

WLAN 및 Sub-6GHz 대역을 위한 다중대역 안테나 설계 및 제작

윤중한*

Design and Fabrication of Multi-Band Antenna for WLAN and Sub-6GHz Band

Joong-Han Yoon*

요약

본 논문에서는 Sub-6G 대역을 포함한 WLAN 시스템에 적용가능한 멀티밴드 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 4개의 경로를 갖는 스트립 선로와 임피던스 매칭을 위해 슬롯을 갖는 부분 접지면으로 구성되어 있다. 제안된 안테나는 48.0 mm(W)×50.0 mm(L)의 크기와 두께(h) 1.0 mm, 그리고 비유전율이 4.4인 FR-4 기판 위에 26.0 mm(W2)×42.0 mm(L1+L2+4.0 mm+L8+L9)의 크기로 설계되었다. 제작 및 측정 결과로부터, -10dB 기준으로 900 MHz 대역에서는 115 MHz (0.825~0.940 GHz), 2.4 GHz 대역에서는 210 MHz (2.29~2.50 GHz), 3.5 GHz 대역에서는 270 MHz (3.45~3.72 GHz), 그리고 5.0 GHz 대역에서는 930 MHz (4.95~5.88 GHz)의 대역폭을 얻었다. 또한 요구되는 주파수 삼중대역에서 이득과 방사패턴 특성을 측정하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose mult-band antenna included Sub-6 GHz band for WLAN system. The proposed antenna has the fourth strip line and slot in the partial ground plane to obtain impedance matching. The total substrate size is 48.0 mm (W)×50.0 mm (L), thickness (h) 1.0 mm, and the dielectric constant is 4.4, which is made of 26.0 mm (W2)×42.0 mm (L1+L2+4.0 mm+L8+L9) antenna size on the FR-4 substrate. From the fabrication and measurement results, bandwidths of 115 MHz (0.825 to 0.940 GHz) for 900 MHz band, 210.0 MHz (2.29 to 2.50 GHz) for 2.4 GHz band, 270.0 MHz (3.45 to 3.72 GHz) for 3.5 GHz band, and 930.0 MHz (4.95 to 5.88 GHz) for 5.0 GHz band were obtained on the basis of -10 dB. Also, gain and radiation pattern characteristics are measured and shown in the frequency triple band as required.

키워드

Microstrip Line Feeding, WLAN Application, Quadruple Band, 900 MHz Band, Sub-6GHz Band
마이크로스트립 선로 급전, WLAN 응용, 사중 대역, 900 MHz 밴드, 서브-6GHz 밴드

* 신라대학교 전기전자공학부(jhyoon@silla.ac.kr)

* 교신저자 : 신라대학교 전기전자공학부

• 접수일 : 2024. 08. 19

• 수정완료일 : 2024. 09. 15

• 게재확정일 : 2024. 10. 12

• Received : Aug. 19, 2024, Revised : Sep. 15, 2024, Accepted : Oct. 12, 2024

• Corresponding Author : Joong-Han Yoon

Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Silla University,

Email : jhyoon@silla.ac.kr

I. 서론

오늘날 무선 랜(WLAN : Wireless Local Area Network)은 세계 어느 곳에서나 널리 쓰이는, 우리 생활과 밀접한 필수적인 근거리 통신 기술로 광범위하게 사용되고 있다. 집, 사무실, 공항, 호텔, 커피숍, 기차, 비행기 등에서 무선인터넷을 이용할 수 있는 것은 와이파이(Wi-Fi)라 불리는 IEEE 802.11 표준 덕분에 가능했다.

더불어 새로운 모바일 기기, 스마트홈, 스마트시티, 그리고 사물인터넷(IoT) 같은 새로운 무선통신 환경 출현은 무선 랜 기술의 혁신을 가속화하는 촉매제가 되어 무선랜을 탑재한 기기의 수는 해마다 기하급수적으로 증가하고 있다[1].

Wi-Fi는 초기 802.11의 2 Mbps 전송률로부터 진화를 거듭하여 최대 7 Mbps에 이르는 데이터 전송율을 지원하고 있다. 또한 IoT 및 다양한 서비스 지원을 위해 기존 2.4 GHz와 5 GHz를 지원하는 규격뿐만 아니라 900 MHz(802.11ah), TV White Space(802.11af)와 같은 추가적인 대역을 지원하는 표준도 제정되었다[2].

한편 2015년 ITU-R 산하 이동통신 작업반(WP 5D)에서 5세대 이동통신의 공식명칭을 IMT-2000로 결정하고 5G 목표성능 및 시나리오를 제시하였다. 국내에서는 2019년 4월에 세계 최초로 5G 상용화 서비스를 시작하였으며 6 GHz 이하 중/저대역(Sub-6 GHz)인 3.5 GHz 대역과 24 GHz 이상의 초고주파 대역에서는 28 GHz 대역을 각각 할당받았다. 5G 통신을 주목하는 이유는 초고속, 초저지연, 초연결 특성을 갖는 5G 통신이 단순 모바일 영역을 넘어 IoT, AI, VR 및 AR, 스마트카, 지능형 로봇 등과 긴밀하게 연동되어 인류의 생활을 획기적으로 변모시킬 혁신 플랫폼이 될 것으로 예상되기 때문이다[3].

현재 이동통신 서비스 시장은 주요국 5G 보급이 마무리되며 성숙기에 도달해 있으며 2027년까지 점진적인 성장을 보일 것으로 전망되며 최근 6G 관련 비전과 요구사항이 제시되었으며 초기 6G 기술표준 확보를 위해 각국의 기술개발 경쟁과 동시에 국제적인 연구협력 및 논의가 이어지고 있는 상황이다[4].

한편 IEEE 802.11 TGah에서는 스마트 그리드, 센서네트워크, M2M(Machine-to-Machine) 통신, 셀룰

러 오르포딩 그리고 광역 무선랜 서비스 등을 효율적으로 지원할 수 있는 802.11ah 표준을 확정하였다. 802.11ah 표준은 Sub 1 GHz 대역 사용으로 인해 1Km까지 확장된 커버리지를 갖으며 기존의 무선 랜 기술에 비해 훨씬 많은 7000개 단말 지원이 가능하며 그리고 100 kbps 이상의 전송데이터를 제공한다[5].

향후에는 WLAN 시스템은 대용량 고속 전송속도로 사용자들의 요구수준에 적합한 서비스가 제공될 것으로 판단되며 이러한 시스템에 최적화된 RF 모듈 및 안테나 개발이 필요할 것으로 판단된다. 따라서 현재까지 다양한 형태와 구조에 따라 무선랜 안테나 개발이 이루어져 왔으며 특히 모노폴 구조의 다중대역 안테나에 대한 연구가 진행되어 왔다[6-11]. 그러나 향후 실내의 공간에서의 Wi-Fi 통신을 위해서는 현존하는 WLAN 대역 서비스뿐만 아니라 동시에 900 MHz 대역을 포함한 다중대역 WLAN 안테나에 대한 연구가 필수적이지만 이러한 영역에서의 연구는 아직까지 미흡하며 또한 5G 이동통신 대역 중 Sub-6G 대역인 3.5 GHz 대역의 안테나를 포함한 다중대역 안테나 설계에 대한 연구[12-15]도 부족한 상황이다.

본 논문에서는 마이크로스트립 급전선로방식을 적용하여 WLAN 802.11ah (925 MHz~931 MHz), 802.11b/g (2.40~2.484 GHz), 그리고 802.11a (5.15~5.875 GHz), 그리고 5G 대역 중 Sub-6 GHz 대역(3.4~3.6 GHz)에서 적용 가능한 사중대역 안테나를 제안하였다.

요구되는 안테나 특성(주파수 대역폭, 전방향 방사패턴, 이득)을 얻기 위해 상용 시뮬레이터(HFSS)를 활용하여 모델에 대해 시뮬레이션을 진행하였다. 안테나 특성에 큰 영향을 미치는 파라미터를 확인하고 각 파라미터 값들을 조정하여 요구되는 주파수 대역에서 공진하도록 설계하여 요구되는 대역폭을 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 제안된 안테나를 제작하였으며 제작 후 반사손실, 방사패턴, 이득에 대한 안테나 특성을 측정하였다.

II. 제안된 안테나 구조

그림 1은 제안된 안테나의 구조를 나타내었다. 일반적인 마이크로스트립 안테나와 동일한 구조로 구성

되었으며 급전방식은 마이크로스트립 선로 방식을 선택하였다. 그림 1에 나타난 바와 같이 유전체 기판 윗면에 4개 선로가 형성되도록 하였으며 유전체 기판 아랫면에 일부 영역만을 접지면으로 설정하고 임피던스 매칭을 위해 그 접지면에 슬롯을 삽입하였다. 다중대역 주파수 대역과 대역폭을 만족하도록 설계하였다.

본 논문의 안테나 설계 시 사용된 기판은 유전율 4.4, 두께가 1.0 mm인 FR4 유전체를 사용하였다. 요구되는 대역은 WLAN 통신이 가능하도록 900 MHz 대역(925~931 MHz), 2400 MHz 대역(2400~2484 MHz), 그리고 5000 MHz 대역(5.15~5.875 MHz)과 sub-6 GHz 대역 통신이 가능하도록 3500 MHz 대역(3300~3600 MHz)에서 -10dB 이하의 반사손실 특성을 얻어야 하며 방사패턴은 가능한 전방향성 특성을 그리고 최대이득은 0 dBi 이상의 특성을 얻도록 설계하고자 한다.

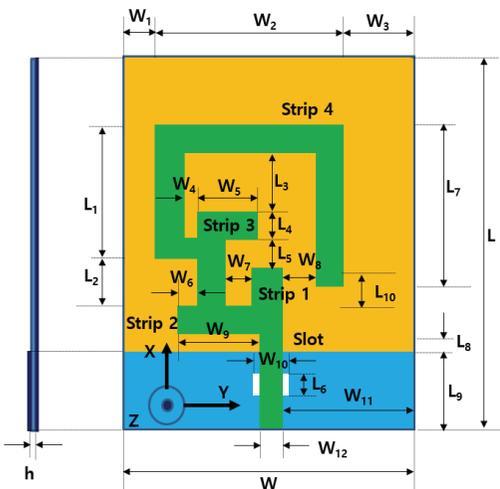


그림 1. 제안된 안테나의 구조
Fig. 1 Configuration of the proposed antenna

제안된 안테나 특성에 커다란 영향을 미치는 파라미터를 찾기 위해서 시뮬레이션을 진행하였으며 각 선로의 길이를 나타내는 L_7 , W_5 , L_{10} , W_9 파라미터와 접지면에 슬롯 존재 여부가 제안된 안테나의 반사손실 특성에 커다란 영향을 주는 것으로 확인되었다.

그림 2는 스트립 4의 길이를 나타내는 L_7 의 길이를 20.0 mm부터 24.0 mm까지 2.0 mm 간격으로 변화시켰을 때 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. 시

뮬레이션 결과, L_7 의 길이 변화에 따라 900 MHz 대역의 공진점이 이동하고 있음을 확인하였다. L_7 의 길이를 24.0 mm로 설정하였을 때 대역폭은 102 MHz (840 MHz~942 MHz), 20.0 mm로 설정하였을 때 대역폭은 85 MHz (925 MHz~1,010 MHz)을 얻었다. 제작상의 오차를 고려하면 L_7 의 길이를 22.0 mm로 설정하는 것이 타당하며 시뮬레이션 결과, 얻어진 대역폭은 81 MHz (872 MHz~953 MHz)를 얻었다. 따라서 제작상의 오차를 고려하더라도 저전력 와이파이 900 MHz 대역의 대역폭(925 MHz~931 MHz)을 충분히 만족시킬 수 있도록 L_7 의 길이를 22.0 mm로 설정하는 것이 타당하다고 판단된다.

그림 3은 스트립 3의 길이를 나타내는 W_5 의 길이를 6.5 mm부터 8.5 mm까지 1.0 mm 간격으로 변화시켰을 때 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. W_5 는 제안된 모델에서 두 번째로 긴 길이를 갖는 파라미터이다. 시뮬레이션 결과, W_5 의 길이 변화에 따라 2,400 MHz 대역의 공진점이 이동하고 있음을 확인하였다. W_5 의 길이를 6.5 mm로 설정하였을 때 대역폭은 995 MHz (2,165 MHz~3,160 MHz), 7.5 mm로 설정할 경우 752 MHz (2,128 MHz~2,880 MHz), 8.5 mm로 설정하였을 때 578 MHz (2,040 MHz~2,618 MHz)의 시뮬레이션 결과를 얻었다. 세 경우 모두 시뮬레이션 결과가 2,400 MHz의 WiFi 대역을 모두 만족하지만 W_5 에 대한 최적화된 값으로 7.5 mm를 선택하였다.

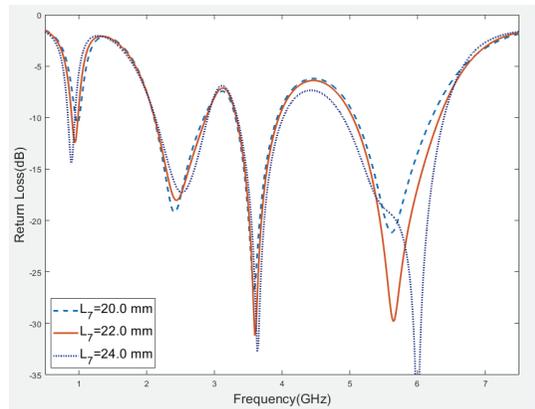


그림 2. L_7 길이 변화에 의한 시뮬레이션 반사손실
Fig. 2 Simulated return loss due to L_7 length change

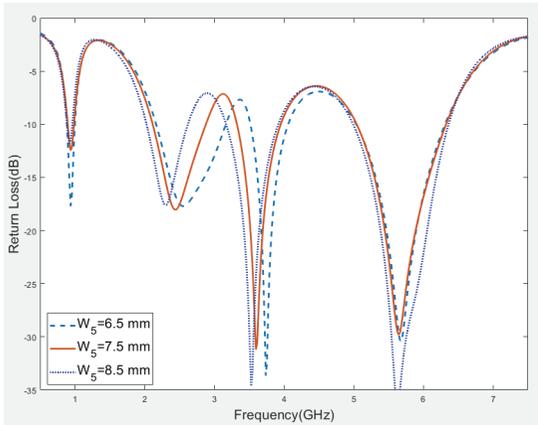


그림 3. W5 길이 변화에 의한 시뮬레이션 반사손실
Fig. 3 Simulated return loss due to W5 length change

그림 4는 스트립 1의 길이를 나타내는 L10의 길이를 3.0 mm부터 5.0 mm까지 1.0 mm 간격으로 변화시켰을 때 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. L10은 제안된 모델에서 세 번째로 긴 길이를 갖는 파라미터이다. 시뮬레이션 결과, L10의 길이 변화에 따라 3,600 MHz 대역의 공진점이 이동하고 있음을 확인하였다. L10의 길이를 3.0 mm로 설정하였을 때 대역폭은 630 MHz (3,440 MHz~4,070 MHz), L10의 길이를 5.0 mm로 설정하였을 때 대역폭은 650 MHz (3,020 MHz~3,670 MHz)인 시뮬레이션 반사손실 결과를 얻었다. 요구되는 WiMAX 대역((3,400 MHz~3,700 MHz) 얻기 위해서는 L10의 길이를 4.0 mm로 설정하였다. L10의 길이를 4.0 mm로 설정할 경우 시뮬레이션 대역폭은 613 MHz (3,335 MHz~3,948 MHz)으로 sub-6 GHz 대역을 충분히 만족하고 있음을 확인하였다.

그림 5는 스트립 2의 길이를 나타내는 W9의 길이 변화에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. W9의 길이를 0 mm로 설정할 경우, 전체 반사손실 특성이 열화되며 5,000 MHz 대역에서 공진특성이 사라지고 있음을 확인하였다. 또한 W9의 길이를 12.4 mm부터 14.4 mm까지 1.0 mm 간격으로 변화시켰을 경우, 제안된 안테나의 전체 반사손실 특성이 커다란 변화가 나타나고 있음을 확인하였다. 시뮬레이션 결과로부터 W9의 길이를 13.4 mm로 설정할 경우에 5,000 MHz 대역에서 최적화된 반사손실 결과를 얻었다.

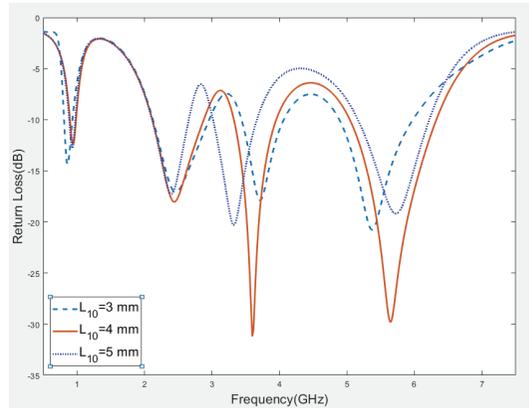


그림 4. L10 길이 변화에 의한 시뮬레이션 반사손실
Fig. 4 Simulated return loss due to L10 length change

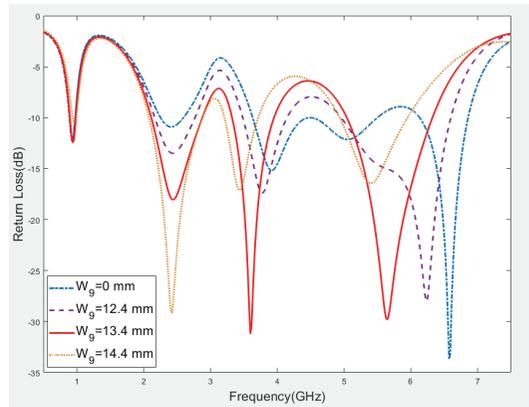


그림 5. W9 길이 변화에 의한 시뮬레이션 반사손실
Fig. 5 Simulated return loss due to W9 length change

그림 6은 접지면에 슬롯의 존재 여부에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. 슬롯이 존재하지 않을 경우, 900 MHz 대역을 제외한 나머지 모든 대역에서 시뮬레이션 반사손실 특성이 열화되고 있음을 확인하였다. 그러나 슬롯이 존재하는 경우, 모든 대역에서 시뮬레이션 반사손실 특성이 개선되고 있음을 확인하였으며 특히 5,000 MHz 대역에서 슬롯이 없을 때 나타나지 않았던 공진특성이 발생하고 있음을 확인할 수 있었으므로 따라서 접지면의 슬롯은 제안된 안테

나의 5,000 MHz 대역의 공진특성에 특히 절대적인 영향을 주는 있음을 확인할 수 있다.

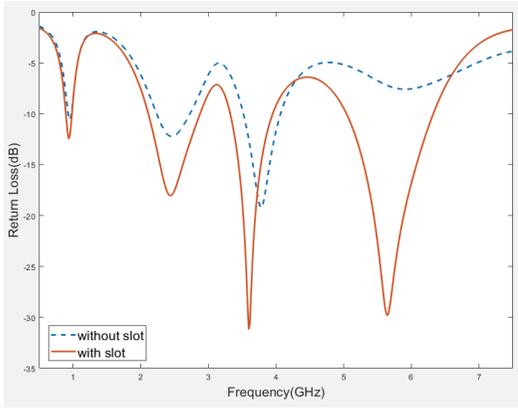


그림 6. 그림 1의 슬롯 유무에 따른 시뮬레이션 반사손실

Fig. 6 Simulated reflection loss due to slot effect in Fig. 1

유전체 기판 아랫면에 기판 일부 영역만을 접지면 제안된 안테나의 대역별 공진 특성을 파악하기 위해 그림 7과 같이 각 대역의 전류분포도를 나타내었다. 그림 7(a)는 937.5 MHz 주파수에서, 그림 7(b)는 2,460 MHz 주파수에서, 그림 7(c)는 3,615 MHz 주파수에서, 그리고 그림(d)는 5,645 MHz 주파수에서 제안된 안테나의 전류 분포를 나타내었다. 그림 7(a) 낮은 주파수에서 공진이므로 제안된 안테나의 형상에서 제일 긴 선로를 나타내는 선로 4에서 강한 전류밀도가 분포하므로 선로 4의 길이가 900 MHz 대역의 공진에 영향을 끼치고 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 그림 2의 결과에서도 잘 확인할 수 있다. 또한 그림 7(b) 경우 선로 3에서 강한 전류밀도가 분포하고 있음을 알 수 있는데 이러한 결과는 선로 3이 2,400 MHz 대역의 공진에 영향을 끼치고 있음을 알 수 있다. 그리고 그림 7(c) 경우 선로 2와 선로 3 동시에서 전류밀도가 강하게 분포하고 있음을 확인하였다. 따라서 3,600 MHz 대역의 공진은 선로 2와 선로 3이 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있다. 한편 그림 7(d) 경우, 그림에서 알 수 있듯이 선로 2와 슬롯 상단의 급전선로에서 전류밀도가 강하게 분포하고 있으며 공진특성에 영향을 주는 것으로 확인하였다.

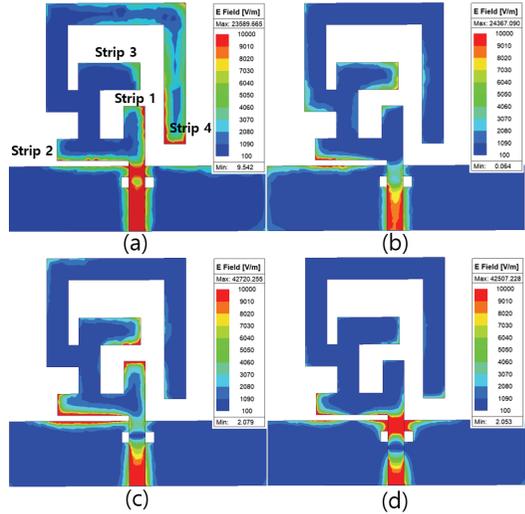


그림 7. 제안된 안테나의 전류분포

(a) 0.9375 GHz, (b) 2.46 GHz, (c) 3.615 GHz, (d) 5.645 GHz

Fig. 7 The current distribution of the proposed antenna (a) 0.9375 GHz, (b) 2.46 GHz, (c) 3.615 GHz, (d) 5.645 GHz

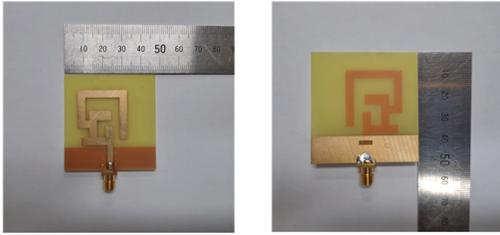
이러한 시뮬레이션 결과로부터 표 1에서 제시된 안테나의 최적화된 파라미터의 수치가 제시되었으며 이러한 값들로부터 제작을 진행하였다.

표 1. 설계된 안테나의 파라미터

Table 1. Parameters of the designed antenna

Parameters	Value[mm]	Parameters	Value[m]
L	50.0	W	48
L1	20.0	W1	7.0
L2	5.0	W2	26.0
L3	7.0	W3	15.0
L4	5.0	W4	2.0
L5	3.0	W5	11.5
L6	2.0	W6	4.0
L7	26.0	W7	4.4
L8	1.0	W8	13.4
L9	12.0	W9	8.0
L10	6.0	W10	6.0
h1	1.6	W11	22.5

III. 제작 및 측정결과



(a) (b)
그림 8. 제안된 안테나의 프로토타입 (a) 앞면 (b) 뒷면

Fig. 8 Prototype of the proposed antenna: (a) front view and (b) back view

그림 8은 실제 제작한 안테나의 프로토타입을 나타내었다. 그림 8(a)는 제작된 안테나의 앞면을 그리고 그림 8(b)는 제작된 안테나의 뒷면인 접지면을 나타내었다. 그림 9는 실제 제작한 안테나의 반사손실 측정결과와 시뮬레이션 결과를 나타내었다. -10dB 기준으로 900 MHz 대역에서는 115 MHz (0.825~0.940 GHz), 2.4 GHz 대역에서는 210 MHz (2.29~2.50 GHz), 3.5 GHz 대역에서는 270 MHz (3.45~3.72 GHz) 그리고 5.0 GHz 대역에서는 930 MHz (4.95~5.88 GHz)으로 논문에서 요구되는 WLAN 삼중 대역이 만족한 것을 확인하였다.

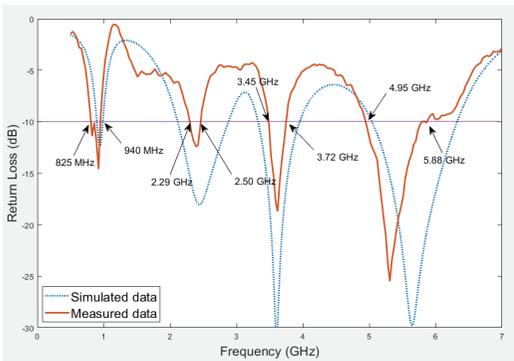


그림 9. 제안된 안테나의 측정된 반사손실
Fig. 9 The measured return loss results of the proposed antenna

그림 10, 11, 12, 13, 그리고 14는 제작된 안테나의 방사패턴 측정결과를 나타낸 것이다. 그림 10은 0.930 GHz 주파수에서, 그림 11은 2.45 GHz에서, 그림 12는 3.50 GHz에서, 그림 12는 5.30 GHz에서 그리고 그림 13는 5.80 GHz에서 방사패턴을 나타내었다. 제안된 안테나에서 측정된 방사패턴은 3D로 제시하였고 동작 대역에서는 전체적으로 전방향성의 특성을 나타낸다. 측정된 이득은 방사패턴에 나타난 주파수에서 각각 3.03 dBi, 3.68 dBi, 2.61 dBi, 3.82 dBi 그리고 2.71 dBi의 최대이득을 얻었다.

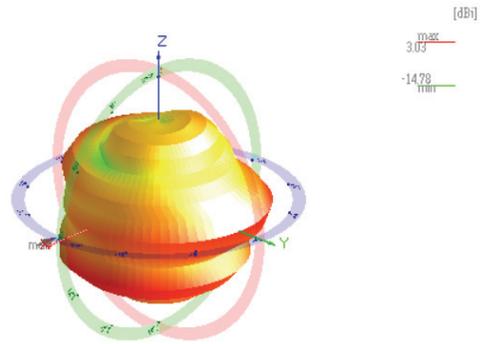


그림 10. 0.930 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴
Fig. 10 Measured 3-D radiation pattern in 0.930 GHz

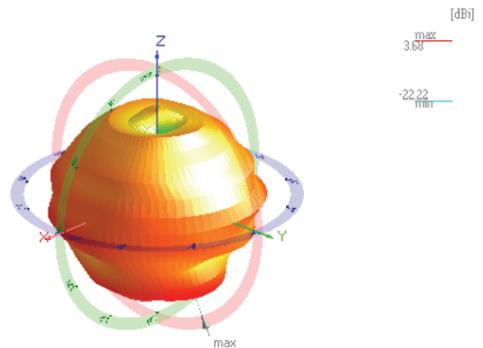


그림 11. 2.45 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴
Fig. 11 Measured 3-D radiation pattern in 2.45 GHz

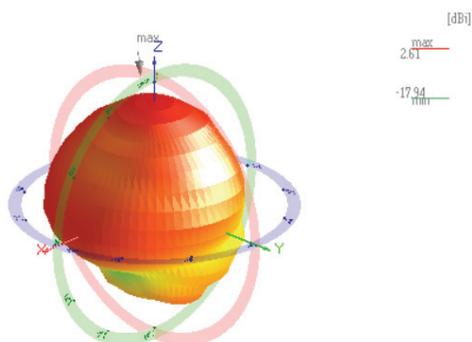


그림 12. 3.50 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴
Fig. 12 Measured 3-D radiation pattern in 3.50 GHz

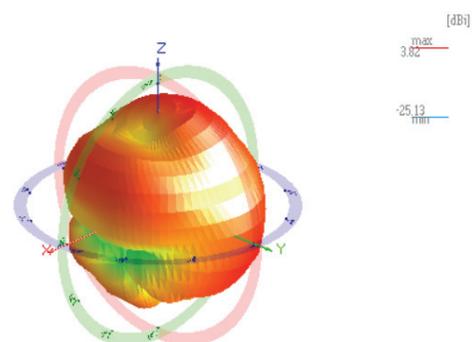


그림 13. 5.30 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴
Fig. 13 Measured 3-D radiation pattern in 5.30 GHz

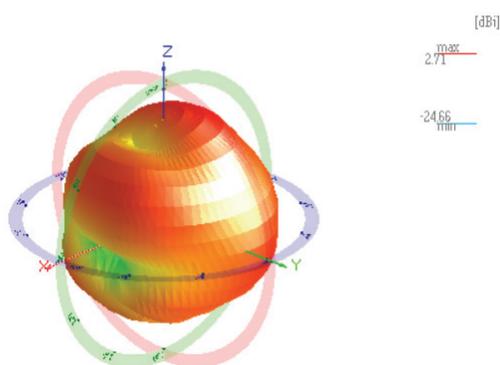


그림 14. 5.80 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴
Fig. 14 Measured 3-D radiation pattern in 5.80 GHz

IV. 결 론

본 논문에서는 4개의 스트립 선로와 일부영역 접지면으로 구성된 멀티밴드 안테나를 제안하였다. 임피던스 매칭을 위해 접지면에 슬롯을 삽입하여 WLAN과 Sub-6 GHz 대역에 적용 가능한 사중대역 특성을 갖도록 설계하였다. Ansoft사의 HFSS 프로그램을 사용하여 시뮬레이션 결과로부터 최적의 특성을 확인하고 이러한 수치를 적용하여 안테나를 제작하였다. 측정결과, -10dB 기준으로 900 MHz 대역에서는 115.0 MHz (0.825~0.940 GHz), 2.4 GHz 대역에서는 210.0 MHz (2.29~2.50 GHz), 3.5 GHz 대역에서는 270.0 MHz (3.45~3.72 GHz), 그리고 5.0 GHz 대역에서는 930 MHz (4.95~5.88 GHz)으로 요구되는 대역을 만족한 것을 확인하였다. 또한 측정된 이득은 요구되는 주파수에서 각각 최대이득이 3.03 dBi, 3.68 dBi, 2.61 dBi, 3.82 dBi 그리고 2.71 dBi의 값을 얻었다. 따라서 본 논문에서 제안된 안테나는 사중대역을 요구하는 WLAN 시스템과 Sub-6 GHz 시스템의 다중대역 안테나로 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] B. Jeong, S. Jang, S. Yoon, and D. Kim, "Development direction of WLAN technology and standardization trend of IEEE 802.11ax," *Mag. of Information and Telecommunication*, vol. 32, no. 3, 2015, pp. 69-76.
- [2] J. Son, U. An, J. Ko, and K. Kwak, "Recent trend to IEEE 802.11ax next-generation WLAN standardization," *Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 31, no. 10, 2016, pp. 3-9.
- [3] S. Park, "Technology trend of 5 GHz mobile communication," *Weekly ICT Trends*, vol. 1844, 2018, pp. 2-11.
- [4] H. Lee, "Current situation of 5G mobile communication industry 2023 and prospect of 2024 project," *2024 Annual report of Information and Telecommunication*, vol. 2024-1, Jan. 2024.
- [5] J. Lee and H. Lee, "IEEE 802.11ah sub 1 GHz WLAN technology," *Mag. of Information and*

- Telecommunication*, vol. 32, no. 3, Mar. 2015, pp. 77-84.
- [6] J. Yoon, "A design and implementation of dual band monopole antenna with two arc-shaped line for WLAN application," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 6, 2017, pp. 1049-1056. <https://doi.org/10.13067/JKIECS.2017.12.6.1049>
- [7] S. Park and J. Jeong, "Modified yagi dipole antenna for WLAN dual-band operation," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 3, 2018, pp. 533-538. <https://doi.org/10.13067/JKIECS.2018.13.3.533>
- [8] B. Kang, S. Rhee, M. Jeong, D. Choi, and N. Kim, "Design and fabrication of dual-band planar monopole antenna with defected ground structure for WLAN applications," *J. of Korea Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 29, no. 1, 2018, pp. 42-49. <https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2018.29.1.42>
- [9] W. Zaman, H. Ahmad, and H. Mehmood, "A miniaturized meandered printed monopole antenna for triband applications," *Microwave Opt. Technol. Lett.*, 31149, 2017, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1002/mop.31149>
- [10] S. Kim and J. Yoon, "Design and manufacture of triple-band antennas with modified rectangular ring and rectangular patch for WLAN/WiMAX system application," *J. of the Korea Institute of Information and Communication Sciences*, vol. 23, no. 3, 2019, pp. 341-348. <https://doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.10.2265>
- [11] H. Ahmad, W. Zaman, S. Bashir, and M. Rahman, "Compact triband slotted printed monopole antenna for WLAN and WiMAX application," *Int J. RF Microw. Comput. Aided Eng.*, e21986, 2019, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1002/mmce.21986>
- [12] C. Han and J. Choi, "Design of indoor repeater antenna for WLAN and Sub-6 GHz band," *2020 Korea Institute of Electromagnetic Engineering and Science Summer Conference*, vol. 8, no. 1, 2020, pp. 703.
- [13] T. Upadhyaya, J. Patel, R. Patel, and M. Palandoken, "Flexible CPW fed transparent antenna for WLAN and sub-6 GHz 5G applications," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 62, no. 5, May, 2020, pp. 2090-2103. <https://doi.org/10.1002/mop.32287>
- [14] H. Zhyang, F. Li, W. Ding, H. Tan, J. Zhuang, C. Liu, C. Tian, S. Wang, F. Kong, and K. Li, "A triple band microstrip antenna with a monopole impedance converter for WLAN and 5G applications," *Int. J. Antennas and propagation*, Article ID 3339240, 2022, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1155/2022/3339240>
- [15] T. Maamria, M. Challal, F. Benmahmoud, K. Fertas, and A. Mesloub, "A novel compact quad-band planar antenna using meander-line, multi-stubs, and slots for WiMAX, WLAN, LTE/5G sub-6 GHz applications," *International Journal of Microwave and Wireless Technology*, vol. 15, no. 5, 2022, pp. 852-859. <https://doi.org/10.1017/S1759078722000939>

저자 소개



윤중한(Joong-Han Yoon)

1992년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1994년 8월 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2003년 2월 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

2003년 3월 인하대학교 Post-Doc.

2005년 10월 요코하마 국립대학 Post-Doc.

2006년 11월 삼성전기 책임연구원

2008년 9월 ~ 현재 신라대학교 전기전자공학과 교수

※ 관심분야 : RF & Antenna, Radar