JANT 한국항행학회논문지
Journal of Advanced Navigation Technology

항공 우주 해상

J. Adv. Navig. Technol. 24(2): 142-147, Apr. 2020

소형화된 CPW 급전 폴디드 슬롯 안테나

Miniaturized CPW-fed Folded Slot Antenna

우 희 성[1] · 신 동 기[2] · 이 영 순[2*]
[1]국방기술품질원 지휘정찰4팀
[2]금오공과대학교 전자공학과

Hee-Sung Woo · Dong-Gi Shin · Young-Soon Lee[*]

[1]C4ISR Systems Team 4 Defense Agency for Technology and Quality, Gyeongsangnam-do, 51474, Korea
[2]Department of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongsangbuk-do, 39177, Korea

[요 약]

본 논문에서는 WCDMA (1.92 ~ 2.17 GHz) 용 개방 종단된 슬롯을 가지는 소형화된 CPW 급전 폴디드 슬롯 안테나를 새롭게 제안하였다. 안테나의 소형화를 위해 개방 종단된 슬롯과 비대칭 접지면이 사용되었으며, 안테나의 크기는 35×70 mm^2, 두께는 1.6 mm, 유전상수가 4.3인 FR-4 기판에 설계 및 제작 되었다. 제안하는 안테나의 측정된 임피던스 대역폭($|S_{11}| \leq$-10dB)은 400 MHz (1.86 GHz ~ 2.26 GHz)를 얻어 충분히 사용하고자 하는 대역을 만족했다. 또한 안테나의 이득은 2 dBi이고, 방사패턴은 다이폴 안테나와 유사하게 E-Plane에서 8자 형태를 H-plane에서는 무지향 패턴을 보여 방향에 따른 수신 전계강도의 변화가 없어야하는 무선통신기기 및 이동통신단말기에 유용하게 활용이 될 수 있을 것으로 기대된다.

[Abstract]

In the present study, we proposed newly a CPW-fed miniaturized folded-slot antenna with open ended slot for WCDMA (1.92 ~ 2.17 GHz) band. Open-ended slots and asymmetric ground plane are used for a miniaturization of the antenna, and the proposed antenna was designed and fabricated on a FR-4 substrate with dielectric constant 4.3, thickness of 1.6 mm, and size of 35× 70 mm^2. The measured impedance bandwidths ($|S_{11}| \leq$ -10 dB) of fabricated antenna is about 400 MHz (1.86 ~ 2.26 GHz), which sufficiently satisfied interested band. Furthermore, the gain of antenna is 2 dBi and this antenna shows a similar radiation patterns of the dipole antenna. Therefore, it is expected to be used usefully in wireless and mobile communication device.

Key word : CPW-fed, WCDMA, Folded-slot, Asymmetric ground plane, Omni-directional radiation pattern.

https://doi.org/10.12673/jant.2020.24.2.142

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-CommercialLicense(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 30 March 2020; **Revised** 31 March 2020
Accepted (Publication) 20 April 2020 (30 April 2020)

***Corresponding Author; Young-Soon Lee**

Tel: +82-54-478-7501
E-mail: yslee@kumoh.ac.kr

Ⅰ. 서 론

초기의 이동통신 서비스는 음성이 주를 이뤘지만, 시대가 발전하면서 사용자들의 다양한 요구들로 인해 사진이나 영상과 같은 멀티미디어에 대한 수요가 증가하면서 3G와 4G LTE 이동통신을 지나 현재 5G NR 시대가 열리고 있다. 그중에서도 3G용으로 사용하던 WCDMA 대역이 기술방식 변경 없이 4G LTE 적용이 가능하게 되었다.

기존에 사용되고 있는 WCDMA용 평면형 안테나는 주로 사각형 또는 원형, 다각형 구조의 패치를 방사체로 이용하는 패치 안테나[1-3]와 반파장 정도의 길이를 가지는 슬롯을 이용하는 슬롯 안테나가 있다. 이들을 급전하기 위한 방법으로는 마이크로스트립 방식이나 슬롯 라인, CPW 급전 방식 등이 있다[4].

패치 안테나와 이에 대응하는 상보(complimentary) 구조인 슬롯 안테나를 비교해보면 슬롯 안테나가 비교적 소형화 및 넓은 대역폭 설계에 유리한 측면이 있으며, 급전 방식의 경우 마이크로스트립 급전 방식과 비교해 볼 때 CPW 방식은 선로와 평행한 면에 일정 거리에 그라운드가 존재하는 구조로서 좀 더 뚜렷한 TEM 모드를 이룰 수 있다는 장점이 있다. 또한 MMIC(monolithic microwave integrated circuit) 회로와 집적화하기가 용이하고, 능동 소자와의 집적이 쉽다는 장점을 가진다[5].

일반적으로 슬롯 안테나의 입력 임피던스는 슬롯의 공진 길이에 의존한다. 전형적인 반파장 길이를 가지는 공진형 슬롯 안테나의 입력 임피던스는 300 Ω 이상이므로 추가적인 임피던스 변환기나 정합회로가 필요하다. 이러한 공진형 슬롯 안테나의 입력 임피던스를 1/4 정도로 줄일 수 있는 것이 폴디드 슬롯 안테나이다[6]. 그러나 기존의 폴디드 슬롯 안테나의 경우 여전히 소형화 및 임피던스 대역폭 증가의 요구가 있어 본 논문에서는 WCDMA (1.92 ~ 2.17 GHz) 대역용 평면형태이면서 소형화된 CPW 급전 폴디드 슬롯 안테나를 제안하고자 한다.

2장에서는 본 논문의 안테나 구조 및 설계에 관해 서술하였고 3장에서는 모의실험의 타당성을 입증하기 위해 안테나를 제작하고 그 특성을 측정한 후 모의실험 결과와 비교 제시하였고 마지막 결론 순으로 구성되어 있으며 본 논문의 안테나 모의실험 설계 전반에 3D simulation을 지원하는 CST MWS (microwave studio)를 사용하였다.

Ⅱ. 안테나 구조 및 설계

기존의 전형적인 CPW 급전 폴디드 슬롯 안테나는 그림 1과 같으며 안테나를 구성하고 있는 전체 둘레는 한파장의 길이를 가지므로 이것은 제한된 크기를 가지는 기판 내에서 안테나로 적용하기에는 무리가 따른다. 그림 2에서는 본 논문에서 제안하고자 하는 소형화된 CPW 급전 폴디드 슬롯 안테나를 나타내고 있다. 기존의 CPW 급전은 구조적으로는 전송선로를 사이에 두고 대칭인 접지면을 가지는 반면에 제안하는 안테나는 소형화 목적을 위해 비대칭 접지면으로 설계되었다. 또한, 소형화를 위하여 그림 2의 안테나 전면을 보면 구조는 직사각형으로 왼쪽 끝이 개방된 $\lambda_g/4$ 길이의 폴디드 슬롯과 CPW 급전을 위한 급전선로로 구성되어 있다. W는 PCB의 가로 사이즈, L은 PCB의 세로 사이즈를 의미한다. WF는 급전선로의 폭, G1은 급전선로와 접지면 사이의 간격을 의미하는데 유전율, 유전체 두께 등을 고려하여 이 값들은 정합을 위해 50 Ω을 기준으로 계산하고 최적화했다.

모의실험에는 유전율 4.3인 FR-4기판을 사용하였으며, 최적화된 구조의 PCB 크기는 35×70 mm^2이다. 안테나를 구성하는 주요 파라미터들의 설명과 함께 공진주파수 및 반사계수 경향 그래프를 분석하고 제시하였다.

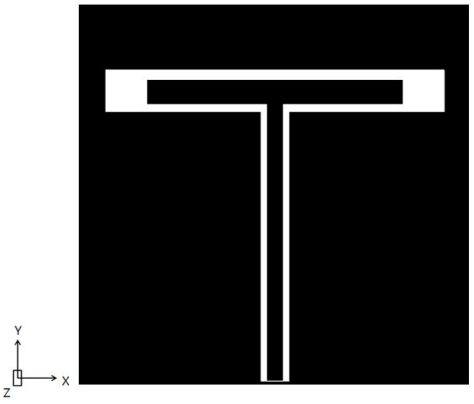

그림 1. 일반적인 CPW 급전 폴디드 슬롯 안테나의 구조
Fig. 1. Structure of CPW-fed folded slot antenna

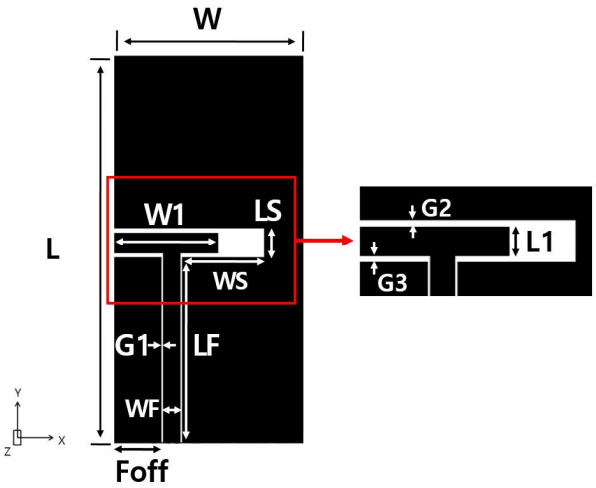

그림 2. 제안된 안테나의 구조
Fig. 2. Structure of the proposed antenna

그림 3은 PCB의 세로길이에 해당하는 L 파라미터를 60 mm에서 70 mm까지 5 mm 간격으로 조정하였을 때, 반사계수 및 공진주파수의 변화를 나타낸 것이다. 세로 길이가 +y축 방향으로 증가할수록, 즉 안테나의 세로 길이가 길어질수록 공진주파수가 사용하고자 하는 주파수 대역으로 이동하면서 동시에 반사계수 특성도 개선되는 것을 알 수 있다. L의 길이가 70 mm일 때, 가장 좋은 반사계수 특성과 대역을 만족했다.

그림 4는 Foff 파라미터의 변화에 따른 공진주파수 및 반사계수 경향을 나타낸 것이다. Foff 파라미터는 PCB의 좌측 끝을 기준으로 급전 위치를 +x축 방향으로 이동시킨 거리로 왼쪽 접지면의 폭에 해당된다. 이때 접지면과 급전 선로 사이의 간격은 유지하면서 4.62 mm 에서 8.62 mm 까지 2 mm 간격으로 급전점이 이동하였을 때 반사계수 및 공진주파수 둘 다 영향을 미치는 것을 확인할 수 있으며 대역폭 또한 동시에 넓어지므로 이는 비대칭 접지면과 안테나의 대역폭이 관련이 있는 것을 의미한다. 이 경향 분석을 토대로 안테나의 적절한 급전점의 위치를 결정할 수 있다.

그림 5는 G2 파라미터의 변화에 따른 반사계수 및 공진주파수 경향을 나타낸 그림이다. 왼쪽 접지면의 끝에서부터 개방된 얇은 가로 슬롯이 위아래로 존재하는데 위쪽 가로 슬롯의 넓이를 의미하는 파라미터이다. G2를 0.97 mm에서 2.97 mm까지 1 mm 간격으로 조정하였을 경우 반사계수에 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. 해당 파라미터로 안테나의 전체 반사계수 조절이 가능할 것으로 예상되며 폭이 점점 넓어질수록 반사계수 특성이 좋지 않은 것을 볼 수 있고 최적화된 값은 0.97 mm 이다.

그림 6은 앞서 언급한 G2 파라미터와 반대로 아래쪽의 얇은 가로 슬롯의 넓이를 의미하는 G3 파라미터의 반사계수 및 공진주파수 변화를 나타낸 그림이다. G2 파라미터와 유사하게 정합에 관련이 있을 것으로 예상해 볼 수 있으며 G3를 0.38 mm에서 1.38 mm 까지 0.5 mm 간격으로 증가시켰을 경우 공진주파수의 변화와 함께 반사계수에 대한 변화를 확인 할 수 있다. 간격이 넓어질수록 반사계수의 특성이 개선되는 것을 알 수 있으며 G2와 G3 파라미터가 임피던스 정합을 위한 파라미터라는 것을 확인할 수 있다.

그림 7는 슬롯의 가로 길이를 조절할 수 있는 WS 파라미터의 변화에 따른 반사계수 및 공진주파수 경향을 나타낸 그림이다. 기판의 최하단에서부터 LF 파라미터와 LS 파라미터를 거쳐 안테나의 주된 공진 경로가 생성되므로 이 파라미터는 공진주파수에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다. WS 파라미터를 11.26 mm에서 15.26 mm 까지 2 mm 간격으로 증가시켰을 경우 대역폭은 유사하나 공진주파수와 함께 반사계수도 변하는 것을 볼 수 있다. 주된 공진을 생성하는 슬롯의 길이를 조절했기 때문에 공진을 위한 전류 경로가 감소하거나 증가하여 변화가 발생한 것으로 볼 수 있다. 사용하고자 하는 WCDMA 대역을 만족하는 WS의 값을 15.26 mm로 하는 것이 적절하다고 판단된다.

일반적으로 $\lambda_g/2$ 길이를 가지는 슬롯 안테나를 와이어 형태인 다이폴 안테나의 절반을 모노폴 안테나로 사용하는 것과 유사하게 슬롯의 중앙점인 전기적으로 개방되는 지점을 개방시켜 전체 길이는 $\lambda_g/2$의 절반인 $\lambda_g/4$ 길이로 사용할 수 있다. 참고문헌[7]에서의 기존의 폴디드 슬롯 안테나 슬롯의 가로 길이는 동작주파수 대역에서 $\lambda_g/2$의 길이를 가지는 반면에 본 논문에서 제안한 안테나는 앞서 언급한 개념으로 슬롯이 개방 종단되어 그것의 절반인 $\lambda_g/4$ 길이를 가지며 기판의 왼쪽 가장자리로 슬롯을 이동시켜 소형화 할 수 있었다.

그림 8에서는 제안된 안테나의 전류 분포를 나타내고 있다. 그림 7에서 설명한바와 같이 LF 파라미터와 LS 파라미터로 구성된 폴디드 슬롯에 전류 성분들이 분포하는 것으로 보아 안테나의 주된 공진 경로로 볼 수 있다.

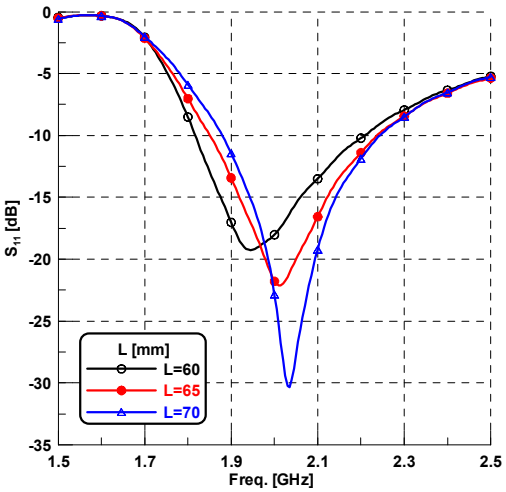

그림 3. L의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
Fig. 3. Simulated return losses for different values of parameter L.

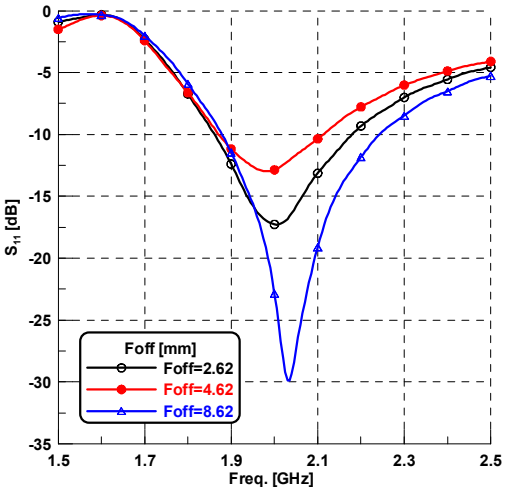

그림 4. Foff의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
Fig. 4. Simulated return losses for different values of parameter Foff.

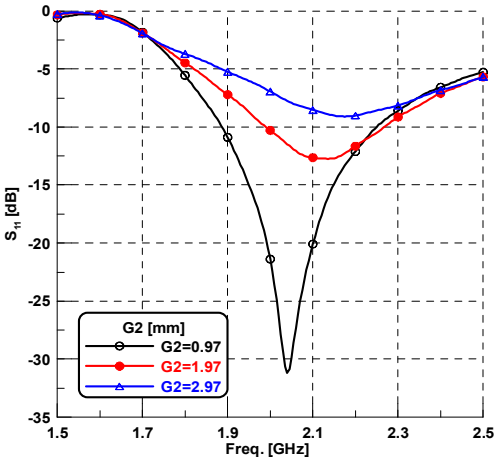

그림 5. G2의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
Fig. 5. Simulated return losses for different values of parameter G2.

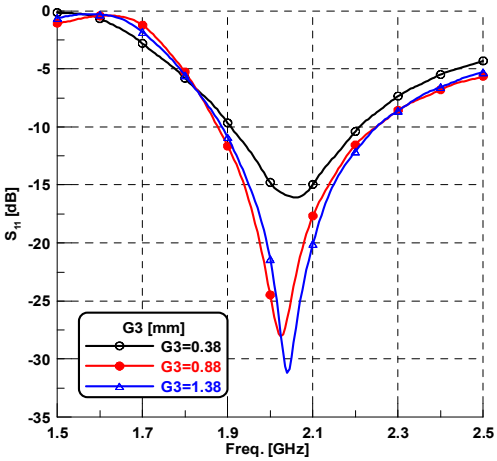

그림 6. G3의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
Fig. 6. Simulated return losses for different values of parameter G3.

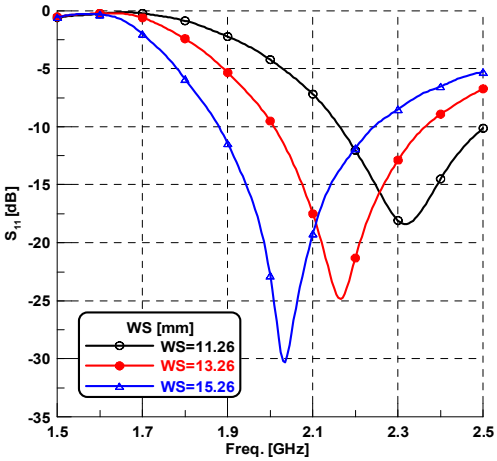

그림 7. WS의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
Fig. 7. Simulated return losses for different values of parameter WS.

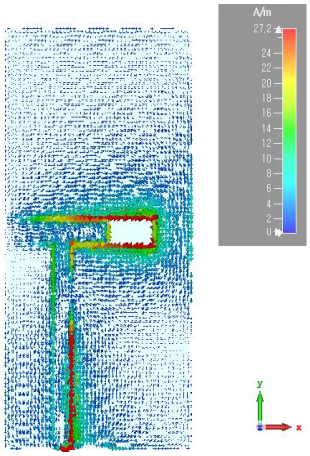

그림 8. 제안된 안테나의 중심주파수에서 전류분포
Fig. 8. Current distribution of the proposed antenna at center frequency.

표 1. 제안된 안테나의 최적화 파라미터
Table 1. Optimization parameter of the proposed antenna.

parameter	value [mm]	parameter	value [mm]
W	35	G1	0.438
L	70	W1	19.16
Foff	8.62	LS	5.49
G2	0.97	WS	15.26
G3	0.88	LF	33.46

Ⅲ. 제작 및 측정결과

2장에서 제시한 그림 3~7에서는 주요 파라미터의 변화 경향과 함께 그림 8에는 중심주파수에서의 전류 분포를 나타내었다. 추가로 모의 실험결과 도출된 최적의 안테나 구조 파라미터 값을 표 1에 제시하였다. 최적화된 파라미터들의 수치를 안테나 구조에 적용하여 제작한 안테나를 그림 9에 제시하였다. 제작에는 모의실험에서와 같이 두께 1.6 mm, 유전율 4.3인 FR-4기판이 사용되었다.

그림 10은 모의실험 결과와 실제 제작된 안테나의 반사계수 측정 결과를 비교하여 나타낸 그림이며 유사한 것을 확인할 수 있다. 모의실험의 대역폭은 약 350 MHz (1.89 GHz ~ 2.24 GHz)이며 실제 제작된 안테나의 측정된 대역폭은 약 400 MHz (1.86 GHz ~ 2.26 GHz)를 얻어 모의실험보다 50 MHz 정도 넓은 대역폭을 얻었다. 모의실험 결과와 측정결과가 WCDMA (1.92 ~ 2.17 GHz)의 대역폭을 충분히 만족하는 것을 알 수 있다.

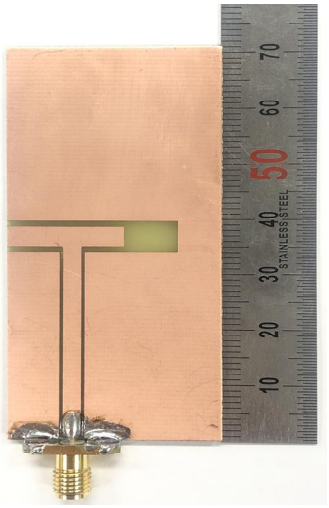

그림 9. 제작된 안테나
Fig. 9. Fabricated antenna.

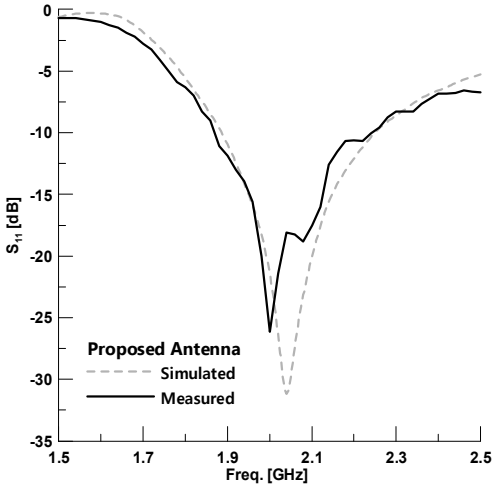

그림 10. 모의실험과 제작된 안테나의 반사계수 비교
Fig. 10. Comparison of the return losses of simulated and fabricated antenna.

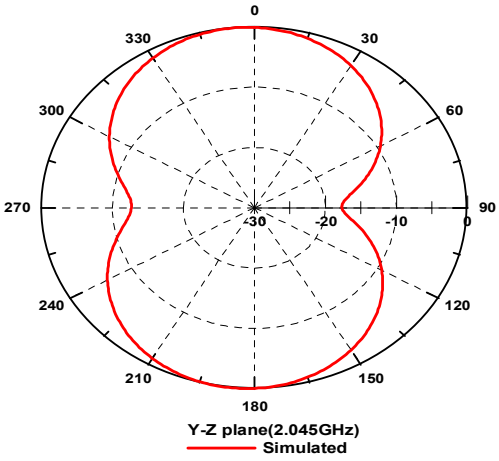

그림 11. 제안한 안테나의 2D 방사패턴(Y-Z Plane)
Fig. 11. 2D radiation patterns of antenna.(Y-Z Plane)

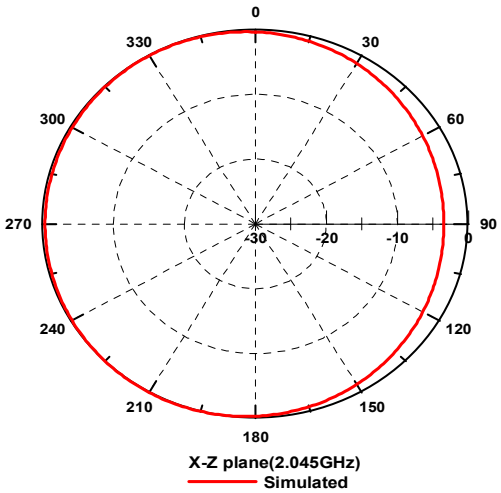

그림 12. 제안한 안테나의 2D 방사패턴(X-Z Plane)
Fig. 12. 2D radiation patterns of antenna.(X-Z Plane)

다음으로는 WCDMA 대역의 중심주파수에서의 Y-Z 평면 (E-plane)과 X-Z 평면 (H-plane)에서의 2D 방사패턴 모의실험 결과를 그림 11과 그림 12에 순서대로 나타내었다. 그림 11의 E-plane상에서는 8자 형태의 방사패턴을 보이고, 그림 12의 H-plane상에서는 무지향성 방사패턴으로 전형적인 다이폴 안테나와 유사한 방사패턴을 가지고 있음을 확인 할 수 있다. 슬롯이 개방된 쪽(Θ=270°)의 방사 세기가 강한 경향이 있다. 개방 종단 슬롯구조의 특징 중 하나로 개구면 안테나에서 개구부를 통해 전자계의 방사가 발생하는 것과 유사한데, 슬롯을 타고 흘러온 전파가 개구면에 해당되는 종단의 개방슬롯을 통해 방사되기 때문이다. Θ=270°는 개방 종단 방향을 의미하며 최대 방사세기를 가진다. 또한, 사용하고자 하는 대역의 중심주파수에서 안테나 이득은 2 dBi를 확인할 수 있었다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 WCDMA 대역에서 사용할 수 있는 소형화된 CPW 급전 폴디드 슬롯 안테나를 제안하고, 제작 및 측정하여 그 결과를 제시하였다. 안테나의 소형화를 위해 설계에는 반파장 길이를 가지는 슬롯을 개방종단 시켜 $\lambda_g/4$ 로 줄이고 왼쪽 가장자리로 위치시켜 소형화를 할 수 있었으며, $35\times70\ mm^2$ 의 크기를 가져 일반적으로 전체 슬롯 길이가 λ_g인 참고문헌 [7]의 단일 폴디드 슬롯 안테나에 비해 전체 슬롯 길이는 약 $0.75\lambda_g$로 설계 되었다. 안테나의 임피던스 대역폭은 참고문헌 [7]에서 12.43%인 반면에 본 논문의 임피던스 대역폭은 19.41%로 개선된 것을 확인 할 수 있다. 제안된 구조는 비대칭적인 접지면을 가지는데 이는 CPW 급전 구조와 동작원리는 매우 유사하며 대역폭 개선에 효과가 있었다[8].

주요 파라미터에 대한 경향분석과 그 결과를 바탕으로 최적

화된 안테나를 설계 후 제작한 결과 약 400 MHz (1.86 GHz ~ 2.26 GHz)로 WCDMA 대역을 충분히 만족하는 것을 확인할 수 있었다. 방사패턴은 전형적인 다이폴 안테나의 방사패턴과 동일하게 얻을 수 있었다.

끝으로 본 논문이 제안하는 안테나는 슬롯 형태로 설계되어 안테나를 제외한 접지면을 활용할 수 있는 이점을 가진다. 또한 2절에 제시한 파라미터들의 경향 분석을 바탕으로 WCDMA 대역뿐만 아니라 다른 대역의 무선통신기기 및 이동통신단말기에 활용이 될 수 있을 것으로 기대된다.

References

[1] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, 2nd ed., New York, NY: *Wiley*, 1998.

[2] J. Liang, C. C. Chiau, X. Chen, and C. G. Parini, "Study of a printed circular disc monopole antenna for UWB systems," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation,* Vol. 53, No. 11, pp. 3500−3504, Nov, 2005.

[3] B. Satyanarayana and S. Mulgi, "Design of planer band-notched monopole antenna for 2.4 GHz WLAN and UWB applications," *Microwave and optical technology letters*, Vol. 57, No. 11, pp. 2496-2501, Nov, 2015.

[4] C. A. Balanis, *Antenna Theory - Analysis and Design*, 3rd ed. Hoboken, NJ: *Wiley*, 2005.

[5] N. Kim, G. B. Son and S. M. Park, "Sectorial form UWB antenna with a CPW-fed uni-planar," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol. 18-3, pp. 305-314, 2007.

[6] H. S. Tsai and R. A. York "FDTD analysis of CPW-fed folded-slot and multiple-slot antennas on thin substrates," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation,* Vol. 44, No.2, pp. 217-226, Feb., 1996.

[7] O. Pandey, K. K. Katare and A. Biswas, "AMC loaded CPW-fed folded slot antenna," in *Proceedings of the Asia-Pacific Microwave Conference 2016*, New Delhi: India, pp. 1-4, Dec. 2016.

[8] A. Kumar, P. V. Naidu, V. Kumar, and A. K. Ramasamy "Design & development of compact uniplanar semi hexagonal acs fed multi-band antenna for portable system application," *Progress in Electromagnetics Research*, Vol. 60, pp. 157-167, 2017.

우 희 성 (Hee-sung Woo)
2005년 2월 : 고려대학교 전기전자전파공학부 (공학사)
2016년 2월 : 경북대학교 제어계측공학과 (공학석사)
2018년 9월 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학과 박사과정
2012년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원
※관심분야 : 안테나 소형화 설계 및 해석, RF 수동 소자 설계

신 동 기 (Dong-Gi Shin)
2018년 2월 : 금오공과대학교 전자공학부 (공학사)
2018년 9월 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학과 석사과정
※관심분야 : 안테나 설계 및 해석, RF 소자 설계

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 : 전자기이론, 안테나 산란문제, 도파관 불연속, 개구결합