가 1.125 mm일 때 최적의 파라미터를 만족하는 것을 확인할 수 있고, 파라미터 WM2는 임피던스 정합을 위한 변환기 역할을 하는 것으로 사료되며, 전체적인 UWB 대역을 충족하도록 하는 아주 중요한 파라미터 중 하나라고 할 수 있다.

앞서 제시한 주요 안테나 설계 파라미터 변화에 따른 공진 주파수 및 반사계수의 변화를 분석해보면 접지면에 에칭된 3 개의 슬롯과 기관의 반대면에 있는 마이크로스트립 급전 라인에 의해 여기 되며, 최적의 임피던스 특성을 얻기 위해 각 각을 적절하게 조절하여 전체적인 특성을 충족하는 것을 확인 할 수 있다. 앞서 제시된 모의 실험결과를 통한 최적의 안테나 구조 설계 파라미터의 값을 표1에 제시하였다.

III. 제작 및 측정 결과

앞서 분석된 결과를 토대로 최적화 된 구조를 적용하여 제작한 안테나를 그림 6에 제시하였다. 제작에는 모의 실험에서와 동일하게 두께 1.6 mm, 유전율 4.3인 FR4 기판이 사용되었다. 그림 7에서는 모의실험 결과 VSWR을 제시하였고, 그림 8에서는 모의실험 결과와 실제 제작된 안테나의 반사 손실 측정결과를 비교하여 제시하였다. 그림 7 및 그림 8에서 보는 바와 같이 모의실험 결과 $VSWR \leq 2$ 및 $|S_{11}| \leq -10\text{dB}$ 인 임피던스 주파수 대역폭이 8.12 GHz (2.88 ~ 11 GHz)로 나타나는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 모의실험 결과는 UWB의 전체 대역을 충분히 만족하는 결과이다. 또한 실제 제작된 안테나의 측정 결과의 대역폭은 7.99 GHz (3.01~11 GHz)로 UWB 대역을 충분히 만족하는 것을 확인 할 수 있다. 모의실험 결과와 실제 측정결과에서 조금의 대역폭에 대한 차이는 있지만 두 결과 모두 UWB 대역의 특성을 충분히 만족할 수 있는 결과이다.

그림 9에서는 각 주파수별 X-Y 평면(E-plane)에서의 2D 방사패턴의 모의실험 결과와 측정 결과를 비교하여 제시하였다. 그림 9에서 볼 수 있는 것처럼 모의실험 결과와 실제 측정 결과의 방사패턴이 비교적 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다. 또한 X-Y 평면(E-plane)에서는 낮은 주파수에서는 양방향성 패턴의 특성을 나타내고 있고, 주파수가 점차 증가하면서 방사 패턴은 증가된 교차 편파 및 교차 모드의 존재로 왜곡된다. 하지만 지향성이 조금이나마 증가하는 것을 확인 할 수 있다.

그림 10에서는 각 주파수별 X-Z 평면(H-plane)에서의 2D 방사패턴의 모의실험 결과와 측정된 결과를 비교하여 제시하였다. 그림 10에서 보는 바와 같이 특별한 null점도 보이지 않고, 안테나의 지향성도 크지 않기 때문에 방사 패턴의 형태가 무지향성의 경향을 보이는 것을 확인 할 수 있으며, 특히 본 논문의 안테나가 사용하고자하는 주파수 전 대역에서 안정된 방사패턴을 보인다. 다만 모의실험 결과와 측정 결과 값이 다소 오차가 있는 것으로 보이는데, 이것은 방사패턴을 측정할 때 흔하게 나타나는 현상으로 OTA 챔버 내에서 측정을 위해 SMA 커넥터와 연결된 케이블에 의한 감쇄 및 측정 시 거치의 문제로 인해 방사패턴에 영향을 주었을 것으로 사료된다.

제안한 안테나의 이득은 전체 주파수 대역에서 2.18~4.93 dBi의 이득을 얻을 수 있었다.

표 1. 제안된 안테나의 최적화 파라미터.

Table 1. Optimization parameter of the proposed antenna.

parameter	values [mm]	parameter	values [mm]
A	28.5	S1W	5
B	32	LM1	11
S3W	12	WM2	1.125

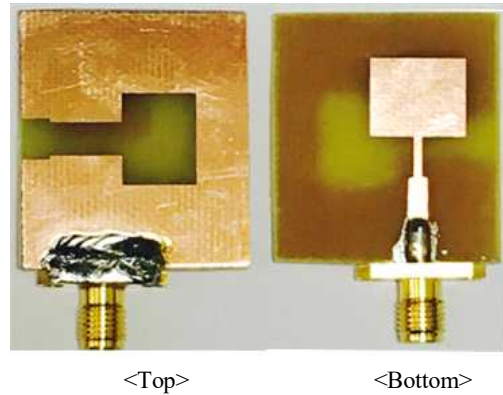


그림 6. 제작된 안테나.
Fig. 6. Fabricated antenna.

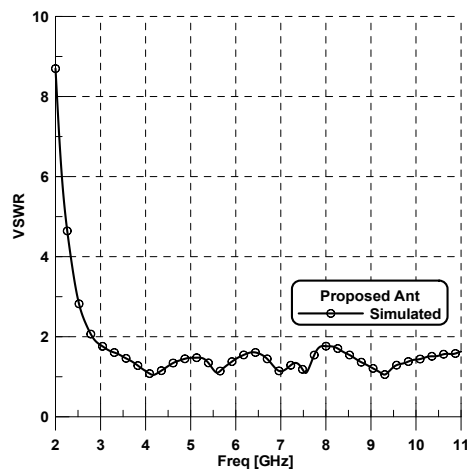


그림 7. 제안된 안테나의 모의 실험 결과 VSWR.
Fig. 7. VSWR Simulation Result of the Proposed antenna.

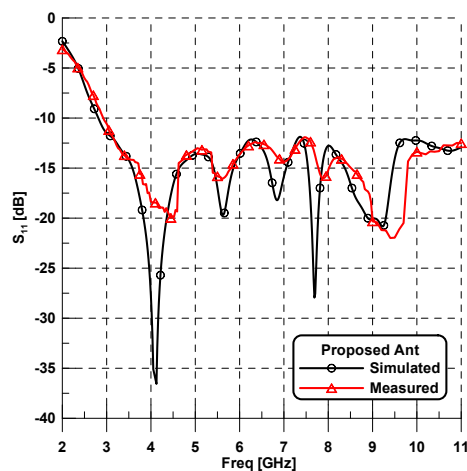


그림 8. 제작된 안테나의 반사계수.
Fig. 8. Measured return losses of fabricated antenna.

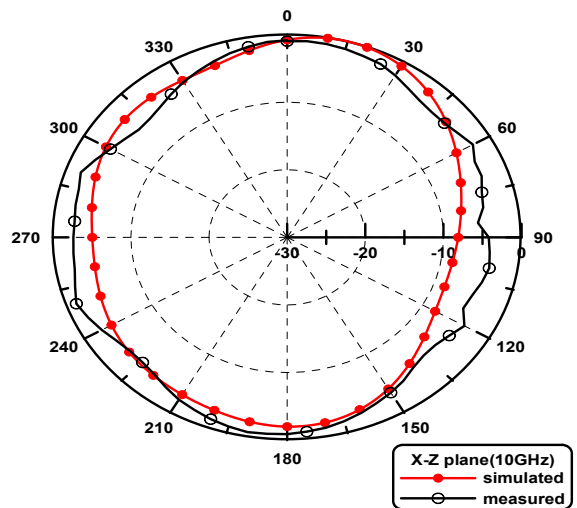
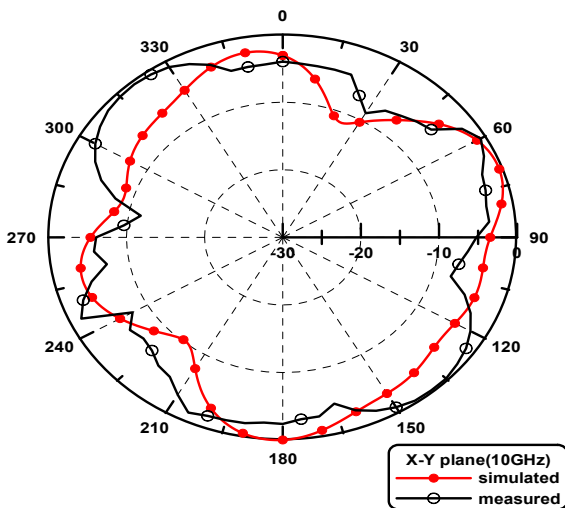
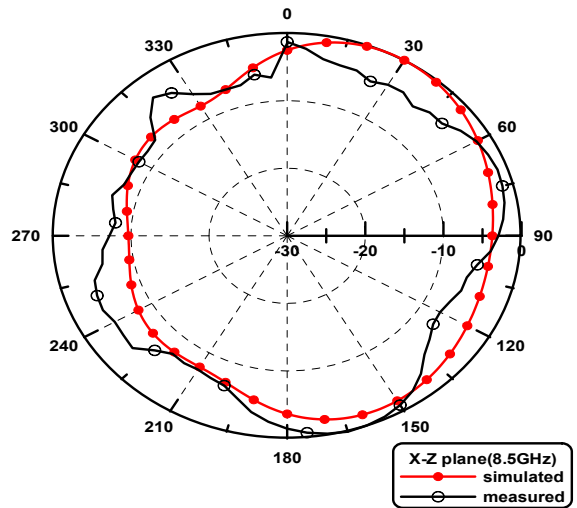
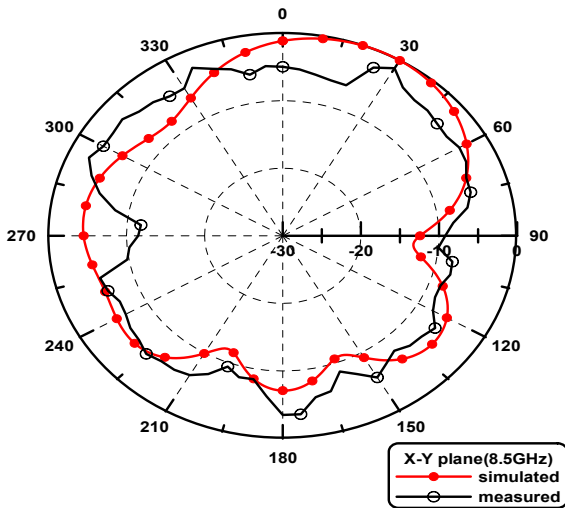
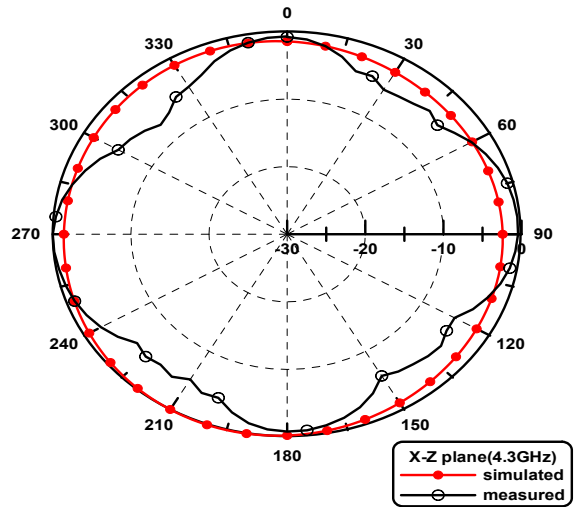
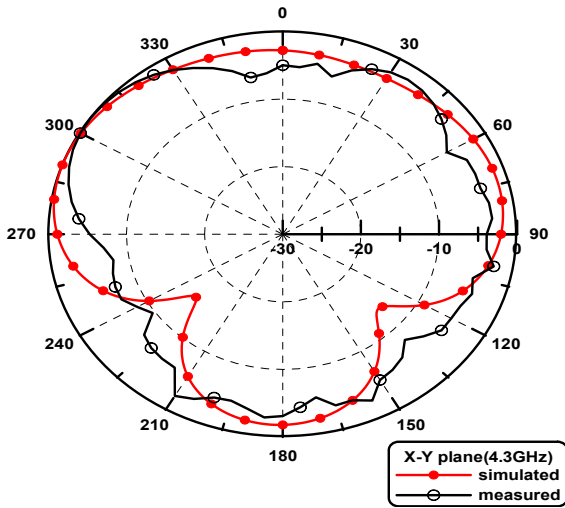


그림 9. 제작된 안테나의 2D 방사패턴(X-Y Plane).
 Fig. 9. 2D radiation patterns of antenna.(X-Y Plane).

그림 10. 제작된 안테나의 2D 방사패턴(X-Z Plane).
 Fig. 10. 2D radiation patterns of antenna.(X-Z Plane).

IV. 결 론

본 논문에서는 UWB 대역(3.1~10.6 GHz)을 만족하는 한 쪽 끝이 개방된 계단형 슬롯 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 $28.5 \times 32 \text{ mm}^2$ 의 PCB 기판 윗면에 설계하였으며 주요 파라미터에 대한 경향분석과 그 결과를 토대로 최종적인 형태의 안테나를 제작 및 측정하였다. 최종 제작된 안테나의 임피던스 대역폭 측정결과 7.99 GHz(3.01~11 GHz)의 대역폭을 가지며, FCC에서 규정한 UWB 대역(3.1 ~ 10.6 GHz)를 충분히 만족 하는 것을 확인 할 수 있었다.

특히 본 논문의 안테나가 기존의 계단형 슬롯 안테나 [9]의 크기인 $57 \times 32 \text{ mm}^2$ 에 비해 절반으로 축소된 크기를 가지고 있음에도 불구하고 기존의 UWB 안테나의 특성을 그대로 유지하고 있음을 알 수 있다.

안테나 효율 및 이득 측정 결과 전체 주파수 대역에서 약 80 % 이상의 효율과 2.18~4.93 dBi의 이득을 가지는 것도 확인 하였다. 또한 간단한 구조로 추가적인 공정 없이 쉬운 제작이 가능하다. 언급한바와 같이 본 논문이 제안한 안테나가 UWB 전 대역을 충분히 만족하면서 안정된 방사패턴도 확인 수 있었다. 결론적으로 본 논문이 제안한 안테나가 UWB 대역에서 동작하는 휴대용 단말기의 소형화된 안테나로 적용이 가능할 것으로 예상되며, 향후 연구방향으로 대역저지 특성을 추가한 수정된 형태의 안테나에 대한 연구가 진행 중에 있다.

Acknowledgments

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임.

References

[1] FCC Report and Order for Part 15 Acceptance of Ultra-wideband(UWB) Systems from 3.1-10.6 GHz,

Washington, DC, 2002.

[2] T. A. Denidni and G. Augustin, Ultrawideband antennas for microwave imaging systems, Norwood, MA: Artech house, 2014.

[3] C. A. Balanis, Antenna theory - analysis and design, 3rd ed. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2005.

[4] R. Khokle, R. Kumar, and R. V. R. Krishna, "On the design of ultra wide band rectangular slot antenna excited by a flared microstrip feed line," *Progress In Electromagnetics Research C*, Vol. 40, pp.53-68, 2013.

[5] L. Zhu, R. Fu, and K. L. Wu, "A novel broadband microstrip-fed wide slot antenna with double rejection zeros," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 2, pp. 194-196, 2003.

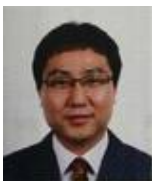
[6] C. Chulvanich, J. Nakasuwan, N. Songthanapitak, N. Anantrasirichai, and T. Wakabayashi, "Design narrow slot antenna for dual frequency," *PIERS Online*, Vol. 3, No. 7, pp. 1024-1028, 2007.

[7] G. Khunead, J. Nakasuwan, N. Songthanapitak, and N. Anantrasirichai, "Investigate rectangular slot antenna with L-shaped strip," *PIERS Online*, Vol. 3, No. 7, pp.1076-1079, 2007.

[8] L. Zhu, R. Fu, and K. L. Whu, "A novel broadband microstrip-fed wide slot antenna with double rejection zeros," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol.2, No. 1, pp.194-196, 2003.

[9] R. Kumar, R. K. Khokle, and R. V. S. R. Krishna "A horizontally polarized rectangular stepped slot antenna for ultra wide bandwidth with boresight radiation patterns," *IEEE Transaction On Antennas And Propagation*, Vol. 62, No. 7, pp. 3501-3510, 2014.

[10] S.I. Latif, L. Shafai, and S. K. Sharma, "Bandwidth enhancement and size reduction of microstrip slot antennas," *IEEE Transaction On Antennas And Propagation* Vol.53, No.3, pp.994-1003, 2005.



이 기 용 (Ki-Yong Lee)

2003년 2월 : 청주대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 2011년 8월 : 금오공과대학교 전자 및 전기공학과 (공학석사)
 2014년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학과 박사과정
 2003년 1월 ~ 현재 국방기술품질원 근무
 ※ 관심분야 : 안테나 설계 및 해석, 안테나 산란 문제



이 영 순 (Young-Soon Lee)

1979년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1981년 2월 : 한국과학기술원 전자공학과 (공학석사)
 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
 1981년 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학부 교수
 ※ 관심분야 : 전자기장 이론, 안테나 산란문제, 도파관 불연속, 전자기장 개구결합 문제, 전자기장 수치해석