

## 와이파이 및 5G용 굽은 가지 스트립을 가진 삼중대역 인쇄형 모노폴 안테나

# A triple band printed monopole antenna with a bent branch strips for WiFi / 5G

김민우<sup>1</sup> · 신동기<sup>2</sup> · 류오림<sup>3</sup> · 이영순<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>국방기술품질원 조직인사팀

<sup>2</sup>금오공과대학교 전자공학과

<sup>3</sup>(주)원택

Min-Woo Kim<sup>1</sup> · Dong-Gi Shin<sup>2</sup> · Oh-Rim Ryu<sup>3</sup> · Young-Soon Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Human Resources Team, Defense Agency for Technology and Quality, Gyeongsangnam-do, 51474, Korea

<sup>2</sup>Department of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongsangbuk-do, 39177, Korea

<sup>3</sup>RF Team 1, ONETECH, Gyeonggi-do, 12735, Korea

### [요 약]

본 논문에서는 WLAN(WiFi) 이중대역(2.4 ~ 2.484 / 5.15 ~ 5.825 GHz) 및 3.5 GHz 5G 대역(3.42~3.7 GHz) 을 위한 마이크로스트립 급전 구조를 가지는 굽은 가지 스트립을 가진 삼중대역 인쇄형 모노폴 안테나를 제안하였다. 3중 대역 안테나 구조로 수직으로 세워진 전형적인  $\lambda/4$  모노폴 스트립을 기반으로 하여 다중공진을 발생시키기 위한 굽은 스트립(strip)을 나무 가지(branch) 형태로 붙인 안테나 구조를 새롭게 제안하였다. 유전상수 4.3, 유전체 두께 1.6mm 의 FR4 기판에  $28 \times 40 \text{ mm}^2$ 의 크기를 가진다. 측정 결과 2.4 GHz 대역에서 430 MHz (2.22~2.65 GHz), 3.5 GHz 5G 대역에서 450 MHz (3.38~3.83 GHz), 5 GHz 대역에서 2390 MHz (4.95~7.34 GHz)의 임피던스 대역폭을 나타냈다. 또한, 모든 대역에서 안정되고 무지향성 경향의 방사패턴을 얻을 수 있었으며, 각각 1.537 dBi, 1.878 dBi, 2.337 dBi의 이득을 가진다.

### [Abstract]

In this paper, we proposed a triple band printed monopole antenna with a bent branch strips for WiFi / 5G. An antenna structure in which bent strips for generating multiple resonance are attached in the form of branches was newly proposed based on a typical monopole strip vertically erected as a triple band antenna structure. The proposed antenna is designed on a FR-4 substrate with dielectric constant 4.3, thickness of 1.6 mm, and size of  $28 \times 40 \text{ mm}^2$ . The measured impedance bandwidth is 430 MHz (2.22~2.65 GHz) in the 2.4 GHz WLAN, 450 MHz (3.38~3.83 GHz) in the 3.5 GHz and 2390 MHz (4.95~7.34 GHz), In particular, it has been observed that antenna has a stable omnidirectional radiation patterns as well as gain of 1.537 dBi, 1.878 dBi and 2.337 dBi in the entire frequency band of interest.

**Key word** : WiFi, 5G, Microstrip feed, Printed monopole, Bent branch strip, Omni-directional radiation patterns.

<https://doi.org/10.12673/jant.2021.25.6.536>



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 18 November 2021; Revised 1 December 2021

Accepted (Publication) 26 December 2021 (30 December 2021)

\*Corresponding Author; Young-Soon Lee

Tel: +82-54-478-7501

E-mail: yslee@kumoh.ac.kr

## 1. 서론

오늘날의 현대 무선통신기술의 빠르고 광범위한 발전으로 인해, 특히 4세대(4G) 통신보다 20배나 통신속도가 빠르고 다중접속이 가능한 5세대(5G) 통신기술이 상용화 되면서 스마트폰과 같은 모바일 단말기의 경우 기존의 대역과 간섭 없이 두 개 이상의 주파수대역, 즉 다중대역을 커버할 수 있는 소형, 평면구조 및 저비용의 안테나 수요가 급증하고 있다. 초창기 휴대폰과 같은 모바일 단말기용 안테나는 GSM(890~960 MHz), DCS/PCS(1.71~1.88 / 1.85~1.99 GHz) 및 WLAN(2.4~2.484 GHz) 주파수 대역에서 사용이 가능한 다중대역 안테나를 대부분 미앤더 라인(meander-line)에 기반을 두고 설계 방법을 제안하였다[1-4]. 이러한 미앤더 구조의 안테나 경우 수직으로 배치된 인근 스트립 선로(strip-line)에 유기되는 전류가 서로 상쇄되어 원거리 복사장에 영향을 줄 수 없고, 수평으로 배치된 스트립 선로에 유기된 전류만이 원거리 복사장에 영향을 주어 복사효율 즉, 안테나 이득에 손해를 볼 수 있다는 단점이 있다. 이러한 문제점 해소를 위해 최근 제안되는 안테나 설계는 대부분 안테나의 복사구조를 미앤더 구조가 아닌 슬롯(slot) 구조에 기반한 설계 기법을 제안하고 있고, 사용주파수 대역도 WLAN(WiFi) 이중대역(2.4~2.484 / 5.15~5.825 GHz) 및 WiMAX(3.4~3.69 GHz) 용으로 하고 있다[5-9].

슬롯 구조를 기반으로 하는 다중대역 안테나의 경우 차츰 슬롯 폭이 커지게 되면 다중공진으로 인해 임피던스 대역폭이 크게 증가할 수 있다. 예로 참고문헌 [9]의 결과를 보면 낮은 주파수 대역은 2.34 ~ 2.42 GHz 의 대역폭을 가지고, WiMAX 주파수 대역은 3.4 ~ 3.69 GHz 대역폭을 만족하면 되나 3.16 ~ 6.57 GHz 로 광대역화 된 것을 볼 수 있다. 목표로 하는 WLAN 이중대역 및 WiMAX 대역에서 사용은 가능하나 불필요한 3.7 ~ 5.1 GHz 대역이 간섭 대역으로 역할 할 수 있는 단점이 있다. 또한 대부분 슬롯을 사각형 형태의 도체 패치(patch)에 식각(에칭)하여 복사 구조로 사용하고 있기 때문에 H-Plane 상에서 무지향성(omni-directional) 방사패턴이 도체패치의 영향으로 부분적으로 왜곡이 발생하는 문제점도 있다.

현재 우리나라에서는 5G 통신기술이 3.5 GHz 대역에서 상용화되어 사용중에 있으며, 2020년 1월 과학기술정보통신부의 이동통신 사업자 주파수 할당 현황을 보면 LGU+가 3.42~3.5 GHz, KT가 3.5~3.6 GHz, 그리고 SKT가 3.6 ~ 3.7 GHz로 배정되어 있다. 그러므로 현재 우리나라에서 5G 통신 사용이 가능한 모바일 단말기에 사용이 가능한 WLAN(WiFi) 이중대역(2.4~2.484 / 5.15~5.825 GHz) 및 3.5 GHz 5G 대역(3.42~3.7 GHz)을 커버할 수 있는 다양한 종류의 3중 대역용 저가형 평면구조의 소형 안테나 개발의 필요성이 요구되고 있는 상황이다. 본 논문에서는 기존 다중대역 논문에서 사용되었던 복사효율 손실에 문제점이 있는 미앤더 구조가 아니고 또한 H-Plane 상에서 무지향성 방사패턴에 왜곡을 발생시키는 슬롯 기반의 구조가 아닌 3중 대역용 안테나 설계를 위하여 수직으로 세워진

전형적인  $\lambda/4$  모노폴 스트립 구조를 기반으로 하여 다중공진을 발생시키기 위한 굵은 형태의 스트립(strip)을 나무 가지(branch) 형태로 붙인 구조를 새롭게 제안하여 복사효율에 손실이 없고 방사 패턴 또한 H-plane 상에서 무지향성을 가지는 WLAN(WiFi) 이중대역(2.4 ~ 2.484 / 5.15 ~ 5.825 GHz) 및 3.5 GHz 5G 대역(3.42~3.7 GHz)용 저가, 소형의 평면형 안테나를 제안하고자 한다.

안테나 모의실험 설계 전반에 CST MWS(microwave studio)를 사용하였. 모의실험의 타당성을 입증하기 위해 안테나를 제작하고 특성을 측정한 후 비교 제시하였다.

## II. 안테나 구조 및 설계

본 논문에서 제안 하는 안테나를 그림1에 제시하였다. 안테나 모의실험에는 유전상수 4.3을 가지는 FR-4 기판(유전체 두께 1.6mm, 동박면 두께 1 oz)을 사용하였다. 50Ω 전송선 임피던스를 가지도록 급전선을 폭을 설계하였으며 안테나의 전체 크기는  $28 \times 40 \text{ mm}^2$ 이다. 그림 1에서 A와 B는 PCB의 가로 및 세로의 길이이고, 윗면에는 급전선의 폭 Wf, 급전을 위한 선로 Lf 등으로 구성 되어있다. 제안된 안테나를 구성하고 있는 일부 안테나 설계 파라미터들에 대한 설명은 그림 2에서 그림 6에 서술하였으며 동시에 공진주파수 및 반사계수 경향 그래프를 제시하고 분석하였다.

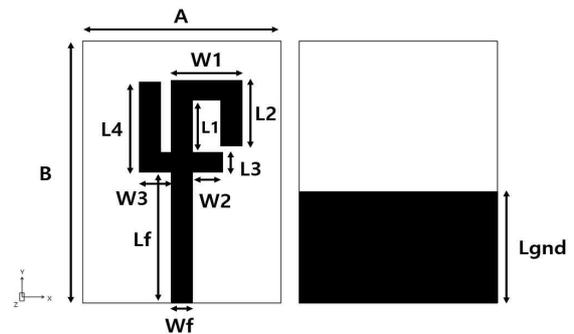


그림 1. 제안된 안테나의 구조

Fig. 1. The geometry of proposed antenna.

그림 2는 PCB의 가로 길이를 나타내는 A 파라미터를 26 mm에서 30 mm 까지 2 mm 간격으로 조정하였을 때, 반사계수와 함께 공진주파수의 변화 경향을 나타낸 그림이다. PCB의 가로 길이가 넓어질수록 전 대역에서 변화가 관찰된다. 먼저 WLAN 2.4 GHz 대역과 3.5 GHz 5G 대역에서는 반사계수 특성이 조금씩 개선되는 것을 확인할 수 있다. WLAN 5 GHz 대역에서는 공진주파수의 이동과 동시에 반사계수 특성이 개선되는 것을 확인하였다. PCB의 가로길이를 의미하는 A 값이 28 mm 일 때, 대역을 만족하는 특성을 얻을 수 있었다.

그림 3은 오른쪽 상단의 갈고리 형태로 굵어진 스트립의 세

로 길이에 해당하는 L2 파라미터를 3 mm에서 7 mm 까지 2 mm 간격으로 조정하였을 때, 반사계수와 공진주파수의 변화 경향을 나타낸 그림이다. 해당 파라미터는 본 논문에서 제안하는 모노폴 안테나에서 가장 긴 스트립 선로의 길이로 첫 번째로 낮은 주파수의 공진 모드를 형성 할 것으로 예상된다. 경향을 보게 되면 예상했던 것과 같이 2.4 GHz WLAN 대역에서 큰 변화를 관찰 할 수 있다. L2의 길이가 길어질수록 공진주파수가 더욱 낮은 대역으로 이동하는 것을 확인 할 수 있다. 추가로 5 GHz WLAN 대역에서도 반사계수의 큰 변화가 관찰되는데 L2 파라미터 바로 아래 위치하고 있는 높은 주파수 대역의 공진을 형성하는 짧은 스트립 선로와의 간격이 근접하여 영향을 미친 것으로 사료된다. 따라서 2.4 GHz WLAN 대역의 특성을 얻기 위해 L2의 값을 7 mm로 하는 것이 적절하다고 판단된다.

그림 4는 위에서 설명한 파라미터와 유사하게 모노폴에서 왼쪽 스트립의 세로길이에 해당하는 L4 파라미터의 변화에 따른 반사계수 및 공진주파수 변화 경향을 나타낸 것이다. L4를 11.75 mm에서 15.75 mm까지 2 mm간격으로 변화 시켰을 때, 사용하고자 하는 대역에서 반사계수 특성 변화와 공진주파수의 경향을 보게 되면, 해당 파라미터는 제안하는 모노폴 안테나에서 두 번째로 긴 스트립 선로의 길이로 3.5 GHz 5G 대역에서의 공진 모드를 형성 할 것으로 예상된다. 그림 4에서는 앞서 언급한것과 같이 3.5 GHz 5G 대역에서의 공진주파수 및 반사계수 변화가 관찰되고 있다. 길이 짧을수록 공진주파수는 오른쪽으로 천이되면서 반사계수 특성이 개선되는 것을 확인 할 수 있다. L4의 길이가 13.75mm 일 때 가장 좋은 특성을 얻을 수 있었다.

그림 5는 W2 파라미터의 의 변화에 따른 반사계수와 공진주파수 변화 경향을 나타내었다. 파라미터 W2는 급전선 끝에서 바로 근접하게 오른쪽에 위치한 짧은 스트립 선로이다. 모노폴 안테나를 세 부분으로 나누었을 때 가장 짧은 길이에 해당되어 5GHz WLAN 대역에서의 영향을 예상해볼 수 있다. 선로의 길이를 2.25 mm에서 6.25 mm 까지 2 mm 씩 증가 시켰을 때, 그림 5에서는 5GHz 대역에서의 변화를 관찰 할 수 있다. 따라서 충분한 대역폭과 반사계수 특성을 얻기 위해 W2의 값을 4.25 mm로 하는 것이 적절하다고 판단된다.

그림 6은 안테나의 뒷면에 위치한 접지면 높이에 해당하는 Lgnd 파라미터의 경향을 나타낸 것이다. Lgnd 파라미터를 15 mm에서 19 mm 까지 2 mm 간격으로 증가시켰을 때의 주파수 및 반사계수의 경향을 보면 전체적인 주파수 대역에서 변화가 관찰되고 있다. 전 대역 모두 반사계수의 변화가 공통적으로 관찰되어 해당 파라미터는 전체적인 안테나의 정합과 관련된 파라미터라고 볼 수 있다. 해당 파라미터를 17 mm로 설정하였을 때, 가장 좋은 결과를 확인 할 수 있었다.

본 논문에서 제안하는 안테나에서 공진 주파수를 결정하는 것은 세 부분으로 나뉘 볼 수 있으며, 전형적으로 모노폴 안테나는 다이폴 안테나의 절반인  $\lambda/4$  길이로 공진이 형성된다. 선로의 폭은 동일하며 각각의 모노폴 길이에 의해 결정되게 되는데 모의 실험에서의 모노폴의 길이는 2.4 GHz 대역에서 Lgnd

$-L_f + L_1 + W_1 + W_2 + \text{선로폭}(3\text{mm}) = 31 \text{ mm}$  이며, 해당 주파수 대역에서의  $\lambda/4$  을 계산해보면 31.25 mm이고, 3.5 GHz 5G 주파수 대역에서는  $L_{\text{gnd}} - L_f + W_4 + L_4 = 21.25 \text{ mm}$  이며, 2.4 GHz WLAN 대역과 동일하게  $\lambda/4$  를 계산해보면 22 mm로 계산결과가 일치하여 해당 대역에서의 모노폴 안테나로 동작하는 것을 알 수 있다. 5GHz WLAN 대역에서 모노폴의 길이는  $L_{\text{gnd}} - L_f + W_2 = 7.25 \text{ mm}$  이고, 파장을 계산해보면 15 mm로  $\lambda/2$  길이를 가지는 것으로 계산된다. 이 결과는 5 GHz WLAN 대역을 2.4 GHz 대역을 기본 주파수로 하는 하모닉 주파수 성분으로 볼 수 있다. 5 GHz 대역 공진을 하모닉 주파수로 유도했을 경우 대역의 안테나의 특성이 좋지 않았다. 따라서 추가적인 공진을 이용하여 안테나 특성을 개선하기 위해 반파장 길이를 가지는 가로 스트립을 추가하여 5GHz 대역 정합을 위한 open stub 역할을 하도록 설계하였고, 결과적으로 방사 효율 및 이득 개선에 효과가 있었다.

앞서 나타낸 그림 2~6에 제시된 파라미터들의 변화에 따른 반사계수 및 공진주파수의 경향을 토대로 모의실험결과 제안된 안테나를 구성하는 최적화 설계 파라미터들의 수치를 표 1에 제시하였다.

표 1. 제안된 안테나의 최적화 파라미터

Table 1. Optimization parameter of the proposed antenna.

parameter	value [mm]	parameter	value [mm]
A	28	W1	10
B	40	W2	4.25
L1	8	W3	4.25
L2	7	Lgnd	17
L3	3	Wf	3
L4	13.75	Lf	20

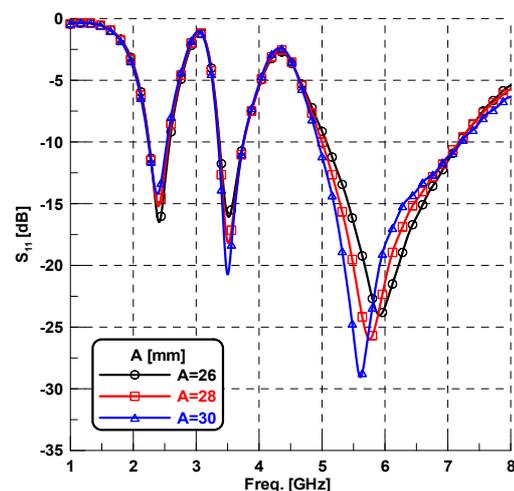


그림 2. A의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수  
Fig. 2. Simulated return losses for different values of parameter A.

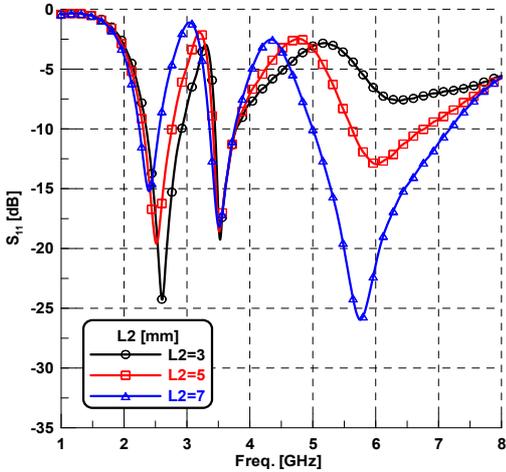


그림 3. L2의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수  
 Fig. 3. Simulated return losses for different values of parameter L2.

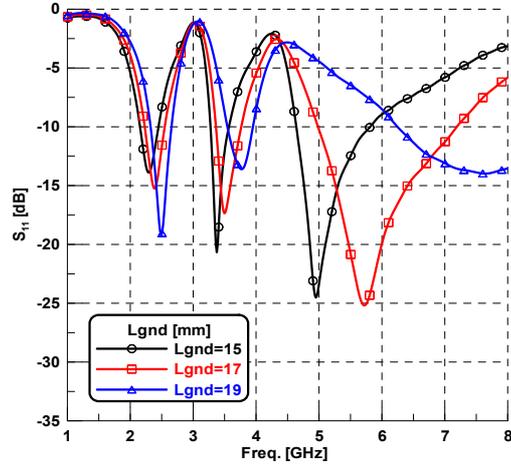


그림 6. Lgnd의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수  
 Fig. 6. Simulated return losses for different values of parameter Lgnd.

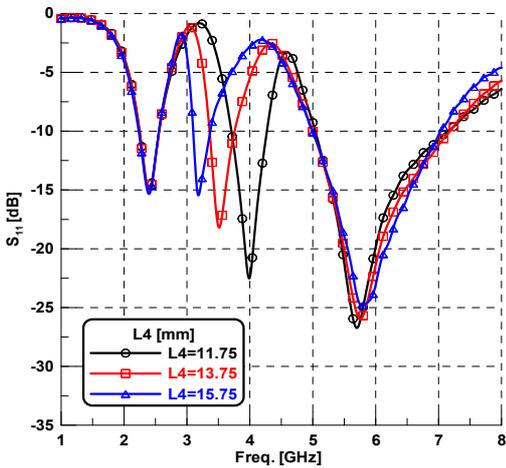


그림 4. L4의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수  
 Fig. 4. Simulated return losses for different values of parameter L4.

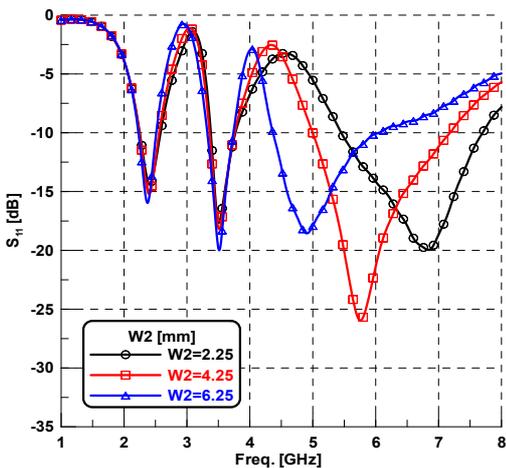


그림 5. W2의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수  
 Fig. 5. Simulated return losses for different values of 5parameter W2.

### III. 제작 및 측정결과

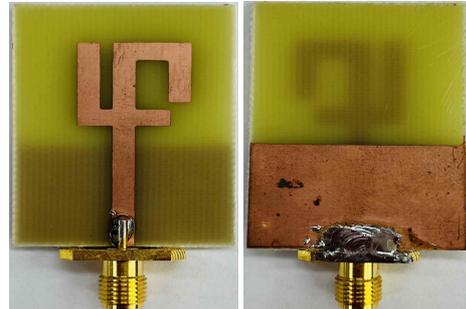


그림 7. 제작된 안테나  
 Fig. 7. Fabricated antenna.

앞서 II장에서 분석된 결과를 토대로 최적화된 파라미터들을 안테나 구조에 적용하여 제작한 안테나를 그림 8에 제시하였다. 제작에는 모의실험에서와 같이 유전상수 4.3을 가지는 FR-4 기판(유전체 두께 1.6mm, 동박면 두께 1oz)을 사용하였다.

그림 9는 모의실험 결과와 실제 제작된 안테나의 반사손실 측정 결과를 비교하여 나타낸 그림이다. 모의실험 결과는 임피던스 대역폭( $|S_{11}| \leq -10\text{dB}$ )이 기준으로 2.4 GHz 대역에서 310 MHz (2.24~2.55 GHz), 3.5 GHz 대역에서 400 MHz (3.36~3.76 GHz), 5 GHz 대역에서 2.190 GHz (4.99~7.18 GHz)의 대역폭을 가지는 것을 확인할 수 있고, 실제 제작된 안테나는 임피던스 대역폭( $|S_{11}| \leq -10\text{dB}$ )이 2.4 GHz 대역에서 430 MHz (2.22~2.65 GHz), 3.5 GHz 대역에서 450 MHz (3.38~3.83 GHz), 5 GHz 대역에서 2390 MHz (4.95~ 7.34 GHz) 으로 사용하고자하는 대역 모두 만족하지만 모의실험 보다 제작하여 측정된 결과의 대역폭이 넓어진 것을 알 수 있는데, 안테나 제작 과정에서 과에칭 등으로 인해 안테나를 구성하고 있는 각각의 스트립들이 최적

화된 수치에서 오차가 발생한 결과로 사료된다. 또한, 해당 주파수대역에서 모의실험에서의 안테나 이득은 각각 1.486 dBi, 1.856 dBi, 2.403 dBi 및 효율은 90 % 이상을 얻었으며, 실제 제작된 안테나의 이득은 각 주파수별로 1.537 dBi, 1.878 dBi, 2.337 dBi로 모의실험과 유사한 결과를 확인하였다.

다음으로 각 주파수별 중심 주파수인 2.45, 3.5, 5.5 GHz 대역에서의 Y-Z 평면(E-plane) 과 X-Z 평면(H-plane) 에서의 2D 방사패턴의 모의실험 결과 및 측정 결과를 그림 10과 11에 각각 제시하였다. E-plane 에서는 8-자 형태를 H-plane에서는 무지향성 경향의 방사패턴을 확인 할 수 있다.

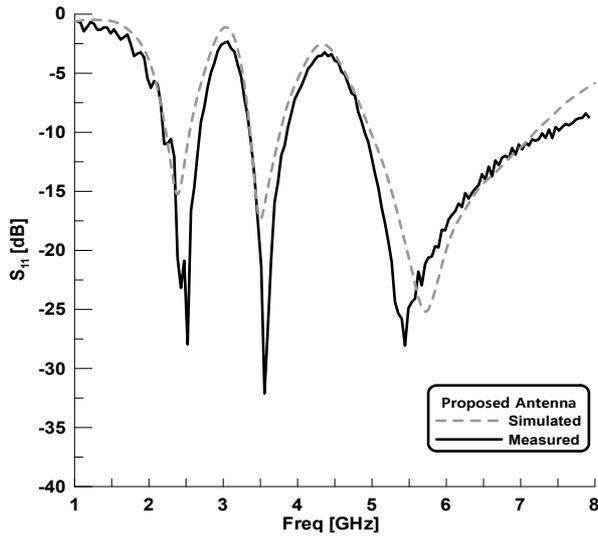
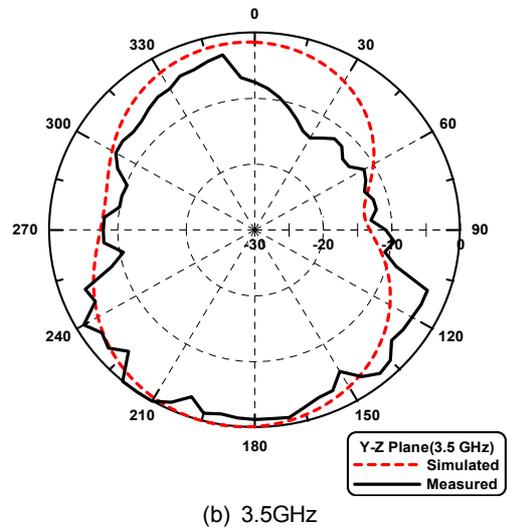
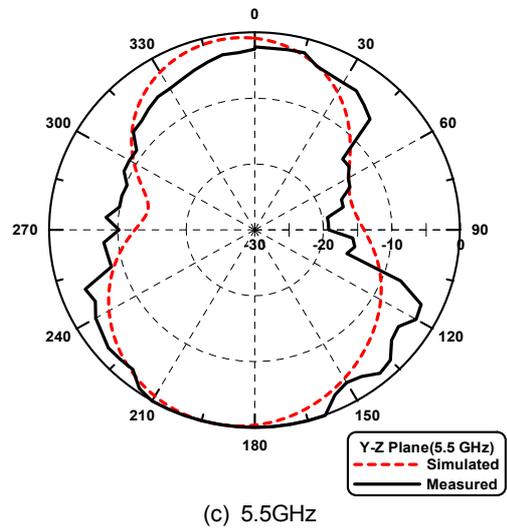


그림 8. 모의실험과 제작된 안테나의 반사계수 비교  
 Fig. 8. Comparison of the return losses of simulated and fabricated antenna.

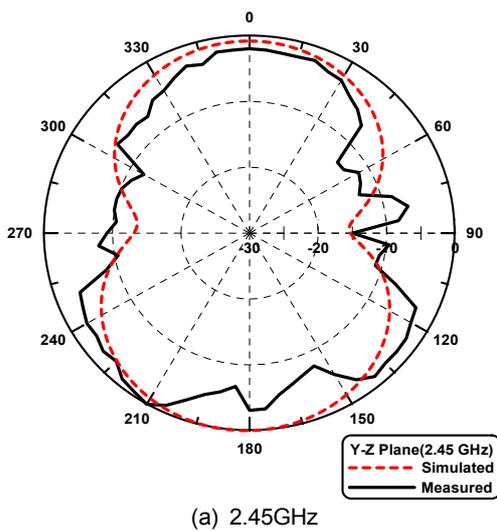


(b) 3.5GHz

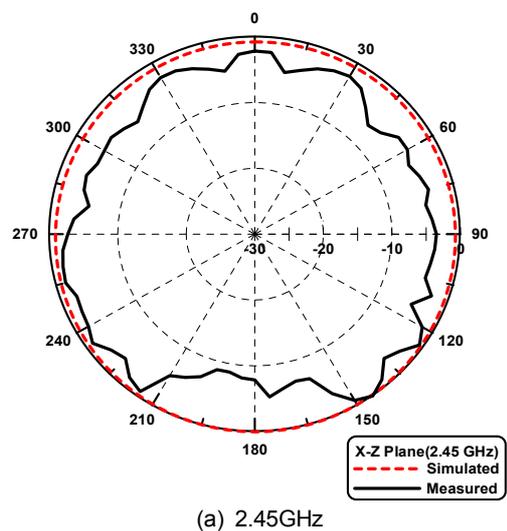


(c) 5.5GHz

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



(a) 2.45GHz



(a) 2.45GHz

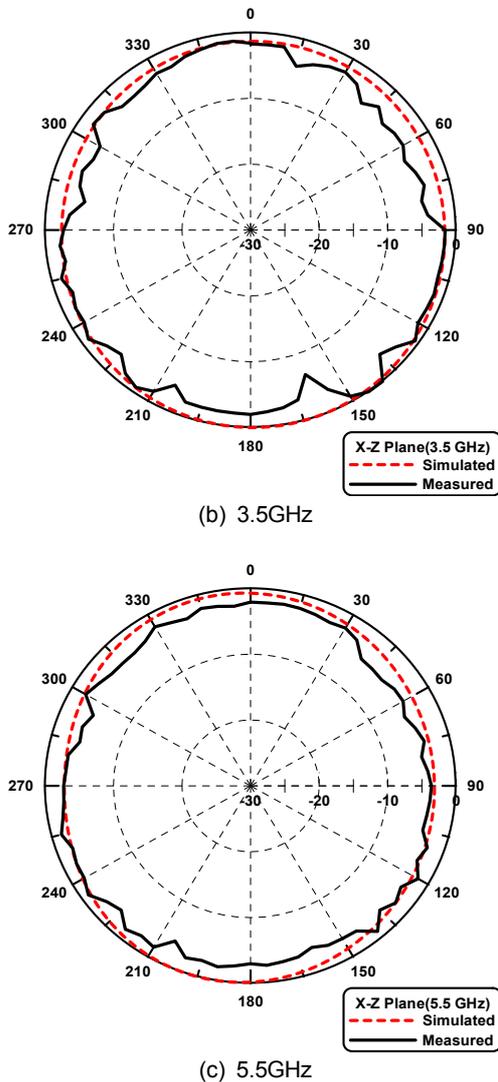


그림 10. 제작된 안테나의 2D 방사패턴(X-Z Plane)  
 Fig. 10. 2D radiation patterns of antenna(X-Z plane)

#### IV. 결 론

본 논문에서는 2.4 GHz 및 5 GHz WLAN 대역과 3.5 GHz 5G 대역에서 사용할 수 있는 마이크로스트립 굵은 가지 스트립을 이용한 삼중대역 인쇄형 모노폴 안테나를 설계 및 제작하였다. 제안된 안테나는 목표로 하는 주파수 대역에서 각각의 서로 다른 길이의 모노폴 형태로 구현되어 서로 다른 전류 경로를 가지는 특징이 있다. 전체 안테나의 크기는  $28 \times 40 \text{ mm}^2$  이다.

사용하고자 하는 대역에서의 범위에서  $-10\text{dB}$  이하의 반사계수를 만족하여 2.4 GHz 대역에서 430 MHz (2.22~2.65 GHz), 3.5 GHz 대역에서 450 MHz (3.38~3.83 GHz), 5 GHz 대역에서 2390 MHz (4.95~7.34 GHz) 만큼의 대역폭을 가진다. 또한, 안테나 이득은 각각 1.537 dBi, 1.878 dBi, 2.337 dBi 및 효율은 90% 이상을

얻었다. 방사패턴의 경우, E-Plane은 8-자 형태의 방사패턴을 H-plane 에서는 무지향성 패턴 경향을 가져 전형적인 다이폴 안테나의 방사패턴을 확인 할 수 있었다.

끝으로 제안하는 안테나는 2.4 GHz / 5 GHz WLAN, 3.5 GHz 5G 주파수 대역에서의 서비스를 모두 이용할 수 있는 다중대역 안테나로 꾸준히 소형화가 특성 개선이 진행되고 있는 휴대용 단말기로의 응용이 될 수 있을 것으로 사료된다.

#### References

- [1] K.D. Katsibas, C.A. Balanis, P. A Tirkas, and C.R. Birtcher, "Folded loop antenna for mobile handheld units," *IEEE Trans Antennas Propagation*, Vol. 46, No. 2, pp. 260-226, Feb. 2002.
- [2] P.L. Teng and K.L. Wong, "Planar monopole folded in to a compact structure for very-low-profile multiband mobile-phone antenna," *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 33, No. 1, pp. 22-25, Apr. 2002
- [3] H.C. Tung, C.Y. Fang and K.L. Wong, "An inverted-L monopole antenna loaded with a measured wire for GSM/DCS dual-band mobile phones," *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 33, No. 3, pp. 212-214, May, 2002.
- [4] J.H. Lu, Y.D. Wang, "A planar triple-band meander line antenna for mobile handsets," *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, pp. 146-149, June. 2003.
- [5] L. Dang, Z.Y. Lei, Y.J. Xie, G.L. Ning and J. Fan, "A compact microstrip slot triple-band antenna for WLAN/WiMAX applications," *IEEE Antennas Wirel Propag Lett.* Vol. 9, pp. 1178-1181, Dec. 2010
- [6] W. Hu, Y.Z. Yin, P. Fei and X. Yang, "Compact triband square-slot antenna with symmetrical L-strips for WLAN/WiMAX applications," *IEEE Antennas Wirel Propag Lett.* Vol. 10, pp. 462-465, May. 2011.
- [7] A. Kunwar, A.K. Gautam and B.K Kanaujia "Inverted L-slot triple-band antenna with defected ground structure for WLAN and WiMAX applications," *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, Vol. 9, No. 1, pp. 191-196, June. 2015.
- [8] C. Hiseh, T. Chiu and C. Lai, "Compact dual-band slot antenna at the corner of the ground plane," *IEEE Trans Antennas Propag.* Vol. 57, No. 10, pp. 3423-3426, July, 2009.
- [9] A.E. Yassini, S. Ibnnyaich, S. Chabaa and A. Zeroual, "Miniaturized broadbandmultiband planar antenna with a

symmetric quarter-circular ground plane for WLAN/WiMAX standards”, *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 62, No. 9, pp. 2953-2964, Sep. 2020.



**김민우 (Min-woo Kim)**

2005년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
2007년 2월 : 경북대학교 의용생체공학과(공학석사)  
2009년 2월 : 경북대학교 전자공학과(박사수료)  
2012년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원  
※관심분야 : 안테나 설계 및 해석, 수중신호처리, 품질경영



**신동기 (Dong-Gi Shin)**

2018년 2월 : 금오공과대학교 전자공학부 (공학사)  
2020년 8월 : 금오공과대학교 전자공학과 (공학석사)  
2020년 6월 ~ 2021년 10월 : LIG넥스원 연구원  
2021년 10월 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자파연구실  
※관심분야 : 안테나 설계 및 해석, RF 소자 설계, 레이더



**류오림 (Oh-Rim Ryu)**

2016년 3월 : 금오공과대학교 전자공학부 입학  
2020년 3월 ~ 2021년 9월 : 금오공과대학교 전자파연구실 학부연구생  
2021년 10월 ~ 현재 : (주)원택 테스트 엔지니어  
※관심분야 : 안테나 설계 및 해석, 방송통신기자재 시험



**이영순 (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