Regular paper

Journal of the KIECS. pp. 33-40, vol. 14, no. 1, Feb. 28. 2019, t. 93, pISSN 1975-8170 | eISSN 2288-2189
http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2019.14.1.33

마이크로스트립 선로를 이용한 삼중대역 WLAN 안테나의 설계 및 제작

윤중한*

Design and Implementation of Triple-band WLAN Antenna with Microstrip Lines

Joong-Han Yoon*

요 약

본 논문에서는 마이크로스트립 선로를 이용하여 WLAN 시스템에 적용 가능한 삼중대역 안테나를 설계, 제작 및 측정하였다. 제안된 안테나는 두 개의 선로와 접지면에 슬릿을 갖도록 설계하여 삼중대역 특성을 갖도록 하였다. L_3, L_{10}, 그리고 슬릿 파라미터에 대한 조정을 위해 시뮬레이션을 수행하였으며 요구되는 주파수 대역과 대역폭을 만족하도록 제안된 모델의 각 파라미터 값들을 조정하였다. 제안된 안테나는 32.0 mm×44.0 mm× 1.0 mm의 크기로 유전율 4.4인 FR-4 기판 위에 설계 및 제작되었다. 제작 및 측정결과로부터, 120 MHz (890 MHz ~1.01 MHz), 440 MHz (2.35~2.79 GHz), 그리고 1,280 MHz (5.07~6.35 GHz)의 대역폭을 얻었다. 또한 요구되는 주파수 대역에서 측정된 이득과 방사패턴 특성을 나타내었다.

ABSTRACT

In this paper, a microstrip-fed triple-band antenna for WLAN system with microstrip lines was designed, fabricated and measured. The proposed antenna is composed of two strip lines and slit in the ground plane and then designed in order to get triple band characteristics. We carried out simulation on L_3, L_{10}, and slit parameters, and adjusted the parameters of the proposed antenna to satisfy the required frequency band and bandwidth. The proposed antenna is made of 32.0 × 44.0 × 1.0 mm and is fabricated on the permittivity 4.4 FR-4 substrate. The experiment results shows that the proposed antenna obtained the -10 dB impedance bandwidth 120 MHz (890 MHz ~1.01 MHz), 440 MHz (2.35 ~2.79 GHz), and 1,280 MHz (5.07 ~6.35 GHz) covering the triple WLAN bands. Also, the measured gain and radiation patterns characteristics of the proposed antenna are presented at required frequency band, respectively.

키워드

Microstrip Lines, Triple-band Antenna, WLAN Application
마이크로스트립 선로, 삼중 대역 안테나, WLAN 응용

Ⅰ. 서 론

WLAN(: Wireless Local Area Network)은 일부 한정된 지역을 무선으로 연결해주는 네트워크로서 1997년 IEEE 802.11 전송규격이 공개된 이후 지속적으로 보완과 개정작업이 이루어졌으며 특히 차세대 WLAN 시스템은 전송속도 향상 측면, 전송범위를 증가시키려는 측면 그리고 주파수 확정 측면에서 끊임

* 교신저자 : 신라대학교 스마트전기전자공학부
• 접 수 일 : 2018. 09. 28
• 수정완료일 : 2018. 12. 07
• 게재확정일 : 2019. 02. 15
• Received : Sep. 28, 2018, Revised : Dec. 07, 2018, Accepted : Feb. 15, 2019
• Corresponding Author : Joong-Han Yoon
Division of Smart Electrical and Electronic Engineering, Silla University,
Email : jhyoon@silla.ac.kr

없이 진화되고 있으며 IEEE 802.11 ax 표준화를 통해 다양한 밀접 환경에서의 성능저하를 극복하고 통신 전송량 수율 향상을 높이는 방향으로 전개되고 있다[1]. 전송속도의 경우, 초기의 Wi-Fi 표준(802.11)은 2 Mbps 전송률로부터 진화를 거듭하여 현재는 최대 7 Gbps에 이르는 데이터 전송율을 지원하고 있다. 802.11a의 경우 OFDM 변조방식을 채택하여 최대 54 Mbps을 지원하였으며 802.11n의 경우 다중 안테나 기술을 채택하여 최대 600 Mbps을 지원하고 있다. 한편 주파수 확정의 경우, IoT 및 다양한 서비스 지원을 위해 기존 2.4 GHz와 5 GHz 대역을 지원하는 규격뿐만 아니라 900MHz (802.11ah), TV White Space (802.11af)와 같은 추가적인 대역을 지원하는 규격도 제정되었다[2].

WLAN 시스템은 IEEE 802.11b (사용주파수 : 2.4-2.484 GHz)을 바탕으로 IEEE 802.11a (사용주파수 : 5.15~5.875 GHz)와 IEEE 802.11g (사용주파수 : 2.4-2.484 GHz)가 결합되면서 2.4/5 GHz 듀얼밴드를 사용하고 있다. 현재 대부분의 상용화된 WLAN 시스템은 대용량 전송율을 처리하기 위해 IEEE 802.11n 표준을 채택하고 있으며 이후의 Gbps급 혹은 그 이상의 데이터율을 전송하기 위해 IEEE 802.11ac/ad 표준화 작업을 진행하고 있다.

한편 WLAN 시스템에 적용되는 2.4 GHz 혹은 5 GHz 대역의 단일 밴드 안테나에 대한 개발이 오래전에 이미 이루어졌다. 최근에는 WLAN 시스템 표준화 동향을 고려하여 이중밴드(2.4-2.484 GHz, 5.15~5.875 GHz) 안테나에 대한 개발이 이루어졌다[3-14]. 그러나 WLAN 시스템의 삼중대역을 만족시키는 안테나에 대한 논문에서는 많은 발표가 이루어지고 있지 않다.

본 논문에서는 IEEE 802.11ah 표준화 주파수 대역인 902~928 MHz와 각각 802.11b 그리고 802.11a 표준화 대역인 2.4 GHz WLAN 대역(2.4~2.484 GHz) 그리고 5.0 GHz WLAN 대역(5.15~5.875 GHz)을 만족하는 삼중대역 안테나를 설계하였다. 제안된 안테나는 모노폴 형태를 바탕으로 급전선으로부터 두 개의 마이크로스트립 선로를 분기하여 적절한 길이를 갖도록 설계하였으며 접지면의 슬릿을 삽입하여 5 GHz 대역에서 매칭이 되도록 설계하였다. 다음 2장에서 구체적인 설계구조 및 시뮬레이션 결과에 따른 제작 결과를 설명하고, 3장에서는 제작 결과에 대한 특성 분석에 대해 설명할 것이며 4장에서는 결론에 대해 설명 할 것이다.

II. 설계 및 제작

2.1 제안된 모델

제안된 안테나는 그림 1과 보는바와 같은 구조로 설계하였다. 그림 1을 살펴보면 제안된 안테나는 급전선로, 두 개의 분기 선로 그리고 슬릿이 삽입된 접지면으로 구성되어 있다. 급전 구조는 마이크로스트립 선로를 적용하였으며 마이크로스트립 급전 선로로부터 WLAN 900 MHz 대역과 2.4 GHz 대역에서 공진되도록 두 개의 분기선로(선로 1, 선로 2)를 각각 구성되도록 설계하였다. 선로 1은 제일 길 선로이며 900 MHz 대역에서 공진되도록 설계하였으며 선로 2는 2.4 GHz 대역에서 공진되도록 설계하였다. 또한 5 GHz 대역에서 공진 특성을 얻기 위해서 슬릿 (slit, $W_8 \times L_8$)을 포함한 접지면 구조를 제안하여 설계하였다. 기판 전체의 크기($W \times L$)는 32.0 mm × 48.0 mm이며 제안된 안테나의 크기($W \times (L_9+L_{10}+L_{11})$)는 32.0 mm × 44.0 mm이다.

900 MHz 대역의 WLAN 표준인 802.11ah를 포함한 삼중대역 특성을 갖는 안테나를 제안하기 위해 3D 설계가 가능한 Ansys의 HFSS을 활용하였다. 제안된 안테나의 반사손실 특성에 커다란 영향을 주는 파라미터를 찾고자 하였다. 여러 파라미터에 대한 연구 결과, L_2의 길이 변화가 제안된 안테나의 반사손실 특성에 영향을 미치고 있지만 요구되는 주파수 대역을 고려하면 반사손실 특성의 변화폭이 크지 않아 본 논문에서는 생략하였다. 그러나 제안된 안테나와 접지면 사이의 길이인 L_{10}, 선로 2의 존재 유무, 그리고 접지면의 슬릿의 존재 유무에 따라 제안된 안테나의 반사손실 특성이 매우 커다란 영향을 끼치고 있음을 확인하였다.

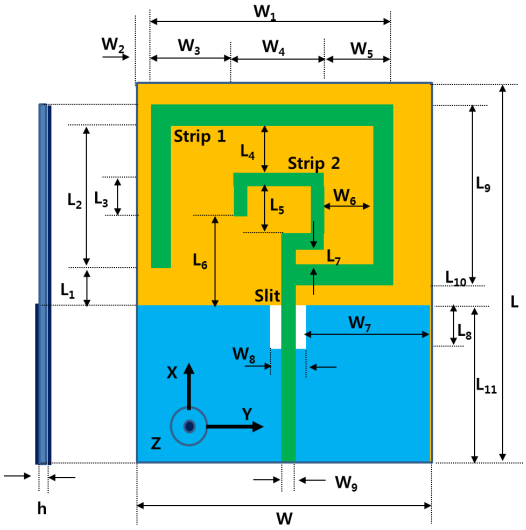

그림 1. 제안된 이중 대역 안테나의 구조
Fig. 1 Geometry of the proposed dual-band antenna

2.2 시뮬레이션 해석

그림 2는 제안된 안테나와 접지면 사이의 길이인 L_{10}의 길이 변화에 따른 시뮬레이션을 진행한 반사손실 특성 변화를 나타내었다. 그림 2에서 보는 바와 같이 제안된 안테나와 접지면 사이의 길이인 L_{10}의 길이를 1.0 mm에서 2.0 mm까지 0.5 mm 간격으로 변화시켰을 때 시뮬레이션 반사손실 특성 변화를 나타내었다. L_{10}의 길이 변화에 따른 시뮬레이션 반사손실 결과, 900 MHz 대역에서는 변화가 없었으며 2.4 GHz 대역과 5.0 GHz 대역에서는 반사손실 특성에 커다란 변화가 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 접지면이 파장이 짧은 주파수 대역에 영향을 크게 미치고 있음을 알 수 있었다. 시뮬레이션 결과로부터 제안된 안테나와 접지면 사이의 길이는 반사손실과 공진특성이 L_{10} = 1.5 mm 일 때 제일 우수한 반사손실 특성이 나타남을 확인하였다.

그림 3는 선로 2의 길이(L_3) 변화에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성 변화를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 선로 2의 길이인 L_3의 길이를 2 mm에서 4 mm까지 1.0 mm 간격으로 변화시켰을 때 시뮬레이션 반사손실 특성 변화를 비교하였다. L_3의 길이를 2 mm로 설정한 후 시뮬레이션 반사손실 결과는 5 GHz 대역에서 763 MHz (5.083~5.846 GHz)의 대역폭을 얻었으며 요구되는 5 GHz 대역과 대역폭을 만족하고 있지 않음을 확인하였다. L_3의 길이를 4 mm로 설정한 후 시뮬레이션 반사손실 결과는 5 GHz 대역에서 763 MHz (4.855~6.40 GHz)의 대역폭을 얻었으며 요구되는 5 GHz 대역과 대역폭을 만족하고 있음을 확인하였다. 그러나 L_3의 길이를 3 mm로 설정한 후 시뮬레이션 반사손실 결과는 L_3의 길이를 4 mm 일 때보다 제안된 안테나의 반사손실 특성이 개선되었다. 따라서 반사손실 특성이 개선된 경우인 3 mm로 L_3의 길이를 설정하였다. 또한 예상과는 달리 L_3 길이 변화가 2.4 GHz 대역뿐만 아니라 5 GHz 대역의 반사손실 특성에 더 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

그림 4은 선로 2 (strip 2)의 존재 유무에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. 그림 3에서 보는 바와 같이 선로 2가 존재하지 않을 경우 시뮬레이션 반사손실 결과, -10dB을 기준으로 938.7 MHz~1.085 GHz, 3.32~3.86 GHz, 그리고 6.07 GHz 이상의 결과를 얻었다. 이러한 결과는 요구되는 900 MHz 대역(902~928 MHz)과 5.0 GHz 대역(2.4~2.484 GHz, 5.15~5.875 GHz)을 만족시키지 못한 결과를 얻었다. 그러나 선로 2가 존재하는 경우시뮬레이션 반사손실 결과, 요구되는 대역을 만족하는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 선로 2의 길이보다는 선로 2의 존재 유무가 제안된 안테나의 반사손실 특성에 더 커다란 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다.

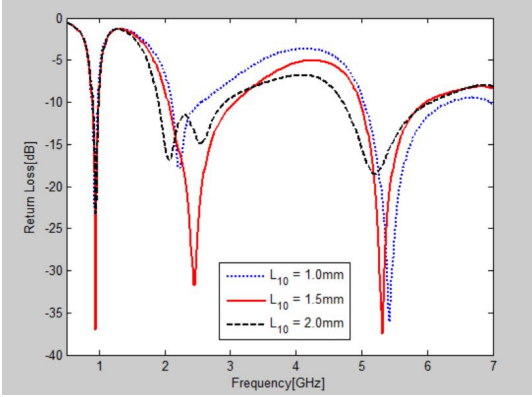

그림 2. 선로 1과 접지면 사이의 갭 길이 영향에 의한 시뮬레이션 반사손실 특성
Fig. 2 Characteristics of simulation return loss due to gap between strip 1 and ground plane.

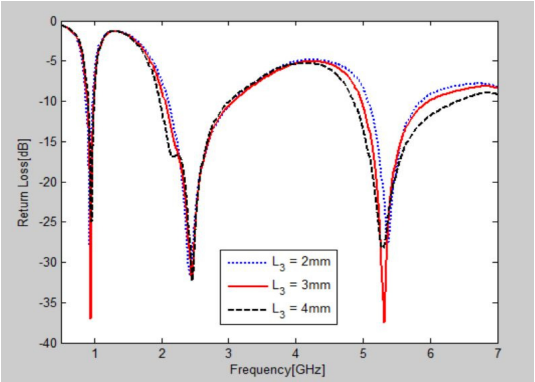

그림 3. L_3 영향에 의한 시뮬레이션 반사손실 특성
Fig. 3 Characteristics of simulation return loss due to effect of L_3.

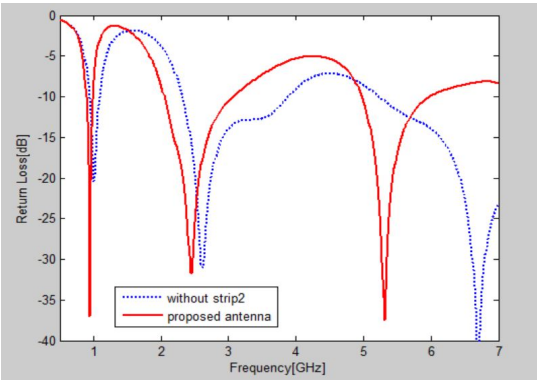

그림 4. 선로 2의 영향에 의한 시뮬레이션 반사손실 특성
Fig. 4 Characteristics of simulation return loss due to effect of strip 2.

그림 5는 접지면의 슬릿 존재 유무에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성 변화를 나타내었다. 그림 5에서 보는 바와 같이 접지면에 슬릿이 존재하지 않는 경우 요구되는 주파수 대역과 만족하지 않는 결과를 얻었다. 그러나 접지면에 슬릿이 존재하는 경우 요구되는 주파수 대역을 만족하는 결과를 얻었다. 특히 접지면에 존재하는 슬릿은 5 GHz 대역의 공진에 큰 영향을 주는 것으로 판단된다. 슬릿이 존재하지 않았을 경우, 5.0 GHz 대역에서 공진 특성이 나타나지 않았으나 슬릿이 존재하는 경우, 5 GHz 대역에서 공진이 발생하였으며 975 MHz (4.985~5.96 GHz)으로 대역폭을 얻어 요구되는 주파수 대역과 대역폭을 만족하고 있음을 확인하였다. 결국 표준화된 3개 대역을 만족하는 WLAN 시스템의 안테나를 설계하기 위해서는 접지면에 제안된 슬릿을 삽입한 모델을 선택하였다.

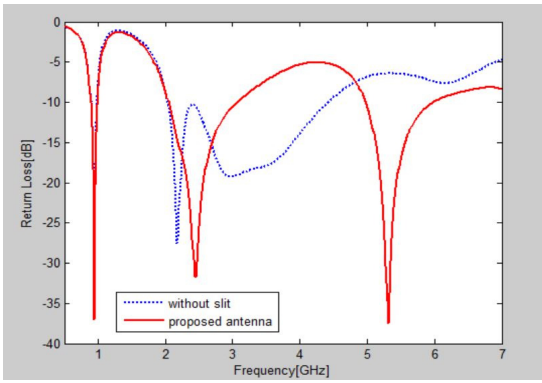

그림 5. 슬릿 영향에 의한 시뮬레이션 반사손실 특성
Fig. 5 Characteristics of simulation return loss due to effect of slit.

위에서 언급한 시뮬레이션 결과로부터 최적화된 시뮬레이션 반사손실은 900 MHz 대역에서 -10dB을 기준으로 97.5 MHz (890~987.5 MHz)의 대역폭을 얻어 2.4 GHz 대역에서 -10dB을 기준으로 680 MHz (2.14~2.82 GHz)의 대역폭을 얻어 2.4 GHz WLAN 대역을 만족시켰으며 5.0 GHz 대역에서는 -10dB을 기준으로 975 MHz (4.985~5.96 GHz)의 대역폭을 얻어 WLAN 3개 대역에서 요구하는 대역과 대역폭을 만족하고 있음을 확인하였다.

2.3 제작 및 전류분포 해석

제안된 안테나의 구조 파라미터에 대한 최적화된 수치는 표 1과 같다.

표 1. 설계된 안테나의 파라미터들
Table 1. parameters of the designed antenna

Parameters	Value [mm]	Parameters	Value [m]
L	48.0	W	32.0
L_1	3.5	W_1	28.0
L_2	18.0	W_2	1.0
L_3	3.0	W_3	11.0
L_4	5.0	W_4	8.0
L_5	6.0	W_5	5.0
L_6	10.8	W_6	5.0
L_7	2.3	W_7	14.0
L_8	6.0	W_8	4.0
L_9	23.0	W_9	2.0
L_{10}	1.5	h	1.0
L_{11}	19.5		

제안된 안테나의 최적화된 구조에 대한 수치를 사용하여 ϵ_r=4.4, h=1.0 mm인 FR-4기판으로 안테나를 제작하였다. 그림 6은 실제 최적화된 수치로 제작된 안테나이다.

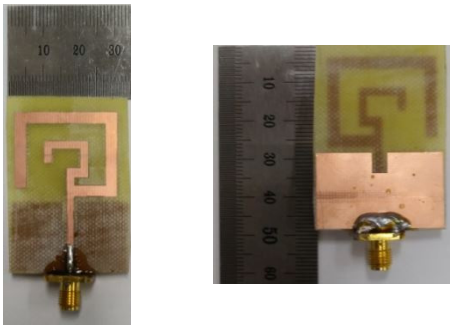

그림 6. 제안된 안테나의 프로토 타입 (a)앞면 그리고 (b) 뒷면
Fig. 6 Prototype of the proposed antenna: (a) front view and (b) back view

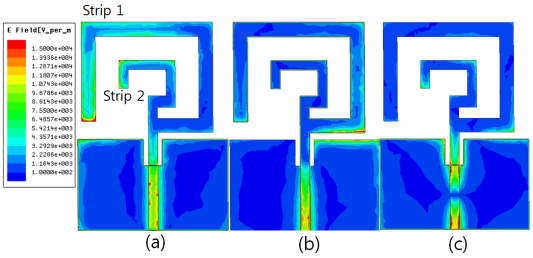

그림 7. 제안된 안테나의 전류 분포
Fig. 7 The current distribution of the proposed antenna: (a) 938.7 MHz; (b) 2.46 GHz; (c) 5.29 GHz.

제안된 안테나의 동작원리를 확인하기 위해 전류밀도 분포는 그림 7에서 나타내었다. 명확한 전류밀도 분포를 표시하기 위해 시뮬레이션 시 각 주파수 대역에서 반사손실 특성이 제일 좋은 주파수를 선택하였다. 그림 7(a)는 938.7 MHz 일 때의 전류밀도 분포를 나타낸 결과이며 그림 7(b)는 중심주파수가 2.46 GHz 일 때의 전류분포를 나타낸 결과이다. 그림 7(c)는 중심주파수가 5.29 GHz 일 때의 전류분포를 나타낸 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 그림 7(a)에서는 스트립 1에서 강한 전류밀도 분포가 나타났으면 이러한 결과로부터 선로 1은 900 MHz 공진에 영향을 주는 것으로 판단된다. 또한 그림 7(b)에서는 선로 1과 접지면 사이에 상대적으로 강한 전류밀도가 분포하고 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 2.4 GHz 대역의 공진은 선로 2의 길이보다는 선로 1과 접지면의 간격이 더 큰 영향을 미치고 있음을 확인하였으며 또한 L_{10}의 길이변화에 따른 반사손실 시뮬레이션 결과인 그림 2로부터 2.4 GHz 대역에 큰 영향을 미치고 있는 것을 확인된다. 따라서 그림 3의 결과에서 보듯이 선로 2의 길이 변화는 안테나의 반사손실 특성에 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 그림 7(c)에서는 급전선로와 접지면의 슬릿에 상대적으로 강한 전류밀도가 분포하고 있음을 확인하였다. 제안된 안테나는 두 개의 전류길이를 갖고 있지만 3중 대역을 얻을 수 있는 것은 동일한 면에 존재하지 않지만 접지면 상단과 스트립 1의 하단과의 근접 영향으로 인해 2.4 GHz의 공진이 발생하고 있음을 확인하였다. 더불어 반사손실 특성은 접지면의 존재로 인해 상당히 개선됨을 확인하였다.

III. 측정결과 및 검토

3.1 측정된 반사손실, 이득 및 방사패턴

제작된 안테나는 회로망 분석기(Network Analyzer, Anritsu MS4623B)를 이용하여 반사손실을 측정하였으며 방사패턴은 구로에 위치한 에이스테크놀리지의 무반사실에서 측정하였다. 그림 8에는 제안된 안테나의 실제 제작 후 시뮬레이션 결과와 측정한 결과를 함께 나타내었다. 시뮬레이션 결과와 측정결과가 어느 정도 오차가 있는 것으로 판단된다. 이러한 오차는 다음과 같다. 첫 번째는 기판의 유전율 오차에 의한 결과이다. 유전율 4.4 인 FR-4의 유전율이 일정한 오차를 갖고 있기 때문에 발생한다. 두 번째는 PCB 가공기를 사용한 안테나 제작 과정에서 발생하는 오차이다. 세 번째는 안테나 측정 과정에서의 오차이다. 안테나 측정 시 급전을 위해 SMA 커넥터를 사용하는데 시뮬레이션 상에서는 나타나지 않는 부품이기 때문에 오차가 발생한 것으로 판단된다. 측정결과, 900 MHz 대역에서는 -10dB을 기준으로 120 MHz (890 MHz~1.01 MHz)의 대역폭을 얻어 900 MHz WLAN (902~928 MHz)대역을 만족시켰으며

2.4 GHz 대역에서는 440 MHz (2.35~2.79 GHz)의 대역폭을 얻어 2.4 GHz WLAN 대역 (2.4 GHz~2.484 GHz)을 만족시켰으며 5.0 GHz 대역에서는 1,280 MHz (5.07~6.35 GHz)의 대역폭을 얻어 5 GHz 대역 (5.15~5.875 GHz)에서 요구하는 대역폭을 만족하고 있음을 확인하였다.

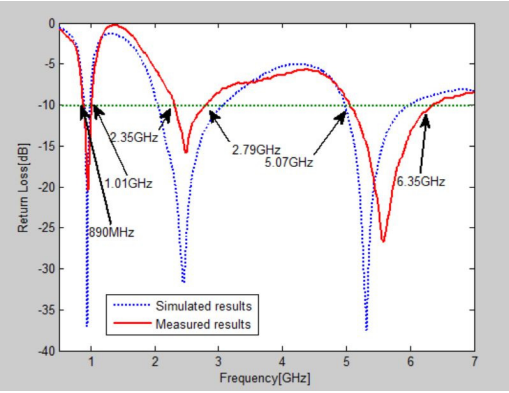

그림 8. 제안된 안테나의 측정된 반사손실 결과
Fig. 8 The measured return loss results of the proposed antenna

그림 9, 10, 11, 그리고 12는 제작된 안테나의 측정된 방사패턴을 나타내고 있다. 방사패턴이 측정된 주파수는 900 MHz 대역의 주파수인 910 MHz, 2.4 GHz WLAN 대역의 중심인 2.44 GHz, 그리고 5 GHz 대역의 5.35 GHz/5.75 GHz로 설정하였다. 5 GHz 대역의 측정주파수는 상위대역과 하위대역으로 나누어 설정하였으며 각 대역의 중심주파수가 아니더라도 각 대역에서 방사패턴에는 큰 차이가 없기 때문에 측정주파수를 5.35 GHz/5.75 GHz로 설정하였다. 그림 9은 910 MHz 주파수에서 방사패턴을 나타낸 것이며 최대 이득은 2.51 dBi를 얻었다. 그림 10은 2.44 GHz 주파수에서 방사패턴을 나타냈으며 최대 이득은 2.69 dBi를 얻었다. 그림 11은 5.35 GHz 주파수에서 방사패턴을 표시하였으며 최대 이득은 1.18 dBi를 얻었다. 그림 12은 5.75 GHz 주파수에서 방사패턴을 표시하였으며 최대 이득은 3.37 dBi를 얻었다. 선택된 주파수는 각 주파수대역에서 임의적으로 선택하였다. 제안된 안테나의 3-D 방사패턴은 전체적으로 전방향성 특성을 보여주고 있다.

그림 13은 WLAN 각 주파수 대역에서의 최대 이득과 평균 이득을 나타내었다. 900 MHz 대역에서 평균이득은 -3.78 ~ -3.02 dBi, 최대이득은 2.43 ~ 2.82 dBi, 2.4 GHz 대역에서 평균이득은 -3.36 ~ -2.18 dBi, 최대이득은 2.92 ~ 4.63 dBi, 그리고 5.0 GHz 대역에서 평균이득은 -4.44 ~ -1.9 dBi, 최대이득은 1.18 ~ 3.37 dBi를 얻었다.

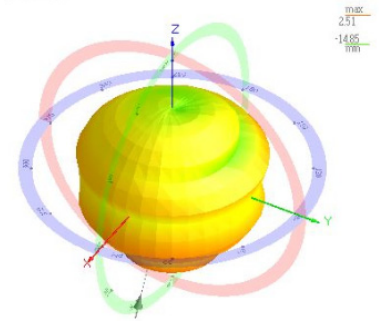

그림 9. 910 MHz에서 측정된 3-D 방사패턴
Fig. 9 Measured 3-D radiation pattern in 910 MHz

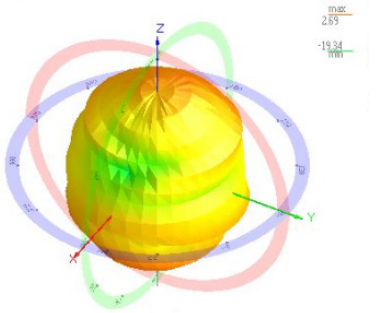

그림 10. 2.44 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴
Fig. 10 Measured 3-D radiation pattern in 2.44 GHz

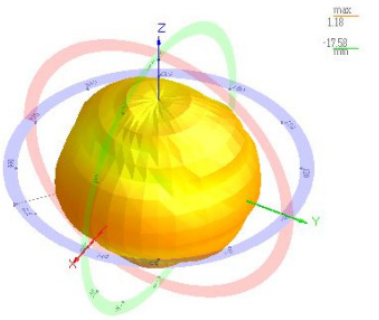

그림 11. 5.35 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴
Fig. 11 Measured 3-D radiation pattern in 5.35 GHz

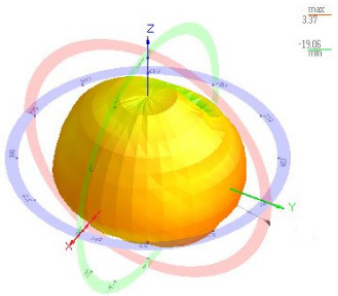

그림 12. 5.75 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴
Fig. 12 Measured 3-D radiation pattern in 5.75 GHz

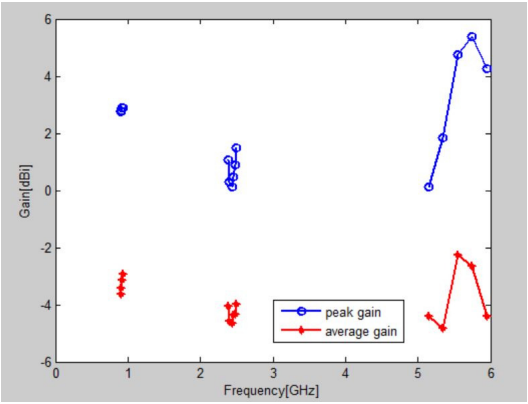

그림 13. 제안된 안테나의 측정된 최대 그리고 평균 이득
Fig. 13 Measured peak and average gains of the proposed antenna

Ⅳ. 결론

본 논문에서는 WLAN 시스템에 적용 가능한 삼중대역 안테나를 설계, 제작 및 측정하였다. 제안된 안테나는 마이크로스트립 급전 구조를 바탕으로 두 개의 스트립 선로 구조와 접지면에 슬릿을 삽입하여 삼중 공진이 가능하도록 설계하였다. 제안된 안테나의 특성에 큰 영향을 미치는 파라미터를 확인하고 HFSS 툴을 사용하여 최적화된 수치를 얻을 수 있도록 모의실험을 진행하였다. 또한 같은 툴을 사용하여 표면 전류 밀도 분포를 확인하였으며 제안된 안테나의 동작원리를 분석하였다. 반사손실 측정결과, 시뮬레이션 결과와 측정결과가 어느 정도 오차가 발생하였으며 오차 원인에 대한 분석을 진행하였으며 900 MHz 대역에서는 120 MHz (890 MHz~1.01 MHz)의 대역폭을 얻어 2.4 GHz 대역에서는 440 MHz (2.35~2.79 GHz)의 대역폭을 5.0 GHz 대역에서는 1,280 MHz (5.07~6.35 GHz)의 대역폭을 얻어 WLAN 시스템에 요구하는 대역과 대역폭을 만족하고 있음을 확인하였다. 또한 방사패턴 측정결과, 전방향성의 방사패턴과 900 MHz 대역에서 최대 2.65 dBi, 2.4 GHz 대역에서 최대 4.27 dBi, 5.0 GHz 대역에서 최대 3.39 dBi를 얻었다. 따라서 제안된 안테나는 삼중대역을 커버할 수 있는 WLAN 시스템에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

Reference

[1] B. Jeong, S. Jang, S. Yoon, and D. Kim, “Development direction of WLAN technology trends to IEEE 802.11ax standardization,” *Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 27, no. 2, 2012, pp. 1-10.

[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] Y. Park, “Characteristics of patch antenna for WLAN,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 6, 2011, pp. 803-808.

[4] O. Kim, “Design of dual band microstrip antenna for wireless communication applications,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 6, 2012, pp. 1275-1279.

[5] T. Choi, B. Bum, and S. Lim, “Modified Monopole Antenna for Multi resonance Wideband,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 3, no. 2, 2008, pp. 53-57.

[6] S. Wee, N. Kim, and S. Lee, “Design and Fabrication of the Antenna for Wibro and WLAN Communications Using CPWG Structure,” *J. of Electromagnetic Engineering And Science*, vol. 19, no. 10, 2008, pp. 1086-1095.

[7] Y. Seo, J. Jung, H. Lee, and Y. Lim, "Design of circualr monopole antenna with symmetrically folded stub for WLAN operation," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 54, no. 7, 2012, pp. 1549-1552.

[8] J. Yoon, Y. Rhee, and Y. Jang, "A study on the rectangular ring open-ended monopole antenna with a vertical strip for WLAN dual band operations," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 55, no. 3, 2013, pp. 619-624.

[9] Y. Koo and D. Im, "Design and Manufacture of Modified Ring antenna with Stub and Ground Slot for WLAN Applications," *J. of Information and Communication Convergence Engineering*, vol. 17, no. 10, 2013, pp. 2285-2272.

[10] C. Bark, M. Dim, and H. Sung, "Design of Compact Microstrip Patch Antenna for WLAN of IEEE 802.11a," *J. of Korea Information Science*, vol. 19, no. 2, 2013, pp. 611-617.

[11] J. Yoon, "Design and Manufacture of CPW-fed two arc-shaped antenna for WLAN applications," *J. of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 4, 2015, pp. 765-771.

[12] W. Yeo, K. Lai, K. Yeap, P. Teh, and H. Nisar, "A compact dual band hook shaped antenna for wireless application," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 59, no. 5, 2017, pp. 1882-1887.

[13] 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.

[14] S. Park and J. Jung, "WLAN dual band dipole antenna with parasitic elements and reflector for high gain operation," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 2, 2018, pp. 341-348.

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)
2005년 8월 인하대학교 Post-Doc.
2006년 11월 요코하마 국립대학 Post-Doc.
2008년 8월 삼성전기 책임연구원
2008년 9월 ~현재 신라대학교 전자공학과 부교수
※ 관심분야 : RF & Antenna, RFID, Radar