

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2022.22.1.127>

JIIBC 2022-1-19

3G/4G/5G/Wi-Fi(이중대역)용 광대역 모노폴 슬롯 안테나 설계

Design of Wide band folded monopole slot antenna for 3G/4G/5G/Wi-Fi(dual band) services

신동기*, 이영민**, 이영순***

Dong-Gi Shin*, Yeong-Min Lee**, Young-Soon Lee***

요약 본 논문에서는 3G WCDMA (1.91 ~ 2.17 GHz), 4G LTE (2.17 ~ 2.67 GHz), 3.5 GHz 5G (3.42 ~ 3.7 GHz) 및 Wi-Fi 이중대역 (2.4 ~ 2.484 GHz / 5.15 ~ 5.825 GHz)에서 사용이 가능한 수정된 폴디드 모노폴 슬롯 안테나를 처음으로 제시하였다. 제안된 안테나의 크기는 $35 \times 60 \text{ mm}^2$, 두께는 1.6 mm, 유전상수가 4.3인 FR-4 기판에 설계 및 제작되었다. 측정결과 임피던스 대역폭은 2910 MHz(1.84 ~ 4.75 GHz) 및 930 MHz (5.11 ~ 6.04 GHz) 이고, 각각의 주파수 대역에서 안테나 이득은 1.811 ~ 3.450 dBi 이다. 특히 관심 있는 모든 주파수 대역에서 상업용으로 적합한 무지향성 방사패턴을 얻을 수 있었다.

Abstract A modified folded monopole slot antenna for 3G WCDMA (1.91 ~ 2.17 GHz), 4G LTE (2.17 ~ 2.67 GHz), 3.5 GHz 5G (3.42 ~ 3.7 GHz) and Wi-Fi dual band (2.4 ~ 2.484 GHz / 5.15 ~ 5.825 GHz) was proposed for the first time. The proposed antenna is designed and fabricated on a FR-4 substrate with dielectric constant 4.3, thickness of 1.6 mm, and size of $35 \times 60 \text{ mm}^2$. The measured impedance bandwidth of the proposed antenna is 2910 MHz(1.84 ~ 4.75 GHz) and 930 MHz(5.11 ~ 6.04 GHz), antenna gain in each frequency band is from 1.811 to 3.450 dBi. In particular, it was possible to obtain a commercially suitable omni-directional radiation pattern in all frequency bands of interest.

Key Words : Folded monopole slot antenna, microstrip-fed, short circuited termination, 3G/4G/5G/Wi-Fi

1. 서 론

우리나라 한국은 2019년 4월 3일부터 초고속, 초저지연 및 초대용량 전송형태를 가지는 5세대(5G) 단말 개통을 완료하여 세계 최초로 5G 상용화를 시작, 현재 서비스층에 있는 국가이다. 그러나 아직도 음성, 문자 중심의

3G WCDMA 서비스를 이용하는 이동 통신 사용자(소비자)가 10% 정도 있고, 대부분 소비자인 65.6%가 아직도 음성, 문자 및 실시간 동영상 전송형태를 가지는 4G LTE 서비스를 이용하고 있는 실정이다. 그러므로 국내에서 이동통신 사업자가 제공하는 서비스 주파수 대역은 3G WCDMA (1.91 ~ 2.17 GHz), 4G LTE (2.17 ~

*정회원, 금오공과대학교 전자공학과

**정회원, 국방기술품질원 개발품질센터

***정회원, 금오공과대학교 전자공학부 교수 (교신저자)

접수일자 2022년 1월 6일, 수정완료 2022년 1월 31일
게재확정일자 2022년 2월 4일

Received: 6 January, 2022 / Revised: 31 January, 2022 /

Accepted: 4 February, 2022

***Corresponding Author: yslee@kumoh.ac.kr

Dept. of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Korea

2.67 GHz), 3.5 GHz 5G (3.42 ~ 3.7 GHz) 및 Wi-Fi 이중대역 (2.4 ~ 2.484 GHz / 5.15 ~ 5.825 GHz) 으로 즉, 1.9 ~ 5.9 GHz 를 커버할 수 있는 단말기 내장형(PCB 형태의) 광대역 안테나 개발의 필요성이 대두되고 있다.

이동 통신 단말기에 내장되기 위해서는 평면형 안테나로 PCB에 식각(etching)된 인쇄형(printed) 안테나 설계가 필요하다. 이러한 목적으로 비교적 구조가 단순하면서도 광대역 및 소형화하기에 적합한 안테나 구조가 슬롯 폭이 다소 넓은 인쇄형 마이크로스트립 슬롯 안테나(printed microstrip slot)로 알려져 있다^{[1]-[6]}. 참고 문헌^[4]에서는 접지면의 가장자리에서 절단된 $\frac{1}{4}$ 파장

($\frac{\lambda}{4}$) 모노폴 슬롯을 50 mm×80 mm FR4 유전체 기판에 설계 및 제작을 하여 임피던스 대역폭($|S_{11}| \leq -10$ dB)이 47.29% (2.26 ~ 3.66 GHz) 가 됨을 제시하였고, 참고문헌^[5]에서는 동일한 기판 크기에 역 T형(inverted T) 슬롯으로 임피던스 대역폭을 80.5% (2.74 ~ 6.43 GHz)을 구현 할 수 있음을 보여주었다. 또한 안테나 구조에서 광대역화에 영향을 주는 부분이 급전선 구조이다. 일반적으로 CPW 급전 구조 보다 마이크로스트립 급전 구조가 광대역화 설계에 유리하고, 마이크로스트립 급전 구조의 경우 급전선 종단을 개방 회로 종단(open circuited termination) 혹은 단락 회로 종단(short circuited termination)으로 선택할 수 있는데, 단락 회로 종단이 광대역화에 적합한 것으로 알려져 있다^{[7]-[9]}. 특히 참고문헌^[9]에서는 한 파장(λ) 폴디드 슬롯(folded-slot) 안테나를 소형화 및 광대역화를 위해 접지면의 가장자리에서 절단된 마이크로스트립 급전 반 파장

($\frac{\lambda}{2}$) 폴디드 슬롯 구조 및 급전선 종단을 도체 비아(via)를 사용하여 단락회로 종단한 안테나 구조를 제시하여 임피던스 대역폭이 가장 큰 92.5% (2.67 ~ 7.27 GHz)의 결과를 제시하였다. 이후부터 본 논문에서는 참고문헌^[9]에서 제시된 “반 파장($\frac{\lambda}{2}$) 폴디드 슬롯 안테나”를 “폴디드 모노폴 슬롯(folded monopole slot) 안테나”로 부르기로 하고, 그 이유를 II장 안테나 구조에서 설명하도록 하겠다. 본 논문에서는 참고문헌^[9]에서 제시된 폴디드 모노폴 슬롯의 수정된 구조를 제안하여 처음으로 3G WCDMA (1.91 ~ 2.17 GHz), 4G LTE (2.17 ~ 2.67 GHz), 3.5 GHz 5G (3.42 ~ 3.7 GHz) 및 Wi-Fi 이중

대역 (2.4 ~ 2.484 GHz / 5.15 ~ 5.825 GHz) 사용이 가능한 평면 인쇄형 안테나를 제시하고자 한다. 본 논문에 사용된 모의실험 Tool은 CST사의 MWS를 사용하였다.

II. 안테나 구조

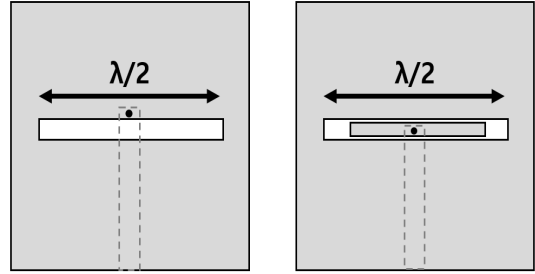


그림 1.(a) 전형적인 반 파장($\frac{\lambda}{2}$) 공진 슬롯 안테나

그림 1.(b) 전형적인 한 파장(λ) 폴디드 슬롯 안테나

Fig. 1(a). Conventional half-wavelength resonant slot antenna

Fig. 1(b). Conventional one wavelength folded slot antenna

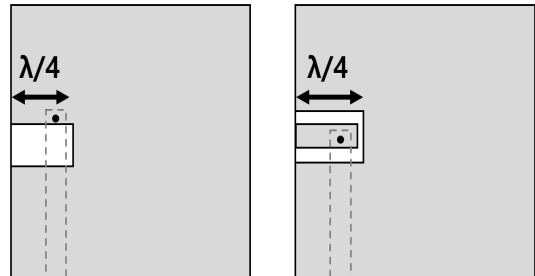


그림 2.(a) $\frac{1}{4}$ 파장($\frac{\lambda}{4}$) 모노폴 슬롯 안테나

그림 2.(b) 반 파장($\frac{\lambda}{2}$) 폴디드 모노폴 슬롯 안테나

Fig. 2(a). Quarter wavelength monopole slot antenna

Fig. 2(b). Half-wavelength folded monopole slot antenna

안테나 구조는 일반적으로 관심(사용) 중심 주파수에 서 복사체(radiator)가 반 파장($\frac{\lambda}{2}$) 공진 길이 및 크기를 가지도록 설계하는 것을 기본으로 하고 있다. 그림 1(a)에서는 복사체가 슬롯 구조인 경우, 슬롯 폭이 좁고 슬롯의 길이가 반 파장($\frac{\lambda}{2}$) 인 대표적인 공진 슬롯 안테나이다. 그림 1(a)의 반 파장 공진 슬롯 안테나는 입력 임피

던스가 300Ω 이상으로 큰 것이 단점으로 지적되어, 이러한 입력 임피던스를 $\frac{1}{4}$ 정도로 줄이기 위해 슬롯의 총 길이를 한 파장(λ) 길이로 하여 이를 접은(folded) 구조가 그림 1(b)에 제시된 참고문헌^[8]의 단락회로 종단을 가진 마이크로스트립 급전의 한 파장(λ)폴디드(folded) 슬롯 안테나이다. 그러나 그림 1에서와 같은 공진형 슬롯 안테나들은 여전히 임피던스 대역폭이 좁은 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해소하기 위해 그림 1(a)의 $\frac{\lambda}{2}$ 공진형 슬롯 안테나를 대칭 축을 따라 반으로 절단하여 접지면 가장자리(edge)에 위치시킨 $\frac{\lambda}{4}$ 모노폴 슬롯 안테나 구조를 그림 2(b)에 제시하였다. 참고문헌^[5]에서는 다중 공진이 발생할 수 있도록 슬롯의 폭을 넓게 하여 광대역용으로 사용가능한 그림 2(b)와 같은 $\frac{\lambda}{4}$ 모노폴 슬롯 안테나를 제시하였다. 반면에 참고문헌^[9]에서는 그림 1(b)의 한 파장 폴디드 슬롯 안테나를 대칭 축을 따라 반으로 절단한 그림 2(b)와 같은 마이크로스트립 급전 “반 파장($\frac{\lambda}{2}$) 폴디드 슬롯 안테나”를 제안하여 기존에서 가장 넓은 92.5% 대역폭을 가지는 슬롯 형태의 안테나를 제시하였다. 참고문헌^[9]에서 제시한 안테나 구조를 “반 파장($\frac{\lambda}{2}$) 폴디드 슬롯 안테나”로 명명했는데 이는 “한 파장(λ) 폴디드 슬롯 안테나”와 이름에서 구분이 쉽지 않아서, 그림 1(b)의 안테나가 그림 1(a)의 “공진 슬롯 안테나”의 “폴디드 공진 슬롯 안테나”로 불리우듯이 본 논문에서는 그림 2(b)의 안테나를 그림 2(a) “모노폴 슬롯 안테나”의 폴디드(folded)된 구조로 “폴디드 모노폴 슬롯 안테나”로 부르기로 하겠다.

그림 3에는 본 논문에서 제안하고자 하는 안테나의 구조를 제시하였다. 먼저 3G WCDMA, 4G LTE, 3.5 GHz 5G 주파수 대역 및 Wi-Fi의 낮은 주파수 대역(2.4 ~ 2.484 GHz)을 커버할 수 있는 69%(1.9 ~ 3.9 GHz)의 광대역 특성을 가지는 안테나를 참고문헌^[9]에서 제시한 “폴디드 모노폴 슬롯 안테나” 구조를 기반으로 하여 설계하고자 한다. 참고문헌^[9]에서는 슬롯 폭의 크기를 일정하게 하여 광대역화 특성을 얻었으나 대역폭의 가장 낮은 주파수가 2.63 GHz 이고, 이 구조를 그대로 사용할 경우 1.9 GHz 로 낮출 수 없다고 판단하여 슬롯 폭을 비대칭 구조로 그림 3에서 보는 바와 같이 상부(upper) 및 하부(lower) 슬롯의 폭을 다르게 하여 슬롯 둘레의 가

장 짧은 길이가 2 GHz 초반 주파수 대역에서 공진이 일어나고, 슬롯 둘레의 가장 긴 길이가 2 GHz 후반 주파수 대역에 공진이 일어나 평균 주파수 대역이 2.5 GHz 근방이 될 수 있도록 $\frac{\lambda}{2}$ 폴디드 모노폴 슬롯 구조로 설계하였고, 상부 슬롯 폭을 아주 좁게하여 효과적으로 공진 길이를 줄여 상부 슬롯이 3.5 GHz 대역에서 $\frac{\lambda}{4}$ 모노폴 슬롯 구조로 공진이 발생 할 수 있도록 설계하였다. 이렇게 할 경우 슬롯에 의해 둘러싸여진 가운데 직사각형 패치를 복사체(radiator)로 사용할 수 있는데, 5 GHz 대역 공진을 발생시키기에는 길이가 다소 짧아 공진 길이(전류의 흐름 길이)를 효과적으로 길게 하기 위하여 n-형 슬롯을 직사각형 패치에 식각한 구조로 설계하였다.

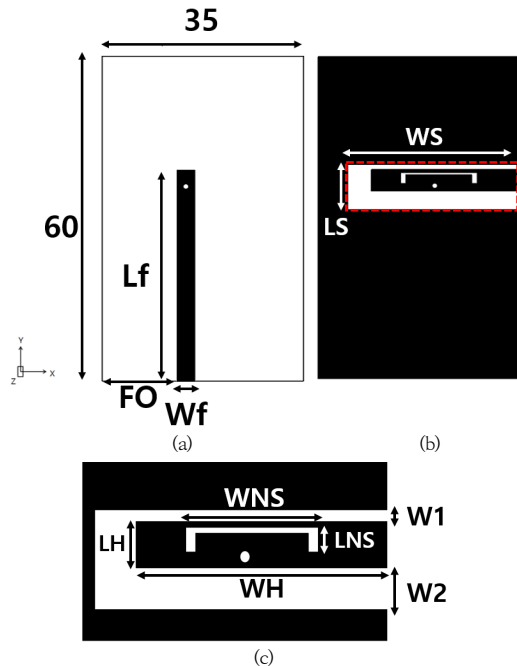


그림 3. 폴디드 모노폴 안테나를 기반으로 한 제안된 안테나의 (a) 윗면 (b) 아랫면 (b) 확대된 구조

Fig. 3. Geometry of the proposed antenna based upon the folded monopole slot antenna (a) Top surface (b) Bottom surface (c) Enlarged view of the slot structure

III. 안테나 설계

안테나의 모의실험에는 유전상수 4.3을 가지는 FR-4 기판(유전체 두께 1.6mm, 동박면 두께 1 oz)을 사용하

였으며, 안테나의 전체 크기는 $35 \times 60 \text{ mm}^2$ 이다. 앞장의 그림 3을 보게되면 윗면에는 급전선의 폭 Wf, 급전을 위한 선로 Lf 등으로 구성 되어있고, 뒷면에는 한 쪽끝이 개방된 슬롯과 함께 n-형태의 슬롯이 식각된 가로 스트립 등으로 구성되어 있다. 제안된 안테나를 구성하고 있는 안테나 설계 주요 파라미터들에 대한 설명은 그림 4에서 그림 8과 동시에 공진주파수 및 반사계수 경향 그래프를 제시하고 분석하였다.

그림 4는 슬롯 내의 가로 스트립 길이를 의미하는 WH 파라미터를 25.66 mm에서 27.66 mm 까지 1 mm 간격으로 조정하였을 때, 반사계수와 동시에 공진주파수 변화의 경향을 나타낸 그림이다. 슬롯 내의 가로 스트립 길이가 길어질수록 낮은 주파수 대역인 3G WCDMA, 4G LTE, 3.5 GHz 5G 주파수 대역에서는 주파수가 점차 증가하면서 반사계수의 변화와 동시에 공진주파수의 변화도 함께 관찰된다. 또한 5 GHz Wi-Fi 대역에서는 대역폭이 좁아지는 것을 확인 할 수 있다. 따라서 WH의 길이가 25.66 mm 일 때 최적의 결과를 확인 할 수 있다.

그림 5는 앞서 설명한 그림 4와 유사하게 가로 스트립의 폭을 의미하는 LH 파라미터를 3.95 mm에서 5.95 mm 까지 1 mm 간격으로 조정하였을 때, 반사계수와 공진주파수 변화의 경향을 나타낸 그림이다. 가로 스트립의 폭이 두꺼워 질수록 낮은 주파수 대역으로의 공진주파수 이동 및 반사계수의 변화가 있고, 동시에 5 GHz Wi-Fi 대역에서는 반사계수 특성이 나빠지면서 대역폭이 좁아지는 특성을 보인다. 따라서 가로스트립의 폭이 3.95 mm 로 결정하였다.

그림 6은 슬롯의 아래쪽 부분의 폭을 의미하는 W2 파라미터의 변화 경향을 나타낸 그림이다. W2 파라미터를 3.55 mm에서 1 mm 간격으로 5.55 mm 까지 증가시켰을 때의 경향을 보게 되면 슬롯의 폭이 증가하면서 3 GHz와 5 GHz Wi-Fi 대역이 동시에 반사계수 특성이 나빠지는 것을 확인 할 수 있다. 슬롯과 가로 스트립 사이의 위아래 폭들이 근접하여 영향을 미치는 것으로 사료된다. W2 파라미터가 3.55 mm 가 적절한 것으로 판단된다.

그림 7은 가로 스트립에 식각된 n-형태의 슬롯 길이를 의미하는 WNS 파라미터의 변화에 따른 공진주파수와 반사계수 영향을 나타낸 그림이다. 해당 슬롯은 5 GHz Wi-Fi 대역의 공진에 목적을 두고 추가한 파라미터로 해당 대역에서의 영향이 예상된다. 추가된 슬롯의 가로 길이 WNS 파라미터를 13.5 mm에서 15.5 mm까

지 1 mm 간격으로 증가시켰을 때의 그림을 보면 낮은 주파수 대역에서는 반사계수의 변화가 조금 관찰되었으며, 앞서 예상한바와 같이 5 GHz Wi-Fi 대역에서 큰 변화를 볼 수 있다. II장에서 언급한 바와 같이 길이가 길어질수록 공진주파수는 낮은 대역으로 이동하는 것을 알 수 있다. 따라서 WNS의 길이가 13.5 mm 일 때 원하는 대역을 만족하는 것을 알 수 있다.

그림 8은 제안하는 안테나의 최적의 급전점을 찾기 위하여 가로스트립 가장 끝을 기준으로 x축 방향으로 이동시켜가며 경향을 나타낸 그림이다. 모두 유사하게 사용하고자 하는 대역에서의 경향은 보이지만 12 mm 일 때 가장 좋은 결과로 본 논문에서 사용하고자하는 대역을 충분히 만족하는 것을 알 수 있다.

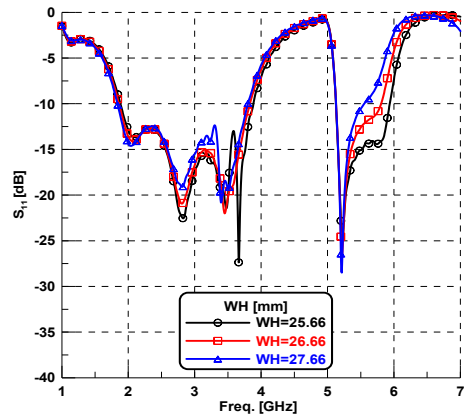


그림 4. WH의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
Fig. 4. Simulated return losses for different values of parameter WH.

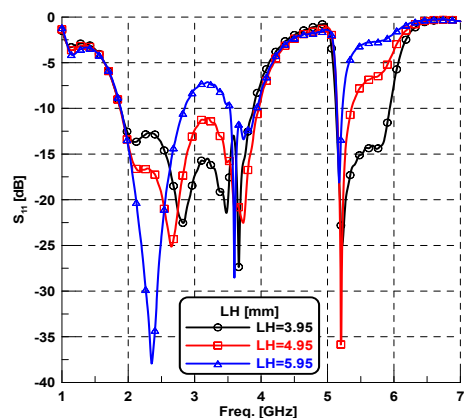


그림 5. LH의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
Fig. 5. Simulated return losses for different values of parameter LH.

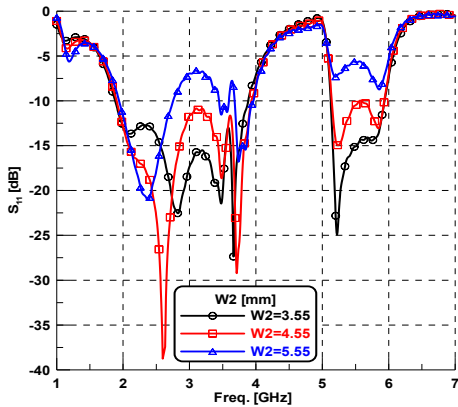


그림 6. W2의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
 Fig. 6. Simulated return losses for different values of parameter W2.

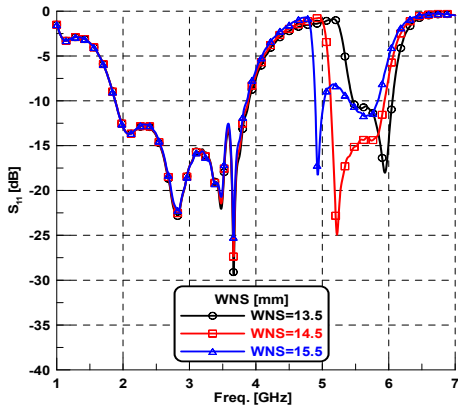


그림 7. WNS의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
 Fig. 7. Simulated return losses for different values of parameter WNS.

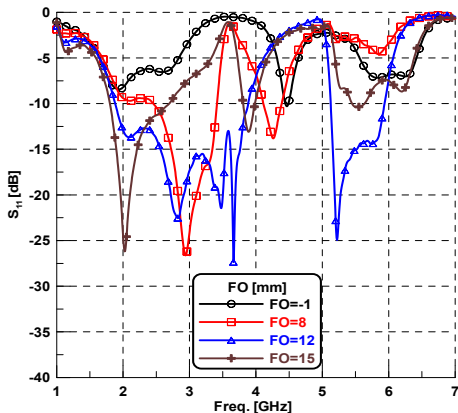


그림 8. Feed offset의 변화에 따른 모의실험 결과 반사 계수
 Fig. 8. Simulated return losses for different values of Feed offset.

앞서 나타난 그림 4~8에 제시된 파라미터들의 변화에 따른 반사계수와 공진주파수의 경향을 바탕으로 하여 모의실험결과 제안된 안테나를 이루고 있는 최적화 설계 파라미터들의 값들을 표 1에 제시하였다.

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

parameter	value [mm]	parameter	value [mm]
PCB Width	35	W1	0.99
PCB Length	60	W2	3.55
Lf	38.9	WH	25.66
WF	3	LH	3.95
FO	12	WNS	13.5
WS	29.9	LNS	2
LS	8.49		

IV. 제작 및 측정 결과

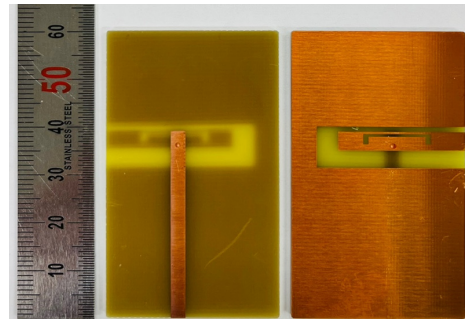


그림 9. 제작된 안테나
 Fig. 9. Fabricated antenna.

앞서 III장에서 모의 실험을 통해 설계된 결과를 바탕으로 실제 제작한 안테나를 그림 9에 제시하였다. 제작에는 모의실험과 동일하게 유전상수 4.3을 가지는 FR-4 기판(유전체 두께 1.6mm, 동박면 두께 1 oz)을 사용하였다.

그림 10은 모의실험 결과와 제작된 안테나의 반사손실 측정 결과를 비교하여 제시하였다. 모의실험의 결과는 임피던스 대역폭($|S_{11}| \leq -10\text{dB}$)이 기준으로 3G WCDMA, 4G LTE, 3.5 GHz 5G 주파수 대역 및 Wi-Fi의 낮은 주파수 대역(2.4 ~ 2.484 GHz)을 포함하여 2,000 MHz(1.89 ~ 3.89 GHz) 이고, 5 GHz Wi-Fi 대역은 707 MHz(5.131 ~ 5.838 GHz) 이며, 실제 제작된 안테나의 대역폭은 2910 MHz(1.84 ~

4.75 GHz 및 930 MHz(5.11 ~ 6.04 GHz)를 얻어 충분히 사용하고자 하는 대역을 만족했다. 그러나 제작된 안테나의 측정 결과 대역폭이 넓어진 것을 알 수 있는데, 슬롯과 스트립 사이의 폭이 좁은 부분과 슬롯에 에칭된 n-형태의 슬롯 등이 최적화된 수치에서 오차가 발생하여 생긴 결과로 추측된다. 또한, 사용하고자 하는 대역의 공진 주파수에서 안테나 이득은 각각 1.912 dBi, 1.811 dBi, 1.848 dBi, 2.641 dBi, 3.450 dBi 및 효율은 90 % 이상을 얻었다.

다음으로는 전체 대역의 공진 주파수에서 Y-Z 평면(E-plane) 과 X-Z 평면(H-plane) 에서의 2D 방사패턴의 모의실험 결과를 그림 11에 제시하였다. E-plane 에 과 H-plane 모두 무지향성 경향의 방사패턴을 확인 할 수 있다.

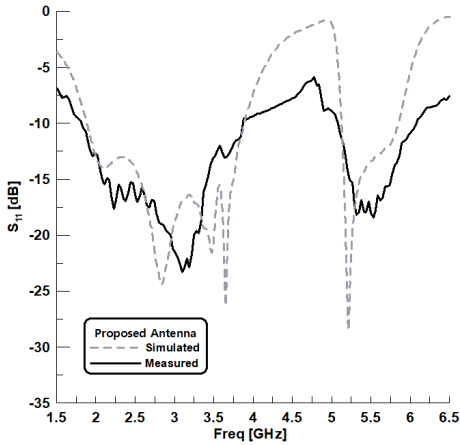
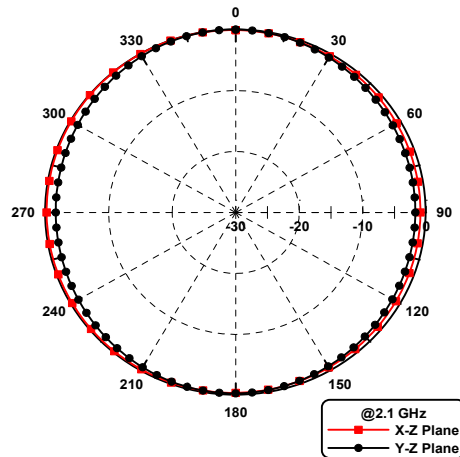
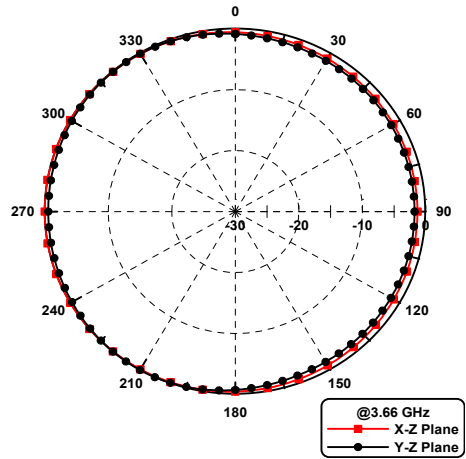
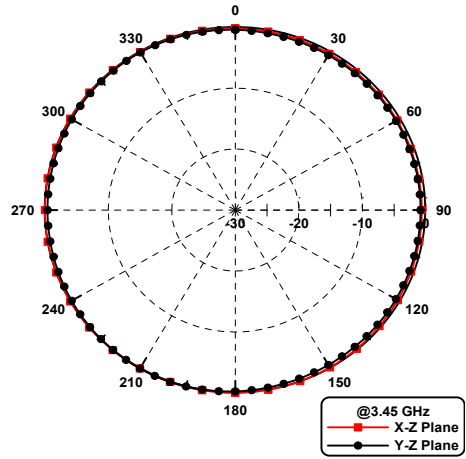
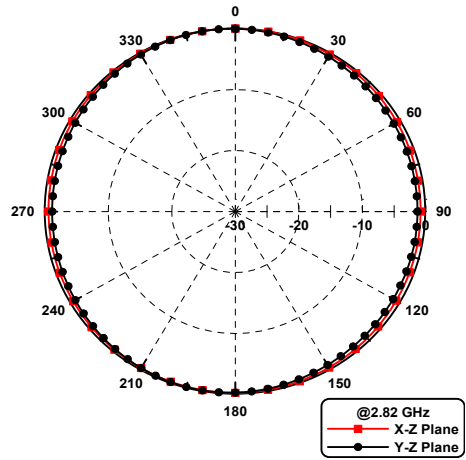


그림 10. 모의실험과 제작된 안테나의 반사계수 비교
Fig. 10. Comparison of the return losses of simulated and fabricated antenna.



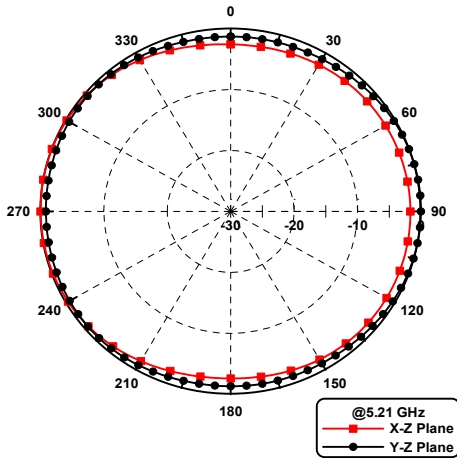


그림 11. 제안된 안테나의 2D 방사패턴.
 Fig. 11. 2D radiation patterns of antenna.

V. 결 론

본 논문에서는 3G WCDMA (1.91 ~ 2.17 GHz), 4G LTE (2.17 ~ 2.67 GHz), 3.5 GHz 5G (3.42 ~ 3.7 GHz) 및 Wi-Fi 이중대역 (2.4 ~ 2.484 GHz / 5.15 ~ 5.825 GHz)에서 사용이 가능한 수정된 폴디드 모노폴 슬롯 안테나를 처음으로 제시하였다.

폴디드 모노폴 슬롯 구조를 기반으로 슬롯 폭을 비대칭 구조로 $\frac{\lambda}{2}$ 폴디드 모노폴 슬롯 구조와 함께 상부 (upper) 슬롯 폭을 아주 좁게하여 $\frac{\lambda}{4}$ 모노폴 슬롯 구조로 공진이 발생 할 수 있도록 설계하였다. 또한 5 GHz 대역을 위해 가로 스트립에 n-형 슬롯을 직사각형 패치에 직각한 구조로 설계되어 전체 안테나의 크기는 $35 \times 60 \text{ mm}^2$ 을 가진다.

사용하고자 하는 대역에서 -10dB 이하의 반사계수를 만족하여 2910 MHz(1.84 ~ 4.75 GHz) 및 930 MHz(5.11 ~ 6.04 GHz) 만큼의 대역폭을 가진다. 또한, 사용하고자 하는 대역의 공진주파수에서 안테나 이득은 각각 1.912 dBi, 1.811 dBi, 1.848 dBi, 2.641 dBi, 3.450 dBi 및 효율은 90 % 이상이고, E-plane 에 과 H-plane 모두 무지향성 경향의 방사패턴을 확인할 수 있었다.

끝으로 본 논문에서 제안하는 안테나는 국내에서 이동통신 사업자가 제공하는 서비스 주파수 대역을 모두 만족하며, 향후 휴대용 기기의 다중 대역 안테나로의 적용이 될 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] M. Kahrizi, T. K. Sarkar, and Z. A. Maricevic, "Analysis of a wide-radiating slot in the ground plane of a microstrip line," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. 41, No. 1, pp. 29-37, Jan 1993. DOI: <https://doi.org/10.1109/22.210226>
- [2] A. Axelord, M. Kiliuk, and J. Maoz, "Broadband microstrip fed slot radiators," Microwave J., Vol. 32, pp. 81-94, June 1989.
- [3] J.-Y. Sze and K.-L. Wong, "Bandwidth enhancement of a microstrip-line-fed printed wide-slot antenna," IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. 49, No. 7, pp. 1020-1024, July 2001. DOI : <https://doi.org/10.1109/8.933480>
- [4] S. K. Sharama, L. Shafai and N. Jacob, "Investigaion of Wide-Band Microstrip Slot Antenna", IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. 52, No. 3, pp. 865-872, March 2004. DOI : <https://doi.org/10.1109/TAP.2004.825191>
- [5] S. I. Latif, L. Shafai and S. K. Sharma, "Bandwidth Enhancement and Size Reduction of Microstrip Slot Antennas", IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. 53, No. 3, pp. 994-1003, March 2005. DOI : <https://doi.org/10.1109/APMC.2007.4554736>
- [6] J. Y. Kwon, G. G. Kim, "L-Slot Microstrip Patch Antenna Design for LTE", IIBC, Vol. 13 No. 3, pp.171-17, June 2013.
- [7] Y. Yoshimura, "A microstrip line slot antenna", IEEE Trans Microwave Thoery, Vol. 20, No. 11, pp. 760-762, Nov 1972. DOI : <https://doi.org/10.1109/TMTT.1972.1127868>
- [8] C.-L. Li, P.-Y. Lin and C.-K. Huang, "IMPEDANCE BANDWIDTH IMPROVEMENT FOR MICROSTRIP-FED SLOT ANTENNAS USING SHORT-CIRCUITED TERMINATION", Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 45, No. 1, pp. 67-70, Feb 2005. DOI : <https://doi.org/10.1002/mop.20726>
- [9] J. H. Yoo, Y. S. Lee, "Bandwidth Enhancement and Size Reduction of Microstrip-Fed Folded-Slot Antenna", Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 55, No. 10, pp. 2248-2251, July 2013. DOI : <https://doi.org/10.1002/mop.27829>

저 자 소 개

신 동 기(정회원)



- 2018년 2월 : 금오공과대학교 전자공학부 (공학사)
- 2020년 8월 : 금오공과대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2020년 6월 ~ 2021년 10월 : LIG 넥스원 연구원
- 2021년 10월 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자파연구실 연구원

• 관심분야 : RF 소자 설계, 안테나 설계 및 해석, 레이더

이 영 민(정회원)



- 2016년 8월 : 금오공과대학교 전자공학부 (공학사)
- 2020년 8월 : 금오공과대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2021년 6월 ~ 현재 : 국방기술품질원 개발품질연구센터 연구원
- 관심분야 : RF 회로 설계, 오실레이터, 안테나 설계 및 해석

이 영 순(정회원)



- 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 개구 결합 문제, 전자기장 수치해석